

การออกแบบการทดลองเพื่อวัดการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
เมื่อมีแรงในแนวราบมากระทำต่อวัตถุ

ปริญญานิพนธ์
ของ
ชุลีณี พายุรัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์
ตุลาคม 2545
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๕๑๐.๑๑๑
๕๑๖๑๐
๖๓

การออกแบบการทดลองเพื่อวัดการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
เมื่อมีแรงในแนวราบมากจะทำต่อวัตถุ

บทคัดย่อ
ของ
ชุลีณี พายุรัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์

ตุลาคม ๒๕๔๕

h 15259๗

ชูลิณี พายุรัตน์. (2545). การออกแบบการทดลองเพื่อวัดการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรง
ปฏิกิริยาแนวฉากเมื่อมีแรงในแนวราบมากระทำต่อวัตถุ. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม.
(ฟิลิสส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรวงศ์ ผลโภาค , ผู้ช่วยศาสตราจารย์
บัญชา ศิลปสกุลสุข.

หากการออกแบบการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา
แนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกในแนวราบมากระทำต่อวัตถุนั้นในภาวะสมดุล
สถิต ด้วยการวางแผนคั่นระหว่างวัตถุและฐาน แล้วทำการวัดแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยที่กระทำ
ตรงตำแหน่งของแผ่นคั่นแต่ละแผ่น ผลของการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยเหล่านี้นำไป
สู่ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ โดยในการทดลองมีวิธีการทดลอง 2 วิธีคือแบบใช้
มวลถ่วงและแบบใช้เครื่องวัดแรง และทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน 5 ครั้ง เพื่อให้ผล
การวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำ โดยทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการทดลองที่ได้
ด้วยการเปรียบเทียบระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลองกับ
ผลการคำนวณทางทฤษฎีและได้แสดงให้เห็นว่าแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ได้จากการทดลองมี
การเลื่อนตำแหน่งและมีระยะห่างถึงขอบวัตถุใกล้เคียงกับการคำนวณ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า
ความแตกต่าง $\pm 5\%$

AN EXPERIMENTAL DESIGN FOR MEASURING NORMAL REACTION SHIFT DUE
TO AN EXERTION OF HORIZONTAL FORCE ON AN OBJECT.

AN ABSTRACT
BY
CHULEENEE PAHURAT

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University
October 2002

Chuleenee Pahurat. (2002). *An Experimental Design For Measuring Normal Reaction Shift Due To An Exertion Of Horizontal Force On An Object*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc.Prof.Dr. Nason Phonphok, Asst. Prof. Bancha Silskulsuk.

An experiment for revealing of normal reaction, that base act on an object, shift when a horizontal force act on the object under static equilibrium was designed. Strips of paper were put between the object and the base so that partial normal reactions at every strip position can be measured. The analysis of these partial normal reactions led to position of total normal reaction force exerted on the object by the base. Two ways of experiment, using of massive weight and using of force sensor, were done in this study. To obtain an accurate and a precise analytical result, five experiments under the same conditions were completed. Trustiness of the experimental results was achieved by comparing to those from theoretical calculations. The average difference between the position of normal force obtaining from experiment and that from calculation is $\pm 5\%$

ปริญญานิพนธ์

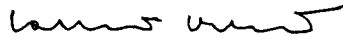
เรื่อง

การออกแบบการทดลองเพื่อวัดการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
เมื่อมีแรงในแนวราบมากระทำต่อวัตถุ

ของ

นางสาวชุลีณี พายุรัตน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

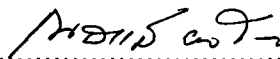


คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)

วันที่ ๕ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๕

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



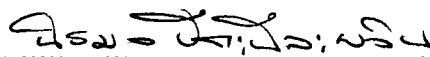
ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรณ์ ผลโภค)



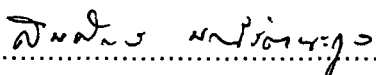
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลปสกุลสุข)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิตะนิละผลิน)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ สมศักดิ์ มณีรัตนกุล)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ณสรวงศ์ ผลโคก ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นิรมล ปิตะนีละผลิน และอาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตนกุล ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์และกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณกานต์ สุขสงญาติ นายช่างเทคนิค คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้อนุเคราะห์ อุปกรณ์ประกอบการทดลอง ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ชุลีณี พาหุรัตน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎี.....	4
3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	14
แนวคิดในการหาตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก.....	14
การออกแบบและสร้างชุดทดลอง.....	19
การทดลอง.....	31
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
5 สรุปอภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	49
สรุปผลการทดลอง.....	49
อภิปรายผลการทดลอง.....	50
ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก.....	55
ภาคผนวก ข.....	123
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	128

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุจากการคำนวณ.....	15
2 แสดงข้อมูลที่ใช้สร้างตารางเปรียบเทียบ.....	23
3 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉาก จากการทดลองกับการคำนวณ.....	40
4 แสดงความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนของระยะการเลื่อนตำแหน่ง ของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากการทดลองกับความสูงของแนวแรง ของวิธีการทดลองทั้งสองแบบ.....	45
5 แสดงค่าความสูงของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ.....	56
6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_s	56
7 แสดงค่าขอบเขตของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ	56
8 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ ชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h = 62.5$ cm ทดลองครั้งที่ 1	57
9 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ ชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h = 62.5$ cm ทดลองครั้งที่ 2	58
10 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ ชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h = 62.5$ cm ทดลองครั้งที่ 3.....	59
11 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ ชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h = 62.5$ cm ทดลองครั้งที่ 4	60
12 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ ชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h = 62.5$ cm ทดลองครั้งที่ 5.....	61

บัญชีตาราง (ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
67 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยา แนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษ โฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm ทดลองครั้งที่ 5.....	116
68 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 62.5 cm.....	117
69 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 31.3 cm.....	117
70 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm.....	117
71 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 43.5 cm.....	118
72 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 21.7 cm.....	118
73 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm.....	118
74 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 62.5 cm.....	119
75 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 31.3 cm.....	119

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
76 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษชานอ้อย แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm.....	119
77 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 43.47 cm.....	120
78 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 21.7 cm.....	120
79 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ถึงขอบวัตถุ การทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วย กระดาษโฟโตบอร์ด แรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm.....	120
80 แสดงเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจาก การทดลองกับการคำนวณ จากการทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยวัสดุต่างชนิดกัน.....	121
81 แสดงเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจาก การทดลองกับการคำนวณ จากการทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยวัสดุต่างชนิดกัน.....	122

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากเมื่อไม่มีและมีแรง ภายนอกกระทำต่อวัตถุ.....	1
2 แสดงแรงเสียดทานขณะที่มีแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ.....	4
3 แสดงความละเอียดของพื้นที่ผิวในระดับจุลทรรศน์.....	6
4 แสดงพื้นผิวสัมผัสจริงระหว่างสองผิวคู่สัมผัสจะมีค่าน้อยกว่าพื้นผิวสัมผัส ปรากฏ.....	7
5 แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุและทิศทางของทอร์ก.....	8
6 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากของวัตถุที่มีรูปทรงใดๆ.....	11
7 แสดงลักษณะของวงจรรบรัด.....	13
8 แสดงการวางแผ่นคั่นที่อยู่ใต้วัตถุในภาวะสมดุลสถิต.....	15
9 แสดงแรงคู่ปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัสทั้งบนและล่างของแผ่นคั่น.....	15
10 แสดงแรงที่กระทำแผ่นคั่น 1 แผ่นในแนวตั้ง.....	16
11 แสดงแรงที่กระทำต่อแผ่นคั่นในแนวราบในภาวะที่แผ่นคั่นยังไม่เคลื่อนที่หรือ เริ่มเคลื่อนที่.....	17
12 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ของวัตถุ.....	18
13 แผนภาพชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต.....	20
14 แสดงวิธีการดึงแผ่นคั่นด้วยวิธีใช้มวลถ่วงและใช้เครื่องวัดแรง.....	22
15 แสดงการซ้อนหินอ่อนและการลากเส้นแบ่งครึ่งแนวกลาง เพื่อเป็นแนวยึดเสา.....	26
16 แสดงการยึดเสาเข้ากับวัตถุ.....	26
17 แสดงแผ่นคั่นพร้อมยึดเส้นด้าย.....	27
18 แสดงการวางแผ่นคั่น ตัวยึดมุม และวัตถุ.....	28
19 แสดงการสร้างแรงดึงภายนอกในแนวราบจากมวลที่คล้องผ่านรอก.....	28
20 แสดงวิธีการปรับเทียบเครื่องวัดแรง.....	30
21 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการเลื่อนของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก.....	31

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
22 กราฟเปรียบเทียบ และแสดงสมการสำหรับแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ เครื่องวัดแรงไปเป็นค่าแรง.....	37
23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่น แต่ละแผ่นดันวัตถุกับลำดับที่แผ่นคั่น เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษโฟโตบอร์ด และทดลองด้วยวิธีใช้มวลถ่วง	41
24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่น แต่ละแผ่นดันวัตถุกับลำดับที่แผ่นคั่น เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษโฟโตบอร์ด และทดลองด้วยวิธีใช้เครื่องวัดแรง.....	42
25 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่น แต่ละแผ่นดันวัตถุกับลำดับที่แผ่นคั่น เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย และทดลองด้วยวิธีใช้มวลถ่วง.....	43
26 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่น แต่ละแผ่นดันวัตถุกับลำดับที่แผ่นคั่น เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย และทดลองด้วยวิธีใช้เครื่องวัดแรง.....	44
27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษชานอ้อย และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 62.5 cm	45
28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษชานอ้อย และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 31.3 cm	45
29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษชานอ้อย และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 0.5 cm	46

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

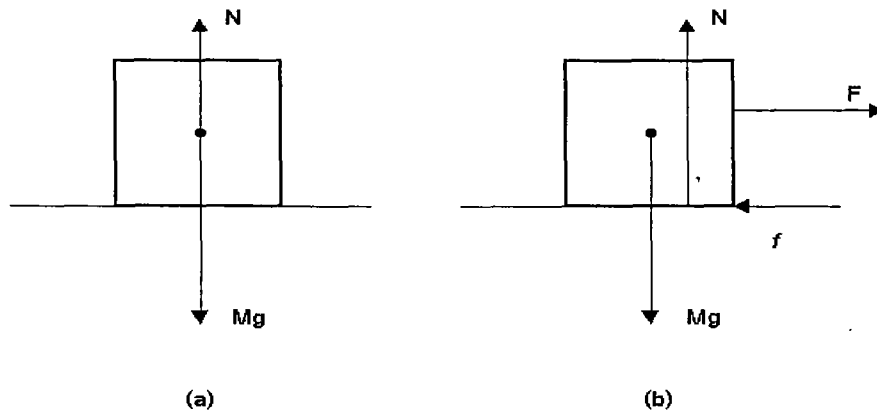
ภาพประกอบ	หน้า
30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 43.5 cm 46	46
31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 21.8 cm 47	47
32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุของผลการทดลองกับการคำนวณทาง ทฤษฎี กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอก ดึงวัตถุที่ความสูง 0.5 cm 47	47
33 ภาพแสดงเครื่องวัดแรง.....125	125
34 ภาพแสดงการใช้เครื่องวัดแรง.....125	125
35 ภาพแสดงวัตถุยึดเสา วางบนแผ่นคั่นและฐาน.....126	126
36 ภาพแสดงวิธีใช้มวลถ่วง.....126	126
37 แสดงการวางแผ่นคั่นลงบนฐาน.....127	127

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เมื่อมีวัตถุวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ จะมีแรง 2 แรงกระทำต่อวัตถุได้แก่น้ำหนักและแรงปฏิกิริยาแนวฉาก (Normal reaction) โดยแรงทั้งสองอาจถือได้ว่ามีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ ภาพประกอบ 1 (a) ต่อมาถ้ามีแรงภายนอกในแนวระดับมากระทำต่อวัตถุ ทำให้หรือพยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวราบ ตำแหน่งที่แนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากกระทำต่อวัตถุจะเลื่อนออกจากแนวที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล ไปทางทิศเดียวกับทิศของแรงภายนอกนั้น ภาพประกอบ 1 (b) ทั้งนี้เพราะการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากทำให้ทอร์กลัพธ์รอบจุดศูนย์กลางมวลยังคงเป็นศูนย์ ทำให้วัตถุไม่มีการล้ม



ภาพประกอบ 1 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากเมื่อไม่มีและมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ

ในทางทฤษฎีสามารถคำนวณหาตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่เลื่อนไปได้ แต่ในทางปฏิบัติ การแสดงให้เห็นการเลื่อนดังกล่าวยังเป็นรูปธรรมยังไม่มีปรากฏ แรงปฏิกิริยาแนวฉากที่กล่าวข้างต้น เป็นผลรวมของแรงที่พื้นกระทำต่อทุก ๆ จุดของวัตถุที่ผิวสัมผัส โดยทอร์กของแรงปฏิกิริยาแนวฉากรวมรอบจุดใด ๆ เท่ากับผลรวมของทอร์กของแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยรอบจุดนั้น

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและทำการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากเมื่อมีแรงภายนอกในแนวราบมากระทำต่อวัตถุ โดยวัตถุยังอยู่ในสภาพสมดุลสถิต

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

เพื่อทำการศึกษาและออกแบบการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกในแนวราบมากระทำต่อวัตถุนั้น

ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบและทำการทดลองแสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุในแนวราบ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. วัตถุยังอยู่ในสภาพสมดุลสถิต
2. ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุกับพื้นเป็นผิวเรียบ
3. วัตถุและพื้นเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

ความสำคัญของงานวิจัย

1. ได้วิธีการทดลองที่แสดงถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
2. ได้ชุดการทดลองที่แสดงถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก

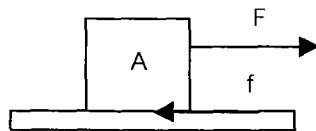
บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยเกี่ยวกับการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาในแนวนอน มีปริมาณและวิธีการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วย ได้แก่ แรงเสียดทาน ทอร์ก วิธีการหาตำแหน่งของแนวแรงลัพธ์ของแรงขนาน และการคำนวณหาการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวนอน ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

1. แรงเสียดทาน (Friction)

เมื่อพื้นผิวหนึ่งเคลื่อนที่หรือพยายามจะเคลื่อนที่ไปบนอีกผิวสัมผัสหนึ่ง พื้นผิวทั้งสองจะออกแรงเสียดทานกระทำซึ่งกันและกัน



ภาพประกอบ 2 แสดงแรงเสียดทานขณะที่มีแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ

ในภาพประกอบ 2 แรง F กระทำต่อวัตถุ A มีผลทำให้วัตถุ A พยายามเคลื่อนที่ไปบนพื้น ลักษณะเช่นนี้พื้นจะออกแรงเสียดทาน f กระทำต่อวัตถุ เรียกแรงเสียดทานในช่วงที่วัตถุยังไม่มี การเคลื่อนที่ว่า แรงเสียดทานสถิต (Static friction) ในขณะที่วัตถุยังไม่มี การเคลื่อนที่นี้ แรงเสียดทาน f จะมีขนาดเท่ากับขนาดของแรงภายนอก F

เมื่อแรงภายนอก F มีขนาดเพิ่มมากขึ้นจนทำให้วัตถุอยู่ในสภาพที่กำลังจะเคลื่อนที่ แรงเสียดทานจะมีขนาดสูงสุด เรียกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด (Maximum static friction) และเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ขนาดของแรงเสียดทานจะลดลงเล็กน้อย และเรียกว่าแรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction)

สำหรับผิวสัมผัสคู่หนึ่งๆ อัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงเสียดทานสถิตสูงสุดต่อขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุมีค่าคงที่ เรียกอัตราส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Coefficient of static friction) ถ้าให้

f_s เป็นขนาดของแรงเสียดทานสถิตสูงสุด

N เป็นขนาดของแรงปฏิกิริยาในแนวฉาก

μ_k เป็นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

จะได้

$$\mu_s = \frac{f_s}{N} \dots\dots\dots(1)$$

ในทำนองเดียวกัน อัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงเสียดทานจลน์ต่อขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุก็มีค่าคงที่เช่นกัน เรียกอัตราส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ (Coefficient of kinetic friction) ถ้าให้

f_k เป็นขนาดของแรงเสียดทานจลน์

N เป็นขนาดของแรงปฏิกิริยาในแนวฉาก

μ_k เป็นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

จะได้

$$\mu_k = \frac{f_k}{N} \dots\dots\dots(2)$$

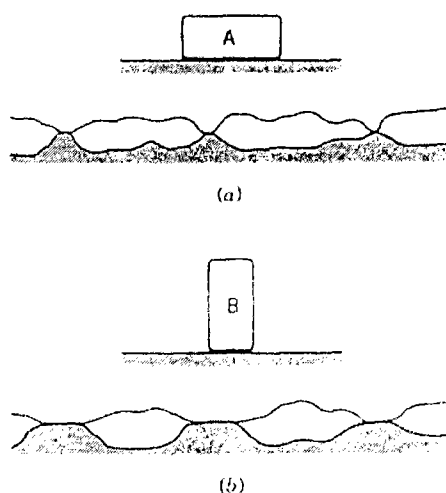
การศึกษาเรื่องความเสียดทานมีการค้นพบว่าความเสียดทานขึ้นอยู่กับแรงปฏิกิริยาแนวฉากระหว่างวัตถุทั้งสอง แต่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของผิวสัมผัส (Area of contact) การทำความเข้าใจในส่วนนี้ต้องเริ่มจากการพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างผิวสัมผัสปรากฏ (Apparent area of contact) กับผิวสัมผัสจริง (Actual area of contact) ภาพประกอบ 3 เป็นภาพหน้าตัดด้านข้าง (Actual profile) ของพื้นผิวเหล็กที่เรียบเมื่อขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น¹ ดังนั้นเมื่อวัตถุผิวเรียบอันหนึ่งวางอยู่บนวัตถุผิวเรียบอีกอันหนึ่ง ผิวสัมผัสของวัตถุทั้งสองจึงได้ติดกันตลอดแนวสัมผัสดังที่ปรากฏแก่สายตา แต่ผิวสัมผัสจะพบหรือบรรจบกันเฉพาะตรงส่วนที่สัมผัสกันเท่านั้น ดังนั้นผิวสัมผัสปรากฏกับผิวสัมผัสจริงจึงมีค่าไม่เท่ากันโดยผิวสัมผัสจริงมีค่าน้อยกว่าผิวสัมผัสปรากฏ



ภาพประกอบ 3 แสดงความละเอียดของพื้นผิวในระดับจุลทรรศน์

¹David Halliday. (1986). *Fundamentals of Physics*. : 90.

ภาพประกอบที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผิวสัมผัสจริงและการกระจายน้ำหนักของวัตถุลงบนจุดสัมผัสของวัตถุก่อนเดียวกันแต่วางบนพื้นในลักษณะต่างกัน โดยในภาพ a มีผิวสัมผัสปรากฏมากกว่าในภาพ b ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้ผิวสัมผัสในภาพ a จะมีจุดสัมผัสมากกว่าในภาพ b แต่จุดสัมผัสแต่ละจุดในภาพ b มีพื้นที่มากกว่า เมื่อพิจารณาพื้นที่ของผิวสัมผัสโดยรวม จะพบว่าผิวสัมผัสจริงของกรณี a และ b เท่ากัน ทำให้ความเสียดทานของทั้งสองกรณีไม่มีความแตกต่างกัน กล่าวโดยสรุปได้ว่า การที่วัตถุก่อนเดียวกันวางบนพื้นในลักษณะที่ผิวสัมผัสปรากฏมีค่าแตกต่างกันผิวสัมผัสจริงยังคงมีค่าเท่าเดิมเพราะแรงปฏิกิริยาแนวฉากมีค่าเท่าเดิม¹

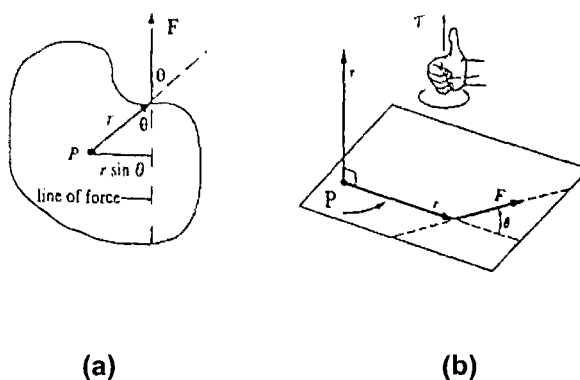


ภาพประกอบ 4 แสดงพื้นที่ผิวสัมผัสจริงระหว่างสองผิวคู่สัมผัสจะมีค่าน้อยกว่าพื้นที่ผิวสัมผัสปรากฏ โดยรูป a จะมีจุดสัมผัสมากกว่า b แต่พื้นที่ผิวสัมผัสจริงมีค่าเท่ากัน

¹Harris Benson. (1991). *University Physics*. : 101.

2. ทอร์ก

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ นอกจากแรงนั้นจะทำให้ หรือพยายามทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่แล้ว แรงนั้นยังก่อให้เกิดปริมาณหนึ่งซึ่งปริมาณดังกล่าวจะทำให้หรือพยายามทำให้วัตถุเกิดการหมุน เรียกปริมาณอันเนื่องมาจากแรงที่ทำให้หรือพยายามทำให้วัตถุเกิดการหมุนนี้ว่า ทอร์ก



ภาพประกอบ 5 ภาพ (a) แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุ และ ภาพ (b) แสดงการหาทิศของทอร์ก

จากภาพประกอบ 5 แรง $\vec{F}$ เป็นแรงกระทำต่อวัตถุ P เป็นจุดหมุนบนวัตถุ $\vec{r}$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดที่วัตถุถูกแรงกระทำเทียบกับจุด P และ θ เป็นมุมระหว่างแนวแรงกับเวกเตอร์ตำแหน่ง จะเกิดทอร์กเนื่องจากแรง $\vec{F}$ รอบจุด P มีค่าเท่ากับ $\vec{\Gamma}$ โดย

$$\vec{\Gamma} = \vec{r} \times \vec{F} \quad \dots\dots\dots(3)$$

มีขนาดเท่ากับ

$$\Gamma = Fr \sin \theta$$

3. การรวมแรงขนานและการหาตำแหน่งของแรงลัพธ์ของแรงขนาน

พิจารณาระบบของแรงขนานในทิศเดียวกับเวกเตอร์หน่วย $\hat{u}$ โดยแทนแรงขนานใดๆ ด้วย $\vec{F}_i = \hat{u}F_i$ ถ้าให้ $\vec{X}$ เป็นแรงลัพธ์ของระบบดังกล่าวจะได้ว่า

$$\vec{X} = \sum \vec{F}_i = \sum \hat{u}F_i = \hat{u}(\sum F_i) \quad \dots\dots\dots(4)$$

จากสมการที่ 4 เห็นได้ว่าขนาดของแรงลัพธ์คือ $X = \sum F_i$ และทิศของแรงลัพธ์มีทิศเดียวกับ $\hat{u}$

ต่อไปพิจารณาให้แรงลัพธ์ $\vec{X}$ กระทำที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ศูนย์กลางของแรงขนาน ซึ่งกำหนดตำแหน่งด้วยเวกเตอร์ตำแหน่ง $\vec{r}_i$ เทียบกับจุดอ้างอิงของระบบ

การหาตำแหน่งของแรงลัพธ์ $\vec{X}$ ทำได้โดยใช้หลักการที่ทอร์กลัพธ์เนื่องจากแรง F_i ทุกแรงรอบจุดใดจุดหนึ่ง เท่ากับทอร์กเนื่องจากแรงลัพธ์ $\vec{X}$ รอบจุดเดียวกันนั้น

ทอร์กเนื่องจากแรงย่อย $\vec{F}_i$ โดย $\vec{r}_i$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งที่แรง $\vec{F}_i$ กระทำต่อวัตถุ

$$\vec{\Gamma} = \sum (\vec{r}_i \times \vec{F}_i) = \sum (\vec{r}_i \times \hat{u}F_i) = (\sum \vec{r}_i F_i) \times \hat{u} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ทั้งนี้ $\vec{\Gamma}$ มีทิศตั้งฉากกับ $\hat{u}$ และ $\vec{X}$ จากนั้นกำหนดทอร์ก $\vec{\Gamma}$ ที่เกิดจากแรงลัพธ์ $\vec{X}$ กับเวกเตอร์ $\vec{r}_c$

$$\begin{aligned} \vec{\Gamma} &= \vec{r}_c \times \vec{X} \\ \vec{\Gamma} &= \vec{r}_c \times \hat{u}(\sum F_i) \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

จากนั้นนำสมการที่ 6 มาเปรียบเทียบกับสมการที่ 5

$$\vec{r}_c \times \hat{u}(\Sigma F_i) = (\Sigma \vec{r}_i F_i) \times \hat{u}$$

$$(\vec{r}_c \Sigma F_i) \times \hat{u} = (\Sigma \vec{r}_i F_i) \times \hat{u}$$

ดังนั้น

$$\vec{r}_c (\Sigma F_i) = \Sigma \vec{r}_i F_i$$

$$\vec{r}_c = \frac{\Sigma (\vec{r}_i F_i)}{\Sigma F_i} = \frac{\vec{r}_1 F_1 + \vec{r}_2 F_2 + \dots}{F_1 + F_2 + \dots} \dots\dots\dots(7)$$

ทั้งนี้จะได้ว่าระบบของแรงขนานสามารถลดลงมาเป็นแรงเดี่ยวเพียงแรงเดียวได้ตามสมการที่ 7 และกระทำที่จุด ๆ หนึ่งตามเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}_c$ และสมการที่ 7 สามารถแยกออกเป็นสมการองค์ประกอบ 3 สมการคือ

$$x_c = \frac{\Sigma x_i F_i}{\Sigma F_i}$$

$$y_c = \frac{\Sigma y_i F_i}{\Sigma F_i}$$

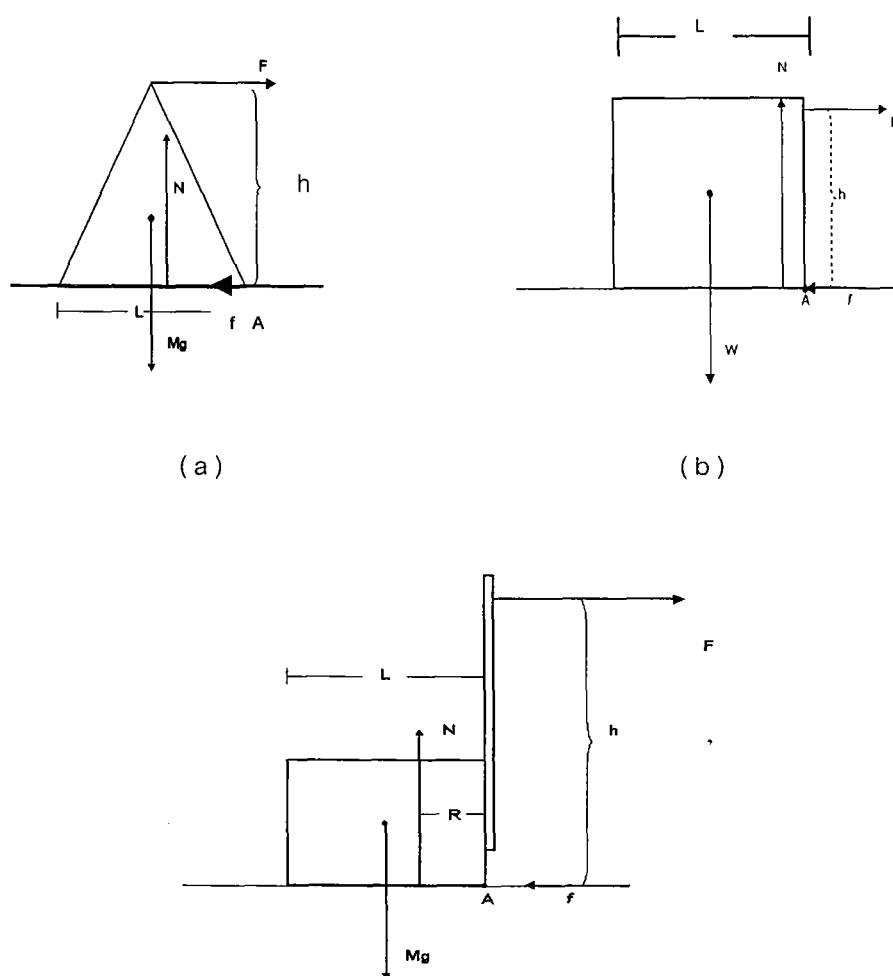
$$z_c = \frac{\Sigma z_i F_i}{\Sigma F_i}$$

โดย x_c , y_c และ z_c เป็นโคออดิเนตของจุดศูนย์กลางของแรงขนาน

4. การคำนวณการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก

การเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ในกรณีที่วัตถุรูปทรงใด ๆ ฐานยาว L มีแนวของน้ำหนักจากจุดศูนย์กลางมวลผ่านแนว $\frac{L}{2}$ ของวัตถุ วางอยู่บนพื้นราบและถูกกระทำด้วยแรงภายนอกในแนวระดับในภาวะสมดุลสถิตดังตัวอย่างในภาพประกอบ 6 คำนวณได้โดยใช้เงื่อนไขของสภาวะสมดุล

ในสภาวะที่วัตถุอยู่นิ่งผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้แรงที่กระทำต่อวัตถุแบ่งออกเป็น 2 แนวคือแนวราบและแนวตั้ง โดยแนวราบประกอบด้วยแรงภายนอกกับแรงเสียดทาน และแนวตั้งประกอบด้วยน้ำหนักกับแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ในสภาวะสมดุลแรงลัพธ์ในแต่ละแนวมีค่าเป็นศูนย์ นอกจากนี้เนื่องจากวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลต่อการหมุนด้วย ทอร์กลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยทอร์กลัพธ์ประกอบด้วยทอร์กเนื่องจากแรงคู่ควบ 2 คู่ได้แก่ทอร์กเนื่องจากแรงภายนอก กับแรงเสียดทาน และทอร์กเนื่องจากน้ำหนักกับแรงปฏิกิริยาแนวฉาก



ภาพประกอบ 6 ภาพแสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากของวัตถุที่มีรูปทรงใดๆ

จากรูป เงื่อนไขของการสมดุลต่อการเปลี่ยนตำแหน่ง ให้ความสัมพันธ์ของแรงในแนวต่างๆดังนี้

แรงในแนวนอน

$$F = f_s$$

แรงในแนวตั้ง

$$N = W$$

เงื่อนไขของสมดุลต่อการหมุนทำให้ทอร์กรอบจุด A เขียนได้ดังนี้

$$W\left(\frac{L}{2} - R\right) = Fh$$

$$WR = W\frac{L}{2} - Fh$$

$$R = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W} \quad \dots\dots\dots(8)$$

กำหนด R แทน ระยะทางที่แนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากอยู่ห่างจากจุด A

h แทน ระยะทางจากผิวสัมผัสถึงแนวแรงภายนอก

F แทน แรงภายนอกในแนวนอนที่กระทำต่อวัตถุ

W แทน น้ำหนักวัตถุ

จากสมการที่ 8 จะได้ว่าระยะการเลื่อนของแรงปฏิกิริยาแนวฉากขึ้นอยู่กับขนาดกับตำแหน่งของแรงภายนอก

5. เครื่องวัดแรง

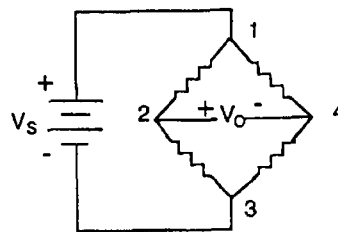
เครื่องวัดแรงเป็นอุปกรณ์ที่ตรวจวัดแรง มีหลักการทำงานคือเปลี่ยนแรงกระทำเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้เป็นสัดส่วนตรงกับขนาดของแรงที่กระทำ เครื่องวัดแรงมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน

5.1 ตัวตรวจจับแรง (Force Sensors)

5.2 ส่วนแสดงผล

5.1 ตัวตรวจจับแรง (Force Sensors)

ตัวตรวจจับแรง (Force Sensors) คืออุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ตัวต้านทานแรงกด (Piezoresistor) จำนวน 4 ตัวต่อกันเป็นวงจรบริดจ์ดังภาพประกอบ 7 เมื่อมีแรงมากระทำต่อตัวตรวจจับแรง ตัวต้านทานแรงกดจะเกิดการโค้งงอส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ V_0 ในลักษณะที่ค่าความต่างศักย์เป็นสัดส่วนตรงกับขนาดของแรงที่กระทำ



ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะของวงจรบริดจ์

5.2 ส่วนแสดงผล ส่วนแสดงผลเป็น Voltmeter ที่สามารถตรวจจับศักย์ไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณซึ่งศักย์ไฟฟ้าสูงสุดนี้จะนำมาแปลผลเป็นขนาดสูงสุดของแรงที่กระทำต่อส่วนตรวจจับแรง

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

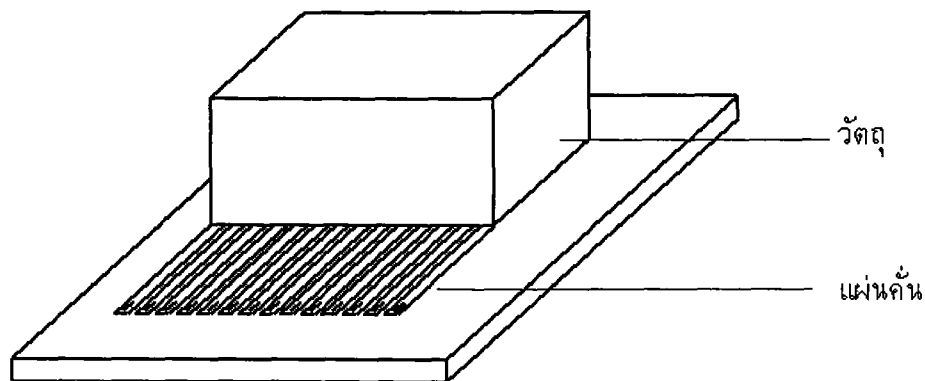
1. แนวคิดในการหาตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ขั้นตอนที่ 1 ความหมายและแนวคิดในการหาแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ($\bar{N}$)

ในทางกลศาสตร์กรณีที่วัตถุวางนิ่งอยู่บนพื้นราบ มีสาเหตุของสภาพการอยู่นิ่งมาจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์แรงลัพธ์นี้เป็นผลมาจากมีแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุและแรงที่โลกดึงดูดวัตถุตั้งปรากฏในแผนภาพ (Diagram) ตามภาพประกอบ 1 จากการวิเคราะห์นี้แรงปฏิกิริยาแนวฉากคือผลรวมของแรงขนานที่พื้นกระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากตลอดทั้งผิวสัมผัส ($\bar{N}$) ถ้าสามารถวัดแรงขนานดังกล่าวที่ตำแหน่งต่างๆของผิวสัมผัส ก็จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉาก ($\bar{N}$) ได้ และเมื่อมีแรงแนวราบกระทำต่อวัตถุ แรงขนานแต่ละแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากตลอดผิวสัมผัสนี้จะเปลี่ยนไป มีผลทำให้ตำแหน่งของแนวแรงลัพธ์ของแรงขนานนี้เลื่อนไป ซึ่งถ้าสามารถวัดแรงปฏิกิริยาย่อยเหล่านี้ได้ ก็จะสามารถวัดการเลื่อนของแนวแรงลัพธ์ ($\bar{N}$) นี้ได้

ขั้นตอนที่ 2 ค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อย ($\bar{N}_{j,u}$) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การที่จะหาค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยเหล่านี้จะใช้แผ่นวัสดุจำนวนหนึ่งที่มีความกว้างเท่ากันไว้ตลอดความยาวระหว่างวัตถุทั้งสอง โดยเว้นระยะระหว่างแผ่นวัสดุแต่ละแผ่นเท่า ๆ กันดังภาพประกอบ 8 ในที่นี้เรียกแผ่นวัสดุนี้ว่าแผ่นคั่น การหาค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากทำได้โดยการวัดแรงเสียดทานสถิตสูงสุดเมื่อออกแรงดึงแผ่นคั่น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

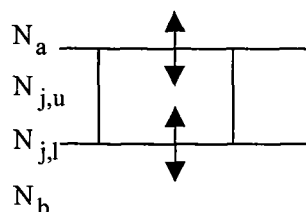


ภาพประกอบ 8 แสดงการวางแผ่นคั่นที่อยู่ใต้วัตถุที่อยู่ในภาวะสมดุลสถิต

พิจารณาผิวคู่สัมผัสทั้งด้านบนและล่างของแผ่นคั่นแต่ละแผ่นที่อยู่ระหว่างวัตถุ ดังภาพประกอบ 9 เห็นได้ว่าจะมีแรงคู่ปฏิกริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน จำนวนสองคู่โดยผิวสัมผัสบนมีแรงคู่ปฏิกริยา N_a กับ $N_{j,u}$ เมื่อแรง $N_{j,u}$ เป็นแรงที่วัตถุกดแผ่นคั่นและแผ่นคั่นก็ออกแรงดันวัตถุด้วยแรงขนาด N_a ผิวคู่สัมผัสล่างมีแรงคู่ปฏิกริยา $N_{j,l}$ กับ N_b โดย N_b เป็นแรงที่แผ่นคั่นกดลงบนฐานและฐานก็ออกแรงดันแผ่นคั่นตอบกลับด้วยแรงขนาด $N_{j,l}$ ทั้งนี้แรงคู่ปฏิกริยาทั้ง 2 คู่มีขนาดเท่ากันตามสมการที่ 9 , 10

ผิวคู่สัมผัสบน $N_a = N_{j,u}$ (9)

ผิวคู่สัมผัสล่าง $N_{j,l} = N_b$ (10)

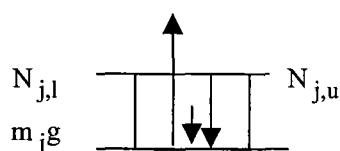


ภาพประกอบ 9 แสดงแรงคู่ปฏิกริยาที่ผิวคู่สัมผัสทั้งบนและล่างของแผ่นคั่น

ภาพประกอบ 10 แสดงแรงทั้งหมดที่กระทำต่อแผ่นคั่นแต่ละแผ่น แรงเหล่านี้ประกอบด้วยแรง $N_{j,u}$ กระทำลง แรง $N_{j,l}$ ที่ฐานกระทำขึ้นไป และน้ำหนัก $m_j g$ ที่โลกกระทำเพราะแผ่นคั่นอยู่ในสภาพสมดุลจึงได้แรงลัพธ์ของแรงทั้ง 3 นี้เป็นศูนย์หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{N}_{j,l} + \vec{N}_{j,u} + m_j \vec{g} = 0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$N_{j,l} = N_{j,u} + m_j g \quad \dots\dots\dots(12)$$



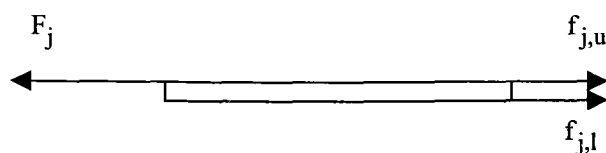
ภาพประกอบ 10 แสดงแรงที่กระทำแผ่นคั่น 1 แผ่นในแนวตั้ง

$N_{j,u}$ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากที่วัตถุกระทำต่อแผ่นคั่นแผ่นที่ j
 $N_{j,l}$ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ฐานกระทำต่อแผ่นคั่นแผ่นที่ j
 $m_j g$ แทน น้ำหนักของแผ่นคั่นแผ่นที่ j

โดยดัชนี j ชี้ให้เห็นถึงลำดับที่ของแผ่นคั่นและ l กับ u มีความหมายว่า lower กับ upper ตามลำดับ

เมื่อออกแรงดึงแผ่นคั่นแผ่นใดๆ ที่ละแผ่นให้เริ่มเคลื่อนที่แผ่นคั่นจะอยู่ในภาวะสมดุลสถิตที่มีแรงเสียดทานสถิตสูงสุด และมีแรงมากระทำต่อแผ่นคั่นในแนวราบ 3 แรงได้แก่ แรงเสียดทานผิวบน ($\vec{f}_{j,u}$) แรงเสียดทานผิวล่าง ($\vec{f}_{j,l}$) และแรงภายนอก $\vec{F}_j$ ที่กระทำต่อแผ่นคั่นที่ j ดังภาพประกอบ 11 เพราะว่าแผ่นคั่นอยู่ในสภาพสมดุลแรงลัพธ์ของแรงทั้ง 3 จึงเป็นศูนย์หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{F}_j = \vec{f}_{j,u} + \vec{f}_{j,l} \quad \dots\dots\dots(13)$$



ภาพประกอบ 11 แสดงแรงที่กระทำต่อแผ่นคั่นในแนวราบในภาวะที่แผ่นคั่นยังไม่เคลื่อนที่หรือเริ่มเคลื่อนที่

ทั้งนี้วัตถุและฐานที่ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกันทำให้สัมประสิทธิ์เสียดทานและล่างมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากัน¹ ทำให้เขียนสมการที่ 13 ได้ใหม่เป็นสมการที่ 14 ดังนี้

$$F_j = \mu_s N_{j,u} + \mu_s N_{j,l} \quad \dots\dots\dots(14)$$

แทน $N_{j,l}$ จากสมการที่ 12 ลงในสมการที่ 14

$$F_j = \mu_s N_{j,u} + \mu_s (N_{j,u} + m_j g)$$

$$N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu_s} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(15)$$

สมการที่ 15 ทำให้ทราบค่าของแรงปฏิกิริยาแนวฉากแนวที่ j' ใด ๆ ($N_{j,u}$) ได้ผิวของวัตถุ เมื่อทราบค่าแรงดึง F_j ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และมวลของแผ่นคั่นซึ่งปริมาณเหล่านี้สามารถวัดได้จากการทดลอง

¹E.P. Bernat. (1996). "Friction," in Encyclopaedic Dictionary of Physics. p 309-312.

ขั้นตอนที่ 3 การหาระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ (R) มีวิธีการคือ

ขนาดของทอร์กลัพธ์เนื่องจากแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่นแต่ละแผ่นกระทำต่อวัตถุ มีค่าเท่ากับ ขนาดของทอร์กลัพธ์เนื่องจากแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ โดยเทียบกับจุด A (ภาพประกอบ 12) ตามสมการดังนี้

$$\sum_{j=1}^n (R_j N_j) = RN \quad \dots\dots\dots(16)$$

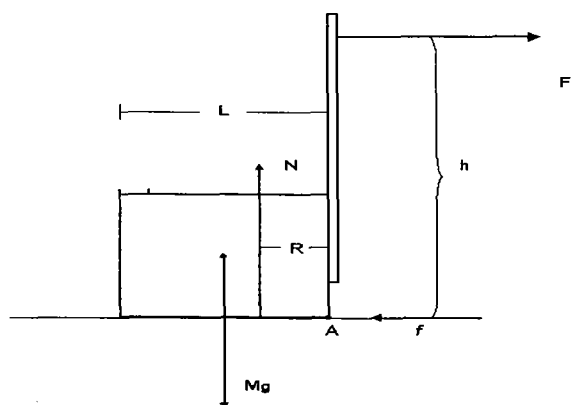
โดย $N = \sum_{j=1}^n N_j$ แทนผลรวมของขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อย

R_j แทน ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยแนวที่ j ถึงขอบวัตถุ

R แทน ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ถึงขอบวัตถุ

โดย R และ R_j มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 17 ดังนี้

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j} \quad \dots\dots\dots(17)$$



ภาพประกอบ 12 ภาพแสดงการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ของวัตถุ

2. การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง

2.1 ชนิดและรูปทรงของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุฐาน และแผ่นคั่น

เพื่อให้การวัดการเลื่อนตำแหน่งของแรง N เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำเป็นไป ด้วยความสะดวก การกระจายของแรง N ควรเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวสัมผัส จึงเลือก ใช้แผ่นหินอ่อนทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด $10 \times 20 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นวัตถุ และขนาด $30 \times 30 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นฐานทั้งนี้เพราะหินอ่อนเป็นวัสดุผิวเรียบ มีการกระจายของ น้ำหนักอย่างสม่ำเสมอ มีความหนาแน่นสูง มีขนาดใกล้เคียงกันทุกก้อน และมีสมมาตรทำให้ สะดวกในการคำนวณ โดยวัตถุประกอบด้วยแผ่นหินอ่อนดังกล่าวจำนวน 7 แผ่นวางซ้อนกันใน แนวตั้ง

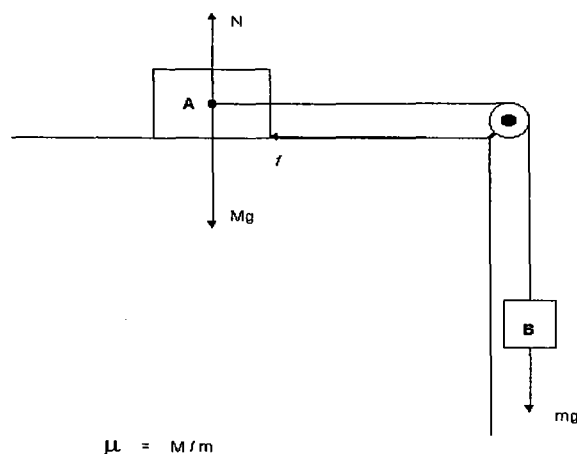
วัสดุที่เลือกทำเป็นแผ่นคั่นคือกระดาษแข็งอย่างหนา 2 ชนิด ขนาด $0.5 \times 20 \times 0.25$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อวัตถุ หินอ่อนที่พอเหมาะ ทั้งนี้พิจารณาจากขีดจำกัดของเครื่องมือและขอบเขตของการทดลองที่วัตถุ ต้องอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

2.2 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

การทดลองและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างหินอ่อน กับแผ่นวัสดุที่ใช้ทำแผ่นคั่นมีรายละเอียดดังนี้

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตบนพื้นราบ¹ ดังภาพประกอบ 12 นำ วัตถุวางลงบนแผ่นวัสดุที่มีพื้นที่มากกว่าวัตถุ แรงดึงใช้เชือกผูกวัตถุที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของ ความสูงแล้ว คล้องเชือกกับรอกให้ปลายเชือกอีกด้านอยู่ในแนวตั้งและส่วนของเส้นเชือกที่ผูก ติดกับวัตถุอยู่ในแนวราบและปลายเชือกในแนวตั้งมีภาชนะผูกติดอยู่ ค่อยๆเติมมวลลงใน ภาชนะจนวัตถุอยู่ในสภาพที่กำลังจะเคลื่อนที่ จากนั้นนำภาชนะพร้อมมวลไปชั่งเพื่อหาค่าแรง ดึงในเส้นเชือก จากผลจากการทดลองคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตโดยมีขั้นตอนดังนี้ (ในการทดลองจะทดลอง 10 รอบแล้วนำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตไปหาค่า เฉลี่ย)

¹Andras Z. Szeri. (1992). "Tribology," in Encyclopedia of Physical Science and Technology. p 65- 91.



ภาพประกอบ 13 แผนภาพชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

ในภาพประกอบ 13 วัตถุ A แทนวัตถุมวล M และวัตถุ B แทนภาชนะพร้อมบรรจุก้อนกรวดมวล m และ T เป็นแรงดึงในเชือกในขณะที่วัตถุกำลังจะเคลื่อนที่ ระบบอยู่ในสภาวะสมดุลแรงลัพธ์ในแนวดิ่งที่กระทำต่อวัตถุ B จึงเป็นศูนย์หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$T = mg \quad \dots\dots\dots(18)$$

เมื่อพิจารณาวัตถุ A จะเห็นว่าแผ่นวัสดุออกแรงเสียดทาน f กระทำในแนวราบ และแรงปฏิกิริยาแนวฉาก N ในแนวดิ่ง เพราะว่าวัตถุ A สมดุลเช่นกันจึงได้สมการของแรงที่กระทำต่อวัตถุ A ในแนวดิ่งเป็น

$$N = Mg \quad \dots\dots\dots(19)$$

และสมการในแนวราบเป็น

$$f = T \quad \dots\dots\dots(20)$$

เพราะว่าวัตถุ A กำลังจะเคลื่อนที่แรงเสียดทาน f จึงเป็นแรงเสียดทานสถิตสูงสุดนั่นคือ

$$f = \mu_s N \quad \dots\dots\dots(21)$$

โดย μ_s คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างวัตถุกับพื้น
แทนสมการที่ 19

$$f = \mu_s Mg \quad \dots\dots\dots(22)$$

เมื่อแทนค่า f จากสมการที่ 22 และแทนค่า T จากสมการที่ 18 ลงในสมการที่ 20 จะได้

$$\mu_s Mg = mg$$

หรือ
$$\mu_s = \frac{m}{M} \quad \dots\dots\dots(23)$$

2.3 ขนาดของแรงดึงภายนอกและระดับความสูงที่แรงกระทำต่อวัตถุ

สำหรับวัตถุมวล M ที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต μ_s ใดๆจะมีแรงดึงภายนอกมากที่สุด F ค่าหนึ่งที่ยังคงทำให้วัตถุยังไม่เคลื่อนที่ ผลของแรงภายนอกนี้จะทำให้เกิดทอร์กกระทำต่อวัตถุ ถ้าใช้ h เป็นความสูงของแนวแรงและ L เป็นความยาวของวัตถุตามภาพประกอบ 6 (c) จะได้แรงในแนวราบที่กระทำต่อวัตถุขณะที่วัตถุกำลังจะเคลื่อนที่

$$F = \mu_s Mg \quad \dots\dots\dots(24)$$

ถ้าใช้แรงตามสมการที่ 24 นี้กระทำต่อวัตถุที่ระดับความสูง h แล้วจะทำให้แนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากเลื่อนมาอยู่ตรงขอบของวัตถุพอดี สมการของทอร์กภายใต้เงื่อนไขสมดุลต่อการหมุนจะเป็น

$$Fh = Mg \frac{L}{2} \quad \dots\dots\dots(25)$$

เมื่อแทนค่า F จากสมการ 24 ลงในสมการ 25 จะได้

152507
อ.อ

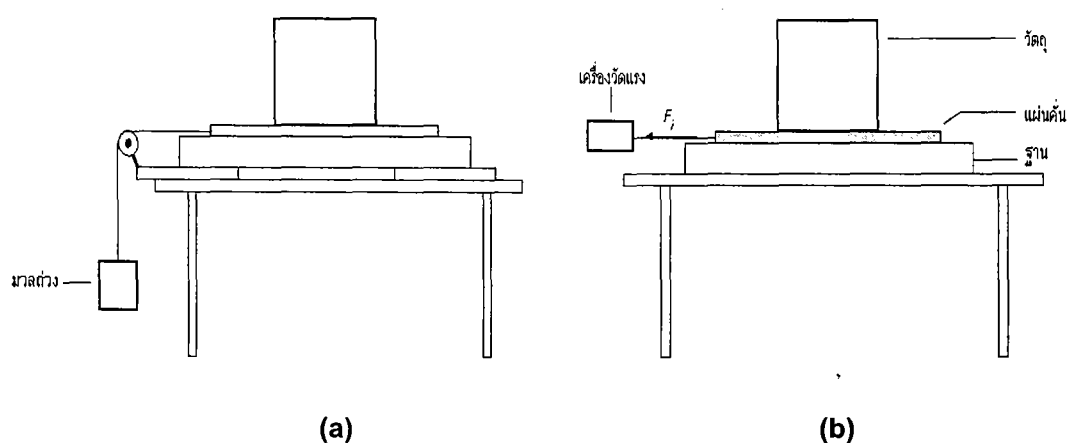
$$h = \frac{L}{2\mu_s} \dots\dots\dots(26)$$

ระยะ h ตามสมการที่ 26 เป็นระยะสูงสุดที่จะทำให้วัตถุยังคงอยู่ในภาวะสมดุล สำหรับแรงภายนอก F ที่มีค่าเท่ากับแรงเสียดทานสถิตสูงสุด

2.4 ออกแบบการทดลอง

2.4.1 ค่าของแรงปฏิกิริยาแนวฉากแต่ละตำแหน่ง ($\vec{N}_j, \vec{N}_{j,u}$)

ในการทดลองนำแผ่นคั่นที่มีความกว้างเท่า ๆ กัน จำนวน 14 แผ่นมาวางไว้ระหว่างวัตถุและฐานโดยกระจายแผ่นคั่นอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวสัมผัสภาพประกอบที่ 8 จากนั้นเริ่มออกแรงดึงแผ่นคั่นทีละแผ่น โดยเริ่มจากแผ่นที่ 1 จนแผ่นคั่นเริ่มขยับแล้ววัดแรงที่ใช้ดึงแล้วทำกับแผ่นถัดไปด้วยวิธีการเดียวกันจนครบ 14 แผ่น แรงที่ใช้ดึงวัตถุจะทำการวัด 2 วิธี คือใช้มวลถ่วง และใช้เครื่องวัดแรง ดังภาพประกอบที่ 14 (a) และ 14 (b) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 14 แสดงวิธีการดึงแผ่นคั่นด้วยวิธีใช้มวลถ่วงและใช้เครื่องวัดแรงตามลำดับ

แรงดึงในเส้นเชือกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงที่ดึงแผ่นคั่นและเท่ากับแรงเสียดทานสถิตสูงสุดเมื่อแผ่นคั่นเริ่มขยับคือ

$$T = F_j = f_{j,u} + f_{j,l}$$

ขั้นตอนต่อไปคือการหาค่าของแรงปฏิกิริยาแนวฉากตำแหน่งใด ๆ $\bar{N}_{j,u}$ โดยแรงที่กระทำต่อแผ่นคันประกอบด้วยแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสด้านบนและล่าง และแรงดึง F_j จากหลักการคำนวณที่แสดงข้างต้น (ในหัวข้อที่ 3.1) จะได้แรง $N_{j,u}$ ดังสมการข้างล่างนี้

$$\text{จากสมการที่ 15} \quad N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu_s} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

2.4.2 ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์

ขณะที่วัตถุถูกดึงด้วยแรงในแนวราบ การหาตำแหน่ง R ของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ จะต้องทราบค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ ($\bar{N}$) ก่อนโดยมีวิธีการคำนวณตามขั้นตอนดังนี้

ผลรวมของแรงเสียดทานเนื่องจากแผ่นคันทุกแผ่น (จำนวน 14 แผ่น) ที่กระทำต่อวัตถุ เป็นดังสมการ

$$f_{1,u} + f_{2,u} + f_{3,u} + \dots + f_{n,u} = \sum_{j=1}^n f_{j,u}$$

$$\text{หรือ} \quad \mu_s N_{1,u} + \mu_s N_{2,u} + \mu_s N_{3,u} \dots + \mu_s N_{n,u} = \mu_s \sum_{j=1}^n N_{j,u}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \sum_{j=1}^n f_{j,u} = \mu_s \sum_{j=1}^n N_{j,u} \dots\dots\dots(27)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถแสดงสมการของแรงเสียดทานสถิตที่ฐานกระทำต่อแผ่นคันได้ดังสมการ

$$\sum_{j=1}^n f_{j,l} = \mu_s \sum_{j=1}^n N_{j,l} \dots\dots\dots(28)$$

จากสมการที่ 13 , 27 และ 28 สามารถเขียนสมการของแรงรวมที่กระทำต่อแผ่นคั่นทุกแผ่นได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^n F_j &= \sum_{j=1}^n f_{j,u} + \sum_{j=1}^n f_{j,l} \\ \sum_{j=1}^n f_{j,u} &= \sum_{j=1}^n F_j - \sum_{j=1}^n f_{j,l} \\ \sum_{j=1}^n \mu_s N_{j,u} &= \sum_{j=1}^n F_j - \sum_{j=1}^n \mu_s N_{j,l} \quad \dots\dots\dots(29)\end{aligned}$$

แทนค่า แรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ผิวล่างด้วยแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ผิวบนของแผ่นคั่นและน้ำหนักของแผ่นคั่น จากสมการที่ 12 ลงในสมการที่ 29 ดังนี้
สมการที่ 12 $N_{j,l} = N_{j,u} + m_j g$

ดังนั้น

$$\sum_{j=1}^n \mu_s N_{j,u} = \sum_{j=1}^n F_j - \mu_s \sum_{j=1}^n (N_{j,u} + m_j g)$$

$$N = \sum_{j=1}^n N_{j,u} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n F_j}{2\mu_s} \right) - \left(\frac{\sum_{j=1}^n m_j g}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(30)$$

ดังนั้นผลรวมของแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่นทุกแผ่นดันวัตถุหรือแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์มีขนาดตามสมการที่ 30

ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ถึงขอบวัตถุ (R) ที่ชุดแผ่นคั่นกระทำต่อวัตถุ สำหรับแรงดึงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุในแนวราบค่าหนึ่ง ๆ วิธีการหาใช้การคำนวณตามแนวคิดการออกแบบขั้นตอนที่ 3 (จากหัวข้อ 1) โดยการคำนวณหาผลรวมของผลคูณระหว่างขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อย (N_j) กับ

ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากนั้นถึงขอบด้านใดด้านหนึ่งของวัตถุ (R_j) หรือทอร์กรวม แล้วหารด้วยขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ หรือเป็นไปตามสมการที่ 17 ดังนี้

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n R_j N_j}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

จากนั้นแทนค่าขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ตำแหน่งใด ๆ จากสมการที่ 15 และผลรวมของขนาดของแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อยจากสมการที่ 30

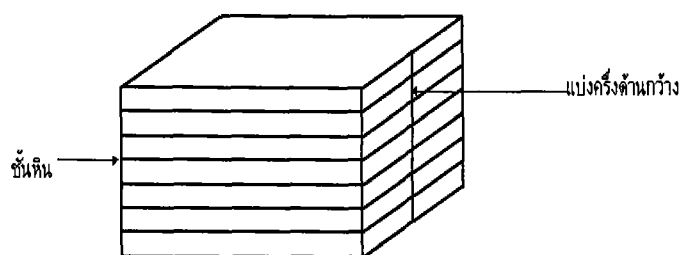
$$R = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{F_j}{\mu_s} - m_j g \right) R_j \right]}{\left[\frac{\sum_{j=1}^n F_j}{\mu_s} - \sum_{j=1}^n m_j g \right]} \quad \dots\dots\dots(31)$$

สมการที่ 31 เป็นสมการที่นำไปหาระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก จากผลการทดลองโดยค่าของระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ของแรงภายนอกค่าหนึ่ง ๆ คำนวณได้จากแรงที่ใช้ดึงแผ่นคั่นแต่ละแผ่น (F_j) และตำแหน่งของแผ่นคั่นนั้น

2.5 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

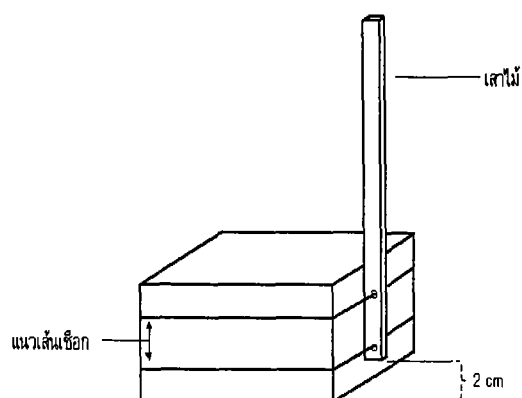
มีขั้นตอนของการเตรียมอุปกรณ์แต่ละส่วนดังนี้

2.5.1 วัตถุ ใช้หินอ่อน ขนาด $10 \times 20 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 7 ก้อน นำมาวางซ้อนให้ขอบเสมอกันและให้ก้อนที่อยู่ล่างสุดหันด้านที่ผิวเรียบลง จากนั้นยึดหินอ่อนทั้ง 7 ก้อนด้วยกาวและกระดาษกาวจนทุกก้อนยึดติดกันแน่น วัดขนาดด้านกว้าง แบ่งครึ่งขนาดความกว้าง แล้วทำเครื่องหมายโดยลากเส้นตรงตลอดแนวกว้างของชุดหินอ่อนเพื่อเป็นแนวในการยึดเสา ดังภาพประกอบ 15



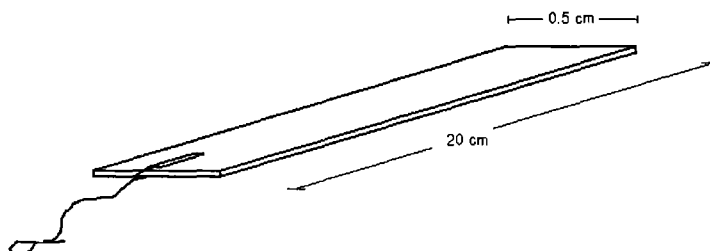
ภาพประกอบ 15 ภาพแสดงการซ้อนหินอ่อนและการลากเส้นแบ่งครึ่งแนวกกลางเพื่อเป็นแนวยึดเสา

2.5.2 เสาไม้ยึดวัตถุ เป็นเสาไม้ขนาด $1 \times 3.5 \times 72$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เจาะรู 3 รู ที่แนวกกลางของด้านยาวที่มีความสูง 3.5 , 9 และ 68 เซนติเมตร (รูสูงสุดสำหรับให้แรงภายนอกกระทำ) ดังภาพประกอบ 16



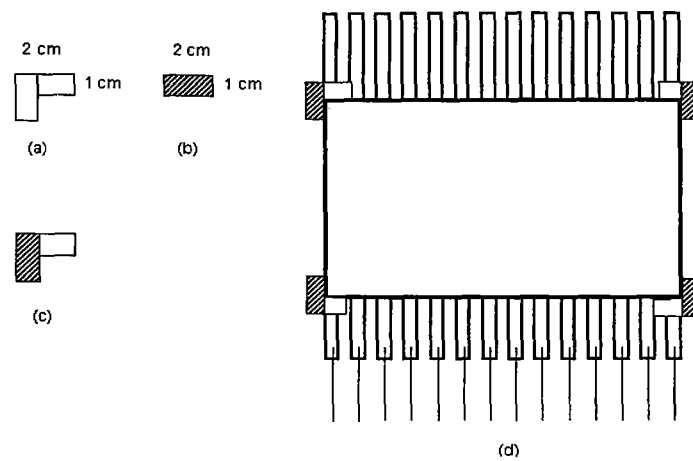
ภาพประกอบ 16 แสดงการยึดเสาเข้ากับวัตถุ

2.5.3 แผ่นคั่นพร้อมยึดเส้นด้าย ตัดกระดาษแข็งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.5×20 ตารางเซนติเมตร จำนวน 14 ชิ้น ตัดเส้นด้ายยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 14 เส้น จากนั้นยึดเส้นด้ายเข้ากับกระดาษแข็ง โดยยึดเส้นด้ายที่ปลายของกระดาษห่างจากริม 0.5 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 17



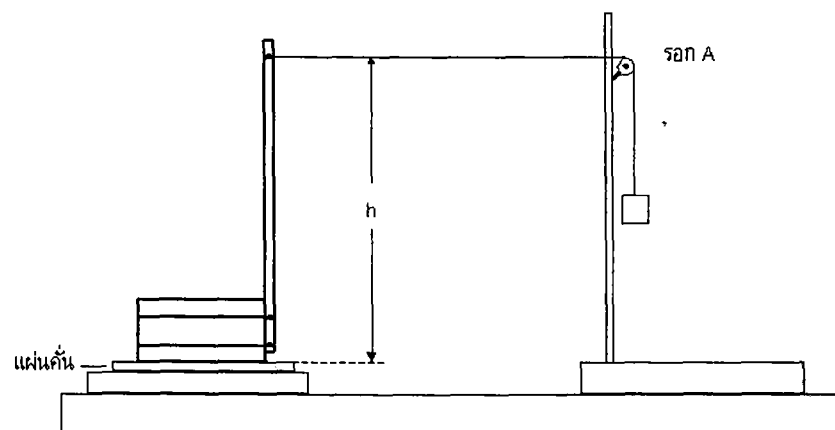
ภาพประกอบ 17 แสดงแผ่นคั่นพร้อมยึดเส้นด้าย

2.5.4 วางวัตถุ แผ่นคั่น และวัสดุป้องกันการเลื่อน เพื่อป้องกันการเลื่อนไถลขณะทดลอง การวางแผ่นคั่นจะวางเป็นระยะห่างเท่ากันบนฐาน โดยเขียนกรอบบนฐานให้มีขนาดเท่ากับวัตถุเพื่อเป็นแนวในการวางวัตถุแล้วขีดเส้นเพื่อเป็นแนววางแผ่นคั่น ทำการวางวัตถุลงบนแผ่นคั่นให้อยู่ในกรอบบนฐาน ตัดแผ่นวัสดุป้องกันการเลื่อนที่มุมทั้ง 4 ของวัตถุ ทั้งนี้ตัวป้องกันการเลื่อนนี้ทำด้วยกระดาษแข็งอย่างหนา 2 ชั้นโดยชั้นบนตัดเป็นรูปมุมฉาก ดังภาพประกอบ 18 (a) ขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร ชั้นล่างตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2×1 ตารางเซนติเมตร ดังภาพประกอบ 18 (b) แล้วนำทั้งสองชั้นมาประกบติดกันด้วยกาว ทำอย่างนี้จำนวน 4 คู่ จากนั้นนำไปยึดกับฐานที่มุมทั้ง 4 ของวัตถุดังภาพประกอบ 18 (d) วิธีการยึดให้พื้นที่ของตัวยึดส่วนที่เป็น 2 ชั้น (พื้นที่ส่วนที่แข็งแรง) ขนานกับชุดแผ่นคั่นเพื่อเลี่ยงการเสียดสีกันของแผ่นคั่นกับตัวป้องกันการเลื่อน



ภาพประกอบ 18 ภาพแสดงการวางแผ่นคั่น ตัวยึดมุม และวัตถุ (มองจากด้านบน)

2.5.5 ยึดรอกเพื่อคล้องเชือกที่ใช้กับแรงดึงภายนอกในแนวราบ ปรับให้รอก A อยู่สูง h จากผิวสัมผัสระหว่างวัตถุกับแผ่นคั่น ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 ภาพแสดงการสร้างแรงดึงภายนอกในแนวราบจากมวลที่คล้องผ่านรอก

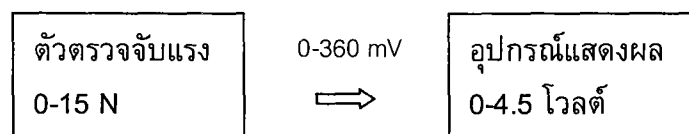
2.6 เครื่องวัดแรง

2.6.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องวัดแรง แบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.6.1.1 ตัวตรวจจับสนแรง (Force Sensors) รุ่น FSG15N1A เป็นอุปกรณ์รับแรงกระทำในช่วง 0 ถึง 15 นิวตัน ให้ค่าของความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแรงที่กระทำอยู่ในช่วง 0 ถึง 360 มิลลิโวลต์

2.6.1.2 อุปกรณ์แสดงผล (Digital Voltmeter) เป็นอุปกรณ์ที่ภายในมีส่วนประกอบที่สามารถตรวจจับสนสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด (Peak Detector) โดยอุปกรณ์แสดงผลนี้จะแสดงผลของค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับจากตัวตรวจจับสนแรง

แผนผังการทำงานของเครื่องวัดแรง

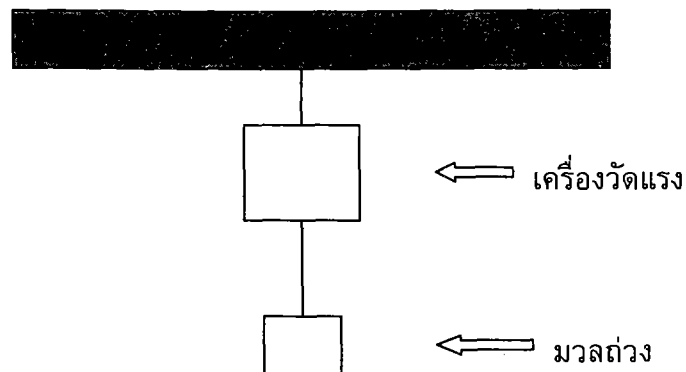


2.6.2 การปรับเทียบค่า

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงจะเป็นสัดส่วนกับแรงที่ดึงเครื่องวัดแรง เพื่อที่จะแปลงความต่างศักย์เป็นแรงจะต้องสร้างตารางปรับเทียบ ทั้งนี้วิธีการสร้างตารางปรับเทียบมีวิธีการดังนี้

2.6.2.1 นำเครื่องวัดแรงยึดเข้ากับที่ยึดในแนวตั้งและนำมวลที่ทราบค่ามาคล้องเข้ากับที่สำหรับดึงของเครื่องวัดแรง ดังภาพประกอบ 20 เครื่องวัดแรงจะแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับน้ำหนักที่ออกแรงดึงเครื่องวัดแรง ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่สอดคล้องกับมวล 0, 100, 200, 300, ..., 1500 กรัม พร้อมบันทึกผล

2.6.2.2 นำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและแรงที่คำนวณจากมวลแต่ละคู่บันทึกลงในกราฟ โดยแสดงค่าแรง (หน่วยเป็น นิวตัน) บนแกนนอน และความต่างศักย์ไฟฟ้า (หน่วยเป็น โวลต์) บนแกนตั้ง โดยทำการเขียนกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel



ภาพประกอบ 20 แสดงวิธีการปรับเทียบเครื่องวัดแรง

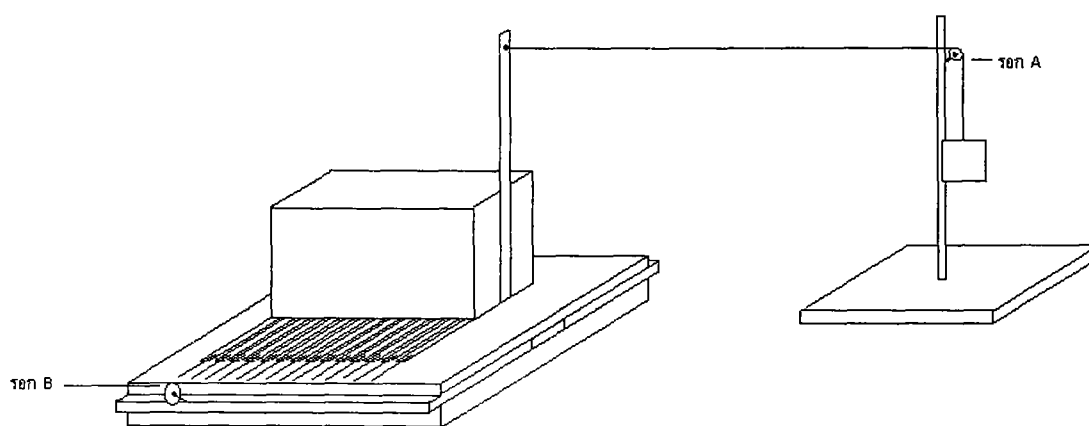
2.6.3 วิธีการใช้เครื่องวัดแรง

นำตะขอสำหรับดึงของเครื่องวัดแรงเกี่ยวเข้ากับเส้นด้ายสำหรับดึงแผ่นคั่น แล้วค่อยๆออกแรงดึงเครื่องวัดแรงจนแผ่นคั่นเริ่มเคลื่อนที่จึงหยุด ผลของแรงสูงสุดที่ใช้ดึงแผ่นคั่นจะแสดงที่อุปกรณ์แสดงผลโดยจะอยู่ในรูปของค่าความต่างศักย์ จากนั้นจึงนำค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ไปเทียบกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และแรง เพื่อทราบค่าแรงดึง (หัวข้อ 2.6.2.2)

3. การทดลอง

3.1 วิธีทดลอง

ทำการทดลองวัดแรงปฏิกิริยาแนวฉากย่อย โดยจัดอุปกรณ์ดังภาพประกอบ 21
ทำการทดลองวัดค่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดระหว่างผิวสัมผัสด้วยวิธีการทดลอง 2 วิธี



ภาพประกอบ 21 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการเลื่อนของแรงปฏิกิริยาแนวฉาก

วิธีที่ 1 ใช้มวลถ่วง

1. วางแผ่นคันชูดที่ 1 ตามแนวเส้นที่ลากไว้บนฐานจนครบ 14 ชั้น
2. ค่อย ๆ วางวัตถุภายในกรอบบนระนาบของแผ่นคัน
3. นำปลายเชือกที่ผูกไว้กับวัตถุไปคล้องกับรอก A ที่ยึดอยู่บนขาตั้ง โดยปรับให้แนวเส้นเชือกขนานกับพื้นและตั้งฉากกับด้านกว้างของวัตถุ
4. นำเส้นด้ายที่ยึดอยู่ที่ปลายแผ่นคันแผ่นที่ 1 คล้องกับรอก B โดยปรับให้แนวเส้นด้ายขนานกับฐานรองวัตถุโดยปรับความสูงของรอก B ด้วยการรองกระดาษแข็งใต้ที่ยึดตัวรอกและปรับให้แนวเส้นด้ายตั้งฉากกับด้านยาวของวัตถุโดยปรับตัวรอก B ไปทางขวาหรือซ้าย

5. เริ่มนำภาชนะเปล่า ๆ ถ่างที่ปลายเส้นด้ายที่เตรียมไว้และเริ่มเพิ่มมวลไปเรื่อย ๆ จนกว่าแผ่นคันเริ่มขยับ

6. จึงนำภาชนะพร้อมมวลไปชั่งและบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผล

7. ทำซ้ำตามวิธีการทดลองข้อที่ 5 ถึง 6 ตามลำดับ จนครบ 14 แผ่น

8. เริ่มนำมวลขนาด 200 กรัม ไปถ่างที่ปลายเชือกที่คล้องไว้ที่รอก A

9. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 5 ถึง 8 โดยเพิ่มมวลคล้องที่รอก A ครั้งละ 200 กรัม จนแรงในแนวราบถึงค่าของแรงเสียดทานสถิตสูงสุด โดยยังคงให้ระบบยังอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

10. ทำการทดลองข้อที่ 1 ถึง 9 ด้วยแผ่นคันชุดเดิม 5 รอบ

11. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1 ถึง 10 โดยเปลี่ยนระยะของแนวแรงภายนอกเป็นตรงกลาง (ครึ่งหนึ่งของ h) และที่ความสูง 0.5 เซนติเมตร จากผิวสัมผัสแผ่นคันกับวัตถุ

12. ทำการทดลองข้อที่ 1 ถึง 11 ซ้ำด้วยแผ่นคันชุดใหม่ซึ่งทำด้วยวัสดุต่างชนิดกันอีก 1 รอบ

วิธีที่ 2 ใช้เครื่องวัดแรง

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ของวิธีที่ 1

2. นำเส้นด้ายที่ยึดอยู่ที่ปลายแผ่นคันแผ่นที่ 1 คล้องเข้ากับที่ดึงของเครื่องวัดแรง โดยปรับให้แนวเส้นด้ายอยู่แนวเดียวกับการเคลื่อนของแผ่นคัน

3. จากนั้นค่อย ๆ ออกแรงดึงเครื่องวัดแรง จนแผ่นคันเริ่มขยับจึงหยุดแล้วอ่านค่าแรงดึงซึ่งอยู่ในรูปของความต่างศักย์จาก Voltmeter บันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลการทดลอง และคำนวณหาค่า

4. เลื่อนเครื่องวัดแรงไปทางขวาให้ตรงกับแนวกกลางของแผ่นคันแผ่นถัดไปและคล้องด้ายยึดแผ่นคันเข้ากับที่ดึงของเครื่องวัดแรง และทำเช่นเดียวกับข้อที่ 2

5. ทำซ้ำตามวิธีการทดลองข้อที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ จนครบ 14 แผ่น

6. เริ่มนำมวลขนาด 200 กรัม ไปถ่างที่ปลายเชือกที่คล้องไว้ที่รอก A

7. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2 ถึง 6 ซ้ำ โดยเพิ่มมวลคล้องที่รอก A ครั้งละ 200 กรัม นั่นคือมวลถ่างที่รอก A จนมวลถ่างที่เพิ่มขึ้นทำให้วัตถุไม่อยู่ในภาวะสมดุลสถิต

8. ทำการทดลองข้อที่ 1 ถึง 7 ด้วยแผ่นคันชุดเดิม 5 รอบ

9. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1 ถึง 8 โดยเปลี่ยนความสูงของแนวแรงเป็นตรงกลาง (ครึ่งหนึ่งของ h) และที่ความสูง 0.5 เซนติเมตร จากผิวสัมผัสแผ่นคันกับวัตถุ

ทำการทดลองข้อที่ 1 ถึง 9 ซ้ำด้วยแผ่นคันชุดใหม่ซึ่งทำด้วยวัสดุต่างชนิดกันอีก 1 ชุด

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการศึกษาการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกในแนวราบมากระทำต่อวัตถุ พบว่ามีวิธีการคำนวณหาตำแหน่งหรือระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุโดยการใช้เงื่อนไขของสมดุล

จากการออกแบบอุปกรณ์เพื่อแสดงการเลื่อนของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุนั้นได้นำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธีการคำนวณทางทฤษฎีแทนค่าน้ำหนักของวัตถุ 73.1 N ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัตถุกับแผ่นคั่นที่ทำมาจากกระดาษทรายหยาบและกระดาษฟอยล์มีค่า 0.16 และ 0.23 ตามลำดับ เปลี่ยนค่าความสูงที่แนวแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ 3 ค่าและที่แต่ละความสูงได้เปลี่ยนขนาดของแรงภายนอกที่ใช้ดึงวัตถุแล้ววัตถุยังคงอยู่ในภาวะสมดุลสถิต 6 ค่า โดยแสดงไว้ในตาราง 1

สำหรับผลการใช้เครื่องวัดแรงได้ทำการทดลองเพื่อสร้างตารางเปรียบเทียบ โดยเปลี่ยนค่ามวลที่ใช้ถ่วงเครื่องวัดแรงจำนวน 34 ค่า โดยมวลแต่ละค่าได้ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จากนั้นนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทั้ง 10 ค่ามาหาค่าเฉลี่ย ดังนั้นจากผลการทดลองจะได้ค่าน้ำหนักหรือแรงที่ใช้ถ่วงเครื่องวัดแรงกับค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้า 34 คู่ ตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 2 นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้าตามที่ได้แสดงในกราฟไว้ในภาพประกอบ 22 และใช้กราฟนี้ในการเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปเป็นค่าของแรง

ตาราง 1 แสดงระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุจากการคำนวณ

ชนิด แผ่นคั่น	ความสูง (cm)	แรงดึง วัตถุ F(N)	$R_{\text{จากการคำนวณ}}$	หมายเหตุ
กระดาด ไฟโตบอร์ด	h = 43.5	0.0	10.0	1. สมการ
		2.0	8.8	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$
		3.9	7.7	
		5.9	6.5	2. ขนาดของค่าคงที่
		7.8	5.3	$\frac{L}{2} = 10.0 \text{ cm}$
		9.8	4.2	
	h/2 = 21.7	0.0	10.0	$W = 73.1 \text{ N}$
		2.0	9.4	
		3.9	8.8	
		5.9	8.3	3. ค่า h ได้จากการคำนวณตามตาราง 5
กระดาด ชานอ้อย		7.8	7.7	
		9.8	7.1	
	0.5	0.0	10.0	
		2.0	10.0	
		3.9	10.0	
		5.9	10.0	
		7.8	9.9	
		9.8	9.9	
	h = 62.5	0.0	10.0	
		2.0	8.3	
		3.9	6.6	
		5.9	5.0	
		7.8	3.3	
		9.8	1.6	
	h/2 = 31.3	0.0	10.0	
		2.0	10.0	
		3.9	10.0	

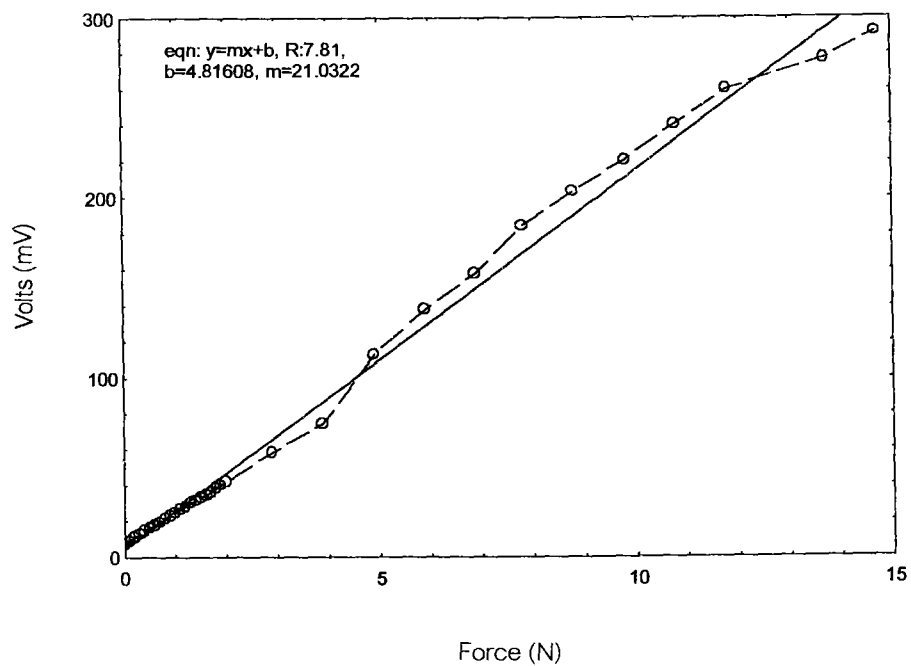
ตาราง 1 (ต่อ)

ชนิด แผ่นคั่น	ความสูง (cm)	แรงดึง วัตถุ F(N)	R จากการคำนวณ	หมายเหตุ
		5.9	7.5	
		7.8	6.7	
		9.8	10.0	
	0.5	0.0	10.0	
		2.0	10.0	
		3.9	10.0	
		5.9	10.0	
		7.8	10.0	
		9.8	9.9	

ตาราง 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดและความสูงของแนวแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ-
มีค่าเพิ่มขึ้น แนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจะเลื่อน ไปในทิศทางเดียวกับแรงภายนอก

ตาราง 2 แสดงผลข้อมูลที่ใช้สร้างตารางเปรียบเทียบ

m (gm)	W (N)	ความต่างศักย์ (mV) ทดลอง 10 ครั้ง										ค่าเฉลี่ย (mV)	SD (mV)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	0.0
10	0.1	9.3	9.2	8.9	8.7	8.9	9.5	10.0	9.0	9.6	9.2	9.2	0.4
20	0.2	11.4	11.4	11.0	11.3	12.0	11.4	11.3	11.1	11.7	11.8	11.4	0.3
30	0.3	12.9	12.9	13.3	13.1	13.1	13.6	13.5	13.4	13.6	12.6	13.2	0.3
40	0.4	14.6	16.1	15.5	15.0	15.8	15.5	14.6	15.5	14.6	14.5	15.2	0.6
50	0.5	16.3	16.4	16.6	16.7	17.5	17.3	16.3	16.1	16.3	16.6	16.6	0.5
60	0.6	17.8	18.6	17.7	17.6	18.2	18.3	17.6	17.9	17.8	18.7	18.0	0.4
70	0.7	20.6	20.4	20.0	19.9	19.5	19.4	19.4	19.6	19.6	19.8	19.8	0.4
80	0.8	21.8	21.5	21.2	21.6	21.3	21.1	22.0	21.4	21.2	21.9	21.5	0.3
90	0.9	23.8	23.1	23.3	23.2	23.5	22.8	22.6	23.6	23.1	22.2	23.1	0.5
100	1.0	24.5	24.9	25.0	25.2	24.5	24.3	25.1	25.1	24.9	25.1	24.9	0.3
110	1.1	27.2	26.2	26.0	26.0	29.3	26.2	26.3	27.0	26.6	26.7	26.8	1.0
120	1.2	28.8	28.2	27.5	27.9	27.9	28.2	28.6	28.4	28.5	28.2	28.2	0.4
130	1.3	30.0	30.7	30.7	30.3	30.7	30.1	30.6	29.4	30.2	30.4	30.3	0.4
140	1.4	31.3	31.7	31.2	31.4	31.0	32.2	32.0	30.9	31.2	31.6	31.5	0.4
150	1.5	32.9	33.5	33.9	34.0	33.7	33.8	33.3	33.3	33.6	33.0	33.5	0.4
160	1.6	35.8	34.6	34.9	34.9	35.0	35.5	35.3	34.6	35.1	34.4	35.0	0.4
170	1.7	36.3	36.9	36.9	37.3	36.9	36.6	35.5	35.6	36.7	36.7	36.5	0.6
180	1.8	40.4	38.3	38.2	37.9	37.7	38.4	38.5	38.6	37.6	38.6	38.4	0.8
190	1.9	39.6	40.2	40.5	40.9	39.6	40.5	40.6	40.0	40.1	40.2	40.2	0.4
200	2.0	42.9	41.7	42.0	41.2	42.0	42.2	42.1	42.0	41.4	42.1	42.0	0.5
300	2.9	59.0	57.2	58.3	57.9	59.9	57.3	57.5	58.3	57.9	59.9	58.3	1.0
400	3.9	76.6	73.5	72.5	73.2	72.4	77.0	77.3	73.4	74.6	75.0	74.6	1.9
500	4.9	116.9	113.5	106.3	118.0	110.7	117.8	90.5	119.5	118.1	118.1	112.9	8.9
600	5.9	142.8	139.8	141.1	142.3	141.0	133.2	139.9	141.8	127.5	133.9	138.3	5.1
700	6.9	151.8	156.7	159.4	154.0	156.5	160.4	164.5	160.8	162.4	156.3	158.3	3.9
800	7.8	186.6	182.0	184.9	185.4	185.0	184.4	182.2	183.8	183.8	184.6	184.3	1.4
900	8.8	199.4	204.7	203.2	203.8	204.4	204.8	205.5	205.2	201.9	201.9	203.5	1.9
1000	9.8	233.6	224.6	216.5	212.4	225.0	219.0	218.3	217.3	222.0	219.9	220.9	5.9
1100	10.8	234.6	242.1	238.5	248.5	244.8	238.9	239.0	238.4	240.4	238.8	240.6	4.1
1200	11.8	270.6	261.8	263.8	259.4	262.7	257.3	261.3	254.7	254.0	255.6	260.1	5.1
1300	12.7	250.9	245.0	268.0	235.0	246.0	248.0	246.0	252.0	244.0	246.0	248.1	8.4
1400	13.7	266.0	265.0	264.0	263.1	292.0	257.0	281.0	285.0	303.0	298.0	277.4	16.5
1500	14.7	304.0	266.0	319.0	311.0	323.0	299.0	312.0	261.0	235.0	293.0	292.3	28.9



ภาพประกอบ 22 กราฟเปรียบเทียบ แสดงสมการสำหรับแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเครื่อง

วัดแรงไปเป็นค่าแรง โดย $F = 0.047V - 0.218$

F แทน ค่าของแรงที่กดลงบนเครื่องวัดแรง (N)

V แทน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรง (mV)

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้วว่าการทดลองด้วยอุปกรณ์ที่แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรง ปฏิกริยาแนวฉากนั้นมีวิธีการทดลอง 2 วิธีคือแบบใช้มวลถ่วงและใช้เครื่องวัดแรง โดยแต่ละวิธี ใช้แผ่นคั่น 2 ชนิดคือกระดาษโฟโตบอร์ดและกระดาษชานอ้อยโดยเปลี่ยนค่าความสูงที่แนวแรง ภายนอกมากระทำต่อวัตถุ 3 ค่า และเปลี่ยนขนาดของแรงภายนอกที่ใช้ดึงวัตถุแล้ววัตถุยังคงอยู่ในภาวะสมดุลสถิต 6 ค่า โดยในแต่ละวิธีการทดลอง ชนิดของวัสดุทำแผ่นคั่น ขนาดของแรงภายนอก และความสูงของแนวแรงภายนอกได้ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

ผลการทดลองทั้งสองวิธีนั้นคือ วิธีใช้มวลถ่วงและวิธีใช้เครื่องวัดแรง ได้บันทึกการทดลองไว้ในตาราง 8 ถึง 67 และเพื่อให้เห็นถึงผลการเปรียบเทียบของตำแหน่งของแนวแรง ปฏิกริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 วิธี กับตำแหน่งของแนวแรง ปฏิกริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีที่ความสูงและขนาดของแรงภายนอกที่มีค่าเท่ากัน จึงนำเอาค่าตำแหน่งของแรงปฏิกริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลองซ้ำ 5 รอบไปหาค่าเฉลี่ยไว้ในตาราง 68 ถึง 79 และแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ระยะห่างของแนวแรงปฏิกริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีไว้ในตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากการทดลอง
กับการคำนวณ

ชนิดวัสดุ ที่ใช้ทำแผ่นคั่น	ความสูงของแนว แรง F ที่ใช้ตั้ง วัตถุ (cm)	ที่มาของข้อมูล (cm)	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ (cm)						หมายเหตุ
			F=0 (N)	F=2.0 (N)	F=3.9 (N)	F=5.9 (N)	F=7.8 (N)	F=9.8 (N)	
กระดาษ ชานอ้อย	h=62.5	คำนวณ	10.0	8.3	6.6	5.0	3.3	1.6	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.5	7.9	6.3	4.6	2.9	1.3	
	h/2=31.3	เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	9.7	8.2	6.4	4.8	3.1	1.6	
		คำนวณ	10.0	9.2	8.3	7.5	6.6	5.8	
	0.5	เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.7	8.8	8.1	7.2	6.3	5.5	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	9.8	9.0	8.2	7.4	6.3	5.6	
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.6	
กระดาษ โฟโตบอร์ด	h=43.5	เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.6	9.7	9.5	9.6	9.6	9.4	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	10.0	8.8	7.7	6.5	5.3	4.2	
		คำนวณ	9.3	8.6	7.4	6.1	5.0	3.8	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	9.7	8.5	7.3	6.1	4.8	3.8	
	h/2=21.8	คำนวณ	10.0	9.4	8.8	8.3	7.7	7.1	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.4	9.0	8.5	7.9	7.4	6.7	
	0.5	เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	9.7	9.1	8.5	7.9	7.2	6.6	
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้มวลถ่วง	9.5	9.7	9.7	9.7	9.7	9.6	
		เฉลี่ยจากการทดลองแบบใช้เครื่องวัดแรง	9.6	9.5	9.4	9.5	9.3	9.2	

ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของระยะแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลอง

1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาแนวฉาก N_j ที่แผ่นคั่นแต่ละแผ่นดันวัตถุกับลำดับที่แผ่นคั่น (j) ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (ใช้แผ่นคั่นชนิดเดียวกัน ทดลองด้วยวิธีเดียวกัน และขนาดของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากัน) โดยแสดงไว้ในภาพประกอบ 23-26 ทั้งนี้กราฟแต่ละรูปแสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่แผ่นคั่นแต่ละแผ่นกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุถูกแรงที่มีค่าคงที่กระทำ แต่เปลี่ยนความสูงของแนวแรง 3 ระดับ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากลัพธ์ของวัตถุในแต่ละค่าความสูงที่วัตถุถูกกระทำ

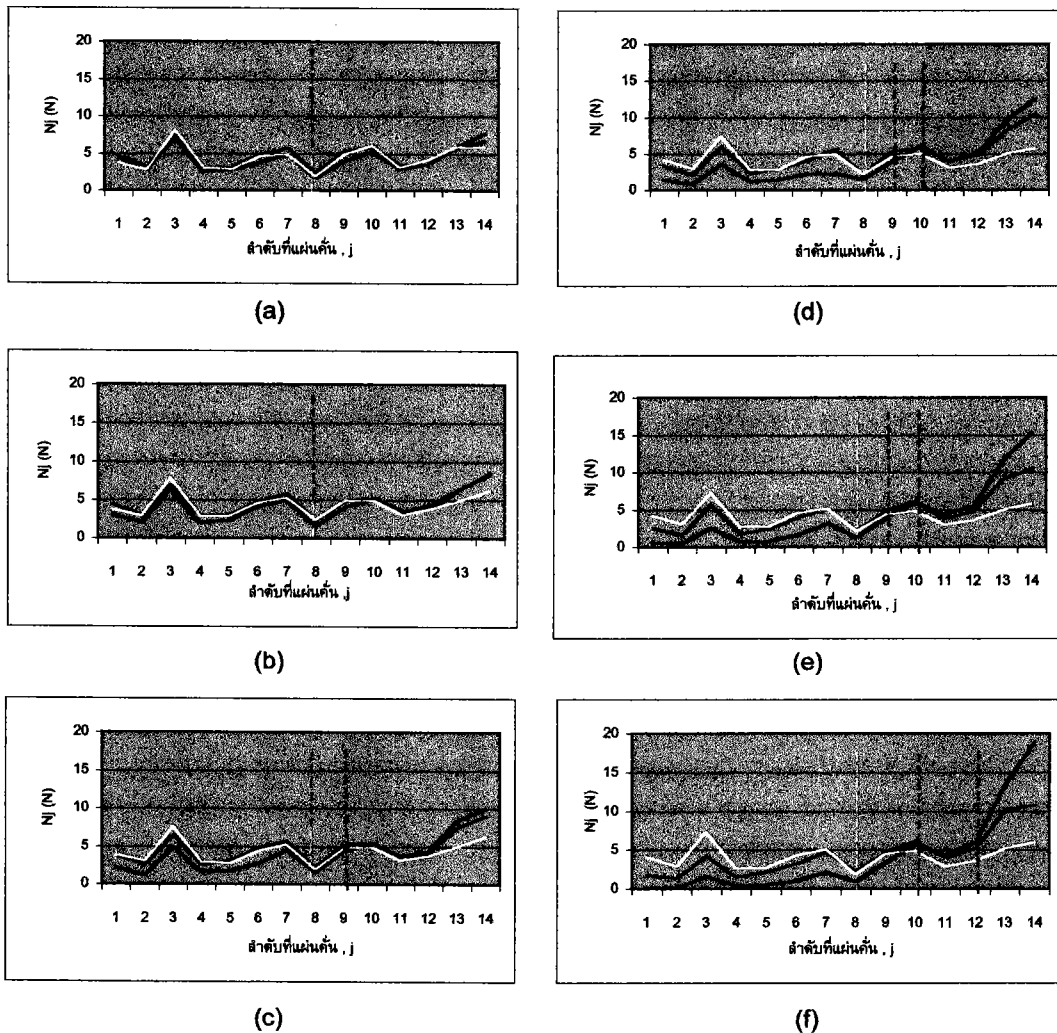
2. แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของระยะแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ไว้ในตาราง 68-79 และเขียนกราฟแสดง

2.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของระยะแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลองกับขนาดของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ

2.2 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ ของผลการทดลองแบบใช้มวลถ่วง และแบบใช้เครื่องวัดแรงเมื่อแรงภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้นกับผลการคำนวณจากทฤษฎี ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (ใช้แผ่นคั่นชนิดเดียวกันและความสูงของแรงภายนอกมีค่าเท่ากัน)

ไว้ในภาพประกอบ 27-32

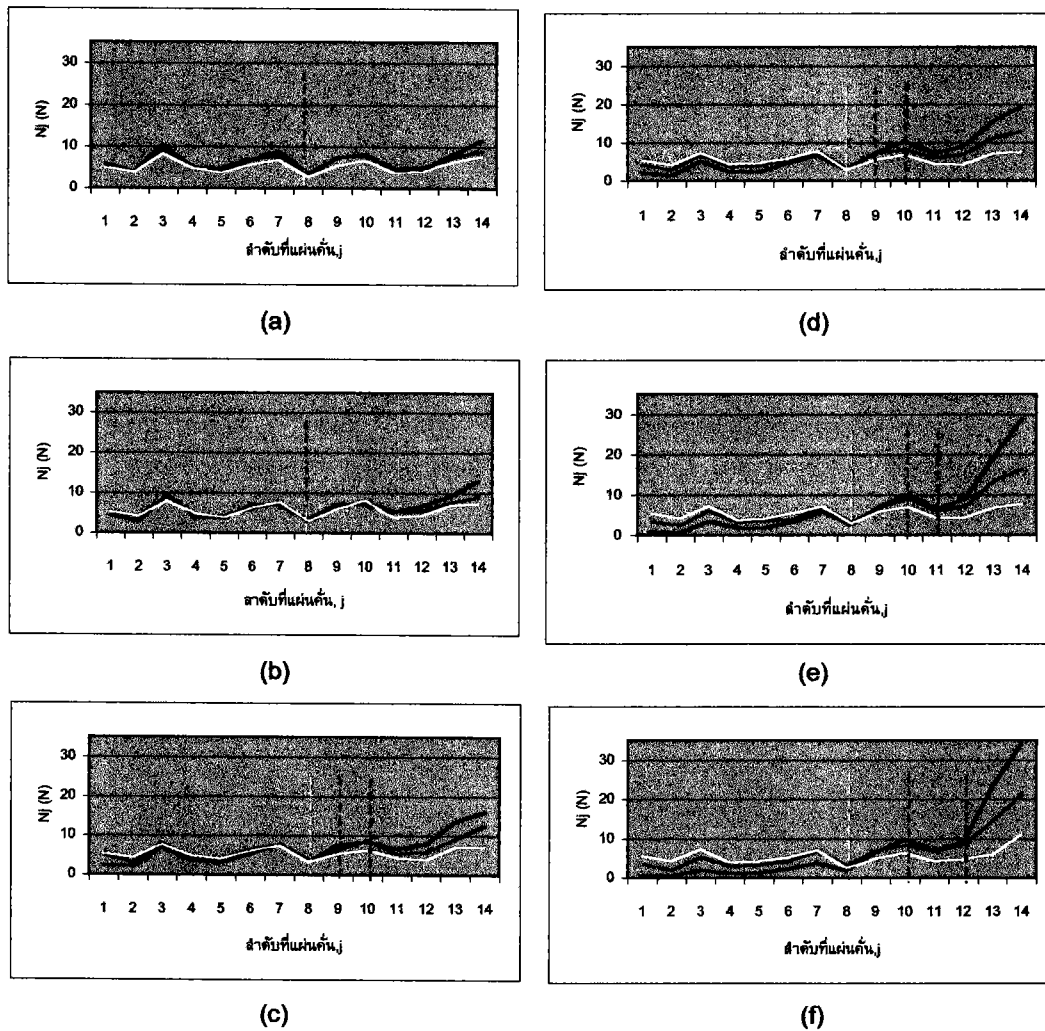
3. แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากการทดลองเทียบกับค่าจากการคำนวณทางทฤษฎี ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยแสดงไว้ในตาราง 4



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยานิวเคลียร์ N_j ที่แผ่นคั่นแต่ละแผ่นคั่นวัดดู กับลำดับที่แผ่นคั่น (j) เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยกระดาษโฟโตบอร์ด และทดลองด้วยวิธีมวลถ่วง โดยภาพ (a) ถึง (f) แสดงผลการทดลองที่วัดดูถูกแรงภายนอกด้วยขนาด 0 , 2.0 , 3.9 , 5.9 , 7.8 และ 9.8 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้กราฟแต่ละรูปแสดงการเปรียบเทียบเมื่อวัดดูถูกด้วยแรงที่มีขนาดคงที่ แต่เปลี่ยนความสูงของแนวแรง 3 ระดับ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยานิวเคลียร์ (R) ของวัตถุ

จากกราฟกำหนดให้

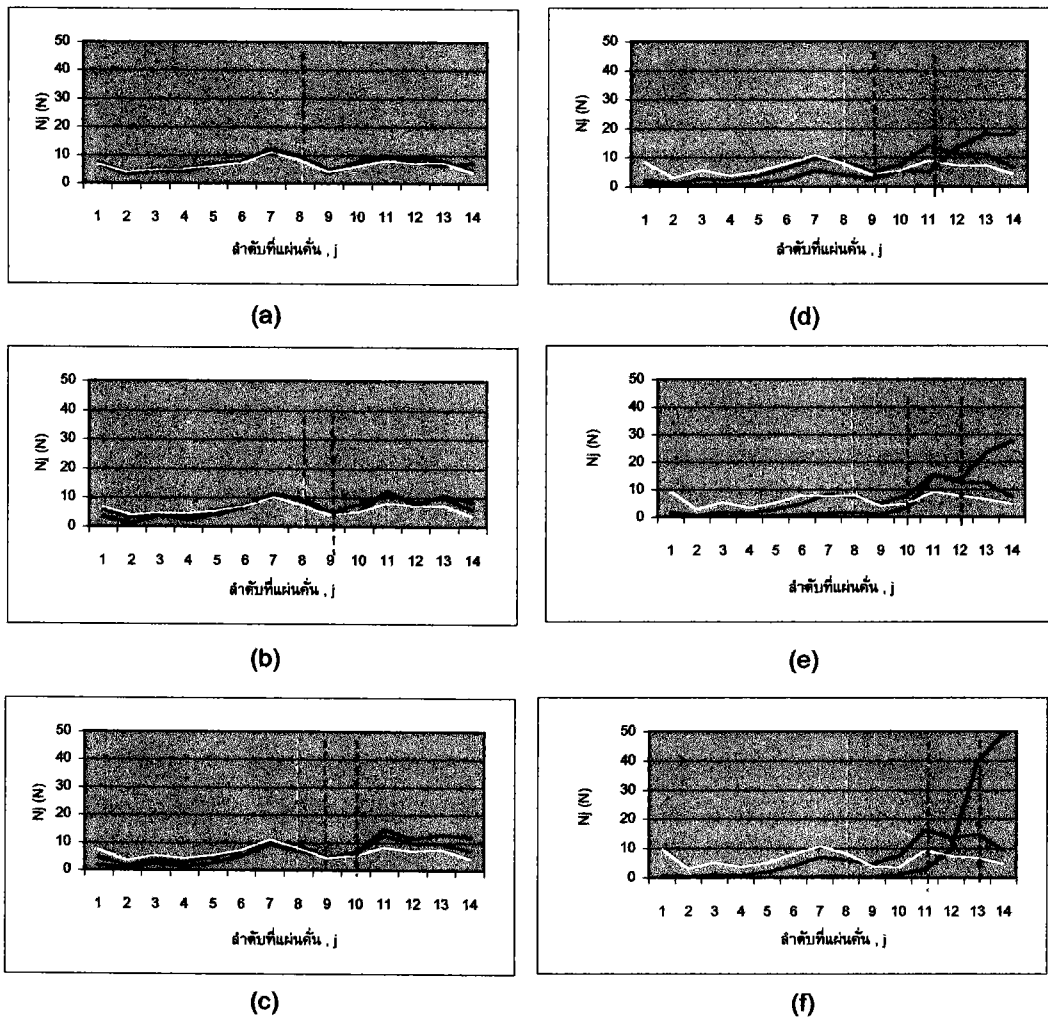
แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียร์
0.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 0.5 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียร์
21.7 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 21.7 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียร์
43.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 43.5 cm



ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยานิวเคลียส N_j ที่แผ่นคันแต่ละแผ่นคันวัดดู กับลำดับที่แผ่นคัน (j) เมื่อแผ่นคันทำด้วยกระดาษโฟโตบอร์ด และทดลองด้วยวิธีใช้เครื่องวัดแรง โดยภาพ (a) ถึง (f) แสดงผลการทดลองที่วัดดูถูกแรงภายนอกตั้งด้วยขนาด 0 , 2.0 , 3.9 , 5.9 , 7.8 และ 9.8 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้กราฟแต่ละรูปแสดงการเปรียบเทียบเมื่อวัดดูถูกตั้ง ด้วยแรงที่มีขนาดคงที่ แต่เปลี่ยนความสูงของแนวแรง 3 ระดับ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของ แรงปฏิกิริยานิวเคลียส (R) ของวัดดู

จากกราฟกำหนดให้

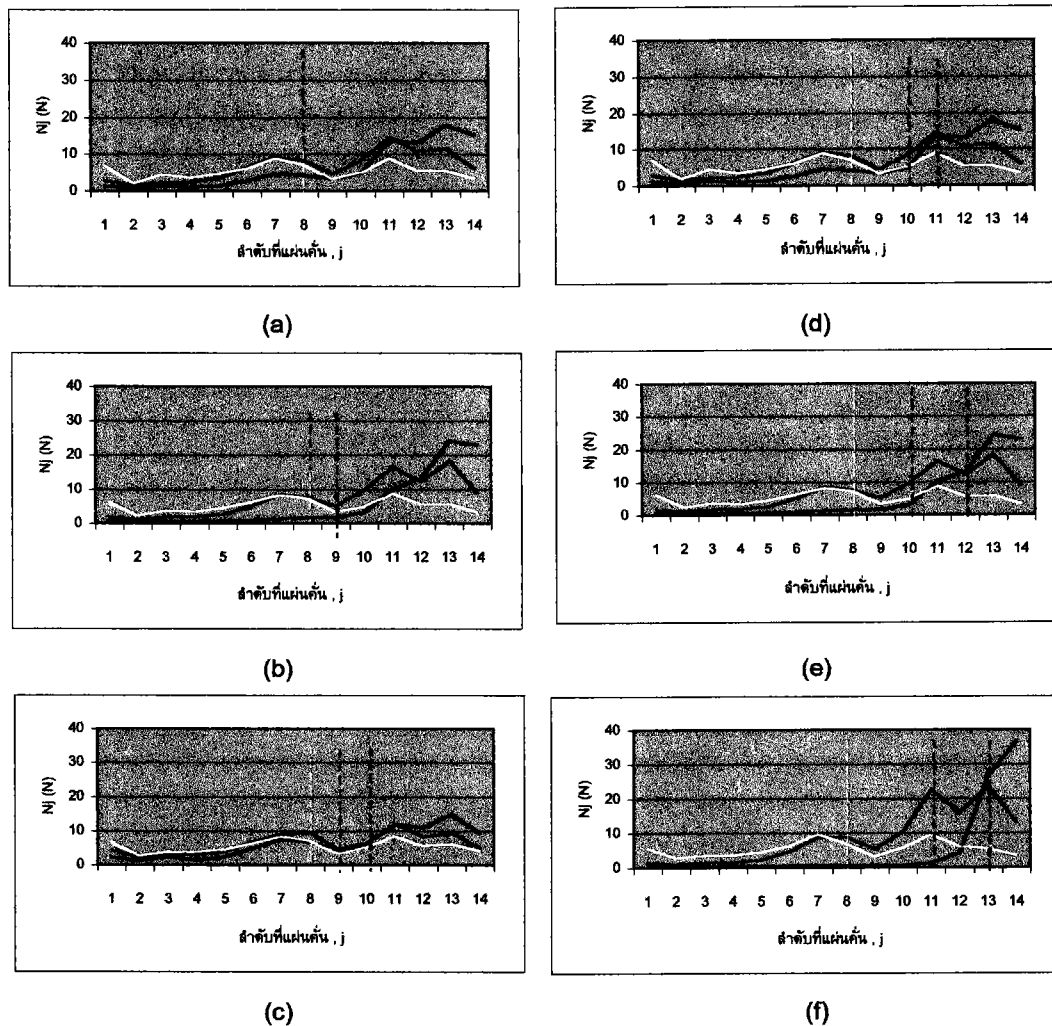
แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียส
0.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 0.5 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียส
21.7 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 21.7 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวเคลียส
43.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 43.5 cm



ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกริยาแนวฉาก N_j ที่ผ่านคันแต่ละแผ่นต้นวัตถุ กับลำดับที่ผ่านคัน (j) เมื่อแผ่นคันทำด้วยกระดาษขานอ้อย และทดลองด้วยวิธีถ่วงมวล โดยภาพ (a) ถึง (f) แสดงผลการทดลองที่วัตถุถูกแรงภายนอกดึงด้วยขนาด 0 , 2.0 , 3.9 , 5.9 , 7.8 และ 9.8 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้กราฟแต่ละรูปแสดงการเปรียบเทียบเมื่อวัตถุถูกดึงด้วยแรงที่มีขนาดคงที่ แต่เปลี่ยนความสูงของแนวแรง 3 ระดับ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของแรงปฏิกริยาแนวฉากลัพธ์ (R) ของวัตถุ

จากกราฟกำหนดให้

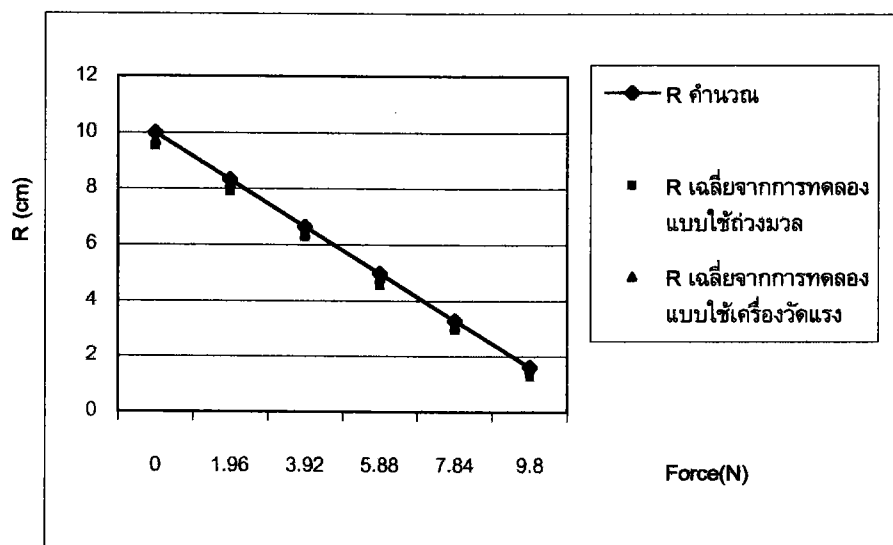
แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกริยาแนวฉากลัพธ์
0.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 0.5 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกริยาแนวฉากลัพธ์
31.3 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 31.3 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกริยาแนวฉากลัพธ์
62.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 62.5 cm



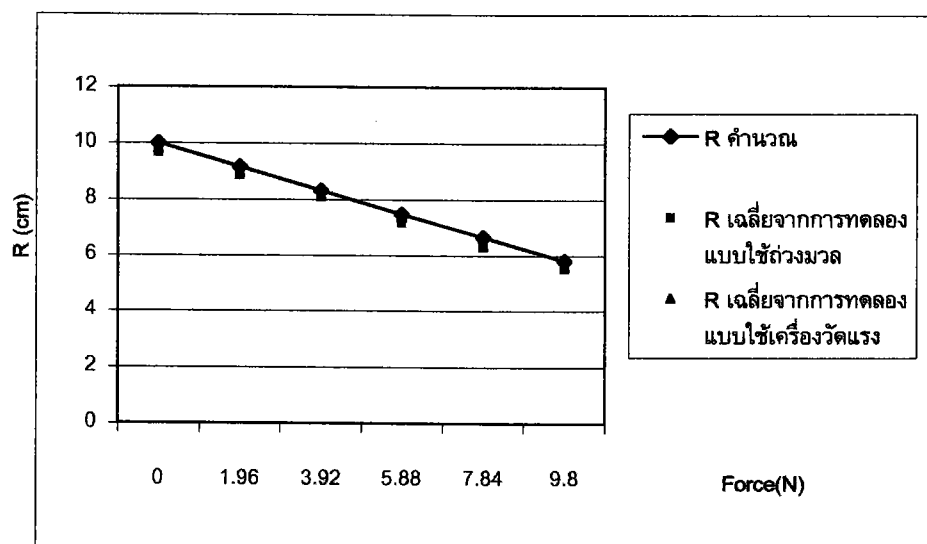
ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยานิวรอน N_j ที่ผ่านกันแต่ละแผ่นต้นวัตถุ กับลำดับที่แผ่นกัน (j) เมื่อแผ่นกันทำด้วยกระดาษชานอ้อย และทดลองด้วยวิธีใช้เครื่องวัดแรง โดยภาพ (a) ถึง (f) แสดงผลการทดลองที่วัตถุถูกแรงภายนอกดึงด้วยขนาด 0 , 2.0 , 3.9 , 5.9 , 7.8 และ 9.8 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้กราฟแต่ละรูปแสดงการเปรียบเทียบเมื่อวัตถุถูกดึงด้วยแรงที่มีขนาดคงที่ แต่เปลี่ยนความสูงของแนวแรง 3 ระดับ พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยานิวรอนกัลฟ์ (R) ของวัตถุ

จากกราฟกำหนดให้

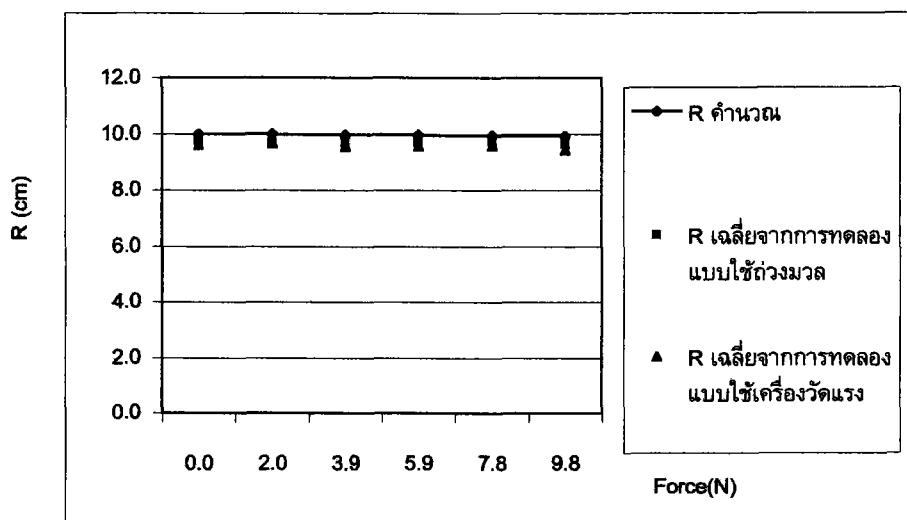
แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวรอนกัลฟ์
0.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 0.5 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวรอนกัลฟ์
31.3 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 31.3 cm
— แทน ความสูงของแนวแรง	แทน ตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยานิวรอนกัลฟ์
62.5 cm	(R) เมื่อแนวแรงสูง 62.5 cm



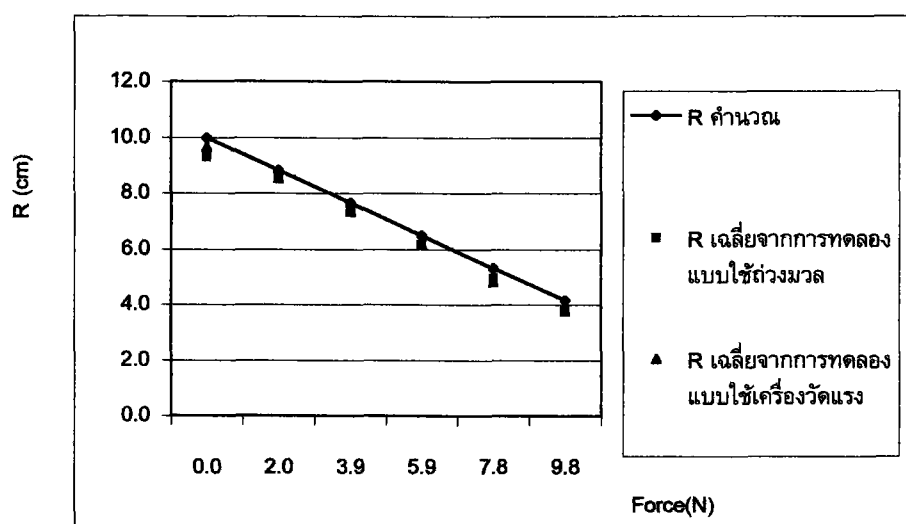
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษขานอ้อย และแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง $h=62.5$ cm



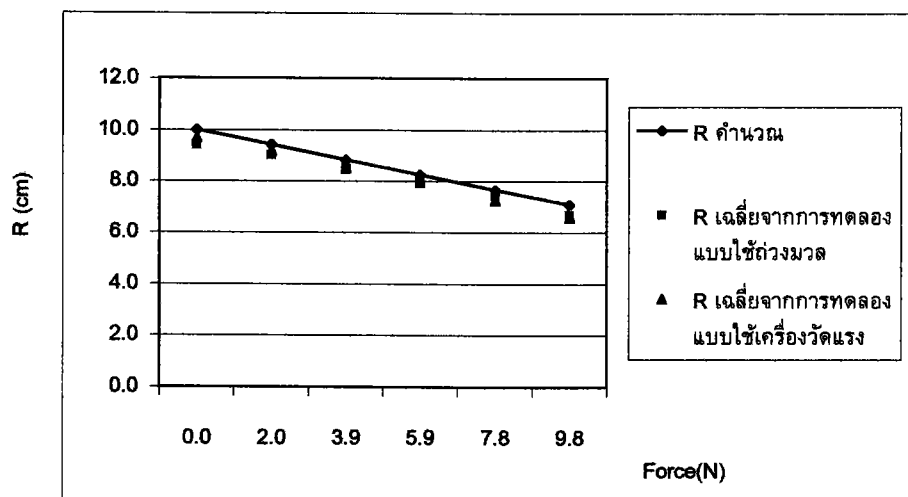
ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษขานอ้อย และแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง $h/2 = 31.3$ cm



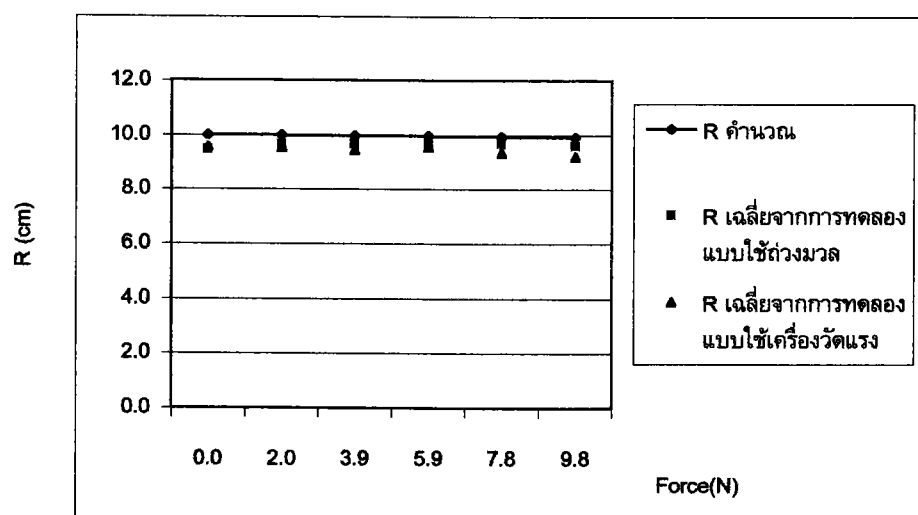
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษขานอ้อย และแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 0.5 cm



ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง $h = 43.5$ cm



ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง $h/2 = 21.7 \text{ cm}$



ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ เมื่อกำหนดให้แรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีที่แผ่นคั่นทำมาจากกระดาษโฟโตบอร์ด และแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm

ตาราง 4 แสดงความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
จากการทดลองกับความสูงของแนวแรงและวิธีการทดลองทั้งสองแบบ

วิธีการทดลอง	ชนิดวัสดุ ที่ใช้ทำแผ่นต้น	ความสูงของแนว แรง F ที่ใช้ตั้งวัตถุ (cm)	ค่าความแตกต่างของ			R _{การทดลอง}			เทียบกับการคำนวณ(%)			ค่าเฉลี่ยของค่า	
			F = 0 (N)	F = 2.0 (N)	F = 3.9 (N)	F = 5.9 (N)	F = 7.8 (N)	F = 9.8 (N)	ความแตกต่างของ	R _{การทดลอง} (%)			
ใช้มวลถ่วง	กระดาษชานอ้อย	h = 62.5	5.0	5.3	5.7	9.2	11.9	25.8	10.5				
		h/2 = 31.3	3.5	3.6	3.2	4.5	5.6	5.3	4.3				
		0.5	2.8	3.2	2.9	2.8	2.3	3.2	2.9				
		h = 43.5	7.6	3.0	4.1	5.8	7.2	9.1	6.1				
เครื่องวัดแรง	กระดาษโฟโตบอร์ด	h/2 = 21.7	6.4	4.5	4.2	4.0	3.0	5.9	4.6				
		0.5	5.8	3.5	3.1	2.9	3.0	3.4	3.6				
		h = 62.5	2.9	1.5	4.1	3.3	7.2	1.3	3.4				
		h/2 = 31.3	2.3	2.4	2.0	1.5	4.9	4.1	2.8				
กระดาษโฟโตบอร์ด		0.5	4.2	3.5	4.6	4.3	4.0	5.4	4.3				
		h = 43.5	3.6	3.6	4.4	5.9	10.4	10.6	6.4				
		h/2 = 21.7	3.5	3.1	4.1	4.0	5.8	7.9	4.7				
		0.5	4.7	4.9	5.6	4.4	6.7	7.8	5.7				

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่แสดงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกในแนวราบมากระทำต่อวัตถุนั้น ได้เลือกใช้วัตถุทรงมุมฉากที่ทำมาจากหินอ่อนพร้อมยึดเสาไม้ จุดประสงค์ของการยึดเสาไม้เพื่อเพิ่มทอร์กที่กระทำต่อวัตถุอันเนื่องมาจากแรงภายนอกค่าหนึ่งๆ ทั้งนี้ได้วางวัตถุบนฐานหินอ่อนชนิดเดียวกัน โดยมีแผ่นคั่น 1 ชุด คั่นอยู่ระหว่างวัตถุและฐาน ในการทดลองนี้ได้ทำกับแผ่นคั่นจำนวน 2 ชุดโดยเป็นวัสดุที่ทำมาจากกระดาษชานอ้อย และกระดาษโฟโตบอร์ด สำหรับแผ่นคั่นแต่ละชุดใช้ขนาดของแรงภายนอกดึงวัตถุ 6 ค่า โดยแรงภายนอกค่าหนึ่งดึงวัตถุที่ความสูง 3 ระยะ ผลจากการดึงแผ่นคั่นทุกชั้นได้วัตถุนำค่าแรงดึงที่ได้ไปคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุและระยะของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุตามลำดับ วิธีการที่ใช้ดึงแผ่นคั่นมี 2 วิธี คือใช้มวลถ่วง และใช้เครื่องวัดแรง ผลจากการทดลองทั้ง 2 วิธี พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ แสดงให้เห็นถึงการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุได้อย่างชัดเจน โดย 93 % ของผลการทดลองทั้งหมดมีความแตกต่างจากค่าที่คำนวณจากทฤษฎีต่ำกว่า 8 %

สำหรับการทดลองค่าเฉลี่ยของการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อแรงภายนอกในแนวราบที่กระทำต่อวัตถุมีค่า 7.8 และ 9.8 N และที่ความสูงของแนวแรง h มีความแม่นยำน้อยกว่า โดยมีความแตกต่างจากค่าที่คำนวณจากทฤษฎีต่ำกว่า 26 %

การทดลองด้วยวิธีใช้มวลถ่วงระยะของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามความสูงของแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อเทียบกับผลการคำนวณจากทฤษฎี

อภิปรายผลการทดลอง

สาเหตุที่ค่าระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากการทดลอง เข้าใกล้ขอบวัตถุมากกว่าผลจากการคำนวณจากทฤษฎี เป็นผลเนื่องมาจากระยะการเลื่อนของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีนั้นคำนวณจากวัตถุที่เสมือนกับว่าเนื้อของเสาไม้กระจายเป็นเนื้อเดียวกับวัตถุหินอ่อน ทำให้ค่าระยะของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ได้จากวิธีการคำนวณมีน้อยกว่าวัตถุจริงอยู่ประมาณ 1.52 % (ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่าระยะของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ โดยคิดการกระจายเนื้อมวลของเสาไม้และวัตถุหินอ่อนที่แท้จริงไว้ในภาคผนวก ข)

กรณีที่ที่ทอร์กที่กระทำต่อวัตถุมีค่ามาก ค่าคลาดเคลื่อนของระยะจากแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุมีค่ามากกว่ากรณีที่ทอร์กน้อย เนื่องมาจากกระจายแรงกดของวัตถุลงบนแผ่นคั่นชั้นที่อยู่ในด้านตรงข้ามกับทิศของแรงภายนอกมีค่าน้อยมาก ประกอบกับวิธีการทดลองและการคำนวณ (ผลจากวิธีการทดลองเกิดจากการวัดค่าแรงดึงแผ่นคั่นจะต้องใช้ค่าแรงที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ ในการทดลองด้วยวิธีใช้มวลถ่วงซึ่งใช้วิธีเพิ่มมวลเพื่อดึงให้แผ่นคั่นเริ่มเคลื่อนที่ถึงแม้ว่าจะมีความระมัดระวังแต่แรงดึงแผ่นคั่นก็จะมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุดโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผลจากวิธีการคำนวณเนื่องมาจากขั้นตอนของการคำนวณระยะแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุ ต้องนำเอาค่าแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่ได้จากแรงเสียดทานสถิตสูงสุดที่ได้จากการทดลองไปคูณกับระยะห่างของแผ่นคั่นดังกล่าวถึงขอบวัตถุซึ่งมีค่ามาก จึงส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนของระยะจากแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุมีค่ามากกว่าการคำนวณจากทฤษฎีมากกว่ากรณีที่ค่าทอร์กที่กระทำต่อวัตถุมีค่าน้อย)

ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบการทดลองที่แสดงผลการเลื่อนตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุควรจะใช้ค่าขนาดของแรงและความสูงของแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีค่าไม่มากจนทำให้วัตถุเข้าใกล้ภาวะเริ่มจะเคลื่อนที่หรือล้นเพราะอาจทำให้วัตถุมีการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะส่งผลถึงการกระจายน้ำหนักของวัตถุลงบนแผ่นคั้นมีค่าเปลี่ยนไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ และ ธนกาญจน์ ภัทรากาญจน์. (2514). *ฟิสิกส์พื้นฐานชั้นมหาวิทยาลัยปริมา 1 ความเบื้องต้นและอนุภาค* มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชุมนุมวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2521). *ฟิสิกส์ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ชุมนุมวิชาการ.
- ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. (2542). *ฟิสิกส์ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา ฝ่ายเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยศรีประทุม.
- ภรณ์ เจริญภักตร์ และคณะ. (2523). *ความน่าจะเป็นและสถิติ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Beiser, A. (1991). *Physics*. 5th ed. New York : Addison-Wesley.
- Benson, H. (1991). *University Physics*. New York : John Wiley & Sons.
- Bernat, E.P. (1961). "Friction," in *Encyclopaedic Dictionary of Physics*. Edited by J.Thewlis. p 309-312. London : Pergamon.
- Browne, M. E. (1998). *Schaum ' & outline of theory and problems of Physics for Engineerring and science*. New York: McGraw-Hill.
- Halliday, D. & Resnick, R. (1986). *Fundamentals of Physics*. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- Szeri, A. Z. (1992). "Tribology," in *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Edited by Robert A. Meryers. p 65-91. San Diego : Academic Press.
- Palmer, F. (1951, february). " Friction," *Scientific American*. (184) : 56.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง 5 แสดงค่าความสูงของแนวแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ

ชนิดวัสดุ	μ_s	h (cm)	หมายเหตุ
กระดาดชานอ้อย	0.16	62.5	1. สมการที่ใช้คำนวณหาค่า ความสูงของแนวแรง ภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ $h = \frac{L}{2\mu_s}$
กระดาดโฟโตบอร์ด	0.23	43.5	2. ขนาดของค้ำคองที่ ความยาวของวัตถุ (L) มีค่า 20 cm 3. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_s แสดงการคำนวณไว้ใน ตาราง 6

ตาราง 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_s

ชนิดวัสดุ	ค่าเฉลี่ยมวลถ่วงวัตถุให้เริ่มเคลื่อนที่ , m (kg)	μ_s	หมายเหตุ
กระดาดชานอ้อย	1.2	0.16	1. ค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน $\mu_s = \frac{m}{M}$
กระดาดโฟโตบอร์ด	1.7	0.23	2. มวลวัตถุ M M = 7.5 kg

ตาราง 7 แสดงค่าขอบเขตของขนาดของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ

ชนิดวัสดุ	μ_s	F (N)	หมายเหตุ
กระดาดชานอ้อย	0.16	11.7	1. F หมายถึงขนาดมากที่สุดของแรงภายนอกที่กระทำต่อ วัตถุในแนวราบแล้ววัตถุยังคงอยู่ในภาวะสมดุลสถิต โดยค่า F คำนวณได้จาก สมการ $F = \mu_s \cdot Mg$
กระดาดโฟโตบอร์ด	0.23	16.8	3. M = 7.5 kg 4. $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

ตาราง 8 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากของวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษข่อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 62.5.... cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่ R _j		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ								
แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N					F = 7.8 N				F = 9.8 N			
j	(cm)	m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)		m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _{jR} (N.cm)		
1	19.8	0.7	220.3	6.7	133.1	116.7	3.6	70.4	63.1	1.9	38.0	31.4	1.0	18.9	13.4	0.4	7.9	3.1	0.1	1.7	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$					
2	18.3	0.7	104.4	3.2	58.2	39.8	1.2	22.1	23.7	0.7	13.1	17.2	0.5	9.5	8.3	0.2	4.5	0.7	0.0	0.3	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$					
3	16.8	0.7	147.0	4.5	75.3	127.0	3.9	65.0	74.4	2.3	38.0	18.3	0.6	9.3	7.0	0.2	3.5	2.4	0.1	1.1	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$					
4	15.3	0.6	132.8	4.1	61.9	76.4	2.3	35.6	38.6	1.2	17.9	20.1	0.6	9.3	5.9	0.2	2.7	0.2	0.0	0.0						
5	13.8	0.7	203.3	6.2	85.5	141.5	4.3	59.5	81.6	2.5	34.3	38.2	1.2	16.0	18.1	0.5	7.5	3.7	0.1	1.5						
6	12.3	0.7	249.7	7.6	93.6	217.4	6.7	81.5	165.6	5.1	62.0	80.8	2.5	30.2	31.2	0.9	11.6	6.8	0.2	2.5						
7	10.8	0.7	398.3	12.2	131.0	368.7	11.3	121.3	300.8	9.2	99.0	175.3	5.4	57.6	46.9	1.4	15.4	15.9	0.5	5.2						
8	9.3	0.7	316.9	9.7	89.7	301.0	9.2	85.2	230.3	7.0	65.2	135.1	4.1	38.2	57.2	1.7	16.1	14.8	0.4	4.1	$F_j = mg$					
9	7.8	0.7	121.0	3.7	28.7	157.4	4.8	37.3	156.4	4.8	37.1	85.4	2.6	20.2	28.3	0.9	6.7	7.3	0.2	1.7	m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)					
10	6.3	0.7	257.3	7.9	49.2	171.8	5.3	32.8	193.4	5.9	37.0	179.8	5.5	34.4	108.9	3.3	20.8	31.5	1.0	6.0	m แทน มวลถ่วง(g)					
11	4.8	0.7	321.4	9.8	46.7	394.2	12.1	57.3	482.0	14.8	70.1	165.5	5.1	24.0	492.6	15.1	71.6	85.6	2.6	12.4	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)					
12	3.3	0.7	247.9	7.6	24.7	258.3	7.9	25.7	366.6	11.2	36.5	433.2	13.3	43.1	444.7	13.6	44.2	328.2	10.0	32.6	F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)					
13	1.8	1.0	204.7	6.3	11.0	350.7	10.7	18.8	417.2	12.8	22.3	594.9	18.2	31.9	770.2	23.6	41.3	1314.5	40.2	70.4	N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)					
14	0.3	1.0	239.7	7.3	1.8	279.8	8.6	2.1	390.5	12.0	3.0	588.5	18.0	4.5	903.7	27.7	6.9	1614.1	49.4	12.4	R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)					
รวม		96.8 890.5 91.8 714.7 91.3 573.4 78.4 347.1 89.8 260.7 104.9 151.8																								
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.2 7.8 6.3 4.4 2.9 1.4																								
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0 8.3 6.6 5.0 3.3 1.6																								
% ค่าความแตกต่าง		8 6 5 11 12 10																								

ตาราง 9 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ่อน แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 62.5.... cm ทดลองครั้งที่....2.

ลำดับที่		R _j		มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หน่วย	
แผ่นคั่น		แผ่นคั่น		แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N					
j		m _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	
(cm)	(g)	(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	0.7	197.7	6.0	119.5	98.8	3.0	59.6	39.6	1.2	23.8	11.0	0.3	6.5	5.6	0.2	3.3	2.0	0.1	1.1	
2	18.3	0.7	125.2	3.8	69.8	43.8	1.3	24.3	24.4	0.7	13.5	8.6	0.3	4.7	5.2	0.2	2.8	0.6	0.0	0.2	
3	16.8	0.7	180.4	5.5	92.4	117.7	3.6	60.3	64.9	2.0	33.2	16.2	0.5	8.2	4.5	0.1	2.2	1.5	0.0	0.6	
4	15.3	0.6	138.3	4.2	64.5	104.9	3.2	48.9	62.3	1.9	29.0	17.9	0.5	8.2	5.1	0.1	2.3	0.6	0.0	0.2	
5	13.8	0.7	200.9	6.1	84.5	110.1	3.4	46.3	57.9	1.8	24.3	20.8	0.6	8.7	6.2	0.2	2.5	0.8	0.0	0.2	
6	12.3	0.7	267.6	8.2	100.3	285.2	8.7	106.9	171.2	5.2	64.1	64.6	2.0	24.2	13.7	0.4	5.1	1.9	0.0	0.6	
7	10.8	0.7	408.5	12.5	134.4	429.3	13.1	141.3	292.0	8.9	96.1	164.1	5.0	54.0	36.8	1.1	12.0	5.4	0.2	1.7	
8	9.3	0.7	296.6	9.1	84.0	355.5	10.9	100.6	260.8	8.0	73.8	153.2	4.7	43.3	40.6	1.2	11.4	2.7	0.1	0.7	
9	7.8	0.7	157.0	4.8	37.2	131.8	4.0	31.2	125.5	3.8	29.7	116.0	3.5	27.5	27.2	0.8	6.4	4.5	0.1	1.0	
10	6.3	0.7	231.5	7.1	44.3	297.8	9.1	57.0	264.1	8.1	50.5	264.2	8.1	50.5	103.0	3.1	19.7	7.1	0.2	1.3	
11	4.8	0.7	342.1	10.5	49.7	553.1	16.9	80.4	575.9	17.6	83.7	635.2	19.4	92.4	465.4	14.2	67.7	32.0	1.0	4.6	
12	3.3	0.7	272.0	8.3	27.1	398.0	12.2	39.6	410.5	12.6	40.8	490.6	15.0	48.8	507.9	15.5	50.5	198.9	6.1	19.8	
13	1.8	1.0	226.7	6.9	12.1	346.3	10.6	18.5	435.8	13.3	23.3	595.4	18.2	31.9	833.8	25.5	44.7	914.5	28.0	49.0	
14	0.3	1.0	117.0	3.6	0.9	170.0	5.2	1.3	263.7	8.1	2.0	337.9	10.3	2.6	655.9	20.1	5.0	1414.1	43.3	10.8	
รวม			96.7	920.7		105.3	816.2		93.3	588.0		88.6	411.4		82.9	235.5		79.1	91.9		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.5		7.8		6.3		4.6		2.8								1.2	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		8.3		6.6		5.0		3.3								1.6	
% ค่าความแตกต่าง				5		7		5		7		14								28	

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{จากการคำนวณ} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = m_j g$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง(g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 10 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการหาผลจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษขุ่น (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 62.5.... cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่ แผ่นดิน	R _j	มวล แผ่นดิน m _j (g)	F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N		
			m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	m _j (N)	N _j R _j (N.cm)
1	19.8	0.7	147.2	4.5	88.9	110.8	3.4	66.9	76.3	2.3	46.0	39.4	1.2	23.7	22.9	0.7	13.7	14.8	0.4	8.8
2	18.3	0.7	148.5	4.5	82.9	66.9	2.0	37.3	46.6	1.4	25.9	33.8	1.0	18.8	20.6	0.6	11.4	10.7	0.3	5.9
3	16.8	0.7	123.3	3.8	63.1	115.8	3.5	59.3	81.9	2.5	41.9	67.4	2.1	34.5	43.2	1.3	22.1	26.5	0.8	13.5
4	15.3	0.6	188.6	5.8	88.0	159.1	4.9	74.2	75.5	2.3	35.2	39.3	1.2	18.2	26.0	0.8	12.0	13.4	0.4	6.1
5	13.8	0.7	174.6	5.3	73.4	154.3	4.7	64.9	108.3	3.3	45.5	76.9	2.3	32.3	52.0	1.6	21.8	35.3	1.1	14.8
6	12.3	0.7	251.3	7.7	94.2	255.3	7.8	95.7	173.0	5.3	64.8	144.3	4.4	54.1	99.5	3.0	37.2	58.3	1.8	21.8
7	10.8	0.7	277.0	8.5	91.1	311.0	9.5	102.3	286.9	8.8	94.4	217.6	6.7	71.6	145.5	4.5	47.8	82.7	2.5	27.2
8	9.3	0.7	291.3	8.9	82.4	293.4	9.0	83.1	263.2	8.1	74.5	243.1	7.4	68.8	184.6	5.6	52.2	112.4	3.4	31.8
9	7.8	0.7	116.9	3.6	27.7	113.4	3.5	26.9	108.2	3.3	25.6	79.1	2.4	18.7	73.6	2.2	17.4	55.2	1.7	13.0
10	6.3	0.7	164.2	5.0	31.4	188.1	5.8	36.0	221.5	6.8	42.4	234.4	7.2	44.8	199.1	6.1	38.1	124.0	3.8	23.7
11	4.8	0.7	180.6	5.5	26.2	277.5	8.5	40.3	329.3	10.1	47.9	401.7	12.3	58.4	443.5	13.6	64.5	427.4	13.1	62.1
12	3.3	0.7	252.5	7.7	25.1	276.5	8.5	27.5	334.4	10.2	33.3	406.5	12.4	40.4	433.3	13.3	43.1	492.5	15.1	49.0
13	1.8	1.0	234.6	7.2	12.6	276.8	8.5	14.8	337.7	10.3	18.1	408.4	12.5	21.9	512.7	15.7	27.5	613.7	18.8	32.9
14	0.3	1.0	136.5	4.2	1.0	179.4	5.5	1.4	250.3	7.7	1.9	285.9	8.7	2.2	403.0	12.3	3.1	572.9	17.5	4.4
รวม			82.2	788.1		85.0	730.4		82.4	597.4		81.9	508.3		81.3	411.9		80.7	314.9	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.6			8.6			7.3			6.2			5.1				3.9	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			8.3			6.6			5.0			3.3				1.6	
% ค่าความแตกต่าง			4			-3			-9			-25			-54				-142	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นดิน (g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง (g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเตา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นดิน (N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก}$$

$$\text{ของแผ่นดินที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 11 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 62.5..... cm ทดลองครั้งที่...4..

ลำดับที่ R _j		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																									
แผ่นคั่น	j	แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N			
		m _j	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	
(cm)		(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	0.7	186.0	5.7	112.4	100.8	3.1	60.9	59.6	1.8	35.9	35.0	1.1	21.0	14.5	0.4	8.7	4.0	0.1	2.3							
2	18.3	0.7	126.5	3.9	70.6	63.0	1.9	35.1	41.9	1.3	23.3	30.3	0.9	16.8	8.1	0.2	4.4	3.4	0.1	1.7							
3	16.8	0.7	131.4	4.0	67.3	85.5	2.6	43.7	49.7	1.5	25.4	30.0	0.9	15.3	19.2	0.6	9.8	3.8	0.1	1.9							
4	15.3	0.6	166.5	5.1	77.7	113.5	3.5	52.9	46.7	1.4	21.7	13.5	0.4	6.2	7.7	0.2	3.5	0.4	0.0	0.1							
5	13.8	0.7	274.4	8.4	115.5	172.6	5.3	72.6	78.7	2.4	33.0	47.1	1.4	19.7	26.4	0.8	11.0	6.3	0.2	2.6							
6	12.3	0.7	220.1	6.7	82.5	197.5	6.0	74.0	132.5	4.0	49.6	55.1	1.7	20.6	26.2	0.8	9.8	6.2	0.2	2.3							
7	10.8	0.7	342.3	10.5	112.6	315.6	9.7	103.8	237.3	7.3	78.0	120.7	3.7	39.7	56.4	1.7	18.5	15.0	0.5	4.9							
8	9.3	0.7	295.3	9.0	83.6	279.1	8.5	79.0	230.8	7.1	65.3	131.0	4.0	37.1	57.1	1.7	16.1	4.5	0.1	1.2							
9	7.8	0.7	125.5	3.8	29.7	130.7	4.0	31.0	128.5	3.9	30.4	73.1	2.2	17.3	44.0	1.3	10.4	9.1	0.3	2.1							
10	6.3	0.7	230.4	7.0	44.1	247.0	7.6	47.2	259.0	7.9	49.5	191.6	5.9	36.6	96.8	3.0	18.5	17.4	0.5	3.3							
11	4.8	0.7	290.7	8.9	42.3	360.9	11.0	52.5	416.2	12.7	60.5	420.3	12.9	61.1	277.8	8.5	40.4	33.4	1.0	4.8							
12	3.3	0.7	270.4	8.3	26.9	327.4	10.0	32.6	431.6	13.2	42.9	503.5	15.4	50.1	514.5	15.7	51.2	224.0	6.9	22.3							
13	1.8	1.0	220.0	6.7	11.8	326.9	10.0	17.5	444.4	13.6	23.8	588.0	18.0	31.5	772.7	23.7	41.4	811.1	24.8	43.5							
14	0.3	1.0	126.1	3.9	1.0	176.8	5.4	1.4	283.2	8.7	2.2	442.4	13.5	3.4	779.9	23.9	6.0	1438.8	44.1	11.0							
รวม				91.9	877.7		88.6	704.1		86.9	541.7		82.0	376.3		82.6	249.5		78.8	103.8							
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.5			7.9		6.2		4.6		3.0														
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0			8.3		6.6		5.0		3.3														
% ค่าความแตกต่าง				5			5		6		8		8														

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

6

ตาราง 12 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
 เมื่อใช้แผ่นค้ำที่ทำจากกระดาษขุ่น แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h = 62.5.... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นค้ำ เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ								
แผ่นค้ำ		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N		F = 9.8 N				
j	R _j (cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)					
1	19.8	0.7	168.2	5.1	101.6	92.3	2.8	55.7	45.7	1.4	27.5	23.8	0.7	14.3	13.2	0.4	7.9	1.4	0.0	0.7				
2	18.3	0.7	123.0	3.8	68.6	63.4	1.9	35.3	47.1	1.4	26.2	16.9	0.5	9.3	7.4	0.2	4.0	3.2	0.1	1.7				
3	16.8	0.7	162.0	5.0	83.0	109.4	3.3	56.0	69.3	2.1	35.4	34.8	1.1	17.7	20.4	0.6	10.3	3.9	0.1	1.9				
4	15.3	0.6	182.0	5.6	84.9	89.5	2.7	41.7	43.9	1.3	20.4	25.2	0.8	11.7	6.4	0.2	2.9	1.0	0.0	0.4				
5	13.8	0.7	230.6	7.1	97.0	143.9	4.4	60.5	78.3	2.4	32.9	47.0	1.4	19.7	22.2	0.7	9.3	1.9	0.1	0.7				
6	12.3	0.7	256.2	7.8	96.0	214.3	6.6	80.3	146.6	4.5	54.9	70.5	2.2	26.4	31.2	0.9	11.6	5.3	0.2	1.9				
7	10.8	0.7	378.3	11.6	124.5	325.8	10.0	107.2	252.1	7.7	82.9	134.1	4.1	44.1	42.4	1.3	13.9	10.2	0.3	3.3				
8	9.3	0.7	306.6	9.4	86.8	257.4	7.9	72.9	183.9	5.6	52.0	107.6	3.3	30.4	43.9	1.3	12.4	7.1	0.2	1.9				
9	7.8	0.7	124.2	3.8	29.4	129.4	4.0	30.7	138.2	4.2	32.8	81.9	2.5	19.4	35.9	1.1	8.5	10.7	0.3	2.5	F _j = mg			
10	6.3	0.7	224.3	6.9	42.9	168.5	5.2	32.2	169.0	5.2	32.3	75.7	2.3	14.5	80.9	2.5	15.4	10.3	0.3	1.9	m แทน มวลถ่วง(g)			
11	4.8	0.7	304.8	9.3	44.3	403.5	12.4	58.7	466.3	14.3	67.8	502.6	15.4	73.1	388.6	11.9	56.5	29.1	0.9	4.2	w แทน น้ำหนักวัตถุและเตา (N)			
12	3.3	0.7	176.5	5.4	17.5	260.5	8.0	25.9	378.0	11.6	37.6	451.9	13.8	45.0	460.0	14.1	45.8	165.0	5.0	16.4	F _j แทน แรงดึงแผ่นค้ำ(N)			
13	1.8	1.0	212.8	6.5	11.4	313.5	9.6	16.8	435.3	13.3	23.3	537.8	16.5	28.8	751.1	23.0	40.2	872.8	26.7	46.8	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก			
14	0.3	1.0	94.4	2.9	0.7	145.7	4.5	1.1	268.1	8.2	2.1	454.6	13.9	3.5	734.9	22.5	5.6	1427.2	43.7	10.9	ของแผ่นค้ำที่ (N)			
รวม		90.1 888.7				83.1 674.9				83.3 528.1				78.4 357.7				80.7 244.2				78.0 95.1		R _j แทน ระยะห่างของแรง
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.9				8.1				6.3				4.6				3.0				1.2		ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				8.3				6.6				5.0				3.3				1.6		
% ค่าความแตกต่าง		1				2				4				8				8				24		

61

ตาราง 13 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอมูลวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นสีขาว แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h/2 = 31.3.... cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ									
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N													
j	m _j (cm)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)										
1	19.8	0.7	245.5	7.5	148.4	191.8	5.9	115.9	147.2	4.5	88.9	78.1	2.4	47.1	56.7	1.7	34.1	25.4	0.8	15.2					
2	18.3	0.7	124.7	3.8	69.6	99.6	3.0	55.5	48.8	1.5	27.1	33.1	1.0	18.4	23.8	0.7	13.2	14.4	0.4	7.9					
3	16.8	0.7	162.3	5.0	83.1	142.6	4.4	73.0	124.6	3.8	63.8	84.4	2.6	43.2	57.6	1.8	29.4	31.4	1.0	16.0					
4	15.3	0.6	170.8	5.2	79.7	110.9	3.4	51.7	92.2	2.8	43.0	69.5	2.1	32.4	41.6	1.3	19.3	24.6	0.7	11.4					
5	13.8	0.7	225.8	6.9	95.0	197.2	6.0	82.9	149.9	4.6	63.0	119.9	3.7	50.4	95.8	2.9	40.3	62.0	1.9	26.0					
6	12.3	0.7	245.3	7.5	91.9	239.2	7.3	89.6	227.1	6.9	85.1	210.4	6.4	78.8	163.2	5.0	61.1	127.2	3.9	47.6					
7	10.8	0.7	342.0	10.5	112.5	340.6	10.4	112.1	335.4	10.3	110.3	315.4	9.7	103.7	266.2	8.1	87.6	227.4	7.0	74.8					
8	9.3	0.7	309.8	9.5	87.7	319.0	9.8	90.3	298.5	9.1	84.5	280.9	8.6	79.5	239.6	7.3	67.8	193.4	5.9	54.7					
9	7.8	0.7	161.0	4.9	38.1	167.3	5.1	39.7	157.0	4.8	37.2	166.6	5.1	39.5	162.3	5.0	38.5	151.6	4.6	35.9					
10	6.3	0.7	213.0	6.5	40.7	250.5	7.7	47.9	209.9	6.4	40.1	240.4	7.4	46.0	256.0	7.8	49.0	245.3	7.5	46.9					
11	4.8	0.7	289.4	8.9	42.1	349.8	10.7	50.9	406.7	12.4	59.1	468.1	14.3	68.1	510.7	15.6	74.3	536.0	16.4	77.9					
12	3.3	0.7	303.0	9.3	30.1	281.6	8.6	28.0	325.4	10.0	32.4	368.3	11.3	36.6	406.4	12.4	40.4	444.2	13.6	44.2					
13	1.8	1.0	262.3	8.0	14.0	323.0	9.9	17.3	312.6	9.6	16.7	363.5	11.1	19.5	405.2	12.4	21.7	483.9	14.8	25.9					
14	0.3	1.0	145.9	4.5	1.1	189.4	5.8	1.4	230.3	7.0	1.8	215.3	6.6	1.6	231.3	7.1	1.8	306.7	9.4	2.3					
รวม		97.9		934.1		98.0		856.2		93.8		753.0		92.2		664.8		89.2		578.4		87.9		486.9	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.5				8.7				8.0		7.2				6.5				5.5			
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0				9.2				8.3		7.5				6.6				5.8			
% ค่าความแตกต่าง				5				5				3		4				2				4			

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$F_j = mg$
 m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
 m แทน มวลถ่วง(g)
 W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
 F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
 N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น j (N)
 R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 14 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากของวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษข่อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h/2 = 31.3.... cm ทดลองครั้งที่...2..

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N															
แผ่นดิน		แผ่นดิน		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N			
j	(cm)	m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)
1	19.8	0.7	197.3	6.0	119.2 144.8	4.4	87.5	113.9	3.5	68.7	58.6	1.8	35.3	42.3	28.9	0.9	17.3
2	18.3	0.7	146.3	4.5	81.6 70.3	2.1	39.2	40.0	1.2	22.2	29.4	0.9	16.3	20.6	11.4	13.9	0.4 7.6
3	16.8	0.7	181.2	5.5	92.8 137.3	4.2	70.3	114.2	3.5	58.4	88.5	2.7	45.3	54.5	1.7	27.8	32.3 1.0 16.4
4	15.3	0.6	194.2	5.9	90.6 152.9	4.7	71.3	125.3	3.8	58.4	77.5	2.4	36.1	40.2	1.2	18.7	26.3 0.8 12.2
5	13.8	0.7	253.5	7.8	106.6 210.1	6.4	88.4	169.4	5.2	71.2	113.7	3.5	47.8	65.2	2.0	27.3	49.2 1.5 20.6
6	12.3	0.7	267.2	8.2	100.2 229.2	7.0	85.9	230.9	7.1	86.5	196.1	6.0	73.5	163.9	5.0	61.4	134.7 4.1 50.4
7	10.8	0.7	398.2	12.2	131.0 369.9	11.3	121.7	351.6	10.8	115.7	310.4	9.5	102.1	268.1	8.2	88.2	226.6 6.9 74.5
8	9.3	0.7	305.5	9.3	86.5 304.0	9.3	86.0	306.6	9.4	86.8	274.1	8.4	77.6	249.1	7.6	70.5	207.4 6.3 58.7
9	7.8	0.7	146.7	4.5	34.8 165.6	5.1	39.2	115.5	3.5	27.4	133.6	4.1	31.6	125.7	3.8	29.8	114.9 3.5 27.2
10	6.3	0.7	235.9	7.2	45.1 248.2	7.6	47.5	248.3	7.6	47.5	279.8	8.6	53.5	260.6	8.0	49.8	245.8 7.5 47.0
11	4.8	0.7	228.2	7.0	33.2 303.1	9.3	44.1	383.0	11.7	55.7	420.1	12.9	61.1	471.2	14.4	68.5	506.4 15.5 73.6
12	3.3	0.7	248.9	7.6	24.8 293.6	9.0	29.2	325.7	10.0	32.4	376.4	11.5	37.4	398.4	12.2	39.6	433.9 13.3 43.2
13	1.8	1.0	253.4	7.7	13.6 295.1	9.0	15.8	314.1	9.6	16.8	382.2	11.7	20.5	432.1	13.2	23.1	491.8 15.1 26.3
14	0.3	1.0	62.1	1.9	0.5 107.0	3.3	0.8	122.1	3.7	0.9	156.3	4.8	1.2	231.5	7.1	1.8	394.2 12.1 3.0
รวม		95.4 960.4		92.7 826.9		90.6 748.7		88.6 639.4		86.4 543.4		88.9 478.2					
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		10.1		8.9		8.3		7.2		6.3		5.4					
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.2		8.3		7.5		6.6		5.8					
% ค่าความแตกต่าง		-1		3		1		4		5		7					

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นดิน(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นดินที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

63

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นดิน (g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง (g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นดิน (N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก}$$

$$\text{ของแผ่นดินที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 15 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h/2 = 31.3.... cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่		R _j		มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ			
แผ่นดิน		แผ่นดิน		แผ่นดิน		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N									
j	i	m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)					
1	19.8	0.7	192.8	5.9	116.5	165.0	5.0	99.7	130.5	4.0	78.8	92.1	2.8	55.5	57.3	1.7	34.5	35.2	1.1	21.2					
2	18.3	0.7	140.3	4.3	78.3	113.1	3.5	63.1	64.0	2.0	35.6	41.4	1.3	23.0	20.8	0.6	11.5	23.3	0.7	12.9					
3	16.8	0.7	165.8	5.1	84.9	151.7	4.6	77.7	133.4	4.1	68.3	107.1	3.3	54.8	66.9	2.0	34.2	40.4	1.2	20.6					
4	15.3	0.6	144.8	4.4	67.5	98.6	3.0	46.0	87.6	2.7	40.8	60.1	1.8	28.0	42.4	1.3	19.7	30.3	0.9	14.1					
5	13.8	0.7	166.1	5.1	69.8	146.2	4.5	61.5	118.4	3.6	49.8	96.9	3.0	40.7	70.8	2.2	29.7	57.0	1.7	23.9					
6	12.3	0.7	278.1	8.5	104.3	249.2	7.6	93.4	207.5	6.3	77.8	179.9	5.5	67.4	150.0	4.6	56.2	109.3	3.3	40.9					
7	10.8	0.7	380.1	11.6	125.1	323.4	9.9	106.4	316.0	9.7	104.0	295.5	9.0	97.2	259.7	7.9	85.4	212.7	6.5	69.9					
8	9.3	0.7	335.0	10.3	94.8	287.5	8.8	81.4	279.4	8.6	79.1	263.5	8.1	74.6	221.8	6.8	62.8	185.8	5.7	52.6					
9	7.8	0.7	259.2	7.9	61.5	116.9	3.6	27.7	136.2	4.2	32.3	133.3	4.1	31.6	124.4	3.8	29.5	116.0	3.5	27.5					
10	6.3	0.7	182.5	5.6	34.9	178.4	5.5	34.1	190.5	5.8	36.4	252.7	7.7	48.3	247.9	7.6	47.4	221.5	6.8	42.4					
11	4.8	0.7	286.8	8.8	41.7	328.4	10.1	47.7	374.2	11.5	54.4	441.7	13.5	64.2	485.9	14.9	70.7	510.9	15.6	74.3					
12	3.3	0.7	243.7	7.5	24.2	273.5	8.4	27.2	297.8	9.1	29.6	346.7	10.6	34.5	362.8	11.1	36.1	421.2	12.9	41.9					
13	1.8	1.0	240.9	7.4	12.9	253.7	7.8	13.6	300.7	9.2	16.1	380.4	11.6	20.4	430.5	13.2	23.1	528.7	16.2	28.3					
14	0.3	1.0	131.4	4.0	1.0	168.8	5.2	1.3	187.9	5.7	1.4	227.9	7.0	1.7	284.0	8.7	2.2	347.2	10.6	2.7					
รวม		96.3		917.4		87.3		780.7		86.4		704.4		89.3		642.0		86.4		542.8		86.9		473.1	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.5				8.9		8.2				7.2		6.3				5.4				5.8	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0				9.2		8.3				7.5		6.6				5.8				6	
% ค่าความแตกต่าง				5				2		2				4		5				6				64	

ตาราง 16 ตารางบันทึกผลการศึกษาทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวปฏิบัติการควบคุมวัตถุวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง

ลำดับที่		R _j	มวล	ขนาดของแรงดึงแผ่นคัน เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หน่วย
แผ่นคัน		แผ่นคัน	m _j	F= 0 N			F= 2.0 N			F= 3.9 N			F= 5.9 N			F= 7.8 N			F= 9.8 N			
j		(cm)	(g)	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	
			(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(N) (N.cm)
1	19.8	0.7	196.7	6.0	118.8	137.9	4.2	83.3	94.2	2.9	56.8	67.1	2.0	40.5	50.5	1.5	30.4	32.0	1.0	19.2	19.2	
2	18.3	0.7	131.5	4.0	73.4	98.8	3.0	55.1	70.4	2.1	39.2	55.4	1.7	30.9	28.1	0.9	15.6	20.3	0.6	11.2	11.2	
3	16.8	0.7	149.7	4.6	76.7	137.5	4.2	70.4	112.7	3.4	57.7	71.7	2.2	36.7	52.9	1.6	27.0	30.4	0.9	15.5	15.5	
4	15.3	0.6	137.1	4.2	63.9	100.0	3.1	46.6	75.0	2.3	34.9	55.2	1.7	25.7	41.0	1.3	19.1	29.2	0.9	13.5	13.5	
5	13.8	0.7	184.9	5.7	77.8	147.3	4.5	62.0	121.4	3.7	51.0	94.9	2.9	39.9	72.6	2.2	30.5	54.2	1.7	22.7	22.7	
6	12.3	0.7	236.3	7.2	88.6	217.7	6.7	81.6	198.0	6.1	74.2	167.2	5.1	62.7	142.9	4.4	53.5	110.6	3.4	41.4	41.4	
7	10.8	0.7	367.2	11.2	120.8	361.3	11.1	118.9	324.1	9.9	106.6	274.2	8.4	90.2	234.4	7.2	77.1	201.4	6.2	66.2	66.2	
8	9.3	0.7	265.1	8.1	75.0	271.1	8.3	76.7	265.8	8.1	75.2	242.7	7.4	68.7	207.0	6.3	58.6	171.1	5.2	48.4	48.4	
9	7.8	0.7	125.7	3.8	29.8	128.7	3.9	30.5	142.5	4.4	33.8	152.1	4.7	36.0	106.4	3.3	25.2	103.1	3.1	24.4	24.4	
10	6.3	0.7	151.0	4.6	28.9	156.5	4.8	29.9	185.2	5.7	35.4	206.6	6.3	39.5	204.2	6.2	39.0	215.6	6.6	41.2	41.2	
11	4.8	0.7	279.6	8.6	40.6	327.2	10.0	47.6	386.3	11.8	56.2	420.3	12.9	61.1	460.0	14.1	66.9	467.5	14.3	68.0	68.0	
12	3.3	0.7	221.4	6.8	22.0	255.6	7.8	25.4	288.4	8.8	28.7	310.7	9.5	30.9	363.1	11.1	36.1	375.8	11.5	37.4	37.4	
13	1.8	1.0	213.8	6.5	11.4	248.3	7.6	13.3	286.1	8.8	15.3	320.2	9.8	17.1	390.2	11.9	20.9	465.5	14.2	24.9	24.9	
14	0.3	1.0	104.1	3.2	0.8	138.8	4.2	1.1	182.6	5.6	1.4	222.1	6.8	1.7	281.9	8.6	2.2	337.3	10.3	2.6	2.6	
รวม				84.5	828.5		83.4	742.2		83.6	666.5		81.4	581.5		80.6	502.0		79.9	436.7		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.8			8.9			8.0			7.1			6.2			5.5			
ตำแหน่งของแรง N จากการค้าจำนวน				10.0			9.2			8.3			7.5			6.6			5.8			
% ค่าความแตกต่าง				2			3			4			4			6			6			

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคัน(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคัน(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคันที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

65

ตาราง 17 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษทรายหยาบ แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 31.3.....cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ					
แผ่นคั่น	R _j	F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N		N _j = N _{j,u} = $\left(\frac{F_j}{2\mu}\right) - \left(\frac{m_j g}{2}\right)$		R จากการคำนวณ = $\frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$	R จากการทดลอง = $\frac{\sum_{j=1}^n (k_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$				
j	m _j (cm)	m (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m (g)	N _j (N)						
1	19.8	0.7	147.1	4.5	88.8	126.7	3.9	76.5	84.3	2.6	50.8	59.0	1.8	35.5	38.9	1.2	23.4	59.6	1.8	35.9	
2	18.3	0.7	120.4	3.7	67.2	105.6	3.2	58.9	78.3	2.4	43.7	67.3	2.1	37.5	49.1	1.5	27.3	45.7	1.4	25.4	
3	16.8	0.7	146.4	4.5	75.0	133.7	4.1	68.5	104.5	3.2	53.5	80.2	2.5	41.0	60.9	1.9	31.1	44.7	1.4	22.8	
4	15.3	0.6	144.0	4.4	67.1	103.1	3.2	48.1	66.1	2.0	30.8	49.1	1.5	22.8	33.9	1.0	15.7	23.4	0.7	10.8	
5	13.8	0.7	162.9	5.0	68.5	137.2	4.2	57.7	110.8	3.4	46.6	87.5	2.7	36.7	69.2	2.1	29.0	60.2	1.8	25.3	
6	12.3	0.7	255.9	7.8	95.9	216.8	6.6	81.2	204.1	6.2	76.5	170.7	5.2	64.0	134.6	4.1	50.4	119.2	3.6	44.6	
7	10.8	0.7	346.6	10.6	114.0	344.6	10.5	113.4	329.9	10.1	108.5	281.0	8.6	92.4	224.0	6.9	73.7	194.0	5.9	63.8	
8	9.3	0.7	292.8	9.0	82.9	282.2	8.6	79.9	253.7	7.8	71.8	233.5	7.1	66.1	201.4	6.2	57.0	180.2	5.5	51.0	
9	7.8	0.7	151.9	4.6	36.0	151.9	4.6	36.0	158.2	4.8	37.5	147.0	4.5	34.8	140.2	4.3	33.2	121.8	3.7	28.9	
10	6.3	0.7	216.7	6.6	41.4	221.1	6.8	42.3	227.1	6.9	43.4	234.0	7.2	44.7	217.8	6.7	41.6	226.3	6.9	43.3	
11	4.8	0.7	254.2	7.8	36.9	312.0	9.5	45.4	352.2	10.8	51.2	399.6	12.2	58.1	444.9	13.6	64.7	475.9	14.6	69.2	
12	3.3	0.7	241.2	7.4	24.0	252.4	7.7	25.1	294.9	9.0	29.3	324.8	9.9	32.3	368.9	11.3	36.7	403.9	12.4	40.2	
13	1.8	1.0	234.3	7.2	12.5	265.3	8.1	14.2	308.4	9.4	16.5	358.6	11.0	19.2	417.4	12.8	22.4	485.0	14.8	26.0	
14	0.3	1.0	98.4	3.0	0.8	142.9	4.4	1.1	166.7	5.1	1.3	213.4	6.5	1.6	280.9	8.6	2.1	351.1	10.7	2.7	
รวม			86.0	811.1		85.5	748.1		83.8	661.4		82.8	587.0		82.0	508.4		85.4	489.8		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.4			8.7		7.9		7.1		6.2							5.7	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0			9.2		8.3		7.5		6.6							5.8	
% ค่าความแตกต่าง				6			4		5		5		7							1	

66

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง(g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 18 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษห่อโฟมได้ปัดเรียบ แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N								
j	m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)				
1	19.8	1.1	207.4	4.4	87.1	140.9	3.0	59.1	102.4	2.2	42.9	64.5	1.4	26.9	27.8	0.6	11.5	11.0	0.2	4.4
2	18.3	1.2	132.3	2.8	51.2	99.5	2.1	38.5	59.1	1.2	22.8	36.6	0.8	14.0	21.5	0.4	8.1	5.5	0.1	1.9
3	16.8	1.1	332.2	7.1	118.4	298.5	6.3	106.3	231.0	4.9	82.2	168.2	3.6	59.8	121.9	2.6	43.3	75.8	1.6	26.9
4	15.3	1.2	115.6	2.5	37.4	96.1	2.0	31.1	73.6	1.6	23.7	55.5	1.2	17.9	33.8	0.7	10.8	20.2	0.4	6.4
5	13.8	1.1	130.9	2.8	38.2	110.7	2.3	32.3	85.4	1.8	24.9	65.8	1.4	19.1	39.8	0.8	11.5	23.6	0.5	6.7
6	12.3	1.1	179.8	3.8	46.8	194.5	4.1	50.6	124.9	2.7	32.5	105.3	2.2	27.3	76.6	1.6	19.9	49.5	1.0	12.8
7	10.8	1.1	230.8	4.9	52.7	234.5	5.0	53.6	213.9	4.5	48.9	108.5	2.3	24.7	152.3	3.2	34.8	98.2	2.1	22.4
8	9.3	1.1	82.0	1.7	16.0	76.8	1.6	15.0	77.7	1.6	15.2	72.8	1.5	14.2	59.2	1.3	11.6	43.8	0.9	8.5
9	7.8	1.1	183.1	3.9	30.1	191.3	4.1	31.5	205.4	4.4	33.8	185.6	3.9	30.6	188.9	4.0	31.1	160.9	3.4	26.5
10	6.3	1.1	244.7	5.2	32.5	240.1	5.1	31.9	247.1	5.3	32.8	284.3	6.0	37.8	279.9	6.0	37.2	265.9	5.7	35.3
11	4.8	1.2	134.8	2.9	13.6	159.7	3.4	16.1	175.8	3.7	17.7	181.7	3.9	18.3	205.3	4.4	20.7	207.1	4.4	20.9
12	3.3	1.2	167.6	3.6	11.6	207.6	4.4	14.3	208.6	4.4	14.4	239.8	5.1	16.6	256.6	5.5	17.7	280.2	6.0	19.4
13	1.8	1.5	271.7	5.8	10.1	304.0	6.5	11.3	392.7	8.4	14.6	448.1	9.5	16.7	538.5	11.5	20.1	623.8	13.3	23.2
14	0.3	1.6	313.7	6.7	1.7	395.3	8.4	2.1	472.2	10.0	2.5	585.3	12.5	3.1	719.4	15.3	3.8	888.0	18.9	4.7
รวม			57.9	547.3		58.4	493.7		56.7	408.9		55.3	327.1		57.8	282.1		58.5	220.0	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.4			8.5			7.2			5.9			4.9			3.8		
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			8.8			7.7			6.5			5.3			4.2		
% ค่าความแตกต่าง			6			4			6			9			8			10		

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_{j,N_j})}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

F_j = mg

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

w แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 19 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ได้บันทึกแรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่...2...

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																							
แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N			
j	m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)
1	19.8	1.1	180.9	3.8	75.9	133.4	2.8	55.9	100.6	2.1	42.1	48.8	1.0	20.3	20.3	0.4	8.3	11.1	0.2	4.4					
2	18.3	1.2	138.7	2.9	53.7	100.4	2.1	38.8	63.8	1.3	24.6	35.2	0.7	13.5	17.5	0.4	6.6	6.0	0.1	2.1					
3	16.8	1.1	419.8	8.9	149.6	371.8	7.9	132.5	283.2	6.0	100.9	210.0	4.5	74.8	131.8	2.8	46.8	58.8	1.2	20.8					
4	15.3	1.2	190.7	4.0	61.8	129.5	2.7	41.9	99.5	2.1	32.2	67.3	1.4	21.7	40.3	0.8	12.9	17.9	0.4	5.6					
5	13.8	1.1	145.3	3.1	42.4	145.0	3.1	42.3	112.5	2.4	32.8	78.6	1.7	22.9	56.5	1.2	16.4	32.3	0.7	9.3					
6	12.3	1.1	225.8	4.8	58.8	202.1	4.3	52.6	219.4	4.7	57.1	129.4	2.7	33.6	101.0	2.1	26.2	49.6	1.0	12.8					
7	10.8	1.1	276.5	5.9	63.2	291.6	6.2	66.7	250.7	5.3	57.3	230.8	4.9	52.7	148.4	3.2	33.9	130.2	2.8	29.7					
8	9.3	1.1	105.5	2.2	20.7	137.4	2.9	27.0	141.9	3.0	27.9	96.2	2.0	18.9	92.5	2.0	18.1	52.5	1.1	10.2					
9	7.8	1.1	266.9	5.7	44.0	214.0	4.5	35.2	289.6	6.2	47.7	309.6	6.6	51.0	204.7	4.4	33.7	179.1	3.8	29.5					
10	6.3	1.1	273.2	5.8	36.3	274.7	5.8	36.5	341.4	7.3	45.4	368.3	7.8	49.0	213.1	4.5	28.3	281.5	6.0	37.4					
11	4.8	1.2	175.4	3.7	17.7	186.4	4.0	18.8	204.6	4.3	20.6	202.9	4.3	20.5	303.5	6.5	30.7	217.9	4.6	22.0					
12	3.3	1.2	205.5	4.4	14.2	234.7	5.0	16.2	269.1	5.7	18.6	316.9	6.7	21.9	216.6	4.6	15.0	323.2	6.9	22.3					
13	1.8	1.5	383.6	8.2	14.3	420.7	8.9	15.7	497.3	10.6	18.5	568.0	12.1	21.2	578.0	12.3	21.5	689.1	14.7	25.7					
14	0.3	1.6	370.4	7.9	2.0	392.4	8.3	2.1	502.6	10.7	2.7	556.8	11.8	3.0	678.8	14.4	3.6	852.3	18.1	4.5					
รวม			71.4	654.5		68.7	582.2		71.8	528.4		68.4	424.8		59.6	302.1		61.6	236.5						
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.2			8.5			7.4			6.2			5.1			3.8						
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0			8.8			7.7			6.5			5.3			4.2						
% ค่าความแตกต่าง				8			4			4			4			5			8						

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

w แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 20 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ได้บอร์ด แรงภายนอก (F) ดึงวัตถุที่ความสูง ...h = 43.47.... cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ	
แผ่นคั่น j	แผ่นคั่น m _j (g)	F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N		
	(cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)
1	19.8	1.1	197.8	4.2	83.0	124.3	2.6	52.1	77.5	32.4	34.5	0.7	14.3	17.4	0.4	7.1	7.6	0.2	3.0
2	18.3	1.2	122.1	2.6	47.2	107.2	2.3	41.5	57.5	22.1	24.6	0.5	9.4	13.6	0.3	5.1	6.9	0.1	2.5
3	16.8	1.1	437.7	9.3	156.0	376.9	8.0	134.3	298.6	6.4	106.4	192.7	4.1	68.6	102.5	2.2	36.4	44.6	0.9
4	15.3	1.2	185.3	3.9	60.0	168.5	3.6	54.6	102.7	2.2	33.2	76.9	1.6	24.8	49.6	1.0	15.9	23.5	0.5
5	13.8	1.1	180.1	3.8	52.6	165.6	3.5	48.4	121.0	2.6	35.3	82.5	1.7	24.0	50.1	1.1	14.5	25.4	0.5
6	12.3	1.1	279.2	5.9	72.7	266.4	5.7	69.4	242.3	5.2	63.1	137.2	2.9	35.7	86.9	1.8	22.5	54.0	1.1
7	10.8	1.1	279.1	5.9	63.8	300.7	6.4	68.8	261.1	5.6	59.7	172.1	3.7	39.3	139.7	3.0	31.9	99.3	2.1
8	9.3	1.1	123.0	2.6	24.1	91.7	1.9	18.0	115.2	2.4	22.6	121.8	2.6	23.9	69.3	1.5	13.5	51.1	1.1
9	7.8	1.1	266.1	5.7	43.8	295.0	6.3	48.6	255.5	5.4	42.1	282.6	6.0	46.6	216.6	4.6	35.7	182.7	3.9
10	6.3	1.1	330.7	7.0	44.0	336.1	7.1	44.7	372.9	7.9	49.6	377.3	8.0	50.2	308.2	6.6	41.0	277.3	5.9
11	4.8	1.2	161.6	3.4	16.3	166.9	3.5	16.8	194.7	4.1	19.7	200.3	4.3	20.2	206.5	4.4	20.8	216.5	4.6
12	3.3	1.2	212.0	4.5	14.6	264.1	5.6	18.2	289.2	6.2	20.0	292.4	6.2	20.2	303.9	6.5	21.0	329.5	7.0
13	1.8	1.5	367.6	7.8	13.7	397.7	8.5	14.8	448.6	9.5	16.7	454.4	9.7	16.9	550.9	11.7	20.5	623.2	13.3
14	0.3	1.6	393.5	8.4	2.1	425.8	9.1	2.3	495.7	10.5	2.6	554.0	11.8	2.9	674.6	14.4	3.6	886.3	18.9
รวม			75.2	694.0		74.1	632.4		70.8	525.4		63.8	397.0		59.3	289.6		60.1	222.0
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.2			8.5			7.4			6.2			4.9				3.7
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			8.8			7.7			6.5			5.3				4.2
% ค่าความแตกต่าง			8			3			3			4			8				11

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_{j,N_j})}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

69

ตาราง 21 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการหาผลจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษไฟเบอร์รี แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่...4..

ลำดับที่ R _j		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ		
แผ่นดิน	มวล	แผ่นดิน		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N						
j	m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	N _j (N)	N _j (N)			
1	19.8	1.1	158.9	3.4	66.7	148.8	3.2	62.4	93.0	2.0	38.9	56.1	1.2	23.4	23.3	0.5	9.6	13.3	0.3	5.4
2	18.3	1.2	116.2	2.5	45.0	87.8	1.9	33.9	58.7	1.2	22.6	36.3	0.8	13.9	13.3	0.3	5.0	1.5	0.0	0.4
3	16.8	1.1	344.4	7.3	122.7	324.2	6.9	115.5	277.1	5.9	98.7	193.8	4.1	69.0	116.1	2.5	41.2	63.2	1.3	22.4
4	15.3	1.2	131.9	2.8	42.7	131.9	2.8	42.7	86.7	1.8	28.0	66.5	1.4	21.4	43.9	0.9	14.1	31.1	0.7	9.9
5	13.8	1.1	148.4	3.2	43.3	114.5	2.4	33.4	88.6	1.9	25.8	82.6	1.7	24.0	60.0	1.3	17.4	31.2	0.7	9.0
6	12.3	1.1	210.0	4.5	54.7	203.6	4.3	53.0	194.0	4.1	50.5	68.8	1.5	17.8	100.7	2.1	26.1	58.9	1.2	15.2
7	10.8	1.1	243.7	5.2	55.7	253.4	5.4	57.9	205.1	4.4	46.9	124.7	2.6	28.5	151.6	3.2	34.6	102.8	2.2	23.4
8	9.3	1.1	109.6	2.3	21.5	98.4	2.1	19.3	106.8	2.3	21.0	119.4	2.5	23.4	58.6	1.2	11.4	42.0	0.9	8.2
9	7.8	1.1	245.9	5.2	40.5	247.0	5.3	40.7	256.9	5.5	42.3	197.8	4.2	32.6	215.6	4.6	35.5	176.0	3.7	29.0
10	6.3	1.1	237.8	5.1	31.6	264.0	5.6	35.1	303.9	6.5	40.4	71.2	1.5	9.4	280.6	6.0	37.3	257.1	5.5	34.2
11	4.8	1.2	132.4	2.8	13.3	169.2	3.6	17.1	167.4	3.6	16.9	227.1	4.8	22.9	186.0	4.0	18.8	193.3	4.1	19.5
12	3.3	1.2	160.1	3.4	11.1	217.1	4.6	15.0	239.5	5.1	16.5	262.8	5.6	18.2	275.0	5.8	19.0	300.7	6.4	20.8
13	1.8	1.5	275.5	5.9	10.2	293.4	6.2	10.9	370.5	7.9	13.8	474.2	10.1	17.7	538.6	11.5	20.1	617.3	13.1	23.0
14	0.3	1.6	360.6	7.7	1.9	425.1	9.0	2.3	481.2	10.2	2.6	570.2	12.1	3.0	685.1	14.6	3.6	817.3	17.4	4.3
รวม			61.1	560.9		63.3	539.1		62.2	464.8		54.2	325.2		58.4	293.8		57.5	224.6	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.2		8.5		7.5		6.0		5.0		3.9							
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		8.8		7.7		6.5		5.3		4.2							
% ค่าความแตกต่าง			8		4		3		8		6		6							

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = m_j g$$

m_j แทน มวลแผ่นดิน(g)

m แทน มวลถัง(g)

W แทน น้ำหนักถังและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจากของแผ่นดินที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

70

ตาราง 22 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอมูลวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษโฟโต้บอร์ด แรงภายนอก (F) คือวัตถุที่ความสูง ...h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่ แผ่นคั่น	R _j มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																							
		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N			
j		m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)		
1	19.8	1.1	193.0	4.1	81.0	125.3	2.7	52.5	71.6	1.5	29.9	58.9	1.2	24.5	30.0	0.6	12.4	8.4	0.2	3.3					
2	18.3	1.2	134.4	2.9	52.0	105.0	2.2	40.6	57.6	1.2	22.2	36.7	0.8	14.0	11.4	0.2	4.2	8.2	0.2	3.0					
3	16.8	1.1	394.6	8.4	140.6	364.4	7.8	129.8	245.1	5.2	87.3	188.6	4.0	67.1	113.8	2.4	40.4	66.2	1.4	23.4					
4	15.3	1.2	170.9	3.6	55.4	150.8	3.2	48.8	86.5	1.8	27.9	82.4	1.7	26.6	46.1	1.0	14.8	23.9	0.5	7.6					
5	13.8	1.1	156.4	3.3	45.6	164.5	3.5	48.0	105.4	2.2	30.7	76.3	1.6	22.2	62.0	1.3	18.0	40.9	0.9	11.8					
6	12.3	1.1	250.3	5.3	65.2	236.6	5.0	61.6	161.2	3.4	41.9	136.3	2.9	35.4	95.7	2.0	24.8	60.0	1.3	15.5					
7	10.8	1.1	273.9	5.8	62.6	257.8	5.5	58.9	210.7	4.5	48.1	195.4	4.2	44.6	139.5	3.0	31.8	110.8	2.3	25.3					
8	9.3	1.1	133.9	2.8	26.3	114.1	2.4	22.4	89.1	1.9	17.5	94.6	2.0	18.5	71.7	1.5	14.0	53.2	1.1	10.4					
9	7.8	1.1	266.5	5.7	43.9	259.9	5.5	42.8	225.2	4.8	37.1	220.9	4.7	36.4	198.6	4.2	32.7	176.1	3.7	29.0					
10	6.3	1.1	303.9	6.5	40.4	298.9	6.4	39.7	261.6	5.6	34.8	280.6	6.0	37.3	268.6	5.7	35.7	248.9	5.3	33.1					
11	4.8	1.2	139.7	3.0	14.1	157.9	3.4	15.9	169.5	3.6	17.1	185.3	3.9	18.7	187.6	4.0	18.9	194.8	4.1	19.7					
12	3.3	1.2	210.0	4.5	14.5	198.3	4.2	13.7	221.3	4.7	15.3	225.9	4.8	15.6	248.0	5.3	17.1	263.8	5.6	18.2					
13	1.8	1.5	308.5	6.6	11.5	284.7	6.0	10.6	354.4	7.5	13.2	424.2	9.0	15.8	504.7	10.7	18.8	568.3	12.1	21.2					
14	0.3	1.6	332.1	7.1	1.8	389.3	8.3	2.1	473.6	10.1	2.5	600.6	12.8	3.2	734.5	15.6	3.9	910.8	19.4	4.8					
รวม			69.5	654.9		66.0	587.6		58.1	425.4		59.6	380.0		57.6	287.7		58.1	226.2						
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.4			8.9		7.3		6.4		5.0		3.9											
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			8.8		7.7		6.5		5.3		4.2											
% ค่าความแตกต่าง			6			-1		4		2		6		7											

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง(g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเตา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 23 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษไฟฟ้าไดร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7....cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่	R _j	มวล	ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ
			แผ่นดิน		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9N		F = 7.8 N		F = 9.8 N						
j		m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)				
1	19.8	1.1	213.5	4.5	89.6	208.1	4.4	87.3	182.1	3.9	76.4	153.4	3.3	64.3	116.0	2.5	48.6	78.6	1.7	32.9	
2	18.3	1.2	150.0	3.2	58.1	140.1	3.0	54.3	117.7	2.5	45.6	99.2	2.1	38.3	76.8	1.6	29.6	60.5	1.3	23.3	
3	16.8	1.1	350.3	7.5	124.8	326.2	6.9	116.2	300.6	6.4	107.1	283.8	6.0	101.1	261.7	5.6	93.2	198.1	4.2	70.5	
4	15.3	1.2	145.7	3.1	47.2	136.0	2.9	44.0	124.3	2.6	40.2	115.0	2.4	37.2	83.0	1.8	26.8	72.3	1.5	23.3	
5	13.8	1.1	150.1	3.2	43.8	142.4	3.0	41.5	144.9	3.1	42.3	136.8	2.9	39.9	111.6	2.4	32.5	100.5	2.1	29.3	
6	12.3	1.1	224.9	4.8	58.6	221.5	4.7	57.7	219.0	4.7	57.0	190.6	4.0	49.6	183.3	3.9	47.7	148.5	3.2	38.6	
7	10.8	1.1	269.9	5.7	61.7	270.5	5.8	61.8	264.6	5.6	60.5	263.8	5.6	60.3	242.1	5.1	55.3	220.6	4.7	50.4	
8	9.3	1.1	114.9	2.4	22.5	106.5	2.3	20.9	106.6	2.3	20.9	98.0	2.1	19.2	100.0	2.1	19.6	102.0	2.2	20.0	
9	7.8	1.1	251.1	5.3	41.4	230.3	4.9	37.9	241.3	5.1	39.8	247.3	5.3	40.7	232.4	4.9	38.3	221.0	4.7	36.4	
10	6.3	1.1	271.6	5.8	36.1	246.0	5.2	32.7	259.7	5.5	34.5	270.9	5.8	36.0	288.8	6.1	38.4	286.3	6.1	38.1	
11	4.8	1.2	164.8	3.5	16.6	169.5	3.6	17.1	171.4	3.6	17.3	190.0	4.0	19.2	176.8	3.8	17.8	186.4	4.0	18.8	
12	3.3	1.2	168.6	3.6	11.6	185.0	3.9	12.8	194.2	4.1	13.4	225.3	4.8	15.6	227.4	4.8	15.7	246.2	5.2	17.0	
13	1.8	1.5	279.8	5.9	10.4	306.1	6.5	11.4	352.5	7.5	13.1	382.0	8.1	14.2	429.2	9.1	16.0	477.0	10.1	17.8	
14	0.3	1.6	362.5	7.7	1.9	397.7	8.5	2.1	423.7	9.0	2.3	482.9	10.3	2.6	488.8	10.4	2.6	506.5	10.8	2.7	
รวม			66.3	624.4		65.6	597.8		65.9	570.3		66.7	538.2		64.1	482.2		61.7	419.0		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.4			9.1		8.6		8.1		7.5		6.8							
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			9.4		8.8		8.3		7.7		7.1							
% ค่าความแตกต่าง			6			3		2		2		2		4							

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_{j,N_j})}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นดิน(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นดินที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 24 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากข้อวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นค้ำที่ทำจากกระดาษโฟโต้บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7 cm ทดลองครั้งที่...2..

ลำดับที่	R _j	มวล	ขนาดของแรงดึงแผ่นค้ำ																		F= 9.8 N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			F= 0 N						F= 2.0 N			F= 3.9 N			F= 5.9 N			F= 7.8 N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
แผ่นค้ำ	แผ่นค้ำ	m _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

F_j = mg
 m_j แทน มวลแผ่นค้ำ(g)
 m แทน มวลถ่วง(g)
 W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
 F_j แทน แรงดึงแผ่นค้ำ(N)
 N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
 ของแผ่นค้ำที่ j (N)
 R_j แทน ระยะห่างของแรง
 ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 25 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ได้บอร์ค แรงภายนอก (F) ดังวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7.... cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่		R _j	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ	
แผ่นคั่น		แผ่นคั่น	F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N				
j	m _j	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R			
(cm)	(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)			
1	19.8	1.1	173.7	3.7	72.9	169.2	3.6	71.0	140.6	3.0	59.0	128.8	2.7	54.0	91.9	1.9	38.4	77.0	1.6	32.2	R _{จากการคำนวณ} = $\frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$	
2	18.3	1.2	117.3	2.5	45.4	104.1	2.2	40.3	92.7	2.0	35.8	74.0	1.6	28.5	66.0	1.4	25.4	53.0	1.1	20.4	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$	
3	16.8	1.1	360.5	7.7	128.5	322.8	6.9	115.0	289.1	6.1	103.0	253.7	5.4	90.3	234.2	5.0	83.4	186.1	4.0	66.2	$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$	
4	15.3	1.2	131.5	2.8	42.5	130.6	2.8	42.2	106.8	2.3	34.5	93.1	2.0	30.1	79.1	1.7	25.5	68.7	1.5	22.1		
5	13.8	1.1	121.8	2.6	35.5	116.5	2.5	34.0	106.5	2.3	31.0	100.5	2.1	29.3	92.2	2.0	26.9	80.5	1.7	23.4		
6	12.3	1.1	201.4	4.3	52.4	190.8	4.1	49.6	176.2	3.7	45.8	170.0	3.6	44.2	156.1	3.3	40.6	139.5	3.0	36.3		
7	10.8	1.1	222.5	4.7	50.8	225.2	4.8	51.5	214.8	4.6	49.1	211.5	4.5	48.3	204.0	4.3	46.6	185.0	3.9	42.3		
8	9.3	1.1	94.2	2.0	18.5	95.3	2.0	18.7	95.5	2.0	18.7	91.2	1.9	17.9	87.4	1.9	17.1	93.1	2.0	18.3	F _j = mg	
9	7.8	1.1	217.1	4.6	35.8	214.7	4.6	35.4	213.9	4.5	35.2	220.7	4.7	36.4	212.7	4.5	35.0	217.2	4.6	35.8	η แทน มวลแผ่นคั่น(g)	
10	6.3	1.1	222.8	4.7	29.6	229.8	4.9	30.5	236.8	5.0	31.5	250.3	5.3	33.3	258.3	5.5	34.3	274.2	5.8	36.4	m แทน มวลถ่วง(g)	
11	4.8	1.2	182.8	3.9	18.4	143.1	3.0	14.4	154.4	3.3	15.6	160.5	3.4	16.2	169.2	3.6	17.1	182.6	3.9	18.4	w แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)	
12	3.3	1.2	263.0	5.6	18.2	181.9	3.9	12.6	195.1	4.1	13.5	207.6	4.4	14.3	216.4	4.6	14.9	236.4	5.0	16.3	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)	
13	1.8	1.5	243.0	5.2	9.0	275.7	5.9	10.3	317.2	6.7	11.8	341.6	7.3	12.7	364.8	7.8	13.6	440.6	9.4	16.4	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก	
14	0.3	1.6	313.6	6.7	1.7	342.6	7.3	1.8	373.7	7.9	2.0	423.4	9.0	2.3	373.1	7.9	2.0	532.5	11.3	2.8	ของแผ่นคั่นที่ j (N)	
รวม			60.9	559.2		58.3	527.2		57.6	486.5		57.9	457.8		55.3	420.9		58.8	387.4			R _j แทน ระยะห่างของแรง
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.2		9.0		8.4		7.9		7.6		7.1		6.6						ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1		6.6						
% ค่าความแตกต่าง				8		4		4		4		1		7								

74

ตาราง 26 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7....cm ทดลองครั้งที่...4...

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ				
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N								
j	m _j	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R					
(cm)	(g)	(g)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)					
1	19.8	1.1	212.9	4.5	89.4	144.6	3.1	60.6	127.3	2.7	53.4	105.4	2.2	44.1	81.3	1.7	34.0	68.8	1.5	28.7
2	18.3	1.2	147.7	3.1	57.2	122.3	2.6	47.3	101.4	2.1	39.2	85.5	1.8	33.0	67.5	1.4	26.0	56.5	1.2	21.7
3	16.8	1.1	358.9	7.6	127.9	344.4	7.3	122.7	268.2	5.7	95.5	248.8	5.3	88.6	206.3	4.4	73.4	177.5	3.8	63.2
4	15.3	1.2	147.7	3.1	47.8	139.7	3.0	45.2	116.8	2.5	37.8	91.2	1.9	29.4	86.7	1.8	28.0	66.8	1.4	21.5
5	13.8	1.1	131.9	2.8	38.5	153.0	3.2	44.7	116.3	2.5	33.9	114.5	2.4	33.4	91.0	1.9	26.5	86.1	1.8	25.1
6	12.3	1.1	225.6	4.8	58.8	236.6	5.0	61.6	198.3	4.2	51.6	204.9	4.4	53.3	160.7	3.4	41.8	145.0	3.1	37.7
7	10.8	1.1	247.3	5.3	56.5	260.3	5.5	59.5	265.2	5.6	60.6	262.1	5.6	59.9	216.9	4.6	49.6	204.2	4.3	46.7
8	9.3	1.1	115.8	2.5	22.7	140.4	3.0	27.6	102.0	2.2	20.0	114.9	2.4	22.5	87.6	1.9	17.2	88.2	1.9	17.3
9	7.8	1.1	242.1	5.1	39.9	277.7	5.9	45.8	257.9	5.5	42.5	252.9	5.4	41.7	225.4	4.8	37.1	232.2	4.9	38.3
10	6.3	1.1	277.6	5.9	36.9	291.7	6.2	38.8	299.5	6.4	39.8	330.2	7.0	43.9	292.6	6.2	38.9	297.9	6.3	39.6
11	4.8	1.2	133.8	2.8	13.5	170.7	3.6	17.2	194.8	4.1	19.7	188.6	4.0	19.0	186.6	4.0	18.8	195.1	4.1	19.7
12	3.3	1.2	204.8	4.4	14.1	233.1	5.0	16.1	237.0	5.0	16.4	240.5	5.1	16.6	238.1	5.1	16.5	249.3	5.3	17.2
13	1.8	1.5	333.3	7.1	12.4	327.1	7.0	12.2	353.1	7.5	13.1	345.1	7.3	12.8	369.6	7.9	13.8	421.3	9.0	15.7
14	0.3	1.6	337.7	7.2	1.8	294.7	6.3	1.6	305.4	6.5	1.6	354.1	7.5	1.9	398.4	8.5	2.1	469.5	10.0	2.5
รวม		66.2		617.3	66.7		600.8	62.5		525.1	62.4		500.3	57.5		423.7	58.6		394.8	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.3		9.0		8.4		8.0		7.4		6.7								
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1								
% ค่าความแตกต่าง		7		4		5		3		4		5								

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_{j,N_j})}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

75

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{จากการคำนวณ} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$

$$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = m_j g$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง(g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 27 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟิโอบอร์ดี แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7.... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ									
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N				$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu}\right) - \left(\frac{m_j g}{2}\right)$	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$								
j	R _j (cm)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)	m _j (g)	N _j (N)										
1	19.8	1.1	185.1	3.9	77.7	167.8	3.6	70.4	161.0	3.4	67.5	131.6	2.8	55.1	107.9	2.3	45.2	81.5	1.7	34.1					
2	18.3	1.2	135.4	2.9	52.4	120.2	2.5	46.5	104.5	2.2	40.4	87.1	1.8	33.6	71.3	1.5	27.5	54.5	1.1	21.0					
3	16.8	1.1	305.6	6.5	108.9	268.8	5.7	95.7	250.5	5.3	89.2	227.9	4.8	81.2	200.5	4.3	71.4	176.8	3.8	62.9					
4	15.3	1.2	120.1	2.5	38.8	112.9	2.4	36.5	101.2	2.1	32.7	92.3	2.0	29.8	83.8	1.8	27.0	66.6	1.4	21.5					
5	13.8	1.1	128.8	2.7	37.6	132.5	2.8	38.7	118.5	2.5	34.6	107.3	2.3	31.3	102.9	2.2	30.0	85.1	1.8	24.8					
6	12.3	1.1	195.3	4.1	50.8	183.8	3.9	47.8	167.9	3.6	43.7	156.9	3.3	40.8	139.5	3.0	36.3	127.8	2.7	33.2					
7	10.8	1.1	242.2	5.1	55.3	232.0	4.9	53.0	224.8	4.8	51.4	218.2	4.6	49.9	213.4	4.5	48.8	208.5	4.4	47.6					
8	9.3	1.1	89.1	1.9	17.5	87.1	1.8	17.1	89.3	1.9	17.5	87.8	1.9	17.2	86.1	1.8	16.9	77.0	1.6	15.1					
9	7.8	1.1	185.6	3.9	30.6	197.2	4.2	32.5	194.0	4.1	31.9	203.2	4.3	33.5	208.1	4.4	34.3	200.3	4.3	33.0					
10	6.3	1.1	218.7	4.6	29.1	237.9	5.1	31.6	231.6	4.9	30.8	251.4	5.3	33.4	254.1	5.4	33.8	254.5	5.4	33.8					
11	4.8	1.2	144.9	3.1	14.6	143.2	3.0	14.4	156.4	3.3	15.8	155.9	3.3	15.7	165.3	3.5	16.7	170.6	3.6	17.2					
12	3.3	1.2	146.5	3.1	10.1	165.2	3.5	11.4	176.1	3.7	12.2	193.9	4.1	13.4	207.9	4.4	14.4	221.5	4.7	15.3					
13	1.8	1.5	222.3	4.7	8.3	266.8	5.7	9.9	297.4	6.3	11.1	317.9	6.8	11.8	371.4	7.9	13.8	389.7	8.3	14.5					
14	0.3	1.6	319.3	6.8	1.7	382.6	8.1	2.0	408.8	8.7	2.2	456.8	9.7	2.4	510.8	10.9	2.7	595.6	12.7	3.2					
รวม		56.1		533.3		57.3		507.5		57.0		480.8		57.1		449.1		57.8		418.6		57.6		377.1	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.5		8.9				8.4				7.9		7.2				6.6					
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		9.4				8.8				8.3		7.7				7.1					
% ค่าความแตกต่าง				5		6				4				5		6				7					

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ้วย(g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)}$$

76

ตาราง 28 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากข้อวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่น แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...1...

ลำดับที่	R _j	มวลแผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N											
			F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N		
j	m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)
1	19.8	0.7	219.5	6.7	132.6	220.6	6.7	133.3	239.2	7.3	144.6	277.9	8.5	167.9
2	18.3	0.7	127.4	3.9	71.1	128.1	3.9	71.5	113.7	3.5	63.4	97.0	3.0	54.1
3	16.8	0.7	156.9	4.8	80.3	156.2	4.8	80.0	172.4	5.3	88.3	183.3	5.6	93.9
4	15.3	0.6	161.4	4.9	75.3	152.3	4.7	71.0	133.5	4.1	62.2	120.0	3.7	55.9
5	13.8	0.7	194.8	6.0	81.9	178.7	5.5	75.2	175.6	5.4	73.9	173.8	5.3	73.1
6	12.3	0.7	236.9	7.2	88.8	232.6	7.1	87.2	230.8	7.1	86.5	257.1	7.9	96.4
7	10.8	0.7	359.0	11.0	118.1	337.5	10.3	111.0	363.6	11.1	119.6	351.3	10.8	115.6
8	9.3	0.7	274.4	8.4	77.7	245.4	7.5	69.5	256.6	7.9	72.6	260.0	8.0	73.6
9	7.8	0.7	132.1	4.0	31.3	134.0	4.1	31.8	139.3	4.3	33.0	134.1	4.1	31.8
10	6.3	0.7	195.9	6.0	37.5	171.6	5.2	32.8	170.4	5.2	32.6	179.9	5.5	34.4
11	4.8	0.7	266.4	8.2	38.7	267.2	8.2	38.8	266.6	8.2	38.8	290.3	8.9	42.2
12	3.3	0.7	232.6	7.1	23.1	234.7	7.2	23.3	224.2	6.9	22.3	236.2	7.2	23.5
13	1.8	1.0	237.9	7.3	12.7	244.9	7.5	13.1	248.0	7.6	13.3	242.0	7.4	13.0
14	0.3	1.0	130.0	4.0	1.0	124.6	3.8	1.0	134.8	4.1	1.0	141.5	4.3	1.1
รวม			89.5	870.2		86.5	839.5		87.8	852.1		90.1	876.4	
ค่าหนึ่งของแรง N จากการทดลอง			9.7		9.7		9.7		9.7		9.7		9.7	
ค่าหนึ่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0	
% ค่าความแตกต่าง			3		3		3		3		3		2	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = m_j g$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น (g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง (g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น (N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 29 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นสีขาว แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...2...

ลำดับที่	R _j	มวลแผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																							
			F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N													
j	m _j	m _j	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R	m	N _j	N _j R										
(cm)	(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)										
1	19.8	0.7	317.4	9.7	191.8	243.5	7.5	147.2	176.8	5.4	106.8	176.0	5.4	106.3	171.8	5.3	105.1									
2	18.3	0.7	154.7	4.7	86.3	162.8	5.0	90.8	137.4	4.2	76.6	117.1	3.6	65.3	111.9	3.4	62.4									
3	16.8	0.7	178.6	5.5	91.5	201.5	6.2	103.2	227.4	7.0	116.5	201.4	6.2	103.2	191.0	5.8	97.9									
4	15.3	0.6	168.0	5.1	78.3	165.9	5.1	77.4	183.5	5.6	85.6	171.5	5.2	80.0	175.2	5.4	81.7									
5	13.8	0.7	238.6	7.3	100.4	221.1	6.8	93.0	221.1	6.8	93.0	189.1	5.8	79.5	175.5	5.4	73.8									
6	12.3	0.7	269.1	8.2	100.9	301.0	9.2	112.8	313.8	9.6	117.6	283.4	8.7	106.2	288.9	8.8	108.3									
7	10.8	0.7	358.1	11.0	117.8	375.0	11.5	123.4	433.3	13.3	142.6	391.9	12.0	128.9	388.6	11.9	127.8									
8	9.3	0.7	319.1	9.8	90.3	320.0	9.8	90.6	340.6	10.4	96.4	328.6	10.1	93.0	316.3	9.7	89.5									
9	7.8	0.7	155.4	4.8	36.8	167.3	5.1	39.7	203.4	6.2	48.2	173.6	5.3	41.2	140.8	4.3	33.4									
10	6.3	0.7	231.5	7.1	44.3	242.8	7.4	46.4	203.6	6.2	38.9	230.5	7.1	44.1	223.2	6.8	42.7									
11	4.8	0.7	328.0	10.0	47.7	393.7	12.0	57.2	405.3	12.4	58.9	347.6	10.6	50.5	372.1	11.4	54.1									
12	3.3	0.7	21.0	0.6	2.1	304.2	9.3	30.3	297.3	9.1	29.6	249.8	7.6	24.8	247.2	7.6	24.6									
13	1.8	1.0	294.2	9.0	15.7	280.1	8.6	15.0	234.7	7.2	12.6	225.0	6.9	12.0	204.4	6.3	10.9									
14	0.3	1.0	288.5	8.8	2.2	110.4	3.4	0.8	79.3	2.4	0.6	63.7	1.9	0.5	63.4	1.9	0.5									
รวม			101.6		1006.3		106.8		1027.8		105.8		1024.0		96.3		935.7		93.9		911.4		92.0		879.9	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.9		9.6		9.7		9.7		9.7		9.7		9.7		9.7		9.7		9.6		9.9		4	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		4	
% ค่าความแตกต่าง			1		4		3		2		2		2		2		2		2		4		4		4	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Ph}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

F_j = mg

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 30 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการหาผลจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นย่น แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...3.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N													
j	R _j (cm)	F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N		m (g)	N _j R (N)
		m _j (g)	N _j (N)	m _j R (g)	N _j R (N)	m _j R (g)	N _j R (N)	m _j R (g)	N _j R (N)	m _j R (g)	N _j R (N)	m _j R (g)	N _j R (N)		
1	19.8	0.7	169.5	5.2	102.4	201.0	6.1	121.4	216.6	6.6	130.9	230.6	7.1	139.4	230.9
2	18.3	0.7	140.0	4.3	78.1	124.8	3.8	69.6	100.7	3.1	56.2	93.2	2.8	52.0	102.2
3	16.8	0.7	150.8	4.6	77.3	160.0	4.9	82.0	160.0	4.9	82.0	163.9	5.0	84.0	144.7
4	15.3	0.6	180.8	5.5	84.3	158.0	4.8	73.7	144.9	4.4	67.6	138.3	4.2	64.5	125.1
5	13.8	0.7	213.0	6.5	89.6	186.3	5.7	78.4	171.6	5.2	72.2	167.3	5.1	70.4	163.0
6	12.3	0.7	263.1	8.0	98.6	249.4	7.6	93.5	242.7	7.4	91.0	246.0	7.5	92.2	255.0
7	10.8	0.7	373.8	11.4	123.0	360.2	11.0	118.5	350.7	10.7	115.4	348.0	10.7	114.5	360.7
8	9.3	0.7	259.4	7.9	73.4	259.0	7.9	73.3	259.2	7.9	73.4	254.6	7.8	72.1	248.2
9	7.8	0.7	137.4	4.2	32.6	143.2	4.4	33.9	143.4	4.4	34.0	141.8	4.3	33.6	145.2
10	6.3	0.7	220.3	6.7	42.1	162.9	5.0	31.1	163.4	5.0	31.2	1678.0	51.4	321.1	160.1
11	4.8	0.7	293.1	9.0	42.6	294.0	9.0	42.7	301.3	9.2	43.8	298.6	9.1	43.4	327.7
12	3.3	0.7	269.0	8.2	26.8	220.5	6.7	21.9	228.1	7.0	22.7	215.4	6.6	21.4	230.0
13	1.8	1.0	221.8	6.8	11.9	220.9	6.8	11.8	222.6	6.8	11.9	218.6	6.7	11.7	195.4
14	0.3	1.0	140.0	4.3	1.1	117.1	3.6	0.9	126.8	3.9	1.0	107.7	3.3	0.8	100.2
รวม		92.8	883.7	87.4	852.8	86.6	833.0	131.7	1121.0	85.3	828.8	85.8	818.3		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.5		9.8		9.6		8.5		9.7		9.5		
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		
% ค่าความแตกต่าง			5		2		4		14		2		4		

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสาค้ำ (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 31 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...4.

ลำดับที่ แผ่นคั่น	R _j มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N													
		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N			
j	m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j R (N.cm)
1	19.8	0.7	244.6	7.5	147.8	255.1	7.8	154.2	277.4	8.5	167.7	277.1	8.5	167.5	277.5
2	18.3	0.7	116.5	3.6	65.0	112.5	3.4	62.8	87.0	2.7	48.5	91.6	2.8	51.1	106.2
3	16.8	0.7	137.1	4.2	70.2	146.2	4.5	74.9	167.4	5.1	85.8	131.7	4.0	67.4	148.1
4	15.3	0.6	144.7	4.4	67.5	133.9	4.1	62.4	127.8	3.9	59.6	103.0	3.1	48.0	166.5
5	13.8	0.7	202.5	6.2	85.2	146.3	4.5	61.5	149.6	4.6	62.9	117.8	3.6	49.5	118.4
6	12.3	0.7	221.5	6.8	83.0	219.6	6.7	82.3	230.6	7.1	86.4	250.8	7.7	94.0	252.2
7	10.8	0.7	310.2	9.5	102.0	319.6	9.8	105.2	317.9	9.7	104.6	320.9	9.8	105.6	309.8
8	9.3	0.7	257.0	7.9	72.7	260.0	8.0	73.6	246.3	7.5	69.7	262.7	8.0	74.4	292.7
9	7.8	0.7	123.7	3.8	29.3	124.2	3.8	29.4	128.0	3.9	30.3	139.9	4.3	33.1	139.5
10	6.3	0.7	175.7	5.4	33.6	168.9	5.2	32.3	166.1	5.1	31.7	164.9	5.0	31.5	161.6
11	4.8	0.7	284.2	8.7	41.3	276.1	8.4	40.1	286.4	8.8	41.6	301.5	9.2	43.8	295.0
12	3.3	0.7	220.7	6.8	21.9	237.2	7.3	23.6	202.9	6.2	20.2	191.9	5.9	19.1	200.3
13	1.8	1.0	211.9	6.5	11.3	220.7	6.7	11.8	229.8	7.0	12.3	213.1	6.5	11.4	219.2
14	0.3	1.0	130.1	4.0	1.0	140.2	4.3	1.1	131.6	4.0	1.0	147.1	4.5	1.1	155.7
รวม			85.0	831.9		84.4	815.1		84.1	822.3		83.0	797.6		87.0
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.8			9.7		9.8		9.8		9.6		9.8	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			10.0		10.0		10.0		10.0		9.9	
% ค่าความแตกต่าง			2			3		2		2		3		2	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{จากการคำนวณ} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$

$$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

$$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น (g)}$$

$$m \text{ แทน มวลถ่วง (g)}$$

$$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)}$$

$$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น (N)}$$

$$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$$

$$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$$

$$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$$

$$\text{ถึงจุดหมุน (cm)}$$

ตาราง 32 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงตำแหน่งของแนวแรงบนปฏิกริยาแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นขี้ย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่ R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ																															
แผ่นคั่น	แผ่นคั่น	F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N					F = 7.8 N				F = 9.8 N																										
j	m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)																											
1	19.8	0.7	162.3	5.0	98.0	193.3	5.9	116.8	209.3	6.4	126.4	228.5	7.0	138.1	219.8	6.7	132.8	211.8	6.5	127.9																													
2	18.3	0.7	167.2	5.1	93.3	68.3	2.1	38.0	66.1	2.0	36.8	69.2	2.1	38.6	68.9	2.1	38.4	78.0	2.4	43.5																													
3	16.8	0.7	171.5	5.2	87.9	152.4	4.7	78.0	151.0	4.6	77.4	157.3	4.8	80.6	160.8	4.9	82.4	177.8	5.4	91.1																													
4	15.3	0.6	158.7	4.9	74.0	152.1	4.7	71.0	138.3	4.2	64.5	130.5	4.0	60.9	132.6	4.1	61.8	123.0	3.8	57.3																													
5	13.8	0.7	198.5	6.1	83.5	181.5	5.6	76.3	182.6	5.6	76.8	161.4	4.9	67.9	154.0	4.7	64.8	151.0	4.6	63.5																													
6	12.3	0.7	247.0	7.6	92.6	233.1	7.1	87.4	227.6	7.0	85.3	227.0	6.9	85.1	227.2	7.0	85.1	243.8	7.5	91.4																													
7	10.8	0.7	342.2	10.5	112.6	333.6	10.2	109.8	334.2	10.2	109.9	339.7	10.4	111.8	324.8	9.9	106.9	317.3	9.7	104.4																													
8	9.3	0.7	273.3	8.4	77.4	254.3	7.8	72.0	334.1	10.2	94.6	239.2	7.3	67.7	248.3	7.6	70.3	253.5	7.8	71.7																													
9	7.8	0.7	139.6	4.3	33.1	136.2	4.2	32.3	259.6	7.9	61.6	144.5	4.4	34.2	143.0	4.4	33.9	147.3	4.5	34.9																													
10	6.3	0.7	208.9	6.4	40.0	180.7	5.5	34.6	164.5	5.0	31.4	160.9	4.9	30.8	159.7	4.9	30.5	150.6	4.6	28.8																													
11	4.8	0.7	266.1	8.1	38.7	249.2	7.6	36.2	252.4	7.7	36.7	268.5	8.2	39.0	287.1	8.8	41.7	286.9	8.8	41.7																													
12	3.3	0.7	255.6	7.8	25.4	228.3	7.0	22.7	221.2	6.8	22.0	227.6	7.0	22.6	241.3	7.4	24.0	231.7	7.1	23.0																													
13	1.8	1.0	235.4	7.2	12.6	215.6	6.6	11.5	209.2	6.4	11.2	193.9	5.9	10.4	193.7	5.9	10.4	175.9	5.4	9.4																													
14	0.3	1.0	84.1	2.6	0.6	96.5	2.9	0.7	93.0	2.8	0.7	93.6	2.9	0.7	98.9	3.0	0.8	137.7	4.2	1.1																													
รวม		89.0				869.6				81.8				787.3				87.0				835.3				80.8				788.2				81.4				783.7				82.2				789.7			
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.8				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6				9.6							
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0				10.0							
% ค่าความแตกต่าง		2				4				4				4				2				2				3				3				3				3											

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

81

ตาราง 33 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากของวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษไขได้ขี้นอร์ติ แรงภายนอก (F) ดังวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่....1.

ลำดับที่		R _j		มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N															
แผ่นคั่น		แผ่นคั่น		F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N		
j		m _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	
(cm)	(g)	(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	1.1	180.0	3.8	75.5	175.9	3.7	73.8	182.8	3.9	76.7	196.0	4.2	82.3	199.2	4.2	83.6	193.3	4.1	81.1	
2	18.3	1.2	132.9	2.8	51.5	136.7	2.9	52.9	140.3	3.0	54.3	140.1	3.0	54.3	144.3	3.1	55.9	136.7	2.9	52.9	
3	16.8	1.1	380.6	8.1	135.6	366.3	7.8	130.5	357.1	7.6	127.2	347.5	7.4	123.8	343.4	7.3	122.3	344.4	7.3	122.7	
4	15.3	1.2	145.7	3.1	47.1	138.6	2.9	44.8	136.6	2.9	44.2	132.6	2.8	42.9	126.6	2.7	40.9	123.6	2.6	40.0	
5	13.8	1.1	132.5	2.8	38.6	130.9	2.8	38.2	129.8	2.8	37.9	129.9	2.8	37.9	130.5	2.8	38.1	128.2	2.7	37.4	
6	12.3	1.1	216.3	4.6	56.3	216.6	4.6	56.4	209.1	4.4	54.4	214.6	4.6	55.9	214.2	4.6	55.8	204.0	4.3	53.1	
7	10.8	1.1	230.9	4.9	52.8	245.3	5.2	56.1	244.8	5.2	56.0	233.6	5.0	53.4	240.1	5.1	54.9	238.1	5.1	54.4	
8	9.3	1.1	88.4	1.9	17.3	114.2	2.4	22.4	91.2	1.9	17.9	101.7	2.2	19.9	97.0	2.1	19.0	90.4	1.9	17.7	
9	7.8	1.1	228.8	4.9	37.7	234.6	5.0	38.6	222.3	4.7	36.6	215.3	4.6	35.5	208.3	4.4	34.3	210.6	4.5	34.7	
10	6.3	1.1	285.6	6.1	38.0	231.9	4.9	30.8	235.4	5.0	31.3	239.5	5.1	31.8	231.8	4.9	30.8	229.9	4.9	30.5	
11	4.8	1.2	144.8	3.1	14.6	145.2	3.1	14.6	151.1	3.2	15.2	144.6	3.1	14.6	142.1	3.0	14.3	138.6	2.9	14.0	
12	3.3	1.2	198.0	4.2	13.7	184.4	3.9	12.7	181.2	3.8	12.5	169.7	3.6	11.7	171.2	3.6	11.8	170.1	3.6	11.7	
13	1.8	1.5	279.7	5.9	10.4	233.4	5.0	8.7	233.6	5.0	8.7	234.6	5.0	8.7	237.5	5.0	8.8	244.7	5.2	9.1	
14	0.3	1.6	284.0	6.0	1.5	293.7	6.2	1.6	296.9	6.3	1.6	274.8	5.8	1.5	270.7	5.8	1.4	280.8	6.0	1.5	
รวม		62.2		590.6		60.5		582.2		59.7		574.5		58.9		574.1		58.6		572.0	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.5		9.6		9.6		9.6		9.7		9.7		9.8		9.8		58.1		560.9	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		9.9		9.9	
% ค่าความแตกต่าง		5		4		4		4		4		2		2		2		3		3	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{จากการคำนวณ} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$

$$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

w แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 34 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษหิโด้บอร์ดี แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...2.

ลำดับที่		R _j		มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ														
แผ่นดิน		แผ่นดิน		แผ่นดิน		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N								
j	(cm)	m _j (g)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)								
1	19.8	1.1	189.0	4.0	79.3	189.5	4.0	79.5	194.0	4.1	81.4	214.2	4.6	89.9	217.8	4.6	91.4	220.7	4.7	92.6	220.7	4.7	92.6	220.7	4.7	92.6	220.7	4.7	92.6	R จากการคำนวณ = $\frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$				
2	18.3	1.2	130.9	2.8	50.7	134.4	2.9	52.0	143.5	3.0	55.6	144.6	3.1	56.0	138.1	2.9	53.5	143.6	3.0	55.6	143.6	3.0	55.6	143.6	3.0	55.6	143.6	3.0	55.6	R จากการทดลอง = $\frac{\sum_{j=1}^n (R_{N_j})}{\sum_{j=1}^n N_j}$				
3	16.8	1.1	317.4	6.7	113.1	314.4	6.7	112.0	303.9	6.5	108.3	292.0	6.2	104.0	295.9	6.3	105.4	297.4	6.3	105.9	297.4	6.3	105.9	297.4	6.3	105.9	297.4	6.3	105.9	F _j = mg				
4	15.3	1.2	137.2	2.9	44.4	138.6	2.9	44.8	123.4	2.6	39.9	127.9	2.7	41.4	127.0	2.7	41.1	131.0	2.8	42.4	131.0	2.8	42.4	131.0	2.8	42.4	131.0	2.8	42.4	m _j แทน มวลแผ่นดิน(g)				
5	13.8	1.1	130.0	2.8	37.9	134.9	2.9	39.4	135.8	2.9	39.6	138.5	2.9	40.4	143.7	3.1	41.9	140.5	3.0	41.0	140.5	3.0	41.0	140.5	3.0	41.0	140.5	3.0	41.0	m แทน มวลถ่วง(g)				
6	12.3	1.1	209.9	4.5	54.6	208.4	4.4	54.2	201.8	4.3	52.5	193.8	4.1	50.5	182.7	3.9	47.5	186.2	4.0	48.5	186.2	4.0	48.5	186.2	4.0	48.5	186.2	4.0	48.5	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)				
7	10.8	1.1	228.3	4.9	52.2	242.1	5.1	55.3	249.4	5.3	57.0	239.5	5.1	54.7	238.0	5.1	54.4	240.4	5.1	55.0	240.4	5.1	55.0	240.4	5.1	55.0	240.4	5.1	55.0	F _j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)				
8	9.3	1.1	84.4	1.8	16.5	91.0	1.9	17.8	103.6	2.2	20.3	92.0	1.9	18.0	91.4	1.9	17.9	88.1	1.9	17.3	88.1	1.9	17.3	88.1	1.9	17.3	88.1	1.9	17.3	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก				
9	7.8	1.1	224.5	4.8	37.0	205.2	4.4	33.8	195.8	4.2	32.2	194.7	4.1	32.1	192.4	4.1	31.7	196.5	4.2	32.4	196.5	4.2	32.4	196.5	4.2	32.4	196.5	4.2	32.4	ของแผ่นดินที่ j (N)				
10	6.3	1.1	254.9	5.4	33.9	235.0	5.0	31.2	234.6	5.0	31.2	226.1	4.8	30.0	237.3	5.0	31.5	235.2	5.0	31.3	235.2	5.0	31.3	235.2	5.0	31.3	235.2	5.0	31.3	R _j แทน ระยะห่างของแรง				
11	4.8	1.2	140.1	3.0	14.1	158.5	3.4	16.0	142.5	3.0	14.4	144.7	3.1	14.6	138.0	2.9	13.9	145.3	3.1	14.6	145.3	3.1	14.6	145.3	3.1	14.6	145.3	3.1	14.6	ถึงจุดหมุน (cm)				
12	3.3	1.2	187.9	4.0	13.0	173.5	3.7	12.0	159.7	3.4	11.0	153.3	3.3	10.6	149.5	3.2	10.3	160.0	3.4	11.0	160.0	3.4	11.0	160.0	3.4	11.0	160.0	3.4	11.0					
13	1.8	1.5	244.8	5.2	9.1	241.9	5.1	9.0	249.7	5.3	9.3	244.0	5.2	9.1	248.8	5.3	9.2	242.5	5.2	9.0	242.5	5.2	9.0	242.5	5.2	9.0	242.5	5.2	9.0					
14	0.3	1.6	334.9	7.1	1.8	271.5	5.8	1.4	280.0	5.9	1.5	270.9	5.8	1.4	265.8	5.6	1.4	272.6	5.8	1.4	272.6	5.8	1.4	272.6	5.8	1.4	272.6	5.8	1.4					
รวม		59.8 557.5				58.2 558.6				57.7 554.2				56.8 552.7				56.6 551.3				57.4 558.0												
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.3				9.6				9.6				9.7				9.7				9.7												
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				10.0				10.0				10.0				9.9				9.9												
% ค่าความแตกต่าง		7				4				4				2				2				2												

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นดิน(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก

ของแผ่นดินที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 35 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษไฟโฟบอร์ดี แรงภายนอก (F) ดึงวัตถุที่ความสูง ...0.5.....cm ทดลองครั้งที่...3.

ลำดับที่		R _j มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N												หมายเหตุ									
แผ่นดิน		F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N								
j	m _j (cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)									
1	19.8	1.1	206.2	4.4	86.5	209.5	4.5	87.9	207.9	4.4	87.3	211.3	4.5	88.7	204.8	4.4	86.0	213.8	4.5	89.7					
2	18.3	1.2	126.1	2.7	48.8	136.7	2.9	52.9	142.5	3.0	55.2	142.2	3.0	55.1	148.2	3.1	57.4	147.4	3.1	57.1					
3	16.8	1.1	316.1	6.7	112.6	293.3	6.2	104.5	290.0	6.2	103.3	289.0	6.1	103.0	290.6	6.2	103.5	280.1	6.0	99.8					
4	15.3	1.2	121.8	2.6	39.4	123.6	2.6	40.0	124.4	2.6	40.2	126.1	2.7	40.8	127.7	2.7	41.3	126.1	2.7	40.8					
5	13.8	1.1	127.9	2.7	37.3	124.9	2.6	36.4	129.8	2.8	37.9	137.9	2.9	40.2	137.6	2.9	40.2	131.3	2.8	38.3					
6	12.3	1.1	199.8	4.2	52.0	189.0	4.0	49.2	188.8	4.0	49.1	194.9	4.1	50.7	185.6	3.9	48.3	178.4	3.8	46.4					
7	10.8	1.1	231.5	4.9	52.9	230.4	4.9	52.7	230.6	4.9	52.7	225.1	4.8	51.4	235.6	5.0	53.9	233.9	5.0	53.5					
8	9.3	1.1	89.0	1.9	17.4	91.8	1.9	18.0	94.6	2.0	18.5	97.9	2.1	19.2	84.6	1.8	16.6	83.0	1.8	16.2					
9	7.8	1.1	201.2	4.3	33.1	187.4	4.0	30.9	189.3	4.0	31.2	190.6	4.1	31.4	188.1	4.0	31.0	184.8	3.9	30.4					
10	6.3	1.1	220.6	4.7	29.3	222.1	4.7	29.5	207.3	4.4	27.5	215.6	4.6	28.6	212.6	4.5	28.2	217.0	4.6	28.8					
11	4.8	1.2	139.1	3.0	14.0	134.4	2.9	13.5	147.3	3.1	14.8	136.1	2.9	13.7	132.7	2.8	13.4	139.0	2.9	14.0					
12	3.3	1.2	162.1	3.4	11.2	158.2	3.4	10.9	160.9	3.4	11.1	156.8	3.3	10.8	143.8	3.1	9.9	146.1	3.1	10.1					
13	1.8	1.5	242.4	5.2	9.0	237.5	5.0	8.8	243.4	5.2	9.0	238.7	5.1	8.9	235.0	5.0	8.7	238.9	5.1	8.9					
14	0.3	1.6	317.0	6.7	1.7	305.3	6.5	1.6	299.3	6.4	1.6	287.3	6.1	1.5	306.5	6.5	1.6	363.6	7.7	1.9					
รวม		57.4			545.4	56.2			536.9	56.4			539.5	56.3			544.0	55.9			540.0	57.0			536.0
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง					9.5				9.6				9.6				9.7				9.7				9.4
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ					10.0				10.0				10.0				10.0				9.9				9.9
% ค่าความแตกต่าง					5				4				4				3				3				5

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$
$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นดิน(g)
m แทน มวลถ่วง(g)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นดินที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

84

ตาราง 36 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษไขได้โดยตรง (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...4

ลำดับที่	R _j	มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N											
			F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N		
j		m _j (g)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)	m _j (g)	N _j (N)	N _j R (N.cm)
1	19.8	1.1	201.9	4.3	84.7	206.5	4.4	86.7	196.6	4.2	82.5	193.4	4.1	81.2
2	18.3	1.2	131.0	2.8	50.7	143.7	3.0	55.7	144.9	3.1	56.1	140.8	3.0	54.5
3	16.8	1.1	335.3	7.1	119.5	329.6	7.0	117.4	319.2	6.8	113.7	310.9	6.6	110.7
4	15.3	1.2	133.1	2.8	43.1	144.6	3.1	46.8	131.7	2.8	42.6	131.5	2.8	42.5
5	13.8	1.1	131.7	2.8	38.4	138.3	2.9	40.3	133.9	2.8	39.1	138.1	2.9	40.3
6	12.3	1.1	203.5	4.3	53.0	210.6	4.5	54.8	201.2	4.3	52.4	201.0	4.3	52.3
7	10.8	1.1	240.1	5.1	54.9	259.0	5.5	59.2	245.7	5.2	56.2	248.2	5.3	56.7
8	9.3	1.1	96.0	2.0	18.8	110.0	2.3	21.6	98.4	2.1	19.3	96.1	2.0	18.8
9	7.8	1.1	221.1	4.7	36.4	227.6	4.8	37.5	211.9	4.5	34.9	209.1	4.4	34.4
10	6.3	1.1	220.6	4.7	29.3	240.5	5.1	31.9	231.7	4.9	30.8	235.2	5.0	31.2
11	4.8	1.2	137.5	2.9	13.9	150.6	3.2	15.2	159.0	3.4	16.0	149.6	3.2	15.1
12	3.3	1.2	153.8	3.3	10.6	170.6	3.6	11.8	158.4	3.4	10.9	156.1	3.3	10.8
13	1.8	1.5	257.1	5.5	9.6	251.4	5.3	9.3	264.0	5.6	9.8	239.0	5.1	8.9
14	0.3	1.6	324.1	6.9	1.7	277.0	5.9	1.5	291.2	6.2	1.5	273.3	5.8	1.5
รวม			59.2	564.5	60.8	589.7	59.2	565.9	57.8	559.0	58.1	555.9	58.2	553.3
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.5		9.7		9.6		9.7		9.6		9.5	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9	
% ค่าความแตกต่าง			5		3		4		3		4		4	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{จากการคำนวณ} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$$

$$R_{จากการทดลอง} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 37 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษโฟมได้บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...5.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																									
แผ่นคั่น	R _j	มวล	F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N				
			m _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j	m	N _j	N _j R _j			
j	(cm)	(g)	(g)	(g)	(N)	(N.cm)	(g)	(g)	(N)	(N)	(N.cm)	(g)	(g)	(N)	(N)	(N.cm)	(g)	(g)	(N)	(N)	(N.cm)	(g)	(g)	(N)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	1.1	213.3	4.5	89.5	217.4	4.6	91.3	215.9	4.6	90.6	176.1	3.7	73.9	187.0	4.0	78.5	205.3	4.4	86.2							
2	18.3	1.2	168.4	3.6	65.3	188.3	4.0	73.0	197.5	4.2	76.6	155.8	3.3	60.4	147.1	3.1	57.0	163.8	3.5	63.5							
3	16.8	1.1	359.5	7.6	128.1	366.1	7.8	130.5	372.1	7.9	132.6	335.5	7.1	119.5	284.7	6.1	101.4	293.0	6.2	104.4							
4	15.3	1.2	157.5	3.3	51.0	198.4	4.2	64.3	165.9	3.5	53.7	140.0	3.0	45.3	135.9	2.9	44.0	134.9	2.9	43.6							
5	13.8	1.1	143.5	3.0	41.9	168.9	3.6	49.3	171.6	3.6	50.1	165.2	3.5	48.2	146.9	3.1	42.9	148.6	3.2	43.4							
6	12.3	1.1	243.8	5.2	63.5	251.2	5.3	65.4	269.9	5.7	70.3	241.4	5.1	62.9	198.2	4.2	51.6	200.1	4.3	52.1							
7	10.8	1.1	272.5	5.8	62.3	302.4	6.4	69.2	309.7	6.6	70.8	294.0	6.3	67.2	264.7	5.6	60.5	243.3	5.2	55.6							
8	9.3	1.1	111.3	2.4	21.8	104.1	2.2	20.4	131.5	2.8	25.8	113.4	2.4	22.2	95.6	2.0	18.7	89.8	1.9	17.6							
9	7.8	1.1	248.0	5.3	40.9	235.8	5.0	38.9	259.9	5.5	42.8	251.6	5.3	41.4	200.1	4.3	32.9	203.7	4.3	33.5							
10	6.3	1.1	306.9	6.5	40.8	280.0	6.0	37.2	282.8	6.0	37.6	325.2	6.9	43.2	257.9	5.5	34.3	252.2	5.4	33.5							
11	4.8	1.2	166.9	3.5	16.8	172.3	3.7	17.4	171.8	3.6	17.3	158.8	3.4	16.0	151.6	3.2	15.3	150.8	3.2	15.2							
12	3.3	1.2	215.7	4.6	14.9	206.5	4.4	14.3	184.4	3.9	12.7	193.9	4.1	13.4	164.0	3.5	11.3	153.3	3.3	10.6							
13	1.8	1.5	358.2	7.6	13.3	302.7	6.4	11.3	292.7	6.2	10.9	289.5	6.2	10.8	255.3	5.4	9.5	251.0	5.3	9.3							
14	0.3	1.6	288.6	6.1	1.5	291.6	6.2	1.5	223.6	4.7	1.2	211.7	4.5	1.1	256.1	5.4	1.4	266.9	5.7	1.4							
รวม				69.2	651.7			69.8	683.9			69.1	693.1			64.9	625.6			58.3	559.2			58.6	569.9		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.4				9.8				10.0				9.6				9.7							
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0				10.0				10.0				9.9				9.9							
% ค่าความแตกต่าง				6				2				-1				3				4				2			

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

$$F_j = mg$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

m แทน มวลถ่วง(g)

w แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 38 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ่อน แรงภายนอก (F) ตั้งฉากกับความสูง h = 62.5 cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งฉากมีค่า 0 - 9.8 N																				หมายเหตุ																
แผ่นคั่น		F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N																					
j	R _j	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j																		
(cm)	(g)	(mV)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)																		
1	19.8	0.7	47.8	6.4	125.9	28.1	3.5	68.4	19.5	2.2	43.4	13.3	1.3	25.3	8.9	0.6	12.4	7.2	0.4	7.5	R จากการคำนวณ = $\frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$																	
2	18.3	0.7	33.9	4.3	78.9	19.4	2.2	39.8	12.9	1.2	22.3	9.7	0.7	13.6	8.2	0.5	9.6	7.2	0.4	6.9																		
3	16.8	0.7	35.8	4.6	77.1	31.1	3.9	65.5	21.8	2.5	42.5	13.8	1.4	22.7	9.1	0.7	11.0	7.2	0.4	6.3	$\sum^n (R_j N_j)$																	
4	15.3	0.6	39.2	5.1	77.9	24.2	2.9	44.1	14.0	1.4	21.1	11.2	1.0	14.8	7.9	0.5	7.3	7.2	0.4	5.8	R จากการทดลอง = $\frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$																	
5	13.8	0.7	44.8	5.9	81.6	33.2	4.2	58.0	21.4	2.5	34.0	14.1	1.4	19.2	9.3	0.7	9.5	7.2	0.4	5.2	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)																	
6	12.3	0.7	54.7	7.4	90.6	49.8	6.7	81.7	37.2	4.8	58.9	22.9	2.7	33.0	11.5	1.0	12.4	7.9	0.5	5.9	V แทน ความต่างศักย์(mV)																	
7	10.8	0.7	70.8	9.8	105.1	72.5	10.0	107.8	54.3	7.3	78.9	35.5	4.6	49.0	14.1	1.4	15.0	8.7	0.6	6.4	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)																	
8	9.3	0.7	63.0	8.6	79.7	64.1	8.8	81.2	50.2	6.7	62.3	33.9	4.3	40.0	15.2	1.6	14.4	8.3	0.5	5.0	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)																	
9	7.8	0.7	35.6	4.6	35.4	39.9	5.2	40.4	33.0	4.2	32.5	27.0	3.3	25.6	15.5	1.6	12.4	8.4	0.6	4.3	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น j (N)																	
10	6.3	0.7	43.2	5.7	35.6	43.4	5.7	35.8	47.2	6.3	39.3	36.9	4.8	29.8	25.4	3.1	19.2	8.5	0.6	3.6	R _j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)																	
11	4.8	0.7	58.9	8.0	38.1	68.2	9.4	44.6	86.4	12.1	57.4	97.6	13.7	65.2	73.1	10.1	48.0	13.7	1.3	6.4																		
12	3.3	0.7	51.7	7.0	22.6	71.4	9.9	32.1	78.7	10.9	35.6	92.7	13.0	42.3	92.6	13.0	42.2	32.2	4.1	13.2																		
13	1.8	1.0	51.5	6.9	12.1	69.8	9.6	16.8	105.4	14.9	26.0	125.9	17.9	31.3	168.4	24.2	42.3	184.0	26.5	46.4																		
14	0.3	1.0	34.2	4.4	1.1	44.6	5.9	1.5	68.2	9.4	2.3	107.3	15.2	3.8	160.6	23.0	5.8	253.1	36.7	9.2																		
รวม		88.7			861.6			87.9			717.6			86.4			556.3			85.2			415.6			82.0			261.7			73.2			132.0			
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง					9.7			8.2			6.4			4.9			3.2			1.8																		
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ					10.0			8.3			6.6			5.0			3.3			1.6																		
% ค่าความแตกต่าง					3			2			3			2			3			-12																		

ตาราง 39 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ่อน แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง h = 62.5 cm ทดลองครั้งที่...2..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ					
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N													
j	R _j	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j								
(cm)		(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)								
1	19.8	0.7	47.2	6.3	124.2	29.9	3.7	73.7	17.5	1.9	37.5	11.3	1.0	19.4	8.8	0.6	12.1	7.1	0.4	7.2					
2	18.3	0.7	26.0	3.2	57.6	18.4	2.0	37.1	12.8	1.2	22.0	10.2	0.8	15.0	8.2	0.5	9.6	7.1	0.4	6.6					
3	16.8	0.7	38.8	5.0	84.5	31.0	3.9	65.2	19.6	2.2	37.0	11.3	1.0	16.5	8.0	0.5	8.3	7.1	0.4	6.1					
4	15.3	0.6	32.6	4.1	63.0	23.8	2.8	43.2	15.8	1.6	25.1	11.1	1.0	14.6	8.0	0.5	7.6	7.1	0.4	5.5					
5	13.8	0.7	43.8	5.8	79.5	32.1	4.1	55.8	21.2	2.4	33.6	12.9	1.2	16.8	9.1	0.7	9.1	7.1	0.4	5.0					
6	12.3	0.7	60.5	8.3	101.1	56.5	7.7	93.8	39.0	5.1	62.2	22.2	2.6	31.8	10.1	0.8	9.9	7.4	0.4	5.0					
7	10.8	0.7	97.4	13.7	147.3	81.2	11.3	121.6	57.7	7.8	84.3	36.9	4.8	51.2	14.5	1.5	15.7	8.4	0.6	6.0					
8	9.3	0.7	65.0	8.9	82.5	70.3	9.7	89.7	56.9	7.7	71.4	38.0	4.9	45.6	14.2	1.4	13.1	8.0	0.5	4.6					
9	7.8	0.7	36.9	4.8	36.9	34.8	4.5	34.5	36.4	4.7	36.4	25.8	3.1	24.2	13.8	1.4	10.5	7.8	0.5	3.6					
10	6.3	0.7	46.6	6.2	38.7	44.3	5.9	36.6	56.1	7.6	47.5	48.0	6.4	40.0	22.4	2.6	16.4	7.9	0.5	3.0					
11	4.8	0.7	69.3	9.6	45.4	85.6	12.0	56.8	96.6	13.6	64.5	107.4	15.2	72.1	88.2	12.3	58.6	12.6	1.2	5.6					
12	3.3	0.7	56.1	7.6	24.7	68.4	9.4	30.6	80.9	11.3	36.6	85.1	11.9	38.6	86.7	12.1	39.4	33.6	4.3	13.9					
13	1.8	1.0	54.1	7.3	12.8	73.9	10.2	17.9	100.6	14.2	24.8	129.1	18.4	32.2	177.1	25.5	44.6	192.1	27.7	48.5					
14	0.3	1.0	29.0	3.6	0.9	43.8	5.8	1.4	62.4	8.5	2.1	104.0	14.7	3.7	182.6	26.3	6.6	343.1	50.0	12.5					
รวม		94.3		899.1		92.9		758.0		89.9		585.1		86.9		421.6		86.7		261.3		87.4		133.1	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.5				8.2				6.5				4.9				3.0				1.5			
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				8.3				6.6				5.0				3.3				1.6			
% ค่าความแตกต่าง		5				2				2				2				8				5			

ตาราง 40 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากขอมบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษข่อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง h = 62.5 cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																				หมายเหตุ				
แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N				
j	R _j	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j			
(cm)		(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)			
1	19.8	0.7	47.7	6.4	125.6	27.0	3.3	65.2	16.8	1.8	35.5	9.2	0.7	13.3	8.7	0.6	11.8	7.1	0.4	7.2	7.1	0.4	7.2	R _j จากการคำนวณ = $\frac{L}{2} - \frac{Ph}{W}$		
2	18.3	0.7	26.0	3.2	57.6	17.6	1.9	34.9	12.1	1.1	20.1	9.4	0.7	12.8	8.3	0.5	9.9	7.1	0.4	6.6	7.1	0.4	6.6	$\sum_{j=1}^n (R_j N_j)$		
3	16.8	0.7	43.0	5.7	94.9	30.8	3.9	64.7	16.7	1.8	29.8	10.3	0.8	14.0	8.4	0.6	9.3	7.1	0.4	6.1	7.1	0.4	6.1	R _j จากการทดลอง = $\frac{\sum_{j=1}^n N_j}{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}$		
4	15.3	0.6	33.6	4.3	65.2	23.5	2.8	42.5	15.3	1.6	24.0	10.4	0.9	13.0	8.1	0.5	7.8	7.1	0.4	5.5	7.1	0.4	5.5			
5	13.8	0.7	44.1	5.8	80.1	32.6	4.1	56.8	22.1	2.6	35.5	12.9	1.2	16.8	9.1	0.7	9.1	7.1	0.4	5.0	7.1	0.4	5.0			
6	12.3	0.7	61.3	8.4	102.5	57.9	7.9	96.4	41.3	5.4	66.3	21.0	2.4	29.6	8.3	0.5	6.6	7.1	0.4	4.5	7.1	0.4	4.5			
7	10.8	0.7	81.9	11.4	122.7	77.0	10.7	114.9	58.3	7.9	85.2	38.9	5.1	54.4	15.7	1.6	17.6	7.1	0.4	3.9	7.1	0.4	3.9			
8	9.3	0.7	70.5	9.7	90.0	66.9	9.2	85.1	51.0	6.8	63.3	38.8	5.0	46.7	16.1	1.7	15.7	7.6	0.4	4.0	7.6	0.4	4.0	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)		
9	7.8	0.7	32.8	4.2	32.2	34.6	4.4	34.3	33.3	4.2	32.8	21.6	2.5	19.4	13.3	1.3	9.9	7.7	0.5	3.5	7.7	0.5	3.5	V แทน ความต่างศักย์(mV)		
10	6.3	0.7	44.5	5.9	36.8	47.6	6.3	39.7	66.3	9.1	56.9	40.2	5.3	32.8	25.8	3.1	19.5	7.8	0.5	2.9	7.8	0.5	2.9	W แทน น้ำหนักวัตถุและเตา(N)		
11	4.8	0.7	65.0	8.9	42.4	89.7	12.6	59.7	110.3	15.6	74.1	111.7	15.8	75.1	91.6	12.8	61.0	18.4	2.0	9.7	18.4	2.0	9.7	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)		
12	3.3	0.7	52.0	7.0	22.7	62.6	8.6	27.8	78.4	10.9	35.4	86.5	12.1	39.3	96.9	13.6	44.3	38.5	5.0	16.3	38.5	5.0	16.3	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก		
13	1.8	1.0	55.1	7.5	13.0	80.0	11.1	19.5	105.0	14.8	25.9	138.3	19.7	34.6	199.4	28.8	50.3	229.7	33.2	58.2	229.7	33.2	58.2	ของแผ่นคั่นที่ j (N)		
14	0.3	1.0	28.2	3.5	0.9	34.4	4.4	1.1	55.4	7.5	1.9	91.2	12.8	3.2	165.8	23.8	6.0	338.9	49.4	12.3	338.9	49.4	12.3	R _j แทน ระยะห่างของแรง		
รวม			91.7	886.8		91.2	742.6		91.2	586.9		85.0	405.0		90.2	278.8		93.6	145.7						ถึงจุดหมุน (cm)	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.7			8.1		6.4		4.8		3.1		1.6												
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0			8.3		6.6		5.0		3.3		1.6												
% ค่าความแตกต่าง			3			2		3		4		6		3												

ตาราง 41 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอียู แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง h = 62.5 cm ทดลองครั้งที่...4..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
แผ่นคั่น	R _{ji}	F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N		R _{จากการทดลอง} = $\frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$				R _{จากการทดลอง} = $\frac{\sum_{j=1}^n (R_{ji} N_{ji})}{\sum_{j=1}^n N_{ji}}$	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)	V แทน ความต่างศักย์(mV)	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่น _j (N)	R _j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)												N _j (N)	N _j R _j (N.cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	19.8	0.7	61.9	8.5	167.1	31.3	3.9	77.8	16.0	1.7	33.1	10.7	0.9	17.7	8.4	0.6	11.0	7.1	0.4	7.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

ตาราง 42 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากของวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ่อน แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง h = 62.5 cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ									
R _j	มวล	F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N			
แผ่นคั่น	แผ่นคั่น	j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	
		1	19.8	0.7	51.4	6.9	136.4	34.9	4.5	88.3	16.7	1.8	35.2	10.1	0.8	15.9	7.8	0.5	9.2	7.1	0.4	7.2			
		2	18.3	0.7	24.6	2.9	53.8	14.4	1.4	26.3	11.4	1.0	18.2	9.1	0.7	12.0	7.8	0.5	8.5	7.1	0.4	6.6			
		3	16.8	0.7	41.0	5.4	90.0	26.9	3.3	55.1	16.0	1.7	28.1	10.1	0.8	13.5	8.4	0.6	9.3	7.1	0.4	6.1			
		4	15.3	0.6	29.6	3.7	56.2	21.7	2.5	38.4	9.0	0.6	9.8	10.5	0.9	13.2	7.8	0.5	7.1	7.1	0.4	5.5			
		5	13.8	0.7	41.8	5.5	75.5	30.3	3.8	52.1	15.0	1.5	21.0	12.3	1.1	15.6	8.0	0.5	6.8	7.1	0.4	5.0			
		6	12.3	0.7	56.0	7.6	92.9	51.3	6.9	84.4	19.8	2.2	27.4	21.7	2.5	30.9	9.8	0.8	9.3	7.1	0.4	4.5			
		7	10.8	0.7	76.7	10.6	114.4	67.9	9.3	100.5	40.0	5.2	56.2	36.5	4.7	50.6	13.3	1.3	13.8	7.4	0.4	4.4			
		8	9.3	0.7	73.0	10.1	93.4	64.6	8.9	81.9	57.0	7.7	71.5	34.4	4.4	40.7	14.2	1.4	13.1	7.5	0.4	3.9			
		9	7.8	0.7	31.2	3.9	30.4	34.8	4.5	34.5	57.2	7.8	60.2	22.7	2.7	20.7	12.0	1.1	8.4	7.6	0.4	3.4			
		10	6.3	0.7	44.5	5.9	36.8	48.3	6.4	40.3	32.0	4.0	25.3	47.2	6.3	39.3	28.2	3.5	21.8	8.0	0.5	3.1			
		11	4.8	0.7	72.4	10.0	47.5	83.4	11.6	55.3	47.5	6.3	30.1	102.4	14.4	68.6	90.6	12.7	60.3	17.8	1.9	9.2			
		12	3.3	0.7	51.8	7.0	22.6	64.7	8.9	28.8	79.6	11.1	36.0	90.7	12.7	41.3	106.8	15.1	49.0	39.8	5.2	16.9			
		13	1.8	1.0	50.5	6.8	11.9	63.1	8.6	15.1	79.6	11.1	19.4	136.0	19.4	34.0	198.5	28.6	50.1	206.9	29.9	52.3			
		14	0.3	1.0	27.6	3.4	0.8	33.9	4.3	1.1	90.8	12.7	3.2	100.2	14.4	3.6	176.4	25.4	6.3	330.0	48.1	12.0			
		รวม			89.7	862.8		85.0	702.2		74.8	441.6		85.8	399.8		92.3	273.1		89.0	140.1				
		ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง					9.6			8.3		5.9		4.7		3.0						1.6			
		ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ					10.0			8.3		6.6		5.0		3.3						1.6			
		% ค่าความแตกต่าง					4			1		11		6		10						2			

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (K_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

๓ แทน มวลแผ่นคั่น(g)

V แทน ความต่างศักย์(mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 43 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เนื้อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง h/2 = 31.3 cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่ R _j		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั้น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ
แผ่นคั้น	มวล	F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N			
j	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	
(cm)	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	0.7	57.1	7.7 153.1	43.5	5.7	113.4	34.0	4.3	85.7	23.7	2.8	55.6	17.1	1.8	36.4	14.9	1.5	29.9	
2	18.3	0.7	26.5	3.2 58.9	20.2	2.3	41.9	17.9	2.0	35.7	14.5	1.5	26.6	12.3	1.1	20.6	11.4	1.0	18.2	
3	16.8	0.7	40.7	5.3 89.2	34.7	4.4	74.4	23.8	2.8	47.4	20.3	2.3	38.7	17.1	1.8	30.8	14.8	1.5	25.1	
4	15.3	0.6	30.6	3.8 58.5	29.2	3.6	55.3	25.1	3.0	46.1	21.9	2.5	38.9	16.7	1.8	27.2	15.1	1.5	23.6	
5	13.8	0.7	45.4	6.0 82.8	38.2	5.0	68.2	30.9	3.9	53.3	28.0	3.5	47.4	22.5	2.6	36.3	20.4	2.3	32.0	
6	12.3	0.7	58.4	7.9 97.3	56.9	7.7	94.6	50.1	6.7	82.3	48.0	6.4	78.5	38.7	5.0	61.6	36.6	4.7	57.8	
7	10.8	0.7	79.8	11.1 119.4	69.4	9.6	102.8	65.4	9.0	96.5	66.0	9.1	97.4	62.4	8.5	91.7	63.6	8.7	93.6	
8	9.3	0.7	66.8	9.2 84.9	65.7	9.0	83.4	68.1	9.4	86.7	60.8	8.3	76.7	55.1	7.5	68.9	63.3	8.7	80.2	
9	7.8	0.7	32.4	4.1 31.8	36.0	4.6	35.9	35.4	4.5	35.2	35.8	4.6	35.7	38.7	5.0	39.0	40.9	5.4	41.5	m _j แทน มวลแผ่นคั้น(g)
10	6.3	0.7	38.8	5.0 31.5	43.5	5.7	35.9	47.4	6.3	39.5	60.3	8.2	51.4	70.5	9.7	60.8	75.9	10.5	65.8	V แทน ความต่างศักย์(mV)
11	4.8	0.7	59.9	8.2 38.8	76.1	10.6	50.1	86.5	12.1	57.4	103.4	14.6	69.3	115.7	16.4	77.9	157.5	22.6	107.3	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
12	3.3	0.7	51.9	7.0 22.7	50.9	6.8	22.2	60.5	8.3	26.8	77.1	10.7	34.8	86.6	12.1	39.3	111.5	15.8	51.3	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั้น(N)
13	1.8	1.0	50.4	6.8 11.8	53.5	7.2	-12.6	67.5	9.3	16.2	82.4	11.5	20.1	128.4	18.3	32.0	161.8	23.2	40.6	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
14	0.3	1.0	31.2	3.9 1.0	32.8	4.2	1.1	37.5	4.9	1.2	45.0	6.0	1.5	64.6	8.9	2.2	93.2	13.1	3.3	ของแผ่นคั้นที่ j (N)
รวม			89.4	881.6		86.6	791.9		86.4	710.1		91.9	672.6		100.7	624.9		120.5	670.2	R _j แทน ระยะห่างของแรง
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.9		9.1		8.2		7.3		6.2		5.6		5.6		5.6		ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		9.2		8.3		7.5		6.6		5.8		5.8		5.8		
% ค่าความแตกต่าง				1		0		1		2		7		4		4		4		

ตาราง 44 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัด วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง $h/2 = 31.3 \text{ cm}$ ทดลองครั้งที่...2..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																							
แผ่นดิน	R _j	มวล		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N											
		แผ่นดิน	มวล	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j										
j	(cm)	m _j	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)										
1	19.8	0.7	64.2	8.8	173.8	47.2	6.3	124.2	35.3	4.5	89.4	25.4	3.1	60.6	14.5	1.5	28.8	11.4	1.0	19.7					
2	18.3	0.7	31.5	4.0	72.4	24.3	2.9	53.0	18.8	2.1	38.2	13.7	1.3	24.4	11.9	1.1	19.6	8.9	0.6	11.5					
3	16.8	0.7	39.3	5.1	85.8	33.8	4.3	72.2	26.7	3.3	54.6	20.8	2.4	40.0	16.0	1.7	28.1	12.1	1.1	18.5					
4	15.3	0.6	39.7	5.2	79.0	24.2	2.9	44.1	23.5	2.8	42.5	20.8	2.4	36.4	15.1	1.5	23.6	13.9	1.4	20.9					
5	13.8	0.7	44.6	5.9	81.2	34.8	4.5	61.3	29.7	3.7	50.9	25.7	3.1	42.8	20.5	2.3	32.2	14.7	1.5	20.4					
6	12.3	0.7	55.7	7.5	92.4	53.7	7.2	88.8	53.8	7.3	89.0	46.8	6.2	76.3	40.5	5.3	64.9	31.4	4.0	48.4					
7	10.8	0.7	70.0	9.7	103.8	77.7	10.8	116.0	67.3	9.3	99.5	67.2	9.2	99.3	53.6	7.2	77.7	53.6	7.2	77.7					
8	9.3	0.7	63.8	8.7	80.8	65.5	9.0	83.2	59.9	8.2	75.5	55.0	7.4	68.8	51.5	6.9	64.0	46.6	6.2	57.3					
9	7.8	0.7	34.1	4.4	33.7	33.1	4.2	32.6	34.0	4.3	33.6	35.7	4.6	35.6	29.5	3.7	28.5	28.5	3.5	27.3					
10	6.3	0.7	45.3	6.0	37.5	39.5	5.1	32.2	48.4	6.5	40.4	56.1	7.6	47.5	53.3	7.2	44.9	54.0	7.3	45.6					
11	4.8	0.7	67.1	9.2	43.8	70.5	9.7	46.2	88.1	12.3	58.6	89.4	12.5	59.5	96.5	13.6	64.5	102.7	14.5	68.8					
12	3.3	0.7	53.0	7.1	23.2	60.9	8.3	27.0	64.9	8.9	28.9	70.4	9.7	31.6	77.5	10.8	35.0	87.9	12.3	40.0					
13	1.8	1.0	58.5	8.0	13.9	67.6	9.3	16.3	66.1	9.1	15.9	74.3	10.3	18.0	94.9	13.3	23.3	105.2	14.9	26.0					
14	0.3	1.0	27.9	3.5	0.9	33.3	4.2	1.1	36.0	4.6	1.2	41.4	5.4	1.4	58.1	7.9	2.0	69.1	9.5	2.4					
รวม		93.1		922.2		88.8		797.9		86.8		718.1		85.3		642.1		84.0		537.0		84.9		484.5	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.9		9.0		8.3		7.5		6.4		5.7													
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.2		8.3		7.5		6.6		5.8													
% ค่าความแตกต่าง		1		2		1		-1		4		2													

หมายเหตุ

$$N_j = N_{ju} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j มวลแผ่นดิน(g)

V แทน ความต่างศักย์(mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นดินที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 45 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษทรายละเอียด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง $h/2 = 31.3$ cm ทดลองครั้งที่....3.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ	
R _j	มวล แผ่นดิน	แผ่นดิน																			
		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N									
j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	F = 9.8 N				
1	19.8	0.7	55.9	7.6	149.5	49.8	6.7	131.8	32.0	4.0	79.8	19.8	2.2	44.2	14.7	1.5	29.3	10.9	0.9	18.3	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$
2	18.3	0.7	26.8	3.3	59.7	20.8	2.4	43.6	14.3	1.4	26.0	14.0	1.4	25.2	9.5	0.7	13.1	8.9	0.6	11.5	
3	16.8	0.7	37.2	4.8	80.6	34.3	4.4	73.4	29.7	3.7	62.0	23.9	2.8	47.7	15.2	1.6	26.1	11.4	1.0	16.7	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$
4	15.3	0.6	36.4	4.7	71.6	25.4	3.1	46.8	19.8	2.2	34.2	19.8	2.2	34.2	15.3	1.6	24.0	11.7	1.0	15.9	
5	13.8	0.7	43.4	5.7	78.7	29.5	3.7	50.5	31.6	4.0	54.8	24.5	2.9	40.3	19.8	2.2	30.8	13.6	1.3	18.2	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (K_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
6	12.3	0.7	53.0	7.1	87.5	53.4	7.2	88.2	46.1	6.1	75.0	43.3	5.7	70.0	34.7	4.4	54.4	28.3	3.5	42.8	
7	10.8	0.7	70.1	9.7	103.9	68.4	9.4	101.2	68.3	9.4	101.1	59.6	8.1	87.3	53.9	7.3	78.2	50.7	6.8	73.1	m _j แทน มวลแผ่นดิน(g)
8	9.3	0.7	57.4	7.8	72.1	58.5	8.0	73.6	59.6	8.1	75.1	56.0	7.6	70.2	53.9	7.3	67.3	50.4	6.8	62.5	
9	7.8	0.7	29.1	3.6	28.0	29.6	3.7	28.6	33.0	4.2	32.5	28.7	3.6	27.5	28.4	3.5	27.2	27.3	3.3	25.9	V แทน ความต่างศักย์(mV)
10	6.3	0.7	38.1	4.9	30.9	36.4	4.7	29.3	47.6	6.3	39.7	53.8	7.3	45.4	58.1	7.9	49.4	46.1	6.1	38.3	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)
11	4.8	0.7	58.4	7.9	37.7	67.9	9.3	44.4	79.3	11.0	52.4	86.1	12.0	57.2	104.2	14.7	69.9	105.3	14.9	70.6	F _j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)
12	3.3	0.7	50.0	6.7	21.8	52.8	7.1	23.1	54.2	7.3	23.8	60.6	8.3	26.9	67.5	9.3	30.2	69.2	9.5	31.0	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
13	1.8	1.0	55.5	7.5	13.1	65.1	8.9	15.6	62.9	8.6	15.1	73.5	10.2	17.8	86.2	12.0	21.1	111.2	15.7	27.5	ของแผ่นดินที่ j (N)
14	0.3	1.0	33.8	4.3	1.1	38.8	5.0	1.3	47.6	6.3	1.6	49.7	6.7	1.7	62.9	8.6	2.2	72.5	10.0	2.5	R _j แทน ระยะห่างของแรง
รวม		85.7		836.3	83.6		751.3	82.9		673.0	81.0		595.4	82.6		523.1	81.6		455.0	ถึงจุดหมุน (cm)	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.8		9.0		8.1		7.4		6.3		5.8		5.6		5.5		5.4		5.3	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.2		8.3		7.5		6.6		6.1		5.7		5.2		4.8		4.4	
% ค่าความแตกต่าง		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	

ตาราง 46 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษทรายหยาบ (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง $h/2 = 31.3$ cm ทดลองครั้งที่...4..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ							
แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N															
j	R _j (cm)	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)							
1	19.8	0.7	49.7	6.7	131.5	42.8	5.6	111.3	33.8	4.3	85.1	20.1	2.3	45.1	16.2	1.7	33.7	11.3	1.0	19.4							
2	18.3	0.7	29.3	3.6	66.5	22.6	2.7	48.4	17.4	1.9	34.4	13.9	1.4	25.0	12.0	1.1	19.8	9.6	0.7	13.4							
3	16.8	0.7	37.9	4.9	82.3	29.8	3.7	62.3	27.8	3.4	57.3	21.8	2.5	42.5	15.2	1.6	26.1	12.1	1.1	18.5							
4	15.3	0.6	37.8	4.9	74.7	26.6	3.2	49.5	22.8	2.7	40.9	17.5	1.9	29.0	14.5	1.5	22.2	12.8	1.2	18.4							
5	13.8	0.7	40.7	5.3	73.2	34.4	4.4	60.4	30.5	3.8	52.5	24.1	2.9	39.5	20.9	2.4	33.0	15.5	1.6	22.1							
6	12.3	0.7	56.0	7.6	92.9	48.7	6.5	79.7	48.7	6.5	79.7	48.4	6.5	79.2	33.5	4.3	52.2	28.2	3.5	42.6							
7	10.8	0.7	73.3	10.1	109.0	69.7	9.6	103.3	67.9	9.3	100.5	64.4	8.8	94.9	55.5	7.5	80.8	48.0	6.4	68.9							
8	9.3	0.7	62.5	8.5	79.1	56.5	7.7	70.9	58.9	8.0	74.1	56.7	7.7	71.1	50.1	6.7	62.1	42.1	5.5	51.2	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)						
9	7.8	0.7	32.0	4.0	31.3	30.7	3.8	29.8	30.8	3.9	29.9	26.1	3.2	24.6	30.1	3.8	29.1	29.7	3.7	28.7	V แทน ความต่างศักย์(mV)						
10	6.3	0.7	45.6	6.1	37.8	38.5	5.0	31.3	43.5	5.7	35.9	56.0	7.6	47.4	62.9	8.6	53.8	56.7	7.7	48.1	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)						
11	4.8	0.7	55.7	7.5	35.8	71.0	9.8	46.6	78.7	10.9	52.0	82.2	11.5	54.4	94.1	13.2	62.8	99.7	14.0	66.7	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)						
12	3.3	0.7	55.3	7.5	24.3	54.6	7.4	24.0	56.4	7.6	24.8	68.9	9.5	30.9	68.2	9.4	30.5	77.1	10.7	34.8	N _j แทน แรงปฏิบัติจากแนวจาก						
13	1.8	1.0	51.9	7.0	12.2	62.5	8.5	15.0	65.0	8.9	15.6	70.0	9.7	16.9	96.4	13.6	23.7	119.8	17.0	29.8	ของแผ่นคั่นที่ j (N)						
14	0.3	1.0	27.7	3.4	0.9	35.3	4.5	1.1	38.5	5.0	1.3	48.6	6.5	1.6	61.0	8.3	2.1	69.3	9.6	2.4	R _j แทน ระยะห่างของแรง						
รวม		87.2		851.6		82.5		733.6		82.1		684.0		81.8		602.0		83.6		532.1		83.7		464.8		ถึงจุดหมุน (cm)	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.8		8.9		8.3		7.4		6.4		5.5															
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.2		8.3		7.5		6.6		5.8															
% ค่าความแตกต่าง		2		3		0		2		4		4															

ตาราง 47 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษข่อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง h/2 = 31.3 cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N												หมายเหตุ						
R _j	j		F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N				F = 7.8 N			F = 9.8 N		
		m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	
	1	19.8	0.7	49.9	6.7	132.0	37.3	4.8	95.3	24.2	2.9	57.1	20.3	2.3	45.7	13.7	1.3	26.4	10.4	0.9	16.8
	2	18.3	0.7	27.9	3.4	62.7	19.7	2.2	40.6	14.4	1.4	26.3	13.7	1.3	24.4	10.7	0.9	16.3	10.0	0.8	14.4
	3	16.8	0.7	36.2	4.7	78.1	34.5	4.4	73.9	25.8	3.1	52.4	18.1	2.0	33.3	14.3	1.4	23.9	11.0	0.9	15.7
	4	15.3	0.6	34.7	4.4	67.7	27.2	3.3	50.8	22.2	2.6	39.6	19.9	2.3	34.4	16.0	1.7	25.6	11.4	1.0	15.2
	5	13.8	0.7	38.4	5.0	68.6	31.9	4.0	55.4	31.6	4.0	54.8	26.1	3.2	43.6	20.7	2.4	32.6	15.8	1.6	22.7
	6	12.3	0.7	54.8	7.4	90.8	54.5	7.4	90.2	48.6	6.5	79.5	40.8	5.3	65.4	35.4	4.5	55.7	30.2	3.8	46.3
	7	10.8	0.7	69.6	9.6	103.2	72.5	10.0	107.8	65.9	9.0	97.3	62.9	8.6	92.5	60.5	8.3	88.7	50.6	6.8	73.0
	8	9.3	0.7	58.7	8.0	73.9	64.9	8.9	82.3	60.8	8.3	76.7	57.3	7.8	72.0	57.8	7.9	72.6	52.9	7.1	65.9
	9	7.8	0.7	31.3	3.9	30.5	35.2	4.5	35.0	34.1	4.4	33.7	34.0	4.3	33.6	29.9	3.7	28.9	27.8	3.4	26.5
	10	6.3	0.7	41.7	5.5	34.2	46.1	6.1	38.3	51.8	7.0	43.5	56.4	7.6	47.8	64.1	8.8	54.9	48.6	6.5	40.6
	11	4.8	0.7	62.1	8.5	40.3	77.1	10.7	50.8	82.6	11.5	54.7	86.8	12.1	57.7	112.1	15.9	75.4	130.6	18.6	88.4
	12	3.3	0.7	48.1	6.4	20.9	56.3	7.6	24.8	57.8	7.9	25.5	58.4	7.9	25.8	74.3	10.3	33.4	80.1	11.1	36.2
	13	1.8	1.0	54.1	7.3	12.8	56.0	7.6	-13.3	68.9	9.5	16.6	72.6	10.0	17.6	96.4	13.6	23.7	123.2	17.5	30.6
	14	0.3	1.0	33.7	4.3	1.1	39.3	5.1	1.3	44.6	5.9	1.5	48.8	6.5	1.6	56.0	7.6	1.9	74.7	10.3	2.6
รวม				85.1	816.7			86.8	759.8		84.0	659.2		81.4	595.3		88.2	560.2		90.5	495.0
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.6				8.8			7.9			7.3			6.4			5.5	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0				9.2			8.3			7.5			6.6			5.8	
% ค่าความแตกต่าง				4				4			6			2			4			6	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{ju} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

mj แทน มวลแผ่นคั่น(g)

V แทน ความต่างศักย์(mV)

W แทน นำหนักวัตถุและเสา (N)

Fj แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

Nj แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)

Rj แทน ระยะห่างของแรงดึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 48 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟิโอบอร์ค แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่....1.

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ					
R _{ji}	j		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N									
		V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)						
	1	19.8	1.1	43.9	5.8	114.5	34.3	4.4	86.5	21.9	2.5	50.3	18.0	2.0	38.9	11.7	1.0	20.6	8.1	0.5	10.1	
	2	18.3	1.2	31.5	4.0	72.4	24.4	2.9	53.2	19.9	2.3	41.1	14.3	1.4	26.0	9.6	0.7	13.3	8.1	0.5	9.3	
	3	16.8	1.1	75.9	10.5	176.3	69.1	9.5	159.5	52.3	7.0	117.9	39.9	5.2	87.2	26.9	3.3	55.0	17.3	1.9	31.3	
	4	15.3	1.2	37.9	4.9	74.9	31.3	3.9	60.0	28.2	3.5	53.0	20.2	2.3	35.0	16.9	1.8	27.6	12.4	1.1	17.4	
	5	13.8	1.1	34.2	4.4	60.0	29.8	3.7	51.1	25.8	3.1	42.9	20.5	2.3	32.2	17.8	1.9	26.7	13.1	1.2	17.2	
	6	12.3	1.1	50.2	6.7	82.4	52.6	7.1	86.8	41.1	5.4	66.0	36.6	4.7	57.8	27.2	3.3	40.8	20.2	2.3	28.1	
	7	10.8	1.1	64.1	8.8	94.4	52.2	7.0	75.5	57.2	7.8	83.4	49.4	6.6	71.1	43.8	5.8	62.2	30.5	3.8	41.0	
	8	9.3	1.1	28.6	3.5	32.7	27.8	3.4	31.6	26.6	3.2	30.0	24.4	2.9	27.0	21.6	2.5	23.2	16.8	1.8	16.6	
	9	7.8	1.1	54.4	7.3	57.0	53.3	7.2	55.7	56.3	7.6	59.1	54.5	7.4	57.1	53.0	7.1	55.3	48.6	6.5	50.3	มวลแผ่นคั่น(g)
	10	6.3	1.1	60.0	8.2	51.1	54.4	7.3	45.9	61.8	8.4	52.8	74.1	10.3	64.1	73.1	10.1	63.2	70.0	9.7	60.3	V แทน ความตึงค้ำยัน(mV)
	11	4.8	1.2	33.6	4.3	20.3	40.1	5.2	24.9	49.4	6.6	31.4	53.3	7.2	34.1	48.0	6.4	30.4	51.2	6.9	32.7	W แทน น้ำหนักวัตถุและเตา(N)
	12	3.3	1.2	38.0	4.9	16.0	50.4	6.8	22.0	58.1	7.9	25.7	65.8	9.0	29.4	67.0	9.2	29.9	67.3	9.3	30.1	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
	13	1.8	1.5	60.0	8.2	14.3	67.0	9.2	16.1	96.9	13.6	23.8	109.7	15.5	27.2	137.0	19.5	34.2	164.1	23.6	41.2	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
	14	0.3	1.6	82.5	11.5	2.9	93.5	13.1	3.3	113.7	16.1	4.0	135.5	19.3	4.8	200.9	29.0	7.2	236.9	34.3	8.6	ของแผ่นคั่นที่ j(N)
	รวม			93.0	869.1		90.8	772.0		95.1	681.5		96.2	591.8		101.8	489.7		103.3	394.2		R _j แทน ระยะห่างของแรง
	ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.3		8.5		7.2		6.2		4.8		3.8								ถึงจุดหมุน (cm)
	ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		8.8		7.7		6.5		5.3		4.2								
	% ค่าความแตกต่าง			7		4		6		5		10		9								

ตาราง 49 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษโฟมได้ข้อสรุป แรงภายใน (F) ดังวัตถุที่มีความสูง h = 43.47..... cm ทดลองครั้งที่.....2.

ลำดับที่ แผ่นคั่น	มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ดึงวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																				หมายเหตุ			
		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N					F = 9.8 N		
j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	N _j = N _{j,u} = $\left(\frac{F_j}{2\mu}\right) - \left(\frac{m_j g}{2}\right)$	R _{จากการคำนวณ} = $\frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$	R _{จากการทดลอง} = $\frac{\sum^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
1	19.8	1.1	48.9	6.5	129.1	42.1	5.5	109.2	29.1	3.6	71.3	23.6	2.8	55.3	13.2	1.3	24.9	9.0	0.6	12.7					
2	18.3	1.2	33.2	4.2	77.0	26.6	3.2	59.2	21.7	2.5	45.9	14.3	1.4	26.0	10.4	0.8	15.5	8.0	0.5	9.0					
3	16.8	1.1	84.2	11.8	196.8	72.2	10.0	167.1	54.6	7.4	123.6	39.1	5.1	85.2	27.8	3.4	57.3	15.2	1.6	26.1					
4	15.3	1.2	44.6	5.9	90.0	33.4	4.2	64.7	26.8	3.3	49.9	20.4	2.3	35.5	16.0	1.7	25.6	12.0	1.1	16.5					
5	13.8	1.1	37.6	4.9	66.9	34.5	4.4	60.6	31.6	4.0	54.7	23.9	2.8	39.1	18.6	2.1	28.3	12.5	1.2	15.9					
6	12.3	1.1	61.2	8.4	102.3	45.3	6.0	73.6	44.3	5.9	71.7	32.8	4.2	50.9	23.6	2.8	34.3	17.8	1.9	23.8					
7	10.8	1.1	59.3	8.1	86.8	56.9	7.7	83.0	52.6	7.1	76.1	44.3	5.9	63.0	42.6	5.6	60.3	29.6	3.7	39.6					
8	9.3	1.1	24.2	2.9	26.7	26.8	3.3	30.3	24.9	3.0	27.7	22.0	2.6	23.7	20.7	2.4	21.9	16.8	1.8	16.6	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)				
9	7.8	1.1	60.1	8.2	63.5	48.1	6.4	49.7	46.5	6.2	47.9	53.9	7.3	56.4	49.9	6.7	51.8	45.1	6.0	46.3	V แทน ความต่างศักย์(mV)				
10	6.3	1.1	58.1	7.9	49.3	63.8	8.7	54.6	67.0	9.2	57.6	72.7	10.1	62.8	66.6	9.2	57.2	67.6	9.3	58.1	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)				
11	4.8	1.2	43.8	5.8	27.5	56.6	7.7	36.4	52.3	7.0	33.4	53.9	7.3	34.6	49.7	6.7	31.6	51.6	6.9	32.9	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)				
12	3.3	1.2	38.7	5.0	16.3	45.3	6.0	19.5	47.4	6.3	20.5	53.1	7.2	23.3	69.3	9.5	31.0	58.1	7.9	25.7	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก ของแผ่นคั่นที่ j (N)				
13	1.8	1.5	59.5	8.1	14.2	82.9	11.6	20.2	100.3	14.1	24.7	115.8	16.4	28.7	126.5	18.0	31.5	151.6	21.7	38.0	R _j แทน ระยะห่างของแรง ถึงจุดหมุน (cm)				
14	0.3	1.6	70.6	9.7	2.4	98.1	13.8	3.5	116.4	16.5	4.1	153.7	22.0	5.5	200.3	28.9	7.2	240.2	34.8	8.7					
รวม		97.3		948.8	98.6		831.7	96.1		709.3	97.2		589.9	99.0		478.4	99.0		370.0						
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.7			8.4			7.4			6.1			4.8			3.7						
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0			8.8			7.7			6.5			5.3			4.2						
% ค่าความแตกต่าง				3			4			4			7			9			10						

ตาราง 50 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอมวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟิโตรีด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...h = 43.47.... cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																							
แผ่นคั่น	R _j มวล แผ่นคั่น	F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N		หมายเหตุ											
		V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	N _j = N _{ju} = $\left(\frac{F_j}{2\mu}\right) - \left(\frac{m_j g}{2}\right)$								
j	m _j (g)																$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$								
1	19.8	1.1	51.7	6.9	137.3	42.1	5.5	109.2	31.3	3.9	77.7	21.7	2.5	49.7	14.0	1.4	27.3	8.6	0.6	11.5					
2	18.3	1.2	37.3	4.8	88.0	25.0	3.0	54.8	21.3	2.5	44.9	14.2	1.4	25.7	10.6	0.9	16.0	7.9	0.5	8.7					
3	16.8	1.1	82.6	11.5	192.9	60.1	8.2	137.2	49.4	6.6	110.7	36.5	4.7	78.8	27.6	3.4	56.8	19.1	2.1	35.7					
4	15.3	1.2	39.4	5.1	78.3	36.9	4.8	72.6	24.4	2.9	44.5	20.9	2.4	36.6	17.0	1.8	27.8	12.2	1.1	17.0					
5	13.8	1.1	35.7	4.6	63.1	33.5	4.3	58.6	29.7	3.7	50.9	23.2	2.7	37.7	18.6	2.1	28.3	13.0	1.2	17.0					
6	12.3	1.1	54.1	7.3	89.5	44.6	5.9	72.3	38.7	5.0	61.6	28.2	3.5	42.6	24.2	2.9	35.4	16.4	1.7	21.3					
7	10.8	1.1	53.9	7.3	78.2	64.6	8.9	95.2	54.5	7.4	79.2	44.2	5.8	62.8	40.5	5.3	56.9	31.8	4.0	43.1					
8	9.3	1.1	27.7	3.4	31.5	25.8	3.1	28.9	28.2	3.5	32.2	23.7	2.8	26.0	21.3	2.5	22.7	16.8	1.8	16.6					
9	7.8	1.1	54.6	7.4	57.2	52.8	7.1	55.1	52.8	7.1	55.1	54.1	7.3	56.6	43.6	5.8	44.6	42.7	5.6	43.6					
10	6.3	1.1	61.6	8.4	52.6	67.2	9.2	57.7	68.8	9.5	59.2	71.2	9.8	61.4	72.9	10.1	63.0	66.1	9.1	56.7					
11	4.8	1.2	35.9	4.6	21.9	39.4	5.1	24.4	44.2	5.8	27.7	42.4	5.6	26.5	49.5	6.6	31.5	49.8	6.7	31.7					
12	3.3	1.2	40.5	5.3	17.2	51.4	6.9	22.4	48.3	6.4	21.0	58.1	7.9	25.7	57.4	7.8	25.3	64.6	8.9	28.8					
13	1.8	1.5	55.6	7.5	13.2	84.7	11.8	20.7	98.1	13.8	24.2	112.8	16.0	28.0	132.4	18.9	33.0	157.8	22.6	39.6					
14	0.3	1.6	74.6	10.3	2.6	85.3	11.9	3.0	117.0	16.6	4.1	144.3	20.6	5.2	217.7	31.5	7.9	233.3	33.8	8.4					
รวม		94.5		923.2		95.8		812.2		94.8		692.9		93.1		563.2		100.8		476.5		99.7		379.7	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.8		8.5		7.3		6.0		4.7		3.8													
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		8.8		7.7		6.5		5.3		4.2													
% ค่าความแตกต่าง		2		4		5		7		11		9													

ตาราง 51 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษไขได้ข้อดี แรงภายนอก (F) ดังวัตถุที่มีความสูง ...h = 43.47.... cm ทดลองครั้งที่....4.

ลำดับที่		มวล		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ					
แผ่นคั่น		แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N											
j		V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j									
(cm)	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)									
1	19.8	1.1	47.5	6.3	125.0	34.7	4.4	87.7	27.8	3.4	67.5	19.5	2.2	43.3	12.3	1.1	22.3	8.7	0.6	11.8					
2	18.3	1.2	37.5	4.9	88.5	29.4	3.7	66.7	20.9	2.4	43.8	14.3	1.4	26.0	9.8	0.8	13.9	7.9	0.5	8.7					
3	16.8	1.1	82.7	11.5	193.1	66.3	9.1	152.5	47.7	6.4	106.5	36.0	4.6	77.6	24.5	2.9	49.1	17.1	1.8	30.8					
4	15.3	1.2	43.1	5.7	86.6	33.5	4.3	65.0	24.2	2.9	44.0	22.3	2.6	39.7	15.3	1.6	24.0	10.4	0.8	12.9					
5	13.8	1.1	35.3	4.5	62.2	32.3	4.1	56.2	30.3	3.8	52.1	23.1	2.7	37.5	17.0	1.8	25.1	12.8	1.2	16.5					
6	12.3	1.1	56.1	7.6	93.1	43.0	5.7	69.4	39.8	5.2	63.6	31.1	3.9	47.9	22.9	2.7	33.0	15.3	1.6	19.3					
7	10.8	1.1	55.2	7.5	80.3	60.3	8.2	88.4	54.0	7.3	78.4	50.0	6.7	72.0	42.2	5.5	59.6	32.3	4.1	43.9					
8	9.3	1.1	26.4	3.2	29.7	28.3	3.5	32.3	25.8	3.1	28.9	23.0	2.7	25.1	19.5	2.2	20.3	15.4	1.6	14.7					
9	7.8	1.1	49.8	6.7	51.7	50.2	6.7	52.1	52.3	7.0	54.5	51.3	6.9	53.4	50.9	6.8	52.9	40.8	5.3	41.4					
10	6.3	1.1	47.8	6.4	39.8	56.3	7.6	47.7	56.5	7.7	47.9	68.8	9.5	59.2	70.3	9.7	60.6	59.2	8.1	50.4					
11	4.8	1.2	36.3	4.7	22.2	40.2	5.3	24.9	42.6	5.6	26.6	50.3	6.7	32.0	50.4	6.8	32.1	53.2	7.2	34.1					
12	3.3	1.2	42.1	5.5	18.0	44.2	5.8	19.0	50.1	6.7	21.8	58.4	7.9	25.8	66.6	9.2	29.7	70.1	9.7	31.4					
13	1.8	1.5	58.6	8.0	13.9	78.8	11.0	19.2	91.1	12.8	22.3	115.2	16.3	28.6	131.5	18.7	32.8	160.1	23.0	40.2					
14	0.3	1.6	79.2	11.0	2.8	80.4	11.2	2.8	96.8	13.6	3.4	115.4	16.4	4.1	166.7	23.9	6.0	204.5	29.5	7.4					
รวม		93.4		907.0		90.5		783.8		87.8		661.4		90.6		572.1		93.8		461.4		94.9		363.5	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.7		8.7		7.5		6.3		4.9		3.8													
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		8.8		7.7		6.5		5.3		4.2													
% ค่าความแตกต่าง		3		2		2		3		8		8													

ตาราง 52 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการจากขอยวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ไดโบบอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h = 43.47.... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ									
j	R _{ji}		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N			
		m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)			
1	19.8	1.1	47.9	6.4	126.2	35.1	4.5	88.8	26.2	3.2	62.9	18.0	2.0	38.9	15.3	1.6	31.1	8.7	0.6	11.8						
2	18.3	1.2	35.9	4.6	84.2	26.2	3.2	58.1	18.9	2.1	38.4	14.5	1.5	26.5	11.1	1.0	17.4	8.1	0.5	9.3						
3	16.8	1.1	71.8	9.9	166.1	63.6	8.7	145.9	51.5	6.9	115.9	37.5	4.9	81.3	28.8	3.6	59.7	16.6	1.8	29.6						
4	15.3	1.2	40.1	5.2	79.8	33.5	4.3	65.0	26.0	3.2	48.1	21.7	2.5	38.4	15.6	1.6	24.7	11.3	1.0	15.0						
5	13.8	1.1	33.2	4.2	58.0	31.0	3.9	53.5	27.3	3.3	46.0	24.4	2.9	40.1	17.8	1.9	26.7	12.0	1.1	14.9						
6	12.3	1.1	49.6	6.6	81.3	46.3	6.2	75.4	38.5	5.0	61.2	32.5	4.1	50.4	24.2	2.9	35.4	14.7	1.5	18.2						
7	10.8	1.1	55.4	7.5	80.6	59.4	8.1	86.9	52.5	7.1	76.0	46.2	6.1	66.0	42.6	5.6	60.3	34.3	4.4	47.1						
8	9.3	1.1	28.4	3.5	32.4	26.4	3.2	29.7	26.9	3.3	30.4	23.0	2.7	25.1	21.6	2.5	23.2	16.7	1.8	16.5						
9	7.8	1.1	56.3	7.6	59.1	55.8	7.6	58.6	52.8	7.1	55.1	52.6	7.1	54.9	53.4	7.2	55.8	40.9	5.4	41.5	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)					
10	6.3	1.1	55.1	7.5	46.6	61.2	8.4	52.2	61.6	8.4	52.6	69.6	9.6	60.0	74.6	10.3	64.6	66.4	9.1	57.0	V แทน ความต่างศักย์(mV)					
11	4.8	1.2	35.3	4.5	21.5	42.4	5.6	26.5	46.6	6.2	29.4	51.1	6.9	32.6	47.8	6.4	30.3	55.2	7.5	35.5	W แทน นำหนักวัตถุและเสา (N)					
12	3.3	1.2	40.4	5.3	17.2	46.6	6.2	20.1	50.8	6.8	22.2	57.4	7.8	25.3	60.2	8.2	26.7	69.5	9.6	31.1	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)					
13	1.8	1.5	58.2	7.9	13.8	74.7	10.3	18.1	92.9	13.0	22.8	120.8	17.2	30.0	141.0	20.1	35.2	161.2	23.1	40.5	N _j แทน แรงปฏิกิริยานแนวจาก ของแผ่นคั่น j (N)					
14	0.3	1.6	66.9	9.2	2.3	84.3	11.8	2.9	110.1	15.6	3.9	132.1	18.8	4.7	208.1	30.1	7.5	242.1	35.1	8.8	R _j แทน ระยะห่างของแรง ถึงจุดหมุน (cm)					
รวม			90.0 869.2				91.8 781.7				91.2 664.8				94.0 574.2				102.9 498.4				102.3 376.6			
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.7				8.5				7.3				6.1				4.8				3.7			
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0				8.8				7.7				6.5				5.3				4.2			
% ค่าความแตกต่าง			3				4				5				6				9				12			

ตาราง 53 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เพื่อให้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษไฟโฟบอร์ดี แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7 cm ทดลองครั้งที่....1.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																				หมายเหตุ			
R _j	มวล	F= 0 N		F= 2.0 N		F= 3.9 N		F= 5.9 N		F= 7.8 N		F= 9.8 N													
แผ่นดิน	แผ่นดิน	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$			$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$					
j	m _j	(g)	(mV)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$					
1	19.8	1.1	45.3	6.0	118.6	38.5	5.0	98.7	39.3	5.1	101.1	32.4	4.1	80.9	26.7	3.3	64.3	27.9	3.4	67.8					
2	18.3	1.2	31.4	4.0	72.1	32.6	4.1	75.3	25.1	3.0	55.1	24.0	2.9	52.1	20.3	2.3	42.2	17.4	1.9	34.4					
3	16.8	1.1	68.2	9.4	157.2	67.4	9.3	155.3	59.4	8.1	135.5	51.4	6.9	115.7	45.3	6.0	100.6	39.7	5.2	86.7					
4	15.3	1.2	39.2	5.1	77.8	32.6	4.1	62.9	32.4	4.1	62.5	29.3	3.6	55.5	26.0	3.2	48.1	24.8	3.0	45.4					
5	13.8	1.1	37.8	4.9	67.3	33.7	4.3	59.0	32.2	4.1	55.9	32.0	4.0	55.5	29.3	3.6	50.1	26.1	3.2	43.6					
6	12.3	1.1	51.9	7.0	85.5	46.1	6.1	75.0	47.1	6.3	76.8	42.6	5.6	68.7	31.9	4.0	49.3	33.4	4.2	52.0					
7	10.8	1.1	56.2	7.6	81.9	56.8	7.7	82.8	57.6	7.8	84.1	57.6	7.8	84.1	53.0	7.1	76.8	50.3	6.7	72.5					
8	9.3	1.1	26.6	3.2	30.0	24.2	2.9	26.7	30.0	3.7	34.6	25.9	3.1	29.0	25.0	3.0	27.8	25.6	3.1	28.6					
9	7.8	1.1	55.1	7.5	57.8	46.6	6.2	48.0	48.1	6.4	49.7	52.6	7.1	54.9	51.7	6.9	53.9	50.4	6.8	52.4					
10	6.3	1.1	56.6	7.7	48.0	58.3	7.9	49.5	64.5	8.8	55.3	60.5	8.2	51.6	66.3	9.1	56.9	60.9	8.3	51.9					
11	4.8	1.2	37.1	4.8	22.8	42.6	5.6	26.6	40.5	5.3	25.1	45.0	6.0	28.3	45.2	6.0	28.4	49.7	6.7	31.6					
12	3.3	1.2	39.9	5.2	16.9	41.0	5.4	17.4	43.9	5.8	18.8	50.7	6.8	22.1	53.3	7.2	23.4	62.4	8.5	27.7					
13	1.8	1.5	55.3	7.5	13.1	57.0	7.7	13.5	67.2	9.2	16.2	80.2	11.2	19.5	96.0	13.5	23.6	103.9	14.7	25.7					
14	0.3	1.6	65.9	9.0	2.3	66.2	9.1	2.3	88.8	12.4	3.1	91.0	12.8	3.2	115.2	16.3	4.1	149.1	21.3	5.3					
รวม		88.8		851.1		85.4		793.2		90.2		773.9		90.1		721.2		91.6		649.3		97.0		625.6	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.6		9.3		8.6		8.0		7.1		6.5													
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1													
% ค่าความแตกต่าง		4		1		3		3		7		9													

ตาราง 54 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากของวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษโฟลด์บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...h/2 = 21.7 cm ทดลองครั้งที่.....2.

ลำดับที่		มวล R _j	ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ	
แผ่นดิน			F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N									
j	m _j	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	F = 9.8 N					
1	19.8	1.1	49.8	6.7	131.7	40.5	5.3	104.6	36.4	4.7	92.6	32.0	4.0	79.8	30.1	3.8	74.2	36.6	4.7	93.2	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$	
2	18.3	1.2	34.9	4.5	81.5	32.6	4.1	75.3	29.9	3.7	68.1	24.4	2.9	53.2	24.7	3.0	54.0	26.3	3.2	58.3		
3	16.8	1.1	75.0	10.4	174.1	66.6	9.2	153.3	61.2	8.4	139.9	56.5	7.7	128.3	57.9	7.9	131.7	64.0	8.8	146.8	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$	
4	15.3	1.2	39.5	5.1	78.5	38.1	4.9	75.3	33.9	4.3	65.9	33.2	4.2	64.3	34.7	4.4	67.7	38.0	4.9	75.1		
5	13.8	1.1	34.3	4.4	60.2	34.1	4.3	59.8	29.3	3.6	50.1	33.7	4.3	59.0	35.8	4.6	63.3	42.0	5.5	75.9		
6	12.3	1.1	53.3	7.2	88.0	51.2	6.9	84.2	47.6	6.3	77.7	47.2	6.3	77.0	51.7	6.9	85.1	56.7	7.7	94.2		
7	10.8	1.1	54.7	7.4	79.5	55.1	7.5	80.1	54.1	7.3	78.5	58.5	8.0	85.5	75.5	10.5	112.5	81.4	11.3	121.9		
8	9.3	1.1	26.4	3.2	29.7	26.6	3.2	30.0	27.0	3.3	30.5	31.3	3.9	36.4	38.7	5.0	46.5	42.0	5.5	51.0	m _j แทน มวลแผ่นดิน(g)	
9	7.8	1.1	49.9	6.7	51.8	49.6	6.6	51.5	55.3	7.5	58.0	55.7	7.5	58.4	80.1	11.1	86.4	79.8	11.1	86.0	V แทน ความต่างศักย์(mV)	
10	6.3	1.1	56.3	7.6	47.7	68.9	9.5	59.3	76.2	10.6	66.1	68.0	9.4	58.5	102.0	14.4	89.9	103.9	14.7	91.6	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)	
11	4.8	1.2	34.4	4.4	20.9	41.2	5.4	25.6	43.8	5.8	27.5	46.4	6.2	29.3	72.6	10.0	47.7	81.1	11.3	53.6	F _j แทน แรงดึงแผ่นดิน(N)	
12	3.3	1.2	43.1	5.7	18.5	45.8	6.1	19.8	50.6	6.8	22.1	55.0	7.4	24.2	89.4	12.5	40.7	87.0	12.2	39.5	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก	
13	1.8	1.5	57.4	7.8	13.6	70.0	9.7	16.9	81.4	11.3	19.8	101.6	14.3	25.1	139.4	19.9	34.8	169.5	24.3	42.6	ของแผ่นดินที่ j (N)	
14	0.3	1.6	66.8	9.2	2.3	84.4	11.8	2.9	94.0	13.2	3.3	99.9	14.1	3.5	155.9	22.3	5.6	212.5	30.7	7.7	R _j แทน ระยะห่างของแรง	
รวม			90.2	878.0		94.5	838.7		96.8	800.0		100.2	782.4		136.4	940.1		155.9	1037.6			ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.7		8.9		8.3		7.8		6.9		6.7								6.7	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1								7.1	
% ค่าความแตกต่าง			3		6		6		5		10		6								6	

ตาราง 55 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัด วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษห่อโฟมได้บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัดจากความสูง ...h/2 = 21.7 cm ทดลองครั้งที่...3..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัดมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ						
R _j	มวล	F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N				
แผ่นคั่น	แผ่นคั่น	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j				
j	(cm)	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)			
1	19.8	1.1	43.2	5.7	112.5	38.4	5.0	98.5	32.7	4.1	81.8	30.3	3.8	74.8	28.3	3.5	69.0	21.3	2.5	48.6						
2	18.3	1.2	34.8	4.5	81.3	29.3	3.6	66.4	25.3	3.0	55.7	22.1	2.6	47.0	20.0	2.3	41.4	18.5	2.0	37.3						
3	16.8	1.1	61.6	8.4	140.9	53.7	7.2	121.4	48.4	6.5	108.2	43.2	5.7	95.4	44.0	5.8	97.4	35.9	4.6	77.3						
4	15.3	1.2	32.1	4.1	61.8	29.1	3.6	55.1	27.4	3.4	51.2	26.5	3.2	49.2	24.2	2.9	44.0	19.2	2.1	32.8						
5	13.8	1.1	32.6	4.1	56.8	29.9	3.7	51.3	31.3	3.9	54.1	28.1	3.5	47.6	25.9	3.1	43.2	21.2	2.4	33.6						
6	12.3	1.1	44.7	5.9	72.5	43.2	5.7	69.8	37.2	4.8	58.9	39.2	5.1	62.5	35.5	4.6	55.8	29.6	3.7	45.1						
7	10.8	1.1	47.5	6.3	68.0	46.2	6.1	66.0	46.6	6.2	66.6	45.3	6.0	64.5	46.2	6.1	66.0	43.8	5.8	62.2						
8	9.3	1.1	21.8	2.5	23.4	23.4	2.8	25.6	24.0	2.9	26.4	22.8	2.7	24.8	22.3	2.6	24.1	20.8	2.4	22.1						
9	7.8	1.1	42.3	5.6	43.1	40.4	5.3	40.9	41.5	5.4	42.2	41.2	5.4	41.8	39.3	5.1	39.7	42.0	5.5	42.8	m _j	มวลแผ่นคั่น(g)				
10	6.3	1.1	51.0	6.8	42.8	40.5	5.3	33.1	52.4	7.1	44.1	62.4	8.5	53.3	58.4	7.9	49.6	58.2	7.9	49.4	V	ความต่างศักย์(mV)				
11	4.8	1.2	28.3	3.5	16.6	33.0	4.2	19.9	31.8	4.0	19.0	36.4	4.7	22.3	37.4	4.8	23.0	35.3	4.5	21.5	W	น้ำหนักวัตถุและเตา (N)				
12	3.3	1.2	31.8	4.0	13.0	36.8	4.7	15.4	38.0	4.9	16.0	43.0	5.7	18.4	44.6	5.9	19.2	43.5	5.7	18.6	F _j	แรงดึงแผ่นคั่น(N)				
13	1.8	1.5	52.0	7.0	12.2	57.6	7.8	13.7	63.7	8.7	15.3	70.3	9.7	17.0	80.8	11.2	19.7	83.2	11.6	20.3	N _j	แรงปฏิกิริยาแนวฉาก				
14	0.3	1.6	60.3	8.2	2.1	64.2	8.8	2.2	74.7	10.3	2.6	68.9	9.5	2.4	88.8	12.4	3.1	112.7	16.0	4.0		ของแผ่นคั่นที่ (N)				
รวม			76.6	746.9		73.9	679.1		75.3	642.2		76.0	621.1		78.4	595.0		76.8	515.6		R _j	ระยะห่างของแรง				
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.7				9.2				8.5				8.2				7.6				6.7			ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0				9.4				8.8				8.3				7.7				7.1			
% ค่าความแตกต่าง			3				2				3				1				1				5			

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
V แทน ความต่างศักย์(mV)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
ของแผ่นคั่นที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรง
ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 56 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวจากขอยาววัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ได้บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง h/2 = 21.7..... cm ทดลองครั้งที่....4.

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น j	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ				
R _j	แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N								
j		m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)				
1	19.8	1.1	40.5	5.3	104.6	39.6	5.2	102.0	33.2	4.2	83.3	29.4	3.7	72.2	24.7	3.0	58.5	20.8	2.4	47.1	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$
2	18.3	1.2	33.0	4.2	76.4	28.3	3.5	63.7	26.1	3.2	57.8	22.7	2.7	48.6	21.6	2.5	45.7	17.9	2.0	35.7	
3	16.8	1.1	58.2	7.9	132.5	54.5	7.4	123.3	47.8	6.4	106.8	41.5	5.4	91.2	36.0	4.6	77.6	37.3	4.8	80.8	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
4	15.3	1.2	34.9	4.5	68.1	32.5	4.1	62.7	27.8	3.4	52.1	26.2	3.2	48.5	23.9	2.8	43.3	18.7	2.1	31.6	
5	13.8	1.1	35.5	4.6	62.7	31.7	4.0	54.9	30.2	3.8	51.9	27.2	3.3	45.8	25.8	3.1	42.9	23.2	2.7	37.7	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
6	12.3	1.1	47.2	6.3	77.0	44.0	5.8	71.2	37.3	4.8	59.1	31.1	3.9	47.9	30.6	3.8	47.0	30.4	3.8	46.6	
7	10.8	1.1	51.6	6.9	74.6	52.9	7.1	76.6	49.8	6.7	71.7	48.6	6.5	69.8	46.0	6.1	65.7	46.6	6.2	66.6	V แทน ความต่างศักย์(mV)
8	9.3	1.1	25.8	3.1	28.9	26.1	3.2	29.3	23.4	2.8	25.6	20.8	2.4	22.1	21.5	2.5	23.0	20.5	2.3	21.7	W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)
9	7.8	1.1	42.9	5.6	43.8	41.7	5.5	42.4	43.4	5.7	44.4	39.1	5.1	39.4	38.4	5.0	38.6	41.5	5.4	42.2	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
10	6.3	1.1	51.1	6.9	42.9	50.7	6.8	42.5	55.9	7.6	47.3	54.3	7.3	45.8	61.0	8.3	52.0	58.5	8.0	49.7	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจากของแผ่นคั่นที่ j (N)
11	4.8	1.2	29.1	3.6	17.2	34.7	4.4	21.1	31.3	3.9	18.7	34.6	4.4	21.0	38.7	5.0	23.9	47.1	6.3	29.8	R _j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)
12	3.3	1.2	37.9	4.9	16.0	35.3	4.5	14.7	36.5	4.7	15.3	44.2	5.8	19.0	41.6	5.5	17.7	48.5	6.5	21.0	
13	1.8	1.5	50.6	6.8	11.9	61.4	8.4	14.7	62.2	8.5	14.9	75.4	10.4	18.3	75.7	10.5	18.4	92.5	13.0	22.7	
14	0.3	1.6	61.4	8.4	2.1	67.9	9.3	2.3	81.0	11.3	2.8	94.1	13.2	3.3	95.7	13.4	3.4	100.9	14.2	3.6	
รวม			79.0	758.4		79.2	721.5		76.9	651.6		77.4	592.9		76.2	557.6		79.7	536.7		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.6		9.1		8.5		7.7		7.3		6.7							
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1							
% ค่าความแตกต่าง				4		3		4		7		4		5							

ตาราง 57 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอยวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นดินที่ทำจากกระดาษฟอยล์ไดร์บอร์ค แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง h/2 = 21.7..... cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นดิน เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ									
j	R _j แผ่นดิน (cm)	F= 0 N		F= 2.0 N		F= 3.9 N		F= 5.9 N		F= 7.8 N		F= 9.8 N													
		V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)	V (mV)	N _j (N)										
1	19.8	1.1	38.5	5.0	98.7	38.9	5.1	99.9	35.5	4.6	90.0	31.9	4.0	79.5	25.2	3.0	59.9	22.6	2.7	52.4	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$ $R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} - \frac{Fh}{W}$ $R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$ ๓๓ เทน มวลแผ่นดิน(g) V เทน ความต่างศักย์(mV) W เทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N) F_j เทน แรงดึงแผ่นดิน(N) N_j เทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก ของแผ่นดินที่ j (N) R_j เทน ระยะห่างของแรง ถึงจุดหมุน (cm)				
2	18.3	1.2	30.4	3.8	69.4	26.8	3.3	59.7	23.2	2.7	50.0	21.6	2.5	45.7	18.3	2.0	36.8	17.3	1.9	34.1					
3	16.8	1.1	61.3	8.4	140.2	55.6	7.5	126.1	50.0	6.7	112.2	39.9	5.2	87.2	37.2	4.8	80.5	35.9	4.6	77.3					
4	15.3	1.2	32.3	4.1	62.3	27.5	3.4	51.5	28.5	3.5	53.7	24.5	2.9	44.7	24.1	2.9	43.8	21.7	2.5	38.4					
5	13.8	1.1	31.5	4.0	54.5	29.0	3.6	49.4	27.6	3.4	46.6	28.5	3.5	48.4	24.5	2.9	40.3	22.4	2.6	36.0					
6	12.3	1.1	49.2	6.6	80.6	44.0	5.8	71.2	37.4	4.8	59.3	39.6	5.2	63.2	33.1	4.2	51.5	28.4	3.5	43.0					
7	10.8	1.1	50.8	6.8	73.3	52.2	7.0	75.5	47.7	6.4	68.4	47.0	6.3	67.2	52.8	7.1	76.5	45.6	6.0	65.0					
8	9.3	1.1	23.3	2.8	25.5	23.5	2.8	25.8	24.1	2.9	26.6	19.5	2.2	20.3	20.5	2.3	21.7	21.2	2.4	22.6					
9	7.8	1.1	41.9	5.5	42.6	45.0	6.0	46.2	43.0	5.7	43.9	45.1	6.0	46.3	43.8	5.8	44.8	50.6	6.8	52.6					
10	6.3	1.1	52.4	7.1	44.1	51.3	6.9	43.1	55.2	7.5	46.7	57.4	7.8	48.7	56.7	7.7	48.1	52.6	7.1	44.3					
11	4.8	1.2	29.2	3.6	17.2	34.6	4.4	21.0	38.0	4.9	23.4	36.9	4.8	22.6	40.9	5.4	25.4	44.1	5.8	27.7					
12	3.3	1.2	35.6	4.6	14.9	35.6	4.6	14.9	40.4	5.3	17.2	44.7	5.9	19.2	51.7	6.9	22.6	49.5	6.6	21.5					
13	1.8	1.5	52.1	7.0	12.3	61.6	8.4	14.7	64.2	8.8	15.4	79.2	11.0	19.3	79.4	11.0	19.3	80.4	11.2	19.6					
14	0.3	1.6	55.9	7.6	1.9	56.2	7.6	1.9	67.6	9.3	2.3	70.4	9.7	2.4	89.0	12.5	3.1	123.1	17.5	4.4					
รวม		76.7		737.4		76.3		700.8		76.4		655.5		77.0		614.8		78.6		574.3		81.3		538.8	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.6		9.2		8.6		8.0		7.3		6.6													
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		9.4		8.8		8.3		7.7		7.1													
% ค่าความแตกต่าง		4		2		3		3		5		6													

ตาราง 58 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่น 0.5 cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ				
j			F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N								
		m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$			
1	19.8	0.7	41.9	5.5	108.7	46.6	6.2	122.4	50.5	6.8	133.8	52.3	7.0	139.0	46.8	6.2	123.0	42.8	5.6	111.3	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$
2	18.3	0.7	27.1	3.3	60.5	25.5	3.1	56.2	22.6	2.7	48.4	18.5	2.0	37.4	20.2	2.3	41.9	22.6	2.7	48.4	
3	16.8	0.7	31.3	3.9	66.0	34.6	4.4	74.1	32.0	4.0	67.7	35.1	4.5	75.4	29.9	3.7	62.5	28.6	3.5	59.3	
4	15.3	0.6	31.1	3.9	59.6	30.0	3.7	57.1	29.9	3.7	56.9	28.9	3.6	54.7	27.4	3.4	51.3	28.1	3.5	52.9	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
5	13.8	0.7	38.3	5.0	68.4	34.7	4.4	61.1	35.3	4.5	62.3	35.8	4.6	63.3	34.8	4.5	61.3	35.4	4.5	62.5	$m_j \text{ แทน มวลแผ่นคั่น(g)}$
6	12.3	0.7	48.6	6.5	79.5	44.1	5.8	71.4	47.7	6.4	77.9	45.8	6.1	74.5	46.6	6.2	75.9	48.3	6.4	79.0	$V \text{ แทน ความต่างศักย์(mV)}$
7	10.8	0.7	63.5	8.7	93.5	62.4	8.5	91.7	59.9	8.2	87.8	65.2	8.9	96.2	60.0	8.2	87.9	69.9	9.6	103.6	$W \text{ แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)}$
8	9.3	0.7	57.5	7.8	72.2	50.0	6.7	62.0	51.5	6.9	64.0	52.8	7.1	65.8	54.3	7.3	67.9	51.6	6.9	64.2	$F_j \text{ แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)}$
9	7.8	0.7	27.1	3.3	25.7	25.9	3.1	24.3	27.1	3.3	25.7	26.8	3.3	25.4	26.7	3.3	25.3	26.2	3.2	24.7	$N_j \text{ แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก}$
10	6.3	0.7	38.6	5.0	31.4	36.6	4.7	29.5	40.1	5.2	32.7	39.3	5.1	32.0	37.5	4.9	30.3	43.4	5.7	35.8	$\text{ของแผ่นคั่นที่ } j \text{ (N)}$
11	4.8	0.7	56.0	7.6	36.0	59.8	8.1	38.7	62.5	8.5	40.6	64.9	8.9	42.3	64.4	8.8	41.9	68.7	9.5	44.9	$R_j \text{ แทน ระยะห่างของแรง}$
12	3.3	0.7	49.6	6.6	21.6	43.3	5.7	18.6	43.3	5.7	18.6	41.7	5.5	17.8	42.8	5.6	18.3	46.5	6.2	20.1	ถึงจุดหมุน (cm)
13	1.8	1.0	53.2	7.2	12.6	43.0	5.7	- 9.9	46.3	6.2	10.8	41.6	5.5	9.6	43.6	5.8	10.1	41.5	5.4	9.5	
14	0.3	1.0	29.8	3.7	0.9	36.2	4.7	1.2	32.8	4.2	1.0	28.1	3.5	0.9	27.5	3.4	0.8	28.5	3.5	0.9	
รวม			78.1	736.6		75.0	718.3		76.3	728.2		75.6	734.0		73.5	698.4		76.4	717.1		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.4		9.6		9.5		9.5		9.7		9.5		9.5		9.4			
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9			
% ค่าความแตกต่าง				6		4		4		4		2		4		4		5			

ตาราง 59 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงแนวจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่น และแกนออก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง 0.5 cm ทดลองครั้งที่...2.

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น j	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ				
R _j	แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N								
		m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)				
1	19.8	0.7	43.9	5.8	114.5	47.4	6.3	124.8	41.5	5.4	107.5	43.5	5.7	113.4	44.0	5.8	114.8	41.7	5.5	108.1	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$
2	18.3	0.7	24.2	2.9	52.7	23.1	2.7	49.8	23.4	2.8	50.6	23.2	2.7	50.0	23.3	2.8	50.3	23.6	2.8	51.1	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$
3	16.8	0.7	33.2	4.2	70.7	39.3	5.1	85.8	37.0	4.8	80.1	31.9	4.0	67.4	29.3	3.6	61.0	30.9	3.9	65.0	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
4	15.3	0.6	33.8	4.3	65.7	26.7	3.3	49.7	24.7	3.0	45.2	26.5	3.2	49.2	26.9	3.3	50.1	28.1	3.5	52.9	
5	13.8	0.7	36.1	4.6	63.9	33.5	4.3	58.6	35.9	4.6	63.5	35.8	4.6	63.3	34.4	4.4	60.4	31.7	4.0	55.0	
6	12.3	0.7	49.6	6.6	81.4	44.1	5.8	71.4	48.7	6.5	79.7	46.1	6.1	75.0	49.0	6.6	80.3	48.2	6.4	78.8	
7	10.8	0.7	60.8	8.3	89.2	60.9	8.3	89.3	67.6	9.3	100.0	63.7	8.7	93.8	61.9	8.5	90.9	65.2	8.9	96.2	
8	9.3	0.7	58.9	8.0	74.1	63.0	8.6	79.7	57.5	7.8	72.2	51.1	6.9	63.5	51.8	7.0	64.4	59.3	8.1	74.7	m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
9	7.8	0.7	30.2	3.8	29.3	25.6	3.1	24.0	29.2	3.6	28.1	25.4	3.1	23.8	26.8	3.3	25.4	24.8	3.0	23.1	V แทน ความตึงคัตย์(mV)
10	6.3	0.7	36.2	4.7	29.1	35.6	4.6	28.6	38.6	5.0	31.4	36.8	4.8	29.7	40.4	5.3	33.0	45.9	6.1	38.1	W แทน น้ำหนักวัตถุและเตา (N)
11	4.8	0.7	57.8	7.9	37.3	63.2	8.7	41.1	60.8	8.3	39.4	64.2	8.8	41.8	66.7	9.2	43.5	66.2	9.1	43.2	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
12	3.3	0.7	46.6	6.2	20.1	46.8	6.2	20.2	45.0	6.0	19.4	53.1	7.2	23.3	46.7	6.2	20.2	41.0	5.4	17.5	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก
13	1.8	1.0	53.4	7.2	12.6	59.1	8.0	14.1	55.6	7.5	13.2	47.8	6.4	11.2	41.4	5.4	9.5	45.5	6.0	10.6	ของแผ่นคั่นที่ j (N)
14	0.3	1.0	32.2	4.1	1.0	24.6	2.9	0.7	26.7	3.3	0.8	24.1	2.9	0.7	21.0	2.4	0.6	37.9	4.9	1.2	R _j แทน ระยะห่างของแรง
รวม			78.6	741.7			78.0	737.8		77.9	731.0		75.1	706.1		73.7	704.6		77.6	715.3	ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.4				9.5		9.4		9.4		9.4		9.4		9.6		9.6		9.2
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0				10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		9.9
% ค่าความแตกต่าง			6				5		6		6		5		5		4		4		7

ตาราง 60 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวฉากจากขอมวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง

เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งฉากกับความสูง 0.5 cm ทดลองครั้งที่...3.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ								
แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N				
j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)				
1	19.8	0.7	55.3	7.5	147.8	49.0	6.6	129.4	45.0	6.0	117.7	47.9	6.4	126.2	53.9	7.3	143.7	47.6	6.3	125.3						
2	18.3	0.7	26.3	3.2	58.4	23.2	2.7	50.0	19.7	2.2	40.6	20.2	2.3	41.9	29.0	3.6	65.7	27.2	3.3	60.8						
3	16.8	0.7	32.4	4.1	68.7	32.6	4.1	69.2	33.6	4.3	71.7	32.6	4.1	69.2	32.0	4.0	67.7	32.5	4.1	68.9						
4	15.3	0.6	31.9	4.0	61.4	27.9	3.4	52.4	27.7	3.4	52.0	24.5	2.9	44.7	27.4	3.4	51.3	26.5	3.2	49.2						
5	13.8	0.7	37.5	4.9	66.7	33.7	4.3	59.0	35.3	4.5	62.3	32.9	4.2	57.4	32.1	4.1	55.8	35.7	4.6	63.1						
6	12.3	0.7	44.9	5.9	72.9	45.4	6.0	73.8	45.3	6.0	73.6	45.8	6.1	74.5	46.6	6.2	75.9	45.5	6.0	73.9						
7	10.8	0.7	63.0	8.6	92.7	59.4	8.1	87.0	58.8	8.0	86.0	55.0	7.4	80.0	67.3	9.3	99.5	65.9	9.0	97.3						
8	9.3	0.7	58.5	8.0	73.6	54.8	7.4	68.5	57.9	7.9	72.8	56.6	7.7	71.0	54.1	7.3	67.6	55.0	7.4	68.8						
9	7.8	0.7	26.5	3.2	25.0	27.2	3.3	25.8	28.1	3.5	26.9	25.5	3.1	23.9	25.9	3.1	24.3	23.6	2.8	21.7						
10	6.3	0.7	35.9	4.6	28.9	34.6	4.4	27.7	37.0	4.8	29.9	42.2	5.5	34.7	47.1	6.3	39.2	43.5	5.7	35.9						
11	4.8	0.7	54.0	7.3	34.6	53.7	7.2	34.4	65.0	8.9	42.4	63.5	8.7	41.3	62.9	8.6	40.9	65.3	9.0	42.6						
12	3.3	0.7	41.6	5.5	17.7	39.9	5.2	16.9	44.3	5.9	19.0	38.8	5.0	16.4	47.4	6.3	20.5	41.5	5.4	17.7						
13	1.8	1.0	54.5	7.4	12.9	44.0	5.8	10.2	43.2	5.7	10.0	44.4	5.9	10.3	42.8	5.6	9.9	46.6	6.2	10.8						
14	0.3	1.0	23.5	2.8	0.7	25.7	3.1	0.8	24.0	2.9	0.7	24.2	2.9	0.7	26.9	3.3	0.8	33.6	4.3	1.1						
รวม		76.9 762.0				71.8 705.1				73.8 705.4				72.3 692.2				78.4 762.8				77.6 737.2				
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.9				9.8				9.6				9.6				9.7				9.5				
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				10.0				10.0				10.0				9.9				9.9				
% ค่าความแตกต่าง		1.0				1.6				4.2				3.7				2.1				4.3				

ตาราง 61 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการแนวจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษขุ่นอ้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm ทดลองครั้งที่...4.

