

## คำแนะนำ

### 1. วัตถุประสงค์

วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมความเข้าใจในเนื้อหาของวิชาบรรยาย และสร้างเสริมประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิศวกรรมเครื่องกล โดยการทดลองต่างๆ ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้เสริมกับวิชาบรรยายในสายกลศาสตร์ของแข็ง พลศาสตร์กลศาสตร์ของไหล และพลศาสตร์ความร้อน

### 2. ข้อปฏิบัติ

- 2.1 การตรงต่อเวลา นักศึกษาที่มาสายเกิน 15 นาที จะไม่ได้คะแนนปฏิบัติการ
- 2.2 การแต่งกาย ให้ใส่ชุดปฏิบัติการ รองเท้าหุ้มส้น และ เก็บผมให้รัดกุม
- 2.3 เตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นมาด้วย เช่น เครื่องคิดเลข ไม้บรรทัด กระดาษกราฟ และ กล้องถ่ายรูป
- 2.4 ศึกษาคู่มือปฏิบัติการอย่างละเอียดและตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือก่อนทำการทดลอง
- 2.5 ปฏิบัติตามคำแนะนำของอาจารย์และเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมปฏิบัติการอย่างเคร่งครัด
- 2.6 คำนึงถึงความปลอดภัยเป็นลำดับแรก
- 2.7 สังเกตและจดบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ระหว่างทำการทดลอง
- 2.8 เมื่อทำการทดลองแล้วเสร็จ ให้ทำความสะอาดพื้นที่ให้เรียบร้อยและเก็บอุปกรณ์ต่างๆ กลับเข้าที่

### 3. ความสำคัญและขั้นตอนของการทดลอง

การทดลองคือจำลองปรากฏการณ์จริงภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ แล้วทำการวัดข้อมูลที่ต้องการด้วยเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้อมาตีความเพื่อนำผลลัพธ์ของการทดลองไปใช้ประโยชน์ การทดลองเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของงานวิศวกรรมต่างๆ เช่น วิจัย และ การพัฒนา จุดเริ่มต้นของงานวิจัยและพัฒนาจะเริ่มจาก ปัญหา หรือความต้องการ ที่นำจะมาสู่การทดลอง โดยขั้นตอนของการทดลองมีดังนี้

- |              |  |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | วางแผนในภาพรวม กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สืบหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เคยมีผู้อื่นทำมาแล้ว  |
| ขั้นตอนที่ 2 | ออกแบบการทดลอง และวางแผนการทดลอง กำหนดรายละเอียดของการทดลอง เช่น กำหนดข้อมูลที่ต้องการวัด กำหนดค่าที่ต้องควบคุม กำหนดความแม่นยำที่ต้องการ ออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล กำหนดเครื่องมือจะต้องใช้ |
| ขั้นตอนที่ 3 | เตรียมการทดลอง สร้างชุดทดลอง จัดหาเครื่องมือ วัสดุดิบ หรือ จัดเตรียมชิ้นทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ  |

- ขั้นตอนที่ 4            ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล
- ขั้นตอนที่ 5            หลังจากได้ข้อมูลดิบ จะต้องทำการแปรรูปข้อมูลให้เป็นผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง หากมีความผิดพลาด อาจต้องทำขั้นตอนที่ 2-4 ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้คำตอบต่อปัญหาที่พิสูจน์ได้ว่าถูกต้อง หรือ จนกว่าตอบสนองต่อความต้องการ ตามวัตถุประสงค์ของการทดลองได้
- ขั้นตอนที่ 6            การเสนอผลการทดลองในรูปของรายงานที่ได้มาตรฐานสากล

ขั้นตอนดังกล่าวนี้มองดูเสมือนว่าง่าย แต่ในงานจริงการตีความผลการทดลองซึ่งเป็นเครื่องตัดสินใจว่าแบบจำลองถูกต้องหรือไม่นั้นเป็นเรื่องยากมาก ๆ นอกจากนั้นในการวัดทุกครั้งจะมีไม่แน่นอนและความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถจะรวมกันเป็นความผิดพลาดขนาดใหญ่ในกระบวนการคำนวณผลลัพธ์ และสามารถทำให้การสรุปผลการทดลองผิดได้ งานหลักชิ้นหนึ่งของผู้ทำการทดลองคือ การจับเฝ้าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ และการประเมินขนาดของความคลาดเคลื่อนเพื่อดำเนินการแก้ไข

ในการฝึกฝนศาสตร์ของการทดลองในวิชา วท.301 ปฏิบัติการเครื่องกล 1 นี้ ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ได้ถูกจัดเตรียมไว้แล้ว นักศึกษาเพียงต้องดำเนินขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 เท่านั้น แต่ในภายหลังเมื่อนักศึกษามีประสบการณ์มากขึ้นก็ต้องดำเนินการในบางส่วนของขั้นตอนที่ 2 และ 3 ด้วยตนเองในวิชา วท.402 ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 2 และในที่สุดนักศึกษาจะต้องทำเองทุกขั้นตอนในวิชาโครงการ

หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงแนวปฏิบัติในการดำเนินการในขั้นตอน 4 ถึง 6 ได้แก่การเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูล รวมถึงการเขียนรายงาน ส่วนรายละเอียดของขั้นตอนอื่นๆจะกล่าวถึงภายหลังในวิชา วท. 402

#### 4. การเก็บข้อมูลจากการทดลอง

การเก็บข้อมูลจากการทดลองเป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่อความถูกต้องของผลการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะมีความไม่แน่นอน (Uncertainty) อยู่ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการวัด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่ความผิดพลาดของผลการทดลอง ทั้งนี้ต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการที่เป็นสาเหตุของความผิดพลาด ซึ่งโดยหลักแล้วมีดังต่อไปนี้

##### 4.1 ความไม่แน่นอนจากตัวเครื่องมือวัดเอง

เครื่องมือวัดต่างๆ มีระดับความแม่นยำเฉพาะตัว ขึ้นอยู่การออกแบบลักษณะทางกายภาพและสภาพของอุปกรณ์ นั้นๆ ซึ่งในเครื่องมือวัดที่มีสภาพสมบูรณ์ก็จะมี ความแม่นยำตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ส่วนเครื่องมือวัดที่ใช้งานมานาน อาจมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น เช่น อาจเกิดเกิดความเสียหาย หรือการสึกหรอ ซึ่งจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (calibration) ก่อนการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดจากความล่าช้าในการตอบสนอง (delay response) ซึ่งในการเก็บข้อมูลแต่ละจุดควรมีการรอให้เครื่องวัดตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง และทำซ้ำหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดความผิดพลาด

#### 4.2 ความผิดพลาดจากการใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกวิธี

การติดตั้งและการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง สามารถนำไปสู่ผิดพลาดในการวัดที่อาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาดทั้งหมด ตัวอย่างการวัดไม่ถูกวิธี เช่น การวัดอัตราการไหลในช่วงเวลาสั้นๆ โดยไม่รอให้ระบบของไหลเข้าสู่สภาวะสมดุล, การวัดปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงโดยใช้ความถี่ในการวัดต่ำกว่าความถี่ของการเปลี่ยนแปลง, การวัดความเร็วของของไหลในช่องแคบโดยมีตัวเครื่องมือวัดไปขวางช่องทางการไหล เป็นต้น

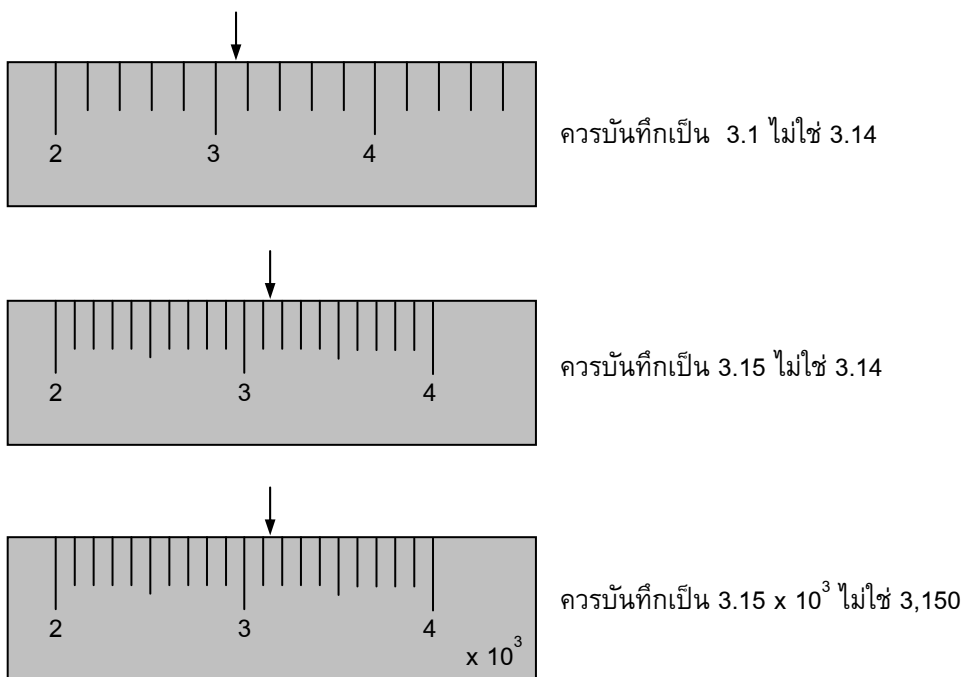
#### 4.3 ความผิดพลาดในขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ตัวอย่างของความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเนด้วยสายตา ความสับสนผิดพลาดในการจดบันทึก แม้กระทั่งในการใช้อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ก็อาจมีความผิดพลาดจากการต่อสายไฟที่ไม่ถูกต้อง

เมื่อพิจารณาถึงผลของความไม่แน่นอนและความผิดพลาดคลาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูลที่เป็นผลมาจากความแม่นยำในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด จะพบว่าข้อมูลดิบที่ได้มีความความแม่นยำอยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งมักนิยมพิจารณาเป็นเลขหัยสำคัญ (**significant digits**) ของข้อมูล โดยสามารถอธิบายได้ตามตัวอย่างต่อไปนี้

ค่าที่อ่านได้	จำนวนเลขนัยสำคัญ
45.1	3 (451)
451	3 (451)
451.0	4 (การแสดง 0 หลังจุดทศนิยม เป็นการแสดงนัยสำคัญ ว่าผลการวัดมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 1)
0.00451	3 (451)
4.051	4 (4051)
0.040051	5 (40051)
175,000	6 (การแสดงเลข 000 ทำให้ผู้อ่านตีความว่าผลการวัดมีความละเอียดถึงหลักหน่วย)
$1.75 \times 10^5$	3 (ถ้าผลการวัดมีความละเอียดเพียง 3 หลัก ควรแสดงแบบนี้)
$1.750 \times 10^5$	4 (ถ้าผลการวัดมีความละเอียด 4 หลัก ควรแสดงแบบนี้)

ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะมีเลขนัยสำคัญไม่เกินความละเอียดสูงสุดของเครื่องมือวัด ในกรณีที่ เป็นมาตรวัดแบบเข็มอาจอ่านตัวเลขบนสเกล บวกกับตัวเลขที่ได้จากการประมาณด้วยสายตาในระดับครึ่งหนึ่งของสเกลที่เล็กที่สุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การอ่านค่าจากสเกลบนมาตรวัด

## 5. สิ่งที่ต้องดำเนินการหลังจากการทดลองแล้วเสร็จ

เมื่อเสร็จการทดลองนักศึกษาจะต้องทำการแปรรูปข้อมูลดิบ ให้อยู่ในรูปของผลการทดลองที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการนำเสนอในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และ ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งงานในแต่ละส่วนมีข้อควรคำนึงถึงดังนี้

### 5.1 การแปรรูปข้อมูลดิบ

ก่อนอื่นควรทำการสังเกตแนวการกระจายของข้อมูลดิบหรือผลการทดลอง เพื่อดูความผิดปกติ และหากพบว่ามีข้อมูลที่ไต่มาด้วยความผิดพลาดก็ควรตัดข้อมูลจุดนั้นออก และทำการทดลองที่จุดนั้นใหม่หากมีความจำเป็น

หากผลการทดลองเป็นสิ่งที่ได้จากการวัดโดยตรง เช่น อุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ หรือเวลาที่วัดด้วยนาฬิกาจับเวลา ซึ่งไม่ต้องมีการแปรรูปก็สามารถนำเสนอได้เลย โดยต้องใช้นัยสำคัญที่ถูกต้องดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ แต่หากผลการทดลองต้องประมวลมาจากค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดหลายตัวที่มีความละเอียดไม่เท่ากัน จำนวนเลขนัยสำคัญของผลการทดลองจะต้องไม่มากกว่าค่าจากการวัดที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญต่ำที่สุด เช่น หากค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดสามตัวคือ

$$a = 3.15$$

$$b = 41.75$$

และ  $c = 50.025$

โดยผลการทดลองคือ  $d = a + b + c = 181.5375$

ควรทำการปัดเศษโดยใช้นัยสำคัญ 3 หลัก และนำเสนอด้วยตัวเลข  $d = 182$

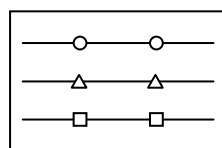
## 5.2 การนำเสนอผลการทดลอง

การนำเสนอผลการทดลองสามารถทำในรูปของตาราง และ กราฟ ซึ่งตารางสามารถนำเสนอให้ข้อมูลตัวเลขที่แม่นยำ ส่วนกราฟจะช่วยให้เห็นแนวโน้มของข้อมูลได้ชัดเจน จึงควรพิจารณารูปแบบในสิ่งที่ต้องการนำเสนอ โดยอาจนำเสนอทั้งสองรูปแบบหากมีความจำเป็น นอกจากนี้ยังต้องมีการนำเสนอรูปภาพที่จำเป็นอันไม่อาจอธิบายโดยตัวหนังสือได้

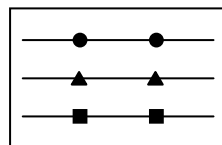
การนำเสนอทั้งตาราง กราฟ และรูปภาพ ต้องมีการลำดับหมายเลข พร้อมทั้งมีการตั้งชื่อที่กระชับและชัดเจน และต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหาของรายงานด้วย นอกจากนี้ควรมีรายละเอียดที่จำเป็นรวมอยู่ในตาราง กราฟ หรือรูปภาพด้วย เช่นชื่อการทดลอง วันที่ทดลอง วัสดุที่ใช้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อผู้ที่นำข้อมูลไปใช้เฉพาะบางส่วนของรายงานจะสามารถอ้างอิงได้ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงข้อแนะนำในการวาดกราฟ

กราฟหรือแผนภูมิเชิงเส้นมีหลายรูปแบบซึ่งสามารถดูรายละเอียดวิธีการเขียนกราฟที่ดีได้ในส่วนที่สามของเอกสารอ้างอิง [1] สำหรับข้อควรปฏิบัติเบื้องต้นในการสร้างกราฟเส้นมีดังนี้

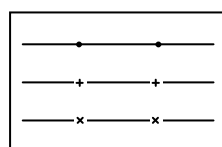
การแสดงผลข้อมูลบนจากการทดลอง กราฟให้ใช้สัญลักษณ์แสดงจุดข้อมูล ส่วนข้อมูลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่มีความต่อเนื่องควรแสดงด้วยเส้น สัญลักษณ์ที่ควรเลือกใช้เรียงตามลำดับดังรูปที่ 2



ควรใช้เลือกเป็นลำดับแรก



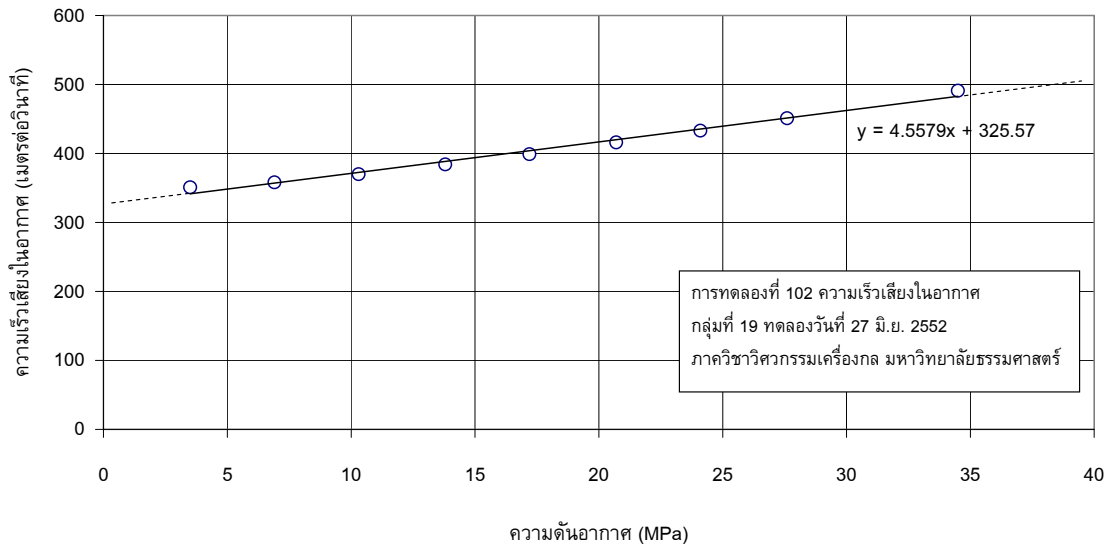
สามารถใช้ได้



ใช้เมื่อต้องการแสดงข้อมูลด้วยความแม่นยำสูงเท่านั้น

รูปที่ 2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงจุดข้อมูลบนกราฟ

การลากเส้นแนวโน้ม ควรลากด้วยวิธี Least square fitting ซึ่งปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปจำนวนมากที่สามารถสร้างกราฟและลากเส้นแนวโน้มพร้อมทั้งให้สมการของเส้นแนวโน้มได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3 ทั้งนี้การลากเส้นแนวโน้มไม่ควรลากเลยจากกลุ่มข้อมูล เพราะถือเป็นการทำนายโดยไม่มีผลการทดลองรองรับ ซึ่งอาจมีความผิดพลาดได้ แต่ถ้ามีความจำเป็น ควรใช้เส้นประในส่วนที่อยู่นอกกลุ่มข้อมูล

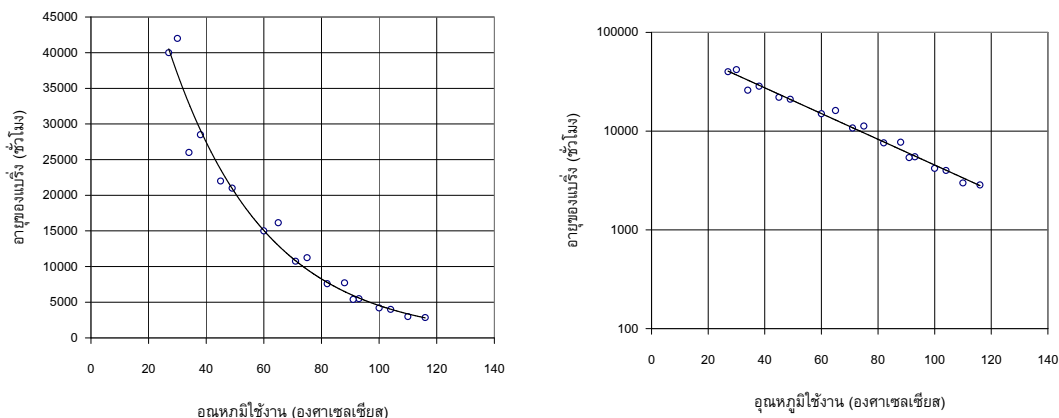


รูปที่ 3 การเขียนกราฟข้อมูลพร้อมเส้นแนวโน้ม

กราฟเส้นตรงเป็นสิ่งที่ง่ายต่อการเข้าใจ แต่ความสัมพันธ์ของตัวค่าทางวิศวกรรมต่างๆมักมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งในกรณีเช่นนี้ก็อาจสามารถทำการเขียนกราฟให้เป็นเส้นตรงได้โดยการปรับเปลี่ยนสเกลบนกราฟ หรือ การปรับค่าของผลการทดลองหรือตัวแปรบางตัว เช่นการใช้ semi-log สเกล สำหรับการแสดงความสัมพันธ์แบบ  $y = a e^{bx}$  และใช้สเกลแบบ log-log สำหรับการแสดงความสัมพันธ์แบบ  $y = ax^b$  เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดของการแปรค่าของตัวแปรในฟังก์ชันต่างๆ เพื่อให้เขียนกราฟได้เป็นเส้นตรงแสดงในภาคผนวก (ดัดแปลงจาก[2]) ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการใช้สเกลแบบ semi-log

การใช้สเกลแบบ semi-log คือการเขียนกราฟโดยให้แกนใดแกนหนึ่งมีสเกลแบบ log เหมาะกับการนำเสนอข้อมูลที่มีลักษณะเป็นช่วงกว้าง หรือมีลักษณะความสัมพันธ์แบบ exponential เช่นกราฟ ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของของเหลว หรือกราฟระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียหายการไหลภายในท่อ กับ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ เป็นต้น รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างของกราฟที่ใช้สเกลแบบปกติแบบปกติ เปรียบเทียบกับกราฟที่ใช้สเกลแบบ semi-log

กราฟของความสัมพันธ์แบบ exponential,  $y = a e^{bx}$  โดย  $a$  และ  $b$  เป็นค่าคงที่ เมื่อเขียนบนสเกล semi-log จะมีรูปร่างเหมือนกราฟระหว่าง  $x$  และ  $\log(y)$  ซึ่งก็คือ  $b \log(e) x + \log(a)$  ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ  $b \log(e)$  และมีจุดตัดแกน  $x = 0$  ที่ระยะ  $y = \log(a)$  เป็นต้น



รูปที่ 4 การแสดงข้อมูลชุดเดียวกันบนกราฟที่ใช้สเกลแบบปกติแบบปกติ และ กราฟที่ใช้สเกลแบบ semi-log

### 5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากการแปรรูปข้อมูลดิบ และทำการเขียนกราฟ หรือ รวบรวมรูปภาพที่จะนำเสนอ ก็มาถึงขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลอันเป็นขั้นตอนสำคัญที่ผู้ทดลองจะหาคำตอบ หรือค้นพบลักษณะสำคัญจากผลการทดลอง รวมทั้งการค้นพบและหาสาเหตุของความผิดพลาดพบจากผลการทดลอง โดยจะเขียนบรรยายผลการวิเคราะห์ในหัวข้ออภิปรายที่จะนำไปสู่การสรุปผลการทดลอง นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและทำการอภิปรายในประเด็นหลัก ตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง หรือในประเด็นอื่นๆที่น่าสนใจ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### 5.3.1 การสังเกตแนวโน้มของกราฟ

5.3.2 การวิเคราะห์เชิงสถิติ รวมถึงการทำนายความสัมพันธ์โดยการพิตสมการเข้ากับชุดข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลควรมีการกระจายที่สม่ำเสมอ และต้องมีจำนวนจุดของข้อมูลมากกว่าจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ต้องการหาในสมการ

5.3.3 การเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากทฤษฎี ในลักษณะของกราฟ หรือตัวเลขเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

5.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์ที่สังเกตได้หรือบันทึกภาพได้ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะการแตกหัก หรือ การเสียรูปของชิ้นทดสอบ, การค้นพบการเกิดการไหลแบบหมุนวน, การหาสาเหตุของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง เป็นต้น

5.3.5 การตรวจสอบและวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดพลาดของผลการทดลอง

## 6. การเขียนรายงาน

ในการเขียนรายงานผู้เขียนควรลำดับขั้นตอนการนำเสนอให้ต่อเนื่อง รวบรวม และถ่ายทอดการเข้าใจ เสมือนการเล่าเรื่องให้ผู้ฟังเข้าใจ โดยใช้ภาษาเขียนที่เรียบง่ายแต่เป็นทางการและมีความสอดคล้องกันตลอดทั้งรายงาน การแสดงความคิดเห็นต่างๆ ต้องกระทำบนพื้นฐานของทฤษฎีหรือหลักฐานความเป็นจริงที่พิสูจน์ได้ การนำเสนอตาราง กราฟ และรูปภาพ ต้องมีการลำดับหมายเลขและตั้งชื่อ และมีการอ้างอิงถึงในรายงาน ส่วนการอ้างอิงถึงผลงานของผู้อื่นก็จะต้องมีการระบุในบรรณานุกรม นักศึกษาสามารถอ่านคำแนะนำในการเขียนรายงานที่ดีในเอกสารอ้างอิง [3]

ในแต่ละการทดลองนักศึกษาต้องส่งรายงานจำนวน 2 ฉบับคือ รายงานฉบับย่อ และรายงานฉบับสมบูรณ์ ดังรายละเอียดถัดไป

### 6.1 รายงานฉบับย่อ

ให้นักศึกษาทุกคนสรุปบันทึกคำบรรยาย และบันทึกผลการทดลอง (ตามแบบฟอร์มที่แนบมา) และให้อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการลงนามรับรองภายในชั่วโมงปฏิบัติการ

### 6.2 รายงานผลการทดลองฉบับสมบูรณ์

ให้ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์กลุ่มละ 1 ฉบับ ภายใน 7 วันปฏิทินนับจากวันที่ทำการทดลอง การคัดลอกรายงานจากกลุ่มอื่นถือเป็นความผิดร้ายแรงอันสะท้อนถึงความไม่ซื่อสัตย์ ผิดจรรยาบรรณของวิศวกร ดังนั้นนักศึกษาที่เกี่ยวข้องจะได้รับเกรด **F**

เนื้อหาทั้งหมดให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 ใช้ฟอนต์แบบ Browallia New ขนาด 14 สำหรับตัวแปรต่างๆให้ใช้ฟอนต์ Times New Roman ตัวเอียง ขนาด 12 ส่วนการเขียนสมการให้ใช้โปรแกรมประเภท Equation Editor เขียนด้วยขนาดตัวอักษรที่ใกล้เคียงกับเนื้อหา และให้มีการลำดับหมายเลขสมการที่มีการอ้างถึง

ส่วนประกอบของรายงานฉบับสมบูรณ์มีดังนี้

- 6.2.1 ปก ใช้ปกตามรูปแบบของภาควิชาและกรอกข้อมูลให้ครบถ้วน
- 6.2.2 บทคัดย่อ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ สิ่งที่ได้ทำ ผลลัพธ์ และ ข้อสรุป อย่างรวบรัด ด้วยข้อความ 1 ย่อหน้า การเขียนบทคัดย่อจำเป็นต้องทำหลังจากที่เขียนรายงานส่วนอื่นทั้งหมดเสร็จแล้ว
- 6.2.3 สารบัญ
- 6.2.4 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการทดลองงานที่มีผู้อื่นทำไปแล้ว กล่าวถึงสมมุติฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเท่าที่จำเป็น อาจมีการอ้างถึงงานที่ผู้อื่นได้ทำไว้แล้ว (และระบุรายการไว้ในบรรณานุกรม) ในส่วนท้ายของบทนำควรกล่าวแนะนำถึงบทต่างๆในรายงาน
- 6.2.5 อุปกรณ์ ระบุรายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมด พร้อมรายละเอียดที่จำเป็น เช่น ข้อมูลจากป้ายชื่อ หรือข้อมูลจำเพาะของเครื่อง และหลักการทำงานของอุปกรณ์หลัก รวมทั้งรูปภาพ หรือผังระบบ (schematic diagram) ของการทดลอง
- 6.2.6 วิธีทำ กล่าวถึงวิธีการทดลอง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ตัวแปรที่ต้องการวัด ตัวแปรที่ถูกกำหนดค่า วิธีการเก็บข้อมูล การควบคุมความแม่นยำในการวัด และขั้นตอนการทดลอง
- 6.2.7 ผลลัพธ์ แสดงข้อมูลที่ได้รับการแปรรูปแล้ว เช่น ตาราง แผนภูมิ หรือรูปภาพ โดยมีการลำดับหมายเลข และตั้งชื่ออย่างชัดเจน และมีการอ้างถึงในรายงาน
- 6.2.8 อภิปราย กล่าวถึงความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ สิ่งที่เกิดขึ้นจากการทดลอง แนวโน้มของผลลัพธ์ เปรียบเทียบผลลัพธ์เทียบกับสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้น หรือสิ่งที่ทำนายได้โดยทฤษฎี ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5 ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล



- 6.2.9 **สรุปและข้อเสนอแนะ** สรุปจากข้อมูลที่อภิปรายไว้ สิ่งที่ค้นพบ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะในการปรับปรุง หากการทดลองใดมีคำถามท้ายการทดลอง ให้ตอบคำถามต่อจากบทสรุป
- 6.2.10 **บรรณานุกรม** แสดงรายการเอกสารที่อ้างอิงถึงในรายงาน
- 6.2.11 **ภาคผนวก** ให้แนบทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ทฤษฎีของเครื่องมือวัดที่ใช้ แนบรายงานฉบับย่อ ข้อมูลดิบ และแสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณที่ใช้ในการแปรรูปข้อมูลดิบเพื่อการตรวจสอบ

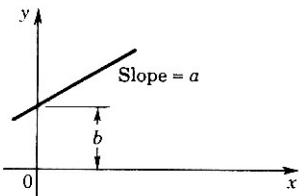
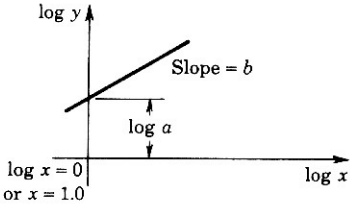
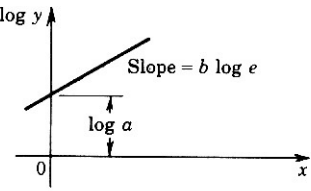
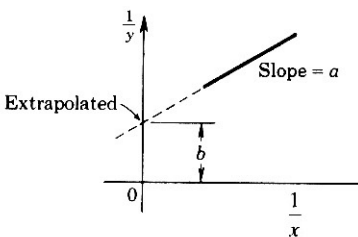
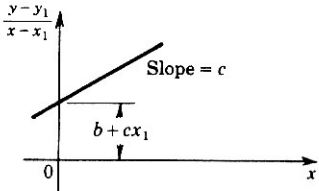
#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Holman, J. P., Experimental Methods for Engineers, Sixth Edition, McGraw-Hill, 1994
- [2] Giesecke, F. E., et al., Engineering Graphics, Fifth Edition, Macmillan, 1993
- [3] Rathbone, R. R. and Stone, J.B., A Writer's Guide for Engineers and Scientists, Prentice Hall, 1962

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1 การแปรค่าตัวแปรในฟังก์ชันต่างๆให้ได้กราฟเส้นตรง (ดัดแปลงจาก [1])

**Methods of plotting various functions to obtain straight lines**

Functional relationship	Method of plot	Graphical determination of parameters
$y = ax + b$	$y$ vs. $x$ on linear paper	
$y = ax^b$	$y$ vs. $x$ on log-log paper $\log y$ vs. $\log x$ on linear paper	
$y = ae^{bx}$	$y$ vs. $x$ on semilog paper $\log y$ vs. $x$ on linear paper	
$y = \frac{x}{a + bx}$	$\frac{1}{y}$ vs. $\frac{1}{x}$ on linear paper	
$y = a + bx + cx^2$	$\frac{y - y_1}{x - x_1}$ vs. $x$ on linear paper	

**Methods of plotting various functions to obtain straight lines (Continued)**

Functional relationship	Method of plot	Graphical determination of parameters
$y = \frac{x}{a + bc} + c$	$\frac{x - x_1}{y - y_1}$ vs. $x$ on linear paper	<p>Slope = <math>b + \frac{b^2}{a} x_1</math></p> <p><math>a + bx_1</math></p>
$y = ae^{bx+cx^2}$	$\log \left[ \left( \frac{y}{y_1} \right)^{1/(x-x_1)} \right]$ vs. $x$ on linear paper	<p>Slope = <math>c \log e</math></p> <p><math>b + cx_1 \log e</math></p>
$y = 1 - e^{-bx}$	$\log \left( \frac{1}{1-y} \right)$ vs. $x$ on linear paper	<p>Slope = <math>b</math></p>
$y = a + \frac{b}{x}$	$y$ vs. $\frac{1}{x}$ on linear paper	<p>Slope = <math>b</math></p> <p><math>a</math></p>
$y = a + b\sqrt{x}$	$y$ vs. $\sqrt{x}$ on linear paper	<p>Slope = <math>b</math></p> <p><math>a</math></p>