รายงานวิจัยสถาบัน

เรื่อง

การสร้างชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ

The Experimental Measurement of Mechanical Energy Absorption by Materials

ที่ปรึกษาโครงการ

ดร.ชดาภัษท สุดศิริ

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ณัฐวัฒน์ จำปา

ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยสถาบันจาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

กุมภาพันธ์ 2556

สมอ.

เลขหมู่.....

Bib Key.....446991

18 ส.ค. 2563

คำนำ

งานวิจัยสถาบันเรื่อง การสร้างชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ นี้เป็นงานวิจัยสถาบันที่ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานีปี 2553 โดยแนวความคิดในการพัฒนาชุดทดลองนั้นเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของผู้วิจัยซึ่งปฏิบัติงานตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ ประจำห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โดยผู้วิจัยได้สังเกต และประเมินผลการทดลองของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ได้ทำการทดลองแล้วพบว่าหลังจากการวิจารณ์ผลการทดลองนั้นพบว่ามีส่วนหนึ่งเกิดจากข้อบกพร่องของชุดทดลองเองที่ทำให้ผลการทดลองไม่สามารถสรุปผลได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับความเป็นจริง อีกทั้งจำนวนชุดทดลองยังไม่เพียงพอต่อการเรียนการสอน เนื่องด้วยมีชุดทดลองอยู่เพียง 10 ชุด แต่กลุ่มการทดลองมีทั้งหมด 20 กลุ่ม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดทำงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้น เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาชุดทดลองให้มีความผิดพลาดน้อยลง และมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นทำให้นักศึกษาสามารถเข้าใจและอธิบายผลการทดลองได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มจำนวนชุดทดลองให้เพียงพอต่อการเรียนการสอน โดยไม่ต้องใช้เงินงบประมาณในการจัดซื้ออีกด้วย

บทคัดย่อ

การสร้างชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ

The Experimental Measurement of Mechanical Energy Absorption by Materials

ณัฐวัฒน์ จำปา

.....

เนื่องจากการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานนั้นมีหัวข้อหนึ่งซึ่งมีความสำคัญและเป็นพื้นฐานของความเข้าใจเนื้อหาทางด้านวิชาฟิสิกส์ชั้นสูงต่อไป คือ การหาพลังงานกลของวัสดุ ดังนั้นการสร้างชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืนของวัสดุนั้นเป็นสื่อในการช่วยอธิบายเรื่องพลังงานกลให้ผู้เรียนได้มีความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น จึงมีในการจัดสร้างชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ จำนวน 20 ชุด สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีการออกแบบชุดทดลองที่สอดคล้องเหมาะสมกับการอธิบายเรื่องพลังงานกล เมื่อได้รูปแบบแล้วจึงดำเนินการสร้างชุดทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้จำนวน 20 ชุด พร้อมทั้งจัดทำบทปฏิบัติการ เรื่องการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ หลังจากนั้นจึงได้ทดลองเพื่อเก็บผลการทดลอง โดยได้ทำการทดลองแยกวัสดุที่ใช้ออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ยางหนา มีขนาด (ก×ย×ส) = 3×3×1 เซนติเมตร ได้ผลการหาเปอร์เซ็นต์พลังงานที่ถูกดูดกลืน เป็น 49.00 % และเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สะท้อนกลับเป็น 58.00 % และชุดที่ 2 ยางบาง มีขนาด (ก×ย×ส) = 3×3×0.2 เซนติเมตร ได้ผลการหาเปอร์เซ็นต์พลังงานที่ถูกดูดกลืน เป็น 95.50 % และ เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สะท้อนกลับเป็น 4.40 %

จึงสรุปว่าชุดทดลองการหาพลังงานการดูดกลืนของวัสดุสามารถอธิบายการดูดกลืนพลังงานของวัสดุที่มีลักษณะที่แตกต่างกันได้และสามารถอธิบายให้นักศึกษาเข้าใจเรื่องพลังงานได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะ ผศ. ดร.ชดาภัษท สุดศิริ ซึ่งเป็นที่ปรึกษางานวิจัยฉบับนี้ และ ดร.ณรงค์ เชื่องชยะพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี ทางผู้ทำวิจัยจึงขอขอบคุณในความดูแลเอาใจใส่ของที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่านมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยให้มีความถูกต้องทั้งเนื้อหาและภาษาในการเขียนงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารซึ่งประกอบด้วย รองอธิการบดีวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะกรรมการกองทุนวิจัย และหัวหน้าศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลางที่เปิดโอกาสให้มีการทำงานวิจัยสถาบันที่เป็นประโยชน์ต่อองค์กรและต่อผู้ทำวิจัย เพื่อที่จะนำไปปรับใช้และพัฒนางานให้มีความก้าวหน้าต่อไปและยังเป็นการลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้อีกทางหนึ่งด้วย

ขอขอบคุณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้งบประมาณและสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลางที่ให้สถานที่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ในการสร้างชุดทดลองต่างๆ และให้อุปกรณ์เพื่อประกอบการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณมารดา บิดาที่ได้ให้ความรู้ความสามารถ และเป็นที่พึ่งทางจิตใจ มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณกาญจนา จำปา ซึ่งเป็นภรรยาที่คอยสอบถามและให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอดและให้คำแนะนำถึงร้านค้า ต่างๆที่สามารถหาอุปกรณ์มาเพื่อสร้างชุดวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณปิ่นพงษ์ คงชนะ คุณโรจน์ระวี บุญมา ที่ได้ช่วยเสนอแนวความคิดในการสร้างชุดทดลองนี้และรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ จนได้เป็นรูปแบบตามที่ต้องการ

ขอขอบคุณร้าน PPR Supplyและบริษัทห้องแล็ปและเคมีภัณฑ์ ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์การสร้างชุดทดลองมาโดยตลอด และอีกทั้งผู้สนับสนุนอื่นๆที่ไม่สามารถกล่าวได้หมดในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณและรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้

ณัฐวัฒน์ จำปา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
- 2.1 พลังงานศักย์	2
- 2.2 การศึกษาการดูดกลืนพลังงานของวัตถุใดๆ สามารถหาได้ โดยวิธีเพนดูลัม	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	5
- 3.1 ตอนที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง	5
- 3.2 ตอนที่ 2 การออกแบบชุดทดลอง	6
- 3.3 ตอนที่ 3 ทดสอบชุดทดลอง	9
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	16
- 4.1 บันทึกผลการทดลอง	16
- 4.2 วัสดุทดสอบชนิดที่ 1	16
- 4.3 วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟของวัสดุทดสอบที่ 1	18
- 4.4 วิธีการหาพลังงานที่สะท้อนกลับจากกราฟ	18
- 4.5 วัสดุทดสอบชนิดที่ 2	19
- 4.6 วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟของวัสดุทดสอบที่ 2	21
- 4.7 วิธีการหาพลังงานที่สะท้อนกลับจากกราฟ	22
- 4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง	22
- 4.9 สรุปผลการทดลอง	23
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	24
- 5.1 สรุป	24
- 5.2 วิจารณ์ผล	25
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	27

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ของชุดทดลองประกอบด้วยวัสดุต่างๆ..... 5
ตารางที่ 3.2 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 1..... 12
ตารางที่ 3.3 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 2..... 13
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 1..... 16
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 2..... 19

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2.1 งานที่ทำโดยแรงโน้มถ่วง.....2
รูปที่ 2.2 วิธีการศึกษาการดูดกลืนพลังงานของวัสดุโดยใช้ระบบเพนดูลัม..... 3
รูปที่ 3.1 แสดงภาพด้านหน้าของชุดทดลอง..... 6
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านหลังของชุดทดลอง..... 7
รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของชุดทดลอง..... 8
รูปที่ 3.4 การจัดอุปกรณ์ชุดทดลอง..... 9
รูปที่ 3.5 แสดงการกางแขนเพนดูลัมก่อนตกกระทบวัสดุทดสอบ..... 10
รูปที่ 3.6 แสดงแขนของเพนดูลัมหลังจากตกกระทบวัสดุทดสอบ..... 11
รูปที่ 4.1 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืนกับค่าพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 1..... 17
รูปที่ 4.2 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่สะท้อนกลับกับพลังงานที่ให้ของวัสดุทดสอบที่ 1..... 17
รูปที่ 4.3 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืนกับค่าพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 2..... 20
รูปที่ 4.4 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่สะท้อนกลับกับสัดส่วนพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 2 20

บทที่ 1
บทนำ

บทนำ

เนื่องจากการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์ จะต้องมีรายวิชาปฏิบัติการเพื่อที่จะเสริมความเข้าใจให้กับนักศึกษาได้เข้าใจในหลักของวิชาได้มากขึ้น และเนื่องจากเครื่องมืออุปกรณ์ทางฟิสิกส์ที่จะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการมีราคาที่ค่อนข้างสูง จึงเป็นผลให้มีอุปกรณ์ไม่เพียงพอต่อจำนวนนักศึกษา และไม่ครอบคลุมเนื้อหาทุกเรื่อง ดังนั้นหากสามารถสร้างเครื่องมือที่สามารถให้นักศึกษาได้ใช้ฝึกปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ ก็จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อนักศึกษาและต่อสถาบันเอง

เรื่องพลังงานเป็นหัวข้อหนึ่งที่ถูกกำหนดให้นักศึกษาทุกหลักสูตรต้องเรียนเป็นพื้นฐานแต่ในปัจจุบันอุปกรณ์การทดลองเรื่องพลังงานยังไม่เคยมีในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการวิจัยเพื่อสร้างชุดทดลองเรื่องการดูดกลืนพลังงานกลของวัสดุทดสอบ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะมีการสร้างชุดทดลอง จำนวน 20 ชุด ให้นักศึกษาใช้ทำการทดลอง จำนวน 20 กลุ่ม ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือจะถูกเปรียบเทียบกับทฤษฎี เพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ

วัตถุประสงค์

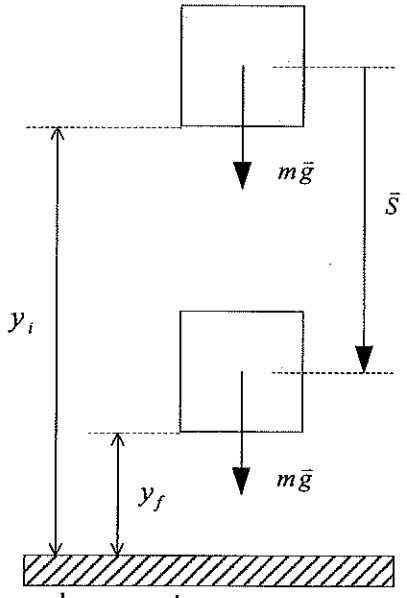
1. เพื่อสร้างชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืน จำนวน 20 ชุด ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของชุดทดลองว่าสามารถอธิบายหลักการดูดกลืนพลังงานกลได้ เมื่อเทียบค่าที่ได้จากชุดทดลองกับทฤษฎี
3. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในเรื่องพลังงานกลมากยิ่งขึ้น
4. เพื่อให้นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่องมือเรื่องพลังงานกลมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานศักย์ (Potential Energy, PE.)

วัตถุต่างๆ ที่มีพลังงานจลน์สามารถทำงานให้กับวัตถุอื่นๆ ได้ เช่น เมื่อยกค้อนขึ้นมาเพื่อตอกตะปูเข้าไปในเนื้อไม้ ส่วนบางกรณีวัตถุสามารถทำงานได้เนื่องจากพลังงานที่ได้รับเนื่องจากตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุ อย่างกรณีที่วัตถุตกลงมาในสนามความโน้มถ่วง สนามความโน้มถ่วงจะออกแรงกระทำต่อวัตถุในทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่หรือมีการทำงานบนวัตถุ ทำให้พลังงานจลน์ของวัตถุเพิ่มขึ้น การที่พลังงานจลน์ของวัตถุที่ตกลงมาเพิ่มขึ้น เพราะขณะที่วัตถุอยู่ที่สูงขึ้นไปจากพื้นโลก วัตถุจะมีพลังงานที่เกี่ยวเนื่องกับตำแหน่งของวัตถุ พลังงานดังกล่าวนี้เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy) และพลังงานดังกล่าวนี้เองที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานจลน์ให้กับวัตถุเมื่อวัตถุตกลงมา

สมการที่แสดงถึงค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุ เนื่องจากตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุที่กล่าวมาข้างต้น โดยพิจารณาจากวัตถุมวล m ที่เริ่มต้นอยู่ที่ความสูง y_i จากพื้นดินดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 งานที่ทำโดยแรงโน้มถ่วง

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่ง y_i มายังตำแหน่ง y_f จะเท่ากับ $mgy_i - mgy_f$ (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)

จากรูปที่ 2.1 เมื่อวัตถุตกลงมาจะเกิดงานขึ้นบนวัตถุ โดยงานดังกล่าวเกิดจากแรงความโน้มถ่วง (mg) ซึ่งแรงดังกล่าวทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้การขจัด $\overrightarrow{\square}$ ดังนั้นงานที่เกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงจะมีค่าดังนี้

$$W_g = (\vec{mg}).\vec{s} = -mg(y_f - y_i) \qquad (2.1)$$

$$W_g = (mgy_i - mgy_f) \qquad (2.2)$$

ถ้าให้ $y = y_i - y_f$ จะได้ว่า $W_g = mgy$ โดยเทอม mgy นี้เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง ดังนั้นจึงได้ว่า

$$PE. = mgy \qquad (2.3)$$

โดยพลังงานศักย์โน้มถ่วงมีหน่วยเหมือนกับงานหรือพลังงานหรือพลังงานจลน์ดังกล่าวมาแล้วและจากสมการ (2.3) ถือว่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุขึ้นอยู่กับความสูงจากพื้นดินของวัตถุ จากผลดังกล่าวจะพบว่างานที่ทำโดยแรงโน้มถ่วงต่อวัตถุเมื่อวัตถุตกลงมาในแนวดิ่ง จะเท่ากับกรณีที่วัตถุตกลงมาตามระนาบเอียงที่ไม่มีแรงเสียดทานที่ความสูงเท่ากัน อย่างไรก็ตามสมการ (2.3) จะเป็นจริงเฉพาะกรณีที่วัตถุอยู่ใกล้พื้นโลก ซึ่งถือว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) คงที่ และในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับพลังงานศักย์โน้มถ่วงจำเป็นต้องเลือกตำแหน่งอ้างอิงที่ถือว่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นศูนย์ซึ่งมักจะถือเอาพื้นดินเป็นสิ่งอ้างอิง ส่วนตำแหน่งที่สูงขึ้นไปจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงขึ้นอยู่กับความสูงจากพื้นดิน (y) ตามสมการ (2.3)

2.2 การศึกษาการดูดกลืนพลังงานของวัตถุใดๆ สามารถหาได้โดยวิธีเพนดูลัม

ถ้าปล่อยวัตถุกลมมวล m จากความสูง H ลงไปกระทบแผ่นวัสดุ แล้วกระดอนกลับขึ้นมาได้ความสูง h ดังรูปที่ 2.2 จะได้ ความสูง H ของวัตถุก่อนตกกระทบแผ่นวัสดุและความสูง h ของวัตถุหลังตกกระทบแผ่นวัสดุจะไม่เท่ากัน โดย $h < H$ นั่นคือ พลังงานศักย์ของวัตถุก่อนตกกระทบแผ่นวัสดุมากกว่าพลังงานศักย์ของวัตถุหลังตกกระทบแผ่นวัสดุ แสดงว่าพลังงานศักย์บางส่วนของวัตถุสูญเสียไปหรือถูกดูดกลืนโดยแผ่นวัสดุ

พลังงานที่แผ่นวัสดุได้รับ = พลังงานศักย์ของวัตถุที่ตกกระทบ

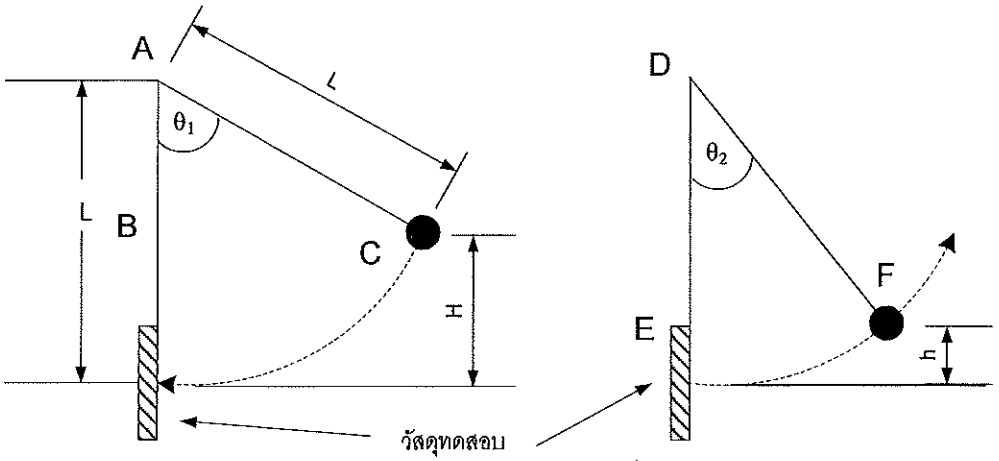
E_{pi} = mgH

พลังงานที่แผ่นวัสดุคายกลับออกมา = พลังงานจลน์ที่วัตถุถูกขับให้กระดอนขึ้นกลับไป

= พลังงานศักย์ของวัตถุที่มีความสูง h

E_{gf} = mgh

ทำให้เราสามารถหาการดูดกลืนพลังงานของแผ่นวัสดุได้เท่ากับ $E_{gi} - E_{gf}$



รูปที่ 2.2 วิธีการศึกษาการดูดกลืนพลังงานของวัสดุโดยใช้ระบบเพนดูลัม

ถ้าลูกตุ้มมวล m แขนเพนดูลัมยาว L ปล่อยให้ตกกระทบแผ่นวัสดุด้วยมุม θ_1 วัดมุมกระดอนได้เท่ากับ θ_2 เราสามารถหา ความสูงที่ตกกระทบ (H)กับความสูงของการกระดอน (h)ได้ดังนี้

หาค่าความสูงของวัตถุที่ตกกระทบ (H)

$$\cos\theta_1 = \frac{AB}{AC} = \frac{AB}{L}$$

$$AB = L(\cos\theta_1)$$

และ $$AB = L - H$$

จึงได้ว่า $$L(\cos\theta_1) = L - H$$

$$H = L - L(\cos\theta_1)$$

$$H = L(1 - \cos\theta_1)$$

หาค่าความสูงของการกระดอน (h)

$$\cos\theta_2 = \frac{DE}{DF} = \frac{DE}{L}$$

$$DE = L(\cos\theta_2)$$

และ $$DE = L - h$$

จึงได้ว่า $$L(\cos\theta_2) = L - h$$

$$h = L - L(\cos\theta_2)$$

$$h = L(1 - \cos\theta_2)$$

พลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยแผ่นวัสดุ (E) $= mg\,(H-h) = mg\,[L\,(1-\cos\theta_1) - L\,(1-\cos\theta_2)]$

$= mgL\,(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

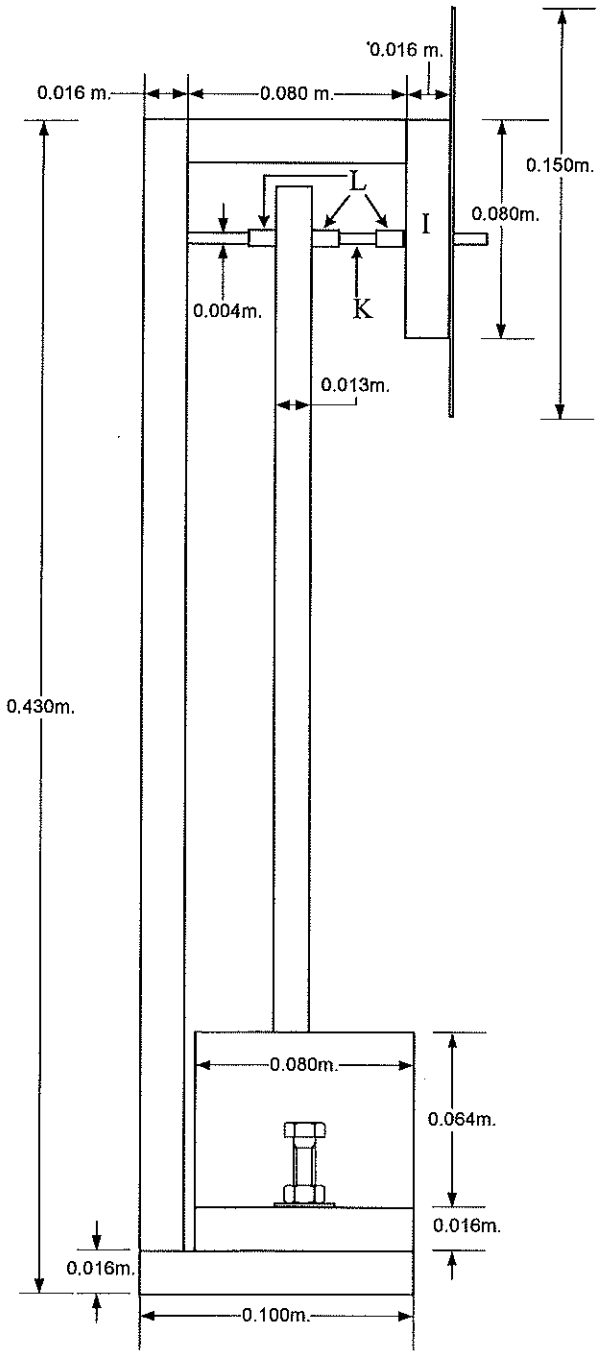
3.1 ตอนที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ของชุดทดลองประกอบด้วยวัสดุต่างๆ ดังนี้

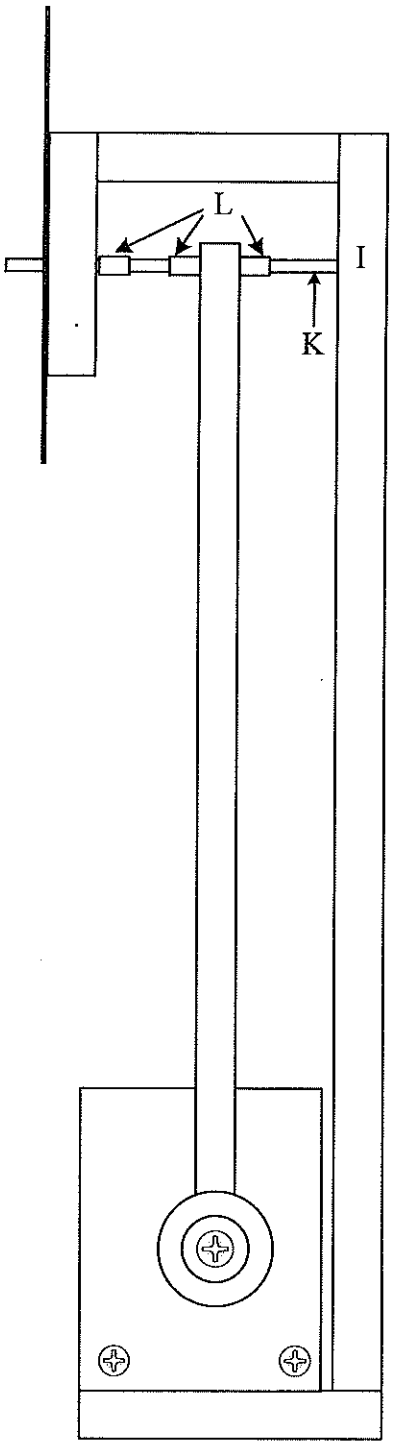
ตัวอักษร	ชื่อส่วนประกอบ	วัสดุที่ใช้	หน้าที่การทำงาน
A	ฐาน	เรซิน	เป็นฐานรองรับชุดทดลองให้เกิดความแข็งแรงทนทาน
B	ฉากรับกระแทก	เรซิน	เป็นฉากรองรับการกระแทกของชิ้นทดสอบ
C	ฐานเลื่อน	เรซิน	สำหรับเลื่อนชิ้นทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ
D	น็อตยึดฐานเลื่อน	สแตนเลส	สำหรับยึดฐานเลื่อนให้อยู่กับที่เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการ
E	หัวกระแทก	สแตนเลส	สำหรับกระแทกชิ้นทดสอบเพื่อวัดค่าพลังงานที่ดูดกลืน
F	แขนเพนดูลัม	อลูมิเนียม	สำหรับแกว่งเพื่อไปกระแทกกับวัสดุทดสอบ
G	ตุ้มน้ำหนัก	ทองเหลือง	สำหรับถ่วงน้ำหนักเพื่อเพิ่มน้ำหนักให้กับน๊อตกระแทก
H	คานชุดทดลอง	เรซิน	เป็นคานหลักของชุดทดลอง
I	แผ่นยึดจุดหมุน	เรซิน	สำหรับยึดแขนแพนดูลัม
J	แผ่นอ่านค่ามุม	พลาสติกใส	สำหรับอ่านมุมของการกระแทกและการกระเด้ง
K	แกนหมุน	ทองเหลือง	สำหรับยึดกับแขนแพนดูลัมและเข็มอ่านมุมเพื่ออ่านมุม
L	ยางยึดแกนหมุน	ยาง	สำหรับยึดจุดหมุนให้เกิดการเคลื่อนที่ได้สะดวก
M	เข็มอ่านค่ามุม	พลาสติก	สำหรับชี้มุมของการกระแทกและการกระเด้ง

3.2 ตอนที่ 2 การออกแบบชุดทดลอง

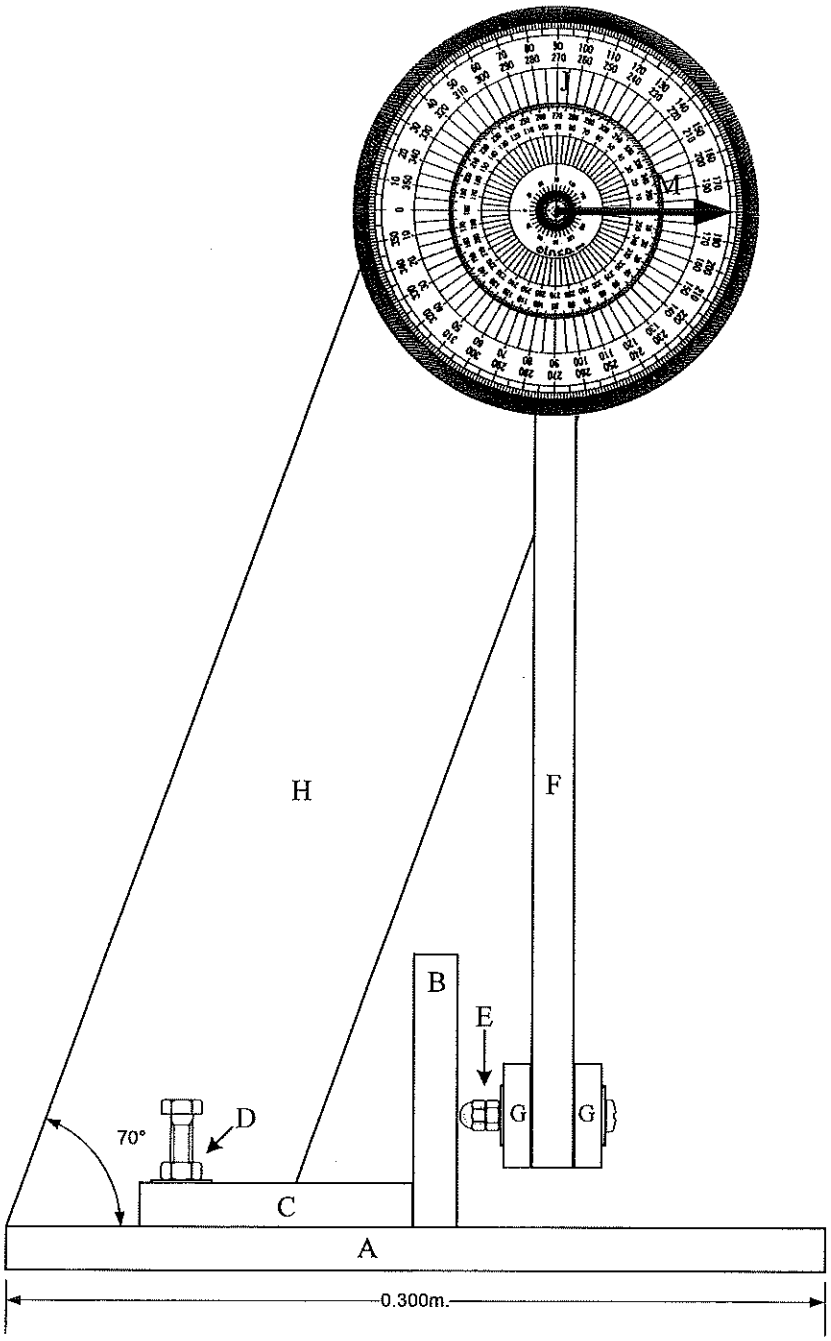
ออกแบบชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืน จำนวน 1 ชุด เพื่อทดสอบวิธีการทดลองและผลการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงภาพด้านหน้าของชุดทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านหลังของชุดทดลอง



รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของชุดทดลอง

3.3 ตอนที่ 3 ทดสอบชุดทดลอง

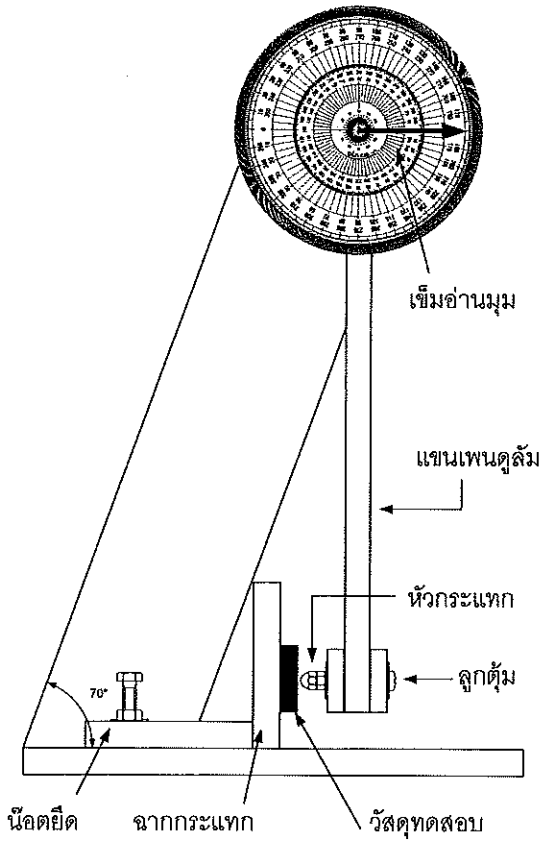
ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการทดลอง วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลอง ดังนี้

<u>อุปกรณ์การทดลอง</u>

1. วัสดุทดสอบชนิดที่ 1 แผ่นยางขนาด 3×3×1 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น
2. วัสดุทดสอบชนิดที่ 2 แผ่นยางขนาด 3×3×0.2 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น
3. ชุดทดลองการหาพลังงานกลที่ถูกดูดกลืน จำนวน 1 ชุด
4. เครื่องชั่งแบบ 3 แขน จำนวน 1 เครื่อง
5. สายวัดความยาว จำนวน 1 เส้น

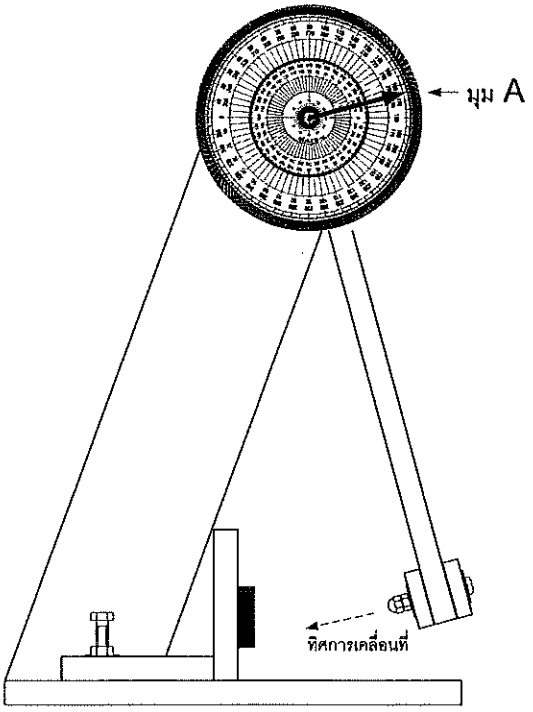
<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งลูกตุ้มพร้อมหัวกระแทกเพื่อหามวล บันทึกผล
2. จัดอุปกรณ์ชุดทดลอง ดังรูปที่ 3.4



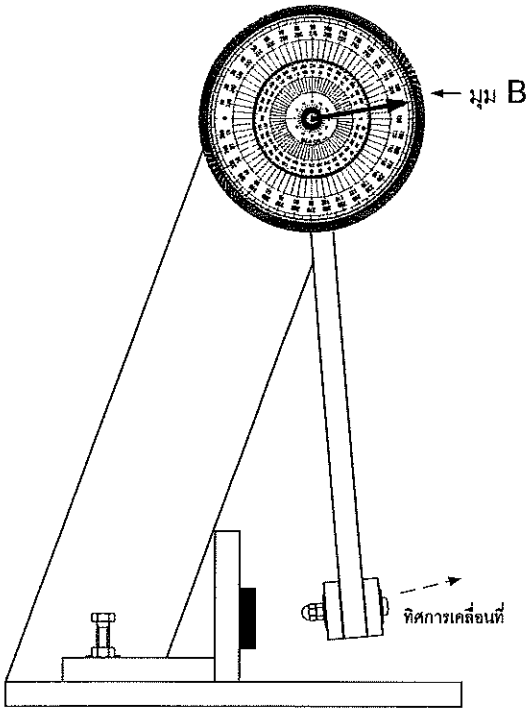
รูปที่ 3.4 การจัดอุปกรณ์ชุดทดลอง

3. วัดความยาวของแขนเพนดูลัม โดยวัดจากจุดหมุนถึงหัวกระแทก ดังรูปที่ 3.4 บันทึกผล
4. ใช้แผ่นวัสดุทดสอบชนิดที่ 1 ติดตั้งที่ฉากกระแทก โดยให้หัวกระแทกสัมผัสแผ่นวัสดุทดสอบพอดี โดยการปรับฉากกระแทกให้สังเกตว่ามุมเริ่มต้นต้องเป็น 0 องศา แล้วยึดฉากกระแทกให้แน่นด้วยน็อตยึด
5. กางแขนเพนดูลัมออกเป็นขนาดของมุม 15 องศา และบันทึกขนาดของมุมเริ่มต้นเป็น A องศา ดังรูปที่ 3.5
6. ปล่อยลูกตุ้มให้ตกกระทบแผ่นวัสดุทดสอบ และสังเกตการสะท้อนกลับของลูกตุ้ม



รูปที่ 3.5 แสดงการกางแขนเพนดูลัมก่อนตกกระทบวัสดุทดสอบ

7. อ่านค่ามุมสะท้อนกลับ ดังรูปที่ 3.6 บันทึกผล ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.6 แสดงแขนของเพนดูลัมหลังจากตกกระทบวัสดุทดสอบ

8. คำนวณค่า cos A , cos B บันทึกผล
9. เปลี่ยนขนาดของมุมเป็น 30,60 และ 90 องศาตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5 - 8 แล้วบันทึกผล
10. เปลี่ยนเป็นแผ่นวัสดุทดสอบชนิดที่ 2 และทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 - 9 บันทึกผล
11. นำผลการทดลองของวัสดุทดสอบทั้ง 2 มาบันทึกลงในตารางบันทึกผล โดยกำหนดให้พลังงานที่ถูกดูดกลืนในเนื้อวัสดุเป็นสัดส่วนกับค่ามุมของการแกว่งของเพนดูลัมในรูปของ 1-cos ของมุมที่เคลื่อนที่ จึงได้ว่า

E_0 คือ ค่าสัดส่วนพลังงานเริ่มต้นซึ่งเป็นสัดส่วนกับ 1-cos A

E_r คือ ค่าสัดส่วนพลังงานที่ค่ายออกมาซึ่งเป็นสัดส่วนกับ 1-cos B

E_{Loss} คือ ค่าสัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน

Loss (%) คือ ค่าร้อยละของพลังงานที่ถูกดูดกลืนในเนื้อวัสดุ

Rebound (%) คือ ค่าร้อยละของพลังงานที่ค่ายออกมาจากเนื้อวัสดุ

<u>บันทึกผลการทดลอง</u>

มวลลูกตุ้ม (m)= ..... กิโลกรัม

ความยาวของแขนเพนดูลัม (L) = ... เมตร

ตารางที่ 3.2 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 1

วัสดุทดสอบชนิดที่ 1 = ...

มุมเริ่มต้น A (องศา)	มุมสะท้อน B (องศา)				cos A	cos B	E0(1-cosA)	Er(1-cosB)	E0-Er	Loss(%)	Rebound(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย							
15											
30											
45											
60											
75											
90											

วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟ

.....

.....

.....

.....

.....

ตารางที่ 3.3 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 2

วัสดุทดสอบชนิดที่ 2 = ...

มุมเริ่มต้น A (องศา)	มุมสะท้อน B (องศา)				cos A	cos B	E0(1-cosA)	Er(1-cosB)	E0-Er	Loss(%)	Rebound(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย							
15											
30											
45											
60											
75											
90											

วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟ

.....

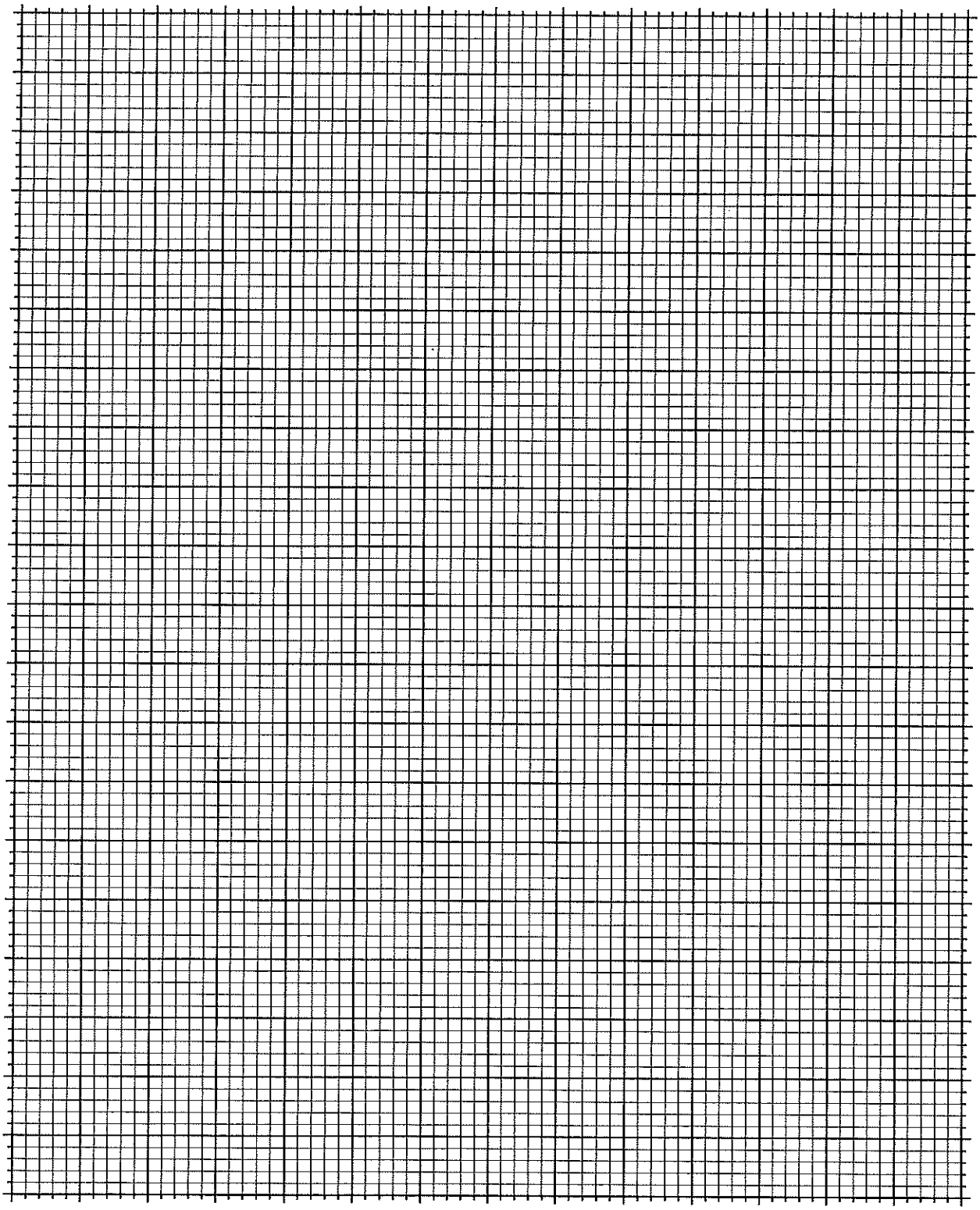
.....

.....

.....

.....

.....



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.4 เมื่อได้ผลการทดลองที่ยอมรับได้แล้ว จึงดำเนินการสร้างชุดทดลองอีกจำนวน 20 ชุดเพื่อนักศึกษาที่เรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ได้ใช้ทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองโดยใช้วัสดุทดสอบ 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 วัสดุทดสอบเป็นยางมีขนาด (ก×ย×ส) ขนาด 3×3×1 เซนติเมตร และชนิดที่ 2 วัสดุทดสอบเป็นยางมีขนาด (ก×ย×ส) 3×3×0.2 เซนติเมตร ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.1 บันทึกผลการทดลอง

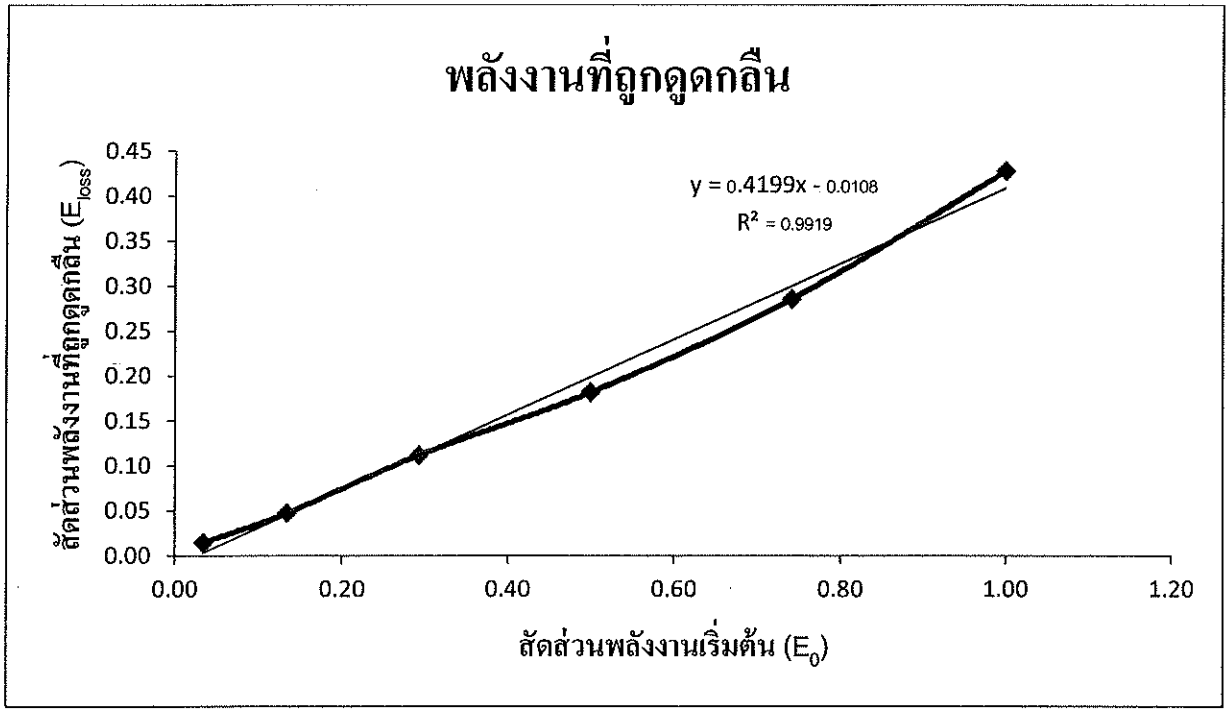
มวลลูกตุ้ม (m)= 0.180 กิโลกรัม

ความยาวของแขนเพนดูลัม (L) = 0.30 เมตร

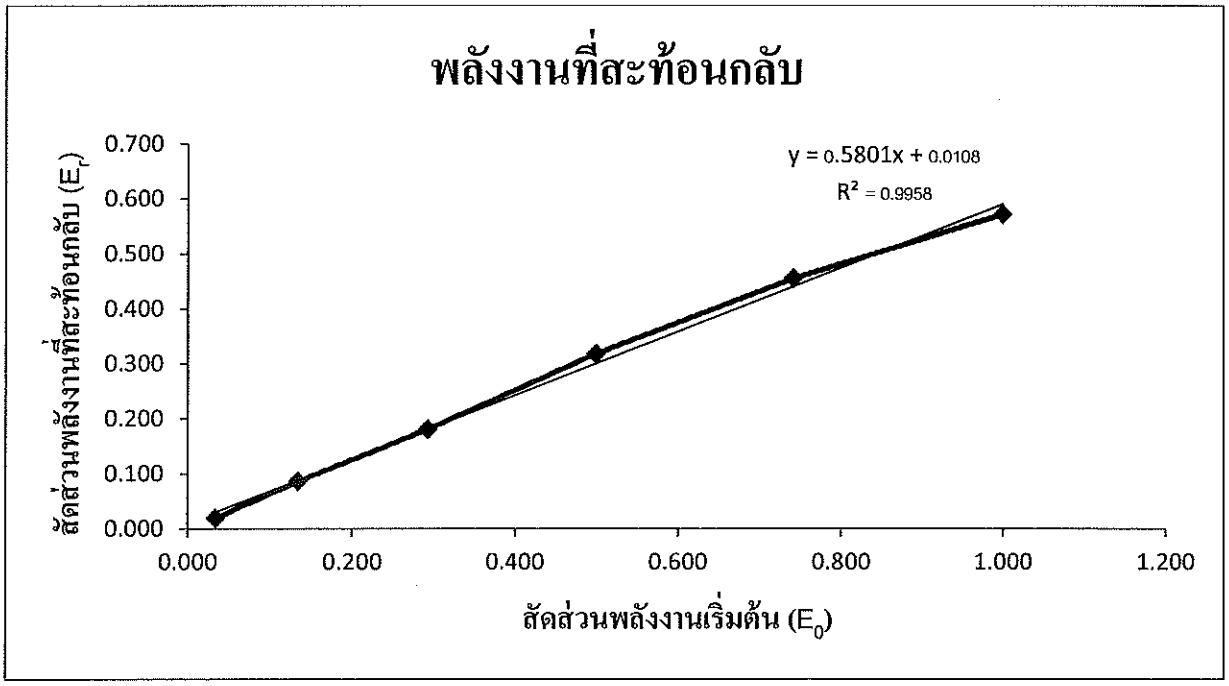
4.2 วัสดุทดสอบชนิดที่ 1 คือ แผ่นยางขนาด (ก×ย×ส) = 3×3×1 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 1

มุมเริ่มต้น A (องศา)	มุมสะท้อน B (องศา)				cos A	cos B	E_0 (1-cos A)	Er (1-cos B)	E_{Loss} (E_0-E_r)	Loss (%)	Rebound (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย							
15	11	11.5	11.5	11.333	0.966	0.981	0.03	0.02	0.01	42.77	57.23
30	24	24	24	24.000	0.866	0.914	0.13	0.09	0.05	35.47	64.53
45	35	35	35	35.000	0.707	0.819	0.29	0.18	0.11	38.25	61.75
60	47	47	47	47.000	0.500	0.682	0.50	0.32	0.18	36.40	63.60
75	57	57	57	57.000	0.259	0.545	0.74	0.46	0.29	38.56	61.44
90	65	64	65	64.667	0.000	0.428	1.00	0.57	0.43	42.79	57.21



รูปที่ 4.1 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืนกับค่าพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่สะท้อนกลับกับพลังงานที่ให้ของวัสดุทดสอบที่ 1

4.3 วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟของวัสดุทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.1 ได้กราฟเส้นตรงมีสมการเส้นตรงคือ $y = mx + c$ สามารถเขียนเป็นสมการของพลังงานที่ถูกดูดกลืนได้ว่า

$$Y = 0.419x - 0.010$$

$$E_{Loss} = 0.419E_0 - 0.010$$

โดยมีค่าความชัน (m) = 0.419 ซึ่งค่าความชัน m $= \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{E_0 - E_r}{E_0} = \frac{E_{loss}}{E_0}$

$= \frac{\text{สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน}}{\text{สัดส่วนพลังงานเริ่มต้น}}$

เพราะฉะนั้น จึงได้ว่า พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) $= \frac{\text{สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน}}{\text{สัดส่วนพลังงานเริ่มต้น}} \times 100$

จากกราฟจึงได้ว่า พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) $= 0.419 \times 100 = 41.90\ \%$

4.4 วิธีการหาพลังงานที่สะท้อนกลับจากกราฟ

จากรูปที่ 4.2 ได้กราฟของพลังงานที่สะท้อนกลับเป็นกราฟเส้นตรง สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = 0.580x + 0.010$$

ซึ่งจะได้ว่า $E_r = 0.580E_0 + 0.010$

และตามมาตรฐาน ASTM D7121 กำหนดให้

Rebound Resilience (RB) $= \frac{1 - \cos(\text{angle of rebound})}{1 - \cos(\text{original angle})} \times 100$

สัดส่วนพลังงานเริ่มต้น (E_0) $= 1 - \cos A$

สัดส่วนพลังงานที่สะท้อนกลับ (E_r) $= 1 - \cos B$

สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน (E_{loss}) $= E_0 - E_r$

ดังนั้น พลังงานที่สะท้อนกลับ(%) = ค่าความชันของกราฟ ×100

$$= \frac{E_r}{E_0} \times 100$$

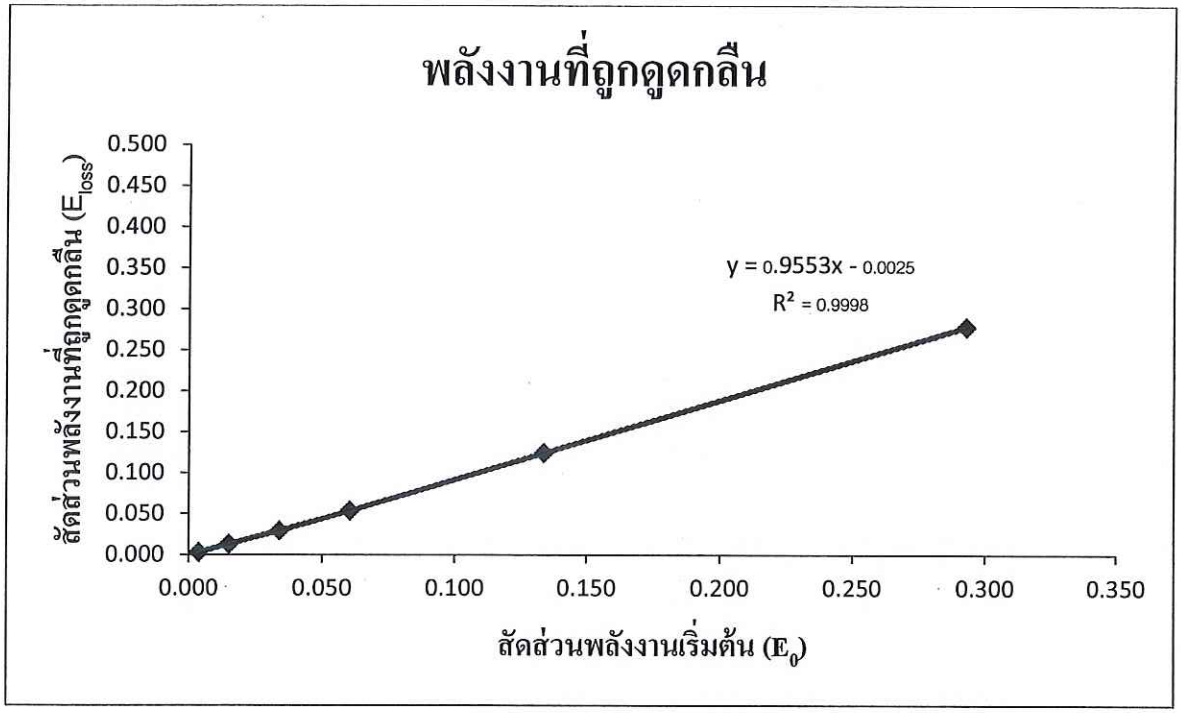
$$= 0.58 \times 100 = 58.00\ \%$$

4.5 วัสดุทดสอบชนิดที่ 2 คือ แผ่นยางขนาด (ก×ย×ส) = 3×3×0.2 เซนติเมตร

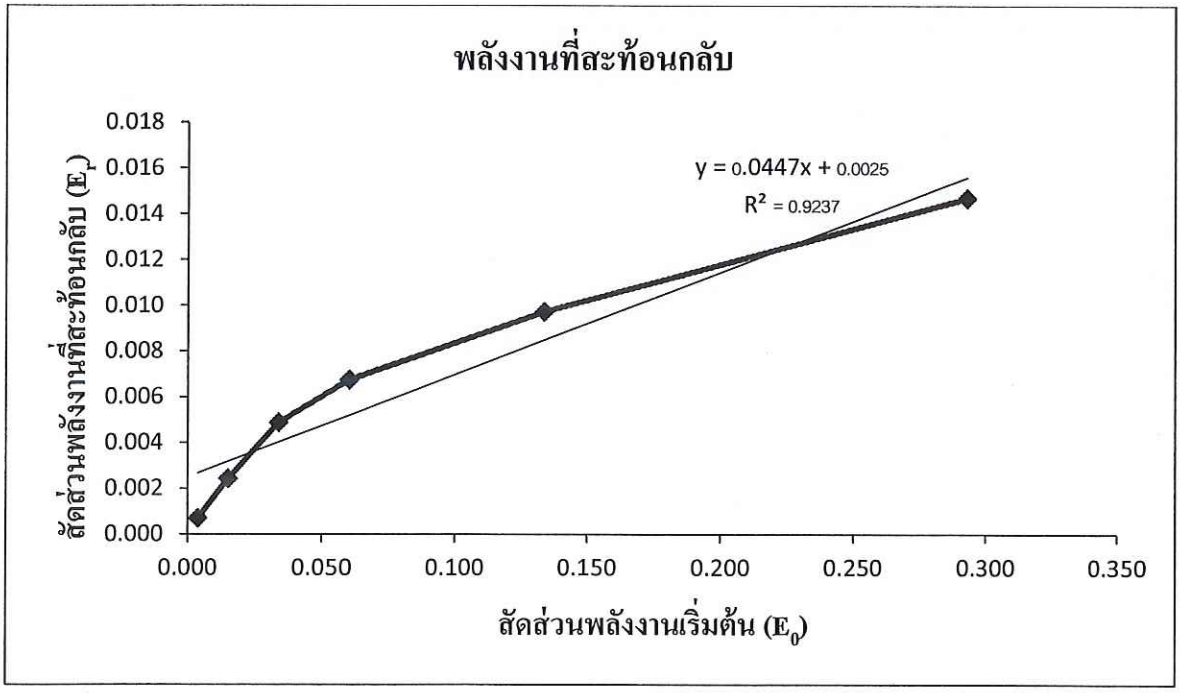
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัสดุทดสอบชนิดที่ 2

มุมเริ่มต้น A (องศา)	มุมสะท้อน B (องศา)				cos A	cos B	E_0 (1-cos A)	Er (1-cos B)	$E_{Loss}(E_0-E_r)$	Loss (%)	Rebound (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย							
5	2	2.5	2	2.17	0.996	0.999	0.004	0.001	0.003	81.213	18.787
10	4	4	4	4.00	0.985	0.998	0.015	0.002	0.013	83.966	16.034
15	6	5.5	5.5	5.67	0.966	0.995	0.034	0.005	0.029	85.658	14.342
20	7	6.5	6.5	6.67	0.940	0.993	0.060	0.007	0.054	88.788	11.212
30	8	8	8	8.00	0.866	0.990	0.134	0.010	0.124	92.736	7.264
45	10	9.5	10	9.83	0.707	0.985	0.293	0.015	0.278	94.984	5.016

สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงพจน อรรถกระวีสุนทร



รูปที่ 4.3 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืนกับค่าพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 2



รูปที่ 4.4 แสดงค่าสัดส่วนพลังงานที่สะท้อนกลับกับสัดส่วนพลังงานเริ่มต้นของวัสดุทดสอบที่ 2

4.6 วิธีการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากกราฟของวัสดุทดสอบที่ 2

จากรูปที่ 4.3 ได้กราฟเส้นตรงมีสมการเส้นตรงคือ $y = mx + c$ สามารถเขียนเป็นสมการของพลังงานที่ถูกดูดกลืนได้ว่า

$$Y = 0.955x - 0.002$$

$$E_{Loss} = 0.955E_0 - 0.002$$

โดยมีค่าความชัน (m) = 0.419 ซึ่งค่าความชัน m $= \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{E_0 - E_r}{E_0} = \frac{E_{loss}}{E_0}$

$$= \frac{\text{สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน}}{\text{สัดส่วนพลังงานเริ่มต้น}}$$

เพราะฉะนั้น จึงได้ว่า พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) $= \frac{\text{สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน}}{\text{สัดส่วนพลังงานเริ่มต้น}} \times 100$

จากกราฟจึงได้ว่า พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) $= 0.955 \times 100 = 95.50\ \%$

4.7 วิธีการหาพลังงานที่สะท้อนกลับจากกราฟ

จากรูปที่ 4.4 ได้กราฟของพลังงานที่สะท้อนกลับเป็นกราฟเส้นตรง สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = 0.044x + 0.002$$

ซึ่งจะได้ว่า $E_r = 0.044E_0 + 0.002$

ดังนั้น พลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = ค่าความชันของกราฟ $\times 100$

$$= \frac{E_r}{E_0} \times 100$$

$$= 0.044 \times 100 = 4.40\ \%$$

4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าวัสดุทดสอบชนิดที่ 1 มีขนาด (ก×ย×ส) 3 × 3 ×1 เซนติเมตร ซึ่งใช้วัสดุที่เป็นยางฟองน้ำ ลักษณะจะค่อนข้างนิ่ม และมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีการให้พลังงานเริ่มต้นเข้าไปโดยการกางแขนของเพนดูลัมเป็นมุมต่างๆ นั้น จะพบว่ามุมสะท้อนหรือค่าสัดส่วนพลังงานที่คืนกลับมีค่ามากกว่าวัสดุทดสอบชนิดที่ 2 ที่มีขนาด (ก×ย×ส) 3 × 3 ×0.2 เซนติเมตร เนื่องจากวัสดุทดสอบชนิดที่ 2 เป็นแผ่นยางที่ค่อนข้างแข็ง จึงทำให้มีค่าของมุมสะท้อนหรือค่าสัดส่วนพลังงานที่คืนกลับน้อย และเมื่อใช้ขนาดของมุมที่มากขึ้นหรือมากกว่า 45 องศา ไปแล้ว จะพบว่า ค่าของมุมสะท้อนมีขนาดเท่าเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ค่าของมุมเริ่มต้นในการทดลองสำหรับวัสดุทดสอบชนิดที่ 2 นั้น อยู่ที่ 5,10,15,20,30,45 องศา ตามลำดับ โดยจะแตกต่างจากวัสดุทดสอบชนิดที่ 1 ที่มีค่าของมุมเริ่มต้นอยู่ที่ 15,30,45,60,75,90 องศา ตามลำดับ

ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สะท้อนกลับหรือค่าเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ถูกดูดกลืนของวัสดุขึ้นอยู่กับความหนา ความแข็ง และความสามารถในการกระเด้งตัวของวัสดุทดสอบนั้น และจากการทดลองประมาณได้ว่า ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = (100 – ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ) % ดังนี้

วัสดุทดสอบชนิดที่ 1

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า

ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = (100 – ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ) % .....(1)

โดย ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = 41.90%

และ ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = 58.00%

นำค่าทั้งสองมาแทนใน (1) จะพบว่า

41.90 % = (100 – 58.00) %

41.90 % = 42 %

โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่เท่ากับ 42 % – 41.90 % = 0.10 % ซึ่งอาจจะเป็นค่าของพลังงานอื่นที่เกิดขึ้น และความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

วัสดุทดสอบที่ 2

ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = (100 – ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ) % ..... (2)

โดย ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = 95.50 %

และ ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = 4.40 %

นำค่าทั้งสองมาแทนใน (2) จะพบว่า

95.50 % = (100 – 4.40) %

95.50 % = 95.60 %

โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่เท่ากับ 95.60 % – 95.50 % = 0.10 % ซึ่งอาจจะเป็นค่าของพลังงานอื่นที่เกิดขึ้นและความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

4.9 สรุปผลการทดลอง

วัสดุทดสอบที่ 1 มีค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = 41.90 %

มีค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = 58.00 %

วัสดุทดสอบที่ 2 มีค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = 95.50 %

มีค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = 4.40 %

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 สรุป

จากการทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุทดสอบทั้ง 2 ชนิด ได้ผลการทดลองที่มีความสอดคล้องกัน โดยการใช้หลักการหาค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์ โดยใช้วิธีเพนดูลัม แล้วหาความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบและมุมสะท้อน เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ถูกดูดกลืน จึงทำให้ทราบความสามารถในการเก็บพลังงานไว้ในเนื้อวัสดุทดสอบนั้นๆ ซึ่งจะใช้วิธีการเขียนกราฟระหว่าง สัดส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืน (E_{loss}) กับ สัดส่วนพลังงานที่เริ่มต้น (E_0)

จากผลการทดลองวัสดุทดสอบที่ 1 แผ่นยางขนาด (ก×ย×ส) = 3 × 3 × 1 เซนติเมตร จากภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 จะได้ว่า

พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = ค่าความชัน (m) × 100

= 0.419 × 100

= 41.90%

พลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = ค่าความชัน (m) × 100

= 0.580 × 100

= 58.00%

จากผลการทดลองวัสดุทดสอบที่ 2 แผ่นยางขนาด (ก×ย×ส) = 3×3×0.2 เซนติเมตร จากภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 จะได้ว่า

พลังงานที่ถูกดูดกลืน (%) = ค่าความชัน (m) × 100

= 0.955 × 100

= 95.50%

พลังงานที่สะท้อนกลับ (%) = ค่าความชัน (m) × 100

= 0.044 × 100

= 4.40%

ดังนั้นจากชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนของวัสดุนั้นให้ผลการทดลองออกมาในรูปแบบเดียวกัน คือ วัสดุทดสอบที่มีความหนาและมีลักษณะนิ่มจะให้ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืนในเนื้อวัสดุน้อยกว่าค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ หรือ อีกนัยหนึ่งก็คือวัสดุทดสอบนั้นมีความยืดหยุ่นสูงและมีการคืนรูปได้ดีหลังจากได้รับแรงจากภายนอกมากระทำ และสำหรับวัสดุทดสอบที่มีความหนาน้อยและมีลักษณะแข็ง จะให้ค่าพลังงานที่ถูกดูดกลืนมากว่าค่าพลังงานที่สะท้อนกลับ หรือกล่าวได้ว่าวัสดุนั้นมีความยืดหยุ่นน้อยและไม่มีการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ

5.2 วิจารณ์ผล

จากชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนพบว่ามีความผิดพลาดอยู่ในระหว่างการทดลอง ได้แก่

- การอ่านค่ามุมสะท้อนต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการอ่านและต้องทำการทดลองซ้ำๆ แล้วหาค่าเฉลี่ย
- การทำการทดลองที่มุม 75 องศา ขึ้นไปจะวัดค่าการกระเด้งไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร ในวัสดุที่มีความหนาน้อยๆ
- ยังมีแรงเสียดทานอยู่ในระบบของการทดลองในตำแหน่ง L ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะมีผลกับมุมสะท้อน

5.3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

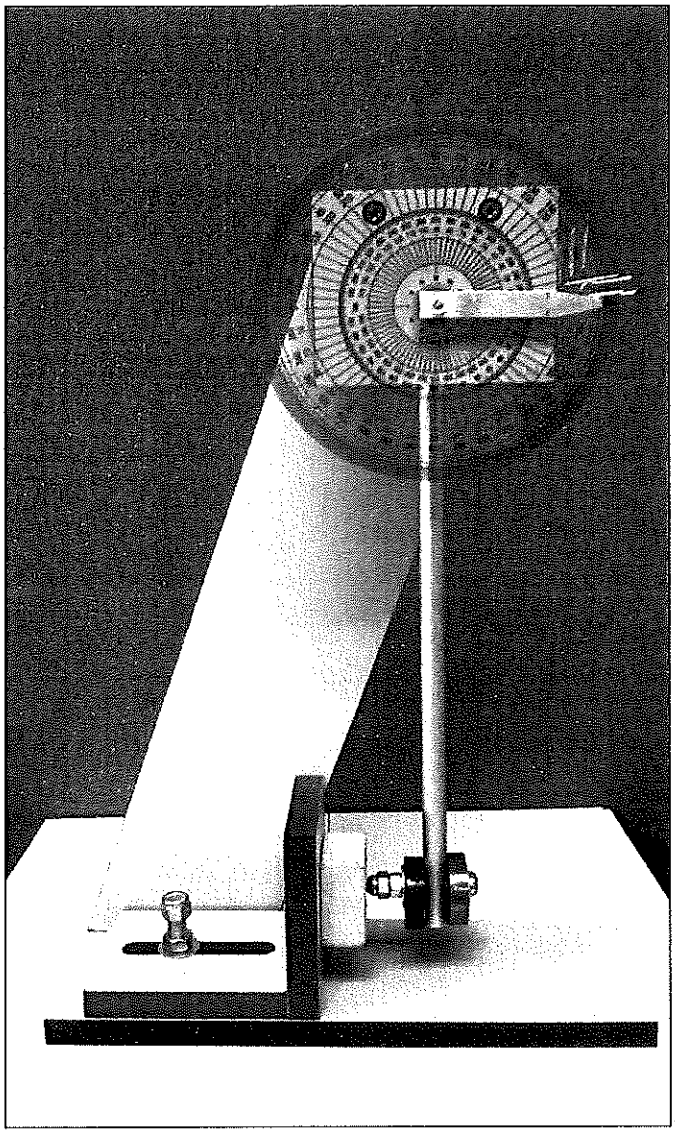
สำหรับชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุมีข้อจำกัดอยู่ คือในกรณีที่ใช้ยางที่มีความหนาน้อยกว่า 0.3 เซนติเมตร สามารถหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนได้ด้วยมุมตกกระทบที่ไม่ควรเกิน 45° และพัฒนาวิธีการอ่านค่ามุมสะท้อนให้ได้ง่ายกว่านี้ โดยผู้วิจัยจะนำไปคิดค้นและปรับปรุงพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

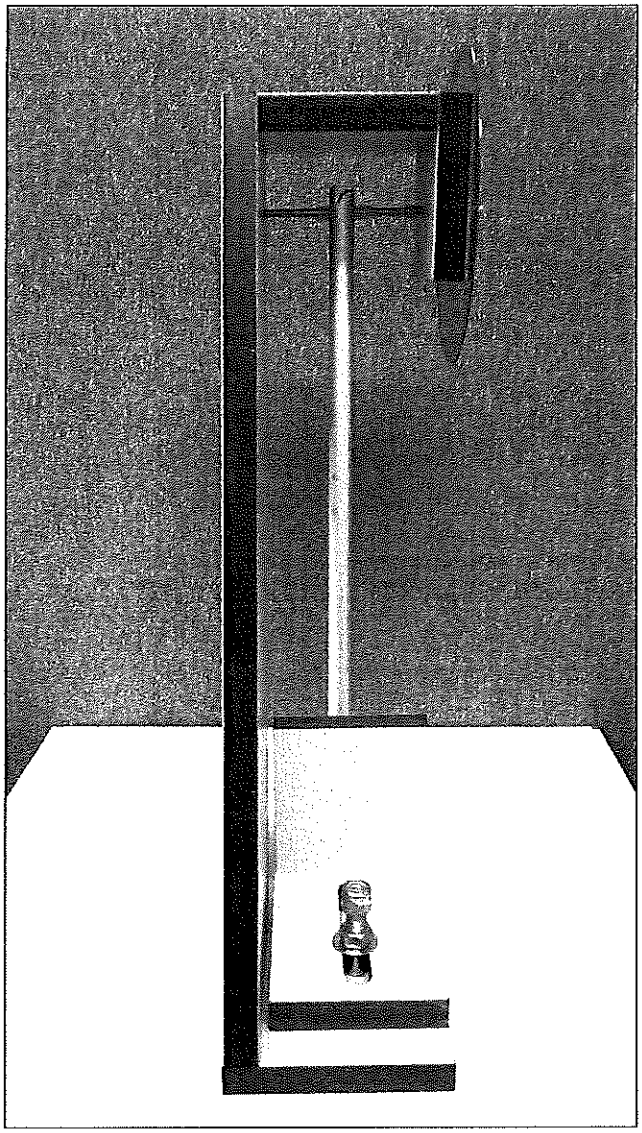
1. Mr. K.S. Lee และคณะ , 2534 , การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์ , เอกสารหมายเลข 12 , คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
2. Roger Brown 4th , 2006 , Physical Testing of Rubber , New York , Springer
3. คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539 , ฟิสิกส์ 1 , พิมพ์รุ่นที่ 3 ครั้งที่2 , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ASTM DESIGNATION/:/D7121–05(2012),/Standard Test Method for Rubber Property—Resilience Using Schob Type Rebound Pendulum
5. ณรงค์ เชื่องชยะพันธุ์. (2550). ยางฟองน้ำกันกระแทกจากยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีพอลิเมอร์), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ภาคผนวก

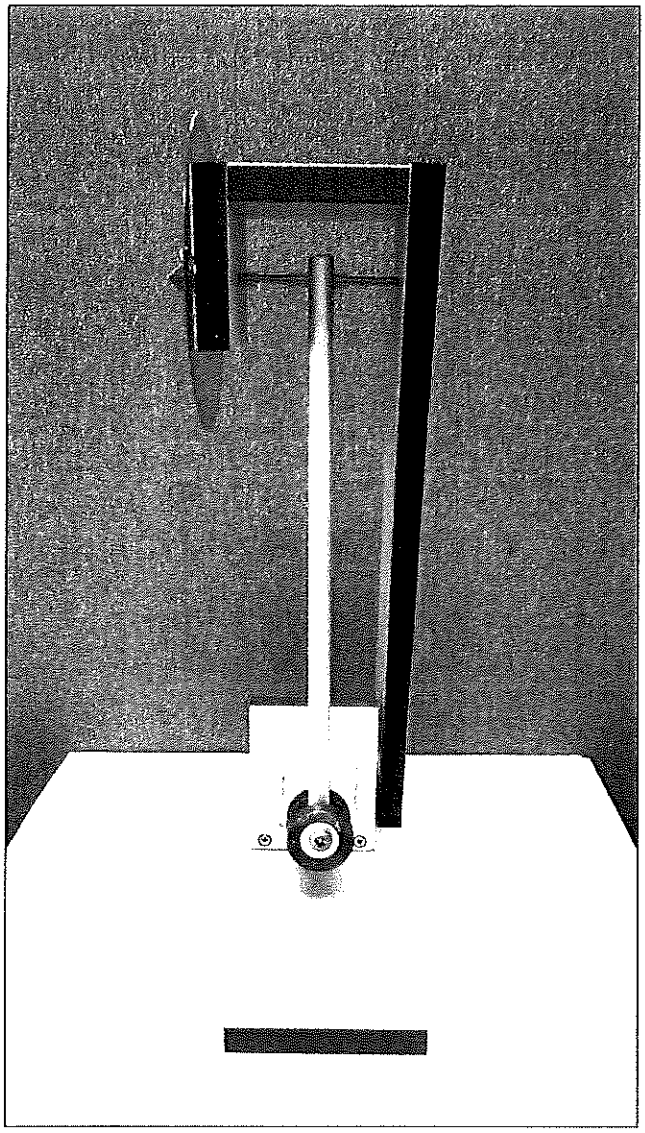
ก. แสดงภาพชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุ



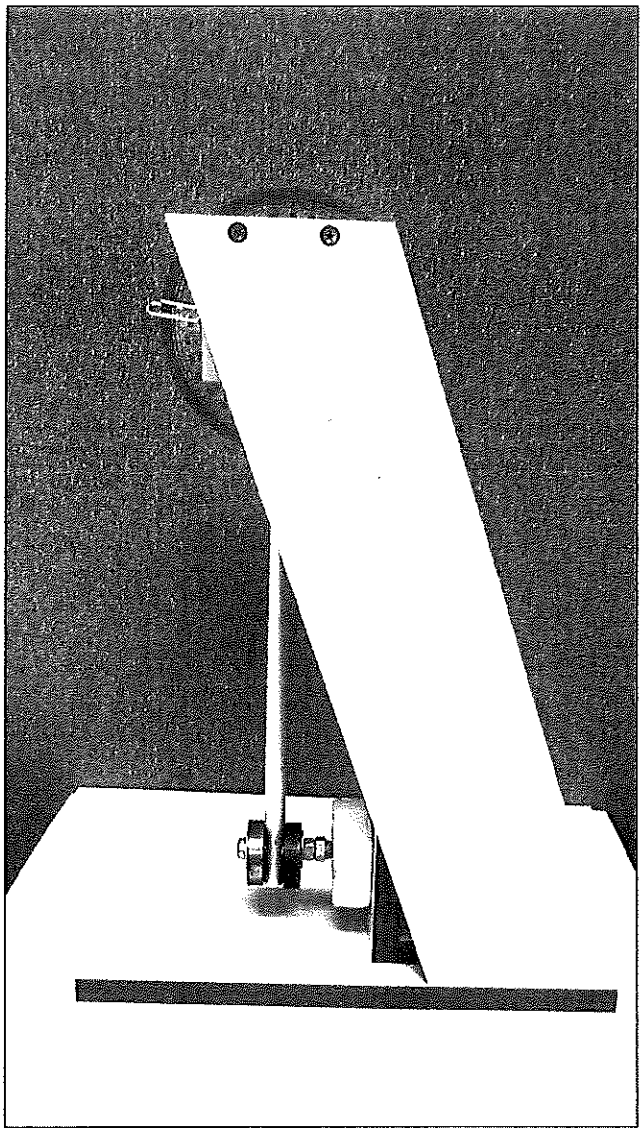
ภาพที่ 6.1 ภาพชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุด้านหน้า



ภาพที่ 6.2 ภาพชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุด้านข้างซ้าย

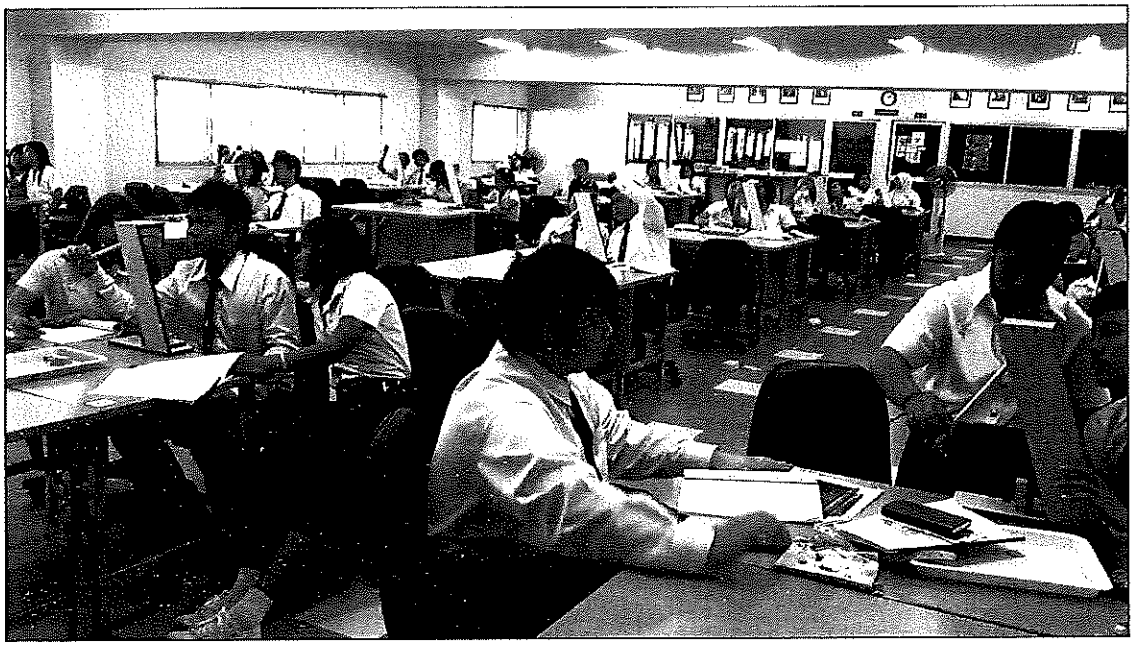


ภาพที่ 6.3 ภาพชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุด้านข้างขวา



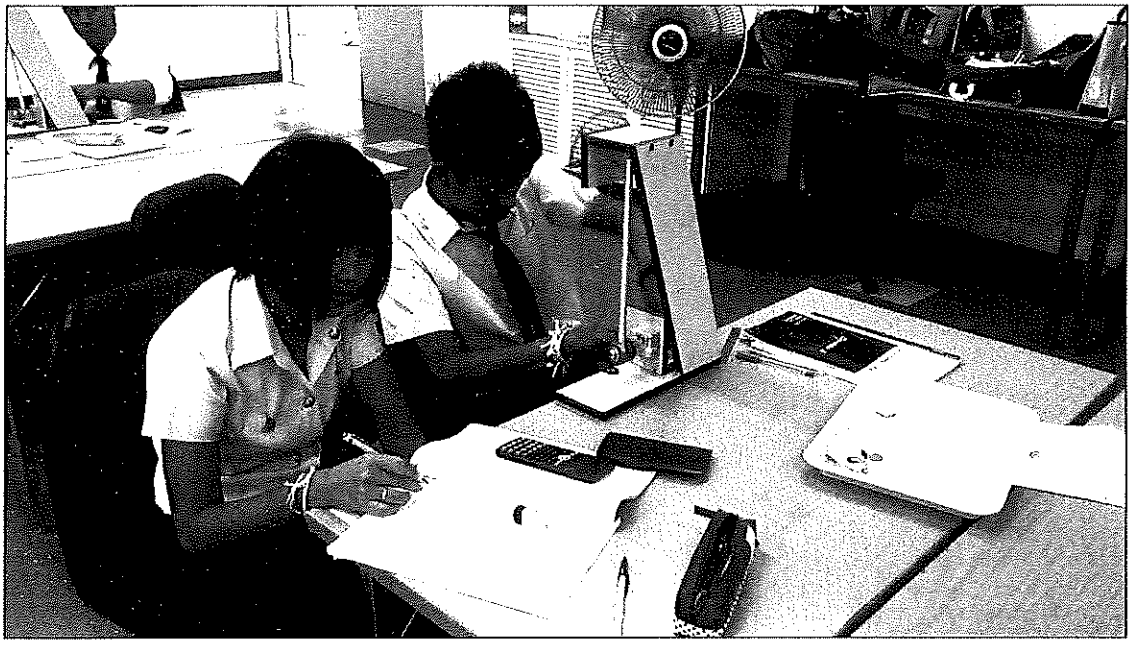
ภาพที่ 6.4 ภาพชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุด้านหลัง

ข. แสดงภาพนักศึกษากำลังทำการทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนของวัสดุ จากกลุ่มการทดลองทั้งหมด 20 กลุ่ม ในรายวิชา 937-170 Basic Physics Lab.

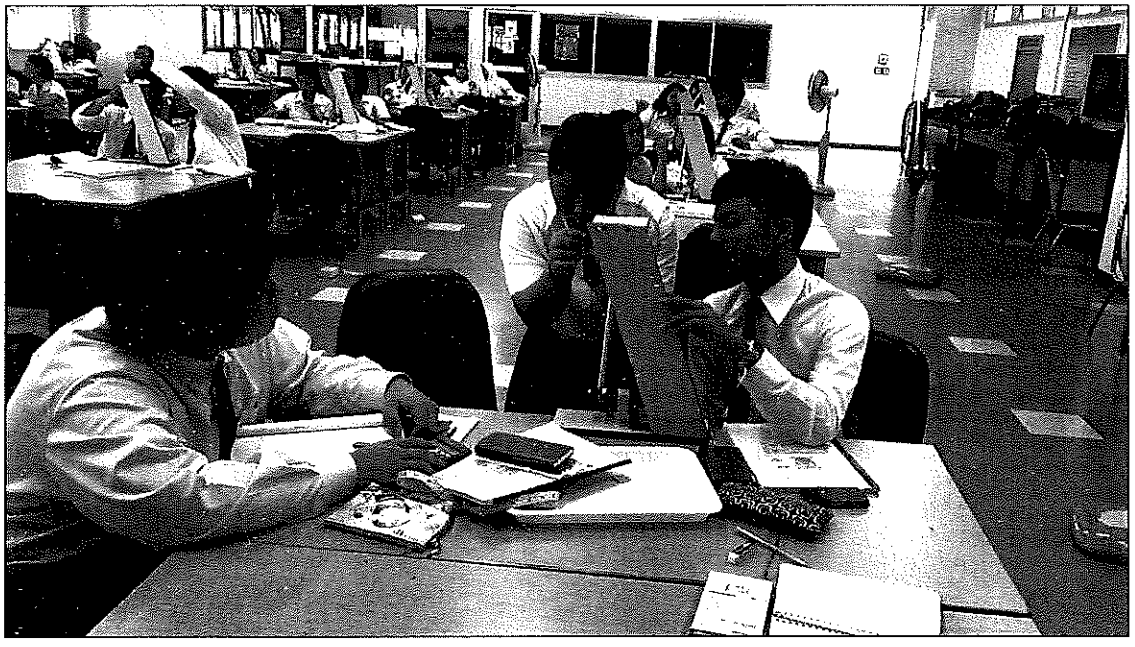


ภาพที่ 6.5 ภาพแสดงการทำการทดลองชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุ (ภาพรวม)

ภาพที่ 6.6 ภาพแสดงการทำการทดลองชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุ (ตัวอย่างที่ 1)



ภาพที่ 6.7 ภาพแสดงการทำการทดลองชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุ (ตัวอย่างที่ 2)



ภาพที่ 6.8 ภาพแสดงการตั้งค่าการวัดมุมของชุดทดลองการหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนในวัสดุ