อุปกรณ์และวิธีการ

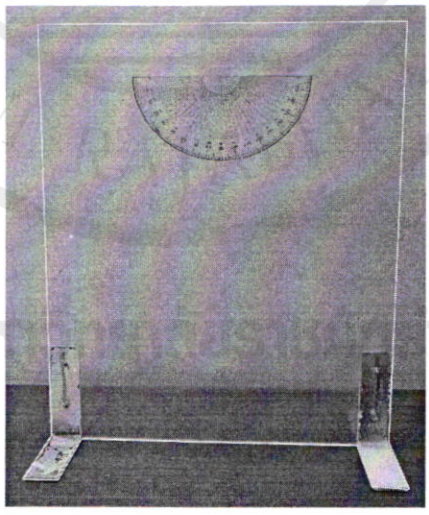
งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบชุดทดลองฟิสิกัลเพนดูลัมรูปเรขาคณิตแบบแผ่นบาง เพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุแบบแผ่นบาง 3 รูปทรง ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เพื่อตรวจสอบทฤษฎีแกนขนานและแนวโน้มของตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวล ที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุด โดยมีอุปกรณ์ วิธีการวิจัย และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนี้

1. อุปกรณ์
2. วิธีการวิจัย
   2.1 การออกแบบชุดทดลอง
   2.2 การเตรียมแผ่นอะคริลิก สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล
   2.3 ขั้นทดลอง
   2.4 ขั้นวิเคราะห์ผล
3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย

1. ชุดทดลองพร้อมขาตั้งทำจากแผ่นอะคริลิกใส หนา 1.00 เซนติเมตร มีความกว้าง 55.00 เซนติเมตร สูง 65.00 เซนติเมตร ด้านบนติดเข็มเย็บผ้าเบอร์ 15 สำหรับแขวนวัตถุแผ่นบาง และมีสติ๊กเกอร์ครึ่งวงกลมสำหรับวัดมุมติดอยู่ ดังภาพประกอบ 10

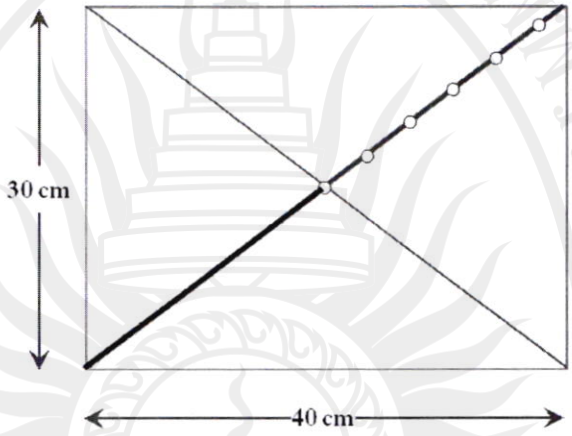


ภาพประกอบ 10 ชุดทดลองฟิสิกัลเพนดูลัม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยรามคำแหง ราชภัฏพรรณี

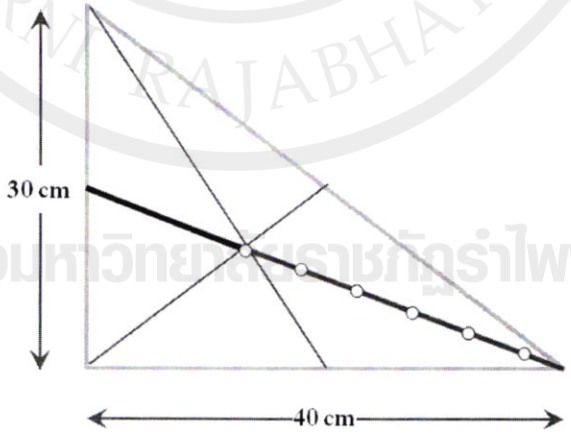
2. แผ่นอะคริลิก สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล ความหนา 3 มิลลิเมตร ตัดให้เป็นรูปเรขาคณิตแบบต่าง ๆ ดังนี้

2.1 รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 30.00 เซนติเมตร ความยาว 40.00 เซนติเมตร มวล 421.25 กรัม มีตำแหน่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทุก ๆ ระยะ 4.50 เซนติเมตร ตามแนวทแยงมุมที่ชี้จากศูนย์กลางมวลไปยังมุมของสี่เหลี่ยม ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล

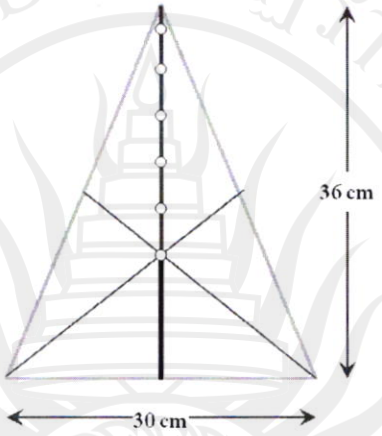
2.2 รูปสามเหลี่ยมมุมฉาก มีความยาวฐาน 40.00 เซนติเมตร ความสูง 30.00 เซนติเมตร มวล 207.30 กรัม มีตำแหน่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทุก ๆ 5.00 เซนติเมตร ตามแนวที่ชี้จากจุดศูนย์กลางมวลไปยังมุมระหว่างฐานของสามเหลี่ยม และด้านตรงข้ามมุมฉาก ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แผ่นอะคริลิกรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.3 รูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ความยาวฐาน 30.00 เซนติเมตร ความสูง 36.00 เซนติเมตร มวล 196.30 กรัม มีตำแหน่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทุก ๆ 4.00 เซนติเมตร ตามแนวที่ชี้จากจุดศูนย์กลางมวลไปยังยอด ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แผ่นอะคริลิกรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล

3. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล พิกัดการวัด 400 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ดังภาพประกอบ 14

ภาพประกอบ 14 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล พิกัดการวัด 400 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม

4. นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 0.01 วินาที ดังภาพประกอบ 15

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

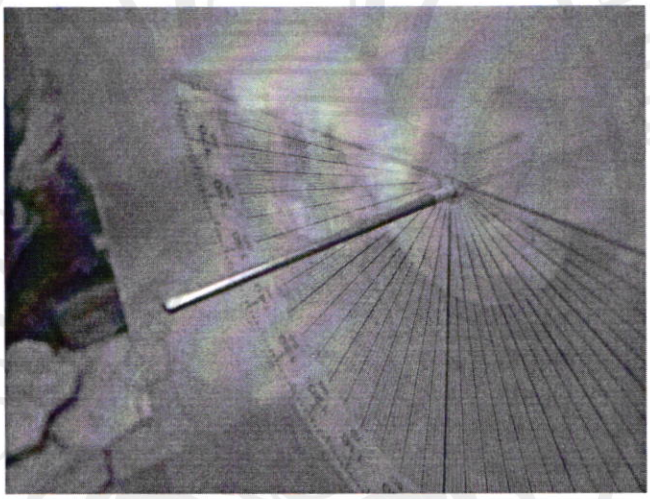
ภาพประกอบ 15 นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 0.01 วินาที

วิธีการวิจัย

การออกแบบชุดทดลอง

1. ออกแบบลักษณะชุดทดลอง ให้เป็นแท่นทำจากแผ่นอะคริลิกใส ความหนา 1.00 เซนติเมตร มีขนาดความกว้าง 55.00 เซนติเมตร ความสูง 65.00 เซนติเมตร และมีขาตั้งสองข้างทำจากเหล็ก

2. ติดแผ่นครึ่งวงกลมอุปกรณ์วัดมุม และเข็มเย็บผ้า ซึ่งเข็มเย็บผ้าทำหน้าที่เป็นจุดแขวนวัตถุ ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 การติดแผ่นครึ่งวงกลม และเข็มเย็บผ้าเข้ากับแท่นอะคริลิก

การเตรียมแผ่นอะคริลิก สำหรับใช้เป็นลูกตุ้มฟิสิกัล

1. ตัดแผ่นอะคริลิกแบบแผ่นบางให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน ตามที่ระบุในข้อ 2.1 - 2.3 ในหัวข้ออุปกรณ์

2. หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแผ่นอะคริลิกในข้อ 1 ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแผ่นอะคริลิกแต่ละแผ่น

3. ลากเส้นตรง จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล ไปยังทุกมุมบนแผ่นอะคริลิก

4. เลือกเส้นตรงที่มีความยาวมากที่สุดบนแผ่นอะคริลิกเป็นแนวในการเจาะรู

5. วัดระยะจากจุดศูนย์กลางมวลออกไปตามเส้นตรงที่มีความยาวมากที่สุด โดยทำเครื่องหมายทุก ๆ 4.50 เซนติเมตร สำหรับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 5.00 เซนติเมตร สำหรับรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก และ 4.00 เซนติเมตร สำหรับรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

6. ใช้สว่านไฟฟ้าเจาะรูบนแผ่นอะคริลิกตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ในข้อ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

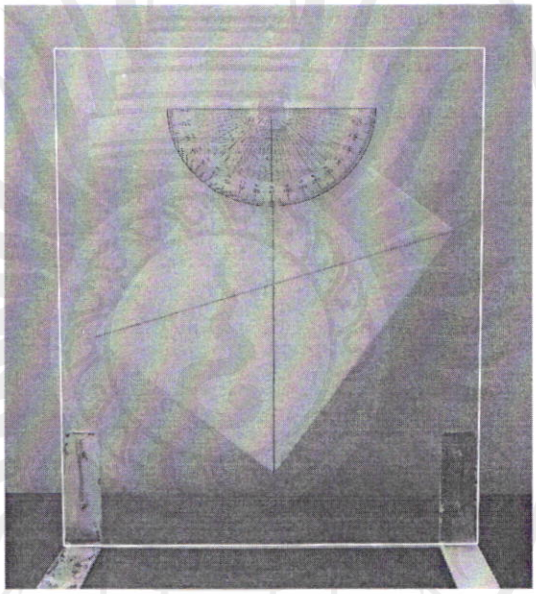
ขั้นทดลอง

ขั้นทดลอง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 ทำการทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล ($I_{Z_{CM}}$) ของวัตถุรูปเลขาคณิตแบบแผ่นบาง เพื่อตรวจสอบทฤษฎีแกนขนาน

1. ชั่งมวลของแผ่นอะคริลิกแต่ละแผ่น ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล บันทึกผล

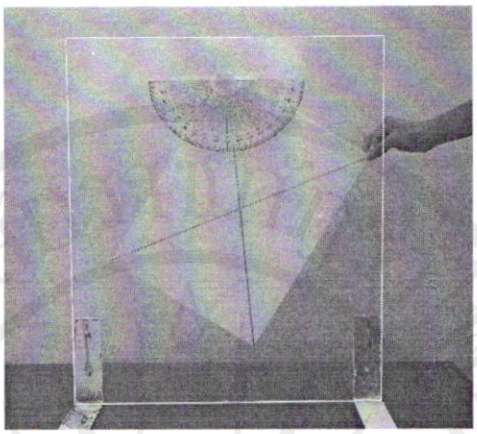
2. แขวนแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไว้กับเข็มบนชุดทดลอง โดยเลือกรูที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวลมากที่สุดเป็นจุดแรกในการแขวน ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 การแขวนแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ตำแหน่งรูเจาะแรก ที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวลมากที่สุด

3. ดึงแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แขวนอยู่กับเข็ม ออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นมุมน้อย ๆ (ไม่เกิน 5 องศา) และปล่อยให้วัตถุแกว่งไป - กลับแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พร้อมจับเวลาการแกว่ง ไป - กลับ ของแผ่นอะคริลิก เป็นจำนวน 20 รอบ บันทึกเวลาการแกว่งลงในตารางบันทึกผล ดังภาพประกอบ 18

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 18 การดึงแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นมุมน้อย ๆ

4. ทำการปล่อยแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้แกว่งอย่างอิสระ พร้อมจับเวลาการแกว่งไป - กลับ โดยทำการดึงและปล่อย ดังข้อ 3 - 4 อีกจำนวน 4 ครั้ง

5. เปลี่ยนตำแหน่งแขวนจากข้อ 2 โดยเลื่อนจุดแขวนมายังรูที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลมากขึ้นอีก 1 ช่วง และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 - 4 จนครบ 5 ตำแหน่ง

6. เปลี่ยนแผ่นอะคริลิกเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ทำการทดลองและบันทึกผลเช่นเดียวกับแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตอนที่ 2 ทำการทดลองหาคาบการแกว่งต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่คำนวณได้จากสูตรทางทฤษฎี เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวล ที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุด

1. เจาะรูที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลที่ทำให้เกิดคาบการแกว่งต่ำสุดทางทฤษฎี (d_T) หรือตำแหน่งที่ทำให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ตั้งได้ฉาก มีค่าเป็นสองเท่าของโมเมนต์ความเฉื่อยที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล เพิ่มอีก 1 จุดบนแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

2. แขวนและปล่อยให้แกว่งที่ตำแหน่งนี้ 20 รอบ จำนวน 5 ครั้ง บันทึกผล

3. ทำการทดลอง เช่นเดียวกันดังข้อ 2 กับแผ่นอะคริลิกรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ขั้นวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองตอนที่ 1 มีขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล ดังนี้

1. นำค่าเวลาในการแกว่ง 20 รอบ ของแผ่นอะคริลิกแต่ละรูปแบบมาหาคาบของการแกว่งในแต่ละครั้งของการทดลอง บันทึกผล

2. นำค่าคาบที่ได้จากการแกว่งทั้ง 5 ครั้งของการทดลอง มาหาค่าคาบเฉลี่ย (T_{AV}) โดยคำนวณหาค่าคาบเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งของแผ่นอะคริลิกแต่ละรูปแบบ

3. นำค่าคาบเฉลี่ยที่ได้จากข้อ 2 แทนในสมการ $I_{Z_{CM}} = \frac{mgdT^2}{4\pi^2} - md^2$ เพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล ($I_{Z_{CM}}$) ของแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว บันทึกผล

4. ตรวจสอบค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล ($I_{Z_{CM}}$) ของแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว โดยแทนค่ามวลของวัตถุ ความกว้าง ความยาว ในสูตรคำนวณทางทฤษฎี บันทึกผล

5. เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล ($I_{Z_{CM}}$) ของแผ่นอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมมุมฉาก และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ที่ได้จากการทดลองในข้อ 3 กับค่าที่ได้จากสูตรคำนวณทางทฤษฎีในข้อ 4 เพื่อหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนตามสมการ

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าที่วัดได้ - ค่าจริง}}{\text{ค่าจริง}} \right| \times 100\%$$

ต่อไปนี้ เป็นวิธีการหาระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุดจากการหาค่าวิกฤต (d_C) โดยนำค่าที่ได้นี้และระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุดจากการทดลอง (d_E) ไปเปรียบเทียบกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุดทางทฤษฎี (d_T) เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการตรวจสอบผลการทดลองต่อไป

1. นำค่าคาบการแกว่งจากการทดลองตอนที่ 1 กับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลมาเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งในกราฟแสดงค่า d_E (ตำแหน่งข้อมูลที่ทำให้เกิดคาบการแกว่งต่ำสุด)

2. สร้างเส้นแนวโน้มในสองรูปแบบคือ สมการพหุนามกำลังสอง และสมการพหุนามกำลังสี่ และกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของเส้นแนวโน้มนั้น ๆ ด้วย

3. หาค่าวิกฤตของสมการ โดยกำหนดให้อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการพหุนามกำลังสอง และสมการพหุนามกำลังสี่ของเส้นแนวโน้มมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะทำให้ได้ค่า d_C ซึ่งเป็นระยะที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุดซึ่งเกิดจากการหาค่าวิกฤต

4. เปรียบเทียบค่า d_C และ d_E กับ ค่า d_T (ดูบทที่ 2 หัวข้อที่ 1.9 และภาคผนวก) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้ได้คาบการแกว่งต่ำสุดในทางทฤษฎี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จากผลการทดลองตอนที่ 2 มีขั้นตอนการวิเคราะห์ผล ดังนี้

1. นำค่าเวลาในการแกว่ง 20 รอบ ของแผ่นอะคริลิกแต่ละรูปแบบมาหาคาบของการแกว่งในแต่ละครั้งของการทดลอง บันทึกผล

2. นำค่าคาบที่ได้จากการแกว่งทั้ง 5 ครั้งของการทดลอง มาหาค่าคาบเฉลี่ยของแผ่นอะคริลิกแต่ละรูปแบบ ซึ่งคาบเฉลี่ยนี้จะเป็นคาบการแกว่งต่ำสุดทางทฤษฎี ($T_{MIN\text{-}THOERY}$) บันทึกผล

3. เปรียบเทียบคาบการแกว่งต่ำสุดทางทฤษฎี ($T_{MIN\text{-}THOERY}$) กับคาบการแกว่งต่ำสุดที่เกิดจากการแทนค่าระยะ d_C ลงในสมการพหุนามกำลังสี่ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งและระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวล ($T_{MIN\text{-}CRISIS}$)

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ ใช้สถิติในการคำนวณผลการทดลอง จำนวน 1 รายการ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากผลรวมของข้อมูลทั้งหมด หารด้วยจำนวนข้อมูล ดังสมการ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N}$$

ซึ่งในการทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปเรขาคณิตแบบแผ่นบางรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล จะต้องมีการหาคาบเฉลี่ย ซึ่งได้จากการเฉลี่ยคาบเวลาที่ได้ในแต่ละครั้งของการทดลอง ดังสมการ

$$T_{AV} = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N}$$

ซึ่งการทดลองในแต่ละระยะห่างของรูที่เจาะกับจุดศูนย์กลางมวล จะทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง จึงเขียนรูปแบบการหาค่าคาบเฉลี่ยได้จาก

$$T_{AV} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี