

คำรับรองตนเอง (Self-Declaration)
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์

ชื่อสถาบันการศึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
วิทยาเขต/คณะ/ภาควิชา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สาขาวิศวกรรมที่รับรองปริญญา	สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษาที่รับรองปริญญา	2567 - 2571

ส่วนที่ 1 หลักสูตร

1. ชื่อหลักสูตร

ชื่อภาษาไทย : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์

ชื่อภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering Program in Industrial Engineering and Logistics

2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา

ชื่อเต็มภาษาไทย : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์)

ชื่อย่อภาษาไทย : วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์)

ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering (Industrial Engineering and Logistics)

ชื่อย่อภาษาอังกฤษ : B.Eng. (Industrial Engineering and Logistics)

3. วิชาเอก/แขนงวิชา

วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาไทย : ไม่มี

วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาอังกฤษ : ไม่มี

4. ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

4.1. ปรัชญาของหลักสูตร

วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ เป็นศาสตร์ที่วัดด้วยการออกแบบ พัฒนา วางแผน ควบคุม จัดการและประเมินผลระบบการผลิตสินค้าและบริการ เพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กรโลจิสติกส์ โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด จัดการศึกษาให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและเน้นที่ผลลัพธ์การเรียนรู้โดยผสมศาสตร์และศิลป์ ทางด้าน วิศวกรรมและแนวความคิดความเป็นผู้ประกอบการ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทำงานใน วิชาชีพได้จริง มีความคิดสร้างสรรค์ นำไปสู่การพัฒนาชุมชนท้องถิ่นอย่างยั่งยืนบนพื้นฐานแห่งปัญญา

4.2. วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

1.2.1 เพื่อผลิตบัณฑิตด้านวิชาการที่มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์เพียงพอ เพื่อใช้ในการพัฒนางาน และความก้าวหน้าทางอาชีพ ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต

1.2.2 เพื่อผลิตบัณฑิตด้านวิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ให้มีทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเองในการปฏิบัติ ทักษะทางด้านดิจิทัล เพื่อการปรับปรุงพัฒนางานในการประกอบอาชีพ

1.2.3 เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีแนวคิดแบบผู้ประกอบการ กล้าตัดสินใจภายใต้สภาวะไม่แน่นอน กล้าคิดนอกกรอบ กรอบแนวคิดแบบเดิมนิเทศ เพื่อปรับตัวและสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ ภายใต้สถานการณ์ความไม่แน่นอน

1.2.4 เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

1.2.5 เพื่อผลิตบัณฑิตที่สามารถปฏิบัติตนภายใต้จรรยาบรรณวิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ด้วยความซื่อสัตย์สุจริต

1.2.6 เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีสมรรถนะผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565 ให้มีผลลัพธ์การเรียนรู้ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านทักษะ ด้านจริยธรรม ด้านคุณลักษณะบุคคล ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติบัณฑิตวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ที่สามารถพัฒนาชุมชนท้องถิ่นตามศาสตร์วิชาชีพของตน

* หมายเหตุ: หลักสูตรต้องมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้สำเร็จการศึกษาสามารถประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมและเพื่อประโยชน์ในการรองรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมในสาขาที่ขอรับรองได้อย่างเหมาะสม

5. ระบบการจัดการศึกษา

5.1. ระบบ

หลักสูตรนี้จัดการศึกษาระบบทวิภาค โดย 1 ปีการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษา ปกติ 1 ภาคการศึกษาปกติ มีระยะเวลาการศึกษาไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ และเป็นไปตามข้อบังคับของมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา

5.2. การจัดการศึกษาภาคฤดูร้อน

มีภาคการศึกษาฤดูร้อน มีระยะเวลาการศึกษาไม่น้อยกว่า 8 สัปดาห์

5.3. การเทียบเคียงหน่วยกิตในระบบทวิภาค

ไม่มี

6. โครงสร้างหลักสูตร

6.1 จำนวนหน่วยกิตรวมตลอดหลักสูตร 123 หน่วยกิต

6.2 โครงสร้างหลักสูตร

6.2.1 หมวดวิชาศึกษาทั่วไป 24 หน่วยกิต

6.2.2 หมวดวิชาเฉพาะ 93 หน่วยกิต

6.2.3 หมวดวิชาเลือกเสรี 6 หน่วยกิต

6.3 รายวิชา (แสดงรายละเอียดของรายวิชาตามโครงสร้างหลักสูตร)

6.3.1 หมวดวิชาศึกษาทั่วไป 24 หน่วยกิต

ก. หมวดวิชาศึกษาทั่วไป	ไม่น้อยกว่า	24 หน่วยกิต
กลุ่มสาระอยู่ดีมีสุข		6 หน่วยกิต
กลุ่มสาระศาสตร์แห่งผู้ประกอบการ		3 หน่วยกิต
กลุ่มสาระการสื่อสารอย่างสร้างสรรค์		6 หน่วยกิต
กลุ่มสาระพลเมืองที่เข้มแข็ง		6 หน่วยกิต
กลุ่มสาระสุนทรียศาสตร์		3 หน่วยกิต

6.3.2 หมวดวิชาเฉพาะ 93 หน่วยกิต

วิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์		ไม่น้อยกว่า 13 หน่วยกิต
6042101	คณิตศาสตร์วิศวกรรม 1 (Engineering Mathematics I)	3(3-0-6)
6042102	คณิตศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mathematics II)	3(3-0-6)
6042201	ฟิสิกส์ (Physics)	4(3-3-8)
6042301	เคมีสำหรับวิศวกร (Chemistry for Engineers)	3(2-3-5)

วิชาพื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์		ไม่น้อยกว่า 26 หน่วยกิต
6043401	เขียนแบบวิศวกรรม (Engineering Drawing)	3(2-3-5)
6043402	กลศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Mechanics)	3(3-0-6)
6043403	สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics)	3(3-0-6)

6043404	พื้นฐานวิศวกรรมไฟฟ้า (Fundamental of Electrical Engineering)	4(3-3-8)
6043405	วัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials)	4(3-3-8)
6043406	อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics)	3(3-0-6)
6043407	การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming)	3(3-0-6)
6043408	กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing Processes)	3(3-0-6)

วิชาเฉพาะสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์

ไม่น้อยกว่า 24 หน่วยกิต

6043501	วิศวกรรมความปลอดภัย (Safety Engineering)	3(3-0-6)
6043502	การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Plant Design)	3(3-0-6)
6043503	การวางแผนและควบคุมการผลิต (Production Planning and Control)	3(3-0-6)
6043504	การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)	3(3-0-6)
6043505	การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม (Industrial Work Study)	3(3-0-6)
6043506	การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research)	3(3-0-6)
6043507	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)	3(3-0-6)
6043508	วิศวกรรมซ่อมบำรุง (Maintenance Engineering)	3(3-0-6)

กลุ่มวิชาชีพในสาขาวิศวกรรม

ไม่น้อยกว่า 24 หน่วยกิต

6043601	ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ (Smart Warehouse System)	3(3-0-6)
6043602	การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน	3(3-0-6)

	(Logistics and Supply Chain Management)	
6043603	การขนส่งและการบริการแบบครบวงจร (Transportation and Delivery Logistics)	3(3-0-6)
6043604	การออกแบบระบบขนถ่ายวัสดุด้วยหุ่นยนต์อัตโนมัติ (Material Handling System Design by Robot Automatic)	3(3-0-6)
6043605	ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production System)	3(3-0-6)
6043606	ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 1 (Engineering Workshop I)	1(0-3-1)
6043607	ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 2 (Engineering Workshop II)	1(0-3-1)
6043608	การศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Plant Visit)	0(0-3-6)
6043609	สัมมนาสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ (Seminar for Industrial and Logistics Engineers)	0(0-3-6)
6043610	การเตรียมความพร้อมสำหรับสหกิจศึกษา (Cooperative Education Preparation)	1(1-6-4)
6043611	โครงการวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ 1 (Industrial and Logistics Engineering Project I)	1(0-3-1)
6043612	โครงการวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ 2 (Industrial and Logistics Engineering Project II)	2(0-6-2)
6043613	โลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Logistics)	3(3-0-6)

วิชาพื้นฐานวิชาชีพและวิชาชีพ หรือสหกิจศึกษา

ไม่น้อยกว่า 6 หน่วยกิต

6044701	สหกิจศึกษา (Cooperative Education)	6(0-60-0)

6.3.3 หมวดวิชาเลือกเสรี 6 หน่วยกิต

หมวดวิชาเลือกเสรี กำหนดให้เรียน 6 หน่วยกิต

กลุ่มวิชาที่เปิดสอนได้แก่

กลุ่มวิชาด้านวิศวกรรมโลจิสติกส์ (Logistics Engineering)

6045801	ระบบสารสนเทศสำหรับโลจิสติกส์ (Information Technology for Logistics and Supply Chain)	3(3-0-6)
6045802	กฎหมายการขนส่งและพิธีการศุลกากร (Legal Aspects for Transportation and Customs)	3(3-0-6)
6045803	การบริหารการจัดซื้อ (Purchasing Management)	3(3-0-6)
6045804	ระบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging System)	3(3-0-6)
6045805	การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multi-Modal Transport)	3(3-0-6)
6045806	วิศวกรรมระบบรางขั้นแนะนำ (Introduction to Railway System Engineering)	3(3-0-6)
6045807	การจัดการเชิงกลยุทธ์สำหรับโลจิสติกส์ (Strategic Management for Logistics)	3(3-0-6)
6045808	หัวข้อพิเศษทางด้านวิศวกรรมโลจิสติกส์ (Special Topics in Logistics Engineering)	3(3-0-6)

กลุ่มวิชาการจัดการวิศวกรรมและดำเนินการ

6045809	การจัดการโครงการวิศวกรรม (Engineering Project Feasibility)	3(3-0-6)
6045810	การบริหารอุตสาหกรรมสำหรับวิศวกร (Industrial Management for Engineers)	3(3-0-6)
6045811	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)	3(3-0-6)
6045812	การยศาสตร์ (Ergonomics)	3(3-0-6)
6045813	ระบบการวางแผนทรัพยากรขององค์กร (Enterprise Resource Planning System)	3(3-0-6)
6045814	การจำลองสถานการณ์	3(3-0-6)

	(Simulation in Production and Logistics)	
6045815	หัวข้อพิเศษทางการจัดการวิศวกรรม (Special Topics in Engineering Management)	3(3-0-6)

กลุ่มวิชาด้านระบบคุณภาพ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

6045816	ระบบมาตรฐานอุตสาหกรรม (Industrial Standard System)	3(3-0-6)
6045817	การขนส่งวัตถุอันตรายและของเสียอันตราย (Transport of Hazardous Waste)	3(3-0-6)
6045818	การประเมินผลกระทบมลพิษทางอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact of Industrial Pollution Assessment)	3(3-0-6)
6045819	หัวข้อพิเศษทางการจัดการสิ่งแวดล้อม (Special Topics in Environmental Management)	3(3-0-6)

กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการผลิต

6045820	วิศวกรรมเครื่องมือ (Tool Engineering)	3(3-0-6)
6045821	ระบบอัตโนมัติสำหรับการขนถ่ายวัสดุ (Automatic Systems for Material Handling)	3(3-0-6)
6045822	คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมขั้นสูง (Advance Computer Aided Engineering)	3(3-0-6)
6045823	การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)	3(3-0-6)
6045824	หัวข้อพิเศษทางเทคโนโลยีการผลิต (Special Topics in Production Technology)	3(3-0-6)

7. แผนการศึกษา

แผนการศึกษาที่ 2 : แผนการศึกษาสหกิจศึกษา (ผู้สำเร็จการศึกษาระดับ ม.6)

ปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
GE01101	สุขภาวะดีมีสุข	3(2-2-5)	กลุ่มสาระอยู่ดีมีสุข
GE03101	ภาษาอังกฤษในชีวิตประจำวัน	3(2-2-5)	กลุ่มสาระการ สื่อสารอย่าง สร้างสรรค์
6042101	คณิตศาสตร์วิศวกรรม 1	3(3-0-6)	เฉพาะ
6042201	ฟิสิกส์	4(3-3-8)	เฉพาะ
6043401	เขียนแบบวิศวกรรม	3(2-3-5)	เฉพาะ
6043606	ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 1	1(0-3-1)	เฉพาะ
6042301	เคมีสำหรับวิศวกร	3(2-3-5)	เฉพาะ
	รวม	20 หน่วยกิต	

ปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
GE021xx	กลุ่มสาระศาสตร์แห่งผู้ประกอบการ	3(2-2-5)	กลุ่มสาระศาสตร์ แห่งผู้ประกอบการ
GE051xx	กลุ่มสาระพลเมืองเข้มแข็ง	3(2-2-5)	กลุ่มสาระพลเมือง เข้มแข็ง
6042102	คณิตศาสตร์วิศวกรรม 2	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043403	สถิติวิศวกรรม	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043607	ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 2	1(0-3-1)	เฉพาะ
6043402	กลศาสตร์วิศวกรรม	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043407	การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3(3-0-6)	เฉพาะ
	รวม	19 หน่วยกิต	

ปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
GE01102	สมาธิเพื่อพัฒนาชีวิต	3(2-2-5)	กลุ่มสาระอยู่ดีมีสุข
GE03102	ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารเชิงสร้างสรรค์	3(2-2-5)	กลุ่มสาระการสื่อสารอย่างสร้างสรรค์
6043405	วัสดุวิศวกรรม	4(3-3-8)	เฉพาะ
6043506	การวิจัยดำเนินงาน	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043505	การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043406	อุณหพลศาสตร์	3(3-0-6)	เฉพาะ
	รวม	19 หน่วยกิต	

ปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
GE041xx	กลุ่มสาระพลเมืองเข้มแข็ง	3(2-2-5)	กลุ่มสาระพลเมืองเข้มแข็ง
GE051xx	กลุ่มสาระสุนทรียศาสตร์	3(2-2-5)	กลุ่มสาระสุนทรียศาสตร์
6043602	การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043408	กรรมวิธีการผลิต	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043404	พื้นฐานวิศวกรรมไฟฟ้า	4(3-3-8)	เฉพาะ
6043601	ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ	3(3-0-6)	เฉพาะ
	รวม	19 หน่วยกิต	

ปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
6043507	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043604	การออกแบบระบบขนถ่ายวัสดุด้วยหุ่นยนต์อัตโนมัติ	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043503	การวางแผนและควบคุมการผลิต	3(3-3-6)	เฉพาะ
6043609	สัมมนาสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์	0(0-3-6)	เฉพาะ
6043603	การขนส่งและบริการแบบครบวงจร	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043504	การควบคุมคุณภาพ	3(3-0-6)	เฉพาะ
	รวม	15 หน่วยกิต	

ปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
6043611	โครงการวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ 1	1(0-3-1)	เฉพาะ
6043608	การศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรม	0(0-0-0)	เฉพาะ
6043501	วิศวกรรมความปลอดภัย	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043508	วิศวกรรมการซ่อมบำรุง	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043502	การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม	3(3-0-6)	เฉพาะ
xxxxxxx	กลุ่มวิชาเลือกเสรี	3(x-x-x)	เลือกเสรี
	รวม	13 หน่วยกิต	

ปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
6043605	ระบบการผลิตแบบลีน	3(3-0-6)	เฉพาะ
6043612	โครงการวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ 2	2(0-6-2)	เฉพาะ
6043610	การเตรียมความพร้อมสำหรับสหกิจศึกษา	1(1-6-4)	เฉพาะ
6043613	โลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อม	3(3-0-6)	เฉพาะ
xxxxxxx	กลุ่มวิชาเลือกเสรี	3(x-x-x)	เลือกเสรี
รวม		12 หน่วยกิต	

ปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต	หมวดวิชา
6044701	สหกิจศึกษา	6(0-40-0)	สหกิจศึกษา
รวม		6 หน่วยกิต	

การเทียบโอน/ยกเว้นรายวิชา

1. หมวดวิชาศึกษาทั่วไป	24 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 24 หน่วยกิต
- กลุ่มสาระอยู่ดีมีสุข	6 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต
- กลุ่มสาระศาสตร์แห่งผู้ประกอบการ	3 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต
- กลุ่มสาระการสื่อสารอย่างสร้างสรรค์	6 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต
- กลุ่มสาระพลเมืองที่เข้มแข็ง	6 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต
- กลุ่มสาระสุนทรียศาสตร์	3 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต
2. หมวดวิชาเฉพาะ	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
3. หมวดวิชาเลือกเสรี	6 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต
รวมหน่วยกิตที่ขอเทียบโอนไม่เกิน		23 หน่วยกิต
จำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตร		123 หน่วยกิต
จำนวนหน่วยกิตคงเหลือ		100 หน่วยกิต

8. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร

- หลักสูตรปรับปรุงผ่านการอนุมัติหลักสูตรจากมตีสภามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ปี 2567
- กำหนดเปิดการเรียนการสอน ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567
- ได้รับอนุมัติการเปิดหลักสูตร จากมตีสภามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ กรณีพิเศษ ครั้งที่ 11/2566 วันศุกร์ที่ 24 พฤศจิกายน 2566 เรื่องการขอปรับปรุงหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์

9. ชื่อผู้รับรอง/อนุมัติข้อมูล

ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งบริหาร	(วาระการดำรงตำแหน่ง)	ลายมือชื่อผู้รับรอง
ผศ.ดร.सानนท์ ด้านภักดี	รักษาราชการแทนอธิการบดี	พ.ศ 2566 - ปัจจุบัน	

10. ผู้รับผิดชอบหลักสูตรและผู้ประสานงาน

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่ง	โทรศัพท์	E-mail
1	นางสาววรารณ จันทร์เวียง	ประธานหลักสูตร		
2	นางสาวกมลรักษ์ แก้วคำ	อาจารย์ประจำ		
3	ดร.รัชฎ์ สุทธิ	อาจารย์ประจำ		
4	นายศรัณยู เหลาพา	อาจารย์ประจำ		
5	นายปวิณ เกรียงเกษม	อาจารย์ประจำ		

ส่วนที่ 2 ข้อมูลคณาจารย์ และลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์

1. ชื่อและคุณวุฒิการศึกษาของประธานหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ ชื่อ-สกุล	คุณวุฒิ /สาขาวิชา/สถาบันการศึกษา	ปีที่สำเร็จ การศึกษา	ประสบการณ์ การสอน
1	อ.วราภรณ์ จันท์เวียง	วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	2552 2556	10 ปี
2	อ.กมลรักษ์ แก่งคำ	วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	2553 2546	14 ปี
3	อ.ดร.รัชฎ์ สุทธิ	คอ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี วศ.ม. วิศวกรรมพลังงาน (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) ปร.ด. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)	2552 2555 2563	16 ปี
4	อ.ศรัณยู เหลาพา	วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	2546 2550	10 ปี
5	อ.ปวีณ เกรียงเกษม	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)	2549 2554	11 ปี

2. ชื่อและคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์ ประจำหลักสูตร/สาขาวิชา

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ ชื่อ-สกุล	คุณวุฒิ /สาขาวิชา/สถาบันการศึกษา	ปีที่สำเร็จ การศึกษา	ประสบการณ์ การสอน
1	อ.กมลรักษ์ แก่งคำ	วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	2553 2546	14 ปี
2	อ.วราภรณ์ จันท์เวียง	วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	2552 2556	10 ปี
3	อ.ดร.รัชฎ์ สุทธิ	คอ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี วศ.ม. วิศวกรรมพลังงาน (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) ปร.ด. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)	2552 2555 2563	16 ปี
4	อ.ศรัณยู เหลาพา	วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยขอนแก่น) วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	2546 2550	10 ปี
5	อ.ปวีณ เกรียงเกษม	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)	2549 2554	11 ปี

3. ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์สำหรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (Graduate Attributes and Professional Competencies)

3.1 ตารางความเชื่อมโยงระหว่างรายวิชาในหลักสูตรกับลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รหัสวิชา/รายวิชา
1	ความรู้ด้านวิศวกรรม (Engineering Knowledge) - สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ พื้นฐานทางวิศวกรรม และความรู้ เฉพาะทางวิศวกรรม เพื่อการแก้ไขและหาคำตอบ ของปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน	6042102 สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics)
		6043505 การศึกษาการทำงาน อุตสาหกรรม (Industrial Work Study)
2	การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis) - สามารถระบุ ตั้งสมการ วิจัย สืบค้น และวิเคราะห์ ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน เพื่อให้ได้ข้อสรุป ของปัญหาที่มีนัยสำคัญ โดยใช้ หลักการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ และ วิทยาการทางวิศวกรรมศาสตร์	6043506 การวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research)
		6043508 วิศวกรรมการซ่อมบำรุง (Maintenance Engineering)
3	การออกแบบ/พัฒนาหาคำตอบของปัญหา (Design/Development of Solutions) - สามารถพัฒนาหาคำตอบของปัญหาทาง วิศวกรรมที่ซับซ้อน และออกแบบระบบ ชิ้นงาน หรือกระบวนการ ตามความจำเป็นและเหมาะสม กับข้อพิจารณาทางด้านสาธารณสุข ความปลอดภัย วัฒนธรรม สังคม และสิ่งแวดล้อม	6043405 วัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) 6043606 ปฏิบัติการวิศวกรรม โรงงาน 1 (Engineering Workshop I) 6043607 ปฏิบัติการวิศวกรรม โรงงาน 2 (Engineering Workshop II) 6043408 กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes)
4	การสืบค้น (Investigation) - สามารถดำเนินการสืบค้นเพื่อหาคำตอบของ ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน โดยใช้ความรู้จากงานวิจัยและวิธีการวิจัย รวมถึง การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ และการแปลความหมายของข้อมูล การสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลสรุปที่ เชื่อถือได้	6043504 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)
5	การใช้เครื่องมือทันสมัย (Modern Tool Usage) - สามารถสร้าง เลือกใช้ เทคนิควิธี ทรัพยากร และ ใช้เครื่องมือทันสมัยทาง วิศวกรรมและเทคโนโลยี สารสนเทศ รวมถึงการพยากรณ์ การทำแบบจำลอง ของงานทางวิศวกรรมที่ซับซ้อนที่ เข้าใจถึงข้อจำกัดของเครื่องมือต่างๆ	6043503 การวางแผนและควบคุม การผลิต (Production Planning and Control)
		6043601 ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ (Smart Warehouse System)
		6043604 การออกแบบระบบขน ถ่ายวัสดุด้วยหุ่นยนต์อัตโนมัติ

		(Material Handling System Design by Robot Automatic)
		6043603 การขนส่งและบริการแบบครบวงจร (Transportation and Delivery Logistics)
6	วิศวกรและสังคม (The Engineer and Society) - สามารถใช้เหตุและผลจากหลักการและความรู้ที่ได้รับ มาประเมินประเด็นและผลกระทบต่างๆ ทางสังคม ชีวอนามัย ความปลอดภัย กฎหมาย และวัฒนธรรม ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรม	6043501 วิศวกรรมความปลอดภัย (Safety Engineering)
7	สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน (Environment and Sustainability) - สามารถเข้าใจผลกระทบของคำตอบของปัญหามงานทางวิศวกรรมในบริบทของสังคมและสิ่งแวดล้อม และสามารถแสดงความรู้และความจำเป็นของการพัฒนาที่ยั่งยืน	6043613 โลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Logistics) 6043605 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production System)
8	จรรยาบรรณวิชาชีพ (Ethics) - สามารถใช้หลักการทางจรรยาบรรณและมีสำนึก รับผิดชอบต่อมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรม	6043501 วิศวกรรมความปลอดภัย (Safety Engineering) 6043502 การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Plant Design)
9	การทำงานเดี่ยวและทำงานเป็นทีม (Individual and Team work) - ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการ ทำงานเดี่ยว และการทำงานในฐานะผู้ร่วมทีมหรือ ผู้นำทีมที่มีความหลากหลายของสาขาวิชาชีพ	6043609 สัมมนาสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ (Seminar for Industrial and Logistics Engineers)
10	การสื่อสาร (Communication) - สามารถสื่อสารงานวิศวกรรมที่ซับซ้อนกับกลุ่มผู้ ปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรมและสังคมโดยรวมได้อย่าง มีประสิทธิภาพ อาทิ สามารถอ่านและเขียนรายงาน ทางวิศวกรรมและเตรียมเอกสารการออกแบบงาน วิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำเสนอ สามารถให้และรับคำแนะนำงานได้อย่างชัดเจน	6043401 เขียนแบบวิศวกรรม (Engineering Drawing)
11	การบริหารโครงการและการลงทุน (Project Management and Finance) - สามารถแสดงว่ามีความรู้และความเข้าใจ หลักการทางวิศวกรรมและการบริหารงาน และ สามารถประยุกต์ใช้หลักการบริหารในงานของตน ในฐานะผู้ร่วมทีมและผู้นำทีมเพื่อบริหารจัดการ โครงการวิศวกรรมที่มีสภาพแวดล้อมการทำงาน ความหลากหลายสาขาวิชาชีพ	6043507 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)
12	การเรียนรู้ตลอดชีพ (Lifelong Learning) - ตระหนักและเห็นความจำเป็นในการเตรียมตัว เพื่อให้สามารถการปฏิบัติงานได้โดยล่ำพั่งและ สามารถการเรียนรู้ตลอดชีพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม	6043611 โครงการงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ 1 (Industrial and Logistics Engineering Project I) 6043612 โครงการงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ 2 (Industrial and Logistics Engineering Project II)

ส่วนที่ 3 รายละเอียดองค์ความรู้ ในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม

1. ตารางแจกแจงรายวิชาเทียบกับองค์ความรู้ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์			
1.1 คณิตศาสตร์เชิงวิศวกรรม Vector algebra in three dimensions ²¹ ; limit, continuity, differentiation and integration of real valued and vector-valued functions of a real variable and their applications; techniques of integration; introduction to line integrals; improper integrals. Applications of derivative; indeterminate forms; introduction to differential equations and their applications.	limit, continuity, differentiation and integration of real valued and vector-valued functions of a real variable and their applications; techniques of integration; introduction to line integrals; improper integrals. Applications of derivative; indeterminate forms; introduction to differential equations and their applications.	6042101 (Engineering Mathematics I)	3(3-0-6) 3 50 %
	Vector algebra in three dimensions ²¹ ; mathematical induction; sequences and series of numbers; Taylor series expansions of elementary functions; numerical integration; polar coordinates; calculus of real-valued functions of two variables. Lines; planes; and surfaces in three-dimensional space; calculus of real valued functions of several variables and its applications ²²	6042102 (Engineering Mathematics II)	3(3-0-6) 3 50 %
1.2 ฟิสิกส์ Mechanics of particles and rigid bodies; properties of matter; fluid mechanics; heat; vibrations and waves; elements of electromagnetism. AC circuits; fundamental	Mechanics of particles and rigid bodies; properties of matter; fluid mechanics; heat; vibrations and waves; elements of electromagnetism. AC circuits; fundamental electronics; optics; modern physics. Capable on using vernier caliper & micrometer; measurement and uncertainty; graph and equation; circular motion; projectile motion;	6042201 (Physics)	4(3-3-8) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
electronics; optics; modern physics.	collision; force equilibrium; spring & oscillation; moment of inertia; static equilibrium of rigid b o d i e s		
1.3 เคมี Stoichiometry and basis of the atomic theory; properties of gas, liquid, solid and solution; chemical equilibrium; ionic equilibrium; chemical kinetic; electronic structures of atoms; chemical bonds; periodic properties; representative elements; nonmetal and transition metals. This course includes the following topics: Uncertainty of measurement, pH measurements and quantitative analysis by titration, thermochemistry, colligative properties of solutions, rate of reaction, electrochemistry and extraction technique.		6042301 (Chemistry for Engineers)	3(2-3-5) 3 100 %
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม			
2.1 เขียนแบบวิศวกรรม Engineering Drawing Lettering; orthographic projection; orthographic drawing and pictorial drawings, dimensioning and tolerancing; sections, auxiliary views and development; freehand sketches, detail and assembly drawings; basic computer-aided drawing.	The significance of drawing; instruments and their uses; freehand lettering; applied geometry; pictorial drawing; theory of orthographic projections of points, lines and planes; freehand sketching; sectioned views; size description; dimensions and specifications; introduction to computer aided drawings.	6043401 (Engineering Drawing)	3(2-3-5) 3 100 %
2.2 กลศาสตร์ Engineering Mechanics Force systems; resultant; equilibrium; fluid statics; kinematics and kinetics of particles and rigid bodies; Newton's second law of motion; work and energy, impulse and momentum.	Statics : Force systems; resultant; equilibrium; friction; principle of virtual work, and stability, Introduction to dynamics.	6043402 (Engineering Mechanics)	3(3-0-6) 3 100 %
2.3 วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials Study of relationship between structures, properties, production processes and	Study of relationship between structures, properties, production processes and applications of main groups of engineering materials i.e. metals, polymers, ceramics and composites; mechanical properties and materials degradation. Capable on using the	6043405 (Engineering Materials)	4(3-3-8) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
applications of main groups of engineering materials i.e. metals, polymers, ceramics and composites; phase equilibrium diagrams and their interpretation; mechanical properties and materials degradation.	laboratory experiments that involve of engineering material, principles of materials testing and engineering mechanics.		
2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับวิศวกร Computer Programming Computer concepts; computer components; hardware and software interaction; EDP concepts; program design and development methodology; high-level language programming	Computer concepts and computer components; hardware and software interaction; electronic data processing (EDP) concepts; event-driven programming concepts; high-level language programming concepts; program design and development methodology; data types; variable, constant; operations and expression; statement and compound statement, flow controls, sequence, alteration and iteration; subprograms and parameter passing process, scope of variable and subprogram, arrays and data structures.	6043407 (Computer Programming)	3(3-0-6) 3 100 %
2.5 สถิติวิศวกรรม Engineering Statistics / Probability and Statistics Probability theory; random variables; statistical inference; analysis of variance; regression and correlation; using statistical methods as the tool in problem solving.	Probability, random variable, probability distribution, continuous and discrete models, function of random variable, random sample distribution, estimation of parameters, confidence interval, hypothesis testing, statistical inference, analysis of variance, regression and linear correlation, using statistical methods as the tool in problem solving to industrial systems, and usage of computer programs.	6043403 (Engineering Statistics)	3(3-0-6) 3 100 %
2.6 กระบวนการผลิต Manufacturing Processes Theory and concept of manufacturing processes such as casting, forming, machining and welding; material and manufacturing processes relationships; fundamental of manufacturing cost	Introduction to manufacturing processes; theory and concept of manufacturing processes such as casting, forming, machining and welding; materials and manufacturing processes relationships; fundamental of manufacturing cost; modern technology in manufacturing processes.	6043408 (Manufacturing Processes)	3(3-0-6) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
2.7 อุณหพลศาสตร์ Thermodynamics of Materials First and second laws of thermodynamics. Criteria for equilibria in constant pressure processes. Free energy as a function of temperature, pressure and chemical potential. Equilibrium in gas mixtures. Equilibrium between condensed phases and gas phases. Free energy diagram. Solution behavior	Basic concepts and definitions; properties of pure substance; ideal gas; first law of thermodynamics; second law of thermodynamics and Carnot cycle; work, heat and energy, entropy, basic heat transfer and energy conversion, basic power and refrigeration cycle, efficiency.	6043406 (Thermodynamics)	3(3-0-6) 3 100 %
2.8 ความรู้พื้นฐานไฟฟ้า Fundamental of Electrical Engineering Basic DC and AC circuit analysis; voltage; current and power; transformers; introduction to electrical machinery; generators, motors and their uses; concepts of three-phase systems; method of power transmission; introduction to some basic electrical instruments.	Basic DC and AC circuit analysis, voltage, current and power, Ohm's law and Kirchhoff's law, real and reactive power; power factor; power factor correction; three-phase systems; methods of power transmission; transformers; introduction to electric machinery; generators and motors and their uses; introduction to electrical instruments. The laboratory experiments that involve of basic DC and AC circuit i.e. voltage, current, power, transformers, electrical machinery, generators, motors, three-phase systems.	6043404 (Fundamental of Electrical Engineering)	4(3-3-8) 3 100 %
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม			
3.1 องค์ความรู้ด้านวัสดุอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิต กระบวนการทางวิศวกรรมของโลหะ อโลหะ และวัสดุทางวิศวกรรมกระบวนการผลิตทางเทคโนโลยีสมัยใหม่ การวิเคราะห์และการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการโดยการแปลงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงนวัตกรรม	แนวทางการบริหารจัดการคลังสินค้า และศูนย์กระจายสินค้า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและโอกาส บทบาทของคลังสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน การออกแบบคลังสินค้า การเลือกทำเลที่ตั้ง การวางแผนการไหลของวัสดุและศูนย์กระจายสินค้า การวางแผนการไหลของวัสดุแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบคลังสินค้าและเครือข่ายกระจายสินค้า รวมทั้งการนำระบบอัตโนมัติ เข้ามาใช้ในการจัดการคลังสินค้า เช่น การฝึกเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ เครื่องมือ และกระบวนการ เครื่องควบคุมแบบลำดับที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ และการเขียนภาษาคำสั่งอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานควบคุมอัตโนมัติ เป็นต้น การพิจารณาปัจจัยทางการเงิน บทบาทของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าทั้งในและต่างประเทศ การ	6043601 ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ (Smart Warehouse System)	3(3-0-6) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
	ออกแบบชิ้นงานสินค้า การบริหารจัดการข้อมูลของ คลังสินค้า การจัดการความเสี่ยง ความปลอดภัยใน คลังสินค้า การขนส่งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า กรณีศึกษาจากงานจริง		
3.2 องค์ความรู้ ระบบงานและ ความปลอดภัย การศึกษา และ ออกแบบ ระบบงานเพื่อการปรับปรุงผลิต ภาพ และประสิทธิภาพการผลิต การศึกษาวเคราะห์และการ ออกแบบระบบงานเพื่อความ ปลอดภัย การยะศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ระบบดับเพลิง และ การประเมินความเสี่ยงใน อุตสาหกรรม การจัดการกาก กัมมันตรังสี	การป้องกันการสูญเสีย การออกแบบ การวิเคราะห์และ การควบคุมพื้นที่ในการทำงานที่อาจเกิดอันตราย สภาพ ภัยเสี่ยงและอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม หลักการ จัดการความปลอดภัย มาตรฐานด้านความปลอดภัย และอาชีวอนามัย การจัดการความเสี่ยงด้านความ ปลอดภัย การป้องกันอัคคีภัย หลักการในการควบคุม สิ่งแวดล้อมทางอุตสาหกรรม องค์ประกอบด้านมนุษย์ และจิตวิทยาอุตสาหกรรมเบื้องต้น เทคนิคการปฐม พยาบาล กฎหมายความปลอดภัย	6043501 วิศวกรรมความปลอดภัย (Safety Engineering)	3(3-0-6) 3 100 %
	องค์ความรู้เกี่ยวกับการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว ระเบียบปฏิบัติ ของการศึกษาวิธีการ รวมทั้งการ ประยุกต์หลักการการเคลื่อนไหวเชิงเศรษฐศาสตร์ การ ใช้แผนภูมิและแผนภาพกระบวนการผลิต แผนภูมิคน เครื่องจักร การศึกษาการเคลื่อนไหวแบบจุลภาค การศึกษาเวลา การกำหนดเวลามาตรฐาน เทคนิคการ วัดผลงาน การประเมินอัตราการทำงาน การสุ่มตัวอย่าง งานระบบข้อมูลมาตรฐาน และเครื่องมือวัดผลงานอื่น ๆ	6043505 การศึกษาการทำงาน อุตสาหกรรม (Industrial Work Study)	3(3-0-6) 3 100 %
3.3 องค์ความรู้ด้านระบบ คุณภาพ ระบบการควบคุมคุณภาพและ การประกันคุณภาพ การจัดการ คุณภาพเชิงรวม กระบวนการ ออกและวิเคราะห์แผนการ ทดลองเพื่อกำหนดสภาวะการณ์ การผลิตที่เหมาะสม และ วิศวกรรมคุณภาพเพื่อความ น่าเชื่อถือได้ตลอดจนวิศวกรรม นวัตกรรม	การควบคุม คุณภาพ และการบริหารคุณภาพ แนวความคิดและวิวัฒนาการ ด้านคุณภาพ การควบคุม คุณภาพที่หน้างาน การประยุกต์วิธีการทางสถิติในการ ควบคุมคุณภาพ การควบคุมคุณภาพกระบวนการโดย อาศัยสถิติ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ การประเมินผลระบบการวัดเทคนิคการชักสิ่งตัวอย่าง เพื่อการยอมรับ ระบบการบริหารคุณภาพ	6043504 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)	3(3-0-6) 3 100 %
3.4 องค์ความรู้ด้าน เศรษฐศาสตร์และการเงิน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อการตัดสินใจในงาน วิศวกรรมภายใต้ความเสี่ยงและ ความไม่แน่นอน การจัดการ ต้นทุน เพื่อ การ จัด การ งบประมาณ และการจัดการ	การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ทาง เศรษฐศาสตร์ของวิศวกรรมและโครงการหรือธุรกิจ เช่น การคิดดอกเบี้ย การคิดค่าเสื่อมราคา ต้นทุนชนิดต่างๆ การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจ ทางเลือก เปรียบเทียบผลของความเสี่ยงและความไม่ แน่นอน อัตราผลตอบแทน ภาษี เงินเพื่อ การวิเคราะห์ จุดคุ้มทุน การวิเคราะห์ความไว และการวิเคราะห์การ ทดแทนทรัพย์สิน	6043507 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)	3(3-0-6) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
และการวิเคราะห์ทางการเงิน และการบัญชี การศึกษา วิเคราะห์และประเมินเป็นไปได้ ของโครงการ			
3.5 องค์ความรู้ด้านการ จัดการการผลิตและดำเนินการ การวางแผนและควบคุมการ ผลิต การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อจัดการการผลิตการจัดการ ระบบการซ่อมบำรุงและการ จัดการองค์กรของระบบการ ผลิตและการบริการระบบการ จัดการนวัตกรรมในองค์กร	ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรม การผลิต อุตสาหกรรมเกษตรและอื่นๆ เทคนิคการ พยากรณ์ การจัดการวัสดุคงคลัง การวิเคราะห์ต้นทุน และกำไรเพื่อการตัดสินใจ การจัดลำดับและตารางการ ผลิต การควบคุมการผลิต เทคนิคสมัยใหม่ในการ วางแผนและควบคุมการผลิต พร้อมทั้งสามารถ ปฏิบัติการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ที่ เกี่ยวข้องกับ การทดลองทางด้านการวางแผนและ ควบคุมการผลิต การวิจัยดำเนินงาน และการศึกษา การทำงานอุตสาหกรรม	6043503 การวางแผนและควบคุมการ ผลิต (Production Planning and Control)	3(3-0-6) 3 100 %
	ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิจัยดำเนินงานในการแก้ปัญหา งานวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์สมัยใหม่ โดย เน้นด้านการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ การโปรแกรม เชิงเส้นตรง ปัญหาการขนส่ง ทฤษฎีเกมส์ ปัญหา แถวคอย ปัญหาสินค้าคงคลัง และเทคนิคการจำลอง สถานการณ์เพื่อการตัดสินใจ	6043506 การวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research)	3(3-0-6) 3 100 %
	แนวคิดในการซ่อมบำรุงในทางอุตสาหกรรม และ การบำรุงรักษาวิผลที่ทุกคน มีส่วนร่วม (TPM) การวิเคราะห์สถิติของการชำรุดของเครื่องจักร ความเชื่อถือได้ ความสามารถในการบำรุงรักษาและ ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร การหล่อลื่น การซ่อม บำรุงเชิงป้องกันและเทคโนโลยีในการตรวจติดตาม สถานะการชำรุดของเครื่องจักร การควบคุมการซ่อม บำรุงและ การสั่งการซ่อมบำรุง โครงสร้างหน่วยงาน และการจัดการทรัพยากรมนุษย์ในหน่วยงานซ่อมบำรุง การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดการการซ่อมบำรุง การบริหารจัดการแบบครบวงจร รายงานการซ่อมบำรุง และดัชนีชี้วัด การพัฒนาระบบการซ่อมบำรุง	6043508 วิศวกรรมการซ่อมบำรุง (Maintenance Engineering)	3(3-0-6) 3 100 %
	หลักการและความสำคัญของการจัดการโลจิสติกส์และ โซ่อุปทานในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเกษตร และอื่น ๆ กลยุทธ์โซ่อุปทาน กิจกรรมโลจิสติกส์ การ ประเมินระบบโลจิสติกส์ ตัวชี้วัด และการวัดระดับการ บริการลูกค้า เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับโลจิสติกส์ และ โซ่อุปทาน เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ การตรวจสอบ ย้อนกลับ รวมถึงแนวโน้มโลจิสติกส์และโซ่อุปทานระดับ โลก	6043602 การจัดการโลจิสติกส์และโซ่ อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management)	3(3-0-6) 3 100 %
	เรียนรู้ระบบการผลิตสมัยใหม่ ระบบการผลิตแบบโตโย ต้า ระบบการผลิตแบบลีน การบริหารคุณภาพโดยรวม การบำรุงรักษาวิผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม การผลิต แบบทันเวลาพอดี เครื่องมือทางวิศวกรรมคุณภาพที่ใช้	6043605 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production System)	3(3-0-6) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
	ในการแก้ไขปัญหาการผลิต การวิเคราะห์ความสูญเสีย ในระบบการผลิตด้วยแนวคิดแบบ Six Sigma การ วิเคราะห์แผนผังสายธารคุณค่าในกระบวนการผลิต วิเคราะห์ระบบ การผลิตและการผลิตแบบต่าง ๆ ใน อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเกษตรและอื่นๆ เช่น Single Machine Cell (SMC) การผลิตแบบ Cellular การจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ การผลิตแบบยืดหยุ่น สายการประกอบแบบ Manual การผลิตแบบ Transfer Lines การวิเคราะห์รอบการผลิต อัตราการ ผลิต ประสิทธิภาพ และการจัดสมดุลสายการผลิต		
	แนวทางการบริหารจัดการคลังสินค้า และศูนย์กระจาย สินค้า แนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงและโอกาส บทบาท ของคลังสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน การออกแบบ คลังสินค้า การเลือกทำเลที่ตั้ง การวางผังคลังสินค้า และศูนย์กระจายสินค้า การวางแผนการไหลของวัสดุ แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบ คลังสินค้าและเครือข่ายกระจายสินค้า รวมทั้งการนำ ระบบอัตโนมัติ เข้ามาใช้ในการจัดการคลังสินค้า เช่น การฝึกเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ เครื่องมือ และ กระบวนการ เครื่องควบคุมแบบลำดับที่สามารถ โปรแกรมการทำงานได้ และการเขียนภาษาคำสั่งอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานควบคุมอัตโนมัติ เป็นต้น การ พิจารณาปัจจัยทางการเงิน บทบาทของคลังสินค้าและ ศูนย์กระจายสินค้าทั้งในและต่างประเทศ การออกแบบ ชั้นวางสินค้า การบริหารจัดการข้อมูลของคลังสินค้า การจัดการความเสี่ยง ความปลอดภัยในคลังสินค้า การ ขนส่งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้ากรณีศึกษาจากงาน จริง	6043601 ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ (Smart Warehouse System)	3(3-0-6) 3 100 %
3.6 องค์ความรู้ด้านการบูรณา การวิธีการทางวิศวกรรม อุตสาหกรรม การบูรณาการความรู้ในองค์ ความรู้ หรือวิชาอื่นๆ ใน หลักสูตรตั้งแต่สององค์ความรู้ หรือวิชาขึ้นไปเพื่อแก้ไขปัญหา เสนอแนะแนวทางการปรับปรุง วิธีการหรือแนวทางใหม่ในงาน วิศวกรรม ระบบ และการ บริการอื่นๆ	บทบาทของการออกแบบโรงงานเบื้องต้น การวางแผนใน การวางผังโรงงาน อุปกรณ์พื้นฐาน สาธารณูปโภค พื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกภายในโรงงาน อุปกรณ์ช่วย ในการขนย้ายชิ้นงาน ลักษณะทั่วไปของ ปัญหาด้านการวางผังโรงงาน การวิเคราะห์เพื่อหาทำเล ที่ตั้ง ของโรงงาน การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ของ การวางผังโรงงานทั้งด้านพื้นฐานและด้านฟังก์ชันเสริม ในการผลิต	6043502 การออกแบบโรงงาน อุตสาหกรรม (Industrial Plant Design)	3(3-0-6) 3 100 %
	การศึกษางานวิจัยเพื่อทำโครงร่างของโครงการงาน วิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ โดยการเตรียม หัวข้อและแนวทางการศึกษาวิจัย ตลอดจนการเริ่มทำ การวิจัยในเบื้องต้น ซึ่งต้องอยู่ใน ความดูแลและการ ควบคุม ของอาจารย์ที่ปรึกษา ทั้งนี้โดยความเห็นชอบ	6043611 โครงการวิศวกรรมอุตสาหกรรม และโลจิสติกส์ 1 (Industrial and Logistics Engineering Project I)	3(3-0-6) 3 100 %

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รายละเอียดและสาระ ของรายวิชาในหลักสูตร	รหัสวิชาและชื่อวิชา (ภาษาอังกฤษ)	ภาระหน่วยกิตและ สัดส่วนของเนื้อหา รายวิชา (%)
	จากคณะกรรมการในสาขาวิชา และมีการนำเสนอผลงานค้นคว้าในช่วงปลายภาคเรียน		
	เป็นการศึกษาวิจัยและทดลองต่อจากโครงงานวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ 1 พร้อมกันนี้ นักศึกษาต้องส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ซึ่งรวมถึง ผลของการวิจัยทดลอง การวิเคราะห์ผล บทสรุป และ นำเสนองานวิจัยฉบับสมบูรณ์ต่อคณะกรรมการใน ภาควิชา เมื่อสิ้นสุด การเรียนการสอนของวิชานี้	6043612 โครงงานวิศวกรรมอุตสาหการ และโลจิสติกส์ 2 (Industrial and Logistics Engineering Project II)	3(3-0-6) 3 100 %

2. ตารางแสดงผู้สอนในแต่ละองค์ความรู้ สาขาวิชาระบุชื่อของสาขาวิชาและวิชาเอก/แขนงวิชา

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต ตาม หลักสูตร	รายชื่อและคุณวุฒิของผู้สอน
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์				
1.1 คณิตศาสตร์เชิงวิศวกรรม Vector algebra in three dimensions ²¹ ; limit, continuity, differentiation and integration of real valued and vector- valued functions of a real variable and their applications; techniques of integration; introduction to line integrals; improper integrals. Applications of derivative; indeterminate forms; introduction to differential equations and their applications ¹¹ ; mathematical induction; sequences and series of numbers; Taylor series expansions of elementary functions; numerical integration; polar coordinates; calculus of real-valued functions of two variables. Lines; planes; and surfaces in three- dimensional space; calculus of real valued functions of several variables and its applications ^{2 2}	6042101	(Engineering Mathematics I)	3(3-0-6)	อาจารย์วรภรณ์ จันทร์เวียง วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประสบการณ์สอน 10 ปี
	6042102	(Engineering Mathematics II)	3(3-0-6)	อาจารย์ ปวีณ เกรียงเกษม วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประสบการณ์สอน 10 ปี
1.2 ฟิสิกส์ Mechanics of particles and rigid bodies; properties of matter; fluid mechanics; heat; vibrations and waves; elements of electromagnetism. AC circuits; fundamental electronics;	6042201	(Physics)	4(3-3-8)	อาจารย์ ดร.สุภัตรา บุตรเสรีชัย ปร.ด. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ประสบการณ์สอน 10 ปี

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต ตาม หลักสูตร	รายชื่อและคุณวุฒิของผู้สอน
optics; modern physics.				
1.3 เคมี Stoichiometry and basis of the atomic theory; properties of gas, liquid, solid and solution; chemical equilibrium; ionic equilibrium; chemical kinetic; electronic structures of atoms; chemical bonds; periodic properties; representative elements; nonmetal and transition metals	6042301	(Chemistry for Engineers)	3(2-3-5)	อาจารย์ ดร.สุกัญญา หงษ์ทอง วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมเคมีและชีวภาพ) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี MSC Advanced Chemical Engineering, The University Of Birmingham (UK) Ph.D Chemical Engineering, The University Of Bath(UK) ประสบการณ์สอน 10 ปี
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม				
2.1 เขียนแบบวิศวกรรม Engineering Drawing Lettering; orthographic projection; orthographic drawing and pictorial drawings, dimensioning and tolerancing; sections, auxiliary views and development; freehand sketches, detail and assembly drawings; basic computer-aided drawing.	6043401	(Engineering Drawing)	3(2-3-5)	อาจารย์ ศรัณยู เหลาพา วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประสบการณ์สอน 9 ปี
2.2 กลศาสตร์ Engineering Mechanics Force systems; resultant; equilibrium; fluid statics; kinematics and kinetics of particles and rigid bodies; Newton's second law of motion; work and energy, impulse and momentum.	6043402	(Engineering Mechanics)	3(3-0-6)	อาจารย์ ดร.สุพัตรา บุตรเสรีชัย พร.ด. (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประสบการณ์สอน 12 ปี
2.3 วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials Study of relationship between structures, properties, production processes and applications of main groups of engineering materials i.e. metals, polymers, ceramics and composites; phase equilibrium diagrams and their interpretation; mechanical properties and materials degradation.	6043405	(Engineering Materials)	4(3-3-8)	อาจารย์ ดร.รัชฎ์ สุทธิ พร.ด. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน) มหาวิทยาลัยขอนแก่น คอ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประสบการณ์สอน 16 ปี
2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกร Computer Programming Computer concepts; computer components; hardware and software interaction; EDP concepts; program design and	6043407	(Computer Programming)	3(3-0-6)	อาจารย์ ปิณณ เกียรติเกษม วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต ตาม หลักสูตร	รายชื่อและคุณวุฒิของผู้สอน
development methodology; high-level language programming				ประสบการณ์สอน 10 ปี
2.5 สถิติวิศวกรรม Engineering Statistics / Probability and Statistics Probability theory; random variables; statistical inference; analysis of variance; regression and correlation; using statistical methods as the tool in problem solving .	6043403	(Engineering Statistics)	3(3-0-6)	อาจารย์วราภรณ์ จันทน์เวียง วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประสบการณ์สอน 10 ปี
2.6 กระบวนการผลิต Manufacturing Processes Theory and concept of manufacturing processes such as casting, forming, machining and welding; material and manufacturing processes relationships; fundamental of manufacturing cost	6043408	(Manufacturing Processes)	3(3-0-6)	อาจารย์ ดร.รัชฎ์ สุทธิ ปร.ด. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน) มหาวิทยาลัยขอนแก่น คอ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประสบการณ์สอน 16 ปี
2.7 อุณหพลศาสตร์ Thermodynamics of Materials First and second laws of thermodynamics. Criteria for equilibria in constant pressure processes. Free energy as a function of temperature, pressure and chemical potential. Equilibrium in gas mixtures. Equilibrium between condensed phases and gas phases. Free energy diagram. Solution behavior	6043406	(Thermodynamics)	3(3-0-6)	อาจารย์ ดร.สุพัตรา บุตรเสรีชัย ปร.ด. (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประสบการณ์สอน 12 ปี
2.8 ความรู้พื้นฐานไฟฟ้า Fundamental of Electrical Engineering Basic DC and AC circuit analysis; voltage; current and power; transformers; introduction to electrical machinery; generators, motors and their uses; concepts of three-phase systems; method of power transmission; introduction to some basic electrical instruments.	6043404	(Fundamental of Electrical Engineering)	4(3-3-8)	อาจารย์ ศรัณยู เหลาพา วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประสบการณ์สอน 9 ปี
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม				
3.1 องค์ความรู้ด้านวัสดุอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิต กระบวนการทางวิศวกรรมของโลหะ อโลหะ และวัสดุทางวิศวกรรมกระบวนการผลิตทางเทคโนโลยีสมัยใหม่ การวิเคราะห์และการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการโดยการ	6043601	(Smart Warehouse System)	3(3-0-6)	อาจารย์ กมลรักษ์ แก้วคำ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประสบการณ์สอน 13 ปี

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต ตาม หลักสูตร	รายชื่อและคุณวุฒิของผู้สอน
แปลงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพและเชิง นวัตกรรม				
3.2 องค์ความรู้ ระบบงานและความ ปลอดภัย การศึกษาและออกแบบระบบงานเพื่อการ ปรับปรุงผลิตภาพ และประสิทธิภาพการผลิต การศึกษาวิเคราะห์และการออกแบบ ระบบงานเพื่อความปลอดภัย การยศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ระบบดับเพลิง และการประเมิน ความเสี่ยงในอุตสาหกรรม การจัดการกาก กัมมันตรังสี	6043501 6043505	(Safety Engineering) (Industrial Work Study)	3(3-0-6) 3(3-0-6)	อาจารย์ กมลรัช แก่งคำ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประสบการณ์สอน 13 ปี
3.3 องค์ความรู้ด้านระบบคุณภาพ ระบบการควบคุมคุณภาพและการประกัน คุณภาพ การจัดการคุณภาพเชิงรวม กระบวนการออกและวิเคราะห์แผนการ ทดลองเพื่อกำหนดสภาวะการณ์การผลิตที่ เหมาะสม และวิศวกรรมคุณภาพเพื่อความ น่าเชื่อถือได้ตลอดจนวิศวกรรมนวัตกรรม	6043504	(Quality Control)	3(3-0-6)	อาจารย์ กมลรัช แก่งคำ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประสบการณ์สอน 13 ปี
3.4 องค์ความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์และ การเงิน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการ ตัดสินใจในงานวิศวกรรมภายใต้ความเสี่ยง และความไม่แน่นอน การจัดการต้นทุนเพื่อ การจัดการงบประมาณ และการจัดการและ การวิเคราะห์งบการเงินและการบัญชี การศึกษา วิเคราะห์และประเมินเป็นไปได้ของ โครงการ	6043507	(Engineering Economy)	3(3-0-6)	อาจารย์วราภรณ์ จันทร์เวียง วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประสบการณ์สอน 10 ปี
3.5 องค์ความรู้ด้านการจัดการการผลิตและ ดำเนินการ การวางแผนและควบคุมการผลิต การ วิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อจัดการการผลิตการ จัดการระบบการซ่อมบำรุงและการจัดการ องค์กรของระบบการผลิตและการบริการ ระบบการจัดการนวัตกรรมในองค์กร	6043503	(Production Planning and Control)	3(3-0-6)	อาจารย์วราภรณ์ จันทร์เวียง วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประสบการณ์สอน 10 ปี
	6043602	(Logistics and Supply Chain Management)	3(3-0-6)	วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประสบการณ์สอน 10 ปี
	6043605	(Lean Production System)	3(3-0-6)	
	6043506	(Operations Research)	3(3-0-6)	อาจารย์ ปิณิณ เกรียงเกษม วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประสบการณ์สอน 10 ปี

องค์ความรู้ที่ สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต ตาม หลักสูตร	รายชื่อและคุณวุฒิของผู้สอน
	6043508	(Maintenance Engineering)	3(3-0-6)	อาจารย์ กมลรักษ์ แก้งคำ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประสบการณ์สอน 13 ปี
	6043601	(Smart Warehouse System)	3(3-0-6)	อาจารย์ กมลรักษ์ แก้งคำ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประสบการณ์สอน 13 ปี อาจารย์ ปวีณ เกรียงเกษม วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประสบการณ์สอน 10 ปี
3.6 องค์ความรู้ด้านการบูรณาการวิธีการทางวิศวกรรมอุตสาหการ การบูรณาการความรู้ในองค์ความรู้ หรือวิชา อื่นๆ ในหลักสูตรตั้งแต่สององค์ความรู้ หรือ วิชาขึ้นไปเพื่อแก้ไขปัญหา เสนอแนะแนวทาง การปรับปรุงวิธีการหรือแนวทางใหม่ในงาน วิศวกรรม ระบบ และการบริการอื่นๆ	6043502	(Industrial Plant Design)	3(3-0-6)	อาจารย์ ปวีณ เกรียงเกษม วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
	6043611	(Industrial and Logistics Engineering Project I)	1(0-3-1)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล การผลิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประสบการณ์สอน 10 ปี
	6043612	(Industrial and Logistics Engineering Project II)	2(0-6-2)	

ส่วนที่ 4 สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้

1. ห้องปฏิบัติการและวัสดุอุปกรณ์การทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ

1.1. บัญชีรายการของวัสดุ ครุภัณฑ์ และอุปกรณ์การทดลอง

แสดงรายละเอียดของวัสดุ ครุภัณฑ์ และอุปกรณ์การทดลองแต่ละปฏิบัติการ พร้อมรูปภาพประกอบและหัวข้อปฏิบัติการ รวมถึงแผนผังห้องปฏิบัติการและแสดงพื้นที่ความปลอดภัย (Safety Zone)

1. ห้องปฏิบัติการวัสดุและ อุปกรณ์การเตรียมชิ้นงาน เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างโลหะ



ห้องปฏิบัติการวัสดุ



1.1 Hot mounting



1.2 Grinding and polishing



1.3 Grinding and polishing



1.4 ตู้ควบคุมความชื้น



1.5 เตาอบชุบโลหะ



1.6 ตู้อบอุณหภูมิต่ำ



1.7 Metallurgical Microscope



1.8 Microhardness test

2 ห้องทดสอบวัสดุ



2.1 ห้องทดสอบวัสดุ



2.2 Universal test machine



2.3 Torsion test



2.4 Fatigue test



2.5 Impact test



2.6 Creep test



2.7 Stiffness test

3. ห้องปฏิบัติการกระบวนการผลิต



3.1 Punch and Die



3.2 Milling Machine



3.3 เครื่องเลื่อยสายพาน



3.4 เครื่องเจียระไนผิวราบ



3.5 สว่านแท่น



3.6 เครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4 Welding



4.1 เครื่องเชื่อม MIG



4.2 ชุดเชื่อมแก๊ส



4.3 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า



4.4 เครื่องเชื่อม TIG

5 งานกลึง



5.1 เครื่องกลึงยืนศูนย์

6 ห้องปฏิบัติการการศึกษาการทำงานและเวลามาตรฐาน



6.1 อุปกรณ์การศึกษาการทำงานและเวลามาตรฐาน



6.2 ห้องเรียนทางด้านการยศาสตร์



6.3 หุ่นจำลองร่างกายของมนุษย์



6.4 Digital body fat caliper



6.4 เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง



6.5 อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ



6.6 Grip strength dynamometer



6.7 อุปกรณ์ความปลอดภัยในโรงงาน

7. ห้องปฏิบัติการการวัด

7.1 การวัดละเอียด



7.1 เครื่องมือการวัดละเอียด



7.2 Vibration Meter



7.3 Temperature Humidity Meter



7.4 Sound Level Meter



7.5 Light Meter

8. ห้องปฏิบัติการกระบวนการผลิตขั้นสูง



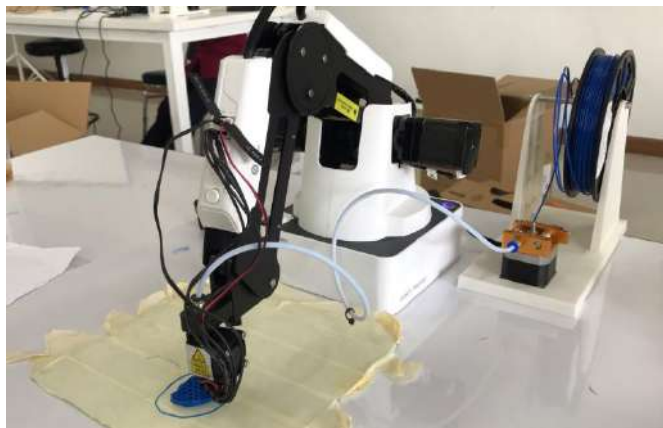
8.1 ห้องเรียนกระบวนการผลิตขั้นสูง



8.2 เครื่อง CNC และชุดแขนกลอัตโนมัติ



8.3 เครื่อง CNC MILLING MACHINE



8.4 ชุดแขนกลอัตโนมัติ



8.5 ห้องเรียน PLC



8.6 ชุดอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน PLC



8.7 ชุดอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน Pneumatic

9 ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้า



10. ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์



1. ปฏิบัติการวัสดุวิศวกรรม

ลำดับ	ชื่อ Lab	ครุภัณฑ์สภาวิศวกร	ครุภัณฑ์สาขาวิชาฯ
1	Fluid Mechanics Lab	1.1 Centrifugal Pump Test Set 1.2 Multi-Pump Test Set 1.3 Pelton & Francis Turbine Test Set 1.4 Air Flow Test Set 1.5 Flow or Friction Loss in Pipe	1.1 Centrifugal Pump test Set 1.2 Multi Pump Test Set 1.3 Pelton & Francis Turbine Set 1.4 Air Flow Test Set 1.5 Flow or Friction Loss in Pipe
2	Thermodynamics & Heat Transfer Lab	2.1 Heat Conduction Test Set 2.2 Heat Radiation Test Set 2.3 Free & Forced Heat Convection Test Set 2.4 Refrigeration Unit 2.5 Air Conditioning Unit 2.6 Bomb Calorimeter 2.7 Internal Combustion Engine Test Set 2.8 Boiler Test Set 2.9 Gas Turbine Test Set	2.1 Heat Conduct Set 2.2 Heat Radiation Set 2.3 Free & Forced Heat Convection Set 2.4 Refrigeration Unite 2.5 Air condition Unite 2.6 Bomb Calorimeter 2.7 Engine Set 2.8 Boiler Test Set 2.9 Air Compressor
3	Dynamics Lab	3.1 Universal Balancing Machine 3.2 Acceleration of Gear System 3.3 Feedback Control 3.4 Vibration Test Set 3.5 Gyroscope	3.1 Universal Balancing Machine 3.2 Acceleration of Gear System 3.3 Feedback Control 3.4 Vibration Test Set 3.5 Gyroscope 3.6 Manual Gear Set 3.7 Section Engine 3.8 Automatic Gear Set 3.9 Real Axle Assembly

ลำดับ	ชื่อ Lab	ครุภัณฑ์สภาวิศวกร	ครุภัณฑ์สาขาวิชา
4	Material Testing Lab	4.1 Tensile Test Set 4.2 Brignell and Rockwell Hardness Test Set 4.3 Torsion Test set 4.4 Fatigue Test set 4.5 Universal Testing Machine	4.1 Tensile Test Set 4.2 Brinell and Rockwell Hardness Test Set 4.3 Torsion Test Set 4.4 Fatigue Test Set 4.5 Universal Testing Machine
5	Lab for Other Branches in Mechanical Engineering	5.1 Experimental Equipments in Automotive Engineering 5.2 Experimental Equipments in Energy Engineering	5.1 Engine Set 5.2 Exhaust Gas Calorimeter 5.3 Exhaust Gas Catulytic Connector 5.4 Exhaust Gas Analyzer & Smoke Detector 5.5 Wind and solar energy 5.6 Bio-energy

2. ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ห้องกายศาสตร์ ระบบหุ่นยนต์ Lego Mindstorm Ev3 (Education Set)

ลำดับ	ครุภัณฑ์สาขาวิชา
6	6.1 Computer Lab (30 Set) - Ram 512 MB 10 Set - Ram 1024 MB 20 Set - Hard Disk 80 GB 30 Set - Video Card 128 MB 30 Set - Monitor 17" 6.2 Basic PLC Traning 6.3 Machatronic Standard System 6.4 Conveyer System 6.5 Robot 5 ชุด 6.6 Basic Pneumatic 1 ชุด 6.6 Solid Edge CAD และ F-1 Edge CAM 6.7 ชุดฝึกเครื่องกลึงซีเอ็นซี 1 Set 6.8 ชุดฝึกเครื่องกัดซีเอ็นซี 2 Set 6.9 เครื่องกลึง 4 เครื่อง 6.10 เครื่องปั๊มขึ้นรูป 1 เครื่อง 6.11 เครื่องเชื่อมก๊าซ Argon 3 เครื่อง

ลำดับ	ครุภัณฑ์สาขาวิชาฯ	
	6.12 เครื่องเชื่อมก๊าซ CO ₂	2 เครื่อง
	6.13 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	5 เครื่อง
	6.14 เครื่องเชื่อม Sumerged Arc	1 เครื่อง
	6.15 เครื่องพับแผ่นโลหะ	1 เครื่อง
	6.16 เครื่องพับขอบโลหะ	4 เครื่อง
	6.17 เครื่องตัดท่อ	1 เครื่อง
	6.18 เครื่องเจาะแบบตั้งโต๊ะ	3 เครื่อง
	6.19 เครื่องมือวัดประเภทต่างๆ ฯลฯ	
	6.20 ห้องเขียนแบบพร้อมโต๊ะเขียนแบบ	38 ชุด

3. ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม

ลำดับที่	รายการและลักษณะเฉพาะ	จำนวนที่มีอยู่
1	ห้องเรียนแบบบรรยาย	30
2	ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์	1
3	ห้องปฏิบัติการทางเคมี	1
4	ห้องปฏิบัติการทดสอบทางวัสดุ	1
5	ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	1
6	ห้องเขียนแบบทางวิศวกรรม	1
7	ห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทน	1
8	ห้องปฏิบัติการการทดสอบแบบไม่ทำลาย	1
9	โรงปฏิบัติการช่างพื้นฐาน	1
10	ห้องปฏิบัติการไฟฟ้า	1
11	ห้องปฏิบัติการนิวมेटริกส์ ไฮดรอลิกส์	1
12	ห้องปฏิบัติการพีแอลซีควบคุมระบบอัตโนมัติ	1
13	ชุดปฏิบัติการวิจัยพื้นฐานเพื่อชุมชน ตามแนวพระราชดำริ	1
14	ครุภัณฑ์เครื่องเป่าขวดพลาสติกในกระบวนการจัดการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม	1
15	ครุภัณฑ์เครื่องเจียระไนเพื่อซ่อมบำรุงแม่พิมพ์	1
16	กล้องถ่ายภาพความร้อนแบบอินฟราเรดเพื่องานศึกษาวิจัยด้านพลังงาน	1

1.2. โปรแกรมสำเร็จรูป/ซอฟต์แวร์ (Software)

แสดงรายละเอียดของโปรแกรมสำเร็จรูป/ซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนของแต่ละปฏิบัติการ
โปรแกรมสำเร็จรูปทางวิศวกรรมอุตสาหการที่ใช้สอน

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ หลักสูตรใหม่ 2565-2569

ลำดับ	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	โปรแกรม/ซอฟต์แวร์
1	7043401	เขียนแบบวิศวกรรม	Auto Cad, Solid Work
2	7043403	สถิติวิศวกรรม	Minitab, SPSS, MS Powerpoint
3	7043405	วัสดุวิศวกรรม	MS Excel, MS Powerpoint, VideoLAN
4	7043407	การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	C++
5	7043408	กรรมวิธีการผลิต	MS Excel, MS Powerpoint, Media Player
6	7043501	วิศวกรรมความปลอดภัย	MS Excel, MS Powerpoint, VideoLAN
7	7043502	การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม	MS Excel, MS Powerpoint, MS Visio, Flexsim, Arena
8	7043503	การวางแผนและควบคุมการผลิต	MS Excel, MS Powerpoint
9	7043504	การควบคุมคุณภาพ	EndNote, Minitab, SPSS, MS Powerpoint
10	7043505	การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม	MS Excel, MS Powerpoint, Media Player
11	7043506	การวิจัยดำเนินงาน	MS Excel Solver, LINGO, MS Powerpoint
12	7043507	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	MS Excel, MS Powerpoint
13	7043508	วิศวกรรมการซ่อมบำรุง	MS Excel, MS Powerpoint
14	7043601	ระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ	Flexsim, Arena
15	7043604	การออกแบบระบบขนถ่ายวัสดุด้วยหุ่นยนต์อัตโนมัติ	Flexsim, Arena
16	7043610	ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	MS Excel, MS Powerpoint, MS Minitab



คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

Physics Laboratory 1 Manual

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

กลุ่มที่

ชื่อผู้ทดลอง รหัส.....สาขา.....

สมาชิกในกลุ่ม

1. รหัส.....สาขา.....
2. รหัส.....สาขา.....
3. รหัส.....สาขา.....
4. รหัส.....สาขา.....

ภาคเรียนที่ การศึกษา





คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

Physics Laboratory 1 Manual



Vibration Magnetometer



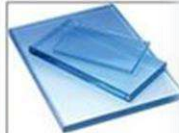
P.O.Box



Spherometer



Bar Magnet U-Magnet



Glass slab



Hand Lens Metablic



Screw Gauge



Stop Clock



Prism



การทดลองที่ 1

การเขียนกราฟของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเขียนมาเขียนเป็นกราฟของสมการเส้นตรง วิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยความชัน (Slope) จุดตัดแกน y
2. ฝึกเปลี่ยนรูปสมการซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น
3. ฝึกพล็อตกราฟโดยใช้กระดาษกราฟแบบ semi - log หรือ log - log และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัย ความชัน (Slope) และจุดตัดแกน y
4. ฝึกพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel

ทฤษฎี

ตอนที่ 1 การเขียนกราฟบนกระดาษกราฟสเกลปกติ

การทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีการวัดปริมาณ 2 ปริมาณ ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสอง การเขียนกราฟเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งจะช่วยให้ผู้ทดลองมองเห็นความสัมพันธ์ของทั้งสองได้ง่ายและชัดเจน ในเบื้องต้นนี้จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ x และปริมาณ y หรือมีตัวแปรอยู่ 2 ตัวแปร โดยที่ปริมาณ y จะแปรค่าตามปริมาณ x เรียกว่า x ว่าเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) ถ้า y เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์อาจขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัวแปร เช่นความดันของแก๊สในกระบอกสูบขึ้นอยู่กับปริมาตรของกระบอกสูบและอุณหภูมิของแก๊ส กระแสไฟฟ้าในวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ จะแปรค่าตามเวลา และค่าความต้านทานของวงจร ความต้านทานของวงจรจะมีค่ามากขึ้น ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น ในทางปฏิบัติ เราอาจจัดตัวแปรอิสระให้เหลือเพียงตัวแปรเดียวได้โดยให้ตัวแปรอิสระอื่น ๆ มีค่าคงที่ เช่นวัดความดันของแก๊ส ให้ปริมาตรของลูกสูบเปลี่ยนค่า โดยที่ให้อุณหภูมิของแก๊สมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

ตอนที่ 1.1 เมื่อปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

เมื่อตรวจสอบกับทฤษฎีพบว่าปริมาณ x และ y มีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น ตามสมการ

$$y = ax + b \quad (1)$$

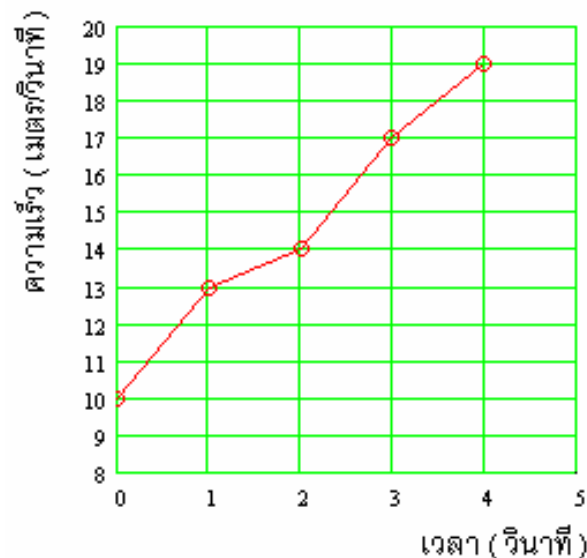
เมื่อ a คือความชัน (Slope) และ b คือจุดตัดแกน y (y - intercept) ปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ได้แก่

$v = u + at$	สมการความเร็วของอนุภาคที่มีความเร่งคงที่ a มีความเร็วต้น u
$F = -kx$	แรงคืนตัวของสปริง (F) จะแปรผกผันกับระยะที่ยืด (x) และ k คือค่าคงที่ของสปริง
$L = L_0(1 + \alpha t)$	แท่งโลหะยาว L ความยาวจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิ T เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น L_0 คือความยาวเดิมของแท่งโลหะที่อุณหภูมิเริ่มต้น
$V = IR$	ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R จะแปรผันตรงตามกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน

ตัวอย่างที่ 1 จากการทดลองวัดความเร็วของอนุภาคที่เวลาใด ๆ เพื่อตรวจสอบสมการ $v = u + at$ ได้ผลการทดลองออกมาดังนี้

t (วินาที)	0	1	2	3	4
v (เมตร/วินาที)	10	13	14	17	19

เมื่อนำข้อมูลไปพล็อตเป็นกราฟ ให้ t เป็นแกน x และ v เป็นแกน y จะได้กราฟดังรูปที่ 1.1 จุดต่าง ๆ จะไม่เรียงกันเป็นเส้นตรงตามทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง เส้นที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ จะไม่เป็นเส้นตรง ถึงแม้ว่าจะเกิดจากเส้นตรง 4 เส้นต่อกันก็ตาม



รูปที่ 1.1

การหาความชันของเส้นตรง นักศึกษามักจะใช้วิธีหาผลต่างระหว่างจุด 2 จุด เช่น

$$\text{slope} = \frac{19 - 10}{4 - 0} = 2.25$$

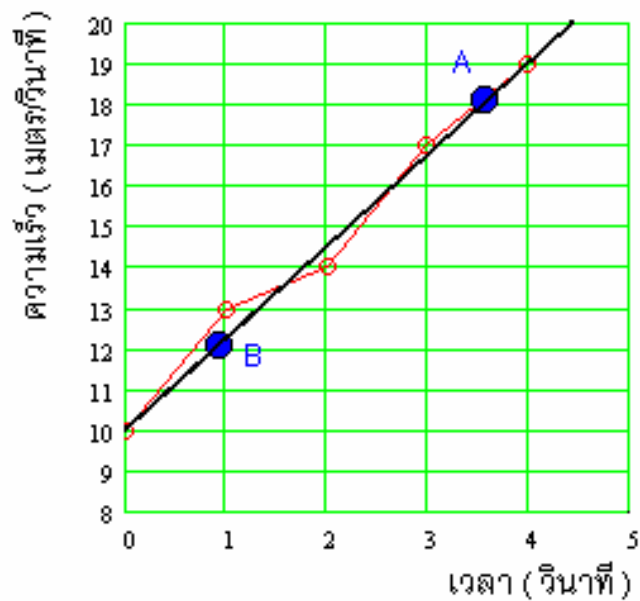
$$\text{หรือ} \quad \text{slope} = \frac{14 - 13}{2 - 1} = 1$$

$$\text{หรือ} \quad \text{slope} = \frac{19 - 14}{4 - 2} = 2.5$$

ความชันของเส้นตรงจะต้องมีค่าคงที่ การเขียนกราฟวิธีนี้จึงเป็นวิธีไม่ถูกต้อง จะต้องหาเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้ ทำได้โดยใช้ไม้บรรทัดลากเส้นผ่านจุดต่าง ๆ เส้นตรงนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านจุดทุกจุด แต่ควรให้ผ่านจุดมากที่สุด หรือทำให้ค่าแตกต่างของข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองกับค่า y ที่ได้จากเส้นตรงเส้นนี้มีค่าน้อยที่สุด หรือเป็นศูนย์

ให้ $y_0, y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ให้ $y'_0, y'_1, y'_2, y'_3, \dots, y'_n$ เป็นค่าที่ได้จากเส้นตรงที่เราใช้เป็นตัวแทนของข้อมูล D คือผลต่างระหว่างค่า y_i

และ y'_i หรือเป็นส่วนเบี่ยงเบนที่อยู่ใต้เส้นหรือเหนือเส้นตรง เพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ยของผลต่างแต่ละตัวแล้วนำมารวมกันเส้นตรงที่เราลากนี้จะต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุด เส้นตรงที่ได้จากการคาดคะเนด้วยสายตาจะได้ ดังรูปที่ 1.2



$$a = \text{slope} = \frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B}$$

รูปที่ 1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

$$\sum_{i=1}^n D_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \quad (2)$$

เมื่อหาค่าความชันของเส้นตรง ที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้ โดยเลือกจุด A (3.5, 18) และจุด B (1, 12) ที่อยู่บนเส้นตรงที่เราสร้างขึ้นมา (เส้นทึบ) จะได้

$$\text{slope} = \frac{18 - 12}{3.5 - 1}$$

$$\text{Slope} = 2.4 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

ถ้าให้นักศึกษาแต่ละคนลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลนี้ พบว่าจะได้เส้นตรงที่มีค่าความชันไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ การคาดคะเนของแต่ละคน

วิธีการที่จะหาเส้นตรงเส้นที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดเดียวกันนี้ ได้ตรงกันทุกคน ทำได้โดยอาศัยหลักที่ว่าเส้นตรงนี้ทำให้ $\sum D_i^2$ มีค่าน้อยที่สุด วิธีนี้เรียกว่า **วิธีกำลังสองน้อยที่สุด** (Method of least Square) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **การถดถอยเชิงเส้น** (Linear Regression)

ให้ a, b เป็นความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลอง n ค่า สามารถคำนวณหา a และ b ได้จาก

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} \quad (3)$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \quad (4)$$

เมื่อ $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล x และ y ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (6)$$

ดังนั้น ถ้าต้องการหาสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลในตัวอย่างที่ 1 ทำได้โดยตารางเพื่อหาค่าทางสถิติดังนี้

t (s) เป็นแกน x	v (m/s) เป็นแกน y	xy	x^2
0	10	0	0
1	13	13	1
2	14	28	4
3	17	51	9
4	19	76	16
$\Sigma x = 10$	$\Sigma y = 73$	$\Sigma xy = 168$	$\Sigma x^2 = 30$

จะได้ $\bar{x} = \frac{10}{5} = 2$

และ $\bar{y} = \frac{73}{5} = 14.6$

$$a = \frac{168 - (5)(2)(14.6)}{30 - (5)(2)^2} = 2.2$$

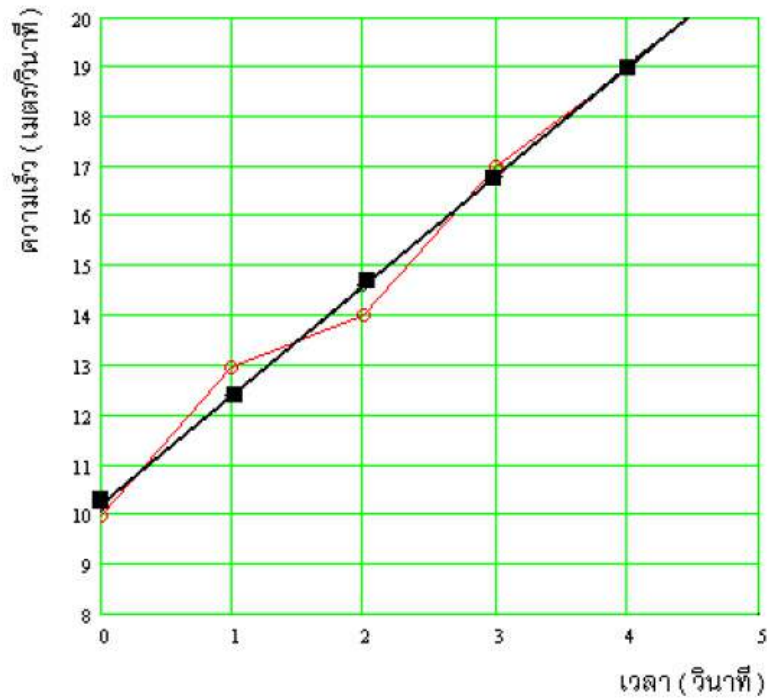
$$b = 14.6 - (2.2)(2) = 10.2$$

สมการเส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = 10.2 + 2.2x$$

หรือ $v = 10.2 + 2.2t$

นำสมการที่ได้ไปเขียนกราฟ เมื่อ $t=0$ จะได้ $v=10.2$ เมื่อ $t=4$ จะได้ $v=19$ เส้นกราฟจะผ่านจุดข้อมูลที่พล็อตไว้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

เส้นสีดำคือเส้นตรงของสมการ

$$v = 10.2 + 2.2t$$

ซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของข้อมูลชุดนี้ ความชันของเส้นตรงคือ 2.2 นั่นคือ ความเร่งของอนุภาคมีค่า 2.2 m/s^2 ซึ่งคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ โดยมีความเร็วต้นเท่ากับ 10.2 m/s

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. เครื่องคิดเลขที่มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
2. ดินสอ ขางลบ ไม้บรรทัด

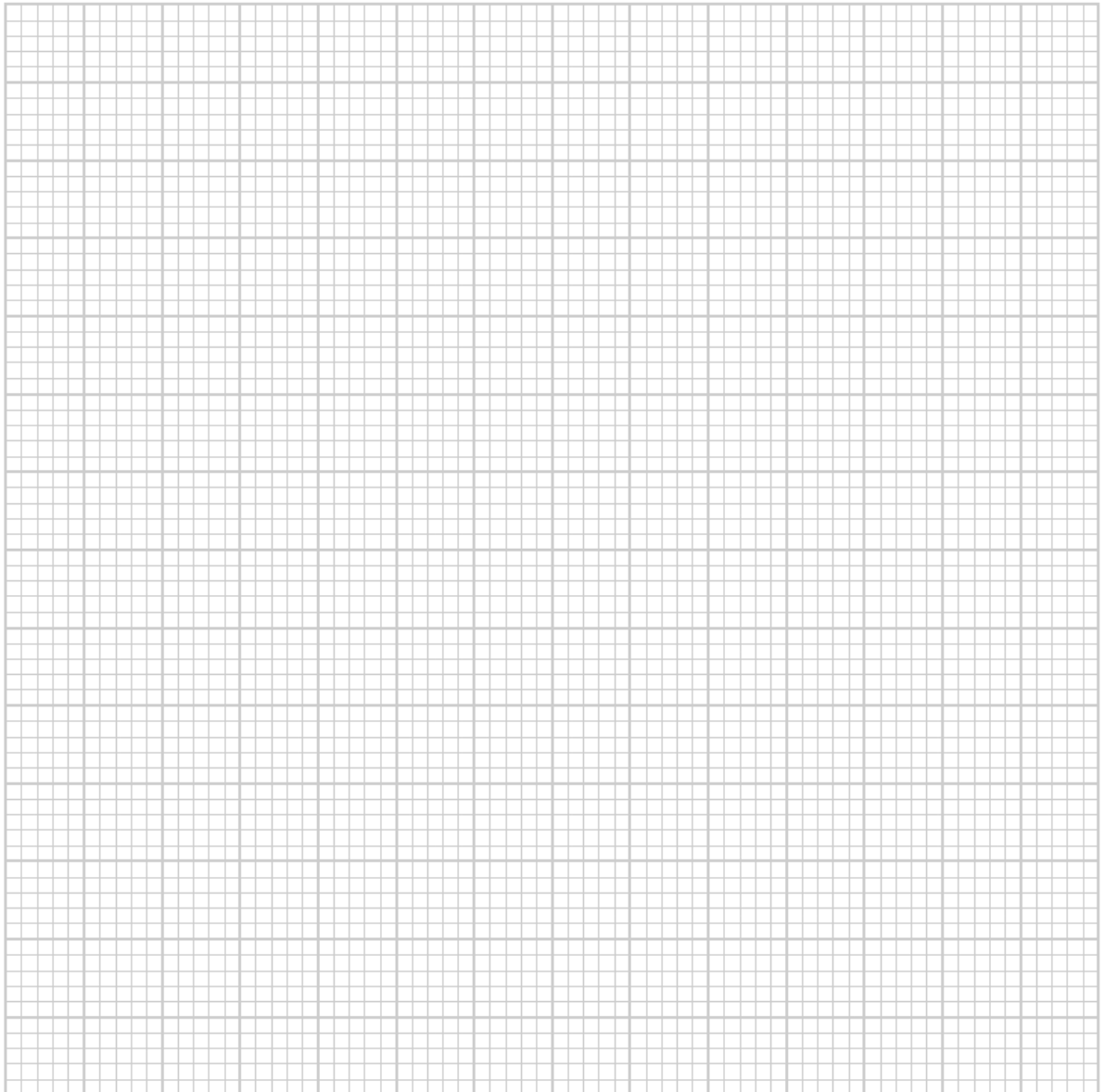
วิธีการทดลอง

ให้นักศึกษาใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการเขียนกราฟ

จากการทดลองแขวนตุ้มน้ำหนักบนสปริง วัดแรงที่ยึดสปริงเป็นนิวตัน (y) วัดระยะที่สปริงยืดจากตำแหน่งสมดุลเป็น เมตร (x) ได้ข้อมูลดังนี้

x	0.7	0.77	0.83	0.90	0.95	1.0
y	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

1.1 จงพล็อตจุดต่างๆ ลงบนกระดาษกราฟ จากนั้นลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้โดยใช้สายตาคาดคะเน



ความชันของเส้นตรง = ...

จุดตัดแกน y = ...

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟรูปนี้ คือ $y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$

ตัวอย่างการคำนวณ

.....
.....
.....
.....

1.2 เมื่อนักศึกษาลากเส้นตรงนี้โดยการคาดคะเนแล้ว ให้ใช้วิธี Linear regression หาสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้

X	Y	xy	X ²
0.71	0.981		
0.77	1.962		
0.83	2.943		
0.90	3.924		
0.95	4.905		
1.02	5.886		
$\sum x = \dots\dots\dots$	$\sum y = \dots\dots\dots$	$\sum xy = \dots\dots\dots$	$\sum x^2 = \dots\dots\dots$

$$n = 6$$

$$\bar{x} = \dots\dots\dots$$

$$\bar{y} = \dots\dots\dots$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{y} \bar{x}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} \approx 15.875$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \approx -10.273$$

สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$$

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1.3 ให้นักศึกษาวาดกราฟเส้นตรงที่คำนวณได้ทับลงไปบนกระดาษกราฟในข้อ 1.1 โดยอาศัยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลจากข้อ 1.2 ดังนี้

เมื่อ x เท่ากับ	y =.....x+.....
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

อาจใช้ปากกาสีอื่นหรือเส้นประ เพื่อให้มองเห็นแตกต่าง เปรียบเทียบค่าความชันที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่นักศึกษาได้จากการคาดคะเน

ตัวอย่างการคำนวณ

[illegible]

ตอนที่ 1.2 เมื่อปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่พบในวิชาฟิสิกส์

$v = \frac{gm}{c}(1 - e^{-cm/t})$	สมการความเร็วของมวล m ตกอย่างอิสระภายใต้สนามโน้มถ่วง g มีแรงต้านอากาศ ซึ่งมีค่า ส.ป.ส. แรงต้านอากาศ $= c$
$pv^\gamma = c$	สมการความดันและปริมาตรของแก๊สอุดมคติ ในขบวนการ adiabatic
$F = \frac{GMm}{r^2}$	สมการแรงดึงดูดระหว่างมวล M และ m
$N = N_0 e^{-at}$	สมการการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี
$h = ut + 0.5gt^2$	ระยะที่วัตถุตกอย่างอิสระภายใต้แรง g

กราฟของสมการเหล่านี้จะไม่เป็นเส้นตรง แต่สมการเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปสมการให้อยู่ในรูปเชิงเส้น แล้วนำไปพล็อตเป็นกราฟสมการเส้นตรงได้

สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น	จัดรูปสมการใหม่	เปลี่ยนให้เป็นสมการเส้นตรง
$y = A \ln x + B$		ให้ $X = \ln x$ จะได้ $y = AX + B$
$y = be^{ax}$	ใส่ $\ln$ ทั้งสองข้าง $\ln y = \ln b + ax$	ให้ $Y = \ln y$ $B = \ln b$ จะได้ $Y = B + ax$
$y = bx^a$	ใส่ $\log$ ทั้งสองข้าง $\log y = \log b + a \log x$	ให้ $Y = \log y$ $B = \log b$ $X = \log x$ จะได้ $Y = B + aX$
$y = \frac{b}{a+x}$	$y = \frac{b}{a} - \frac{1}{a}(xy)$	ให้ $X = xy$ $B = \frac{b}{a}$ $A = -1/a$ จะได้ $Y = B + aX$
$y = \frac{bx}{a+x}$	$y = b - a \frac{y}{x}$	ให้ $X = y/x$ จะได้ $y = b - aX$

วิธีการทดลอง

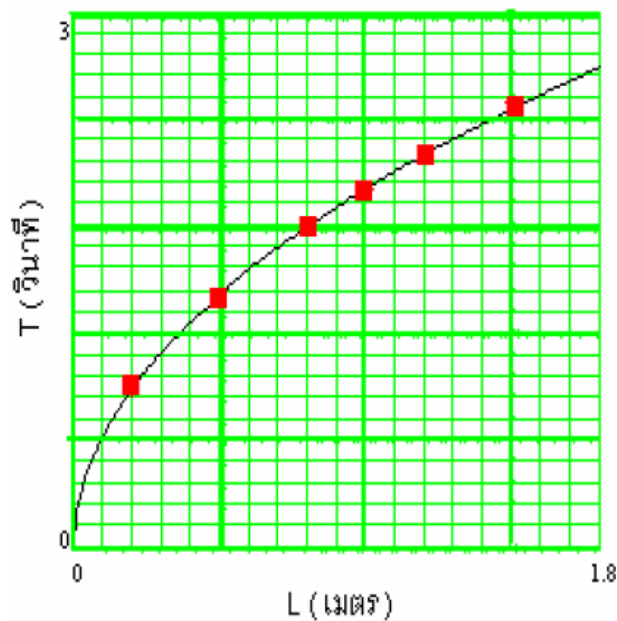
2.1 จงพล็อตกราฟจากข้อมูลต่อไปนี้ เมื่อนำลูกตุ้มมาพิกาศูกกับเชือกที่มีความยาว L คาบการแกว่ง T ผลการทดลองมีดังนี้

$L(m)$	0.2	0.5	0.8	1	1.2	1.5
$T(s)$	0.9	1.4	1.8	2	2.2	2.5

คาบการแกว่งของลูกตุ้มมาพิกาศูกจะเป็นฟังก์ชัน กับความยาวของเชือกดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

เมื่อพล็อตกราฟให้ T เป็นแกนตั้ง ให้ L เป็นแกนนอนจะได้กราฟเป็นรูปพาราโบลาดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4

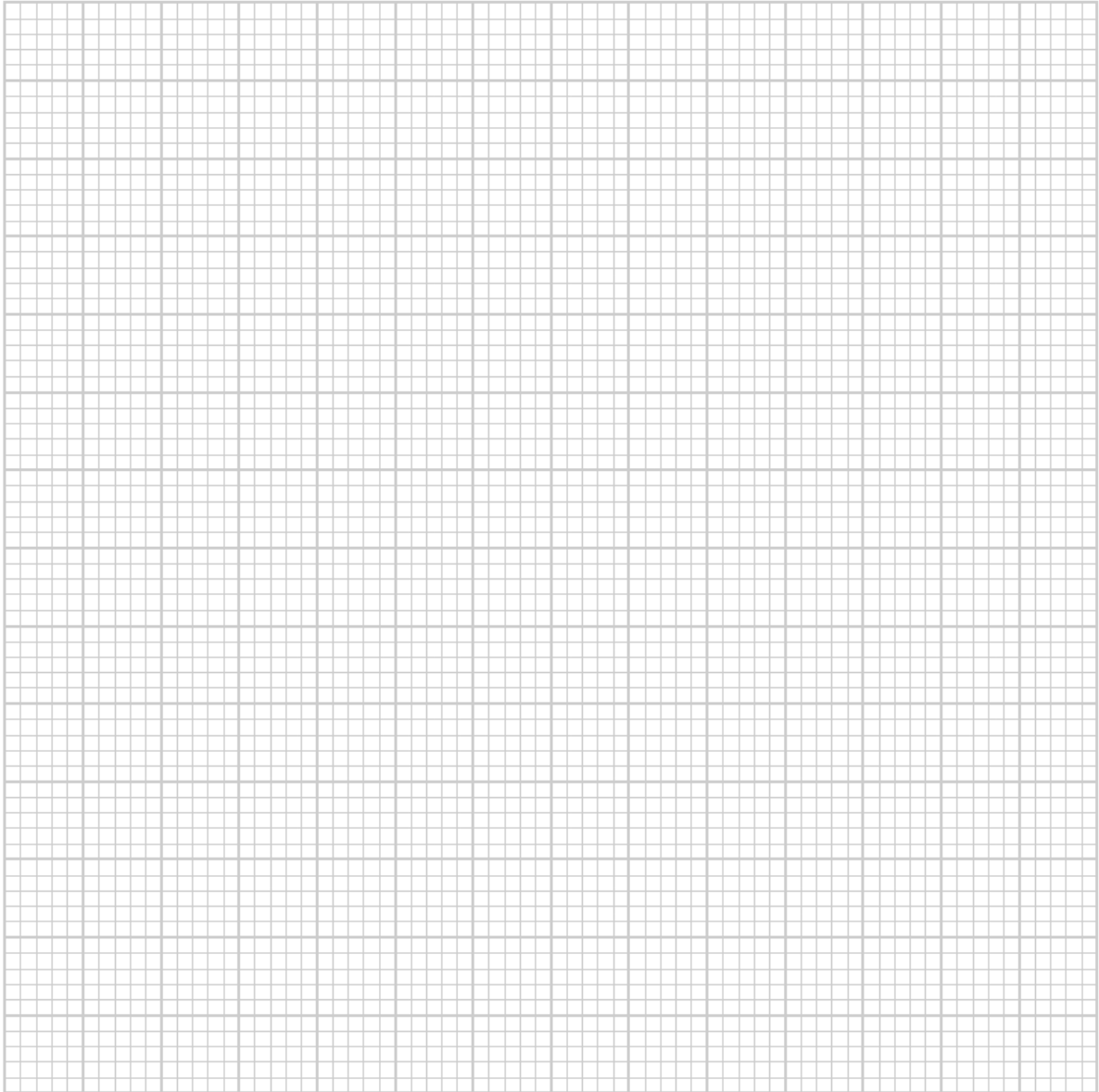
ให้นักศึกษานำข้อมูลเหล่านี้พล็อตเป็นกราฟสมการเส้นตรง โดยขั้นแรก เปลี่ยนรูปสมการเสียใหม่ โดยยกกำลังสองทั้งสองข้างแล้วจะเป็นดังนี้

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$$

ให้ $y=T^2$ และ $x=L$ จะได้ $y = \frac{4\pi^2}{g} x$ ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงนำข้อมูลมาเขียนเป็นตาราง เพื่อให้ดูง่ายจะได้ดังนี้

L หรือ x	T	T^2 หรือ y
0.2	0.9	0.81
0.5	1.4	1.96
0.8	1.8	3.24
1.0	2.0	4.0
1.2	2.2	4.84
1.5	2.5	6.25

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง L เป็นแกน x และ T^2 เป็นแกน y



ก) ลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลผ่านจุดต่าง ๆ โดยการคาดคะเน หาคความชันของเส้นตรงนี้

$$\begin{aligned} \text{slope} &= \dots\dots\dots \\ &= \dots\dots\dots \end{aligned}$$

จากความชันสามารถคำนวณค่า g ได้ จาก g

$$\begin{aligned} g &= \dots\dots\dots \\ &= \dots\dots\dots \end{aligned}$$

ข) ใช้วิธี linear regression หาสมการเส้นตรงที่เหมาะสม (fit) กับข้อมูลชุดนี้ จะได้

L หรือ x	T	T^2 หรือ y				
0.2	0.9	0.81				
0.5	1.4	1.96				
0.8	1.8	3.24				
1.0	2.0	4.00				
1.2	2.2	4.84				
1.5	2.5	6.25				

$$n = \dots\dots\dots$$

$$\bar{x} = \dots\dots\dots$$

$$\bar{y} = \dots\dots\dots$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} = \dots\dots\dots$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} = \dots\dots\dots$$

สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$$

เราสามารถหาค่า g จากความชันได้ดังนี้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2
การวัดด้วยเครื่องวัดละเอียด

วัตถุประสงค์

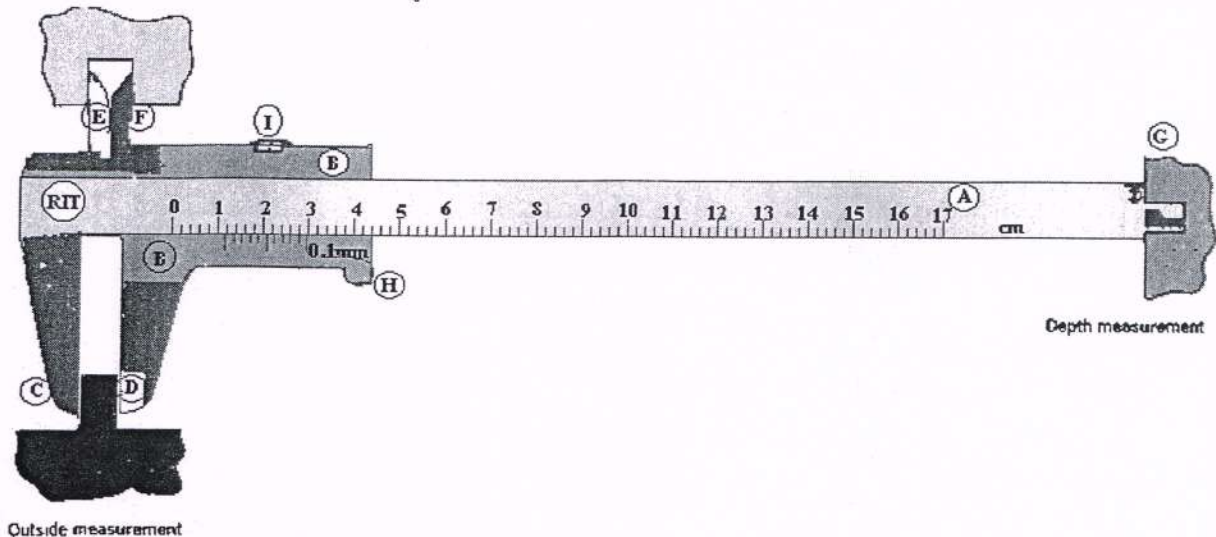
1. สามารถใช้เครื่องมือวัดอย่างละเอียดได้ถูกต้อง
2. หาค่าที่ถูกต้องของการวัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้
3. สามารถคำนวณเมื่อมีค่าคลาดเคลื่อน

ทฤษฎี

การวัด เป็นหัวใจสำคัญในการศึกษาทางฟิสิกส์ โดยเฉพาะฟิสิกส์ภาคปฏิบัติการล้วนแล้วแต่เกี่ยวข้องกับการวัดที่ค่อนข้างละเอียด ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนทั้งหลายที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองนั้น จึงควรศึกษาการใช้เครื่องมือวัดละเอียดให้เข้าใจเสียก่อน ดังนี้

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความยาวของวัตถุทั้งภายใน และภายนอกในของชิ้นงาน ระดับมิลลิเมตร ทศนิยม 2 ตำแหน่ง เวอร์เนียมีลักษณะ โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเวอร์เนีย

ประกอบด้วย

- สเกลหลัก A เป็นสเกลไม้บรรทัดธรรมดา ซึ่งเป็นมิลลิเมตร (mm) และนิ้ว (inch)
- สเกลเวอร์เนีย B ซึ่งจะเลื่อนไปมาได้บนสเกลหลัก
- ปากวัด C - D ใช้สำหรับวัดวัตถุที่ต้องการวัดขนาด
- ปากวัด E - F ใช้วัดขนาดภายในของวัตถุ
- ปลาย G ใช้วัดความลึก
- ปุ่ม H ใช้กดเลื่อนสเกลเวอร์เนียไปบนสเกลหลัก
- สกรู I ใช้ยึดสเกลเวอร์เนียให้ติดกับสเกลหลัก

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

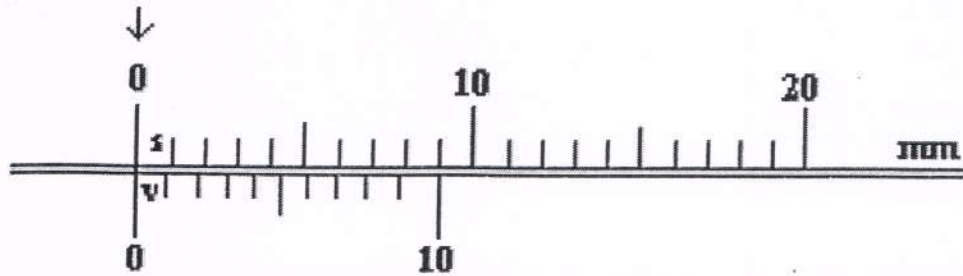
ความละเอียดของสเกลเวอร์เนีย

ถ้าให้ S เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

V เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลเวอร์เนีย

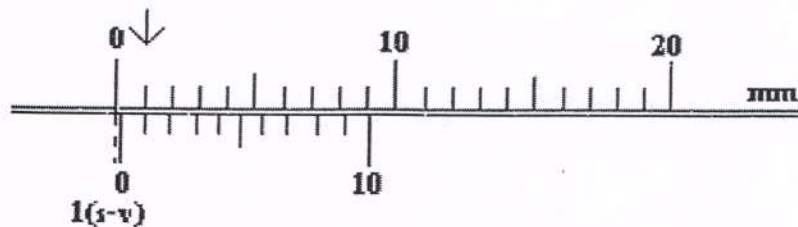
และ n เป็นจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนีย

เมื่อเริ่มให้ขีดที่ศูนย์ของทั้งสองตรงกัน แล้วขีดสุดท้าย (ขีดที่ n) ของสเกลเวอร์เนียจะตรงกับขีดที่ $n-1$ ของสเกลหลักขีดอื่น ๆ จะไม่ตรงกันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เมื่อขีดที่ศูนย์ตรงกัน

ถ้าเลื่อนสเกลเวอร์เนียไปทางขวาเล็กน้อย โดยให้ขีดที่ 1 ของสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักดังแสดงในรูปที่ 2.3



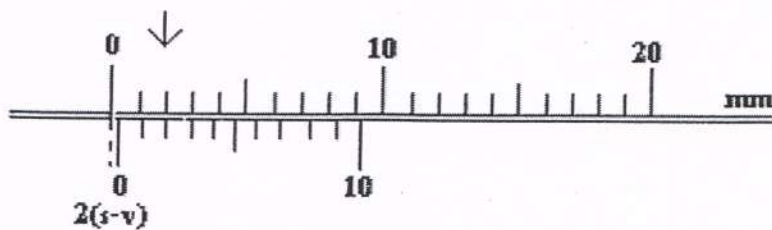
รูปที่ 2.3 เมื่อขีดที่ 1 ตรงกัน

ถ้า $S = 1 \text{ mm}$

และ $V = 0.9 \text{ mm}$ (10 ช่องของสเกลเวอร์เนีย = 9 mm)

จากรูปจะได้ว่า

$$1(S - V) = 0.1$$



รูปที่ 2.4 เมื่อขีดที่ 2 ตรงกัน

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

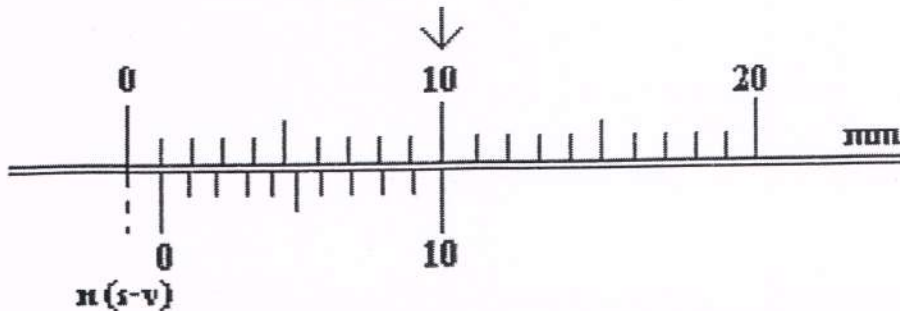
จะได้

$$2(S - V) = 2(0.1) = 0.2$$

ถ้าขีดที่ 3 ตรงกันจะได้ว่า

$$3(S - V) = 3(0.1) = 0.3$$

และเมื่อเลื่อนจนกระทั่งขีดที่ 10 (หรือ n) ของสเกลทั้งสองตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เมื่อขีดที่ n ตรงกัน

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า ขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์จะตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักพอดี นั่นคือ สเกลเวอร์เนียร์เลื่อนไปเป็นระยะทางเท่ากับ S พอดี ดังนั้น

$$n(S - V) = S$$

$$\text{หรือ } S - V = S/n$$

เมื่อ $S - V$ เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ เรียกว่า ค่าที่น้อยที่สุดที่อ่านได้ (Least Count) ซึ่งเป็น ความละเอียดที่สุดของเครื่องวัด

ดังนั้น ค่าความละเอียดของเครื่องวัดมีค่าเท่ากับ S/n

$$\text{หรือ } \text{Least Count} = S/n \quad (2)$$

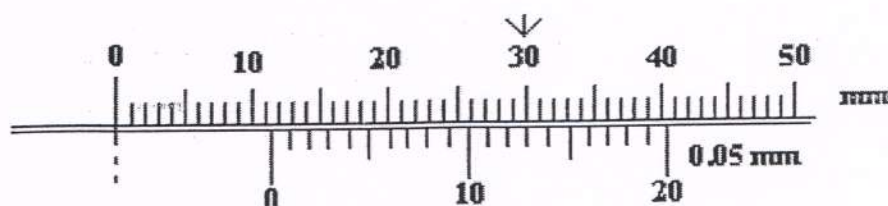
เมื่อ S = ความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

n = จำนวนช่องของสเกลเวอร์เนียร์

โดยปกติแล้ว ตัวเลขที่แสดงค่าความละเอียดที่สุดของเครื่องวัดนี้ มักจะเขียนไว้บนสเกลเวอร์เนียร์ในหน่วยต่าง ๆ เสมอ เช่น 0.1 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 10 ช่อง ($n = 10$) 0.05 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 20 ช่อง ($n = 20$) และ 0.02 mm. เมื่อสเกลเวอร์เนียร์มีจำนวนช่อง 50 ช่อง ($n = 50$) เวอร์เนียร์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ส่วนใหญ่จะมีทั้งชนิด $n = 20$ และ $n = 50$ ส่วนชนิด $n = 10$ ไม่ค่อยมีใช้แล้ว

การอ่านสเกลเวอร์เนียร์

เมื่อผลการวัดของวัตถุอันหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สเกลเวอร์เนียร์

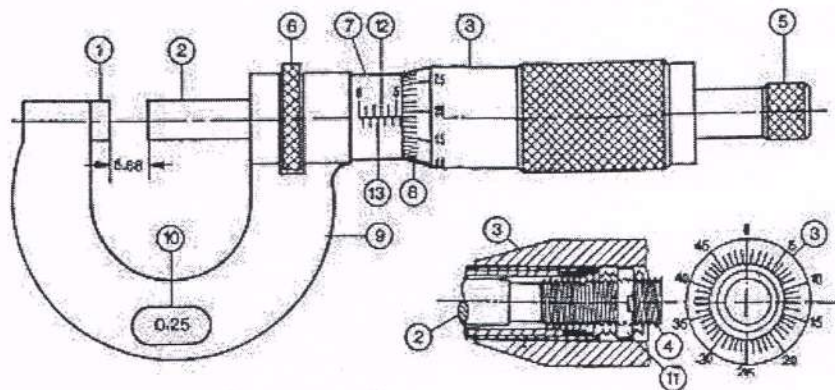
จากรูปที่ 6 อ่านได้ดังนี้

1. ขณะนี้ขีดที่ 0 ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งที่ 11.00 มิลลิเมตร เลขออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. และขีดที่ 13 ของสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดบนสเกลหลัก จึงนำเอาเลข 13 คูณกับ least count จะได้เป็นค่าเศษของมิลลิเมตร คือ $13 \times 0.05 = 0.65$ มิลลิเมตร
3. นำค่าที่อ่านได้จากข้อ 1 บวกกับค่าที่อ่านได้ในข้อ 2 ก็จะเป็นผลการวัดในครั้งนี้ นั่นคือ
ค่าที่วัดได้ = $11.00 + 0.65$ มิลลิเมตร
= 11.65 มิลลิเมตร

ลำดับการอ่านค่าผลการวัด

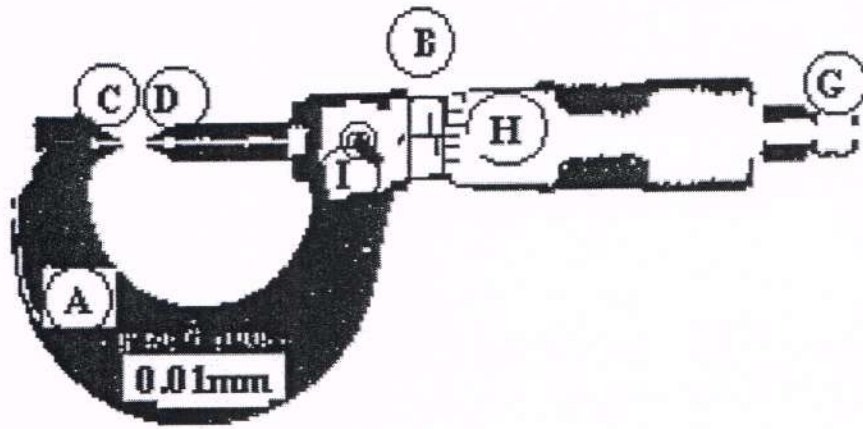
1. ก่อนใช้เวอร์เนีย ต้องตรวจสอบดูว่ามีค่า least count เท่าใด โดยดูจากตัวเลขที่เขียนไว้บนสเกลเวอร์เนีย หรืออาจจะคำนวณจากสูตร $\text{least count} = S/n$ ก็ได้
2. ต้องดูว่าขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งใดบนสเกลหลัก แล้วอ่านค่าบนสเกลหลักในหน่วยมิลลิเมตร หรือนิ้วก็ได้ ตามที่เราต้องการ
3. ต่อไปดูว่ามีเศษของมิลลิเมตรหรือนิ้ว หรือไม่ ถ้ามีดูว่าขีดที่เท่าใดบนสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดใดขีดหนึ่งบนสเกลหลัก แล้วเอาคูณกับค่า least count จะได้เป็นเศษของหน่วยวัดนั้น
4. ผลการวัดคือผลรวมของค่าที่ได้จากข้อ 2 และ 3

2. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)



1. แกนรับ	2. แกนวัด	3. ปลอกหมุนวัด
4. เกสียว	5. หัวหมุนกระทบเลื่อน	6. แหวนขีด
7. แกนสเกล	8. ขีดสเกล	9. โครง
10. Least Count	11. แหวนเกสียว	12. สเกลหลัก
13. สเกลรอง		

เป็นเครื่องมือวัดขนาดของวัตถุที่ต้องการความละเอียดสูงในระดับทศนิยม 3 ตำแหน่งของมิลลิเมตร เครื่องวัดชนิดนี้อาศัยหลักการ การเคลื่อนที่ของสกรู ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของไมโครมิเตอร์

โครง A มีลักษณะคล้ายกับคันธนูหรือตะขอยาว มีปากวัด C-D และแกนสเกลนอน B ติดอยู่แกนสเกลนอน B เป็นสเกลหลัก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยแบ่งออกเป็นขีดละ 1 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขีดจะมีขีดแบ่งครึ่งมิลลิเมตรกำกับด้วย

สเกลวงกลม H มีลักษณะเป็นปลอกครอบสเกลหลัก B แบ่งจำนวนขีดโดยรอบทั้งหมด 50 ช่อง ทำหน้าที่เหมือนสเกลเวอร์เนีย

แกน G ใช้สำหรับหมุนเพื่อให้ปากวัด D เลื่อนไปสัมผัสกับผิวของวัตถุที่ต้องการวัด ภายในปุ่ม G มีสปริงเพื่อปรับแรงกด เมื่อปากวัด D สัมผัสพอดีกับผิววัตถุ จะมีเสียงดังกริกเบาๆ แสดงว่าสปริงปรับแรงกดพอดีแกนวัดจะไม่เดินหน้าต่อไปอีก

ปุ่ม I ใช้ตรึงแกนวัด ปลอกวัด และปุ่ม G ให้ติดกับโครง A ทำให้สเกลไม่เลื่อนตำแหน่งขณะอ่านค่า เวลาใช้ต้องบิดไปทางซ้ายสุด

ความละเอียดของไมโครมิเตอร์

เมื่อปากวัด C - D สัมผัสกัน ขีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับแกนสเกลนอนและถ้าหมุนสเกลวงกลมถอยหลังไป 1 รอบ ขีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับแกนนอน และขอบของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับขีดแบ่งครึ่งมิลลิเมตรบนสเกลหลัก ซึ่งหมายความว่า ถ้าหมุนแกนวัดถอยหลังไปเพียง 1 ช่อง ปากวัด C - D จะห่างกันเป็นระยะ $0.5/50 = 0.010$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ เรียกว่า least count

ปกติค่า least count ของเครื่องไมโครมิเตอร์จะเขียนไว้บนโครง A เช่น 0.01 mm เป็นต้น

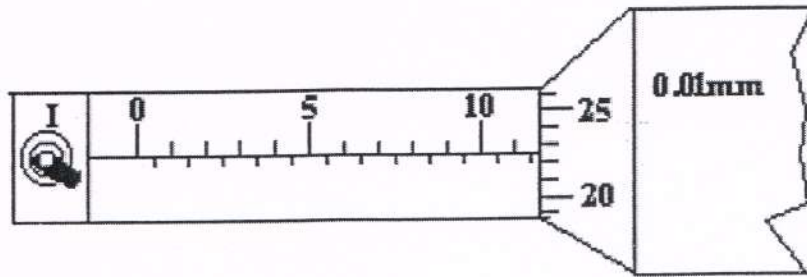
วิธีใช้ไมโครมิเตอร์

หมุนแกน G ให้แกนวัดถอยหลังเพื่อทำให้ปาก C - D เปิดกว้างกว่าขนาดของวัตถุเล็กน้อย แล้วนำวัตถุที่จะวัดขนาดไปไว้ระหว่างปาก C - D ให้ด้านหนึ่งชิดปากวัด C ไว้แล้วหมุนแกน G ให้ปากวัด D มาสัมผัสพอดีกับผิวด้านหนึ่งของวัตถุ โดยสังเกตจากเสียงกริกเบาๆ จากนั้นให้บิดปุ่ม I ไปทางซ้ายเพื่อตรึงแกนวัดไว้แล้วจึงอ่านค่าการวัดได้

การอ่านค่าการวัดบนสเกลไมโครมิเตอร์

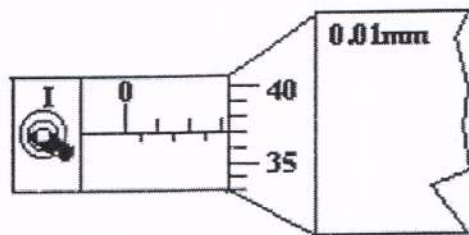
เมื่อวัดขนาดของวัตถุอันหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

โดยที่ Least Count ของไมโครมิเตอร์ = 0.010 mm



รูปที่ 2.8

1. ขณะนี้ขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่ 11.500 มิลลิเมตร เลยออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. ชีตที่ 22.5 ของสเกลวงกลมตรงกับแกนบนบนสเกลหลัก แล้วเอาตัวเลข 22.5 นี้คูณกับค่า Least Count จะได้เป็น
ค่าเศษของมิลลิเมตร เป็น $22.5 \times 0.010 = 0.225 \text{ mm}$
3. นำค่าที่ได้จากข้อ (1) และข้อ (2) รวมกัน จะได้เป็นผลการวัดครั้งนี้ นั่นคือ
ผลการวัด = $11.500 \text{ mm} + 0.225 \text{ mm}$
= 11.725 mm



รูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 เป็นผลการวัดของวัตถุอีกอันหนึ่ง เมื่อ Least Count เป็น 0.010 mm

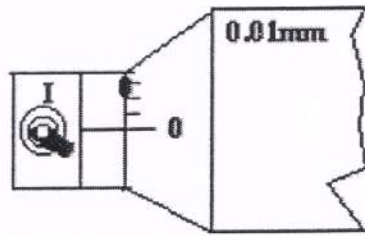
1. ขณะนี้ขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3.000 มิลลิเมตร เลยออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. ชีตที่ 37.0 ของสเกลวงกลมตรงกับแกนบนของสเกลหลัก ดังนั้นเศษของมิลลิเมตร
= $37.0 \times 0.010 = 0.370 \text{ mm}$
3. ผลการวัดครั้งนี้ = $3.000 + 0.370 = 3.370 \text{ mm}$

ดังนั้นลำดับขั้นตอนการอ่านค่าการวัดเป็นดังนี้

1. ก่อนใช้ไมโครมิเตอร์ต้องดูว่าค่า Least Count เท่ากับเท่าใด โดยดูจากตัวเลขที่เขียนไว้บนโครง A หรืออาจจะคำนวณก็ได้ (โดยดูจากหัวข้อความละเอียดของไมโครมิเตอร์)
2. ต้องดูว่าขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่เท่าใดของสเกลหลัก อ่านในหน่วยมิลลิเมตร
3. ต่อไปดูว่า ชีตที่เท่าใดบนสเกลวงกลมอยู่ตรงกับเส้นแกนของสเกลหลัก แล้วเอาตัวเลขนี้คูณกับค่า Least Count จะได้เป็นเศษของมิลลิเมตร
4. ผลรวมที่ได้จากข้อ 2 และ ข้อ 3 คือผลการวัด

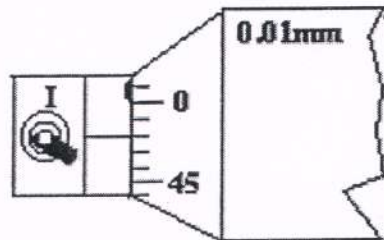
ความคลาดเคลื่อนของไมโครมิเตอร์ (Zero Error)

ไมโครมิเตอร์ที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน เมื่อปากวัด C - D สัมผัสพอดี ซีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับกับแกนนอนของสเกลหลัก และขอบของสเกลวงกลมจะทับซีดที่ 0 ของสเกลหลักพอดี ดังแสดงในรูปที่ 10



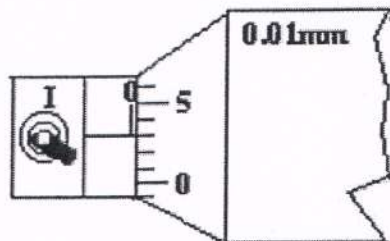
รูปที่ 2.10

แต่ในบางครั้งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ดังกรณี รูปที่ 2.11 เมื่อใช้วัดของสิ่งใดแล้วจะได้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริงอยู่ 0.020 มิลลิเมตรเสมอ ดังนั้นเมื่ออ่านค่าการวัดใดๆ แล้วจึงต้องบวกด้วย 0.020 มิลลิเมตร เข้าไปด้วย



รูปที่ 2.11

สำหรับกรณีรูปที่ 2.12 เมื่อใช้วัดของสิ่งใดแล้วจะได้ค่ามากกว่าความเป็นจริงอยู่ 0.030 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.12

ดังนั้นเมื่ออ่านค่าการวัดใดๆ แล้วจึงต้องลบออกด้วย 0.030 มิลลิเมตร เสมอ

อุปกรณ์การทดลอง

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ 1 อัน
2. ไมโครมิเตอร์และไม้บรรทัด 1 อัน
3. วัตถุรูปทรงต่างๆ ที่กำหนดให้
 - 3.1 ทรงกลมตัน 1 อัน
 - 3.2 ทรงกระบอกตัน 1 อัน
 - 3.3 ทรงกระบอกกลวง 1 อัน

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

3.4 เหรียญ 1 บาทเล็ก 1 เหรียญ

3.5 แท่งไม้ 1

3.6 แท่งไม้ 2

วิธีการทดลอง

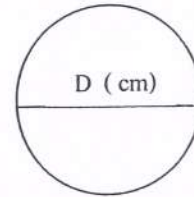
1. ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์ วัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้ โดยการวัดครั้งเดียว ประมาณช่วงความผิดพลาดจากค่า Least Count โดยให้มีค่าเท่ากับ 21 ของ Least Count

2. นำค่าที่ได้ในข้อ 1 คำนวณปริมาตรของวัตถุที่กำหนดให้ จากสูตรต่อไปนี้

ปริมาตรทรงกลม

$$V_s = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$= \frac{1}{6}\pi D^3$$



เมื่อ r = รัศมีของทรงกลม

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง

ปริมาตรทรงกระบอกตัน

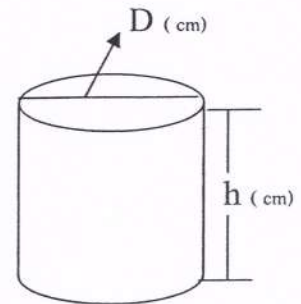
$$V_{cs} = \pi r^2 h$$

$$= \frac{\pi}{4} D^2 h$$

เมื่อ r = รัศมีของทรงกระบอก

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง

h = ความสูงของทรงกระบอก



ปริมาตรทรงกระบอกกลวง

$$V = V_{out} - V_{in}$$

เมื่อ V_{out} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิววนอก

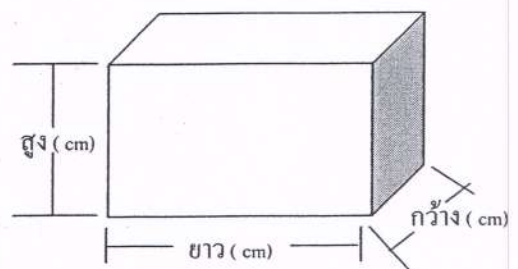
V_{in} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิวด้านใน

ปริมาตรรูปลูกบาศก์

กว้าง X ยาว X สูง

เมื่อ V_{out} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิววนอก

V_{in} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิวด้านใน



วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง

รูปร่างวัตถุ	เวอร์เนีย				ไมโครมิเตอร์				ไม้บรรทัด			
	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)
ทรงกลม												
ทรงกระบอกตัน												
ทรงกระบอกกลวง												
เหรียญ												
แท่งไม้ 1												
แท่งไม้ 2												

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

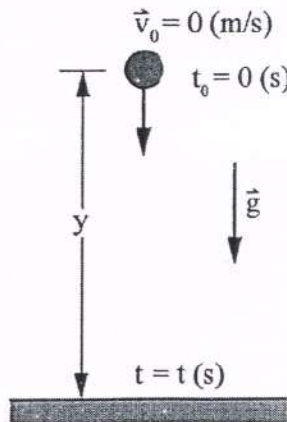
.....

การทดลองที่ 3

การตกอย่างอิสระ

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
2. เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของเวลากับระยะทางที่ตกลงมาในแนวดิ่ง
3. เพื่อศึกษาขนาดมวลของวัตถุที่ตกลงมาในแนวดิ่งมีผลต่อค่า g ณ ตำแหน่งที่ทำทดลองหรือไม่



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการตก

อย่างอิสระ

สำหรับการตกอย่างอิสระสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่ง

$$y = v_{oy} + \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

เมื่อปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ความเร็วเริ่มต้น $v_{oy} = 0$ ดังรูปที่ 1 ได้

$$y = \frac{g}{2}t^2 \quad (2)$$

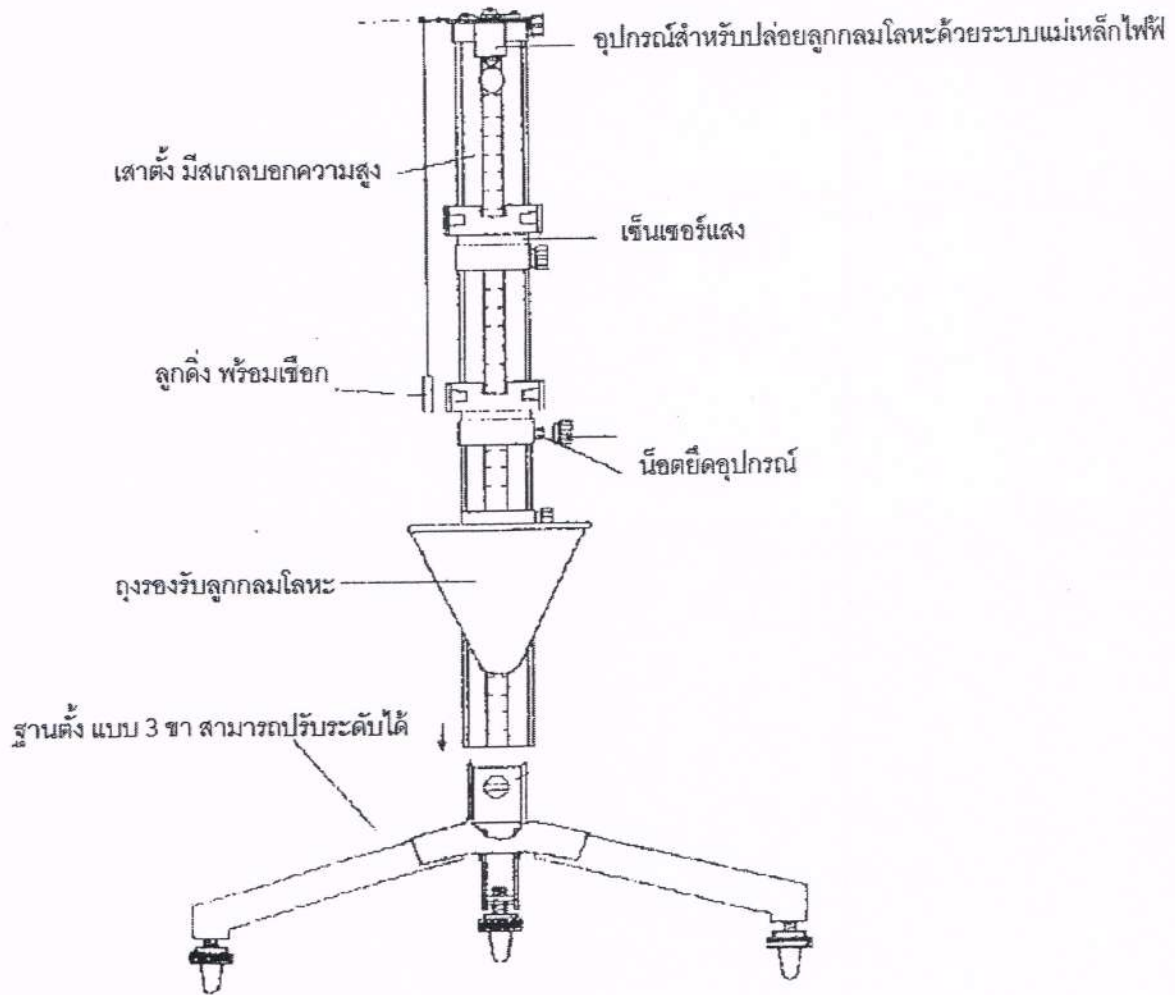
ซึ่งสมการที่ (2) เป็นสมการทำการ (Work Equation) ทำให้เรารู้ว่าเมื่อ y เป็นตัวแปรต้น และ t^2 เป็นตัวแปรตาม แล้ว ตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้คือ ที่ระยะความสูงต่างๆ (y) และเวลา (t) ณ ช่วงความสูงนั้นๆ ก็สามารถหาค่า g ได้

ถ้านำมาเขียนกราฟสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของเวลา (t^2) ที่ระดับความสูง (y) ต่างๆ จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีค่าความชัน (slope) = $\frac{g}{2}$ และจากสมการที่ (2) สามารถนำมาหาค่า g ได้จากสมการ

$$g = \frac{2y}{t^2} \quad (3)$$

สำหรับสมการข้างต้นพบว่า ขนาดมวลที่นำมาปล่อยตกอย่างอิสระจะไม่มีผลต่อค่า g สำหรับค่า g ทางทฤษฎีที่ระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ 9.81 m/s^2

โครงสร้างชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ



รูปที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์

» หลักการ

โดยใช้ทฤษฎีการตกอย่างอิสระ เมื่อเวลา t คือเวลาที่วัตถุตกอย่างอิสระ และระยะ h คือระยะทางที่วัตถุตกอย่างอิสระ สามารถคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงได้จากสมการ

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

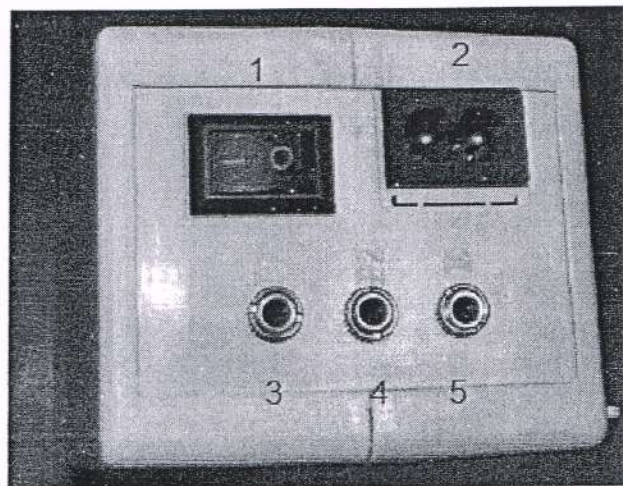
$$g = \frac{2h}{t^2}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองอเนกประสงค์ทางกลศาสตร์
2. เครื่องบันทึกเวลา
3. ชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ
4. มวลเหล็กแบบทรงกลม 2 ขนาด

วิธีการทดลอง

1. ประกอบอุปกรณ์ชุดทดลองการตกอย่างอิสระ
2. เมื่อกดสวิทช์ Power ขดลวด Solenoid จะเกิดอำนาจแม่เหล็ก
3. นำลูกเหล็กกลม ไปชั่งหามวลบันทึกค่าไว้ แล้วนำไปติดไว้ด้านล่างของขดลวด
4. นาฬิกาจับเวลาถูก Reset เป็น 00 และบานพับด้านล่างที่ติดกับ Limit Switch จะถูกกดติดกับเป็นรองรับ
5. กดสวิทช์ Start ขดลวด Solenoid จะหมดอำนาจแม่เหล็ก ลูกเหล็กตกอย่างอิสระ ในขณะนี้นาฬิกาจะเดิน ปรากฏตัวเลขขึ้นที่หน้าปัดและเมื่อลูกเหล็กกระทบบานพับด้านล่าง (ซึ่งเป็นวงจรปิดของนาฬิกาจับเวลา) ทำให้วงจรตัดการทำงานเป็นผลทำให้นาฬิกาหยุดเดินอ่านค่า เวลา (t) ที่ลูกเหล็กตกจากระดับความสูง (y) ได้ บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 1
6. เปลี่ยนระดับความสูง (y) แล้วจับเวลาที่ระดับความสูงต่างๆ อย่างน้อย 6 ระดับ บันทึกค่าเวลาที่ระดับความสูงต่างๆ แล้วนำมายกกำลังสอง แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า y ต่างๆ (แกนตั้ง) กับกำลังสองของเวลา (t^2) (แกนนอน) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง คำนวณหาค่าความชัน (Slope) แล้วคำนวณหาค่า g จากค่าความชัน (Slope) $= \frac{1}{2}g$
7. คำนวณหาค่า g จากสูตร ในสมการที่ 3 คือ $g = \frac{2y}{t^2}$ ลงในช่องสุดท้ายของตารางแล้วหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบค่า g จากข้อ 5 กับข้อ 6 และค่าจากทฤษฎีหา % ผิดพลาดแล้ววิเคราะห์พร้อมอภิปรายและสรุปผลการทดลอง
8. เปลี่ยนขนาดลูกเหล็กอีก 1 ขนาด แล้วทดลองตั้งแต่ข้อ 1-7 (โดยบันทึกในตารางที่ 2)



รูปที่ 2 ด้านหลังเครื่องบันทึกเวลา

ตำแหน่งด้านหลัง

- 1 : สวิตช์ ปิด/เปิด
- 2 : เชื่อมต่อสายไฟ
- 3 : เซ็นเซอร์ตัวที่ 1
- 4 : เซ็นเซอร์ตัวที่ 2
- 5 : เชื่อมต่ออุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งเซนเซอร์แสง(Photogate) และชุดสวิตช์แม่เหล็ก(Electromagnet switch) เข้ากับชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ ดังรูปที่ 1
2. ต่อเซนเซอร์แสง และชุดสวิตช์แม่เหล็กเข้ากับเครื่องบันทึกเวลา(Memory time counter)
3. ปรับเลือกกระดับ ระยะระหว่างเซนเซอร์แสงทั้ง 2 และระยะระหว่างเซนเซอร์แสงกับสวิตช์แม่เหล็ก
4. ทดสอบการทำงานของเครื่อง โดย เปิดเครื่องบันทึกเวลา(สวิตช์ด้านหลังเครื่อง)



ฟังก์ชันที่ใช้กับการทดลอง

รูปที่ 3 ด้านหน้าเครื่องบันทึกเวลา

- เลือกฟังก์ชัน Gravity acceleration (ปุ่มสีแดง)
- กดสวิตช์สร้างอำนาจแม่เหล็ก (ปุ่มสีเขียว)
- กดปล่อย ลูกกลม โลหะ (ปุ่มสีเขียว)

สังเกตที่เครื่องกดปุ่ม DATA FETCH เรียกดูข้อมูลที่บันทึก จะมี 2 ค่า ดังนี้

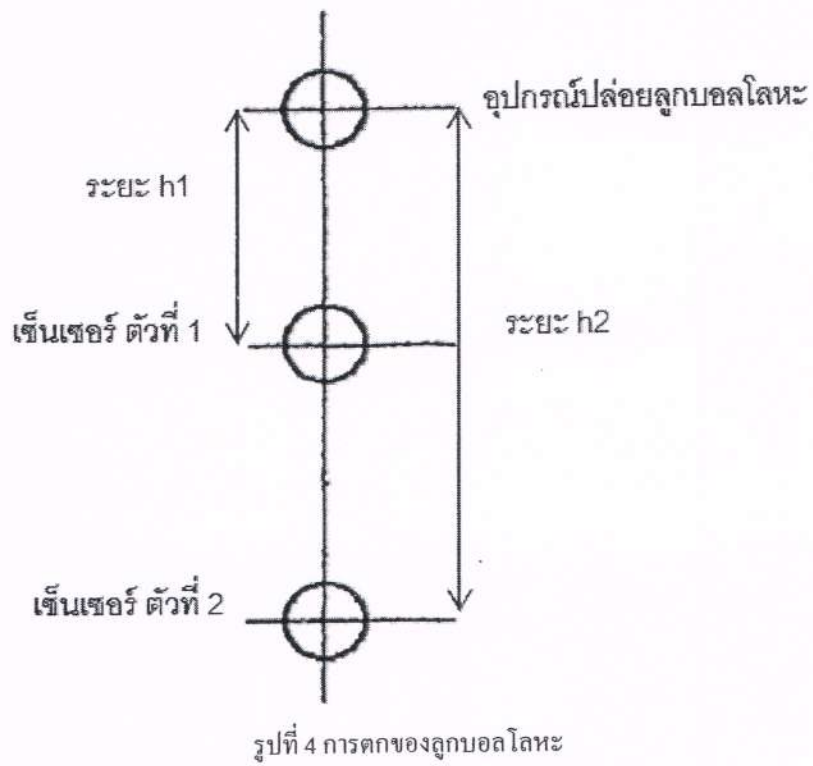
- 1 ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ P1
- 2 ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ P2
- หมายเหตุ : เริ่มบันทึกเวลาเมื่อกดปล่อยลูกโลหะ

» ข้อเสนอแนะ

1. กรณีมีข้อมูลค่าเดียวหรือไม่มีให้ทำการตรวจเช็คที่เซนเซอร์แสง หรือแฉักที่เสียอาจหลวม แต่ส่วนใหญ่แล้วเกิดจากลูกกลมโลหะไม่ตกผ่านเซนเซอร์แสง กรณีนี้ควรใช้ลูกดิ่งพร้อมเชือกติดกับอุปกรณ์สำหรับปล่อยลูกกลมโลหะและปรับที่ขา 3 ขา จากนั้นทดลองซ้ำอีกครั้ง ทำเช่นนี้กระทั่งเครื่องสมบูรณ์
2. ควรทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนระยะ h

» บันทึกผลการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่	ระยะ h_1 (cm)	ระยะ h_2 (cm)	เวลา t_1 (ms)	เวลา t_2 (ms)
1	42	76	297.5	396.9
2	55	85	341.7	422.7
3	62	92	359.3	436
4	80	110	405.8	475.3

การทดลองครั้งที่	h_2 (m)	h_1 (m)	t_1 (s)	t_2 (s)	$\frac{h_2}{t_2}$ (m/s)	$\frac{h_1}{t_1}$ (m/s)	$t_2 - t_1$ (s)	$g = 2 \frac{\left(\frac{h_2}{t_2} - \frac{h_1}{t_1} \right)}{t_2 - t_1}$ (m/s)
1								
2								
3								
4								
ค่าเฉลี่ย	$\Sigma \frac{g}{4}$							

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

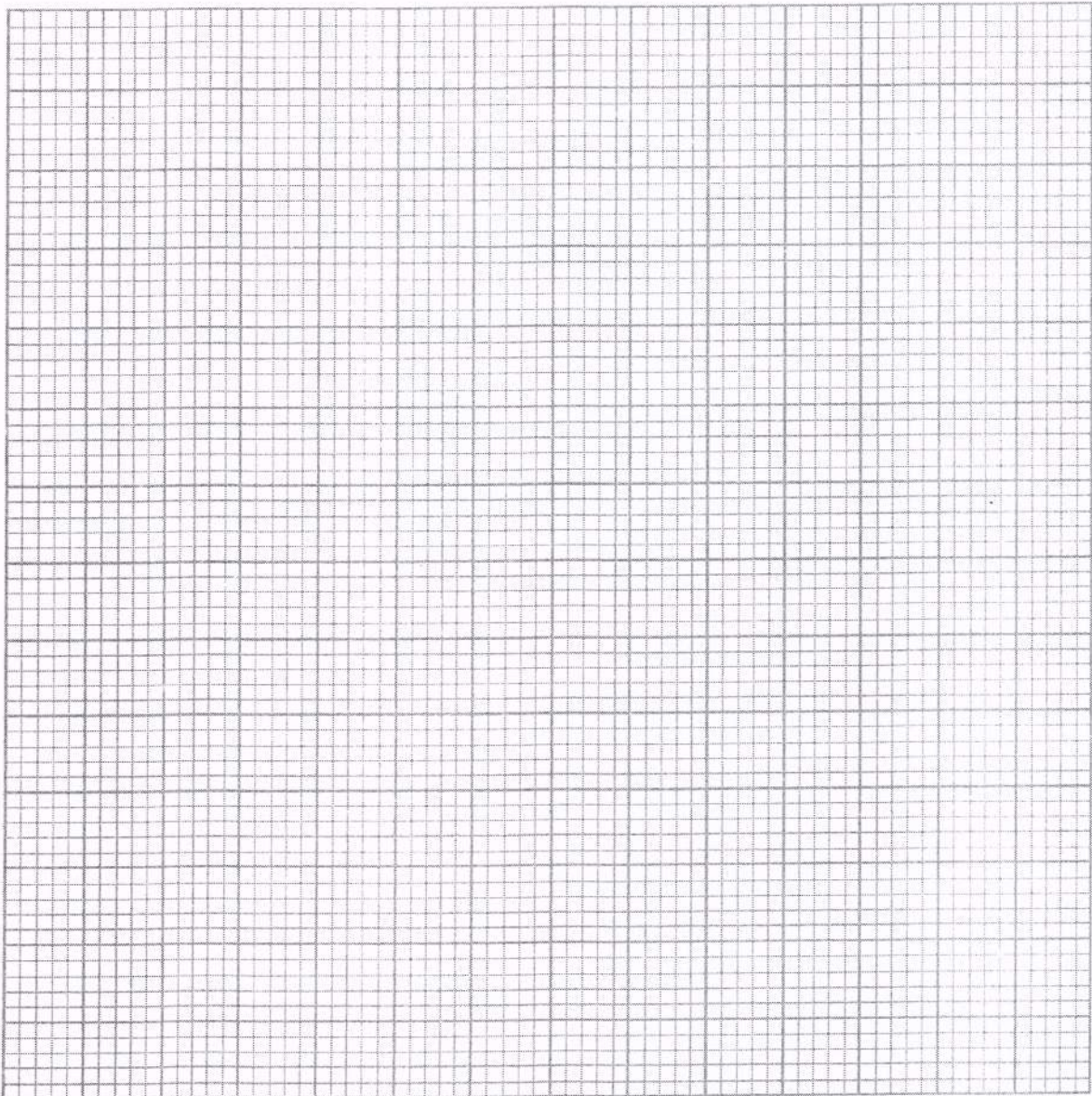
.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

การทดลองที่ 4

สมดุลของแรง

วัตถุประสงค์

1. สามารถรวมแรงด้วยวิธีการวาดรูปและคำนวณได้
2. ทดลองและตรวจสอบทฤษฎีของแรงได้

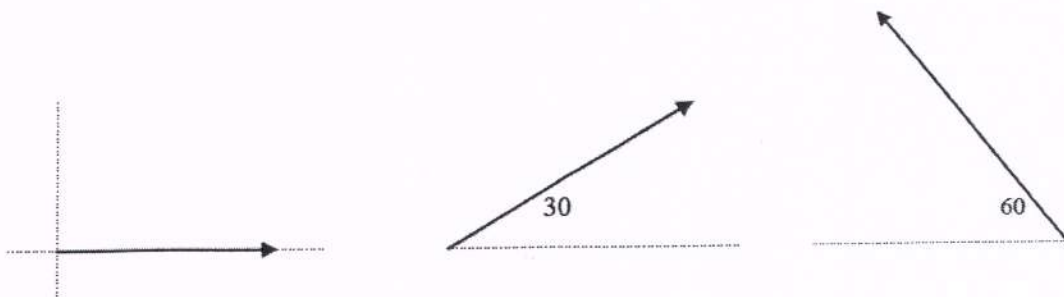
ทฤษฎี

ปริมาณในทางฟิสิกส์โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ปริมาณคือ

1. ปริมาณสเกลาร์ (Scalar Quantities) เป็นปริมาณที่มีเฉพาะขนาด (Magnitude) เพียงอย่างเดียว เช่น มวล (Mass) เวลา (Time) พลังงาน (Energy) งาน (Work) เป็นต้น ในการรวมปริมาณ สเกลาร์จะรวมกันตามหลักพีชคณิตต่างๆ ไป เช่น มวล 3kg รวมกับมวล 4 kg ได้มวลรวมเป็น 7 kg เป็นต้น

2. ปริมาณเวกเตอร์ (Vector Quantities) เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง (Direction) เช่น แรง (Force) การกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) สนามไฟฟ้า (Electric Field) เป็นต้น ในการรวมปริมาณเวกเตอร์นี้จะต้องคำนึงถึงทิศทางด้วย เช่น แรง 3 นิวตัน รวมกับแรง 4 นิวตัน แรงรวมหรือแรงลัพธ์ที่ได้ อาจมีค่าได้ตั้งแต่ 1 นิวตัน ถึง 7 นิวตัน ถ้าแรงทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน หรือถ้าแรงทั้งสองนี้ตั้งฉากกันจะได้ 5 นิวตัน เป็นต้น

ตัวอย่าง กำหนดให้แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $-\vec{F}_3$ มีขนาด 3N, 4N และ 5N ตามลำดับ โดยมีทิศทางดังรูปที่ 2.1 จงหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ (R) โดยที่ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$



รูปที่ 2.1 เวกเตอร์

ขั้นตอนที่ 1 วาดรูปเวกเตอร์ของแรงลงบนระบบพิกัดฉาก xy ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแตกแรง

ขั้นตอนที่ 2 แยกแรงที่ไม่อยู่บนแกน x หรือ y (ซึ่งในที่นี้คือแรง F_2 และ F_3) ไปบนแกน x และ y ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจากรูปจะได้

$$F_{2x} = F_2 \cos 30$$

$$= 4(0.866)$$

$$= 3.464 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 60$$

$$= 5(0.5)$$

$$= 2.5 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin 30$$

$$= 4(0.5)$$

$$= 3.464 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \sin 60$$

$$= 5(0.866)$$

$$= 4.33 \text{ N}$$

ขั้นตอนที่ 3 รวมแรงแกนเดียวกันเข้าด้วยกันจะได้

$$\sum F_x = F_1 + F_{2x} - F_{3x}$$

$$= 3 + 3.464 - 2.5$$

$$= 3.964 \text{ N}$$

$$\sum F_y = F_{2y} - F_{3y}$$

$$= 2 + 4.33$$

$$= 6.33 \text{ N}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดแรงของแรงลัพธ์จากการรวม $\sum F_x$ และ $\sum F_y$ จากสมการ

$$\sum F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

$$\sum F = \sqrt{(3.964)^2 + (6.33)^2}$$

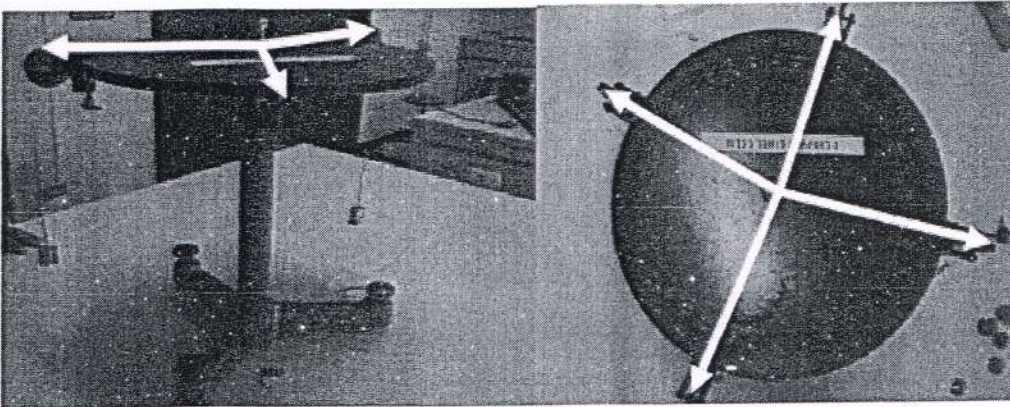
$$= 7.469 \text{ N}$$

หาทิศของแรงลัพธ์จะเห็นว่า

$$\tan \alpha = \frac{\sum F_y}{\sum F_x} = \frac{6.33}{3.964} = 1.597$$

$$\alpha = \tan^{-1} 1.597 = 57.94 \text{ องศา}$$

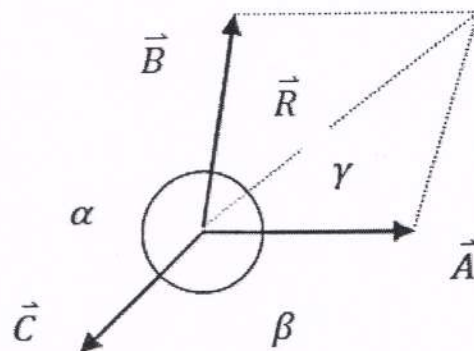
สมดุลของแรง 3 แรง



รูปที่ 2.3 สมดุลของแรง 3 แรง และ 4 แรง

แรงที่อยู่ในทิศตรงข้ามกับแรงลัพธ์ที่มากกระทำกับวัตถุทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แรงนี้ เรียกว่า “แรงกู่” (Anti-Resultant Force) ถ้ามีแรงสองแรงกระทำต่อกันและแรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์ แรงกู่สามารถหาได้ อีกวิธีหนึ่ง จากกฎของไซน์ได้ เช่น A และ B กระทำร่วมกันที่จุดๆ หนึ่ง และ C เป็นแรงกู่ ดังรูป 2.4 ขนาดของแรงทั้งสาม มีความสัมพันธ์ต่อกันเป็น

$$\frac{A}{\sin \alpha} = \frac{B}{\sin \beta} = \frac{C}{\sin \gamma}$$



รูปที่ 2.4 กฎของไซน์

วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เราศึกษาการสมดุลของแรงโดยใช้โต๊ะแรง (Force table) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 น้ำหนัก (แรง) ขนาดตามต้องการ จะถูกผูกติดกับเชือกแล้วคล้องผ่านรอก ซึ่งสามารถติดตั้งในทิศต่างๆ ได้ โดยรอบ 360 องศา บนขอบโต๊ะ ปลายเชือกอีกด้านหนึ่งผูกติดกับวงแหวนเล็กๆ และยึดไว้ด้วยหมุดที่จุดศูนย์กลางโต๊ะ ปรับแรงให้อยู่ในทิศต่างๆ จนกระทั่งหมุดอยู่กึ่งกลางแหวน เราก็จะบันทึกผลทั้งทิศทางของแรง และขนาดของแรงได้

อุปกรณ์

1. คีมน้ำหนัก
2. เชือก
3. ตาชั่งสปริง
4. โต๊ะแรง

ตอนที่ 1 สมดุลของแรง 3 แรง

1. ปรับโต๊ะแรงให้อยู่ในแนวระดับ จัดแรง $\vec{F}_1$ และ $-\vec{F}_2$ ให้มีขนาดและทิศทางตามค่าที่กำหนดในตาราง บันทึกผลการทดลอง ให้ทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง
2. แต่ละครั้งจะทำการหา $\vec{F}_3$ ทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล บันทึกผล
3. แสดงวิธีหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ด้วยวิธีการคำนวณ
4. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง

ตอนที่ 2 สมดุลของแรง 4 แรง

1. ปรับโต๊ะแรงให้อยู่ในแนวระดับ จัดแรง $\vec{F}_1$ จัดแรง, $-\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ ให้มีขนาดและทิศทางตามค่าที่กำหนด ในตารางบันทึกผลการทดลอง ให้ทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง
2. แต่ละครั้งจะทำการทดลองหา ทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล บันทึกผล
3. แสดงวิธีหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ ด้วยวิธีการคำนวณ
4. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สมดุลของแรง 3 แรง ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$\vec{F}_2$		แรงลัพธ์ $\vec{F}_3$			
					จากการทดลอง		จากการคำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1	50	0	75	90	90		90	
2	50	0	75	120	70		70	
3	100	0	100	120	100		100	
4	100	0	150	135	110		110	

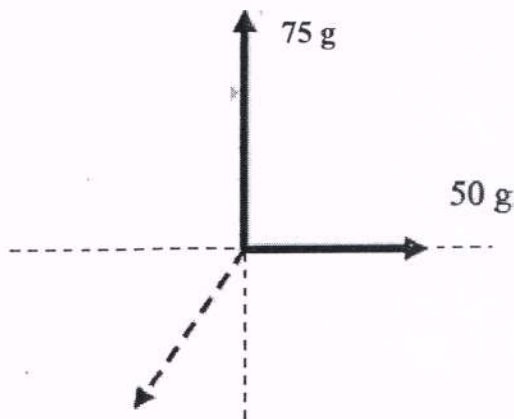
ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$\vec{F}_2$		$\vec{F}_3$		แรงลัพธ์			
							ทดลอง		คำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1	50	0	50	60	50	180				
2	50	0	80	90	80	135				
3	60	0	80	130	100	210				

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

แสดงวิธีการการคำนวณ กำหนดขนาดและทิศทางของแรงคู่สมดุล

สมดุลของแรง 3 แรง

ครั้งที่ 1



.....

.....

.....

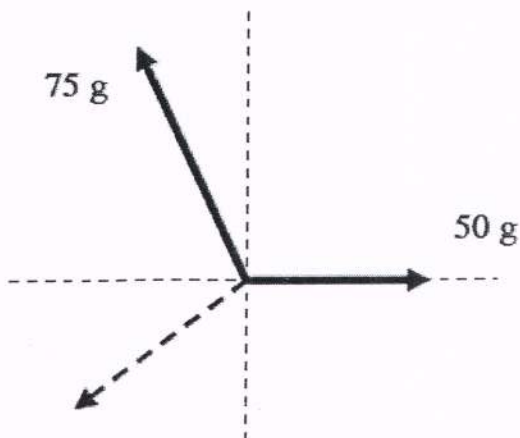
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 2



.....

.....

.....

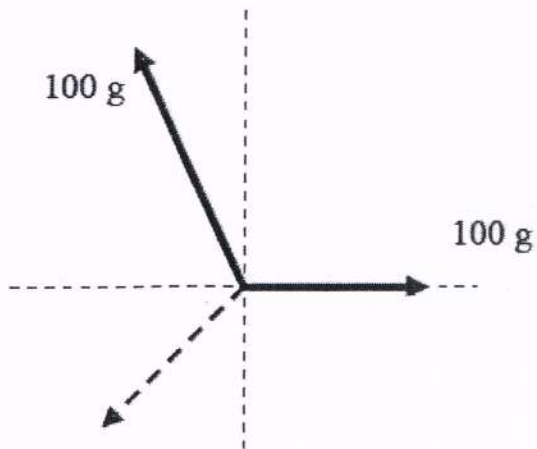
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 3



.....

.....

.....

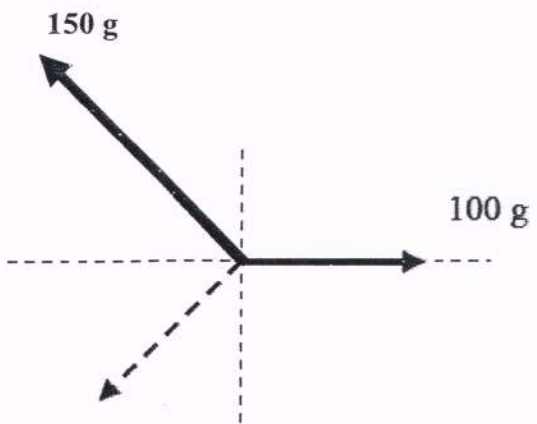
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 4



.....

.....

.....

.....

.....

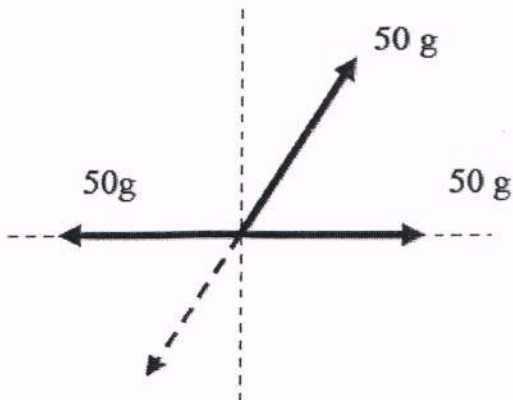
.....

.....

ตอนที่ 2 สมดุลของแรง 4 แรง ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$\vec{F}_2$		$\vec{F}_3$		แรงที่สมดุล			
							ทดลอง		คำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1										
2										
3										

ครั้งที่ 1



.....

.....

.....

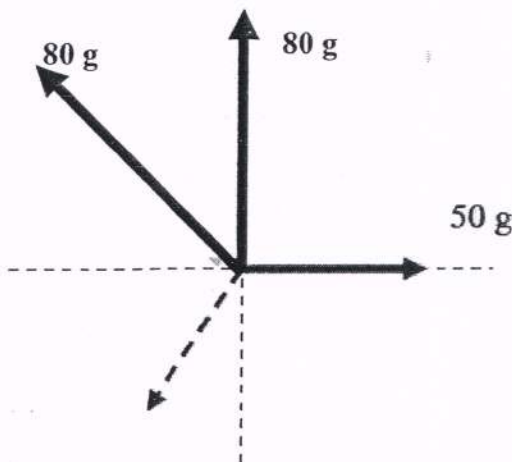
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 2



.....

.....

.....

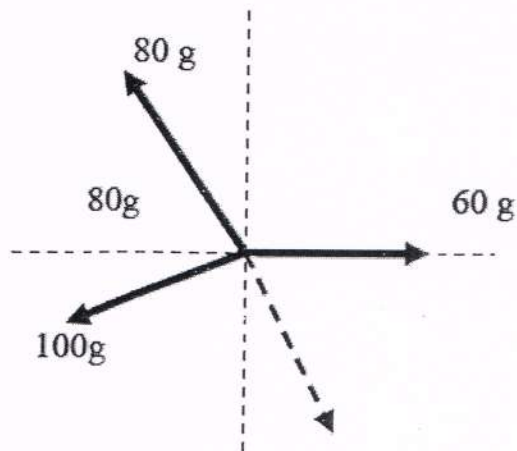
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 3



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 5
ชุดสาธิตการเกิดคลื่นนิ่ง (ชุดสาธิต)
Standing waves demonstration



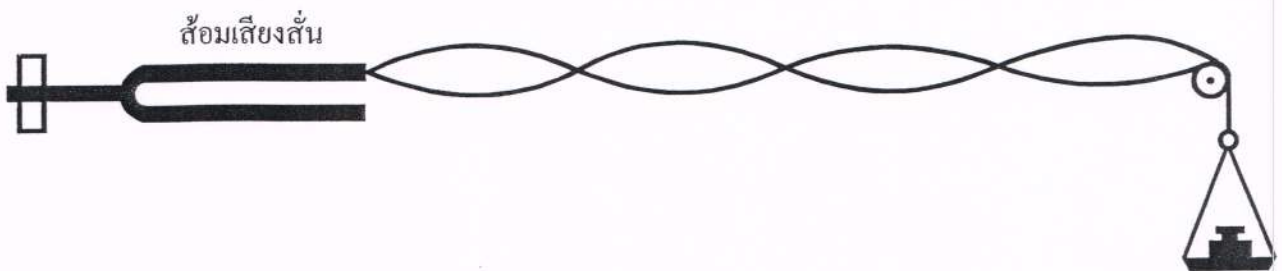
วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับการเกิดคลื่นนิ่ง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

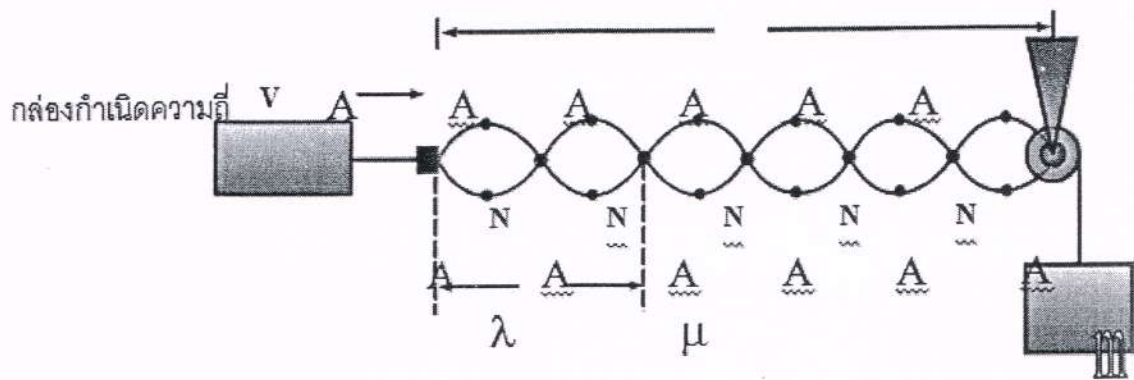
คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการซ้อนกันของคลื่น 2 คลื่นที่มีความถี่เท่ากัน มีทิศการเคลื่อนที่สวนทางกัน

ในอดีตนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ แฟรงซ์ เมลด์ ได้สาธิตคลื่นนิ่งตามขวางในเส้นเชือก โดยผูกปลายเชือกข้างหนึ่งเข้ากับส้อมเสียงแล้วคล้องผ่านรอก อีกปลายหนึ่งผูกกับจานวางน้ำหนัก ดังรูปที่ 1 เมื่อเคาะขาส้อมเสียงให้สั่น คลื่นที่เกิดขึ้นจะเดินทางไปตามเส้นเชือก จนถึงปลายอีกข้างหนึ่ง (ชนถูกรอก) แล้วสะท้อนกลับมา ถ้าให้ส้อมเสียงสั่นตลอดเวลา คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนจะรวมกันเป็น คลื่นนิ่ง



รูปที่ 1 แสดงการทดลองของเมลด์

ชุดสาธิตการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก เป็นชุดสาธิตที่มีลักษณะการทดลองคล้ายกับชุดสาธิตการทดลองของ แฟรงซ์ เมลด์ แต่เปลี่ยนจากส้อมเสียงเป็นเครื่องสั่นไฟฟ้าความถี่ 50 Hz แทน ทำให้เกิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก โดยการสั่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 50 Hz.

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดสาริตการเกิดคลื่นนิ่ง 2012335
2. เครื่องจ่ายไฟฟ้าโวลท์ต่ำ AC.
3. ลูกตุ้มน้ำหนัก 20 กรัม จำนวน 12 อัน
10 กรัม จำนวน 6 อัน
4. จานวางน้ำหนัก 29 กรัม

แนวความคิด

ชุดสาริตการเกิดคลื่นนิ่ง กำเนิดคลื่นที่มีความถี่ (f) 50 Hz. ผ่านเส้นเชือกมีผลทำให้เกิดบัพ (Node) และปฏิบัพ (Antinode) โดยมีตำแหน่งคงที่และมีสมการของคลื่นดังนี้

จากรูปที่ 2 เมื่อกำหนดให้ N = บัพ (Node)

A = ปฏิบัพ (Antinode)

L = ความยาวเชือก (เมตร-m.)

m = มวล (กิโลกรัม Kg.)

l = ระยะทางคลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

T = แรงตึงในเส้นเชือก (นิวตัน-N)

m = อัตราส่วนระหว่างมวลต่อความยาวเชือก

- ความเร็วของคลื่นนิ่งในเส้นเชือก (เมตร/วินาที-m/s)

$$V = \lambda = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{①}$$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความหนาแน่นเชิงเส้นเชือก (μ) = ... kg/m

จำนวนลูก	T (N)	λ	λ^2	f (Hz)	V (m/s)
4					
3					
2					
1					

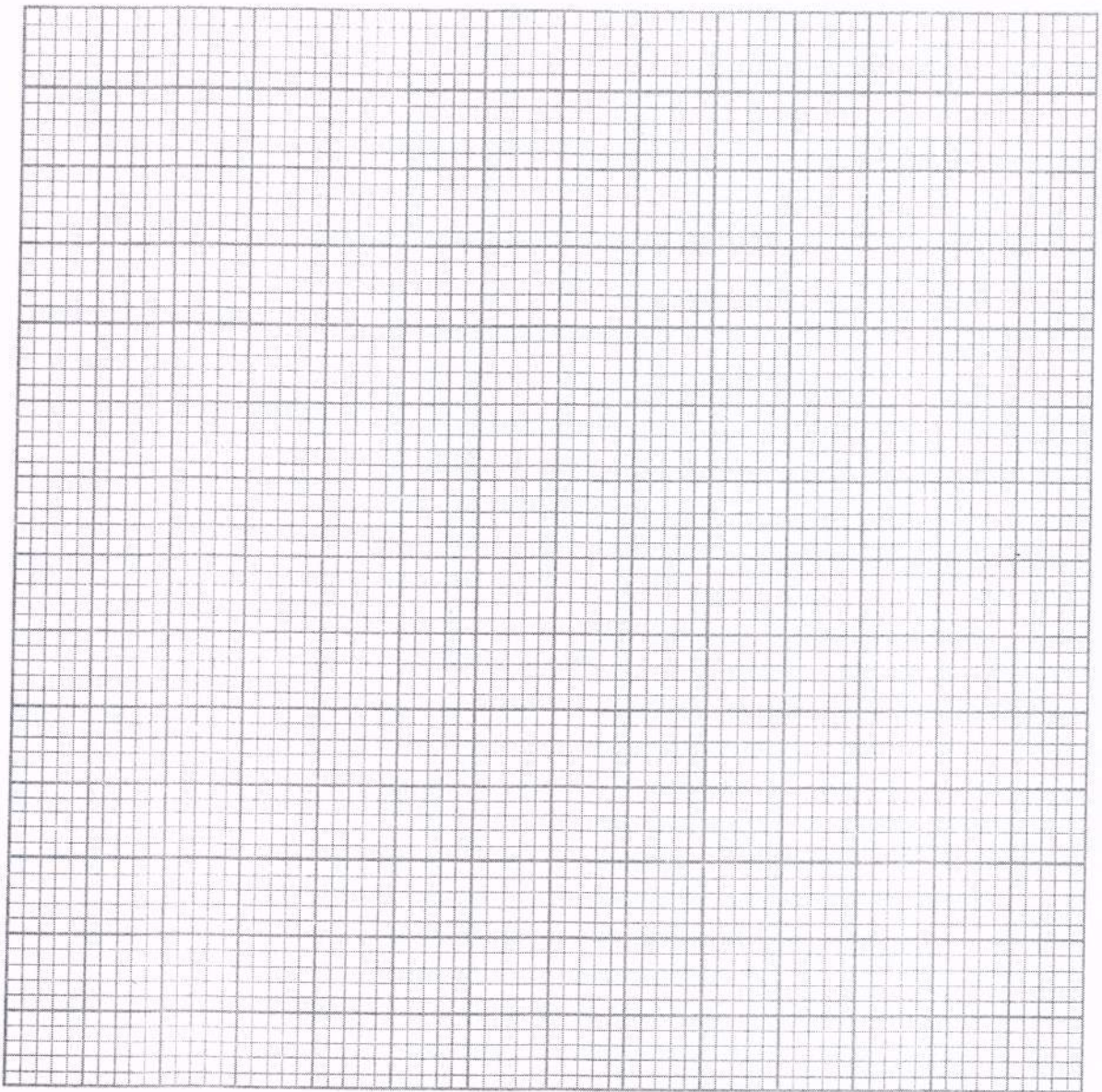
[illegible]เขียนกราฟ จะได้ความชันกราฟ = μf^2

ความถี่เฉลี่ยจากการคำนวณ = ... Hz.

ความถี่จากกราฟ = ... Hz.

ความถี่ของเครื่องต้นไฟฟ้า = 50 Hz.

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 6

จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงและจุดเซนทรอยด์

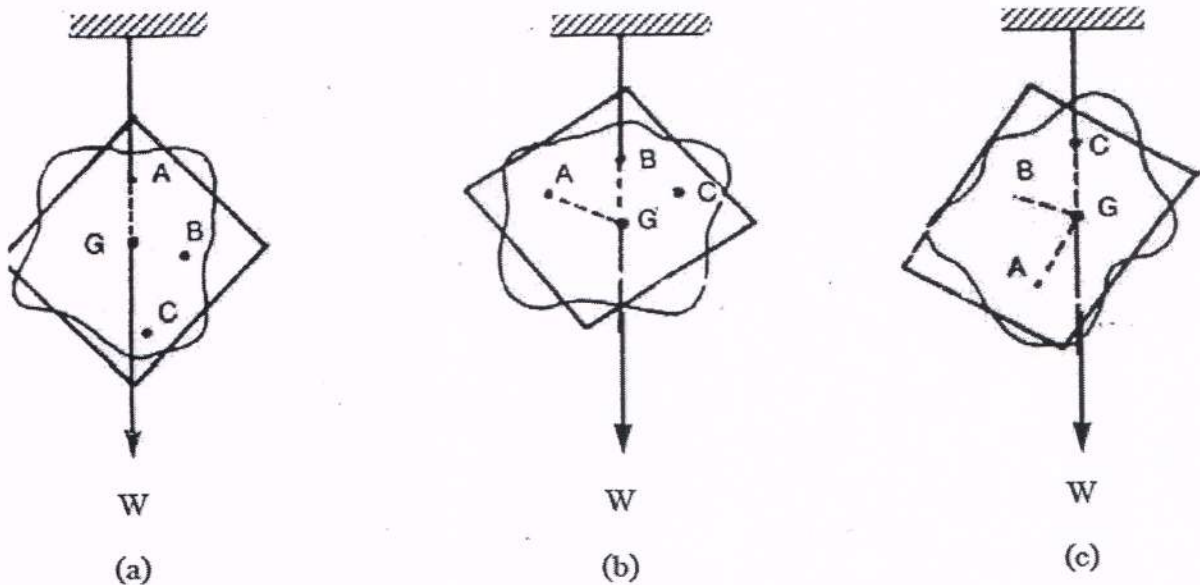
วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงและจุดเซนทรอยด์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จุดศูนย์กลาง และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity and Center of Mass)

แรงกระจายที่สำคัญอันหนึ่ง คือ แรงดึงดูดของโลก ซึ่งแรงนี้จะกระทำต่อทุกอนุภาคของวัตถุ และผลของแรงนี้ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก W ($W = mg$) เมื่อแขวนเชือกที่จุด A แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลก จะอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับเชือก คือ AG ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1

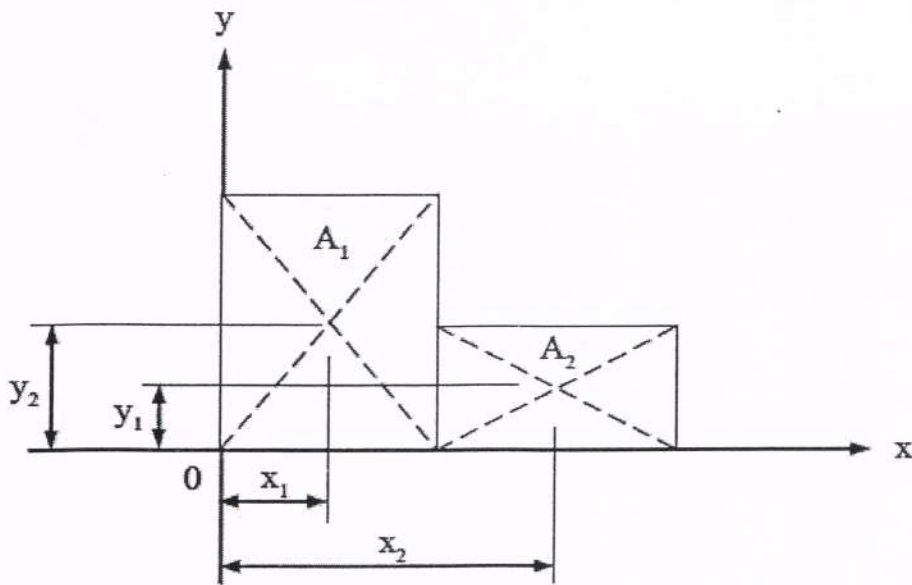
ต่อไปถ้าเลื่อนไปแขวนวัตถุที่จุด B และ C จะได้แรงลัพธ์ในแนวเส้นตรง BG และ CG ซึ่งจะเห็นว่าเส้นตรงทั้ง 3 เส้น ตัดกันที่จุด G จุดเดียว เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) ของวัตถุ และถ้าหาวัตถุอยู่ในสภาวะไร้แรงดึงดูดของโลกแล้ว เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์กลาง (Center of Mass) ซึ่งมีความหมายว่า จุดในวัตถุที่เสมือนกับว่า มวลทั้งหมดของวัตถุนั้นรวมอยู่ ณ จุดตรงนี้

เซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ

หมายถึง จุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของวัตถุนั้น แต่ถ้าจะพิจารณาถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุแล้ว มักจะใช้เป็น จุดศูนย์กลางมวล อย่างไรก็ตาม จุดศูนย์กลาง (Centroid) และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) จะเป็นจุดเดียวกันเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอและถ้าหากวัตถุมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอแล้ว จุดดังกล่าวทั้งสองจะไม่ทับกัน

การบอกตำแหน่งของจุด Centroid ของวัตถุรูปร่างใด ๆ มักจะบอกในเทอมของระยะค่าเฉลี่ยของ โคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (x, y, z)

เซนทรอยด์สำหรับวัตถุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีรูปร่างต่างกัน ดังแสดงใน รูปที่ 6.2

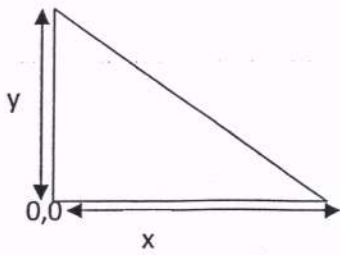


จุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$ หาได้จากสมการ

$$\bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}A}{\sum A}$$

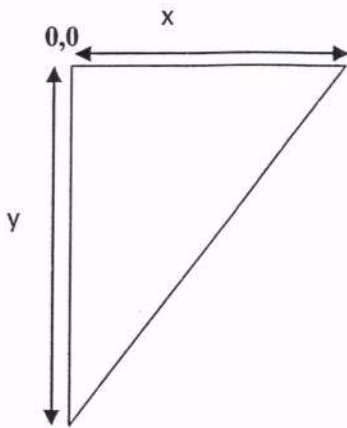
$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}A}{\sum A}$$

จุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุสามเหลี่ยม $(\bar{x}, \bar{y})$ หาได้จากสมการ



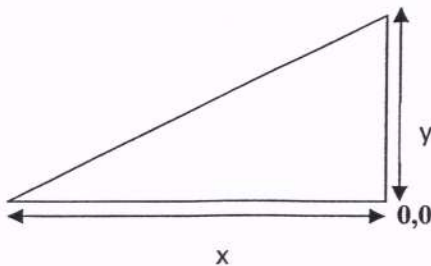
$$\bar{x} = \frac{x}{3}$$

$$\bar{y} = \frac{y}{3}$$



$$\bar{x} = \frac{x}{3}$$

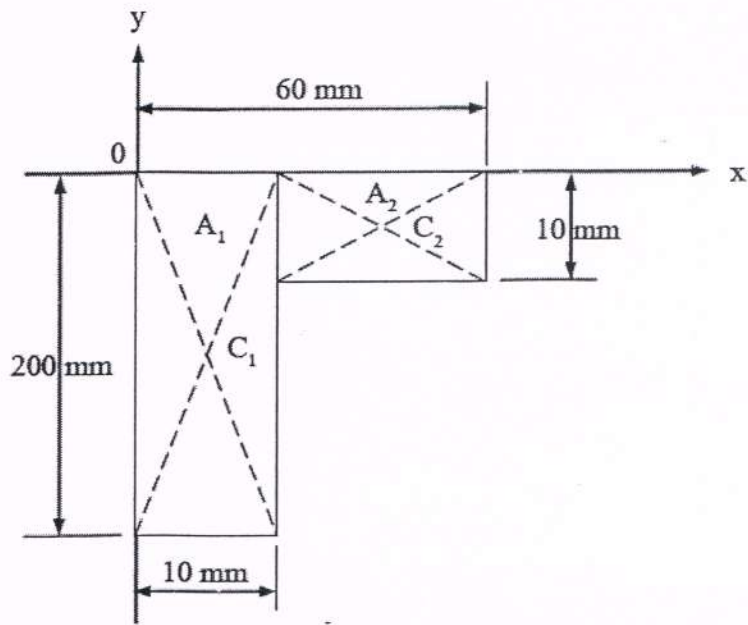
$$\bar{y} = \frac{2y}{3}$$



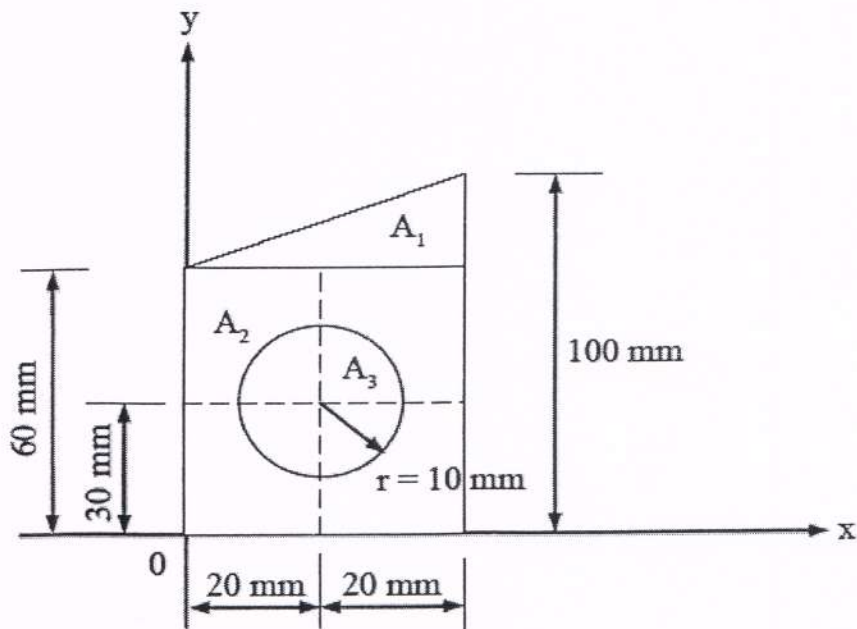
$$\bar{y} = \frac{y}{3}$$

วิธีการทดลอง

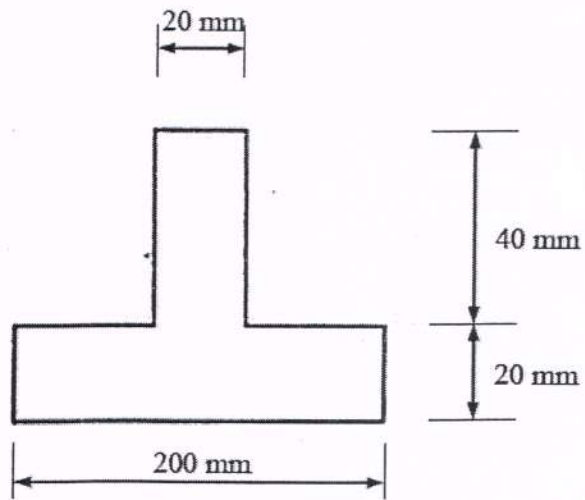
1. ตัดกระดาษให้ได้ตามรูปที่ 6.1a-6.1e
2. วางกระดาษตามข้อที่ 1 บนแท่นไม้หรือแท่นเหล็กที่เตรียมไว้ให้ เลื่อนกระดาษหาจุดสมดุลตามรูปที่ 6.2
3. ลงจุดตำแหน่งที่ทำให้เกิดสมดุล
4. นำกระดาษตามข้อที่ 3 มาวัดหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$
5. บันทึกลงในตารางที่ 6.1 พร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$



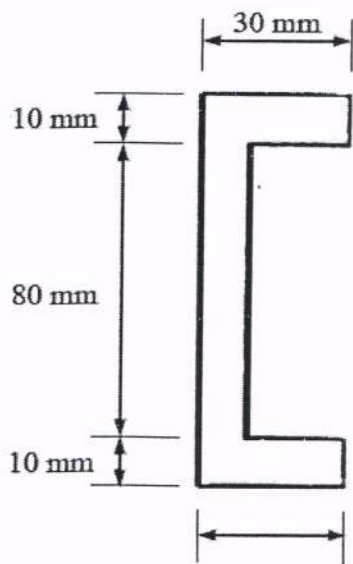
รูปที่ 6.1a



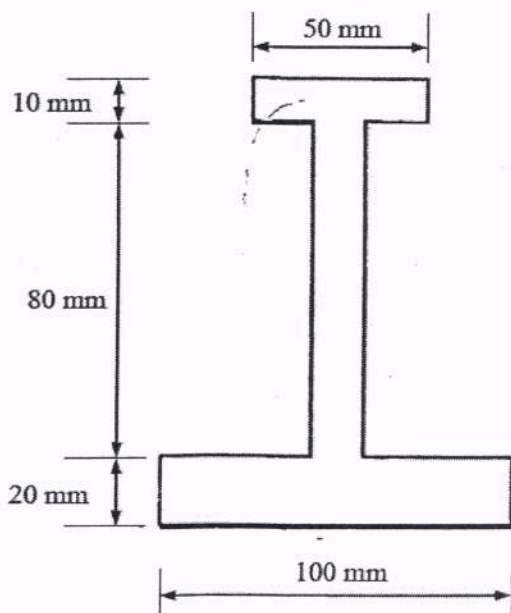
รูปที่ 6.1b



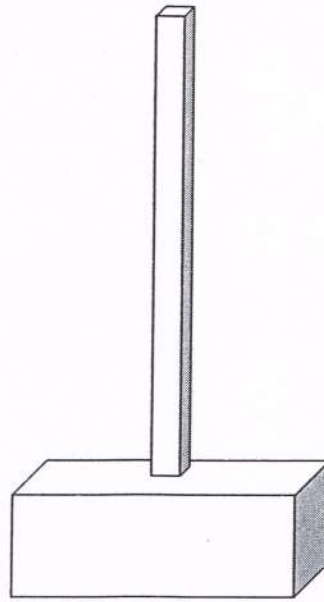
รูปที่ 6.1c



รูปที่ 6.1d



รูปที่ 6.1e



รูปที่ 6.2

ตารางที่ 6.1

รูปที่	ค่าที่ได้จากการทดลอง		ค่าที่ได้จากการคำนวณ	
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	$\bar{y}$
6.1a				
6.1b				
6.1c				
6.1d				
6.1e				

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 7
สมบัติของสาร

การหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของแข็ง
2. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของเหลว
3. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของวัตถุที่ไม่มีรูปทรง

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่ง
2. เวอร์เนียหรือไม้บรรทัดที่มีความละเอียดระดับ 0.02 ซม.
3. วัตถุตัวอย่างที่ต้องการหาค่าความหนาแน่น
4. กระบอกตวง
5. บีกเกอร์
6. ถ้วยชั่ง

ทฤษฎีเบื้องต้น

ความหนาแน่นของวัตถุ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุหนึ่งๆ โดยที่หากเป็นวัตถุเดียวกันจะมีความหนาแน่นเท่ากัน โดยความหนาแน่นจะเป็นตัวบ่งบอกว่า ถ้าสองวัตถุใดมีปริมาตรเท่ากัน วัตถุใดจะมีมวลมากกว่ากัน

ความหนาแน่นหาได้จากสูตร

$$D = \frac{m}{V}$$

เมื่อ D หรือ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุในหน่วย kg/m^3 หรือ g/cm^3

m คือ มวลของวัตถุ

V คือ ปริมาตรของวัตถุ

การหามวลของวัตถุ

1. กรณีเป็นของแข็ง เราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักของวัตถุได้โดยตรง
2. กรณีเป็นของเหลว เราสามารถหาได้โดยการชั่งพร้อมกับภาชนะบรรจุ แล้วน้ำหนักของของเหลวคือ น้ำหนักภาชนะบรรจุออก

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การหาปริมาตรของวัตถุ

1. กรณีของแข็งรูปทรงตันที่เราสามารถหาปริมาตรได้จากสมการปริมาตรตามรูปทรง

รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ = กว้าง x ยาว x สูง

ทรงกระบอก = พื้นที่ฐาน x สูง

$$\text{ทรงกลม} = \frac{4}{3}\pi R^3$$

2. กรณีของแข็งรูปทรงไม่คงที่หาได้โดย

การแทนที่ด้วยน้ำ

การชั่งวัตถุในน้ำ

3. กรณีของเหลวเราสามารถหาปริมาตรได้โดยการวัดปริมาตรในกระบอกตวง

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1.1 การหาค่าความหนาแน่นของวัตถุที่เป็นของแข็งมีรูปทรงเรขาคณิต

1. ชั่งหามวลของวัตถุโดยใช้ตาชั่ง บันทึกลงในตาราง
2. วัดขนาดของรูปทรงเพื่อคำนวณหาปริมาตร เมื่อคำนวณได้ปริมาตรแล้วบันทึกลงในตาราง
3. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
4. ทำการทดลองซ้ำ จบครบ 3 ครั้ง

รูปทรงของวัตถุ	มวลของวัตถุ (กรัม)	ปริมาตรของวัตถุ (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
2. ทรงกระบอก			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
3. ทรงกลม			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

2 การหาความหนาแน่นของของแข็งที่ไม่มีรูปทรงทางเรขาคณิต

ถ้วยยูเรก้า

1. ชั่งก้อนหินหามวลโดยใช้ตาชั่ง บันทึกลงในตาราง
2. แทนที่น้ำด้วยก้อนหินในถ้วยยูเรก้า ร่องนน้ำที่ล้นออกมาหยุด นำน้ำที่ล้นออกมาไปหาปริมาตร โดยใช้กระบอกตวง
3. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
4. ทำการทดลองซ้ำ จบครบ 3 ครั้ง

วัตถุ	มวลของวัตถุ (กรัม)	ปริมาตรของวัตถุ (ลบ.ซม.)	คามหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. ก้อนหิน 1			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
2. ก้อนหิน 2			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			

3 การหาความหนาแน่นของของเหลว (น้ำยาล้างจาน)

1. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวงเปล่า
2. ชั่งน้ำหนักของของเหลวพร้อมกระบอกตวง
3. คำนวณหาน้ำหนักของของเหลวโดย น้ำหนักของของเหลวจะเท่ากับ น้ำหนักของของเหลวพร้อมกระบอกตวง - น้ำหนักกระบอกตวงเปล่า
4. อ่านค่าปริมาตรของของเหลวจากกระบอกตวง
5. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
6. ทำการทดลองซ้ำ จนครบ 3 ครั้ง

วัตถุ	มวลของของเหลว พร้อมกระบอกตวง	มวลของ กระบอกตวง	มวลของ ของเหลว	ปริมาตรของ วัตถุ (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. น้ำ					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					
2. นมข้น					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					
3. น้ำมัน					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					

ตารางแสดงความหนาแน่นของสารชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุ	ค่าความหนาแน่น ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
นิกเกิล	8.90
ตะกั่ว	11.34
ทองแดง	8.92
ทองเหลือง	8.56
สังกะสี	7.10
เหล็ก	7.86
อลูมิเนียม	2.70
ปรอท	13.60
กลีเซอริน	1.26
น้ำ	1.00
อากาศ	0.00129

วิเคราะห์ผลการทดลอง

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of multiple sets of three horizontal dashed lines spaced evenly down the page, providing a guide for letter height and placement. The background is plain white, and there are no other markings or text present.

การทดลองที่ 1

การเขียนกราฟของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเขียนมาเขียนเป็นกราฟของสมการเส้นตรง วิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยความชัน (Slope) จุดตัดแกน y
2. ฝึกเปลี่ยนรูปสมการซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น
3. ฝึกพล็อตกราฟโดยใช้กระดาษกราฟแบบ semi - log หรือ log - log และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัย ความชัน (Slope) และจุดตัดแกน y
4. ฝึกพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel

ทฤษฎี

ตอนที่ 1 การเขียนกราฟบนกระดาษกราฟสเกลปกติ

การทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีการวัดปริมาณ 2 ปริมาณ ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสอง การเขียนกราฟเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งจะช่วยให้ผู้ทดลองมองเห็นความสัมพันธ์ของทั้งสองได้ง่ายและชัดเจน ในเบื้องต้นนี้จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ x และปริมาณ y หรือมีตัวแปรอยู่ 2 ตัวแปร โดยที่ปริมาณ y จะแปรค่าตามปริมาณ x เรียกว่า x ว่าเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) ค่า y เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์อาจขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย ๆ ตัวแปร เช่นความดันของแก๊สในกระบอกสูบขึ้นอยู่กับปริมาตรของกระบอกสูบและอุณหภูมิของแก๊ส กระแสไฟฟ้าในวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ จะแปรค่าตามเวลา และค่าความต้านทานของวงจร ความต้านทานของวงจรจะมีค่ามากขึ้น ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น ในทางปฏิบัติ เราอาจจัดตัวแปรอิสระให้เหลือเพียงตัวแปรเดียวได้โดยให้ตัวแปรอิสระอื่น ๆ มีค่าคงที่ เช่นวัดความดันของแก๊ส ให้ปริมาตรของลูกสูบเปลี่ยนค่า โดยที่ให้อุณหภูมิของแก๊สมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

ตอนที่ 1.1 เมื่อปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

เมื่อตรวจสอบกับทฤษฎีพบว่าปริมาณ x และ y มีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น ตามสมการ

$$y = ax + b \quad (1)$$

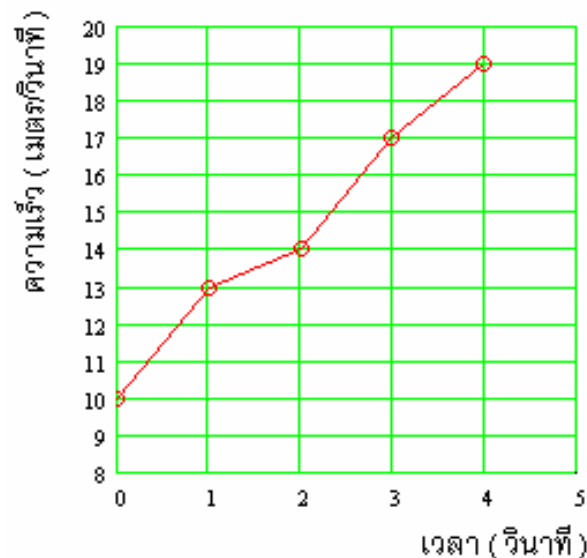
เมื่อ a คือความชัน (Slope) และ b คือจุดตัดแกน y (y – intercept) ปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ได้แก่

$v = u + at$	สมการความเร็วของอนุภาคที่มีความเร่งคงที่ a มีความเร็วต้น u
$F = -kx$	แรงคืนตัวของสปริง (F) จะแปรผกผันกับระยะที่ยืด (x) และ k คือค่าคงที่ของสปริง
$L = L_0(1 + \alpha t)$	แท่งโลหะยาว L ความยาวจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิ T เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น L_0 คือความยาวเดิมของแท่งโลหะที่อุณหภูมิเริ่มต้น
$V = IR$	ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R จะแปรผันตรงตามกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน

ตัวอย่างที่ 1 จากการทดลองวัดความเร็วของอนุภาคที่เวลาใด ๆ เพื่อตรวจสอบสมการ $v = u + at$ ได้ผลการทดลองออกมาดังนี้

t (วินาที)	0	1	2	3	4
v (เมตร/วินาที)	10	13	14	17	19

เมื่อนำข้อมูลไปพล็อตเป็นกราฟ ให้ t เป็นแกน x และ v เป็นแกน y จะได้กราฟดังรูปที่ 1.1 จุดต่าง ๆ จะไม่เรียงกันเป็นเส้นตรงตามทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง เส้นที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ จะไม่เป็นเส้นตรง ถึงแม้ว่าจะเกิดจากเส้นตรง 4 เส้นต่อกันก็ตาม



รูปที่ 1.1

การหาความชันของเส้นตรง นักศึกษามักจะใช้วิธีหาผลต่างระหว่างจุด 2 จุด เช่น

$$\text{slope} = \frac{19 - 10}{4 - 0} = 2.25$$

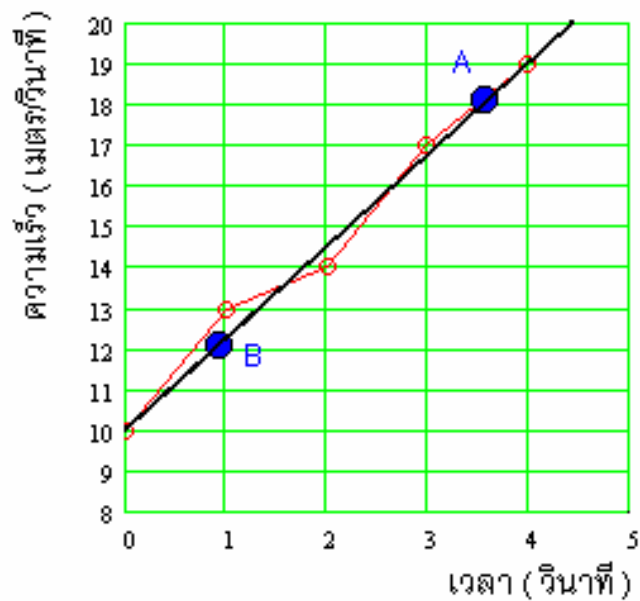
$$\text{หรือ } \text{slope} = \frac{14 - 13}{2 - 1} = 1$$

$$\text{หรือ } \text{slope} = \frac{19 - 14}{4 - 2} = 2.5$$

ความชันของเส้นตรงจะต้องมีค่าคงที่ การเขียนกราฟวิธีนี้จึงเป็นวิธีไม่ถูกต้อง จะต้องหาเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้ ทำได้โดยใช้ไม้บรรทัดลากเส้นผ่านจุดต่าง ๆ เส้นตรงนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านจุดทุกจุด แต่ควรให้ผ่านจุดมากที่สุด หรือทำให้ค่าแตกต่างของข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองกับค่า y ที่ได้จากเส้นตรงเส้นนี้มีค่าน้อยที่สุด หรือเป็นศูนย์

ให้ $y_0, y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ให้ $y'_0, y'_1, y'_2, y'_3, \dots, y'_n$ เป็นค่าที่ได้จากเส้นตรงที่เราใช้เป็นตัวแทนของข้อมูล D คือผลต่างระหว่างค่า y_i

และ y'_i หรือเป็นส่วนเบี่ยงเบนที่อยู่ใต้เส้นหรือเหนือเส้นตรง เพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ยของผลต่างแต่ละตัวแล้วนำมารวมกันเส้นตรงที่เราลากนี้จะต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุด เส้นตรงที่ได้จากการคาดคะเนด้วยสายตาจะได้ ดังรูปที่ 1.2



$$a = \text{slope} = \frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B}$$

รูปที่ 1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

$$\sum_{i=1}^n D_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \quad (2)$$

เมื่อหาค่าความชันของเส้นตรง ที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้ โดยเลือกจุด A (3.5, 18) และจุด B (1, 12) ที่อยู่บนเส้นตรงที่เราสร้างขึ้นมา (เส้นทึบ) จะได้

$$\text{slope} = \frac{18 - 12}{3.5 - 1}$$

$$\text{Slope} = 2.4 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

ถ้าให้นักศึกษาแต่ละคนลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลนี้ พบว่าจะได้เส้นตรงที่มีค่าความชันไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ การคาดคะเนของแต่ละคน

วิธีการที่จะหาเส้นตรงเส้นที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดเดียวกันนี้ ได้ตรงกันทุกคน ทำได้โดยอาศัยหลักที่ว่าเส้นตรงนี้ทำให้ $\sum D_i^2$ มีค่าน้อยที่สุด วิธีนี้เรียกว่า **วิธีกำลังสองน้อยที่สุด** (Method of least Square) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **การถดถอยเชิงเส้น** (Linear Regression)

ให้ a, b เป็นความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลอง n ค่า สามารถคำนวณหา a และ b ได้จาก

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} \quad (3)$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \quad (4)$$

เมื่อ $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล x และ y ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (6)$$

ดังนั้น ถ้าต้องการหาสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลในตัวอย่างที่ 1 ทำได้โดยตารางเพื่อหาค่าทางสถิติดังนี้

t (s) เป็นแกน x	v (m/s) เป็นแกน y	xy	x^2
0	10	0	0
1	13	13	1
2	14	28	4
3	17	51	9
4	19	76	16
$\Sigma x = 10$	$\Sigma y = 73$	$\Sigma xy = 168$	$\Sigma x^2 = 30$

จะได้ $\bar{x} = \frac{10}{5} = 2$

และ $\bar{y} = \frac{73}{5} = 14.6$

$$a = \frac{168 - (5)(2)(14.6)}{30 - (5)(2)^2} = 2.2$$

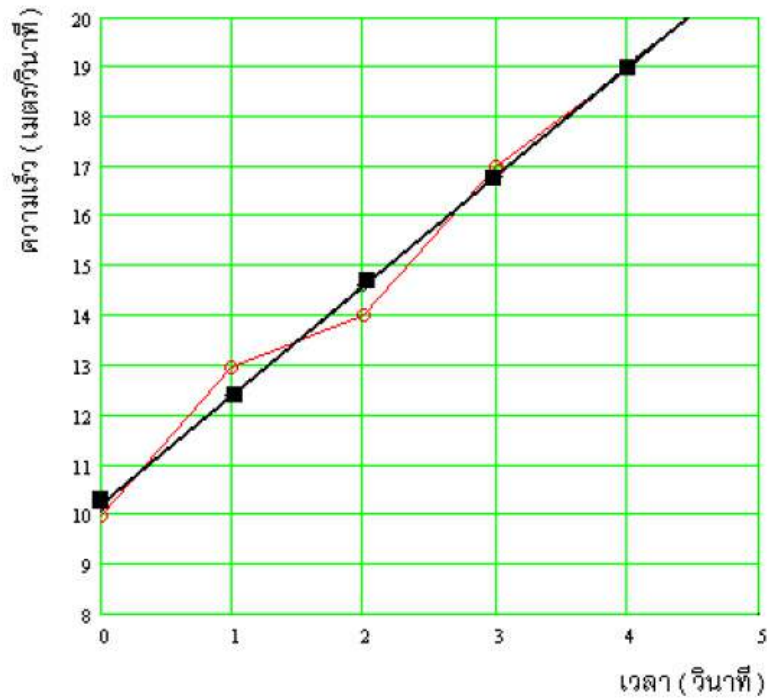
$$b = 14.6 - (2.2)(2) = 10.2$$

สมการเส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = 10.2 + 2.2x$$

หรือ $v = 10.2 + 2.2t$

นำสมการที่ได้ไปเขียนกราฟ เมื่อ $t=0$ จะได้ $v=10.2$ เมื่อ $t=4$ จะได้ $v=19$ เส้นกราฟจะผ่านจุดข้อมูลที่พล็อตไว้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

เส้นสีดำคือเส้นตรงของสมการ

$$v = 10.2 + 2.2t$$

ซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของข้อมูลชุดนี้ ความชันของเส้นตรงคือ 2.2 นั่นคือ ความเร่งของอนุภาคมีค่า 2.2 m/s^2 ซึ่งคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ โดยมีความเร็วต้นเท่ากับ 10.2 m/s

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. เครื่องคิดเลขที่มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
2. ดินสอ ขางลบ ไม้บรรทัด

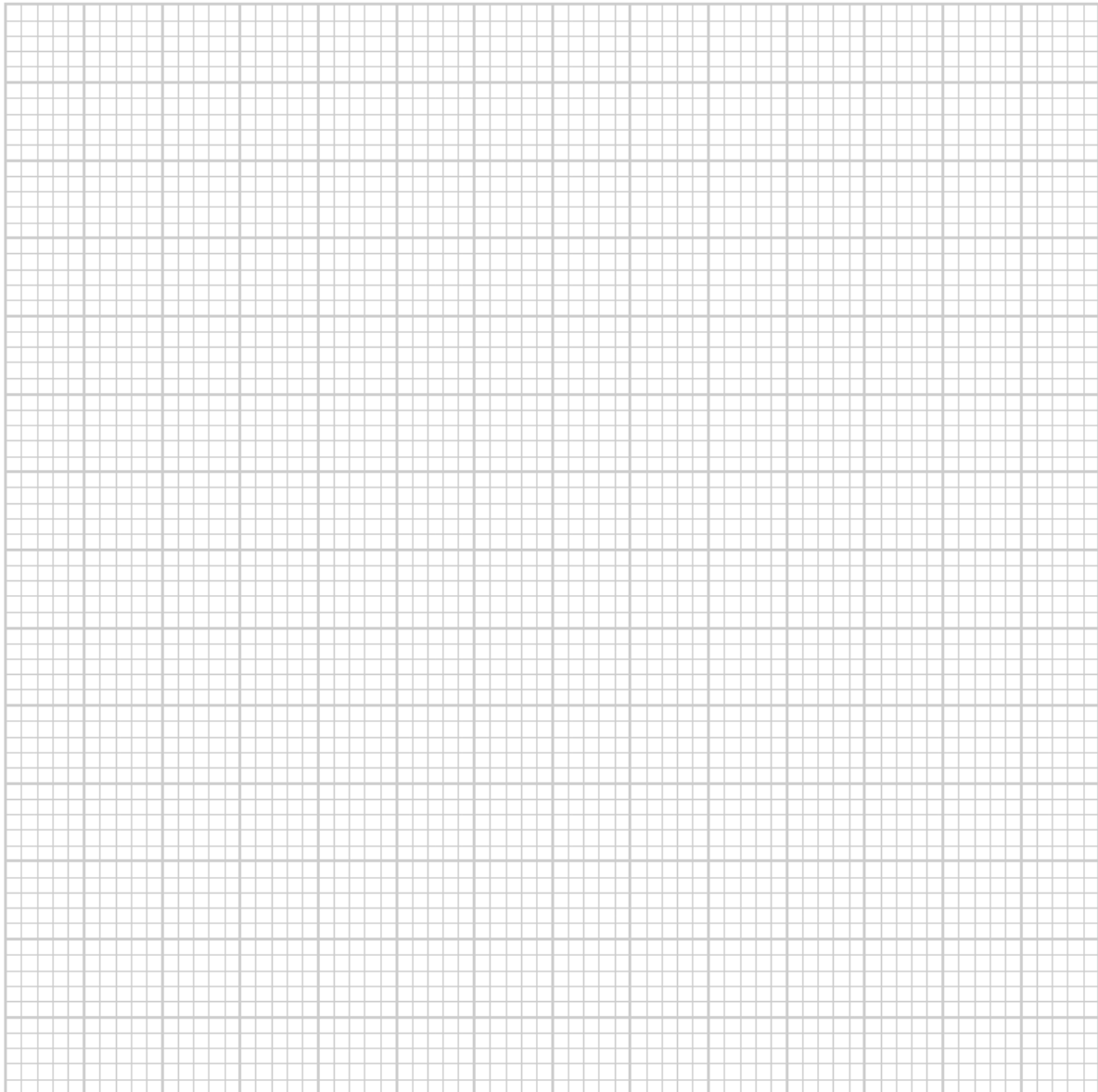
วิธีการทดลอง

ให้นักศึกษาใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการเขียนกราฟ

จากการทดลองแขวนตุ้มน้ำหนักบนสปริง วัดแรงที่ยึดสปริงเป็นนิวตัน (y) วัดระยะที่สปริงยืดจากตำแหน่งสมดุลเป็น เมตร (x) ได้ข้อมูลดังนี้

x	0.7	0.77	0.83	0.90	0.95	1.0
y	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

1.1 จงพล็อตจุดต่างๆ ลงบนกระดาษกราฟ จากนั้นลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้โดยใช้สายตาคาดคะเน



ความชันของเส้นตรง = ...

จุดตัดแกน y = ...

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟรูปนี้ คือ $y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$

ตัวอย่างการคำนวณ

.....
.....
.....
.....

1.2 เมื่อนักศึกษาลากเส้นตรงนี้โดยการคาดคะเนแล้ว ให้ใช้วิธี Linear regression หาสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้

X	Y	xy	X ²
0.71	0.981		
0.77	1.962		
0.83	2.943		
0.90	3.924		
0.95	4.905		
1.02	5.886		
$\sum x = \dots\dots\dots$	$\sum y = \dots\dots\dots$	$\sum xy = \dots\dots\dots$	$\sum x^2 = \dots\dots\dots$

$$n = 6$$

$$\bar{x} = \dots\dots\dots$$

$$\bar{y} = \dots\dots\dots$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{y} \bar{x}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} \approx 15.875$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \approx -10.273$$

สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$$

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1.3 ให้นักศึกษาวาดกราฟเส้นตรงที่คำนวณได้ทับลงไปบนกระดาษกราฟในข้อ 1.1 โดยอาศัยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลจากข้อ 1.2 ดังนี้

เมื่อ x เท่ากับ	y =.....x+.....
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

อาจใช้ปากกาสีอื่นหรือเส้นประ เพื่อให้มองเห็นแตกต่าง เปรียบเทียบค่าความชันที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่นักศึกษาได้จากการคาดคะเน

ตัวอย่างการคำนวณ

[illegible]

ตอนที่ 1.2 เมื่อปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่พบในวิชาฟิสิกส์

$v = \frac{gm}{c}(1 - e^{-cm/t})$	สมการความเร็วของมวล m ตกอย่างอิสระภายใต้สนามโน้มถ่วง g มีแรงต้านอากาศ ซึ่งมีค่า ส.ป.ส. แรงต้านอากาศ $= c$
$pv^\gamma = c$	สมการความดันและปริมาตรของแก๊สอุดมคติ ในขบวนการ adiabatic
$F = \frac{GMm}{r^2}$	สมการแรงดึงดูดระหว่างมวล M และ m
$N = N_0 e^{-\lambda t}$	สมการการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี
$h = ut + 0.5gt^2$	ระยะที่วัตถุตกอย่างอิสระภายใต้แรง g

กราฟของสมการเหล่านี้จะไม่เป็นเส้นตรง แต่สมการเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปสมการให้อยู่ในรูปเชิงเส้น แล้วนำไปพล็อตเป็นกราฟสมการเส้นตรงได้

สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น	จัดรูปสมการใหม่	เปลี่ยนให้เป็นสมการเส้นตรง
$y = A \ln x + B$		ให้ $X = \ln x$ จะได้ $y = AX + B$
$y = be^{ax}$	ใส่ $\ln$ ทั้งสองข้าง $\ln y = \ln b + ax$	ให้ $Y = \ln y$ $B = \ln b$ จะได้ $Y = B + ax$
$y = bx^a$	ใส่ $\log$ ทั้งสองข้าง $\log y = \log b + a \log x$	ให้ $Y = \log y$ $B = \log b$ $X = \log x$ จะได้ $Y = B + aX$
$y = \frac{b}{a+x}$	$y = \frac{b}{a} - \frac{1}{a}(xy)$	ให้ $X = xy$ $B = \frac{b}{a}$ $A = -1/a$ จะได้ $Y = B + aX$
$y = \frac{bx}{a+x}$	$y = b - a \frac{y}{x}$	ให้ $X = y/x$ จะได้ $y = b - aX$

วิธีการทดลอง

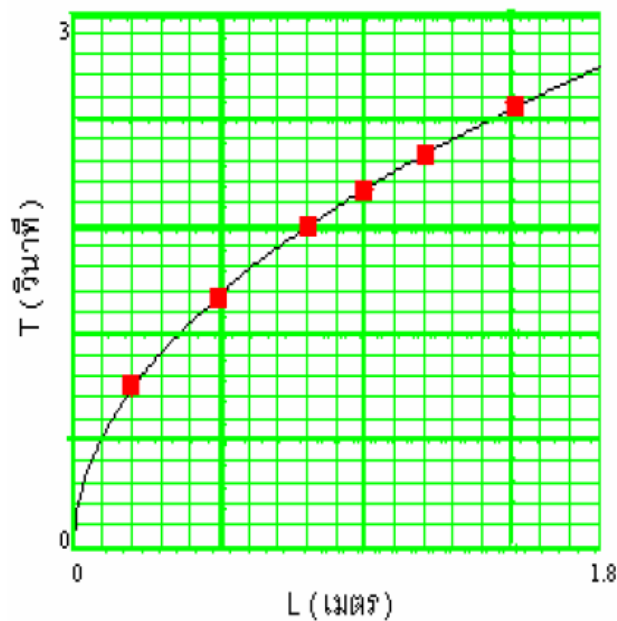
2.1 จงพล็อตกราฟจากข้อมูลต่อไปนี้ เมื่อนำลูกตุ้มมาพิกาศูกกับเชือกที่มีความยาว L คาบการแกว่ง T ผลการทดลองมีดังนี้

$L(m)$	0.2	0.5	0.8	1	1.2	1.5
$T(s)$	0.9	1.4	1.8	2	2.2	2.5

คาบการแกว่งของลูกตุ้มมาพิกาศูกจะเป็นฟังก์ชัน กับความยาวของเชือกดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

เมื่อพล็อตกราฟให้ T เป็นแกนตั้ง ให้ L เป็นแกนนอนจะได้กราฟเป็นรูปพาราโบลาดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4

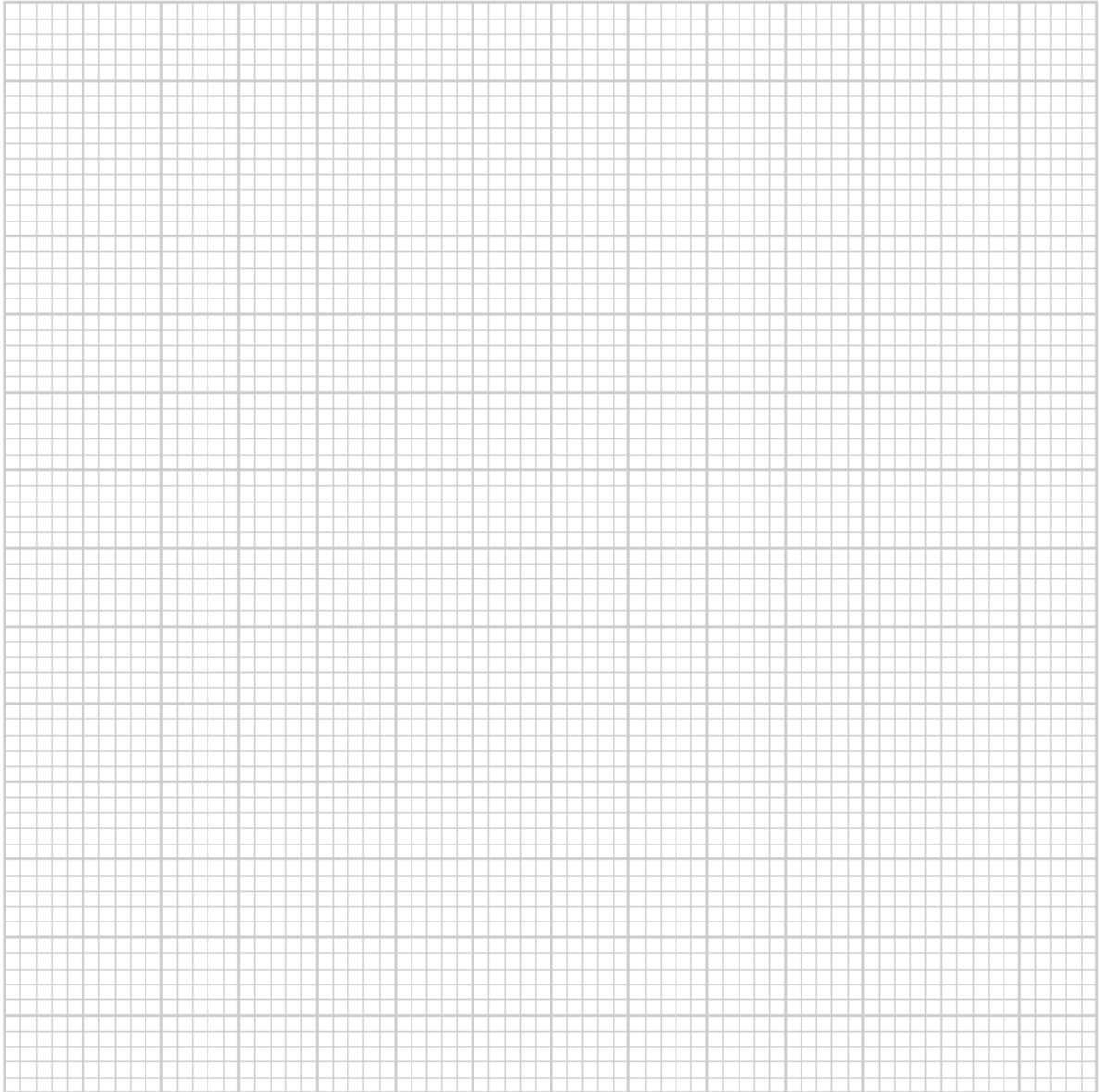
ให้นักศึกษานำข้อมูลเหล่านี้พล็อตเป็นกราฟสมการเส้นตรง โดยขั้นแรก เปลี่ยนรูปสมการเสียใหม่ โดยยกกำลังสองทั้งสองข้างแล้วจะเป็นดังนี้

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$$

ให้ $y=T^2$ และ $x=L$ จะได้ $y = \frac{4\pi^2}{g} x$ ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงนำข้อมูลมาเขียนเป็นตาราง เพื่อให้ดูง่ายจะได้ดังนี้

L หรือ x	T	T^2 หรือ y
0.2	0.9	0.81
0.5	1.4	1.96
0.8	1.8	3.24
1.0	2.0	4.0
1.2	2.2	4.84
1.5	2.5	6.25

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง L เป็นแกน x และ T^2 เป็นแกน y



ก) ลากเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลผ่านจุดต่าง ๆ โดยการคาดคะเน หาคความชันของเส้นตรงนี้

slope = ...

=

จากความชันสามารถคำนวณค่า g ได้ จาก g

g = ...

=

ข) ใช้วิธี linear regression หาสมการเส้นตรงที่เหมาะสม (fit) กับข้อมูลชุดนี้ จะได้

L หรือ x	T	T^2 หรือ y				
0.2	0.9	0.81				
0.5	1.4	1.96				
0.8	1.8	3.24				
1.0	2.0	4.00				
1.2	2.2	4.84				
1.5	2.5	6.25				

$$n = \dots\dots\dots$$

$$\bar{x} = \dots\dots\dots$$

$$\bar{y} = \dots\dots\dots$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n (\bar{x})^2} = \dots\dots\dots$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} = \dots\dots\dots$$

สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ คือ

$$y = \dots\dots\dots x + \dots\dots\dots$$

เราสามารถหาค่า g จากความชันได้ดังนี้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2
การวัดด้วยเครื่องวัดละเอียด

วัตถุประสงค์

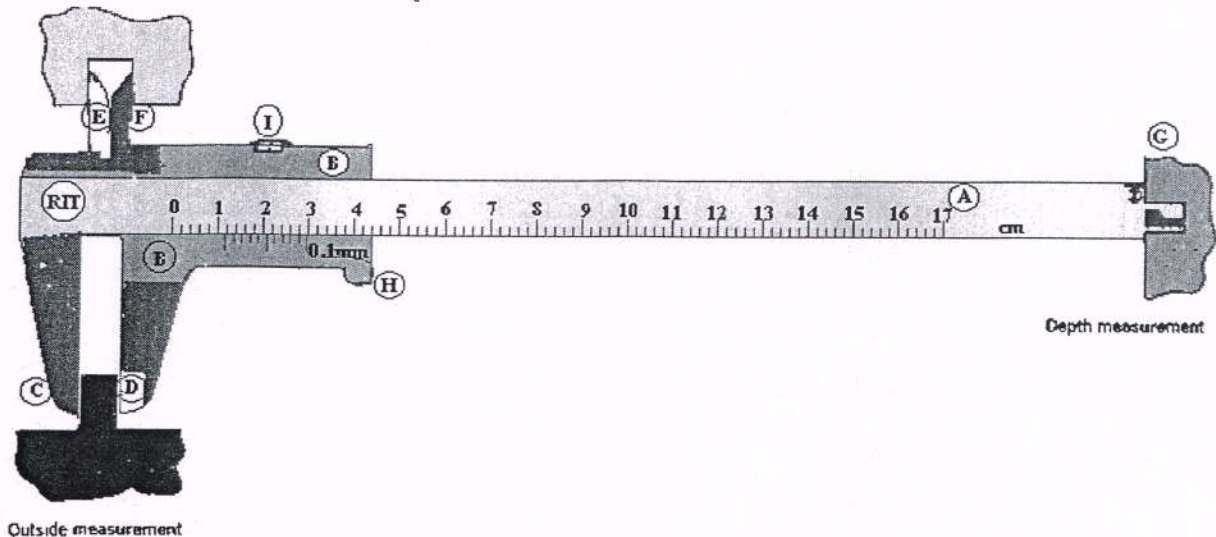
1. สามารถใช้เครื่องมือวัดอย่างละเอียดได้ถูกต้อง
2. หาค่าที่ถูกต้องของการวัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้
3. สามารถคำนวณเมื่อมีค่าคลาดเคลื่อน

ทฤษฎี

การวัด เป็นหัวใจสำคัญในการศึกษาทางฟิสิกส์ โดยเฉพาะฟิสิกส์ภาคปฏิบัติการล้วนแล้วแต่เกี่ยวข้องกับการวัดที่ค่อนข้างละเอียด ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนทั้งหลายที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองนั้น จึงควรศึกษาการใช้เครื่องมือวัดละเอียดให้เข้าใจเสียก่อน ดังนี้

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความยาวของวัตถุทั้งภายใน และภายนอกในของชิ้นงาน ระดับมิลลิเมตร ทศนิยม 2 ตำแหน่ง เวอร์เนียมีลักษณะ โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเวอร์เนีย

ประกอบด้วย

- สเกลหลัก A เป็นสเกลไม้บรรทัดธรรมดา ซึ่งเป็นมิลลิเมตร (mm) และนิ้ว (inch)
- สเกลเวอร์เนีย B ซึ่งจะเลื่อนไปมาได้บนสเกลหลัก
- ปากวัด C - D ใช้สำหรับวัดวัตถุที่ต้องการวัดขนาด
- ปากวัด E - F ใช้วัดขนาดภายในของวัตถุ
- ปลาย G ใช้วัดความลึก
- ปุ่ม H ใช้กดเลื่อนสเกลเวอร์เนียไปบนสเกลหลัก
- สกรู I ใช้ยึดสเกลเวอร์เนียให้ติดกับสเกลหลัก

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

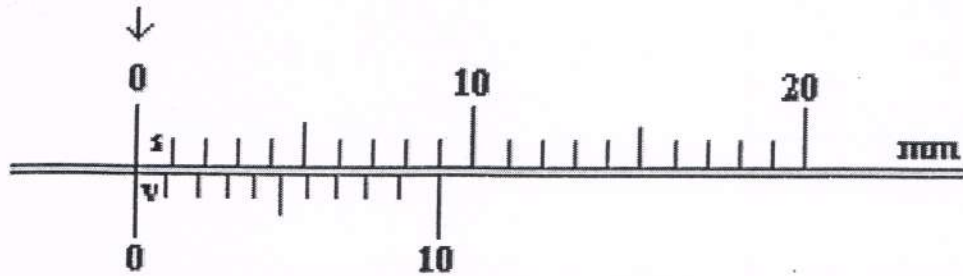
ความละเอียดของสเกลเวอร์เนีย

ถ้าให้ S เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

V เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลเวอร์เนีย

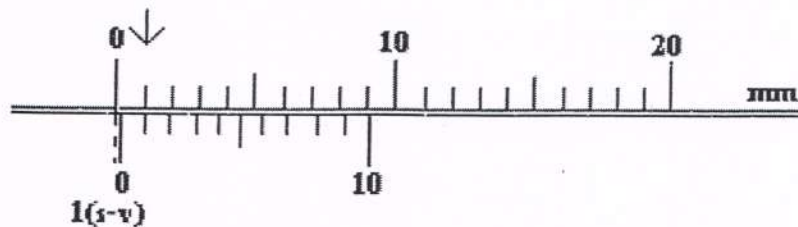
และ n เป็นจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนีย

เมื่อเริ่มให้ขีดที่ศูนย์ของทั้งสองตรงกัน แล้วขีดสุดท้าย (ขีดที่ n) ของสเกลเวอร์เนียจะตรงกับขีดที่ $n-1$ ของสเกลหลักขีดอื่น ๆ จะไม่ตรงกันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เมื่อขีดที่ศูนย์ตรงกัน

ถ้าเลื่อนสเกลเวอร์เนียไปทางขวาเล็กน้อย โดยให้ขีดที่ 1 ของสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักดังแสดงในรูปที่ 2.3



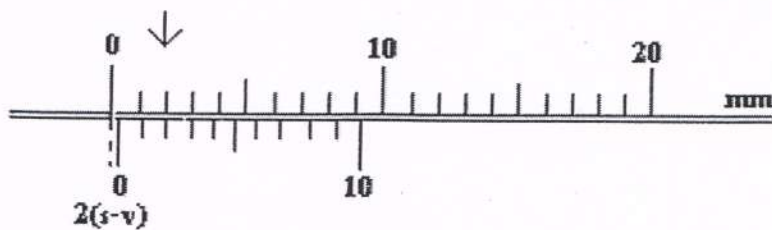
รูปที่ 2.3 เมื่อขีดที่ 1 ตรงกัน

ถ้า $S = 1 \text{ mm}$

และ $V = 0.9 \text{ mm}$ (10 ช่องของสเกลเวอร์เนีย = 9 mm)

จากรูปจะได้ว่า

$$1(S - V) = 0.1$$



รูปที่ 2.4 เมื่อขีดที่ 2 ตรงกัน

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

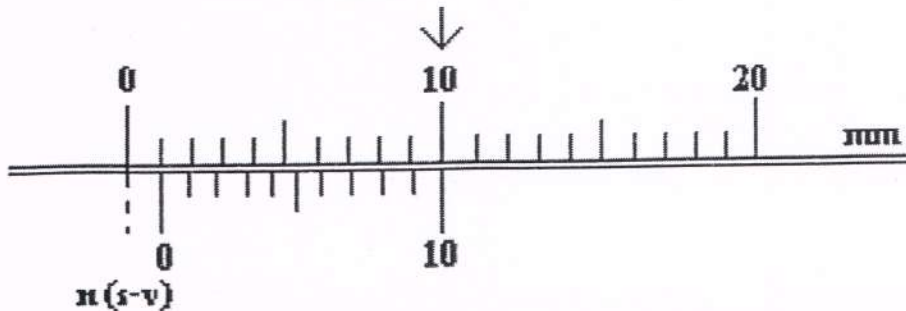
จะได้

$$2(S - V) = 2(0.1) = 0.2$$

ถ้าขีดที่ 3 ตรงกันจะได้ว่า

$$3(S - V) = 3(0.1) = 0.3$$

และเมื่อเลื่อนจนกระทั่งขีดที่ 10 (หรือ n) ของสเกลทั้งสองตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เมื่อขีดที่ n ตรงกัน

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า ขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์จะตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักพอดี นั่นคือ สเกลเวอร์เนียร์เลื่อนไปเป็นระยะทางเท่ากับ S พอดี ดังนั้น

$$n(S - V) = S$$

$$\text{หรือ } S - V = S/n$$

เมื่อ $S - V$ เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ เรียกว่า ค่าที่น้อยที่สุดที่อ่านได้ (Least Count) ซึ่งเป็น ความละเอียดที่สุดของเครื่องวัด

ดังนั้น ค่าความละเอียดของเครื่องวัดมีค่าเท่ากับ S/n

$$\text{หรือ } \text{Least Count} = S/n \quad (2)$$

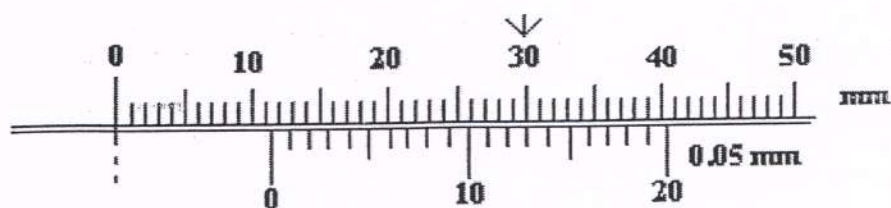
เมื่อ S = ความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

n = จำนวนช่องของสเกลเวอร์เนียร์

โดยปกติแล้ว ตัวเลขที่แสดงค่าความละเอียดที่สุดของเครื่องวัดนี้ มักจะเขียนไว้บนสเกลเวอร์เนียร์ในหน่วยต่าง ๆ เสมอ เช่น 0.1 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 10 ช่อง ($n = 10$) 0.05 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 20 ช่อง ($n = 20$) และ 0.02 mm. เมื่อสเกลเวอร์เนียร์มีจำนวนช่อง 50 ช่อง ($n = 50$) เวอร์เนียร์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ส่วนใหญ่จะมีทั้งชนิด $n = 20$ และ $n = 50$ ส่วนชนิด $n = 10$ ไม่ค่อยมีใช้แล้ว

การอ่านสเกลเวอร์เนียร์

เมื่อผลการวัดของวัตถุอันหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สเกลเวอร์เนียร์

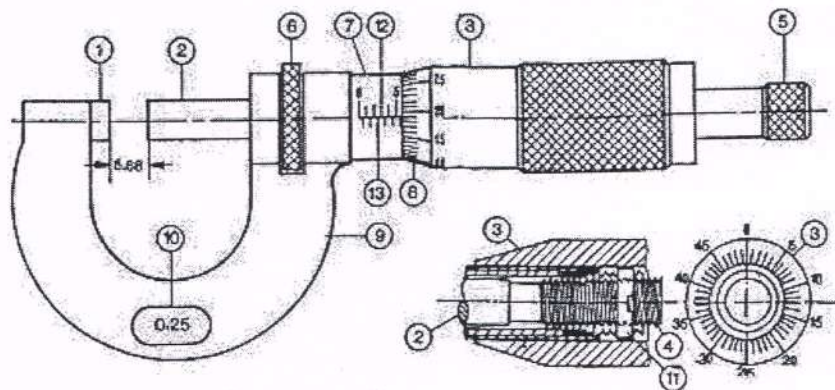
จากรูปที่ 6 อ่านได้ดังนี้

1. ขณะนี้ขีดที่ 0 ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งที่ 11.00 มิลลิเมตร เลขออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. และขีดที่ 13 ของสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดบนสเกลหลัก จึงนำเอาเลข 13 คูณกับ least count จะได้เป็นค่าเศษของมิลลิเมตร คือ $13 \times 0.05 = 0.65$ มิลลิเมตร
3. นำค่าที่อ่านได้จากข้อ 1 บวกกับค่าที่อ่านได้ในข้อ 2 ก็จะเป็นผลการวัดในครั้งนี้ นั่นคือ
ค่าที่วัดได้ = $11.00 + 0.65$ มิลลิเมตร
= 11.65 มิลลิเมตร

ลำดับการอ่านค่าผลการวัด

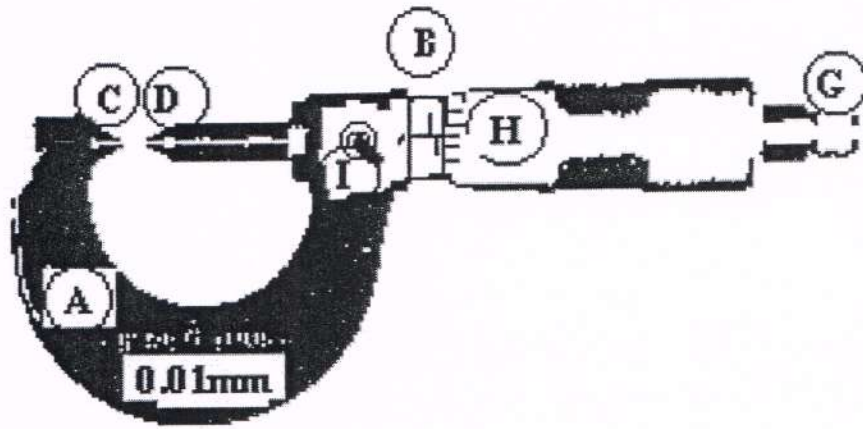
1. ก่อนใช้เวอร์เนีย ต้องตรวจสอบดูว่ามีค่า least count เท่าใด โดยดูจากตัวเลขที่เขียนไว้บนสเกลเวอร์เนีย หรืออาจจะคำนวณจากสูตร $\text{least count} = S/n$ ก็ได้
2. ต้องดูว่าขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งใดบนสเกลหลัก แล้วอ่านค่าบนสเกลหลักในหน่วยมิลลิเมตร หรือนิ้วก็ได้ ตามที่เราต้องการ
3. ต่อไปดูว่ามีเศษของมิลลิเมตรหรือนิ้ว หรือไม่ ถ้ามีดูว่าขีดที่เท่าใดบนสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดใดขีดหนึ่งบนสเกลหลัก แล้วเอาคูณกับค่า least count จะได้เป็นเศษของหน่วยวัดนั้น
4. ผลการวัดคือผลรวมของค่าที่ได้จากข้อ 2 และ 3

2. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)



1. แกนรับ	2. แกนวัด	3. ปลอกหมุนวัด
4. เกลียว	5. หัวหมุนกระทบเลื่อน	6. แหวนขีด
7. แกนสเกล	8. ขีดสเกล	9. โครง
10. Least Count	11. แหวนเกลียว	12. สเกลหลัก
13. สเกลรอง		

เป็นเครื่องมือวัดขนาดของวัตถุที่ต้องการความละเอียดสูงในระดับทศนิยม 3 ตำแหน่งของมิลลิเมตร เครื่องวัดชนิดนี้อาศัยหลักการ การเคลื่อนที่ของสกรู ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของไมโครมิเตอร์

โครง A มีลักษณะคล้ายกับคันธนูหรือตะขอยาว มีปากวัด C-D และแกนสเกลนอน B ติดอยู่แกนสเกลนอน B เป็นสเกลหลัก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยแบ่งออกเป็นขีดละ 1 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขีดจะมีขีดแบ่งครึ่งมิลลิเมตรกำกับด้วย

สเกลวงกลม H มีลักษณะเป็นปลอกครอบสเกลหลัก B แบ่งจำนวนขีดโดยรอบทั้งหมด 50 ช่อง ทำหน้าที่เหมือนสเกลเวอร์เนีย

แกน G ใช้สำหรับหมุนเพื่อให้ปากวัด D เลื่อนไปสัมผัสกับผิวของวัตถุที่ต้องการวัด ภายในปุ่ม G มีสปริงเพื่อปรับแรงกด เมื่อปากวัด D สัมผัสพอดีกับผิววัตถุ จะมีเสียงดังกริกเบาๆ แสดงว่าสปริงปรับแรงกดพอดีแกนวัดจะไม่เดินหน้าต่อไปอีก

ปุ่ม I ใช้ตรึงแกนวัด ปลอกวัด และปุ่ม G ให้ติดกับโครง A ทำให้สเกลไม่เลื่อนตำแหน่งขณะอ่านค่า เวลาใช้ต้องบิดไปทางซ้ายสุด

ความละเอียดของไมโครมิเตอร์

เมื่อปากวัด C - D สัมผัสกัน ขีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับแกนสเกลนอนและถ้าหมุนสเกลวงกลมถอยหลังไป 1 รอบ ขีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับแกนนอน และขอบของสเกลวงกลมจะทับพอดีกับขีดแบ่งครึ่งมิลลิเมตรบนสเกลหลัก ซึ่งหมายความว่า ถ้าหมุนแกนวัดถอยหลังไปเพียง 1 ช่อง ปากวัด C - D จะห่างกันเป็นระยะ $0.5/50 = 0.010$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ เรียกว่า least count

ปกติค่า least count ของเครื่องไมโครมิเตอร์จะเขียนไว้บนโครง A เช่น 0.01 mm เป็นต้น

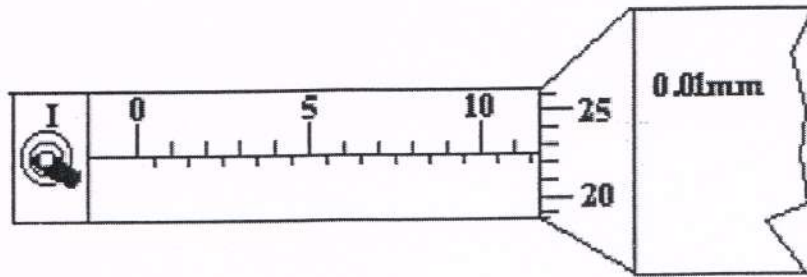
วิธีใช้ไมโครมิเตอร์

หมุนแกน G ให้แกนวัดถอยหลังเพื่อทำให้ปาก C - D เปิดกว้างกว่าขนาดของวัตถุเล็กน้อย แล้วนำวัตถุที่จะวัดขนาดไปไว้ระหว่างปาก C - D ให้ด้านหนึ่งชิดปากวัด C ไว้แล้วหมุนแกน G ให้ปากวัด D มาสัมผัสพอดีกับผิวด้านหนึ่งของวัตถุ โดยสังเกตจากเสียงกริกเบาๆ จากนั้นให้บิดปุ่ม I ไปทางซ้ายเพื่อตรึงแกนวัดไว้แล้วจึงอ่านค่าการวัดได้

การอ่านค่าการวัดบนสเกลไมโครมิเตอร์

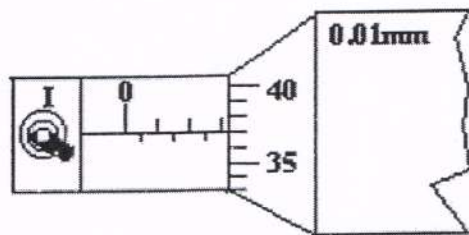
เมื่อวัดขนาดของวัตถุอันหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

โดยที่ Least Count ของไมโครมิเตอร์ = 0.010 mm



รูปที่ 2.8

1. ขณะนี้ขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่ 11.500 มิลลิเมตร เลยออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. ชีตที่ 22.5 ของสเกลวงกลมตรงกับแกนบนบนสเกลหลัก แล้วเอาตัวเลข 22.5 นี้คูณกับค่า Least Count จะได้เป็น
ค่าเศษของมิลลิเมตร เป็น $22.5 \times 0.010 = 0.225 \text{ mm}$
3. นำค่าที่ได้จากข้อ (1) และข้อ (2) รวมกัน จะได้เป็นผลการวัดครั้งนี้ นั่นคือ
ผลการวัด = $11.500 \text{ mm} + 0.225 \text{ mm}$
= 11.725 mm



รูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 เป็นผลการวัดของวัตถุอีกอันหนึ่ง เมื่อ Least Count เป็น 0.010 mm

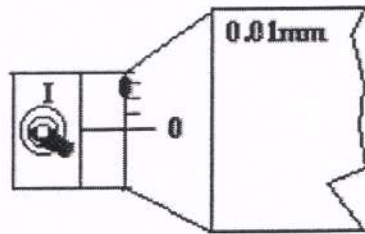
1. ขณะนี้ขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3.000 มิลลิเมตร เลยออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2. ชีตที่ 37.0 ของสเกลวงกลมตรงกับแกนบนของสเกลหลักดังนั้นเศษของมิลลิเมตร
= $37.0 \times 0.010 = 0.370 \text{ mm}$
3. ผลการวัดครั้งนี้ = $3.000 + 0.370 = 3.370 \text{ mm}$

ดังนั้นลำดับขั้นตอนการอ่านค่าการวัดเป็นดังนี้

1. ก่อนใช้ไมโครมิเตอร์ต้องดูว่าค่า Least Count เท่ากับเท่าใด โดยดูจากตัวเลขที่เขียนไว้บนโครง A หรืออาจจะคำนวณก็ได้ (โดยดูจากหัวข้อความละเอียดของไมโครมิเตอร์)
2. ต้องดูว่าขอบของสเกลวงกลมอยู่ที่ตำแหน่งที่เท่าใดของสเกลหลัก อ่านในหน่วยมิลลิเมตร
3. ต่อไปดูว่า ชีตที่เท่าใดบนสเกลวงกลมอยู่ตรงกับเส้นแกนของสเกลหลัก แล้วเอาตัวเลขนี้คูณกับค่า Least Count จะได้เป็นเศษของมิลลิเมตร
4. ผลรวมที่ได้จากข้อ 2 และ ข้อ 3 คือผลการวัด

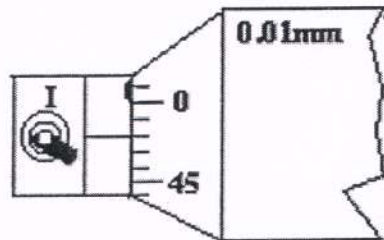
ความคลาดเคลื่อนของไมโครมิเตอร์ (Zero Error)

ไมโครมิเตอร์ที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน เมื่อปากวัด C - D สัมผัสพอดี ซีดที่ 0 ของสเกลวงกลมจะทับกับแกนนอนของสเกลหลัก และขอบของสเกลวงกลมจะทับขีดที่ 0 ของสเกลหลักพอดี ดังแสดงในรูปที่ 10



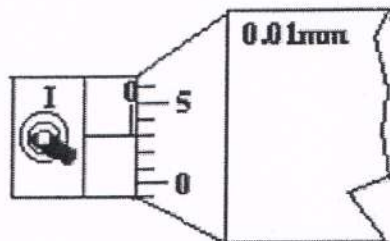
รูปที่ 2.10

แต่ในบางครั้งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ดังกรณี รูปที่ 2.11 เมื่อใช้วัดของสิ่งใดแล้วจะได้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริงอยู่ 0.020 มิลลิเมตรเสมอ ดังนั้นเมื่ออ่านค่าการวัดใดๆ แล้วจึงต้องบวกด้วย 0.020 มิลลิเมตร เข้าไปด้วย



รูปที่ 2.11

สำหรับกรณีรูปที่ 2.12 เมื่อใช้วัดของสิ่งใดแล้วจะได้ค่ามากกว่าความเป็นจริงอยู่ 0.030 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.12

ดังนั้นเมื่ออ่านค่าการวัดใดๆ แล้วจึงต้องลบออกด้วย 0.030 มิลลิเมตร เสมอ

อุปกรณ์การทดลอง

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์ 1 อัน
2. ไมโครมิเตอร์และไม้บรรทัด 1 อัน
3. วัตถุรูปทรงต่างๆ ที่กำหนดให้
 - 3.1 ทรงกลมตัน 1 อัน
 - 3.2 ทรงกระบอกตัน 1 อัน
 - 3.3 ทรงกระบอกกลวง 1 อัน

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

3.4 เหรียญ 1 บาทเล็ก 1 เหรียญ

3.5 แท่งไม้ 1

3.6 แท่งไม้ 2

วิธีการทดลอง

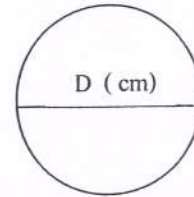
1. ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์ วัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้ โดยการวัดครั้งเดียว ประมาณช่วงความผิดพลาดจากค่า Least Count โดยให้มีค่าเท่ากับ 21 ของ Least Count

2. นำค่าที่ได้ในข้อ 1 คำนวณปริมาตรของวัตถุที่กำหนดให้ จากสูตรต่อไปนี้

ปริมาตรทรงกลม

$$V_s = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$= \frac{1}{6}\pi D^3$$



เมื่อ r = รัศมีของทรงกลม

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง

ปริมาตรทรงกระบอกตัน

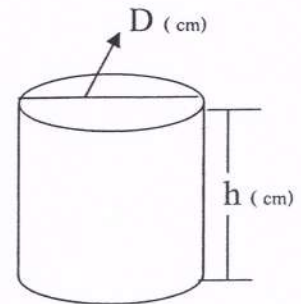
$$V_{cs} = \pi r^2 h$$

$$= \frac{\pi}{4} D^2 h$$

เมื่อ r = รัศมีของทรงกระบอก

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง

h = ความสูงของทรงกระบอก



ปริมาตรทรงกระบอกกลวง

$$V = V_{out} - V_{in}$$

เมื่อ V_{out} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิววนอก

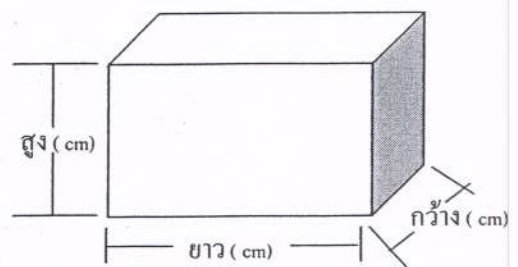
V_{in} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิวด้านใน

ปริมาตรรูปลูกบาศก์

กว้าง X ยาว X สูง

เมื่อ V_{out} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิววนอก

V_{in} = ปริมาตรของทรงกระบอกที่ผิวด้านใน



วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง

รูปร่างวัตถุ	เวอร์เนีย				ไมโครมิเตอร์				ไม้บรรทัด			
	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)	$D \pm \Delta D$ (cm)	$h \pm \Delta h$ (cm)	$L \pm \Delta L$ (cm)	$V \pm \Delta V$ (cm ³)
ทรงกลม												
ทรงกระบอกตัน												
ทรงกระบอกกลวง												
เหรียญ												
แท่งไม้ 1												
แท่งไม้ 2												

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

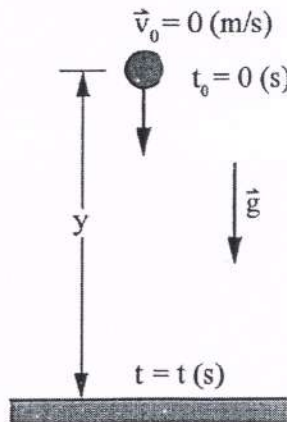
.....

การทดลองที่ 3

การตกอย่างอิสระ

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
2. เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของเวลากับระยะทางที่ตกลงมาในแนวตั้ง
3. เพื่อศึกษาขนาดมวลของวัตถุที่ตกลงมาในแนวตั้งมีผลต่อค่า g ณ ตำแหน่งที่ทำทดลองหรือไม่



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการตก

อย่างอิสระ

สำหรับการตกอย่างอิสระสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้ง

$$y = v_{oy} + \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

เมื่อปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ความเร็วเริ่มต้น $v_{oy} = 0$ ดังรูปที่ 1 ได้

$$y = \frac{g}{2}t^2 \quad (2)$$

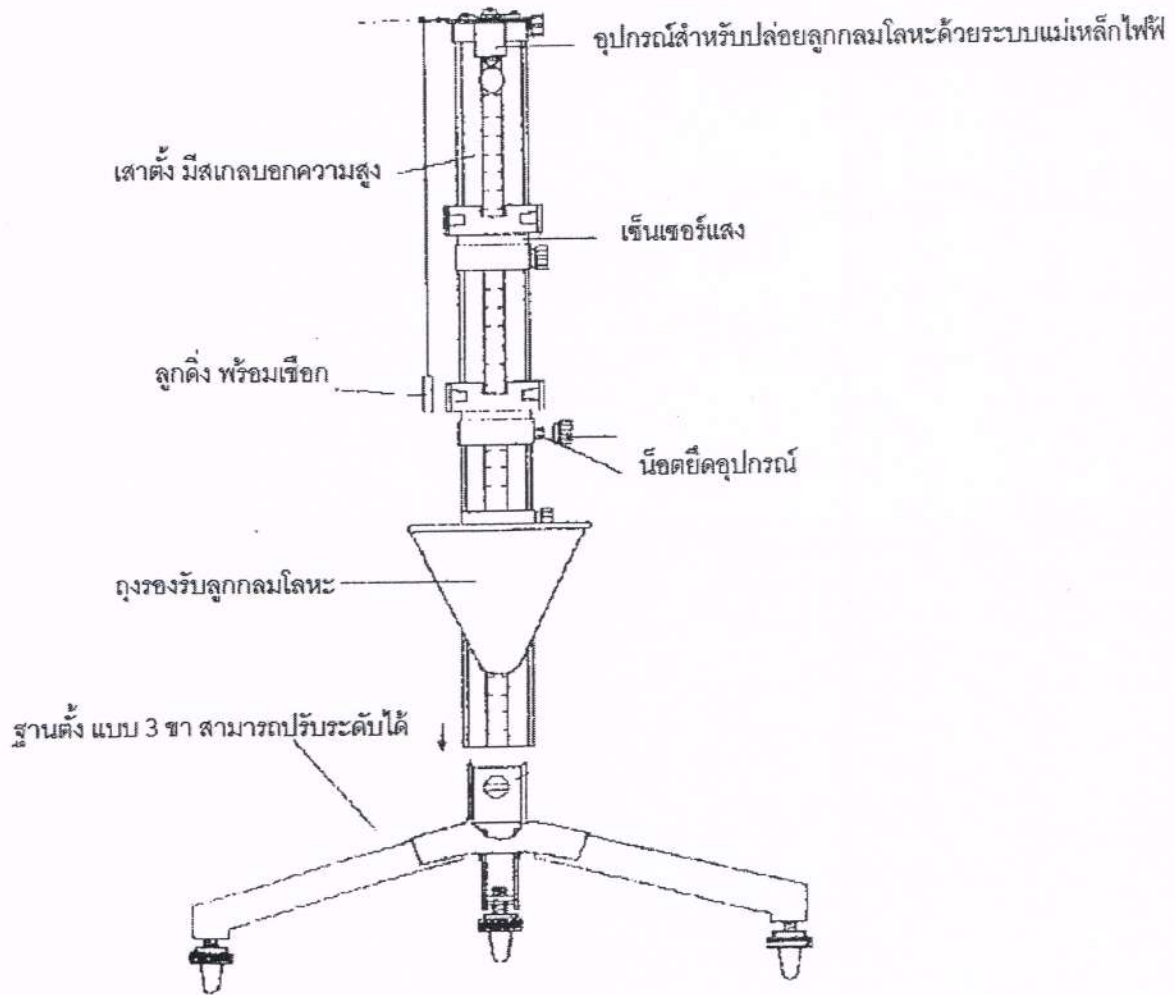
ซึ่งสมการที่ (2) เป็นสมการทำการ (Work Equation) ทำให้เรารู้ว่าเมื่อ y เป็นตัวแปรต้น และ t^2 เป็นตัวแปรตาม แล้ว ตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้คือ ที่ระยะความสูงต่างๆ (y) และเวลา (t) ณ ช่วงความสูงนั้นๆ ก็สามารถหาค่า g ได้

ถ้านำมาเขียนกราฟสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของเวลา (t^2) ที่ระดับความสูง (y) ต่างๆ จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีค่าความชัน (slope) = $\frac{g}{2}$ และจากสมการที่ (2) สามารถนำมาหาค่า g ได้จากสมการ

$$g = \frac{2y}{t^2} \quad (3)$$

สำหรับสมการข้างต้นพบว่า ขนาดมวลที่นำมาปล่อยตกอย่างอิสระจะไม่มีผลต่อค่า g สำหรับค่า g ทางทฤษฎีที่ระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ 9.81 m/s^2

โครงสร้างชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ



รูปที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์

» หลักการ

โดยใช้ทฤษฎีการตกอย่างอิสระ เมื่อเวลา t คือเวลาที่วัตถุตกอย่างอิสระ และระยะ h คือระยะทางที่วัตถุตกอย่างอิสระ สามารถคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงได้จากสมการ

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

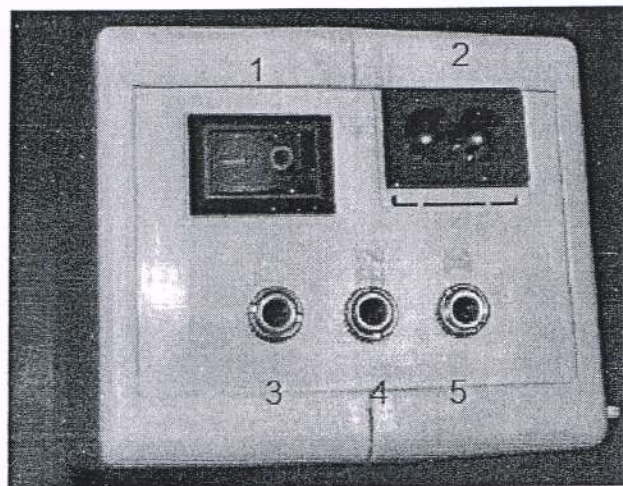
$$g = \frac{2h}{t^2}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองอเนกประสงค์ทางกลศาสตร์
2. เครื่องบันทึกเวลา
3. ชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ
4. มวลเหล็กแบบทรงกลม 2 ขนาด

วิธีการทดลอง

1. ประกอบอุปกรณ์ชุดทดลองการตกอย่างอิสระ
2. เมื่อกดสวิทช์ Power ขดลวด Solenoid จะเกิดอำนาจแม่เหล็ก
3. นำลูกเหล็กกลม ไปชั่งหามวลบันทึกค่าไว้ แล้วนำไปติดไว้ด้านล่างของขดลวด
4. นาฬิกาจับเวลาถูก Reset เป็น 00 และบานพับด้านล่างที่ติดกับ Limit Switch จะถูกกดติดกับเป็นรองรับ
5. กดสวิทช์ Start ขดลวด Solenoid จะหมดอำนาจแม่เหล็ก ลูกเหล็กตกอย่างอิสระ ในขณะนี้นาฬิกาจะเดิน ปรากฏตัวเลขขึ้นที่หน้าปัดและเมื่อลูกเหล็กกระทบบานพับด้านล่าง (ซึ่งเป็นวงจรปิดของนาฬิกาจับเวลา) ทำให้วงจรตัดการทำงานเป็นผลทำให้นาฬิกาหยุดเดินอ่านค่า เวลา (t) ที่ลูกเหล็กตกจากระดับความสูง (y) ได้ บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 1
6. เปลี่ยนระดับความสูง (y) แล้วจับเวลาที่ระดับความสูงต่างๆ อย่างน้อย 6 ระดับ บันทึกค่าเวลาที่ระดับความสูงต่างๆ แล้วนำมายกกำลังสอง แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า y ต่างๆ (แกนตั้ง) กับกำลังสองของเวลา (t^2) (แกนนอน) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง คำนวณหาค่าความชัน (Slope) แล้วคำนวณหาค่า g จากค่าความชัน (Slope) $= \frac{1}{2}g$
7. คำนวณหาค่า g จากสูตร ในสมการที่ 3 คือ $g = \frac{2y}{t^2}$ ลงในช่องสุดท้ายของตารางแล้วหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบค่า g จากข้อ 5 กับข้อ 6 และค่าจากทฤษฎีหา % ผิดพลาดแล้ววิเคราะห์พร้อมอภิปรายและสรุปผลการทดลอง
8. เปลี่ยนขนาดลูกเหล็กอีก 1 ขนาด แล้วทดลองตั้งแต่ข้อ 1-7 (โดยบันทึกในตารางที่ 2)



รูปที่ 2 ด้านหลังเครื่องบันทึกเวลา

ตำแหน่งด้านหลัง

- 1 : สวิตช์ ปิด/เปิด
- 2 : เชื่อมต่อสายไฟ
- 3 : เซ็นเซอร์ตัวที่ 1
- 4 : เซ็นเซอร์ตัวที่ 2
- 5 : เชื่อมต่ออุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งเซนเซอร์แสง(Photogate) และชุดสวิตช์แม่เหล็ก(Electromagnet switch) เข้ากับชุดศึกษาการตกอย่างอิสระ ดังรูปที่ 1
2. ต่อเซนเซอร์แสง และชุดสวิตช์แม่เหล็กเข้ากับเครื่องบันทึกเวลา(Memory time counter)
3. ปรับเลือกกระดับ ระยะระหว่างเซนเซอร์แสงทั้ง 2 และระยะระหว่างเซนเซอร์แสงกับสวิตช์แม่เหล็ก
4. ทดสอบการทำงานของเครื่อง โดย เปิดเครื่องบันทึกเวลา(สวิตช์ด้านหลังเครื่อง)



ฟังก์ชันที่ใช้กับการทดลอง

รูปที่ 3 ด้านหน้าเครื่องบันทึกเวลา

- เลือกฟังก์ชัน Gravity acceleration (ปุ่มสีแดง)
- กดสวิตช์สร้างอำนาจแม่เหล็ก (ปุ่มสีเขียว)
- กดปล่อย ลูกกลม โลหะ (ปุ่มสีเขียว)

สังเกตที่เครื่องกดปุ่ม DATA FETCH เรียกดูข้อมูลที่บันทึก จะมี 2 ค่า ดังนี้

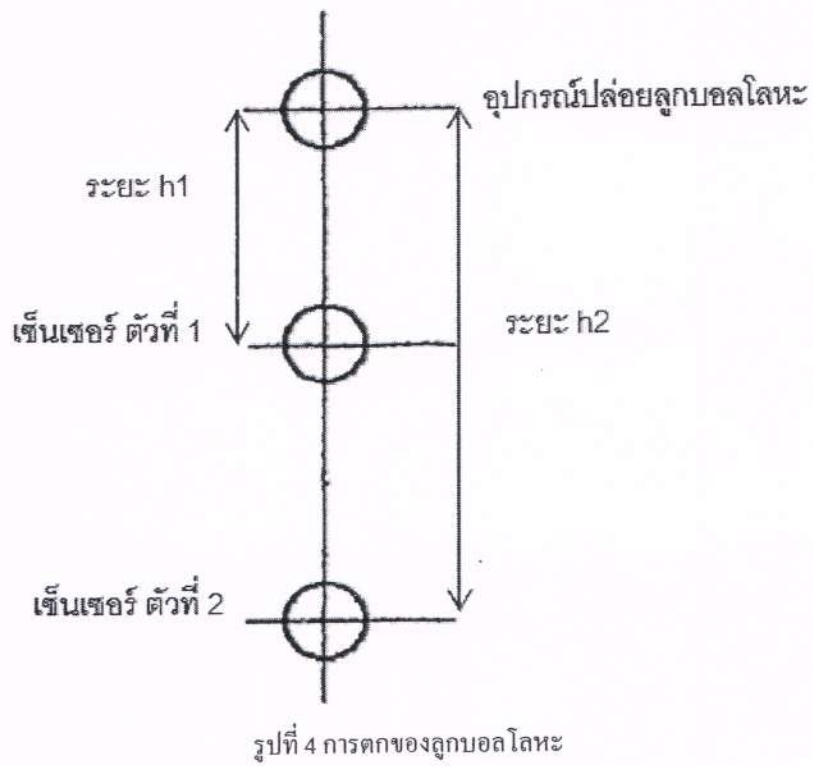
- 1 ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ P1
- 2 ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ P2
- หมายเหตุ : เริ่มบันทึกเวลาเมื่อกดปล่อยลูกโลหะ

» ข้อเสนอแนะ

1. กรณีมีข้อมูลค่าเดียวหรือไม่มีให้ทำการตรวจเช็คที่เซนเซอร์แสง หรือแฉักที่เสียอาจหลวม แต่ส่วนใหญ่แล้วเกิดจากลูกกลมโลหะไม่ตกผ่านเซนเซอร์แสง กรณีนี้ควรใช้ลูกดิ่งพร้อมเชือกติดกับอุปกรณ์สำหรับปล่อยลูกกลมโลหะและปรับที่ขา 3 ขา จากนั้นทดลองซ้ำอีกครั้ง ทำเช่นนี้กระทั่งเครื่องสมบูรณ์
2. ควรทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนระยะ h

» บันทึกผลการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่	ระยะ h_1 (cm)	ระยะ h_2 (cm)	เวลา t_1 (ms)	เวลา t_2 (ms)
1	42	76	297.5	396.9
2	55	85	341.7	422.7
3	62	92	359.3	436
4	80	110	405.8	475.3

การทดลองครั้งที่	h_2 (m)	h_1 (m)	t_1 (s)	t_2 (s)	$\frac{h_2}{t_2}$ (m/s)	$\frac{h_1}{t_1}$ (m/s)	$t_2 - t_1$ (s)	$g = 2 \frac{\left(\frac{h_2}{t_2} - \frac{h_1}{t_1} \right)}{t_2 - t_1}$ (m/s)
1								
2								
3								
4								
ค่าเฉลี่ย	$\Sigma \frac{g}{4}$							

ตัวอย่างการคำนวณ

.....

.....

.....

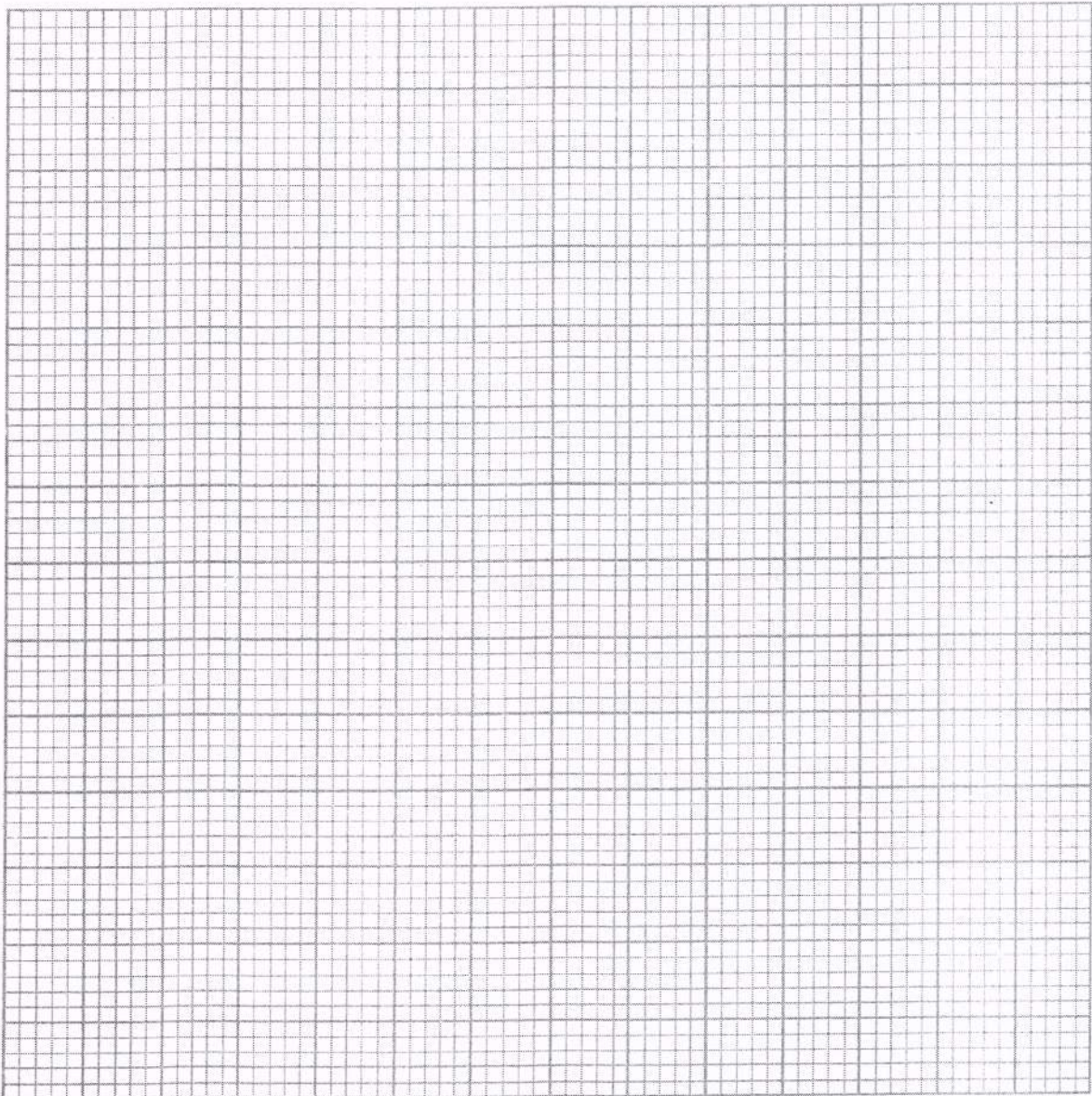
.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

การทดลองที่ 4

สมดุลของแรง

วัตถุประสงค์

1. สามารถรวมแรงด้วยวิธีการวาดรูปและคำนวณได้
2. ทดลองและตรวจสอบทฤษฎีของแรงได้

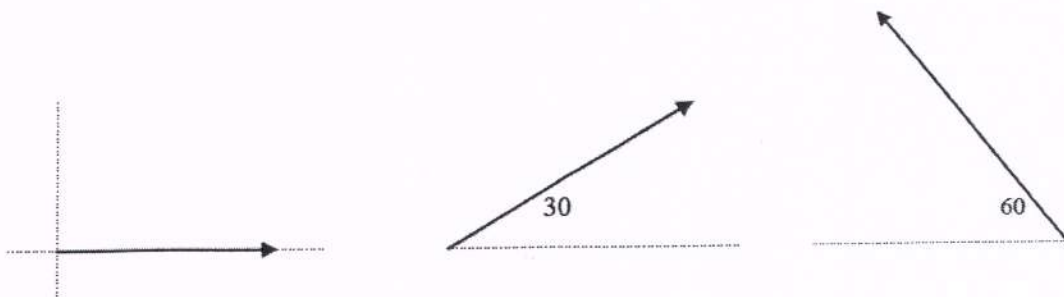
ทฤษฎี

ปริมาณในทางฟิสิกส์โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ปริมาณคือ

1. ปริมาณสเกลาร์ (Scalar Quantities) เป็นปริมาณที่มีเฉพาะขนาด (Magnitude) เพียงอย่างเดียว เช่น มวล (Mass) เวลา (Time) พลังงาน (Energy) งาน (Work) เป็นต้น ในการรวมปริมาณ สเกลาร์จะรวมกันตามหลักพีชคณิตต่างๆ ไป เช่น มวล 3kg รวมกับมวล 4 kg ได้มวลรวมเป็น 7 kg เป็นต้น

2. ปริมาณเวกเตอร์ (Vector Quantities) เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง (Direction) เช่น แรง (Force) การกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) สนามไฟฟ้า (Electric Field) เป็นต้น ในการรวมปริมาณเวกเตอร์นี้จะต้องคำนึงถึงทิศทางด้วย เช่น แรง 3 นิวตัน รวมกับแรง 4 นิวตัน แรงรวมหรือแรงลัพธ์ที่ได้ อาจมีค่าได้ตั้งแต่ 1 นิวตัน ถึง 7 นิวตัน ถ้าแรงทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน หรือถ้าแรงทั้งสองนี้ตั้งฉากกันจะได้ 5 นิวตัน เป็นต้น

ตัวอย่าง กำหนดให้แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $-\vec{F}_3$ มีขนาด 3N, 4N และ 5N ตามลำดับ โดยมีทิศทางดังรูปที่ 2.1 จงหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ (R) โดยที่ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$



รูปที่ 2.1 เวกเตอร์

ขั้นตอนที่ 1 วาดรูปเวกเตอร์ของแรงลงบนระบบพิกัดฉาก xy ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแตกแรง

ขั้นตอนที่ 2 แยกแรงที่ไม่อยู่บนแกน x หรือ y (ซึ่งในที่นี้คือแรง F_2 และ F_3) ไปบนแกน x และ y ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจากรูปจะได้

$$F_{2x} = F_2 \cos 30$$

$$= 4(0.866)$$

$$= 3.464 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 60$$

$$= 5(0.5)$$

$$= 2.5 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin 30$$

$$= 4(0.5)$$

$$= 3.464 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \sin 60$$

$$= 5(0.866)$$

$$= 4.33 \text{ N}$$

ขั้นตอนที่ 3 รวมแรงแกนเดียวกันเข้าด้วยกันจะได้

$$\sum F_x = F_1 + F_{2x} - F_{3x}$$

$$= 3 + 3.464 - 2.5$$

$$= 3.964 \text{ N}$$

$$\sum F_y = F_{2y} - F_{3y}$$

$$= 2 + 4.33$$

$$= 6.33 \text{ N}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดแรงของแรงลัพธ์จากการรวม $\sum F_x$ และ $\sum F_y$ จากสมการ

$$\sum F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

$$\sum F = \sqrt{(3.964)^2 + (6.33)^2}$$

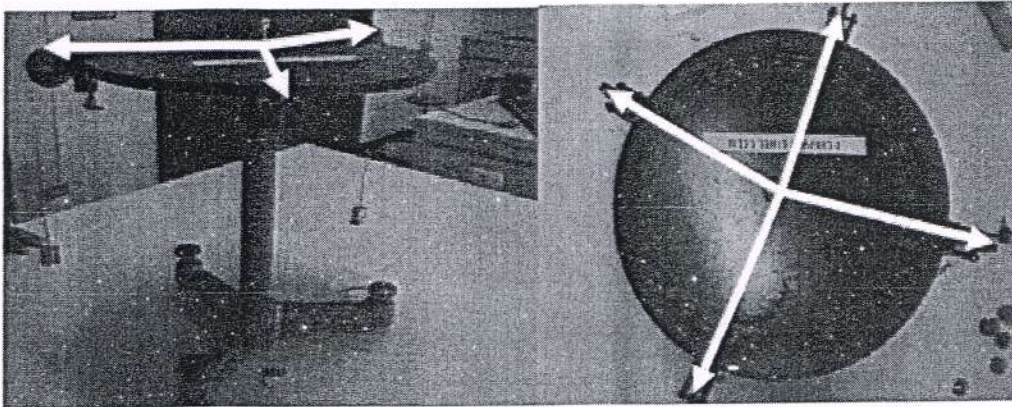
$$= 7.469 \text{ N}$$

หาทิศของแรงลัพธ์จะเห็นว่า

$$\tan \alpha = \frac{\sum F_y}{\sum F_x} = \frac{6.33}{3.964} = 1.597$$

$$\alpha = \tan^{-1} 1.597 = 57.94 \text{ องศา}$$

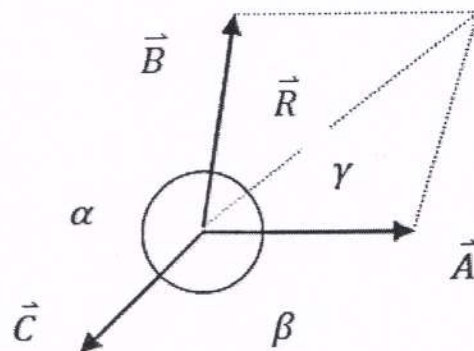
สมดุลของแรง 3 แรง



รูปที่ 2.3 สมดุลของแรง 3 แรง และ 4 แรง

แรงที่อยู่ในทิศตรงข้ามกับแรงลัพธ์ที่มากกระทำกับวัตถุทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล แรงนี้ เรียกว่า “แรงกู่” (Anti-Resultant Force) ถ้ามีแรงสองแรงกระทำต่อกันและแรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์ แรงกู่สามารถหาได้ อีกวิธีหนึ่ง จากกฎของไซน์ได้ เช่น A และ B กระทำร่วมกันที่จุดๆ หนึ่ง และ C เป็นแรงกู่ ดังรูป 2.4 ขนาดของแรงทั้งสาม มีความสัมพันธ์ต่อกันเป็น

$$\frac{A}{\sin \alpha} = \frac{B}{\sin \beta} = \frac{C}{\sin \gamma}$$



รูปที่ 2.4 กฎของไซน์

วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เราศึกษาการสมดุลของแรงโดยใช้โต๊ะแรง (Force table) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 น้ำหนัก (แรง) ขนาดตามต้องการ จะถูกผูกติดกับเชือกแล้วคล้องผ่านรอก ซึ่งสามารถติดตั้งในทิศต่างๆ ได้ โดยรอบ 360 องศา บนขอบโต๊ะ ปลายเชือกอีกด้านหนึ่งผูกติดกับวงแหวนเล็กๆ และยึดไว้ด้วยหมุดที่จุดศูนย์กลางโต๊ะ ปรับแรงให้อยู่ในทิศต่างๆ จนกระทั่งหมุดอยู่กึ่งกลางแหวน เราก็จะบันทึกผลทั้งทิศทางของแรง และขนาดของแรงได้

อุปกรณ์

1. คีมน้ำหนัก
2. เชือก
3. ตาชั่งสปริง
4. โต๊ะแรง

ตอนที่ 1 สมดุลของแรง 3 แรง

1. ปรับโต๊ะแรงให้อยู่ในแนวระดับ จัดแรง $\vec{F}_1$ และ $-\vec{F}_2$ ให้มีขนาดและทิศทางตามค่าที่กำหนดในตาราง บันทึกผลการทดลอง ให้ทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง
2. แต่ละครั้งจะทำการหา $\vec{F}_3$ ทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล บันทึกผล
3. แสดงวิธีหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ด้วยวิธีการคำนวณ
4. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง

ตอนที่ 2 สมดุลของแรง 4 แรง

1. ปรับโต๊ะแรงให้อยู่ในแนวระดับ จัดแรง $\vec{F}_1$ จัดแรง , $-\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ ให้มีขนาดและทิศทางตามค่าที่กำหนด ในตารางบันทึกผลการทดลอง ให้ทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง
2. แต่ละครั้งจะทำการทดลองหา ทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล บันทึกผล
3. แสดงวิธีหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ ด้วยวิธีการคำนวณ
4. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สมดุลของแรง 3 แรง ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$-\vec{F}_2$		แรงลัพธ์ $\vec{F}_3$			
					จากการทดลอง		จากการคำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1	50	0	75	90	90		90	
2	50	0	75	120	70		70	
3	100	0	100	120	100		100	
4	100	0	150	135	110		110	

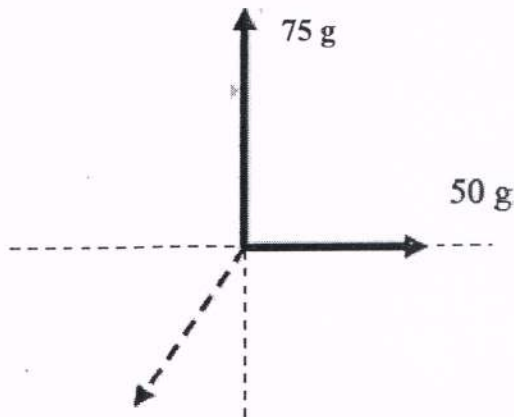
ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$-\vec{F}_2$		$\vec{F}_3$		แรงลัพธ์			
							ทดลอง		คำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1	50	0	50	60	50	180				
2	50	0	80	90	80	135				
3	60	0	80	130	100	210				

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

แสดงวิธีการการคำนวณ กำหนดขนาดและทิศทางของแรงคู่สมดุล

สมดุลของแรง 3 แรง

ครั้งที่ 1



.....

.....

.....

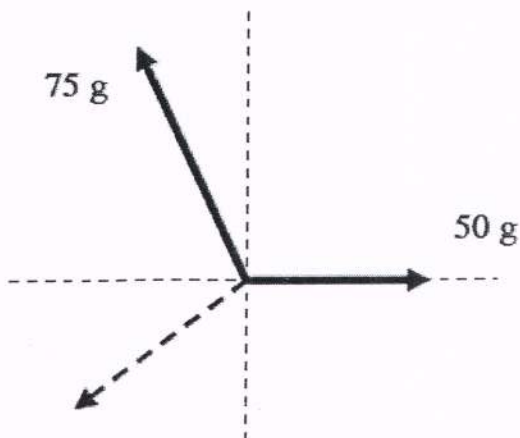
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 2



.....

.....

.....

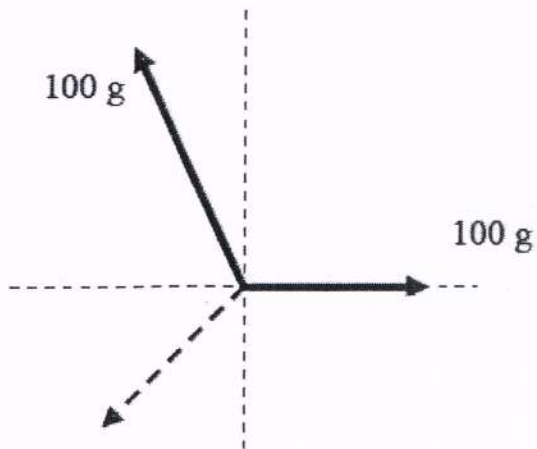
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 3



.....

.....

.....

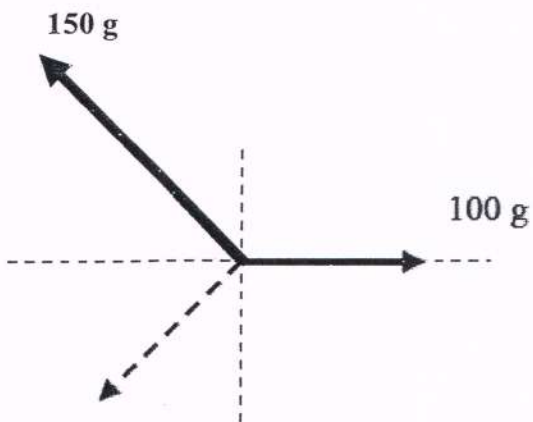
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 4



.....

.....

.....

.....

.....

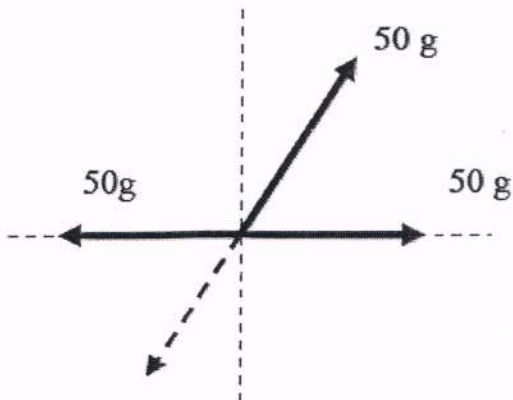
.....

.....

ตอนที่ 2 สมดุลของแรง 4 แรง ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	$\vec{F}_1$		$\vec{F}_2$		$\vec{F}_3$		แรงที่สมดุล			
							ทดลอง		คำนวณ	
	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)	ขนาด (g)	ทิศ (องศา)
1										
2										
3										

ครั้งที่ 1



.....

.....

.....

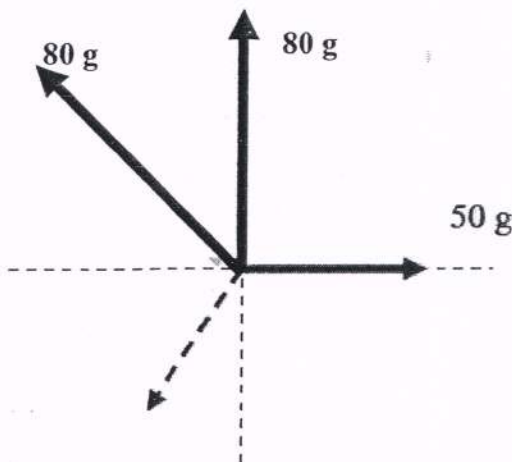
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 2



.....

.....

.....

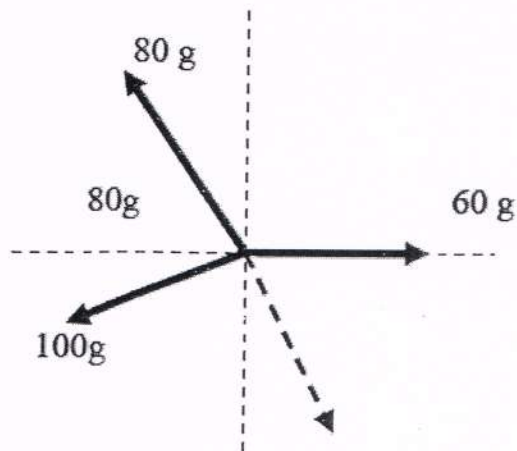
.....

.....

.....

.....

ครั้งที่ 3



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 5
ชุดสาธิตการเกิดคลื่นนิ่ง (ชุดสาธิต)
Standing waves demonstration



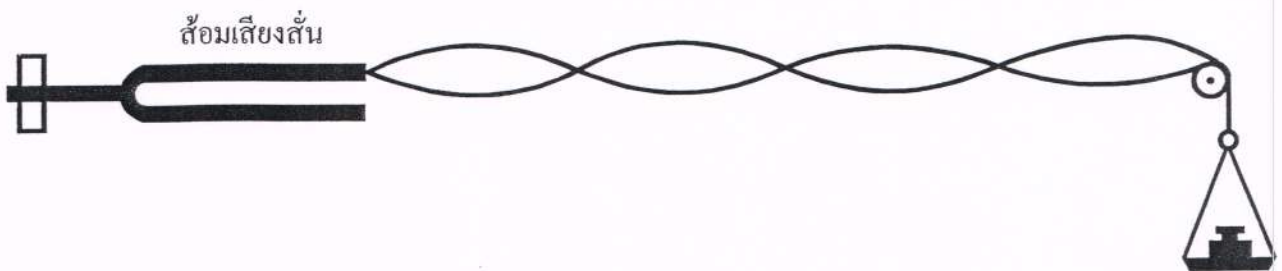
วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับการเกิดคลื่นนิ่ง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

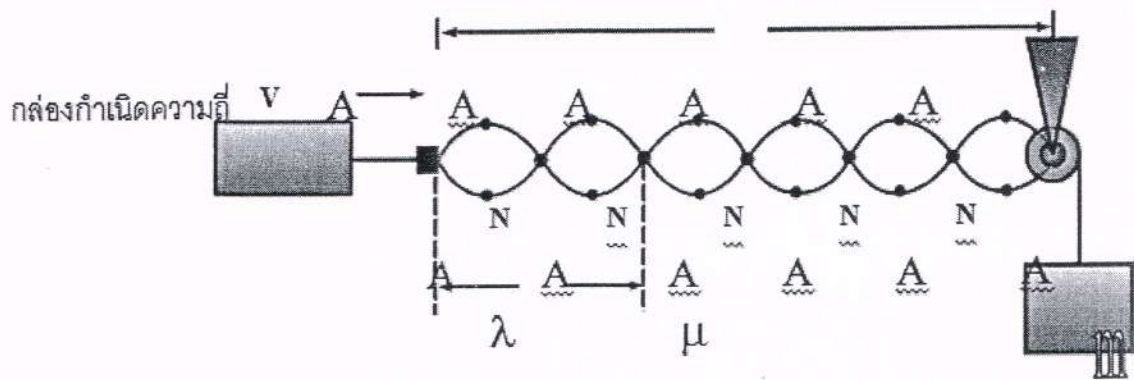
คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการซ้อนกันของคลื่น 2 คลื่นที่มีความถี่เท่ากัน มีทิศการเคลื่อนที่สวนทางกัน

ในอดีตนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ แฟรงซ์ เมลด์ ได้สาธิตคลื่นนิ่งตามขวางในเส้นเชือก โดยผูกปลายเชือกข้างหนึ่งเข้ากับส้อมเสียงแล้วคล้องผ่านรอก อีกปลายหนึ่งผูกกับจานวางน้ำหนัก ดังรูปที่ 1 เมื่อเคาะขาส้อมเสียงให้สั่น คลื่นที่เกิดขึ้นจะเดินทางไปตามเส้นเชือก จนถึงปลายอีกข้างหนึ่ง (ชนถูกรอก) แล้วสะท้อนกลับมา ถ้าให้ส้อมเสียงสั่นตลอดเวลา คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนจะรวมกันเป็น คลื่นนิ่ง



รูปที่ 1 แสดงการทดลองของเมลด์

ชุดสาธิตการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก เป็นชุดสาธิตที่มีลักษณะการทดลองคล้ายกับชุดสาธิตการทดลองของ แฟรงซ์ เมลด์ แต่เปลี่ยนจากส้อมเสียงเป็นเครื่องสั่นไฟฟ้าความถี่ 50 Hz แทน ทำให้เกิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก โดยการสั่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 50 Hz.

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดสาริตการเกิดคลื่นนิ่ง 2012335
2. เครื่องจ่ายไฟฟ้าโวลท์ต่ำ AC.
3. ลูกตุ้มน้ำหนัก 20 กรัม จำนวน 12 อัน
10 กรัม จำนวน 6 อัน
4. จานวางน้ำหนัก 29 กรัม

แนวความคิด

ชุดสาริตการเกิดคลื่นนิ่ง กำเนิดคลื่นที่มีความถี่ (f) 50 Hz. ผ่านเส้นเชือกมีผลทำให้เกิดบัพ (Node) และปฏิบัพ (Antinode) โดยมีตำแหน่งคงที่และมีสมการของคลื่นดังนี้

จากรูปที่ 2 เมื่อกำหนดให้ N = บัพ (Node)

A = ปฏิบัพ (Antinode)

L = ความยาวเชือก (เมตร-m.)

m = มวล (กิโลกรัม Kg.)

l = ระยะทางคลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

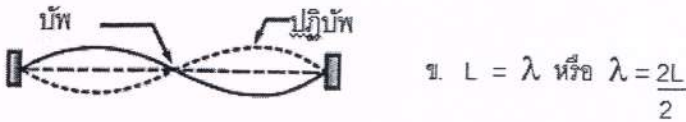
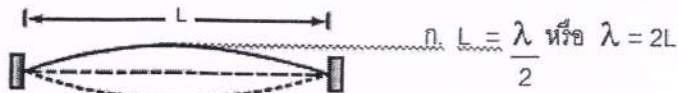
T = แรงตึงในเส้นเชือก (นิวตัน-N)

m = อัตราส่วนระหว่างมวลต่อความยาวเชือก

- ความเร็วของคลื่นนิ่งในเส้นเชือก (เมตร/วินาที-m/s)

$$V = \lambda = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{①}$$

ความยาวคลื่น (l) พิจารณาการเกิดคลื่นดังนี้



สรุปความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ L เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{2L}{N} \quad \text{--- ②}$$

เมื่อ N = จำนวน loop

วิธีการทดลอง

1. จัดเครื่องมือเตรียมการทดลองตามรูปที่ 2 วัดความยาว L ของเส้นเชือก
2. จ่ายไฟฟ้า 8-12 V.AC. 50 Hz. เข้ากับกล่องกำเนิดความถี่ แล้วเปิดสวิตช์
3. ชั่งมวลและวัดความยาวของเส้นเชือก แล้วคำนวณหามวล ต่อหน่วยความยาวของเส้นเชือก
4. จัดหาอุปกรณ์การทดลอง โดยผูกปลายเชือกข้างหนึ่งเข้ากับปลายขาข้างหนึ่งของส้อมเสียง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งผูกติดกับเขวนน้ำหนัก โดยวางพาดบนรอกที่ติดกับของโต๊ะ จัดให้แนวเส้นเชือกขนานขาของส้อมเสียง
5. ปรับความตึงเชือก จนกว่าจะเกิดคลื่นนิ่งที่มีจำนวนเป็น 4,3,2,1 วง (loop) โดยต้องปรับจนเห็นจุดบัพของคลื่นชัดเจน และหยุดนิ่งบันทึกผลการทดลอง และคำนวณความยาวคลื่น λ ด้วย
6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ λ^2 ในแนว แกนตั้ง และแกนนอนตามลำดับ และหาความชันของกราฟ คำนวณหาความถี่ของส้อมเสียง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความหนาแน่นเชิงเส้นเชือก (μ) = ... kg/m

จำนวนลูก	T (N)	λ	λ^2	f (Hz)	V (m/s)
4					
3					
2					
1					

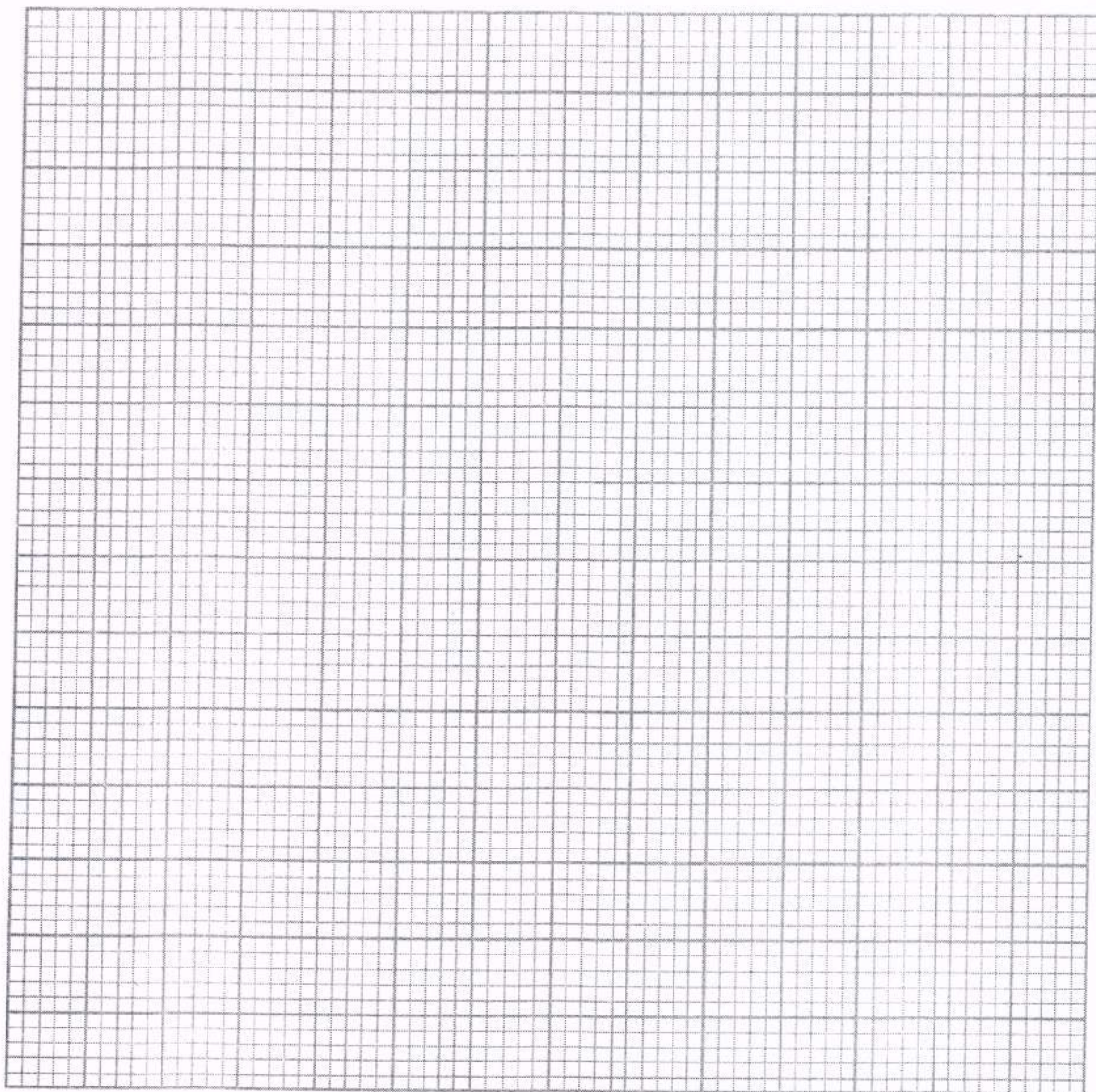
[illegible]เขียนกราฟ จะได้ความชันกราฟ = μf^2

ความถี่เฉลี่ยจากการคำนวณ = ... Hz.

ความถี่จากกราฟ = ... Hz.

ความถี่ของเครื่องต้นไฟฟ้า = 50 Hz.

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 6

จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงและจุดเซนทรอยด์

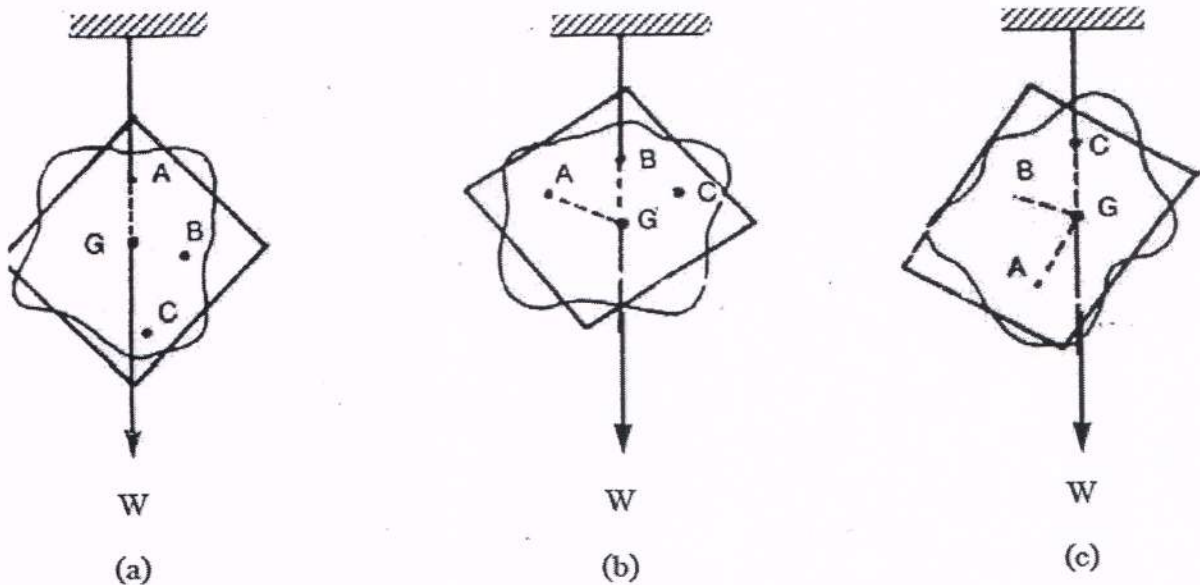
วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้เข้าใจเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงและจุดเซนทรอยด์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จุดศูนย์กลาง และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity and Center of Mass)

แรงกระจายที่สำคัญอันหนึ่ง คือ แรงดึงดูดของโลก ซึ่งแรงนี้จะกระทำต่อทุกอนุภาคของวัตถุ และผลของแรงนี้ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก W ($W = mg$) เมื่อแขวนเชือกที่จุด A แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลก จะอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับเชือก คือ AG ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1

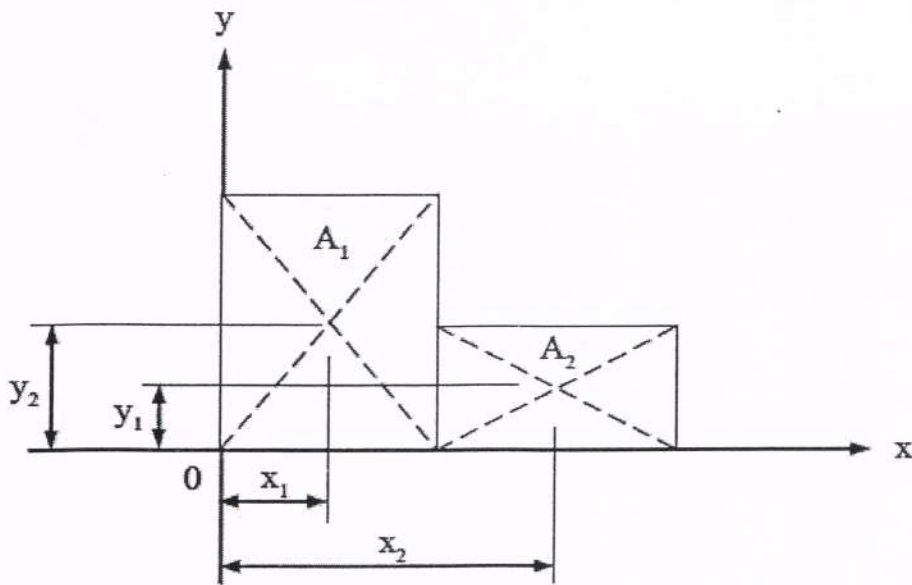
ต่อไปถ้าเลื่อนไปแขวนวัตถุที่จุด B และ C จะได้แรงลัพธ์ในแนวเส้นตรง BG และ CG ซึ่งจะเห็นว่าเส้นตรงทั้ง 3 เส้น ตัดกันที่จุด G จุดเดียว เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) ของวัตถุ และถ้าหาวัตถุอยู่ในสภาวะไร้แรงดึงดูดของโลกแล้ว เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์กลาง (Center of Mass) ซึ่งมีความหมายว่า จุดในวัตถุที่เสมือนกับว่า มวลทั้งหมดของวัตถุนั้นรวมอยู่ ณ จุดตรงนี้

เซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ

หมายถึง จุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของวัตถุนั้น แต่ถ้าจะพิจารณาถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุแล้ว มักจะใช้เป็น จุดศูนย์กลางมวล อย่างไรก็ตาม จุดศูนย์กลาง (Centroid) และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) จะเป็นจุดเดียวกันเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอและถ้าหากวัตถุมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอแล้ว จุดดังกล่าวทั้งสองจะไม่ทับกัน

การบอกตำแหน่งของจุด Centroid ของวัตถุรูปร่างใด ๆ มักจะบอกในเทอมของระยะค่าเฉลี่ยของ โคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (x, y, z)

เซนทรอยด์สำหรับวัตถุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีรูปร่างต่างกัน ดังแสดงใน รูปที่ 6.2

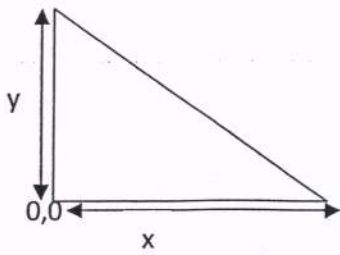


จุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$ หาได้จากสมการ

$$\bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}A}{\sum A}$$

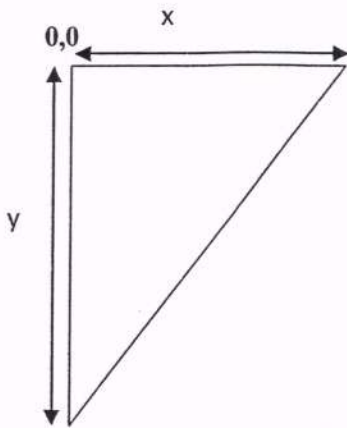
$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}A}{\sum A}$$

จุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุสามเหลี่ยม $(\bar{x}, \bar{y})$ หาได้จากสมการ



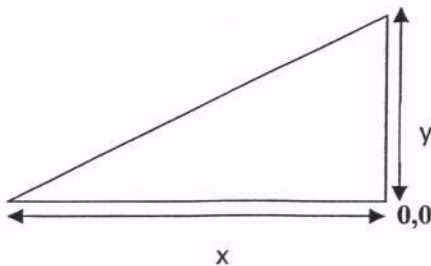
$$\bar{x} = \frac{x}{3}$$

$$\bar{y} = \frac{y}{3}$$



$$\bar{x} = \frac{x}{3}$$

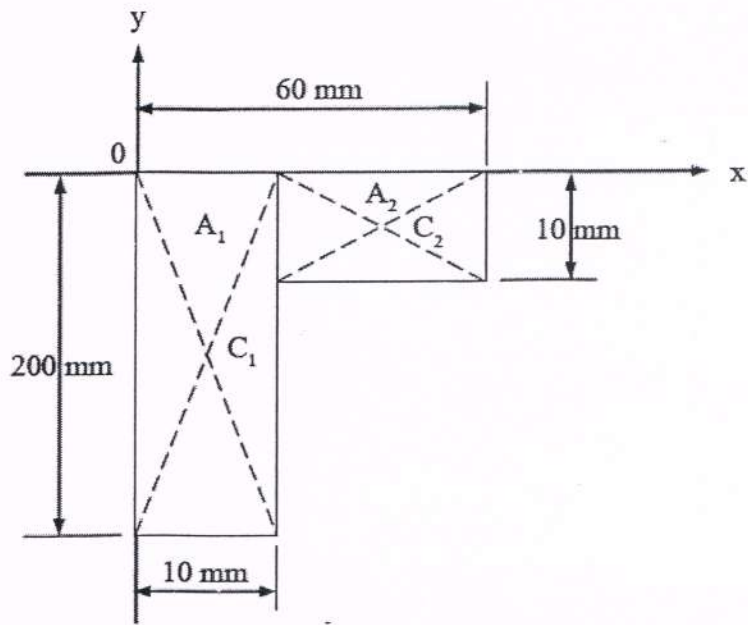
$$\bar{y} = \frac{2y}{3}$$



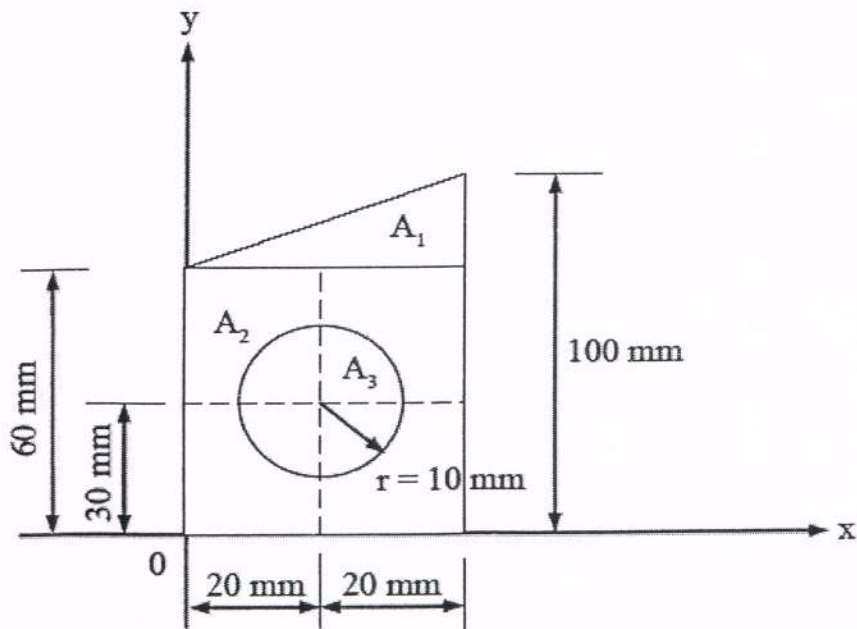
$$\bar{y} = \frac{y}{3}$$

วิธีการทดลอง

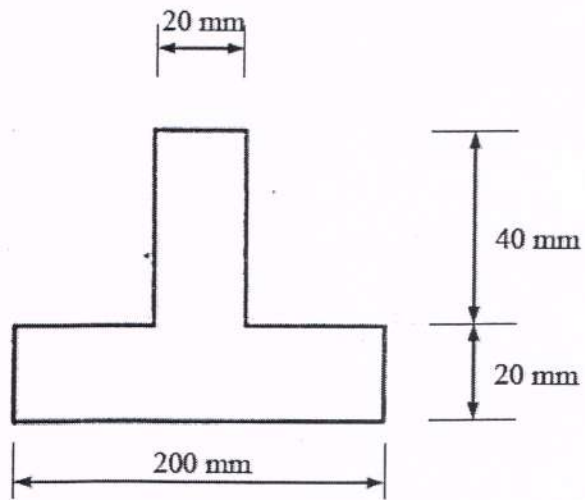
1. ตัดกระดาษให้ได้ตามรูปที่ 6.1a-6.1e
2. วางกระดาษตามข้อที่ 1 บนแท่นไม้หรือแท่นเหล็กที่เตรียมไว้ให้ เลื่อนกระดาษหาจุดสมดุลตามรูปที่ 6.2
3. ลงจุดตำแหน่งที่ทำให้เกิดสมดุล
4. นำกระดาษตามข้อที่ 3 มาวัดหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$
5. บันทึกลงในตารางที่ 6.1 พร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ $(\bar{x}, \bar{y})$



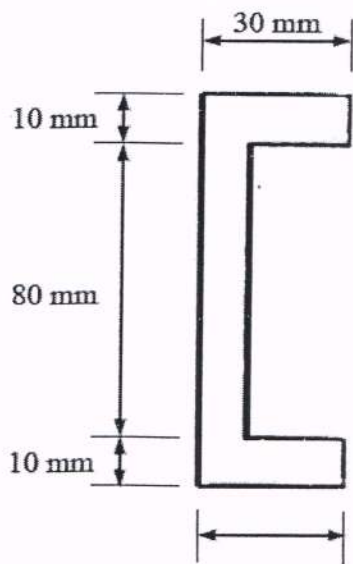
รูปที่ 6.1a



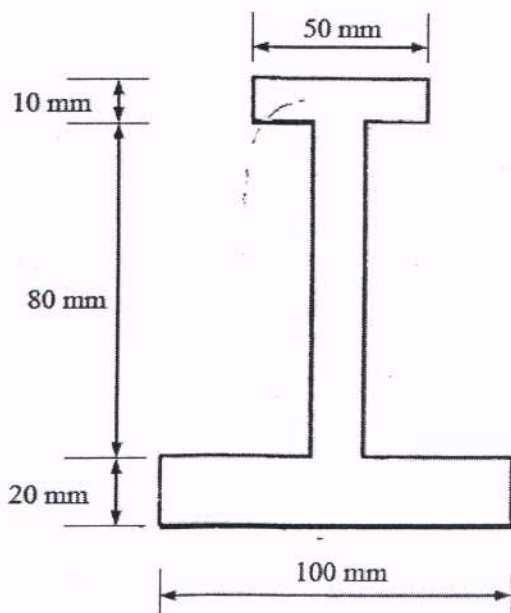
รูปที่ 6.1b



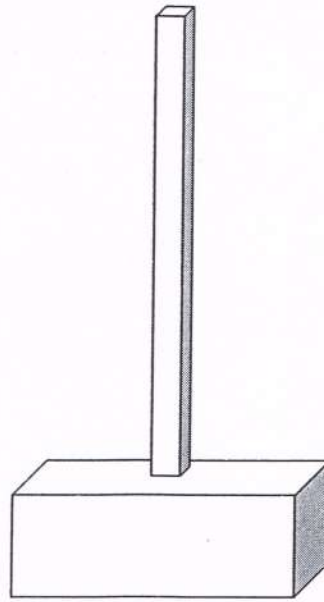
รูปที่ 6.1c



รูปที่ 6.1d



รูปที่ 6.1e



รูปที่ 6.2

ตารางที่ 6.1

รูปที่	ค่าที่ได้จากการทดลอง		ค่าที่ได้จากการคำนวณ	
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	$\bar{y}$
6.1a				
6.1b				
6.1c				
6.1d				
6.1e				

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 7
สมบัติของสาร

การหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของแข็ง
2. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของเหลว
3. เพื่อศึกษาการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุของของวัตถุที่ไม่มีรูปทรง

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่ง
2. เวอร์เนียหรือไม้บรรทัดที่มีความละเอียดระดับ 0.02 ซม.
3. วัตถุตัวอย่างที่ต้องการหาค่าความหนาแน่น
4. กระบอกตวง
5. บีกเกอร์
6. ถ้วยชั่ง

ทฤษฎีเบื้องต้น

ความหนาแน่นของวัตถุ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุหนึ่งๆ โดยที่หากเป็นวัตถุเดียวกันจะมีความหนาแน่นเท่ากัน โดยความหนาแน่นจะเป็นตัวบ่งบอกว่า ถ้าสองวัตถุใดมีปริมาตรเท่ากัน วัตถุใดจะมีมวลมากกว่ากัน

ความหนาแน่นหาได้จากสูตร

$$D = \frac{m}{V}$$

เมื่อ D หรือ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุในหน่วย kg/m^3 หรือ g/cm^3

m คือ มวลของวัตถุ

V คือ ปริมาตรของวัตถุ

การหามวลของวัตถุ

1. กรณีเป็นของแข็ง เราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักของวัตถุได้โดยตรง
2. กรณีเป็นของเหลว เราสามารถหาได้โดยการชั่งพร้อมกับภาชนะบรรจุ แล้วน้ำหนักของของเหลวคือ น้ำหนักภาชนะบรรจุออก

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การหาปริมาตรของวัตถุ

1. กรณีของแข็งรูปทรงตันที่เราสามารถหาปริมาตรได้จากสมการปริมาตรตามรูปทรง

รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ = กว้าง x ยาว x สูง

ทรงกระบอก = พื้นที่ฐาน x สูง

$$\text{ทรงกลม} = \frac{4}{3}\pi R^3$$

2. กรณีของแข็งรูปทรงไม่คงที่หาได้โดย

การแทนที่ด้วยน้ำ

การชั่งวัตถุในน้ำ

3. กรณีของเหลวเราสามารถหาปริมาตรได้โดยการวัดปริมาตรในกระบอกตวง

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1.1 การหาค่าความหนาแน่นของวัตถุที่เป็นของแข็งมีรูปทรงเรขาคณิต

1. ชั่งหามวลของวัตถุโดยใช้ตาชั่ง บันทึกลงในตาราง
2. วัดขนาดของรูปทรงเพื่อคำนวณหาปริมาตร เมื่อคำนวณได้ปริมาตรแล้วบันทึกลงในตาราง
3. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
4. ทำการทดลองซ้ำ จบครบ 3 ครั้ง

รูปทรงของวัตถุ	มวลของวัตถุ (กรัม)	ปริมาตรของวัตถุ (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. สี่เหลี่ยมลูกบาศก์			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
2. ทรงกระบอก			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
3. ทรงกลม			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			

วันที่ทำการทดลอง.....ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

2 การหาความหนาแน่นของของแข็งที่ไม่มีรูปทรงทางเรขาคณิต

ถ้วยยูเรก้า

1. ชั่งก้อนหินหามวลโดยใช้ตาชั่ง บันทึกลงในตาราง
2. แทนที่น้ำด้วยก้อนหินในถ้วยยูเรก้า ร่องนํ้าที่ล้นออกมาหยุด นํ้าที่ล้นออกไปหาปริมาตร โดยใช้กระบอกตวง
3. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
4. ทำการทดลองซ้ำ จบครบ 3 ครั้ง

วัตถุ	มวลของวัตถุ (กรัม)	ปริมาตรของวัตถุ (ลบ.ซม.)	คามหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. ก้อนหิน 1			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			
2. ก้อนหิน 2			
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ค่าเฉลี่ย			

3 การหาความหนาแน่นของของเหลว (น้ำยาล้างจาน)

1. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวงเปล่า
2. ชั่งน้ำหนักของของเหลวพร้อมกระบอกตวง
3. คำนวณหาน้ำหนักของของเหลวโดย น้ำหนักของของเหลวจะเท่ากับ น้ำหนักของของเหลวพร้อมกระบอกตวง - น้ำหนักกระบอกตวงเปล่า
4. อ่านค่าปริมาตรของของเหลวจากกระบอกตวง
5. คำนวณหาค่าความหนาแน่น
6. ทำการทดลองซ้ำ จนครบ 3 ครั้ง

วัตถุ	มวลของของเหลว พร้อมกระบอกตวง	มวลของ กระบอกตวง	มวลของ ของเหลว	ปริมาตรของ วัตถุ (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
1. น้ำ					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					
2. นมข้น					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					
3. น้ำมัน					
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					
ค่าเฉลี่ย					

ตารางแสดงความหนาแน่นของสารชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุ	ค่าความหนาแน่น ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
นิกเกิล	8.90
ตะกั่ว	11.34
ทองแดง	8.92
ทองเหลือง	8.56
สังกะสี	7.10
เหล็ก	7.86
อลูมิเนียม	2.70
ปรอท	13.60
กลีเซอริน	1.26
น้ำ	1.00
อากาศ	0.00129

วิเคราะห์ผลการทดลอง

[illegible]



คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ 2

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

กลุ่มที่

ชื่อผู้ทดลอง

.....รหัส.....สาขา.....

สมาชิกในกลุ่ม

1. รหัส.....สาขา.....
2. รหัส.....สาขา.....
3. รหัส.....สาขา.....

ภาคเรียนที่ ปีการศึกษา

ใบงานที่ 1

เรื่อง มาตรฐานไฟฟ้า การอ่านค่าตัวต้านทาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ทั้งแบบเข็ม และแบบดิจิตอล
2. สามารถใช้มัลติมิเตอร์เพื่อวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า และค่าของตัวต้านทาน

ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอน

.....

เครื่องมือและอุปกรณ์

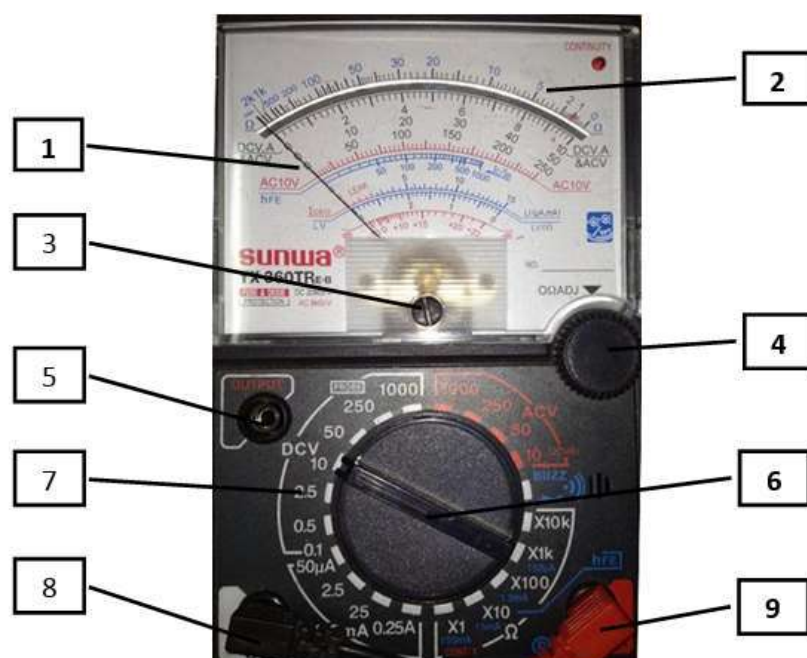
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)	1	เครื่อง
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Power Supply)	1	เครื่อง
3. มัลติมิเตอร์ แบบเข็ม	1	เครื่อง
4. มัลติมิเตอร์ แบบดิจิตอล	1	เครื่อง
5. ตัวต้านทานขนาดต่างๆ		

ทฤษฎี

1. มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้รวมเอา แอมมิเตอร์ (Ammeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า, โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และโอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานเข้ามารวมอยู่ในเครื่องวัดตัวเดียวกัน มัลติมิเตอร์แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ มัลติมิเตอร์แบบแสดงผลด้วยเข็มชี้ (Analog Multimeter) และมัลติมิเตอร์แบบแสดงผลด้วยตัวเลข (Digital Multimeter)

1.1 ส่วนประกอบหลักของมัลติมิเตอร์ ประกอบด้วย

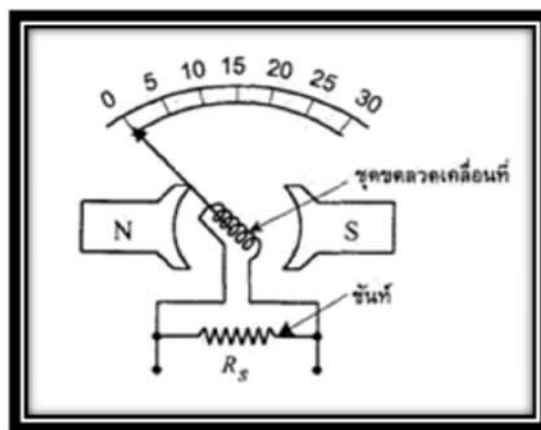


ภาพที่ 1 มัลติมิเตอร์แบบเข็ม

1. เข็มชี้ (Pointer) : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ชี้แสดงค่าต่างๆ ที่วัดได้
2. สเกล (Scale) : จะประกอบไปด้วยสเกลแสดงค่าต่างๆ หลายค่าด้วยกันเช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เป็นต้น
3. สกรูปรับศูนย์ (Zero Adjuster) : เป็นสกรูที่ใช้สำหรับปรับแต่งเข็มชี้ เพื่อให้เข็มชี้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ (0) ทางด้านซ้ายมือสุดของสเกล
4. ปุ่มปรับศูนย์โอห์ม (Zero - Ohm Adjuster) : เป็นปุ่มสำหรับปรับแต่งเข็มชี้ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์โอห์ม (0 Ω) ทางด้านขวามือสุดของสเกลที่จะนำมัลติมิเตอร์ไปวัดค่าความต้านทานหรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ซีโรโอห์ม (Zero - Ohm)
5. รูเสียบสาย OUTPUT (Output Terminal) : มีไว้สำหรับเสียบสายวัดสีแดงแทนแจ็ก P(+) เมื่อจะนำมัลติมิเตอร์ไปวัดค่าอัตราการขยายหรือค่าเดซิเบล หรือการวัดค่าโวลต์พีคทูพีค (Vp-p)
6. สวิตช์เลือกย่านวัด (Range Selector Switch Knob) : สวิตช์เลือกย่านวัดเป็นสวิตช์ที่ทำหน้าที่ต่อวงจรภายในของมัลติมิเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของการใช้งานและตำแหน่งของย่านวัด
7. ย่านวัด (Measurement Range) : ย่านวัดเป็นตำแหน่งของตัวเลขที่แสดงค่าสูงสุดที่จะวัดได้ในแต่ละย่านวัด นอกจากนี้ยังเป็นตัวบอกประเภทของการใช้งานอีกด้วย
8. รูเสียบสายลบ (Negative Common Terminal) : รูเสียบสายลบ หรือ C(-) เป็นรูสำหรับเสียบสายวัดสีดำหรือสายกราวด์
9. รูเสียบสายบวก (Positive Common Terminal) : รูเสียบสายบวก หรือ P(+) เป็นรูสำหรับเสียบสายวัดสีแดง

1.2 การใช้มัลติมิเตอร์เป็นแอมป์มิเตอร์ (Ammeter)

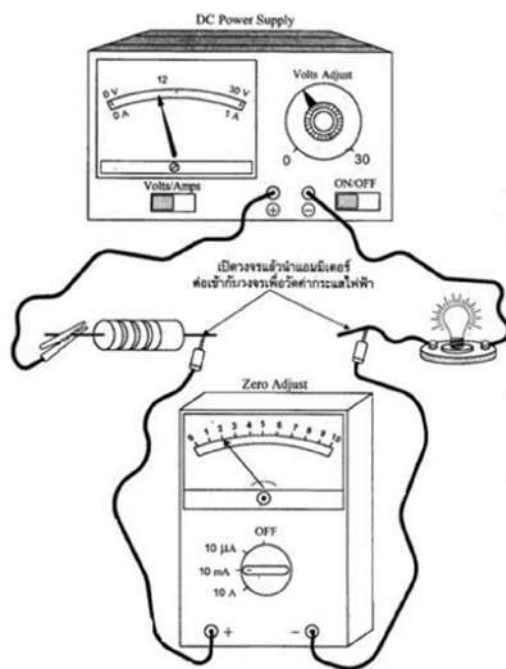
เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าเราจะเรียกว่า แอมมิเตอร์ ซึ่งในเบื้องต้นเราทราบแล้วว่าชุดขดลวด เคลื่อนที่ นั้นจะใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าน้อย ๆ ดังนั้นเมื่อเราต้องการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงขึ้น เราจึงต้องนำตัวต้านทานที่มีค่าต่ำๆ (ต่ำกว่าค่าความต้านทานของชุดลวด) ที่เรียกว่า ชันท์ (Shunt) เมื่อต่อขนานกับชุดลวดของชุดขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นหลักการของ แอมมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 การใช้แอมมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้านั้นเราสามารถวัดค่าได้หลายย่านด้วยกันโดยการใช้สวิตช์ปรับเลือกย่านการวัดที่เราต้องการได้ เช่น ย่าน 0 ถึง 1 มิลลิแอมแปร์ , ย่าน 0 ถึง 10 มิลลิแอมแปร์ หรือย่าน 0 ถึง 100 มิลลิแอมแปร์ เป็นต้น



ภาพที่ 2 แอมป์มิเตอร์

การปฏิบัติเมื่อใช้มัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า มีดังนี้

1. ปรับสวิตช์เลือกการทำงานของมัลติมิเตอร์มาเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าก่อนโดยเลือกย่านการวัดค่าเป็นการวัดกระแสตรง (I_{DC}) หรือเป็นการวัดกระแสไฟสลับ (I) ให้ถูกต้องกับวงจรไฟฟ้าที่ต้องการจะวัด
2. การวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรจะต้องต่อเครื่องวัดในเส้นทางที่มีกระแสไฟฟ้าไหล นั่นคือ จะต้องทำการเปิดวงจรก่อน จากนั้นจึงนำเครื่องวัดไปต่ออนุกรมเข้ากับวงจร และสำหรับการต่อขั้วของเครื่องวัดนั้นถ้าเป็นการวัดกระแสไฟตรง (I_{DC}) จะต้องต่อขั้วให้ถูกต้องโดยขั้วสายสีแดง (+) ของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับขั้วบวกของวงจร ส่วนขั้วสายสีดำ (-) ของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับขั้วลบของวงจร แต่ถ้าเป็นการวัดกระแสไฟสลับ (I_{AC}) ไม่ต้องคำนึงถึงขั้วของเครื่องวัด
3. ตั้งย่านการวัดให้สูงสุดก่อนเสมอ จากนั้นค่อยลดลงมาตามค่ากระแสที่ทำการวัดได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายไม่ให้เกิดขึ้นกับเครื่องวัด โดยย่านการวัดที่เลือกนั้นจะต้องทำให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ตรงกึ่งกลาง เพื่อให้การอ่านค่าง่ายยิ่งขึ้น
4. ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดแบบเข็ม ส่วนใหญ่จะประมาณ $\pm 3\%$ ของค่าที่อ่านได้เต็มสเกล ดังนั้นการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าควรที่จะอ่านให้ได้ใกล้เคียงกับเต็มสเกลให้มากที่สุด ตัวอย่างเช่น ถ้ากระแสไฟฟ้าค่า 7 มิลลิแอมแปร์ วัดได้จากสเกล 10 มิลลิแอมแปร์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ $\pm 3\%$ มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นค่าที่วัดได้จะมีค่าตั้งแต่ 6.7 – 7.3 มิลลิแอมแปร์
5. โดยปกติแล้วเครื่องวัดแบบเข็มจะมีกระบอกติดตั้งอยู่ที่สเกลบริเวณด้านหลังเข็มของเครื่องวัด ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นเงาของเข็มให้ปรากฏบนกระจก ดังนั้นเมื่อทำการอ่านค่าจะต้องมองในลักษณะตั้งตรง เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดและเงาในกระจกทับกันพอดีจึงจะได้ค่าของการวัดที่ถูกต้อง

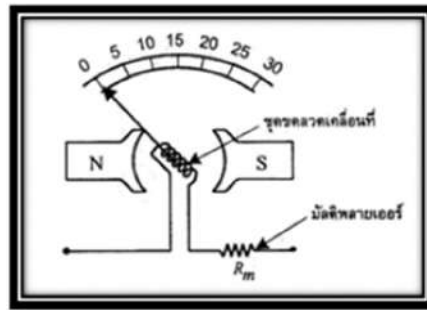


ภาพที่ 3 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยแอมป์มิเตอร์

1.3 การใช้เป็นโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)

การวัดแรงดันไฟฟ้าจะต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โวลต์มิเตอร์ ซึ่งหลักการของเครื่องวัดจะนำเอาความต้านทานที่มีค่าสูงๆ หรือที่เรียกว่า มัลติพลายเออร์ (Multiplier) มาต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดของชุดขดลวดเคลื่อนที่ เพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านไปยังขดลวดตามย่านที่กำหนดให้เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 การใช้

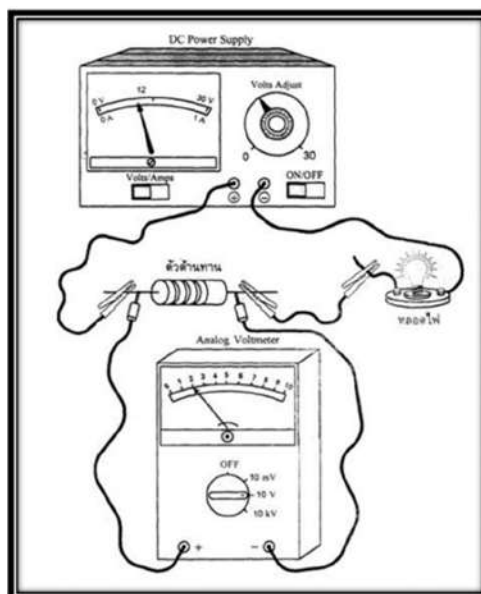
โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้านั้นเราสามารถใช่วัดค่าได้หลายย่านด้วยกันโดยการสวิตช์ปรับเลือกย่านการวัดที่เราต้องการได้ เช่น ย่าน 0 ถึง 10 มิลลิโวลต์, ย่าน 0 ถึง 100 มิลลิโวลต์ หรือย่าน 0 ถึง 10 โวลต์ เป็นต้น



ภาพที่ 4 โวลต์มิเตอร์

การปฏิบัติเมื่อใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า มีดังนี้

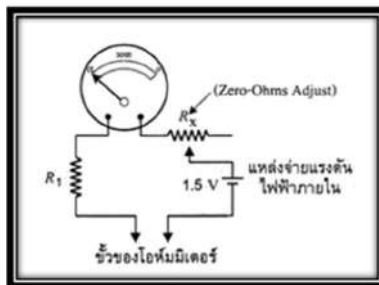
1. ปรับสวิตช์เลือกย่านการทำงานของมัลติมิเตอร์มาเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนโดยเลือกย่านการวัดค่าเป็นการวัดแรงดันไฟตรง (V_{DC}) หรือเป็นการวัดแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) ให้ถูกต้องกับวงจรไฟฟ้าที่ต้องการจะวัด
2. การวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรจะต้องต่อเครื่องวัดขนานกับตัวอุปกรณ์ที่ต้องการวัด และสำหรับการต่อขั้วของเครื่องวัดนั้นถ้าเป็นการวัดแรงดันไฟตรง (V_{DC}) จะต้องต่อขั้วให้ถูกต้องโดยขั้วสายสีแดง (+) ของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับขั้วบวกของวงจร ส่วนขั้วสายสีดำ (-) ของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับขั้วลบของวงจร แต่ถ้าเป็นการวัดแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) ไม่ต้องคำนึงถึงขั้วของเครื่องวัด
3. ตั้งย่านการวัดให้สูงสุดก่อนเสมอ จากนั้นค่อยลดลงมาตามค่าแรงดันที่ทำการวัดได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายไม่ให้เกิดขึ้นกับเครื่องวัด โดยย่านการวัดที่เลือกนั้นจะต้องทำให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ตรงกึ่งกลาง เพื่อให้การอ่านค่าง่ายขึ้น
4. ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเข็ม จะมีค่าประมาณ $\pm 3\%$ ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าขนาด 7 โวลต์ ค่าที่อ่านได้จะมีค่าประมาณ 6.7 – 7.3 โวลต์
5. การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดจะต้องมองในลักษณะตั้งตรงกับเข็มของเครื่องวัด ทั้งนี้เพื่อให้เข็มของเครื่องวัด และเงาในกระจกทับกันพอดีจึงจะได้ที่ถูกต้อง



ภาพที่ 5 การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยโวลต์มิเตอร์

1.4 การใช้เป็นโอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter)

ความต้านทานไฟฟ้าสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดที่อาศัยหลักการทำงานของชุดขดลวดเคลื่อนที่ เช่นเดียวกันซึ่งเรียกว่า โอห์มมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6 สิ่งที่แตกต่างกันของเครื่องวัดชนิดนี้กับเครื่องวัดแบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วคือโอห์มมิเตอร์จะมีแหล่งจ่ายภายในเป็นของตัวเอง โดยจะเป็นแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดความต้านทาน การใช้โอห์มมิเตอร์มีข้อสำคัญประการหนึ่ง คือ ก่อนทำการใช้โอห์มมิเตอร์จะต้องทำการปรับเข็มของเครื่องมือวัดชี้ตำแหน่ง 0 Ω ก่อนซึ่งเรียกว่า การปรับค่าศูนย์โอห์ม (Zero – Ohms Adjust) สามารถทำได้ง่ายๆ คือ นำปลายสายวัดมาแตะกันสังเกตเข็มของเครื่องวัดจะชี้ในเต็มสเกล (ด้านขวาสุด) ซึ่งแสดงว่า ไม่มีค่าความต้านทาน (0 Ω) ระหว่างสายวัดทั้งสองแต่เมื่อมีค่าความต้านทานใดๆ อยู่ระหว่างสายวัดทั้งสอง ค่าความต้านทานนี้จะทำให้ระยะการเบี่ยงเบนของเข็มชี้เปลี่ยนแปลงไปไม่ชี้แสดงที่ตำแหน่ง 0 Ω สำหรับสาเหตุที่ต้องปรับค่าศูนย์โอห์มกับเครื่องวัด เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ภายในของเครื่องวัดเมื่อเวลาผ่านไปนั่นเอง

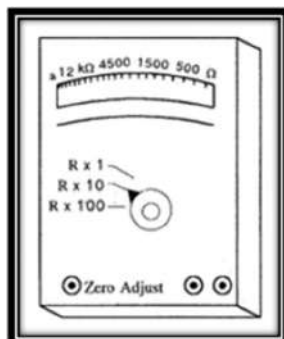


ภาพที่ 6 โอห์มมิเตอร์

ย่านการวัดของโอห์มมิเตอร์ การใช้โอห์มมิเตอร์สามารถเลือกย่านการวัดได้หลายย่านด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 7 แสดงรูปลักษณะภายนอกของโอห์มมิเตอร์ ซึ่งมีย่านการวัดค่าหลายย่าน ย่านการวัดของโอห์มมิเตอร์นี้จะแปลความหมายแตกต่างไปจากของแอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ คือย่านการวัด $R \times 1$, $R \times 10$ และ $R \times 100$ จะเป็นค่าตัวคูณกับค่าที่อ่านได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าเข็มชี้ที่ตำแหน่ง 500 และตั้งย่านการวัดที่ $R \times 10$ ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จริงจะมีค่าเท่ากับ

$$R \times 10 = 500 \times 10 = 5000 \text{ หรือ } 5 \text{ k}\Omega$$

ภายในโอห์มมิเตอร์จะมีแบตเตอรี่ขนาดเล็ก 1.5 โวลต์ ซึ่งจะใช้สำหรับย่านการวัด $R \times 1$, $R \times 10$ และ $R \times 100$ และถ้าใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ก็จะสามารถเพิ่มค่าสำหรับย่านการวัดเป็น $R \times 1000$ หรือสูงกว่า



ภาพที่ 7 ย่านการวัดต่างๆ ของโอห์มมิเตอร์

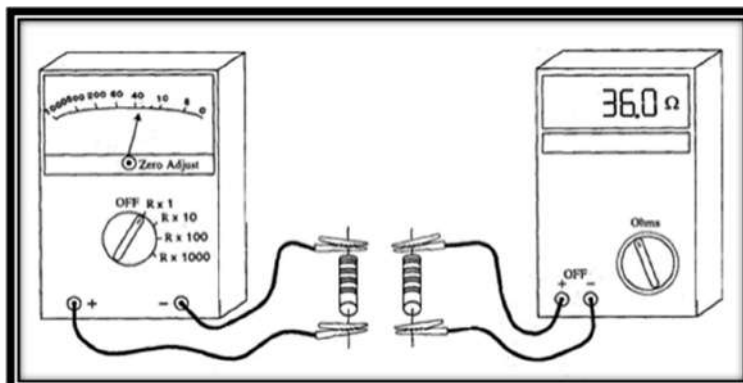
การปฏิบัติเมื่อใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้า มีดังนี้

1. ตั้งสวิตช์การทำงานของมัลติมิเตอร์มาเป็นการวัดค่าความต้านทานจากนั้นตั้งย่านการวัดให้เหมาะสมกับความต้านทานที่ต้องการจะวัด
2. นำปลายวัดทั้งสองมาแตะกัน จากนั้นให้ปรับที่ปุ่ม Zero – Ohms Adjust เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดที่ชี้ตำแหน่ง 0 Ω การทำเช่นนี้เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องวัดยังทำงานได้ถูกต้อง

3. ต้องแน่ใจว่าไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่มีอยู่ในวงจรเมื่อรวมกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ภายใน จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้กับเครื่องวัดได้

4. ต่อสายวัดคร่อมกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด อ่านค่าที่วัดได้จากสเกล จากนั้นนำค่าที่อ่านได้คูณเข้ากับย่านการวัดค่าที่ตั้งไว้ คือ $R \times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$ หรือมากกว่า

5. เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ใดๆ ขณะที่อุปกรณ์นั้นยังต่ออยู่ในวงจรค่าที่วัดได้อาจผิดพลาดทั้งนี้เนื่องจากผลของตัวต้านทานอื่นที่อาจต่อขนานกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดนี้ การแก้ไขทำได้โดยให้ปลดปลายด้านหนึ่งของอุปกรณ์ที่ต้องการวัดออก จากนั้นจึงค่อยทำการวัด



ภาพที่ 8 การใช้งานโอห์มมิเตอร์วัดความต้านทาน

2. ความต้านทาน

ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) คือ การที่สสารบางชนิดสามารถจำกัดการไหลของอิเล็กตรอน เราใช้ตัวต้านทานในการตัดทอนการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ความต้านทานใช้หน่วยเป็นโอห์ม (Ohm) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Ω ความหมายของความต้านทาน 1 โอห์ม คือ ความต้านทานที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ 1 แอมแปร์ และมีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 1 โวลต์

ตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งาน จะมีขนาดความต้านทานต่างกัน ตั้งแต่ค่าต่ำๆ ไปหาค่าสูงๆ การใช้หน่วยเพียงโอห์มเพียงอย่างเดียวไม่พอ เพราะการเขียนค่าความต้านทานมีความลำบาก เกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงมีการแบ่งหน่วยบอกค่าความต้านทานออกเป็นหน่วย มิลลิโอห์ม (milliOhm; $m\Omega$) หน่วยกิโลโอห์ม (kiloOhm; $k\Omega$) หน่วยเมกะโอห์ม (MegaOhm; $M\Omega$) และหน่วยจิกะโอห์ม (GigaOhm; $G\Omega$) โดยเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 0.001\Omega &= 1 \times 10^{-3} \Omega = 1 \text{ m}\Omega \\
 0.01\Omega &= 1 \times 10^{-2} \Omega = 10 \text{ m}\Omega \\
 0.1\Omega &= 1 \times 10^{-1} \Omega = 100 \text{ m}\Omega \\
 1,000\Omega &= 1 \times 10^3 \Omega = 1 \text{ k}\Omega \\
 10,000\Omega &= 1 \times 10^4 \Omega = 10 \text{ k}\Omega \\
 100,000\Omega &= 1 \times 10^5 \Omega = 100 \text{ k}\Omega \\
 1,000,000\Omega &= 1 \times 10^6 \Omega = 1,000 \text{ k}\Omega = 1 \text{ M}\Omega \\
 10,000,000\Omega &= 1 \times 10^7 \Omega = 10 \text{ M}\Omega \\
 100,000,000\Omega &= 1 \times 10^8 \Omega = 100 \text{ M}\Omega \\
 100,000,000\Omega &= 1 \times 10^9 \Omega = 10 \text{ G}\Omega
 \end{aligned}$$

2.1 การอ่านค่าความต้านทาน

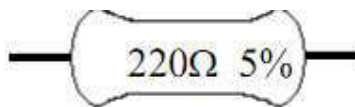
ตัวต้านทานทุกตัวต้องมีค่าความต้านทานกำกับไว้ ใช้บอกถึงค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวนั้น การอ่านค่าความต้านทานมีวิธีการอ่านแบ่งได้ 2 วิธี คือ

1. อ่านค่าความต้านทานพร้อมเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ได้จากตัวเลขตัวอักษรที่กำกับค่าไว้บนตัวต้านทานเลย ซึ่งอาจพิมพ์เป็นค่าความต้านทานอ่านได้โดยตรง หรือพิมพ์เป็นรหัสที่ต้องมีการแปลงรหัสออกมาอีกครั้ง
2. อ่านค่าความต้านทานพร้อมค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เป็นแถบสีที่กำกับไว้บนตัวต้านทาน แถบสีที่กำกับไว้อาจเป็นชนิด 4 แถบสี หรือชนิด 5 แถบสี

2.2 การอ่านค่าความต้านทานบอกเป็นตัวเลขตัวอักษร

ค่าความต้านทานบอกตัวเลขเป็นตัวเลขตัวอักษรสามารถอ่านได้ 2 วิธี คือ

1. อ่านค่าได้โดยตรง จะพิมพ์ค่าความต้านทานลงบนตัวต้านทานโดยตรง ได้แก่ ตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistor) เช่น



อ่านค่าได้ 220 โอห์ม ค่าความผิดพลาด $\pm 5\%$

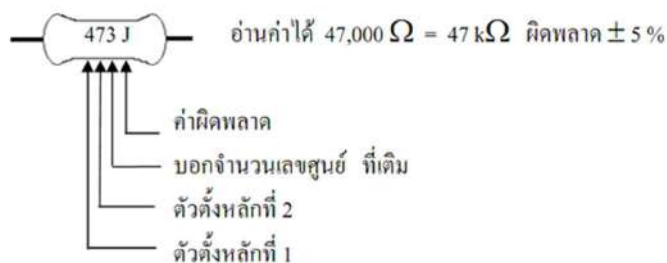


อ่านค่าได้ 100 กิโลโอห์ม ค่าความผิดพลาด $\pm 10\%$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่กำกับหลังค่าความต้านทาน เป็นค่าความผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ใช้อักษรดังนี้

อักษร J ค่าผิดพลาด	$\pm 5\%$
อักษร K ค่าผิดพลาด	$\pm 10\%$
อักษร L ค่าผิดพลาด	$\pm 15\%$
อักษร M ค่าผิดพลาด	$\pm 20\%$

2. อ่านเป็นรหัส จะพิมพ์ค่าความต้านทานลงบนตัวต้านทานเป็นรหัส ประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษรรวมกัน ตัวเลขมี 3 ตัว บอกถึงค่าความต้านทาน ตัวอักษรมี 1 ตัว บอกถึงค่าผิดพลาดของความต้านทาน เช่น



อ่านค่าได้ $47,000 \Omega = 47 \text{ k}\Omega$ ผิดพลาด $\pm 5\%$

หมายเหตุ ตัวอักษรบอกค่าความผิดพลาดใช้ตัวอักษรดังนี้

อักษร F ค่าผิดพลาด	$\pm 1\%$
อักษร G ค่าผิดพลาด	$\pm 2\%$

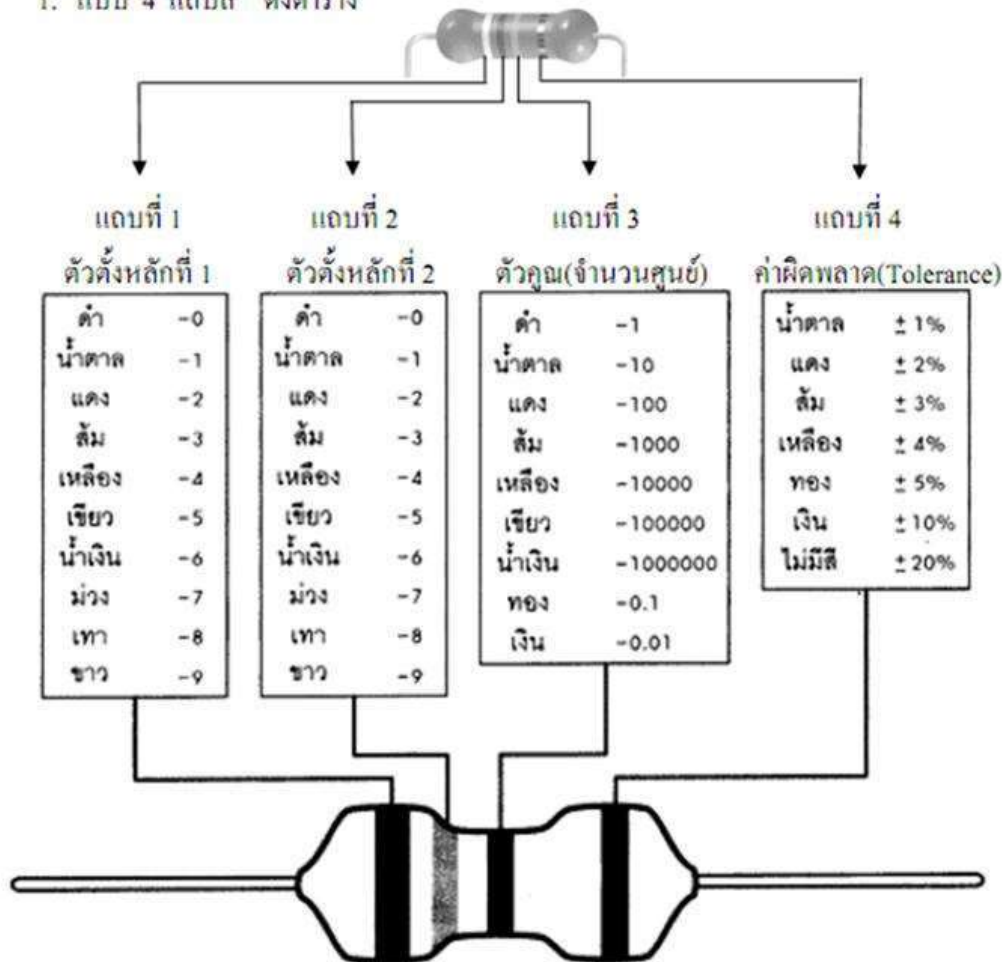
อักษร J ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$

อักษร K ค่าผิดพลาด $\pm 10\%$

3. การอ่านค่าความต้านทาน บอกเป็นแถบสี

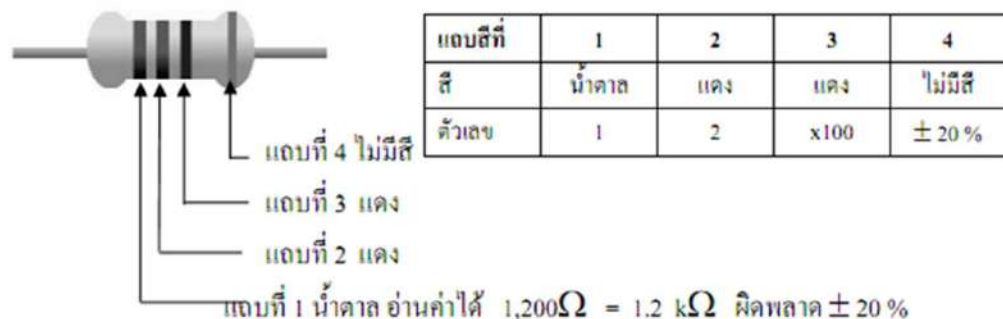
การอ่านค่าแถบสีสามารถอ่านได้ตามแถบสีที่กำกับไว้ พร้อมแถบสีตัวคูณและแถบสีเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด แถบสีที่กำกับไว้มี 2 แบบ คือ

1. แบบ 4 แถบสี ดังตาราง



ภาพที่ 9 รหัสสีของตัวต้านทาน แบบ 4 สี

ตัวอย่าง



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการอ่านค่าตัวต้านทานแบบ 4 แถบสี

2. แบบ 5 แถบสี การอ่านแถบสีให้อ่านแถบสีที่อยู่ใกล้ขาค้วด้านทานมากที่สุดเป็นแถบสีที่ 1 เรียงลำดับเป็นแถบสีที่ 2 และแถบสีที่ 3 ทั้ง 3 แถบสีนี้เป็นตัวเลขที่อ่านได้โดยตรง ส่วนแถบที่ 4 เป็นตัวคูณหรือจำนวนศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไป และแถบสีที่ 5 เป็นค่าผิดพลาด แสดงดังตาราง



สี	แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4	แถบสีที่ 5	
	ตัวตั้งหลักที่ 1	ตัวตั้งหลักที่ 2	ตัวตั้งหลักที่ 3		ตัวคูณ(จำนวนศูนย์)	ค่าผิดพลาด
ดำ	0	0	0	1	-	-
น้ำตาล	1	1	1	10	±1%	F
แดง	2	2	2	100	±2%	G
ส้ม	3	3	3	1,000	-	-
เหลือง	4	4	4	10,000	-	-
เขียว	5	5	5	100,000	±0.5%	D
น้ำเงิน	6	6	6	1,000,000	±0.25%	C
ม่วง	7	7	7	-	±0.1%	B
เทา	8	8	8	-	±0.05%	-
ขาว	9	9	9	-	-	-
ทอง	-	-	-	0.1	±5%	J
เงิน	-	-	-	0.01	±10%	K

ภาพที่ 11 รหัสสีของตัวต้านทานแบบ 5 แถบสี

วิธีการทดลอง

1. อ่านฉลาก หรือข้อมูลของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าก่อนทำการวัดจริงว่ามีค่าเท่าใด แล้วบันทึกลงในตารางที่ 1 ในช่องค่ามาตรฐาน
2. ใช้มัลติมิเตอร์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยปรับย่านการวัดให้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานก่อน แล้วจึงทำการวัด จากนั้นให้นำค่าที่วัดได้บันทึกลงในตารางที่ 1 โดยให้บันทึกทั้งย่านการวัด ค่าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการวัด เทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดให้
3. อ่านค่าความต้านทานจากตัวต้านทานที่กำหนดให้ แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2

บันทึกผลการทดลอง

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

มัลติมิเตอร์แบบเข็ม

ปริมาณที่วัด	ค่ามาตรฐาน	ย่านการวัด	ค่าที่อ่านได้	%ความผิดพลาด
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสตรง (D.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสตรง (D.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสสลับ (A.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสสลับ (A.C.)				

มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล

ปริมาณที่วัด	ค่ามาตรฐาน	ย่านการวัด	ค่าที่อ่านได้	%ความผิดพลาด
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสตรง (D.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสตรง (D.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสสลับ (A.C.)				
ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสสลับ (A.C.)				

ค่าความต้านทาน

ลำดับ ที่	รหัสสี				ค่าในรูปเลข วิทยาศาสตร์ ($AB \times 10^C$) $\pm D\%$	ค่าของตัว ต้านทาน (AB k Ω)	ค่าที่ได้จากการวัด	
	แถบที่ 1 (A)	แถบที่ 2 (B)	แถบที่ 3 (C)	แถบที่ 4 (D)			มัลติมิเตอร์ แบบเข็ม	มัลติมิเตอร์ แบบดิจิตอล
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

1. บันทึกค่าความต้านทานที่กำหนดให้ด้วยรหัสสีในตารางที่ 4

ลำดับ	สีที่ 1	สีที่ 2	สีที่ 3	สีที่ 4	ค่าที่อ่านได้	ค่าที่ถูกต้อง	ผิดพลาด
0	แดง	ม่วง	เหลือง	ทอง	27 x 10,000	270 k Ω	$\pm 5\%$
00	เขียว	น้ำเงิน	ทอง	-	56 x 0.1	5.6 Ω	$\pm 20\%$
1	น้ำตาล	แดง	แดง	เงิน			
2	แดง	ม่วง	ส้ม	ทอง			
3	น้ำเงิน	เทา	เหลือง	ทอง			
4	ส้ม	ส้ม	น้ำตาล	ทอง			
5	เหลือง	ม่วง	ทอง	เงิน			
6	เขียว	น้ำเงิน	แดง	-			
7	เทา	แดง	น้ำตาล	-			
8	ส้ม	ขาว	ดำ	เงิน			
9	น้ำตาล	เขียว	เหลือง	ทอง			
10	แดง	แดง	ทอง	เงิน			
11	น้ำตาล	เทา	ส้ม	ทอง			
12	เขียว	ดำ	แดง	-			
13	เหลือง	ม่วง	เขียว	ทอง			
14	ส้ม	ดำ	น้ำตาล	เงิน			
15	แดง	แดง	น้ำเงิน	-			

ตารางที่ 4 ค่าความต้านทานตามรหัสสี แบบ 4 แถบสี

2. การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือการวัดค่ากระแสไฟฟ้านั้น การใช้สายวัดสลับขั้วกันมีผลต่อค่าที่อ่านได้บนมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Scale) หรือมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Scale) หรือไม่? อย่างไร?

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 2

เรื่อง กฎของโอห์ม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ต่อดาวจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล
2. ต่อดาวจรวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงและอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล
3. เข้าใจความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ตามกฎของโอห์ม

ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอน

.....

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)
2. แผงต่อดาวจร
3. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล
4. ตัวต้านทานขนาด 100, 500 ,1k และ 10kโอห์ม
5. สายไฟฟ้าสำหรับต่อดาวจร

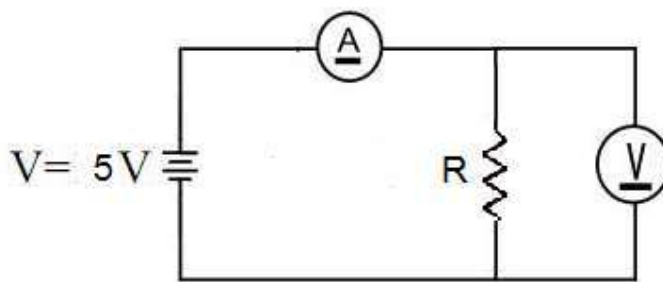
1 ตัว

1 แผง

1 เครื่อง

อย่างละ 1 ตัว

วิธีการทดลอง



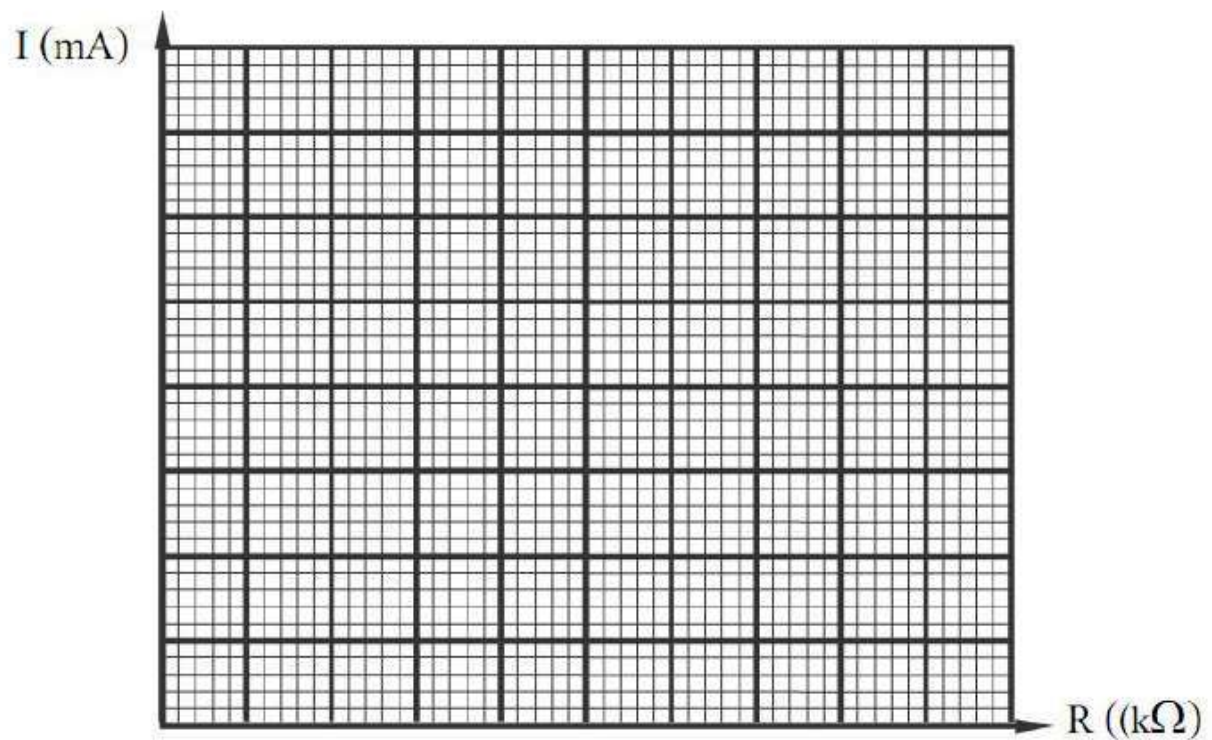
รูปที่ 1 วงจรการทดลองที่ 1

1. ต่อดาวจรตามการทดลองในรูปที่ 1
2. ต่อสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับค่าที่กำหนดในรูปวงจรการทดลองที่ 1 โดยใช้ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม แล้วอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากแอมมิเตอร์ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่กำหนดให้
3. เปลี่ยนตัวต้านทานของวงจรเป็น 500, 1 k และ 10 k โอห์ม แล้วอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากแอมมิเตอร์ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่กำหนดให้
4. นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต้านทาน

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าความต้านทาน และกระแสไฟฟ้าต่างๆ

ค่าความต้านทาน (Ohms)	100	500	1k	10k
กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัด (mA)				
กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ (mA)				



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

1. เราสามารถสลับตำแหน่งของแอมมิเตอร์ และโวลท์มิเตอร์ตามรูปใน 1 ได้หรือไม่? เพราะอะไร?

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวต้านทานมีค่าเท่าเดิม จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงอะไรบนแอมมิเตอร์หรือโวลท์มิเตอร์ได้บ้าง

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 3

เรื่อง การต่อตัวต้านทานอนุกรมและขนาน

ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาการต่อวงจรความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวงจรความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน
3. เพื่อหาค่าทางไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์จากวงจรความต้านทานแบบอนุกรมและขนาน

เครื่องมือและอุปกรณ์

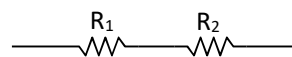
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)	1 ตัว
2. แผงต่อวงจรไฟฟ้า	1 แผง
3. มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล	1 เครื่อง
4. ตัวต้านทานค่าใด ๆ ที่ค่าความต้านทานต่างกันจำนวนสามตัว	อย่างละ 1 ตัว
5. สายไฟฟ้าสำหรับต่อวงจร	20 เส้น

เนื้อหาสาระ

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

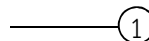
จากกฎของ โอห์ม จะได้ว่า

$$IR = I_1R_1 + I_2R_2$$



แต่ $I = I_1 = I_2$

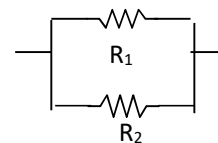
$$\therefore R = R_1 + R_2$$



2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

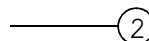
จากกฎของ โอห์ม จะได้ว่า

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}$$

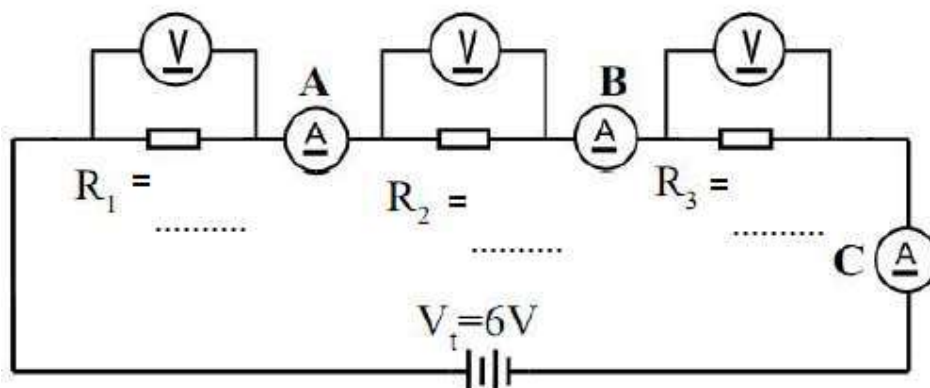


แต่ $V = V_1 = V_2$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

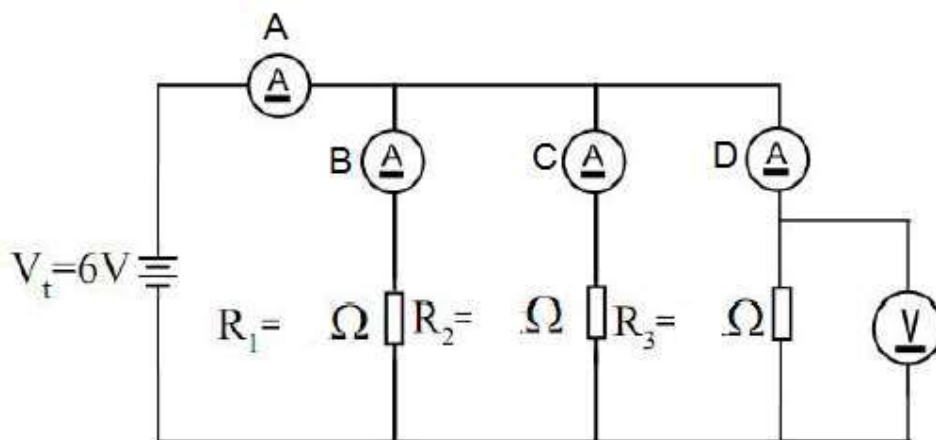


วิธีการทดลอง



รูปที่ 1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 1 โดยเลือกตัวต้านทาน 3 ตัว และมีค่าไม่ซ้ำกัน
2. ใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของตัวต้านทานทีละตัว แล้วบันทึกลงในตารางที่ 1
3. ใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลวัดกระแสไฟฟ้าตัวต้านทานทีละตัวตามจุด A, B และ C ที่กำหนดในรูป แล้วบันทึกลงในตารางที่ 1
4. ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงออกแล้ววัดความต้านทานรวมของวงจร แล้วบันทึกลงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

5. ต่อวงจรตามรูปที่ 2 โดยเลือกตัวต้านทาน 3 ตัว และมีค่าไม่ซ้ำกัน
6. ใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของตัวต้านทานทีละตัว แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2
7. ใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลวัดกระแสไฟฟ้าตัวต้านทานทีละตัวตามจุด A, B, C และ D ที่กำหนดในรูป แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2
8. ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ออกแล้ววัดความต้านทานแต่ละตัว และความต้านทานรวมของวงจร แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองจากวงจรในรูปที่ 1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

ตัวต้านทาน (Ohms)	R1=	R2=	R3=
แรงดันไฟฟ้า (V)			
กระแสไฟฟ้า (I)			
ความต้านทานรวม (Ohms)			

ตารางที่ 2 ผลการทดลองจากวงจรในรูปที่ 2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

ตัวต้านทาน (Ohms)	R1=	R2=	R3=
แรงดันไฟฟ้า (V)			
กระแสไฟฟ้า (I)			
กระแสไฟฟ้ารวม (ที่จุด A)			
ความต้านทานรวม (Ohms)			

แบบฝึกหัด

1. จงคำนวณหาความต้านทานรวมและกระแสไฟฟ้ารวมของวงจรที่ 1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ตามค่าตัวต้านทานที่เราเลือกมาทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงคำนวณหาความต้านทานรวมและกระแสไฟฟ้ารวมของวงจรที่ 2 การการต่อตัวต้านทานแบบขนาน ตามค่าตัวต้านทานที่เราเลือกมาทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ใบงานที่ 4

เรื่อง วงจรตัวต้านทานแบบผสม

ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอน

.....

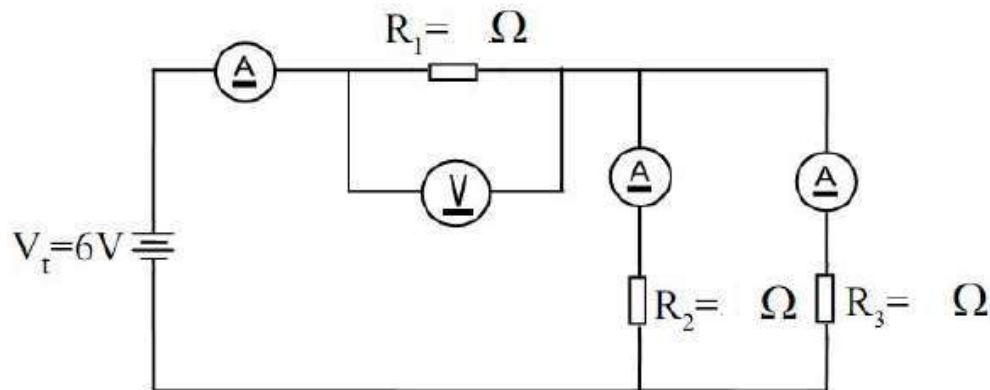
จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาการต่อวงจรความต้านทานแบบผสม
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวงจรความต้านทานแบบผสม
3. เพื่อหาค่าทางไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์จากวงจรความต้านทานแบบผสม

เครื่องมือและอุปกรณ์

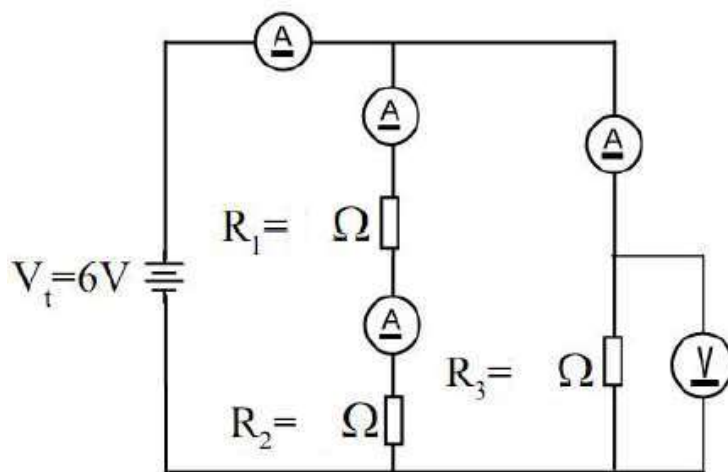
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)	1 ตัว
2. แผงต่อวงจรไฟฟ้า	1 แผง
3. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล	1 เครื่อง
4. ตัวต้านทานค่าใด ๆ ที่ค่าความต้านทานต่างกันจำนวนสามตัว	อย่างละ 1 ตัว
5. สายไฟฟ้าสำหรับต่อวงจร	

วิธีการทดลอง



รูปที่ 1 วงจรตัวต้านทานไฟฟ้าแบบผสม แบบที่ 1

9. ต่อวงจรตามรูปที่ 1
10. ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1
11. ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ดังรูปที่ 1
12. ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้า แล้ววัดค่าความต้านทานแต่ละตัว และวัดความต้านทานรวมของวงจรแล้วบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 วงจรตัวต้านทานไฟฟ้าแบบผสม แบบที่ 2

13.ต่อวงจรตามรูปที่ 2

14.ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2

15.ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ดังรูปที่ 2

16.ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้า แล้ววัดค่าความต้านทานแต่ละตัว และวัดความต้านทานรวมของวงจรแล้วบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 2

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองจากวงจรในรูปที่ 1 วงจรตัวต้านทานไฟฟ้าแบบผสม แบบที่ 1

	ค่าที่ได้จากการวัด		
ค่าความต้านทาน	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$
แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม			
กระแสไฟฟ้า			
ความต้านทาน			
ความต้านทานรวม			

ตารางที่ 2 ผลการทดลองจากวงจรในรูปที่ 2 วงจรตัวต้านทานไฟฟ้าแบบผสม แบบที่ 2

	ค่าที่ได้จากการวัด		
ค่าความต้านทาน	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$
แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม			
กระแสไฟฟ้า			
ความต้านทาน			
ความต้านทานรวม			

แบบฝึกหัด

1. จงคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของวงจรตัวต้านทานแบบผสมแบบที่ 1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของวงจรตัวต้านทานแบบผสมแบบที่ 2

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 5

เรื่อง วงจรสมมูลแบบวิทสโตนบริดจ์

ลายเซ็นอาจารย์ผู้สอน

.....

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาการหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าในวงจรวิทสโตนบริดจ์
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวงจรสมมูลแบบวิทสโตนบริดจ์
3. เพื่อหาค่าทางไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์ในวงจรสมมูลแบบวิทสโตนบริดจ์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)	1 ตัว
2. ชุดทดลองวงจรสมมูลแบบวิทสโตนบริดจ์	1 แผง
3. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล	1 เครื่อง
4. ตัวต้านทานไม่ทราบค่า	5 ค่าอย่างละ 1 ตัว
5. ตัวต้านทาน 100 โอห์ม	1 ตัว
6. สายไฟฟ้าสำหรับต่อวงจร	

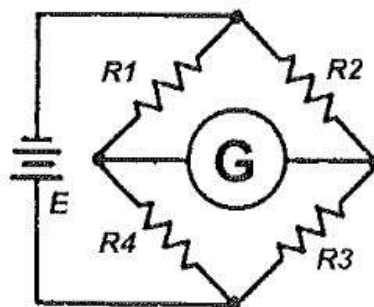
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าโดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่าความต้านทานที่ต้องการทราบค่ากับความต้านทานมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว วงจรบริดจ์จะมีอยู่ 2 สภาวะ คือบริดจ์สภาวะสมดุล และบริดจ์สภาวะไม่สมดุล ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในเครื่องมือหรือทรานดิวส์เซอร์

วงจรภายในของเครื่องวัดชนิดนี้ ประกอบด้วย

1. ตัวต้านทานที่ต่อขนานกัน 2 สาขา แต่ละสาขาประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน
2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง (E) ต่อขนานกับตัวต้านทานของวงจรทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจร
3. กัลวานอมิเตอร์ (G) ซึ่งต่อกับขั้วสายที่ขนานกัน ทำหน้าที่ตรวจจับ (detect) กระแสไฟฟ้าเพื่อบ่งบอกสภาพของวงจร ในกรณีที่วงจรบริดจ์สมดุลเข็มจะชี้ที่ศูนย์ แต่ถ้าไม่สมดุลเข็มจะเบี่ยงเบน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานที่ทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลได้จากสมการ

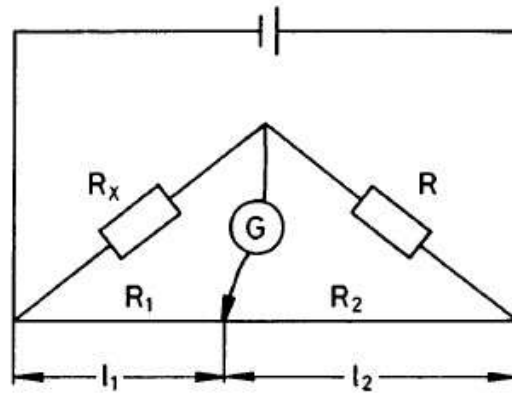
$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad \text{or} \quad R_1/R_4 = R_2/R_3$$



รูปที่ 5.1 วงจรวิทสโตนบริดจ์

วิธีการทดลอง

- นำชุดทดลองวงจรสมมูลแบบวิทสโตนบรีดจ์มาต่อวงจรตามรูปที่ 5.2 โดยกำหนดให้ R มีค่าตามในตารางที่ 1 และ R₁, R₂ เป็นแถบที่สไลด์ได้ และตัวต้านทาน R_x มี 5 ตัว โดยต่อทีละตัว โดยเริ่มต่อจาก R_{x1} ก่อน



รูปที่ 5.2 วงจรวิทสโตนบรีดจ์ในการทดลอง

- ปรับค่าบนเครื่องมือมัลติมิเตอร์ (G) ไปที่ช่วงการวัดความต่างศักย์ประมาณ 20 VDC
- ปรับเลื่อนตัวเลื่อนบนราง sliding wire measuring bridge แล้วสังเกตค่าความกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ จนกระทั่งสามารถอ่านค่ากระแสได้เท่ากับ 0 V
- คำนวณหาค่า R_x จากสูตร

$$R_x = R \cdot \frac{R_1}{R_2} = R \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

- บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 1 แล้ว ทดลองซ้ำจนครบ R_x ทุกตัว

ตัวต้านทาน R _x	R (Ω)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	R _x จากการทดลอง และคำนวณ (Ω)	R _x จากการวัด โดยตรง (Ω)	%ความคลาด เคลื่อน
R _{x1}	100					
R _{x2}	100					
R _{x3}	680					
R _{x4}	680					
R _{x5}	680					

สรุปผลการทดลอง

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school handwriting practice paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ใบงานที่ 6

เรื่อง การเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุ

ลายเซ็นผู้อำนวยการผู้สอน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อหาค่าคงที่ของเวลา (Time constant) ของวงจร RC

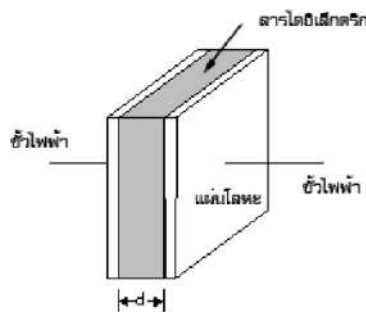
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Power Supply)
2. แผงต่อวงจรไฟฟ้า
3. มัลติมิเตอร์แบบเข็ม
4. ตัวเก็บประจุขนาด 47 และ 470 μF
5. ความต้านทาน 10k Ω และ 47k Ω
6. นาฬิกาจับเวลา
7. สวิตช์ปิดเปิดวงจร (on-off switch)
8. สวิตช์เลือก 2 ทาง (Change over switch)

- 1 ตัว
- 1 แผง
- 1 เครื่อง
- อย่างละ 1 ตัว
- 1 ตัว
- 1 เรือน
- 1 ตัว
- 1 ตัว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บประจุ (Charge) และสามารถคายประจุ (Discharge) ได้โดยนำสารตัวนำ 2 ชิ้นมาวางในลักษณะขนานใกล้ ๆ กัน แต่ไม่ได้ต่อกัน ระหว่างตัวนำทั้งสองจะถูกกั้นด้วยฉนวนที่เรียกว่าไดอิเล็กตริก (Dielectric) ซึ่งไดอิเล็กตริกนี้อาจจะเป็นอากาศ, ไม้ก้ำ, พลาสติก, เซรามิกหรือสารที่มีสภาพคล้ายฉนวนอื่น ๆ เป็นต้น ค่าความจุทางไฟฟ้ามีหน่วยเป็นฟารัด (Farad)



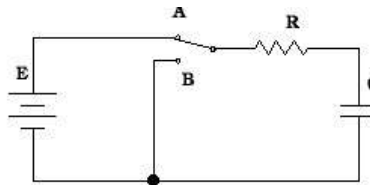
รูปที่ 1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ค่าประจุไฟฟ้า (C) ของตัวเก็บประจุชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นโลหะตัวนำ (A) และความหนา (d) ของสารไดอิเล็กตริก คือ

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

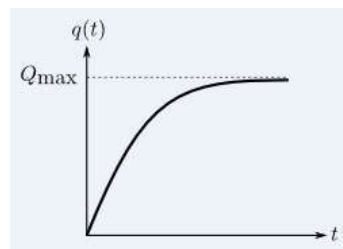
- C = ค่าการเก็บประจุมีหน่วยเป็นฟารัด (F)
 ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
 A = พื้นที่หน้าตัดของสารตัวนำที่เป็นแผ่นเพลท
 d = ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง

1. ขณะเก็บประจุ



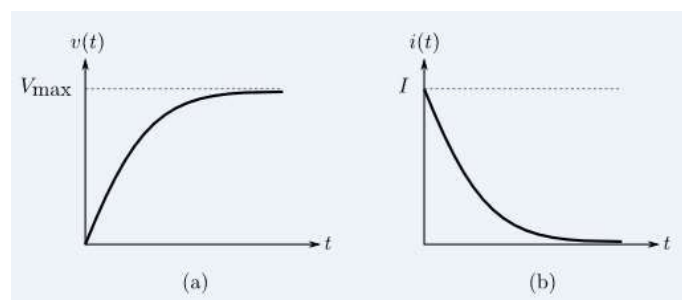
รูปที่ 2 วงจร R-C กระแสตรง

เมื่อนำตัวต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C มาต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2 โดยเมื่อเริ่มต้นตัวเก็บประจุ C ไม่มีประจุสะสมอยู่เลย ($q=0$) การกดสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง A จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหล และเกิดการเก็บประจุ (charge) เข้าที่ตัวเก็บประจุ C โดยประจุที่สะสมที่ตัว C จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ตามสมการ $q(t) = Q_{\max}(1 - e^{-t/RC})$



รูปที่ 3 ค่าประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุที่เวลา t ใดๆ ขณะทำการเก็บประจุ

ความต่างศักย์ (v) ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในลักษณะเดียวกันกับ $q(t)$ ดังแสดงในรูปที่ 4(a) โดยความต่างศักย์ตกคร่อมตัว C ที่เวลา t ใดๆ สามารถเขียนได้เป็น $v(t) = V_{\max}(1 - e^{-t/RC})$ ในขณะที่กระแสไฟฟ้า (i) ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุนั้นจะลดลงเรื่อยๆ จากเมื่อเริ่มต้นมีค่าสูงสุดเท่ากับ $I = E/R$ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป คือ $i(t) = Ie^{-t/RC}$ (โดยที่ e มีค่าเท่ากับ 2.718) และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (i) และเวลา t ดังรูปที่ 4(b)

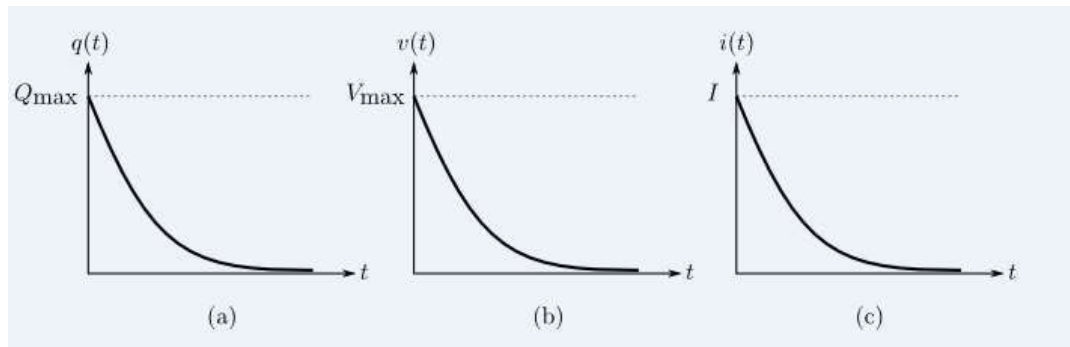


รูปที่ 4 ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุขณะทำการเก็บประจุ

สาเหตุที่กระแสไฟฟ้าลดลงก็คือ ประจุไฟฟ้าที่เข้าไฟฟ้าสะสมบนตัวเก็บประจุสร้างสนามไฟฟ้าขึ้นมา และจะออกแรงผลักประจุไฟฟ้าที่จะถูกส่งเข้าไปเพิ่ม ความเข้มของสนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณ ประจุไฟฟ้าที่ถูกอัดเข้าไป จนในที่สุดสนามไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายก็ไม่สามารถผลักประจุให้เข้าไปเก็บที่ตัวเก็บ ประจุได้อีก เนื่องจากแรงผลักประจุไฟฟ้าโดยสนามของแหล่งจ่ายมีขนาดเท่ากันกับแรงผลักประจุไฟฟ้าโดย สนามของกลุ่มประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ก่อนแล้ว ด้วยเหตุนี้ เมื่อจำนวนประจุไฟฟ้า Q ที่ถูกอัดเข้าไปลดจำนวนลง อัตราการไหลเข้าของประจุไฟฟ้าซึ่งก็คือกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าลดลง ดังความสัมพันธ์ $I = \Delta Q / \Delta t$ แต่ถ้าหากเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟก็จะสามารถอัดประจุได้เพิ่มขึ้น

2. ขณะคายประจุ

เมื่ออัดประจุเต็มแล้ว จากนั้นปล่อยสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B จะทำให้ประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ไหลผ่านตัวต้านทาน R ประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุจะลดลงตามสมการ $q(t) = Q_{\max} e^{-t/RC}$ โดยแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5(a)



รูปที่ 5 ค่าประจุไฟฟ้า, ความต่างศักย์, และกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่เวลา t ใดๆ ขณะคายประจุ

สำหรับความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุและกระแสไฟฟ้าที่ไหลก็จะลดลงในทำนองเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5(b) และ 4(c) โดยความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองกับเวลา t คือ $v(t) = V_{\max} e^{-t/RC}$ และ $i(t) = I e^{-t/RC}$

3. ค่าคงตัวของวงจร R-C

ในวงจร R-C ค่าคงตัวของเวลา (τ) ของวงจร หาได้จาก

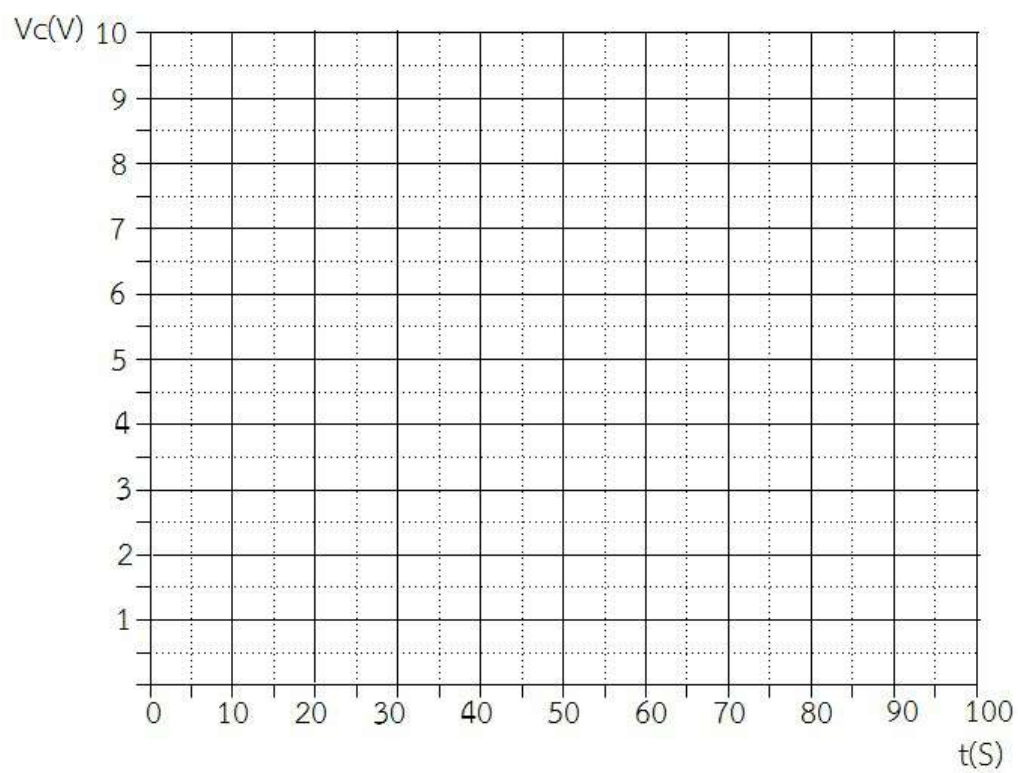
$$\tau = RC$$

โดยมีหน่วยเป็นวินาที ค่า τ แสดงให้เห็นว่า การอัดประจุจนเต็มหรือคายประจุจนหมดของตัวเก็บประจุในวงจรเกิดขึ้นช้าหรือเร็วเพียงใด ตัวอย่างเช่น เมื่อตัวเก็บประจุขนาด $1000 \mu\text{F}$ คายประจุผ่านตัวต้านทานขนาด $200 \text{ k}\Omega$ โดยค่าคงตัวของเวลาสำหรับวงจรคือ $\tau = (1000 \times 10^{-6})(200 \times 10^3) = 200$ วินาที เมื่อจับ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการคลายประจุ

T(Sec)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ค่าที่ได้จากการทดลอง (V)										
ค่าที่ได้จากการคำนวณ (V)										

กราฟแสดงการเก็บและคลายประจุ (มีทั้งหมด 4 เส้น รวมค่าที่ได้จากการคำนวณด้วย)



สรุปและประเมินผลการทดลอง

1. จงอธิบายกราฟ และผลที่ได้จากการสังเกต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. คำนวณหาค่าเวลาคงที่ RC ในวงจรที่ใช้ทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปฏิบัติการที่ 1

เทคนิคพื้นฐานสำหรับปฏิบัติการเคมี

(Basic Techniques for Chemistry Laboratory)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเรียนรู้อุปกรณ์เครื่องแก้ว สารเคมี เทคนิคและเครื่องมือพื้นฐาน
2. เพื่อให้รู้จักวิธีประหยัดและความปลอดภัยในปฏิบัติการเคมี

บทนำ

ในห้องปฏิบัติการทางเคมี มีสารเคมี อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเครื่องมือที่ใช้ทดลองอยู่หลายประเภท นักศึกษาควรรู้จักชื่อและวิธีใช้งานอย่างถูกหลักวิธี เพื่อใช้ทดลองได้อย่างถูกต้อง แม่นยำได้ผลดีและความปลอดภัย สารเคมีทุกชนิดเป็นพิษอันตราย มีหลายสถานะทั้งของแข็ง ของเหลว แก๊สและสารละลาย เก็บไว้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก มีฉลากระบุชื่อสารและสมบัติไว้ครบถ้วน เก็บรักษาไว้ในที่ที่เหมาะสมและปลอดภัย ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์และรายละเอียดเกี่ยวกับประเภทของสารเคมี ระดับอันตราย และ ข้อควรระวัง ดังนั้น จึงควรตระหนักถึงสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิดให้รอบคอบอยู่เสมอเมื่อเริ่มทำการ ทดลองในแต่ละเรื่อง เพื่อให้บังเกิดผลดีและความปลอดภัยในการใช้ทำปฏิกิริยาเคมี โดยปกติแล้ว ผู้คุมปฏิบัติการจะให้คำแนะนำและควบคุมเรื่องเหล่านี้เป็นพิเศษก่อนทำปฏิบัติการเคมีทุกครั้ง

ในการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับตวงวัดและทำปฏิกิริยาเคมีนั้น นอกจากรู้จักวิธีใช้งานแล้ว ยังต้องรู้จักวิธีทำความสะอาดและเก็บรักษาให้ถูกต้องอีกด้วยเพื่อให้พร้อมใช้งาน วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์เครื่องแก้ว มีหลายประเภท เช่น ไม้ เหล็กสแตนเลส พลาสติก และแก้วซึ่งแตกหักได้ง่ายเป็นอันตรายมากกว่าวัสดุอื่นๆ ดังนั้น จึงควรเรียนรู้วิธีใช้ วิธีล้างทำความสะอาดและวิธีเก็บรักษาตัวอย่างต่อไปนี้ คือลักษณะรูปร่างอุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นสำหรับปฏิบัติการเคมีพื้นฐานทั่วไป เครื่องแก้วบางชนิดใช้สำหรับทดลองปฏิกิริยาเฉพาะตัว จึงควรระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะราคาแพงและมีจำนวนจำกัด ต้องใช้ทดลองเป็นกลุ่มภายใต้ การควบคุมอย่างใกล้ชิด อย่างไรก็ตาม ในการทดลองแต่ละครั้ง นักศึกษาจะได้ทดลองและเรียนรู้อย่างทั่วถึง โดยใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วและสารเคมีที่จัดเตรียมไว้ครบถ้วน เพื่อให้บังเกิดผลดีสูงสุด

อุปกรณ์และเครื่องมือ



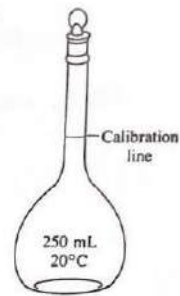
บีกเกอร์
(beaker)



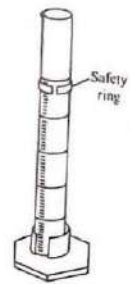
ขวดรูปชมพู่
(Erlenmeyer flask)



ขวดก้นกลม
(round bottom flask)



ขวดปริมาตร
(volumetric flask)



กระบอกตวง
(cylinder)



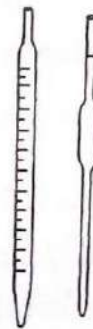
หลอดทดลอง
(test tube)



กรวยกรอง
(funnel)



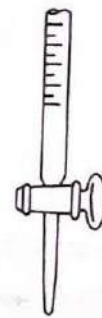
กระจกนาฬิกา
(watch glass)



ปิเปต
(pipette or pipet)



บิวเรต
(burette or buret)



โถดูดความชื้น
(desiccator)



เบ้าหรือถ้วยกระเบื้องเผาสาร
(crucible)



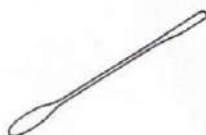
ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยระเหยสาร
(porcelain or evaporation basin)



ขวดน้ำกลั่น
(wash bottle)



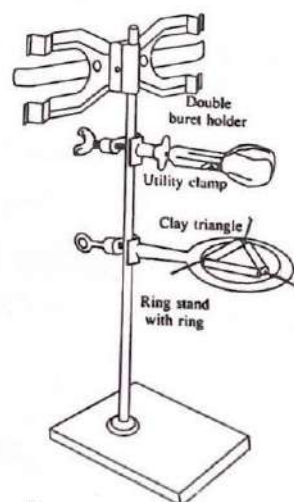
หลอดหยด
(dropper)



พายโลหะ
(spatula)



แท่งแก้วคน
(stirring rod)



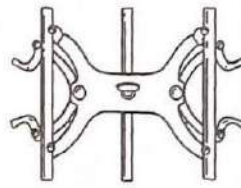
ขาตั้งพร้อมที่จับชนิดต่าง ๆ
(stand and clamps)



ที่จับหลอดทดลอง
(test tube holder)



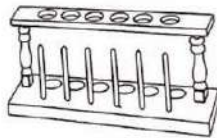
ที่จับถ้วยหรือชาม
(tong)



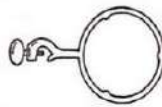
ที่จับบิวเรต
(burette clamp)



ที่จับ
(clamp)



ที่วางหลอดทดลอง
(test tube rack)



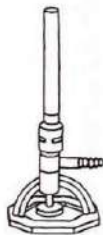
ฐานรองแบบวง
(ring support or O-ring)



ฐานรองแบบสามเหลี่ยม
(clay triangle)



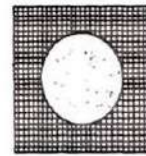
สามขา
(tripod)



ตะเกียงเบนเซน
(Bunsen burner)



เคาให้ความร้อน
(hot plate)



แผ่นกระจายความร้อน
(wire gauze)



แปรงล้าง
(brush)



กรวยบูเชนเนอร์
(Buechner funnel)



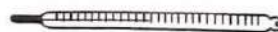
เบ้าหรือถ้วยกระเบื้องกรองสาร
(Gooch crucible)



กรวยแยก
(separatory funnel)



โม่ร่งบดและสาก
(mortar and pestle)



เทอร์โมมิเตอร์
(thermometer)

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์แสดงอันตรายของสารเคมี

สัญลักษณ์ *	ประเภทอันตราย	ประเภทของสารเคมี	ข้อควรระวัง
	ระเบิดได้ (explosive)	สารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาแล้ว ให้ความร้อนและแก๊สอย่างรวดเร็ว และเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะจำกัดจะเกิดการระเบิดหรือเผาไหม้อย่างรุนแรง	หลีกเลี่ยงการกระแทก เกียขัดสี แหล่งกำเนิดประกายไฟ และความร้อน
	ไวไฟสูงมาก (extremely flammable)	ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 0 °C และจุดเดือดไม่เกิน 35 °C แก๊สหรือแก๊สผสมที่ไวไฟในอากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ	เก็บให้ห่างจากเปลวไฟ ประกายไฟ และความร้อน
	ไวไฟมาก (highly flammable)	สารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ ของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 21 °C ซึ่งไม่ใช่สารไวไฟสูงของแข็งที่ลุกไหม้ได้โดยง่าย และสามารถเผาไหม้ต่อไปได้เอง สารที่ทำปฏิกิริยากับความชื้นแล้วให้สารไวไฟ	เก็บให้ห่างจากเปลวไฟ ประกายไฟ และความร้อน
	การออกซิไดซ์ ช่วยให้ไฟลุก (oxidizing)	สารเคมี ซึ่งโดยปกติไม่ลุกไหม้เอง แต่เมื่อสัมผัสกับสารที่ลุกไหม้ได้สามารถทำให้เกิดออกซิเจน แล้วเร่งการลุกไหม้ได้	หลีกเลี่ยง การสัมผัสกับสารเคมีที่ไวไฟ ระวังอันตรายจากการจุดติดไฟ เมื่อเกิดไฟไหม้สารนี้จะเร่งให้ไฟไหม้ มากขึ้นและทำให้ดับไฟยากขึ้น

* ปรากฏบนภาชนะบรรจุสารเคมี ตามข้อกำหนดของ สหภาพยุโรป ที่ 67/548/EEC

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์แสดงอันตรายของสารเคมี (ต่อ)

สัญลักษณ์ *	ประเภทอันตราย	ประเภทของสารเคมี	ข้อควรระวัง
	เป็นพิษมาก (T+) / เป็นพิษ (T) (very toxic / toxic)	การสูดดม กลืนกิน หรือดูดซึมผ่านผิวหนัง แม้เพียงปริมาณเล็กน้อย จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ หรืออาจถึงตายได้ ในกรณีที่ได้รับสารเข้าไปในปริมาณมากหรือสะสมต่อเนื่อง เป็นเวลานานจะปรากฏอาการรุนแรง และอาจก่อให้เกิดอันตรายอย่างถาวร โดยเฉพาะการก่อมะเร็งและการกลายพันธุ์	หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับร่างกาย ทุกรูปแบบ ถ้ารู้สึกไม่สบายให้ปรึกษาแพทย์ทันที
Xn 	เป็นอันตราย (harmful)	การสูดดม กลืนกิน หรือดูดซึมผ่านผิวหนัง อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรัง ถ้าใช้อย่างไม่เหมาะสม การสูดดมอาจก่อให้เกิดอาการแพ้	หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับร่างกาย ทุกรูปแบบ ให้ระมัดระวังเป็นพิเศษกับ สารก่อมะเร็ง สารก่อการกลายพันธุ์ หรือสารที่มีพิษต่อระบบสืบพันธุ์
Xi 	ระคายเคือง (irritant)	แม้จะไม่มีสมบัติกัดกร่อน แต่หากผิวหนัง หรือเยื่อเมือกสัมผัสสารนี้ซ้ำๆ กันหรือเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดอาการบวม เกิดอาการแพ้	หลีกเลี่ยง การสัมผัสกับดวงตา ผิวหนัง และการ สูดดมไอสาร
	กัดกร่อน (corrosive)	ทำลายเนื้อเยื่อที่มีชีวิต และกัดกร่อนอุปกรณ์การทดลอง	ระวัง ป้องกันตา ผิวหนัง เสื้อผ้าเป็น พิเศษ อย่า สูดดมไอของสารกลุ่มนี้ ในกรณีอุบัติเหตุ หรือเมื่อรู้สึกไม่สบาย ให้ปรึกษาแพทย์ทันที
N 	อันตรายต่อสิ่ง แวดล้อม (dangerous for the environment)	การปล่อยสารนี้สู่สิ่งแวดล้อม จะก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อองค์ประกอบของ สิ่งแวดล้อมทันที	อย่าปล่อยสู่ระบบสุขภาพ ดินหรือ สิ่งแวดล้อม ให้ปฏิบัติตามกฎหมาย ของการกำจัดพิเศษเฉพาะแต่ละสาร

* ปรากฏบนภาชนะบรรจุสารเคมี ตามข้อกำหนดของ สหภาพยุโรป ที่ 67/548/EEC

การล้างอุปกรณ์เครื่องแก้ว

เมื่อทดลองเสร็จต้องเก็บล้างอุปกรณ์เครื่องแก้วให้สะอาด และเก็บรักษาไว้ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ ปกติแล้ว จะล้างอุปกรณ์เครื่องแก้วด้วยน้ำสะอาด โดยใช้ น้ำผสมผงซักฟอกช่วยขจัดคราบสิ่งสกปรกออก ให้หมด ใช้ น้ำผสมผงซักฟอกที่เจือจางและแช่อุปกรณ์ที่จะล้างไว้ในน้ำล้างประมาณ 5 นาที ใช้แปรงล้างแก้ว ให้เหมาะสมกับภาชนะที่จะล้างนั้นด้วย ล้างด้วยน้ำสะอาด หรือน้ำประปาหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งแน่ใจ ว่าปราศจากสารตกค้างแล้ว จึงกลั้วด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปผึ่งให้แห้ง โดยเกาะหรือแขวนไว้บนแท่งไม้หรือพลาสติกบนแผงตั้ง หรือวางอุปกรณ์ที่ล้างแล้วบนพื้นผิวที่ปูไว้ด้วยกระดาษซับน้ำ หรืออาจนำเข้าตู้อบแห้ง เช่น ขวดรูปชมพู่ ปีกเกอร์ แต่ไม่ควรนำเครื่องแก้วที่มีขีดปริมาตรแน่นอน เช่น บิวเรต ปิเปต หรือกระบอกตวง เข้าตู้อบ เพราะความร้อนอาจทำให้ปริมาตรแน่นอนนั้นเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าใช้น้ำและผงซักฟอกล้างแล้ว อุปกรณ์เครื่องแก้วนั้นยังไม่สะอาดเท่าที่ควร ต้องใช้น้ำยาเคมีช่วยล้างอีกครั้งเพื่อขจัดคราบสกปรกออกให้หมด ปกติแล้วน้ำยาเคมีที่ใช้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง และเป็นอันตรายต่อผู้ใช้จึงควรเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษ

เลขนัยสำคัญ (Significant figure)

เลขนัยสำคัญ หมายถึงจำนวนตัวเลขของผลการทดลองที่แสดงถึงระดับความน่าเชื่อถือของการทดลองที่ได้จากการอ่านค่า หรือคำนวณผลสุดท้าย เช่น อ่านปริมาตรจากกระบอกตวงได้ 13.2 mL มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3 หรือ ถ้าอ่านปริมาตรจากบิวเรต 13.20 mL มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 เป็นต้น

หลักการกำหนดเลขนัยสำคัญที่ให้ความหมายเชิงปริมาณ มีดังนี้

1. ตัวเลขใดๆ ที่ไม่ใช่เลขศูนย์ จะมีนัยสำคัญ เช่น

1234.56 กรัม มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 6

1.2 mL มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2

2. เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างเลขอื่นที่ไม่ใช่ศูนย์ จะมีนัยสำคัญ เช่น

1002.5 กิโลกรัม มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5

3.07 mL มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3

3. เลขศูนย์ที่อยู่ด้านซ้ายของเลขอื่น จะไม่มีนัยสำคัญ เช่น

0.00456 กรัม มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3

0.0056 กรัม มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2

0.001 °C มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 1

4. ถ้าจำนวนใดๆ มีค่ามากกว่า เลขศูนย์ที่อยู่ด้านซ้ายและขวาของทศนิยมจะมีนัยสำคัญ

เช่น 457.12 มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5

400.00 มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5

5. ถ้าจำนวนใดๆ มีค่าน้อยกว่า 1 เลขศูนย์ที่อยู่ท้ายสุดของจำนวนนั้นและเลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างเลขอื่น จะมีนัยสำคัญ เช่น

0.20 กรัม มีนัยสำคัญเท่ากับ 2

0.01020 มิลลิเมตร มีนัยสำคัญเท่ากับ 4

5.060×10^4 แคลอรี มีนัยสำคัญเท่ากับ 4

5.0600×10^4 แคลอรี มีนัยสำคัญเท่ากับ 5

6. จำนวนตัวเลขที่มาจากทฤษฎีหรือนิยามถือว่าเป็นค่าคงที่จะไม่นำมาคิดเป็นนัยสำคัญ เช่น จำนวนโมลต่อลิตร (M) ในการคำนวณ 11 หรือ 1000 mL จะไม่นำมาคิดเป็นนัยสำคัญ

การบวก ลบ คูณ หาร เลขนัยสำคัญ

1. การบวกและการลบ จำนวนเลขนัยสำคัญที่อยู่ด้านขวาจุดทศนิยมของผลลัพธ์สุดท้าย ที่ได้จากการบวก หรือการลบก็ตาม ให้ใช้จำนวนเลขต่ำสุดที่อยู่ด้านขวาจุดทศนิยมของจำนวนเดิม เช่น $6,2456 + 6.2 - 12.4456$ ผลลัพธ์ คือ 12.4 มีนัยสำคัญเท่ากับ 3

2. การคูณและการหาร จำนวนเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการคูณ หรือการหาร หาได้จากจำนวนเดิมที่มีเลขนัยสำคัญต่ำสุด เช่น

$2.51 \times 2.30 = 5.773$ ผลลัพธ์ คือ 5.77 มีนัยสำคัญเท่ากับ 3

$2.4 \times 0.000673 = 0.0016152$ ผลลัพธ์ คือ 0.0016 มีนัยสำคัญเท่ากับ 2

$(5.00 / 1.235) + 3.000 + (6.35 / 4.0) = 4.04858... + 3.000 + 1.5875 = 8.630829... = 8.6$

เทอมที่ 1 ให้เลขนัยสำคัญเท่ากับ 3

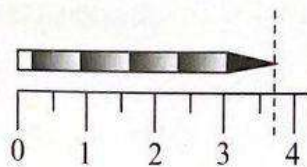
เทอมที่ 2 ให้เลขนัยสำคัญเท่ากับ 4

เทอมที่ 3 ให้เลขนัยสำคัญเท่ากับ 2

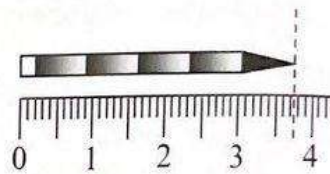
เมื่อรวมจำนวนทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันแล้วพิจารณาหาเลขนัยสำคัญ หลังจากประมาณผลลัพธ์สุดท้ายแล้วเป็นเลขหลักเดียวหลังจุดทศนิยม ดังนั้น ผลลัพธ์คือ 8.6 โดยจำกัดค่าความถูกต้องตามเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ที่ได้จากการหารเทอมที่ 3 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดเท่ากับ 2

การอ่านสเกลและบันทึกผลการทดลอง

ในการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์เลขนัยสำคัญ หรือทศนิยมเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพราะตัวเลขเหล่านี้สามารถบ่งถึงความละเอียดของอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้น ในการบันทึกผลของการวัด หรืออ่านปริมาตร นักศึกษาต้องระบุถึงความละเอียดของอุปกรณ์ หรือเครื่องมืออย่างถูกต้องตัวอย่าง เช่น การวัดขนาดดินสอด้วยไม้บรรทัดที่มีสเกลต่างกัน 2 แบบ ดังรูป



(ก)



(ข)

จากสเกลของไม้บรรทัด รูป (ก) นักศึกษาต้องบันทึกผลว่า ดินสอแท่ง ยาว 3.7 เซนติเมตร แต่จากสเกลของไม้บรรทัด รูป (ข) ที่มีความละเอียดมากขึ้น นักศึกษาต้องบันทึกผลว่า ดินสอแท่งนี้ยาว 3.75 เซนติเมตร มิใช่ 3.7 เซนติเมตร

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่า แม้เป็นดินสอแท่งเดียวกัน แต่ถ้าใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ค่าตัวเลขของความยาวดินสอที่ได้ ก็จะแตกต่างกัน ดังนั้น นักศึกษาต้องมีความรอบคอบในการอ่านค่าตัวเลขของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปริมาตรจากกระบอกตวง บิวเรต หรืออ่านอุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์ เป็นต้น

ในการบันทึกผลการทดลองในรายงานปฏิบัติการ นักศึกษาต้องบันทึกด้วยปากกาสีดำ หรือน้ำเงิน (ห้ามใช้ดินสอ) และไม่ควรใช้น้ำยาลบคำผิดแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ถ้านักศึกษาต้องการแก้ไขให้ใช้วิธีขีดฆ่าตัวอักษรที่ผิด ดังนี้

น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง	126.840	กรัม
น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมสารตัวอย่าง	126.840	กรัม
น้ำหนักของสารตัวอย่าง	~~2.035~~ 2.135	กรัม

การทดลองต่อไปนี้เป็น การทดลองเกี่ยวกับการชั่ง ตวง วัด และการคำนวณเลขนัยสำคัญ ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับนักศึกษาที่เริ่มเข้าทำปฏิบัติการเคมี

การทดลองที่ 1 การหาน้ำหนัก (Mass determination)

อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ ขนาด 50 ml จำนวน 3 ใบ
2. ช้อน การ
3. เครื่องชั่ง 3 คาน ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 3 หรือ 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. ตัวอย่างดินทรายบดละเอียด

การทดลอง

1. ชั่งน้ำหนัก ปีกเกอร์เปล่า ขนาด 50 mL ด้วยเครื่องชั่ง 1 ใบ แล้วบันทึกน้ำหนักของปีกเกอร์เปล่า ต่อจากนั้นนำปีกเกอร์ใบเดิมไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วบันทึกน้ำหนักของปีกเกอร์เปล่า

2. ตกสารตัวอย่างประมาณครึ่งช้อนตักสาร ใส่ลงในปีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักแล้วจากข้อที่ 1 นำไป ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 3 คาน แล้วบันทึก น้ำหนักของปีกเกอร์ที่มีสารตัวอย่าง และต่อจากนั้นนำปีกเกอร์ ใบเดิมที่มี สารตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วบันทึกน้ำหนักของปีกเกอร์ที่มีสารตัวอย่าง คำนวณ น้ำหนักของสารที่ชั่งได้ และจงสรุปและวิจารณ์ความแตกต่างของน้ำหนักสารที่ชั่งได้ โดยอ้างอิงเลข เมตร 3.75 นัยสำคัญเป็นหลัก

3. ทำการทดลอง อีก 2 ครั้ง

การทดลองที่ 2 การวัดด้วยภาชนะวัดปริมาตร (Measuring by volumetric glassware)

อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเครื่องมือ

1. กระจกบอกตวง ขนาด 25 mL
2. ปีกเกอร์ ขนาด 50, 250 mL
3. ปิเปตแบบวัดปริมาตร (volumetric pipet) ขนาด 25 mL
4. บิวเรต ขนาด 50 mL
5. ลูกยางดูดสาร
6. ขวดน้ำกลั่น
7. เทอร์มอมิเตอร์
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. น้ำกลั่น

การทดลอง

1. นำปีกเกอร์ ขนาด 250 mL ไปใส่น้ำกลั่นประมาณ 150 mL (ดูที่ขีดด้านข้างปีกเกอร์) วัดอุณหภูมิของน้ำกลั่น บันทึกข้อมูลและอ่านค่าความหนาแน่นของน้ำกลั่นจากกราฟ ณ อุณหภูมิของน้ำกลั่นที่วัดได้

2. ชั่งน้ำหนักปีกเกอร์ ขนาด 50 mL โดยปีกเกอร์ต้องแห้งและไม่มีน้ำเกาะอยู่ บันทึกข้อมูล ตวงน้ำกลั่นด้วยกระจกบอกตวง จำนวน 25 mL เทใส่ปีกเกอร์ เช็ดด้านนอกปีกเกอร์ให้แห้ง แล้ว ปีกเกอร์พร้อม กลั่นไป ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ระวังอย่าให้น้ำกระเด็นหรือหกใส่เครื่องชั่งเด็ดขาด เพราะจะทำให้ เครื่องชั่งเสียหายได้บันทึกข้อมูล บันทึกน้ำหนักของน้ำกลั่น (M) และคำนวณปริมาตรของน้ำกลั่น (V) จากสูตร $D=M/V$ เมื่อ D คือความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิทดลอง

3. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 2 โดยใช้บิวเรตและปิเปตแทนกระจกบอกตวง

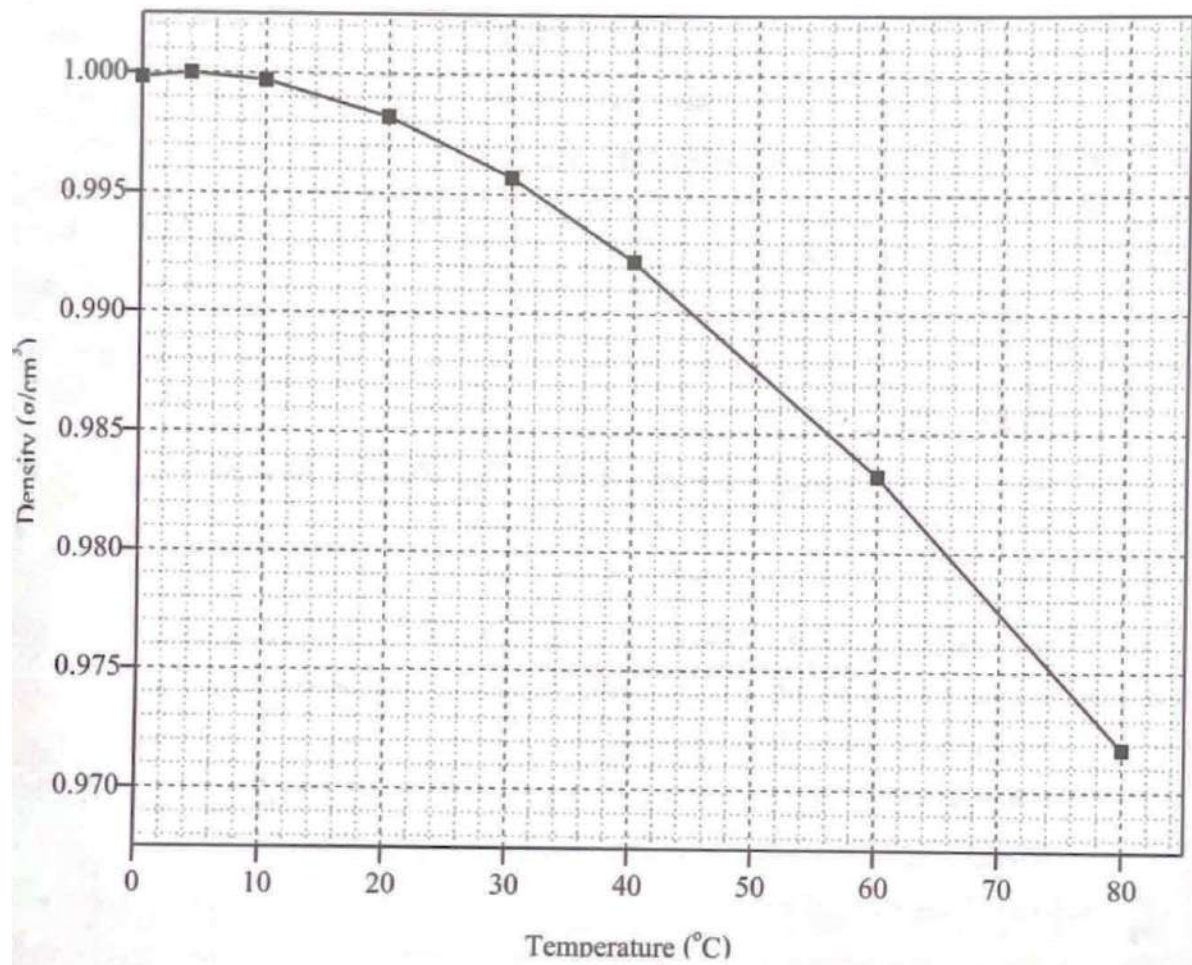
ตาราง ค่าความหนาแน่น (g/cm³) ของน้ำอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ /°C	ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์	ความหนาแน่นของน้ำประปา
0	0.9998	-
4	1.0000	0.99999
10	0.9997	-
20	0.9982	0.99823
30	0.9957	-
40	0.9922	0.99225
60	0.9832	0.98389
80	0.9718	0.97487

หมายเหตุ : ถ้าต้องการหาความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิอื่นๆ ให้เขียนกราฟระหว่างความหนาแน่น ของน้ำ กับอุณหภูมิ จากนั้นอ่านค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิที่ต้องการ

บรรณานุกรม

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 312 106 ปฏิบัติการเคมีทั่วไป ขอนแก่น 0.970 โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2545.
2. ทบวงมหาวิทยาลัย เคมี เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร : อักษรเจริญทัศน์ 2541
3. James F. Hall, **Experimental Chemistry**, 2nd ed., D.C.Heath and Company, Massachusetts, 1989.



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (g/cm^3) กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

ปฏิบัติการที่ 2

ปริมาณสัมพันธ์

(Stoichiometry)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณสัมพันธ์
2. เพื่อศึกษาสารกำหนดปริมาณ ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริงและผลผลิตร้อยละ

บทนำ

ปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometry) เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารตั้งต้น ผลผลิต และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาเคมี การศึกษาปริมาณสัมพันธ์มีประโยชน์ที่สำคัญ คือ

1. สามารถคาดการณ์การใช้ปริมาณสารตั้งต้น และผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี
2. สามารถคาดการณ์ได้ว่าสารใดทำปฏิกิริยาหมด สารใดเหลือหลังจากทำปฏิกิริยา สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

การศึกษาปริมาณสัมพันธ์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ และการค้าได้ อุตสาหกรรมนั้นๆ สามารถลดต้นทุนการผลิต โดยสามารถเลือกใช้สารเคมีในปริมาณที่ต่ำและประหยัดที่สุด รวมทั้งความปลอดภัยจากสารเคมีนั้นๆ ได้

ในการทดลองนี้จะศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง Na_2CO_3 กับ CaCl_2 แล้วเกิดตะกอนสีขาวของ CaCO_3 ตัวอย่างการทดลองทำโดยชั่ง Na_2CO_3 น้หนัก 1.1254 g ละลายน้ำกลั่นประมาณ 25 mL และชั่ง CaCl_2 น้หนัก 1.5884g ละลายน้ำกลั่นประมาณ 25 mL เทสารละลายทั้งสองชนิดผสมกัน เกิดตะกอนหนัก 0.9854g จงคำนวณผลผลิตร้อยละ และสารที่เหลือจากปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ดังนี้

$\text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{aq}) + \text{CaCl}_2 (\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2\text{NaCl} (\text{aq})$					
	1 mol	1 mol	1 mol	2 mol	
น้ำหนักอะตอม	C = 12.0	O = 16.0	Na = 23.0	Cl = 35.5	Ca = 40.1
น้ำหนักโมเลกุล Na_2CO_3	$= 2(23.0) + (12.0) + 3(16.0)$			$= 106.0 \text{ g mol}^{-1}$	
น้ำหนักโมเลกุล CaCl_2	$= (40.1) + 2(35.5)$			$= 111.1 \text{ g mol}^{-1}$	
น้ำหนักโมเลกุล CaCO_3	$= (40.1) + (12.0) + 3(16.0)$			$= 100.1 \text{ g mol}^{-1}$	
Na_2CO_3 น้หนัก 1.1254.g	$= 1.1254 \text{ g} / 106.0 \text{ g mol}^{-1}$			$= 1.062 \times 10^{-2} \text{ mol}$	
CaCl_2 น้หนัก 1.5884 g	$= 1.5884 \text{ g} / 111.1 \text{ g mol}^{-1}$			$= 1.430 \times 10^{-2} \text{ mol}$	

จากสมการเคมี

Na_2CO_3 1 mol ทำปฏิกิริยากับ CaCl_2 1 mol เกิด CaCO_3 1 mol และ NaCl 2 mol

ดังนั้น Na_2CO_3 เข้าทำปฏิกิริยาหมดจำนวน $1,062 \times 10^{-2}$ mol และเป็นสารกำหนดปริมาณ ส่วน CaCl_2 เข้าทำปฏิกิริยาจำนวน $1,062 \times 10^{-2}$ mol เช่นเดียวกัน

$$\begin{aligned}\text{CaCl}_2 \text{ จึงเหลือจากการทำปฏิกิริยา } & 1.430 \times 10^2 - 1.062 \times 10^{-2} \text{ mol} = 3.680 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ & = 3.680 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 111.1 \text{ g mol}^{-1} = 0.4089 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ผลผลิตตามทฤษฎีเกิดตะกอน } \text{CaCO}_3 & 1.062 \times 10^{-2} \text{ mol} = 1.062 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 100.1 \text{ g mol}^{-1} \\ & = 1.0628 \text{ g}\end{aligned}$$

จากการทดลองเกิดตะกอน CaCO_3 น้หนัก 0.9854 g

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของผลผลิตจริง}}{\text{น้ำหนักของผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

$$\text{ผลผลิตร้อยละของการเกิดตะกอน } \text{CaCO}_3 = \frac{0.9854 \text{ g}}{1.0628 \text{ g}} \times 100 = 92.72$$

เกิดตะกอน $\text{CaCO}_3 = 92.72\%$ และเหลือ $\text{CaCl}_2 = 0.4089 \text{ g}$

เมื่อทราบเลขอวอกาโดร (Avogadro's number) เท่ากับ 6.02×10^{23} จะสามารถคำนวณหาจำนวนโมเลกุลได้

สารเคมี

1. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3) อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาอย่างน้อยหนึ่งชั่วโมง

2. แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, CaCl_2) อบไล่ความชื้นเช่นเดียวกับข้อ 1.

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 mL 2 ใบ
2. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL 1 ใบ
3. แท่งแก้วคน 2 แท่ง
4. ถ้วยกระเบื้องกรองสาร (Gooch crucible) 1 อัน
5. คีม (tong) 1 อัน
6. ขวดน้ำกลั่น 1 ใบ
7. ตู้อบ
8. เครื่องกรอง (suction pump)
9. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 3 หรือ 4 ตำแหน่ง
10. โถดูดความชื้น

ปฏิบัติการที่ 20

ตารางธาตุและสมบัติตามตารางธาตุ

(Periodic Table and Properties)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวโน้มของสมบัติอะตอมของธาตุตามหมู่และคาบ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีของธาตุเรฟรีเซนเตติฟบางธาตุ

บทนำ

ตารางธาตุในปัจจุบันมีการจัดเรียงธาตุต่างๆ ตามเลขอะตอม โดยแบ่งออกเป็นหมู่และคาบต่างๆ สมบัติของธาตุต่างๆ ในคาบหนึ่งๆ จากซ้ายไปขวา และ หมู่หนึ่งๆ จากบนลงล่างในตารางธาตุ จะเปลี่ยนแปลงอย่างค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ สมบัติทางกายภาพที่สำคัญบางอย่างสำหรับธาตุต่างๆ ได้แก่ รัศมีอะตอม (atomic radius) พิจารณาจากครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของอะตอมคู่หนึ่งที่อยู่ติดกันเมื่ออะตอมทั้งคู่นั้น อยู่ในสถานะที่มีความหนาแน่นสูงสุด (ของแข็ง) พลังงานไอออไนเซชัน (ionization energy, IE) คือ พลังงาน ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน 1 อนุภาค ออกจากอะตอมในสถานะแก๊ส สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนหรือ อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity, EA) คือ พลังงานที่ให้ออกมาเมื่ออะตอมในสถานะแก๊สรับอิเล็กตรอน 1 อนุภาค อิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity, EN) คือ ความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาหา อะตอมนั้นซึ่งความสัมพันธ์ของสมบัติเหล่านี้กับเลขอะตอมแสดงได้ดังตารางที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 รัศมีอะตอม (pm)

H 37							He 50
Li 152	Be 111	B 80	C 77	N 75	O 73	F 71	Ne 70
Na 186	Mg 160	Al 143	Si 117	P 110	S 103	Cl 99	Ar 94
K 227	Ca 197	Ga 122	Ge 123	As 125	Se 116	Br 114	Kr 109
Rb 248	Sr 215	In 163	Sn 141	Sb 145	Te 143	I 133	Xe 130
Cs 265	Ba 217	Tl 170	Pb 175	Bi 155	Po 140	At 140	Rn 140

หมายเหตุ : ธาตุที่เป็นโลหะแสดงด้วยคำรัศมีโลหะ ธาตุอโลหะแสดงด้วยคำรัศมีโคเวเลนต์และธาตุหมู่ VIIIA เป็นรัศมีแวนเดอร์ วาลส์

ตารางที่ 2 พลังงานไอออไนเซชันที่ 1 (kJ/mol)

H 1312.0							He 2372.3
Li 513.3	Be 899.4	B 800.6	C 1086.2	N 1420.3	O 1313.9	F 1681.0	Ne 2080.6
Na 495.8	Mg 737.7	Al 577.6	Si 786.5	P 1011.7	S 999.6	Cl 1251.1	Ar 1520.5
K 418.8	Ca 589.7	Ga 578.8	Ge 762.1	As 947	Se 940.9	Br 1139.9	Kr 1350.7
Rb 403.0	Sr 549.5	In 558.3	Sn 708.6	Sb 833.7	Te 869.2	I 1008.4	Xe 1170.4
Cs 375.7	Ba 502.8	Tl 589.3	Pb 722.9	Bi 703.2	Po 812	At 930	Rn 1037.0

ตารางที่ 3 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (kJ/mol)

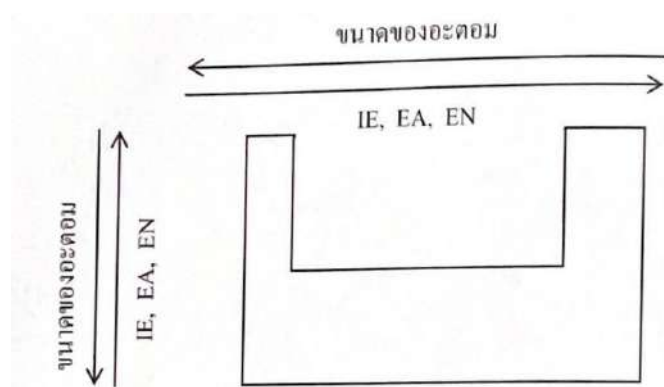
H 72.8						
Li 59.8	Be <0	B 23.0	C 121.5	N <0	O 141.0	F 328.0
Na 52.9	Mg <0	Al 44.0	Si 133.6	P 71.7	S 200.4	Cl 348.7
K 48.3	Ca <0	Ga 36.0	Ge 116.0	As 77.0	Se 195.0	Br 324.7
Rb 46.9	Sr <0	In 34.0	Sn 121.0	Sb 101.0	Te 190.2	I 295.3
Cs 45.5	Ba N0	Tl 30.0	Pb 35.1	Bi 101.0	Po 186.0	At 270.0

หมายเหตุ : ค่า >50 หมายถึง คายความร้อน ส่วนค่า <0 หมายถึง ดูดความร้อน

ตารางที่ 4 อิเล็กโตรเนกาติวิตี

H 2.20						
Li 0.98	Be 1.57	B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98
Na 0.93	Mg 1.31	Al 1.63	Si 1.90	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16
K 0.82	Ca 1.00	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96
Rb 0.82	Sr 0.95	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.10	I 2.66
Cs 0.79	Ba 0.89	Tl 1.62	Pb 1.87	Bi 2.02	Po 2.00	At 2.20

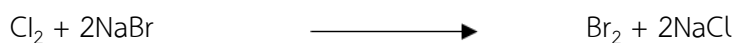
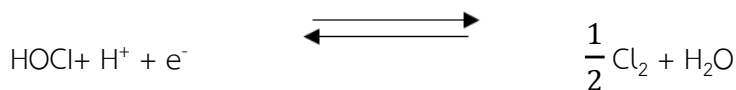
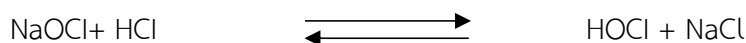
ดังนั้นแนวโน้มสมบัติตามตาราง ธาตุสรุปได้ดังนี้



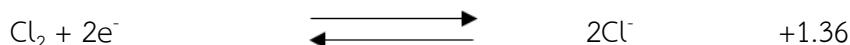
สมบัติทางเคมีของธาตุเรฟรีเซนเตดฟบางธาตุ

สมบัติทางเคมีบางอย่างของธาตุแฮโลเจน

ธาตุทุกธาตุในหมู่ 7 เป็นอโลหะ ธาตุหมู่ 7 นี้เมื่อเกิดปฏิกิริยามีแนวโน้มจะรับอิเล็กตรอน และ รับได้ดี เมื่ออิเล็กตรอนที่รับมาอยู่ใกล้กับนิวเคลียสของอะตอม ดังนั้นความสามารถในการรับอิเล็กตรอน จึงลดลงจาก บนลงล่างตามหมู่ เมื่อเป็นเช่นนี้ธาตุคลอรีนสามารถแทนที่ไอออนโบรมൈด์และไอออนไอโอดีนในสารประกอบ ได้ ดังแสดงในสมการ



ในทำนองเดียวกัน ธาตุโบรมีนสามารถแทนที่ไอออนไอโอดีนในสารประกอบได้เช่นกัน เมื่อดูความสัมพันธ์สำหรับความเป็นตัวออกซิไดซ์ พบว่าในหมู่ 7 ความสามารถในการเป็นตัว ออกซิไดซ์ลดลงจาก บนลงล่าง ซึ่งสามารถดูได้จากค่า E^0 ของครึ่งปฏิกิริยารีดักชันดังนี้ จะเห็นว่า F_2 มี E^0 สูงกว่า Cl_2 , Br_2 และ I_2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า F_2 สามารถรับอิเล็กตรอนและเกิดเป็น F^- ได้ดีกว่า



สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, 6M HCl)
2. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite, 5% NaClO)
3. น้ำมันแร่ (mineral oil) 4. โพแทสเซียมโบรไมด์ (potassium bromide, 6M KBr)
5. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide, 6M KI)
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid, H_2SO_4)
7. กรดไนตริก (nitric acid, 6M HNO_3)
8. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide, 3 M NH_4OH)
9. แคลเซียมไนเตรต (calcium nitrate, 2M $Ca(NO_3)_2$)
10. ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate, $AgNO_3$)
11. เฟอริกไนเตรต (ferric nitrate, $Fe(NO_3)_3$)
12. โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride, NaF)
13. โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl)

หมายเหตุ ทั้งสารที่มีแอลกอฮอล์ในขวดทั้งสารแอลกอฮอล์โดยเฉพาะ

อุปกรณ์

1. กระดาษกราฟ
2. หลอดทดลองประมาณ 25 หลอด
3. ปีกเกอร์

การทดลอง

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์และแนวโน้มของสมบัติทางกายภาพตามหมู่และคาบ

1. ให้นักศึกษาแต่ละคนวาดกราฟ 1 กราฟ โดยแกน x เป็นเลขอะตอมของธาตุในหมู่ 1, 3, 5, 7 (หรือในหมู่ 2, 4, 6, 8) และแกน y เป็นสมบัติของธาตุ โดยเลือก 1 ชนิด จากสมบัติดังต่อไปนี้ รัศมีอะตอม (ตารางที่ 2) พลังงานไอออไนเซชัน (ตารางที่ 3) สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (ตารางที่ 4) และ อิเล็กโตรเนกาติวิตี (ตารางที่ 5) สังเกตและอธิบายความสัมพันธ์และแนวโน้มตามหมู่และคาบ เลขอะตอมได้จากตารางธาตุ

ตอนที่ 2 สมบัติของธาตุเรฟรีเซนเตฟบางธาตุ

ส่วนที่ 1: สีของแฮโลเจนบางธาตุ

ทำในตู้กัน เพราะไอของคลอรีน โบรมีน และไอโอดีน ระเหยได้ง่าย

คลอรีน: ใส่ 5% โซเดียมไฮโปคลอไรต์, NaClO จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด เติมน้ำมันแร่ (mineral oil) ลงไป 10 หยด หรือสูงประมาณครึ่งเซนติเมตร เขย่าให้ผสมกันแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น สังเกตชั้นของน้ำมันแร่ว่าอยู่ชั้นบนหรือชั้นล่าง จากนั้นใส่ 6M HCl จำนวน 10 หยด คนหรือเขย่าของผสมเพื่อให้ HCl ผสมกับสารละลาย NaClO สังเกตสีของคลอรีนในชั้นน้ำมัน

โบรมีน: ใส่ 6M KBr จำนวน 15 หยด ลงในหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด เติมน้ำมันแร่ลงไป 10 หยด และใส่ H_2SO_4 เข้มข้นลงไปประมาณ 3-5 หยด เขย่าให้ผสมกันเพื่อให้กรดผสมกับสารละลาย KBr แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น สังเกตสีในชั้นน้ำมัน

ไอโอดีน: ใส่ 6M KI จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด เติมน้ำมันแร่ลงไป 10 หยด และใส่ H_2SO_4 เข้มข้นลงไปประมาณ 3-5 หยด เขย่าให้ผสมกันเพื่อให้กรดผสมกับสารละลาย KI แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น สังเกตสีในชั้นน้ำมัน

เปรียบเทียบแฮโลเจนทั้ง 3 ในชั้นน้ำมันแร่

ส่วนที่ 2: สมบัติทางเคมีของแฮโลเจน

1. คลอรีนและปฏิกิริยาของคลอรีนกับไอออนโบรมไต์และไอออนไอโอด์

1.1. ใส่ KBr ประมาณ 3-5 mg ลงในหลอดทดลอง หยด 6M HCl จำนวน 10 หยด 5% NaClO จำนวน 10 หยด และน้ำมันแร่ จำนวน 10 หยด ลงไป คนสารละลายและสังเกตผล 2.

1.2. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.1. แต่ใช้ KT แทน KBr

2. โบรมีนและปฏิกิริยาของโบรมีนกับไอออนคลอไรต์และไอออนไอโอด์

2.1. ใส่ NaCl ประมาณ 3-5 mg ลงในหลอดทดลอง หยด 6M KBr จำนวน 10 หยด H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 2-3 หยด และน้ำมันแร่ จำนวน 10 หยด ลงไป คนสารละลายและสังเกตผล

2.2. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่ใช้ KI แทน NaCl 4.

3. ไอโอดีนและปฏิกิริยาของไอโอดีนกับไอออนคลอไรต์และไอออนโบรมไต์

3.1. ใส่ NaCl ประมาณ 3-5 mg ลงในหลอดทดลอง หยด 6M KI จำนวน 10 หยด H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 2-3 หยด และน้ำมันแร่ จำนวน 10 หยด ลงไป คนสารละลายและสังเกตผล

3.2. ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1. แต่ใช้ KBr แทน NaCl

จากผลการทดลองจงเรียงความว่องไวของการทำปฏิกิริยาเคมีของแฮโลเจน

ส่วนที่ 3 : สมบัติทางเคมีของไอออนแอไลต์

ปฏิกิริยาของแอไลต์กับไอออนโลหะต่างๆ

นำหลอดทดลองทั้ง 12 หลอด มาเขียนหมายเลขไว้

หลอดที่ 1, 2 และ 3 ใส่ NaF 3-5 mg (ประมาณ) และน้ำกลั่นประมาณ 10 หยด

หลอดที่ 4, 5 และ 6 ใส่ NaCl 3-5 mg และน้ำกลั่นประมาณ 10 หยด

หลอดที่ 7, 8 และ 9 ใส่ KBr 3-5 mg และน้ำกลั่นประมาณ 10 หยด

หลอดที่ 10, 11 และ 12 ใส่ KI 3-5 mg และน้ำกลั่นประมาณ 10 หยด

1. ค่อยๆ หยด 2M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 1, 4, 7 และ 10 สังเกตผลที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

2. ค่อยๆ หยด 0.1M AgNO_3 จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 2, 5, 8 และ 11 หลังจากนั้นประมาณ 1 นาที ให้หยด 3M NH_3 จำนวน 10 หยด

3. หยด 6M HNO_3 จำนวน 1 หยด แล้วตามด้วย 0.1M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 3, 6, 9 และ 12 สังเกตผลที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

จากผลการทดลองสรุปความสามารถในการตกตะกอนของไอออนแอไลต์กับไอออนโลหะ และความสามารถในการถูกรีดิวซ์ของไอออนแอไลต์โดยไอออนโลหะ

บรรณานุกรม

1. ทบวงมหาวิทยาลัย **เคมี เล่ม 1** กรุงเทพมหานคร : อักษรเจริญทัศน์ 2541
2. Kotz, J. C. Treichel, P., Jr. **Chemistry & Chemical Reactivity**. 3rd ed., Florida, USA. : Harcourt Brace & Company., 1996.
3. Beran, J. A. Brady, J. **Laboratory Manual for General Chemistry: Principles and Structure**. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc. 1978.
4. McLellan, C. R. Tucker, W. C. A Laboratory Manual for Experimental General Chemistry. 50 USA.: F. A. Davis Company., 1966.
5. <http://www.webelements.com>
6. Emsley, J. The Elements. Oxford, UK: Oxford University Press, 1989

ปฏิบัติการที่ 4

การหาสูตรโมเลกุลของเกลือไฮเดรต

(Determination of the Formula of Hydrate Salts)

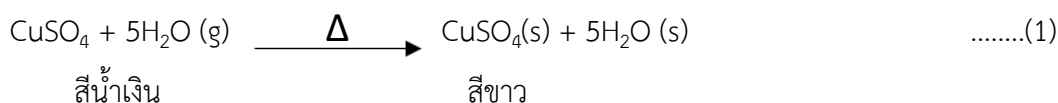
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเกลือที่มีน้ำในโครงผลึก
2. เพื่อหาสูตรโมเลกุลของเกลือไฮเดรต (hydrate salts)

บทนำ

สารประกอบของเกลืออนินทรีย์บางชนิด มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงผลึก (crystal structure) ร่วมกับโมเลกุลหรือไอออนของเกลือชนิดนั้น เช่น ยิบซัม (gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), เกลือโซเดียมคาร์บอเนต ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), โซเดียมซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), บอแรกซ์ (borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, จุนสี ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ส่วนออกไซด์ของ โลหะบางชนิดอาจมีจำนวนโมลของน้ำผลึกไม่แน่นอน เช่น สนิมเหล็ก (rust) จึงเขียนสูตรโมเลกุลเป็น $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ เป็นต้น

โดยหลักการแล้ว น้ำที่อยู่ภายในโครงผลึกนั้นก็มีสมดุลเคมีเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือไฮเดรตและสภาพแวดล้อมนั้นด้วย กล่าวคือ โมเลกุลของน้ำในโครงผลึกจะมีอัตราการระเหย (evaporation) ออกมาภายนอกเท่ากับอัตราการหวนกลับ (reversibility) เข้าสู่ภายในโครงผลึกเมื่อเก็บรักษาเกลือไฮเดรตไว้ในภาชนะปิด อย่างไรก็ตาม เมื่อเผาให้ความร้อนแก่เกลือไฮเดรตในภาชนะเปิด เช่น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ น้ำผลึกก็จะระเหยออกได้ง่ายดังสมการ (1) ทำให้เกลือไฮเดรตชนิดนี้สูญเสียน้ำผลึก (effloresce) ที่ความดันบรรยากาศปกติ ปรากฏเห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพได้ชัดเจน และสามารถใช้งานชนิดของเกลือต่างๆ ได้



ส่วนเกลือที่ปราศจากน้ำผลึก (anhydrous salt) เช่น CaSO_4 สามารถดูดไอน้ำจากอากาศ หรือ จากสารใดๆ ที่อยู่รอบข้างได้ทันที เกิดเป็น $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ดังนั้น จึงนิยมใช้ CaSO_4 เป็นสารดูดความชื้น (drying agent)

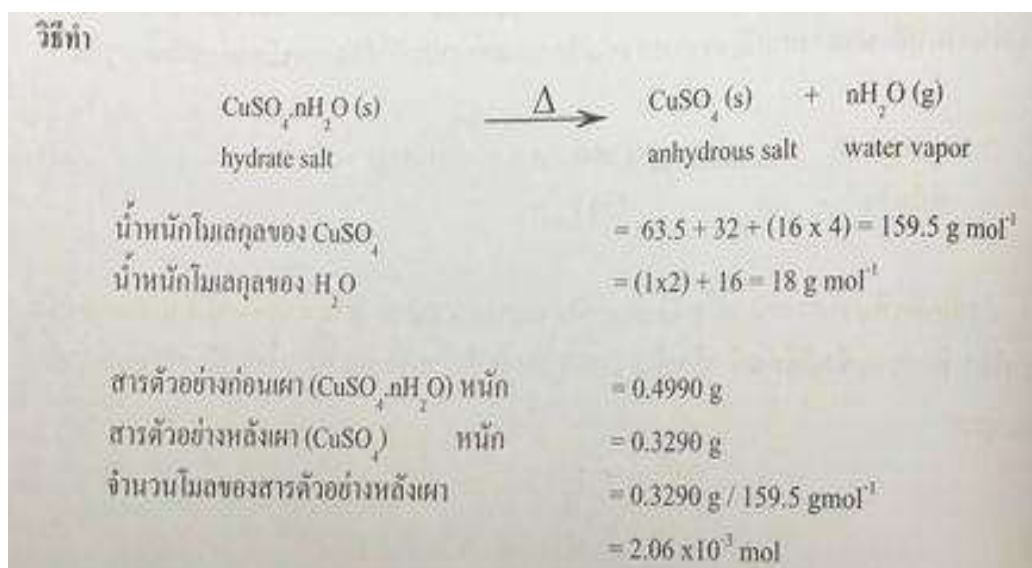
การประยุกต์

โถดูดความชื้น (desiccator) โดยทั่วไป หมายถึงภาชนะแก้ว หรือโถแก้วที่มีฝาปิดมิดชิดที่ด้านบนฝาอาจเป็นแบบก๊อปปิด-เปิดได้สำหรับปรับความดันอากาศภายในโถแก้วนั้น แต่ส่วนใหญ่แล้วจะดูดอากาศออกให้มีความดันต่ำๆ ด้านล่างโถมีแผ่นตะแกรงหรือแผ่นกระเบื้องวางอยู่เพื่อเป็นที่รองรับภาชนะบรรจุสาร ที่ต้องการเก็บรักษา อากาศภายในตัวโถจะแห้ง ไม่มีความชื้น เนื่องจากในโถได้บรรจุสารดูดความชื้นไว้พอสมควร เช่น P_2O_5 หรือ ใช้ซิลิกาเจล (silica gel, $SiO_2 \cdot xH_2O$) เพราะราคาถูกกว่า สารเหล่านี้สามารถดูดความชื้นได้ดี จึงช่วยรักษาสภาพแห้งของสิ่งที่เก็บไว้ภายในได้ตลอดเวลา

ในกรณีที่มีการใช้ซิลิกาเจลเป็นวัสดุสำหรับดูดความชื้นในโถดูดความชื้นนั้น ควรสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของซิลิกาเจลอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเมื่อซิลิกาเจลดูดความชื้นไว้ระยะหนึ่งแล้ว นานเป็นเดือน หรือนานกว่านี้ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเก็บไว้จะมีความจุไอน้ำระดับหนึ่งเช่นเดียวกันจนกระทั่งไม่สามารถ เก็บกักไอน้ำ หรือความชื้นได้อีก โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภายในซิลิกาเจลทำให้ซิลิกาเจลเปลี่ยนสี จากเดิมสีน้ำเงินเข้ม เนื่องจากไม่มีน้ำอยู่ภายในซิลิกาเจล หากเป็นสีชมพูอ่อน แสดงว่ามีน้ำอยู่ในซิลิกาเจลเต็มที่ ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำซิลิกาเจลที่หมดสภาพแล้วมาอบแห้งในตู้อบแห้งระยะหนึ่งจนกระทั่งเห็นการ เปลี่ยนแปลง กลับดังเดิม แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งต่อไป

ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างเกลือไฮเดรต $CuSO_4 \cdot nH_2O$ นหนัก 0.4990 g ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปเผาบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน $250^\circ C$ นานประมาณ 30 นาที เพื่อไล่น้ำออก แล้วนำถ้วยกระเบื้องวางบนแผ่นกระจายความร้อน ทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และนำมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้น สักครู่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งได้ 0.3290 g จงคำนวณหาสูตรโมเลกุลของ $CuSO_4 \cdot nH_2O$ (กำหนดให้ น้ำหนักอะตอม $Cu = 63.5$, $S = 32$, $O = 16$, $H = 1$)



ปฏิบัติการที่ 5

การประยุกต์ใช้กฎของแก๊สเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุล

(Application of Gas Law for Molecular Weight Determination)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของของเหลวที่ระเหยได้ง่าย โดยการประยุกต์ใช้กฎของแก๊ส

บทนำ

การทดลองนี้เหมาะสำหรับการใช้น้ำหนักโมเลกุลของของเหลวที่กลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C เพราะในการทดลองนี้ใช้น้ำเป็นตัวนำความร้อน

สารเคมีหลายชนิดถึงแม้จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และความดันปกติ แต่สามารถระเหยได้ง่าย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารเหล่านี้ไม่แข็งแรง ทำให้พลังงานเชิงความร้อนทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล จนทำให้โมเลกุลของสารหลุดออกจากกันและกลายเป็นไอได้ง่าย

ตารางที่ 1 จุดเดือดของสารเคมีบางชนิด ณ ความดันปกติที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C

สารเคมี	สูตรเคมี	จุดเดือด/ °C
เอทิลอะซิเตต (ethyl acetate)	CH ₃ COOCH ₃	77
เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	C ₂ H ₅ OH ¹	78
เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol)	CH ₃ OH	65

ในขณะที่โมเลกุลของของเหลวเหล่านี้อยู่ในสถานะแก๊ส โมเลกุลจะมีสมบัติเหมือนแก๊ส ถ้าไม่มี แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล แก๊สที่เกิดขึ้นจะมีสมบัติเหมือนแก๊สสมบูรณ์แบบ (perfect gas) หรือแก๊ส ในอุดมคติ (ideal gas) จึงสามารถนำกฎของแก๊สมาใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของของเหลวเหล่านี้ได้

ตัวอย่าง

1. การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

จากกฎของแก๊สสมบูรณ์แบบ

$$PV = nRT = \left(\frac{W}{M}\right)RT$$

$$M = \frac{WRT}{PV}$$

เมื่อ

M = น้ำหนักโมเลกุล (g mol^{-1})

W = น้ำหนักของแก๊ส (g)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

P = ความดัน (Pascal, Pa) โดย $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}$

V = ปริมาตร (m^3)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = $8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$)

N = จำนวนโมลของแก๊ส

2. การวัดความดันบรรยากาศ

การวัดความดันบรรยากาศใช้บารอมิเตอร์ (barometer) ซึ่งอ่านค่าความดันบรรยากาศได้ 2 หน่วย คือ

1. หน่วยทอ (torr) หรือ มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ต้องเปลี่ยนเป็นหน่วยปาสคาล (Pa หรือ Nm) เพื่อใช้คำนวณในสูตรได้ดังนี้

จาก	1 Pa	$=$	1 Nm^2
	760.0 torr	$=$	101325×10^3
	ดังนั้น ความดัน $P \text{ torr}$	$=$	$\frac{Px1.013 \times 10^5}{760} \text{ Pa}$

2. หน่วยปาสคาล (Pa) ถ้าอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหน่วยเป็น hPa (hectopascal) สามารถเปลี่ยนเป็นหน่วย Pa ได้โดยการคูณด้วย 100 ($1 \text{ hPa} = 100\text{Pa}$)

3. การคำนวณหาร้อยละของความคลาดเคลื่อน

สมมติให้ น้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างที่แท้จริง	$= a \text{ g mol}^{-1}$
และน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ทดลองได้	$= b \text{ g mol}^{-1}$
ดังนั้น ร้อยละของความคลาดเคลื่อน	$= \frac{a-b}{a} \times 100$

สารเคมี

สารตัวอย่าง ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทิลอะซิเตต

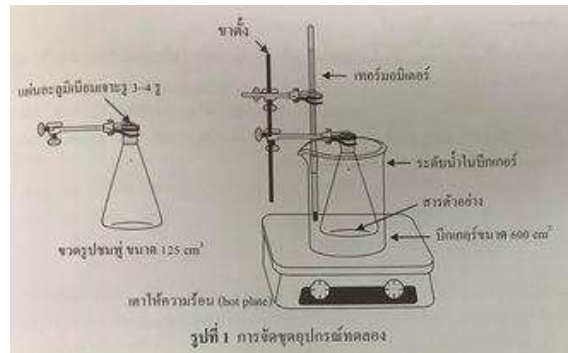
อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 cm^3
2. ปีกเกอร์ ขนาด 600 cm^3
3. เทอร์มอมิเตอร์
4. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาดประมาณ $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$
5. บิวเรต ขนาด 50 cm^3
6. ที่จับและขาตั้งชุดทดลอง
7. เตาให้ความร้อน
8. แผ่นกระจายความร้อน
9. คีมคีบ
10. เข็มเจาะรูแผ่นอะลูมิเนียม
11. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 3 หรือ 4 ตำแหน่ง)
12. บารอมิเตอร์

การทดลอง

1. ใช้คีมคีบขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 cm ที่สะอาดและอบแห้ง พร้อมด้วยแผ่นอะลูมิเนียมไป ชั่งตวงเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วบันทึกน้ำหนักที่อ่านจากเครื่องชั่งไฟฟ้า ห้ามใช้มือจับขวดรูปชมพู่และอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนนำไปชั่ง เพื่อป้องกันความชื้นหรือครีมน้ำมันที่อาจทำให้น้ำหนักมากกว่าความเป็นจริง
2. ใส่สารตัวอย่างประมาณ 2 cm ลงในขวดรูปชมพู่ (จากข้อ 1) ปิดปากขวดให้แน่นด้วยแผ่นอะลูมิเนียม และบีบให้รัดแน่นแนบกับปากขวดตามรอยโค้งที่ขอบ แล้วใช้เข็มเจาะรูเล็กๆ บนแผ่นอะลูมิเนียม ประมาณ 3-4 รู (ห้ามเจาะรูมากเกินไปอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้)
3. ใส่น้ำประปาลงในปีกเกอร์ ขนาด 600 cm ประมาณครึ่งปีกเกอร์ แล้วนำไปตั้งบนเตาให้ความร้อน โดยมีแผ่นกระจายความร้อนรองก้นปีกเกอร์ด้วย ต้มน้ำให้ร้อนและควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นไม่ให้ร้อนเกิน $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นลุ่มขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วจากข้อ 2 ลงในปีกเกอร์ต้ม

น้ำ พร้อมปรับระดับน้ำในบีกเกอร์ให้ท่วมถึงคอขวดรูปชมพู่ให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่สัมผัสกับแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อรักษาระดับ อุณหภูมิของสารตัวอย่างในขวดให้เท่ากันโดยตลอด และระวังอย่าให้แผ่นอะลูมิเนียมเปียกน้ำ เนื่องจากจะทำให้น้ำหนักมากเกินความเป็นจริง โดยให้กระเปาะเทอร์มอมิเตอร์อยู่ประมาณกึ่งกลางของน้ำในบีกเกอร์จุ่มเทอร์มอมิเตอร์ลงในน้ำ (ระวังอย่าให้เทอร์มอมิเตอร์สัมผัสกับบีกเกอร์) เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำประปา ในบีกเกอร์ จะเป็นอุณหภูมิของแก๊สที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ โดยจัดชุดอุปกรณ์ทดลองดังแสดงในรูปที่ 1



4. ปรับปุ่มเพิ่มอุณหภูมิของเตาให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำในบีกเกอร์ร้อนขึ้น ความร้อนจากน้ำจะ ทำให้สารตัวอย่างที่อยู่ในขวดรูปชมพู่กลายเป็นไอ และไอนี้มีมากเกินไประเหยออกจากขวดทางรูที่เจาะไว้บน แผ่นอะลูมิเนียม คอยสังเกตปริมาณของสารตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ เมื่อหยดสุดท้ายของสารที่ก้นขวดกลายเป็นไอหมด จากนั้นให้รีบนำขวดรูปชมพู่ออกจากบีกเกอร์ทันที พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ ขณะนั้น อุณหภูมินี้จะเป็นอุณหภูมิของไอสารตัวอย่างที่นำไปใช้ในการคำนวณ ส่วนค่าความดันบรรยากาศ จากบาร์อมิเตอร์ให้อ่านและบันทึกข้อมูลจากอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ
5. ใช้กระดาษชำระเช็ดภายนอกของขวดรูปชมพู่ให้แห้ง แล้วทิ้งไว้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ขณะที่ขวดรูปชมพู่เย็นลง ไอของสารที่อยู่เต็มขวดจะควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง ใช้คีมคีบคอขวดที่เย็น แล้ว ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า บันทึกน้ำหนักที่ได้ โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือน้ำหนักของไอของสารตัวอย่างที่เต็มขวดพอดี โดยปริมาตรของแก๊สเท่ากับปริมาตรของขวดรูปชมพู่
6. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยเติมสารตัวอย่างเพิ่มลงไปในขวดรูปชมพู่ใบเดิมอีก 1 cm^3 ระวังอย่าให้แผ่นอะลูมิเนียมขาด ทำการทดลองซ้ำ 4-5 ซ้ำอีกครั้ง อุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ควรมีค่าประมาณ $60-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก่อนนำขวดรูปชมพู่ใส่ลงไป
7. ระเหยสารตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ใบเดิมออกให้หมด โดยวางบนเตาให้ความร้อน จากนั้นตั้งขวดรูปชมพู่ไว้ให้เย็น แล้วนำไปวัดปริมาตรที่แท้จริงโดยการป้อนกลับจากบิวเรตให้เต็มถึงปากขวดพอดี บันทึกปริมาตรทั้งหมดที่อ่านได้จากบิวเรต

8. ล้างอุปกรณ์ที่ใช้ทุกชิ้นให้สะอาด กลั้วด้วยน้ำกลั่นและนำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 cm ที่ใช้ใส่คืนไว้ในตู้อบ เพื่ออบแห้งให้กลุ่มอื่นใช้ทดลองต่อไป

9. จากข้อมูลที่ได้ สามารถนำไปคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง และค่าร้อยละของ ความผิดพลาดจากการทดลองได้

บรรณานุกรม

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 312 106 ปฏิบัติการเคมีทั่วไป ขอนแก่น โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2545.
2. Sienko, M. J. and Plane, R. A., Experimental Chemistry, 4 ed., McGraw- Hill, New York, 1972.
3. Beran, J. A., Chemistry in the Laboratory, 2nd ed., Texas A & M University- Kingsville, John Wiley & Sons, New York, 1996

ปฏิบัติการที่ 7

การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวในตัวทำละลาย โดยวิธีหาจุดเยือกแข็ง (Molecular Weight Determination of Non-volatile and Undissociated Compound by Freezing Point Method)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวในตัวทำละลายโดยวิธีหา จุดเยือกแข็ง

บทนำ

จากกฎของราอูลต์ (Raoult's law) กล่าวว่า สำหรับสารละลายอุดมคติ น ความดันไอของตัวทำละลาย จะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเศษส่วนโมลของตัวทำละลาย ทั้งนี้ตัวถูกละลายจะต้องไม่แตกตัว และไม่สามารถระเหยได้สมการ

$$P_A = X_A P_A^0$$

เมื่อ P_A^0 = ความดันไอของตัวทำละลาย A บริสุทธิ์

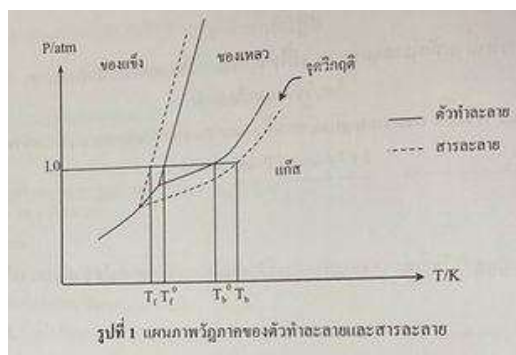
P_A = ความดันไอของตัวทำละลาย A ในสารละลาย

X_A = เศษส่วนโมลของ A

ถ้าตัวถูกละลายแตกตัวได้ จะเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอนุภาค สารละลายนั้นจะไม่ใช่ สารละลายอุดมคติ และถ้าตัวถูกละลายระเหยได้ จะทำให้ความดันไอเหนือสารละลายมีความดันไอรวม อันเนื่องมาจากตัวถูกละลายด้วย นั่นคือ ความดันไอจะไม่เป็นไปตามสมการที่ (1)

ในกรณีที่ระบบมีเพียง 2 ส่วนประกอบ (two-component หรือ binary System) คือ A เป็นตัวทำละลาย และ B เป็นตัวถูกละลาย การที่ความดันไอลดลง จะเป็นผลให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดลง (freezing point depression, ΔT) และจุดเดือดสูงขึ้น (boiling point elevation, ΔT) การเปลี่ยนแปลงของ ค่าความดันไอ จุดเยือกแข็ง และจุดเดือด จะขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลโดยรวม สมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าเหล่านี้

เรียกว่า สมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative property) โดยทั่วไปแผนภาพวิภูภาค มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 ยกเว้น กรณีของน้ำ เส้นกราฟ ของแข็ง ของเหลว จะมีความชันเป็นลบ



ถ้าให้ m_B เป็นโมแลลิตี (molality) ของสารละลาย ซึ่งหมายถึง จำนวนโมลของตัวถูกละลาย B ในตัวทำละลาย A หนัก 1000 กรัม เมื่อ 7 คือ จุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ และ T_f^0 คือ จุดเยือกแข็ง ของสารละลาย

จะพบว่า
$$\Delta T_f \propto m_B$$

$$\Delta T_f = K_f M_B \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta T_f = T_f^0 - T_f$$

การลดลงของจุดเยือกแข็ง ($\Delta T_f = T_f^0 - T_f$) แปรผันโดยตรงกับโมแลลิตี ค่าคงที่ K_f เรียกว่าค่าคงที่การลดลงของจุดเยือกแข็ง ต่อความเข้มข้น 1 โมแลล (molal freezing point depression constant) สำหรับน้ำ และ e-butanol มีค่า $K_f = 1.86$ และ 9.10 °C/mol kg⁻¹ ตามลำดับ

ในทำนองเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด ($\Delta T_b = T_b^0 - T_b$) (เมื่อ 7 และ T_b^0 และ T_b คือ จุดเดือดของ ตัวทำละลายบริสุทธิ์และสารละลาย ตามลำดับ) แปรผันโดยตรงกับโมแลลิตีเช่นเดียวกัน คือ

$$\Delta T_b \propto m_B$$

$$\Delta T_b = K_b M_B \dots\dots\dots(3)$$

โดย K_b คือ ค่าคงที่การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดต่อความเข้มข้น 1 โมแลล (molal boiling point elevation constant) amin $K_b = 0.51$ °C/mol kg⁻¹

แปลงสูตรให้อยู่ในรูปน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลาย โดย

ให้ M_B = น้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลาย

W_B = น้ำหนักตัวถูกละลายที่ชั่ง (g)

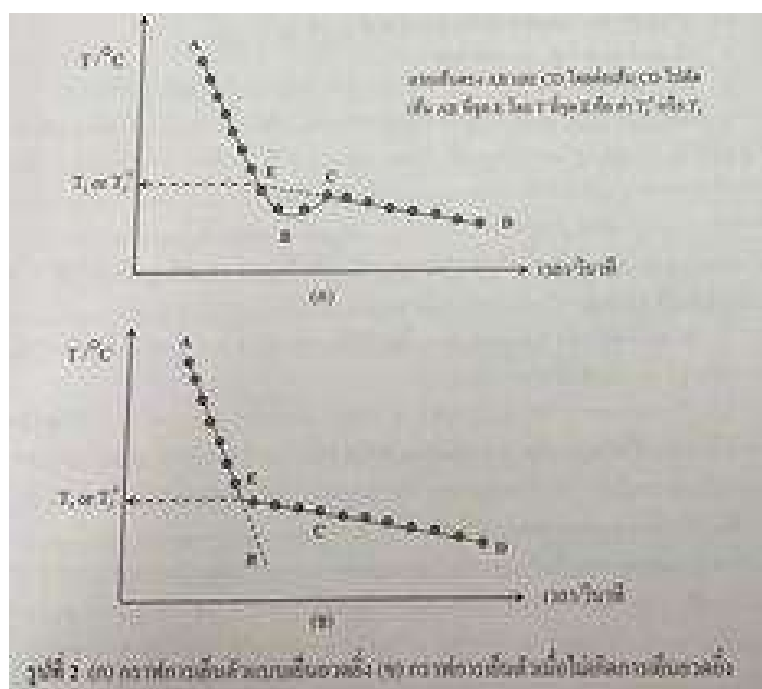
W_A = น้ำหนักของตัวทำละลาย เช่น t-butanol (g)

$$\text{molality (m}_B\text{)} = \frac{W_B \text{ (g)} \times 1000 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}}{M_B \times W_A \text{ (g)}}$$

$$\therefore \Delta T_f = \frac{K_f \text{ (}^\circ\text{C/mol kg}^{-1}\text{)} \times W_B \text{ (g)} \times 1000 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}}{M_B \times W_A \text{ (g)}}$$

$$\text{หรือ } M_B = \frac{K_f \text{ (}^\circ\text{C/mol kg}^{-1}\text{)} \times W_B \text{ (g)} \times 1000 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}}{\Delta T_f \text{ (}^\circ\text{C)} \times W_A \text{ (g)}} \dots\dots(4)$$

เมื่อทราบค่า ΔT_f , K_f , W_A , W_B , สามารถหาค่า M ได้ การคำนวณหาค่า M จะได้ใกล้เคียงค่าจริงหรือไม่ ขึ้นอยู่กับเทคนิคการบันทึกผล และพล็อตกราฟเพื่อลากเส้นหาค่า T_f ดังตัวอย่างรูปที่ 2



|

1. สารเคมี t¹ butanol ($CH_3 - C - OH$

|



2. น้ำแข็ง
3. สารตัวอย่าง (ที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวใน e-butanol)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 3 หรือ 4 ตำแหน่ง)
2. เทอร์มอมิเตอร์
3. หลอดทดลองขนาดเล็ก (1.5 x 15 cm)
4. หลอดทดลองขนาดใหญ่ (4.5 x 15 cm) ใช้เป็น air jacket
5. ลวดสแตนเลสสำหรับคนสาร
6. จุกยาง 2 ขนาด โดยจุกปิดหลอดใหญ่ เจาะรูเพื่อใส่หลอดทดลองขนาดเล็ก ส่วนจุกปิดหลอดเล็ก เจาะรูเพื่อใส่เทอร์มอมิเตอร์ และลวดคนสาร
7. ปีกเกอร์ ขนาด 100, 250 และ 1000 cm³
8. แท่งแก้วสำหรับคนน้ำแข็ง
9. ที่จับและขาตั้งชุดทดลองของ
10. กระดาษชั่งสาร

การทดลอง

1. วางหลอดทดลองขนาดเล็กที่แห้งและสะอาด ลงในปีกเกอร์ ขนาด 100 cm นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า บันทึกน้ำหนัก
2. เตรียมอ่างน้ำแข็ง (ice-water bath) โดย ปีกเกอร์ ขนาด 1000 cm มาใส่ น้ำแข็ง 2 ใน 3 ส่วนของปีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำประปาเล็กน้อย
3. นำหลอดทดลองขนาดเล็กในข้อ 1 ไปเติม n-butanol ประมาณ 5 cm ในตู้ดูดควัน ชั่งน้ำหนักปีกเกอร์ ที่ใช้ในข้อ 1) พร้อมหลอดทดลองที่ใส่ butanol บันทึกน้ำหนัก และปิดหลอดทดลอง ด้วยจุกยางที่มีเทอร์มอมิเตอร์ และลวดสแตนเลส นำ butanol ไปอุ่นในวอเตอร์บัท ให้ได้อุณหภูมิประมาณ 40 °C ผิวด้านนอกของหลอดทดลองให้แห้ง
4. นำหลอดทดลองขนาดใหญ่ (air jacket) และจัดสารละลายผสมในหลอดทดลอง



ในข้อ 3 ไปใส่ในหลอดทดลอง
อุปกรณ์ ทดลองดังรูปที่ 3 คน
อย่างสม่ำเสมอ ด้วยลวดสแตน

เลส เริ่มบันทึกผลที่ อุณหภูมิประมาณ 35 °C และบันทึกต่อไปทุก 30 วินาที ขณะทดลองใช้แท่งแก้วคน น้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่ง butanol กลายเป็นของแข็ง ขณะที่คนอยู่นั้นบางครั้งอาจเกิดการเย็นยวดยิ่ง (super cooling) ขึ้น สังเกตจากอุณหภูมิที่อ่านได้ แม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง แต่สารยังไม่แข็งตัว ถ้าเกิดปรากฏการณ์ เช่นนี้ตอนที่ตัวทำละลาย (e-butanol) เริ่มตกผลึกเป็นของแข็งอุณหภูมิที่ต่ำลงจะค่อยๆ สูงขึ้น และค่อนข้าง คงที่หรืออาจต่ำลงอีก จนกระทั่งตัวทำละลายกลายเป็นของแข็งอย่างเห็นชัด ให้บันทึกค่าอุณหภูมิหลังจาก สารเริ่มของแข็งต่อไปอีกประมาณ 10 ค่า

5. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของสารตัวอย่างประมาณ 0.3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 3 หรือ 4 ตำแหน่ง) ด้วยกระดาษ งบสาร ใส่ลงในหลอดทดลอง บรรจุ e-butanol ในข้อ 4 นำไปอุ่นในวอเตอร์ บาท คนให้สารตัวอย่างละลายจนหมด ถ้าสารติดข้างหลอดให้เอียงหลอดจนตัวทำละลายมาสัมผัสและละลาย รวมกัน จากนั้นนำหลอดทดลองขนาดเล็กไปใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ทำการทดลองเหมือนในข้อ 4 และเริ่มบันทึกผลที่อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 30 °C และบันทึกต่อไปทุก 30 วินาที

6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟการเย็นตัว (cooling curves) ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จะได้กราฟของ c-butanol บริสุทธิ์ 1 เส้น และ กราฟของสารละลายผสมอีก 1 เส้น ลากเส้นหาจุด T และ T ดังรูปที่ 2 จากนั้นคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างได้จากสมการที่ (4)

บรรณานุกรม

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 312 106 ปฏิบัติการเคมีทั่วไป ขอนแก่น โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2545.
2. Atkins, P. W., Physical Chemistry, Oxford University Press, 1978.
3. Bricker, C. E., College Chemistry: A Laboratory Manual, Harcourt Brace and World Inc., New York, 1967
4. Frantz, H. W. and Malm, L. E., Chemical Principles in the Laboratory, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1966.
5. Slowinski, E. J., Masterton W. L. and Wolsey W. C., Chemical Principles in the Laboratory, 2nd ed , W. B. Saunders Company, 1973

ปฏิบัติการที่ 16

การหาค่าคงที่สมดุลเคมี

(Determination of Chemical Equilibrium Constant)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมดุลเคมีและหลักเลอชาเตอลิเอร์ (Le Chatelier's principle)
2. เพื่อหาค่าคงที่สมดุลเคมี (K_c)

บทนำ

การเกิดระหว่างการผสมสารละลายเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) กับสารละลายไทโอไซยาเนต (SCN^-) เป็นสีแดงของไอออนเชิงซ้อน (complexion) ไทโอไซยาเนโตไอรอน (III) ไอออน (thiocyanatoiron (III) ion, $\text{Fe}(\text{SCN})^+$) ดังปฏิกิริยา

	Fe^{3+} สีเหลืองอ่อน	+	SCN^- ไม่มีสี	$[\text{Fe}(\text{SCN})]^+$ สีแดง	
จุดเริ่มต้น	x		y	0	M
ณ จุดสมดุล	x-z		y-z	z	M

ค่าคงที่สมดุลในรูปความเข้มข้น (K) สามารถแสดงได้ในรูปอัตราส่วนความเข้มข้นของผลผลิตที่เกิดขึ้นที่สมดุลกับผลคูณของความเข้มข้นของสารเริ่มต้นที่เหลือ ณ จุดสมดุล

$$K_c = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})]^+}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]} = \frac{z}{(x-z)(y-z)}$$

ในทางปฏิบัติการหาค่า K ของระบบที่สนใจ ทำโดยผสมสารละลาย Fe^{3+} ที่ทราบความเข้มข้นและปริมาตรที่แน่นอนกับสารละลาย SCN^- ที่ทราบความเข้มข้นและปริมาตรที่แน่นอน ปฏิกิริยาเกิดขึ้นรวดเร็วและไปข้างหน้าได้ไอออนเชิงซ้อนสีแดงของ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^+$ ค่าความเข้มข้นของ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^+$ จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นคือ $[\text{Fe}^{3+}]$ และ $[\text{SCN}^-]$

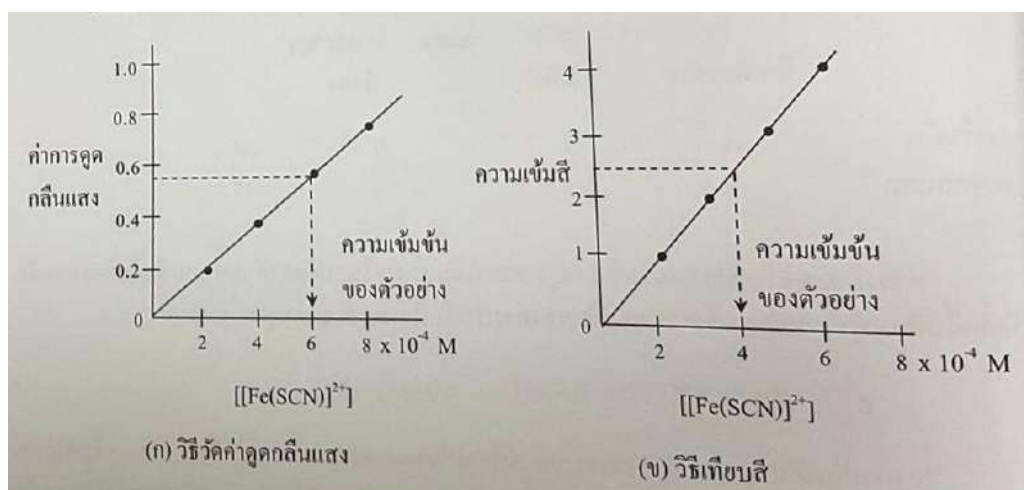
ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ SCN^- จะลดลงเนื่องจากใช้ไปในการเข้าทำปฏิกิริยาและ ส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยาสามารถคำนวณจากผลต่างระหว่างจำนวนโมลของสารเริ่มต้น คือ Fe^{3+} และ SCN^- กับจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^+$ แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความเข้มข้นในหน่วย M

การหาค่าความเข้มข้นของไอออนเชิงซ้อน $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ ทำโดยการสร้างกราฟมาตรฐานด้วยการเตรียมชุดสารละลายมาตรฐาน ทราบความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ SCN^- หลายชุดที่มีความเข้มข้นที่แตกต่าง กันประมาณ 4-5 หลอดทดลอง แต่ละหลอดทดลองจะเกิดสีแดงของไอออนเชิงซ้อนที่มีความเข้มข้นของ สีไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถวัดความเข้มข้นของสีได้ 2 วิธีคือ

1. การวัดค่าการดูดกลืนแสงเป็นการวัดที่ให้ความแม่นยำสูง ทำโดยวัดความเข้มข้นของสีในรูปของ ค่าการดูดกลืนแสงหรือ absorbance ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น ให้ค่าการดูดกลืนสูงสุด ซึ่งในที่นี้ คือที่ความยาวคลื่น 447 นาโนเมตร นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน และความเข้มข้นของตัวอย่างหาได้จากการวัด การดูดกลืน ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน แล้วนำอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

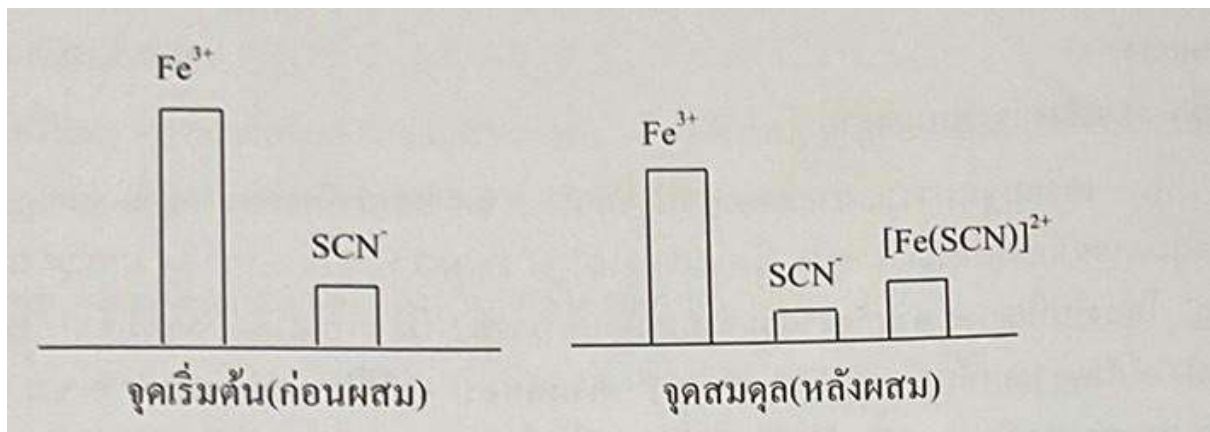
2. การเทียบสี เป็นการเปรียบเทียบความเข้มสีของตัวอย่างกับชุดเทียบสีมาตรฐานที่ระบุความ เข้มข้นที่แน่นอน ทำเช่นเดียวกันกับการวัดค่าการดูดกลืนแสงในข้อ 1. แต่กำหนดความเข้มสีเป็นตัวเลข เรียงลำดับ จากความเข้มข้นน้อยไปมาก เช่น 0, 1, 2, 3 และ 4 แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน ต่อจากนั้น นำตัวอย่างไป เปรียบเทียบสีโดยใช้ตามองดูความเข้มของสีแล้วเทียบเคียงกับความเข้มของสีมาตรฐาน ที่เตรียมไว้ ว่าใกล้เคียงกับความเข้มของสีค่าใดมากที่สุด แล้วประมาณการอ่านค่าความเข้มข้นของสี ที่ใกล้เคียงนั้นเป็นค่า ความเข้มข้นของสีของตัวอย่างที่สนใจ

ในการทดลองใช้วิธีหาความเข้มข้นได้โดยการเทียบสี



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ ทั้ง 2 แบบ

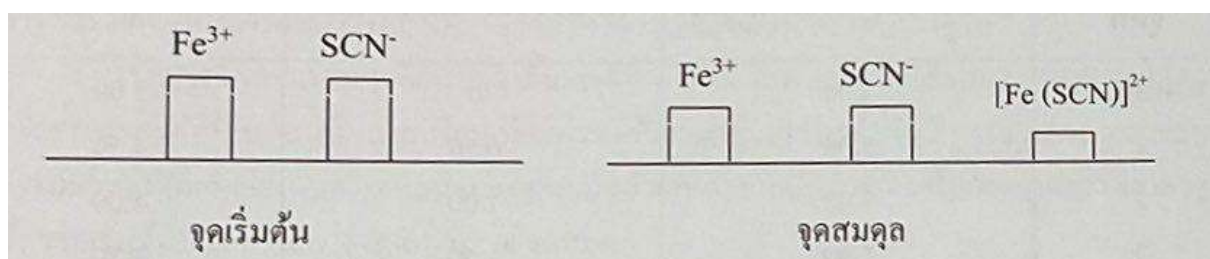
เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงก่อนผสมและหลังผสมระหว่างสารละลาย Fe^{3+} กับ SCN^- ในกรณีที่มี Fe^{3+} จำนวนมาก ๆ เมื่อเทียบกับ SCN^- การเข้าสู่สมดุลหลังจากเกิดปฏิกิริยา (SCN^-) จะลดลง และ $[\text{Fe}^{3+}]$ ก็ลดลงเล็กน้อย หลังผสม $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ เกิดขึ้นจำนวนหนึ่งปริมาณน้อย เหลือ $[\text{SCN}^-]$ จำนวนหนึ่ง เนื่องจากการผันกลับของปฏิกิริยาซึ่งมีจำนวนน้อย (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 2 การใช้ Fe^{3+} มากเกินไป แต่เติม SCN^- ปริมาณน้อย ทำให้เกิด $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$

จำนวนน้อย และมีการเปลี่ยนแปลง Fe^{3+} น้อยที่สุด

ในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ความเข้มข้นหลังจากการเข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยาลดลง ขณะที่ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ ระหว่าง Fe^{3+} กับ SCN^- ความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ SCN^- ลดลง ขณะที่เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 3 ความเข้มข้นก่อนผสมของสารเริ่มต้นและหลังผสมของผลผลิต ในกรณีความเข้มข้นของสารเริ่มต้นใกล้เคียงกัน

สารเคมี

1. $1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$

2. 2.00×10^{-1} M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ in 1.00×10^{-2} M HNO_3
3. 2.00×10^{-2} M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ in 1.00×10^{-2} M HNO_3
4. 2.00×10^{-1} M KSCN in 1.00×10^{-2} M HNO_3
5. 1.0×10^{-2} M AgNO_3

อุปกรณ์

1. บิวเรต ขนาด 50 mL 4 อัน
2. ปีกเกอร์ ขนาด 25 หรือ 50 mL 10 ใบ
3. หลอดทดลอง ขนาด 10 mL 10 หลอด

การทดลอง

ตอนที่ 1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมชุดสารละลายมาตรฐานจำนวน 6 ชุด โดยนำปิกเกอร์ ขนาด 50 mL จำนวน 6 ใบ ใสสารละลายจากบิวเรตทั้ง 3 ชนิด คือ 2.00×10^{-1} M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, 1.00×10^{-3} M KSCN และ 1.00×10^{-2} M HNO_3 ใส่ลงในปิกเกอร์ ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 เรียงตามลำดับ โดยเริ่มจากสารละลายเบสค์ ซึ่งจะทำให้เกิดความเข้มข้นของ $[\text{Fe}(\text{SCN})]$ ต่ำสุดก่อน จะได้สารละลายรวม 6 ชุด แก้วปิกเกอร์ เพื่อสารละลายผสมกัน จากนั้นเทสารละลายจากปิกเกอร์ใส่หลอดทดลองให้ความสูงเท่ากันทั้ง แล้วมองสีทางด้านบนของหลอดทดลอง และมีฉากพื้นสีขาวอยู่ด้านล่าง จะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน (หรือมองจากด้านข้างและมีฉากสีขาวอยู่ด้านหลัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มของสี)

ตารางที่ 1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$

สารละลาย ชุดที่	$2.00 \times 10^{-1} \text{ M Fe}(\text{NO}_3)_3$ ใน $1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL	$1.00 \times 10^{-3} \text{ M KSCN}$ ใน $1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL	$1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL
0 (แบล็ค)	5.00	0	5.00
1	5.00	0.50	4.50
2	5.00	1.00	4.00
3	5.00	1.50	3.50
4	5.00	2.00	3.00
5	5.00	2.50	2.50

ขั้นตอนตามตารางที่ 1 ความเข้มข้นของ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ สูงกว่าความเข้มข้นของ KSCN มาก จึงสมมุติว่า KSCN เข้าทำปฏิกิริยาจนหมด ดังนั้น $[\text{SCN}^-]$ ที่เข้าทำปฏิกิริยาเท่ากับ $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$ ที่เกิดขึ้น

2. คำนวณความเข้มข้นของ $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$ ที่เกิดขึ้นในสารละลายทั้ง 5 ชุด และบันทึกความเข้มข้นของ $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$ เรียงลำดับความเข้มข้นจากต่ำไปสูง สังเกตสีที่เกิดขึ้น จากสีแบล็ค สีจาง สีอ่อนสีเข้ม สีเข้มปานกลาง และสีเข้มจัด เพิ่มขึ้นตามลำดับ แล้วแปรความหมายความเข้มของสีที่เห็นเป็นตัวเลข

กำหนดให้ ความเข้มของสีแปรโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย และกำหนดให้แบล็คมีความเข้มของสีเท่ากับ 0 สีอ่อนมีความเข้มของสีเท่ากับ 1 สีจางเท่ากับ 2 สีเข้มเท่ากับ 3 สีเข้มปานกลางเท่ากับ 4 สีเข้มจัดเท่ากับ 5 ตามลำดับ แล้วนำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย (แกน x) กับความเข้มของสี (แกน y) กราฟที่ได้เป็นเส้นตรง และจะใช้เป็นกราฟมาตรฐานในการคาดคะเนความเข้มข้นของสารละลายในตอนต่อไป

3. การเพิ่มความเข้มข้นของ SCN^- ในสารละลายชุดที่ 2 ถึง 4 เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรตามหลักเลอชาเตอลิเอร์

ตอนที่ 2 การหาค่าคงที่สมดุล

1. เตรียมชุดสารละลายตัวอย่างสำหรับหาค่าคงที่สมดุล โดยนำบีกเกอร์ขนาด 50 mL จำนวน 3 ใบ ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 2 ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1

ตารางที่ 2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับหาค่าคงที่สมดุล

สารละลาย ชุดที่	$2.00 \times 10^{-2} \text{ M Fe}(\text{NO}_3)_3$ ใน $1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL	$1.00 \times 10^{-3} \text{ M KSCN}$ ใน $1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL	$1.00 \times 10^{-2} \text{ M HNO}_3$ mL
6	5.00	1.50	3.50
7	5.00	2.00	3.00
8	5.00	2.50	2.50

ขั้นตอนตามตารางที่ 2 ความเข้มข้นของ FeNO สูงกว่าความเข้มข้น KSCN ไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1) ดังนั้นการเกิด $[\text{Fe}(\text{SCN})]$ จึงต้องหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

2. นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ตั้งแต่ชุดที่ 6 ถึง 8 ในตารางที่ 2 ใส่หลอดทดลองโดยให้ความสูงของสารละลายเท่ากับตอนที่ 1 มาเปรียบเทียบความเข้มของสีกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แปรความเข้มสีที่เทียบเคียงกับสารละลายมาตรฐานเป็นตัวเลขต่อจากนั้นนำตัวเลขไปอ่านจากกราฟมาตรฐาน จะได้ความเข้มข้นของผลผลิต $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{+2}$ ณ จุดสมดุล

3. คำนวณความเข้มข้นของ $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{+2}$ ที่เกิดขึ้น ณ จุดสมดุล ทั้ง 3 ชุด

4. คำนวณความเข้มข้นของ Fe^{3+} ที่จุดเริ่มต้นและที่เหลือ ณ จุดสมดุลทั้ง 3 ชุด

5. คำนวณความเข้มข้นของ SCN^- ที่จุดเริ่มต้นและที่เหลือ ณ จุดสมดุลทั้ง 3 ชุด

6. คำนวณค่าคงที่สมดุลทั้ง 3 ชุด และค่าคงที่สมดุลเฉลี่ย

ตอนที่ 3. การรบกวนสมดุลของระบบ

เลือกสารละลายหลอดที่มีสีเข้มที่สุดหรือสารละลายหลอดใดก็ได้ที่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้แล้วหยดสารละลาย $10 \times 10^{-2} \text{ M. AgNO}_3$ ลงไปเล็กน้อยประมาณครึ่งหยดแกว่งหลอดทดลองหรือใช้แท่งแก้วคนสารละลาย สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ต่อจากนั้นหยด AgNO_3 เพิ่มอีก 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล ซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) จะทำปฏิกิริยากับ SCN เกิดเป็นตะกอนสีขาวของ AgSCN (K_{sp} ของ $\text{AgSCN} = 1.1 \times 10^{-12}$)

ตามหลักเลอชาเตอลิเอร์จะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อสมดุลเดิมที่สารละลายปรากฏเป็นสีแดง แล้วความเข้มข้นของสีจางลงจนกระทั่งไม่มีสี และเมื่อเกิดตะกอนสีขาวสมดุลใหม่ที่เกิดขึ้นคืออะไร? จงเขียนสมการสมดุลไอออนที่เกิดขึ้นทั้งสองกรณี

บรรณานุกรม

1. James F. Hall, Experimental Chemistry, 2nd ed., D. C. Heath and Company, Massachusetts, 1989.

2. Skoog, Douglas A., West, Donald M., James Haller, F., Fundamentals of Analytical Chemistry, 7th ed., Saunders College Publishing, New York, 1997



คู่มือปฏิบัติการพื้นฐานวิศวกรรมไฟฟ้า

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

กลุ่มที่

ชื่อผู้ทดลอง

.....รหัส.....สาขา.....

สมาชิกในกลุ่ม

1. รหัส.....สาขา.....

2. รหัส.....สาขา.....

3. รหัส.....สาขา.....

ภาคเรียนที่ ปีการศึกษา

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 1 กฎของโอห์ม

วัตถุประสงค์

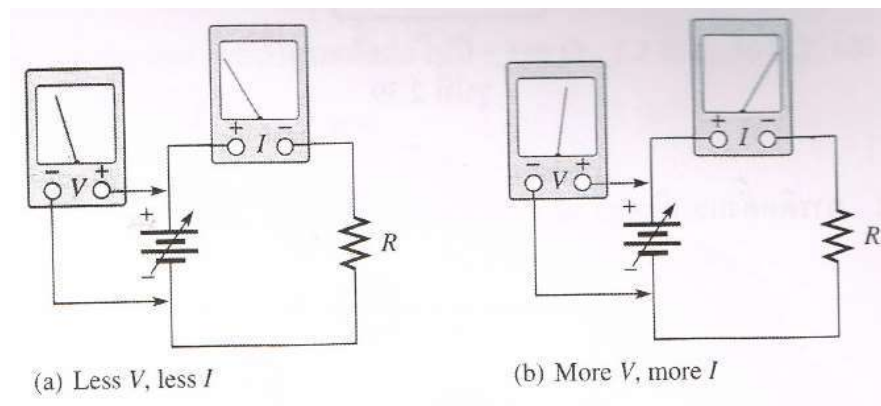
1. เพื่อพิสูจน์กฎของโอห์ม
2. เพื่อศึกษาการใช้กฎของโอห์มมาใช้ในการวิเคราะห์วงจร

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Circuit Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments module
3. Multimeter

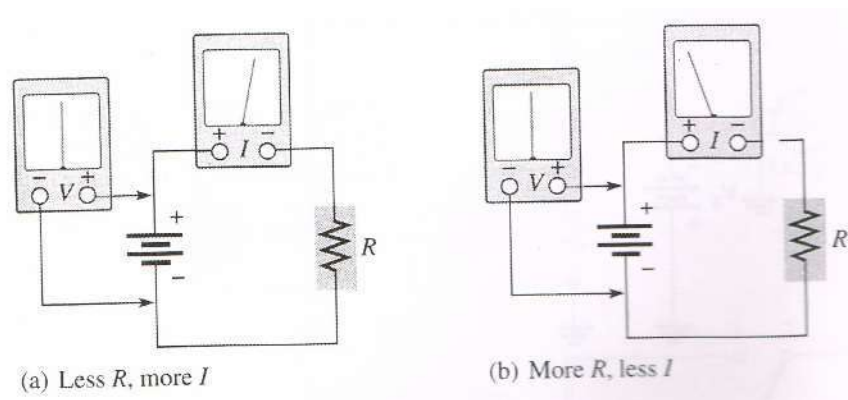
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. ยอร์จ ไซมอน โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสที่ตัวต้านทาน โดยใช้วงจรไฟฟ้าที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1

จากรูปที่ 1.1 โอห์มพิสูจน์ให้เห็นว่า ถ้าความต้านทานมีค่าคงที่และแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานลดลงจะทำให้กระแสที่ตัวต้านทานลดลง แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 2 เท่า กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า และถ้าแรงดันไฟฟ้าลดลงครึ่งหนึ่ง กระแสไฟฟ้าจะลดลงครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 1.2

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

จากการทดลองดังกล่าว โห้หมยังพบว่า ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่และความต้านทานมีค่าลดลงจะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะลดลง(รูปที่ 1.2) เช่น ถ้าความต้านทานมีค่าลดลงครึ่งหนึ่ง กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า แต่ถ้าความต้านทานเพิ่มขึ้น 2 เท่า กระแสไฟฟ้าจะลดลงครึ่งหนึ่ง จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานดังกล่าว โห้หมสรุปเป็นสมการเพื่อใช้หาค่ากระแสและความต้านทาน ไว้ดังนี้

$$I = V/R \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

$$V=IR \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

$$R = V/I \quad \dots\dots\dots(1.3)$$

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24002 บนชุดแผงหลัก KL-21001 และให้ดูที่บล็อก a
2. ใช้โห้หมมิเตอร์ วัดและบันทึกค่าความต้านทานของ R1

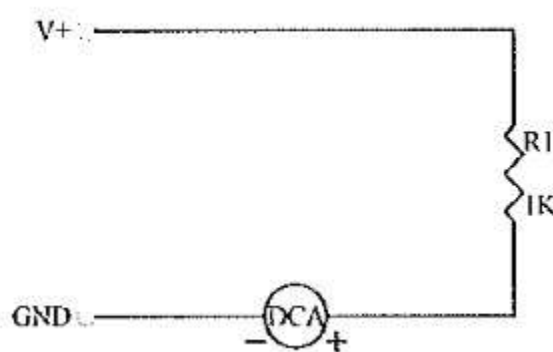
R1 = _____ $K\Omega$

ค่าความต้านทานที่วัดได้มีค่าอยู่ในค่าความผิดพลาดที่ $1 K\Omega \pm 5\%$ ใช่หรือไม่ ? _____

3. ต่อโวลท์มิเตอร์เข้ากับจุดต่อ +V และ GND และปรับแหล่งจ่ายไปที่ +10V
4. ใช้กฎของโห้หม และค่าในขั้นตอนที่ 2 และ 3 มาคำนวณและบันทึกค่ากระแส $I =$ _____ mA
5. ใส่แอมป์มิเตอร์เข้าไปในวงจรดังแสดงในรูป 1.3 จากนั้นให้ทำการวัดค่ากระแส

$I =$ _____ mA

ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงไหม? _____



รูป 1.3การวัดกระแสไฟฟ้า

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

9. เชื่อมต่อ VR1 แทรกเข้าไปในวงจรตามที่แสดงในรูป 1.4 ต่อโวลต์มิเตอร์เข้าที่ขั้ว V+ และ GND2 ของตัวปรับจ่ายแรงดันบน โมดูลหลัก KL-22001 และปรับแรงดันไฟบวกไปที่ +15V แล้วถอดโวลต์มิเตอร์ออกจากวงจร



10. หมุนปุ่มปรับ VR1 ไปทางขวาจนได้กระแสไฟฟ้า 5mA ที่แสดงบนจอแสดงของมิลลิเมตร
11. ใช้กฎของโอห์มและนำค่าในขั้นตอนที่ 9 และ 10 มาคำนวณหาค่า VR1

ค่า VR1 ที่ท่านทำการวัดกับค่าที่ท่านทำการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันใช่หรือไม่?

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2 วงจรอนุกรม-ขนาน และกฎของเคอร์ชอฟฟ์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวงจรอนุกรม, ขนาน และวงจรอนุกรม-ขนาน
2. เพื่อศึกษาการใช้กฎเคอร์ชอฟฟ์

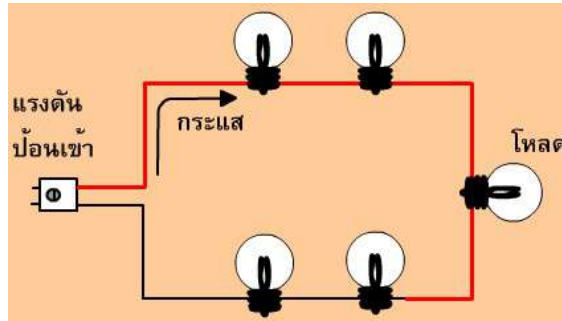
อุปกรณ์ประกอบทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Circuit Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments module

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

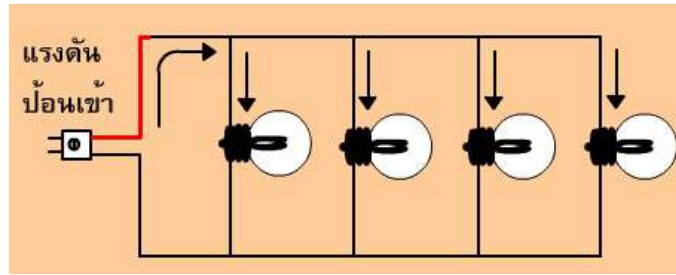
วงจรอนุกรมหมายถึง การนำเอาอุปกรณ์ทางไฟฟ้ามาต่อกันในลักษณะที่ปลายด้านหนึ่งของอุปกรณ์ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ตัวที่ 2 จากนั้นนำปลายที่เหลือของอุปกรณ์ตัวที่ 2 ไปต่อกับอุปกรณ์ตัวที่ 3 และจะต่อลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งการต่อแบบนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกระแสไฟฟ้าภายในวงจรอนุกรมจะมีค่าเท่ากันทุกจุด ค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมนั้นคือการนำเอาค่าความต้านทานทั้งหมดนำมารวมกันส่วนแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรมนั้นแรงดันจะปรากฏคร่อมตัวต้านทานทุกตัวที่จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เท่ากันโดยสามารถคำนวณหาได้จากกฎของโอห์ม



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

2. วงจรไฟฟ้าแบบขนาน

วงจรที่เกิดจากการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปให้ขนานกับแหล่งจ่ายไฟมีผลทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ส่วนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีตั้งแต่ 2 ทิศทางขึ้นไปตามลักษณะของสาขาของวงจรส่วนค่าความต้านทานรวมภายในวงจรขนานจะมีค่าเท่ากับผลรวมของส่วนกลับของค่าความต้านทานทุกตัวรวมกัน ซึ่งค่าความต้านทานรวมภายในวงจรไฟฟ้าแบบขนานจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานภายในสาขาที่มีค่าน้อยที่สุดเสมอ และค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนของแหล่งจ่าย



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรไฟฟ้าแบบขนาน

3. กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's Law)

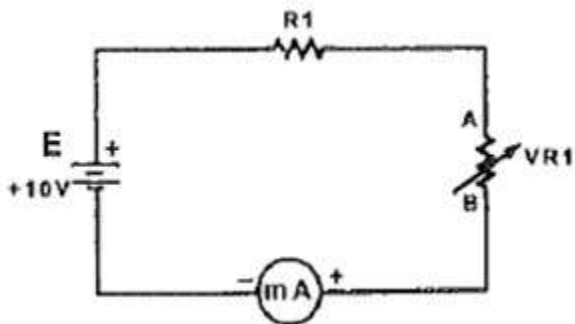
วงจรไฟฟ้าอย่างง่ายสามารถนำเอากฎของโอห์มมาใช้ในการแก้ปัญหาได้โดยตรง แต่ถ้าเป็นปัญหาโจทย์ที่ยุ่งยากและสลับซับซ้อนมาก ๆ แล้วจะไม่สามารถใช้กฎของโอห์มแก้ปัญหาได้โดยตรง วิธีการแก้ปัญหาโจทย์ของวงจรที่ซับซ้อนเหล่านี้ ให้ได้จนปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกันวิธีการหนึ่งที่คิดขึ้นแก้ปัญหาวงจรที่ซับซ้อนนี้ ได้มาจากการทดลองของ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อว่า กุสตาฟ อาร์ เคอร์ชอฟฟ์ ในราวปี พ.ศ. 2400 เคอร์ชอฟฟ์ได้ตั้งข้อสรุปผลจากการทดลองของเขาขึ้นมา 2 ข้อรู้จักกันในชื่อว่ากฎของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้ มีอยู่ด้วยกัน 2 กฎ คือ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ที่กล่าวว่า ปริมาณกระแส ไฟฟ้าที่ไหลเข้า ณ จุดใด ๆ ของวงจรไฟฟ้า ย่อมมีค่าเท่ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก ณ จุดจุดนั้นของวงจร อีกกฎหนึ่งก็คือ กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ ที่กล่าวว่า ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าในวงจรรอบปิด เมื่อมารวมกันแล้วจะต้องมีค่าเท่ากับ ศูนย์

- กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ กล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าจุดใดจุดหนึ่งใน วงจรไฟฟ้าจะเท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดนั้น”

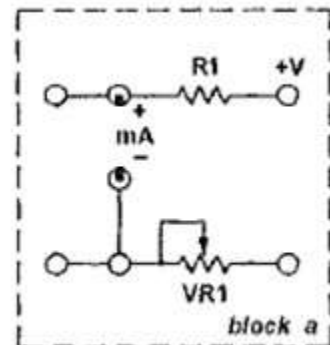
- กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ กล่าวว่า “ผลบวกของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ในวงจรไฟฟ้าปิดจะมีค่าเท่ากับผลบวกของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานในวงจรไฟฟ้าปิดนั้น”

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24002 บนชุดแผงหลัก KL-22001 และให้ดูที่บล็อก a
2. ต่อวงจรตามรูป 2.3 และ ผังไดอะแกรมในรูป 2.4 ปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น +10VDC จากปุ่มปรับแหล่งจ่ายบน โมดูล KL-22001



รูป 2.3



รูป 2.4 ผังไดอะแกรม (KL-24002 บล็อก a)

3. ปรับความต้านทานปรับค่าได้ VR1 ไปที่ $1\text{ K}\Omega$
 4. ชนิดของวงจรในรูป 2.3 เป็นวงจรชนิดอะไร? (อนุกรม หรือ ขนาน)

5. ให้คำนวณหาค่าความต้านทาน $R = R1 + VR1 =$ _____ Ω

คำนวณหาค่า $I = E/R =$ _____ mA

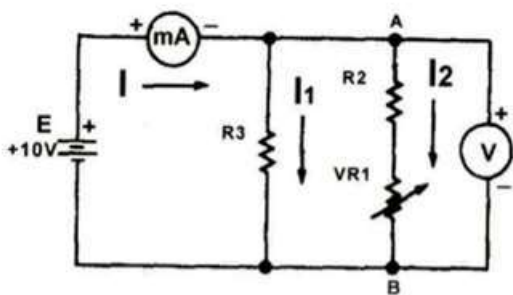
6. นำมิลลิแอมป์มิเตอร์ต่อเข้าไปในวงจรดังแสดงในรูป 2.2

วัดและบันทึกค่ากระแส $I =$ _____ mA

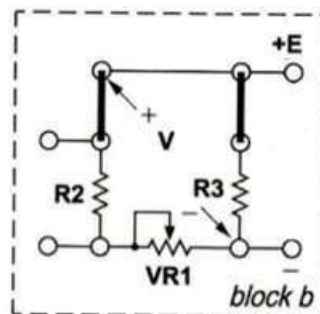
ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันไหม?

7. ปรับ VR1 ให้มีค่าเท่ากับ 500Ω และทำขั้นตอนที่ 5 ถึง 6 ซ้ำ จากนั้นทำการบันทึกผลลง

8. ติดตั้งโมดูล KL-24002 ไปบนโมดูล KL-22001 และดูที่บล็อก b เชื่อมต่อวงจรให้เสร็จตามที่แสดงในรูป 2.5 และผังไดอะแกรมในรูป 2.6 ปรับแรงดันไฟฟ้า +10VDC จากปุ่มปรับแหล่งจ่ายบนโมดูล KL-22001 เข้าที่ +E



รูป 2.5



รูป 2.6 ผังไดอะแกรม (KL-24002 บล็อก b)

9. ชนิดของวงจรในรูป 2.5 เป็นวงจรชนิดอะไร? (อนุกรม หรือ ขนาน) _____
 10. ปรับ VR1 ไปที่ $1\text{ K}\Omega$ และคำนวณหาค่าความต้านทานรวม $R =$ _____ Ω

11. ต่อโวลต์มิเตอร์ที่จุดต่อ A และ B ดังแสดงในรูป 2.5

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

วัดและบันทึกผลแรงดันไฟฟ้า $E =$ _____ V

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าในขั้นตอนที่ 2 ใช่หรือไม่? _____

12. ปรับ VR1 ไปทางขวามือและสังเกตค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้บนโวลต์มิเตอร์

ขณะหมุน VR1 แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่? _____

13. ปรับ VR1 ไปที่ $0\ \Omega$ จากนั้นให้ใส่แอมป์มิเตอร์ในวงจรดังรูป 2.5

ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสรวม $I =$ _____ mA

14. ให้คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละกิ่ง

$I_1 = E/R_3 =$ _____ mA

$I_2 = E/R_2 =$ _____ mA

ให้คำนวณหาค่าผลรวมของกระแสด้วยการใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟ

$I = I_1 + I_2 =$ _____ mA

ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้ใช่หรือไม่?

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 3 วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของวงจรวิทสโตน บริดจ์
2. เพื่อศึกษาและเข้าใจการใช้งานวงจรวิทสโตน บริดจ์

อุปกรณ์ประกอบทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Circuit Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments Module

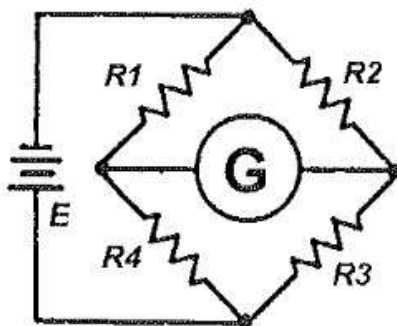
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าโดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่าความต้านทานที่ต้องการทราบค่ากับความต้านทานมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว วงจรบริดจ์จะมีอยู่ 2 สภาวะ คือบริดจ์สภาวะสมดุล และบริดจ์สภาวะไม่สมดุล ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในเครื่องมือหรือทรานดิวส์เซอร์

วงจรภายในของเครื่องวัดชนิดนี้ ประกอบด้วย

1. ตัวต้านทานที่ต่อขนานกัน 2 สาขา แต่ละสาขาประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน
2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง(E)ต่อขนานกับตัวต้านทานของวงจรทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจร
3. กัลวานอมิเตอร์ (G) ซึ่งต่อกับขั้วสายที่ขนานกัน ทำหน้าที่ตรวจจับ (detect) กระแสไฟฟ้าเพื่อบ่งบอกสภาพของวงจร ในกรณีที่วงจรบริดจ์สมดุลเข็มจะชี้ที่ศูนย์ แต่ถ้าไม่สมดุลเข็มจะเบี่ยงเบน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานที่ทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลได้จากสมการ

$$R1 \times R3 = R2 \times R4 \quad \text{or} \quad R1/R4 = R2/R3$$

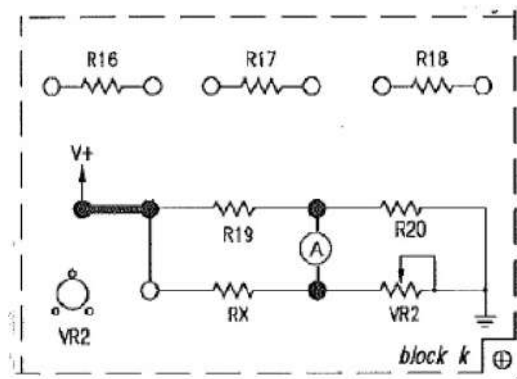


รูปที่ 3.1 วงจรวิทสโตนบริดจ์

ขั้นตอนการทดลอง

1. วาดแผนโมดูล KL-24002 บนแผงทดลองหลัก KL-22001 และใช้ตำแหน่งบล็อก k
2. เชื่อมต่อวงจรตามที่แสดงในรูป 3.1 และผังไดอะแกรมในรูป 3.2

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



รูป 3.2 ผังไดอะแกรม (KL-24002 บล็อก k)

3. ปรับแรงดันไฟฟ้าไปที่ +5VDC จากแหล่งจ่ายแบบฟิสิกส์คาร์บอนโมดูล KL-22001 เข้าที่ V+ ของโมดูล KL-24002
4. ติดตั้ง R16 ไปที่ตำแหน่ง RX และปรับ VR2 แล้วปรับไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวา ที่นี้จะทำให้วงจรบริดจ์เกิดความไม่สมดุล (unbalanced)

ทำการวัดกระแสที่ไหลด้วย (μA) ไมโครแอมป์มิเตอร์ เมื่อการทำงานของบริดจ์ในสภาวะไม่สมดุลใช่หรือไม่ (unbalanced)? _____

5. ปรับ VR2 ไปจนทำให้ได้รับกระแสศูนย์โดยใช่ (μA) ไมโครแอมป์มิเตอร์ ในช่วงเวลานี้, วงจรบริดจ์ทำงานในสถานะสมดุล (balanced)

ปิดแหล่งจ่ายไฟและถอด R16 ออก

วัดและบันทึกค่าความต้านทานของ VR2

VR2= _____ Ω

6. ติดตั้ง R17 ที่ตำแหน่ง RX และทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 4 และ ขั้นตอนที่ 5

VR2= _____ Ω

7. ติดตั้ง R18 ที่ตำแหน่ง RX และทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 4 และ ขั้นตอนที่ 5

VR2= _____ Ω

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

จงแสดงวิธีการคำนวณหา RX ที่ทำให้วงจรบริดจ์ทำงานในสถานะสมดุล ตามสมการด้านบน เมื่อใช้ R16,R17 และ R18

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 4 ชุปเปอร์โพสิชัน, กฎของเทวินินและกฎของนอร์ตัน วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีซุปเปอร์โพสิชัน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีเทวินิน
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีนอร์ตัน

อุปกรณ์ประกอบทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments Module

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีซุปเปอร์โพสิชัน

ทฤษฎีซุปเปอร์โพสิชัน การลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์วงจรที่มีแหล่งกำเนิดหลายตัว สามารถกระทำได้ด้วยการพิจารณาผลลัพธ์ของแหล่งกำเนิดทีละตัว แล้วนำเอาผลลัพธ์ทั้งหมดมารวมกันในภายหลัง หลักการซุปเปอร์โพสิชัน กล่าวไว้ว่า แรงดันตกคร่อม (หรือกระแสไหลผ่าน) องค์กรประกอบในวงจรเชิงเส้น มีค่าเท่ากับผลบวกเชิงพีชคณิตของ แรงดันตกคร่อม (หรือกระแสไหลผ่าน) องค์กรประกอบนั้น ที่เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดอิสระแต่ละตัวเชื่อมต่อในวงจรโดยลำพัง

ทฤษฎีเทวินิน

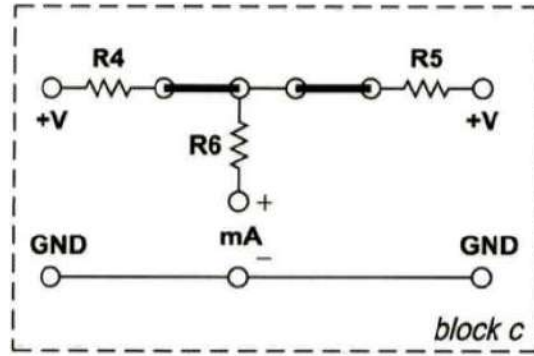
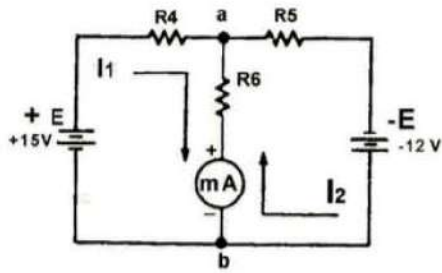
ทฤษฎีบทเทวินิน เป็นทฤษฎีเพื่อลดความยุ่งยากเมื่อวงจรมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งอาจประสบความสำเร็จ ความยุ่งยาก หากต้องเริ่มต้นคำนวณใหม่ในทุกครั้งโดยเฉพาะระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ โดยทฤษฎีบทเทวินิน กล่าวไว้ว่า “วงจรเชิงเส้นสองขั้วใด ๆ สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของแหล่งกำเนิดแรงดันอิสระอนุกรมกับตัวต้านทาน โดยที่แรงดันของแหล่งกำเนิดมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจรระหว่างสองขั้วที่พิจารณา และความต้านทานมีค่าเท่ากับ ความต้านทานสมมูลระหว่างสองขั้วที่พิจารณา ซึ่งคำนวณในภาวะที่แหล่งกำเนิดอิสระทุกตัวไม่จ่ายกำลัง”

ทฤษฎีนอร์ตัน

วงจรไฟฟ้าในบางกรณี อาจไม่เหมาะสมที่จะแสดงให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลเทวินิน วงจรสมมูลนอร์ตัน จึงเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่อาจมีความเหมาะสมกว่า หลักในการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลนอร์ตันมีความคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลเทวินิน โดยทฤษฎีบทนอร์ตันกล่าวไว้ว่า “วงจรเชิงเส้นสองขั้วใด ๆ สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของแหล่งกำเนิดกระแสอิสระขนานกับตัวต้านทาน โดยที่ กระแสของแหล่งกำเนิดมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจรระหว่างสองขั้วที่พิจารณาและความต้านทานมีค่าเท่ากับ ความต้านทานสมมูลระหว่างสองขั้วที่พิจารณาซึ่งคำนวณในภาวะที่แหล่งกำเนิดอิสระทุกตัวไม่จ่ายกำลัง”

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-13001 บนชุดแผงหลัก KL-21001 และให้ดูที่บล็อก c
2. ต่อวงจรตามรูป 4.1 และ 4.2 และใช้จัมเปอร์ดังภาพ



รูป 4.1

รูป 4.2 วงจรไดโอดแกรม (KL-24002 บล็อก c)

3. ปรับแหล่งจ่ายเป็น +15V และ -12V จากปุ่มปรับแหล่งจ่ายและฟิสิกซ์แรงดันไฟฟ้าคงที่บนโมดูล KL-22001 ไปที่ +V และ -V ตามลำดับ

4. ต่อมิลลิตีแอมป์มิเตอร์ในลักษณะอนุกรมกับ R6

ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R6 บนมิลลิแอมป์มิเตอร์

$$I_{R6} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

หมายเหตุ : ค่ากระแส I_{R6} เป็นกระแสรวมของ I_1 ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟ +15 V และ I_2 ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟ -12V

5. ปลดแหล่งจ่ายไฟลบออกและต่อจุดต่อ -V และ GND เข้าด้วยกัน ผลคือทำให้ความต้านทาน R5 และ R6 ต่อในลักษณะขนานทำการวัดและบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านค่าความต้านทาน R6 บนมิลลิแอมป์มิเตอร์ $I_1 =$

6. ปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟปลดหรือถอดแหล่งจ่ายไฟบวก และต่อจุดต่อ +V และ GND เข้าด้วยกัน ผลคือทำให้ความต้านทาน R4 และ R6 ต่อในลักษณะขนาน กลับหัวของมิลลิแอมป์มิเตอร์แล้วเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟ ทำการวัดและบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านค่าความต้านทาน R₆ บนมิลลิแอมป์มิเตอร์

$$I_2 = \quad \text{mA}$$

7. คำนวณค่ากระแส $I_{R6} = I_1 + (-I_2) =$ mA

ค่ากระแส I_{R6} ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัดมีค่าใกล้เคียงกันใช่หรือไม่?

8. วัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด a กับจุด b โดยใช้โวลต์มิเตอร์และบันทึกผลเป็นค่า E_{TH}

$$E_{TH} = \quad V$$

ให้คำนวณค่าความต้านทานเทียบเท่าของ R4 และ R5 ในลักษณะขนานและบันทึกผลเป็น R_{TH}

$$R_{TH} = \Omega$$

ดังนั้นเราจะได้ค่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเทียบเท่า E_{TH} และค่าความต้านทานเทียบเท่า R_{TH} สร้างเป็นวงจรเทียบเท่าดังแสดงในรูป 4.3

คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_6 ด้วยการใช้สมการข้างล่าง

$$I_{R6} = E_{TH}/(R_{TH}+R_6) = \quad \text{mA}$$

ค่า $|R_6|$ ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับค่า $|R_6|$ ในขั้นตอนที่ 4 ใช่หรือไม่

- ## 9. ทำการแก้ไขวงจรรูป 4.1

10. ถอดหรือปลดตัวต้านทาน R6 ออกจากวงจร

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุด a และ b ด้วยการใช้มิลลิแอมป์มิเตอร์ และบันทึกค่ากระแส I_N

$$I_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

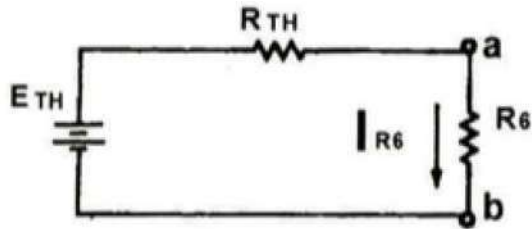
$$R_N = R_{TH} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

ดังนั้นเราจะได้แหล่งจ่ายกระแสเทียบเท่า I_N ของนอร์ตัน และค่าความต้านทาน R_N และสร้างวงจรเทียบเท่าดังแสดงในรูป 4.4

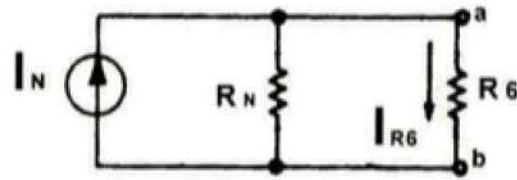
คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_6 ด้วยการใช้สมการข้างล่างนี้

$$I_{R6} = I_N \times R_N / (R_N + R_6) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

ค่า I_{R6} ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับค่า I_{R6} ในขั้นตอนที่ 4 ใช่หรือไม่



รูป 4.3 วงจรสมมูลของเทวินิน



รูป 4.4 วงจรสมมูลของนอร์ตัน

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 5 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเข้าใจนิยามและฟังก์ชันของพลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาการวัดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments Module
3. Multimeter

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาทีหรือวัตต์ เขียนสมการได้ดังนี้

$$P = E \times I, \quad P = I^2 \times R, \quad P = E^2 / R$$

where P = power in watts

E = voltage in volts

I = current in amperes

R = resistance in ohms

ขั้นตอนการทดลอง

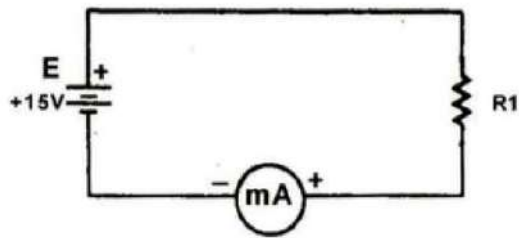
1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24002 บนชุดแผงหลัก KL-22001 และให้ดูที่บล็อก a
2. ใช้โอห์มมิเตอร์ วัดและบันทึกค่าความต้านทานของ R1 ที่ $1\text{ K}\Omega \pm 5\%$, 1/2 W

R1 = _____ $\text{K}\Omega$

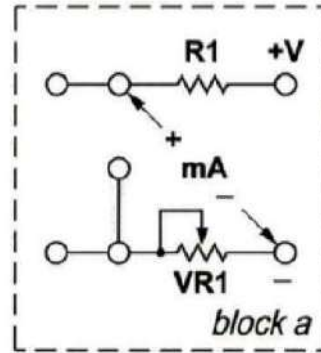
3. เชื่อมต่อวงจรตามที่แสดงในรูป 5.1 และวงจรไดอะแกรมในรูป 5.2 ปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น +15VDC จากปุ่มปรับแหล่งจ่ายในโมดูล KL-22001 เข้าที่ +V บนบล็อก a

4. ทำการวัดกระแสไฟฟ้าและบันทึกผลที่ได้จากมิลลิแอมป์มิเตอร์ I = _____ mA

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....



รูป 5.1



รูป 5.2 วงจรไดอะแกรม (KL-24002 บล็อก a)

5. ใช้สมการ $P = E \times I$ และค่าจากขั้นตอนที่ 3 และ 4 มาคำนวณและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในวงจรนี้

$$P = \text{_____} \text{ W}$$

6. ใช้สมการ $P = E^2/R$ และค่าจากขั้นตอนที่ 2 และ 3 มาคำนวณและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียใน $R1$

$$P = \text{_____} \text{ W}$$

7. ใช้สมการ $P = I^2 R$ และค่าจากขั้นตอนที่ 2 และ 4 มาคำนวณและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียใน $R1$

$$P = \text{_____} \text{ W}$$

8. ท่านยอมรับค่ากำลังไฟฟ้าเหล่านี้ไหม? _____

9. ปิดแหล่งจ่ายไฟ

ใช้นิ้วแต่ที่ตัวต้านทาน $R1$ เพื่อรับรู้ถึงอุณหภูมิบนตัวต้านทาน
กำลังไฟฟ้าถูกเปลี่ยนรูปเป็นอะไร? _____

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 6 ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด
2. เพื่อเข้าใจในการใช้ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiment Module
3. Multimeter

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีบทการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด กล่าวว่า แหล่งจ่ายพลังงานที่สามารถแทนได้ด้วยวงจรสมมูลเทวินิน จะถ่ายโอนพลังงานให้กับโหลดได้สูงสุด เมื่อโหลด R_L มีค่าเท่ากับความต้านทานสมมูลเทวินิน R_{TH} ของแหล่งจ่ายพลังงาน

$$I = E_{TH} / (R_{TH} + R_L)$$

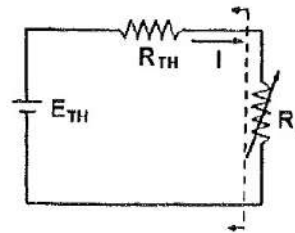
□

$$P_{RL} = I^2 \times R_L$$

$$P_{RL} = [E_{TH} / (R_{TH} + R_L)]^2 \times R_L$$

or

$$P_{RL} = (E_{TH}^2 \times R_L) / (R_{TH} + R_L)^2$$

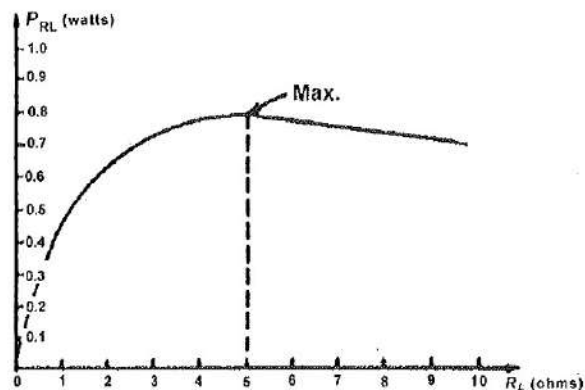


รูปที่ 6.1 วงจรสมมูลเทวินิน

สมมติให้ $E_{TH} = 4 \text{ V}$ และ $R_{TH} = 5 \text{ โอห์ม}$ เมื่อ P_{RL} สามารถคำนวณได้จากสูตร จะได้ $P_{RL} = 4^2 R_L / (5 + R_L)^2$ เมื่อลองแทนค่า R_L โดยเริ่มจาก 1 – 9 โอห์ม โดยเพิ่มทีละ 1 โอห์ม ผลที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะเกิดขึ้นเมื่อค่า R_L มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานสมมูลเทวินิน R_{TH}

(Ohms)	(Watts)
1	0.445
2	0.655
3	0.750
4	0.790
5	0.800
6	0.792
7	0.780
8	0.760
9	0.735

ตารางที่ 6.1



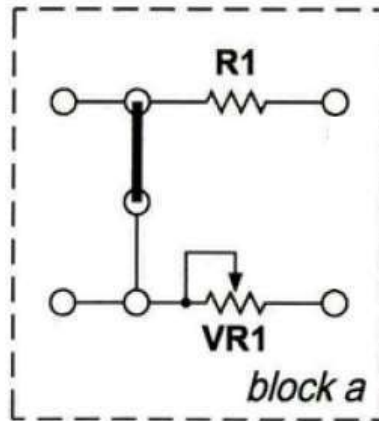
$$R_{TH} = R_L$$

รูปที่ 6.2

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24002 บนชุดแผงหลัก KL-22001 และให้ดูที่บล็อก a
2. ต่อดังตามรูป 6.1 และ 6.3 และใช้จัมเปอร์ดังภาพ
3. กำหนดหรือตั้งค่าแหล่งจ่ายไฟบวก +15V และต่อไปยังจุดต่อ +V บนบล็อก a แล้วปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ



รูป 6.3 วงจรไดอะแกรม (KL-24002 บล็อก a)

4. ปรับค่า VR1 ไปที่ $250\ \Omega$ (ให้ $R1 = R_{TH}$, $VR1 = R_L$)

เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ

ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน VR1 ตามที่แสดงบนมิลลิแอมป์มิเตอร์

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

จากนั้นให้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียใน VR1 โดยใช้สมการ

$$P_{RL} = I_2 \times R_L, P_{RL} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

ทำการปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ

5. ปรับ VR1 ไปที่ $500\ \Omega$ และทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำ

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$P_{RL} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

6. ปรับ VR1 ไปที่ $1K\Omega$ และทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำ

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$P_{RL} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

7. ปรับ VR1 ไปที่ $1.25K\Omega$ และทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำ

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$P_{RL} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

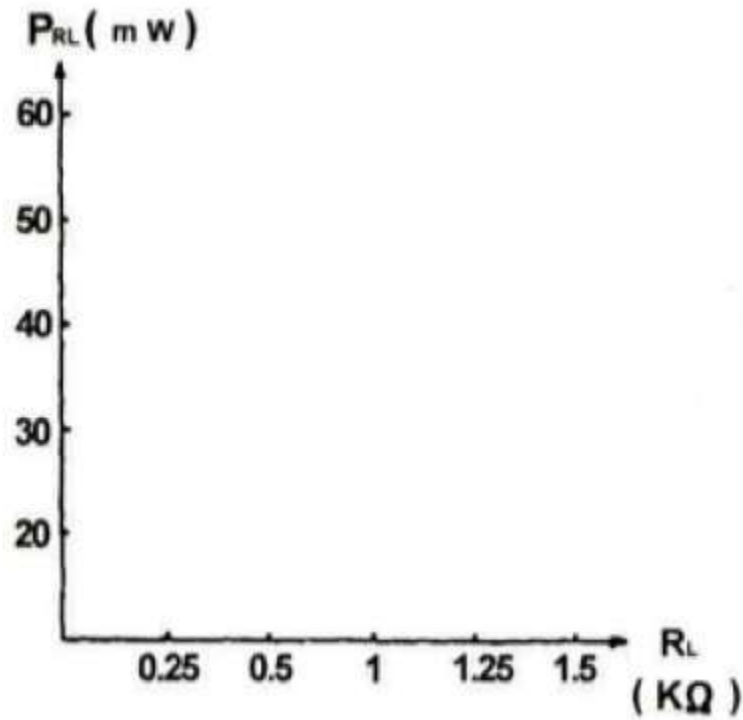
8. ปรับ VR1 ไปที่ $1.5K\Omega$ และทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำ

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

$$P_{RL} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

9. นำค่า I ที่วัดได้และค่า P_{RL} ที่ได้จากการคำนวณมาพล็อตกราฟ รูป 6.4



รูป 6.4 กราฟความสัมพันธ์ P_{RL} ต่อ R_L

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 7 วงจร AC RC

วัตถุประสงค์

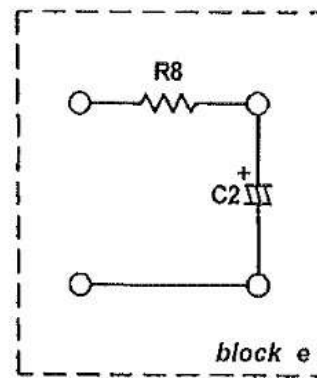
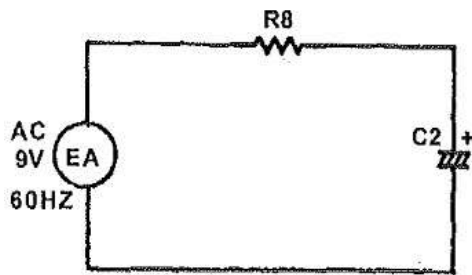
1. เพื่อศึกษาและเข้าใจคุณลักษณะของวงจร RC แบบอนุกรม
2. เพื่อศึกษาและเข้าใจคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance), อิมพีแดนซ์ และมุมเฟส (phase angle)

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Circuit Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments Module
3. Multimeter

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24001 บนชุดแผงหลัก KL-22001 และให้ดูที่บล็อก e
2. ต่อวงจรตามรูป 7.1 ด้วยการใช้จัมเปอร์ และจ่ายไฟสลับ (AC SOURCE) 0-9 V ไปที่ EA ทำการวัดและบันทึกค่า EA = _____ V



รูปที่ 7.1

3. ให้คำนวณหาค่าดังต่อไปนี้ :

รีแอกแตนซ์ ของ C2 $X_C =$ _____ Ω

อิมพีแดนซ์ทั้งหมด $Z_T =$ _____ Ω

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร $I =$ _____ mA

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R8 $E_R =$ _____ V

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C2 $E_C =$ _____ V

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย $P =$ _____ mW

4. วัดและบันทึกค่า E_R และ E_C ด้วยการใช้โอซี. โวลต์มิเตอร์

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R8 $E_R =$ _____ V

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C2 $E_c =$ _____ V

ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3?

5. ด้วยการใช้สมการ ให้คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร

$E_A =$ _____ V

ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2?

ถ้าไม่ใช่ ให้อธิบาย _____

6. ใช้ค่า E_R และ E_C ที่วัดได้มาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้า I

$I =$ _____ mA

ค่ากระแสที่คำนวณได้นี้มีค่าเท่ากับค่ากระแส I ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3 ใช่หรือไม่?

7. ใช้ค่า R, X_C และ ZT มาเขียนเวกเตอร์ ไดอะแกรม

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

การทดลองที่ 8 วงจร AC RL

วัตถุประสงค์

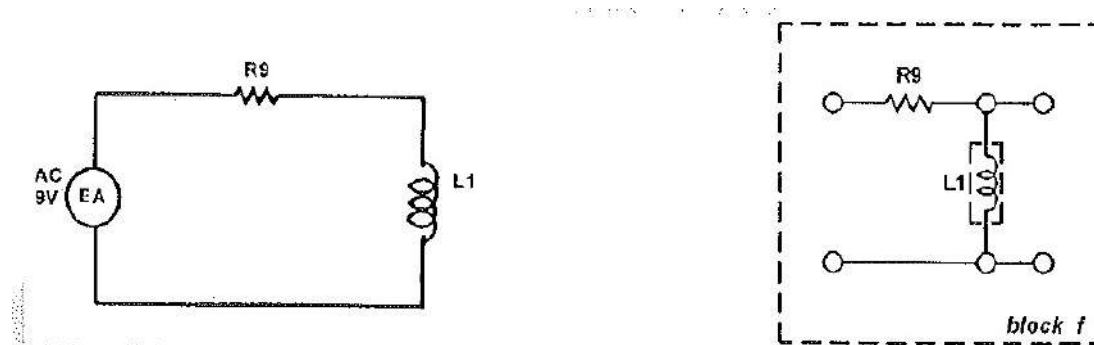
1. เพื่อศึกษาและเข้าใจคุณลักษณะของวงจร RL แบบอนุกรม
2. เพื่อศึกษาและเข้าใจอินดักทิฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance), อิมพีแดนซ์ และมุมเฟส (phase angle)

อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. KL-22001 Basic Electricity Circuit Lab
2. KL-24002 Basic Electricity Experiments Module
3. Multimeter

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งแผงโมดูล KL-24002 บนชุดแผงหลัก KL-22001 และให้ดูที่บล็อก f เชื่อมต่อค่าเหนี่ยวนำ 0.5 H เข้ากับตำแหน่ง L1



รูปที่ 8.1

2. ต่อวงจรตามรูป 3-2-1 และ 3-2-2 ด้วยการใช้จัมเปอร์ และจ่ายไฟสลับ (AC SOURCE) 0-9 V ไปที่ EA ทำการวัดและบันทึกค่า $E_A =$ _____ V

3. ให้คำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

รีแอกแตนซ์ ของ L1 $X_L =$ _____ Ω

อิมพีแดนซ์ทั้งหมด $Z_T =$ _____ Ω

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร $I =$ _____ mA

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R9 $E_R =$ _____ V

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L1 $E_L =$ _____ V

ตัวแปรปริมาณ $Q = X_L/R =$ _____

มุมเฟส $\theta =$ _____

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย $P =$ _____ mW

4. วัดและบันทึกค่า E_R และ E_L ด้วยการใช้เฮซี. โวลต์มิเตอร์

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R9 $E_R =$ _____ V

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L1 $E_L =$ _____ V

ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3?

5. ด้วยการใช้สมการ ให้คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร

$E_A =$ _____ V

ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2?

ถ้าไม่ใช่ ให้อธิบาย _____

6. ใช้ค่า R, XC และ ZT มาเขียนเวกเตอร์ ไดอะแกรม

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วันที่ทำการทดลอง ลงชื่ออาจารย์ผู้สอน.....

เอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติงาน

ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 1

(Engineering Workshop I)

โดย

ชื่อ รหัส

ระดับ ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ปีการศึกษา 1/.....

ผู้สอน ดร.รัชฎ์ สุทธิ

ลักษณะรายวิชา

1. ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 1(0-3-1)
- 2 . สภาพรายวิชา กลุ่มวิชาแกนและวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมควบคุม
3. ระดับรายวิชา ภาคการศึกษาที่ 1 ชั้นปีที่ 1
4. พื้นฐาน –
5. จำนวนหน่วยกิต 1 หน่วยกิต
6. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 - 6.1 รู้กฎของความปลอดภัยในโรงงาน
 - 6.2 เข้าใจการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องมือพื้นฐาน
 - 6.3 มีทักษะในการใช้เครื่องมือพื้นฐานทางวิศวกรรม
 - 6.4 มีทักษะในการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ
 - 6.5 มีเจตคติที่ดีต่อการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรม
7. คำอธิบายรายวิชา ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตงานโลหะพื้นฐาน เช่นงานร่างแบบงานตัดงานเจาะ งานทำเกลียว งานเชื่อม งานตะไบ การใช้เครื่องมือวัดในงานวิศวกรรม ความปลอดภัยและการบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงฝึกปฏิบัติงาน

10 คุณสมบัติของวิศวกรที่ดี

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องฝึกฝนพัฒนาวิศวกรและช่างให้มีความพร้อมในการที่จะรองรับการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงจากเกษตรกรรมไปสู่อุตสาหกรรม วิศวกรและช่างมีมากมายหลายสาขา แต่การที่จะหาวิศวกรและช่างที่ดีอย่างสมบูรณ์แบบได้นั้นหาได้ยากบุคคลที่เหมาะสมจะเป็นวิศวกรหรือช่างที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถ วิศวกรที่ดีต้องเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถในการสายงานด้านอาชีพของตนเป็นอย่างดี รู้ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ และรู้ต่อไปอีกว่าเพราะเหตุใดจึงทำอย่างนั้น ทำไมทำแบบนี้จึงใช้ไม่ได้ ต้องรู้ถึงแก่นถึงเหตุถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนั้นตลอดเวลาการทำงานจะต้องมีคำถามตัวเองว่าทำไมจึงต้องทำอย่างนี้ ทำอย่างอื่นหรือวิธีอื่นได้หรือไม่ และนอกจากนี้จะต้องมีการหาความรู้หรือการฝึกเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

2. ความมีประสิทธิภาพ วิศวกรที่ดีจะต้องคำนึงถึงเวลาเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับลูกค้าหรือผู้ที่มารับบริการ นายจ้างหรือผู้บังคับบัญชาที่ต้องการให้งานสำเร็จภายในระยะเวลาอันสั้นที่สุดไม่มีลูกค้าหรือนายจ้างคนใดที่จะยอมให้การทำงานขึ้นนั้น ๆ เสร็จเมื่อใดก็ได้ เพราะการทำงานในด้านอุตสาหกรรมจะต้องมีการแข่งขันจะหยุดนิ่งอยู่กับที่ไม่ได้ ดังนั้นช่างที่ดีจะต้องเป็นผู้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำงานเสร็จภายในเวลาอันสั้นที่สุดและคุณภาพดีที่สุดในสิ่งที่ทำได้

3. ความตั้งใจ วิศวกรที่ดีจะต้องทำงานในความรับผิดชอบของตนด้วยความตั้งใจและเอาใจใส่ต่องานนั้น ๆ อย่างเต็มที่ เพราะถ้าขาดสิ่งเหล่านี้คุณภาพของงานที่ออกมาจะไม่ดีและอาจเกิดอุบัติเหตุหรือความเสียหายร้ายแรงเกิดขึ้นกับการทำงานที่รับผิดชอบอยู่ได้

4. มีแบบแผน วิศวกรจะทำงานแต่ละอย่างจะต้องมีการวางแผนในการทำงานว่าควรจะทำอะไรก่อนหลังเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การทำงานเป็นไปด้วยความรวดเร็ว เครื่องมือ อุปกรณ์ ชิ้นงานจะต้องทำการจัดวางให้เป็นระเบียบ ขึ้นไหนใช้บ่อยให้วางไว้ใกล้มือให้สามารถหยิบใช้ง่ายและสะดวกจะต้องมีการจัดหมวดหมู่เครื่องมืออุปกรณ์ให้เป็นระเบียบและมีการจัดวางให้ตรงกับหลักวิชาการในการวางแผนการทำงานอย่างมีแบบแผนจะทำให้งานสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ

5. มีมนุษยสัมพันธ์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะวิศวกรจะต้องเผชิญหน้ากับกลุ่มคนหลายระดับชั้นทั้งความรู้ความสามารถ ความคิด วิศวกรที่ดีจะต้องรู้จักวิทยาทางด้านต่าง ๆ ต้องรู้จักการวางตัวการปกครอง การผูกมิตร และสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับกาลเทศะรู้จักการเอาใจเขามาใส่ใจเรา

6. ความสะอาด เป็นสิ่งสำคัญในการทำงานที่ต้องการความละเอียด ความประณีต เพื่อให้การทำงานของชิ้นงานที่ทำออกมาสามารถใช้งานได้ดีและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานนอกจากความสะอาดในการทำงานแล้ว เสื้อผ้าการแต่งกายจะต้องสะอาดเรียบร้อยเหมาะสมกับการทำงาน

7. มีความร่าเริง เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ร่วมงานพลอยมีชีวิตร่าเริงไปด้วย ซึ่งจะทำให้ผลปฏิบัติงานต่าง ๆ ขึ้นเพราะทุกคนมีความร่าเริงแจ่มใสกระปรี้กระเปร่าพร้อมที่จะทำงานด้วยความเบิกบาน จะมีความตั้งใจที่จะทำงานอย่างเต็มที่และเต็มที่ ซึ่งจะทำให้ผลงานที่ออกมาดีมีคุณภาพ

8. ความปลอดภัย วิศวกรที่ดีจะต้องรู้ถึงกฎความปลอดภัยของโรงงานและของการทำงานต่าง ๆ ว่ามีข้อควรระวังป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายได้อย่างไร เพราะงานแต่ละอย่างมีข้อควรระวังและการป้องกันอันตรายไม่เหมือนกัน วิศวกรจะต้องรอบรู้และเฝ้าระวังเกี่ยวกับกฎความปลอดภัยและการปฏิบัติเมื่อเกิดภัย

9. พละนาามัยดีสุขภาพร่างกายของคนเรามีความสำคัญมากต่อการทำงานเพราะนอกจากจะใช้สมองในการวินิจฉัยไตร่ตรองแก้ไขในการปฏิบัติงานแล้ว ยังต้องใช้กำลังในการปฏิบัติงานควบคู่กันไปด้วย ฉะนั้นวิศวกรที่ดีจะต้องรักษาสุขภาพร่างกายให้สมบูรณ์แข็งแรงอยู่เสมอ

10. ความซื่อสัตย์สุจริต เป็นสิ่งที่ทำให้หน่วยงาน บุคคล มีความเจริญก้าวหน้า ไม่มีนายจ้างหรือลูกค้าคนใดที่ต้องการคนที่ทำงานให้ที่มีความไม่ซื่อสัตย์มาทำงานให้ นอกจากจะไม่มีความต้องการของโรงงาน นายจ้างแล้ว ความไม่ซื่อสัตย์ยังเป็นการทำลายอนาคตความเจริญก้าวหน้าของตนเองด้วยความซื่อสัตย์สุจริตต่อหน้าที่การงาน ต่อเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนผู้เป็นนายจ้าง ผู้บังคับบัญชา ยอมรับการ ผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานของตนเองด้วยความเต็มใจและด้วยบริสุทธิ์ใจ



ใบสรุปการเข้าฝึกงาน

ชื่อ สาขาวิชา รหัส

สัปดาห์ที่	วันที่	ทฤษฎี	งานที่ฝึก	หมายเหตุ
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
มาเรียน สัปดาห์ ขาด.....สัปดาห์ ลา สัปดาห์ สาย.....ชั่วโมง				



ใบสรุปคะแนนเข้าฝึกงาน

ชื่อ สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ รหัส.....

ลำดับที่	หมายเลขแบบงาน	ชื่องาน	คะแนน เต็ม	คะแนน % ที่ได้	เก็บ
1	EW-01	ชื่อเครื่องมือพื้นฐาน	100		1
2	EW-02	การอ่านสเกลบรรทัด			1
3	EW-03	การอ่านสเกลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์			3
4	EW-04	กล้องกระต๊าก			3
5	EW-05	งานเลื่อย			4
6	EW-06	งานกัด			5
7	EW-07	ตะไบหยาบ			8
8	EW-08	ตะไบละเอียด			8
9	EW-09	งานเจาะรู TAP			6
10	EW-10	งานชุบปรับ			5
11	EW-11	งานลับดอกสว่าน			3
12	EW-12	งานเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนบางหน้า งาน ต่อชนตำแหน่งทำเชื่อม PA /1G			3
13	EW-13	ตัดเกลียวนอก			3
14	EW-14	ทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ			20
รวม % คะแนนงานฝึก					
คะแนนเก็บงานฝึก 73 %					
สอบกลางภาคเรียน10%					
สอบปลายภาคเรียน10%					
เวลาเรียนและกิจกรรม7%					
คะแนนที่ได้					
เกรด					



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
 ชื่องาน ชื่อเครื่องมือพื้นฐานหมายเลขแบบงาน หมายเลขแบบงาน EW-01

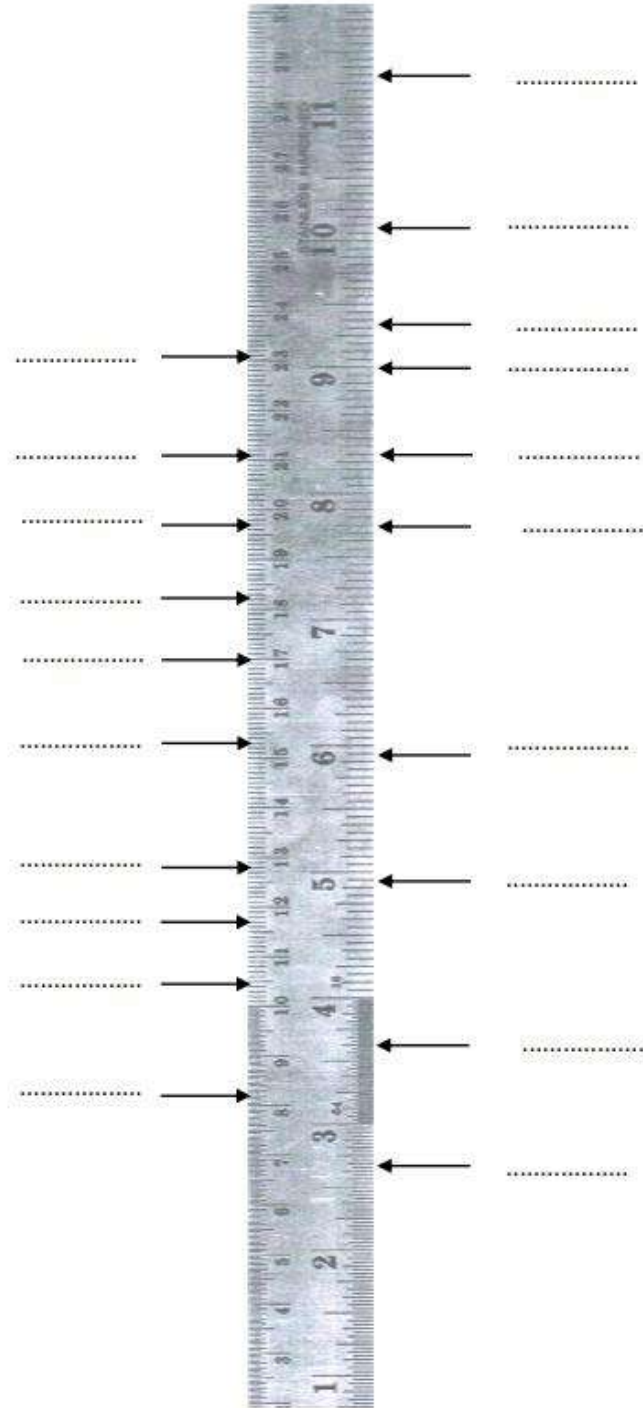


ดูรูปภาพแล้วนำหมายเลขชื่อเครื่องมือไปใส่ให้ถูกต้อง

1.คีมผสม (Combination Pliers)	11.ค้อนหัวกลม(Ball Pein Hammer)
2.คีมจับท่อ(Water pump Pliers, Rib joint Pliers)	12.เหล็กตอกนำศูนย์(Center Punch)
3.ด้ามประแจล็อก(Reversible Ratchet)	13.เวอร์เนียคาลิเปอร์(Vernier Caliper)
4.ประแจล็อก(Sockets)	14.วงเวียนถ่ายขนาดภายนอก(Outside Caliper)
5.ประแจปากตาย(Spanner)	15.ตะไบ(File)
6.ประแจเลื่อน(Adjustable Spanner)	16.สเก็ด(Chisel)
7.ประแจแหวน(Ring Spanner)	17.ดอกสว่าน(Twist Drill)
8.ประแจรวม(Combination Spanner)	18.เลื่อยมือ(Hacksaw)
9.ไขควงปากแบน(Plain slot Screwdriver)	19.ระดับน้ำ(Spirit Level)
10.ไขควงปากแฉก(Cross slot Screwdriver)	20.บรรทัดพับ(Rule)



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
 ชื่องาน การอ่านสเกลบรรทัด หมายเลขแบบงาน EW-02



	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1 ชื่องาน การอ่านสเกลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หมายเลขแบบงาน EW-03



..... มม. นิ้ว



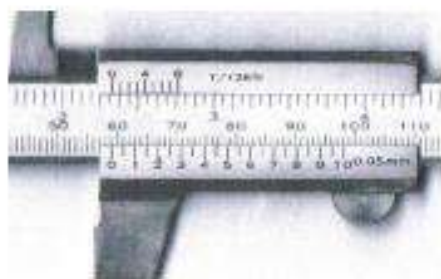
..... มม. นิ้ว



..... มม. นิ้ว



..... มม. นิ้ว



..... มม. นิ้ว



..... มม. นิ้ว



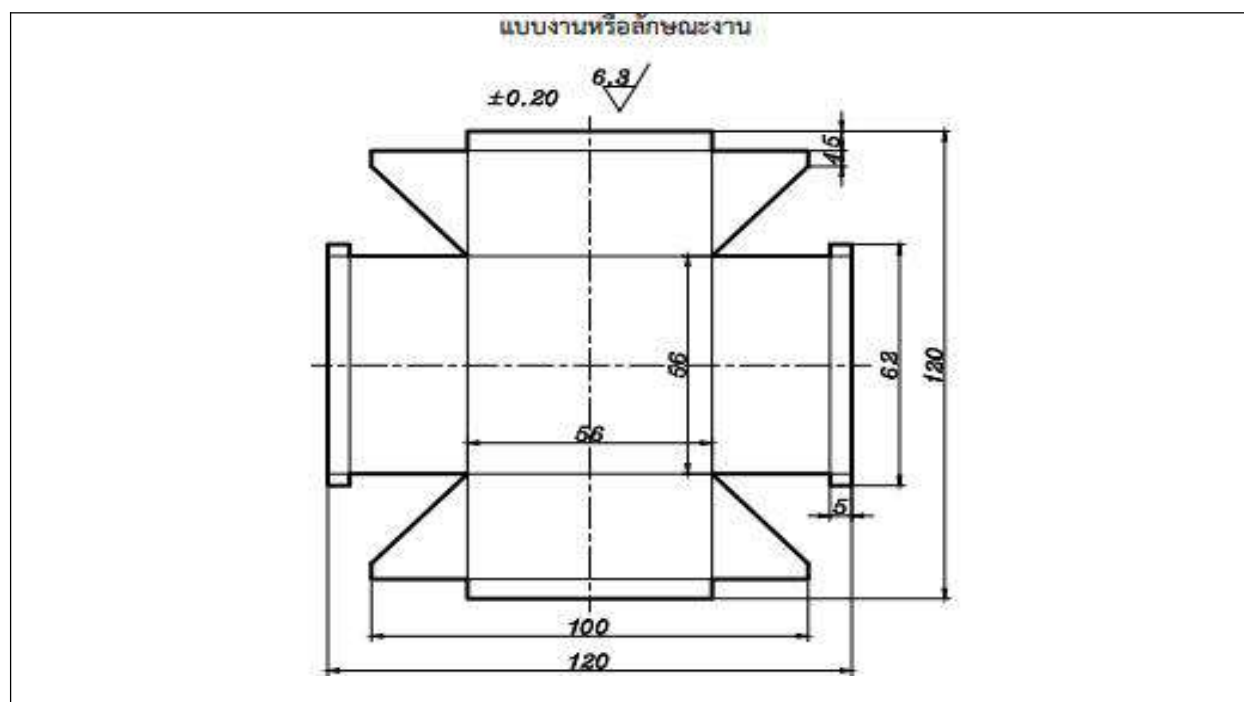
..... มม. นิ้ว



..... มม. นิ้ว



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
ชื่องาน กล่องกระดาษ หมายเลขแบบงาน EW-04



ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

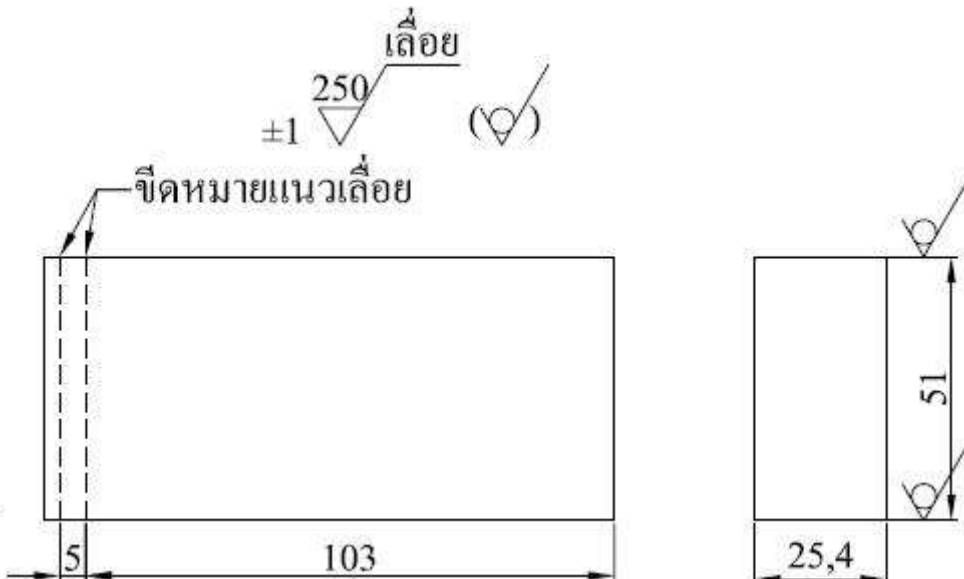
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน กล่องกระดาษ หมายเลขแบบงาน EW-04

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตช์ขั้นตอน การปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : กล้องกระดาษ หมายเลขแบบงาน EW-04					
		รายการประเมิน					
ลำดับที่	รายการประเมิน	ขนาดกำหนด	ขนาดที่วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ขนาดกล่อง	56				2	
2	รอยตัดกระดาษ	56				2	
3	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	27				2	
4	ความเรียบร้อยทั่วไป					4	
5	จิตพิสัย					2	
6	รอยตัดกระดาษ					2	
รวมคะแนน						15	
คะแนนเฉลี่ย 100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน							
คะแนนเต็ม	ขนาด อยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	$> \pm 0.7$	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานขีดหมายเตรียมเลื่อย งานเลื่อย หมายเลขแบบงาน EW-05		
แบบงานหรือลักษณะงาน 			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานขีดหมายเตรียมเลื่อย หมายเลขแบบงาน EW-05		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอน การปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน : งานขีดหมายเตรียมเลื่อย หมายเลขแบบงาน EW-05

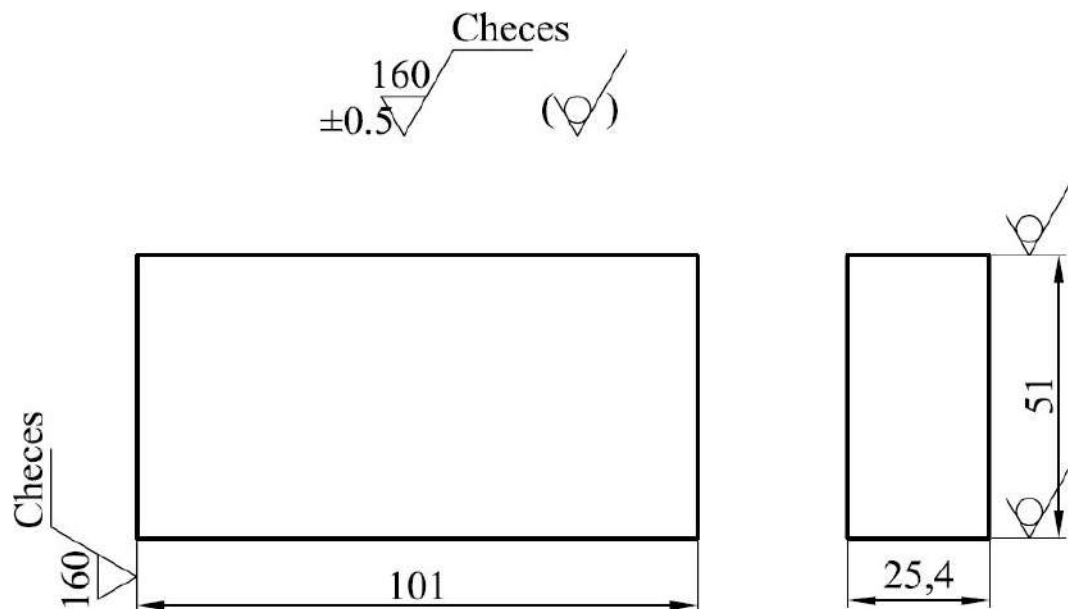
รายการประเมิน

[illegible]



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน : งานสกัด หมายเลขแบบงาน EW-06

แบบงานหรือลักษณะงาน

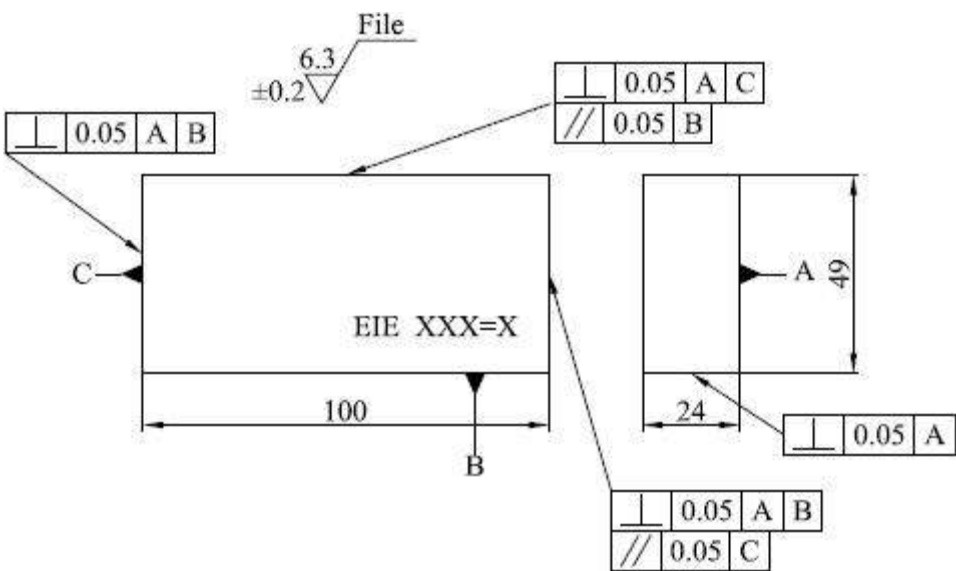


ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

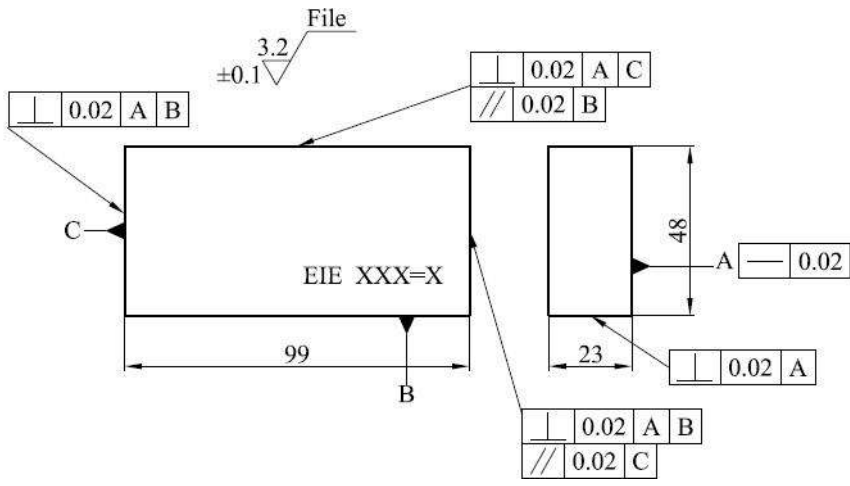
	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานขีดหมายเตรียมเลื่อย หมายเลขแบบงาน EW-06		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอน การปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานเลื่อย หมายเลขแบบงาน EW-06					
รายการประเมิน							
ลำดับ ที่	รายการประเมิน	ขนาด กำหนด	ขนาดที่ วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ขนาดความยาว	101				4	
2	ความราบผิวสกัด					6	
3	ความฉากผิวสกัด					4	
4	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
5	ความเรียบร้อยทั่วไป					2	
6	จิตพิสัย					2	
7	ความราบผิวสกัด					6	
รวมคะแนน						20	
คะแนนเฉลี่ย 100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาด อยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	$> \pm 0.7$	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะไบหยาบ หมายเลขแบบงาน EW-07		
แบบงานหรือลักษณะงาน 			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตช์ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะไบหยาบ หมายเลขแบบงาน EW-07		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอน การปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะไบหยาบ หมายเลขแบบงาน EW-07					
		รายการประเมิน					
ลำดับ ที่	รายการประเมิน	ขนาด กำหนด	ขนาดที่ วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ขนาดความกว้าง	49				1	
2	ขนาดความยาว	100				1	
3	ขนาดความหนา	24				1	
4	ความฉาก A-B	90°				2	
5	ความฉาก A-C	90°				2	
6	ความฉาก B-C	90°				2	
7	ความฉาก B-	90°				2	
8	ความฉาก C-	90°				2	
9	ความราบผิวระนาบที่ A					2	
10	ความราบผิวระนาบที่ B					2	
11	ความราบผิวระนาบที่ C					2	
12	ความราบผิวระนาบที่ตรงข้าม A					2	
13	ความราบผิวระนาบที่ตรงข้าม B					2	
14	ความราบผิวระนาบที่ ตรงข้าม C					2	
15	คุณภาพความเรียบผิว					1	
16	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
17	ความเรียบร้อยทั่วไป					1	
18	จิตพิสัย					1	
รวมคะแนน						30	
คะแนนเฉลี่ย100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาด อยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		±0.3	±0.4	± 0.5	± 0.6	> ± 0.7	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะไบละเอียด หมายเลขแบบงาน EW-08		
แบบงานหรือลักษณะงาน 			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพแสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะไบละเอียด หมายเลขแบบงาน EW-08		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอน การปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ตะโปละเอียด หมายเลขแบบงาน EW-08					
รายการประเมิน							
ลำดับ ที่	รายการประเมิน	ขนาด กำหนด	ขนาดที่ วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ขนาดความกว้าง	48				1	
2	ขนาดความยาว	99				1	
3	ขนาดความหนา	23				1	
4	ความฉาก A-B	90°				2	
5	ความฉาก A-C	90°				2	
6	ความฉาก B-C	90°				2	
7	ความฉาก B -	90°				2	
8	ความฉาก C-	90°				2	
9	ความราบผิวระนาบที่ A					2	
10	ความราบผิวระนาบที่ B					2	
11	ความราบผิวระนาบที่ C					2	
12	ความราบผิวระนาบที่ตรงข้าม A					2	
13	ความราบผิวระนาบที่ตรงข้าม B					2	
14	ความราบผิวระนาบที่ ตรงข้ามC					2	
15	คุณภาพความเรียบผิว					1	
16	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
17	ความเรียบร้อยทั่วไป					1	
18	จิตพิสัย					1	
19	ความเรียบร้อยทั่วไป					1	
20	จิตพิสัย					1	
รวมคะแนน						30	
คะแนนเฉลี่ย							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาด อยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		±0.3	±0.4	± 0.5	± 0.6	> ± 0.7	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

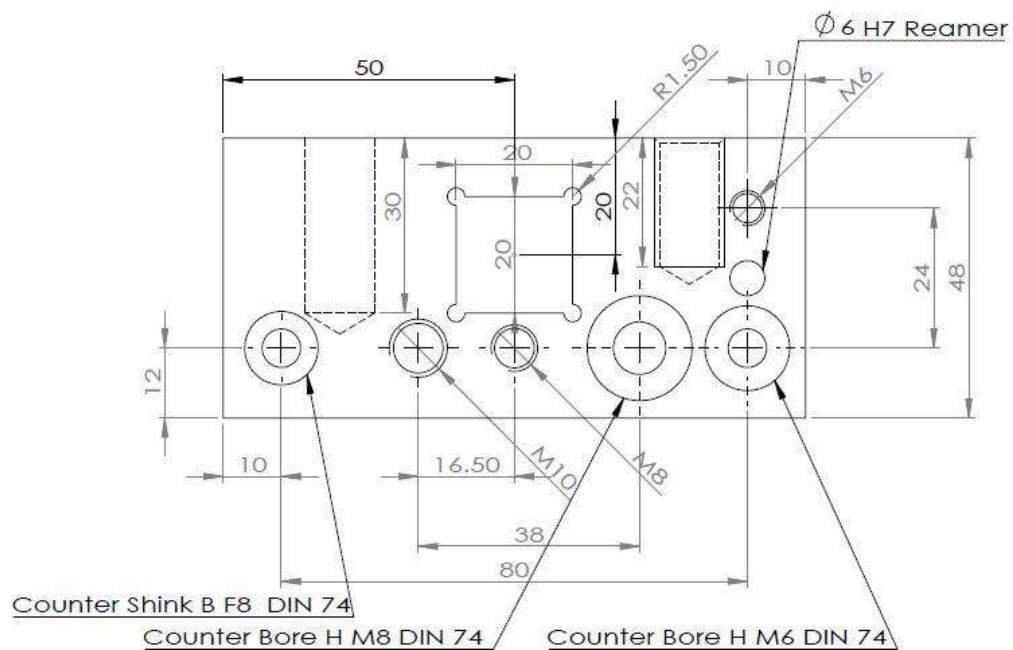


ใบชั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1

ชื่องาน : งานเจาะรู Tap Reamer Counter Bore Counter Shink

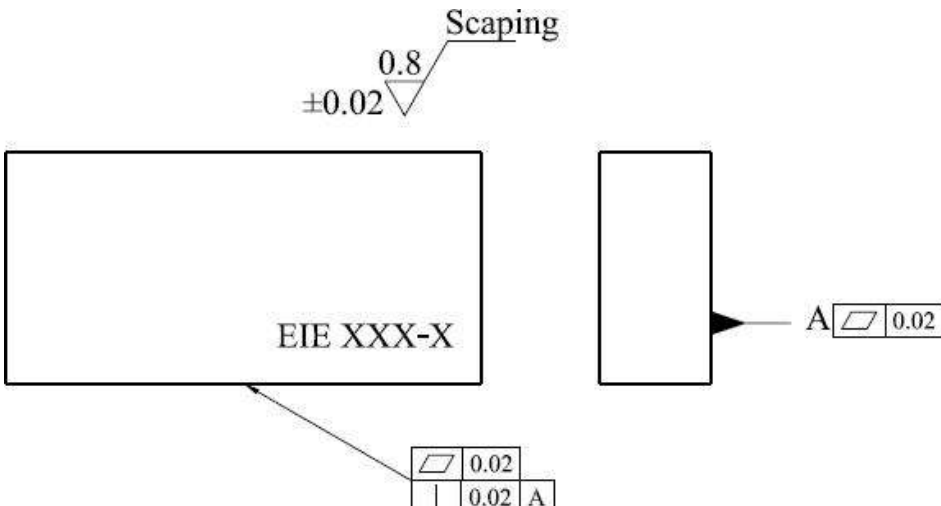
หมายเลขแบบงาน EW-09

แบบงานหรือลักษณะงาน



	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานเจาะรู Tap Reamer Counter Bore Counter Shink หมายเลขแบบงาน EW-09		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานเจาะรู Tap Reamer Counter Bore Counter Shink หมายเลขแบบงาน EW-09					
รายการประเมิน							
ลำดับที่	รายการประเมิน	ขนาด กำหนด	ขนาดที่ วัดได้	ค่า ผิดพลาด	คะแนนที่ ได้	น้ำหนัก	รวม
1		29				1	
2		23				1	
3		80				1	
4	M6					2	
5	M8					2	
6	M10					2	
7	6H7					2	
8	Counter Bore M6					2	
9	Counter Bore M8					2	
10	Counter Shink M6					2	
11	M12 Depth 22					2	
12	Ø12 Depth 30					2	
13	12					2	
14	20					2	
15	รูสี่เหลี่ยม	20				2	
		20				2	
16	ฉากของรู					2	
17	สมมาตรของรู					2	
18	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
19	ความเรียบร้อยทั่วไป					2	
20	จิตพิสัย					1	
รวมคะแนน						38	
คะแนนเฉลี่ย 100 %							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาดอยู่ในพิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		±0.3	±0.4	± 0.5	± 0.6	> ± 0.7	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานชุด หมายเลขแบบงาน EW-10		
แบบงานหรือลักษณะงาน 			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตช์ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

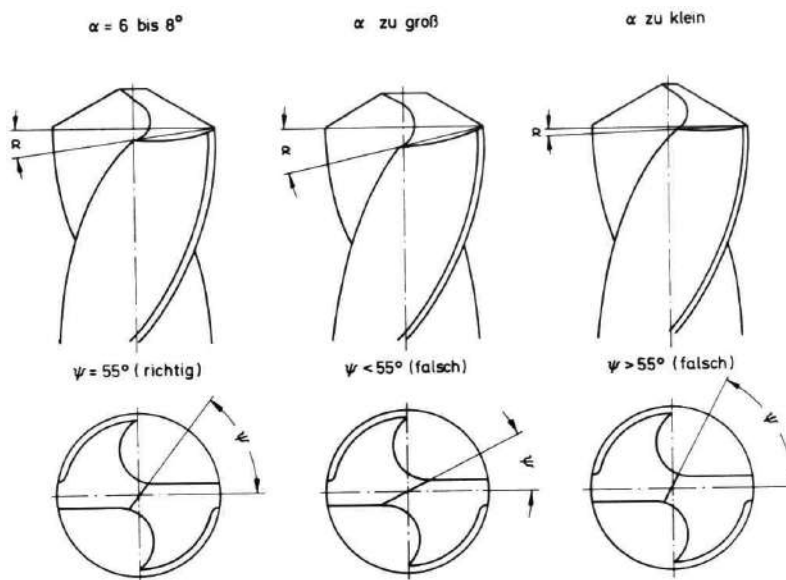
	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานชุด หมายเลขแบบงาน EW-10		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานชุด หมายเลขแบบงาน EW-10					
รายการประเมิน							
ลำดับ ที่	รายการประเมิน	ขนาด กำหนด	ขนาดที่ วัดได้	ค่า ผิดพลาด	คะแนน ที่ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ท่าทาง					2	
2	รอยชุดตรง					2	
3	รอยชุดโค้ง					2	
4	มีดชุดตรง					2	
5	มีดชุดโค้ง					4	
6	ระนาบ					3	
7	ปรับระนาบได้ระดับ					1	
8	คุณภาพผิว					2	
9	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					1	
10	ความเรียบร้อยทั่วไป					3	
11	จิตพิสัย					2	
รวมคะแนน						20	
คะแนนเฉลี่ย 100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาดอยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	$> \pm 0.7$	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน : ถัดดอกสว่าน หมายเลขแบบงาน EW-11

แบบงานหรือลักษณะงาน



ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

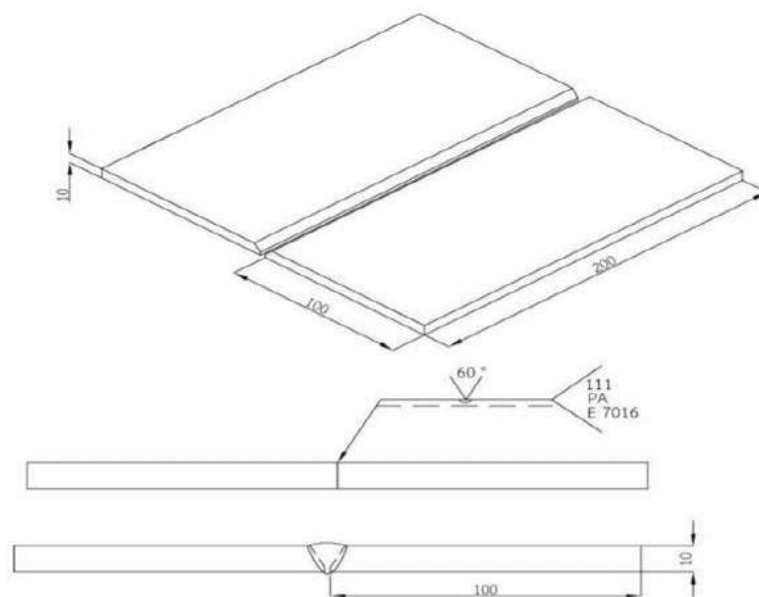
	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ถัดดอกสว่าน หมายเลขแบบงาน EW-11		
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน			
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

		ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : ถัดดอกสว่าน หมายเลขแบบงาน EW-11					
รายการประเมิน							
ลำดับที่	รายการประเมิน	ขนาดกำหนด	ขนาดที่วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ได้	น้ำหนัก	รวม
1	มุมจิก	118°				2	
2	มุมฟรีหลังคมตัด	6°8°				2	
3	มุมคมตัดกว้าง	55°				2	
4	ความยาวคมตัด	= =				1	
5	ขนาดรูเจาะ	=d				1	
6	ความหนาเศษ	= =				2	
7	การม้วนตัวของเศษ					1	
8	ผิวรูเจาะ					1	
9	คุณภาพผิวเจียรไนคมสว่าน					3	
10	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
11	ความเรียบร้อยทั่วไป					1	
12	จิตพิสัย					2	
รวมคะแนน						20	
คะแนนเฉลี่ย 100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน						เกณฑ์ผ่าน 75%	
คะแนนเต็ม	ขนาด อยู่ใน พิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		±0.3	±0.4	± 0.5	± 0.6	> ± 0.7	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน : งานเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนบางหน้างาน ต่อชนตำแหน่งท่าเชื่อม PA /1G
 หมายเลขแบบงาน EW-12

แบบงานหรือลักษณะงาน



ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

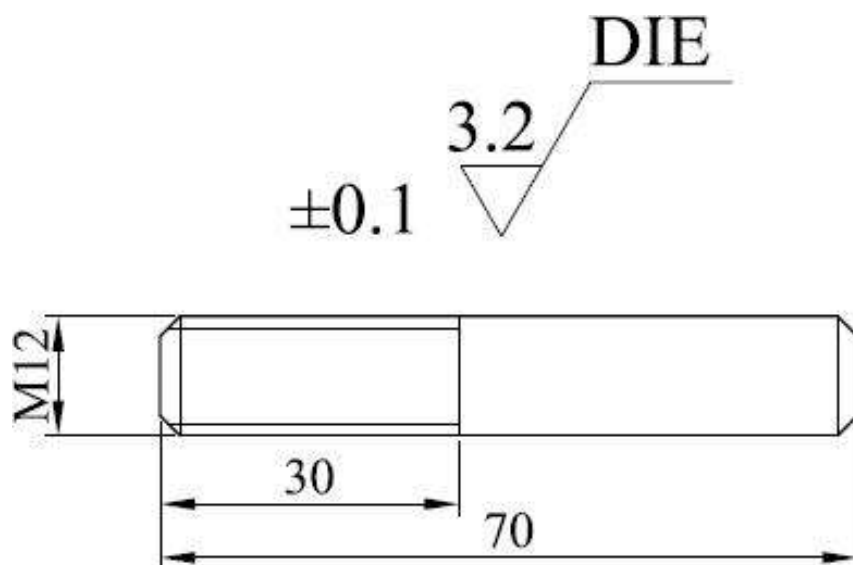
	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนบางหน้างาน ต่อชนตำแหน่งท่าเชื่อม PA /1G หมายเลขแบบงาน EW-12		
	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน		
ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้

	2. รอยเจียรไนไม่เกิน 1 ซม.^2 ให้ 7 คะแนน 3. รอยเจียรไนเกิน 1 ซม.^2 ให้ 1 คะแนน
4	รูพรุน 1. ไม่มีรูพรุนให้ 10 คะแนน 2. มีขนาดความกว้างของรูพรุนรวมกันไม่เกิน 2 มม. ให้ 5 คะแนน 3. มีขนาดความกว้างของรูพรุนรวมกันเกินกว่า 2 มม. ให้ 1 คะแนน
5	ความลึกของรอยแหงนขอบแนวเชื่อม 1. มีรอยแหงนขอบแนวเชื่อม ลึกไม่เกิน 0.5 มม. ให้ 10 คะแนน 2. มีรอยแหงนขอบแนวเชื่อมเกิน 0.5 มม. ถึง 1 มม. ให้ 5 คะแนน 3. มีรอยแหงนขอบแนวเชื่อมเกินกว่า 1 มม. ให้ 1 คะแนน
6	รอยขอบซ้อน 1. ไม่มีรอยขอบซ้อนให้ 10 คะแนน 2. มีรอยขอบซ้อน 1 จุด ให้ 5 คะแนน 3. มีรอยขอบซ้อนเกินกว่า 1 จุด ให้ 1 คะแนน
7	ความนูนของแนวเชื่อม 1. $h \leq 1 + 0.1b$ ให้ 10 คะแนน 2. $h \leq 1 + 0.15b$ ให้ 7 คะแนน 3. $h \leq 1 + 0.25b$ ให้ 4 คะแนน 4. มากกว่า $1 + 0.25b$ ให้ 1 คะแนน
8	แนวเชื่อมเต็มเต็มร่องบากหรือไม่ 1. เต็มเต็มให้ 10 คะแนน 2. เต็มไม่เต็ม ให้ 1 คะแนน
9	ต่อขอบงานเยื้อง 1. เยื้อง(h) น้อยกว่า 0.1t มม. ให้ 10 คะแนน 2. เยื้อง(h) น้อยกว่า 0.15t มม. ให้ 7 คะแนน 3. เยื้อง(h) น้อยกว่า 0.25t มม. ให้ 4 คะแนน 4. เยื้อง(h)มากกว่า 0.25t มม. ให้ 1 คะแนน
10	แนวรากหลอมละลายสมบูรณ์ 1. หลอมละลายสมบูรณ์ให้ 10 คะแนน 2. หลอมละลายไม่สมบูรณ์ความยาว 0.5 มม. ถึง 2 มม. ให้ 5 คะแนน 3. หลอมละลายไม่สมบูรณ์ความยาวมากกว่า 2 มม. ให้ 1 คะแนน
11	รากย้อยเกิน 1. รากย้อยไม่เกิน 1 มม. + $0.3b$ ให้ 10 คะแนน 2. รากย้อยไม่เกิน 1 มม. + $0.6b$ ให้ 7 คะแนน 3. รากย้อยไม่เกิน 1 มม. + $1.2b$ ให้ 4 คะแนน

	4. รากย่อยมากกว่านี้ ให้ 1 คะแนน	
12	แนวรากเกิดการยุบ-เว้า 1. ยุบหรือรอยยุบ(h)ไม่เกิน 0.5 มม. ให้ 10 คะแนน 2. รอยยุบ(h)เกิน 0.5 มม. แต่ไม่เกิน 1.0 มม. ให้ 7 คะแนน 3. รอยยุบ(h)เกิน 1.0 มม. แต่ไม่เกิน 1.5 ให้ 4 คะแนน 4. รอยยุบ(h) เกินกว่า 1.5 ให้ 1 คะแนน	
13	การหดตัวเชิงมุมหรือการบิดตัวของชิ้นงาน (α) 1. α ไม่มากกว่า 5° ให้ 10 คะแนน 2. α มากกว่า 5° แต่ไม่เกิน 7° ให้ 7 คะแนน 3. α มากกว่า 7° แต่ไม่เกิน 8° ให้ 4 คะแนน 4. α มากกว่า 8° ให้ 1 คะแนน	
14	ความกว้างของแนวเชื่อม 1. ต่างกันไม่เกิน 2 มม. ให้ 10 คะแนน 2. ต่างกันเกิน 2 มม. แต่ไม่เกิน 3 มม. ให้ 7 คะแนน 3. ต่างกันเกิน 3 มม. แต่ไม่เกิน 4 มม. ให้ 4 คะแนน 4. ต่างกันเกิน 4 มม. ให้ 1 คะแนน	ผู้ตรวจ :
		วันที่ :

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ชื่องาน : งานตัดเกลียวด้วยมือ(DIE) หมายเลขแบบงาน EW-13

แบบงานหรือลักษณะงาน



ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ที่	ภาพสเกตขั้นตอนการปฏิบัติงาน	คำอธิบายการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ชื่องาน : งานตัดเกลียวด้วยมือ(DIE) หมายเลขแบบงาน EW-13

รายการประเมิน

ลำดับที่	รายการประเมิน	ขนาดกำหนด	ขนาดที่วัดได้	ค่าผิดพลาด	คะแนนที่ได้	น้ำหนัก	รวม
1	ความยาวเกลียว	30				3	
2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียว	12				2	
3	ความฉากของเกลียว					5	
4	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน					2	
5	ความเรียบร้อยทั่วไป					2	
6	จิตพิสัย					1	
รวมคะแนน						15	
คะแนนเฉลี่ย 100%							
หลักเกณฑ์การให้คะแนน					เกณฑ์ผ่าน 75%		
คะแนนเต็ม	ขนาดอยู่ในพิสัย	ค่าผิดพลาด					ผู้ตรวจ :
		±0.3	±0.4	± 0.5	± 0.6	> ± 0.7	
10	10	8	6	4	2	1	วันที่ :

เอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติงาน

ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน

(Engineering Workshop)

โดย

ชื่อ รหัส

ระดับ ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ปีการศึกษา 1/.....

ลักษณะรายวิชา

1. ปฏิบัติการวิศวกรรมโรงงาน 1(0-3-1)
- 2 . สภาพรายวิชา กลุ่มวิชาแกนและวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมควบคุม
3. ระดับรายวิชา ภาคการศึกษาที่ 1 ชั้นปีที่ 1
4. พื้นฐาน –
5. จำนวนหน่วยกิต 1 หน่วยกิต
6. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 - 6.1 รู้กฎของความปลอดภัยในโรงงาน
 - 6.2 เข้าใจการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องมือพื้นฐาน
 - 6.3 มีทักษะในการใช้เครื่องมือพื้นฐานทางวิศวกรรม
 - 6.4 มีทักษะในการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ
 - 6.5 มีเจตคติที่ดีต่อการฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรม
7. คำอธิบายรายวิชา ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตงานโลหะพื้นฐาน เช่นงานร่างแบบงานตัดงานเจาะ งานทำเกลียว งานเชื่อม งานตะไบ การใช้เครื่องมือวัดในงานวิศวกรรม ความปลอดภัยและการบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงฝึกปฏิบัติงาน

10 คุณสมบัติของวิศวกรที่ดี

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องฝึกฝนพัฒนาวิศวกรและช่างให้มีความพร้อมในการที่จะรองรับการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงจากเกษตรกรรมไปสู่อุตสาหกรรม วิศวกรและช่างมีมากมายหลายสาขา แต่การที่จะหาวิศวกรและช่างที่ดีอย่างสมบูรณ์แบบได้นั้นหาได้ยากบุคคลที่เหมาะสมจะเป็นวิศวกรหรือช่างที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถ วิศวกรที่ดีต้องเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถในการสายงานด้านอาชีพของตนเป็นอย่างดี รู้ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ และรู้ต่อไปอีกว่าเพราะเหตุใดจึงทำอย่างนั้น ทำไมทำแบบนี้จึงใช้ไม่ได้ ต้องรู้ถึงแก่นถึงเหตุถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนั้นตลอดเวลาการทำงานจะต้องมีคำถามตัวเองว่าทำไมจึงต้องทำอย่างนี้ ทำอย่างอื่นหรือวิธีอื่นได้หรือไม่ และนอกจากนี้จะต้องมีการหาความรู้หรือการฝึกเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

2. ความมีประสิทธิภาพ วิศวกรที่ดีจะต้องคำนึงถึงเวลาเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับลูกค้าหรือผู้ที่มารับบริการ นายจ้างหรือผู้บังคับบัญชาที่ต้องการให้งานสำเร็จภายในระยะเวลาอันสั้นที่สุดไม่มีลูกค้าหรือนายจ้างคนใดที่จะยอมให้การทำงานขึ้นนั้น ๆ เสร็จเมื่อใดก็ได้ เพราะการทำงานในด้านอุตสาหกรรมจะต้องมีการแข่งขันจะหยุดนิ่งอยู่กับที่ไม่ได้ ดังนั้นช่างที่ดีจะต้องเป็นผู้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำงานเสร็จภายในเวลาอันสั้นที่สุดและคุณภาพดีที่สุดในสิ่งที่ทำได้

3. ความตั้งใจ วิศวกรที่ดีจะต้องทำงานในความรับผิดชอบของตนด้วยความตั้งใจและเอาใจใส่ต่องานนั้น ๆ อย่างเต็มที่ เพราะถ้าขาดสิ่งเหล่านี้คุณภาพของงานที่ออกมาจะไม่ดีและอาจเกิดอุบัติเหตุหรือความเสียหายร้ายแรงเกิดขึ้นกับการทำงานที่รับผิดชอบอยู่ได้

4. มีแบบแผน วิศวกรจะทำงานแต่ละอย่างจะต้องมีการวางแผนในการทำงานว่าควรจะทำอะไรก่อนหลังเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การทำงานเป็นไปด้วยความรวดเร็ว เครื่องมือ อุปกรณ์ ชิ้นงานจะต้องทำการจัดวางให้เป็นระเบียบ ขึ้นไหนใช้บ่อยให้วางไว้ใกล้มือให้สามารถหยิบใช้ง่ายและสะดวกจะต้องมีการจัดหมวดหมู่เครื่องมืออุปกรณ์ให้เป็นระเบียบและมีการจัดวางให้ตรงกับหลักวิชาการในการวางแผนการทำงานอย่างมีแบบแผนจะทำให้งานสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ

5. มีมนุษยสัมพันธ์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะวิศวกรจะต้องเผชิญหน้ากับกลุ่มคนหลายระดับชั้นทั้งความรู้ความสามารถ ความคิด วิศวกรที่ดีจะต้องรู้จักวิทยาทางด้านต่าง ๆ ต้องรู้จักการวางตัวการปกครอง การผูกมิตร และสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับกาลเทศะรู้จักการเอาใจเขามาใส่ใจเรา

6. ความสะอาด เป็นสิ่งสำคัญในการทำงานที่ต้องการความละเอียด ความประณีต เพื่อให้การทำงานของชิ้นงานที่ทำออกมาสามารถใช้งานได้ดีและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานนอกจากความสะอาดในการทำงานแล้ว เสื้อผ้าการแต่งกายจะต้องสะอาดเรียบร้อยเหมาะสมกับการทำงาน

7. มีความร่าเริง เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ร่วมงานพลอยมีชีวิตร่าเริงไปด้วย ซึ่งจะทำให้ผลปฏิบัติงานต่าง ๆ ขึ้นเพราะทุกคนมีความร่าเริงแจ่มใสกระปรี้กระเปร่าพร้อมที่จะทำงานด้วยความเบิกบาน จะมีความตั้งใจที่จะทำงานอย่างเต็มที่และเต็มที่ ซึ่งจะทำให้ผลงานที่ออกมาดีมีคุณภาพ

8. ความปลอดภัย วิศวกรที่ดีจะต้องรู้ถึงกฎความปลอดภัยของโรงงานและของการทำงานต่าง ๆ ว่ามีข้อควรระวังป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายได้อย่างไร เพราะงานแต่ละอย่างมีข้อควรระวังและการป้องกันอันตรายไม่เหมือนกัน วิศวกรจะต้องรอบรู้และเฝ้าระวังเกี่ยวกับกฎความปลอดภัยและการปฏิบัติเมื่อเกิดภัย

9. พละนาถยดีสุภาพร่างกายของคนเรามีความสำคัญมากต่อการทำงานเพราะนอกจากจะใช้สมองในการวินิจฉัยไตร่ตรองแก้ไขในการปฏิบัติงานแล้ว ยังต้องใช้กำลังในการปฏิบัติงานควบคู่กันไปด้วย ฉะนั้นวิศวกรที่ดีจะต้องรักษาสุขภาพร่างกายให้สมบูรณ์แข็งแรงอยู่เสมอ

10. ความซื่อสัตย์สุจริต เป็นสิ่งที่ทำให้หน่วยงาน บุคคล มีความเจริญก้าวหน้า ไม่มีนายจ้างหรือลูกค้าคนใดที่ต้องการคนที่ทำงานให้ที่มีความไม่ซื่อสัตย์มาทำงานให้ นอกจากจะไม่มีความต้องการของโรงงาน นายจ้างแล้ว ความไม่ซื่อสัตย์ยังเป็นการทำลายอนาคตความเจริญก้าวหน้าของตนเองด้วยความซื่อสัตย์สุจริตต่อหน้าที่การงาน ต่อเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนผู้เป็นนายจ้าง ผู้บังคับบัญชา ยอมรับการ ผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานของตนเองด้วยความเต็มใจและด้วยบริสุทธิ์ใจ



ใบสรุปการเข้าฝึกงาน

ชื่อ สาขาวิชา รหัส

สัปดาห์ที่	วันที่	ทฤษฎี	งานที่ฝึก	หมายเหตุ
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
มาเรียน สัปดาห์ ขาด.....สัปดาห์ ลา สัปดาห์ สาย.....ชั่วโมง				



ใบสรุปคะแนนเข้าฝึกงาน

ชื่อ สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ รหัส.....

ลำดับที่	หมายเลขแบบงาน	ชื่องาน	คะแนน เต็ม	คะแนน % ที่ได้	เก็บ
1	EW-01	ชื่อเครื่องมือพื้นฐาน	100		1
2	EW-02	การอ่านสเกลบรรทัด			1
3	EW-03	การอ่านสเกลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์			3
4	EW-04	กล้องกระต๊าก			3
5	EW-05	งานเลื่อย			4
6	EW-06	งานกัด			5
7	EW-07	ตะไบหยาบ			8
8	EW-08	ตะไบละเอียด			8
9	EW-09	งานเจาะรู TAP			6
10	EW-10	งานชุบปรับ			5
11	EW-11	งานลับดอกสว่าน			3
12	EW-12	งานเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนบากหน้า งาน ต่อชนตำแหน่งทำเชื่อม PA /1G			3
13	EW-13	ตัดเกลียวนอก			3
14	EW-14	ทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ			20
รวม % คะแนนงานฝึก					
คะแนนเก็บงานฝึก 73 %					
สอบกลางภาคเรียน10%					
สอบปลายภาคเรียน10%					
เวลาเรียนและกิจกรรม7%					
คะแนนที่ได้					
เกรด					



ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC
คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC
ก.) ส่วนประกอบของเครื่องจักร CNC

โครงสร้างของเครื่องกัดซีเอ็นซี

1. ตัวเครื่องกัด (Milling Machine)
2. ชุดควบคุมซีเอ็นซี(CNC Controller)

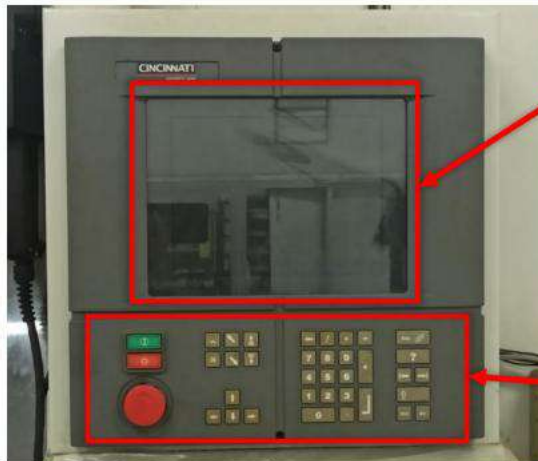


	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ข.) ตัวเครื่องกัด (Milling Machine) ประกอบด้วยส่วนหลักต่างๆ ดังนี้
1.1 เพลากัด (Milling Spindle) ทำหน้าที่ - จับยึดชุดมีดกัด - ขับพาให้มีดกัดหมุน - สามารถหมุนได้ 2 ทิศทาง คือ หมุนตามเข็มนาฬิกา และหมุนทวนเข็มนาฬิกา	
1.2 ชุดเปลี่ยนเครื่องมือ (Tool changers) เรียกอีกอย่างว่า อุปกรณ์เปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติ (ATC : Automatic Tool Changer) มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ 1. แบบเทอร์เทียดเครื่องมือ (Tool Turrets) 2. แบบแม็กกาซีน (Tool Magazines) ทำหน้าที่ - จับยึดเครื่องมือ (มีดกัด, ดอกสว่าน) - หมุนเปลี่ยนเครื่องมือตามที่กำหนดในโปรแกรม CNC หรือเปลี่ยนจากชุดแขวนคอนโทรล	
1.3 ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ทำหน้าที่ - ป้อนสารหล่อเย็นจากตัวถังเก็บเข้าสู่ท่อฉีดสารหล่อเย็น - ช่วยในการหล่อลื่นและการคายเศษโลหะออก - ระบายความร้อนที่มีดกัดและตัวชิ้นงาน	
1.4 โต๊ะงาน (Table) ทำหน้าที่ - โต๊ะงานใช้สำหรับการติดตั้งปากกาจับ ฟิกเจอร์ หรือใช้จับชิ้นงาน โดยตรง	



ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC
คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC

ค.) ชุดควบคุมซีเอ็นซี(CNC Controller) ประกอบด้วยส่วนหลักต่างๆ ดังนี้



2.1 จอแสดงผล(Monitor)

- ใช้แสดงผลการทำงานของโปรแกรม เช่น
แสดงค่าของการตั้งค่าระยะของมีดกัดหรือ
แสดงค่าตำแหน่งของแกนแต่ละแกน

2.2 Key pad

- ใช้สำหรับการควบคุม ป้อน/แก้ไข/
เปลี่ยนแปลงข้อมูล

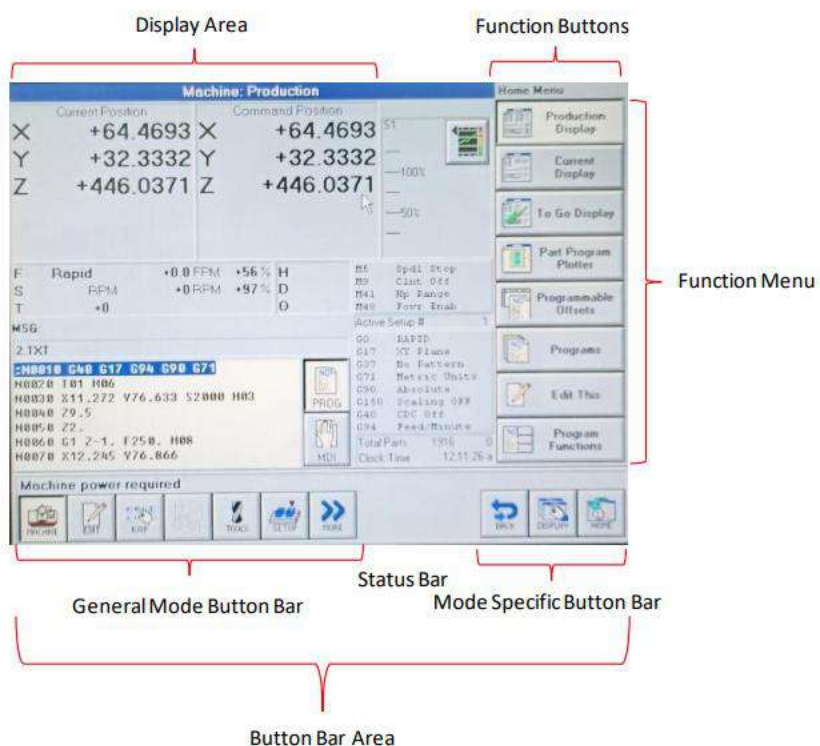


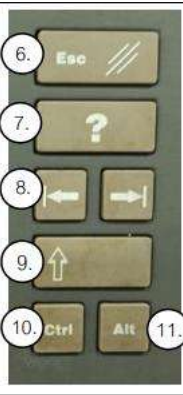
2.3 Pendant Control

- เป็นชุดที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน
ด้านป้อนคำสั่งในการสั่งให้เครื่องทำงาน
เช่น การสั่งให้เปิด-ปิดน้ำหล่อเย็น ,การ
เลื่อนโต๊ะงาน เป็นต้น



ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC
คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC
ง.) จอแสดงผล (Monitor)



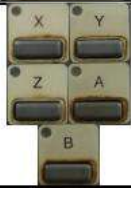
	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC จ.) แนะนำปุ่มบน Key pad		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
	1. Machine On 2. Machine Off 3. Emergency Stop	- กดปุ่มนี้เพื่อทำการเดินเครื่องและทดสอบระบบให้พร้อมก่อนการ Align - กดปุ่มนี้เพื่อหยุดการทำงานของเครื่องจักรหลังการใช้งาน - กดปุ่มนี้ก็ต่อเมื่อต้องการหยุดการทำงานกะทันหัน ระบบจะหยุดการทำงานทั้งหมด	
	4. เลื่อนตำแหน่ง	ปุ่มกดเลื่อนตำแหน่งและเลื่อนหน้า ปุ่มเลื่อนหน้า(Home, เลื่อนหน้าขึ้น, เลื่อนหน้าลง, จบ) มีหน้าที่เลื่อนหน้าถัดไปปุ่ม insert, delete มีหน้าที่เติม(เพิ่ม) และลบข้อความตามชื่อปุ่มเลื่อน(บน,ล่าง,ซ้าย,ขวา) มีหน้าที่ขยับตำแหน่ง เลื่อนไปหน้าและหลังในแต่ละแถว ประโยชน์ ใช้ดูหรือแก้ไขข้อความในบรรทัดนั้น ๆ	
	5. Numeric Keys	เป็นปุ่มตัวเลข 0-9 และ + , - , * , / , ลบที่ละตัว , Enter ปุ่มเหล่านี้จะใช้ได้ใน MDI Block หรือ แก้ไขโปรแกรมทั่วไป เมื่อแก้ไขเสร็จให้กด Enter เข้าไปสู่ส่วนควบคุม	
	6. Escape 7. Help 8. Home ,End 9. Shift 10. Control 11. Alternate	- มีหน้าที่ออกจากสถานะที่อยู่ในขณะนั้นจากเมนูย่อยสู่เมนูหลัก - แสดงข้อมูลช่วยเหลือ - เป็นปุ่มเลื่อนจากตรงกลางบรรทัดไปยังเริ่มแรกของบรรทัดหรือท้ายบรรทัด - จะใช้เมื่อปุ่มหรืออักษรอยู่ในตำแหน่งที่ซ้อนกันอยู่เรียกตัวนั้นออกมาใช้ - ป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์แปลกๆ - Reboot เครื่อง	

	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ฉ.) แนะนำปุ่มบน Pendant Contro		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
	มือหมุนแกนละเอียด	ใช้หมุนปรับแกนของโต๊ะงานได้ทั้งแกน x, y, z การใช้งานจะต้องกด ปุ่มเลือกแกนใดแกนหนึ่งก่อนและค่อยหมุนเลื่อนแกน ซึ่งจะได้ตาม หน่วยของการวัดว่าเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร	
	Feed	ใช้ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ของ Spindle ใช้ปรับเป็น % ค่าจะถูกแสดงในจอ LCD	
	Spindle speed	ใช้ปรับ Speed ในการหมุนของ Spindle ใช้ปรับเป็น % ค่าจะถูกแสดงในจอ LCD	
	หน้าจอLCD , F1-F4	จอ LCD โชว์ได้ 4 บรรทัดจะบอกระยะของแกน x , y , z , %F , %S และแสดงข้อความของ Menu ให้เลือกขึ้นมาซึ่งจะกดเลือกด้วย ปุ่ม F1-F4 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับปุ่มอื่น ๆ	
	Emergency	เป็นปุ่มที่หยุดการทำงานของเครื่องทันทีโดยการกดปุ่มลงไป แต่ถ้าหากว่าจะทำงานต่อให้ดึงปุ่มออกมาแล้วหมุนเครื่องก็จะทำงานต่อ ซึ่งการหยุดจะหยุดการทำงานของแกนทั้งหมด และแกนหมุน (Spindle) จะโชว์ข้อความว่า “Machine OFF-STOP” ถ้าจะทำงานอีกครั้งต้องทำการเอา Emergency ออก(ดึง, หมุน)ตามลูกศร	
	Cycle Start	เป็นปุ่มควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่องเป็น Cycle y ไปของระบบควบคุม	
	Cycle Stop	เป็นปุ่มหยุดการทำงานแบบต่อเนื่องเป็น Cycle y ไปของระบบควบคุม	

	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ฉ.) แนะนำปุ่มบน Pendant Control		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
	Spindle Restart	เปิดให้Spindle หมุน และการเคลื่อนที่ของ Spindle ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรม เมื่อ Spindle หมุนจะเปลี่ยน tool ไม่ได้ต้องหยุดก่อน	
	Spindle Stop	มีหน้าที่หยุดการหมุนของ Spindle	
	Cool Start	เปิดน้ำหล่อเย็น จะเป็นปุ่มที่สัมพันธ์กับตัวCodeด้วย	
	Cool Stop	ปิดน้ำหล่อเย็น จะเป็นปุ่มที่สัมพันธ์กับตัวCodeด้วย	
	Data Reset	เมื่อกดปุ่มนี้แล้ว 1.เมื่อเขียนโปรแกรมเสร็จก่อนที่จะให้RUN เครื่องให้กด Data reset 2. จะแสดงตำแหน่งแกนต่าง ๆ ที่เป็นปัจจุบัน เมื่อกด reset บนจอ CRT 3.เมื่อกดปุ่มนี้แล้วมันจะเก็บค่า M/C Alignment อันเดิมเอาไว้ 4. ทำงานไม่อยู่ใน Cycle 5.และถูกตั้งไว้แล้ว 6. Feed Rate จะถูกตั้งเอาไว้และ Feed rate F code จะถูกตั้งไว้ที่ศูนย์ 7.หมายเลขบรรทัดจะถูกลบ 8.ค่า I J K และค่า R จะถูกตั้งไว้ที่ไม่ใช่โปรแกรมระยะยาบจะถูกตั้งไว้ที่ x, y G 17 9. ความสูงและระดับที่ต่ำที่สุดของแกนจะถูก Set ที่ตัว Genertor วงจรโปรแกรมจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลง	
	Draw Bar Unclamp	เป็นปุ่มในการถอด Tool โดยระบบมีกอดออกจาก Spindle โดยกดแช่ไว้มันจะสามารถถอด Tool แล้วจะเปลี่ยนใส่ Tool ตัวใหม่ก็ไม่ใส่เข้าที่เพลาแล้วปล่อยมือออกมันก็จะล๊อค Tool	

	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ฉ.) แนะนำปุ่มบน Pendant Control		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
	Sing Block	ปุ่มการทำงานที่ละบรรทัด จะสั่งให้เครื่องจักรทำงานตามโปรแกรมที่เขียนเอาไว้ที่ละบรรทัด	
	Single Loop	เป็นปุ่มที่จะใช้กับ G Code (G80-G90) เป็นการสั่งให้เครื่องทำงานจบในช่วงโปรแกรม เป็น 1 ขั้นตอนการทำงาน เช่น กัดงานลึก 10 mm ป้อนกินลึกครั้งละ 4 จะทำงาน 3 loop $4, +4, +2 = 10$ เครื่องจะกินลึกทีละ 4 4 2 แล้วหยุด ถ้าจะให้ทำอีกครั้งกดปุ่ม Z	
	Z repeat	เป็นปุ่มที่จะใช้คำสั่ง G80-G90 ควบคุมการทำงานแกน Z ถ้าจะให้แกน Z ทำงานซ้ำอีกครั้งกดปุ่ม Z repeat	
	Block Delete	ปุ่มข้ามบรรทัด เมื่อใส่เครื่องหมาย / หน้า Block Program เมื่อกดปุ่มนี้ เครื่องหมายจะ Run แล้วเจอ / จะข้ามบรรทัดนั้นไป	
	Option Stop	เป็นปุ่มที่ใช้ควบคู่กับคำสั่ง M1 นั่นคือ เมื่อกดปุ่มนี้แล้วเครื่องวิ่งไปเจอ M1 จะหยุดทำงาน	
	Auto Restart	เป็นปุ่มที่สามารถเลือกการทำงานได้ต่อเนื่อง คือ เมื่อมีโปรแกรมเครื่องก็จะทำงานจนจบโดยอัตโนมัติ และเมื่อจบการทำงานทุกครั้งให้กดปุ่มนี้	
	Rapid Override	เป็นปุ่มที่สามารถเลือกการทำงานได้ต่อเนื่อง คือ เมื่อมีโปรแกรมเครื่องก็จะทำงานจนจบโดยอัตโนมัติ และเมื่อจบการทำงานทุกครั้งให้กดปุ่มนี้	
	Dry Run	มีหน้าที่ตรวจตำแหน่งของโปรแกรมว่าถูกต้องหรือเปล่า และจะต้องปิด Spindle และน้ำหล่อเย็นก่อน และการเดินโปรแกรมจะเดินตามโปรแกรมแบบรวดเร็ว และจะต้องให้ tool ที่ทำงานอยู่ในเพลา Spindle ด้วย	

	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ฉ.) แนะนำปุ่มบน Pendant Control		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
		Align ปุ่มเพื่อกำหนดค่าแนวของเครื่องจักรให้ตรงตามแนวที่กำหนด	
		Handwheel เป็นปุ่มที่มีการสั่งให้เครื่องจักรสามารถเคลื่อนที่โดยใช้ที่บังคับแบบมือ หมุนซึ่งมีความละเอียดมากกว่าแบบปุ่มกด	
		Tool Setup เพื่อวัดตำแหน่งหาความยาว และตำแหน่งของ Tool ที่อยู่	
		Mechanism Jog เป็นปุ่มที่ใช้ในการเปลี่ยน Tool ที่อยู่บนชุดตัวเปลี่ยนเครื่องมือ	
		Setup Set up M/C	
		Zero shift จอที่รีโมทที่จะตัดให้กำลังเคลื่อนที่ตอนนี้ จะเคลื่อนศูนย์ได้โดยการ Jog หรือ Handwheel แล้วกดเพื่อให้ได้ตำแหน่งศูนย์ตัวใหม่	
		เคลื่อนที่แนวแกน ปุ่มการเคลื่อนที่แนวแกน X, Y, Z (ถ้าเป็นแกน Z จะได้ทั้งขึ้นทั้งลง)	

	ปฏิบัติการที่ 1 การใช้งานเครื่อง CNC คู่มือการใช้งานเครื่องจักรอัตโนมัติ CNC ฉ.) แนะนำปุ่มบน Pendant Control		
ภาพ	ชื่อปุ่ม	ทำหน้าที่	
		Control Button จะใช้งานก็ต่อเมื่อทำการเปลี่ยนการทำงาน	
		Menu Text จะเป็นปุ่มที่โชว์รูปแบบที่ต้องการจะทำงาน	
		ESC ออกจากคำสั่งสู่จอ LCD ปกติ	
		แกนทำงาน ปุ่มเลือกแกนที่ต้องการทำงานซึ่งจะใช้มือหมุนโดยสามารถหมุนปรับแกน ของโต๊ะงานได้ทั้งแกน x, y, z และมีแกนพิเศษเพิ่มอีก 2 แกนคือแกน A, B	



เอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติงาน
ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม
(Industrial Engineering Laboratory)



โดย

ชื่อ รหัส

ระดับ ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ปีการศึกษา 1/.....

ลักษณะรายวิชา

1. 7043610 ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering Laboratory)

2. สาขาวิชา กลุ่มวิชาแกนและวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมควบคุม

3. ระดับรายวิชา ภาคการศึกษาที่ 1 ชั้นปีที่ 3

4. พื้นฐาน –

5. จำนวนหน่วยกิต 1 หน่วยกิต

6. จุดมุ่งหมายรายวิชา

6.1 มีทักษะในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านการทดลอง การวิเคราะห์ค่าเชิงสถิติ เปรียบเทียบแล้วแสดงผล พร้อมทั้งประยุกต์ใช้นำเสนองานทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกันได้

6.3 มีทักษะในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านการวางแผนและควบคุมการผลิต การวิจัยดำเนินงานและประยุกต์ใช้นำเสนองานได้

6.4 มีทักษะในการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และประยุกต์ใช้นำเสนองานด้าน การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม

6.5 มีเจตคติที่ดีต่อการฝึกปฏิบัติงานและใช้โปรแกรม พร้อมทั้งพัฒนา ประยุกต์นำนวัตกรรมเทคโนโลยีต่างๆ ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ มาสร้างสรรค์ผลงานได้

7. คำอธิบายรายวิชา

ปฏิบัติการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางด้านการวางแผนและควบคุมการผลิต การวิจัยดำเนินงาน และการศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม

The laboratory experiments that involve of Production Planning and Control, Operations Research and Industrial Work Study

10 คุณสมบัติของวิศวกรที่ดี

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องฝึกฝนพัฒนาวิศวกรและช่างให้มีความพร้อมในการที่จะรองรับการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงจากเกษตรกรรมไปสู่อุตสาหกรรม วิศวกรและช่างมีมากมายหลายสาขา แต่การที่จะหาวิศวกรและช่างที่ดีอย่างสมบูรณ์แบบได้นั้นหาได้ยากบุคคลที่เหมาะสมจะเป็นวิศวกรหรือช่างที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถ วิศวกรที่ดีต้องเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถในการสายงานด้านอาชีพของตนเป็นอย่างดี รู้ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ และรู้ต่อไปอีกว่าเพราะเหตุใดจึงทำอย่างนั้น ทำไมทำแบบนี้จึงใช้ไม่ได้ ต้องรู้ถึงแก่นถึงเหตุถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนั้นตลอดเวลาการทำงานจะต้องมีคำถามตัวเองว่าทำไมจึงต้องทำอย่างนี้ ทำอย่างอื่นหรือวิธีอื่นได้หรือไม่ และนอกจากนี้จะต้องมีการหาความรู้หรือการฝึกเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

2. ความมีประสิทธิภาพ วิศวกรที่ดีจะต้องคำนึงถึงเวลาเป็นสำคัญมากสำหรับลูกค้าหรือผู้ที่มารับบริการ นายจ้างหรือผู้บังคับบัญชาที่ต้องการให้งานสำเร็จภายในระยะเวลาอันสั้นที่สุดไม่มีลูกค้าหรือนายจ้างคนใดที่จะยอมให้การทำงานขึ้นนั้น ๆ เสร็จเมื่อใดก็ได้ เพราะการทำงานในด้านอุตสาหกรรมจะต้องมีการแข่งขันจะหยุดนิ่งอยู่กับที่ไม่ได้ ดังนั้นช่างที่ดีจะต้องเป็นผู้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำงานเสร็จภายในเวลาอันสั้นที่สุดและคุณภาพดีที่สุดในสิ่งที่ทำได้

3. ความตั้งใจ วิศวกรที่ดีจะต้องทำงานในความรับผิดชอบของตนด้วยความตั้งใจและเอาใจใส่ต่องานนั้น ๆ อย่างเต็มที่ เพราะถ้าขาดสิ่งเหล่านี้คุณภาพของงานที่ออกมาจะไม่ดีและอาจเกิดอุบัติเหตุหรือความเสียหายร้ายแรงเกิดขึ้นกับการทำงานที่รับผิดชอบอยู่ได้

4. มีแบบแผน วิศวกรจะทำงานแต่ละอย่างจะต้องมีการวางแผนในการทำงานว่าควรจะทำอะไรก่อนหลัง เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การทำงานเป็นไปด้วยความรวดเร็ว เครื่องมือ อุปกรณ์ ชิ้นงานจะต้องทำการจัดวางให้เป็นระเบียบ ขึ้นไหนใช้บ่อยให้วางไว้ใกล้มือให้สามารถหยิบใช้ง่ายและสะดวกจะต้องมีการจัดหมวดหมู่เครื่องมืออุปกรณ์ให้เป็นระเบียบและมีการจัดวางให้ตรงกับหลักวิชาการในการวางแผนการทำงานอย่างมีแบบแผนจะทำให้งานสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ

5. มีมนุษยสัมพันธ์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะวิศวกรจะต้องเผชิญหน้ากับกลุ่มคนหลายระดับชั้นทั้งความรู้ความสามารถ ความคิด วิศวกรที่ดีจะต้องรู้จักวิทยาทางด้านต่าง ๆ ต้องรู้จักการวางตัวการปกครอง การผูกมิตร และสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับกาลเทศะรู้จักการเอาใจเขามาใส่ใจเรา

6. ความสะอาด เป็นสิ่งสำคัญในการทำงานที่ต้องการความละเอียด ความประณีต เพื่อให้การทำงานของชิ้นงานที่ทำออกมาสามารถใช้งานได้ดีและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานนอกจากความสะอาดในการทำงานแล้ว เสื้อผ้าการแต่งกายจะต้องสะอาดเรียบร้อยเหมาะสมกับการทำงาน

7. มีความร่าเริง เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ร่วมงานพลอยมีชีวิตร่าเริงไปด้วย ซึ่งจะทำให้ผลปฏิบัติงานต่าง ๆ ขึ้นเพราะทุกคนมีความร่าเริงแจ่มใสกระปรี้กระเปร่าพร้อมที่จะทำงานด้วยความเบิกบาน จะมีความตั้งใจที่จะทำงานอย่างเต็มที่และเต็มที่ ซึ่งจะทำให้ผลงานที่ออกมาดีมีคุณภาพ

8. ความปลอดภัย วิศวกรที่ดีจะต้องรู้ถึงกฎความปลอดภัยของโรงงานและของการทำงานต่าง ๆ ว่ามีข้อควรระวังป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายได้อย่างไร เพราะงานแต่ละอย่างมีข้อควรระวังและการป้องกันอันตรายไม่เหมือนกัน วิศวกรจะต้องรอบรู้และเฝ้าระวังเกี่ยวกับกฎความปลอดภัยและการปฏิบัติเมื่อเกิดภัย

9. พละนาามัยดีสุขภาพร่างกายของคนเรานั้นมีความสำคัญมากต่อการทำงานเพราะนอกจากจะใช้สมองในการวินิจฉัยไตร่ตรองแก้ไขในการปฏิบัติงานแล้ว ยังต้องใช้กำลังในการปฏิบัติงานควบคู่กันไปด้วย ฉะนั้นวิศวกรที่ดีจะต้องรักษาสุขภาพร่างกายให้สมบูรณ์แข็งแรงอยู่เสมอ

10. ความซื่อสัตย์สุจริต เป็นสิ่งที่ทำให้หน่วยงาน บุคคล มีความเจริญก้าวหน้า ไม่มีนายจ้างหรือลูกค้าคนใดที่ต้องการคนที่ทำงานให้ที่มีความไม่ซื่อสัตย์มาทำงานให้ นอกจากจะไม่มีความต้องการของโรงงาน นายจ้างแล้ว ความไม่ซื่อสัตย์ยังเป็นการทำลายอนาคตความเจริญก้าวหน้าของตนเองด้วยความซื่อสัตย์สุจริตต่อหน้าที่การงาน ต่อเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนผู้เป็นนายจ้าง ผู้บังคับบัญชา ยอมรับการ ผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานของตนเองด้วยความเต็มใจและด้วยบริสุทธิ์ใจ



ใบสรุปการเข้าเรียน

ชื่อ สาขาวิชา รหัส

สัปดาห์ที่	วันที่	ทฤษฎี	ใบงานที่	หมายเหตุ
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
มาเรียน สัปดาห์ ขาด.....สัปดาห์ ลา สัปดาห์ สาย.....ชั่วโมง				



ใบสรุปคะแนนการเข้าเรียน

ชื่อ สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ รหัส.....

ลำดับที่	หมายเลขแบบงาน	ชื่องาน	คะแนนเต็ม	คะแนน % ที่ได้	เก็บ
1	ปฏิบัติการที่ 1 หน้า 9-12	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ - วิธีการอย่างง่าย - วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ - วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก - วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล - วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบ แนวโน้ม - คำนวณความแม่นยำของการพยากรณ์	10		
2	ปฏิบัติการที่ 2 หน้า 13-15	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ - การพยากรณ์แนวโน้มเส้นตรงแบบมีความ ชัน - วิธีการตามอิทธิพลของฤดูกาล - วิธีการเชิงสาเหตุ (Casual Methods) - คำนวณความแม่นยำของการพยากรณ์	10		
3	ปฏิบัติการที่ 3 หน้า 16-19	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน การหาทำเลที่ตั้ง และวิเคราะห์จุดคุ้มทุนใน การลงทุน - การหาทำเลที่ตั้ง 3 วิธี - จุดคุ้มทุนกรณีหลายผลิตภัณฑ์	10		
4	ปฏิบัติการที่ 4 หน้า 20-23	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน - สามารถคำนวณตารางการผลิตหลัก (MPS) - สามารถคำนวณแผนความต้องการวัสดุ (MRP) - สามารถคำนวณแผนทรัพยากรองค์กร (ATP) - สามารถคำนวณ Bill of Material	10		

ลำดับที่	หมายเลขแบบงาน	ชื่องาน	คะแนน เต็ม	คะแนน % ที่ได้	เก็บ
5	ปฏิบัติการที่ 5 หน้า 24-25	ทักษะการใช้โปรแกรมสร้างกราฟ หรือ แผนภูมิที่เหมาะสมกับข้อมูลที่กำหนดให้ เพื่อให้วิเคราะห์และจำแนกข้อมูลได้อย่าง ถูกต้อง	10		
6	ปฏิบัติการที่ 6 หน้า 26-27	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน สถิติข้อมูลเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab - การเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล - วิเคราะห์ด้วย Graphical Summary - วิเคราะห์ด้วยข้อมูลด้วยกราฟ การวิเคราะห์รูปร่างการแจกแจงของกลุ่ม ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกลุ่ม ตัวอย่าง ช่วงความเชื่อมั่น	10		
7	ปฏิบัติการที่ 7 หน้า 28	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน การแจกแจงของข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab - การแจกแจงแบบปกติ - การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล - การแจกแจงแบบทวินาม - การแจกแจงแบบปัวซอง - การแปลงข้อมูล (Box-Cox Transformation) (Johnson Transformation)	10		
8	ปฏิบัติการที่ 8 หน้า 29-32	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน การทดสอบสมมติฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab - การทดสอบสมมติฐานของค่าสัดส่วน - การทดสอบสมมติฐานประชากรกลุ่มเดียว - การทดสอบสมมติฐานประชากรสองกลุ่ม - การทดสอบสมมติฐานประชากรสองกลุ่ม ขึ้นไป	10		8
9	ปฏิบัติการที่ 9 หน้า 33-38	ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน ปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอข้อมูลและ	10		

ลำดับที่	หมายเลขแบบงาน	ชื่องาน	คะแนน เต็ม	คะแนน % ที่ได้	เก็บ
		การอธิบายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab - แผนภูมิควบคุม Xbar-R Chart - แผนภูมิควบคุม Xbar-S Chart - แผนภูมิควบคุม XMR I-MR Chart - แผนภูมิควบคุม P Chart - แผนภูมิควบคุม NP Chart - แผนภูมิควบคุม U Chart - แผนภูมิควบคุม C Chart			
10	ปฏิบัติการที่ 10 หน้า 39-43	แผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์กระบวนการ ทำงาน	10		
11	ปฏิบัติการที่ 11 หน้า 44-47	ปฏิบัติการที่ 11 ไดอะแกรมสายใย (String Diagram)	10		
12	ปฏิบัติการที่ 12 หน้า 48-53	ปฏิบัติการที่ 12 การศึกษาเวลาโดยตรง	10		
รวม % คะแนนงานฝึก					
คะแนนเก็บงานฝึก 60 %					
สอบกลางภาคเรียน 20%					
สอบปลายภาคเรียน 20%					
คะแนนที่ได้					
เกรด					



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
 ชื่องาน ปฏิบัติการที่ 1 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ วิธีการอย่างง่าย
 จงพยากรณ์ความต้องการน้ำอัดลม พร้อมทั้งหาค่าความแม่นยำของการพยากรณ์

คาบเวลา	อุปสงค์(ลัง)	ค่าพยากรณ์(ลัง)	Error		
		อย่างง่าย	MAD	MAPE	MSE
1	40	-	-	-	-
2	45				
3	39				
4	42				
5	50				
6	54				
7	63				
8	65				
9	48				
10	49				
11	52				
12	55				
13	35				
14	42				
15	44				
16	45				
17	49				
18	50				
19	55				
20	52				
21	58				
22	56				
23	60				
24	59				
25	-		-	-	-



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
 ปฏิบัติการที่ 1.1 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่
 จงพยากรณ์ความต้องการน้ำอัดลม พร้อมทั้งหาค่าความแม่นยำของการพยากรณ์

คาบ เวลา	อุปสงค์ (ถัง)	ค่าพยากรณ์(ถัง)				Error Ma3				Error Ma5		
		Ma3	Ma5	Ma7		MAD	MAPE	MSE		MAD	MAPE	MSE
1	40	-	-	-		-	-	-		-	-	-
2	45	-	-	-						-	-	-
3	39	-	-	-						-	-	-
4	42		-	-						-	-	-
5	50		-	-						-	-	-
6	54			-								
7	63			-								
8	65											
9	48											
10	49											
11	52											
12	55											
13	35											
14	42											
15	44											
16	45											
17	49											
18	50											
19	55											
20	52											
21	58											
22	56											
23	60											
24	59											
25	-					-	-	-		-	-	-



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
 ปฏิบัติการที่ 1 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก
จงพยากรณ์ความต้องการน้ำอัดลม พร้อมทั้งหาค่าความแม่นยำของการพยากรณ์

คาบ เวลา	อุปสงค์ (ลัง)	ค่าพยากรณ์(ลัง)		Error WMa3			Error WMa5		
		WMa3	WMa5	MAD	MAPE	MSE	MAD	MAPE	MSE
1	40	-	-	-	-	-	-	-	-
2	45	-	-	-	-	-	-	-	-
3	39	-	-	-	-	-	-	-	-
4	42		-				-	-	-
5	50		-				-	-	-
6	54								
7	63								
8	65								
9	48								
10	49								
11	52								
12	55								
13	35								
14	42								
15	44								
16	45								
17	49								
18	50								
19	55								
20	52								
21	58								
22	56								
23	60								
24	59								
25	-			-	-	-	-	-	-

สำคัญมาก	0.55	สำคัญมากที่สุด	0.4
สำคัญปานกลาง	0.3	สำคัญมาก	0.3
สำคัญน้อย	0.15	สำคัญปานกลาง	0.15
รวม	1	สำคัญน้อย	0.1
		สำคัญน้อยที่สุด	0.05
		รวม	1



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่1
ปฏิบัติการที่ 1 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล
จงพยากรณ์ความต้องการน้ำอัดลม พร้อมทั้งหาค่าความแม่นยำของการพยากรณ์

[illegible]

					ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1		
ปฏิบัติการที่ 2 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ การพยากรณ์แนวโน้มเส้นตรง							
แบบมีความชัน พร้อมคำนวณความแม่นยำของการพยากรณ์							
คาบเวลา	อุปสงค์(ลัง)	xy	x^2	ค่าพยากรณ์ (ลัง)	Error		
					MAD	MAPE	MSE
1	40				-	-	-
2	45						
3	39						
4	42						
5	50						
6	54						
7	63						
8	65						
9	48						
10	49						
11	52						
12	55						
13	35						
14	42						
15	44						
16	45						
17	49						
18	50						
19	55						
20	52						
21	58						
22	56						
23	60						
24	59						
25	-						



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 2 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการพยากรณ์ วิธีการเชิงสาเหตุ (Casual Methods) พร้อมคำนวณความแม่นยำของการพยากรณ์

คาบ เวลา	ปริมาณฝน มิลลิเมตร	อุปสงค์ รวม(คัน)	xy	x^2	ค่าพยากรณ์ รวม(คัน)	Error		
						MAD	MAPE	MSE
1	0	30				-	-	-
2	0	50						
3	0.1	139						
4	5	156						
5	45	890						
6	80	1,154						
7	92	2,063						
8	70	1,965						
9	65	2,148						
10	110	1,649						
11	4	568						
12	0	245						
13	0	135						
14	0	214						
15	5	596						
16	20	673						
17	14	376						
18	65	893						
19	87	1,463						
20	94	1,124						
21	101	1,784						
22	50	759						
23	8	453						
24	0.1	367						
25	-	-						

[illegible]



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 3 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกตั้ง
 พร้อมทั้งมีต้นทุนดังแสดงในตาราง

1. วิธีการเชิงปริมาณในการวิเคราะห์ที่ตั้ง ด้วยวิธีการให้คะแนน

ปัจจัย	น้ำหนัก	ทำเลที่ 1	ทำเลที่ 2	ทำเลที่ 3
แหล่งแรงงาน	0.40	80	90	92
แหล่งวัตถุดิบ	0.30	96	75	83
ใกล้ตลาด	0.20	90	70	50
กาตอบรับจากชุมชน	0.05	68	96	55
ลักษณะที่ดิน	0.05	67	86	64

2. บริษัท ABC ต้องการเลือกศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ ซึ่งจะกระจายสินค้าไปยังสาขาย่อยสามสาขาดังแสดงในตาราง ศูนย์กระจายสินค้านี้ควรตั้งในพิภักใด ถ้าพิจารณาด้วยวิธีการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วง

สาขาย่อย	พิภักแกน x	พิภักแกน y	w
A	42	54	230
B	16	26	340
C	41	28	199
D	30	12	286
E	63	34	542



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 3 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกตั้ง

3. บริษัท ABC ต้องการเลือกศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ ซึ่งจะกระจายสินค้าไปยังสาขาย่อยสามสาขาดังแสดงในตาราง ศูนย์กระจายสินค้านี้ควรตั้งในพิกัดใด จากการหาข้อมูลทำเลที่ฝ่ายวางแผนได้คัดเลือก 5 ทำเลมาเพื่อพิจารณา ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ ระยะทางในการขนส่ง

สาขาย่อย	พิกัดแกน x	พิกัดแกน y	w
A	42	54	230
B	16	26	340
C	41	28	199
D	30	12	286
E	63	34	542

ทำเล	พิกัดแกน x	พิกัดแกน y
1	10	35
2	55	30
3	20	50
4	40	40
5	35	65



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 3 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกตั้ง

3. บริษัท ABC ต้องการเลือกศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ ซึ่งจะกระจายสินค้าไปยังสาขาย่อยสามสาขาดังแสดงในตาราง ศูนย์กระจายสินค้านี้ควรตั้งในพิกัดใด จากการหาข้อมูลทำเลที่ฝ่ายวางแผนได้คัดเลือก 5 ทำเลมาเพื่อพิจารณา ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ ระยะทางในการขนส่ง

สาขาย่อย	พิกัดแกน x	พิกัดแกน y	w
A	42	54	230
B	16	26	340
C	41	28	199
D	30	12	286
E	63	34	542

ทำเล	พิกัดแกน x	พิกัดแกน y
1	10	35
2	55	30
3	20	50
4	40	40
5	35	65



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 3 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณจุดคุ้มทุนหลายผลิตภัณฑ์
 จงวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของร้านกาแฟในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น 5 ผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งมีต้นทุนดังแสดงในตาราง

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น
ค่าจ้างพนักงานบาร์ิสต์รายเดือน 16,500 บาท จำนวน 2 คน
ค่าจ้างพนักงานเสิร์ฟและล้างจาน 10,500 บาท จำนวน 4 คน
ค่าสาธารณูปโภค 3000 บาทต่อเดือน
ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด 12,000 บาทต่อเดือน
ค่าเช่าที่ 10,000 บาทต่อเดือน

ผลิตภัณฑ์	ราคา r_i (บาทต่อแก้ว)	ยอดขายต่อ เดือน (แก้ว)	ต้นทุนแปรผัน v_i	v_i/r_i	$1-(v_i/r_i)$	รายได้	%Wi	$\left(1 - \frac{v_i}{r_i}\right) w_i$	Qbe
			(บาทต่อแก้ว)						
กาแฟวาปี	50	2100	18						
ม็อคค้ายินดี	65	600	25						
เอื้องฟ้า	65	1200	23						
อินทนนท์	60	1800	20						
ดอยหลวง	60	1200	20						



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 4 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณการจัดกลุ่มสินค้าด้วยหลักการ ABC Analysis

Ex.1 ศูนย์กระจายสินค้า ชัยภูมิการค้า & โปรดักส์ มีผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

จงจัดกลุ่มการจัดเก็บสินค้าให้แต่ละผลิตภัณฑ์

หมายเลข พัสดุ	ปริมาณ/ปี (ชิ้น)	ราคาต่อหน่วย(บาท/ชิ้น)	มูลค่า	มูลค่า%	%ความต้องการ
A	2,350	18			
B	1,570	12			
C	600	4,800			
D	300	19.5			
E	1,700	600			
F	400	1,500			
G	150	270			
H	1,500	3,000			
I	1,300	450			
J	650	375			

จัดประเภทของสินค้าได้ดังต่อไปนี้

กลุ่ม	สินค้า	%มูลค่า	%ความต้องการ
A			
B			
C			



ใบขึ้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 4 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณแผนทรัพยากรองค์กร (ATP)

จํานวนตารางแผนการสั่งซื้อ โดยมีเงื่อนไขคือ มีสินค้าคงคลัง 130 กล่อง และปริมาณการสั่งซื้อ 70
กล่อง

[illegible]



ใบขึ้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 4 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณตารางการผลิตหลัก (MPS)



EX.2 จากแผนภาพส่วนประกอบด้านบน จงวางแผนการผลิตรวมสำหรับผลิตภัณฑ์กรอบรูปไม้สัก ซึ่งมีความต้องการ 120 ชิ้น ในสัปดาห์ที่ 5 และ 235 ชิ้นในสัปดาห์ที่ 8 โดยกรอบรูปไม้สัก 1 ชิ้น ประกอบขึ้นมาจากไม้หลัง 1 แผ่น และไม้ขอบ 4 ชิ้น กำหนดให้

- การประกอบกรอบรูปใช้เวลา 1 สัปดาห์
- การสั่งซื้อไม้หลังใช้เวลา 1 สัปดาห์ (ปัจจุบันมีไม้หลังในคลัง 17 ชิ้น)
- การสั่งซื้อไม้ขอบใช้เวลา 2 สัปดาห์ ไม้ขอบได้มีการสั่งซื้อไว้ล่วงหน้าแล้ว โดยจะมีการนำมาส่ง 55 ชิ้นในสัปดาห์ที่ 3

เงื่อนไขการวางแผนความต้องการวัสดุในกรณีดังต่อไปนี้

ก. สั่งซื้อแบบปริมาณคงที่ การสั่งซื้อไม้หลังมีขนาดล็อตละ 12 ชิ้น และการสั่งซื้อไม้ขอบมีขนาดล็อต 70 ชิ้น

ตารางการผลิตหลักของ กรอบรูป พัสดुकงคลังเริ่มต้น		สัปดาห์							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณความต้องการ					120				235

Level 0

กรอกรูป Lead Time = 1 w		สัปดาห์							
พัสดुकงคลังเริ่มต้น		1	2	3	4	5	6	7	8
ความต้องการรวม									
การรับของตามกำหนด									
ประมาณการพัสดุที่มี									
ความต้องการสุทธิ									
การรับของตามแผน									
การสั่งของตามแผน									



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 5 ทักษะการใช้โปรแกรมสร้างกราฟ หรือแผนภูมิที่เหมาะสมกับข้อมูล
 กำหนดให้ เพื่อให้วิเคราะห์และจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

1. จงเลือกประเภทกราฟที่เหมาะสมจากข้อมูลต่อไปนี้

สร้างกราฟที่เหมาะสม หาค่าเฉลี่ย หาผลรวม หาคความแปรปรวน หาค่าสูงสุด หาค่าต่ำสุด หาค่าเบี่ยงเบน
 มาตรฐาน

รถคันที่	เวลา (นาทึ)	รถคันที่	เวลา (นาทึ)
1	102.56	11	104.38
2	105.95	12	106.79
3	102.25	13	105.71
4	107.81	14	104.96
5	104.05	15	104.86
6	106.21	16	103.88
7	106.38	17	107.11
8	105.35	18	101.97
9	99.54	19	103.57
10	103.84	20	101.87

2. จงเลือกสร้างประเภทกราฟที่เหมาะสมกับ
 ข้อมูลต่อไปนี้

	A	B
ก่อน	90	60
หลัง	59	36

3. จงเลือกสร้างประเภทกราฟที่เหมาะสมจาก
 ข้อมูลต่อไปนี้

ชิ้นงานทั้งหมด	110
ของเสีย	59

	ไปขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ปฏิบัติการที่ 5 ทักษะการใช้โปรแกรมสร้างกราฟ หรือแผนภูมิที่เหมาะสมกับข้อมูลที่กำหนดให้ เพื่อให้วิเคราะห์และจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง			
4.จงสร้างกราฟวงกลมตาม ตัวเลขที่กำหนด			5.จงเลือกประเภทกราฟที่เหมาะสมจากข้อมูลต่อไปนี้	
	2561		ประเภทเวลา	ค่าเฉลี่ย
มกราคม	2,899,000		1 ความรอบรู้ในเนื้อหารายวิชาของวิทยาการ	4.350
กุมภาพันธ์	3,008,000		2 ความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ให้เข้าใจ	4.440
มีนาคม	3,117,000		3 ความสามารถในการจัดลำดับความสัมพันธ์ของเนื้อหา รายวิชาที่สอดคล้องต่อเนื่อง	4.900
เมษายน	3,226,000		4 ความสอดคล้องระหว่างเนื้อหากับหัวข้อวิชา	4.800
พฤษภาคม	3,335,000		5 ความสามารถถ่ายทอดเนื้อหาวิชาที่ยากให้ง่าย	4.650
มิถุนายน	3,444,000		6 ความชัดเจนครบถ้วนของเนื้อหาวิชา	4.880
กรกฎาคม	3,553,000		7 ความชัดเจน เหมาะสมของสื่อประกอบการบรรยาย	4.790
สิงหาคม	3,662,000		8 ความเหมาะสมของเทคนิค/วิธีการที่ใช้ในการกระตุ้นการ เรียนรู้ของผู้เข้ารับการอบรม	4.360
กันยายน	3,771,000		9 ความชัดเจนในการตอบคำถาม/ข้อซักถาม	4.510
ตุลาคม	3,880,000			
พฤศจิกายน	3,989,000			
ธันวาคม	4,098,000			

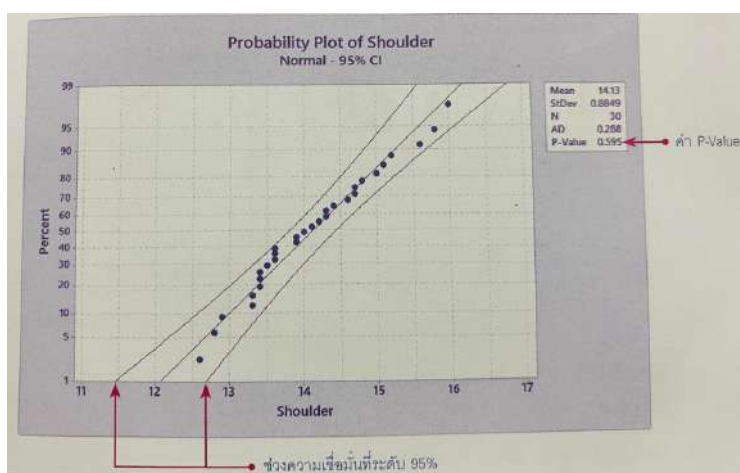


ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 6 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านสถิติข้อมูลเบื้องต้นด้วยโปรแกรม
 Minitab การเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล วิเคราะห์ด้วย Graphical Summary
 BOX-COX Transformation Johnson Transformation

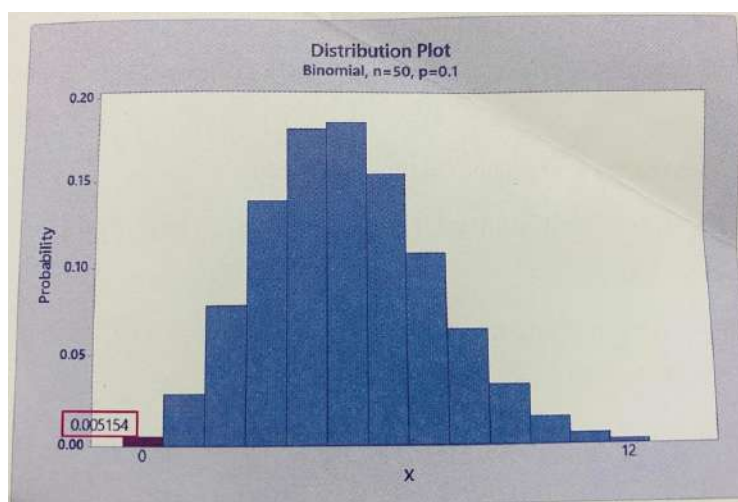
1. จงแสดงข้อมูลด้วยวิธี Graphical Summary หาค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวน

แผนกควบคุมคุณภาพวัดความกว้างของเสี้ยว จำนวน 20 ชิ้น ต้องการหาค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวน									
14.2	12.8	15.2	13.5	13.9	14.3	13.3	14.7	15.8	12.9
13.4	15.6	14.3	13.4	13.3	14.1	13.6	16	15.1	15
14	12.6	14.4	13.9	14.8	14.7	13.6	13.4	14.6	13.6

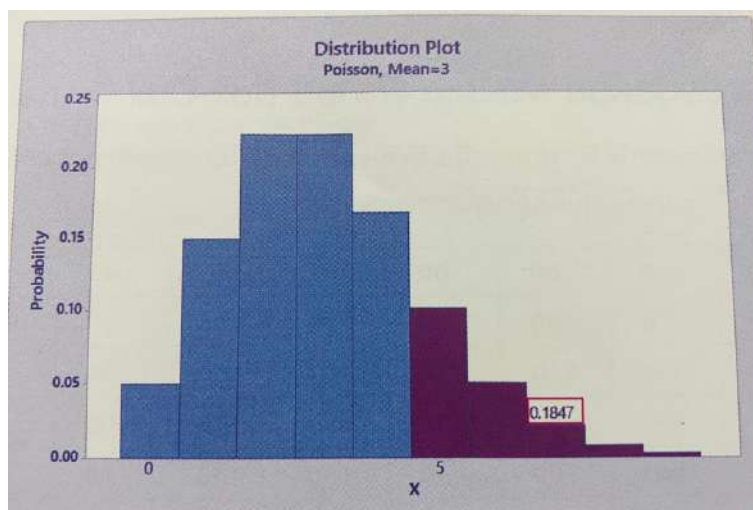
2. จงอธิบายความหมายของกราฟที่กำหนดให้ ตามผลดังแสดงภาพ



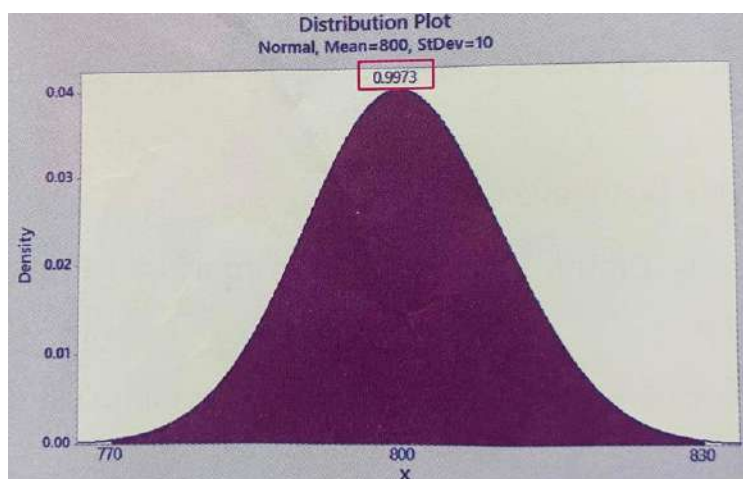
3. จงอธิบายความหมายของกราฟที่กำหนดให้ ตามผลดังแสดงภาพ



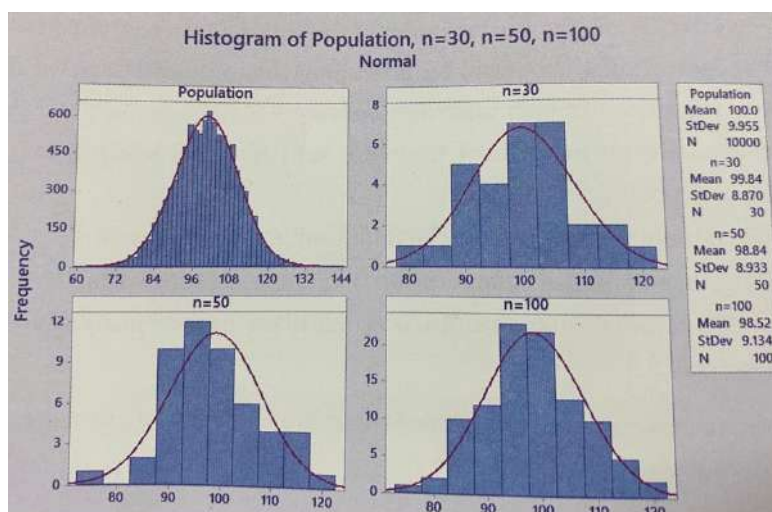
4. จงอธิบายความหมายของกราฟที่กำหนดให้ ตามผลดังแสดงภาพ



5. จงอธิบายความหมายของกราฟที่กำหนดให้ ตามผลดังแสดงภาพ



6. จงอธิบายความหมายของกราฟที่กำหนดให้ ตามผลดังแสดงภาพ





ใบขึ้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 7 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน การแจกแจงของข้อมูลด้วยโปรแกรม
 Minitab (การแจกแจงแบบปกติ, การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล, การแจกแจงแบบทวินาม, การ
 แจกแจงแบบปัวส์ซอง การแปลงข้อมูล (Box-Cox Transformation) (Johnson Transformation)

1.การแปลงข้อมูลด้วย MANITAB ฟังก์ชัน BOX-COX Transformation และ Johnson Transformation

การแปลงข้อมูลด้วย MANITAB ฟังก์ชัน BOX-COX Transformation									
ตัวอย่าง หัวหน้าแผนกได้จับเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการผลิตสินค้า โดยใช้เวลารายตารางด้านล่าง ให้แปลงให้อยู่ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ									
210	30	560	80	60	160	90	140	90	70
300	270	70	160	80	120	100	130	100	50
40	90	470	110	90	80	50	60	110	80
80	220	100	260	440	270	170	100	30	70
50	60	160	60	40	160	140	90	90	90
30	60	60	120	20	120	60	220	100	280
50	170	180	220	110	80	40	300	40	50
60	70	110	40	160	70	370	30	130	70
40	60	30	50	60	140	100	150	130	190
50	150	50	80	50	100	70	200	220	280

การแปลงข้อมูลด้วย MANITAB ฟังก์ชัน Johnson Transformation			
ตัวอย่าง พนักงานควบคุมคุณภาพได้สุ่มวัดความหนาของชิ้นงานเพื่อตรวจสอบตาม ตารางด้านล่างได้แปลงข้อมูลให้อยู่ในการแจกแจงแบบปกติ			
4.05	3.5	3.62	3.41
3.9	3.55	3.61	3.62
3.5	3.62	3.6	3.57
3.56	3.62	3.58	3.7



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 8 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้าน การทดสอบสมมติฐานข้อมูลด้วย
 โปรแกรม Minitab การทดสอบสมมติฐานของค่าสัดส่วน การทดสอบสมมติฐานประชากร
 กลุ่มเดียว การทดสอบสมมติฐานประชากรสองกลุ่ม การทดสอบสมมติฐานประชากรสอง
 กลุ่มขึ้นไป

ข้อ 1 วิศวกรสุ่มหยิบชิ้นงานเพื่อวัดค่าความกว้างของผลิตภัณฑ์กระบวนการละ 23
 ชิ้น โดยได้ผลการทดลองดังนี้

Line A			Line B		
86.89	101.37	101.95	91.14	99.18	103.19
95.73	104.32	102.42	105.6	94.77	116.27
93.16	89.63	81.53	87.37	97.98	102.67
118.46	98.81	109.19	84.34	107.61	96.72
111.6	89.91	116	92.93	96.16	100.2
87.88	88.27	93.17	107.12	109.38	95.95
99.51	107.27	96.89	111.71	114.31	117.08
106.64	97.94		95.74	92.07	

ข้อ 2 วิศวกรสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบค่าความต้านทาน จำนวน 39 ชิ้น โดยได้ผลการทดสอบดังนี้

49.982	50.838	52.393	52.901	50.024	53.139	53.302	50.352	48.174	50.996
50.426	48.062	49.191	47.657	48.209	51.698	50.896	47.122	52.369	50.974
50.947	49.129	53.223	51.334	48.402	49.853	49.837	48.003	47.577	47.334
51.903	50.115	50.724	51.144	49.527	50.009	50.178	50.013	48.89	

ข้อ 3 วิศวกรสุ่มทดสอบความแข็ง ของชิ้นงานก่อนและหลังผ่านกระบวนการล้าง จำนวน 13 ชิ้น โดยได้ผลการทดลองดังนี้

ตัวอย่างที่	ก่อน (MPa)	หลัง(MPa)	ตัวอย่างที่	ก่อน (MPa)	หลัง(MPa)
1	60	62	8	56	56
2	80	77	9	65	66
3	55	55	10	90	88
4	48	50	11	78	79
5	38	41	12	37	40
6	73	69	13	44	44
7	67	68			



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 8 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ
 ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab แผนภูมิควบคุม Wilcoxon

พนักงานได้วัดน้ำหนักของชิ้นงานทั้งหมด 25 ชิ้น เพื่อต้องการทดสอบว่า ค่าความหนา
 ของชิ้นงานแตกต่างจากค่ามาตรฐาน 40 กรัม หรือไม่ จึงใช้วิธี

ชิ้นที่	น้ำหนัก	ชิ้นที่	น้ำหนัก
1	50	14	47
2	35	15	51
3	46	16	63
4	60	17	46
5	40	18	58
6	50	19	67
7	53	20	42
8	38	21	45
9	65	22	33
10	44	23	57
11	30	24	46
12	34	25	61
13	39		



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 8 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ
 ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab

วิศวกรได้ทำการสำรวจความคลาดเคลื่อนของการใช้
 เครื่องมือวัดของพนักงาน 2 คน ดังนี้

คนที่ 1	คนที่ 2
335	342
339	329
349	354
351	354
349	355
350	347
349	343
344	338
342	341
329	341
354	340
354	333
355	327
347	323
343	321
338	320
341	328
341	335
340	341
333	341



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 8 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ
 ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab

1. วิศวกรศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลเคี้ยว โดยต้องศึกษาโอกาสที่ค่าความหนืดของน้ำตาลเคี้ยวแต่ละขวดมีค่าอยู่ระหว่าง 220 ถึง 270 cPs อยู่กี่เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการมีค่าเท่ากับ 233 cPs และ 13 cPs ตามลำดับ
2. พนักงานได้ทำการสุ่มตรวจสอบคุณภาพสินค้าทางการเกษตรครั้งละ 75 ชิ้น พบอัตราของเสียของการผลิต 10.35% ให้หาความน่าจะเป็นที่พนักงานจะพบของเสีย 4 ชิ้น
3. บริษัทผลิตแผ่นเมทัลชีสทำการตรวจสอบคุณภาพของสินค้า พบว่าเกิดของเสีย 8 รอยต่อตารางเมตร (1 ตารางเมตร = 1 แผ่น) ให้หาความน่าจะเป็นที่แผ่นเมทัลชีสมากกว่า 5 รอย



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 9 ทักษะการใช้โปรแกรมสร้างกราฟ หรือแผนภูมิที่เหมาะสมกับข้อมูลที่กำหนดให้ เพื่อให้วิเคราะห์และจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

1.จงเลือกประเภทกราฟที่เหมาะสมจากข้อมูลต่อไปนี้

สร้างกราฟที่เหมาะสม หาค่าเฉลี่ย หาค่าผลรวม หาค่าความแปรปรวน หาค่าสูงสุด หาค่าต่ำสุด หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รถคันที่	เวลา (นาทีก)	รถคันที่	เวลา (นาทีก)
1	102.56	11	104.38
2	105.95	12	106.79
3	102.25	13	105.71
4	107.81	14	104.96
5	104.05	15	104.86
6	106.21	16	103.88
7	106.38	17	107.11
8	105.35	18	101.97
9	99.54	19	103.57
10	103.84	20	101.87

2. จงเลือกสร้างประเภทกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลต่อไปนี้

	A	B
ก่อน	90	60
หลัง	59	36

3.จงเลือกสร้างประเภทกราฟที่เหมาะสมจากข้อมูลต่อไปนี้

ชิ้นงานทั้งหมด	110
ของเสีย	59

		ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ปฏิบัติการที่ 9 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab แผนภูมิควบคุม Xbar-R Chart								
Month	Day	กลุ่มตัวอย่าง				Month	Day	กลุ่มตัวอย่าง		
		1	2	3				1	2	3
December	1	335	342	337		January	1	356	333	328
December	2	339	329	334		January	2	350	327	322
December	3	349	354	342		January	3	344	323	320
December	4	351	354	342		January	4	342	321	322
December	5	349	355	335		January	5	337	320	332
December	6	350	347	348		January	6	334	328	330
December	7	349	343	351		January	7	342	335	343
December	8	344	338	324		January	8	342	335	342
December	9	342	341	335		January	9	335	339	329
December	10	329	341	335		January	10	348	349	354
December	11	354	340	329		January	11	351	351	354
December	12	354	333	328		January	12	350	349	355
December	13	355	327	322		January	13	353	350	347
December	14	347	323	320		January	14	353	349	343
December	15	343	321	322		January	15	355	344	338
December	16	338	320	332		January	16	341	335	334
December	17	341	328	330		January	17	341	335	334
December	18	341	335	343		January	18	340	329	335
December	19	340	341	320		January	19	333	328	356
December	20	333	341	328		January	20	327	322	350
December	21	327	340	335		January	21	323	320	344
December	22	323	333	335		January	22	321	322	342
December	23	321	327	356		January	23	320	332	337
December	24	320	323	350		January	24	328	341	334
December	25	328	321	344		January	25	335	341	342
December	26	335	320	342		January	26	335	340	342
December	27	335	328	337		January	27	339	333	335
December	28	334	335	334		January	28	349	327	348
December	29	335	335	354		January	29	351	323	351
December	30	356	322	355		January	30	349	321	324
December	31	350	376	347		January	31	327	348	333



ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 9 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ
 ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab แผนภูมิควบคุม P-Chart

โรงงานผลิตดินสอทำการสุ่มของเสียเป็นระยะเวลา 45 วัน จากข้อมูลสถิติที่ผ่านมาพบว่า โรงงานจะควบคุมของเสียไม่เกิน 4.5%						
Day	จำนวนสุ่ม	Defect		Day	จำนวนสุ่ม	Defect
1	50	4		26	59	5
2	38	7		27	46	8
3	45	5		28	38	6
4	55	8		29	46	4
5	62	2		30	50	8
6	60	5		31	42	4
7	38	7		32	38	7
8	51	10		33	51	10
9	41	6		34	41	6
10	53	4		35	53	4
11	55	9		36	55	9
12	50	4		37	50	4
13	52	6		38	52	4
14	43	5		39	43	5
15	66	7		40	66	3
16	48	9		41	38	7
17	44	3		42	51	6
18	58	7		43	41	6
19	49	2		44	53	8
20	60	10		45	55	7
21	33	6				
22	63	3				
23	44	3				
24	68	6				
25	57	9				

	ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ปฏิบัติการที่ 9 ทักษะการใช้โปรแกรมคำนวณปัญหาด้านปัญหาคุณภาพสินค้า การนำเสนอ ข้อมูลและการอภิปรายข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab แผนภูมิควบคุม U Chart		
บริษัทผลิตและทอผ้ายัดสีเหลือง เพื่อทำการส่งไปยังกลุ่มลูกค้า โดยทำการสุ่มตรวจทุกๆ 1 ชม. ที่เครื่องตัดผ้า แต่ จำนวนในการตัดไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการทอ ของเครื่องจักรจึงสร้างแผนภูมิ			
Group	ความยาวผ้ายัด(เมตร)	จำนวนรอยตำหนิ	
1	150	14	
2	135	20	
3	146	16	
4	160	17	
5	140	18	
6	150	19	
7	153	13	
8	138	23	
9	165	19	
10	144	20	
11	130	22	
12	134	16	
13	139	19	
14	147	23	
15	151	15	
16	163	17	
17	146	21	
18	158	25	
19	167	17	
20	142	12	
21	165	16	
22	152	24	
23	140	16	
24	165	18	
25	145	12	
26	158	20	
27	167	15	
28	142	22	
29	165	26	
30	156	18	

	ใบประเมินผลงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1 ปฏิบัติการที่ 10 แผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน
10.1 บทนำ	ผังกระบวนการได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นรายการกิจกรรมที่ดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงาน พร้อมปริมาณ เวลา และระยะทางในการเคลื่อนไหว อันที่จริง แผนผังกระบวนการ คือแผนภูมิที่ใช้สัญลักษณ์ 5 ตัวในการวิเคราะห์และให้รายละเอียดงานที่ทำงานกับวัสดุหรือชิ้นงาน ผ่านลำดับของการดำเนินงานและกิจกรรมอื่น ๆ ใช้สัญลักษณ์ห้าตัวเพื่อดูรายละเอียดงานที่ทำงานกับวัสดุหรือชิ้นงานในขณะที่ประมวลผลผ่านลำดับของการดำเนินการและกิจกรรม: ● การดำเนินการ (○) – การประมวลผลวัสดุ วัตถุถูกเปลี่ยนโดยเจตนา ประกอบหรือแยกชิ้นส่วนไปยัง/จากที่อื่น หรือเตรียมสำหรับกระบวนการอื่น หรือให้หรือรับข้อมูล ● การตรวจสอบ (□) – ตรวจสอบคุณภาพหรือปริมาณ วัตถุถูกตรวจสอบตัวตน คุณภาพ หรือปริมาณ ● ย้าย (⇒) – การขนส่งวัสดุไปยังตำแหน่งใหม่ วัตถุจะถูกย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ยกเว้นเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินการ ● ความล่าช้า (D) – วัสดุที่รอดำเนินการหรือย้าย ขั้นตอนต่อไปที่วางแผนไว้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ทันที ● การจัดเก็บ (▽) – วัสดุที่เก็บไว้ในสถานที่ป้องกัน วัตถุถูกจัดเก็บภายใต้การควบคุมบางอย่าง นอกจากนี้ แผนผังขั้นตอนยังเป็นวิธีง่าย ๆ ใช้ข้อความที่กระชับ ในการแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยใช้สัญลักษณ์เพื่อระบุประเภทของการดำเนินการ และข้อความเพื่อให้รายละเอียดของการดำเนินการ แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับผังกระบวนการแสดงในรูปที่ 1 แบบฝึกหัดนี้มีส่วนสำคัญในการสร้างวิจิตเชิงวิพากษ์เกี่ยวกับการออกแบบงาน กล่าวคือ การใช้มือทั้งสองข้างอย่างเต็มที่ ขจัดงานที่ไม่จำเป็นและความล่าช้า ลดระยะทาง และลดความซับซ้อนของงานที่เกี่ยวข้อง กิจกรรมดังกล่าวมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนตระหนักถึงข้อบกพร่องและความพยายามที่หลีกเลี่ยงได้ทุกครั้งที่มีการตรวจสอบการออกแบบงาน และช่วยพัฒนาจิตสำนึกของความต้องการผลิตภาพที่สูง มีคำถามสำคัญห้าข้อสำหรับการปรับปรุงขั้นตอนของกระบวนการและเนื้อหาของผังกระบวนการเพื่อลดเวลา ความพยายาม และต้นทุนของกระบวนการ: - คำถามเกี่ยวกับวัสดุ ▪ ตัดสินใจหรือซื้อ: ชิ้นส่วนควรผลิตในโรงงานหรือซื้อจากผู้ขายภายนอก? - คำถามเกี่ยวกับการปฏิบัติงานและการตรวจสอบ ▪ เวลาดำเนินการสูงเกินไปหรือไม่ ▪ การดำเนินการตรวจสอบจำเป็นหรือไม่? ▪ คำถามเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว ▪ จะย่อหรือกำจัดการเคลื่อนไหวโดยการรวมหรือกำจัดการดำเนินการได้อย่างไร ▪ ระดับของการใช้เครื่องจักรในการจัดการวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้หรือไม่? - คำถามเกี่ยวกับความล่าช้า

- หลีกเลียงความล่าช้าได้หรือไม่
- สาเหตุของความล่าช้าคืออะไร สามารถจัดเหตุผลได้หรือไม่

- คำถามเกี่ยวกับการจัดเก็บ

- การจัดเก็บจำเป็นหรือไม่
- เหตุใดจึงไม่สามารถย้ายวัสดุไปยังการดำเนินงานถัดไปได้ทันที

10.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของปฏิบัตินี้มีดังนี้ :

- เพื่อใช้ประเภทผังกระบวนการของการวิเคราะห์งานเพื่ออธิบายกระบวนการสองขั้นตอน:

ขั้นแรก : เพื่ออธิบายงานกระบวนการประกอบอย่างง่ายในห้องปฏิบัติการซึ่งจำลองกระบวนการทางอุตสาหกรรม (การทดลองในห้องปฏิบัติการ)

ขั้นที่สอง : เพื่ออธิบายขั้นตอนงานในการเปลี่ยนยางแบน นี่แสดงให้เห็นถึงงานที่ไม่ใช่งานอุตสาหกรรม งานนี้มอบให้กับนักเรียนที่มีข้อความและวิดีโอ (การทดลองที่ไม่ใช่ในห้องปฏิบัติการ)

- รับแนวทางแก้ไขและคำแนะนำที่ได้รับการปรับปรุงผ่านการตั้งคำถามที่สำคัญเกี่ยวกับเนื้อหาของแผนภูมิสำหรับทั้ง

สองงาน: การประกอบและการเปลี่ยนยาง

10.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- แผ่นไม้และเสาสองอันมีแผ่นไม้ขนาดเล็กที่มีสลักเกลียว 6 ตัวสำหรับแผ่นตั้งตรงแต่ละแผ่น และสลักเกลียวแต่ละตัวมี น็อตและแหวนรอง จำนวนทั้งหมด 12 ตัว ขนาดตัวเครื่อง $0.76 \times 0.40 \times 0.40$ ม. แผ่นไม้ การจำลองงานประกอบ เนื่องจากงานประเภทนี้พบได้ทั่วไปในงานในโรงงานต่าง ๆ โดยเฉพาะใน ภาคอุตสาหกรรม และผู้ปฏิบัติงานอาจมีท่าทางที่ไม่สะดวกในการทำงานประเภทนี้ได้
- เครื่องมือช่างสองประเภท (ประแจ Crescent 10 นิ้วและไขควง) ใช้สำหรับยึดสลักเกลียวเข้ากับแผ่นไม้ (รูปที่ 2)
- นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอลยังบันทึกเวลาเพื่อทำงานให้เสร็จ นาฬิกาจับเวลามีคุณสมบัติเหล่านี้: 10-500 รอบและแยกหน่วยความจำด้วยการเรียกคืนหน่วยความจำ 1/100 วินาทีระหว่างการทำงาน ปฏิทินและเวลา (รูปแบบ 12/24 ชั่วโมง) นับถอยหลังและทำซ้ำได้ (รูปที่ 3)



ภาพที่ 2: ประกอบแผ่นไม้ เครื่องมือช่าง และสลักเกลียวพร้อมน็อตและแหวนรอง



รูปที่ 3: นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล

10.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. ผู้ทดลองจะได้รับการแนะนำสั้น ๆ เกี่ยวกับการทดลองเพื่อทำความเข้าใจกับขั้นตอน มีคำแนะนำและคำแนะนำในการประกอบแผ่นไม้
2. ผู้ทดลองเข้าร่วมวางแผนขั้นตอนการประกอบซึ่งงานส่วนใหญ่ทำโดยมือที่ถนัด และอีกข้างหนึ่งช่วย
3. ผู้ทดลองคนหนึ่งในกลุ่มประกอบส่วนประกอบทั้งหมดที่มีให้ (โดยไม่ต้องจัดเตรียมสลักเกลียว น็อต แหวนรอง และเครื่องมือช่าง) ในชุดประกอบแผ่นเดียว ผู้ทดลองจะต้องยึดชุดสลักเกลียวครบชุด 12 ชุด (ประกอบด้วยสลักเกลียว น็อต และแหวนรอง) ที่มีขนาดต่างกันบนแผ่นตั้งตรงทั้งสอง

4. ผู้ทดลองต้องทำงานด้วยความเร็วที่สามารถรักษาไว้เป็นกะได้ 8 ชั่วโมง สมมติว่าจ่ายเป็น 800 บาทต่อชั่วโมง; เขาต้องทำให้เสร็จ 75 แผ่นที่ประกอบขึ้นระหว่างกะ
5. ผู้ทดลองคนที่สองบันทึกเวลาที่จะทำการประกอบแต่ละครั้งให้เสร็จ (เช่น รอบเวลา) รวมทั้งเวลาที่จะติดสลักแต่ละอันเป็นเวลาองค์ประกอบหรือกลุ่มย่อยของเวลาองค์ประกอบ เวลาเหล่านี้ถูกบันทึกไว้ในผังกระบวนการตามที่แสดงไว้ก่อนหน้านี้ในรูปที่ 1
6. ผู้ทดลองคนที่สามบันทึกลำดับของการดำเนินการในผังกระบวนการและเหตุการณ์ใด ๆ ที่ควรทราบ เช่น ส่วนที่ไม่ดีหรืองานแทรกที่ยาก
7. ในขณะที่กลุ่มทำงานประกอบชิ้นและการวัดที่คล้ายคลึงกัน พวกเขาจำเป็นต้องจัดเรียงส่วนประกอบแต่ละชุด ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสลักเกลียวและเครื่องมือช่างในแนวแถวต่อหน้าผู้ทดลอง

10.5 บันทึกผลการทดลอง

- ก. รวบรวมคำอธิบายของงานประกอบในผังกระบวนการ (รูปที่ 1) หาค่าเฉลี่ยของรอบ; เพิ่มระยะทางในการขนส่ง (ถ้าเป็นไปได้) และยอดรวมและระบุการดำเนินการทั้งหมดที่จำเป็น นอกจากนี้ คุณต้องเพิ่มต้นทุนพนักงานสำหรับกะ 8 ชั่วโมงด้วย
- ข. จัดเตรียมผังกระบวนการสำหรับการออกแบบใหม่ของงานประกอบตามที่กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 7 (ส่วน 2.4) หาค่าเฉลี่ยของรอบ เพิ่มระยะทางในการขนส่ง (ถ้าเป็นไปได้) และยอดรวมและระบุการดำเนินการทั้งหมดที่จำเป็น



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
ปฏิบัติการที่ 11 ไดอะแกรมสายใย (String Diagram)

11.1 บทนำ

ไดอะแกรมสายใย คือ แผนผังมาตราส่วนหรือแบบจำลองที่ใช้เพื่อติดตามและวัดเส้นทางของผู้ปฏิบัติงาน วัสดุ หรืออุปกรณ์ระหว่างลำดับเหตุการณ์ที่ระบุ ไดอะแกรมสายใยส่วนใหญ่ใช้สำหรับศึกษาการเคลื่อนไหวของคนงาน ผู้ศึกษางานสังเกตการเคลื่อนไหวของคนงานในช่วงเวลาที่เพียงพอ การสังเกตอาจถูกบันทึกไว้ในเอกสารศึกษาการเคลื่อนไหวย่างง่ายจากนั้นจึงสร้างไดอะแกรมสายใยได้ การตรวจสอบไดอะแกรมและการพัฒนาแผนผังงานใหม่สามารถดำเนินการกับเทมเพลตที่ใช้และหมุดและเทมเพลตถูกย้ายไปมาจนกว่าจะพบการจัดเรียงซึ่งการดำเนินการเดียวกันสามารถทำได้โดยมีการเคลื่อนย้ายน้อยที่สุดระหว่างกัน ไดอะแกรมสายใยเป็นตัวช่วยที่มีประโยชน์ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เสนอต่อผู้บริหาร หัวหน้างาน และพนักงาน

11.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้มีดังนี้:

- เพื่อให้เข้าใจแนวคิดและเทคนิคของไดอะแกรมสายใย
- เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกฝนการสร้างไดอะแกรมสายใยจากข้อมูลในการศึกษาการเคลื่อนไหว

Movement study sheet				
Chart No. 1 Sheet No. 1 of 2			Operative(s):	
Operation: <i>Transport biscuit tiles</i>				
<i>from inspection to storage</i>			Charted by:	
<i>bins and unload into bins</i>			Date:	
Location: <i>Biscuit warehouse</i>			Cross-reference: <i>String diagrams</i>	
				1 and 2
1 Time dep.	2 Time arr.	3 Time elapsed	4 Move to	5 Notes
			<i>Inspection bench (I)</i> <i>to Bin 4</i> <i>/ 13</i> <i>/ 5</i> <i>/ 32</i> <i>/ 18</i>	

รูปที่ 1: เอกสารศึกษาการเคลื่อนไหว

11.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ไม้ก๊อ (50 ซม.*50 ซม.) ขึ้นไป
- หมุด
- เชือก



รูปที่ 2: ไม้ก๊อ



รูปที่ 3: หมุด

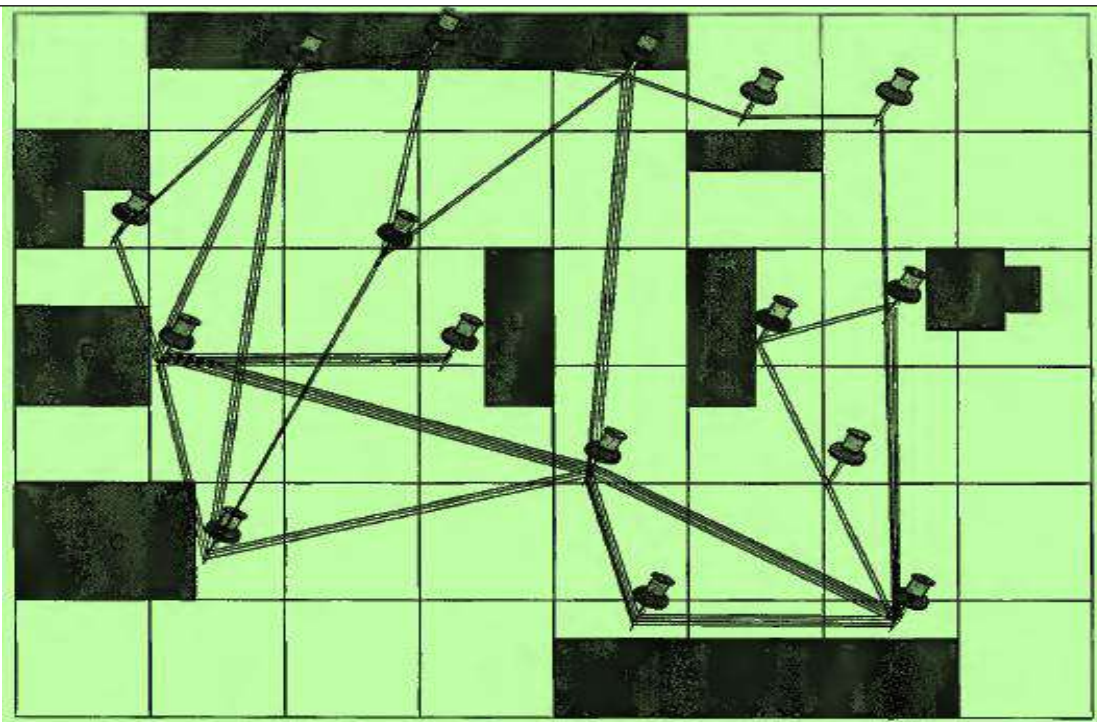


รูปที่ 4: เชือก

11.4 ขั้นตอนการทดลอง

แต่ละกลุ่มจะต้องสร้างไดอะแกรมสายใย 2 ไดอะแกรมโดยใช้เครื่องมือที่ให้มา:

1. ผู้เข้าร่วมจะได้รับคำแนะนำสั้น ๆ เกี่ยวกับการทดลอง มีคำแนะนำและคำแนะนำเกี่ยวกับวิธีสร้างไดอะแกรมสายใย
2. การใช้ข้อมูลในเอกสารการศึกษาการเคลื่อนไหว ผู้ทดลองต้องวางหมุดบนลูกเป็นแผนผังงาน และทำการเชื่อมต่อระหว่างจุดระบุโดยใช้เชือกที่ละขั้นตอน หลังจากนั้นจะต้องกำหนดความยาวของเชือกที่ใช้ในกระบวนการ
3. นักเรียนจะสร้างไดอะแกรมสายใยอีกอันโดยใช้ไม้ก๊อกและหมุดอีกชิ้นหนึ่ง แต่ต้องเปลี่ยนตำแหน่งของจุดระบุเพื่อให้เชือกที่ใช้สั้นลงกว่าเดิมโดยใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบเดิม กล่าวอีกนัยหนึ่ง ไดอะแกรมที่สองแสดงการปรับปรุงที่เสนอในแผนผังงาน



รูปที่ 5: แผนผังงาน

11.5 ข้อกำหนด

- ก. สร้างไดอะแกรมสายใยสำหรับเค้าโครงงานที่กำหนดในชั้นเรียนโดยใช้สื่อที่อธิบายข้างต้น
- ข. สร้างไดอะแกรมสายใยสำหรับงานที่พัฒนา (ปรับปรุง) แผนผังงานโดยใช้ชุดวัสดุที่คล้ายกัน
- ค. ทำการเปรียบเทียบระหว่างไดอะแกรมกับความยาวของเชือกที่ใช้เพื่อแสดงระยะเคลื่อนที่ที่ได้นับที่กไว้



ใบขั้นตอนการปฏิบัติงานฝึก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 1
 ปฏิบัติการที่ 12 การศึกษาเวลาโดยตรง

12.1 บทนำ

การศึกษาเรื่องเวลาโดยตรงเป็นการสังเกตงานโดยตรงและต่อเนื่องโดยใช้นาฬิกาจับเวลาหรืออุปกรณ์บอกเวลาอื่น ๆ เพื่อบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานให้สำเร็จ การศึกษาเวลาตรงเรียกอีกอย่างว่าวิธีการศึกษาเวลาของนาฬิกาจับเวลา เวลาตรงเป็นหนึ่งในการวัดงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในการกำหนดเวลามาตรฐานของงาน อย่างไรก็ตาม ขณะสังเกตและบันทึกเวลา จะมีการประเมินระดับการปฏิบัติงานของคนงานเพื่อให้ได้เวลาปกติของงาน เนื่องจากคะแนนประสิทธิภาพในวิธีนี้มีความสำคัญในการกำหนดเวลามาตรฐาน เวลาปกติในวิธีนี้ได้จากการคูณเวลาสังเกตขององค์ประกอบงานด้วยคะแนนประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้น ข้อมูลจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณเวลามาตรฐานสำหรับงานหลังจากเพิ่มค่าเผื่อ PFD (ความต้องการส่วนบุคคล เวลาความล้า และความล่าช้า) การศึกษาเวลาโดยตรงนั้นเหมาะสมมากสำหรับงานที่เกิดซ้ำ (การผลิตแบบกลุ่มและจำนวนมาก)

- เพื่อดำเนินการศึกษาเวลาตรง (DTS) ควรปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้:

1. กำหนดและจัดทำเอกสารวิธีการมาตรฐาน
2. แบ่งงานออกเป็นแต่ละองค์ประกอบ
3. เวลาขององค์ประกอบของงาน จะได้เวลาที่ใช้สังเกต T_{obs}
4. ประเมินประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานเทียบกับผลการปฏิบัติงานมาตรฐานเพื่อให้ได้เวลาปกติ T_n
 - performance rating (PR %)

$$T_n = T_{obs}(PR) \quad (1)$$

5. ค่าเผื่อเพื่อคำนวณเวลามาตรฐาน

$$T_{std} = T_n(1 + A_{pfd}) \quad (2)$$

- ผู้ศึกษางานควรพิจารณาแนวทางต่อไปนี้โดยแบ่งงานออกเป็นองค์ประกอบงาน:

- องค์ประกอบงานแต่ละส่วนควรประกอบด้วยกลุ่มขององค์ประกอบการเคลื่อนไหวตามตรรกะ
- จุดเริ่มต้นขององค์ประกอบหนึ่งควรเป็นจุดสิ้นสุดขององค์ประกอบก่อนหน้า

- แต่ละองค์ประกอบควรมีจุดสิ้นสุดที่สามารถระบุได้ง่าย
 - องค์ประกอบงานไม่ควรยาวหรือสั้นเกินไป (น้อยกว่า 3 วินาที)
 - แยกองค์ประกอบที่ไม่ปกติ (องค์ประกอบที่ไม่บ่อย) ออกจากองค์ประกอบปกติ
 - แยกองค์ประกอบแบบแมนนวลออกจากองค์ประกอบของเครื่อง
 - แยกองค์ประกอบภายใน (ระหว่างการทำงานของเครื่องจักร) ออกจากองค์ประกอบภายนอก
- มีวิธีจับเวลาหาฟีกาจับเวลาที่สำคัญสองวิธีที่ใช้ในการศึกษาเวลาตรงเพื่อบันทึกเวลาสังเกต:
1. วิธีการจับเวลาแบบ Snapback Flyback – นาฬิกาจับเวลาจะถูกรีเซ็ตเป็นศูนย์เมื่อเริ่มต้นองค์ประกอบการทำงานแต่ละส่วน
 2. วิธีการจับเวลาต่อเนื่อง – นาฬิกาจับเวลาสามารถทำงานต่อเนื่องได้ตลอดระยะเวลาของรอบการทำงาน

12.2 วัตถุประสงค์

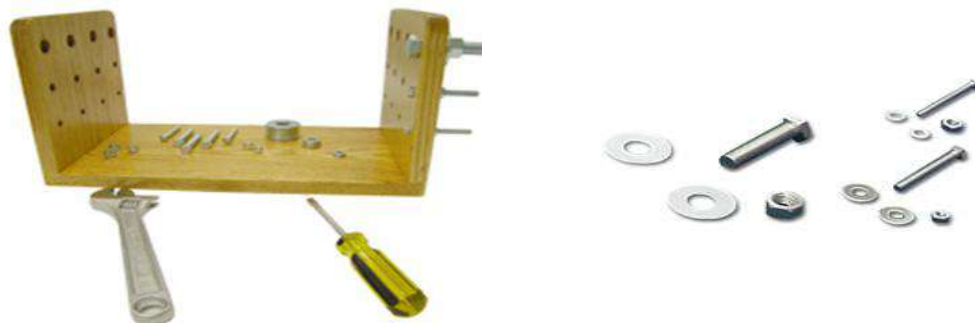
วัตถุประสงค์ของการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้มีดังนี้:

- เพื่อให้เข้าใจแนวคิดและเทคนิควิธีการศึกษาเวลาโดยตรงในการวัดเวลา
- เพื่อเรียนรู้เวลาตรงศึกษาเพื่อกำหนดเวลาปกติและเวลามาตรฐานสำหรับงาน
- เพื่อเรียนรู้และทำความเข้าใจการคำนวณจำนวนการอ่านเวลาที่เหมาะสม (เช่น จำนวนการสังเกตเวลา) ที่จำเป็นในการให้ค่าเวลามาตรฐานที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับงาน

12.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- แผ่นไม้และเสาสองอันมีแผ่นไม้ขนาดเล็กที่มีสลักเกลียว 6 ตัวสำหรับแผ่นตั้งตรงแต่ละแผ่น และสลักเกลียวแต่ละตัวมีน็อตและแหวนรอง จำนวนทั้งหมด 12 ตัว ขนาดตัวเครื่อง 0.76×0.40×0.40 ม. แผ่นไม้การจำลองงานประกอบเนื่องจากงานประเภทนี้พบได้ทั่วไปในงานในโรงงานต่าง ๆ โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม และผู้ปฏิบัติงานอาจมีท่าทางที่ไม่สะดวกในการทำงานประเภทนี้ได้
- เครื่องมือช่างสองประเภท (ประแจ Crescent 10 นิ้วและไขควง) ใช้สำหรับยึดสลักเกลียวเข้ากับแผ่นไม้ (รูปที่ 2)
- นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัลยังบันทึกเวลาเพื่อทำงานให้เสร็จ นาฬิกาจับเวลามีคุณสมบัติเหล่านี้: 10-500 รอบ

และแยกหน่วยความจำด้วยการเรียกคืนหน่วยความจำ 1/100 วินาทีระหว่างการทำงาน ปฏิทินและเวลา (รูปแบบ 12/24 ชั่วโมง) นับถอยหลังและทำซ้ำได้ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2: ประกอบแผ่นไม้ เครื่องมือช่าง และสลักเกลียวพร้อมน็อตและแหวนรอง



รูปที่ 3: นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล

12.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้ (งานกลุ่ม)

1. ผู้เข้าร่วมจะได้รับการแนะนำสั้น ๆ เกี่ยวกับการทดลองเพื่อทำความเข้าใจกับขั้นตอน มีคำแนะนำและคำแนะนำในการประกอบแผ่นไม้
2. ผู้ทดลองต้องแบ่งงานออกเป็นองค์ประกอบงาน งานประกอบประกอบด้วย 12 สลักเกลียวดัดนั้น; ผู้ทดลองควรพิจารณาสลักเกลียวแต่ละอันเป็นองค์ประกอบงานเดียว (12 องค์ประกอบงาน)
3. ผู้ทดลองจำเป็นต้องใช้รูปแบบการศึกษาเวลาตรง (ดูรูปที่ 3) เพื่อบันทึกเวลาสังเกตและคะแนนประสิทธิภาพสำหรับงาน นอกจากนี้ยังต้องเขียนองค์ประกอบงานทั้งหมดในรูปแบบฟอร์ม
4. ผู้ทดลองคนหนึ่งในกลุ่มประกอบส่วนประกอบทั้งหมดที่มีให้ ในชุดประกอบแผ่นเดียว นักเรียนจะต้องยึดชุดสลักเกลียวครบชุด 12 ชุด (ประกอบด้วยสลักเกลียว น็อต และแหวนรอง) ที่มีขนาดต่างกันบนแผ่นตั้งตรงทั้งสอง ผู้ทดลองต้องหยิบน็อตและน็อตเล็ก ๆ มาซ่อม และต้องตรวจสอบคุณภาพการประกอบที่แน่น

หนา หลังจากนั้นเขาต้องหยิบสลักเกลียวขนาดใหญ่และน็อตและข้อมัน และต้องตรวจสอบให้แน่นหนา
สุดท้ายผู้ทดลองต้องยกชุดประกอบวัตถุไปวางไว้

5. ผู้ทดลองคนอื่น ๆ บันทึกเวลาสังเกตเพื่อทำงานแต่ละองค์ประกอบให้เสร็จ คำนวณคะแนนประสิทธิภาพ
สำหรับแต่ละองค์ประกอบงาน คะแนนประสิทธิภาพของผู้ทดลองขึ้นอยู่กับความเร็วและคุณภาพของงาน
ประกอบ ผู้ทดลองจึงต้องตรวจสอบคุณภาพการประกอบให้แน่น ผู้ทดลองควรกำหนด PR = 100%
สำหรับประสิทธิภาพปกติ มากกว่า 100% สำหรับประสิทธิภาพที่รวดเร็วและแม่นยำดี และต่ำกว่า 100%
สำหรับประสิทธิภาพของนักเรียนที่ช้ากว่าและความแม่นยำต่ำ

6. แต่ละกลุ่มต้องรวบรวมข้อมูลของเวลาสังเกตและคะแนนประสิทธิภาพสำหรับแต่ละองค์ประกอบงาน
จากกลุ่มเรียนอื่น ๆ ทั้งหมด และกรอกข้อมูลเหล่านี้ในคอลัมน์วงจรดังแสดงในแบบฟอร์มการศึกษาเวลา
โดยตรง

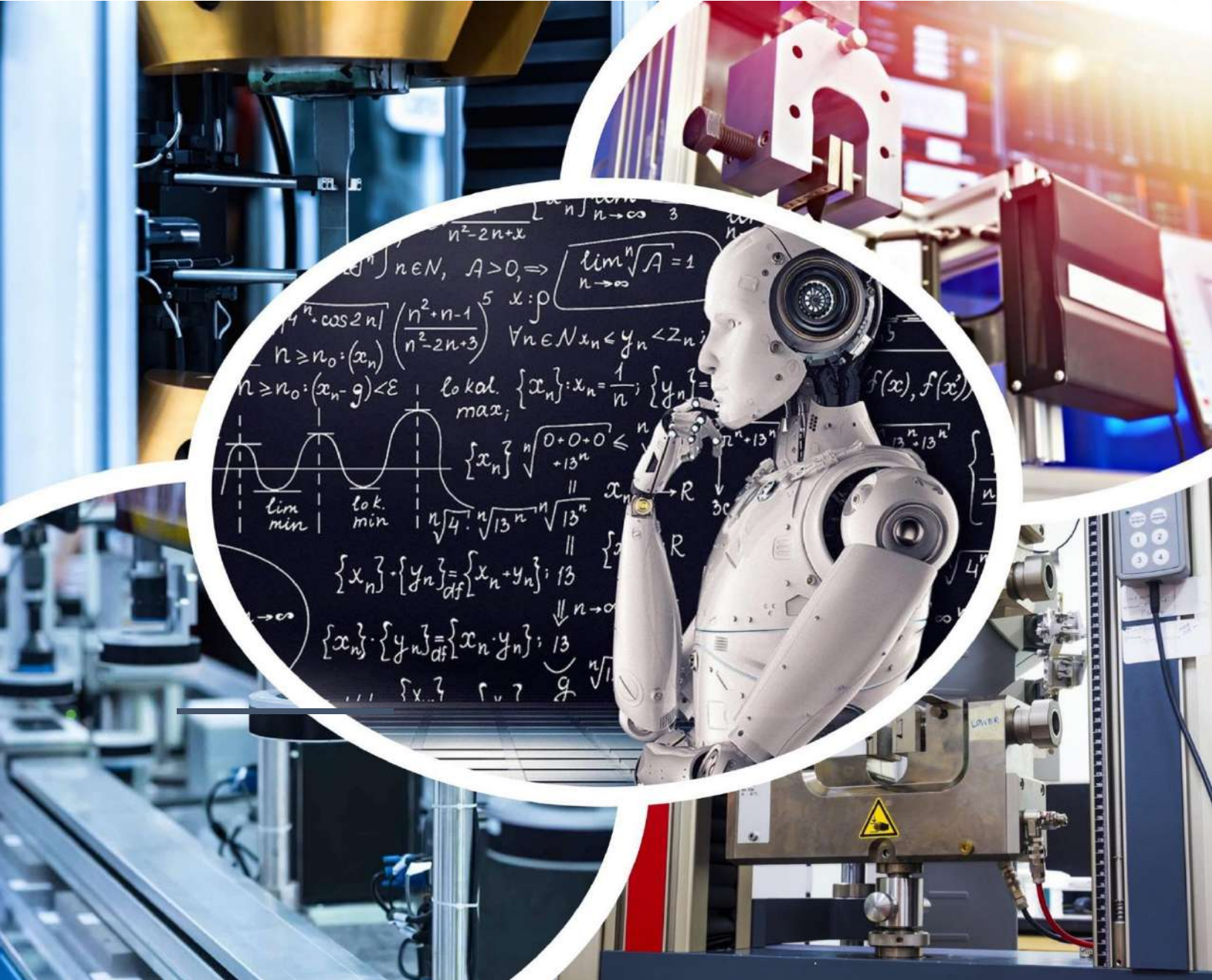
7. จากนั้นผู้ทดลองต้องคำนวณเวลาปกติของแต่ละองค์ประกอบงานโดยใช้สมการที่ (1) ในหัวข้อ 12.1
หลังจากนั้นจะต้องเพิ่มเวลาปกติทั้งหมดสำหรับองค์ประกอบงานทั้งหมดเพื่อกำหนดเวลาปกติทั้งหมด
สำหรับงาน

รูปที่ 3: แบบฟอร์มการศึกษาตรงเวลา

12.5 ผลการทดลอง

1. กำหนดเวลาปกติทั้งหมด (T_n) ของงานเป็นนาที่
2. กำหนดเวลามาตรฐาน (T_{std}) ของงานหากค่าเผื่อ PFD คือ 12% (ดูสมการที่ (2) ในส่วนที่ 12.1)

กำหนดจำนวนรอบที่ควรกำหนดเวลาสำหรับงานประกอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเวลาองค์ประกอบจริงอยู่ภายใน $\pm 11\%$ ของค่าเฉลี่ย



รายวิชา



ปฏิบัติการวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials Laboratory)

รหัสวิชา 6043405

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ลักษณะรายวิชา

1. ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (Mechanical Engineering Laboratory)
2. สภาพรายวิชา กลุ่มวิชาแกนและวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมควบคุม
3. พื้นฐาน รายวิชาบังคับก่อน : ใช้เรียนควบกับวิชา 6043405 วัสดุวิศวกรรม
4. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 - 4.1 เพื่อให้นักศึกษาสามารถทำการปฏิบัติการทางวิศวกรรมเครื่องกลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางวัสดุวิศวกรรม หลักการทดสอบวัสดุและกลศาสตร์ของวัสดุ
 - 4.2 เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี
 - 4.3 เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนรายงานการทดลองได้
5. คำอธิบายรายวิชา ปฏิบัติการทางวิศวกรรมเครื่องกลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางวัสดุวิศวกรรม หลักการทดสอบวัสดุ และกลศาสตร์ของวัสดุ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปฏิบัติการทดลองที่ 1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)	1 - 15
ปฏิบัติการทดลองที่ 2 การทดสอบแรงบิด (Torsion Testing)	16 - 28
ปฏิบัติการทดลองที่ 3 การทดสอบความล้า (Fatigue Testing)	29 - 35
ปฏิบัติการทดลองที่ 4 การทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing)	36 - 44
ปฏิบัติการทดลองที่ 5 การทดสอบความคืบ (Creep Testing)	45 - 50
อ้างอิง	51

ปฏิบัติการทดลองที่ 1

การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

วัตถุประสงค์ (Objectives)

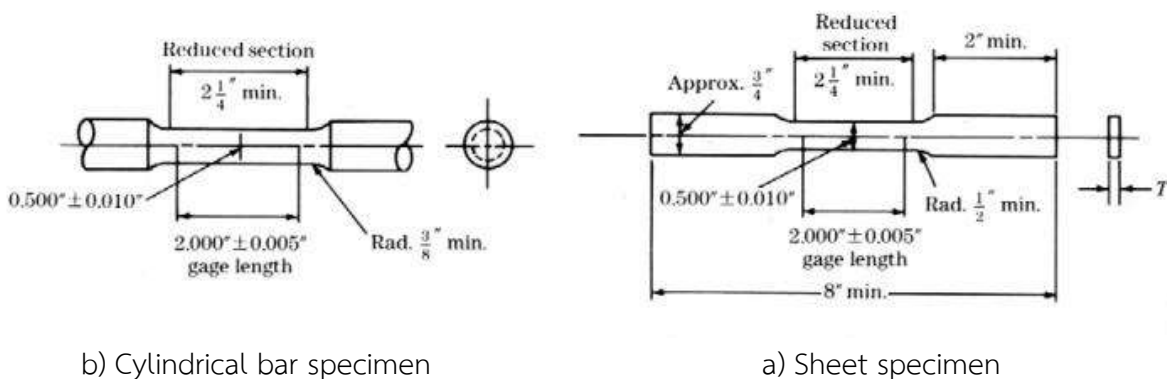
- เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการทดสอบโลหะหรือวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงทิศทางเดียว (Uniaxial Tensile test)
- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการยืดตัว (Load-extension relation), ความเค้นและความเครียด (Stress-strain Relation) โดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟ
- เพื่อหาค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate tensile strength), จุดคราก (Yield point), เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation), ความเครียดที่จุดแตกหัก (fracture strain), และค่า Young's Modulus ของโลหะเมื่อได้รับแรงดึง
- เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนรูปและการแตกหักของโลหะต่างชนิดกัน เช่น อลูมิเนียม เหล็ก และทองเหลืองเมื่อได้รับแรงดึงทิศทางเดียว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบแรงดึงทิศทางเดียว

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานทางวิศวกรรมเพื่อศึกษาความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงในทิศทางเดียว (Uniaxial tensile test) ซึ่งเป็นการทดสอบที่มีการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง โดยค่าสมบัติเชิงกลที่สนใจก็คือ Ultimate tensile strength (UTS), yield strength และ % Elongation จะถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบและเลือกสรรวัสดุเพื่อนำมาใช้งานทางวิศวกรรมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

ชิ้นงานมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง อาจเป็นชิ้นงานรูปทรงกระบอกหรือเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะเป็น แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 1 ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานที่ใช้สำหรับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบจะต้องมีขนาด และ พื้นผิวที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการหลุดออกระหว่างการดึงชิ้นงาน ส่วนขนาดความยาวของเกจ (Gauge length, L_0) จะถูกกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานซึ่งจะแปรผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_0) หรือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (A_0) ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากว่า ถ้าหากชิ้นงานมีขนาดของ Gauge length ที่มากเกินไปอาจทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ที่ได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้แล้วก่อนการกลึงขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงดึง ชิ้นงานโลหะควรผ่านการอบชุบหรือผ่านการทำ Treatment ขั้นสุดท้ายเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาก่อนการทดสอบเพื่อเป็นการป้องกันรอยตำหนิ เช่น การเกิด Oxide scale ที่ผิวชิ้นงานซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการแตกหักก่อนเวลาอันควร (Premature failure) อันเนื่องมาจาก Stress Concentration ที่รอยตำหนิ ถ้าหากว่าชิ้นงานต้องมีการผ่านกระบวนการทางความร้อน เพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านความแข็งแรงที่ผิวของชิ้นงานหรือที่เรียกว่าการทำ Surface hardening ตัวอย่างเช่น การทำ Nitriding, carburizing หรือการเคลือบที่ผิว (Surface coating) ในกรณีนี้ควรนำชิ้นงานมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ภายหลังการกลึงขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อที่ว่าผลการทดสอบสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่เราสนใจนั้นจะรวมถึงสมบัติพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุง



b) Cylindrical bar specimen

a) Sheet specimen

รูปที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง

Type specimen	United State (ASTM)	Great Britain	Germany
Sheet ($L_0 / \sqrt{A_0}$)	4.5	5.65	11.3
Rod ($L_0 / \sqrt{D_0}$)	4.0	5.0	10.0

ตารางที่ 1 ขนาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ใช้เป็นมาตรฐานในประเทศต่าง ๆ

โดยปกติแล้วเมื่อโลหะหรือวัสดุได้รับแรงดึง (Tensile loading) จะมีการเปลี่ยนรูปร่างแบบอิลาสติกและแบบพลาสติก (Elastic and plastic deformation) โดยในตอนแรกโลหะจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง Elastic ก่อน โดยมีความสัมพันธ์ของค่าแรงที่กระทำกับชิ้นงาน (Applied load) และการยืดตัว (Extension) ที่เป็นเส้นตรง (Linear relationship) ค่า Load และ Extension สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress) และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain) ที่จุดใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots 1.1$$

และ

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots 1.2$$

โดยที่

σ = ความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress)

ϵ = ความเครียดทางวิศวกรรม

P = แรงดึงที่กระทำขนานกับความยาวของชิ้นงาน (External tensile load)

A = พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงาน (Original cross-sectional area)

L_0 - ความยาวเดิมของชิ้นงาน (Original length)

L_f = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (Final length)

ค่าโมดูลัสของยังส์ (Young's modulus, E)

หากเราพิจารณารูปความสัมพันธ์ Engineering stress-strain ในช่วงที่โลหะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบอิลาสติก ถ้าเรานำแรงที่กระทำต่อชิ้นงานออกไปจะทำให้รูปทรงของชิ้นงานโลหะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Hooks (Hooks Law) โดยที่ค่าความชันของความสัมพันธ์ Engineering stress - Engineering strain โมดูลัส นี้คือ Young's modulus (E)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots 1.3$$

ค่า Young's modulus นั้นมีความสำคัญในเชิงวิศวกรรมที่เกี่ยวกับการดัดงอของวัสดุ (Deflection of material) ตัวอย่างเช่น ในเรื่องของการโก่งตัว การงอของแท่งคานเหล็กเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกในสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เช่น สะพาน อาคาร เรือ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ในการใช้งานของอุปกรณ์กีฬา เช่น เทนนิส แบดมินตัน กอล์ฟ ก็ยังต้องการสมบัติเฉพาะของวัสดุดังกล่าวเพื่อให้สัมพันธ์กับการใช้งานที่ต้องการ

จุดคราก (Yield point, G)

หากชิ้นงานได้รับแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอจะปรากฏการ Yielding ซึ่งเป็นจุดแรกที่ชิ้นงานโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) โดยค่าความแข็งแรงที่จุดนี้ เรียกว่า Yield strength (σ_y) และสามารถหาค่าได้จากค่าแรงที่กระทำตรงตำแหน่งการเกิด Yielding (P_y)หารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงานดังสมการ

$$\rho = \frac{P_y}{A_0} \dots\dots\dots 1.4$$

การเกิด Yielding สามารถพบในโลหะที่มีโครงสร้างผลึกแบบ BCC เช่น เหล็กและเหล็กกล้า หรือในโลหะผสมจำพวกไทเทเนียมและโมลิบดีนัม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steels) จะสามารถสังเกตจุด Yield ได้อย่างชัดเจนจากกราฟความสัมพันธ์ของ Engineering stress-strain ดังแสดงในรูปที่ 3 เกิดปรากฏการณ์ Yield point elongation จะเริ่มจากการเกิด Yielding ของชิ้นงานโลหะครั้งแรกที่จุด Upper Yield point ซึ่งสังเกตได้ ว่าค่าแรงดึงจะลดลงอย่างกระทันหันจนมาถึงจุด Lower yield point ต่อมาโลหะจะเกิดการยึดตัวโดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึง ในช่วงนี้แค่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งในช่วงนี้จะเรียกว่า Yield point elongation นั่นเอง หลังจากนั้นเราจะต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นในการทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูป การเกิดปรากฏการณ์ Yield point elongation ดังกล่าวนั้น เกิดจากโลหะมีปริมาณของธาตุผสมที่สามารถแทนที่อะตอม ในโครงสร้างเดิมแบบ Interstitial หรือ Substitutional อยู่จำนวนเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น คาร์บอน หรือ ไนโตรเจน เป็นต้น อะตอมของธาตุทั้งสองชนิดนี้มีขนาดเล็กกว่าอะตอมของเหล็กมากและสามารถแทรกอยู่ใน โครงสร้างของเหล็กแบบ Interstitial อะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจนนี้สามารถหยุดการเคลื่อนที่ของ Dislocations หรือที่เรียกว่า เกิด Dislocation pinning ดังนั้นจะต้องใช้ความเค้นในการดึงให้ Dislocation นี้หลุด ออกจากอะตอมดังกล่าว ความเค้นที่ว่านี้คือ ความเค้นที่จุด Upper yield point เมื่อ Dislocation ถูกดึงออกจาก อะตอมที่ขัดขวางอยู่ แล้ว Dislocation จึงสามารถเคลื่อนที่โดยใช้แรงหรือความเค้นที่น้อยลง หรืออาจเกิดการ เคลื่อนที่ของ Dislocation กลุ่มใหม่ ทำให้ค่าความเค้นลดลงมาถึงจุดที่เรียกว่า Lower yield point นั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่า

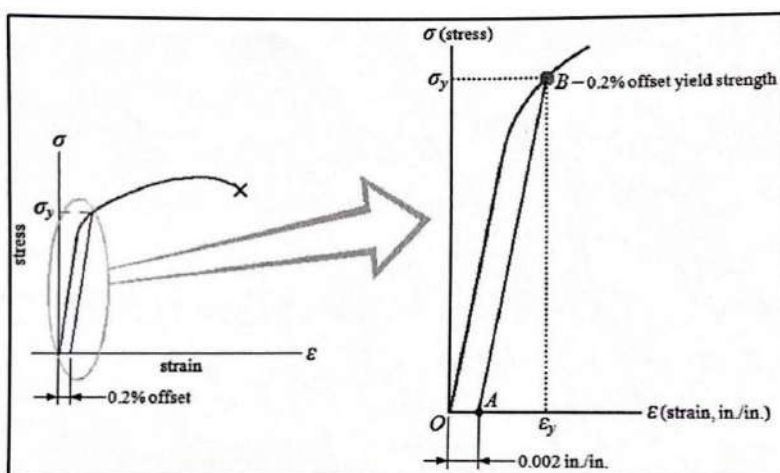
หากเหล็กคาร์บอนนี้มีปริมาณคาร์บอนหรือไนโตรเจนมาก ก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Yield point เช่นนี้ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ส่วนโลหะที่ปรากฏ Yield point ที่ชัดเจน ยกตัวอย่าง เช่น อะลูมิเนียม ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC จะแสดงเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง Engineering stress-strain ที่ค่อนข้างต่อเนื่อง ในกรณีนี้เราสามารถหาค่า Yield strength ได้จากการอ่านค่าแรงกระทำที่ 0.2% ของ Strain (P)หารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงาน

$$\sigma_{0.2y} = \frac{P_{0.2\%}}{A_0} \dots\dots\dots 1.5$$

หมายเหตุ: สามารถหาค่า Yield strength ได้ที่ 0.5 และ 1.0% strain แล้วแต่กรณี

การหาค่า Yield strength ของชิ้นงานที่ไม่แสดง Yield point ที่ชัดเจนนี้สามารถทำได้โดยลากเส้นตรงขนานกับเส้นความชันของ Stress-strain curve โดยมีจุดตัดแกน X ที่ 0.2% offset หรือคิดเป็น Strain = 0.002 ดังแสดงในรูปที่ 2 จุดตัดของเส้นตรงที่ 0.2% offset นี้กับ Stress-strain curve จะแสดงค่า Stress ที่ 0.2% strain หรือค่า Yield strength ที่ 0.2% offset นั้นเอง อย่างไรก็ตาม การหาค่า Yield ด้วยวิธีนี้สามารถกำหนดค่า %offset ที่ 0.1% หรือ 0.5% ได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานให้เหมาะสม ค่า Yield strength ของวัสดุที่มีความอ่อนมาก เช่น ทองแดงหรือเหล็กหล่อเทา ซึ่งจะไม่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ของ Aluminum alloy และการหาค่า Yield strength 0.2% offset

ค่า Yield strength ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงจุดเริ่มต้นการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกนั้นมีความสำคัญอย่างมากทางวิศวกรรมด้านการก่อสร้าง โครงสร้าง การออกแบบโดยมีการใช้ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor)

เข้ามาคำนวณดังแสดงในสมการที่ 1.6 ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อใช้ในการประมาณหรือทำนายค่าความแข็งแรงของวัสดุ ให้สามารถนำมาใช้งานทางวิศวกรรมได้อย่างปลอดภัย หรือที่เรียกว่า “Working stress, σ_w ” ตัวอย่างเช่น ถ้า หากค่า Working strength $\sigma_w = 500$ MPa ถูกกำหนดในการใช้งานโดยมี Safety factor = 1.8 นั้น หมายถึง เราควรเลือกวัสดุที่มีค่า yield strength = 900 MPa เพื่อนำมาใช้งานในกรณีดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ในสมการที่ 1.6 นั้นเราสามารถใช้อำนาจความแข็งแรงสูงสุด Ultimate tensile strength แทนค่า Yield strength ได้เช่นเดียวกัน

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{\text{Safety Factor}} , \frac{\sigma_{TS}}{\text{Safety Factor}} \dots\dots\dots 1.6$$

ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_{TS})

เมื่อชิ้นงานโลหะได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องเลยจากจุดที่เกิดการ Yield ไปแล้วจะสังเกตเห็นได้ว่าเราจะต้องใช้แรงเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ดังแสดงจากกราฟ Stress strain curve ที่เพิ่มขึ้น ในช่วงนี้โลหะจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เรียกว่า การเกิด work hardening หรือ Strain hardening โลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเกิด Strain hardening ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึก (Crystal structure) และส่วนผสมทางเคมี (Chemical composition) ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของ Dislocations ในระบบของโครงสร้างผลึกที่มี Slip Systems จำนวนมาก เช่น FCC จะสามารถเกิด Slip ได้ง่ายและทำให้จำนวนของ Dislocations เพิ่มจำนวนมากตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อโลหะดังกล่าวมีแรงกระทำจะทำให้ Dislocations ขัดขวางการเคลื่อนที่ของกันและกัน ทำให้ต้องมีการใช้แรงกระทำมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปแบบ Uniform plastic deformation หรือเกิด Strain hardening นั้นเองเมื่อยังคงให้แรงกระทำอย่างต่อเนื่องกราฟ Stress-strain จะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดที่เรียกว่า Ultimate tensile strength (UTS, σ_{TS}) ที่จุดนี้แสดงถึงค่าความแข็งแรงสูงสุดที่โลหะหรือวัสดุสามารถรับแรงกระทำได้ จากนั้นพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานโลหะจะเริ่มเกิดการคอดลงและโดยทั่วไปมักจะเกิดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงาน เรียกว่าการเกิด Necking ดังแสดงในรูปที่ 4 ภายหลังจากการเกิด Necking ชิ้นงานโลหะจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกอย่างไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform plastic deformation) เนื่องจากพื้นที่ในการรับแรงมีขนาดลดลงตามลำดับกราฟ Engineering stress strain จะลดต่ำลงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะการแตกหัก (Fracture) ในที่สุดโดยค่าความแข็งแรงของวัสดุที่จุดแตกหัก (fracture) สามารถหาได้จากค่าแรงกระทำสุดท้ายที่เกิดการแตกหักหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานดังสมการ

$$\sigma_{fracture} = \frac{P_{fracture}}{A} \dots\dots\dots 1.7$$

ความแข็งแรง ณ จุดแตกหัก (Fracture Strength, σ_f)

ภายหลังชิ้นงานทดสอบคอดลงเมื่อความสัมพันธ์ของ Sties-strain เลยจุดสูงสุด พฤติกรรมการเสียรูปวัสดุเป็นแบบพลาสติกที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform plastic deformation) และ Stress จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่วัสดุเกิดการแตกหัก จุดนี้เรียกว่า ความแข็งแรง ณ จุดแตกหักหรือ Fracture strength, σ_f ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าแรงกระทำ ณ จุดที่วัสดุเกิดการแตกหักหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน ดังแสดงในสมการ

$$\sigma_{fracture} = \frac{P_{fracture}}{A_0} \dots\dots\dots 1.8$$

ความเครียด ณ จุดแตกหัก (Fracture Strain, ϵ_f)

ค่า Fracture Strain สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ Stress-strain โดยการลากเส้นขนานกับเส้นความชันของกราฟตรงจุดสุดท้ายที่เกิดการแตกหักตามลำดับลงมาตัดกับแกน X ระยะห่างระหว่างเส้นขนานทั้งสองเส้นตามแกนนอน แสดงค่า Fracture strain

ความยืดหยุ่นตัว (Tensile ductility)

ค่าความยืดหยุ่นตัวของชิ้นงาน (Tensile ductility) สามารถหาได้จากเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) หรือเปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัดชิ้นงาน (%RA) ดังสมการ

$$\%Elongation = \frac{\Delta L}{L_0} \times 10 \dots\dots\dots 1.9$$

และ

$$\%RA = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots 1.10$$

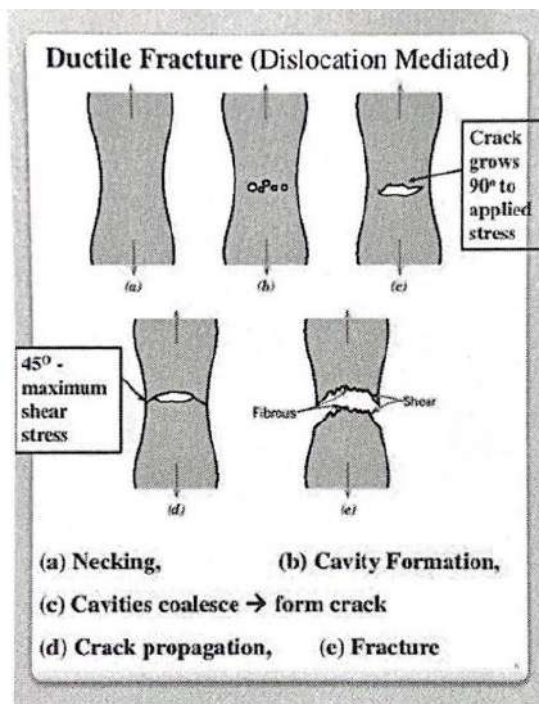
โดยที่ A_f คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานหลังการแตก

Work hardening exponent, n

นอกเหนือจากค่าตัวแปรที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อเราพิจารณาพฤติกรรมของวัสดุเลยจุดที่วัสดุมีพฤติกรรม แบบอิลาสติกโดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดไม่เป็นเส้นตรงอีกต่อไป พฤติกรรมของวัสดุ ในช่วงนี้จะเป็นแบบพลาสติกหรือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร

ลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน (Fracture characteristics of the tested specimens)

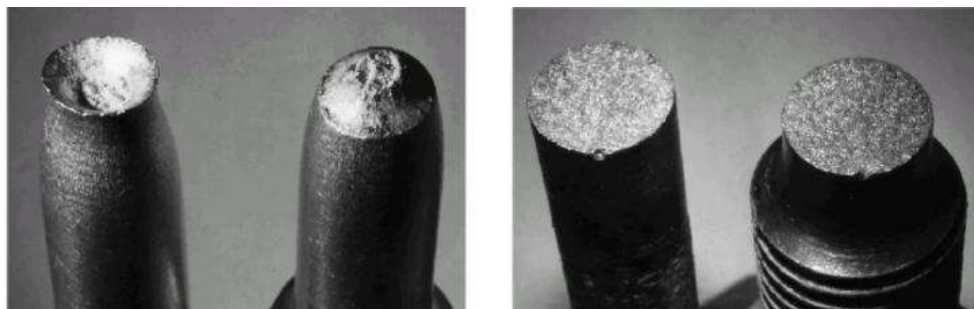
สำหรับโลหะที่มีความยืดหยุ่นสูง (Ductile metals) โดยทั่วไปจะแสดงการแตกหักแบบถ้วยและกรวย (Cup and cone) ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเกิดการคอดลง (Necking) ภายหลังจากกราฟ Stress- strain ผ่านจุดสูงสุดภายในบริเวณพื้นที่หน้าตัดดังกล่าวจะเกิดช่องว่างเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Microvoid จำนวนมาก และ Microvoid ต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีขนาดใหญ่ขึ้นจนมาเชื่อมกันเกิดเป็นรอยแตกขนาดใหญ่บริเวณตรงกลางโดยมีระนาบของรอยแตกตั้งฉากกับทิศทางแรงดึง ก่อนชิ้นงานเกิดการแตกหักจะมีการฟอร์มตัวของรอยแตกตามระนาบแรงเฉือน (Shear plane) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงานและเกิดการเชื่อมโยงของรอยแตกทั้งสองเกิดเป็นลักษณะการแตกหัก แบบ Cup and cone ดังกล่าว เมื่อเราสังเกตพื้นผิวการแตกหักด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสี่เหลี่ยมเนื่องจากเป็นพื้นผิวที่ขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 3 การแตกหักแบบ Ductile fracture จะมีการดูดซับพลังงานระหว่างการแตกหัก ค่อนข้างมากเพราะระหว่างการแตกหักจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกอย่างเห็นได้ชัด ชิ้นงานจึงมีค่า Tensile ductility ที่ค่อนข้างดี



รูปที่ 3 ลักษณะการแตกหักแบบถ้วยและกรวย (Cup and cone fracture)

สำหรับโลหะที่มีความเปราะ (Brittle metals) จะมีลักษณะพื้นผิวการแตกหักที่เรียบและแวววาว ในบางกรณีอาจมองเห็นเป็นกลุ่มของ Brittle facets ได้หากชิ้นงานมีขนาดของเกรน (Grain) ที่หยาบมากหรือหากเกรนของโลหะมีขนาดเล็ก เราสามารถตรวจสอบ Brittle facets. ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope SEM) การแตกหัก แบบ Brittle fracture นี้จะมีการดูดซับพลังงานระหว่าง

การแตกหักค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้น จะมีค่า Yield strength ที่ค่อนข้างสูง และมีค่า Tensile ductility ที่ต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากการที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกน้อยนั่นเอง



รูปที่ 4 Ductile fracture surface (Ductile metals) and Brittle fracture surface (Brittle metals)

วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and equipment)

1. ชิ้นงานทดสอบแรงดึง
2. ไมโครมิเตอร์
3. เครื่องมือทดสอบทดสอบเครื่อง Universal testing machine
4. กล้องสเตอริโอกำลังขยายต่ำ (Stereoscope)

วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

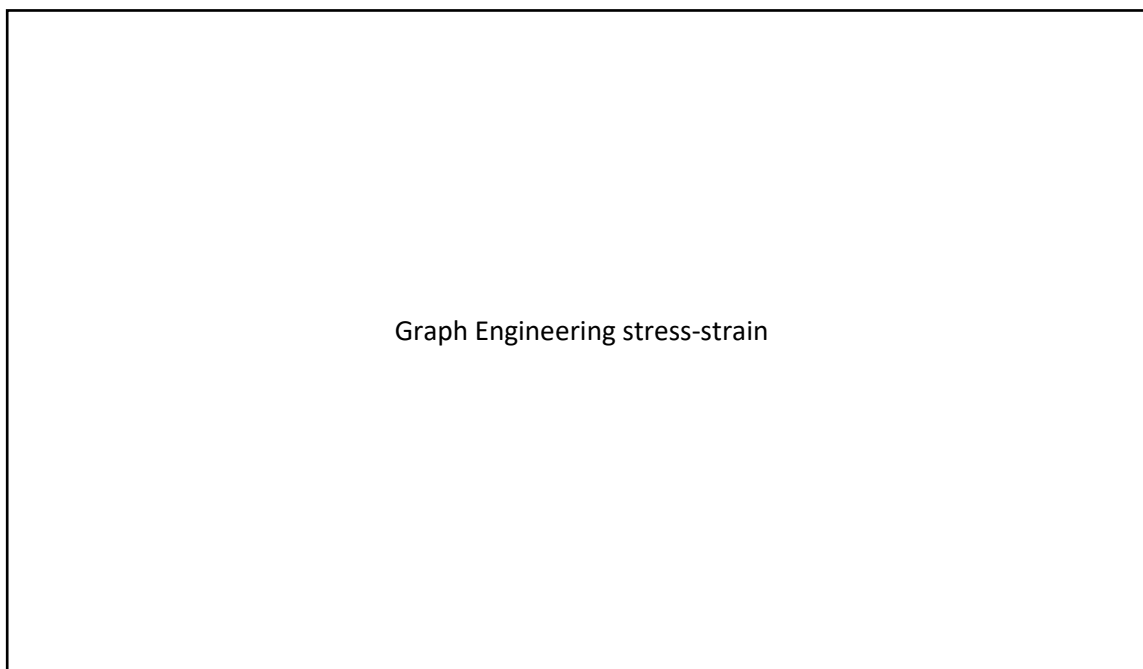
1. วัดขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึงของอะลูมิเนียม เหล็กกล้าและทองเหลือง บันทึกลงในตารางบันทึกผล พร้อม ทำเครื่องหมายแสดงระยะของความยาวของ Gauge length ของแต่ละชิ้นงานเพื่อใช้คำนวณหา ค่า Stress และ Strain
2. นำชิ้นงานโลหะมาทดสอบแรงดึงโดยใช้เครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) โดย บันทึกข้อมูล Load และ Extension เพื่อแสดงผลในรูปของ Stress-strain curve
3. คำนวณค่า Young's modulus, yield strength, ultimate tensile strength, fracture strain, % Elongation ของแต่ละชิ้นงานแล้วบันทึกลงในตารางบันทึกผล เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ผลการทดลอง
4. ศึกษาพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงานโดยใช้ตาเปล่าและใช้กล้องสเตอริโอ พร้อมบันทึกภาพหรือ วาดรูปประกอบการอธิบาย
5. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุทางวิศวกรรม

Details	Aluminium	Steel	Brass
Diameter (mm)			
Width (mm)			
Thickness (mm)			
Cross-sectional area (mm ²)			
Gauge length (mm)			
Young's modulus (GPa)			
Load at yield point (N)			
Yield strength (MPa)			
Maximum load (N)			
Ultimate tensile strength			
% Elongation			
Fracture strain			
Work hardening exponent			
Fracture mode			
Fracture surfaces (Sketch)			

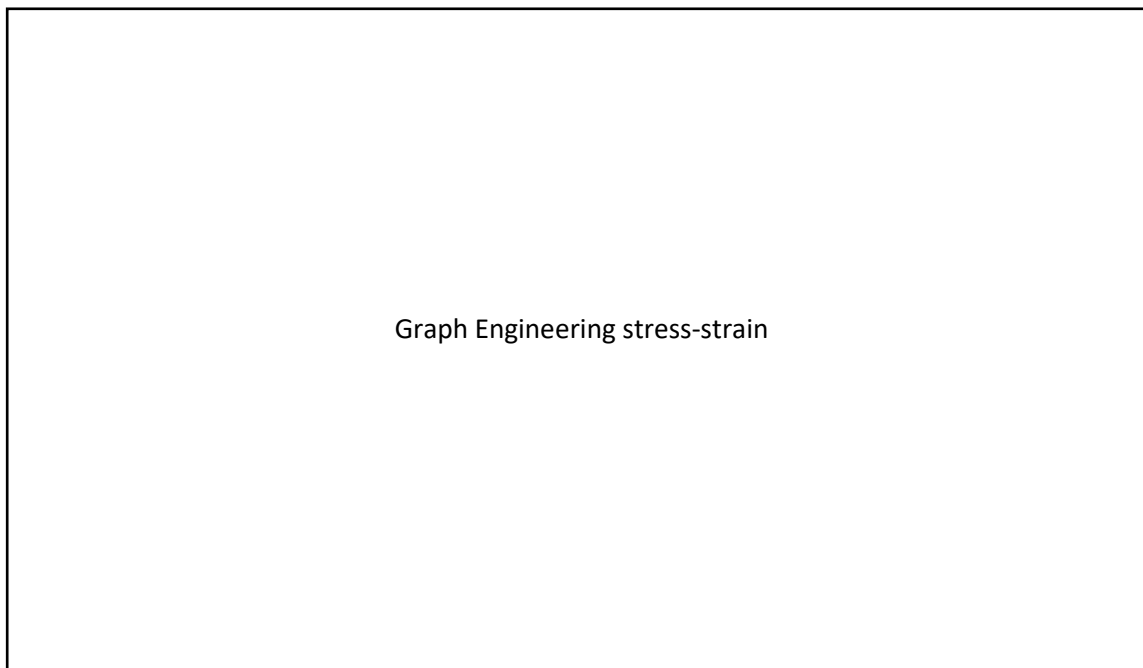
Engineering stress-strain curve of aluminium



จงอธิบายลักษณะของกราฟ Engineering stress-strain

[illegible]

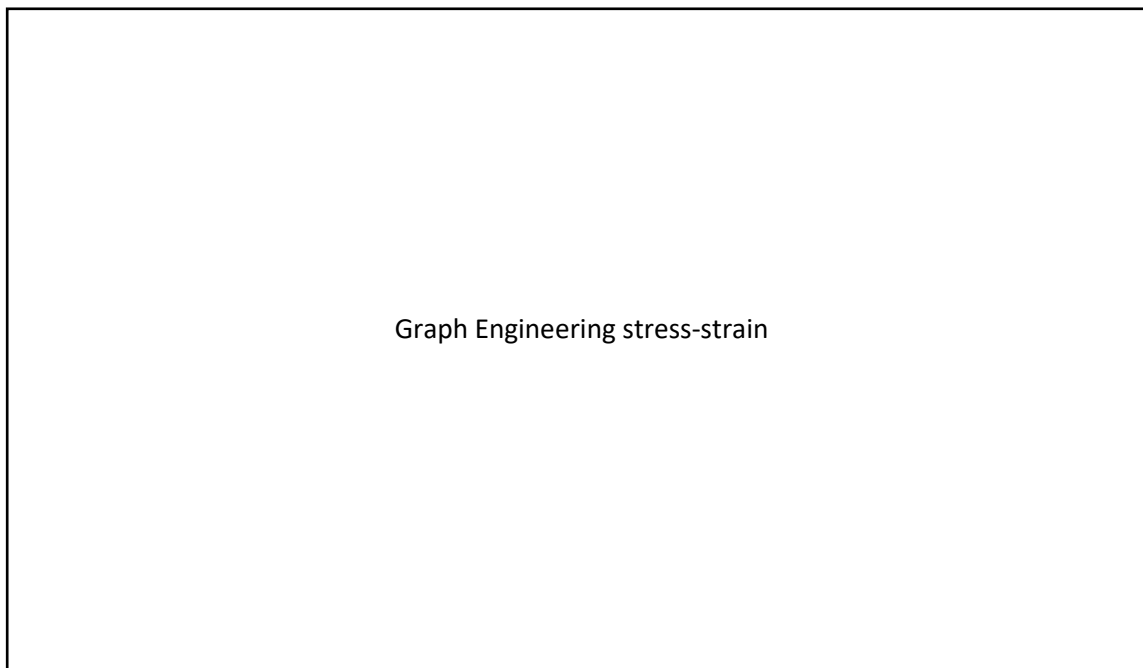
Engineering stress-strain curve of steel



จงอธิบายลักษณะของกราฟ Engineering stress-strain

[illegible]

Engineering stress-strain curve of brass



จงอธิบายลักษณะของกราฟ Engineering stress-strain

[illegible]

วิเคราะห์ผลการทดลอง

[illegible]

สรุปผลการทดลอง

[illegible]

ปฏิบัติการทดลองที่ 2

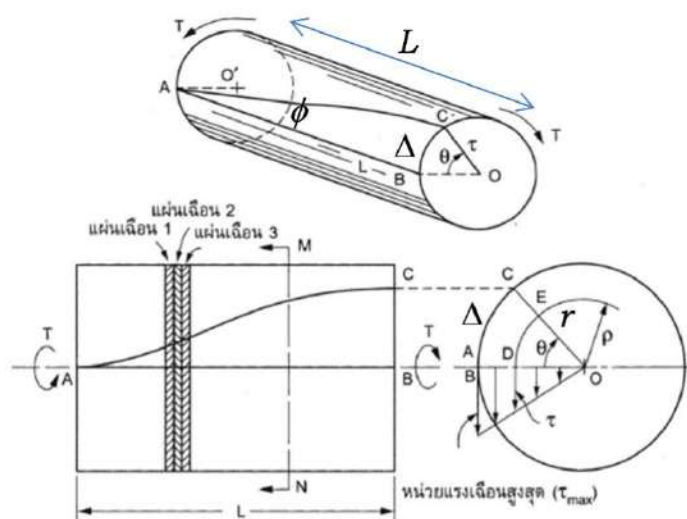
การทดสอบแรงบิด (Torsion Testing)

วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการในการทดสอบแรงบิด Torsion testing พร้อมทั้งศึกษา ลักษณะการแตกหัก ของโลหะอันเนื่องมาจากการได้รับแรงบิด
- เพื่อทดสอบหาค่าความเค้นสูงสุด (Maximum shearing stress) ความเห็นที่จุด Proportional Limit ค่าโมดูลัสแรงเฉือน (Shear modulus หรือ Modulus of rigidity) และความสัมพันธ์ ระหว่างแรงบิด (Torque) และองศาการบิด (Degree of rotation)
- สามารถบอกความแตกต่างของความสามารถในการรับแรงบิดของวัสดุต่างชนิดกัน เช่น เหล็กหล่อ (Cast iron) และทองเหลือง (Brass) ได้ และสามารถวิเคราะห์เชื่อมโยงค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากการทดลองกับลักษณะพื้นผิวของการแตกหักเนื่องจากแรงบิดได้
- สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกวัสดุให้เหมาะสม กับงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับการรับแรงบิดได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วัสดุวิศวกรรมบางประเภทอาจได้รับแรงบิดในระหว่างการใช้งาน เช่น การทำงานของเพลารถยนต์ (Drive shaft) ในขณะขับเคลื่อนเสากระโดง (axles) หรือหัวเจาะ (Twisted drill) เป็นต้น นอกจากนี้แล้วการใช้งานของสะพาน โครงสร้างตัวถังของรถยนต์และเครื่องบิน ลำเรือ สปริงหรือการใช้งานทางวิศวกรรมอื่น ๆ ก็อาจอยู่ในสภาวะที่ได้รับแรงบิดในบางครั้งได้ ดังนั้น วัสดุที่นำมาใช้งานดังกล่าวนี้ นอกจากจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงหรือ (Strength) ที่ดีแล้วยังต้องมีความสามารถในการรับแรงบิดได้ดีอีกด้วย การทดสอบแรงบิดถึงแม้จะไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายเท่ากับการทดสอบแรงดึง (Tension test) และยังไม่มีการกำหนดเป็นมาตรฐานสากลที่แน่นอน แต่การทดสอบแรงบิดถือว่ามีความสำคัญในการใช้งานของวัสดุทางวิศวกรรมในบางประเภท และยังเป็นประโยชน์ในการศึกษาการไหลตัวแบบพลาสติก (Plastic flow) อีกด้วย การทดสอบแรงบิดมักนิยมใช้ทดสอบในวัสดุที่มีความเปราะ ยกตัวอย่างเช่นในเหล็กกล้าเครื่องมือ เป็นต้น นอกจากนี้การทดสอบแรงบิดที่อุณหภูมิสูงยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดขีดความสามารถในการตีขึ้นรูป (Forgeability) ได้อีกทางหนึ่ง

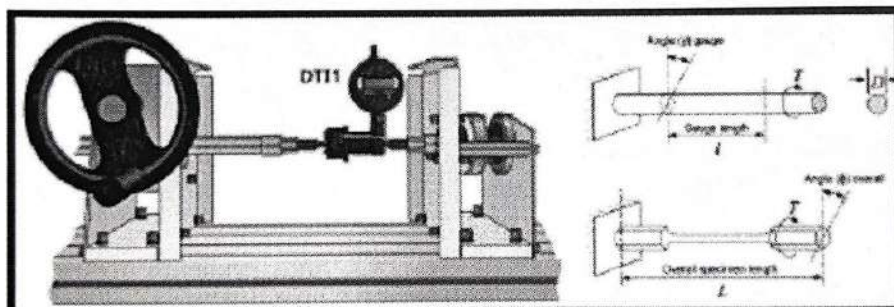


รูปที่ 1 แสดงการบิดที่เกิดขึ้นในแท่งทรงกระบอกตัน

การทดสอบแรงบิด

โดยทั่วไปแล้วการบิด (Torsion) จะเกิดขึ้นจากการให้แรงบิด (Torque) หรือโมเมนต์การบิด (Twisting moment) กับชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแรงบิด Torque ที่ว่านี้จะมีค่าเท่ากับแรงตามเส้นสัมผัส (Tangential force) คูณด้วยระยะทางตามรัศมี (Radial distance) จากแกนของจุดหมุนจนถึงแรงเส้นสัมผัสดังกล่าวและมี

หน่วยเท่ากับ Nm ในการทดสอบแรงบิดจะเป็นการหาค่าตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ดังนี้คือ ค่าความแข็งแรงแรงเฉือนสูงสุด (Ultimate torsional shearing strength หรือ Modulus of rupture) ค่าความเค้นเฉือนที่จุด Proportional Limit และค่าโมดูลัสแรงเฉือน (Shear modulus หรือ Modulus of rigidity) เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด Torque และค่ามุมที่บิดไป (Degree of rotation) อีกด้วย นอกจากนี้แล้วเป็นการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงานทดสอบ และเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความเปราะบางเหนียวของวัสดุอีกด้วย

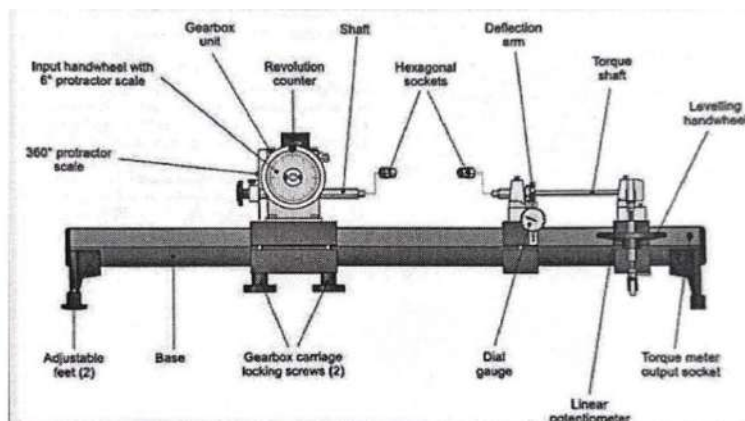


รูปที่ 2 เครื่องมือทดสอบแรงบิด

ในการทดสอบแรงบิดนั้น เราต้องการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อปลายด้านหนึ่งของชิ้นงานถูกหมุน หรือบิดไปทำให้เกิดแรงบิดที่เรียกว่า Torque โดยเราจะทำการจับยึดปลายชิ้นงานทั้งสองด้านเข้ากับเครื่องทดสอบแรงบิด (Torsion testing machine) ดังแสดงในรูปที่ 2, 3 และ 4 ชิ้นงานจะถูกบิดจากปลายด้านหนึ่ง จนกระทั่งเกิดการแตกหัก จากนั้นเราสามารถนำค่าแรงบิด Torque กับองศาการบิด Degree of rotation มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเราเพิ่มองศาในการบิดให้มากขึ้นเราจะต้องออกแรงในการบิดชิ้นงานมากขึ้นไปด้วยนั่นเองหลักการและขั้นตอนในการทดสอบแรงบิด คือนำชิ้นงานทดสอบแท่งกลมมายึดเข้ากับเกลียวยึดหกเหลี่ยม (Hexagonal socket) โดยปลายด้านหนึ่งจะถูกยึดติดกับเพลารบิด (Torque shaft) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งถูกยึดเข้ากับเพลาส่งแรงบิด (Input shaft) จากนั้นชิ้นงานทดสอบจะถูกบิดโดยใช้วงล้อที่ติดอยู่ด้านหน้า (Input handwheel) ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำให้เกิดแรงบิด (Torque) จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหักโดยส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ชิ้นงานที่เป็นแท่งทรงกระบอกตัน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณแรงเนื่องจากชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมจะมีการกระจายตัวของความเค้นที่ไม่ซับซ้อน

เมื่อเราหมุนชิ้นงานทดสอบแรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านไปยังเพลารบิด (Torque shaft) ซึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กับ Deflection arm การเคลื่อนที่ของ Deflection arm จะถูกวัดค่าออกมาเป็นแรงบิด Torque ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบในหน่วยของ Nm หรือ (bin โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Linear potentiometer ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เกิดกับชิ้นงาน (To digital torque meter) อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) เมื่อเราหมุนวงล้อมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงบิด Torque ที่วัดได้นั้นเพิ่มขึ้นด้วย โดยจะมี

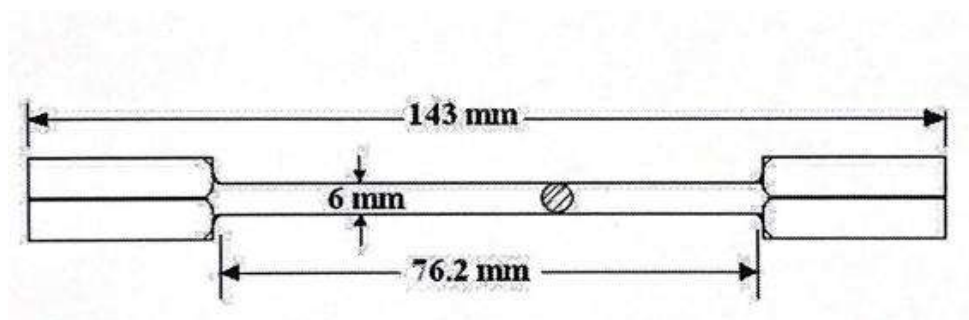
ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามองศาการบิด (Degree of rotation) เป็นเส้นตรงในช่วงแรกดังแสดงในรูปที่ 5 ในระหว่างนี้ชิ้นงานทดสอบจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก ดังนั้น เมื่อเราหมุนวงล้อกลับที่เดิมรูปร่างของชิ้นงานก็จะสามารถคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ แต่หากเราออกแรงหมุนวงล้อบิดชิ้นงานเป็นช่วงที่วัสดุมีพฤติกรรมแบบอีลาสติกแล้วก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ในกรณีดังกล่าวชิ้นงาน ทดสอบจะไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อหมุนวงล้อกลับ



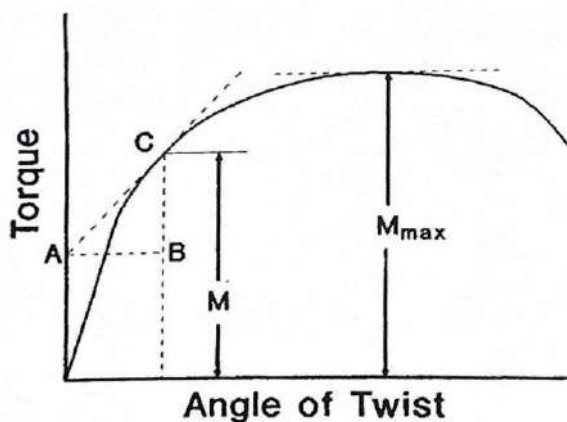
รูปที่ 3 รายละเอียดของเครื่องทดสอบแรงบิด

บนวงล้อที่เราใช้หมุนชิ้นงานจะมีสเกลอ่านค่าองศาที่ถูกบิดไป (Protractor) โดยเทียบกับมุมองศาที่ถูกบิดจากปลายอีกด้านของชิ้นงานทดสอบที่ถูกยึดอยู่กับที่องศาที่ถูกบิดตามสเกลนี้สามารถอ่านได้ค่าความละเอียดถึง 0.1° โดยในการหมุนครบรอบจะสามารถอ่านค่าได้ 6° และจำนวนรอบที่หมุนจะถูกบันทึกไว้ในอุปกรณ์วัดจำนวนรอบ (Resettable counter) องศาการบิดในสเกลที่ละเอียดนี้ จะเหมาะสมกับการใช้ทดสอบแรงบิดในช่วงที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงบิดเพียงเล็กน้อยหรือในช่วงที่ชิ้นงานมีพฤติกรรมแบบอีลาสติกนั่นเอง

แต่หากมีการบิดชิ้นงานมากเกินไปจนเป็นอีลาสติกการอ่านค่าองศาการบิดจะต้องใช้ Protractor ตัวที่สองที่มีสเกลหยากกว่าในการอ่านค่าร่วมด้วยโดย Protractor สเกลหยากนี้จะติดอยู่กับ Output shaft และสามารถอ่านค่าได้ช่องละ 1° ใน 1 รอบของการหมุนจะมีสเกลหรือช่องบังหมดเท่ากับ 360° ดังนั้น Protractor ตัวที่สองจึงเหมาะสำหรับการอ่านค่าแรงบิดในช่วงที่ชิ้นงานมีพฤติกรรมแบบพลาสติก



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงบิด



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด Torque และมุมที่หมุน Angle of twist

หากเราพิจารณาชิ้นงานแท่งทรงกระบอกตันถูกบิดที่ปลายด้านหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่าเมื่อเราให้โมเมนต์การบิด (Twisting moment, M) ที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งทรงกระบอก จะเกิดความเค้นเฉือน (Shear stress, T) ขึ้นเพื่อต้านโมเมนต์การบิดนี้ตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน โดยความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับศูนย์ที่บริเวณจุดศูนย์กลางภาคตัดขวางชิ้นงานและค่าความเค้นเฉือนนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะทางจากจุดศูนย์กลางจนถึงบริเวณขอบด้านนอกของชิ้นงาน และบริเวณขอบนอกสุดของชิ้นงานนี้จะเป็นตำแหน่งที่มีค่าความเค้นเฉือนสูงที่สุด หากชิ้นงานทรงกระบอกตันดังกล่าวมีความยาว L ค่าโมเมนต์ของแรงบิดนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นเฉือน τ ดังนี้ คือ

$$\frac{M_T}{J} = \frac{G\theta}{L} = \frac{\tau}{r} \dots\dots\dots 2.1$$

ส่วนค่าความเครียดเฉือน (Shear strain, γ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

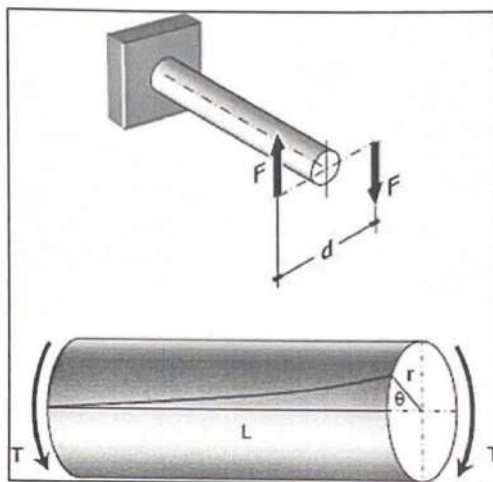
$$\gamma = \tan \theta = \frac{r\theta}{L} \dots\dots\dots 2.2$$

โดยที่ J คือ โพลามเมนต์ของความเฉื่อย (Polar moment of inertia), หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร หรือ ตารางนิ้ว

G คือ โมดูลัสความเฉือน (Shear modulus), N/mm^2 lbf/in^2

θ คือ มุมที่ถูกบิดไป (Degree of rotation), หน่วยเป็นเรเดียน

- R คือ รัศมีจากตำแหน่งจุดศูนย์กลาง, หน่วยเป็นมิลลิเมตร หรือนิ้วอ่าน
 L คือ ความยาวของชิ้นงาน, หน่วยเป็น มิลลิเมตร หรือนิ้ว
 τ คือ ความเค้นเฉือน (Shear stress), N/mm, tbf/in



รูปที่ 6 การเกิดแรงบิดในแท่งทรงกระบอก (Torsion of a solid bar)

หากชิ้นงานทดสอบที่เป็นท่อผนังบาง สามารถลดความแตกต่างของค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานท่อผนังบางได้ ส่วนค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบ ในช่วงที่ชิ้นงานมีพฤติกรรมแบบอีลาสติกนั้น สามารถคำนวณหาได้โดยพิจารณาจากสมการที่ 1 โดยจัดรูปแบบสมการใหม่ดังนี้ คือ

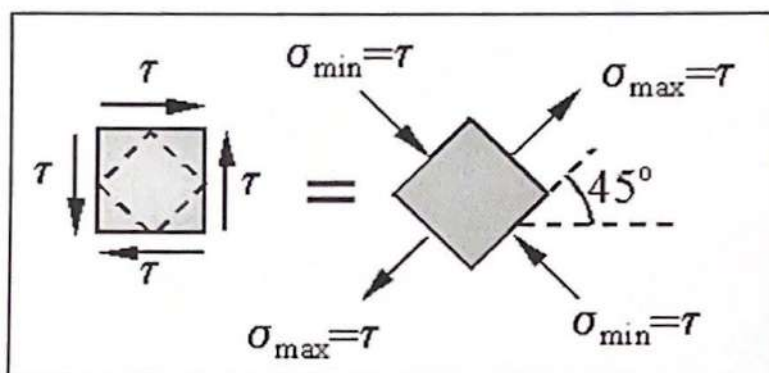
$$\tau = \frac{M_T r}{J} \dots\dots\dots 2.3$$

และหากชิ้นงานทดสอบนั้นมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน (Solid cylindrical specimen) ชิ้นงานจะมีค่าโมเมนต์การบิด $J = \pi D^4/32$ ดังนั้นเราสามารถหาค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) ได้ดังแสดงในสมการ

$$\tau = \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16 M_T}{\pi D^3} \dots\dots\dots 2.4$$

ประเภทของการความเสียหายเนื่องมาจากแรงบิด (Types of torsion failures)

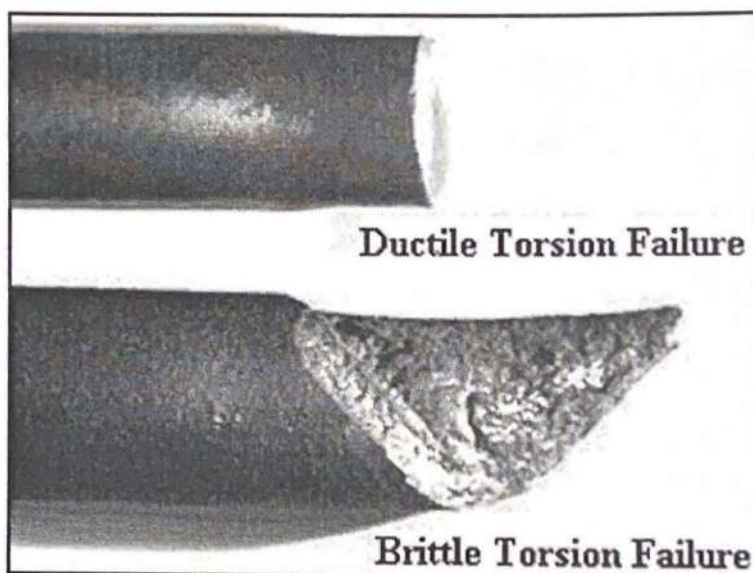
ลักษณะการแตกหักในชิ้นงานทดสอบแรงบิดนั้นมีความแตกต่างจากลักษณะการแตกหักของชิ้นงานทดสอบแรงดึง และโดยทั่วไปชิ้นงานจะเกิดการยืดตัว น้อยมากภายหลังการแตกหัก ลักษณะการแตกหักจะได้รับอิทธิพลมาจากสถานะของความเค้น (State of stress) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของชิ้นงานทดสอบแรงบิด ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stresses) จะเกิดขึ้นบน 2 ระนาบ ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ระนาบแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับความยาวของชิ้นงาน (แกน yy) ส่วนระนาบที่สองจะมีทิศทางที่ขนานกับความยาวของชิ้นงาน (แกน xx) ส่วนความเค้น (σ_1) ตามแกนหลักจะทำมุม 45° กับทิศทางตามความยาวของชิ้นงานและมีขนาดเท่ากับความเค้นเฉือนดังแสดงในรูป โดยที่จะเป็นความเค้นแรงดึง (Tensile stress) และ (σ_3) จะเป็นความเค้นแรงกด (Compressive stress) ส่วน (σ_2) ในกรณีนี้จะมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 7 การแตกหักเนื่องมาจากแรงบิด

ลักษณะพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงานเนื่องจากแรงบิดจะได้รับอิทธิพลมาจากความเค้นแรงเฉือนและความเค้น ดังกล่าว โดยเราสามารถแบ่งลักษณะของการแตกหักออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) การแตกหักแบบเหนียว และ 2) การแตกหักแบบเปราะ ในกรณีแรก การแตกหักแบบเหนียวนั้นจะเกิดเนื่องจากแรงเฉือน (Shear) ซึ่งชิ้นงานจะเกิดรอยแตกตามระนาบของแรงเฉือนสูงสุด และโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับความยาวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนการแตกหักแบบเปราะจะเกิดเนื่องมาจากแรงดึง (Tensile) ซึ่งมี พื้นผิวหน้าการแตกหักอยู่ในระนาบของแรงดึงที่ทำมุม 45° กับความยาวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนั้นใน วัสดุที่มีความเปราะจะมีรูปแบบการแตกหักในแบบที่ 2 ตามระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งมีลักษณะคล้ายการแตกเป็นเกลียว (Helix) ของเพลารถยนต์ที่ทำจากเหล็ก ส่วนวัสดุที่มีความเหนียวจะมี รูปแบบ

การแตกหักในแบบที่ 1 ตามระนาบของความเค้นเฉือนสูงสุด ดังแสดงในตัวอย่างการแตกหักด้วยแรงบิด ของ ชิ้นงานทองเหลืองในรูปที่ 8 ในบางครั้ง เราอาจพบว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจำนวนมาก ซึ่งในกรณีนี้เราจะถือว่าชิ้นงานเริ่มเกิดการแตกจากระนาบของความเค้นเฉือนสูงสุด ขนานกับความยาวของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการแตกหักจากแรงบิดในเหล็กกล้าเครื่องมือมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของชิ้นงานอีกด้วย



รูปที่ 8 การแตกหักแบบเปราะและแบบเหนียวเนื่องจากแรงบิด

วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and equipment)

1. ชิ้นงานทดสอบ
2. ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์
3. ปากกา Permanent
4. เครื่องมือทดสอบแรงบิด

วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

ขั้นตอนการทดลอง (A)

1. เตรียมชิ้นทดสอบและกำหนดระยะ Gauge Length ของชิ้นทดสอบที่ 50 mm.
2. ติดตั้งชิ้นทดสอบกับ Torsion meter และนำไปติดตั้งกับเครื่องทดสอบ
3. ต่อ DA1 และ DL1 เข้ากับเครื่องทดสอบ และทำการ Press to zero โดยต้องแน่ใจว่าไม่มีการให้แรงบิด ก่อนการทดลอง (preload) ถ้าจำเป็นอาจหมุนคันทวนให้เครื่องวัดแรงบิดแสดงค่าศูนย์
4. หมุนคันทวนไปตามทิศเข็มนาฬิกาเพื่อให้แรงบิดกับชิ้นงานทดสอบหมุนไปจนกระทั่งได้มุมหมุนตามที่กำหนดไว้ในตาราง
5. อ่านและบันทึกค่าแรงบิดที่เครื่องมือวัดแสดงผล
6. หมุนคันทวนต่อไปเพื่อให้เกิดมุมบิดตามที่ต้องการในตาราง

ขั้นตอนการทดลอง (B)

1. เตรียมชิ้นทดสอบและกำหนดระยะ Gauge Length ของชิ้นทดสอบที่ 50 mm.
2. ติดตั้งชิ้นทดสอบกับเครื่องทดสอบ
3. ต่อ DA1 และ DL1 เข้ากับเครื่องทดสอบ และทำการ Press to zero โดยต้องแน่ใจว่าไม่มีการให้แรงบิด ก่อนการทดลอง (preload) ถ้าจำเป็นอาจหมุนคันทวนให้เครื่องวัดแรงบิดแสดงค่าศูนย์
4. หมุนคันทวนไปตามทิศเข็มนาฬิกาเพื่อให้แรงบิดกับชิ้นงานทดสอบ หมุนไปจนกระทั่งชิ้นทดสอบเกิดการขาด
5. อ่านและบันทึกค่าแรงบิดที่เครื่องมือวัดแสดงผล
6. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดเทียบกับแรงบิดจริง
2. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Shear strain พร้อมทั้งหา Maximum shearing stress, Shear stress ที่จุด proportional และ Modulus of rigidity
3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดและแรงบิด
4. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

Detail	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Initial diameter (mm)					
Final diameter (mm)					
Initial gauge length (mm)					
Final gauge length (mm)					
Initial overall length of specimen (mm)					
Final overall length of specimen (mm)					
Maximum torque (Nm)					
Maximum shearing stress (MPa)					
Shear stress at proportional limit					
Modulus of rigidity (GPa)					

ตารางบันทึกผลการทดลอง (การเปรียบเทียบวัดค่าแรง)

Load (N)	ค่าแรงบิดอ่านจากเครื่อง	ค่าแรงบิดจากการคำนวณ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

มุมบิดคั่น หมุน (รอบ)	มุมบิดขึ้นงาน (รอบ) (1/62รอบ ของมุมหมุน)	มุมบิด ขึ้นงาน (red)	แรงบิด (N-m)				
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
0.00							
0.25							
0.50							
0.75							
1.0							
1.5							
2.0							
2.5							
3.0							
4.0							
5.0							
6.0							
7.0							
8.0							
9.0							
10.0							
15.0							
20.0							
25.0							
30.0							
40.0							
50.0							

60.0							

มุมบิดคั่น หมุน (รอบ)	มุมบิดชิ้นงาน (รอบ) (1/62 รอบของมุม หมุน)	มุมบิด ชิ้นงาน (red)	แรงบิด (N-m)				
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
70.0							
80.0							
90.0							
100							
110							
120							
130							
140							
150							
160							
170							
180							
190							
200							
...							
...							
n							

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

[illegible]

สรุปผลการทดลอง

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school writing paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ปฏิบัติการทดลองที่ 3

การทดสอบความล้า (Fatigue Testing)

วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการในการทดสอบความล้าโดยใช้เครื่องทดสอบความล้าแบบ Revers loading
- เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับของความเค้นและจำนวนรอบก่อนเกิดความเสียหาย
- เพื่อหาอายุการใช้งานของชิ้นงานโลหะเมื่อได้รับความล้า (fatigue life) และความสามารถของชิ้นงานโลหะในการทนความเค้นจากการล้าได้โดยไม่เกิดความเสียหาย (fatigue strength)

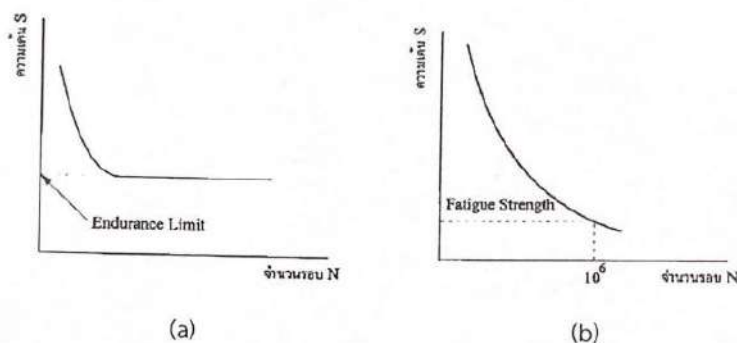
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ส่วนประกอบของเครื่องจักรและชิ้นส่วนภายในโครงสร้างต่างๆของเครื่องมือขึ้นโดยปกติในเวลางานจะได้รับความกระทำที่ต่าง ๆ กัน และเข้าไปซ้ำมา (Cycle loads) อย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้วัสดุชิ้น ๆ ได้รับความเค้นสลับ (Cycle stresses) ซึ่งนำไปถึงการเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างภายในของวัสดุชิ้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ความล้า (Fatigue) ในปัจจุบัน ความเสียหายของส่วนประกอบของ เครื่องจักร 80% - 90% มีสาเหตุมาจากความล้า ถึงแม้ว่าค่าความเค้น วัสดุได้รับนั้นจะต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดก็ตาม ดังนั้นในการผลิตหรือออกแบบเครื่องจักรจึงจำเป็นที่จะต้องที่จะต้องออกแบบให้ได้รับแรงน้อยที่สุด รวมทั้งการเลือกวัสดุที่มีความทนทานต่อความเสียหายจากความล้าได้

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากกระทำกลับไป กลับมาซ้ำ ๆ กัน ก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้เนื่องจากเกิดความล้าหรือ Fatigue ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่าง ๆ เพราะตลอดอายุงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องยนต์สวิตช์รีเลย์ ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นซึ่งอาจจะมากถึงล้านๆครั้ง ทำให้เกิดการล้าขึ้นในชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้

กลไกการเกิดความล้าที่แท้จริงยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก แต่จากการศึกษาพบว่าความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้น เมื่อมีความเค้นรวมศูนย์ (Stress Concentration) ในบริเวณนั้น และในระยะที่ 2 เมื่อมีความเค้นเข้าไปซ้ำมารอยแตกนี้ก็จะมีขึ้นเรื่อย ๆ จะมีพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุลดลง จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็จะแตกหักจากกัน ถ้าเรากำหนดจำนวนรอบของความเค้นที่ทำซ้ำไปซ้ำมาแล้ว (โดยปกติจะใช้ที่ค่า 106 รอบ) ค่าความเค้นที่จะทำให้วัสดุแตกหักได้ที่จำนวนรอบของความเค้นรอบนั้น ๆ เราเรียกว่า Fatigue Strength สำหรับโลหะโดยเฉพาะพวกเหล็ก จะมีค่าความเค้นอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งถ้าใช้ความเค้นต่ำกว่านี้แล้ว ไม่ว่าจำนวนรอบของแรงกระทำจะเป็นเท่าใด วัสดุจะไม่แตกออก ค่าความเค้นนี้เรียกว่า Endurance Limit ความเสียหายตามปกติจะเริ่มจากการเกิด Crack initiation ในจุดที่มี Stress Concentration แล้วเกิด Crack Propagation ลามเข้าไปเป็นชั้น ๆ ตามจำนวนครั้งที่ได้รับโหลด เมื่อพื้นที่หน้าตัด ที่รับโหลดลดลงจนเกิด Stress สูงกว่า Ultimate tensile strength วัสดุจะเกิดการเสียหายบนพื้นที่รับโหลดที่ เหลือเป็นการแตกหักธรรมดา

การทดสอบความล้ามีอยู่หลายวิธีแต่โดยหลักการจะเหมือนกันคือ จะให้แรงกระทำเป็นรอยกับชิ้นทดสอบ โดยให้เกิดความเค้นค่าต่างๆ แล้วบันทึกจำนวนรอบ (Cycles) ที่วัสดุจะทนได้ จากนั้นนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 1 เรียกว่า S-N Curve สำหรับโลหะในกลุ่มเหล็กเกือบทั้งหมดและโลหะที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิด จะมี Endurance Limit ดังรูป 1 (a) ส่วนพวกโพลีเมอร์และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กหลายชนิดจะไม่มี Endurance Limit ดังรูป 1 (b) สำหรับโลหะที่มี Endurance limit นั้น ค่า Endurance limit จะมีความสัมพันธ์กับค่าความ แข็งแรงสูงสุด กล่าวคือพวกเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปแล้วจะมีค่า Endurance limit ที่ครึ่งหนึ่งของค่าความแข็งแรงสูงสุด ส่วนโลหะผสมทองแดงจะอยู่ประมาณ 25 - 50% ของความแข็งแรงสูงสุด สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องรับแรงสลับก็จะต้องคำนึงถึงเรื่องของความล้าด้วยและพยายามออกแบบให้รับความเค้นกว่า Endurance Limit หรือ Fatigue Strength ตามแต่กรณี



รูปที่ 1 S-N Curve ในวัสดุสองลักษณะคือ (a) มี Endurance Limit และ (b) ไม่มี Endurance Limit

การทดสอบการล้าในลักษณะการหมุนรอบด้วยการยืดขึ้นทดสอบทรงกระบอกไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของเครื่องทดสอบแล้วถ่วงน้ำหนักไว้ที่ปลายอีกด้าน ในช่วงแรกพื้นผิวด้านบนของชิ้นทดสอบจะรับแรงดึงและด้านล่างจะรับแรงอัด เมื่อทำการหมุนไปครึ่งรอบพื้นผิวด้านบนจะเคลื่อนไปอยู่ด้านล่างและรับแรงอัด ส่วนผิวด้านล่างจะพลิกมาอยู่ด้านบนและรับแรงดึงและเมื่อทำการหมุนครบรอบพื้นผิวทั้งสองจะกลับมารับแรงแบบเดิมอีกครั้ง ตลอดการทดสอบชิ้นทดสอบจะรับแรงสลับกลับกันเช่นนี้ต่อเนื่องกัน

พารามิเตอร์ในการทดสอบ

1. Frequency คือ จำนวนของรอบการทดสอบต่อระยะเวลาโดยส่วนใหญ่จะใช้ มีหน่วยเป็น Hz ยังมีมากก็ทำให้เกิด failure ได้เร็ว
2. Stress Amplitude คือ ปริมาณของโหลดที่กระทำต่อชิ้นงาน ซึ่งเป็นไปได้ทั้งความเค้นหรือความเครียด โดยหาได้จาก

$$\text{Stress Amplitude } (\sigma_a) = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots 3.1$$

3. Mean Stress คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณของโหลดที่กระทำต่อชิ้นงาน โดยหาได้จาก

$$\text{Mean Stress } (\sigma_m) = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots 3.2$$

4. mode ของการให้โหลด คือ ลักษณะของทิศทางการให้โหลดแก่ชิ้นงานทดสอบในที่นี้คือ Bending

5. Stress ratio (R) หาได้จาก

$$R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \dots\dots\dots 3.3$$

6. Amplitude ratio (A) หาได้จาก

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \dots\dots\dots 3.4$$

ปัจจัยที่มีผลต่อ Fatigue ของโลหะ

Stress concentration ถ้าโลหะมีตำหนิ รอยบาก รู ร่องลิ้ม หรือมีส่วนที่มีคมจะทำให้ Stress เกิดมากขึ้น (Stress raisers) ทำให้ Fatigue Failures สามารถทำให้เกิดขึ้นได้น้อยได้ด้วยการออกแบบ ให้ Stress raisers น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ความขรุขระของผิว (Surface roughness) ผิวโลหะเรียบ fatigue strength ยิ่งสูงขึ้นเพราะถ้าผิวขรุขระ จะทำให้เกิด Stress raisers หรือทำให้เกิด Fatigue crack ได้ง่ายขึ้น

สภาวะของผิว (Surface condition) มักจะเกิดจากผิวโลหะ ดังนั้น ถ้าทำให้ผิวโลหะแข็งขึ้นด้วยการทำ carburizing และ nitriding จะทำให้ Fatigue life ยาวขึ้น แต่ถ้าทำการ decarburizing โดยการทำให้อ่อนตัวลงโดยใช้ความร้อน จะทำให้ Fatigue Life สั้นลง สภาวะแวดล้อม ในระหว่างที่โลหะเกิด Cyclic Stress ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารกัดกร่อน สารเหล่านี้จะไป เร่งให้เกิดการแตกร้าวจากความล้าเร็วขึ้น ผลรวมที่เกิดจากสารกัดกร่อน และการเกิด Cyclic stresses เรียกว่า Corrosion fatigue

อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ Fatigue life สั้นลง และถ้าอุณหภูมิมมีการเปลี่ยนแปลงทำให้โลหะเกิดการขยายตัวและหดตัวจะทำให้โลหะเกิดความเสียหายจากความล้าเพิ่มขึ้น

วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and equipment)

1. ชิ้นงานทดสอบ
2. ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์
3. ปากกา Permanent
4. เครื่องมือทดสอบความล้า

วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

1. วัดขนาดชิ้นงานและบันทึกลงในตาราง
2. ติดตั้ง Dial Gauge
3. ตั้งค่า Knife edges ห่างกัน 400 mm
4. ตั้งค่าศูนย์โดยให้ Dial Gauge อยู่ตรงกลาง ทำให้ knife edges มีค่าด้านละ 200 mm
5. วางแผ่น aluminum บน knife edges ทั้งสองด้าน
6. เริ่มทดสอบโดยการยัดชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบ ใส่น้ำหนักไปที่ Load hanger สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง และบันทึกค่า deflection โดยจะเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 5N จากนั้นเอาน้ำหนักออก
7. ทำการทดลองเช่นเดิม โดยเพิ่มน้ำหนัก ครั้งละ 5N จนถึง 25N และเอาน้ำหนักออก
8. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระยะการโค้งงอของชิ้นทดสอบ
9. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความเค้น (stress level) ที่ทดสอบกับจำนวนรอบที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก
10. ศึกษาพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงาน พร้อมสังเกตภาพลงในตารางเพื่อประกอบการอภิปรายผล
11. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

[illegible]

ปฏิบัติการทดลองที่ 4

การทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing)

วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการในการทดสอบแรงกระแทกในโลหะ
- เพื่อศึกษาประเภทการแตกหักในโลหะโดยอาศัยหลักการดูดซับพลังงานในระหว่างการแตกหัก

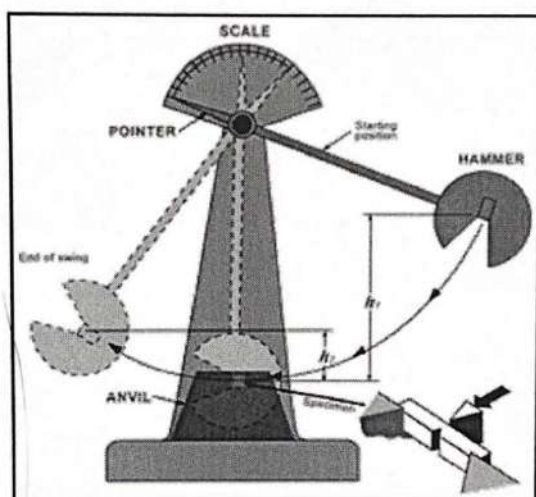
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อัตราเร็วการใส่แรงและอัตราการเสียรูปที่เกิดขึ้นทำให้วัสดุแสดงสมบัติแตกต่างกัน คือวัสดุส่วนใหญ่สามารถรับแรงได้สูงขึ้นก่อนแตกหักหากมีระยะเวลาการใส่แรงนานขึ้น คือ การทดสอบแบบสถิต (static testing) แต่ถ้าใส่แรงแบบพลวัต (dynamic testing) แม้จะกระทำด้วยแรงที่น้อยกว่าปกติชิ้นงานที่แตกหักได้ทั้งนี้ เพราะสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุหลายชนิดขึ้นอยู่กับอัตราการยืดตัว (strain rate) การทดสอบที่ใช้ค่าพลังงานที่จำเป็นในการทำให้วัสดุแตกหักภายใต้การรับแรงแบบฉับพลันนี้เรียกว่าเป็นการทดสอบการกระแทก

การทดสอบการกระแทกเป็นการจัดการส่งถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุค่าความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน (shock load) แม้พลังงานไม่สามารถสร้างและทำลาย แต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไปในหลายลักษณะ เช่น ถูกใช้ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุและแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ เป็นต้น โดยการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักรประการแรกต้องให้ชิ้นงานสามารถดูดซับพลังงานให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงของการยืดหยุ่นและประการที่สองคืออาศัยการห้วงบางรูปแบบเพื่อลดการดูดซับพลังงานของเครื่องในการทดสอบการกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ชิ้นทดสอบแตกหักโดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่ง ดังสมการ

$$W = FD \dots\dots\dots 4.1$$

เมื่อ	W	คืองาน
	F	คือแรงกระทำ
	D	คือระยะทางในช่วงแรกที่ทำ



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงกระแทก

วัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกคือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทกอย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักแน่นอน ลงบนชิ้นทดสอบด้วยความสูงค่าหนึ่งดังรูปที่ 1 แล้วทำการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานการ กระแทกหรือความต้านทานการกระแทกของวัสดุจากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทกด้วยสมการต่อไปนี้

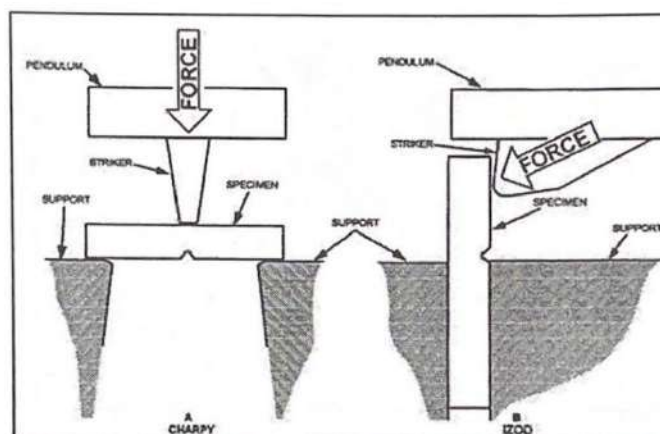
$$E = Wh - h) \text{ หรือ} \dots\dots\dots 4.2$$

$$= mg(h - h') \dots\dots\dots 4.3$$

เมื่อ	E	คือพลังงานที่ได้จากการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (ปอนด์ฟุต หรือ นิวตันเมตร)
	w	คือน้ำหนักของลูกตุ้ม (ปอนด์)
	m	คือมวลของตุ้มน้ำหนัก (กิโลกรัม)
	h, h'	คือความสูงของลูกตุ้มก่อนและหลังกระแทกตามลำดับ (ฟุต หรือเมตร)
	g	คืออัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

สมบัติของวัสดุที่สัมพันธ์กับการแตกหักเรียกว่าความแกร่ง (toughness) โดยสาเหตุของการแตกหักมาจากการกระแทกหรือแรงกระทำแบบฉับพลัน โดยความเหนียวและความแข็งแรงจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อความแกร่งของวัสดุและโดยทั่วไปจะใช้การทดสอบการกระแทกในการวัดความแกร่งของวัสดุแรงที่กระทำในการทดสอบการกระแทกสามารถทำได้ทั้งในรูปของการดัดงอ การดึง การอัด หรือการบิดแต่ที่นิยมใช้คือแรงดัดงอและที่นิยมใช้น้อยสุดคือแรงดึง ส่วนแรงอัดและแรงบิดจะใช้เฉพาะกรณีเท่านั้น การตีกระแทกสามารถทำได้ด้วยการปล่อยลูกตุ้มน้ำหนักการเหวี่ยงลูกตุ้มหรือการหมุนวงล้อ บางการทดสอบจะเป็นการทดสอบการแตกหักของชิ้นทดสอบ ด้วยการ กระแทกเพียงครั้งเดียวและบางการทดสอบเป็นการแตกหักชิ้นทดสอบด้วยการกระแทกหลายครั้งด้วยน้ำหนักเพิ่ม โดยเพิ่มความสูงลูกตุ้มขึ้นเรื่อย ๆ จนชิ้นงานแตกหัก อย่างไรก็ตามการทดสอบที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่การทดสอบ การกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอด (Charpy and Izod impact tests) โดยการทดสอบทั้งคู่นี้จะทำการใส่แรงกระทำด้วยการเหวี่ยงลูกตุ้มและใช้ชิ้นทดสอบที่มีร่องบากและมีขนาดเล็กและการทดสอบจะเป็นการใส่แรงด้วยการดัดงอ การทดสอบทั้งสองแบบนี้ต่างกันที่การออกแบบชิ้นทดสอบและความเร็วของลูกตุ้มในการกระแทกชิ้นทดสอบในการทดสอบแบบชาร์ปีชิ้น ทดสอบจะถูกยึดในลักษณะเป็นคานเดี่ยว (single beam) แล้วกระแทกที่บริเวณด้านหลังของร่องบาก ส่วนในการทดสอบแบบไอซอด จะยึดชิ้นงานในรูปของคานโยกและกระแทกที่ปลายอีกข้างหนึ่งด้านหน้าร่องบาก ในการทดสอบเหล่านี้การดูดซับพลังงานจะเพิ่มขึ้นในชิ้นทดสอบในการทดสอบแบบไอซอด ดังรูปที่ 2(b) จะถูกยึดปลายข้างหนึ่งในแนวตั้งด้วยหัวจับที่ติดอยู่กับฐาน ความเร็วมาตรฐานในการเหวี่ยงลูกตุ้มในการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด คือ 11.5 ฟุตต่อวินาที ในขณะที่การทดสอบแบบชาร์ปีชิ้นงานจะถูกยึดปลายทั้งสองข้างและอยู่ในแนวนอน ดังรูปที่ 2(a) โดยใช้ความเร็วลูกตุ้มในการกระแทก 17.5 ฟุตต่อวินาที การมากขึ้นทดสอบทั้งสองแบบเป็นการเพิ่มแรงเค้นเฉพาะบริเวณ ซึ่งจะให้เกิดการดูดซับของพลังงานที่จุดเดียวและทราบบริเวณที่ชิ้นงานจะเกิดการแตกหักถ้าไม่มีการบากแรงเค้นจะกระจายไปทั่วทั้งชิ้นงาน

ซึ่งจะทำให้ ชิ้นงานเกิดการเสียรูปถาวรจากการดัดงอมากกว่าที่เกิดการแตกหัก ซึ่งจะทำให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดปริมาณพลังงานที่ต้องการในการแตกหักของวัสดุ



รูปที่ 2 ลักษณะการทดสอบแรงกระแทก

สำหรับวัสดุไม้จะใช้การทดสอบแบบฮัทจุลเนอร์โดยการทดสอบแบบนี้จะเป็นการทดสอบการกระแทกที่ใส่แรงกระทำในลักษณะการตัดขอด้วยการปล่อยก้อนน้ำหนักคงที่ค่าหนึ่งที่ระยะความสูงต่างๆ โดยความสูงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าความแกร่งของวัสดุและข้อมูลที่จะได้รับการทดสอบแบบแฮทจุลเนอร์นี้ได้ แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่น ชิดจำกัดสัดส่วน และค่าเรซิเลียนเฉลี่ย

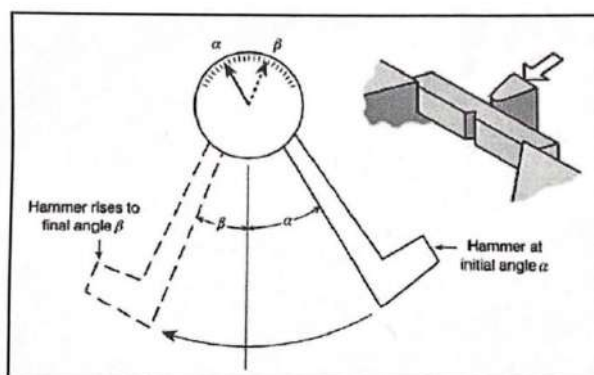
รูปแบบทางทฤษฎีของเครื่องทดสอบการกระแทกแบบแตกหักในคราวเดียว (Single blow) ควรเป็นดังนี้ ต้มน้ำหนักที่เคลื่อนที่ควรจะให้พลังงานจลน์ที่มากพอที่จะทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักในบริเวณที่กำหนดตำแหน่งและชุดรองรับชิ้นงานที่สามารถทำให้ชิ้นงานรับแรงที่กระแทกได้เต็มที่ กรรมวิธีสำหรับการวัดพลังงานหลงเหลือของลูกตัมหลังจากที่ชิ้นงานแตกหัก

พลังงานจลน์การกระแทกจะทำการวัดและควบคุมจากน้ำหนักกับระดับความสูงที่วัดจากกึ่งกลางน้ำหนักของลูกตัมที่ถูกปล่อยลงมาอย่างอิสระและลูกตัมควรจะถูกยึดเป็นอย่างดีเพื่อลดอิทธิพลของการแกว่งด้านข้างหรือแรงหมุนและความเสียหาย คือต้องอยู่ในสภาพที่ยึดแน่นเมื่อเหวี่ยงกระแทกกับชิ้นงาน ดังนั้นต้องหาหลักการจำกัดสิ่งต่างๆ เหล่านี้เพื่อลดผลกระทบจากการยึดเหนี่ยวความเร่งและการสั่นแทนวางชิ้นงานควรมีน้ำหนักมาก

พอเมื่อเทียบกับพลังงานจากการกระแทกของลูกตัม และไม่ทำให้พลังงานการกระแทกเกิดการสูญเสียจากการเสียรูปหรือการสั่นของแทนวางและชิ้นงานจะต้องถูกยึดอย่างดีและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตลอดการทดสอบ

การทดสอบแบบชาร์ปี (Charpy test)

เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีปกติจะมีขนาด 220 ปอนด์ฟุต สำหรับทดสอบโลหะและ 4 ปอนด์ฟุต สำหรับชิ้นงานพลาสติก (ASTM E23) ลูกตุ้มประกอบด้วยแขนยึด ลูกตุ้มที่ค่อนข้างเบาแต่แข็งแรงและมีก้อนน้ำหนักติดอยู่ที่ปลายลูกตุ้มนี้จะเคลื่อนผ่าน ระหว่างขาตั้งเครื่องสองขา โดยมีใบมีดติดไว้ที่ขอบด้านที่จะกระแทก นนทดสอบ ซึ่งต้องกระทบกับชิ้นงานบริเวณด้านหลังและเป็นส่วนที่ดีที่สุดของร่องบาก



รูปที่ 3 ลักษณะการทดสอบแรงกระแทกแบบ

เมื่อทำการบันทึกค่าน้ำหนักของลูกตุ้มความยาวของแขนลูกตุ้มรวมทั้งมุมยกเริ่มต้นกับมุมยกหลังกระแทกของลูกทุ้ง (α และ β) จากนั้นทำการคำนวณด้วยสมการต่อไปนี้

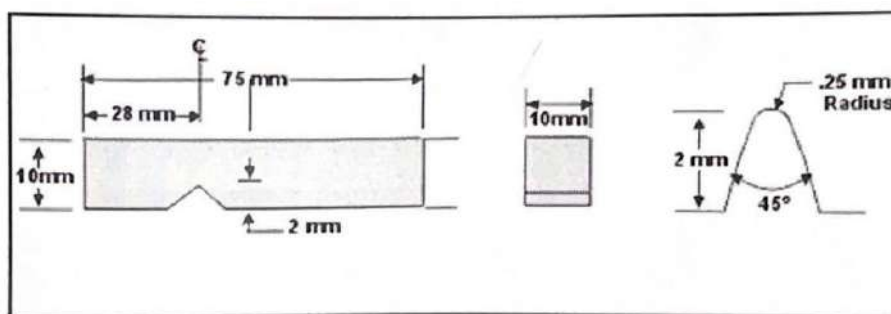
$$E = wr(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ หรือ } \dots\dots\dots 4.4$$

$$= mgr (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots 4.5$$

เมื่อ	E	คือพลังงานที่ใช้ในการแตกหักของชิ้นทดสอบ (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)
	W	คือน้ำหนักลูกตุ้ม (ปอนด์)
	m	มวลของลูกตุ้ม (กิโลกรัม)
	g	คือความเร่งจากแรงดึงดูดโลก (9.81 เมตรต่อวินาที ยกกำลังสอง)
	r	คือความยาวแขนลูกตุ้ม (ฟุต หรือ เมตร)
	α	คือมุมยกลูกตุ้มเริ่มต้นก่อนกระแทก
	β	คือมุมยกลูกตุ้มสุดท้ายหลังกระแทก

การทดสอบแบบไอซอด (Izod test)

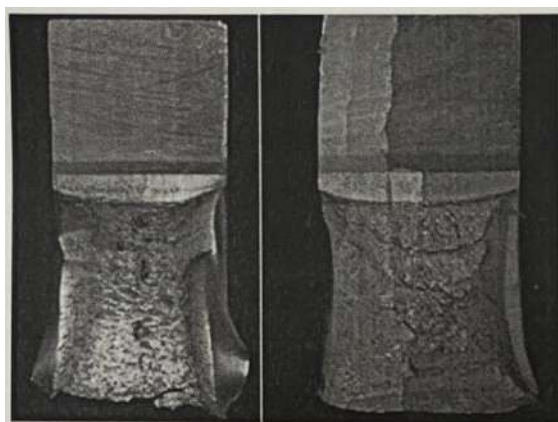
เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอดปกติจะมีขนาด 120 ปอนด์ฟุต ส่วนการทดสอบจะเป็นแบบเดียวกันกับแบบชาร์ปี ถึงแม้ว่าชิ้นทดสอบและรูปแบบการทดสอบจะต่างกันในการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด ลูกตุ้มจะกระแทกด้านหน้าของชิ้นทดสอบที่มีร่องบาก ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะกลับกันกับการทดสอบแบบชาร์ปี ส่วนชิ้นทดสอบแบบไอซอดจะมีขนาด $10 \times 10 \times 75$ มิลลิเมตร โดยมีมุมของร่องบาก 45° ลึก 2 มิลลิเมตร ดังรูป ที่ 4 ความแข็งแรง การกระแทกของชิ้นทดสอบจะขึ้นอยู่กับค่ามุมหลังกระแทก ซึ่งปกติค่าพลังงานการกระแทกในหน่วยปอนด์ฟุตสามารถอ่านได้โดยตรงจากหน้าปัดเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4 ลักษณะการทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด

เมื่อได้ข้อมูลหลังจากทำการทดสอบการกระแทกให้นำข้อมูลการทดสอบมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ เป็นผลการทดสอบซึ่งจะใช้เป็นสมบัติของวัสดุต่อไป

พลังงานดูดซับ (Absorbed energy) เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้วัสดุแตกหัก ซึ่งหาค่าโดยการอ่านจากหน้าปัดของเครื่องทดสอบหรือด้วยการคำนวณจากสมการพลังงานดูดซับ ดังสมการที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 5 ลักษณะรอยแตกของชิ้นงานการทดสอบแรงกระแทก

ค่าการกระแทก (Impact value) หาได้จากการนำค่าพลังงานดูดซับหารด้วยพื้นที่หน้าตัดบริเวณร่องบาก ดังสมการ

$$\text{ค่าการกระแทก (Impact strength)} = \frac{E \text{ (พลังงานดูดซับ)}}{A \text{ (พื้นที่หน้าตัดบริเวณร่องบาก)}}$$

รอยแตกหัก (Fracture surface) เมื่อทำการทดสอบการกระแทกกับวัสดุรอยแตกหักที่เกิดขึ้นจะมีสองแบบคือรอยแตกเปราะกับรอยแตกเหนียว ซึ่งปกติแล้วพื้นที่การเปราะจะอยู่บริเวณกึ่งกลางรอยแตก ส่วนพื้นที่การแตกเหนียวจะอยู่บริเวณขอบชิ้นงานโดยรอบ ดังรูปที่ 5

วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and equipment)

1. ชิ้นงานทดสอบ
2. ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์
3. เครื่องมือทดสอบแรงกระแทก

วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

1. เตรียมชิ้นทดสอบการกระแทก ความยาว 38 mm.
2. ก่อนการทดสอบวัดขนาด และอุณหภูมิทดสอบของชิ้นทดสอบ
3. ต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัด
4. ใช้มือจับ pendulum ติดไว้กับตัวล็อกเหนือชิ้นงาน
5. นำชิ้นทดสอบติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบ
6. กด ปลด pendulum
7. บันทึก จาก Instrumentation Box
8. รอจน pendulum หยุด แล้วจึงใส่ชิ้นทดสอบชนิดต่อไป

ผลการทดลอง

Material	Diameter (mm)	α	β	Energy Lost to Fracture
Aluminum				
Brass				
Copper				
Mild Steel				

รูปแสดงลักษณะการแตกหัก

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปฏิบัติการทดลองที่ 5

การทดสอบความคืบ (Creep Testing)

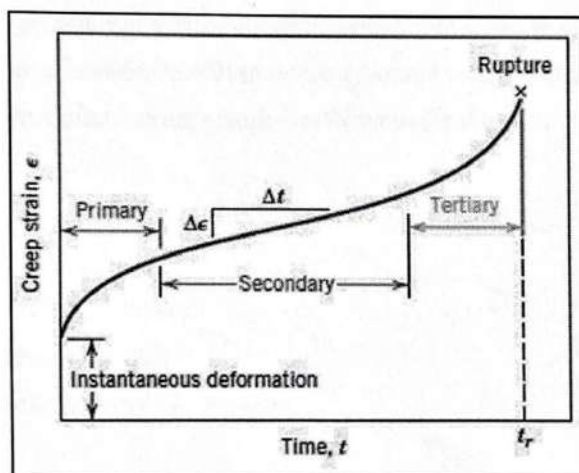
วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการในการทดสอบความคืบ โดยใช้โลหะที่สามารถเกิดความคืบได้ที่อุณหภูมิห้อง
- สามารถอธิบายสาเหตุการคืบในโลหะได้
- สามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนรูป (Deformation) ของโลหะเมื่อได้รับแรงขนาดคงที่ และสามารถบอกปัจจัยที่มีผลต่อการคืบในโลหะได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบการครากเป็นการออกแบบการทดสอบเพื่อวัดผลกระทบของการรับแรง ในระยะยาวในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ของวัสดุ การครากเป็นการเสียรูปแบบถาวรซึ่งเกิดจากการรับแรงในระยะเวลานาน ถึงแม้ว่าแรงที่กระทำนั้นขนาดน้อยกว่าขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุก็ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและสภาวะการใช้งานที่รุนแรงรวมทั้งตัวแปรอื่น ๆ อาจเป็นตัวเร่งให้วัสดุเกิดการครากได้ โดยการครากเป็นการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมและวิชาทางเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นการบริการทางเทคนิค ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากในงานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเช่น สะพาน ตึกอาคาร และโครงสร้างที่อยู่ในกลุ่มที่มีการรับน้ำหนักคงที่เป็นเวลานาน

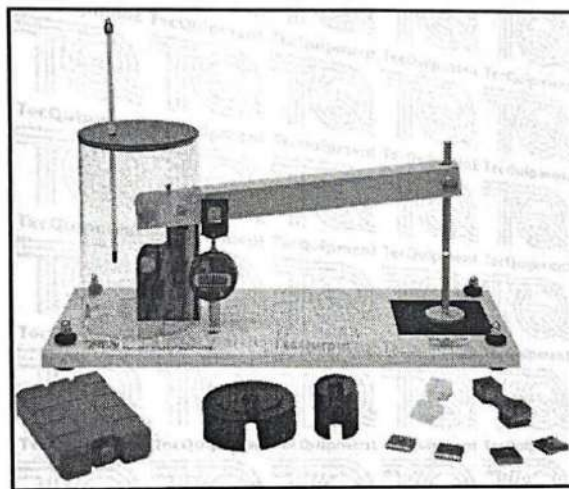
วัสดุส่วนใหญ่เมื่ออยู่ภายใต้แรงที่มากกระทำ แม้ว่าจะต่ำกว่าพิกัดยืดหยุ่นหากทิ้งไว้นาน ๆ แล้วก็อาจเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวรหรือแบบพลาสติกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ด้วยปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า ความคืบ ปริมาณของความคืบที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ปริมาณของความเค้น อุณหภูมิและเวลา หากเราให้สภาวะที่เหมาะสมและมีเวลาเพียงพอ ความคืบจะเกิดขึ้นได้จนครบ 3 ขั้นตอน ดังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟการครากของโลหะในรูปความเครียดกับเวลาภายใต้แรงและอุณหภูมิคงที่

เริ่มแรกขึ้นทดสอบจะเกิดการยืด (ϵ_0) ในทันที จากนั้นขึ้นทดสอบจะปรากฏการครากขึ้นต้นใน ขณะที่อัตราความเครียดจะลดลงเมื่อเทียบกับ เวลา ความชันของกราฟการคราก ($d\epsilon/dt$ หรือ $\dot{\epsilon}$) จะคิดเป็นอัตราการคราก (creep rate) โดยในระหว่างการครากขึ้นต้นอัตราการครากจะลดลงเมื่อเทียบกับเวลา หลังจากนั้นจะเกิดการครากในขั้นที่สองด้วยอัตราค่อนข้างคงที่เปรียบเสมือนการครากในสภาวะหยุดนิ่ง (steady-state creep) สุดท้ายจะเกิดการครากในขั้นที่สามด้วยอัตราการครากที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง

ความเครียด ณ จุดแตกหัก รูปร่างของกราฟการครากจะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำ และอุณหภูมิที่ใช้เป็นอย่างมาก โดยแรงเค้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการครากเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการคืบภายใต้แรงและอุณหภูมิคงที่

ในการทดสอบ Creep ที่อุณหภูมิห้องนั้น จะใช้ชิ้นงานทดสอบที่สามารถเกิด creep ได้ โดยชิ้นงานจะถูกยึดไว้กับปลายด้านหนึ่งของคาน โดยที่อีกด้านหนึ่งของคานจะถูกแขวนด้วยตุ้มน้ำหนักจากเครื่องมือทดสอบ โดยเราสามารถหาค่าแรงดึงชิ้นงานจากโมเมนต์รอบจุดหมุน ซึ่งหาได้จากแรงดึง ดังสมการ

$$F = (2.84 + 8m) g \dots\dots\dots 5.1$$

โดยที่ F คือ แรงดึงชิ้นงาน, นิวตัน

m คือ มวลของตุ้มน้ำหนัก, กรัม

g คือ แรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.8 g/m^2

วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and equipment)

1. ชิ้นงานทดสอบ
2. ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์
3. ปากกา permanent
4. เครื่องมือทดสอบการคืบที่อุณหภูมิห้อง
5. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

1. วัดขนาดของชิ้นงานตะกั่วเพื่อใช้ในการคำนวณ
2. ทำการทดสอบความคืบโดยยึดชิ้นงานตะกั่วเข้ากับเครื่อง และติดตั้ง Dial gage สำหรับการวัดขนาดของชิ้นงานที่ยึดออกเพื่อใช้ในการคำนวณ creep strain
3. เตรียมตุ้มน้ำหนักสำหรับใช้แขวนที่ปลายของชิ้นงานเพื่อกำหนดค่า stress ที่ใช้ในการทดสอบ และเตรียมจับเวลาในการบันทึกค่า strain
4. เมื่อปล่อยตุ้มน้ำหนักชิ้นงานจะเกิดการยืดตัวเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในขณะที่น้ำหนักเท่าเดิมทำการบันทึกค่าเวลาที่สัมพันธ์กับการยืดตัวของชิ้นงาน
5. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของลูกตุ้ม (stress) เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิด creep และเพื่อศึกษาอิทธิพลของ stress ต่อ creep rate
6. นำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็น creep curves
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบค่า Creep rate ของชิ้นงานที่ทดสอบ ตรวจสอบพื้นผิวการแตกหัก และสรุปผล

ผลการทดลอง

รายละเอียด	ชิ้นงานทดสอบ			
	1	2	3	4
Length (mm)				
Width (mm)				
Cross-sectional area (mm ²)				
Weight (g)				
Stress (MPa)				
Creep rate (sec ⁻¹)				
Fracture details				

Time (minutes)	Extension (mm) Sample1	Extension (mm) Sample2	Extension (mm) Sample3	Extension (mm) Sample4
0. 5 (30 s)				
1. 0 (60 s)				
1. 5 (90 s)				
2. 0 (120 s)				
2. 5 (150 s)				
3. 0 (180 s)				
3. 5 (210 s)				
4. 0 (240 s)				
4. 5 (270 s)				
5. 0 (300 s)				
5. 5 (330 s).				
6. 0 (360 s)				
6. 5 (390 s)				
7. 0 (420 s)				
7. 5 (450 s)				
8. 0 (480 s)				
8. 5 (510 s)				
9. 0 (540 s)				
9. 5 (570 s)				
10. 0 (600 s)				
10. 5 (630 s)				
...				
...				
...				
n				

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Hashemi, S. *Foundations of materials science and engineering*. 2006, 4th edition, McGraw- Hill, ISBN 007- 125690- 3.
2. Dieter, G. E., *Mechanical metallurgy*, 1988, Si metric edition, McGraw- Hill, ISBN 0- 07-100406-8.
3. W. D. Callister, *Fundamental of materials science and engineering/ an interactive e. text*, 2001, John Willey & Sons, Inc., New York, ISBN 0- 471- 39551- x.
4. W. D. Callister, *Fundamental of materials science and engineering/ an interactive e. text*, 2001, John Willey & Sons, Inc., New York, ISBN 0- 471- 39551- x.
5. *SMI06 Creep machine*, TQ education and training ltd product division.
6. Dieter, G. E., *Mechanical metallurgy*, 1988, SI metric edition, McGraw- Hill, ISBN 0- 07 100406- 8.
7. Hashemi, s. *Foundations of materials science and engineering*. 2006, 4th edition, McGraw- Hill, ISBN 007- 125690- 3
8. Dieter, G. E., *Mechanical metallurgy*, 1988, SI metric edition, McGraw- Hill, ISBN 0- 07 100406- 8.
9. Hashemi, s. *Foundations of materials science and engineering*, 2006, 4th edition, McGraw- Hill, ISBN 007- 125690- 3.
10. www.doitpoms.ac.uk
11. SM1002 Torsion testing machine, *TecOuipment Ltd 2000*.
12. Dieter, G. E., *Mechanical metallurgy*, 1988, SI metric edition, McGraw- Hill, ISBN 0- 07 100406-8.