ลำดับที่		มวล แผ่นคั่น j	ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N														หมายเหตุ			
R _j	แผ่นคั่น		F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N							
j	(cm)	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)			
1	19.8	0.7	46.9	6.2	123.3	45.4	6.0	118.9	46.4	6.2	121.8	48.5	6.5	128.0	47.0	6.3	123.6	44.3	5.9	115.7
2	18.3	0.7	28.0	3.5	63.0	24.9	3.0	54.6	25.1	3.0	55.2	22.0	2.6	46.8	24.9	3.0	54.6	22.7	2.7	48.7
3	16.8	0.7	31.5	4.0	66.5	32.0	4.0	67.7	34.7	4.4	74.4	31.3	3.9	66.0	27.1	3.3	55.6	36.0	4.6	77.6
4	15.3	0.6	33.7	4.3	65.5	28.3	3.5	53.3	25.5	3.1	47.0	25.7	3.1	47.4	27.6	3.4	51.7	31.7	4.0	61.0
5	13.8	0.7	37.7	4.9	67.1	36.3	4.7	64.3	33.3	4.2	58.2	37.8	4.9	67.4	33.2	4.2	58.0	34.8	4.5	61.3
6	12.3	0.7	44.3	5.9	71.8	47.6	6.3	77.7	50.6	6.8	83.2	45.2	6.0	73.4	44.0	5.8	71.2	46.9	6.2	76.5
7	10.8	0.7	63.4	8.7	93.3	63.4	8.7	93.3	66.4	9.1	98.1	67.9	9.3	100.5	63.3	8.7	93.2	62.0	8.5	91.1
8	9.3	0.7	51.8	7.0	64.4	56.1	7.6	70.3	53.7	7.2	67.0	51.5	6.9	64.0	55.6	7.5	69.6	56.9	7.7	71.4
9	7.8	0.7	27.3	3.3	25.9	27.7	3.4	26.4	27.0	3.3	25.6	27.3	3.3	25.9	26.9	3.3	25.5	24.5	2.9	22.7
10	6.3	0.7	40.7	5.3	33.3	37.5	4.9	30.3	44.0	5.8	36.3	38.5	5.0	31.3	40.1	5.2	32.7	49.6	6.6	41.5
11	4.8	0.7	66.0	9.1	43.1	58.5	8.0	37.8	63.4	8.7	41.2	65.0	8.9	42.4	64.4	8.8	41.9	75.1	10.4	49.4
12	3.3	0.7	41.0	5.4	17.5	39.8	5.2	16.9	46.3	6.2	20.0	47.0	6.3	20.3	38.6	5.0	16.3	38.3	5.0	16.2
13	1.8	1.0	55.6	7.5	13.2	47.6	6.3	11.1	44.7	5.9	10.4	47.9	6.4	11.2	55.1	7.5	13.0	42.7	5.6	9.8
14	0.3	1.0	24.1	2.9	0.7	21.9	2.5	0.6	23.5	2.8	0.7	26.2	3.2	0.8	23.5	2.8	0.7	25.2	3.0	0.8
รวม			77.9	748.5		74.2	723.4		76.8	739.1		76.3	725.3		74.8	707.7		77.7	743.6	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง			9.6		9.8		9.6		9.5		9.5		9.5		9.5		9.5		9.6	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ			10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		9.9	
% ค่าความแตกต่าง			4		2		3		5		5		5		5		5		4	

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j มวลแผ่นคั่น(g)

V แทน ความตึงคัตถ์(mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยานแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

V แทน ความต่างศักย์(mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 62 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นค้ำที่ทำการกดระยะฐานน้อย แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm ทดลองครั้งที่...5..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นค้ำ เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																หมายเหตุ
R _j	มวล	F = 0 N		F = 2.0 N		F = 3.9 N		F = 5.9 N		F = 7.8 N		F = 9.8 N						
แผ่นค้ำ	แผ่นค้ำ	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	
(cm)	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(N.cm)	
1	19.8	0.7	45.1	6.0	118.0	47.9	6.4	126.2	48.0	6.4	126.5	45.9	6.1	120.4	44.1	5.8	115.4	
2	18.3	0.7	26.2	3.2	58.1	26.2	3.2	58.1	24.4	2.9	53.3	23.3	2.8	50.3	25.1	3.0	52.5	
3	16.8	0.7	31.4	4.0	66.2	35.7	4.6	76.9	34.5	4.4	73.9	32.6	4.1	69.2	31.8	4.0	67.2	
4	15.3	0.6	29.7	3.7	56.5	29.5	3.7	56.0	28.2	3.5	53.1	26.4	3.2	49.0	26.9	3.3	50.1	
5	13.8	0.7	29.7	3.7	50.9	38.5	5.0	68.8	46.7	6.2	85.4	41.0	5.4	73.9	39.8	5.2	71.4	
6	12.3	0.7	47.2	6.3	77.0	46.2	6.1	75.2	43.4	5.7	70.1	40.2	5.3	64.3	40.4	5.3	64.7	
7	10.8	0.7	70.0	9.7	103.8	60.9	8.3	89.3	65.0	8.9	95.9	62.1	8.5	91.2	63.6	8.7	93.6	
8	9.3	0.7	56.1	7.6	70.3	55.2	7.5	69.1	54.0	7.3	67.4	59.4	8.1	74.8	58.5	8.0	73.6	
9	7.8	0.7	26.8	3.3	25.4	26.8	3.3	25.4	27.6	3.4	26.3	26.4	3.2	24.9	24.8	3.0	23.1	
10	6.3	0.7	35.7	4.6	28.7	35.1	4.5	28.1	39.9	5.2	32.6	44.6	5.9	36.9	45.6	6.1	37.8	
11	4.8	0.7	63.3	8.7	41.2	78.7	10.9	52.0	67.7	9.3	44.2	61.1	8.3	39.6	69.3	9.6	45.4	
12	3.3	0.7	46.5	6.2	20.1	45.4	6.0	19.6	45.6	6.1	19.7	40.0	5.2	17.0	48.2	6.4	20.9	
13	1.8	1.0	46.2	6.1	10.7	57.2	7.8	-13.6	51.0	6.8	12.0	48.6	6.5	11.4	49.1	6.6	11.5	
14	0.3	1.0	33.2	4.2	1.1	27.1	3.3	0.8	26.6	3.2	0.8	27.4	3.4	0.8	30.5	3.8	1.0	
รวม			77.1	728.0		80.6	759.0		79.4	761.1		75.9	723.8		78.7	730.6		76.9
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง				9.4			9.4			9.6			9.5			9.3		9.6
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ				10.0			10.0			10.0			10.0			9.9		9.9
% ค่าความแตกต่าง				6			6			4			4			7		4

หมายเหตุ

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Ph}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j แทน มวลแผ่นค้ำ(g)
V แทน ความตึงค้ำ(mV)
W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)
F_j แทน แรงดึงแผ่นค้ำ(N)
N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นค้ำที่ j (N)
R_j แทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j แทน มวลแผ่นค้ำ (g)

V แทน ความต่างศักย์ (mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา (N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นค้ำ (N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก

ของแผ่นค้ำที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 63 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแรงปฏิบัติจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษไขได้โดยตรง แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...1..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ	
R _j	มวล แผ่นคั่น	F= 0 N		F= 2.0 N		F= 3.9 N		F= 5.9 N		F= 7.8 N		F= 9.8 N									
j	m _j (g)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)					
1	19.8	1.1	38.8	5.0	99.6	40.5	5.3	104.6	40.2	5.3	103.7	41.5	5.4	107.5	41.1	5.4	106.3	41.9	5.5	108.7	$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$
2	18.3	1.2	30.1	3.8	68.6	33.1	4.2	76.7	34.5	4.4	80.5	33.0	4.2	76.4	32.5	4.1	75.1	34.1	4.3	79.4	$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$
3	16.8	1.1	61.7	8.4	141.1	58.5	8.0	133.2	55.9	7.6	126.8	54.8	7.4	124.1	54.2	7.3	122.6	54.7	7.4	123.8	$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$
4	15.3	1.2	37.8	4.9	74.7	36.8	4.7	72.4	37.8	4.9	74.7	33.5	4.3	65.0	29.7	3.7	56.4	31.3	3.9	60.0	
5	13.8	1.1	30.4	3.8	52.3	30.1	3.8	51.7	32.3	4.1	56.2	36.4	4.7	64.5	32.7	4.1	57.0	33.8	4.3	59.2	
6	12.3	1.1	43.2	5.7	69.8	47.1	6.3	76.8	45.5	6.0	73.9	44.5	5.9	72.1	42.8	5.6	69.0	39.6	5.2	63.2	
7	10.8	1.1	51.1	6.9	73.8	57.1	7.7	83.3	55.7	7.5	81.1	58.2	7.9	85.0	53.2	7.2	77.1	52.0	7.0	75.2	
8	9.3	1.1	22.8	2.7	24.8	25.7	3.1	28.8	26.2	3.2	29.4	24.3	2.9	26.8	24.0	2.9	26.4	21.9	2.5	23.6	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)
9	7.8	1.1	41.9	5.5	42.6	45.4	6.0	46.6	41.5	5.4	42.2	42.1	5.5	42.9	44.5	5.9	45.6	38.0	4.9	38.2	V แทน ความต่างศักย์(mV)
10	6.3	1.1	49.9	6.7	41.8	59.8	8.1	50.9	47.6	6.3	39.6	50.4	6.8	42.2	51.5	6.9	43.2	47.0	6.3	39.1	W แทน น้ำหนักวัตถุและเตา (N)
11	4.8	1.2	30.2	3.8	17.9	32.0	4.0	19.2	34.1	4.3	20.7	35.1	4.5	21.4	34.1	4.3	20.7	33.2	4.2	20.0	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)
12	3.3	1.2	33.0	4.2	13.6	34.3	4.4	14.2	31.3	3.9	12.8	32.6	4.1	13.4	35.1	4.5	14.6	36.7	4.7	15.4	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวจาก
13	1.8	1.5	47.7	6.4	11.1	52.1	7.0	12.3	52.9	7.1	12.5	52.6	7.1	12.4	50.9	6.8	12.0	45.4	6.0	10.5	ของแผ่นคั่นที่ j (N)
14	0.3	1.6	56.7	7.7	1.9	54.5	7.4	1.8	54.1	7.3	1.8	56.3	7.6	1.9	56.7	7.7	1.9	80.1	11.1	2.8	R _j แทน ระยะห่างของแรง
รวม		75.4		733.6	80.0		772.5	77.5		755.8	78.3		755.6	76.5		727.9	77.5		719.1	ถึงจุดหมุน (cm)	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.7		9.7		9.8		9.8		9.6		9.5		9.3		9.3		9.3			
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		9.9		9.9			
% ค่าความแตกต่าง		3		3		2		3		4		4		7		7		7			

ตาราง 64 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษให้ได้อัตรา (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...2.

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ	
R _j	มวล	F= 0 N		F= 2.0 N		F= 3.9 N		F= 5.9 N		F= 7.8 N		F= 9.8 N									
j	แผ่นคั่น	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	
(cm)	(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	
1	19.8	1.1	40.2	5.3	103.7	38.2	5.0	97.9	38.7	5.0	99.3	40.4	5.3	104.3	40.1	5.2	103.4	45.4	6.0	118.9	
2	18.3	1.2	28.3	3.5	63.7	30.0	3.7	68.3	31.1	3.9	71.3	34.6	4.4	80.7	35.1	4.5	82.1	34.1	4.3	79.4	
3	16.8	1.1	56.0	7.6	127.0	64.4	8.8	147.8	59.2	8.1	135.0	57.5	7.8	130.8	57.9	7.9	131.7	55.2	7.5	125.1	
4	15.3	1.2	33.5	4.3	65.0	34.5	4.4	67.2	32.6	4.1	62.9	32.4	4.1	62.5	31.0	3.9	59.3	29.9	3.7	56.9	
5	13.8	1.1	32.2	4.1	55.9	29.3	3.6	50.1	34.3	4.4	60.2	31.9	4.0	55.3	37.1	4.8	65.9	31.8	4.0	55.1	
6	12.3	1.1	42.4	5.6	68.3	43.9	5.8	71.0	43.8	5.8	70.8	44.0	5.8	71.2	39.7	5.2	63.4	37.6	4.9	59.6	
7	10.8	1.1	61.4	8.4	90.1	57.1	7.7	83.3	56.8	7.7	82.8	53.5	7.2	77.6	53.7	7.2	77.9	55.5	7.5	80.7	
8	9.3	1.1	24.0	2.9	26.4	24.6	2.9	27.3	23.1	2.7	25.2	25.6	3.1	28.6	29.3	3.6	33.7	23.8	2.8	26.2	
9	7.8	1.1	48.8	6.5	50.5	42.6	5.6	43.4	46.5	6.2	47.9	49.2	6.6	51.0	43.9	5.8	44.9	38.0	4.9	38.2	
10	6.3	1.1	59.9	8.2	51.0	52.6	7.1	44.3	50.1	6.7	42.0	51.1	6.9	42.9	55.2	7.5	46.7	56.1	7.6	47.5	
11	4.8	1.2	29.1	3.6	17.2	30.1	3.8	17.9	40.1	5.2	24.9	33.9	4.3	20.5	36.3	4.7	22.2	34.5	4.4	20.9	
12	3.3	1.2	39.7	5.2	16.8	34.5	4.4	14.3	38.8	5.0	16.4	35.4	4.5	14.8	37.1	4.8	15.6	33.1	4.2	13.7	
13	1.8	1.5	50.6	6.8	11.9	55.8	7.6	13.2	48.9	6.5	11.4	51.3	6.9	12.1	52.4	7.1	12.3	53.0	7.1	12.5	
14	0.3	1.6	61.4	8.4	2.1	58.7	8.0	2.0	56.2	7.6	1.9	60.0	8.2	2.0	64.7	8.9	2.2	85.6	12.0	3.0	
รวม		80.1		749.8		78.5		748.0		79.0		752.1		79.1		754.2		81.0		737.6	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.4		9.5		9.5		9.5		9.5		9.5		9.5		9.4		ถึงจุดหมุน (cm)		9.1	
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		10.0		9.9		9.9		9.9	
% ค่าความแตกต่าง		6		4		5		4		5		4		5		5		8		8	

$$N_j = N_{ju} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$
$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{F_h}{W}$$
$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j เทน มวลแผ่นคั่น(g)

V เทน ความต่างศักย์(mV)

W เทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j เทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j เทน แรงปฏิกิริยาแนวฉากของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j เทน ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 65 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงปฏิบัติการจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษฟอยล์ไดร์บอร์ด แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...3...

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ				
แผ่นคั่น		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N		
j	R _j	m _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	V	N _j	N _j R _j	F	N _j	N _j R _j	(N) (N.cm)
(cm)		(g)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(mV)	(N)	(N.cm)	(N)	(N)	(N)	(N.cm)
1	19.8	1.1	40.5	5.3	104.6	37.4	4.8	95.5	38.9	5.1	99.9	37.5	4.9	95.8	40.7	5.3	105.2	41.4	5.4	107.2				
2	18.3	1.2	26.9	3.3	60.0	30.1	3.8	68.6	33.5	4.3	77.8	31.7	4.0	72.9	32.4	4.1	74.8	32.9	4.2	76.1				
3	16.8	1.1	55.4	7.5	125.6	64.9	8.9	149.1	55.5	7.5	125.8	55.8	7.6	126.6	56.9	7.7	129.3	53.9	7.3	121.8				
4	15.3	1.2	31.9	4.0	61.4	35.9	4.6	70.4	32.6	4.1	62.9	29.8	3.7	56.6	31.7	4.0	60.9	30.7	3.8	58.7				
5	13.8	1.1	28.9	3.6	49.2	31.1	3.9	53.7	34.7	4.4	61.0	31.4	4.0	54.3	28.9	3.6	49.2	32.9	4.2	57.4				
6	12.3	1.1	42.1	5.5	67.8	43.0	5.7	69.4	39.8	5.2	63.6	40.6	5.3	65.0	40.4	5.3	64.7	39.6	5.2	63.2				
7	10.8	1.1	46.9	6.2	67.1	48.8	6.5	70.1	53.4	7.2	77.4	53.4	7.2	77.4	47.7	6.4	68.4	50.3	6.7	72.5				
8	9.3	1.1	26.7	3.3	30.1	23.6	2.8	25.9	24.5	2.9	27.1	24.2	2.9	26.7	24.4	2.9	27.0	24.1	2.9	26.6				
9	7.8	1.1	42.1	5.5	42.9	47.8	6.4	49.4	44.9	5.9	46.1	41.6	5.5	42.3	40.4	5.3	40.9	42.2	5.5	43.0	m _j	มวลแผ่นคั่น(g)		
10	6.3	1.1	45.0	6.0	37.2	48.5	6.5	40.5	55.5	7.5	46.9	55.4	7.5	46.9	53.2	7.2	44.8	54.4	7.3	45.9	V	ความต่างศักย์(mV)		
11	4.8	1.2	25.4	3.1	14.6	30.9	3.9	18.4	29.7	3.7	17.6	31.1	3.9	18.6	33.0	4.2	19.9	34.0	4.3	20.6	W	น้ำหนักวัตถุและเตา(N)		
12	3.3	1.2	43.7	5.8	18.7	45.5	6.0	19.6	36.7	4.7	15.4	35.4	4.5	14.8	37.7	4.9	15.9	38.5	5.0	16.2	F _j	แรงดึงแผ่นคั่น(N)		
13	1.8	1.5	47.6	6.3	11.1	60.4	8.2	14.4	49.1	6.6	11.5	63.9	8.7	15.3	56.9	7.7	13.5	55.9	7.6	13.2	N _j	แรงปฏิกิริยาแนวฉาก		
14	0.3	1.6	49.9	6.7	1.7	60.3	8.2	2.1	60.7	8.3	2.1	50.4	6.8	1.7	59.8	8.1	2.0	60.8	8.3	2.1		ของแผ่นคั่นที่ _j (N)		
รวม				72.1	691.9		80.2	747.0		77.4	735.1		76.4	714.9		76.7	716.4		77.8	724.6	R _j	ระยะห่างของแรง		
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง					9.6			9.3			9.5			9.4			9.3							ถึงจุดหมุน (cm)
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ					10.0			10.0			10.0			10.0			9.9							
% ค่าความแตกต่าง					4			7			5			6			6							

ตาราง 66 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษหิโด้บอร์ดี แรงภายนอก (F) ตั้งวัตถุที่มีความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...4..

ลำดับที่		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ				
j	R _j แผ่นคั่น (cm)	F = 0 N			F = 2.0 N			F = 3.9 N			F = 5.9 N			F = 7.8 N			F = 9.8 N			R _j แผ่นคั่นที่ (N)				
		m _j (g)	V (mV)	N _j R _j (N.cm)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)	V (mV)	N _j (N)	N _j R _j (N.cm)						
1	19.8	1.1	39.1	5.1	100.5	40.8	5.3	105.5	41.4	5.4	107.2	42.6	5.6	110.7	42.3	5.6	109.8	44.1	5.8	115.1	m _j แทน มวลแผ่นคั่น(g)			
2	18.3	1.2	28.3	3.5	63.7	30.8	3.9	70.5	30.9	3.9	70.7	30.7	3.8	70.2	30.1	3.8	68.6	32.2	4.1	74.3	V แทน ความตึงคัติน้(mV)			
3	16.8	1.1	57.9	7.9	131.7	54.2	7.3	122.6	54.2	7.3	122.6	53.4	7.2	120.6	56.5	7.7	128.3	51.6	6.9	116.2	W แทน น้ำหนักวัตถุและเต้า (N)			
4	15.3	1.2	31.9	4.0	61.4	31.5	4.0	60.5	31.9	4.0	61.4	30.3	3.8	57.8	30.0	3.7	57.1	30.1	3.8	57.3	F _j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)			
5	13.8	1.1	29.6	3.7	50.7	29.7	3.7	50.9	30.5	3.8	52.5	29.8	3.7	51.1	32.1	4.1	55.7	33.7	4.3	59.0	N _j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก			
6	12.3	1.1	44.4	5.9	71.9	43.5	5.7	70.3	44.5	5.9	72.1	42.2	5.5	67.9	39.5	5.1	63.1	46.3	6.2	75.4	ของแผ่นคั่นที่ (N)			
7	10.8	1.1	49.9	6.7	71.9	46.5	6.2	66.5	45.9	6.1	65.5	52.1	7.0	75.3	52.5	7.1	76.0	53.9	7.3	78.2	R _j แทน ระยะห่างของแรง			
8	9.3	1.1	25.1	3.0	27.9	23.1	2.7	25.2	23.1	2.7	25.2	22.8	2.7	24.8	22.3	2.6	24.1	22.0	2.6	23.7	ถึงจุดหมุน (cm)			
9	7.8	1.1	39.6	5.2	40.0	39.7	5.2	40.1	40.4	5.3	40.9	41.3	5.4	42.0	42.0	5.5	42.8	39.9	5.2	40.4				
10	6.3	1.1	47.8	6.4	39.8	50.2	6.7	42.0	55.0	7.4	46.5	56.0	7.6	47.4	36.1	4.6	29.0	56.9	7.7	48.2				
11	4.8	1.2	30.0	3.7	17.8	29.3	3.6	17.3	34.6	4.4	21.0	37.4	4.8	23.0	34.9	4.5	21.2	30.3	3.8	18.0				
12	3.3	1.2	36.1	4.6	15.1	41.3	5.4	17.6	40.6	5.3	17.3	33.0	4.2	13.6	50.5	6.8	22.0	40.0	5.2	17.0				
13	1.8	1.5	57.0	7.7	13.5	58.0	7.9	-13.8	56.3	7.6	13.3	46.0	6.1	10.7	49.7	6.7	11.6	54.5	7.4	12.9				
14	0.3	1.6	60.7	8.3	2.1	57.0	7.7	1.9	67.4	9.3	2.3	55.9	7.6	1.9	70.4	9.7	2.4	78.3	10.9	2.7				
รวม		75.7			708.0	75.4			704.6	78.5			718.6	75.1			717.0	77.4			711.8	81.0	738.2	
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.4			9.3			9.2			9.5			9.2			9.9			9.1				
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0			10.0			10.0			10.0			9.9			9.9			9.9				
% ค่าความแตกต่าง		6			6			8			4			7			8			8				

ตาราง 67 ตารางบันทึกผลการทดลองและการคำนวณแสดงค่าตำแหน่งของแนวแรงจากขอบวัตถุ วิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง
เมื่อใช้แผ่นคั่นที่ทำจากกระดาษให้ได้อัตราแรงกายนอก (F) ดังวัตถุที่ความสูง ...0.5.... cm ทดลองครั้งที่...5.

ลำดับที่แผ่นคั่น		มวลแผ่นคั่น		ขนาดของแรงดึงแผ่นคั่น เมื่อแรง (F) ที่ตั้งวัตถุมีค่า 0 - 9.8 N																		หมายเหตุ					
j		F = 0 N				F = 2.0 N				F = 3.9 N				F = 5.9 N				F = 7.8 N				F = 9.8 N					
m _j (g)		V (mV)		N _j (N)		N _j R _j (N.cm)		V (mV)		N _j (N)		N _j R _j (N.cm)		V (mV)		N _j (N)		N _j R _j (N.cm)		V (mV)		N _j (N)		N _j R _j (N.cm)			
1	19.8	1.1	40.2	5.3	103.7	46.6	6.2	122.4	40.7	5.3	105.2	43.2	5.7	112.5	43.0	5.7	111.9	40.6	5.3	104.9							
2	18.3	1.2	34.4	4.4	80.2	33.3	4.2	77.2	31.4	4.0	72.1	35.0	4.5	81.8	31.0	3.9	71.0	32.5	4.1	75.1							
3	16.8	1.1	61.8	8.4	141.4	59.0	8.0	134.5	54.4	7.3	123.1	57.4	7.8	130.5	51.5	6.9	115.9	51.4	6.9	115.7							
4	15.3	1.2	35.5	4.6	69.5	32.4	4.1	62.5	34.4	4.4	67.0	36.0	4.6	70.6	32.1	4.1	61.8	28.7	3.6	54.2							
5	13.8	1.1	33.4	4.2	58.4	33.2	4.2	58.0	33.0	4.2	57.6	32.1	4.1	55.7	34.6	4.4	60.8	32.7	4.1	57.0							
6	12.3	1.1	45.0	6.0	73.0	46.9	6.2	76.4	43.1	5.7	69.6	40.9	5.4	65.6	38.8	5.0	61.8	45.6	6.0	74.1							
7	10.8	1.1	50.6	6.8	73.0	51.9	7.0	75.0	51.9	7.0	75.0	46.0	6.1	65.7	47.0	6.3	67.2	54.3	7.3	78.8							
8	9.3	1.1	24.2	2.9	26.7	22.3	2.6	24.1	23.5	2.8	25.8	23.0	2.7	25.1	24.9	3.0	27.7	21.9	2.5	23.6							
9	7.8	1.1	41.9	5.5	42.6	39.0	5.1	39.3	41.8	5.5	42.5	42.4	5.6	43.2	40.0	5.2	40.5	39.5	5.1	39.9							
10	6.3	1.1	54.1	7.3	45.7	55.9	7.6	47.3	52.6	7.1	44.3	51.8	7.0	43.5	50.7	6.8	42.5	51.3	6.9	43.1							
11	4.8	1.2	27.9	3.4	16.3	30.0	3.7	17.8	32.5	4.1	19.5	30.6	3.8	18.2	31.0	3.9	18.5	32.5	4.1	19.5							
12	3.3	1.2	37.6	4.9	15.8	38.1	4.9	16.1	32.2	4.1	13.2	38.2	5.0	16.1	34.5	4.4	14.3	32.3	4.1	13.3							
13	1.8	1.5	49.8	6.7	11.7	48.5	6.5	11.3	50.8	6.8	11.9	50.0	6.7	11.7	58.4	7.9	13.9	45.6	6.0	10.6							
14	0.3	1.6	59.8	8.1	2.0	57.8	7.8	2.0	75.7	10.5	2.6	61.6	8.4	2.1	72.5	10.0	2.5	77.1	10.7	2.7							
รวม		78.4 759.9				78.2 763.9				78.7 729.4				77.3 742.3				77.5 710.3				76.9 712.2					
ตำแหน่งของแรง N จากการทดลอง		9.7				9.8				9.3				9.6				9.2				9.3					
ตำแหน่งของแรง N จากการคำนวณ		10.0				10.0				10.0				10.0				9.9				9.9					
% ค่าความแตกต่าง		3				2				7				3				8				7					

$$N_j = N_{j,u} = \left(\frac{F_j}{2\mu} \right) - \left(\frac{m_j g}{2} \right)$$

$$R_{\text{จากการคำนวณ}} = \frac{L}{2} \frac{Fh}{W}$$

$$R_{\text{จากการทดลอง}} = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

m_j แทน มวลแผ่นคั่น(g)

V แทน ความต่างศักย์(mV)

W แทน น้ำหนักวัตถุและเสา(N)

F_j แทน แรงดึงแผ่นคั่น(N)

N_j แทน แรงปฏิกิริยาแนวฉาก

ของแผ่นคั่นที่ j (N)

R_j แทน ระยะห่างของแรง

ถึงจุดหมุน (cm)

ตาราง 68 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 62.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.2	7.8	6.3	4.4	2.9	1.5
2	9.5	7.8	6.3	4.6	2.8	1.2
3	9.5	7.9	6.2	4.6	3.0	1.3
4	9.9	8.1	6.3	4.6	3.0	1.2
5	—	—	—	—	—	—
ส่วนเบี่ยงเบน	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.5	7.9	6.3	4.6	2.9	1.3

ตาราง 69 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 31.3 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.5	8.7	8.0	7.2	6.5	5.5
2	10.1	8.9	8.3	7.2	6.3	5.4
3	9.5	8.9	8.2	7.2	6.3	5.4
4	9.8	8.9	8.0	7.1	6.2	5.5
5	9.4	8.7	7.9	7.1	6.2	5.7
ส่วนเบี่ยงเบน	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.7	8.8	8.1	7.2	6.3	5.5

ตาราง 70 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 0.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.7	9.7	9.7	9.7	9.8	9.9
2	9.9	9.6	9.7	9.7	9.7	9.6
3	9.5	9.8	9.6	8.5	9.7	9.5
4	9.8	9.7	9.8	9.6	9.8	9.5
5	9.8	9.6	9.6	9.8	9.6	9.6
ส่วนเบี่ยงเบน	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.2
ค่าเฉลี่ย	9.7	9.7	9.7	9.4	9.7	9.6

ตาราง 71 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟิโอบอร์ด โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 43.47 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.4	8.5	7.2	5.9	4.9	3.8
2	9.2	8.5	7.4	6.2	5.1	3.8
3	9.2	8.5	7.4	6.2	4.9	3.7
4	9.2	8.5	7.5	6.0	5.0	3.9
5	9.4	8.9	7.3	6.4	5.0	3.9
ส่วนเบี่ยงเบน	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.3	8.6	7.4	6.1	5.0	3.8

ตาราง 72 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟิโอบอร์ด โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 21.7 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.4	9.1	8.6	8.1	7.5	6.8
2	9.6	9.0	8.5	7.8	7.5	6.7
3	9.2	9.0	8.4	7.9	7.6	6.6
4	9.3	9.0	8.4	8.0	7.4	6.7
5	9.5	8.9	8.4	7.9	7.2	6.6
ส่วนเบี่ยงเบน	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.4	9.0	8.5	7.9	7.4	6.7

ตาราง 73 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟิโอบอร์ด โดยแรงภายนอกดึงวัตถุที่ความสูง 0.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8	9.7
2	9.3	9.6	9.6	9.7	9.7	9.7
3	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7	9.4
4	9.5	9.7	9.6	9.7	9.6	9.5
5	9.4	9.8	10.0	9.6	9.6	9.7
ส่วนเบี่ยงเบน	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.5	9.7	9.7	9.7	9.7	9.6

ตาราง 74 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 62.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.7	8.2	6.4	4.9	3.2	1.8
2	9.5	8.2	6.5	4.9	3.0	1.5
3	9.7	8.1	6.4	4.8	3.1	1.6
4	10.1	8.3	6.6	5.0	3.1	1.5
5	9.6	8.3	5.9	4.7	3.0	1.6
ส่วนเบี่ยงเบน	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.7	8.2	6.4	4.8	3.1	1.6

ตาราง 75 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 31.3 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.9	9.1	8.2	7.3	6.2	5.6
2	9.9	9.0	8.3	7.5	6.4	5.7
3	9.8	9.0	8.1	7.4	6.3	5.6
4	9.8	8.9	8.3	7.4	6.4	5.5
5	9.6	8.8	7.9	7.3	6.4	5.5
ส่วนเบี่ยงเบน	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.8	9.0	8.2	7.4	6.3	5.6

ตาราง 76 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ
การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษชานอ้อย โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F=9.8 N
1	9.4	9.6	9.5	9.7	9.5	9.4
2	9.4	9.5	9.4	9.4	9.6	9.2
3	9.9	9.8	9.6	9.6	9.7	9.5
4	9.6	9.8	9.6	9.5	9.5	9.6
5	9.4	9.4	9.6	9.5	9.3	9.6
ส่วนเบี่ยงเบน	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.6	9.7	9.5	9.5	9.6	9.4

ตาราง 77 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟโโตบอร์ด โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 43.47 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.3	8.5	7.2	6.2	4.8	3.8
2	9.7	8.4	7.4	6.1	4.8	3.7
3	9.8	8.5	7.3	6.0	4.7	3.8
4	9.7	8.7	7.5	6.3	4.9	3.8
5	9.7	8.5	7.3	6.1	4.8	3.7
ส่วนเบี่ยงเบน	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.6	8.5	7.3	6.1	4.8	3.8

ตาราง 78 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟโโตบอร์ด โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 21.7 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.6	9.3	8.6	8.0	7.1	6.5
2	9.7	8.9	8.3	7.8	6.9	6.7
3	9.7	9.2	8.5	8.2	7.6	6.7
4	9.6	9.1	8.5	7.7	7.3	6.7
5	9.6	9.2	8.6	8.0	7.3	6.6
ส่วนเบี่ยงเบน	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.7	9.1	8.5	7.9	7.2	6.6

ตาราง 79 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงขอบวัตถุ

การทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้เครื่องวัดแรง แผ่นคั่นทำด้วยกระดาษฟโโตบอร์ด โดยแรงภายนอกตั้งวัตถุที่ความสูง 0.5 cm

การทดลอง ครั้งที่	ระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน, R จากการทดลอง (cm)					
	F=0	F=2.0 N	F=3.9 N	F=5.9 N	F=7.8 N	F= 9.8 N
1	9.7	9.7	9.8	9.6	9.5	9.3
2	9.4	9.5	9.5	9.5	9.4	9.1
3	9.6	9.3	9.5	9.4	9.3	9.3
4	9.4	9.3	9.2	9.5	9.2	9.1
5	9.7	9.8	9.3	9.6	9.2	9.3
ส่วนเบี่ยงเบน	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
ค่าเฉลี่ย	9.5	9.5	9.4	9.5	9.3	9.2

ตาราง 80 แสดงเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากการทดลองกับการคำนวณจากการทดลองวิธีที่ 1 แบบใช้มวลถ่วง เมื่อแผ่นต้นทำด้วยวัสดุต่างชนิดกัน

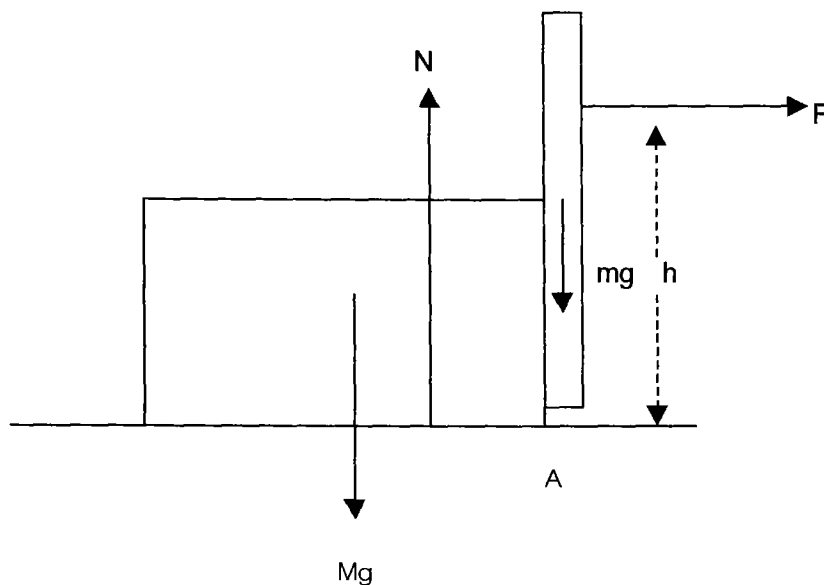
ชนิดวัสดุ	ความสูงของแนว ที่ใช้ทำแผ่นต้น แรง F ที่ใช้ตั้งวัตถุ	ที่มาของข้อมูล (cm)	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน (cm)						ค่าเฉลี่ยค่าความ แตกต่าง
			F = 0	F = 2.0	F = 3.9	F = 5.9	F = 7.8	F = 9.8	
กระดาษ ชานย้อย	h = 62.5	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.5	7.9	6.3	4.6	2.9	1.3	
		คำนวณ	10.0	8.3	6.6	5.0	3.3	1.6	
	h/2 = 31.3	ค่าความแตกต่าง(%)	5.0	5.3	5.7	9.2	11.9	25.8	10.5
		เฉลี่ยจากการทดลอง	9.7	8.8	8.1	7.2	6.3	5.5	
กระดาษ ชานย้อย	0.5	คำนวณ	10.0	9.2	8.3	7.5	6.6	5.8	
		ค่าความแตกต่าง(%)	3.5	3.6	3.2	4.5	5.6	5.3	4.3
		เฉลี่ยจากการทดลอง	9.7	9.7	9.7	9.4	9.7	9.6	
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	
กระดาษ โฟโตบอร์ด	h = 43.5	ค่าความแตกต่าง(%)	2.8	3.2	2.9	6.0	2.3	3.2	3.4
		เฉลี่ยจากการทดลอง	9.3	8.6	7.4	6.1	5.0	3.8	
		คำนวณ	10.0	8.8	7.7	6.5	5.3	4.2	
		ค่าความแตกต่าง(%)	7.6	3.0	4.1	5.8	7.2	9.0	6.1
กระดาษ โฟโตบอร์ด	h/2 = 21.7	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.4	9.0	8.5	7.9	7.4	6.7	
		คำนวณ	10.0	9.4	8.8	8.3	7.7	7.1	
	0.5	ค่าความแตกต่าง(%)	6.4	4.5	4.2	4.0	3.0	5.9	4.6
		เฉลี่ยจากการทดลอง	9.5	9.7	9.7	9.7	9.7	9.6	
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9	
		ค่าความแตกต่าง(%)	5.8	3.5	3.1	2.9	3.0	3.4	3.6

ตาราง 81 แสดงเปรียบเทียบค่าระยะการเลื่อนตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาแนวฉากจากการทดลองกับการคำนวณจากการทดลองวิธีที่ 2 แบบใช้เครื่องวัดแรง เมื่อแผ่นคั่นทำด้วยวัสดุต่างชนิดกัน

ชนิดวัสดุ ที่ใช้ทำแผ่นคั่น	ความสูงของแนว ที่มาของข้อมูล	ระยะห่างของแรงปฏิกิริยาแนวฉากถึงจุดหมุน (cm)						ค่าเฉลี่ยค่าความ แตกต่าง
		F = 0 (N)	F = 2.0 (N)	F = 3.9 (N)	F = 5.9 (N)	F = 7.8 (N)	F = 9.8 (N)	
กระดาษ ชานอ้อย	h = 62.5	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.7	8.2	6.4	4.8	3.1	1.6
		คำนวณ	10.0	8.3	6.6	5.0	3.3	1.6
	ค่าความแตกต่าง(%)	2.9	1.5	4.1	3.3	7.2	1.3	3.4
	h/2 = 31.3	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.8	9.0	8.2	7.4	6.3	5.6
		คำนวณ	10.0	9.2	8.3	7.5	6.6	5.8
	ค่าความแตกต่าง(%)	2.2	2.3	2.0	1.5	4.9	4.1	2.8
กระดาษ โฟโตบอร์ด	0.5	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.6	9.7	9.5	9.6	9.6	9.4
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9
	ค่าความแตกต่าง(%)	4.2	3.5	4.6	4.3	4.0	5.4	4.3
	h = 43.5	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.7	8.5	7.3	6.1	4.8	3.8
		คำนวณ	10.0	8.8	7.7	6.5	5.3	4.2
	ค่าความแตกต่าง(%)	3.6	3.6	4.4	5.9	10.4	10.6	6.4
กระดาษ โฟโตบอร์ด	h/2 = 21.7	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.7	9.1	8.5	7.9	7.2	6.6
		คำนวณ	10.0	9.4	8.8	8.3	7.7	7.1
	ค่าความแตกต่าง(%)	3.5	3.1	4.1	4.0	5.8	7.9	4.7
	0.5	เฉลี่ยจากการทดลอง	9.6	9.5	9.4	9.5	9.3	9.2
		คำนวณ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.9
	ค่าความแตกต่าง(%)	4.7	4.9	5.6	4.4	6.6	7.8	5.7

ภาคผนวก ข

**แสดงการคำนวณหาตำแหน่งของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉาก
จากลักษณะการกระจายเนื้อมวลจริง**



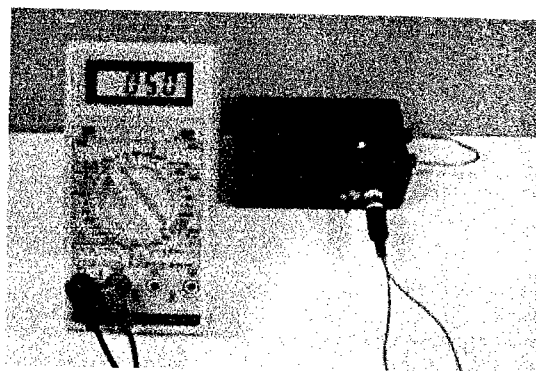
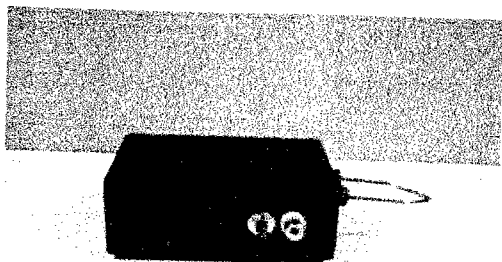
พิจารณาสมดุลต่อการหมุนรอบจุด A

$$\begin{aligned}
 Mg \times L/2 &= (N \times R) + (mg \times d/2) + (F \times h) \\
 7355 \times 10 &= (7457 \times R) + (102 \times 1) + 0 \\
 R &= 9.85 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

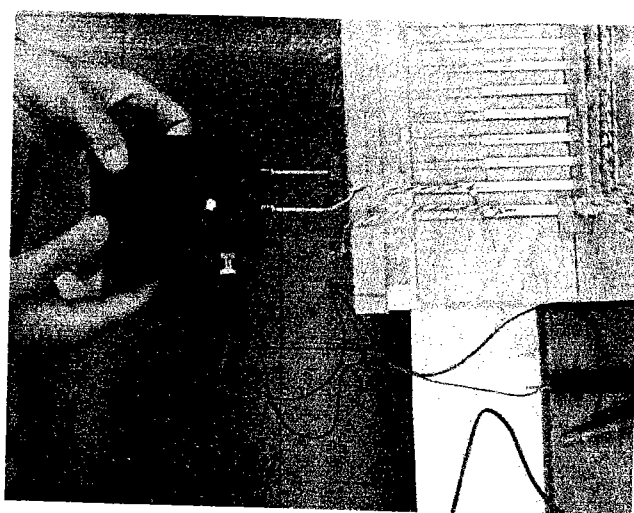
แสดงให้เห็นว่าระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุ กรณีที่พิจารณาเนื้อมวลของวัตถุแยกจากเสายึดตามวัสดุจริง จะได้ว่าถ้าค่าของแรงภายนอกมีค่าเท่ากับศูนย์ แนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากจะอยู่ที่ระยะห่างจากขอบของวัตถุ 9.85 cm ซึ่งต่างจากกรณี queพิจารณาให้เนื้อมวลของวัตถุกับเสายเป็นเนื้อเดียวกัน $10 - 9.85 = 0.15 \text{ cm}$

ดังนั้นจะได้ว่า ค่าระยะห่างของแนวแรงปฏิกิริยาแนวฉากที่พื้นกระทำต่อวัตถุถึงขอบวัตถุที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองจะมีค่าต่างจากค่าจริง

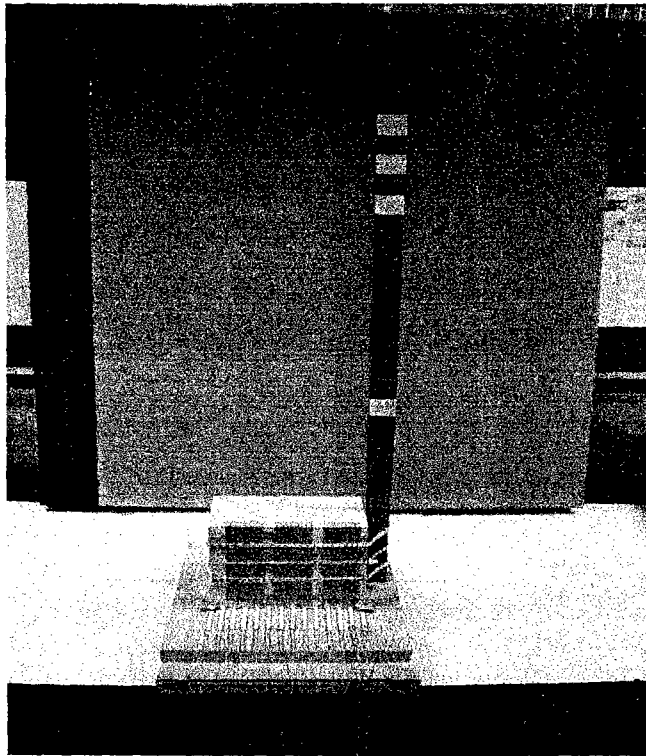
$$\text{คิดเป็น } \frac{0.15 \times 100}{9.85} = 1.52 \%$$



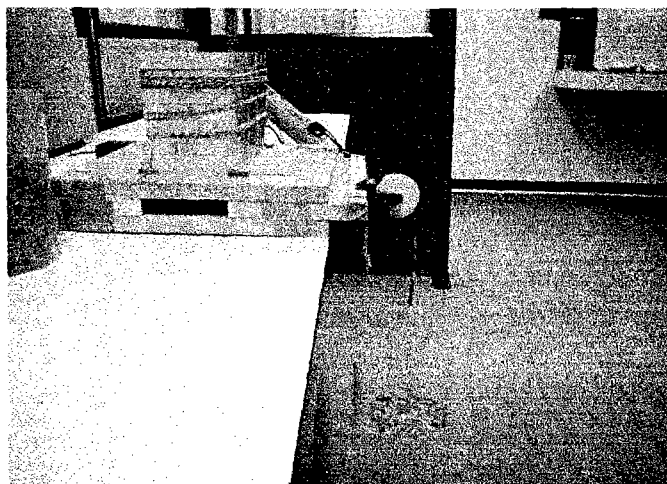
ภาพประกอบ 33 ภาพแสดงเครื่องวัดแรง



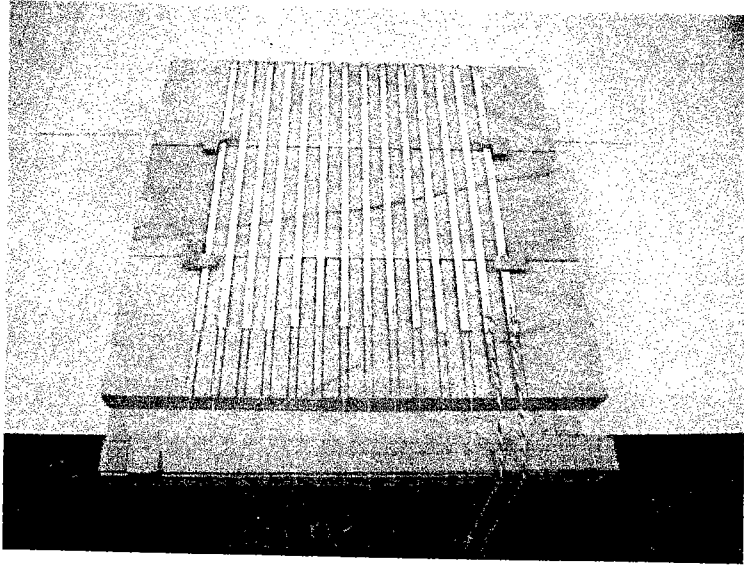
ภาพประกอบ 34 ภาพแสดงการใช้เครื่องวัดแรงดึงแผ่นคั่น



ภาพประกอบ 35 ภาพแสดงวัตถุ ยึดเสา วางบนแผ่นคั่นและฐาน



ภาพประกอบ 36 ภาพแสดงวิธีถ่วงมวล



ภาพประกอบ 37 แสดงการวางแผ่นคั่น

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวชุลีณี	ชื่อสกุล	พาหุรัตน์
เกิดวันที่	28 เดือน	มิถุนายน	พุทธศักราช 2513
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัด นครปฐม		
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	90 / 2 ตำบลในเมือง ถนนราชดำเนิน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000		
ประวัติการศึกษา			
พ.ศ. 2532	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช จังหวัด นครศรีธรรมราช		
พ.ศ. 2536	วท.บ. (ศึกษาศาสตร์ วิชาเอกฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี		
พ.ศ. 2545	กศ.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ		