การพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตาม แนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

ปิยวรรณ มัธยมนันทน์

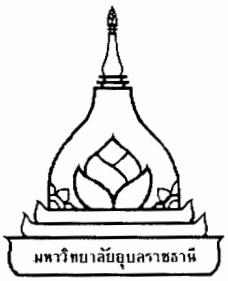
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

DEVELOPING GRADE 10 STUDENTS' TEAMWORK IN EQUILIBRIUM USING SCIENCE ACTIVITY LEARNING PACKAGES BASED ON STEM EDUCATION

PIYAWAN MATTHAYOMNAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตาม แนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา

ผู้วิจัย นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์

คณะกรรมการสอบ

ดร.จินตวัฒน์ ตันอมาตยรัตน์	ประธานกรรมการ
ดร.โชคศิลป์ ธนเฮือง	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ดร.โชคศิลป์ ธนเฮือง)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2558

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.โชคศิลป์ ธนเฮือง อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิดเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างดียิ่งจึงขอขอบ พระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดม ทิพราช ที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดีสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และตรวจสอบเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการ รองผู้อำนวยการ คณะครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และนักเรียนโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเก็บข้อมูลวิจัย ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการศึกษาระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวมัธยมนันทน์ ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษาและทำวิจัยในครั้งนี้ และขอน้อมระลึกถึงพระคุณของครู อาจารย์ทุกท่าน ที่อบรม สั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ จนผู้วิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดี ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ผู้สนใจในการศึกษาทั้งมวล

ปิยวรรณ มัธยมนันทน์

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตาม แนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา

ผู้วิจัย : ปิยวรรณ มัธยมนันทน์

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.โชคศิลป์ ธนเฮือง

คำสำคัญ : สะเต็มศึกษา, สภาพสมดุล, การพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม, ชุดกิจกรรม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ ความพึงพอใจ โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้คือโดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จำนวน 34 คน โดยการสุ่มแบบเจาะจงจากประชากร รูปแบบการวิจัยเป็นแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินการปฏิบัติงานผู้เรียน แบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีม แบบวัดความพึงพอใจ ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ค่าสถิติในการวิจัยคือ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบค่าที แบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test) และค่าความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 อยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา อยู่ในระดับมาก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ช่วยเพิ่มความก้าวหน้าทางการเรียน เรื่อง สภาพสมดุล

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPING GRADE 10 STUDENTS' TEAMWORK IN EQUILIBRIUM USING SCIENCE ACTIVITY LEARNING PACKAGES BASED ON STEM EDUCATION

AUTHOR : PIYAWAN MATTHAYOMNAN

DEGREE : MASTER DEGREE OF SCIENCE

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

ADVISOR : CHOKSIN TANAHOUNG, Ph.D

KEYWORDS : STEM EDUCATION, DEVELOPING TEAMWORK, EQUILIBRIUM, LEARNING GACKAGES

The objective of this research was to improve students' learning teamwork achievement and students' attitude in equilibrium using science activity learning packages based on STEM Education. The samples were 34 grade 10 students' from Kaennakhon Wittayalai School, KhonKaen during the second semester of the 2015 academic year. The one group pretest – posttest design was used for this research method. The research tools consisted of science activity learning packages based on STEM Education, achievement tests, practice assessment, self assessment and satisfaction questionnaire. The data were analyzed into average, standard deviation, dependent t-test delovinde and average normalized gain. The results showed that the students' learning achievement score on the post-instruction was significantly statistical higher than that on the pre-instruction at alpha level .01. The average normalized gain was in a medium gain (<g> = 0.65). The students' satisfaction is in good level. The result suggest that learning management of the STEM Education could be used to develop students' learning achievement of equilibrium.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ตัวแปรที่ศึกษา	4
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สะเต็มศึกษา (STEM Education)	6
2.2 ชุดกิจกรรม	12
2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วย Normalized gain	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	17
3.2 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย	17
3.3 แบบแผนการวิจัย	18
3.4 การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	18
3.5 ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	21
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	28
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดกิจกรรม	32
4.3 ผลการวิเคราะห์การประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน	36
4.4 ผลการวิเคราะห์ทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน	37
4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบความพึงพอใจในการทำงานร่วมกันเป็นทีมหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา	39
บทที่ 5 สรุปผล	
5.1 สรุปผล	44
5.2 อภิปรายผล	45
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	**48**
ภาคผนวก	
ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	53
ข คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล	162
ค ตัวอย่างการทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน	167
ประวัติผู้วิจัย	**126**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อสอบแบ่งตามเนื้อหาที่ใช้ในการวัดผลแต่ละด้าน	18
3.2	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา สาระสำคัญ และผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	19
3.3	เกณฑ์ประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน	20
4.1	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	28
4.2	การเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยแยกตามเนื้อหา	30
4.3	ผลการวิเคราะห์แบบประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียนหลังที่รับการการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยแบ่งเป็นรายกลุ่ม	36
4.4	ผลการวิเคราะห์แบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีมหลังที่รับการจัดการการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา	38
4.5	ผลแปลความหมายของแบบความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	40
ข.1	คะแนนดิบจากแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	163
ข.2	ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องสภาพสมดุล	165

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การบูรณาการ 4 ระดับในสะเต็มศึกษา	8
3.1	การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล ตอนที่ 1	22
3.2	สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล ตอนที่ 2	22
3.3	การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน ตอนที่ 1	23
3.4	สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน ตอนที่ 2	24
3.5	การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ ตอนที่ 1	24
3.6	สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ ตอนที่ 2	25
3.7	แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของพื้นสะพาน	26
4.1	ความสัมพันธ์ระว่าง %actual gain กับ %pretest ของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	29
4.2	คะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนแบ่งตามเนื้อหาของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	31
4.3	พัฒนาการทางการเรียนรายข้อ (single test item normalized gain)	32
4.4	แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล	33
4.5	แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล	34
4.5	แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 3 จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ	34
4.6	ผลการวิเคราะห์แบบประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียนหลังจากรับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยแบ่งเป็นรายกลุ่ม	37
4.7	ผลการประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีมหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา	39
4.8	ความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	42
ก.1	หนังสือวางอยู่บนโต๊ะ	66
ก.2	แรงสองแรงกระทำต่อหนังสือ	67
ก.3	แท่งคอนกรีตอยู่นิ่งด้วยแรง 3 แรง	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก.4	วิธีหาแรงลัพธ์	68
ก.5	แนวแรงดึงในเส้นด้ายที่ผูกกับวัตถุ	68
ก.6	การนำเวกเตอร์แทนแรง F_1 , F_2 และ F_3 มาเขียนต่อกัน	69
ก.7	เครื่องชั่งสปริงดึงกระดาษแข็ง	70
ก.8	เวกเตอร์แทนแรงที่อยู่ในสมดุลเป็นรูปเหลี่ยมปิด	70
ก.9	หนังสือวางอยู่บนโต๊ะ	77
ก.10	แรงสองแรงกระทำต่อหนังสือ	77
ก.11	แท่งคอนกรีตอยู่นิ่งด้วยแรง 3 แรง	78
ก.12	แรง 3 แรงที่กระทำต่อแท่งคอนกรีต	78
ก.13	แรงลัพธ์ของแรง N1 และ N2	79
ก.14	แนวแรงดึงในเส้นด้ายที่ผูกกับวัตถุ	79
ก.15	การนำเวกเตอร์แทนแรง F_1, F_2 และ F_3 มาเขียนต่อกัน	80
ก.16	เครื่องชั่งสปริงดึงกระดาษแข็ง	80
ก.17	ภาพเวกเตอร์แทนแรงที่อยู่ในสมดุลเป็นรูปเหลี่ยมปิด	81
ก.18	การผูกเส้นด้ายดึงแผ่นกระดาษแข็ง	85
ก.19	ทิศทางของโมเมนต์	94
ก.20	โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา	94
ก.21	โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา	95
ก.22	แรงคู่ควบ F_1, F_2 กระทำกับวัตถุ AB โดยแนวแรงทั้งสองตั้งฉากกับ AB	96
ก.23	แรงการะทำในการไสกล่อง	97
ก.24	แรงที่กระทำกับกล่อง	97
ก.25	ทิศทางของโมเมนต์	104
ก.26	โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา	105
ก.27	โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา	105
ก.28	แรงคู่ควบ F_1, F_2 กระทำกับวัตถุ AB โดยแนวแรงทั้งสองจั้งฉากกับ AB	106
ก.29	แรงกระทำในการไสกล่อง	107
ก.30	แรงที่กระทำกับกล่อง	107
ก.31	ตัวอย่างการแขวนไม้เมตรและถุงทรายให้อยู่ตามแนวระดับ	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก.32	จุดกระทำของแรงที่ทำให้มีการหมุนและไม่หมุนรอบ c.m.	120
ก.33	ตำแหน่งของ c.g.	121
ก.34	ตำแหน่งของ c.g. และ c.m.	121
ก.35	ตำแหน่งระบบพิกัดฉากของมวลย่อย m_1, m_2, m_3, ..., m_n	128
ก.36	จุดกระทำของแรงที่ทำใหมีการหมุนและไม่หมุนรอบ	129
ก.37	ตำแหน่งของ c.g.	130
ก.38	ตำแหน่งของ c.g. และ c.m.	131
ก.39	เสาเฉลียงและหอเอนเมืองปิซ่า	135
ก.40	สะพานแขวน	137
ก.41	การกระจายแรงบนสะพานแขวน	138
ก.42	แบบจำลองสะพานแขวนอย่างง่าย	138
ก.43	แรงกระทำต่อส่วนต่าง ๆ ของพื้นสะพาน	139
ก.44	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงเชือกกับตำแหน่งโหลด กำหนดให้ w = 1000 kg, P = 100kg , L = 10 m.	140
ก.45	แรงตึงในสายแขวนเมื่อโหลดอยู่ห่างจากสายแขวนไม่เท่ากัน	140
ก.46	แรงที่กระทำต่อสายแขวนโดย w_s คือน้ำหนักของสายแขวน	141
ก.47	แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของเคเบิ้ล	141
ก.48	เคเบิ้ลถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน	142
ก.49	แรงที่กระทำต่อเสาทั้งสองข้าง	145
ก.50	หมุดด้านซ้ายและขวา เมื่อมองจากด้านล่าง	146
ก.51	แรงที่กระทำต่อหมุดด้านซ้ายและด้านขวา	146
ก.52	แรงที่กระทำต่อหมุด ขณะที่กำลังจะพลิกพอดี	148
ก.53	แรงที่กระทำต่อสะพานแขวน	149
ค.1	การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน	168

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นยุคที่มีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นอย่างมากซึ่งเห็นได้จากมีอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศที่ช่วยอำนวยความสะดวก เช่น ไอแพด สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต เป็นต้น ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลสะดวกขึ้น ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารจำนวนมาก และสามารถสืบค้นข้อมูลได้ด้วยตนเองและสะดวกรวดเร็ว และได้ข้อมูลที่ทันสมัย ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน ผู้สอนต้องเปลี่ยนบทบาทจากการเป็นผู้บอกความรู้เป็นผู้โค้ช เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ได้แก่ ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ซึ่งประกอบด้วย ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) การสื่อสารและความร่วมมือ (Communication and Collaboration) ทักษะสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี ประกอบด้วยทักษะด้านสารสนเทศ (Information Literacy) ทักษะด้านสื่อ (Media Literacy) ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information, Communications and Technology Literacy) เป็นต้น ในการพัฒนาผู้เรียนให้เกิดทักษะดังกล่าว แนวคิดหนึ่งที่ใช้ในการจัดการศึกษาคือสะเต็มศึกษา (STEM Education) ซึ่งเป็นแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการความรู้ในศาสตร์ต่างๆ 4 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) Engineering (วิศวกรรม) และ คณิตศาสตร์ (Mathematics) ในการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการตามแนวสะเต็มศึกษามีความสำคัญต่อผู้เรียน คือ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ และสร้างนวัตกรรมที่ใช้ความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ผู้เรียนเข้าใจสาระและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มากขึ้น ทำให้ผู้เรียนเกิดการถ่ายโอนการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดรวบยอดในศาสตร์ต่างๆ ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายต่อผู้เรียน ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์และคุณค่าของสิ่งที่เรียน สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนเข้ากับชีวิตจริง (วิชัย วงษ์ใหญ่, 2554: 136-137; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557: 6)

การที่จะบูรณาการวิชาทั้งสี่ในสะเต็มศึกษาได้นั้น ครูผู้สอนต้องผนวกองค์ประกอบสำคัญของการเรียนการสอน 2 ด้าน คือ ด้านบริบท (Context) ซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนเอง และด้านเนื้อหา (Content) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความรู้หลัก และนอกจากนี้จำเป็นต้องให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ได้ทำงานเป็นกลุ่ม อภิปราย และสื่อสารเพื่อนำเสนอผลงาน คล้ายกับแนวทางการเรียนรู้

โดยใช้โครงงานเป็น (Project-Based Learning : PBL) การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning: PBL) (รักษพล ธนานุวงศ์, 2556ก; อภิสิทธิ์ ธงไชย, 2556) และการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบเป็นฐาน (Design-Based Learning) (พรทิพย์ ศิริภัทราชัย, 2556) ที่ผนวก รวมกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry) ไว้แล้ว อีกทั้งยังได้มีการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่ผนวกการเรียนรู้บนฐานการออกแบบซึ่งเป็นแนวทาง การเรียนรู้วิศวกรรมศาสตร์เข้าไปด้วย (อุปการ จีระพันธุ, 2556) ส่งผลทำให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง สืบเสาะ หาความรู้และวิจัยด้วยตนเองนักเรียนจะมีความกระตือรือร้น รู้สึกสนุก พึงพอใจและอยากเข้ามามีส่วนในการทำกิจกรรมเพิ่มขึ้นด้วยระดับผลการเรียนของนักเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น (Diana, 2012) ลดช่องว่างของผลสัมฤทธิ์ให้แคบลง (Han, Capraro and Capraro, 2014) มองเห็นประโยชน์ของเทคโนโลยีและวิศวกรรมสามารถนำมาใช้แก้ปัญหา และมีเจตคติที่ดีต่อการประกอบอาชีพที่ในสาขาเกี่ยวข้องกับ STEM (Tseng et al., 2013) นักเรียนมีเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และสนใจเรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น (Dowey, 2013) เห็นคุณค่าของการเรียนและมั่นใจว่าสามารถสำเร็จการศึกษาได้ (Scott, 2012) และนักเรียนสามารถถ่ายโอนความรู้ ทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้าและประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในภายภาคหน้าได้ (Diana, 2012; Tseng et al., 2013)

และวิชาฟิสิกส์ เป็นวิชาที่สำคัญแขนงหนึ่งของวิทยาศาสตร์ ซึ่งการศึกษาในวิชาฟิสิกส์จะมุ่งเน้นหากฎเกณฑ์ต่างๆ สำหรับอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติทุกขนิด วิชาฟิสิกส์ นับว่ามีส่วนช่วยให้เทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว แต่ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ปัญหาที่ครูฟิสิกส์ทุกท่านพบโดยมาก คือ ปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนค่อนข้างต่ำมาก สาเหตุประการหนึ่งอาจเป็นเพราะว่าครูมักถ่ายทอดความรู้ให้นักเรียน เน้นให้นักเรียนจำสูตรต่างๆ ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งพบว่าถึงแม้นักเรียนจะจำสูตรต่างๆ ได้หมดแต่จะสามารถแก้โจทย์ปัญหาที่ตรงประเด็นต่อการใช้สูตรในเรื่องนั้นๆ เท่านั้น ถ้ามีการประยุกต์และเชื่อมโยงความรู้ในเรื่องต่างๆ เข้าด้วยกันให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหาและแก้ปัญหา นักเรียนจะไม่สามารถใช้ความรู้ที่มีมาแก้ปัญหาและประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้เท่าไรนัก

ดังนั้น ในฐานะที่ครูเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในชั้นเรียน ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งจะเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนที่ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรม ในชั้นเรียนให้มากที่สุด ทั้งทางร่างกาย สติปัญญา สังคมและอารมณ์ ได้แสดงออกทางด้านความคิด การกระทำอย่างอิสระ ตามความถนัดและความสนใจของตนเอง

ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ จึงนำแนวคิดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามาใช้ในการจัดเรียนการสอนวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ซึ่งคาดหวัง

เป็นอย่างยิ่งว่า จะช่วยพัฒนาทักษะเพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 สามารถนำไปประยุกต์ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆ อันจะส่งทำให้เกิดเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ตามมา และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังทำให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญและความเชื่อมโยงกันได้ ของวิชา ใน STEM (วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์) และนำผลการวิจัยที่ได้รับไปใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาทักษะการทำงานเป็นทีมของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

1.2.2 เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

1.2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล มีทักษะการทำงานเป็นทีม

1.3.2 นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชา ฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.3.3 ความพึงพอใจของนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล อยู่ระดับมาก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.4.1.1 ประชากร นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 และ 4/2 โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 2 ห้อง เรียนรวม 62 คน

1.4.1.2 กลุ่มตัวอย่าง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 34 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากประชากร

1.4.2 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เนื้อหากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยจัดทำเป็น ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ จำนวนแผนการเรียนรู้ 3 แผน รวม เวลาเรียน 6 ชั่วโมง ไม่นับเวลาทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1.5 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

1.5.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ทักษะการทำงานเป็นทีม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อมูลที่ใช้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำแบบทดสอบอย่างเต็มกำลังความสามารถของผู้เรียนทุกคน

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ ชุดกิจกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอน เรื่อง สภาพสมดุล เป็นจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบบูรณาการข้ามสาขาวิชาทั้งสี่ ได้แก่ วิชาวิทยาศาสตร์ (Science: S) เทคโนโลยี (Technology: T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) มีลักษณะการสอน ที่ตั้งอยู่บนฐานการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ การสอนโดยใช้ปัญหาเป็น แล้วใช้เทคโนโลยีเข้ามาเพื่ออำนวยความสะดวกในการออกแบบชิ้นงานเพื่อใช้แก้ปัญหาตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิศวกรรม ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นระบุปัญหาหรือสถานการณ์ 2) ขั้นเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 3) ขั้นออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา 4) ขั้นการทดลอง และ 5) ขั้นประเมินและปรับปรุงแก้ไข

1.7.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ หมายถึง ความสามารถด้านความรู้ของนักเรียนแต่ละคน ในการเรียนรู้เกี่ยวกับวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งได้จากคะแนน ที่วัดด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล หลังจากได้รับการกิจกรรมการเรียนการสอน ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วยข้อสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

1.7.3 ทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน หมายถึง ความคิดเห็นหรือความรู้สึกของนักเรียน ที่มีต่อการเรียนเรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เช่น การ

ให้ความร่วมมือ การมีส่วนร่วม การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น การแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความรู้ความเข้าใจ การเป็นผู้นำ และ พฤติกรรมการทำงาน ในที่นี้คือ คะแนนที่ได้จากแบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีม ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ลักษณะของแบบวัดประกอบด้วยข้อคำถาม 6 ข้อและแบ่งเป็นระดับคะแนน 4 ระดับคะแนน

1.7.4 ความพึงพอใจของผู้เรียน หมายถึง ความคิดเห็นหรือความรู้สึกของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เช่น การเห็นความสำคัญ คุณประโยชน์ ความนิยมชมชอบ ความสนใจและการแสดงออกหรือมีส่วนร่วม ในชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ในที่นี้คือ คะแนนที่ได้จากแบบวัดความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ลักษณะของแบบวัด เป็นแบบมาตรประมาณค่า (Rating scale) จำนวน 10 ข้อ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ ในระดับชั้นอื่นๆ

1.8.2 เป็นแนวทางให้กับผู้สอนได้นำการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ไปใช้กับกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ

1.8.3 นำไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนการวิชาฟิสิกส์ให้มีประสิทธิภาพ เหมาะสมต่อผู้เรียน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ตามลำดับดังนี้

2.1 สะเต็มศึกษา (STEM Education)

2.2 ชุดกิจกรรม

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วย Normalized gain

2.1 สะเต็มศึกษา (STEM Education)

ความหมายของคำว่า สะเต็มศึกษา หรือการจัดการเรียนรู้ตามแนว STEM จะยังไม่มีใครให้นิยามหรือความหมายที่ชัดเจนได้แต่มีผู้ให้นิยามของคำว่า สะเต็มศึกษา ไว้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ ได้กล่าวว่าเป็นการบูรณาการ 4 สาขาวิชาเข้าด้วยกัน ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยทุกวิชามีความสำคัญเท่ากัน เพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้ทุกแขนงมาใช้เพื่อแก้ปัญหา ค้นคว้า สร้างสรรค์และพัฒนาสิ่งต่างๆ ในสถานการณ์โลกปัจจุบัน หรือ มนตรี จุฬาวัฒนฑล (2556) บอกว่าเป็นแนวทางจัดการเรียนการสอนรูปแบบใหม่ที่เน้นการบูรณาการการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อให้เกิดการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ ที่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง แต่ถ้ามองในแง่ของการดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพ ในโลกศตวรรษที่ 21 รักษพล ธนานุวงศ์ (2556) กล่าวว่าสะเต็มศึกษาก็คือ การเรียนรู้เนื้อหาและทักษะด้านวิชาวิทยาศาสตร์ (Science) คณิตศาสตร์ (Mathematics) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และเทคโนโลยี (Technology) ซึ่งล้วนแต่เป็นวิชาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความสามารถ ที่จะดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพในโลก ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีความเป็นโลกาภิวัฒน์ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความรู้ และเต็มไปด้วยเทคโนโลยี อีกทั้งวิชาทั้ง 4 มี ความสำคัญอย่างมากกับการเพิ่มขีดความสามารถ ในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาคุณภาพชีวิต ส่วน พรทิพย์ ศิริภัทราชัย (2556), Breiner et al. (2012) และ Lantz (2009) และ O'Neil, T.L., Yamagata, J.Y. and Togioka, S. (2012) กล่าวว่าการสอนแบบบูรณาการข้ามกลุ่มสาระวิชา (Interdisciplinary Integration) ระหว่างศาสตร์สาขาต่างๆ โดยการนำจุดเด่นของแต่ละวิชามาใช้ ให้เป็นหนึ่งเดียว เพื่อให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากโรงเรียนสู่โลกแห่งความเป็นจริงและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง

ดังนั้น จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงขอสรุปความหมายของ สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการ วิชาวิทยาศาสตร์ วิชาเทคโนโลยี วิชาวิศวกรรมศาสตร์ และวิชาคณิตศาสตร์ โดย มีการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย การผนวกแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีของผู้เรียนกล่าวคือในขณะที่นักเรียน ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจและฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้เรียนต้องมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และผู้เรียนเห็นคุณค่าของสิ่งที่เรียน มุ่งเน้นการนำความรู้ไปแก้ปัญหาในชีวิตจริงและการประกอบอาชีพในอนาคต

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นขั้นตอนของการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการซึ่งมีได้หลายรูปแบบแต่มีขั้นตอนหลักๆ ประกอบด้วย

(1) การระบุปัญหา (Identifya Challenge)เป็นขั้นตอนที่ผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้าง สิ่งประดิษฐ์ (innovation) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

(2) การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore Ideas) คือการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ความคุ้มทุน ข้อดีและข้อด้อยและความเหมาะสมเพื่อเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

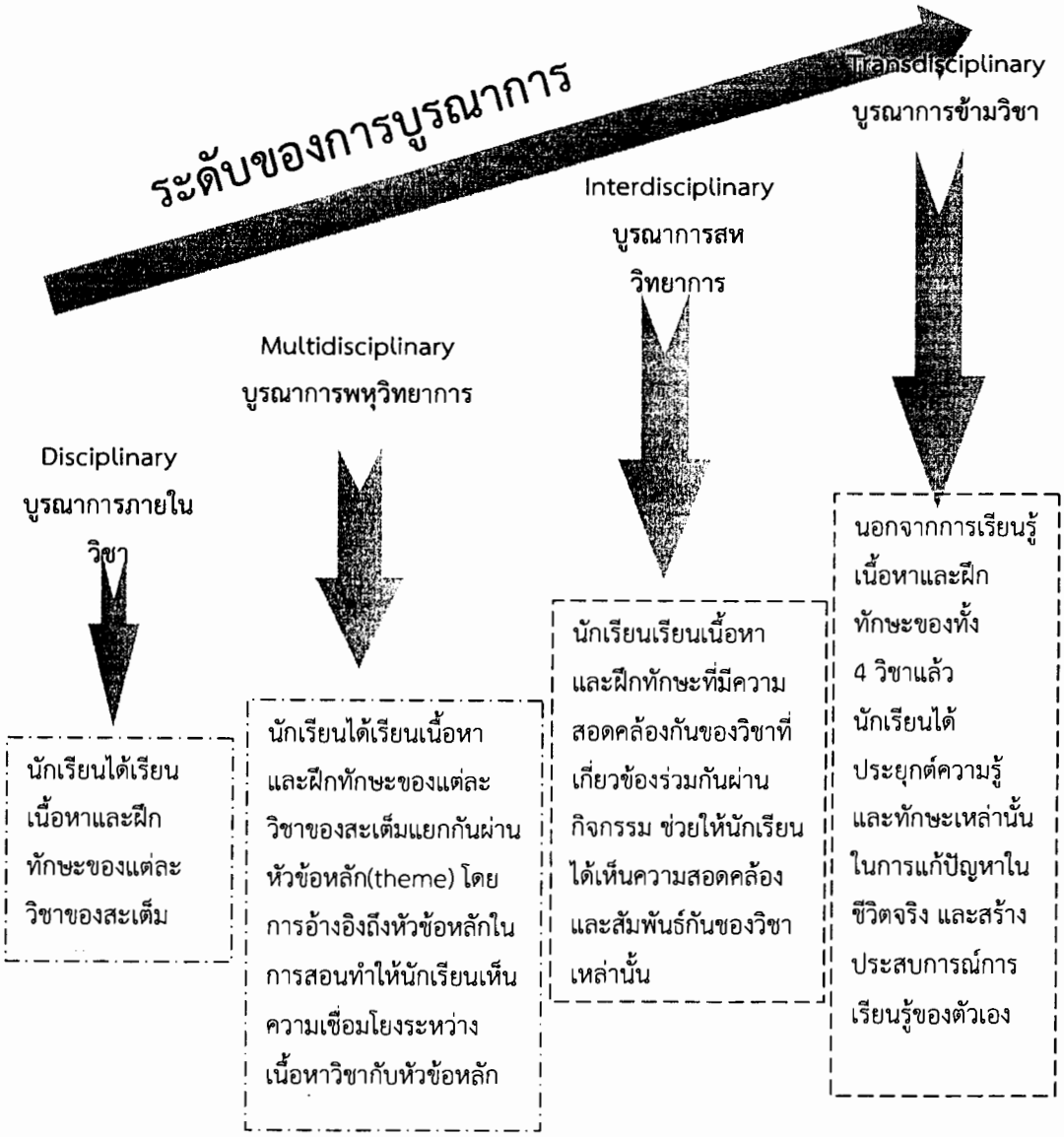
(3) การวางแผนและพัฒนา (Plan and Develop) ผู้แก้ปัญหาต้องกำหนด ขั้นตอนย่อยในการทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการ ให้ชัดเจนรวมถึงออกแบบและพัฒนาต้นแบบ (prototype) ของผลผลิตเพื่อใช้ในการ ทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา

(4) การทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluate) เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหาโดยผลที่ได้อาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น

(5) การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the Solution) หลังจากการพัฒนาปรับปรุง ทดสอบ และประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว

(6) ผู้แก้ปัญหาต้องนำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชนโดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

อย่างไรก็ตามในการทำงานผู้เรียน ไม่จำเป็นต้องมีลำดับที่แน่นอนโดยขั้นตอนทั้งหมดสามารถสลับไปมาหรือย้อนกลับ ขั้นตอนได้



ภาพที่ 1 การบูรณาการ 4 ระดับในสะเต็มศึกษา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Vasquez, Jo A. (2013)

การบูรณาการที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเรียนสะเต็มศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ (Vasquez, 2013) ดังแสดงในภาพที่ 1.1

จุดเด่นอีกข้อหนึ่งของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาคือการบูรณาการ เพื่อช่วยนักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิชาทั้ง 4 สาขาวิชากับชีวิตประจำวันและการประกอบอาชีพ ทั้งนี้ระดับการบูรณาการที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเรียนสะเต็มศึกษา สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่

(1) การบูรณาการภายในวิชา เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียน ได้เรียนเนื้อหา และฝึกทักษะของแต่ละวิชาของสะเต็มแยกกันการจัดการเรียนรู้แบบนี้คือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นอยู่ทั่วไปที่ครูผู้สอนแต่ละวิชาต่างจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนตามรายวิชาของตนเอง

(2) การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหา และฝึกทักษะของวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์แยกกันโดยมีหัวข้อหลัก (theme) ที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกันและมีการอ้างอิงถึงความเชื่อมโยง ระหว่างวิชานั้นๆ การจัดการเรียนรู้แบบนี้ช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาในวิชาต่างๆ กับสิ่งที่อยู่ รอบตัว เช่น ถ้าครูผู้สอนแต่ละวิชากำหนดร่วมกันว่าจะใช้กระติบข้าวเป็นหัวข้อหลักในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีครูผู้สอนเทคโนโลยีสามารถเริ่มแนะนำกระติบข้าวได้ว่า กระติบข้าวจัดเป็นเทคโนโลยีอย่างง่ายที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกหรือตอบสนองความต้องการที่จะเก็บความร้อนของข้าว ในขณะที่ครูวิทยาศาสตร์ยกตัวอย่างกระติบข้าวเพื่อสอนเรื่องการถ่ายโอนความร้อนครูคณิตศาสตร์สามารถใช้กระติบข้าวสอนเรื่องรูปทรงและให้นักเรียนหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของกระติบข้าวได้

(3) การบูรณาการแบบสหวิทยาการ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหา และฝึกทักษะอย่างน้อย 2 วิชาร่วมกัน โดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชา เพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกันในการจัดการเรียนรู้แบบนี้ ครูผู้สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกัน โดยพิจารณาเนื้อหาหรือตัวชี้วัดที่ตรงกัน และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาของตนเอง โดยให้เชื่อมโยงกับวิชาอื่น ผ่านเนื้อหาหรือตัวชี้วัดนั้นเช่นในวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากการเรียนเรื่องการถ่ายโอนความร้อนและฉนวนกันความร้อน ครูกำหนดให้นักเรียนทำการทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บความร้อนของกระติบข้าว โดยขอให้ครูคณิตศาสตร์สอนเรื่องการหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูปทรงต่างๆ ก่อนให้นักเรียนเริ่มทำการทดลองในวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากนั้นเมื่อนักเรียนทดลองและเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้นำข้อมูลจากการทดลองไปสร้างกราฟ และตีความผลการทดลองในวิชาคณิตศาสตร์

(4) การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา เป็นการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยนักเรียนเชื่อมโยงความรู้และทักษะที่เรียนรู้จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ กับชีวิตจริงโดยนักเรียนได้ประยุกต์ความรู้และทักษะเหล่านั้น ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนหรือสังคม และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของตัวเองครูผู้สอน จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจหรือปัญหาของนักเรียนโดยครูอาจกำหนดกรอบหรือหัวข้อหลักของปัญหากว้างๆ แล้วให้นักเรียนระบุปัญหาที่เฉพาะเจาะจงและวิธีการแก้ปัญหา ทั้งนี้ในการกำหนดกรอบของปัญหาให้นักเรียนศึกษานั้น ครูต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของนักเรียน 3 ปัจจัยได้แก่

(4.1) ปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสนใจ

(4.2) ตัวชี้วัดในวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

(4.3) ความรู้เดิมของนักเรียน

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน หรือโครงงาน เป็นฐาน (Problem/Project-Based Learning) เป็นกลยุทธ์ในการจัดการเรียนรู้ (Instructional Strategies) ที่มีแนวทางใกล้เคียงกับแนวทางการบูรณาการแบบนี้ หากพิจารณาการใช้กระติบข้าวเป็นหัวข้อหลักในการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ครูสามารถจัดการเรียนรู้บูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา โดยกำหนดกรอบปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา เช่น การใช้กระติบข้าวในร้านอาหารที่มักมีการบรรจุข้าวในถุงพลาสติกก่อนบรรจุลงในกระติบข้าวเพื่อป้องกันข้าวเหนียวติดค้างที่กระติบซึ่งจะมีผลทำให้ทำความสะอาดยากและผู้เรียนต้องออกแบบกระติบข้าวหรือวิธีการที่จะทำให้กระติบข้าวมีคุณสมบัติลดการติดของข้าวเหนียวเพื่อลดการใช้ถุงพลาสติกหลังจากที่ผู้สอนนำเสนอปัญหาดังกล่าวแล้วผู้เรียนต้องกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาโดยใช้แนวคิดและทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีผ่านกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

2.1.1 ลักษณะการจัดการเรียนรู้ที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ลักษณะของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา จะมีลักษณะดังนี้ (ธานี จันทร์นาง, 2556; พรทิพย์ ศิริภัทราชัย, 2556; มนตรี จุฬาวัฒนฑล, 2556; รักษพล ธนานุวงศ์, 2556; อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ, 2556; Lantz, 2009; Breiner et al., 2012; O'Neil, Yamagata, and Togioka, 2012)

2.1.1.1 มีลักษณะเป็นการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ STEM ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการเรียนแบบสืบเสาะซึ่งเป็นแนวทางที่ทำให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการลงมือปฏิบัติทดลองจริง เพื่อให้นักเรียนเข้าใจทั้งเนื้อหาและแนวคิดของแต่ละเรื่องที่เรียน โดยจากการศึกษาพบว่า การสอนแบบสืบเสาะทำให้นักเรียนมีความสนใจเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นและมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นด้วย

2.1.1.2 มีลักษณะการสอนที่ใช้ปัญหาหรือโครงงานเป็นฐานการสอนแบบใช้ปัญหาหรือโครงงานเป็นฐาน เป็นการเรียนการสอนที่เหมาะสำหรับสายวิชาชีพซึ่งเป็นวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ร่วมกันถาม ร่วมกันแก้ปัญหาเพื่อกำหนดกรอบหรือขอบเขตเพื่อศึกษาและหาแนวทางในการแก้ปัญหา โดยใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาช่วยแก้ปัญหา มีการสะท้อนความคิดจากประสบการณ์ โดยตรงของนักเรียน และรวมทั้งมีการใช้สื่อเทคโนโลยีเข้าร่วม จนนำไปสู่โครงงานเพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ขึ้นใช้แก้ปัญหาในที่สุด

2.1.1.3 มีการบูรณาการสื่อเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการจัดการเรียนรู้กล่าวคือ สื่อเทคโนโลยีจะช่วยในการส่งเสริมการสอนและการเรียนเรียนของผู้เรียนโดยเนื้อหาได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยโดยครูหรือจากโรงเรียน สามารถเข้าถึงได้ทันทีจากการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต เป็นต้น

2.1.2 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

2.1.2.1 ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ที่ใช้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการทางวิศวกรรม เป็นพื้นฐาน

2.1.2.2 ผู้เรียนเข้าใจและสนใจการประกอบอาชีพด้านสะเต็มมากขึ้น

2.1.2.3 ผู้เรียนเข้าใจสาระวิชา และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากขึ้น

2.1.2.4 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีส่วนร่วมสนับสนุนการจัดกิจกรรมของครูและบุคลากรทางการศึกษา

2.1.2.5 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้และเชื่อมโยงกันระหว่าง 8 กลุ่มสาระวิชา

2.1.2.6 สร้างกำลังคนด้านสะเต็มของประเทศไทย เพื่อเพิ่มศักยภาพทางเศรษฐกิจของชาติ

จะเห็นได้ว่าในต่างประเทศ มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทาง STEM อย่างกว้างขวาง โดยมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน เรื่อง ดาวอังคารในจินตนาการ โดยนักเรียนเกรด 3–8 พบว่าการจัดการเรียนรู้บูรณาการ STEM ในการให้นักเรียนได้ทำโครงงาน ส่งผลทำให้นักเรียนสามารถถ่ายโอนความรู้และทักษะสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้าและประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆที่เกิดขึ้นในภายภาคหน้าได้ เพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้เพิ่มขึ้น และมีผลทดสอบในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้นด้วยเป็น (Diana, 2012) และในโรงเรียนมัธยม 10 แห่งทั่วสหรัฐอเมริกา ได้มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ในโรงเรียน เพื่อการเตรียมความพร้อมแก่นักเรียนสำหรับเข้าทำงานในสาขาที่เกี่ยวข้องกับ STEM ซึ่งในหลายๆ โรงเรียนได้มีการออกแบบแผนและดำเนินการนำไปใช้แล้ว แต่อีกหลายๆ แห่งยังอยู่ในขั้นดำเนินการวางแผนอยู่ จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่านักเรียนที่สมัครใจเข้าร่วมห้องเรียน STEM มีความสามารถในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้ดีกว่าเด็กนักเรียนระดับเดียวกันแต่ไม่ได้เข้าร่วม และนักเรียนกลุ่มที่เข้าร่วมนี้ยังให้บอกอีกว่า หากพวกเขาได้รับโอกาสและการสนับสนุนส่งเสริมให้สามารถเรียนรู้ที่จะแก้ปัญหาที่พบเจอในชีวิตและฝึกงานจริง หรือให้รับผิดชอบทำโครงงานขึ้นมาสักชิ้น เพื่อใช้ขอสำเร็จการศึกษา พวกเขาก็สามารถสำเร็จการศึกษาขั้นพื้นฐานได้อย่างแน่นอน (Scott, 2012) และยังมีผลทำให้ นักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน STEM ด้วยโครงงานเป็นฐาน มีผลสัมฤทธิ์ในรายวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น และมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดในกลุ่มนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำ และส่งผลทำให้ช่วยลดช่องว่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนลงมาอีกด้วย (Han, s. and

Capraro,R. and Capraro, M.M, 2014) และยังทำให้มีเจตคติต่อวิศวกรรมเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ สามารถแสดงให้เห็นถึงความหมายของการเรียนรู้และอยากที่จะเรียนรู้เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อเจตคติในการประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับ STEM ในภายภาคหน้าเพิ่มขึ้นด้วย (Tseng, K. et al., 2013) ทำให้ผู้เรียนสามารถถ่ายโอนความรู้ ทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้าและประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความสามารถที่จะดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพในศตวรรษที่ 21

2.2 ชุดกิจกรรม

2.2.1 ความหมายของชุดกิจกรรม

ชุดการเรียนหรือชุดกิจกรรม มาจากคำว่า Instructional Packages หรือ Learning Packages เดิมทีเดียวมักใช้คำว่า ชุดการสอน เพราะเป็นสื่อที่ครูนำมาใช้ประกอบการสอนแต่ต่อมาแนวคิดในการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นนักการศึกษาจึงเปลี่ยนมาใช้คำว่า ชุดการเรียน เพราะการเรียนรู้เป็นกิจกรรมของนักเรียนและการสอนเป็นกิจกรรมของครู กิจกรรมของครูและนักเรียนจะต้องเกิดคู่กัน (บุญเกื้อ ควรหาเวช, 2542: 91) และในการวิจัยผู้วิจัยใช้แบบฝึกซึ่งเป็นกิจกรรมหนึ่งของชุดกิจกรรม ดังนั้นการทำกิจกรรมต่างๆ ในชุดแบบฝึกก็คือการทำกิจกรรม ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของผู้เรียน สรุปไว้ว่า ชุดกิจกรรมคือสื่อการสอนที่ผู้สอนสร้างขึ้น ประกอบด้วยสื่อวัสดุอุปกรณ์หลายชนิดประกอบเข้ากันเป็นชุด เพื่อเกิดความสะดวกต่อการใช้ในการเรียนการสอน และทำให้การเรียนการสอนบรรลุผลตามเป้าหมายของการเรียนรู้ ทั้งด้านความรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ ส่วน (Kapfer and Kapfer, 1972: 3-10) กล่าวว่าคำว่าชุดการเรียนไว้ว่า เป็นรูปแบบการสื่อสารระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน ซึ่งประกอบด้วยคำแนะนำให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมการเรียนจนบรรลุพฤติกรรมที่เป็นผลของการเรียนรู้ ส่วนเนื้อหาที่นำมาสร้างชุดการเรียน นำมาจากขอบข่ายความรู้ที่หลักสูตรกำหนดให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ ซึ่งต้องสื่อความหมายให้แก่ผู้เรียนอย่างชัดเจน จนผู้เรียนเกิดพฤติกรรมตามเป้าหมาย หรือจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรม

จากที่ได้ศึกษามาแล้วผู้วิจัยสรุปคำว่าชุดกิจกรรมตามความเข้าใจของตัวเองว่า เป็นสื่อที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง มีคำชี้แจง มีการจัดสื่อไว้อย่างเป็นระบบ ช่วยให้นักเรียนเกิดความสนใจตลอดเวลา เกิดทักษะในการแสวงหาความรู้ และทำให้การเรียนการสอนบรรลุผลตามเป้าหมายของการเรียนรู้

ดังเช่นงานวิจัยของ เพชรรัตดา เทพพิทักษ์ (2545) ได้พัฒนาชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนมีทักษะการปฏิบัติการทดลอง ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และผู้เรียนมีความตระหนักต่อเทคโนโลยีในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Vivas (1985) ได้ทำการวิจัย เกี่ยวกับการออกแบบพัฒนาและการประเมินค่าการรับรู้ทางความคิดของนักเรียนเกรด 1 ในประเทศเวเนซุเอรา โดยใช้ชุดการสอน จากการศึกษาเกี่ยวกับความเข้าใจเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะทั้ง 5 คือ ด้านความคิด ด้านความพร้อมในการเรียน ความคิดสร้างสรรค์ ด้านเชาว์ปัญญา และด้านการปรับตัวทางสังคม หลังจากได้รับการสอนด้วยชุดกิจกรรมสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติ ในแง่ของการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน Edward (1975) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนเรื่อง ประสบการณ์ในการสอนแบบจุลภาค โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนด้วยตนเองและได้รับคำแนะนำจากครู กับการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนด้วยตนเองโดยไม่ต้องมีผู้แนะนำ ผลการวิจัยพบว่าทั้ง 2 กลุ่ม มีผลการเรียนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ Meeks (1972) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีสอนแบบใช้ชุดกิจกรรมกับวิธีสอนแบบธรรมดา ผลการวิจัยพบว่า วิธีสอนโดยใช้ชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพมากกว่าการสอนแบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสอดคล้องกันกับ

จากการศึกษางานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ สรุปได้ว่า การสอนโดยใช้ชุดกิจกรรมสามารถพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ดีขึ้น เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้ตามความสามารถของตนเอง ทั้งที่เป็นรายบุคคลและรายกลุ่ม ชุดกิจกรรมสามารถช่วยให้ผู้เรียนคิดเป็นทำเป็น แก้ปัญหาได้ รู้จักการทำงานเป็นหมู่คณะ มีความรับผิดชอบ มีความคิดสร้างสรรค์ เกิดความรู้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วย Normalized gain

2.3.1 ความหมาย Normalized Gian

ณัฐพล พรมลี (2554; อ้างอิงจาก Richard R. Hake, 1998) นักฟิสิกส์แหล่งมหาวิทยาลัยอินเดียได้เสนอวิธีการประเมินผลการเรียนรู้จากการสอน Pre-test และ Post-test โดยมีวิธีการดังนี้ เนื่องจากการสอบครั้งหนึ่งๆ มีข้อจำกัดในเรื่องคะแนนต่ำสุดที่ทุกคนจะมีโอกาสได้คะแนนต่ำสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0 และโอกาสที่จะได้คะแนนสูงสุด (Maximum or ceiling effect) ไม่เกินร้อยละ 100 หรือที่เรียกว่า floor and ceiling effect ด้วยปัญหานี้ Hake จึงได้เสนอวิธีการในการประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า Normalized Gian (Normalized มาจากคำศัพท์ทางควอนตัมฟิสิกส์ ซึ่งหมายถึงการทำให้มีโอกาสความเป็นไปได้เท่าๆ กัน โดยมีค่าเป็นไปได้สูงสุดเท่ากับ 1 เท่ากัน) โดยหาได้จากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (Actual gian) ต่อผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (Maximum possible gian) เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{(\%\ \text{Post - test}) - (\%\text{Pre - test})}{(100\%) - (\%\text{Pre - test})} \qquad (2.1)$$

เมื่อ <g> คือ ค่า Normalized Gian

% Post-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

%Pre-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

*หมายเหตุ คิดเฉพาะนักเรียนคนที่สอบทั้งก่อนและหลังเรียนเท่านั้น

ข้อสังเกต การคำนวณหา Normalized Gian นี้ไม่จำเป็นต้องใส่เป็นเปอร์เซ็นต์ก็ได้ โดยให้ใช้คะแนนสอบจริงแทนโดย Pre-test คือคะแนนสอบก่อนเรียน Post-test คือ คะแนนสอบหลังเรียน และใช้คะแนนเต็มของข้อสอบชุดนั้นแทนร้อยละ 100

<g> หรือ Normalized Gian แปลความได้ว่า ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียน (Actual gian = %post-test)-(%Pre-test)/(100%)-(%Pre-test) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.0-1.0

ด้วยวิธีการประเมินเช่นนี้ทำให้สามารถแก้ปัญหา Floor and ceiling effect ได้เนื่องจากเราคิดผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับค่าสูงสุดที่แต่ละคนจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (กล่าวอีกในหนึ่งคือ เราได้ทำการ Normalized Gian ให้มีโอกาสเป็นไปได้อยู่ในช่วง 0.0-1.0 เท่ากันแล้ว ด้วยการเทียบกับค่าสูงสุดที่แต่ละคนจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ โดยค่า Normalized Gian จะสามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยสามารถแบ่งระดับของค่า Normalized Gian ออกเป็นกลุ่มได้ 3 ระดับ คือ

“Hight gian”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$<g> \geq 0.7$
“Medium gian”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$0.7 \leq <g> \geq 0.3$
“Low gian”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$0.0 \leq <g> \geq 0.3$

2.3.2 ประเภทของ Normalized Gian

ประเภทของ Normalized Gian แบ่งได้ดังนี้

2.3.2.1 Class normalized gian

2.3.2.2 Single student normalized gian

2.3.2.3 Single test item normalized gian

2.3.2.4 Conceptual dimensional normalized gian

รายละเอียดและการแปลความเหมายเป็น ดังนี้

2.3.2.1 Class normalized gian หรือ Class average normalized gian หมายถึงการพิจารณาว่าผลการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งชั้นนั้นเพิ่มขึ้นคิดเป็นกี่เท่าของผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ โดยดูได้จากคะแนนเฉลี่ยของทั้งชั้นทั้งก่อนและหลังเรียน

การพิจารณาผลการเรียนของนักเรียนในลักษณะนี้ใช้เพื่อดูว่าผลการเรียนการสอนโดยภาพรวมของทั้งชั้นนั้นมีพัฒนาการขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปนักวิจัยจะอ้างถึงเนื่องจากสามารถบอกเป็นภาพรวมของทั้งชั้น อย่างไรก็ตามในการคิดคำนวณเพื่อหาค่า normalized gian นี้อาจใช้การนับคะแนนหรือนับจำนวนนักเรียนที่ตอบข้อสอบได้ถูกต้องเพื่อมาเข้าสูตรการ

คำนวณผลการคำนวณที่ได้จะเป็นการบอกภาพรวมของชั้นว่ามีผลการเรียนดีขึ้นมากน้อยเพียงใด แต่ถ้าหากต้องการดูว่านักเรียนแต่ละคนมีผลการเรียนเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นอย่างไรไม่อาจสรุปได้ด้วยวิธีการนี้

2.3.2.2 Single student normalized gian หมายถึงการพิจารณาว่านักเรียนแต่ละคนมีพัฒนาการเรียนรู้เป็นอย่างไร โดยดูได้จากคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนแต่ละคน

สำหรับการหาค่า <g> ของนักเรียนแต่ละคนทั้งชั้นแล้วมาหาค่าเฉลี่ย หรืออาจจะเรียกว่าเป็นค่าเฉลี่ย <g> ของนักเรียนห้องนี้ ซึ่งควรจะเป็นค่าเดียวกันกับ Class normalized gain แต่ค่าที่ได้จากวิธีนี้จะพบว่ามีค่าไม่เท่ากันโดยค่าที่ได้ด้วยวิธีนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง ± 5 ของ Class normalized gain โดยที่จำนวนประชากรที่ทดสอบต้องมีค่าตั้งแต่ 20 คนขึ้นไป

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราอาจจะทำได้ลำบากสำหรับการที่จะดู <g> ของนักเรียนแต่ละคนเนื่องจากต้องใช้เวลามากถ้านักเรียนมีจำนวนมาก แต่สำหรับชั้นเรียนที่มีนักเรียนจำนวนน้อยเราสามารถดูได้ และจะเป็นการดี เนื่องจากทำให้ครูสามารถดูพัฒนาการของนักเรียนแต่ละคนได้เป็นอย่างดี อันจะเป็นแนวทางในการช่วยเสริมให้กับนักเรียนมีผลการเรียนรู้ที่ต่ำได้ หรืออาจให้นักเรียนที่ผลการเรียนที่ดีอยู่แล้วมาช่วยเหลือเพื่อนได้ การพิจารณาในลักษณะนี้เป็นการพิจารณาแบบรายคน แต่หากต้องการดูว่าข้อสอบแต่ละข้อนักเรียนตอบได้มากน้อยเพียงใด หรือมีพัฒนาการต่อข้อสอบข้อนั้นอย่างไรต้องดูด้วยวิธีต่อไปนี้

2.3.2.3 Single test normalizaed gain หมายถึงการพิจารณาว่าจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกเพิ่มขึ้นเป็นเท่าใดของข้อสอบสอบข้อที่เรากำลังพิจารณาในการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

การพิจารณาในลักษณะนี้มีข้อดีคือทำให้บอกได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจต่อข้อสอบข้อนั้นๆ เป็นอย่างไร ซึ่งสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการเรียนการสอนในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับข้อสอบข้อนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี สำหรับข้อสอบชุดหนึ่งๆ โดยเฉพาะข้อสอบที่เป็น Concept test จะมีการแบ่งหมวดหมู่ของข้อสอบออกเป็นกลุ่มตามแนวความคิดรวบยอด (Concept) ที่ผู้สร้างแบบทดสอบได้ตั้งไว้ตั้งแต่ตอนแรก ดังนั้นจึงนิยมที่จะพิจารณาผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนต่อกลุ่มข้อสอบกลุ่มนั้นๆ อันจะทำให้บอกได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจต่อแนวความคิดรวบยอดนั้นๆ เป็นอย่างไร

2.3.2.4 Conceptual dimensional normalized gain เป็นการดูพัฒนาการหรือผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนที่มีต่อ Concept หนึ่งๆ เป็นอย่างไร การพิจารณาผลการเรียนรู้ในลักษณะนี้จะใช้ในกรณีที่ต้องการดูว่านักเรียนมีผลการเรียนหรือมีพัฒนาการต่อการเรียนในหัวข้อนั้นๆ เป็นอย่างไร เนื่องจากการสอบครั้งหนึ่งๆ จะมีการสอบรวบยอดเพื่อที่จะดูผลการเรียนที่นักเรียนสอบได้ต่อข้อสอบชุดนั้นๆ ซึ่งข้อสอบมาตรฐานทั่วไปจะมีการวัดความเข้าใจหลายๆ ความคิดรวบยอดอยู่ในข้อสอบชุดเดียวกัน ดังนั้นหากเราดูเฉพาะคะแนนรวมไม่อาจบอกได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจใน

แต่ละแนวคิดรวบยอดนั้นมากน้อยเพียงใด จึงเป็นการดีที่เราจะดูได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจผิดในเรื่องใดมากหรือน้อยเพื่อที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาการสอนได้ตรงประเด็นที่นักเรียนเข้าใจผิดเป็นส่วนมากส่วนประเด็นที่นักเรียนมีผลการเรียนรู้ที่ดีอยู่แล้วเราก็สามารถนำไปพัฒนาต่อให้ดีขึ้นไปอีกได้เช่นกัน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งในการดำเนินการวิจัย ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เสนอรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ตามลำดับหัวข้อดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

3.3 แบบแผนในการวิจัย

3.4 การออกแบบและสร้างเครื่องมือในการวิจัย

3.5 วิธีการดำเนินการรวบรวมข้อมูล

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 และ 4/2 โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 2 ห้อง รวม 62 คน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 34 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากประชากร

3.2 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยจัดทำเป็น ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ จำนวนแผนการเรียนรู้ 3 แผน รวม เวลาเรียน 6 ชั่วโมง ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ไม่นับเวลาทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

3.3 แบบแผนการวิจัย

แบบแผนการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เป็นแบบการวิจัยที่มีการทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน (One group Pretest Posttest Design)

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
E	T_1	X	T_2

3.4 การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.4.1 ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ค. โดยแบ่งเป็นชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่องแรงและเงื่อนไขของสมดุล ชุดกิจกรรม 2 เรื่องสมดุลต่อการหมุน และ ชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ

3.4.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง สภาพสมดุล จำนวน 30 ข้อ แบบปรนัย โดยแบ่งเป็นเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านความรู้ความเข้าใจ และด้านการคำนวณ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อสอบแบ่งตามเนื้อหาที่ใช้ในการวัดผลแต่ละด้าน

เนื้อหา	ด้านความรู้ความเข้าใจ (ข้อที่)	และด้านการคำนวณ (ข้อที่)
แรงและเงื่อนไขของสมดุล	1, 3, 4, 5, 29	6, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 20, 21
สมดุลต่อการหมุน	2, 24, 28	8, 10, 14, 15, 19, 22, 23, 30
จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ	7, 25	18, 26, 27

ตารางที่ 3.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา สาระสำคัญ และผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เนื้อหา	สาระสำคัญ	ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง
- สภาพสมดุลของวัตถุและวิเคราะห์สภาพสมดุลตามเงื่อนไขของสมดุล	- สมดุลเป็นสภาพที่วัตถุสามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้คงเดิม คือ หยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว หรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัววัตถุจะสมดุลต่อการเลื่อนที่ คือ หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ และวัตถุจะสมดุลต่อการหมุนคือ ไม่หมุนหรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคง เมื่อทอร์กลัพธ์หรือผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์	- ความหมายของโมเมนต์และโมเมนต์ของแรงคู่ควบ
- อธิบายผลของแรงคู่ควบโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ	- เมื่อมีแรงคู่ควบกระทำต่อวัตถุ แรงลัพธ์จะเท่ากับศูนย์ ทำให้วัตถุสมดุลสมดุลต่อการเลื่อนที่ แต่โมเมนต์ของแรงคู่ควบไม่เท่ากับศูนย์ ทำให้วัตถุหมุน	- อธิบายสภาพสมดุลสถิต สมดุลจลน์สภาพยืดหยุ่น ความแข็งแรงของวัตถุและความทนแรงของวัตถุตลอดจนสามารถบอกเงื่อนไขของการสมดุลได้
- อธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุและผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุมีความเกี่ยวข้องกับศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุ	- เมื่อออกแรงในแนวระดับกระทำต่อวัตถุที่วางบนพื้นลื่น แล้ววัตถุเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่โดยไม่หมุนแนวแรงนั้นจะผ่านศูนย์กลางมวล และในกรณีที่วัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วงเดียวกัน ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน	- นำหลักการสมดุลไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาแรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของโครงสร้างที่อาศัยหลักของการสมดุล

3.4.3 แบบประเมินการปฏิบัติงานผู้เรียน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ลักษณะของแบบวัดประกอบด้วยเกณฑ์การประเมิน 3 ข้อและแบ่งเป็นระดับคะแนน 4 ระดับคะแนน มีเกณฑ์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน

ระดับคะแนน	เกณฑ์การประเมิน		
	การออกแบบการแก้ไข	**การปฏิบัติการ**	**การนำเสนอข้อมูล**
4	- กำหนดวิธีการขั้นตอนถูกต้อง เลือกใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเหมาะสม	- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง	- บันทึกผล เขียนสรุป ในชุดกิจกรรม ถูกต้องรัดกุม การนำเสนอเป็นขั้นเป็นตอนชัดเจน
3	- กำหนดวิธีการและขั้นตอนถูกต้อง การใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ ยังไม่เหมาะสม	- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องถ้าให้คำแนะนำ	- บันทึกผล เขียนสรุป ในชุดกิจกรรม ถูกต้อง แต่การนำเสนอยังไม่เป็นขั้นเป็นตอน
2	- กำหนดวิธีการและขั้นตอนไม่ถูกต้อง ต้องให้ความช่วยเหลือ	- ต้องการใช้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์	- ต้องให้คำชี้แนะในการบันทึกผล สรุป ในชุดกิจกรรมและการนำเสนอจึงจะปฏิบัติได้
1	- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการกำหนดวิธีการ ขั้นตอน และการใช้เครื่องมือ	- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์	- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในบันทึกผล สรุปในชุดกิจกรรมและการนำเสนอ

3.4.3 แบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีม ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ลักษณะของแบบวัดประกอบด้วยข้อคำถาม 6 ข้อและแบ่งเป็นระดับคะแนน 4 ระดับคะแนน มีรายการที่ประเมิน คือ การให้ความร่วมมือ การมีส่วนร่วม การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น การแสดงความคิดเห็น และสะท้อนความรู้ความเข้าใจ การเป็นผู้นำ และพฤติกรรมการทำงาน

3.4.4 แบบวัดความพึงพอใจ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ลักษณะของแบบวัด เป็นแบบมาตรประมาณค่า (Rating scale) ประกอบด้วยข้อคำถาม 15 ข้อ

มีระดับความคิดเห็นให้นักเรียนเลือก 5 ระดับ คือ

เห็นด้วยอย่างยิ่ง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด

เห็นด้วยมาก หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมาก

เห็นด้วยปานกลาง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนในระดับปานกลาง

เห็นด้วยบ้าง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนอยู่บ้างเล็กน้อย

ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง หมายถึง ข้อความนั้นไม่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนเลยหรือตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนน้อยที่สุด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้ รับฟังข้อเสนอแนะจากอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข เมื่อแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์แล้วจึงนำเครื่องมือที่ได้ไปใช้ในการทดลอง เครื่องมือในการทดลองได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก

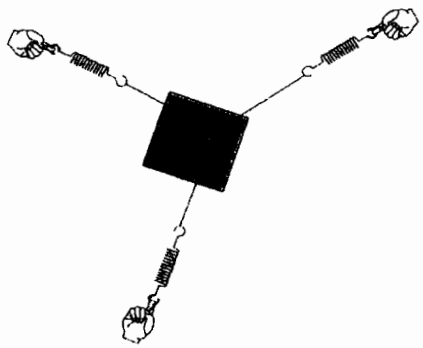
3.5 ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนเรื่อง สภาพสมดุล โดยเป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่เลือกคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1

3.5.2 ดำเนินการสอนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ร่วมกับการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

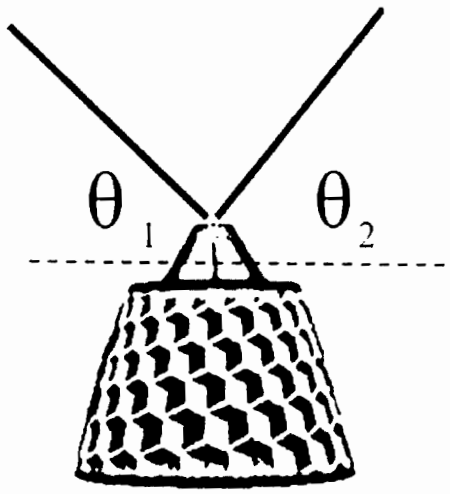
3.5.2.1 ชุดกิจกรรมที่ 1: ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง เงื่อนไขของสมดุล เป็นชุดกิจกรรมที่ประกอบไปด้วยกิจกรรมการทดลองและสถานการณ์การแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นโดยมุ่งหวังให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจและอธิบายเกี่ยวกับแรงต่างๆ ที่อยู่ในแนวสมดุลได้อย่างถูกต้อง มีทักษะการทดลอง และสามารถนำไปแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ โดยในชุดกิจกรรมที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นกิจกรรมการทดลองเพื่อศึกษาเงื่อนไขของแรงสามแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในแนวสมดุล โดยศึกษาสมดุลของแรงสามแรงที่มีจุดร่วมจุดเดียวกัน



ภาพที่ 3.1 การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล ตอนที่ 1

จากภาพที่ 3.1 ใช้เครื่องชั่งสปริงออกแรงดึง ทั้ง 3 แรง ตามรูปแล้วอ่านค่าของแรงดึงทั้งสามแรงและบันทึกผล เขียนเส้นแนวแรงโดยมีจุดร่วมจุดเดียวกัน นำแรงทั้งสามแรงมารวมกันแบบเวกเตอร์โดยวิธีสร้างรูป และวิธีการคำนวณ ผลลัพธ์ของการรวมกันของแรงทั้งสามแรงจะมีค่าเป็นศูนย์

และตอนที่ 2 เป็นการแก้ไขสถานการณ์ที่กำหนดให้ นักเรียนออกแบบแขวนโคมไฟ ซึ่งหนัก 5 kg จากเชือกที่มีความยาว 4 เมตร แล้วทำให้เชือกหย่อนลงมา 20 เซนติเมตร

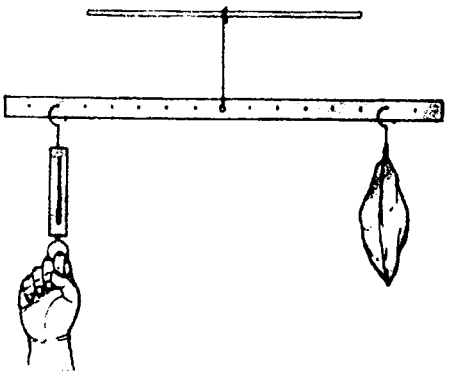


ภาพที่ 3.2 สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล ตอนที่ 2

จากภาพที่ 3.2 ออกแบบการแก้สถานการณ์ โดยกำหนดเงื่อนไข กำหนดเป้าหมายความต้องการ เขียนแผนผังความคิด ใช้หลักการทางเทคโนโลยี ในการเลือกเชือกมาใช้ และใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คือ นำเชือกกับโคมไฟแล้วดึงหาค่าแรงดึงสูงสุดจาก $\sum \vec{F}_x = 0$ และ

$\sum \vec{F}_y = 0$ แล้ว หามุม θ_1 และ θ_2 ที่พอเหมาะ หลังจากนั้นหาแรงดึงเชือกสูงสุด แล้วนำไปทดสอบแขวนตรวจสอบ และแก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน

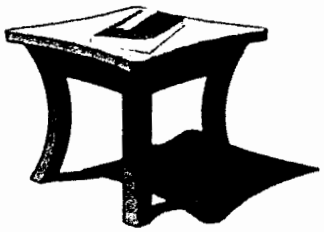
3.5.2.2 ชุดกิจกรรมที่ 2: ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สมดุลต่อการหมุน เป็นชุดกิจกรรมที่ประกอบไปด้วยกิจกรรมการทดลองและสถานการณ์การแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นโดยมุ่งหวังให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจและอธิบายเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุนได้ว่าผลรวมโมเมนต์ของแรงเป็นศูนย์ มีทักษะการทดลอง คำนวณหาปริมาณต่างๆ ตามหลักสมดุลโมเมนต์ได้อย่างถูกต้อง และสามารถนำไปแก้ปัญหา ในสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ โดยในชุดกิจกรรมที่ 2 แบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งตอนที่ 1 เป็นกิจกรรมการทดลองสมดุลของคาน



ภาพที่ 3.3 การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน ตอนที่ 1

จากภาพที่ 3.3 ใช้เชือกร้อยที่รูตรงจุดกึ่งกลางไม้เมตร แล้วนำไปแขวนไว้กับที่ยึด ถ้าไม้เมตรไม่อยู่ในแนวระดับให้เอาดินน้ำมันปะติดกับไม้เมตรด้านที่เอียงขึ้น จนไม้เมตรอยู่ในแนวระดับ แขวนถุงทราย 1 ถุง ที่ตำแหน่งหนึ่งของคาน ใช้เครื่องชั่งสปริงคล้องที่คานด้านตรงข้ามแล้วออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงให้คานอยู่ในแนวระดับ อ่านและบันทึกค่าแรงดึง การทดลองนี้นักเรียนสามารถคำนวณหาผลลัพธ์ของโมเมนต์โดยมีผลรวมโมเมนต์เป็นศูนย์ คือ โมเมนต์ทิศตามเข็มนาฬิกามีค่าเท่ากับโมเมนต์ทิศทวนเข็มนาฬิกาและนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับทฤษฎีและสรุปผล

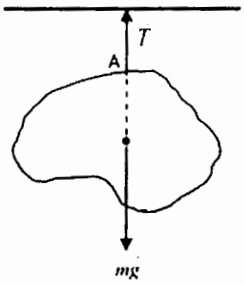
ตอนที่ 2 เป็นการแก้ไขสถานการณ์ที่กำหนดให้ ต้องการสร้างโต๊ะ ที่สามารถรองรับน้ำหนักของหนังสือให้ได้มากที่สุด โดยในที่นี้จะใช้กระดาษหนังสือพิมพ์จำนวน 4 คู่เป็นวัสดุที่ใช้สร้างขาโต๊ะ แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด ขนาด 20 x 20 cm. แทนหน้าโต๊ะสำหรับรองรับหนังสือ คลิปหนีบกระดาษ 8 ตัว และกระดาษกาวยาว 60 cm. นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรในการสร้างโต๊ะ ที่สามารถรองรับน้ำหนักของหนังสือได้มากที่สุด



ภาพที่ 3.4 สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน ตอนที่ 2

จากภาพที่ 3.4 ออกแบบการแก้สถานการณ์ โดยกำหนดเงื่อนไขกำหนดเป้าหมายความต้องการ เขียนแผนผังความคิด ใช้หลักการทางเทคโนโลยี ในการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ และใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ $\sum \vec{F}_x = 0$ และ $\sum \vec{F}_y = 0$ หาแรงที่ขาดโต๊ะแต่ละต้น แล้วนำไปทดสอบวางหนังสือตรวจสอบ $\sum \vec{\tau}_0 = 0$ และแก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน

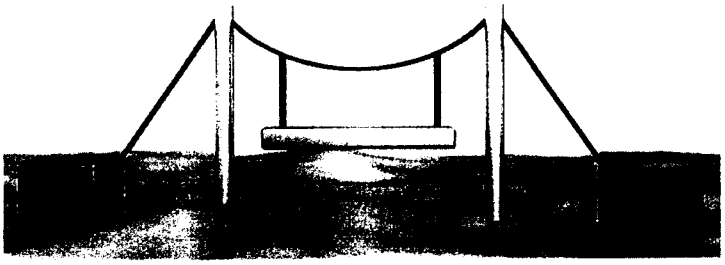
3.5.2.3 ชุดกิจกรรมที่ 3: ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ เป็นชุดกิจกรรมที่ประกอบไปด้วยกิจกรรมการทดลองและสถานการณ์การแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นโดยมุ่งหวังให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจและอธิบายเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุนได้ว่าผลรวมโมเมนต์ของแรงเป็นศูนย์ มีทักษะการทดลอง คำนวณ หาจุดศูนย์ถ่วง และสามารถนำไปแก้ปัญหา ในสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ โดยในชุดกิจกรรมที่ 3 แบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งตอนที่ 1 เป็นกิจกรรมการทดลองหาจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ โดยใช้แผ่นรูปทรงใดๆ ผูกไว้กับเชือกแล้วแขวน



ภาพที่ 3.5 การทดลองในชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ ตอนที่ 1

ภาพที่ 3.5 เป็นกิจกรรมการทดลองหาจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ โดยใช้แผ่นรูปทรงใดๆ ผูกไว้กับเชือกแล้วแขวนดังภาพที่ 3.5 เมื่อแผ่นวัตถุหยุดนิ่งจะได้แนวแรง T และ mg อยู่ในแนวเดียวกัน คือเส้นประ A เมื่อเปลี่ยนจุดที่ผูกเชือกเป็นจุดอื่นๆ แล้วลากเส้นตรงตามแนวเส้นเชือกแต่ละครั้ง

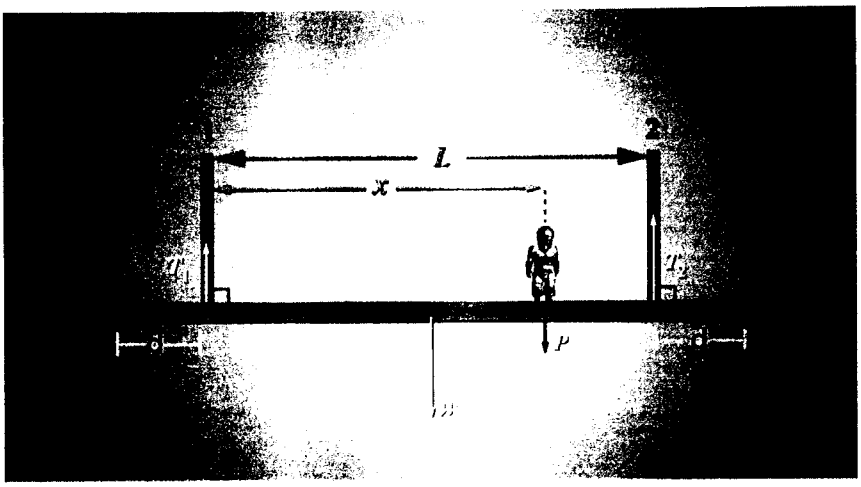
จะพบว่าแนวเส้นเชือกมาตัดกันที่จุดจุดหนึ่ง เนื่องจากแนวเส้นเชือกอยู่ในแนวเดียวกับแนวน้ำหนัก ดังนั้นจุดตัดของแนวเส้นเชือก คือ จุดศูนย์รวมของ น้ำหนัก เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์ถ่วง (C.G.)



ภาพที่ 3.6 สถานการณ์ในชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ ตอนที่ 2

จากภาพที่ 3.6 ออกแบบการแก้สถานการณ์ โดยกำหนดเงื่อนไขกำหนดเป้าหมายความต้องการ เขียนแผนผังความคิด ใช้หลักการทางเทคโนโลยี ในการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ และใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ $\sum\vec{F}_x = 0$, $\sum\vec{F}_y = 0$ และ $\sum\vec{\tau}_0 = 0$ และแก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน

ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำ ต่อส่วนต่างๆ ของแบบจำลองสะพานแขวน เราจะสมมติว่า เราทราบ น้ำหนักของพื้นสะพานและสายเคเบิ้ลรอง (สายแขวน) ทั้งสองเส้น และน้ำหนักของสายเคเบิ้ลหลักน้อยมาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสายแขวนทั้งสองและพื้นสะพาน (ทำให้สายเคเบิ้ลเป็นรูปพาราโบลา) ดังนั้น ในการวิเคราะห์จะไม่คิดน้ำหนักของสายเคเบิ้ลหลัก (เนื่องจากมีผลน้อยมากจนละทิ้งได้) ก่อนอื่นจะเริ่มพิจารณาแรงตึงในสายแขวนทั้งสอง ณ ตำแหน่งที่ยึดกับพื้นสะพานเมื่อมีวัตถุหรือ โหลด (Load) อยู่ที่ตำแหน่งใดๆ บนพื้นสะพาน โดยกำหนดให้ สายแขวนทั้งสองอยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับพื้นสะพานอยู่ห่างจากปลายสะพานทั้งสองเท่ากันเป็นระยะ และอยู่ห่างกันเป็นระยะ มีวัตถุน้ำหนัก อยู่บนพื้นสะพาน ที่ตำแหน่ง วัดจากสายแขวน 1 (กำหนดให้ x เป็นบวกเมื่ออยู่ทางขวาของสายแขวน 1) ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของพื้นสะพาน

3.5.3 เมื่อเสร็จสิ้นการสอนได้ทำการทดสอบหลังเรียนกับกลุ่มตัวอย่างอีกครั้งโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ฉบับเดิม แล้วเก็บรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.5.4 นำแบบความพึงพอใจ ไปทดลองใช้ กับกลุ่มตัวอย่าง

3.5.5 นำคะแนนที่รวบรวมได้จากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง วิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล และแบบความพึงพอใจ หลังเรียนมาวิเคราะห์ด้วย สถิติหาค่า t-test for Dependent และ Normalized Gain<g>

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลองตามจุดประสงค์ของการทดลองตามลำดับดังนี้

วิเคราะห์ด้วย สถิติหาค่า t-test for Dependent และ Normalized Gain<g> ณัฐพล พรมลี (2554; อ้างอิงจาก Richard R. Hake, 1998) นักฟิสิกส์แหล่งมหาวิทยาลัยอินเดียได้เสนอวิธีการประเมินผลการเรียนรู้จากการสอน Pre-test และ Post-test โดยมีวิธีการดังนี้ เนื่องจากการสอบครั้งหนึ่งๆ มีข้อจำกัดในเรื่องคะแนนต่ำสุดที่ทุกคนจะมีโอกาสได้คะแนนต่ำสุด ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0 และโอกาสที่จะได้คะแนนสูงสุด(Maximum or ceiling effect) ไม่เกินร้อยละ 100 หรือที่เรียกว่า floor and ceiling effect ด้วยปัญหานี้ Hake จึงได้เสนอวิธีการในการประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า Normalized Gain (Normalized มาจากคำศัพท์ทางควอนตัมฟิสิกส์ ซึ่งหมายถึงการทำให้มีโอกาสความเป็นไปได้เท่าๆ กัน โดยมีค่าเป็นไปได้สูงสุดเท่ากับ 1 เท่ากัน) โดยหาได้จากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (Actual gain) ต่อผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (Maximum possible gain) เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{(\%\ \text{Post - test}) - (\%\text{Pre - test})}{(100\%) - (\%\text{Pre - test})} \qquad (3.1)$$

เมื่อ <g> คือ ค่า Normalized Gain

% Post-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

% Pre-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

*หมายเหตุ คิดเฉพาะนักเรียนคนที่สอบทั้งก่อนและหลังเรียนเท่านั้น

ข้อสังเกต การคำนวณหา Normalized Gain นี้ไม่จำเป็นต้องใส่เป็นเปอร์เซ็นต์ก็ได้ โดยให้ใช้คะแนนสอบจริงแทนโดย Pre-test คือคะแนนสอบก่อนเรียน Post-test คือ คะแนนสอบหลังเรียน และใช้คะแนนเต็มของข้อสอบชุดนั้นแทน 100%

<g> หรือ Normalized Gain แปลความได้ว่า ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียน (Actual gain = %post-test)-(%Pre-test)/(100%)-(%Pre-test) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.0-1.0

ด้วยวิธีการประเมินเช่นนี้ทำให้สามารถแก้ปัญหา Floor and ceiling effect ได้เนื่องจากเราคิด ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับค่าสูงสุดที่แต่ละคนจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ กล่าวอีกในหนึ่งคือ เราได้ทำการ Normalized Gain ให้มีโอกาสเป็นไปได้อยู่ในช่วง 0.0-1.0 เท่ากันแล้ว ด้วยการเทียบกับค่าสูงสุดที่แต่ละคนจะมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ โดยค่า Normalized Gain จะสามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยสามารถแบ่งระดับของค่า Normalized Gain ออกเป็นกลุ่มได้ 3 ระดับ คือ

“High gain”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$0.7 \le \langle g \rangle \le 1.0$
“Medium gain”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$0.3 \le \langle g \rangle < 0.7$
“Low gain”	เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า	$0.0 \le \langle g \rangle < 0.3$

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ลำดับการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดกิจกรรม

4.3 ผลการวิเคราะห์การประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน

4.4 ผลการวิเคราะห์ทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบวัดความพึงพอใจของผู้เรียน

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.1.1 เปรียบเทียบค่าคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง สภาพสมดุลโดยใช้ ค่าสถิติทดสอบ t-test โดยทดสอบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01

ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องสภาพสมดุล แล้วจัดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา หลังจากการเรียนเสร็จสิ้นให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกครั้ง นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์พัฒนาการทางการเรียนของนักเรียน ซึ่งได้แสดงผลดังตาราง ที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

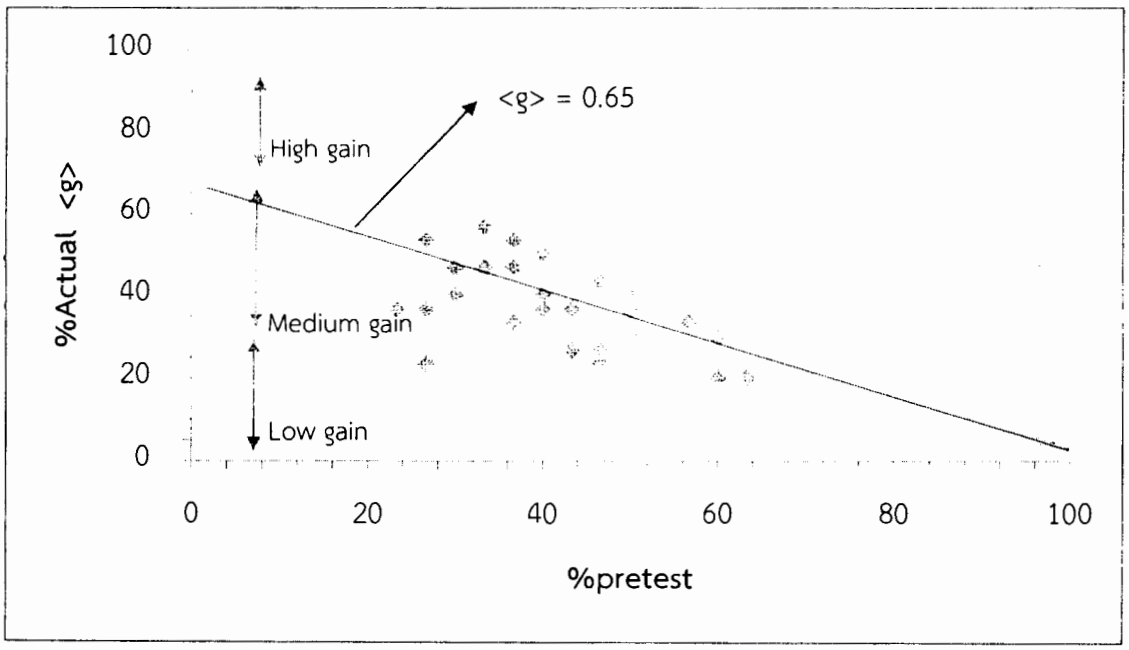
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม 30 คะแนน		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	<g>	t**
		ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ			
ก่อนเรียน	34	12.06	40.20	3.17	0.65	19.82
หลังเรียน	34	23.74	79.12	2.97		

*$t_{\alpha=.01,\ df_{33}} = 2.4448$

คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เท่ากับ 12.06 และ 23.74 ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน พบว่า ได้ค่า t มีค่าเท่ากับ 19.82 >2.4448 ($t_{\alpha=.01,\ df_{33}}$ =2.4448) แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่ได้เรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ทางสถิติ

4.1.2 วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน

ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยรายชั้นเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่สอนโดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลางดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง %actual gain กับ %pretest ของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %actual gain กับ %pretest ของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจำนวน 34 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 อยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) มีนักเรียนจำนวน 10 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง (High gain) คิดเป็นร้อยละ 29.41 และนักเรียนจำนวน 24 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับ ปานกลาง (Medium gain) คิดเป็นร้อยละ 70.59

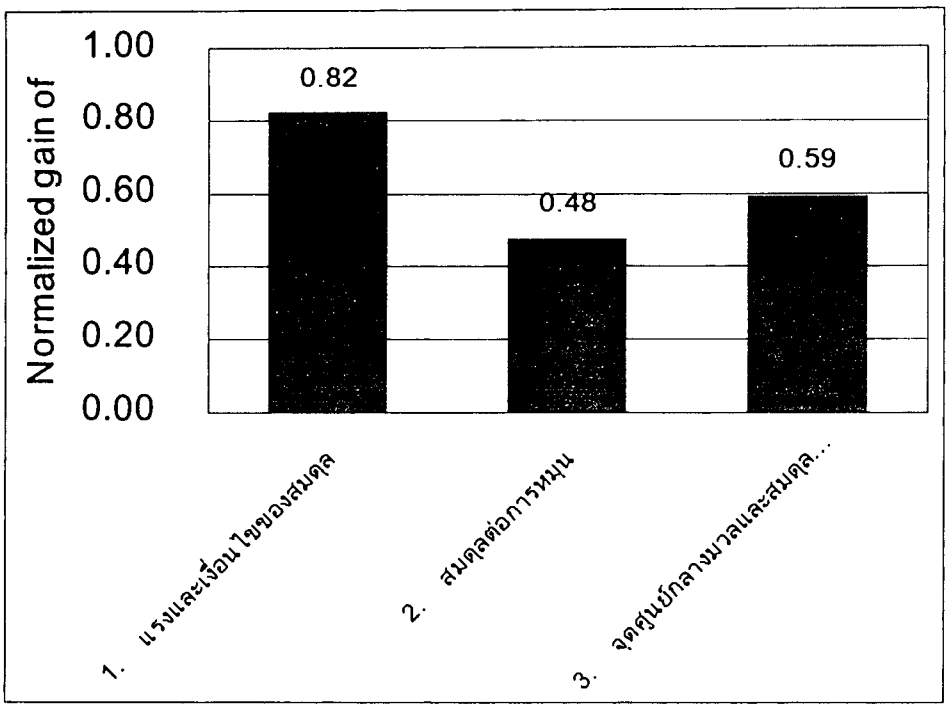
4.1.3 ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยโดยแยกตามเนื้อหา

เมื่อพิจารณาพัฒนาการของนักเรียนในแต่ละเรื่องเป็นการดูว่าพัฒนาการหรือผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนที่มีผลต่อการเรียนในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นอย่างไร ซึ่งในแบบทดสอบนี้ประกอบไปด้วย เนื้อหาเรื่อง แรงและเงื่อนไขของสมดุล สมดุลต่อการหมุน และสมดุลต่อการหมุน ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยแยกตามเนื้อหา

เนื้อหา	%pretest	%posttest	%Actual gain	%possible gain	<g>
1. แรงและเงื่อนไขของสมดุล	43.00	80.00	47.00	57.00	0.82
2. สมดุลต่อการหมุน	45.29	88.53	26.14	54.71	0.48
3. จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ	33.00	75.00	39.86	67.00	0.59

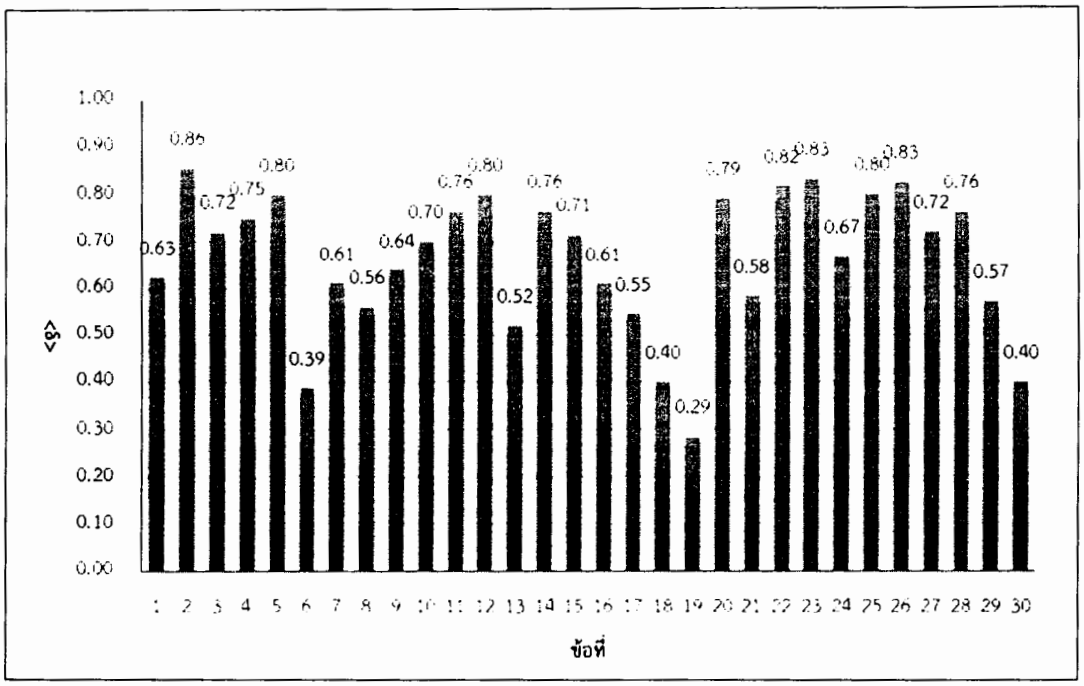
จากตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่าร้อยละของคะแนนหลังเรียนสูงขึ้นจากก่อนเรียนทุกเนื้อหา โดยเนื้อหาที่มีร้อยละคะแนนหลังเรียนสูงที่สุดคือเนื้อหาเรื่องสมดุลต่อการหมุน มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.53 รองลงมาคือ เนื้อหาเรื่องแรงและเงื่อนไขของสมดุล มีค่าเท่ากับร้อยละ 80.00 และเนื้อหาเรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ มีร้อยละคะแนนหลังเรียนต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 75.00



ภาพที่ 4.2 คะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนแบ่งตามเนื้อหาของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

จากภาพที่ 4.2 แสดงคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนแบ่งตามเนื้อหาของนักเรียนที่ใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา พบว่าเมื่อพิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยตามเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลาง คือเรื่อง สมดุลต่อการหมุน และเรื่อง จุดศูนย์กลางมวล และสมดุลของวัตถุ ซึ่งมีความก้าวหน้าทางการเรียน เท่ากับ 0.48 และ 0.59 ตามลำดับ โดย เรื่องแรงและเงื่อนไขของสมดุล มีความก้าวหน้าทางการเรียนมากที่สุด เท่ากับ 0.82

เมื่อพิจารณาการพัฒนาการทางการเรียนรายข้อ พบว่าจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกสำหรับข้อสอบข้อ หนึ่งๆ เพิ่มขึ้นเป็นเท่าใดในการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนโดยแสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 พัฒนาการทางการเรียนรายข้อ (single test item normalized gain)

จากภาพที่ 4.3 ข้อสอบที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาการทางการเรียนรายข้อที่อยู่ระดับ high gain มีจำนวนอยู่ 16 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 53.33 ระดับmedium gain จำนวน 13 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 43.33 และระดับ Low gain 1 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 3.33

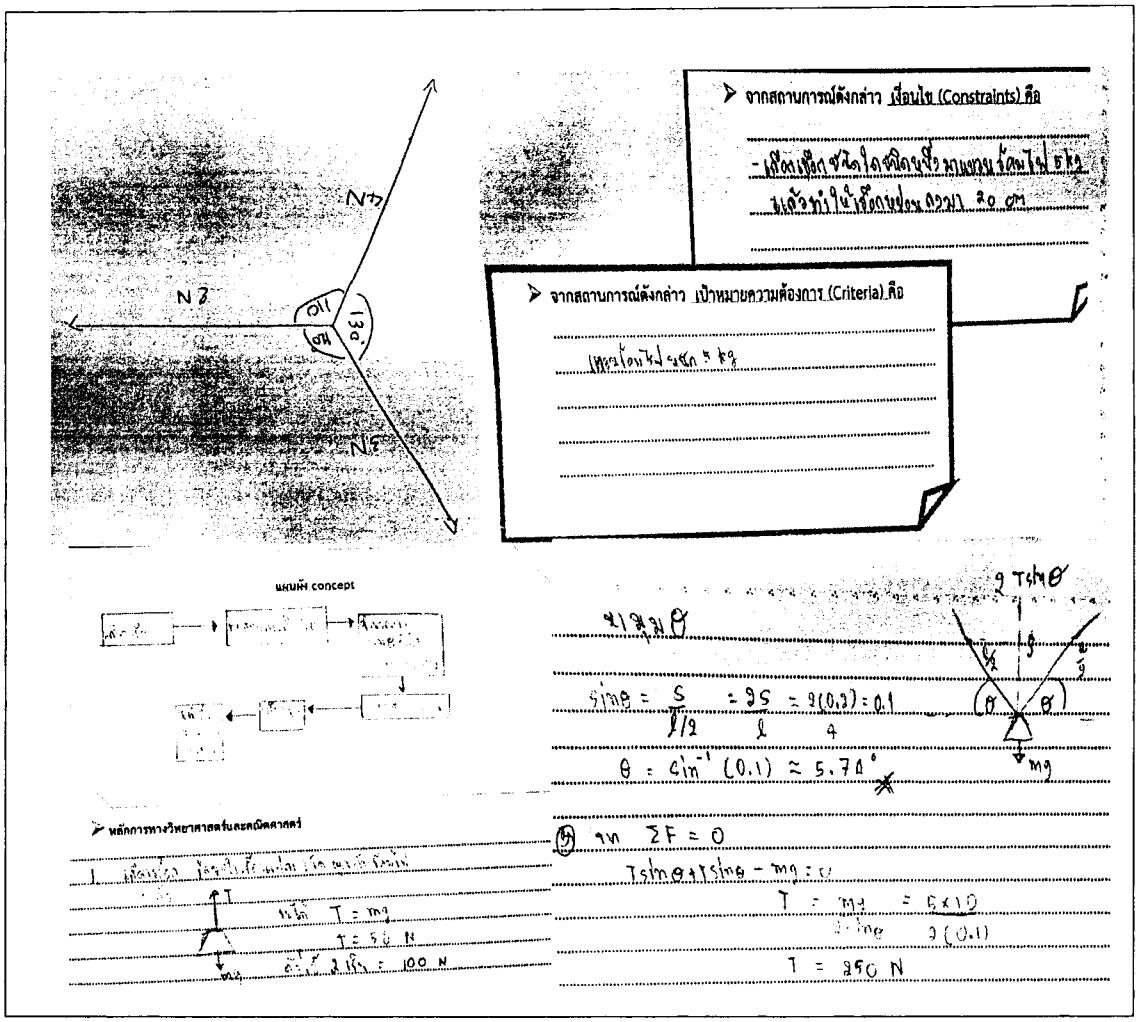
ข้อสอบข้อที่ 19 นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนน้อยที่สุด โดยมีค่า normalized gain เท่ากับ 0.29 เมื่อพิจารณาแล้วข้อสอบแล้วพบว่า นักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกก่อนเรียนมีจำนวน 6 คน และนักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกหลังเรียนมีจำนวน 14 คน

ข้อสอบข้อที่ 2 นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนมากที่สุด โดยมีค่า normalized gain เท่ากับ 0.86 เมื่อพิจารณาแล้วข้อสอบแล้วพบว่า นักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกก่อนเรียนมีจำนวน 20 คน และนักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกหลังเรียนมีจำนวน 32 คน

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดกิจกรรม

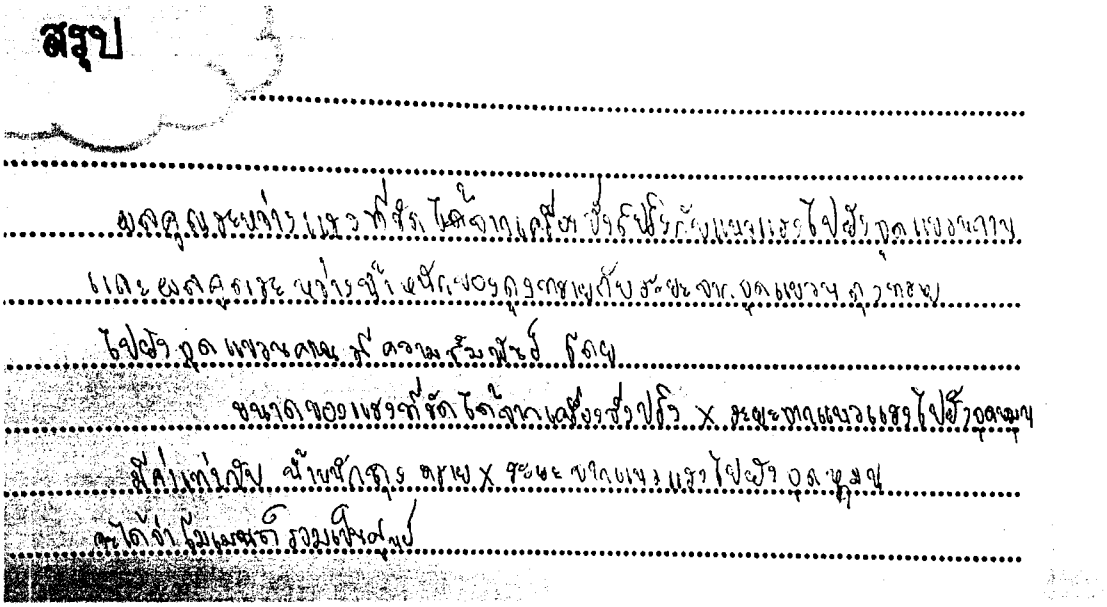
เมื่อพิจารณาผลการทำชุดกิจกรรม ทั้ง 3 ชุด คือ ชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล ชุดกิจกรรมที่ 2 สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง และชุดกิจกรรมที่ 3 จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ พบว่า ชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล นักเรียนส่วนใหญ่นั้นสามารถเขียนแนวแรงที่ดึงพร้อมระบุมุมได้ถูกต้อง สามารถเขียนผลรวมเวกเตอร์ให้ได้ถูกต้องชัดเจนตามหลักการเขียนเวกเตอร์ และการแก้ไขสถานการณ์ที่ 1 ในการออกแบบแขวนโคมไฟ ซึ่งหนัก 5 kg จากเชือกที่มีความยาว 4 เมตร แล้ว

ทำให้เชือกหย่อนลงมา 20 เซนติเมตร จากแนวระดับ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถ คำนวณมุมที่ใช้แขวนได้ และคำนวณหา ความตึงเชือกได้ แต่ยังไม่เรียงลำดับขั้นตอนก่อนหลัง แสดงดังภาพที่ 4.4



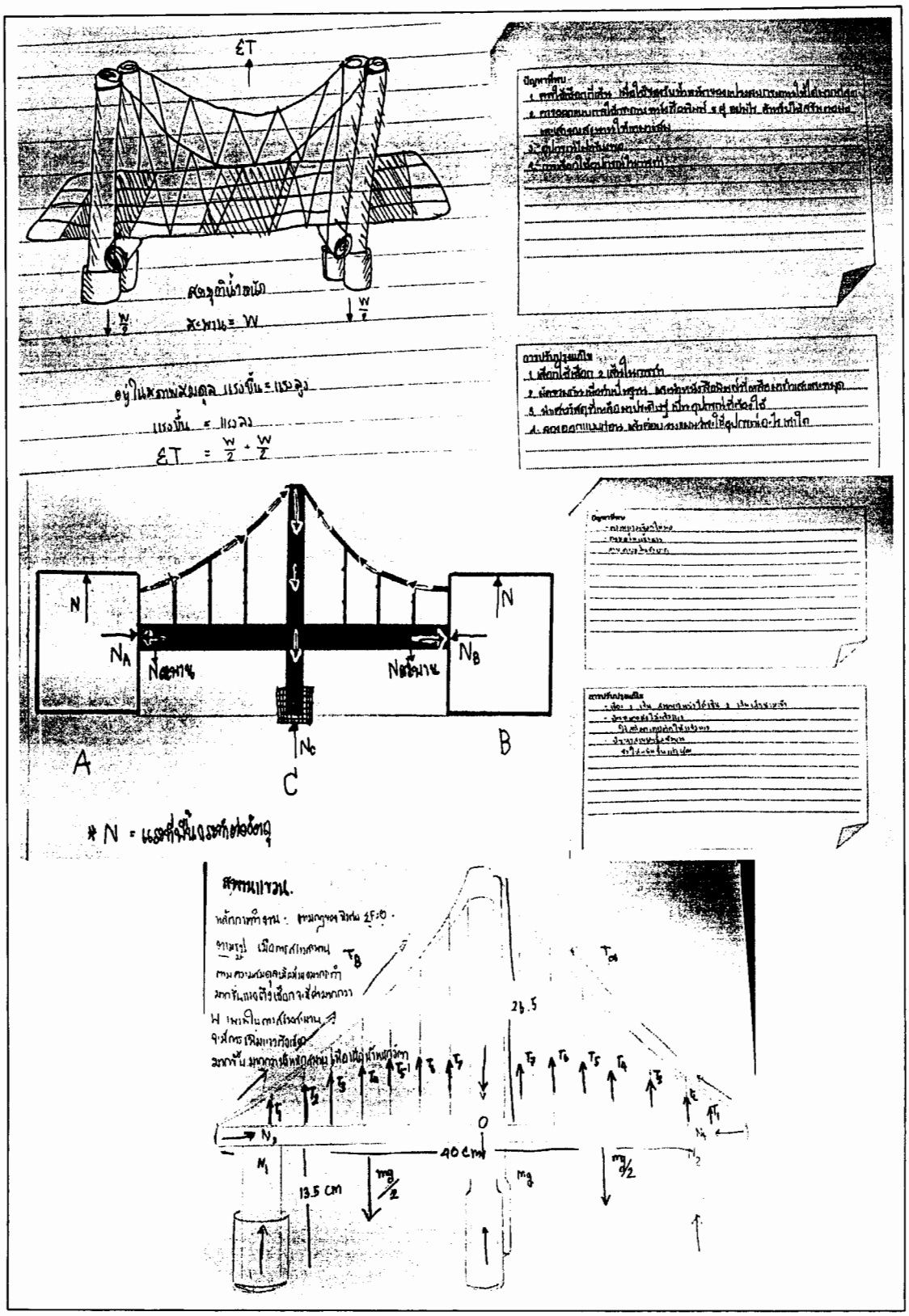
ภาพที่ 4.4 แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล

จากชุดกิจกรรมที่ 2 สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง นักเรียนส่วนใหญ่สามารถทดลองหาค่าโมเมนต์ทวนมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกันกับค่าโมเมนต์ตาม และจะได้ว่าผลรวมโมเมนต์เป็นศูนย์ และการแก้ไขสถานการณ์ที่ 2 ในการออกแบบสร้างโต๊ะ ที่สามารถรองรับน้ำหนักของหนังสือให้ได้มากที่สุด นักเรียนส่วนใหญ่สามารถออกแบบและสามารถสร้างได้เป็นขั้นเป็นตอนมีเพียงบางกลุ่มที่ สร้างโดยใช้ความรู้สึกลองผิดลองถูก แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล

และจากชุดกิจกรรมที่ 3 จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถแก้ไขสถานการณ์ที่ 3 ในการออกแบบสร้างสะพานแขวนได้ โดยมีการออกแบบ กำหนดเป้าหมายที่ต้องการ มีเงื่อนไจอะไรบ้าง และใช้คณิตศาสตร์วิทยาศาสตร์ในการสร้าง นักเรียนส่วนใหญ่สามารถออกแบบและสามารถสร้างได้เป็นขั้นเป็นตอนมีเพียงบางกลุ่มที่ สร้างโดยใช้ความรู้สึกลองผิดลองถูก และมีนักเรียนบางกลุ่มที่เข้าใจผิดระหว่างสะพานแขวน กับสะพานขึงแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 แนวการตอบของนักเรียนในชุดกิจกรรมที่ 3 จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ

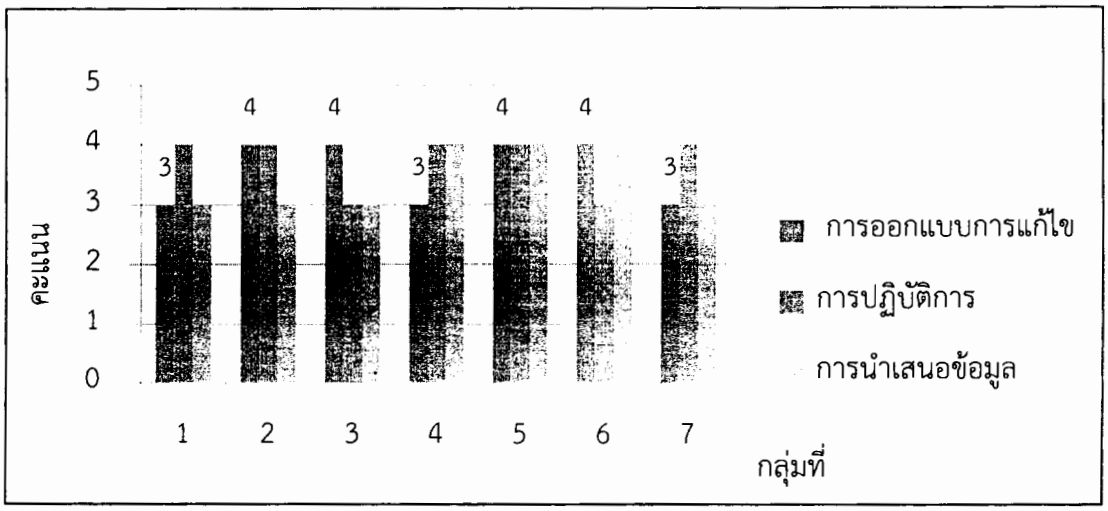
4.3 ผลการวิเคราะห์การประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน

เมื่อพิจารณาผลการปฏิบัติงานของผู้เรียน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการประเมินนักเรียนโดยแบบประเมินการปฏิบัติงาน ประกอบด้วยเกณฑ์การประเมิน 3 ข้อ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยนำผลการประเมินการปฏิบัติงานแต่ละกลุ่มของผู้เรียนมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้การแปลความหมายคะแนนดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียนหลังที่รับการจัดการการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยแบ่งเป็นรายกลุ่ม

กลุ่มที่\รายการที่ประเมิน	การออกแบบการแก้ไข	การปฏิบัติการ	การนำเสนอข้อมูล
1	3	3	3
2	4	4	3
3	4	3	3
4	3	4	4
5	4	4	4
6	4	3	4
7	3	4	3
เฉลี่ย	4	4	3

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการออกแบบการแก้ไขปัญหาสถานการณ์ที่กำหนดให้นั้นมีระดับคะแนน 4 คะแนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนโดยภาพรวมมีการกำหนดวิธีการขั้นตอนถูกต้อง เลือกใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเหมาะสมมีการชั่งมีค่าเฉลี่ยรวม การปฏิบัติการนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับคะแนนเท่ากับ 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนโดยภาพรวมมีการดำเนินทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง และ การนำเสนอข้อมูลนักเรียนส่วนใหญ่ มีระดับคะแนนเท่ากับ 3 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนโดยภาพรวมมีการบันทึกผล เขียนสรุป ในชุดกิจกรรม ถูกต้อง แต่การนำเสนอยังไม่เป็นขั้นเป็นตอน ที่เป็นเช่นนั้นเกิดจากเพราะนักเรียนส่วนยังไม่ค่อยคุ้นชินกับการเขียนลำดับการแก้ไขปัญหาขาดการวางแผนส่วนจะลองผิดลองถูกก่อน



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียนหลังจากรับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยแบ่งเป็นรายกลุ่ม

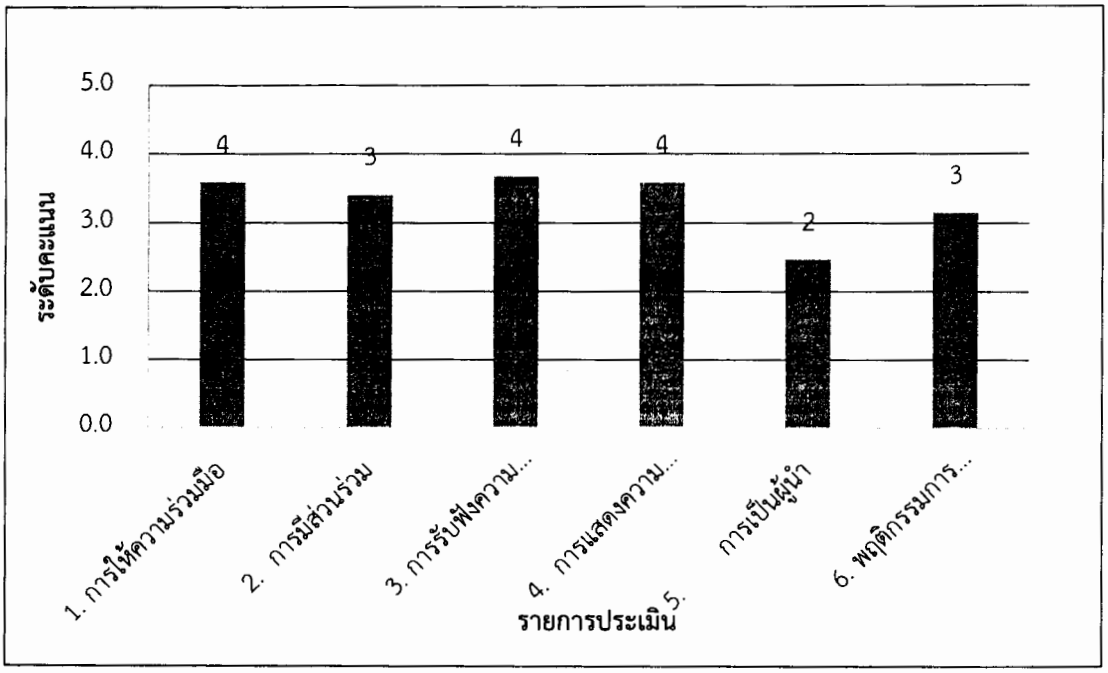
4.4 ผลการวิเคราะห์ทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน

หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้โดย โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่องสภาพสมดุล ให้นักเรียนทำแบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีมผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยนำผลการประเมินการปฏิบัติงานแต่ละกลุ่มของผู้เรียนมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้การแปลความหมายคะแนนดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีมหลังที่รับการจัดการการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	จำนวนนักเรียนแต่ละระดับความคิดเห็น				คะแนนรวม	ระดับคะแนน
	4	3	2	1		
1. การให้ความร่วมมือ	22	10	2	0	122	4
2. การมีส่วนร่วม	18	12	4	0	116	3
3. การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น	25	7	2	0	125	4
4. การแสดงความคิดเห็นสะท้อนความรู้	21	12	1	0	122	4
5. การเป็นผู้นำ	6	6	20	2	84	2
6. พฤติกรรมการทำงาน	14	11	9	0	107	3

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นโดยภาพรวมนักเรียนมีคะแนนรวมสูงสุด 125 คะแนน ซึ่งเทียบเกณฑ์คะแนนอยู่ในระดับ 4 คะแนน ซึ่งหมายความว่า นักเรียนมีความใส่ใจและรับฟังข้อเสนอและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มก่อนที่จะเสนอแนวคิดหรือข้อคิดเห็นของตนเอง อันดับสองเป็นการมีส่วนร่วมนักเรียนโดยภาพรวมนั้นมีคะแนนรวม 122 ระดับคะแนน 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้ดีและได้แบ่งรับหน้าที่รับผิดชอบเท่ากับสมาชิกในทีมทุกคน และการแสดงความคิดเห็นสะท้อนความรู้ความเข้าใจ นักเรียนโดยภาพรวมนั้นมีคะแนนรวม 122 ระดับคะแนน 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนเสนอหรือสะท้อนแนวคิดเชิงบวกและสร้างสรรค์เป็นส่วนใหญ่ อันดับสามเป็น การมีส่วนร่วมโดยภาพรวมนักเรียนมีคะแนนรวม 116 คะแนน ซึ่งเทียบเกณฑ์คะแนนอยู่ในระดับ 3 คะแนน แสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นส่วนใหญ่ และ ให้ความสนใจกับการทำงานบ่อยครั้ง อันดับสี่เป็นพฤติกรรมการทำงานมีคะแนนรวม 107 คะแนน ซึ่งเทียบเกณฑ์คะแนนอยู่ในระดับ 3 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนใส่ใจกับการทำงาน โดยได้รับการบอกกล่าวและย้ำเตือนบ้างเป็นบางครั้ง อันดับห้าการเป็นผู้นำ มีคะแนนรวม 84 คะแนน ซึ่งเทียบเกณฑ์คะแนนอยู่ในระดับ 2 คะแนน แสดงให้เห็นว่ามีส่วนร่วมในการทำงานแต่พบว่า เสียเวลากับการทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ และพบว่า มีปัญหากับการให้ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนน้อยที่มีความเป็นผู้นำ



ภาพที่ 4.7 ผลการประเมินตนเองของผู้เรียนในการทำงานร่วมกันเป็นทีมหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

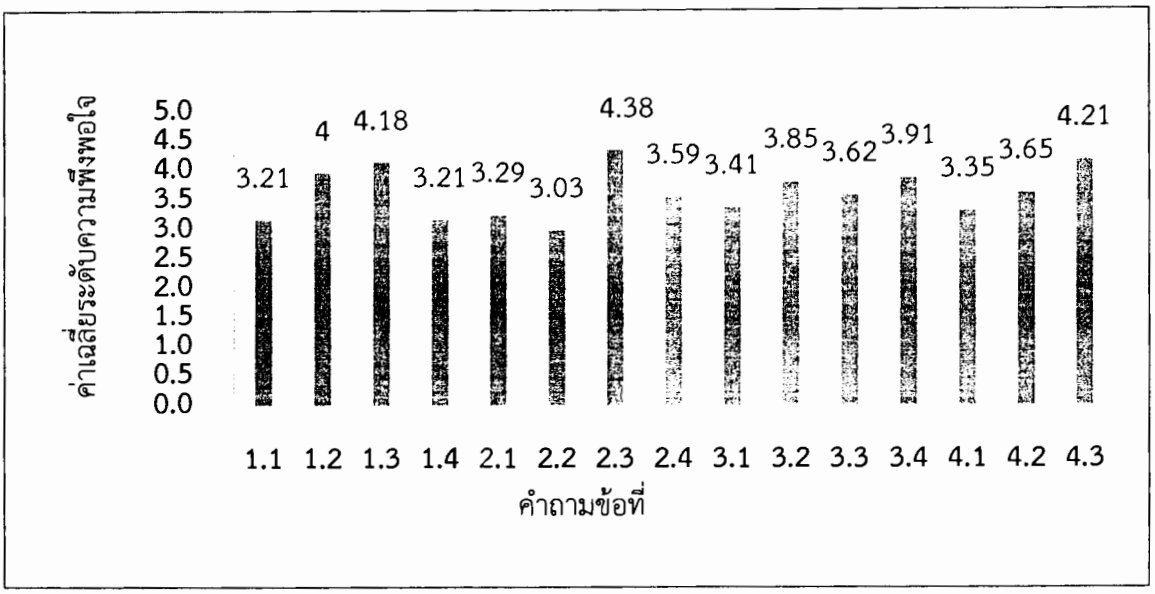
หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้โดย โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่องสภาพสมดุล ให้นักเรียนทำแบบวัดความพึงพอใจต่อการเรียนวิชาจำนวน 15 ข้อ ซึ่งมีระดับ ความคิดเห็นให้นักเรียนเลือก 5 ระดับ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยนำผลแบบวัดความพึงพอใจของผู้เรียนหลังเรียน มาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้การแปลความหมายคะแนนดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลแปลความหมายของแบบความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	จำนวน/ร้อยละนักเรียนแต่ละระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็น	แปลความหมาย
	5	4	3	2	1		
1. ด้านเนื้อหาสาระ							
1.1 เนื้อหาสาระมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	15	4	2	8	3.21	มาก
1.2 เนื้อหาสาระตรงกับความสนใจของผู้เรียน	14	10	6	4	0	4.00	มาก
1.3 เนื้อหาสาระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันได้จริง	17	10	4	2	1	4.18	มาก
1.4 เนื้อหาสาระสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง	5	9	10	8	2	3.21	มาก
2. ด้านการจัดการเรียนรู้							
2.1 ผู้เรียนได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนและครู	4	10	14	4	2	3.29	มาก
2.2 ผู้เรียนได้ฝึกทักษะต่างๆเสริมความเข้าใจยิ่งขึ้น	6	7	4	16	1	3.03	มาก
2.3 ผู้เรียนได้ศึกษาและออกแบบการแก้ปัญหาด้วยตนเอง	17	14	2	1	0	4.38	มาก
2.4 ผู้เรียนได้แสดงออกและแสดงความคิดเห็นมากขึ้น	10	12	5	2	5	3.59	มาก

ตารางที่ 4.5 ผลแปลความหมายของแบบความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (ต่อ)

รายการประเมิน	จำนวน/ร้อยละนักเรียนแต่ละระดับความคิดเห็น					ค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็น	แปลความหมาย
	5	4	3	2	1		
3. ด้านสื่อการเรียนรู้							
3.1 สื่อการเรียนรู้มีความน่าสนใจ	3	14	13	2	2	3.41	มาก
3.2 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ stem เข้าใจได้ง่าย	9	12	12	1	0	3.85	มาก
3.3 สื่อการเรียนรู้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์ได้มากขึ้น	7	11	13	2	1	3.62	มาก
3.4 ผู้เรียนได้รับประสบการณ์โดยตรง	9	14	10	1	0	3.91	มาก
4. ด้านการวัดและการประเมินผล							
4.1 จำนวนแบบทดสอบมีความเหมาะสม	5	12	11	4	0	3.35	มาก
4.2 ผู้เรียนทราบคะแนนทันทีหลังการทำแบบทดสอบ	11	10	5	6	2	3.65	มาก
4.3 ผู้เรียนมีความพึงพอใจในคะแนนของกลุ่มและของตนเอง	16	12	3	3	0	4.21	มาก
เฉลี่ย						3.66	มาก



ภาพที่ 4.8 ความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

จากภาพที่ 4.8 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวม เท่ากับ 3.66 เมื่อพิจารณารายข้อที่ได้คะแนนสูงสุด 3 อันดับ อันดับแรกคือ ข้อที่ 2.3 ผู้เรียนได้ศึกษาและออกแบบการแก้ปัญหาด้วยตนเอง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก อันดับสองคือข้อที่ 4.3 ผู้เรียนมีความพึงพอใจในคะแนนของกลุ่มและของตนเองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.21 อยู่ในระดับมาก อันดับสามคือข้อที่ 1.3 เนื้อหาสาระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันได้จริงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.18 อยู่ในระดับมาก

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจ เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ได้จากการกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จำนวน 34 คน โดยการสุ่มแบบเจาะจงจากประชากร ในครั้งนี้สรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ทักษะการทำงานเป็นทีม

หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา พบว่า ทักษะการทำงานร่วมกันเป็นทีมของนักเรียน โดยภาพรวมนักเรียนมีคะแนนรวมอยู่ในระดับ 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความใส่ใจ รับฟังข้อเสนอ และข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มก่อนที่จะเสนอแนวคิดหรือข้อคิดเห็นของตนเอง การมีส่วนร่วมของนักเรียน สามารถทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้ดีและได้แบ่งหน้าที่รับผิดชอบเท่ากับสมาชิกในทีมทุกคน และการแสดงความคิดเห็นสะท้อนความรู้ความเข้าใจ สมาชิกภายในกลุ่มสามารถเสนอหรือสะท้อนแนวคิดเชิงบวกและสร้างสรรค์เป็นส่วนใหญ่ การมีส่วนร่วมในการทำงานส่วนใหญ่นักเรียนจะให้ความสนใจกับการทำงานบ่อยครั้ง

5.1.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อตรวจสอบพัฒนาการทางการเรียนของนักเรียน โดยใช้ class normalized gain <g> พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.65 จัดว่ามีพัฒนาการทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) ซึ่งมีนักเรียนจำนวน 10 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง (High gain) คิดเป็นร้อยละ 29.41 และนักเรียนจำนวน 24 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) คิดเป็นร้อยละ 70.59 เมื่อพิจารณาพัฒนาการของนักเรียน ในแต่ละเนื้อหา หรือ conceptual dimensional class normalized gain เป็นการดูว่าพัฒนาการหรือผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนที่มีต่อเนื้อหาหนึ่งๆ เป็นอย่างไร พบว่าเนื้อหาเรื่อง แรงและเงื่อนไขของสมดุล นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนมากที่สุด โดยมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียนคิดเป็น 0.82

มีค่าเท่ากับร้อยละ 82 ของผลการเรียนสูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ เป็นผลเนื่องจาก นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเรื่องแรงมาแล้ว และเนื้อที่นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนน้อยที่สุดคือ สมดุลต่อการหมุน โดยมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียนคิดเป็น 0.48 มีค่าเท่ากับร้อยละ 48 ของผลการเรียนสูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ ในเรื่องหาเรื่องนี้นักเรียนยังมีความสับสนในการหาโมเมนต์ของแรง โดยรวมแล้วทั้งสามเนื้อหานักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาการพัฒนาการทางการเรียนรายข้อ พบว่า พบว่าระดับ high gain มีจำนวนอยู่ 16 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 53.33 ซึ่งข้อสอบจำนวน 16 ข้อนี้เป็นข้อสอบที่เป็นการวัดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาและนำไปประยุกต์ใช้ ในชีวิตประจำวัน ระดับ medium gain จำนวน 13 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 43.33 และระดับ Low gain 1 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 3.33 ข้อสอบข้อที่ 19 นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนน้อยที่สุด โดยมีค่า normalized gainเท่ากับ 0.29 ซึ่งเป็นข้อสอบเรื่องสมดุลต่อการหมุน เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า นักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกก่อนเรียนมีจำนวน 6 คน และนักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกหลังเรียนมีจำนวน 14 คน และข้อสอบข้อที่ 2 นักเรียนมีพัฒนาการทางการเรียนมากที่สุด โดยมีค่า normalized gain เท่ากับ 0.86 เมื่อพิจารณาแล้วข้อสอบแล้วพบว่าเป็นข้อสอบวัดความรู้ความเข้าใจเรื่อง เงื่อนไขของสมดุล นักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกก่อนเรียนมีจำนวน 20 คน และนักเรียนที่ตอบข้อนี้ถูกหลังเรียนมีจำนวน 32 คน

5.1.3 แบบความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้โดย โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่องสภาพสมดุล ให้นักเรียนทำแบบความพึงพอใจ จำนวน 15 ข้อ ซึ่ง มีระดับความคิดเห็นให้นักเรียนเลือก 5 ระดับ โดยภาพรวมนักเรียนมีความพึงพอใจที่อยู่ในระดับ มาก เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า อันดับแรกคือ ข้อที่ 2.3 ผู้เรียนได้ศึกษาและออกแบบการแก้ปัญหาด้วยตนเอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก อันดับสองคือข้อที่ 4.3 ผู้เรียนมีความพึงพอใจในคะแนนของกลุ่มและของตนเองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.21 อยู่ในระดับมาก อันดับสามคือข้อที่ 1.3 เนื้อหาสาระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันได้จริงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.18 อยู่ในระดับมาก

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาการพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจโดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา พบว่า นักเรียนมีการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความใส่ใจ รับฟังข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มก่อนที่จะเสนอแนวคิดหรือข้อคิดเห็นของตนเอง การมีส่วนร่วมของนักเรียน สามารถทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่มได้ดี และได้แบ่งหน้าที่รับผิดชอบให้สมาชิกในทีมทุกคนมีหน้าที่เท่าๆ กัน การแสดงความคิดเห็นสะท้อนความรู้ความเข้าใจ สมาชิกภายในกลุ่มสามารถเสนอหรือสะท้อนแนวคิดเชิงบวกและสร้างสรรค์เป็น

ส่วนใหญ่ การมีส่วนร่วมในการทำงานส่วนใหญ่ นักเรียนจะให้ความสนใจกับการทำงานบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นการบอกได้ว่านอกจากนักเรียนจะมีผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้นแล้วนักเรียนยังสามารถทำงานร่วมกับคนอื่นได้ รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และแชร์ประสบการณ์ และได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกันสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้า และประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความสามารถที่จะดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพในศตวรรษที่ 21

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 อยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Han และคณะ ซึ่งพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน STEM ด้วยโครงงานเป็นฐาน มีผลสัมฤทธิ์ในรายวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น และมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดในกลุ่มนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำ และส่งผลทำให้ช่วยลดช่องว่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนลงมาอีกด้วย และจะเห็นว่าจากสรุปภาพรวมนักเรียนมีความพึงพอใจที่อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า อันดับแรกคือ ข้อที่ 2.3 ผู้เรียนได้ศึกษาและออกแบบการแก้ปัญหาด้วยตนเอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก อันดับสองคือข้อที่ 4.3 ผู้เรียนมีความพึงพอใจในคะแนนของกลุ่ม และของตนเองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.21 อยู่ในระดับมาก อันดับสามคือข้อที่ 1.3. เนื้อหาสาระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันได้จริงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.18 อยู่ในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tseng et al. (2011) ได้ศึกษาเจตคติต่อการบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (STEM) ในการเรียนรู้แบบโครงงาน โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเจตคติก่อนและหลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้โครงงานเป็นฐาน ที่บูรณาการ STEM พบว่าการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการ จัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยโครงงานเป็นฐาน มีเจตคติต่อวิศวกรรมเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ จากการสัมภาษณ์ เกือบทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของ STEM คือ ความรู้ ทักษะและ ประสบการณ์ทางด้าน STEM จะเป็นประโยชน์ในการประกอบอาชีพในอนาคต สามารถนำมาใช้เพื่อ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้ สามารถสร้างโลกที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกเพิ่มมากขึ้น สามารถแสดงให้เห็น ถึงความหมายของการเรียนรู้และอยากที่จะเรียนรู้เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อเจตคติในการประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับ STEM ในภายภาคหน้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

และสาเหตุที่งานวิจัยสอดคล้องกับผู้วิจัยอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจาก ผู้วิจัยได้สร้างชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ตามขั้นตอนที่จัดไว้อย่างมีระบบ โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาและความต้องการ วิเคราะห์เนื้อหาและทักษะที่เป็นปัญหาออกเป็นเนื้อหาย่อย แล้วดำเนินการสร้างชุดกิจกรรม ผู้วิจัยยังได้ขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งมีความเชี่ยวชาญ และปรับแก้ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาอีกด้วย และเมื่อทำการทดลองผู้วิจัยได้ ทำความเข้าใจถึงบทบาทของนักเรียนและเป็นเป็นโค้ชในชั้นเรียน มีการกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็นมากขึ้นมีความกระตือรือร้น รู้สึกสนุก ส่งผลทำให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง สืบเสาะหาความรู้ด้วย

ตนเองโดยใช้ ความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ สู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้าและประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง และส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีความรู้ความสามารถที่จะดำรงชีวิตได้อย่างมีคุณภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

5.3.1.1 การนำแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มไปใช้นั้นควรศึกษาและทำความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง และออกแบบกิจกรรมให้หลากหลายเหมาะสมกับผู้เรียน

5.3.1.2 ควรศึกษาแนวคิดของสะเต็มศึกษา ระดับของการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ และการวัดและประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษาให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง เพื่อให้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษามีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์ต่อผู้เรียน

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1 ควรมีการศึกษาความคงทนในการเรียนรู้ เนื่องจากผู้เรียนที่มีความสามารถแตกต่างกันย่อมมีความต้องการช่วยเสริมศักยภาพที่แตกต่างกันด้วย

5.3.2.2 ควรมีการศึกษาผลทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียนที่ได้เรียนด้วยการทดลองอย่างง่าย อาจศึกษาเป็นรายบุคลคล รายกลุ่ม หรือทั้งชั้นเรียน ตามแนวสะเต็มศึกษา

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

จงเจตน์ ปิตาทะสังข์. **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน เรื่อง สมดุลกลโดยใช้การทดลองอย่างง่าย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.

ณัฐพล พรมลี. **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อ eDLTV เรื่องการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.

ธานี จันทร์นาง. "สะท้อนความคิดจากประสบการณ์การใช้กิจกรรม STEM Education ในห้องเรียน", **สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย**. 19: 29-36; มกราคม–ธันวาคม, 2556.

บุญเกื้อ ควรหาเวช. **นวัตกรรมการศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: เจริญวิทย์การพิมพ์, 2542.

มนตรี จุฬาวัฒนทล. "การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ หรือ สะเต็ม", ในวารสาร **สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย**. 19: 3-14; มกราคม–ธันวาคม, 2556.

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย. "STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21", ในวารสารนักบริหาร. 33(2): 49-56, 2556.

พรเจริญ ผลโทัยดาเกิง. (2555). "การประยุกต์เรื่องสมดุลกล", **คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์.** http://www.phukhieo.ac.th/obec-media/2555/manual. 1 พฤศจิกายน, 2557,

เพชรรัตดา เทพพิทักษ์. **การพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่องเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการคิดทำโครงงานวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่3**. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2545.

รักษ์พล ธนานุวงศ์. (2556). "รายงานสรุปการประชุมเชิงปฏิบัติการ STEM Education", http://www.slideshare.net/focusphysics/stem-Workshopsummary. 15 พฤศจิกายน, 2557

วลัยลักษณ์ คตะวงศ์. **การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2555.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิชัย วงษ์ใหญ่. **กระบวนทัศน์ใหม่การพัฒนา**. กรุงเทพมหานคร: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, 2554.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**. กรุงเทพมหานคร, ครุสภาลาดพร้าว2548.

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2555). "สสวท.", **สรุปการบรรยายพิเศษ เรื่อง Science, Technology, Engineering and Mathematics Education: Preparing students for the 21st Century**. http://designtechnology.ipst.-ac.th/uploads/STEMeducation.pdf. 15 กุมภาพันธ์, 2557.

อุปการ จีระพันธุ. **หลักสูตรการออกแบบและเทคโนโลยี**. กรุงเทพมหานคร: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2556.

Breiner, J.M., and et al., "What is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships", **School Science and Mathematics**. 112(1): 3-11, 2012.

Diana, L.R. (2012). "rondout", **Integrated STEM Education through Project-Based Learning**. http://www.rondout.k12.ny.us/common/pages/DisplayFile.aspx?itemId=16466975. 28 January, 2014.

Dowey, A.L. **Attitudes, Interest, and Perceived Self-efficacy toward Science of Middle School Minority Female Students: Considerations for their Low Achievement and Participation in STEM Disciplines**. Doctor's Thesis: University of California, 2013.

Edward, Clefford H. "Changing Teacher Behavior Through Self-Instruction and Supervised Micro Teaching in a Competency Based Program", **The Journal of Educational Research**. 87(2): 25; February, 1975.

Han, S., Capraro, R. and Capraro, M.M. **How Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Project-based Learning (PBL) affects High**. Middle, 2014.

Kapfer, Phillip; and Mirian Kapfer. **Instructional to Leaning Package in American Education**. New Jersey: Education Technology Publication, Englewood Cliffs, 1972.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Lantz, H.B. (2009). "Science", **Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education What Form? What Function?**. http://www.currtech-integrations.com/pdf/STEMEducationArticle.pdf. 12 March, 2014.

Meeks, Elija Bruce. "Learning Package Versus Conventional Method of Instruction", **Dissertation Abstracts International**. 33(10): 4295-A; February, 1972.

O'Neil, T.L., Yamagata, J.Y. and Togioka, S. "Teaching STEM Means Teacher Learning", **Phi Delta Kappan**. 94(1): 36–40, 2012.

Scott, C. "An Investigation of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Focused High School in the U.S.", **Journal of STEM Education**. 13(5): 30–39, 2012.

Tseng, K., and et al. "Attitudes toward Science, Technology,Engineering and Mathematics (STEM) in a Project-based Learning (PjBL) Environment", **International Journal of Science and Mathematics Education.** 23: 87–102, 2011.

Vasquez, J.A., Sneider, C. and Comer, M. **STEM Lesson Essentials: Grades 3-8**. New Hampshire: Heinemann, 2013.

Vivas, David A. "The Design and Evaluation of a Course in Thinking Operations for First Grade in Venezuela (Cognitive, Elementary Learning)", **Dissertation Abstracts International**. 46(3): 603-4; September, 1985.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ข้อสอบเรื่อง สภาพสมดุล ว31202 รายวิชา ว 31212 ฟิสิกส์ 8 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ภาคเรียนที่ 2

คำชี้แจง

1. การตอบข้อสอบ ให้ตอบลงในกระดาษคำตอบ
2. ไม่อนุญาตให้ใช้เครื่องคำนวณหรืออุปกรณ์สื่อสารขณะทำการสอบ
3. การทุจริตในการสอบถือว่าการสอบครั้งนี้มีคะแนนเป็นศูนย์ (กำหนดให้ ค่า g= 10 m/s^2)

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด
   ก. วัตถุที่อยู่นิ่งถือว่าวัตถุนั้นสภาพสมดุล
   ข. วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วขึ้นอย่างคงที่เรียกว่า สมดุลจลน์
   ค. คนโดดร่มจากเครื่องบินสู่พื้นดินอย่างปลอดภัยไม่เกี่ยวกับสมดุล
   ง. สมดุลของวัตถุจำเป็นที่วัตถุต้องอยู่นิ่ง

2. ข้อใดกล่าวถูกต้อง
   1. วัตถุซึ่งหมุนรอบแกนหมุนที่อยู่กับที่ ถือว่าสมดุลเนื่องจากแรง
   2. วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงอย่างสม่ำเสมอ จะสมดุลเนื่องจากแรง
   3. วัตถุที่อยู่นิ่ง จะสมดุลเนื่องจากแรง และ สมดุลเนื่องจากทอร์กหรือโมเมนต์ของแรง

ข้อความใดถูกต้อง

ก. ข้อ 1 , 2 และ 3

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1, 2

3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อใดที่เกี่ยวข้องกับสมดุลเนื่องจากแรงโดยตรง

1. ข้อ 1 2. ข้อ 2 3. ข้อ 3

ข้อความใดถูกต้อง

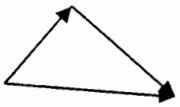
ก. ข้อ 1 , 2 และ 3

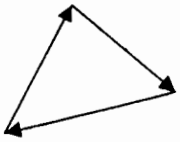
ข. ข้อ 1 เท่านั้น

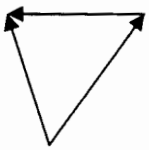
ค. ข้อ 2 เท่านั้น

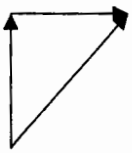
ง. ข้อ 3 เท่านั้น

4. ภาพเวกเตอร์แทนแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูปใดที่ทำให้เกิดสมดุล

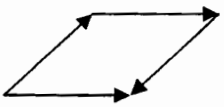
ก. 

ข. 

ค. 

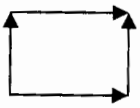
ง. 

5. ภาพเวกเตอร์แทนแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูปใดที่ทำให้เกิดสมดุล

ก. 

ข.

ค.

ง. 

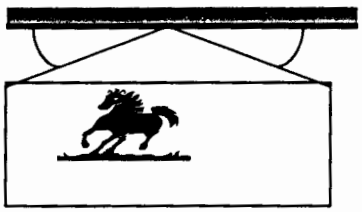
6. จากรูปถ้าเชือกที่แขวนด้วยรูปภาพนี้ทนแรงตึงได้ 25 นิวตัน จงหาว่าจะต้องหารูปภาพที่มีมวลกี่กิโลกรัม แขวนบนเชือกนี้มุม ที่เชือกทำกับแนวระดับเท่ากับ 37 องศา

ก. 6

ข. 5

ค. 4

ง. 3



7. ข้อใดไม่ถูกต้อง

ก. จุดศูนย์ถ่วงของคานเอกรูปอยู่ตรงจุดกึ่งกลางคาน

ข. จุดศูนย์ถ่วงของสามเหลี่ยมอยู่ที่เส้นมัธยฐาน

ค. จุดศูนย์ถ่วงของสี่เหลี่ยมอยู่ที่จุดตัดของเส้นทะแยงมุม

ง. จุดศูนย์ถ่วงของวงแหวนอยู่ที่จุดกึ่งกลางวงแหวน (นอกวงแหวน)

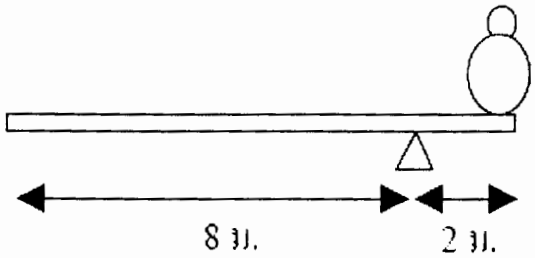
8. จากรูปเป็นไม้คานมีจุดหมุนอยู่ที่ระยะห่างจากปลายขวา 2 เมตร มีชายคนหนึ่งมวล 60 กิโลกรัม ยืนอยู่บนคานนั้น จงหาว่าคานนี้ควรมีมวลกี่กิโลกรัมจึงจะอยู่ในภาวะสมดุล

ก. 40 กิโลกรัม

ข. 60 กิโลกรัม

ค. 90 กิโลกรัม

ง. 110 กิโลกรัม



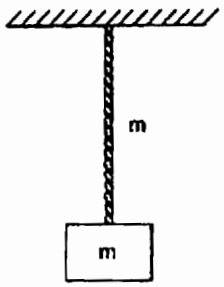
9. ผูกมวล m ติดกับปลายเชือกที่มีมวล m แล้วแขวนไว้กับเพดานดังรูป ความตึงเชือกที่จุดกึ่งกลางเชือกเป็นเท่าใด:

ก. mg

ข. $\frac{3}{2}mg$

ค. $2mg$

ง. ง. $\frac{5}{2}mg$



10. แรงสองแรงขนานกัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามขนาด 50 นิวตัน เท่ากัน แนวแรงทั้งสองห่างกัน 10 เซนติเมตร โมเมนต์ของแรงคู่นี้รอบจุดใด ๆ ที่อยู่ระหว่างแนวแรงทั้งคู่จะเป็นเท่าใด

ก. 5 N.m

ข. 25 N.m

ค. 50 N.m

ง. 50 N.m

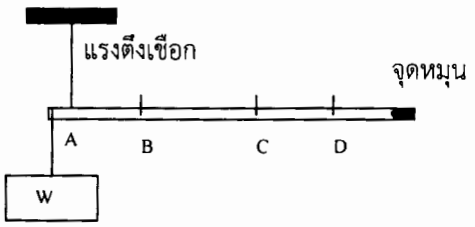
11. จากรูป จะต้องผูกเชือกที่ตำแหน่งใด แรงตึงเชือกจะมีค่ามากที่สุด

ก. D

ข. C

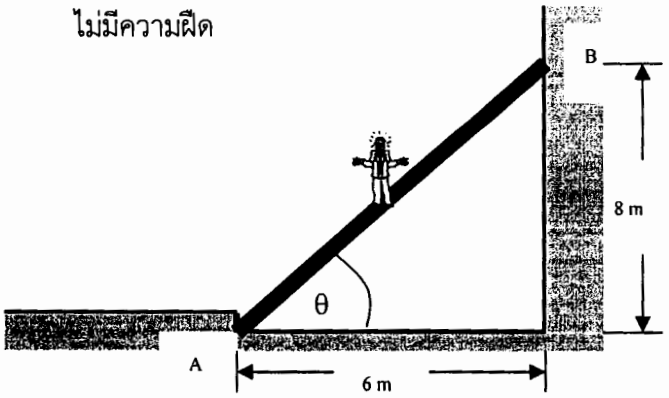
ค. B

ง. A



โจทย์ ใช้ตอบคำถามข้อ 12 – 14

จากรูป AB เป็นคานสม่ำเสมอ หนัก 50 นิวตัน ถ้าเด็กคนหนึ่งหนัก 150 นิวตันขึ้นไปยืนอยู่ตรงกึ่งกลางคาน พอดี ถ้ากำแพง ไม่มีความฝืด



12. แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อปลายล่างของคานในแนวระดับเท่ากับกี่นิวตัน

ก. 100 ข. 75

ค. 50 ง. 25

13. แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อปลายล่างของคานในแนวดิ่งเท่ากับกี่นิวตัน

ก. 200 ข. 150

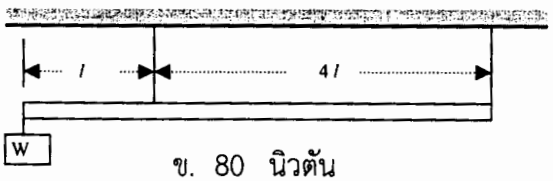
ค. 100 ง. 50

14. เมื่อให้ตำแหน่ง A เป็นจุดหมุน โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับกี่นิวตันเมตร

ก. 1,000 ข. 800

ค. 600 ง. 400

15. คานสม่ำเสมอหนัก 40 นิวตัน จงหาค่าน้ำหนัก W ที่มากที่สุดที่ทำให้คานยังคงวางตัวในแนวระดับได้



ก. 100 นิวตัน ข. 80 นิวตัน

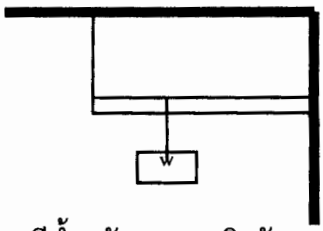
ค. 60 นิวตัน ง. 40 นิวตัน

16. ท่อนไม้สม่ำเสมอท่อนหนึ่งยาว 2 เมตร มวล 40 กิโลกรัม จงหาแรงที่จะยกปลายข้างหนึ่งของไม้ท่อนนั้นให้ขึ้นได้พอดีมีค่าเท่ากับกี่นิวตัน

ก. 200 ข.120

ค. 100 ง. 80

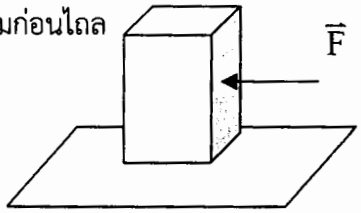
17. จากรูปคาน AB สม่ำเสมอยาว 2 เมตร มวล 6 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกที่ทนแรงตึงสูงสุด 200 นิวตันที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้ายหนึ่งยึดติดด้วยบานพับกับกำแพง จงหาว่าจะต้องนำมวล 20 กิโลกรัม แขวนไว้ที่ใดของคาน



ก. ห่างจากเชือก 1.7 เมตร ข. ห่างจากเชือก 1.4 เมตร

ค. ห่างจากเชือก 0.6 เมตร ง. ห่างจากเชือก 0.3 เมตร

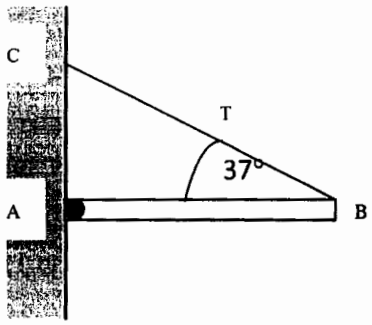
18. กล่องความหนาแน่นสม่ำเสมอดังรูป สูง 1.00 เมตร กว้าง 0.60 เมตร มีน้ำหนัก 2,000 นิวตัน วางอยู่บนพื้นระดับซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างผิวสัมผัสเป็น 0.4 แรง $\vec{F}$ ในแนวระดับที่ตำแหน่งสูง h จากพื้น มีค่าเท่าใด วัตถุจึงไม่ล้มก่อนไถล



ก. 0.750 เมตร ข. 0.625 เมตร

ค. 0.435 เมตร ง. 0.225 เมตร

19. จากรูป AB เป็นคานสม่ำเสมอหนัก 24 นิวตัน ถ้าระบบสมดุลดังรูป แรงดึงในเส้นเชือกเท่ากับกี่นิวตัน



ก. 24 ข. 20

ค. 16 ง. 14

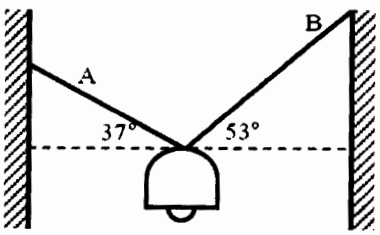
20. โคมไฟอันหนึ่งมวล 5 kg แขวนด้วยลวด 2 เส้นเข้ากับผนังสองด้าน ลวด A ทำมุม 37 องศากับ แนวระดับ เชือก B ทำมุม 53 องศากับแนวระดับ จงหาความตึงเชือกเส้นA (กำหนดให้เป็นลวด เบามาก)

ก. 20 N

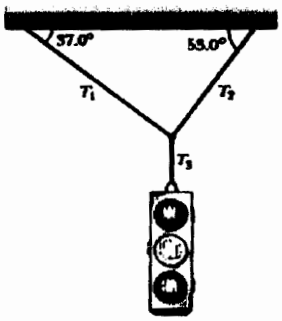
ข. 25 N

ค. 30 N

ง. 40 N



21. ไฟจราจรมีน้ำหนัก 122 นิวตัน แขวนด้วยสายเคเบิล 37 องศา และ 53 องศา ดังรูป จงหาแรงตึงเชือก T_1 และ T_3 (ตอบตามลำดับ)



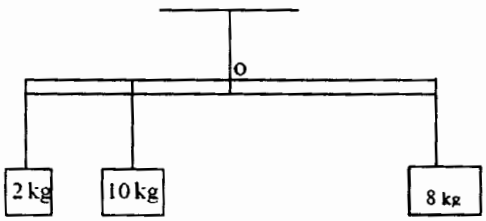
ก. 73.42 N ,122 N

ข. 93.43 N ,122 N

ค. 122 N ,73.42 N

ง. 122 N ,93.43 N

22. คานสม่ำเสมอมวล 1 กิโลกรัม ยาว 2 เมตร ผูกเชือกแขวนไว้ในแนวดิ่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางไม้พอดี และนำมวลต่างๆ มาแขวนไว้ดังรูป ถ้าต้องการให้คานอยู่ในสมดุล จะต้องแขวนมวล 10 กิโลกรัม ห่างจากจุดกึ่งกลางเท่าใด



ก. 0.2 m

ข. 0.4 m

ค. 0.6 m

ง. 0.8 m

23. จากข้อ 22 ถ้าเลื่อนตำแหน่งเชือกที่แขวนคานกับเพดาน ออกไปอีก 0.1 เมตรทางขวามือ ของเราแล้ว

1. ต้องแขวนมวล 5 kg ทางด้านซ้ายมือห่างจากจุดแขวน 0.4 เมตร คานจึงจะสมดุล
2. ต้องแขวนมวล 5 kg ทางด้านขวามือห่างจากจุดแขวน 0.4 เมตร คานจึงจะสมดุล
3. ต้องลดมวลก้อน 10 kg ลงให้เหลือ 4.75 kg คานจึงจะสมดุล

ข้อใด<u>ถูกต้อง</u>

ก. 2 ข. 3

ค. 2,3 ง. 1, 2, 3

24. จากเหตุการณ์ต่อไปนี้ ข้อความใดบ้างที่บ่งบอกว่าวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลต่อการหมุน

A ล้อรถจักรยานกำลังหมุนรอบแกนที่ไม่มีความเสียดทานด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงที่

B ลูกบิลเลียดกลิ้งลงมาจากพื้นเอียงฝืดด้วยความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลคงที่

C เข็นกล่องขนาดใหญ่ไปตามพื้นราบด้วยความเร็วคงที่ ไม่สม่ำเสมอ โดยกล่องไม่พลิกคว่ำ

D การเปิดหน้าต่างออกไปด้วยความเร็วคงที่

ก. A , B , D ข. A และ C

ค. A เท่านั้น ง. ไม่มีข้อถูก

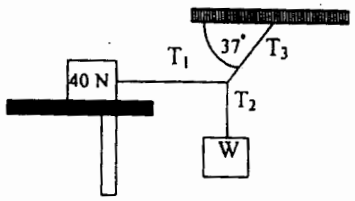
25. วัตถุหนัก 40 นิวตันและ W ผูกไว้ด้วยเชือกและอยู่ในสมดุลในลักษณะดังรูป ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างวัตถุกับพื้นเท่ากับ 0.4 จงหา W ที่มากที่สุดที่ทำให้วัตถุทั้งสองยังคงอยู่นิ่งเช่นเดิม

ก. 16 นิวตัน

ข. 14 นิวตัน

ค. 12 นิวตัน

ง. 10 นิวตัน



26. มวล 5 กิโลกรัม และมวล 25 กิโลกรัม อยู่ห่างกัน 3 เมตร จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบมวลทั้งสองอยู่ที่ใด

ก. 2.5 เมตร ข. 3.7 เมตร

ค. 4.6 เมตร ง. 5.4 เมตร

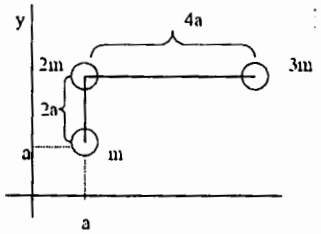
27. จากรูป จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบซึ่งประกอบด้วย มวล m, 2m และ 3m

ก. (1.67a, 2a)

ข. (2a , 1.67a)

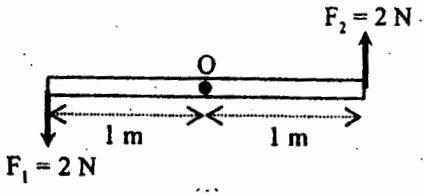
ค. (3a , 2.67a)

ง. (2.67a,3a)

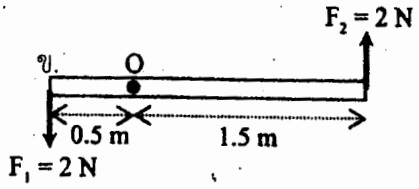


28. วัตถุแข็งเกร็งข้อใดที่อยู่ในสภาพสมดุล (มีจุด O เป็นจุดหมุน)

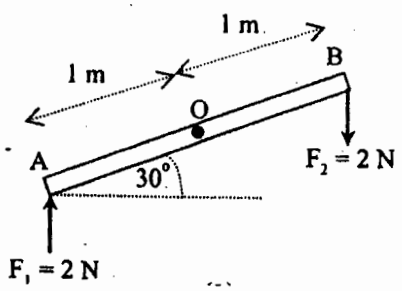
ก.



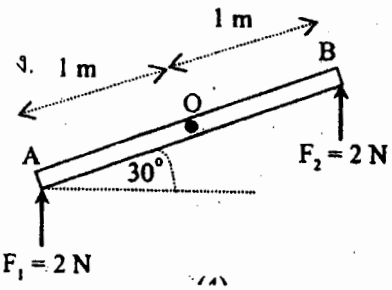
ข.



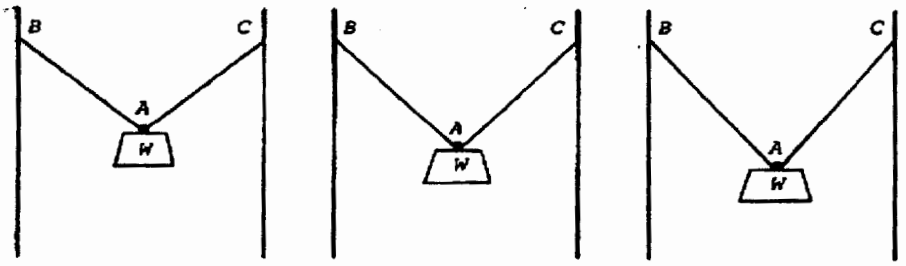
ค.



ง.



29. ก้อนน้ำหนัก W ถูกแขวนด้วยเชือก AB และ AC ซึ่งมีความยาวเท่ากัน ถ้าเพิ่มน้ำหนัก W ไปเรื่อยๆ ในกรณีใดที่เชือกจะขาดก่อนกัน

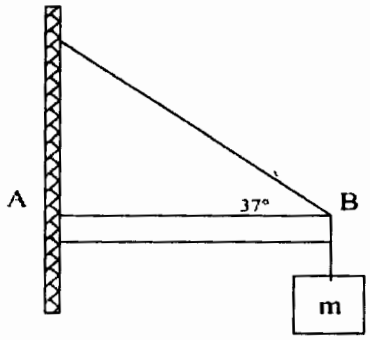


ก. เชือกใน กรณี (ก) ขาดก่อน
ข. เชือกใน กรณี (ข) ขาดก่อน
ค. เชือกใน กรณี (ค) ขาดก่อน
ง. เชือก ทั้ง 3 กรณีขาดพร้อมกัน

30. คานมวล 16 กิโลกรัม ปลายหนึ่งค้ำอยู่กับผนัง อีกปลายผูกติดกับเชือกและมีวัตถุมวล 10 กิโลกรัม แขวนอยู่ดังรูป

ถ้าคาน อยู่ในสมดุล จงหาแรงปฏิกิริยาที่ผนัง

ก. 80 นิวตัน
ข. $80\sqrt{10}$ นิวตัน
ค. 240 นิวตัน
ง. $240\sqrt{10}$ นิวตัน



เฉลยแบบทดสอบ ก่อนเรียนและหลังเรียน			
ข้อ	**คำตอบ**	**ข้อ**	**คำตอบ**
1	ก	16	ก
2	ค	17	ง
3	ข	18	ก
4	ข	19	ข
5	ข	20	ค
6	ง	21	ก
7	ข	22	ค
8	ก	23	ก
9	ข	24	ข
10	ก	25	ค
11	ก	26	ก
12	ข	27	ค
13	ก	28	ง
14	ค	29	ก
15	ค	30	ข

แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
เรื่อง สภาพสมดุล โดยใช้ชุดกิจกรรมตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา

คำชี้แจง

เมื่อนักเรียนอ่านข้อความและพิจารณาแล้วว่าข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นหรือความรู้สึกของนักเรียนระดับใด ให้ทำเครื่องหมาย √ ลงในระดับความคิดเห็นหรือความรู้สึกนั้น การประเมินนี้ไม่มีผลใดต่อผู้กรอกแบบสอบถาม

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

ตอนที่ 2

คำชี้แจง: ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย √ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนในแต่ละข้อ ซึ่งข้อความแต่ละข้อมีระดับความคิดเห็นให้นักเรียนเลือก 5 ระดับ คือ

เห็นด้วยอย่างยิ่ง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด
เห็นด้วยมาก หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมาก
เห็นด้วยปานกลาง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนในระดับปานกลาง
เห็นด้วยบ้าง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนอยู่บ้างเล็กน้อย
ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง หมายถึง ข้อความนั้นไม่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนเลยหรือตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วยปานกลาง	เห็นด้วยบ้าง	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
1. ด้านเนื้อหาสาระ					
1.1 เนื้อหาสาระมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน					
1.2 เนื้อหาสาระตรงกับความสนใจของผู้เรียน					
1.3 เนื้อหาสาระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันได้จริง					
1.4 เนื้อหาสาระสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง					

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วยปานกลาง	เห็นด้วยบ้าง	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2. ด้านการจัดการเรียนรู้					
2.1 ผู้เรียนได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนและครู					
2.2 ผู้เรียนได้ฝึกทักษะต่างๆเสริมความเข้าใจยิ่งขึ้น					
2.3 ผู้เรียนได้ศึกษาและออกแบบการแก้ปัญหาด้วยตนเอง					
2.4 ผู้เรียนได้แสดงออกและแสดงความคิดเห็นมากขึ้น					
3. ด้านสื่อการเรียนรู้					
3.1 สื่อการเรียนรู้มีความน่าสนใจ					
3.2 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ stem เข้าใจได้ง่าย					
3.3 สื่อการเรียนรู้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์ได้มากขึ้น					
3.4 ผู้เรียนได้รับประสบการณ์โดยตรง					
4. ด้านการวัดและการประเมินผล					
4.1 จำนวนแบบทดสอบมีความเหมาะสม					
4.2 ผู้เรียนทราบคะแนนทันทีหลังการทำแบบทดสอบ					
4.3 ผู้เรียนมีความพึงพอใจในคะแนนของกลุ่มและของตนเอง					

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชา ว 31212 ฟิสิกส์ 8 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
หน่วยที่ 4 สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น เรื่อง แรงและเงื่อนไขของสมดุล เวลา 2 ชั่วโมง
วันที่ ธันวาคม 2558 ครูผู้สอน นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์

---

1. มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัด

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด ว 8.1 ม.4-6/1 ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้

2. สาระสำคัญ

วัตถุที่สมดุลต่อการเลื่อนที่จะคงสภาพการเคลื่อนที่เดิม คือ หยุดนิ่ง หรือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว โดยวัตถุจะสมดุลต่อการเลื่อนที่ได้ เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ตามสมการ $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_i = 0$ ในกรณีที่มีแรงกระทำสองแรง แรงทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้าม

ในกรณีที่มีแรงกระทำสองแรง แรงทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้าม

ในกรณีที่มีแรงกระทำสามแรง โดยแรงทั้งสามไม่ใช่แรงขนาดจะได้ว่า แนวแรงทั้งสามจะพบกันที่จุดๆหนึ่ง โดยแรงทั้งสามจะอยู่ในระนาบเดียวกัน และผลรวมของสองแรงแรกจะมีขนาดเท่ากับแรงที่สาม แต่ทิศทางตรงข้าม เมื่อนำแรงทั้งสามมาเขียนแผนภาพแทนแรงการบอกเวกเตอร์แทนแรงทั้งสามจะได้รูปสามเหลี่ยมปิดพอดี

ในกรณีที่มีแรงกระทำสามแรงขึ้นไป สามารถแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และแนวแกน y และยังคงได้ว่า $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{ix} = 0$ และ $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{iy} = 0$

3. **จุดประสงค์การเรียนรู้**

ความรู้ (K)

3.1 นักเรียนสามารถสรุปเงื่อนไขของแรงสามแรงที่กระทำต่อวัตถุซึ่งสมดุลต่อการเลื่อนที่

3.2 นักเรียนสามารถหาแรงลัพธ์ของแรงทั้งสามด้วยวิธีการเขียนเวกเตอร์แบบหางต่อหัว

กระบวนการ (P)

3.3 ทักษะในการอ่าน

คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

3.4 นักเรียนมีความสนใจใฝ่รู้

3.5 นักเรียนมีความรับผิดชอบ ความมุ่งมั่นต่องานที่ได้รับมอบหมาย

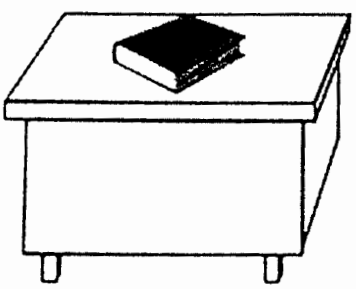
4. **สาระการเรียนรู้**

เงื่อนไขของสมดุล

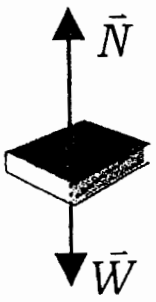
เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลสถิต ทั้งเงื่อนไขข้อที่ 1 และข้อที่ 2 จะต้องเป็นจริง คือทั้งแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ และโมเมนต์ลัพธ์คิดรอบแกนหมุนใดๆ เป็นศูนย์ สำหรับสภาพดุลโดยทั่วไปวัตถุอาจมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวซึ่งสอดคล้องกับแรงลัพธ์ที่จุดศูนย์กลางมวลเป็นศูนย์ หรือมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัวซึ่งสอดคล้องกับการที่ไม่มีทอร์กกระทำ หรืออาจมีการเคลื่อนที่ทั้งสองอย่างพร้อมกัน เงื่อนไขก็จะคล้ายคลึงกัน คือแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุเป็นศูนย์และโมเมนต์ลัพธ์รอบจุดศูนย์กลางมวลต้องเป็นศูนย์

1. **กรณีที่มีแรงสองแรงกระทำ**

เมื่อวางหนังสือบนโต๊ะ หนังสือจะอยู่นิ่งบนโต๊ะโดยมีแรงสองแรงกระทำผ่านศูนย์กลางมวล แรงหนึ่งคือ แรงโน้มถ่วงของโลกหรือน้ำหนัก $\vec{W}$ อีกแรงหนึ่งคือ แรงที่โต๊ะดันหนังสือในแนวตั้งฉากกับพื้นโต๊ะ $\vec{N}$ และแรงทั้งสองมีทิศตรงข้ามกัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ ก.1 หนังสือวางอยู่บนโต๊ะ



ภาพที่ ก.2 แรงสองแรงกระทำต่อหนังสือ

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน แรงลัพธ์ของ $\vec{W}$ และ $\vec{N}$ เป็นศูนย์ แสดงว่าวัตถุที่อยู่ในสมดุลสถิต แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ดังนั้น $\vec{W} + \vec{N} = 0$ หรือ $\vec{W} = -\vec{N}$

เครื่องหมายข้างหน้า $\vec{N}$ หมายถึงทิศที่ตรงข้ามกัน $\vec{W}$ โดยขนาดแล้ว $\vec{N}$

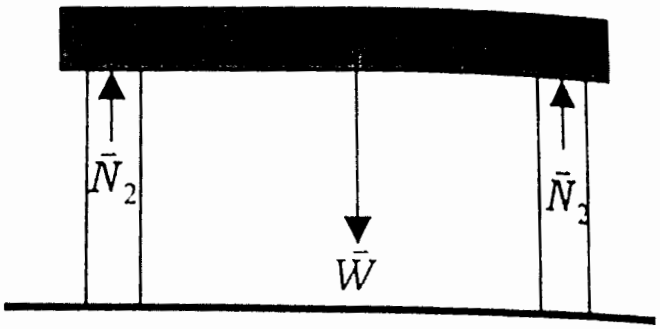
เมื่อคิดเงื่อนไขที่สองประกอบ โมเมนต์รอบจุดใดๆ จะเป็นศูนย์ได้ก็ต่อเมื่อ $\vec{N}$ และ $\vec{W}$ จะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน

2. กรณีมีแรงสามแรงกระทำ

ในกรณีแรง 3 แรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่นิ่ง แนวแรงทั้งสามจะเป็นไปได้ 2 กรณีดังนี้

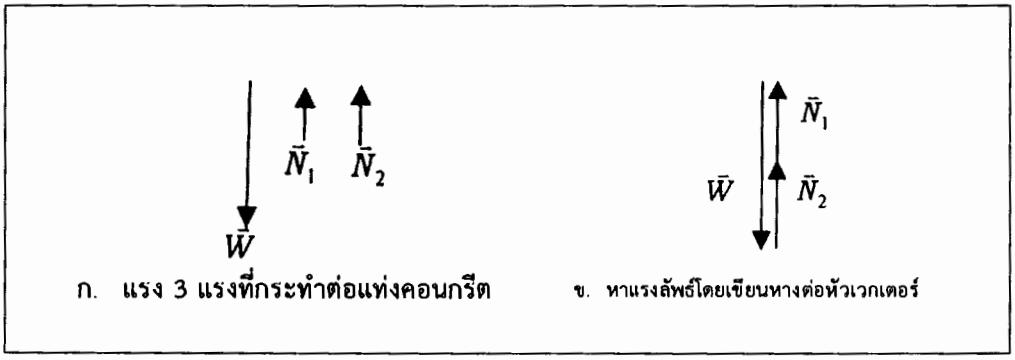
กรณีที่ 1 แนวแรงทั้งสามขนานกัน

ตัวอย่างกรณีที่ 1 ได้แก่ แท่งคอนกรีตพาดบนหัวเสา 2 ต้น เพื่อทำสะพาน แท่งคอนกรีตจะมีแรงกระทำ 3 แรง คือ น้ำหนัก $\vec{W}$, $\vec{N}_1$ และ $\vec{N}_2$ เป็นแรงที่เสาดันแท่งคอนกรีตในทิศตั้งฉาก ดังรูป 3 จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน แรงลัพธ์ของแรงทั้งสามเป็นศูนย์



ภาพที่ ก.3 แท่งคอนกรีตอยู่นิ่งด้วยแรง 3 แรง

ดังนั้น $\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{W} = 0$ และสามารถแสดงว่าแรงลัพธ์ของแรงทั้งสามเป็นศูนย์ได้ด้วยการนำแรงทั้งสามมาเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

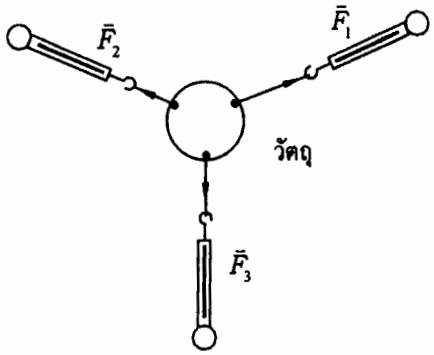


ก. แรง 3 แรงที่กระทำต่อแท่งคอนกรีต ข. หาแรงลัพธ์โดยเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์

ภาพที่ ก.4 วิธีหาแรงลัพธ์

กำหนดจุดเริ่มต้นแล้วเขียนเวกเตอร์ $\vec{W}$ จากนั้นนำหางเวกเตอร์ $\vec{N}_1$ มาต่อหัวเวกเตอร์ $\vec{W}$ และนำหางเวกเตอร์ $\vec{N}_2$ มาต่อหัวเวกเตอร์ $\vec{N}_1$ ดังรูป ที่ 4 จะเห็นว่า หัวเวกเตอร์ $\vec{N}_2$ พบหางของเวกเตอร์ $\vec{W}$ พอดี จะได้เวกเตอร์ลัพธ์เท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงว่า โดยขนาดของแรงแล้ว $\vec{N}_1 + \vec{N}_2$ จะต้องเท่ากับ $\vec{W}$ การที่จะหาค่า $\vec{N}_1$ และ $\vec{N}_{21}$ ได้ จะต้องทราบว่า ระยะห่างระหว่าง $\vec{W}$ กับ $\vec{N}_1$ และ $\vec{N}_2$ เป็นเท่าใด แล้วใช้เงื่อนไขที่สองของสมดุล เช่นเมื่อคิดโมเมนต์ของแรงรอบจุดที่ $\vec{W}$ กระทำจะได้ว่า $N_1 x_1 = N_2 x_2$ (โมเมนต์มีทิศตรงกันข้าม) เมื่อ x_1 และ x_2 เป็นระยะที่ $\vec{N}_1$ และ $\vec{N}_2$ ห่างจากจุดกระทำของ $\vec{W}$ ตามลำดับ

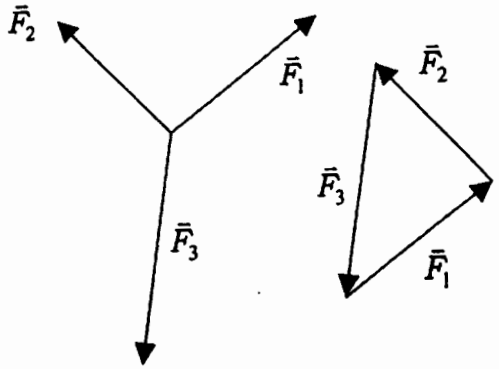
กรณีที่ 2 แนวแรงทั้งสามไม่ขนานกัน



ภาพที่ ก.5 แนวแรงดึงในเส้นด้ายที่ผูกกับวัตถุ

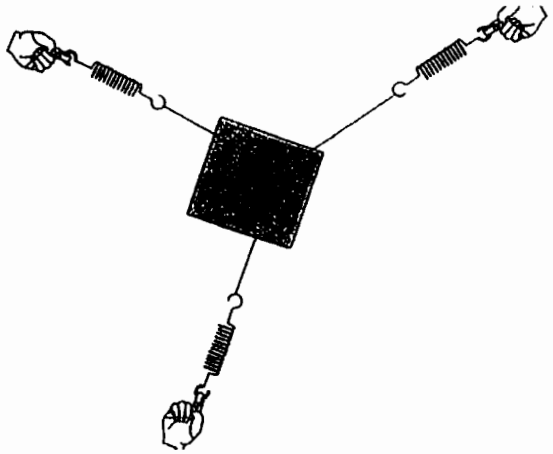
หากทำการทดลองการดึงเครื่องชั่งสปริงที่ต่อกับปลายด้าย ซึ่งผูกกับวัตถุที่อยู่นิ่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าให้ $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ เป็นแรงกระทำต่อวัตถุที่อ่านค่าได้จากเครื่องชั่งสปริง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จะเขียนได้ว่า $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$

ถ้านำเวกเตอร์แทนแรงทั้งสามมาเขียนต่อกัน ให้ความยาวของเวกเตอร์เป็นไปตามมาตราส่วนที่กำหนดไว้ และให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบ หัวเวกเตอร์สุดท้ายจะมาพบหางของเวกเตอร์แรกพอดี ซึ่งได้เป็น**รูปสามเหลี่ยมปิด** หมายถึงเวกเตอร์ลัพธ์เป็นศูนย์ และเนื่องจากโมเมนต์รวมของแรงทั้งสามรอบจุดใดจุดหนึ่งจะต้องเป็นศูนย์ด้วย **แนวของแรงทั้งสามจะต้องพบกันที่จุดๆ หนึ่ง** ซึ่งโมเมนต์ของแรงรอบจุดที่แรงพบกันย่อมเป็นศูนย์ และอาจพิสูจน์ได้ว่า โมเมนต์ของแรงคิดรอบที่จุดอื่นๆ รวมกันก็จะเป็นศูนย์ด้วย



ภาพที่ ก.6 การนำเวกเตอร์แทนแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ มาเขียนต่อกัน

ถ้าผูกเชือกสามเส้นเข้ากับรูบนแผ่นกระดาษแข็งสามรู เอาเครื่องชั่งสปริงทั้งสามคล้องเข้ากับห่วงเชือกที่ผูกอยู่กับรูบนกระดาษแข็ง ดังรูปที่ 7 ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามพร้อมๆ กัน ปรับค่าแรงดึงเพื่อนให้กระดาษหยุดนิ่งแล้ว ให้ต่อแนวแรงดึงที่เส้นด้ายดึงกระดาษทั้งสามแรง ไปบนแผ่นกระดาษ จะพบว่า แนวแรงดึงทั้งสามพบกันที่จุดๆ หนึ่ง สรุปได้ว่า เมื่อมีแรง 3 แรงกระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ โดยแรงทั้งสามไม่ขนานกันและวัตถุอยู่นิ่ง แนวแรงทั้งสามต้องพบกันที่จุดๆ หนึ่ง เนื่องจากโมเมนต์ลัพธ์ต้องเป็นศูนย์ด้วย

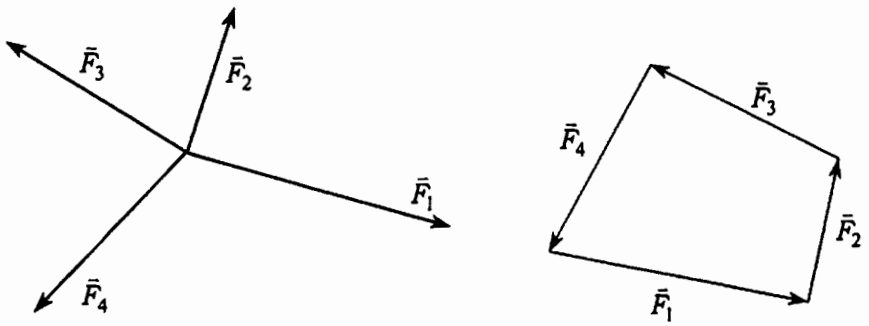


ภาพที่ ก.7 เครื่องชั่งสปริงดึงกระดาษแข็ง

ถ้ามีแรงหลายแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ ... $\vec{F}_n$ กระทำต่อวัตถุและวัตถุอยู่นิ่ง เราสามารถนำวิธีการที่ใช้ศึกษาแรง 3 แรง มาใช้ศึกษากับแรงหลายแรง และสรุปได้เช่นเดียวกันว่าแรงลัพธ์ของแรงหลายแรงนั้นเป็นศูนย์

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \ldots + \vec{F}_n = 0 \text{ หรือ } \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0$$

ถ้านำแรงเหล่านี้สมมุติว่าเป็น $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ และ $\vec{F}_4$ มาหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีหางต่อหัวเวกเตอร์ โดยใช้ความยาวตามมาตราส่วน จะได้เป็นรูปเหลี่ยมปิด ดังรูป 8



ภาพที่ ก.8 เวกเตอร์แทนแรงที่อยู่ในสมดุลเป็นรูปเหลี่ยมปิด

การหาแรงลัพธ์นอกจากใช้วิธีหางต่อหัวเวกเตอร์ ยังสามารถหาแรงลัพธ์โดยการแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบ แล้วรวมองค์ประกอบต่างๆ จะได้องค์ประกอบของแรงลัพธ์ คือ

$$\overline{F}_x = \sum_{i=1}^{n} \overline{F}_{ix} \quad \text{และ} \quad \overline{F}_y = \sum_{i=1}^{n} \overline{F}_{iy}$$

เมื่อ $\overline{F}_{ix}$ และ $\overline{F}_{iy}$ เป็นแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และ y ตามลำดับ $\overline{F}_x$ และ $\overline{F}_y$ ที่ได้นี้ นำมาให้หาขนาดและทิศของแรงลัพธ์ได้เช่นเดียวกับ $\overline{F}_x$ และ $\overline{F}_y$ ในตัวอย่างข้างต้น

ในกรณีวัตถุอยู่นิ่ง ผลรวมของแรงที่กระทำต่อวัตถุต้องเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และ y จะต้องเป็นศูนย์ด้วย นั่นคือ

$$\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{ix} = 0 \text{ และ } \sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{iy} = 0$$

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นสร้างความสนใจ

1. ครูทบทวนเนื้อหาบทที่แล้ว โดยถามนักเรียนด้วยคำถามดังนี้
   - ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่และแบบหมุนมีอะไรบ้าง (ความเร็วเชิงเส้น, ความเร็วเชิงมุม, มวล)
   - วัตถุที่มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบเลื่อนที่และแบบหมุน จะมีพลังงานจลน์เท่าใด (พลังงานจลน์ของการกลิ้งเท่ากับผลรวมของพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่แบบหมุน
2. ครูบอกจุดประสงค์การเรียนในหัวข้อนี้ว่า นักเรียนจะต้องอธิบายให้ได้ดังนี้

วัตถุที่สมดุลต่อการเลื่อนที่จะคงสภาพการเคลื่อนที่เดิม คือ หยุดนิ่ง หรือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว โดยวัตถุจะสมดุลต่อการเลื่อนที่ได้ เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ตามสมการ $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_i = 0$ ในกรณีที่มีแรงกระทำสองแรง แรงทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้าม

- ในกรณีที่มีแรงกระทำสองแรง แรงทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้าม

- ในกรณีที่มีแรงกระทำสามแรง โดยแรงทั้งสามไม่ใช่แรงขนานจะได้ว่า แนวแรงทั้งสามจะพบกันที่จุดๆหนึ่ง โดยแรงทั้งสามจะอยู่ในระนาบเดียวกัน และผลรวมของสองแรงแรกจะมีขนาดเท่ากับแรงที่สาม แต่ทิศทางตรงข้าม เมื่อนำแรงทั้งสามมาเขียนแผนภาพแทนแรงการบอกเวกเตอร์แทนแรงทั้งสามจะได้รูปสามเหลี่ยมปิดพอดี

- ในกรณีที่มีแรงกระทำสามแรงขึ้นไป สามารถแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และแนวแกน y และยังคงได้ว่า $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{ix} = 0$ และ $\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_{iy} = 0$

3. ครูถามนักเรียนว่าวัตถุที่วางอยู่นิ่งๆ จะมีแรงกระทำหรือไม่ (มี) เป็นไปตามกฎข้อไหนของนิวตัน (กฎข้อที่ 1)

4. ครูวาดวัตถุบนกระดานโดยเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมที่วางอยู่ในพื้นลื่น แล้วให้นักเรียนวาดแนวแรงที่กระต่อวัตถุลงในสมุด
5. ครูอธิบายเพิ่มเติมกล่องที่อยู่นิ่งๆบนพื้น จะมีแรงที่กระทำที่ทำให้วัตถุอยู่นิ่งได้

5.2 ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม ตามโต๊ะที่นักเรียนนั่ง
2. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มรับชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่อง เงื่อนไขของสมดุล
3. นักเรียนทำกิจกรรม โดยที่ครูคอยอธิบายและให้ความรู้ และคอยตอบเมื่อนักเรียนมีข้อซักถามสงสัย

5.3 ขั้นอภิปรายและลงข้อสรุป

ครูและนักเรียนร่วมกันหาข้อสรุปว่า

1. เงื่อนไขของสมดุลมีกี่แบบ (2 แบบ) แบบไหนบ้าง
   - กรณีที่มีสองแรงกระทำ ซึ่งแรงสองแรงนี้จะต้องเป็นแรงที่มีทิศทางตรงกันข้าม และขนานกัน
   - กรณีที่มีแรงสามแรงกระทำ ในกรณีดังกล่าวมีทั้งแบบขนาดกันและไม่ขนานกัน โดยที่เราใช้วิธีหางต่อหัวแบบเวกเตอร์มาช่วยในการคำนวณ
2. เมื่อมีแรงสามแรงที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน กระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่ แรงลัพธ์ของแรงทั้งสามเท่ากับศูนย์
3. เมื่อเขียนเวกเตอร์ของแรงทั้งสามแบบหางต่อหัวจะพบว่าเวกเตอร์ของแรงทั้งสามต่อกันเป็นสามเหลี่ยมปิด
4. แรงลัพธ์ของสองแรงแรก จะมีขนาดเท่ากับแรงที่สามแต่ทิศทางตรงกันข้าม
5. เมื่อวัตถุนิ่ง ถ้าต่อแนวแรงทั้งสามออกไปแนวแรงทั้งสามจะพบกันที่จุดหนึ่ง
6. ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า เมื่อมีแรงสามแรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่แรงทั้งสามจะอยู่ในระนาบเดียวกัน
7. ครูสาธิตโดยใช้เชือกสามเส้น ผูกปลายข้างหนึ่งเข้าด้วยกันให้เป็นปม ดึงปลายที่เหลือของเชือกทั้งสามเส้นให้ปมเชือกหยุดนิ่ง สังเกตระนาบของแรงทั้งสาม และเมื่อเปลี่ยนทิศทางของแรงใดแรงหนึ่งไปอยู่ในระนาบอื่น อีกสองแรงที่เหลือจะเปลี่ยนตามไปอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ

8. จากนั้นใช้เครื่องชั่งสปริงอีกอันหนึ่งเกี่ยวปมเชือกดึงขึ้นในแนวดิ่ง จะพบว่า ระนาบของแรงทั้งสี่แรงที่กระทำกับปมเชือก ไม่จำเป็นต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน และปมเชือกยังอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่ได้
9. จากนั้นครูเพิ่มเติมว่า เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่ แรงลัพธ์ของแรงเหล่านั้นมีค่าเป็นศูนย์หรือ $\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0$ โดยเขียนเวกเตอร์ของแรงเหล่านั้นแบบหางต่อหัว จะได้เป็นรูปเหลี่ยมปิดเช่นเดียวกัน

5.4 ขั้นขยายความรู้

1. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายผลจากชุดกิจกรรม ที่ 1 เงื่อนไขของสมดุล และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

5.5 ขั้นประเมินผล

1. ครูสังเกตความร่วมมือในการเรียน การตอบคำถาม ในคู่มือการทำกิจกรรม การอภิปรายและ แสดงความคิดเห็น

6. สื่อการเรียนการสอน/แหล่งการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 2

6.2 ชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่อง เงื่อนไขของสมดุล

6.3 ห้องสมุดและอินเทอร์เน็ต

6.4 แบบสังเกตพฤติกรรม

7. การวัดและประเมินผล

7.1 สิ่งที่วัด

1. ความรู้ความเข้าใจ
2. พฤติกรรมการเรียน

7.2 วิธีการวัด

1. สังเกตพฤติกรรม

7.3 เครื่องมือวัด

1. แบบสังเกตพฤติกรรม
2. ชุดกิจกรรม ที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล

7.4 เกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1. เกณฑ์การประเมินแบบสังเกตพฤติกรรม
   - ถ้าได้คะแนนรวม 20 คะแนนขึ้นไป ถือว่าผ่าน
   - ถ้าได้คะแนนรวมต่ำกว่า 15 คะแนน ถือว่าไม่ผ่าน

8. บันทึกผลหลังการสอน

.....

.....

.....

9. ปัญหา/อุปสรรค

.....

.....

.....

10. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

(นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์)

ครูผู้สอน

แบบสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน

เรื่อง.....**ชั้น**.....

คำชี้แจง ให้เติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับพฤติกรรมการตอบคำถาม เพียงข้อละ 1 ช่อง

เกณฑ์การประเมิน

5 หมายถึง มากที่สุด

4 หมายถึง มาก

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง น้อย

1 หมายถึง น้อยที่สุด

1. การมีส่วนร่วมในชั้นเรียน

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม							
2.	นักเรียนมีความสนใจในกิจกรรม							
3.	นักเรียนร่วมแสดงความคิดเห็นและตอบคำถาม							

2. การตอบคำถามและการสรุปความหมาย

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง							
2.	นักเรียนสามารถให้เหตุผลในคำตอบได้							
3.	นักเรียนสามารถสรุปความจากเรื่องที่เรียนได้							

เกณฑ์การประเมิน

คะแนน	11-15	ดีมาก
คะแนน	8-10	ดี
คะแนน	5-7	พอใช้

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

..... / ..... / .....

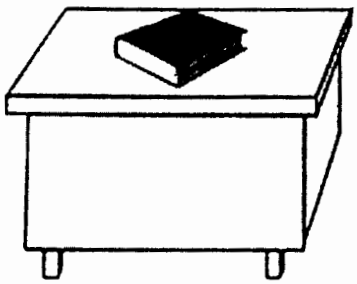
เงื่อนไขของสมดุล

เงื่อนไขของสมดุล

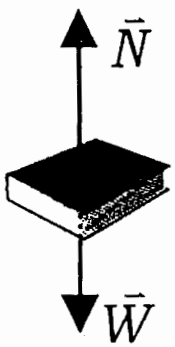
เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลสถิต ทั้งเงื่อนไขข้อที่ 1 และข้อที่ 2 จะต้องเป็นจริง คือทั้งแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ และโมเมนต์ลัพธ์คิดรอบแกนหมุนใดๆ เป็นศูนย์ สำหรับสภาพดุลโดยทั่วไปวัตถุอาจมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวซึ่งสอดคล้องกับแรงลัพธ์ที่จุดศูนย์กลางมวลเป็นศูนย์ หรือมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัวซึ่งสอดคล้องกับการที่ไม่มีทอร์กกระทำ หรืออาจมีการเคลื่อนที่ทั้งสองอย่างพร้อมกัน เงื่อนไขก็จะคล้ายคลึงกัน คือแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุเป็นศูนย์และโมเมนต์ลัพธ์รอบจุดศูนย์กลางมวลต้องเป็นศูนย์

1. กรณีที่มีแรงสองแรงกระทำ

เมื่อวางหนังสือบนโต๊ะ หนังสือจะอยู่นิ่งบนโต๊ะโดยมีแรงสองแรงกระทำผ่านศูนย์กลางมวล ดังภาพที่ 9 แรงหนึ่งคือ แรงโน้มถ่วงของโลกหรือน้ำหนัก $\vec{W}$ อีกแรงหนึ่งคือ แรงที่โต๊ะดันหนังสือในแนวตั้งฉากกับพื้นโต๊ะ $\vec{N}$ และแรงทั้งสองมีทิศตรงข้ามกัน ดังภาพที่ 10



ภาพที่ ก.9 หนังสือวางอยู่บนโต๊ะ



ภาพที่ ก.10 แรงสองแรงกระทำต่อหนังสือ

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน แรงลัพธ์ของ $\vec{W}$ และ $\vec{N}$ เป็นศูนย์ แสดงว่าวัตถุที่อยู่ในสมดุลสถิต แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ดังนั้น $\vec{W} + \vec{N} = 0$ หรือ $\vec{W} = -\vec{N}$

เครื่องหมายข้างหน้า $\vec{N}$ หมายถึงทิศที่ตรงข้ามกัน $\vec{W}$ โดยขนาดแล้ว $\vec{N}$

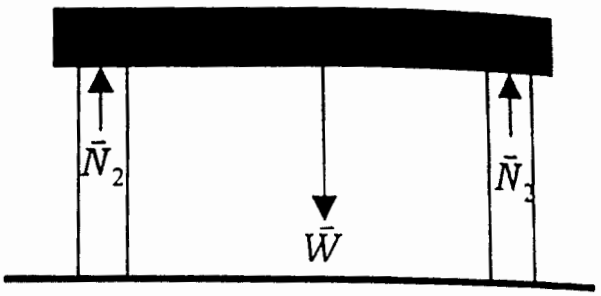
เมื่อคิดเงื่อนไขที่สองประกอบ โมเมนต์รอบจุดใดๆ จะเป็นศูนย์ได้ก็ต่อเมื่อ $\vec{N}$ และ $\vec{W}$ จะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน

2. กรณีมีแรงสามแรงกระทำ

ในกรณีแรง 3 แรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่นิ่ง แนวแรงทั้งสามจะเป็นไปได้ 2 กรณีดังนี้

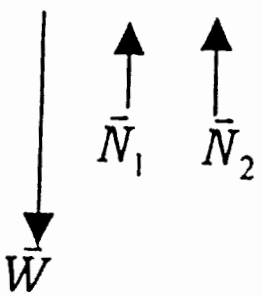
กรณีที่ 1 แนวแรงทั้งสามขนานกัน

ตัวอย่างกรณีที่ 1 ได้แก่ แท่งคอนกรีตพาดบนหัวเสา 2 ต้น เพื่อทำสะพาน แท่งคอนกรีตจะมีแรงกระทำ 3 แรง คือ น้ำหนัก $\vec{W}$, $\vec{N}_1$ และ $\vec{N}_2$ เป็นแรงที่เสาดันแท่งคอนกรีตในทิศตั้งฉาก ดังภาพที่ 1.3 จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน แรงลัพธ์ของแรงทั้งสามเป็นศูนย์

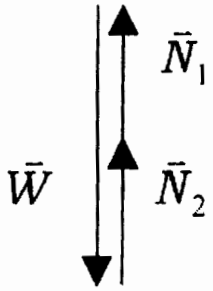


ภาพที่ ก.11 แท่งคอนกรีตอยู่นิ่งด้วยแรง 3 แรง

ดังนั้น $\vec{N}_1 + \vec{N}_1 + \vec{W} = 0$ และสามารถแสดงว่าแรงลัพธ์ของแรงทั้งสามเป็นศูนย์ได้ด้วยการนำแรงทั้งสามมาเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์ ซึ่งมีวิธีการดังนี้



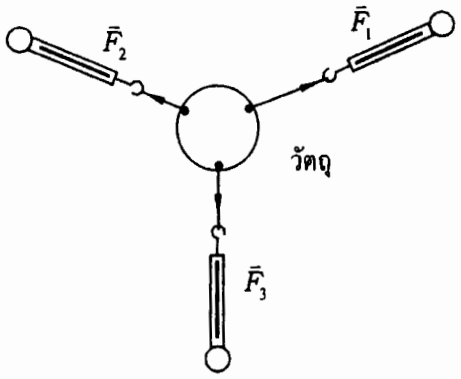
ภาพที่ ก.12 แรง 3 แรงที่กระทำต่อแท่งคอนกรีต



ภาพที่ ก.13 แรงลัพธ์ของแรง N1 และ N2

กำหนดจุดเริ่มต้นแล้วเขียนเวกเตอร์ $\bar{W}$ จากนั้นนำหางเวกเตอร์ $\bar{N}_1$ มาต่อหัวเวกเตอร์ $\bar{W}$ และนำหางเวกเตอร์ $\bar{N}_2$ มาต่อหัวเวกเตอร์ $\bar{N}_1$ ดังภาพที่ 1.4 และภาพที่ 1.5 จะเห็นว่า หัวเวกเตอร์ $\bar{N}_2$ พบหางของเวกเตอร์ $\bar{W}$ พอดี จะได้เวกเตอร์ลัพธ์เท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงว่า โดยขนาดของแรงแล้ว $\bar{N}_1 + \bar{N}_2$ จะต้องเท่ากับ $\bar{W}$ การที่จะหาค่า $\bar{N}_1$ และ $\bar{N}_2$, ได้ จะต้องทราบว่า ระยะห่างระหว่าง $\bar{W}$ กับ $\bar{N}_1$ และ $\bar{N}_2$ เป็นเท่าใด แล้วใช้เงื่อนไขที่สองของสมดุล เช่นเมื่อคิดโมเมนต์ของแรงรอบจุดที่ $\bar{W}$ กระทำจะได้ว่า $N_1 x_1 = N_2 x_2$ (โมเมนต์มีทิศตรงกันข้าม) เมื่อ x_1 และ x_2 เป็นระยะที่ $\bar{N}_1$ และ $\bar{N}_2$ ห่างจากจุดกระทำของ $\bar{W}$ ตามลำดับ

กรณีที่ 2 แนวแรงทั้งสามไม่ขนานกัน

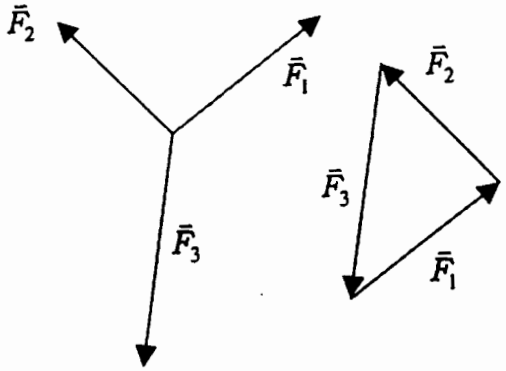


ภาพที่ ก.14 แนวแรงดึงในเส้นด้ายที่ผูกกับวัตถุ

หากทำการทดลองการดึงเครื่องชั่งสปริงที่ต่อกับปลายด้าย ซึ่งผูกกับวัตถุที่อยู่นิ่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าให้ $\bar{F}_1$ $\bar{F}_2$ และ $\bar{F}_3$ เป็นแรงกระทำต่อวัตถุที่อ่านค่าได้จากเครื่องชั่งสปริง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จะเขียนได้ว่า $\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 = 0$

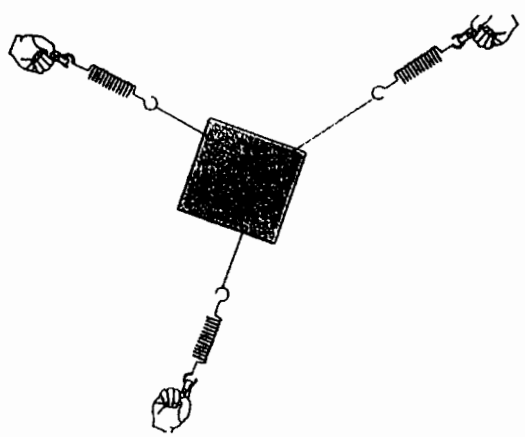
ถ้านำเวกเตอร์แทนแรงทั้งสามมาเขียนต่อกัน ให้ความยาวของเวกเตอร์เป็นไปตามมาตราส่วนที่กำหนดไว้ และให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบ หัวเวกเตอร์สุดท้ายจะมาพบหางของเวกเตอร์แรกพอดี ซึ่งได้เป็น**รูปสามเหลี่ยมปิด** หมายถึงเวกเตอร์ลัพธ์เป็นศูนย์ และเนื่องจากโมเมนต์รวมของแรงทั้งสามรอบจุดใดจุดหนึ่งจะต้องเป็นศูนย์ด้วย **แนวของแรงทั้งสามจะต้องพบกันที่จุดๆ หนึ่ง**

ซึ่งโมเมนต์ของแรงรอบจุดที่แรงพบกันย่อมเป็นศูนย์ และอาจพิสูจน์ได้ว่า โมเมนต์ของแรงคิดรอบที่จุดอื่นๆ รวมกันก็จะเป็นศูนย์ด้วย



ภาพที่ ก.15 การนำเวกเตอร์แทนแรง $\bar{F}_1$, $\bar{F}_2$ และ $\bar{F}_3$ มาเขียนต่อกัน

ถ้าผูกเชือกสามเส้นเข้ากับรูบนแผ่นกระดาษแข็งสามรู เอาเครื่องชั่งสปริงทั้งสามคล้องเข้ากับห่วงเชือกที่ผูกอยู่กับรูบนกระดาษแข็ง ดังภาพที่ 1.8 ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามพร้อมๆ กัน ปรับค่าแรงดึงเพื่อนให้กระดาษหยุดนิ่งแล้ว ให้ต่อแนวแรงดึงที่เส้นด้ายดึงกระดาษทั้งสามแรง ไปบนแผ่นกระดาษ จะพบว่า แนวแรงดึงทั้งสามพบกันที่จุดๆ หนึ่ง สรุปได้ว่า เมื่อมีแรง 3 แรงกระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ โดยแรงทั้งสาม ไม่ขนานกันและวัตถุอยู่นิ่ง แนวแรงทั้งสามต้องพบกันที่จุดๆ หนึ่ง เนื่องจากโมเมนต์ลัพธ์ต้องเป็นศูนย์ด้วย

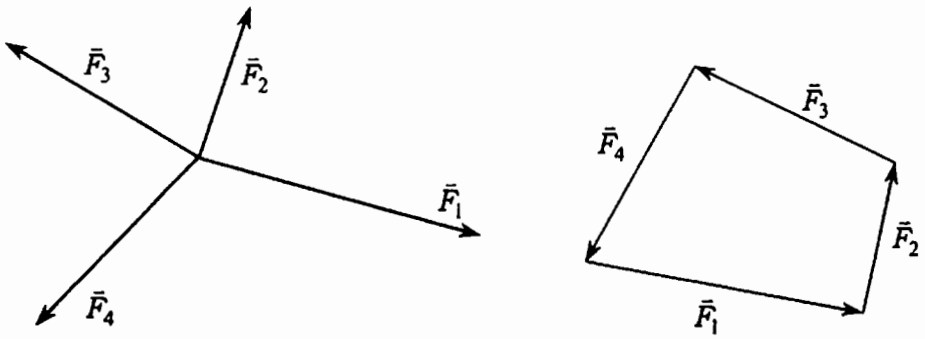


ภาพที่ ก. 16 เครื่องชั่งสปริงดึงกระดาษแข็ง

ถ้ามีแรงหลายแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ ... $\vec{F}_n$ กระทำต่อวัตถุและวัตถุอยู่นิ่ง เราสามารถนำวิธีการที่ใช้ศึกษาแรง 3 แรง มาใช้ศึกษากับแรงหลายแรง และสรุปได้เช่นเดียวกันว่าแรงลัพธ์ของแรงหลายแรงนั้นเป็นศูนย์

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \ldots + \vec{F}_n = 0 \text{ หรือ } \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0$$

ถ้านำแรงเหล่านี้สมมุติว่าเป็น $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ และ $\vec{F}_4$ มาหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีหางต่อหัวเวกเตอร์ โดยใช้ความยาวตามมาตราส่วน จะได้เป็นรูปเหลี่ยมปิด ดังภาพที่ ก.16



ภาพที่ ก.17 ภาพเวกเตอร์แทนแรงที่อยู่ในสมดุลเป็นรูปเหลี่ยมปิด

การหาแรงลัพธ์นอกจากใช้วิธีหางต่อหัวเวกเตอร์ ยังสามารถหาแรงลัพธ์โดยการแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบ แล้วรวมองค์ประกอบต่างๆ จะได้องค์ประกอบของแรงลัพธ์ คือ

$$\overline{F}_x = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_{ix} \quad \text{และ} \quad \overline{F}_y = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_{iy}$$

เมื่อ $\overline{F}_{ix}$ และ $\overline{F}_{iy}$ เป็นแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และ y ตามลำดับ $\overline{F}_x$ และ $\overline{F}_y$ ที่ได้นี้ นำมาให้หาขนาดและทิศของแรงลัพธ์ได้เช่นเดียวกับ $\overline{F}_x$ และ $\overline{F}_y$ ในตัวอย่างข้างต้น

ในกรณีวัตถุอยู่นิ่ง ผลรวมของแรงที่กระทำต่อวัตถุต้องเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของแรงองค์ประกอบในแนวแกน x และ y จะต้องเป็นศูนย์ด้วย นั่นคือ

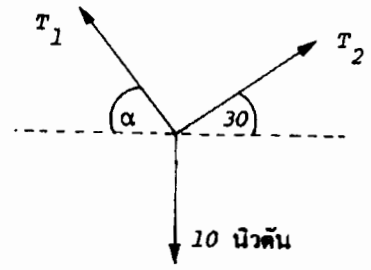
$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_{ix} = 0 \text{ และ } \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_{iy} = 0$$

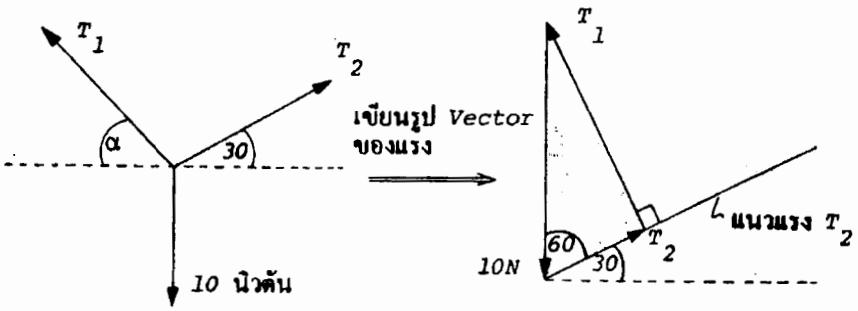
ตัวอย่างที่ 1 จากรูป แรงทั้งสามกระทำร่วมกันที่จุด O อยู่ในภาวะสมดุล จงหา

1. มุม α ที่ทำให้ T_1 มีค่าน้อยที่สุด

2. T_1 และ T_2

วิธีทำ เนื่องจากแรงทั้งสามทำให้วัตถุอยู่ในภาวะสมดุลและต้องการหาทิศของแรงที่มีค่าน้อยที่สุด ให้ทำการเขียนรูปเวกเตอร์ของแรง จะได้รูปเวกเตอร์ ของแรงเป็นสามเหลี่ยมปิด โดยมีเวกเตอร์ตามกันดังรูป





จากรูปเวกเตอร์ของแรง T_1 มีค่าน้อยที่สุดจะต้องตั้งฉาก กับเวกเตอร์ T_2

เพราะฉะนั้นจากรูป

$$\frac{T_1}{10} = \sin 60^0$$

$$T_1 = 10\sin 60^0$$

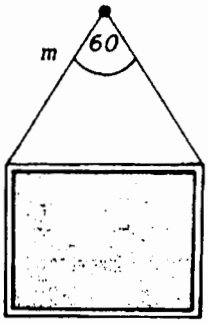
$$= 10\frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3} \text{ นิวตัน}$$

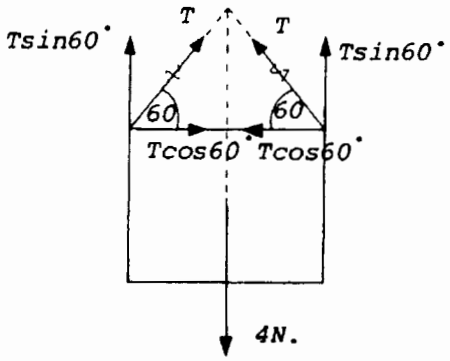
$$\frac{T_2}{10} = \cos 60^0$$

$$T_2 = 10\sin 60^0$$

$$= \frac{10}{2} \qquad = 5 \quad \text{นิวตัน}$$

ตัวอย่างที่ 2 รูปภาพมีน้ำหนัก 4 นิวตัน ใช้เชือกผูกที่มุมบนของกรอบรูปทั้งสองมุม ไปคล้องผ่านตะปูลื่น ตัวหนึ่ง ขอบบนของกรอบรูปอยู่ในแนวระดับ เส้นเชือกทำมุม 60^0 ซึ่งกันและกันดังรูป ถ้าเชือกไม่ยืด จงหาความตึงของเชือกแต่ละเส้น





เขียนแรงกระทำที่กรอบรูป

วิธีทำ เขียนแรงที่กระทำที่กรอบรูป

เพราะว่าแรงสมมาตรกับแนวดิ่ง ดังนั้นแรงตึงในเชือกทั้งสองมีค่าเท่ากัน

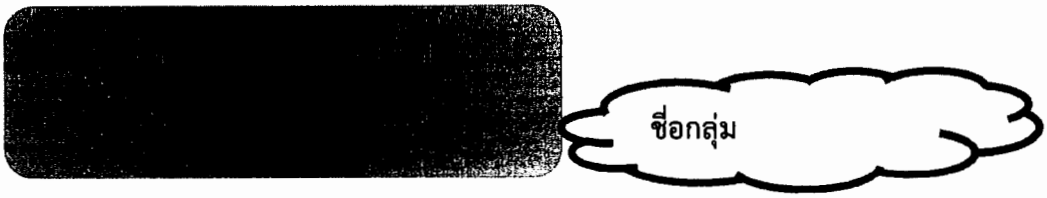
แตกแรง T ในแนวราบและแนวดิ่ง

จาก $\sum F_y = 0$ $\therefore$ แทนค่าจะได้

$$2T\sin\theta = 4$$

$$2T(\frac{\sqrt{3}}{2}) = 4$$

$$T = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.3 \text{ นิวตัน}$$



1. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
2. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
3. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
4. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
5. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....

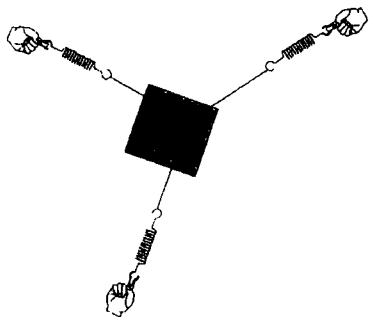
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาเงื่อนไขของแรงสามแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสมดุล

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสปริง 3 อัน
2. กระดาษแข็ง 1 แผ่น
3. กระดาษขาว 1
4. ตัวหนีบยึด 3 อัน
5. เส้นด้าย
6. ไม้โพรเจคเตอร์ สำหรับวัดมุม

วิธีทดลอง

1. นำกระดาษแข็งรูปสี่เหลี่ยมมาเจาะรูบริเวณขอบ นำปลายหนึ่งของเส้นด้ายสามเส้นมาผูกกับขอบของแผ่นกระดาษแข็งที่สามจุดส่วน ปลายที่เหลือของเส้นด้ายทำเป็นห่วง
2. ใช้เครื่องชั่งสปริงสามอันเกี่ยวห่วง แล้วดึงให้กระดาษแข็งอยู่นิ่งเหนือแผ่นกระดาษขาว โดยเส้นด้ายทั้งสามก็อยู่เหนือแผ่นกระดาษขาวและอยู่แนวระดับ ดังภาพที่ ก.17
3. บันทึกขนาดแรงทั้งสามที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริง พร้อมทั้งเขียนขอบของแผ่นกระดาษแข็งและแนวของแรงทั้งสาม โดยลากเส้นตรงตามแนวเส้นด้ายบนกระดาษขาว และใส่ลูกศรบนเส้นด้ายมีทิศออกจากแผ่นกระดาษแข็ง เพื่อแสดงทิศของแรง



ภาพที่ ก.18 การผูกเส้นด้ายดึงแผ่นกระดาษแข็ง

สรุป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถาม

1. ถ้าเขียนเวกเตอร์แทนการรวมของแรงทั้งสาม โดยกำหนดมาตรฐานส่วนให้ความยาวของเวกเตอร์แทนขนาดของแรงที่อ่านได้จาก เครื่องชั่ง โดยให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบจะได้ภาพมี ลักษณะเป็นอย่างไร

2. ขณะแผ่นกระดาษแข็งอยู่นิ่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแผ่นกระดาษมีค่าอย่างไร

[redacted]

[redacted]

อย่างไร

[redacted]

[redacted]

[redacted]

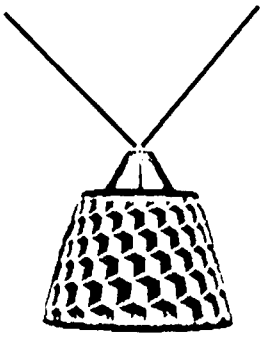
สถานการณ์ปัญหาที่ 1

อุปกรณ์

- เชือก ชนิด A จำนวน 3 เส้น
- เชือก ชนิด B จำนวน 3 เส้น
- เชือก ชนิด C จำนวน 3 เส้น
- ไม้เมตร จำนวน 1 อัน
- ไม้โพรเจคเตอร์ สำหรับวัดมุม จำนวน 1 อัน
- โคมไฟชนิดแขวน 5 kg จำนวน 1 ตัว

สถานการณ์ที่กำหนด

นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรในการออกแบบแขวนโคมไฟ ซึ่งหนัก 5 กิโลกรัม จากเชือกที่มีความยาว 4 เมตร แล้วทำให้เชือกหย่อนลงมา 20 เซ็นติเมตร จากแนวระดับดังรูป



➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เงื่อนไข (Constraints) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เป้าหมายความต้องการ (Criteria) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

<u>แผนผัง concept</u>

➢ หลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

จากสถานการณ์ดังกล่าว

นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรในการแขวนโคมไฟ ให้ออกแบบ และเขียนแรงที่กระทำแสดงวิธีการคำนวณหาแรงตึงเชือก สร้าง ทดสอบ และแก้ไขปรับปรุง โดยวาดภาพและบันทึกผลลงตารางดังต่อไปนี้

ทดลองครั้งที่	ภาพวาดการออกแบบ	แรงตึงเชือก	ปัญหาที่พบ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชา ว 31212 ฟิสิกส์ 8 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

หน่วยที่ 4 สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น

เรื่อง สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง เวลา 2.0 ชั่วโมง

วันที่ ธันวาคม 2558 ครูผู้สอน นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์

---

1. มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัด

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด ว 8.1 ม.4-6/1 ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้

2. สาระสำคัญ

วัตถุที่สมดุลต่อการหมุนจะคงสภาพการหมุนเดิม คือ ไม่หมุน หรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว โดยวัตถุจะสมดุลต่อการหมุนได้ เมื่อทอร์กลัพธ์หรือผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ $\sum_{i=1}^{n} M_i = 0$ โมเมนต์ของแรง (Moment of force) หรือทอร์ก (torque) วัตถุจะมีการหมุนเมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่ผ่านศูนย์กลางมวล ซึ่งจะทำให้เกิดทอร์กรอบศูนย์กลางมวล โดยหาค่าของทอร์กได้จากสมการ $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ และสามารถหาขนาดของทอร์กหรือขนาดของโมเมนต์ของแรงได้จาก $rF\sin(\theta)$

หาทิศทางของ $\vec{\tau}$ ได้จากกฎมือขวา โดยทิศทางของ $\vec{\tau}$ จะพุ่งออกตั้งฉากกับระนาบการหมุนเมื่อวัตถุหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และทิศทางของ $\vec{\tau}$ จะพุ่งเข้าตั้งฉากกับระนาบการหมุน เมื่อวัตถุหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นเพื่อความสะดวก ในบทนี้ จะกล่าวถึงทอร์กหรือโมเมนต์ของแรงที่อยู่ในระนาบเดียวกันซึ่งคิดเฉพาะขนาดของโมเมนต์ของแรงประกอบกับทิศทางที่มีเฉพาะทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา

แรงคู่ควบ (couple) เป็นแรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากัน แนวแรงขนานกัน แต่มีทิศทางตรงข้ามโมเมนต์ของแรงคู่ควบ (moment of a couple) เมื่อมีแรงคู่ควบกระทำต่อวัตถุทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ หาขนาดโมเมนต์ของแรงคู่ควบได้จาก ผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะทางตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ความรู้ (K)

3.1 นักเรียนสามารถอธิบายเกี่ยวกับสมดุลต่อการหมุนได้ว่า วัตถุที่สมดุลต่อการหมุนนั้น วัตถุอาจหยุดนิ่งไม่หมุนหรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว

3.2 นักเรียนสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีโมเมนต์ของแรงหรือทอร์กกระทำต่อวัตถุ ทำให้วัตถุไม่อยู่ในสมดุลต่อการหมุน

3.3 นักเรียนสามารถสรุปเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุสมดุลต่อการหมุน และคำนวณหาปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องเมื่อวัตถุอยู่ในสมดุลต่อการหมุน

3.4 นักเรียนสามารถสรุปได้ว่า แรงคู่ควบ 1 คู่ กระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่แต่ไม่สมดุลต่อการหมุน

3.5 นักเรียนสามารถหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบและทิศทางการหมุนของวัตถุได้

3.6 นักเรียนสามารถสรุปได้ว่า เมื่อแรงคู่ควบ 1 คู่ กระทำต่อวัตถุแล้วต้องใช้แรงคู่ควบอีกอย่างน้อย 1 คู่กระทำต่อวัตถุให้เกิดโมเมนต์ตรงข้ามกับโมเมนต์ของแรงคู่ควบคู่แรกโดยมีขนาดเท่ากัน ทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการหมุน (วัตถุไม่เลื่อนที่และไม่หมุน)

กระบวนการ (P)

3.7 ทักษะในการอ่าน

คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

3.8 นักเรียนมีความสนใจใฝ่รู้

3.9 นักเรียนมีความรับผิดชอบ ความมุ่งมั่นต่องานที่ได้รับมอบหมาย

4. สาระการเรียนรู้

สมดุลต่อการหมุน

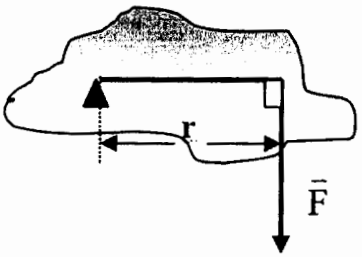
เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุและทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งเพียงอย่างเดียวแรงนั้นต้องผ่านจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) ซึ่งเสมือนเป็นที่รวมของมวลวัตถุทั้งก้อนและในกรณีที่มีวัตถุหลายๆก้อนมายึดติดกันเป็นรูปทรงต่าง ๆซึ่งเรียก ระบบ และในแต่ละระบบก็มีจุดศูนย์กลางมวลเช่นกันแต่ถ้ามีแรงกระทำต่อวัตถุหรือระบบไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลวัตถุจะเคลื่อนที่แบบหมุน

โมเมนต์ของแรง

เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุและแรงกระทำนั้นไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลจะทำให้วัตถุหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล แต่ถ้าวัตถุนั้นมีที่ยึดรอบแกนหมุนแกนหนึ่ง จุดหมุนก็ไม่จำเป็นต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล และการหมุนของวัตถุทำให้เกิดโมเมนต์ของแรง (Moment of a force) หรือเรียกย่อๆ ว่าโมเมนต์หรือทอร์ก (Torque)

โมเมนต์ = แรง x ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรง

$$M = F \cdot r$$



ภาพที่ ก.19 ทิศทางของโมเมนต์

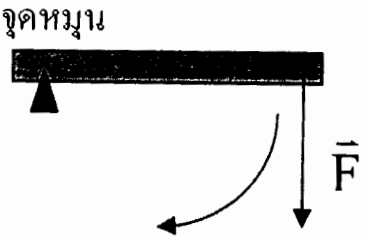
โดยที่ r คือระยะห่างจากจุดหมุนไปยังแนวแรง หน่วยเป็น เมตร (m)

F คือแรงที่กระทำต่อวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน (N)

M คือโมเมนต์ของแรง หน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N.m)

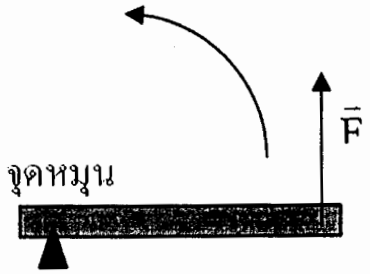
โมเมนต์เป็นปริมาณเวกเตอร์ โมเมนต์มีทิศการหมุน 2 ทิศ คือ

1. ทิศตามเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ ก.20 โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

2. ทิศทวนเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ ก.21 โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน โมเมนต์ของแรงกระทำจะเป็นไปตามเงื่อนไขคือ

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

ถ้าให้โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาเป็นโมเมนต์ที่มีเครื่องหมายบวก โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกามีเครื่องหมายลบ เราสรุปได้ว่า **วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน ผลรวมทางคณิตศาสตร์ของโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์**

จะได้ $$\sum_{i=1}^{n} M_i = 0$$

ข้อสังเกต

1. วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพนิ่งและไม่หมุน หรือหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่
2. วัตถุสมดุลต่อการหมุนและสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่งพร้อมๆกันเรียกว่าสมดุลที่สมบูรณ์

การคำนวณเมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุแล้ว วัตถุสมดุลผลที่ได้คือ

1. ถ้าสมดุลต่อการเลื่อนที่ จะได้ $\Sigma F_x = 0$

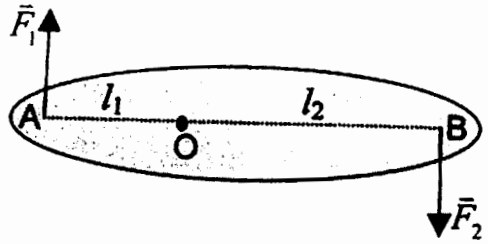
ผลรวมของแรงทางซ้าย = ผลรวมของแรงทางขวา

$$\Sigma F_y = 0$$

ผลรวมของแรงขึ้น = ผลรวมของแรงลง

2. สมดุลต่อการหมุน จะได้

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ ก.22 แรงคู่ควบ $\bar{F}_1$, $\bar{F}_2$ กระทำกับวัตถุ AB โดยแนวแรงทั้งสองตั้งฉากกับ AB

โมเมนต์ของแรงคู่ควบ

แรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากัน แนวแรงขนานกัน แต่มีทิศตรงกันข้ามเรียกแรงคู่นี้ว่า แรงคู่ควบ (couple) ดังแรง $\bar{F}_1, \bar{F}_2$ที่กระทำกับวัตถุดังรูปที่

พิจารณาจากภาพที่ 12 จะได้ว่าโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\bar{F}_1$ และ$\bar{F}_2$ รอบแกนหมุน O เป็นโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา และเนื่องจากขนาดของแรงคู่ควบเท่ากัน ดังนั้น ถ้าให้ F เป็นขนาดของแรงคู่ควบแต่ละแรง จะหาผลของโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\bar{F}_1, \bar{F}_2$ ได้เป็น

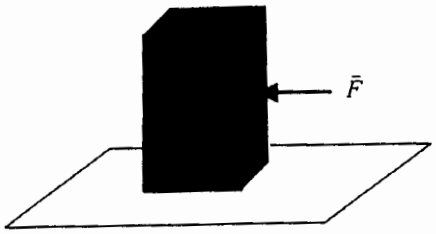
$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = Fl_1 + Fl_2 = F(l_1 + l_2)$$

เมื่อ l เป็นระยะทางตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง

โปรดสังเกตว่า ในการหาโมเมนต์รอบแกนหมุนอื่น เช่น A หรือ B ดังแสดงในภาพที่ ก.21 ผลรวมของโมเมนต์จะมีค่าเท่าเดิม คือ เท่ากับ Fl และหมุนตามเข็มนาฬิกา ถึงแม้ว่าจะพิจารณาหาผลรวมของโมเมนต์ของแรงรอบแกนหมุนใดๆ ก็ตามค่าที่ได้จะคงเดิม แหละหมุนตามเข็มนาฬิกาเช่นเดิม

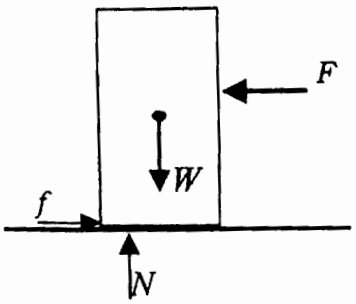
สรุปได้ว่า**โมเมนต์ของแรงคู่ควบใดๆ มีขนาดเท่ากับผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง** ซึ่งจะหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา ขึ้นอยู่กับทิศของแรงคู่ควบนี่เองเป็นแรงทำให้วัตถุไม่สมดุลต่อการหมุน

เนื่องจากแรงลัพธ์ของแรงคู่ควบจะเป็นศูนย์ เพราะแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แรงคู่ควบจึงจะไม่มีผลในการเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่เป็นอิสระ แต่จะมีผลเฉพาะทำให้เกิดการหมุนอย่างเดียว



ภาพที่ ก.23 แรงกระทำในการไสกล่อง

การไสกล่องหรือวัตถุไปบนพื้นราบด้วยแรงในแนวระดับ ดังภาพที่ ก.22 ซึ่งโดยปกติพื้นจะมีความฝืดหรือมีแรงเสียดทาน แผนภาพของแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ สะดวกที่จะแสดงในภาพสองมิติ คือไม่แสดงทางส่วนของความหนา เมื่อแรงกระทำที่ส่วนกลางของวัตถุ สมมุติให้กล่องเป็นวัตถุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ น้ำหนักจะเป็นแรงกระทำที่ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงที่กลางวัตถุ ขณะที่แรงกระทำยังน้อยกว่าแรงเสียดทานที่เป็นไปได้ นั่นคือ $F < \mu N$



ภาพที่ ก.24 แรงที่กระทำกับกล่อง

วัตถุจะไม่เคลื่อนที่ แผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นดังภาพที่ ก23 แรง f คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น และแรง N คือ แรงที่พื้นกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้น เมื่อวัตถุไม่เคลื่อนที่ แสดงว่าอยู่ในสภาพสมดุล แรง f ต้องเท่ากับ F แต่มีทิศตรงกันข้าม ซึ่งสองแรงนี้ประกอบเป็นแรงคู่ควบที่มีโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาขณะที่ แรง W และ N ขนาดเท่ากันและมีทิศตรงกันข้าม ประกอบเป็นแรงคู่ควบที่มีโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา โมเมนต์ของแรงคู่ควบทั้งสองจะต้องเท่ากัน วัตถุจึงไม่หมุนหรือล้มลง

หลักการของสมดุลยังทำให้ทราบว่า ตำแหน่งของ N ควรกระทำที่ใด เมื่อไม่มีแรง F กระทำ แนวของ N ควรอยู่ในแนวเดียวกับแนวของ W เมื่อ แรง F เพิ่มขึ้น แรงคู่มีโมเมนต์มากขึ้น ตำแหน่งของ N จะเลื่อยห่างออกจากแนวของ W เพิ่มขึ้น จนถึงขอบของกล่องก่อนที่จะเริ่มเอียงหรือล้มได้

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นสร้างความสนใจ

1. ครูทบทวนเนื้อหาคาบที่แล้วเรื่อง เงื่อนไขของสมดุล

- แรงทั้งสามไม่ขนานกัน กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล จะได้ว่า 1. แรงลัพธ์ของแรงทั้งสามต้องเป็นศูนย์ คือ $\Sigma \vec{F} = 0$ 2. แนวแรงทั้งสามต้องอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ 3. แนวแรงทั้งสามต้องพบกันที่จุดๆหนึ่งเท่านั้น

- แรงทั้งสามเป็นแรงขนาน กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล จะได้ว่า 1. แรงลัพธ์ของแรงทั้งสามต้องเป็นศูนย์ คือ $\Sigma \vec{F} = 0$ 2. แนวแรงทั้งสามต้องอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ 3. แนวแรงทั้งสามไม่จำเป็นต้องพบกันที่จุดๆเดียว

- ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้นักเรียนใช้ดินสอดันสันหนังสือที่ตำแหน่งต่างๆ บางตำแหน่งหนังสือจะหมุน บางตำแหน่งหนังสือจะเลื่อนที่ ตำแหน่งที่ออกแรงกระทำกับหนังสือแล้วทำให้หนังสือเลื่อนที่อย่างเดียวมีหลายแนวแรง แนวแรงเหล่านั้นจะผ่านจุดๆ หนึ่งซึ่งเสมือนเป็นที่รวมของมวลวัตถุทั้งก้อน เรียกว่า ศูนย์กลางมวล

(ครูอธิบายสาเหตุที่นักเรียนใช้ดินสอดันสันหนังสือที่ตำแหน่งต่างๆ ว่าบางตำแหน่งหนังสือจะหมุน บางตำแหน่งหนังสือจะเลื่อนที่ ตำแหน่งที่ทำให้หนังสือเลื่อนที่ แนวแรงจะผ่านจุดๆ หนึ่งที่เรียกว่าจุดศูนย์กลางมวล (จุดหมุน))

- ครูถามนักเรียนว่า ถ้าแนวแรงผ่านจุดหมุนจะเกิดการหมุนหรือไม่ (ไม่)

2. ครูบอกจุดประสงค์การเรียนในหัวข้อนี้ว่า

- นักเรียนจะต้องอธิบายให้ได้ว่า แนวแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลนั้น จะทำให้วัตถุมีการเลื่อนเพียงอย่างเดียวไม่มีการหมุน แต่ถ้าแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุไม่ผ่านศูนย์กลางมวล วัตถุจะมีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ และมีการหมุนเกิดขึ้นด้วย

- โมเมนต์ที่เกิดจากแรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากัน และมีทิศทางตรงข้ามกัน แต่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน เรียกว่า “แรงคู่ควบ”

5.2 ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม ตามโต๊ะที่นักเรียนนั่ง
2. ครูให้นักเรียนรับชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง
3. นักเรียนทำกิจกรรม โดยที่ครูคอยอธิบายและให้ความรู้ และคอยตอบเมื่อนักเรียนมีข้อซักถามสงสัย

5.3 ขั้นอภิปรายและลงข้อสรุป

ครูและนักเรียนร่วมกันหาข้อสรุปว่า

1. ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรงมีอะไรบ้าง (ทอร์ก, แรง, ระยะทาง)

2. เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลสถิต ผลรวมของโมเมนต์ของแรงต้องเป็นศูนย์ $\sum_{i=1}^{n} M_i = 0$ หรืออาจพูดได้ว่า ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

3. เมื่อมีแรงหลายแรงที่กระทำต่อวัตถุ ผลที่ได้คือ

- ถ้าสมดุลต่อการเลื่อนที่ จะได้ $\Sigma F_x = 0$

ผลรวมของแรงทางซ้าย = ผลรวมของแรงทางขวา

$\Sigma F_y = 0$

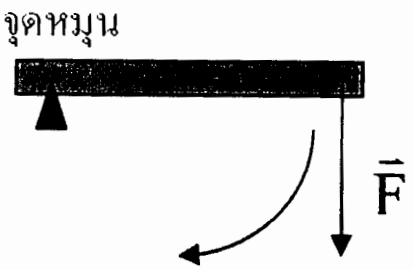
ผลรวมของแรงขึ้น = ผลรวมของแรงลง

- สมดุลต่อการหมุน จะได้

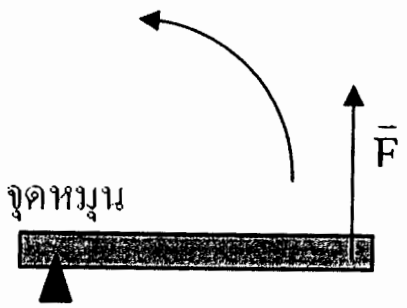
โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

4. โมเมนต์เป็นปริมาณอะไร (เวกเตอร์) และมีทิศอย่างไรบ้าง วาดรูปเพื่อย้ำความเข้าใจของนักเรียน

- ทิศตามเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา



- ทิศทวนเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



5. โมเมนต์ของแรงคู่ควบหาได้อย่างไร (โมเมนต์ของแรงคู่ควบใดๆ มีขนาดเท่ากับผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง)

5.4 ขั้นขยายความรู้

1. ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า *แรงคู่ควบนี่เองเป็นแรงทำให้วัตถุไม่สมดุลต่อการหมุน*

2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง ในชุดกิจกรรมที่ 2

5.5 ขั้นประเมินผล

1. ครูสังเกตความร่วมมือในการเรียน การตอบคำถาม การทำกิจกรรม การอภิปราย และแสดงความคิดเห็น

6. สื่อการเรียนการสอน/แหล่งการเรียนรู้

6.1 หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 2

6.2 ชุดกิจกรรม ที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง

6.3 ห้องสมุดและอินเทอร์เน็ต

6.4 แบบสังเกตพฤติกรรม

7. การวัดและประเมินผล

7.1 สิ่งที่วัด

7.1.1 ความรู้ความเข้าใจ

7.1.2 พฤติกรรมการเรียน

7.2 วิธีการวัด

7.2.1 สังเกตพฤติกรรม

7.3 เครื่องมือวัด

7.3.1 แบบสังเกตพฤติกรรม

7.3.2 ชุดกิจกรรม ที่ 1 เรื่องเงื่อนไขของสมดุล

7.4 เกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

7.4.1 เกณฑ์การประเมินแบบสังเกตพฤติกรรม

ถ้าได้คะแนนรวม 20 คะแนนขึ้นไป ถือว่าผ่าน

ถ้าได้คะแนนรวมต่ำกว่า 15 คะแนน ถือว่าไม่ผ่าน

8. บันทึกผลหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

9. ปัญหา/อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

10. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

(นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์)

ครูผู้สอน

แบบสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน

เรื่อง.....**ชั้น**.....

คำชี้แจง ให้เติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับพฤติกรรมการตอบคำถาม เพียงข้อละ 1 ช่อง

เกณฑ์การประเมิน

5 หมายถึง มากที่สุด

4 หมายถึง มาก

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง น้อย

1 หมายถึง น้อยที่สุด

1. การมีส่วนร่วมในชั้นเรียน

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม							
2.	นักเรียนมีความสนใจในกิจกรรม							
3.	นักเรียนร่วมแสดงความคิดเห็นและตอบคำถาม							

2. การตอบคำถามและการสรุปความหมาย

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง							
2.	นักเรียนสามารถให้เหตุผลในคำตอบได้							
3.	นักเรียนสามารถสรุปความจากเรื่องที่เรียนได้							

เกณฑ์การประเมิน

คะแนน	11-15	ดีมาก
คะแนน	8-10	ดี
คะแนน	5-7	พอใช้

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

..... / ..... / .....

สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง

สมดุลต่อการหมุน

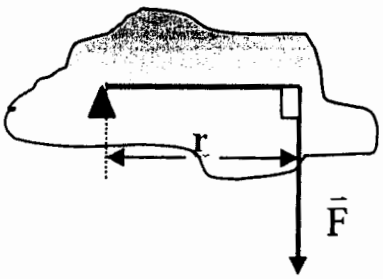
เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุและทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งเพียงอย่างเดียวแรงนั้นต้องผ่านจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) ซึ่งเสมือนเป็นที่รวมของมวลวัตถุทั้งก้อนและในกรณีที่มีวัตถุหลายๆก้อนมายึดติดกันเป็นรูปทรงต่าง ๆซึ่งเรียก ระบบ และในแต่ละระบบก็มีจุดศูนย์กลางมวลเช่นกันแต่ถ้ามีแรงกระทำต่อวัตถุหรือระบบไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลวัตถุจะเคลื่อนที่แบบหมุน

1. โมเมนต์ของแรง

เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุและแรงกระทำนั้นไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลจะทำให้วัตถุหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล แต่ถ้าวัตถุนั้นมีที่ยึดรอบแกนหมุนแกนหนึ่ง จุดหมุนก็ไม่จำเป็นต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล และการหมุนของวัตถุทำให้เกิดโมเมนต์ของแรง (Moment of a force) หรือเรียกย่อๆ ว่าโมเมนต์หรือทอร์ก (Torque)

โมเมนต์ = แรง x ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรง

$$M = F \cdot r$$

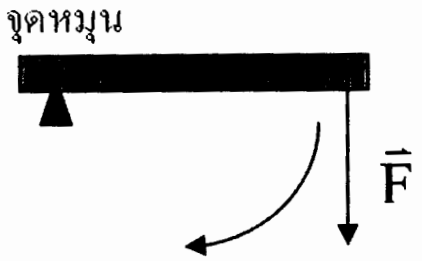


ภาพที่ ก.25 ทิศทางของโมเมนต์

โดยที่ r คือระยะห่างจากจุดหมุนไปยังแนวแรง หน่วยเป็น เมตร (m)
F คือแรงที่กระทำต่อวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน (N)
M คือโมเมนต์ของแรง หน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N.m)

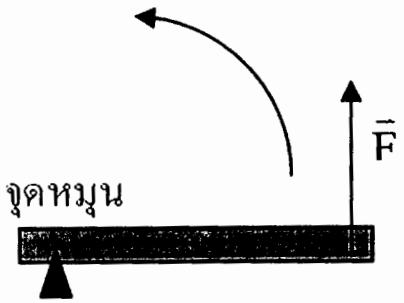
โมเมนต์เป็นปริมาณเวกเตอร์ โมเมนต์มีทิศการหมุน 2 ทิศ คือ

1. ทิศตามเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ ก.26 โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

2. ทิศทวนเข็มนาฬิกา เรียกว่าโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ ก.27 โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน โมเมนต์ของแรงกระทำจะเป็นไปตามเงื่อนไขคือ

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

ถ้าให้โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาเป็นโมเมนต์ที่มีเครื่องหมายบวก โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกามีเครื่องหมายลบ เราสรุปได้ว่า **วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน ผลรวมทางคณิตศาสตร์ของโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์**

จะได้ $$\sum_{i=1}^{n} M_i = 0$$

ข้อสังเกต

1. วัตถุที่สมดุลต่อการหมุน วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพนิ่งและไม่หมุน หรือหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่
2. วัตถุสมดุลต่อการหมุนและสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่งพร้อมๆกันเรียกว่าสมดุลที่สมบูรณ์

1. การคำนวณเมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุแล้ว วัตถุสมดุลผลที่ได้คือ

1. ถ้าสมดุลต่อการเลื่อนที่ จะได้ $\Sigma F_x = 0$

ผลรวมของแรงทางซ้าย = ผลรวมของแรงทางขวา

$$\Sigma F_y = 0$$

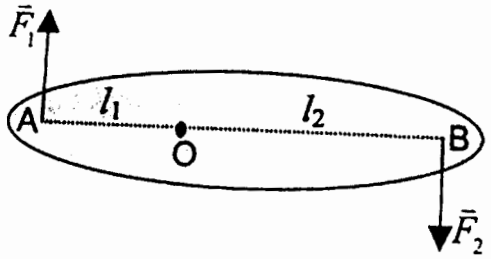
ผลรวมของแรงขึ้น = ผลรวมของแรงลง

2. สมดุลต่อการหมุน จะได้

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

2. โมเมนต์ของแรงคู่ควบ

แรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากัน แนวแรงขนานกัน แต่มีทิศตรงกันข้ามเรียกแรงคู่นี้ว่า แรงคู่ควบ (couple) ดังแรง $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ ที่กระทำกับวัตถุดังรูปที่



ภาพที่ ก.28 แรงคู่ควบ $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ กระทำกับวัตถุ AB โดยแนวแรงทั้งสองตั้งฉากกับ AB

พิจารณาจากภาพที่ 2.4 จะได้ว่าโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ รอบแกนหมุน O เป็นโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา และเนื่องจากขนาดของแรงคู่ควบเท่ากัน ดังนั้น ถ้าให้ F เป็นขนาดของแรงคู่ควบแต่ละแรง จะหาผลของโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ ได้เป็น

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = Fl_1 + Fl_2 = F(l_1 + l_2)$$

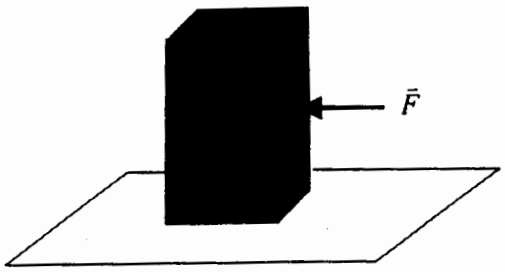
เมื่อ l เป็นระยะทางตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง

โปรดสังเกตว่า ในการหาโมเมนต์รอบแกนหมุนอื่น เช่น A หรือ B ดังแสดงในภาพที่ ก.27 ผลรวมของโมเมนต์จะมีค่าเท่าเดิม คือ เท่ากับ Fl และหมุนตามเข็มนาฬิกา ถึงแม้ว่าจะ

พิจารณาหาผลรวมของโมเมนต์ของแรงรอบแกนหมุนใดๆ ก็ตามค่าที่ได้จะคงเดิม แหละหมุนตามเข็มนาฬิกาเช่นเดิม

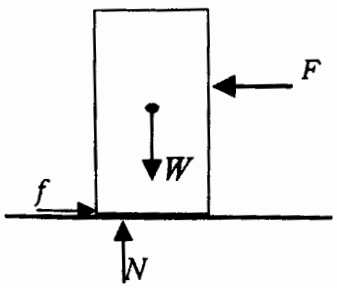
สรุปได้ว่า**โมเมนต์ของแรงคู่ควบใดๆ มีขนาดเท่ากับผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง** ซึ่งจะหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับทิศของแรงคู่ควบนี้เองเป็นแรงทำให้วัตถุไม่สมดุลต่อการหมุน

เนื่องจากแรงลัพธ์ของแรงคู่ควบจะเป็นศูนย์ เพราะแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แรงคู่ควบจึงจะไม่มีผลในการเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่เป็นอิสระ แต่จะมีผลเฉพาะทำให้เกิดการหมุนอย่างเดียว



ภาพที่ ก.29 แรงกระทำในการไสกล่อง

การไสกล่องหรือวัตถุไปบนพื้นราบด้วยแรงในแนวระดับ ดังภาพที่ ก. 28 ซึ่งโดยปกติพื้นจะมีความฝืดหรือมีแรงเสียดทาน แผนภาพของแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ สะดวกที่จะแสดงในภาพสองมิติ คือไม่แสดงทางส่วนของความหนา เมื่อแรงกระทำที่ส่วนกลางของวัตถุ สมมุติให้กล่องเป็นวัตถุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ น้ำหนักจะเป็นแรงกระทำที่ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงที่กลางวัตถุ ขณะที่แรงกระทำยังน้อยกว่าแรงเสียดทานที่เป็นไปได้ นั่นคือ $F < \mu N$



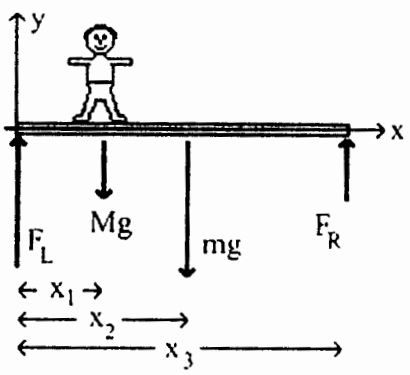
ภาพที่ ก. 30 แรงที่กระทำกับกล่อง

วัตถุจะไม่เคลื่อนที่ แผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นดังภาพที่ ก.29 แรง f คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น และแรง N คือ แรงที่พื้นกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้น เมื่อวัตถุไม่เคลื่อนที่

แสดงว่าอยู่ในสภาพสมดุล แรง f ต้องเท่ากับ F แต่มีทิศตรงกันข้าม ซึ่งสองแรงนี้ประกอบเป็นแรงคู่ควบที่มีโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาขณะที่ แรง W และ N ขนาดเท่ากันและมีทิศตรงกันข้ามประกอบเป็นแรงคู่ควบที่มีโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา โมเมนต์ของแรงคู่ควบทั้งสองจะต้องเท่ากัน วัตถุจึงไม่หมุนหรือล้มลง

หลักการของสมดุลยังทำให้ทราบว่า ตำแหน่งของ N ควรกระทำที่ใด เมื่อไม่มีแรง F กระทำ แนวของ N ควรอยู่ในแนวเดียวกับแนวของ W เมื่อ แรง F เพิ่มขึ้น แรงคู่มีโมเมนต์มากขึ้น ตำแหน่งของ N จะเลื่อยห่างออกจากแนวของ W เพิ่มขึ้น จนถึงขอบของกล่องก่อนที่จะเริ่มเอียงหรือล้มได้

ตัวอย่างที่ 1 ไม้กระดานยาว $4m$ มีมวล $20kg$ ที่ปลายทั้งสองด้านมีเสาค้ำอยู่ ชายคนหนึ่งมีมวล $70kg$ ยืนห่างจากปลายไม้กระดานทางซ้ายมือเป็นระยะ $1m$ ดังรูป จงหาแรงที่เสาแต่ละต้น



วิธีทำ การเลือกจุดหมุนให้เลือกจุดที่ไม่ทราบค่า จุดใดจุดหนึ่งให้เป็นจุดหมุน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณเนื่องจากจะทำให้ค่าทอร์คเป็นศูนย์

จากกฎการหมุน พิจารณาที่ไม้กระดาน เมื่อให้จุดที่มีแรง F_L ผ่านเป็นจุดหมุน และกำหนดให้ทอร์ค ทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก

$$\sum \vec{\tau}_0 = I\alpha$$

$$0F_L - x_1Mg - x_2mg + x_3F_R = 0$$

$$F_R = \frac{x_1Mg + x_2mg}{x_3}$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ

$$F_R = \frac{(1m)(70kg)(9.8m/s^2)+(2m)(20kg)(9.8m/s^2)}{4m}$$

$$= 270\ N$$

จากกฎข้อสองของนิวตัน

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F_L + F_R - Mg - mg = 0$$

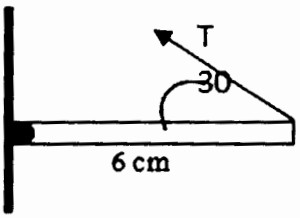
$$F_L = Mg + mg - F_R$$

$$F_L = (70kg)(9.8m/s^2) + (20kg)(9.8m/s^2) - 270N$$

$$= 612\ N$$

ตัวอย่างที่ 2 จากรูป จงหาขนาดของโมเมนต์ของแรง T เมื่อ T = 20 N

วิธีทำ

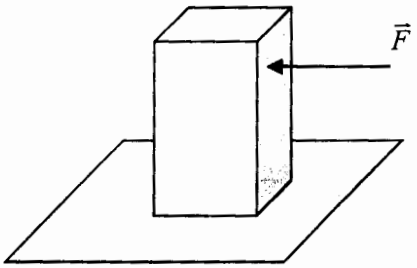


M = F. r

M = (20)(6x10^{-2})sin30

M = 1.2(0.5) Nm

ตัวอย่างที่ 3กล่องความหนาแน่นสม่ำเสมอดังรูป สูง 1.00 เมตร กว้าง 0.50 เมตร มีน้ำหนัก 2,000 นิวตัน วางอยู่บนพื้นระดับซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างผิวสัมผัสเป็น 0.4 แรง $\vec{F}$ ในแนวระดับที่ตำแหน่งสูง h จากพื้น ก. แรง $\vec{F}$ กระทำต่อวัตถุในแนวระดับมีค่าเท่าใด วัตถุจึงจะเริ่มเคลื่อนที่พอดี



ข. ระยะสูงสุดที่ แรง $\vec{F}$ กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่าใด วัตถุจึงจะไม่ล้มก่อนไถล

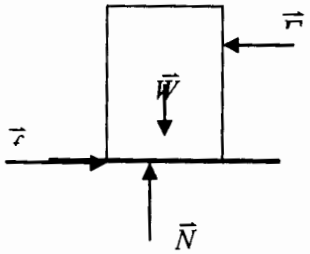
วิธีทำ ก. จากรูป

เนื่องจากวัตถุอยู่ในสมดุล

ดังนั้น $W = N$ และ $F = f$

f มีค่ามากที่สุดได้เท่ากับความเสียดทานสถิต

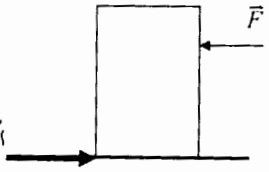
$f_s = \mu_s N = 0.4 \times 2.0 \times 10^3$ N = 800 N



ดังนั้นแรงสูงสุดที่จะทำให้ไถลได้ F = 800 N

ตอบ แรงที่ทำให้วัตถุเริ่มจะเคลื่อนที่พอดีมีค่าเท่ากับ 800 นิวตัน

ข. ถ้า h เป็นระยะสูงสุดที่ แรง $\vec{F}$ กระทำต่อวัตถุแล้ววั



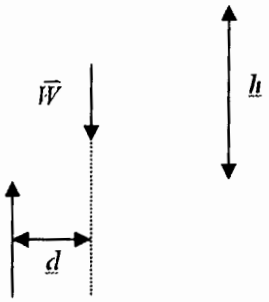
เนื่องจากวัตถุยังคงอยู่ในสมดุลก่อนไถลหรือล้ม ดังนั้น

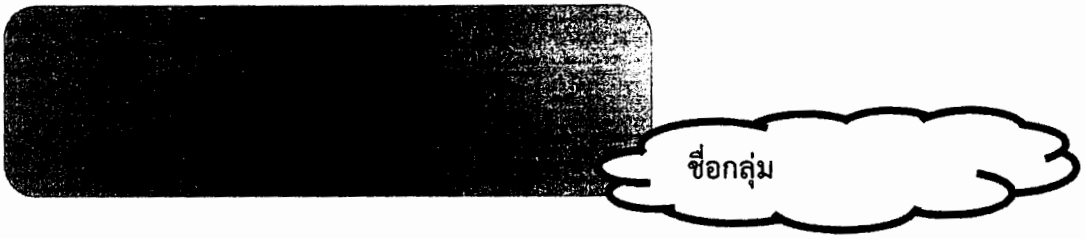
โมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\vec{N}$, $\vec{W}$ = โมเมนต์ของแรงคู่ควบ $\vec{F}$, $\vec{f}_s$

$$W \times d = F \times h$$

$$200\ (\text{N}) \times \frac{0.50}{2}\ (\text{m}) = 800\ (\text{N}) \times h$$

$$h = 0.625\ \text{m}$$





1. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
2. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
3. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
4. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
5. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับสมดุลต่อการหมุน
2. ทดลอง อธิบายความหมายและหาค่าโมเมนต์ของแรงได้
3. สรุปได้ว่าเมื่อคานอยู่ในภาวะสมดุลผลรวมโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา มีค่าเท่ากับผลรวมโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา
4. คำนวณค่าโมเมนต์ได้

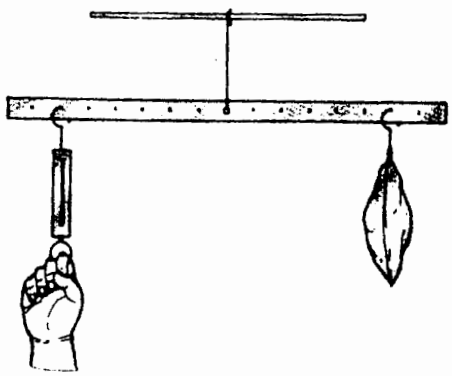
อุปกรณ์

1.	เครื่องชั่งสปริง	1 อัน
2.	ถุงทราย	1 ถุง
3.	ดินน้ำมัน	1 ก้อน
4.	ไม้เมตร	1 อัน

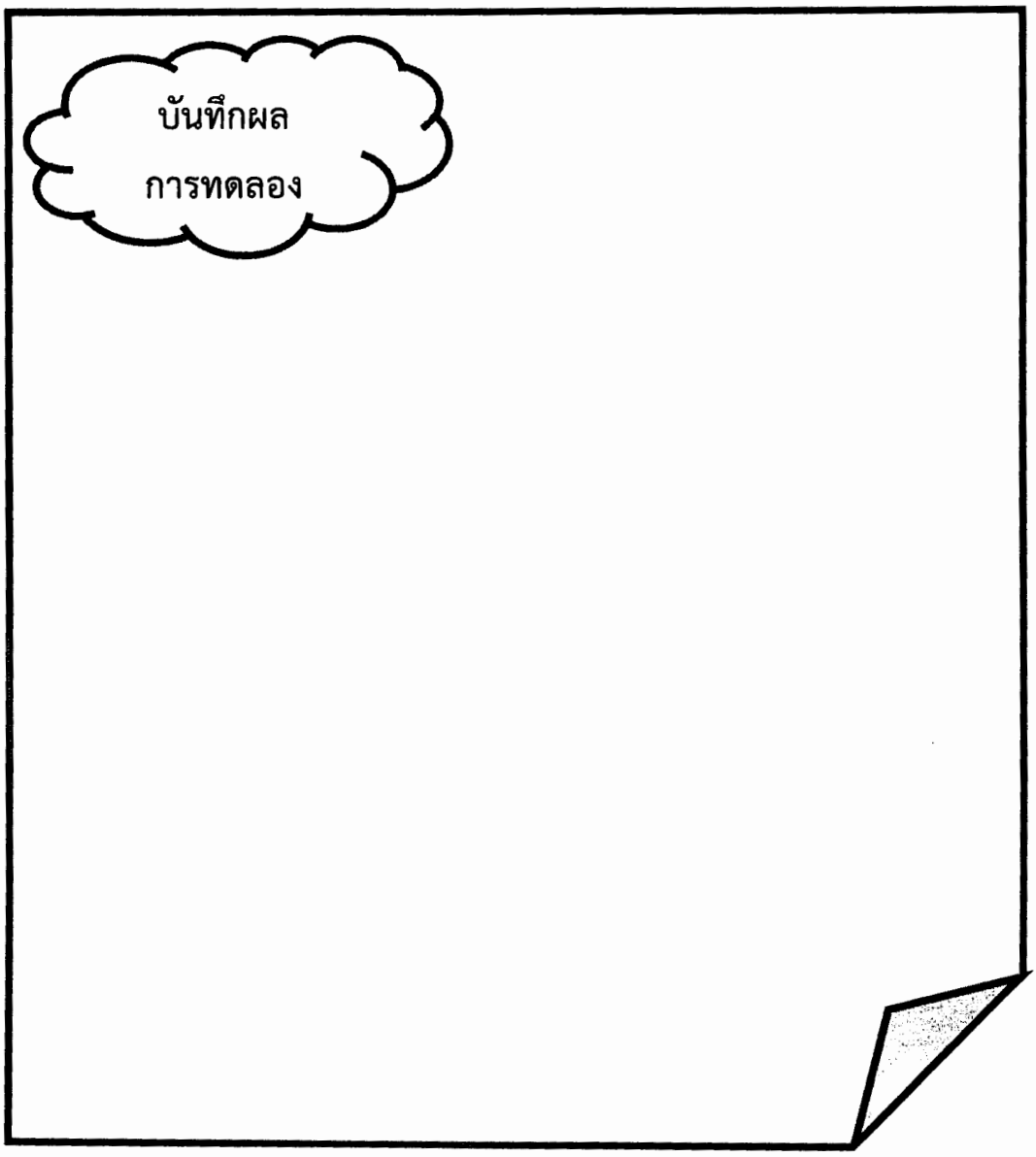
วิธีทดลอง

1. ใช้เชือกร้อยที่รูตรงจุดกึ่งกลางไม้เมตร แล้วนำไปแขวนไว้กับที่ยึด ถ้าไม้เมตรไม่อยู่ในแนวระดับให้เอาดินน้ำมันปะติดกับไม้เมตรด้านที่เอียงขึ้น จนไม้เมตรอยู่ในแนวระดับ
2. ชั่งน้ำหนักของถุงทราย 1 ถุง ด้วยเครื่องชั่งสปริงบันทึกผล
3. แขวนถุงทราย 1 ถุง ที่ตำแหน่งหนึ่งของคาน ใช้เครื่องชั่งสปริงคล้องที่คานด้านตรงข้ามแล้วออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงให้คานอยู่ในแนวระดับ (ดังภาพ) บันทึก ค่าแรงดึง ระยะระหว่างจุดแขวนคานถึงจุดที่เครื่องชั่งสปริงดึงคาน และระหว่างจุดแขวนคานถึงจุดแขวนถุงทราย
4. ทำซ้ำข้อ 3. โดยเปลี่ยนตำแหน่งที่คล้องเครื่องชั่งสปริงและตำแหน่งที่แขวนถุงทรายไป 2-3 ตำแหน่ง

บันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ ก.31 ตัวอย่างการแขวนไม้เมตรและถุงทรายให้อยู่ตามแนวระดับ



สรุป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

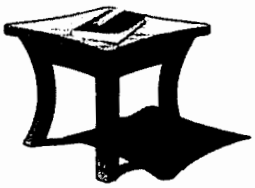
.....

.....

สถานการณ์ปัญหาที่ 2

สถานการณ์ที่กำหนด

ต้องการสร้างโต๊ะ ที่สามารถรองรับน้ำหนักของหนังสือให้ได้มากที่สุด โดยในที่นี้จะใช้กระดาษหนังสือพิมพ์จำนวน 4 คู่เป็นวัสดุที่ใช้สร้างขาโต๊ะ แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดขนาด 20x20 cm. แทนหน้าโต๊ะสำหรับรองรับหนังสือ คลิปหนีบกระดาษ 8 ตัว และกระดาษกาวยาว 60 cm. นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรในการสร้างโต๊ะ ที่สามารถรองรับน้ำหนักของหนังสือได้มากที่สุด



ข้อจำกัด

- โต๊ะจะต้องรองรับน้ำหนักของหนังสือที่วางอยู่ด้านบนของโต๊ะได้อย่างอิสระ
- โต๊ะจะมีกี่ขาก็ได้ แต่จะต้องประกอบด้วยขาโต๊ะอย่างน้อย 1 ขา
- ความสูงของโต๊ะไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร
- เมื่อวางหนังสือลงบนโต๊ะจะต้องสามารถรับน้ำหนักได้อยู่ได้อย่างน้อย 2 นาที โดยไม่พัง
- กำหนดเวลาในการทำกิจกรรม 20 นาที

➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เงื่อนไข (Constraints) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เป้าหมายความต้องการ (Criteria) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<u>แผนผัง concept</u>

➢ หลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

จากสถานการณ์ดังกล่าว นักเรียนมีวิธีการในการสร้างโต๊ะที่มีความแข็งแรงได้อย่างไร ให้ออกแบบ และเขียนแรงที่กระทำ สร้าง ทดสอบ และแก้ไขปรับปรุงให้ได้โต๊ะกระดาษที่ทรงพลังที่สุด โดยวาดภาพและบันทึกผลลงตารางดังต่อไปนี้

ทดลองครั้งที่	ภาพวาดการออกแบบ	จำนวนหนังสือที่วางได้ (เล่ม)	ปัญหาที่พบ	การปรับปรุงแก้ไข

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชา ว 31212 ฟิสิกส์ 8 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
หน่วยที่ 4 สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น
เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ เวลา 2.0 ชั่วโมง
วันที่ มกราคม 2559 ครูผู้สอน นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์

---

1. มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัด

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด ว 8.1 ม.4-6/1 ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้

2. สาระสำคัญ

ศูนย์กลางมวล (center of mass) เป็นตำแหน่งที่เปรียบเสมือนเป็นจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน สำหรับวัตถุแข็งเกร็งก้อนหนึ่ง จะมีศูนย์กลางมวลเพียงจุดเดียว ซึ่งอาจอยู่ภายในหรือภายนอกเนื้อวัตถุก็ได้ ในกรณีที่มีแรงกระทำต่อวัตถุ ถ้าแรงลัพธ์อยู่ในแนวผ่านศูนย์กลางมวลวัตถุจะเคลื่อนที่โดยไม่หมุน

ศูนย์ถ่วง (center of gravity) เป็นตำแหน่งที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุ โดยทั่วไปศูนย์ถ่วงและศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน

สมดุลเสถียร (stable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับที่สูงขึ้น พลังงานศักย์ของวัตถุมากขึ้น เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุสามารถกลับมาอยู่ในลักษณะเดิม

สมดุลสะเทิน (neutral equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุจะกลิ้งไป โดยศูนย์กลางมวลอยู่ในระดับความสูงเท่าเดิม พลังงานศักย์ของวัตถุคงเดิม วัตถุจะเปลี่ยนตำแหน่งไปโดยวางตัวในลักษณะเดิม

สมดุลไม่เสถียร (unstable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับต่ำกว่าเดิมพลังงานศักย์ของวัตถุจะลดลง วัตถุจะล้ม และไม่สามารถกลับมาวางตัวในลักษณะเดิม

หลักของสมดุลจะนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องของเครื่องกล เช่น คาน รอก ล้อกับเพลา ซึ่งเครื่องกลเหล่านี้จะช่วยผ่อนแรง หรือช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ความรู้ (K)

3.1 นักเรียนสามารถอธิบายความหมายและวิธีหาตำแหน่งของศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุได้

3.2 นักเรียนสามารถอธิบายความหมายของสมดุลเสถียร สมดุลไม่เสถียร และสมดุลสะเทินได้

กระบวนการ (P)

3.3 ทักษะในการอ่าน

คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

3.4 นักเรียนมีความสนใจใฝ่รู้

3.5 นักเรียนมีความรับผิดชอบ ความมุ่งมั่นต่องานที่ได้รับมอบหมาย

4. สาระการเรียนรู้

นอกจากความหมายของคำว่ามวล ยังมีคำว่า จุดศูนย์กลางมวล (center of mass, c.m.) อีกคำหนึ่งที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เพราะว่าการเคลื่อนที่ที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่ผ่านมา คิดเสมือนว่าวัตถุเป็นจุด (point) และมวลของวัตถุรวมที่จุดนี้ ในความเป็นจริงวัตถุมีขนาดไม่ได้เป็นจุด การออกแรงกระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุมีการเลื่อนตำแหน่งโดยไม่หมุน แรงต้องกระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งเปรียบเสมือนจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน สำหรับวัตถุแข็งเกร็งตำแหน่งของจุดนี้จะอยู่ประจำที่ ถ้าวัตถุที่เป็นจุดมวลสองจุดมีมวลเท่ากัน อยู่แยกกัน จุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ใกล้ค่ามวลที่มากกว่า สำหรับมวล m_1 และ m_2 อยู่บนแกน x อาจหา ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล ได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$Mx_{c.m.} = m_1x_1 + m_2x_2$$

หรือ $$x_{c.m.} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{M}$$ เมื่อ M แทนมวลรวม $(m_1 + m_2)$

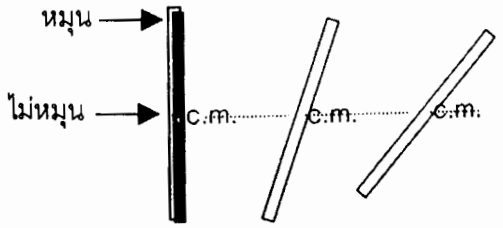
หากมีจุดมวลหลายจุดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ ในสามมิติ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลหาได้

$$M\vec{R}_{c.m.} = m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \ldots = \sum_i m_i\vec{r}_i$$

เมื่อ M เป็นมวลทั้งหมด $M = \sum_i m_i$ และสมการ (3.16) สามารถคิดแยกเป็นองค์ประกอบได้

ในกรณีที่วัตถุเป็นแท่งหรือเป็นแผ่นที่มีความหนาแน่นมวลสม่ำเสมอ จุดศูนย์กลางมวลอาจจะหาได้จากความสมมาตรของรูปร่าง หรือจากวิธีแคลคูลัส

แรงที่มีแนวกระทำผ่านหรือไม่ผ่านจุดศูนย์กลางของมวล จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่มีหรือมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล ความจริงนี้อาจแสดงได้โดยการดีดหรือออกแรงกระทำต่อแท่งดินสอบนพื้นราบ ดังภาพที่ 15 แรงกระทำที่ไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล จะทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงรอบจุดศูนย์กลางมวล มีผลทำให้วัตถุหมุน



ภาพที่ ก.32 จุดกระทำของแรงที่ทำให้มีการหมุนและไม่หมุนรอบ c.m

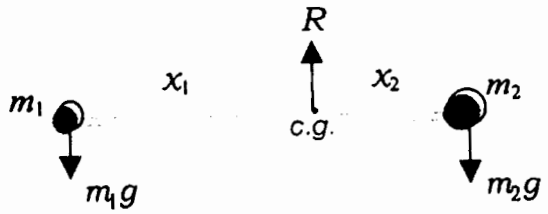
สำหรับความหมายของ จุดศูนย์กลางของความโน้มถ่วง (center of gravity, c.g.)หรือที่นิยมเรียกสั้นๆว่า จุดศูนย์ถ่วง นั้น จะเป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกต่อส่วนต่างๆ ของวัตถุกระทำ ซึ่งในสถานการณ์ธรรมดาที่สนามโน้มถ่วงมีค่าสม่ำเสมอทั่วปริมาตรของวัตถุ จุดศูนย์กลางมวลกับศูนย์ถ่วงจะเป็นจุดเดียวกัน ในกรณีที่วัตถุมีขนาดใหญ่จนแต่ละส่วนของวัตถุนั้นอยู่ในสนามความโน้มถ่วงที่มีค่าต่างกัน เป็นไปได้ที่จุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละตำแหน่งกัน

สมมุติว่ามีมวล m_1 และ m_2 ยึดกันไว้ด้วยแท่งวัตถุที่เบามากดังรูป อยู่ในสนามโน้มถ่วงที่สม่ำเสมอ มีค่า g วิธีหนึ่งที่เราอาจจะหาตำแหน่งที่แรงลัพธ์ของแรงขนานซึ่งเป็นน้ำหนักของวัตถุทั้งสอง คือหาว่าตำแหน่งใดที่มีแรงๆ เดียว (R) กระทำแล้วจะทำให้วัตถุทั้งระบบอยู่ในสมดุลได้ซึ่งจะเรียนบทเกี่ยวกับสมดุลต่อไปว่า ต้องมีทั้งแรงลัพธ์เป็นศูนย์และโมเมนต์ของแรงรอบจุดใดๆ เป็นศูนย์จากรูป 3.12 จะเห็นว่า เมื่อโมเมนต์ของแรงรอบจุดศูนย์ถ่วง (c.g.) เท่ากับศูนย์โดยได้ว่า

$$m_1 g x_1 = m_2 g x_2$$

ซึ่งจะพบว่าเป็นเงื่อนไขเดียวกับที่จุดนั้นเป็นจุดศูนย์กลางมวล คือ

$$m_1 x_1 = m_2 x_2$$

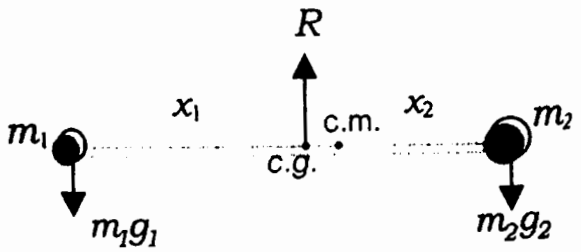


ภาพที่ ก.33 ตำแหน่งของ c.g.

เมื่อ x_1 และ x_2 เป็นระยะจาก c.m.

ในกรณีที่ระบบมวลทั้งสองนั้นอยู่ในสนามที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น m_1 อยู่ในสนาม g_1 และ m_2 อยู่ในสนามที่มีค่า g_2 ค่า g_1 มากกว่า g_2 และจุด c.g. จะอยู่ ณ จุดที่ทำให้สมการต่อไปนี้เป็นจริง

$$m_1 g_1 x_1 = m_2 g_2 x_2$$



ภาพที่ ก.34 ตำแหน่งของ c.g. และ c.m.

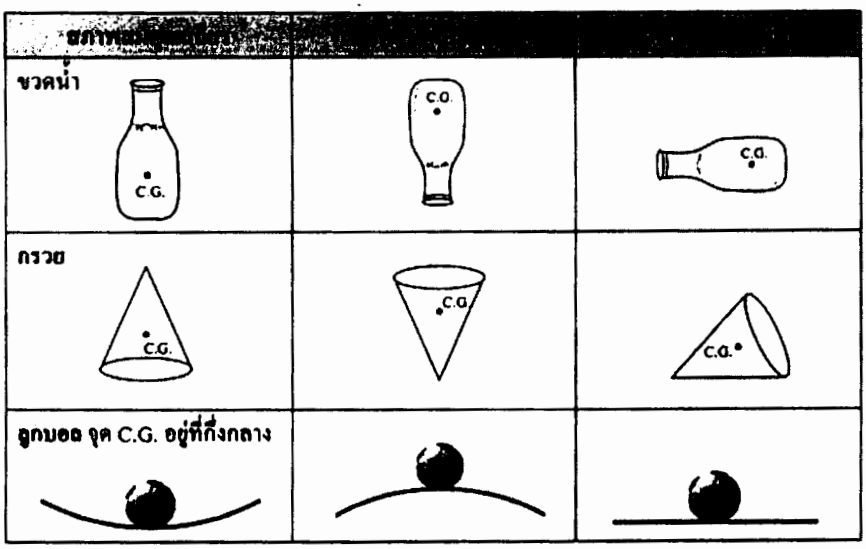
ดังนั้น c.g. จะเลื่อนมาทางมวล m_1 ในขณะที่ c.m. ของระบบมวลอยู่ที่เดิม c.g. จึงอยู่คนละตำแหน่งกับ c.m. กรณีเช่นนี้อาจเกิดขึ้น เช่น ดาวเทียมห้อยวัตถุมีมวลด้วยสายที่ยาวมาก ทำให้วัตถุอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าสนามโน้มถ่วงสูงกว่า และเป็นผลให้ระบบมี c.g. อยู่ต่ำกว่า c.m.

เสถียรภาพของสมดุล

เสถียรภาพของวัตถุ คือ ความสามารถในการทรงตัวอยู่ได้ของวัตถุนั้น ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะสมดุลของวัตถุ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. สมดุลเสถียร (stable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับที่สูงขึ้น พลังงานศักย์ของวัตถุมากขึ้น เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุสามารถกลับมาอยู่ในลักษณะเดิม

2. สมดุลสะเทิน (neutral equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้ว วัตถุจะกลิ้งไป โดยศูนย์กลางมวลอยู่ในระดับความสูงเท่าเดิม พลังงานศักย์ของวัตถุคงเดิม วัตถุจะเปลี่ยนตำแหน่งไปโดยวางตัวในลักษณะเดิม
3. สมดุลไม่เสถียร (unstable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับต่ำกว่าเดิมพลังงานศักย์ของวัตถุจะลดลง วัตถุจะล้ม และไม่สามารถกลับมาวางตัวในลักษณะเดิม



การพิจารณาประเภทของสมดุลของวัตถุอาจพิจารณาจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่เปลี่ยนไป เมื่อถูกแรงกระทำ

1. สมดุลแบบเสถียรภาพ **จุดศูนย์กลางมวลสูงขึ้น**
2. สมดุลแบบไม่เสถียร **จุดศูนย์กลางมวลต่ำลง**
3. สมดุลแบบสะเทิน **จุดศูนย์กลางมวลเท่าเดิม**

การนำหลักสมดุลไปประยุกต์

หลักการสมดุลมีใช้มากมายในชีวิตประจำวัน ในที่นี้จะกล่าวถึงการนำหลักการสมดุลไปใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย เช่น คาน คีมตัดลวด ไขควง ล้อและเพลา และกว้าน เป็นต้น เครื่องกลอย่างง่ายเหล่านี้สามารถผ่านแรงที่กระทำได้อย่างไร สามารถเข้าใจได้จากการหาขนาดของแรงที่กระทำ ณ จุดต่างๆ ตามหลักการของสมดุลในทุกกรณี

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นสร้างความสนใจ

1. ครูทบทวนเนื้อหาคาบที่แล้วเรื่อง สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรงคู่ควบ

- โมเมนต์ของแรงคู่ควบหาได้อย่างไร (โมเมนต์ของแรงคู่ควบใดๆ มีขนาดเท่ากับผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง)

- โมเมนต์ของแรงคู่ควบมีหน่วยว่าอย่างไร (นิวตันเมตร)

2. ครูบอกจุดประสงค์การเรียนในหัวข้อนี้ว่า นักเรียนจะต้องอธิบายให้ได้ว่า ศูนย์กลางมวล (center of mass) เป็นตำแหน่งที่เปรียบเสมือนเป็นจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน สำหรับวัตถุแข็งเกร็งก้อนหนึ่ง จะมีศูนย์กลางมวลเพียงจุดเดียว ซึ่งอาจอยู่ภายในหรือภายนอกเนื้อวัตถุก็ได้ ในกรณีที่มีแรงกระทำต่อวัตถุ ถ้าแรงลัพธ์อยู่ในแนวผ่านศูนย์กลางมวลวัตถุจะเคลื่อนที่โดยไม่หมุน ศูนย์ถ่วง (center of gravity) เป็นตำแหน่งที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุ โดยทั่วไปศูนย์ถ่วงและศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และ**เสถียรภาพของวัตถุ** คือ ความสามารถในการทรงตัวอยู่ได้ของวัตถุนั้น ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะสมดุลของวัตถุ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

3. ครูสาธิตโดยการออกแรงผลักปากกาที่วางอยู่บนโต๊ะ ปรากฏว่าปากกาจะเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ กล่าวคือ ไม่หมุน จากนั้นครูถามนักเรียนว่าเหตุใดปากกาจึงไม่หมุน (แรงที่ออกผ่านจุดศูนย์กลางมวล จึงทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่เพียงอย่างเดียว)

4. ครูสาธิตอีกครั้งโดยการออกแรงผลักปากกาตำแหน่งปลายปากกา ปรากฏว่าปากกาจะเคลื่อนที่แบบหมุน จากนั้นครูถามนักเรียนว่าเหตุใดปากกาจึงหมุน (แรงที่ออกไม่ผ่านจุดหมุน จึงทำให้เกิดทอร์กที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน)

5.2 ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม ตามโต๊ะที่นักเรียนนั่ง

2. ครูให้นักเรียนรับชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรง

3. นักเรียนทำกิจกรรม โดยที่ครูคอยอธิบายและให้ความรู้ และคอยตอบเมื่อนักเรียนมีข้อซักถามสงสัย

5.3 ขั้นอภิปรายและลงข้อสรุป

ครูและนักเรียนร่วมกันหาข้อสรุปจากชุดกิจกรรมว่า

- จุดศูนย์กลางมวล คือ จุดที่เสมือนเป็นที่รวมของมวลทั้งก้อน ซึ่งจุดนี้อาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้ หน่วยของจุดศูนย์กลางมวลคืออะไร (เมตร)

- จุดศูนย์ถ่วง คือ จุดที่เสมือนเป็นที่รวมน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน ซึ่งจุดนี้อาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้

- สมดุลเสถียร (stable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับที่สูงขึ้น พลังงานศักย์ของวัตถุมากขึ้น เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุสามารถกลับมาอยู่ในลักษณะเดิม

- สมดุลสะเทิน (neutral equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุจะกลิ้งไป โดยศูนย์กลางมวลอยู่ในระดับความสูงเท่าเดิม พลังงานศักย์ของวัตถุคงเดิม วัตถุจะเปลี่ยนตำแหน่งไปโดยวางตัวในลักษณะเดิม

- สมดุลไม่เสถียร (unstable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับต่ำกว่าเดิมพลังงานศักย์ของวัตถุจะลดลง วัตถุจะล้ม และไม่สามารถกลับมาวางตัวในลักษณะเดิม

- หลักของสมดุลจะนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องของเครื่องกล เช่น คาน รอก ล้อกับเพลา ซึ่งเครื่องกลเหล่านี้จะช่วยผ่อนแรง หรือช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน

5.4 ขั้นขยายความรู้

1. ครูยกตัวอย่างการแก้ปัญหาโจทย์จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ แสดงวิธีทำบนกระดาน

2. ครูอภิปราย สถานการณ์จากชุดกิจกรรม ที่ 3

5.5 ขั้นประเมินผล

1. ครูสังเกตความร่วมมือในการเรียน การตอบคำถาม การอภิปราย และ แสดงความคิดเห็น

5. สื่อการเรียนการสอน/แหล่งการเรียนรู้

5.1 หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 2

5.2 ชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ

5.3 ห้องสมุดและอินเทอร์เน็ต

5.4 แบบสังเกตพฤติกรรม

6. การวัดและประเมินผล

6.1 สิ่งที่วัด

1. ความรู้ความเข้าใจ

2. พฤติกรรมการเรียน

6.2 วิธีการวัด

1. สังเกตพฤติกรรม

6.3 เครื่องมือวัด

1. แบบสังเกตพฤติกรรม
2. ชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่อง จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของ

6.4 เกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1. เกณฑ์การประเมินแบบสังเกตพฤติกรรม
   - ถ้าได้คะแนนรวม 20 คะแนนขึ้นไป ถือว่าผ่าน
   - ถ้าได้คะแนนรวมต่ำกว่า 15 คะแนน ถือว่าไม่ผ่าน

7. บันทึกผลหลังการสอน

.....

.....

.....

.....

8. ปัญหา/อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

9. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

(นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์)

ครูผู้สอน

แบบสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน

เรื่อง.....**ชั้น**.....

คำชี้แจง ให้เติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับพฤติกรรมการตอบคำถาม เพียงข้อละ 1 ช่อง

เกณฑ์การประเมิน

5 หมายถึง มากที่สุด

4 หมายถึง มาก

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง น้อย

1 หมายถึง น้อยที่สุด

1. การมีส่วนร่วมในชั้นเรียน

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม							
2.	นักเรียนมีความสนใจในกิจกรรม							
3.	นักเรียนร่วมแสดงความคิดเห็นและตอบคำถาม							

2. การตอบคำถามและการสรุปความหมาย

ข้อ	สิ่งที่สังเกต	ระดับพฤติกรรม					รวม	ผลการประเมิน
		5	4	3	2	1		
1.	นักเรียนสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง							
2.	นักเรียนสามารถให้เหตุผลในคำตอบได้							
3.	นักเรียนสามารถสรุปความจากเรื่องที่เรียนได้							

เกณฑ์การประเมิน

คะแนน	11-15	ดีมาก
คะแนน	8-10	ดี
คะแนน	5-7	พอใช้

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

..... / ..... / .....

จุดศูนย์กลางมวลและสมดุลของวัตถุ

1. จุดศูนย์กลางของมวล (Center of mass) " C.M."

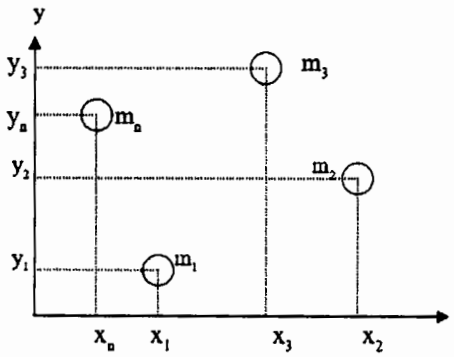
นอกจากความหมายของคำว่ามวล ยังมีคำว่า จุดศูนย์กลางมวล (center of mass, c.m.) อีกคำหนึ่งที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เพราะว่าการเคลื่อนที่ที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่ผ่านมา คิดเสมือนว่าวัตถุเป็นจุด (point) และมวลของวัตถุรวมที่จุดนี้ ในความเป็นจริงวัตถุมีขนาดไม่ได้เป็นจุด การออกแรงกระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุมีการเลื่อนตำแหน่งโดยไม่หมุน แรงต้องกระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งเปรียบเสมือนจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน สำหรับวัตถุแข็งเกร็งตำแหน่งของจุดนี้จะอยู่ประจำที่ ถ้าวัตถุที่เป็นจุดมวลสองจุดมีมวลเท่ากัน อยู่แยกกัน จุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ใกล้ค่ามวลที่มากกว่า สำหรับมวล m_1 และ m_2 อยู่บนแกน x อาจหา ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล ได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$Mx_{c.m.} = m_1x_1 + m_2x_2$$

หรือ $x_{c.m.} = \dfrac{m_1x_1 + m_2x_2}{M}$ เมื่อ M แทนมวลรวม $(m_1 + m_2)$

การหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลที่ระบบประกอบด้วยมวลย่อยๆ หลายๆมวล

ในระบบซึ่งประกอบด้วยมวลย่อยๆหลายๆมวล เช่น m_1, m_2, m_3 , ...,m_n มีจุดศูนย์กลางมวลแต่ละมวลอยู่ที่ (x_1,y_1) , (x_2,y_2) , (x_3,y_3) , ...,(x_n,y_n) ตามลำดับ



ภาพที่ ก.35 ตำแหน่งระบบพิกัดฉากของมวลย่อย m_1, m_2, m_3 , ...,m_n

จากรูป ในการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง (x_{cm} , y_{cm}) สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

$$y_{cm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + m_4 y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

เมื่อ x_{cm} เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลตามแกน x

y_{cm} เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลตามแกน y

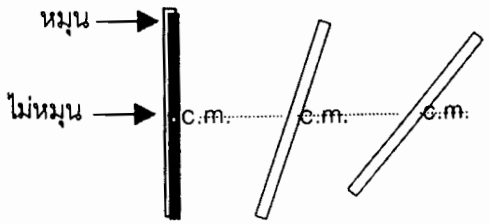
หากมีจุดมวลหลายจุดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ ในสามมิติ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลหาได้

$$M\dot{R}_{c.m.} = m_1\dot{r}_1 + m_2\dot{r}_2 + \ldots = \sum\nolimits_i m_i\dot{r}_i$$

เมื่อ M เป็นมวลทั้งหมด $M = \sum\nolimits_i m_i$ และสมการ สามารถคิดแยกเป็นองค์ประกอบได้

ในกรณีที่วัตถุเป็นแท่งหรือเป็นแผ่นที่มีความหนาแน่นมวลสม่ำเสมอ จุดศูนย์กลางมวลอาจจะหาได้จากความสมมาตรของรูปร่าง หรือจากวิธีแคลคูลัส

แรงที่มีแนวกระทำผ่านหรือไม่ผ่านจุดศูนย์กลางของมวล จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่มีหรือมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล ความจริงนี้อาจแสดงได้โดยการดีดหรือออกแรงกระทำต่อแท่งดินสอบนพื้นราบ ดังภาพที่ ก.34 แรงกระทำที่ไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล จะทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงรอบจุดศูนย์กลางมวล มีผลทำให้วัตถุหมุน



ภาพที่ ก.36 จุดกระทำของแรงที่ทำให้มีการหมุนและไม่หมุนรอบ c.m

2. จุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity) "C.G."

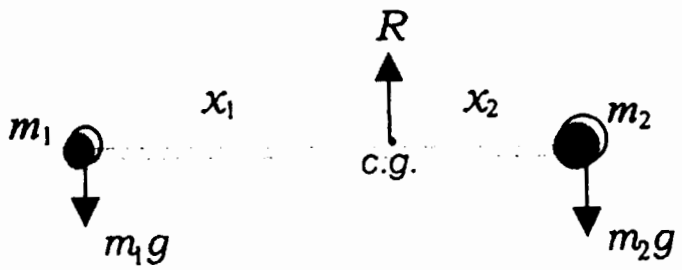
สำหรับความหมายของ จุดศูนย์กลางของความโน้มถ่วง (center of gravity, c.g.)หรือที่นิยมเรียกสั้นๆ ว่า จุดศูนย์ถ่วง นั้น จะเป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกต่อส่วนต่างๆ ของวัตถุกระทำ ซึ่งในสถานการณ์ธรรมดาที่สนามโน้มถ่วงมีค่าสม่ำเสมอทั่วปริมาตรของวัตถุ จุดศูนย์กลางมวลกับศูนย์ถ่วงจะเป็นจุดเดียวกัน ในกรณีที่วัตถุมีขนาดใหญ่จนแต่ละส่วนของวัตถุนั้นอยู่ในสนามความโน้มถ่วงที่มีค่าต่างกัน เป็นไปได้ที่จุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละตำแหน่งกัน

สมมุติว่ามีมวล m_1 และ m_2 ยึดกันไว้ด้วยแท่งวัตถุที่เบามากดังรูป อยู่ในสนามโน้มถ่วงที่สม่ำเสมอ มีค่า g วิธีหนึ่งที่เราอาจจะหาตำแหน่งที่แรงลัพธ์ของแรงขนานซึ่งเป็นน้ำหนักของวัตถุทั้งสอง คือหาว่าตำแหน่งใดที่มีแรงๆ เดียว (R) กระทำแล้วจะทำให้วัตถุทั้งระบบอยู่ในสมดุลได้ซึ่งจะเรียนบทเกี่ยวกับสมดุลต่อไปว่า ต้องมีทั้งแรงลัพธ์เป็นศูนย์และโมเมนต์ของแรงรอบจุดใดๆ เป็นศูนย์จากภาพที่ 3.3 จะเห็นว่า เมื่อโมเมนต์ของแรงรอบจุดศูนย์ถ่วง (c.g.)เท่ากับศูนย์โดยได้ว่า

$$m_1 g x_1 - m_2 g x_2$$

ซึ่งจะพบว่าเป็นเงื่อนไขเดียวกับที่จุดนั้นเป็นจุดศูนย์กลางมวล คือ

$$m_1 x_1 - m_2 x_2$$

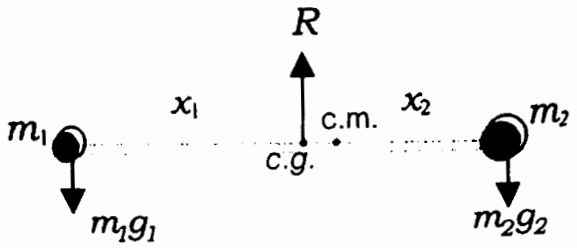


ภาพที่ ก.37 ตำแหน่งของ c.g.

เมื่อ x_1 และ x_2 เป็นระยะจาก c.m.

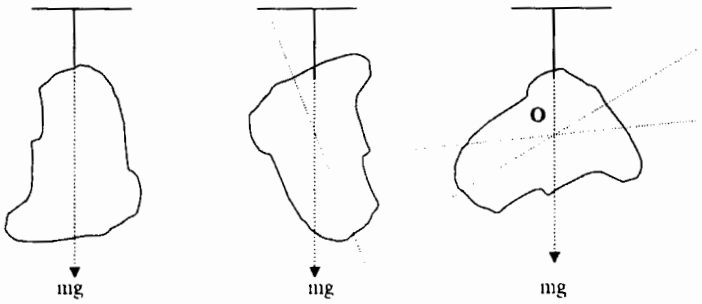
ในกรณีที่ระบบมวลทั้งสองนั้นอยู่ในสนามที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น m_1 อยู่ในสนาม g_1 และ m_2 อยู่ในสนามที่มีค่า g_2 ค่า g_1 มากกว่า g_2 และจุด c.g. จะอยู่ ณ จุดที่ทำให้สมการต่อไปนี้เป็นจริง

$$m_1 g_1 x_1 = m_2 g_2 x_2$$



ภาพที่ ก.38 ตำแหน่งของ c.g. และ c.m.

ดังนั้น c.g. จะเลื่อนมาทางมวล m_1 ในขณะที่ c.m. ของระบบมวลอยู่ที่เดิม c.g. จึงอยู่คนละตำแหน่งกับ c.m. กรณีเช่นนี้อาจเกิดขึ้น เช่น ดาวเทียมห้อยวัตถุมีมวลด้วยสายที่ยาวมาก ทำให้วัตถุอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าสนามโน้มถ่วงสูงกว่า และเป็นผลให้ระบบมี c.g. อยู่ต่ำกว่า c.m.



จากรูป จุด O เป็นจุดที่แนวของน้ำหนักหรือ mg ตัดกันไม่ว่าแขวนวัตถุในลักษณะใดก็ตาม ดังนั้น จุด O จึงเป็นจุดศูนย์ถ่วง (C.G.)

จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุรูปต่างๆ

1. คานตรงสม่ำเสมอ จุด C.G. อยู่ที่จุดกึ่งกลางคาน
2. วัตถุแผ่นกลม จุด C.G. อยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงกลม
3. วัตถุแผ่นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน จุด C.G. อยู่ที่จุดตัดของเส้นทแยงมุม
4. วัตถุแผ่นรูปสามเหลี่ยม จุด C.G. อยู่ที่จุดของเส้นมัธยฐาน
5. วัตถุทรงกลม จุด C.G. อยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม
6. วัตถุรูปทรงกระบอก จุด C.G. อยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นแกนของทรงกระบอก
7. วัตถุรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ จุด C.G. อยู่ที่จุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์
8. วัตถุรูปกรวยตัน จุด C.G. อยู่ในแนวเส้นแกนของกรวยเป็นระยะ ¼ ของความสูงตรงจากฐาน

หมายเหตุ ที่บนผิวโลกบริเวณที่มีค่า g สม่ำเสมอ ตำแหน่งของจุด C.M.และจุด C.G. จะอยู่ที่ตำแหน่งหรือจุดเดียวกัน แต่ถ้าเป็นบนดวงดาวหรือบริเวณใดก็ตามที่มีค่า g ไม่สม่ำเสมอ จุด C.G.จะเปลี่ยนไปจากเดิม

แต่ จุด C.M. จะยังคงอยู่ที่ตำแหน่งหรือจุดเดิมเสมอ

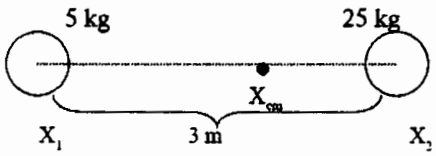
สรุป

- จุด C.M. เป็น จุดที่เสมือนเป็นที่รวมของมวลทั้งก้อน
- จุด C.G. เป็น จุดที่เสมือนเป็นที่รวมของน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน
- ที่บนผิวโลกบริเวณที่มีค่า g สม่ำเสมอ ตำแหน่งของจุด C.M.และจุด C.G. จะอยู่ที่ตำแหน่งหรือจุด เดียวกัน(แต่จุดทั้งสองมีความหมายแตกต่างกัน) แต่ถ้าเป็นบนดวงดาวหรือบริเวณใดก็ตามที่มีค่า g ไม่ สม่ำเสมอ จุด C.G.จะเปลี่ยนไปจากเดิม แต่ จุด C.M. จะยังคงอยู่ที่ตำแหน่งหรือจุดเดิมเสมอ
- จุด C.M.และจุด C.G. อาจอยู่นอกเนื้อวัตถุก็ได้ เช่น แหวน หรือ วัตถุกลวง
- การหาตำแหน่ง C.M. หาได้จากการใช้แรงกระทาที่วัตถุถ้าวัตถุไม่หมุนแสดงว่าแนวนั้นผ่านจุด C.M.
- การหาตำแหน่ง C.G. หาได้โดยการแขวนวัตถุนั้นในแนวลักษณะต่างๆกันในแนวดิ่ง โดยแนวของน้ำหนักของวัตถุจะตัดกันที่จุดๆหนึ่ง ซึ่งนั้นก็คือ **จุดศูนย์ถ่วง “ C.G.”**

ตัวอย่างที่ 1 มวล 5 กิโลกรัม และมวล 25 กิโลกรัม อยู่ห่างกัน 3 เมตร จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบมวลทั้งสองอยู่ที่ใด

วิธีทำ 1. วาดรูปแสดงตำแหน่งของมวลทั้งสอง

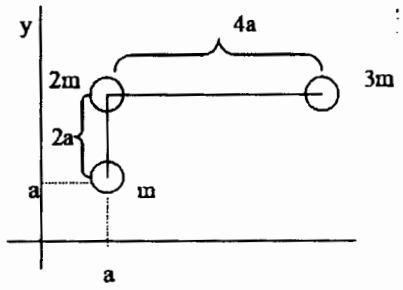
2. เมื่อรู้ $m_1 = 5$ kg , $m_2 = 25$ kg , $x_1 = 0$, $x_2 = 3$ m ต้องการหา x_{cm}



จาก $$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} = \frac{5(0) + 25\,(3)}{5 + 25}$$

ตอบ ดังนั้น จุดศูนย์กลางของระบบอยู่ห่างจากมวล 5 กิโลกรัมเป็นระยะ 2.5 เมตร

ตัวอย่างที่ 2 จากรูป จงหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบซึ่งประกอบด้วย มวล m , 2m และ 3m



วิธีทำ เมื่อรู้ว่า $m_1 = m$, $m_2 = 2m$, $m_3 = 3m$, $x_1 = a$,$y_1 = a$,$x_2 = a$, $y_2 = 3a$, $x_3 = 5a$, $y_3 = 3a$ ต้องการหา x_{cm} , y_{cm}

จาก $$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

$$x_{cm} = \frac{m(a) + 2m(a) + 3m(5a)}{m + 2m + 3m}$$

$x_{cm} = 3a$

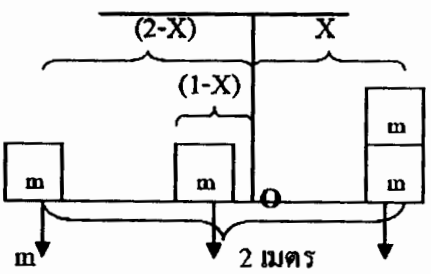
$$y_{cm} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3 + m_4y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

$$y_{cm} = \frac{m(a) + 2m(3a) + 3m(3a)}{m + 2m + 3m}$$

$y_{cm} = 2.67a$

ตอบ ดังนั้นจุดศูนย์กลางมวลของระบบอยู่ที่ตำแหน่ง (3a , 2.67a)

ตัวอย่างที่ 3 จากรูป จงหาตำแหน่ง C.G.



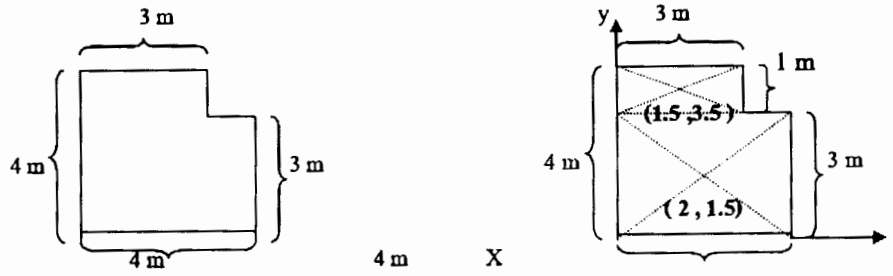
วิธีทำ จากรูป จุด C.G. หรือ O เป็นจุดหมุน($\Sigma M = 0$)

$$m(2-X) + m(1-X) = 2m(X)$$

$$X = 3/4\ m$$

ตอบ ดังนั้น ตำแหน่งของจุด C.G. เท่ากับ 3/4 เมตร

ตัวอย่างที่ 4 จากรูป จงหาจุดศูนย์กลางมวลของแผ่นโลหะสม่ำเสมอ



วิธีทำ เมื่อรู้ $A_1 = 3 \times 4\ m^2$, $A_2 = 1 \times 3\ m^2$, $x_1 = 2$, $x_2 = 1.5$, $y_1 = 1.5$, $y_2 = 3.5$

ต้องการหา x_{cm} , y_{cm}

จาก
$$x_{cm} = \frac{A_1x_1 + A_2x_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{(3x4)(2) + (1x3)(1.5)}{(3x4) + (1x3)}$$

$$x_{cm} = 1.9\ m$$

$$y_{cm} = \frac{A_1y_1 + A_2y_2}{A_1 + A_2}$$

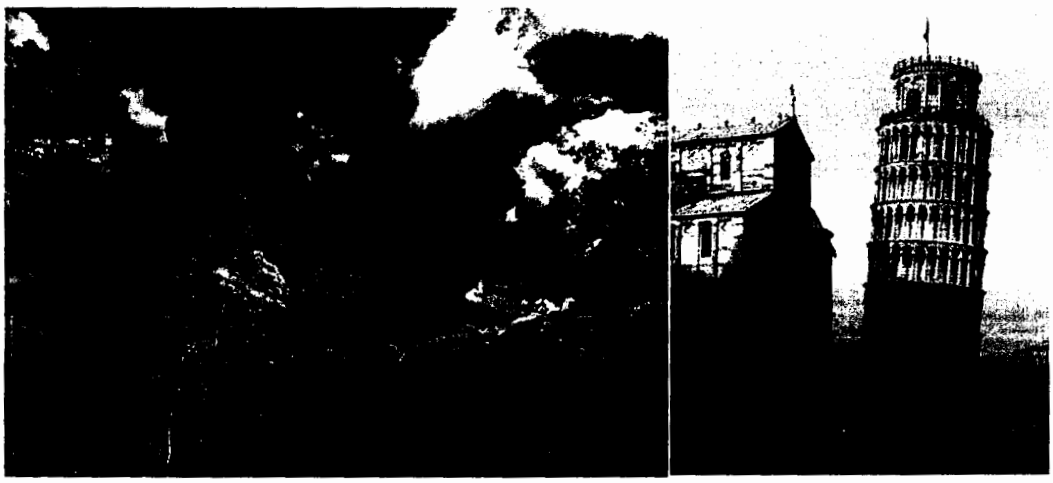
$$= \frac{(3x4)(1.5) + (1x3)(3.5)}{(3x4) + (1x3)}$$

$$y_{cm} = 1.9\ m$$

ตอบ ดังนั้น จุดศูนย์กลางมวลของแผ่นโลหะนี้อยู่ที่ตำแหน่ง (1.9 , 1.9)

ในธรรมชาติรอบๆ ตัว เราจะพบการเคลื่อนที่ของวัตถุ มากมายหลายแบบ โดยเราจำแนกลักษณะ การเคลื่อนที่หลักๆ ออกเป็นสองลักษณะคือ *การเลื่อนที่* (Translation) ซึ่งเป็นการเลื่อนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ และ*การหมุน* (Rotation) ซึ่งเกิดจากการที่องค์ประกอบเล็กๆ ของวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบแกนหมุน การเคลื่อนที่ที่พบได้นั้นก็มีทั้งแบบที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (เชิงเส้นหรือเชิงมุม)คงที่ หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง(เชิงเส้นหรือเชิงมุม) ซึ่งการเคลื่อนที่ของวัตถุจะเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับแรงลัพธ์หรือทอร์กลัพธ์ที่กระทาต่อวัตถุ หากแรง (ทอร์ก) ลัพธ์ที่กระทาต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุก็จะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมไว้ได้ นั่นคือ วัตถุจะไม่มีความเร่ง (ความเร่งเชิงมุม) นั่นเอง นอกจากนี้ยังมีลักษณะอาการของวัตถุที่น่าสนใจและพบได้มากมายในชีวิตประจาวันอีกอย่างหนึ่ง คือ การ *อยู่นิ่ง* ของวัตถุหรือสิ่งก่อสร้าง ตัวอย่างที่น่าสนใจของวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่นิ่ง ก็ได้แก่ เสาเฉลียง ตั้งอยู่ที่ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่คล้ายดอกเห็ดวางอยู่ด้านบนเป็นหินทรายอายุประมาณ 130 ล้านปีและส่วนที่เป็นต้นเสาเป็นหินทรายอายุประมาณ 180 ล้านปี และอีกตัวอย่างหนึ่งซึ่งเป็นสิ่งก่อสร้างอันโด่งดัง ก็คือ หอเอนเมืองปิซ่า ตั้งอยู่ที่ เมืองปิ-ซ่า

ประเทศอิตาลี เป็นหอทรงกระบอก 8 ชั้น สูง 55.86 เมตร เอียงทามุม 3.97 องศา กับแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 สิ่งที่น่าสนใจ ก็คือ การที่โครงสร้างตัวอย่างทั้งสอง ทั้งที่เป็นสิ่งที่ธรรมชาติสร้างขึ้น(เสาเฉลียง)และที่มนุษย์สร้างขึ้น (หอเอน เมืองปิซ่า) อยู่ในสภาวะอยู่นิ่ง ไม่ล้มหรือพังทะลายลงมา ได้เป็นเวลายาวนานนั้น มีเงื่อนไขทางฟิสิกส์อย่างไรหรือหลักการทางฟิสิกส์ใดที่ใช้อธิบายสภาวะหยุดนิ่งของโครงสร้าง



ภาพที่ ก.39 เสาเฉลียงและหอเอนเมืองปิซ่า

การที่วัตถุหรือโครงสร้างต่างๆ นั้น อยู่นิ่งในสภาพเดิมได้ นั่นหมายความว่า วัตถุ(หรือวัตถุที่เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง) สามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (อยู่นิ่ง) ไว้ได้ ดังนั้น แรงและทอร์กลัพธ์ที่กระทาต่อวัตถุต้องมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเราเรียกสภาวะนี้ว่า *สมดุลกล* (Mechanical equilibrium) โดยจากที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น จะเห็นว่าสมดุลกลแบ่งออกได้เป็นสองแบบ ได้แก่

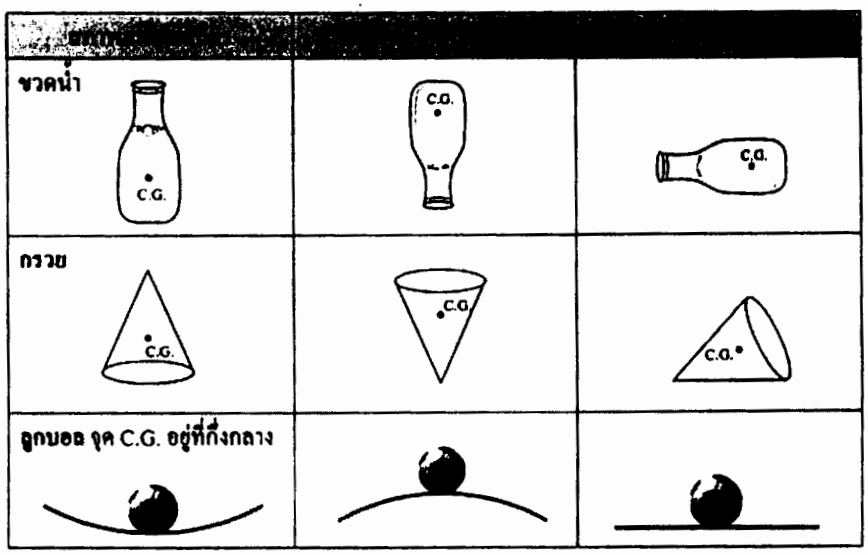
1. สมดุลสถิตย์ (static equilibrium) คือ สภาวะที่วัตถุอยู่นิ่ง โดยที่แรงลัพธ์และทอร์กลัพธ์ที่กระทาต่อวัตถุเป็นศูนย์

2. สมดุลจลน์ (Dynamic equilibrium) คือ สภาวะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่หรือกำลังหมุน โดยที่แรงลัพธ์และทอร์กลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ นั่นคือวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และ หรือ หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ นั่นเอง

เสถียรภาพของสมดุล

เสถียรภาพของวัตถุ คือ ความสามารถในการทรงตัวอยู่ได้ของวัตถุนั้น ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะสมดุลของวัตถุ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. สมดุลเสถียร (stable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับที่สูงขึ้น พลังงานศักย์ของวัตถุมากขึ้น เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัตถุสามารถกลับมาอยู่ในลักษณะเดิม
2. สมดุลสะเทิน (neutral equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้ววัตถุจะกลิ้งไป โดยศูนย์กลางมวลอยู่ในระดับความสูงเท่าเดิม พลังงานศักย์ของวัตถุคงเดิม วัตถุจะเปลี่ยนตำแหน่งไปโดยวางตัวในลักษณะเดิม
3. สมดุลไม่เสถียร (unstable equilibrium) คือ สมดุลของวัตถุที่เมื่อออกแรงกระทำให้วัตถุเอียงจากเดิมแล้ว ศูนย์กลางมวลของวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับต่ำกว่าเดิม พลังงานศักย์ของวัตถุจะลดลง วัตถุจะล้ม และไม่สามารถกลับมาวางตัวในลักษณะเดิม



การพิจารณาประเภทของสมดุลของวัตถุอาจพิจารณาจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่เปลี่ยนไป เมื่อถูกแรงกระทำ

1. สมดุลแบบเสถียรภาพ **จุดศูนย์กลางมวลสูงขึ้น**
2. สมดุลแบบไม่เสถียร **จุดศูนย์กลางมวลต่ำลง**
3. สมดุลแบบสะเทิน **จุดศูนย์กลางมวลเท่าเดิม**

การนำหลักสมดุลไปประยุกต์

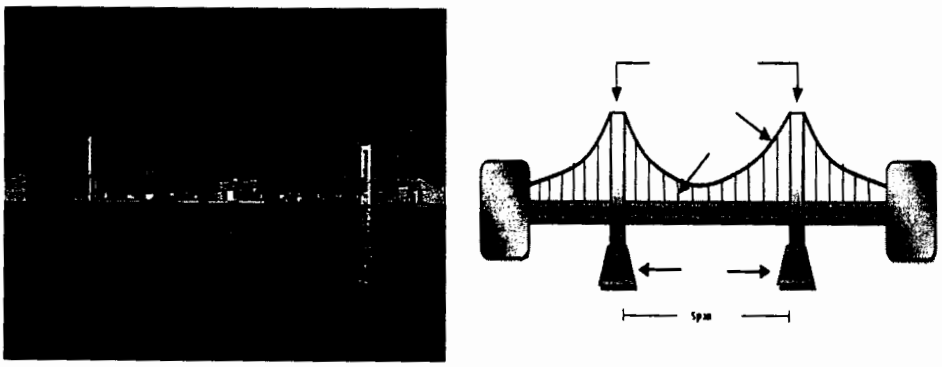
หลักการสมดุลมีใช้มากมายในชีวิตประจำวัน ในที่นี้จะกล่าวถึงการนำหลักการสมดุลไปใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย เช่น คาน คีมตัดลวด ไขควง ล้อและเพลา และกว้าน เป็นต้น เครื่องกลอย่างง่ายเหล่านี้สามารถผ่านแรงที่กระทำได้อย่างไร สามารถเข้าใจได้จากการหาขนาดของแรงที่กระทำ ณ จุดต่างๆ ตามหลักการของสมดุลในทุกกรณี

โดยอาศัยหลักการเรื่องสมดุลกล เราสามารถออกแบบโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือการจัดวางวัตถุ เพื่อให้วัตถุอยู่ในสมดุลได้ เราสามารถวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนประกอบต่างๆของโครงสร้างที่อยู่ในสมดุลได้ โดยอาศัยหลักการนี้เช่นกัน ในคู่มือการทำกิจกรรม การสอนชุดนี้ จะยกตัวอย่างการประยุกต์หลักการเรื่องสมดุลกลเพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทาต่อองค์ประกอบส่วนต่างๆ ของสะพานแขวน โดยใช้แบบจำลองสะพานอย่างง่ายแทนสะพานจริงที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อน เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์ซึ่งเพียงพอต่อการทำความเข้าใจในหลักการและกระบวนการคิด

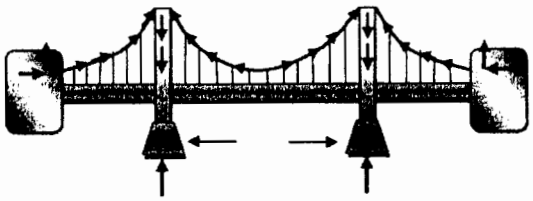
การประยุกต์เรื่องสมดุลเพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนต่าง ๆ ของสะพานแขวน

ในหัวข้อนี้ เราจะเรียนรู้การนำหลักของสมดุลไปประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของโครงสร้างที่อยู่ในสมดุล โดยใช้โครงสร้างสะพานแขวนเป็นกรณีตัวอย่าง โดยในการอธิบายนั้น จะพิจารณาแบบจำลองอย่างง่ายแทนสะพานจริง เพื่อความง่ายในการพิจารณาและความเหมาะสมของเนื้อหาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สะพานแขวน (Suspension Bridge) เป็นสะพานที่มีสายแขวน (Hanger Rope) เป็นตัวรับน้ำหนักพื้นสะพาน (Roadway Deck) และน้ำหนักจร (น้ำหนักที่มีการเคลื่อนที่) บนพื้นสะพาน แล้วส่งต่อให้แก่สายเคเบิ้ลหลัก (Main Cable) ซึ่งจะส่งถ่ายแรงมายังส่วนรับแรงหลัก คือ เสา (Tower/Pylon) หมุด(Anchorage) และตอม่อ (Pier) โดยจะเรียกระยะที่พื้นสะพานที่ไม่ถูกรับน้ำหนักโดยเสาหรือพื้นว่า Span ดังแสดงในภาพที่ ก.38 และการกระจายของแรงจะเป็นดังแสดงในภาพที่ ก.39



ภาพที่ ก.40 สะพานแขวน

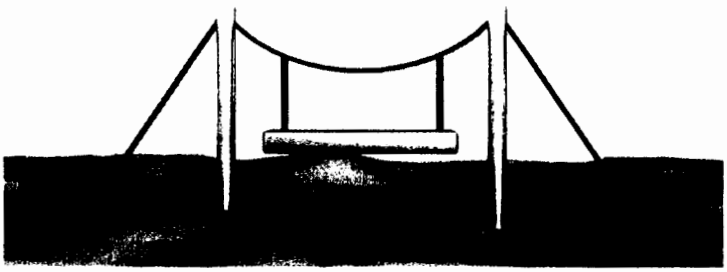


ภาพที่ ก.41 การกระจายแรงบนสะพานแขวน

แบบจำลองสะพานแขวนอย่างง่าย

เนื่องจากสะพานจริงนั้น มีองค์ประกอบปลีกย่อยเป็นจานวนมาก หากจะพิจารณาให้ละเอียดทุกส่วนนั้น ทาได้ยากและมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งไม่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับนี้ ดังนั้น ในการวิเคราะห์แรงที่กระทาต่อส่วนต่างๆ ของสะพานนั้น เราจะใช้แบบจำลองอย่างง่ายแทนสะพานจริง ซึ่งเพียงพอต่อการเรียนรู้เรื่องการประยุกต์หลักของสมดุล เพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทาต่อโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะสมดุล และเป็นประเด็นหลักของสื่อการสอนเรื่องตอนนี้

เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ ในแบบจำลองสะพานอย่างง่ายของเรานั้น จะให้มีเคเบิ้ลรองที่ใช้รับน้าหนักของสะพานเพียงสองสาย และสายเคเบิ้ลหลักเป็นวัตถุแข็งเกร็งรูปโค้งพาราโบลา เนื่องจากเคเบิ้ลหลักของสะพานจริง ในขณะใช้งานจริงถือได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้เงื่อนไขปกติของสะพานหรือในสภาวะใช้งานปกติ และเนื่องจากน้ำหนักของเคเบิ้ลหลักสำหรับสะพานโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของพื้นดาดฟ้าสะพาน เป็นผลทำให้เคเบิ้ลมีรูปร่างเป็นโค้งพาราโบลา โดยแบบจำลองจะมีลักษณะ ดังภาพที่ ก.40



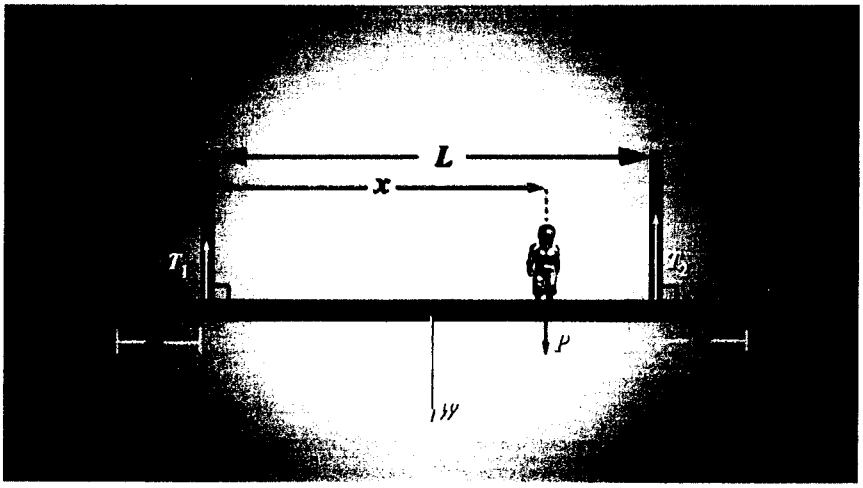
ภาพที่ ก.42 แบบจำลองสะพานแขวนอย่างง่าย

แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของสะพานแขวน

ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำ ต่อส่วนต่างๆ ของแบบจำลองสะพานแขวน เราจะสมมติว่า เราทราบ น้ำหนักของพื้นสะพานและสายเคเบิ้ลรอง(สายแขวน) ทั้งสองเส้น และน้ำหนักของสายเคเบิ้ลหลักน้อยมาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสายแขวนทั้งสองและพื้นสะพาน (ทำให้สายเคเบิ้ลเป็นรูป

พาราโบลา) ดังนั้น ในการวิเคราะห์จะไม่คิดน้ำหนักของสายเคเบิ้ลหลัก (เนื่องจากมีผลน้อยมากจนละทิ้งได้)

ก่อนอื่นจะเริ่มพิจารณาแรงตึงในสายแขวนทั้งสอง ณ ตำแหน่งที่ยึดกับพื้นสะพานเมื่อมีวัตถุหรือ โหลด (Load) อยู่ที่ตำแหน่งใดๆ บนพื้นสะพาน โดยกำหนดให้ สายแขวนทั้งสองอยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับพื้นสะพาน อยู่ห่างจากปลายสะพานทั้งสองเท่ากันเป็นระยะ และอยู่ห่างกันเป็นระยะ มีวัตถุน้ำหนัก อยู่บนพื้นสะพาน ที่ ตำแหน่ง วัดจากสายแขวน 1 (กำหนดให้ x เป็นบวกเมื่ออยู่ทางขวาของสายแขวน 1) ดังภาพที่ ก.41



ภาพที่ ก.43 แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของพื้นสะพาน

เราสามารถหาค่า T_1 และ T_2 และ ได้โดยการพิจารณาสมดุลต่อการหมุนของพื้นสะพานโดยให้ตำแหน่ง สายแขวน 1 และสายแขวน 2 เป็นจุดหมุน ตามลำดับ ดังนี้

<u>ทอร์กลัพธ์รอบจุด B</u> :

$$T_1 L - W\frac{L}{2} - P(L-x) = 0$$

$$T_1 = \frac{w}{2} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)P$$

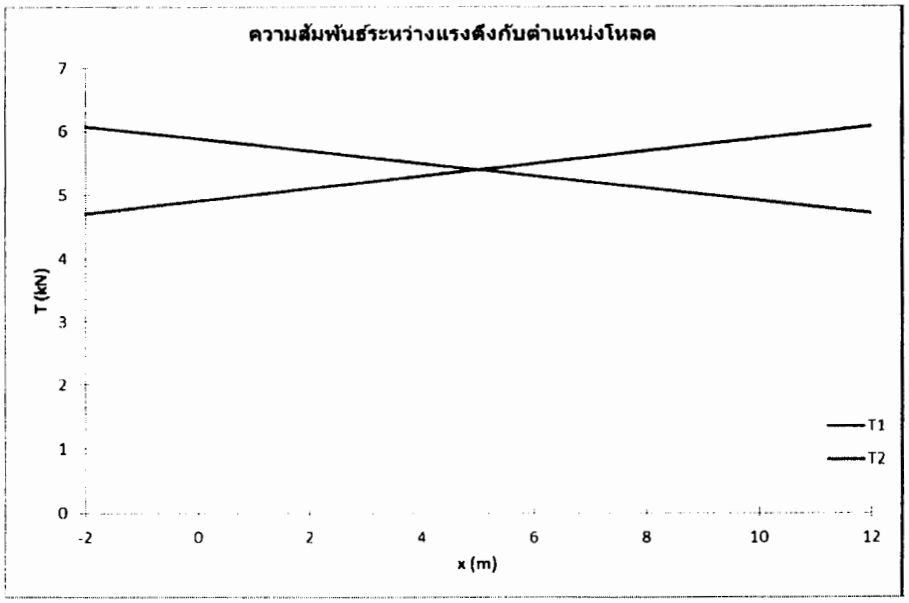
<u>ทอร์กลัพธ์รอบจุด A</u> :

$$T_2 L - W\frac{L}{2} - Px = 0$$

$$T_2 = \frac{w}{2} + \left(\frac{x}{L}\right)P$$

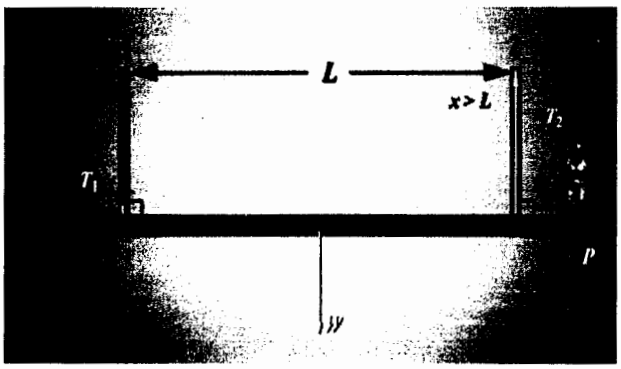
ข้อสังเกต : $T_1 + T_2 = w + P$ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ และในการ คำนวณ หาแรงโดยใช้เงื่อนไขของสมดุลต่อการหมุนเพียงอย่างเดียวนั้น ควรตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยว่าเป็นไป ตามเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ด้วยหรือไม่

จากผลที่ได้จะเห็นว่า T_1 และ T_2 จะขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงที่จุด แขวนของสายแขวนแต่ละสายกับตำแหน่งของโหลดแสดงในกราฟที่ 1



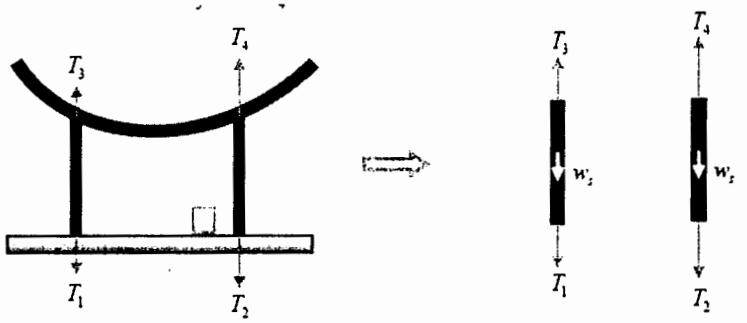
ภาพที่ ก.44 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงเชือกกับตำแหน่งโหลด โดยกำหนดให้ w=1000 kg., P=100 kg., L=10 m.

จากกราฟ แรงตึงในสายแขวนที่จุดแขวนกับพื้นสะพานทั้งสองสายจะมีขนาดเท่ากันเมื่อ ตำแหน่งของโหลดอยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างสายแขวนทั้งสอง และแรงตึงในสายแขวนที่วัตถุอยู่ใกล้มากกว่าจะมีค่ามากกว่าแรงตึงในสายแขวนอีกอัน ในกรณีที่โหลดอยู่ห่างจากสายแขวนไม่เท่ากัน ดังภาพที่ ก.43



ภาพที่ ก.45 แรงตึงในสายแขวนเมื่อโหลดอยู่ห่างจากสายแขวนไม่เท่ากัน

ต่อไปหาแรงตึงในสายแขวน ณ ตำแหน่งที่ยึดกับสายเคเบิ้ล โดยพิจารณาแรงที่กระทำ ต่อสายแขวน ดังรูปภาพที่ ก.44 อาศัยเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ โดยกำหนดให้แรงที่มีทิศชี้ขึ้นตามแนวดิ่งมีเครื่องหมาย เป็นบวก เราสามารถหาแรงตึง T_3 และ T_4 ได้จาก

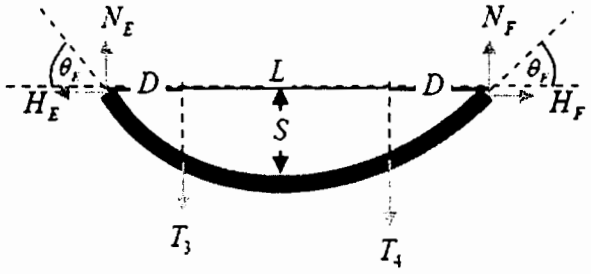


ภาพที่ ก.46 แรงที่กระทำต่อสายแขวน โดย w_s คือ น้ำหนักของสายแขวน

$T_3 - w_s - T_1 = 0$ และ $T_4 - w_s - T_2 = 0$ ซึ่งจะได้

$$T_3 = w_s + T_1 = w_s + \frac{w}{2} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)P \quad \text{และ} \quad T_4 = w_s + T_2 = w_s + \frac{w}{2} + \left(\frac{x}{L}\right)P$$

จากนั้น พิจารณาหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำ ต่อสายเคเบิ้ลที่ตำแหน่งจุดรองรับที่หัวเสาทั้งสองด้าน (จุด E และ F) โดยพิจารณาว่า สายเคเบิ้ลเป็นวัตถุแข็งเกร็งรูปร่างโค้งพาราโบลา (โดยส่วนปลายสามารถเบนได้ เล็กน้อย) และแรงตึงในสายเคเบิ้ลมีค่ามากกว่าน้ำหนักของสายเคเบิ้ลเองมากๆ ทำ ให้สามารถละทิ้ง การพิจารณาน้ำหนักของสายเคเบิ้ลได้ โดยแรงที่กระทำ ต่อสายเคเบิ้ลเนื่องจากสายแขวนอยู่ที่ตำแหน่งห่างจาก จุดรองรับทั้งสองด้านเป็นระยะ D และเคเบิ้ลมีระยะตกท้องช้าง (Sag) เท่ากับ S ดังภาพที่ ก.45



ภาพที่ ก.47 แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของเคเบิ้ล

โดยที่ H_E (H_F) และ N_E (N_F) คือ ขนาดของแรงปฏิกิริยาในแนวนอนและแนวตั้งที่จุดรองรับ E (F) ตามลำ ดับ โดยอาศัยเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ จะได้ว่า

$H_E = H_F$ และ $N_E = N_F = T_3 + T_4$

จากนั้น พิจารณาเงื่อนไขของสมดุลต่อการหมุน รอบจุดหมุนต่างๆ โดยกำหนดให้ทอร์กในทิศทวนเข็ม นาฬิกามีเครื่องหมายเป็นบวก ดังนี้

<u>จุดหมุน F :</u> $N_E(2D + L) - T_3(D + L) - T_4D = 0$

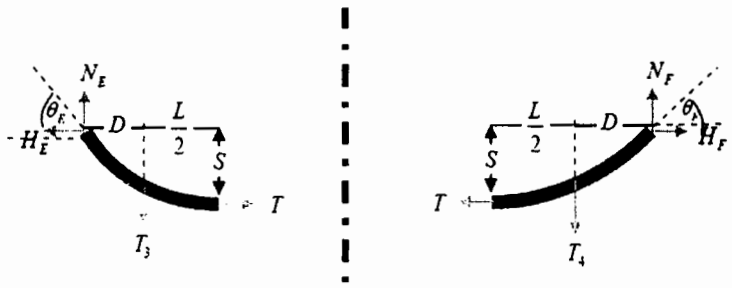
$$N_E = \frac{T_3(D + L) + T_4D}{(2D + L)}$$

<u>จุดหมุน E :</u> $N_F(2D + L) - T_4(D + L) - T_3D = 0$

$$N_F = \frac{T_4(D + L) + T_3D}{(2D + L)}$$

<u>ข้อสังเกต :</u> $$N_E + N_F = \frac{T_3(D + L) + T_4D}{(2D + L)} + \frac{T_4(D + L) + T_3D}{(2D + L)} = T_3 + T_4$$

ในการหาค่า H_E และ H_F เราไม่สามารถกำหนดให้จุดรองรับเชือกทั้งสองจุดเป็นจุดหมุนได้ เนื่องจากแนว ของแรงทั้งสองผ่านจุดรองรับทั้งสองจุด และเราจำเป็นจะต้องมีสมการที่เกี่ยวกับตัวแปรทั้งสองอย่างน้อย สองสมการ วิธีการพิจารณาคือเราจะแบ่งเคเบิ้ลออกเป็นสองส่วน ณ จุดต่ำ สุด แล้วพิจารณาเงื่อนไขของ สมดุลของวัตถุแข็งเกร็งทั้งสอง ดังภาพที่ ก.46



ภาพที่ ก.48 เคเบิ้ลถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน

ให้จุดต่ำสุดของเคเบิ้ลเป็นจุดหมุน แล้วพิจารณาทอร์กรอบจุดนี้ของเคเบิ้ลแต่ละส่วน ได้ดังนี้

ด้านซ้าย : $N_E(D+\frac{L}{2}) - H_E S - T_3\frac{L}{2} = 0$

$$H_E = NE\left(\frac{D}{s}+\frac{L}{2s}\right) + T_3\frac{L}{2s}$$

$$= \left[\frac{T_3(D+L)+T_4 D}{2D+L}\right]\left[\frac{2D+L}{2S}\right] - T_3\frac{L}{2s}$$

$$= \frac{(T_3+T_4)D}{2s}$$

ด้านขวา : $H_F S + T_4\frac{L}{2} - N_F\left(D+\frac{L}{2}\right) = 0$

$$H_F = NF\left(\frac{D}{s}+\frac{L}{2s}\right) + T_4\frac{L}{2s}$$

$$= \left[\frac{T_4(D+L)+T_3 D}{2D+L}\right]\left[\frac{2D+L}{2S}\right] - T_4\frac{L}{2s}$$

$$= \frac{(T_3+T_4)D}{2s}$$

และมุมระหว่างแนวสัมผัสของปลายเคเบิ้ลทั้งสองด้านกับแนวระดับ สามารถหาได้จาก

$$\theta_E = \tan^{-1}\left(\frac{N_E}{H_E}\right) \qquad \text{และ} \quad \theta_F = \tan^{-1}\left(\frac{N_F}{H_F}\right)$$

ข้อสังเกต : $H_E = H_F$ (การเปลี่ยนแปลงของแรงในแนวดิ่งจะไม่ส่งผลต่อแรงในแนวนอน)

จากผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อแทนค่า T_3 และ T_4 เราก็จะได้แรงปฏิกิริยาและมุมที่จุดรองรับทั้งสองในรูปที่ขึ้นกับ ตำแหน่งของโหลด คือ

$$N_E = \frac{\left[w_s + \frac{w}{2} + \left(1-\frac{x}{L}\right)P\right](D+L) + \left[w_s + \frac{w}{2} + \left(\frac{x}{L}\right)P\right]D}{(2D+L)}$$

$$= w_s + \frac{w}{2} + \frac{(D+L-x)}{(2D+L)}P$$

$$N_F = \frac{\left[w_s+\frac{w}{2}+\left(\frac{x}{L}\right)P\right](D+L)+\left[w_s+\frac{w}{2}+\left(1-\frac{x}{L}\right)P\right]D}{(2D+L)}$$

$$= w_s + \frac{w}{2} + \frac{(D+x)}{(2D+L)}\,p$$

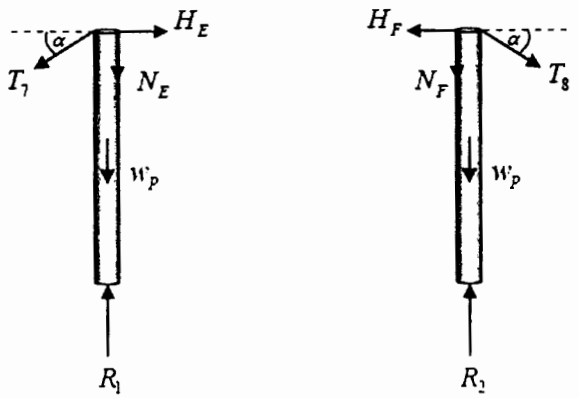
$$H_E = H_F = \frac{\left[w_s+\frac{w}{2}+\left(1-\frac{x}{L}\right)P+w_s+\frac{w}{2}+\frac{x}{L}p\right]D}{2s} = \frac{D}{2s}(2w_s + W + P)$$

$$\theta_E = \tan^{-1}\left(\frac{w_s+\frac{w}{2}+\frac{(D+L-x)}{(2D+L)}P}{\frac{D}{2s}(2w_s+W+P)}\right) \qquad \text{และ}$$

$$\theta_F = \tan^{-1}\left(\frac{w_s+\frac{w}{2}+\frac{(D+x)}{(2D+L)}p}{\frac{D}{2s}(2w_s+W+P)}\right)$$

ข้อสังเกต : $N_E + N_F = w + 2w_s + P$ (แรงที่ดึงขึ้นทั้งหมดเท่ากับน้ำหนักรวม) $\theta_E = \theta_F$ เมื่อ $x = \frac{L}{2}$ และขนาดแรงตึงในเคเบิ้ลที่จุด E (T_5)และ F (T_6) จะเท่ากับแรงลัพธ์ของแรงปฏิกิริยาทั้งสองแนวที่ จุดนั้น

ลำดับต่อไป พิจารณาแรงที่กระทำต่อเสาทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพของแรงได้ดังภาพที่ ก.47



ภาพที่ ก.49 แรงที่กระทำต่อเสาทั้งสองข้าง

ในการคำนวณหา T_7, T_8 , R_1 และ R_2 นั้น เราใช้เพียงเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ก็เพียงพอ (เนื่องจาก ที่แต่ละเสามีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเพียงสองตัว) นั่นคือ

<u>เสาซ้าย :</u> $T_7 \cos\alpha = H_E$ และ $R_1 - T_7 \sin\alpha - N_E - w_P = 0$

จะได้ $$T_7 = \frac{D}{2s\cos\alpha}(2w_s + W + P)$$

$$R_1 = \frac{D\tan\alpha}{2s}(2w_s + W + P) + w_s + \frac{w}{2} + \left(\frac{D+L-x}{2D+L}\right)P + w_P$$

$$R_1 = w_p + \left(\frac{D\tan\alpha}{s} + 1\right)w_s + \left(\frac{D\tan\alpha}{s} + 1\right)\frac{w}{2} + \left(\frac{D\tan\alpha}{2s} + \frac{D+L-x}{2D+L}\right)P$$

<u>เสาขวา :</u> $T_8 \cos\alpha = H_F$ และ $R_2 - T_8 \sin\alpha - N_F - w_P = 0$

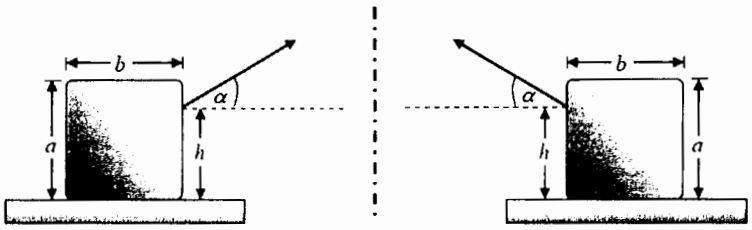
จะได้ $$T_8 = \frac{D}{2s\cos\alpha}(2w_s + W + P)$$

$$R_2 = \frac{D\tan\alpha}{2s}(2w_s + W + P) + w_s + \frac{w}{2} + \left(\frac{D+x}{2D+L}\right)P + w_P$$

$$R_2 = w_p + \left(\frac{D\tan\alpha}{s} + 1\right)w_s + \left(\frac{D\tan\alpha}{s} + 1\right)\frac{w}{2} + \left(\frac{D\tan\alpha}{2s} + \frac{D+x}{2D+L}\right)P$$

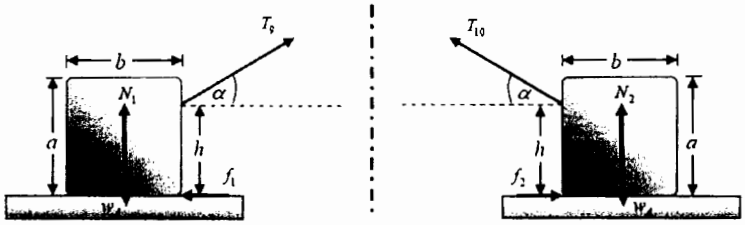
ข้อสังเกต : $R_1 = R_2$ เมื่อ $x = \frac{L}{2}$ (เสาทั้งสองข้างรับน้ำหนักเท่ากัน)

สุดท้าย เราจะพิจารณาแรงที่กระทำต่อหมุด โดยจำลองส่วนที่ทำหน้าที่เป็นหมุดยึดว่าเป็น วัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม (Block) ขนาดใหญ่ หนัก W_A สูง a กว้าง b (มองจากด้านข้าง) วางอยู่บนพื้น ฝืด และถูกยึดด้วยเคเบิ้ลที่ตำแหน่งสูงจากพื้น ดังภาพที่ ก.48



ภาพที่ ก.50 หมุดด้านซ้ายและขวา เมื่อมองจากด้านข้าง

เราสามารถเขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อหมุดทั้งสอง ได้ดังภาพที่ ก.49



ภาพที่ ก.51 แรงที่กระทำต่อหมุดด้านซ้ายและขวา เมื่อมองจากด้านข้าง

ที่หมุดแต่ละอัน มีแรงสองแรงที่ยังไม่ทราบค่า นั่นคือ N_iและ f_i เมื่อ $i = 1,2$ จะเห็นว่าในเชิงคณิตศาสตร์ เราสามารถใช้เพียงเงื่อนไขของสมดุลต่อการเลื่อนที่ ก็เพียงพอต่อการหาค่าตัว แปรที่ไม่ทราบค่าสองตัว เนื่องจากมีสมการของแรงในแนวดิ่งและแรงในแนวระดับทั้งหมดสอง สมการดังนี้

<u>หมุดซ้าย :</u> $N_1 + T_9 \sin\alpha - w_A = 0$

$$N_1 = w_A - T_9 \sin\alpha$$

และ $T_9 \cos\alpha - f_1 = 0$

$$f_1 = T_9 \cos\alpha$$

<u>หมุดขวา :</u> $N_2 + T_{10} \sin\alpha - w_A = 0$

$$N_2 = w_A - T_{10} \sin\alpha$$

และ $T_{10} \cos\alpha - f_2 = 0$

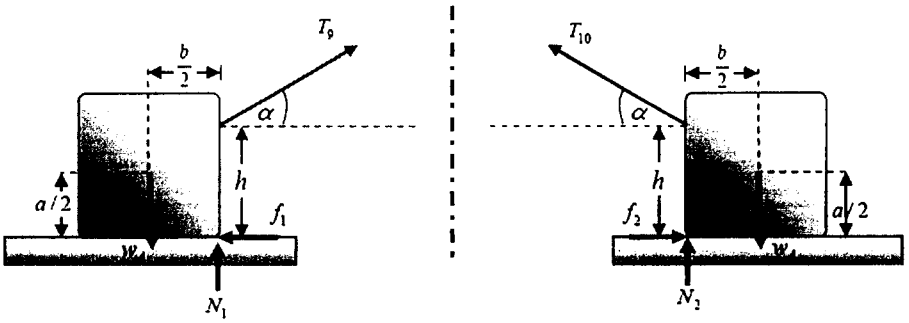
$$f_2 = T_{10} \cos\alpha$$

เนื่องด้วย ในแบบจำลองของเราเคเบิ้ลที่เชื่อมระหว่างเสากับหมุด วางตัวเป็นเส้นตรงและน้ำหนักของ เคเบิ้ลน้อยกว่าแรงตึงในเส้นเชือกมากจนละทิ้งได้ ดังนั้น แรงตึงในเคเบิ้ลส่วนนี้จึงมีค่าคงที่ นั่นคือ $T_9 = T_7$
และ $T_{10} = T_8$ เมื่อแทนค่า T_7 และ T_8 จะได้ว่า

$$N_1 = N_2 = w_A - \frac{D \tan\alpha}{2s}(2w_s + W + P)$$

และ $$f_1 = f_2 = \frac{D}{2s}(2w_s + W + P)$$

กรณีที่ W_A มีค่ามากพอที่จะรักษาสมดุลและเราสนใจที่จะทราบเพียงขนาดของแรงในแนวตั้งฉาก (N) กับแรงเสียดทานเท่านั้น การพิจารณาเพียงเท่านี้ก็เพียงพอ แต่ในกรณีที่ อยากทราบว่าน้ำหนักของหมุด น้อยที่สุดที่หมุดจะยังคงรักษาสมดุลได้เป็นเท่าใดนั้น เราจะต้องพิจารณาสมดุลต่อการหมุนของหมุด ขณะที่ หมุดจะเสียสมดุลพอดี ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพของแรงได้ดังภาพที่ ก.50



ภาพที่ ก.52 แรงที่กระทำต่อหมุด ขณะที่กำลังจะพลิกพอดี

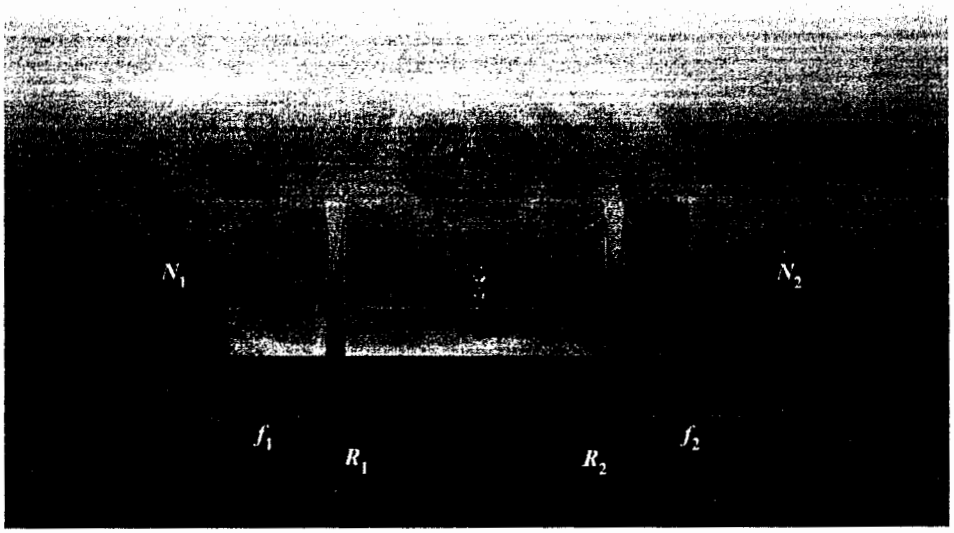
เนื่องจากหมุดทั้งสองมีลักษณะและแรงที่กระทำ เหมือนกันทุกประการ ดังนั้น เราจะทำการพิจารณา หมุดเพียงก้อนเดียว โดยให้จุดที่แรง และ กระทำเป็นจุดหมุน แล้วใช้เงื่อนไขของสมดุลต่อการหมุน จะได้

$$hT_9 \cos\alpha - \frac{b}{2} w_A = 0$$

$$w_A = \frac{2h}{b} T_9 \cos\alpha = \frac{hD}{bS}(2w_s + W + P)$$

เราก็จะทราบน้ำหนักน้อยที่สุดของวัตถุที่จะใช้ทำหมุดแล้วทำให้สะพานยังอยู่ในสมดุลได้ ดังที่ต้องการ จะเห็นว่า ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของโครงสร้างนั้น สามารถทำได้โดยการใช้ เงื่อนไขของสมดุลพิจารณาส่วนของโครงสร้างหรือจุดต่างๆ ที่แรงที่เราต้องการทราบค่ากระทำ ซึ่งในบางกรณีนั้นเราใช้เพียงเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งก็เพียงพอ ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า แต่ทั้งนี้เงื่อนไข ของสมดุลทั้งสองข้อจะต้องเป็นจริงพร้อมกัน ดังนั้น เมื่อเราได้ค่าแรงจากการวิเคราะห์ด้วยเงื่อนไขเพียงข้อ เดียว ก็ต้องตรวจสอบด้วยว่าคำตอบที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขอีกข้อหรือไม่ ซึ่งคำตอบที่ถูกต้องจะต้อง สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งสองข้อพร้อมกัน

จากการวิเคราะห์แรงทั้งหมด พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำ ต่อพื้นสะพานในแนวดิ่งนั้น จะไม่ส่งผลต่อแรงในแนวระดับในเคเบิ้ลและทุกๆ ส่วนของโครงสร้าง แรงในแนวดิ่งจะถูกถ่ายเทลงยังเสาและตอม่อ ส่วนหมุดมีหน้าที่รั้งไม่ให้เสาล้มเข้าหากันโดยอาศัยแรงเสียดทานที่พื้นกับก้อนวัตถุ และน้ำหนักของหมุดช่วย ให้หมุดไม่มีการพลิกล้ม ดังแสดงในภาพที่ ก.51



ภาพที่ ก.53 แรงที่กระทำต่อสะพานแขวน

กิจกรรมการทดลองที่ 3

การหาจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ

ชื่อกลุ่ม

1. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
2. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
3. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
4. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
5. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....

จุดประสงค์

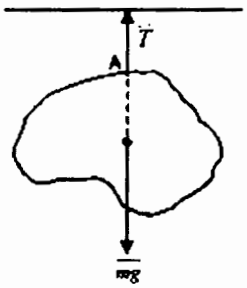
เพื่อหาจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ

อุปกรณ์

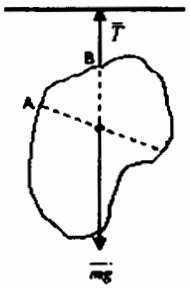
1. แผ่นรูปทรงใด ๆ 1 แผ่น
2. เชือก 1 เส้น
3. ไม้บรรทัด 1 อัน

วิธีทดลอง

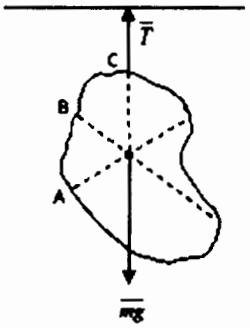
1. นำแผ่นวัตถุผูกเข้ากับเชือกแล้วแขวนไว้ดังรูป



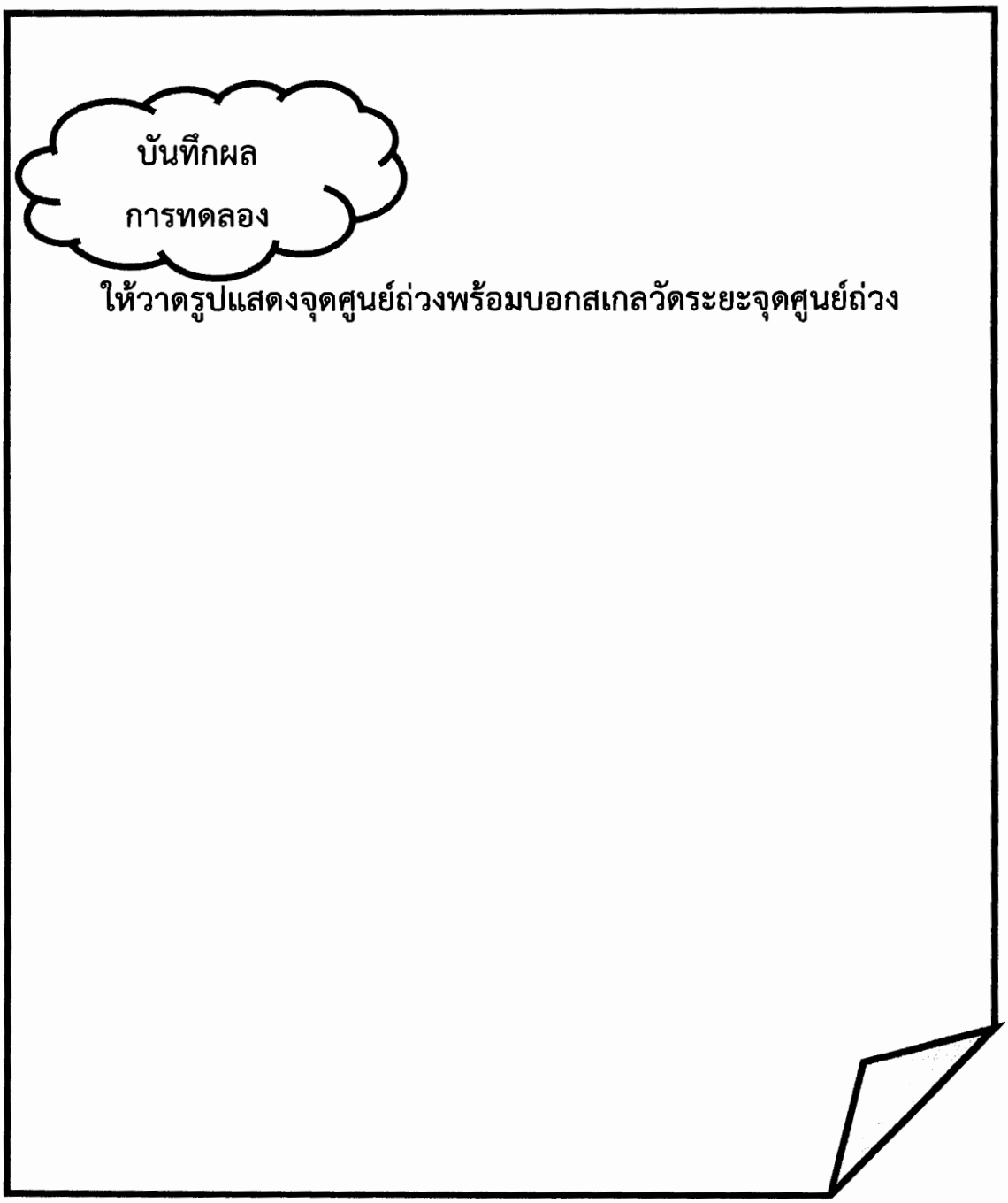
2. เมื่อแผ่นวัตถุหยุดนิ่งจะได้แนวแรง T และ mg อยู่ในแนวเดียวกัน คือเส้นประ A เมื่อเปลี่ยนจุดที่ผูกเชือกเป็นจุด B แล้วลากเส้นตรงตามแนวเส้นเชือก

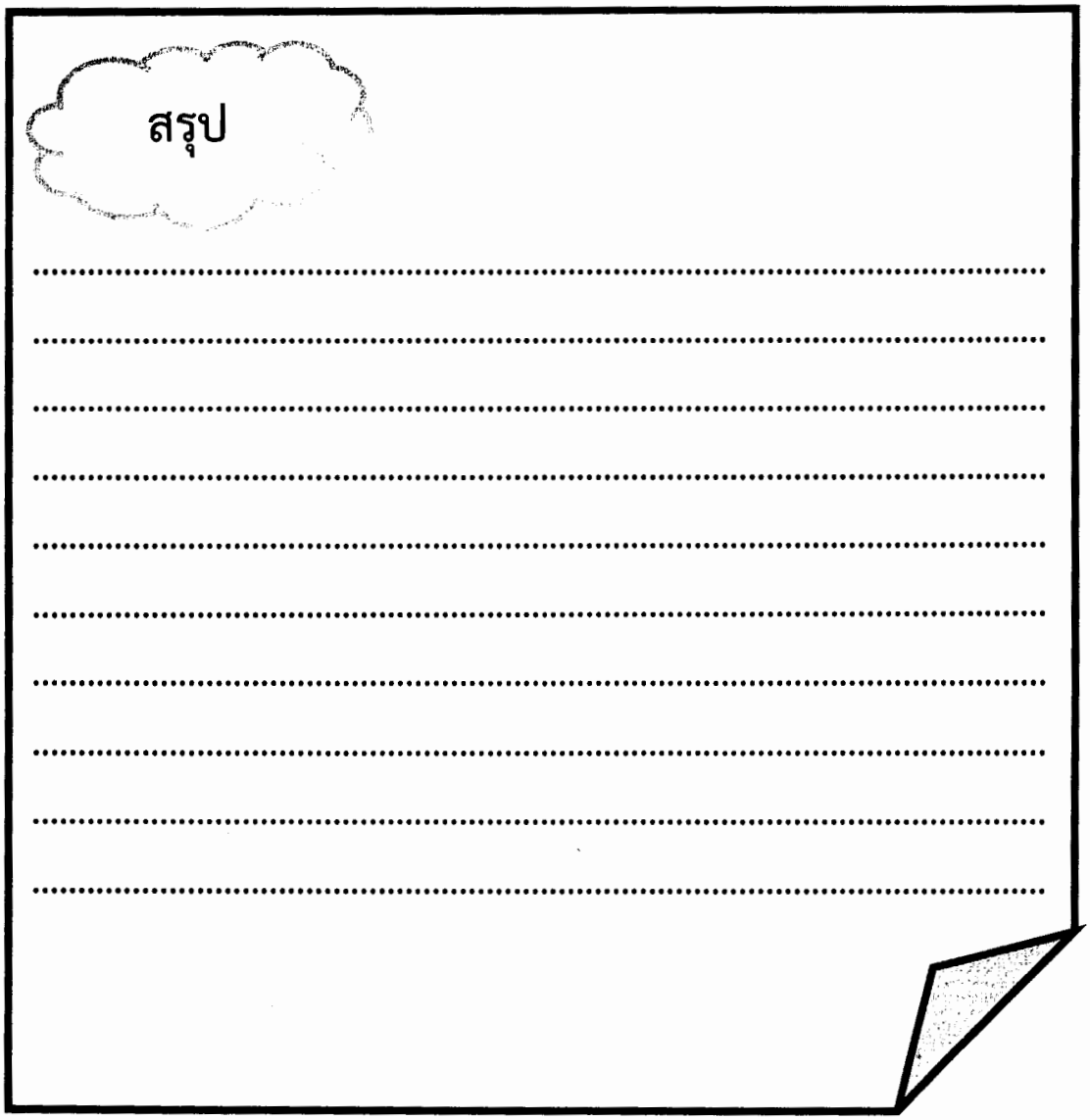


3. เปลี่ยนจุดที่ผูกเชือกเป็นจุดๆ C ดังรูป แล้วลากเส้นตรงตามแนวเส้นเชือก บันทึกผลการทดลอง



(ก)


บันทึกผล
การทดลอง
ให้วาดรูปแสดงจุดศูนย์ถ่วงพร้อมบอกสเกลวัดระยะจุดศูนย์ถ่วง


สรุป

สถานการณ์ปัญหาที่ 3

ชื่อกลุ่ม

3. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
4. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
5. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
6. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....
7. ชื่อ – สกุล .....ชั้น.....เลขที่.....

สถานการณ์ที่กำหนด

ต้องการสร้างสะพานที่มีเชือกเป็นส่วนประกอบในการรับน้ำหนัก และสามารถรองรับน้ำหนักให้ได้มากที่สุด นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรในการสร้างสะพาน

โดย

- สะพานจะต้องรองรับน้ำหนักสิ่งของที่วางอยู่ด้านบนของโต๊ะได้อย่างอิสระ
- ความสูงของสะพานไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร
- เมื่อวางสิ่งของลงบนสะพานจะต้องสามารถรับน้ำหนักได้อยู่ได้อย่างน้อย 2 นาที โดยไม่พัง
- กำหนดเวลาในการทำกิจกรรม 20 นาที

➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เงื่อนไข (Constraints) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

➢ จากสถานการณ์ดังกล่าว <u>เป้าหมายความต้องการ (Criteria) คือ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<u>แผนผัง concept</u>

➢ **หลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

จากสถานการณ์ดังกล่าว นักเรียนมีวิธีการในการสร้างสะพานที่มีความแข็งแรงได้อย่างไร ให้ออกแบบ และเขียนแรงที่กระทำ สร้าง ทดสอบ และแก้ไขปรับปรุงให้ได้สะพานที่ทรงพลังที่สุด โดยวาดภาพและบันทึกผลลงตารางดังต่อไปนี้

ทดลองครั้งที่	ภาพวาดการออกแบบ	น้ำหนักที่วางได้ (Kg)	ปัญหาที่พบ	การปรับปรุงแก้ไข

แบบประเมินการแก้ไขสถานการณ์

รายงาน	ปฏิบัติ	รวม

กลุ่มที่ .....

ชื่อสมาชิกในกลุ่ม 1. .....

2. .....

3. .....

4. .....

5. .....

วันที่ประเมิน .....

รายการที่ประเมิน	คะแนนที่ได้				หมายเหตุ
	4	3	2	1	
1. การออกแบบการแก้ไข					
2. การปฏิบัติการ					
3. การนำเสนอข้อมูล					
รวม					

ประเด็นที่ประเมิน	ระดับคะแนน
1. การออกแบบการแก้ไข	
- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการกำหนดวิธีการ ขั้นตอน และการใช้เครื่องมือ	1
- กำหนดวิธีการและขั้นตอนไม่ถูกต้อง ต้องให้ความช่วยเหลือ	2
- กำหนดวิธีการและขั้นตอนถูกต้อง การใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ยังไม่เหมาะสม	3
- กำหนดวิธีการขั้นตอนถูกต้อง เลือกใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเหมาะสม	4
2. การปฏิบัติการ	
- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์	1
- ต้องการใช้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองและการใช้อุปกรณ์	2
- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องถ้าให้คำแนะนำ	3
- ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง	4
3. การนำเสนอข้อมูล	
- ต้องให้ความช่วยเหลืออย่างมากในบันทึกผล สรุป ในชุดกิจกรรมและการนำเสนอ	1
- ต้องให้คำชี้แนะในการบันทึกผล สรุป ในชุดกิจกรรมและการนำเสนอจึงจะปฏิบัติได้	2
- บันทึกผล เขียนสรุป ในชุดกิจกรรม ถูกต้อง แต่การนำเสนอยังไม่เป็นขั้นเป็นตอน	3
- บันทึกผล เขียนสรุป ในชุดกิจกรรม ถูกต้องรัดกุม การนำเสนอเป็นขั้นเป็นตอนชัดเจน	4

แบบประเมินตนเองของผู้เรียน (self-assessment) ในการทำงานร่วมกันเป็นทีม

ชื่อ-สกุลนักเรียน .....ชั้น ม. ...../..... เลขที่ .....

คำชี้แจง

เมื่อนักเรียนอ่านข้อความและพิจารณาแล้วว่าข้อความนั้นตรงกับความคิดเห็นหรือความรู้สึกของนักเรียนระดับใด ให้ทำเครื่องหมาย √ ลงในระดับความคิดเห็นหรือความรู้สึกนั้น การประเมินนี้ไม่มีผลใดต่อผู้กรอกแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	1	2	3	4
1. การให้ความร่วมมือ				
2. การมีส่วนร่วม				
3. การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น				
4. การแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความรู้ความเข้าใจ				
5. การเป็นผู้นำ				
6. พฤติกรรมการทำงาน				

เกณฑ์การให้คะแนนในการประเมินตนเองของผู้เรียน (self-assessment) ในการทำงานร่วมกันเป็นทีม (เต็ม 24 คะแนน)

รายการประเมิน	คะแนนและคำอธิบายระดับศักยภาพในการทำงานเป็นทีม			
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน
การให้ความร่วมมือ	ฉันทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้ไม่ดี และ ไม่ได้ทำงานในส่วนใด ๆ ของโครงงานเลย	ฉันทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่มได้ดีเป็นบางเวลา และสมาชิกในกลุ่มเป็นคนทำงานเกือบทั้งหมด	ฉันทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่นในกลุ่มได้ดีเป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่ได้แบ่งรับงานมากเท่ากับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่ม	ฉันทำงานร่วมกับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่มได้ดีและได้แบ่งรับหน้าที่รับผิดชอบเท่ากับสมาชิกในทีมทุกคน
การมีส่วนร่วม	ฉันมีส่วนร่วมในการทำงานน้อย และ ในเวลาส่วนใหญ่ ฉันไม่ใส่ใจกับงาน	ฉันมีส่วนร่วมในการทำงานแต่พบว่าฉันเสียเวลากับการทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ และ ฉันพบว่า ฉันมีปัญหากับการให้	ฉันมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นส่วนใหญ่ และ ให้ความสนใจกับการทำงานบ่อยครั้ง	ฉันมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ และ ให้ความสนใจกับงานในช่วงเวลาการทำงานตลอด
การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น	ฉันมักไม่ใส่ใจรับฟังข้อเสนอและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่ม เพราะฉันมีแนวคิดของตนเองที่ต้องการนำเสนอให้ผู้อื่นได้รับฟัง	ฉันรับฟังข้อเสนอและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มบางครั้ง แต่ฉันกระตือรือร้นที่จำนำเสนอแนวคิดของตนเองและแทรก	ฉันรับฟังข้อเสนอและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มเป็นส่วนใหญ่ และใส่ใจกับเนื้อหาที่นำเสนอ	ฉันมีความใส่ใจและรับฟังข้อเสนอและข้อคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มก่อนที่จะเสนอแนวคิดหรือข้อคิดเห็นของตนเอง
การแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความรู้ความเข้าใจ	ฉันไม่เคยแสดงหรือสะท้อนความคิดเห็นของฉันให้สมาชิกคนอื่นในกลุ่มได้รับฟัง	ฉันแสดงหรือสะท้อนความคิดเห็นก็ต่อเมื่อมีสมาชิกในกลุ่มบอกให้ฉันทำ	ฉันเสนอหรือสะท้อนแนวคิดเชิงบวกและสร้างสรรค์บ่อยครั้ง	ฉันเสนอหรือสะท้อนแนวคิดเชิงบวกและสร้างสรรค์เป็นส่วนใหญ่

รายการประเมิน	คะแนนและคำอธิบายระดับศักยภาพในการทำงานเป็นทีม			
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน
การเป็นผู้นำ	ฉันชอบที่จะเป็นผู้ตามในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของการทำงาน และไม่พร้อมที่จะรับบทบาทเป็นผู้นำ	ฉันสามารถรับบทบาทเป็นผู้นำ แต่ชอบที่จะดำเนินการด้วยตนเองมากกว่า	ฉันพร้อมที่จะรับบทบาทในการเป็นผู้นำในการทำงานส่วนใหญ่	ฉันพร้อมที่จะรับบทบาทในการเป็นผู้นำในการทำงานส่วนหนึ่งส่วนใดทุกครั้ง และช่วยให้สมาชิกในกลุ่มได้มีส่วนร่วม
พฤติกรรมการทำงาน	ฉันพยายามแต่ต้องได้รับการบอกกล่าวและย้ำเตือนเป็นประจำ ให้ทำงานให้เสร็จและทันเวลาที่กำหนด	ฉันได้รับการบอกกล่าวและย้ำเตือนจากสมาชิกในกลุ่มหลายครั้งในการทำงานให้เสร็จและทันเวลาที่กำหนด	ฉันใส่ใจกับการทำโครงงาน โดยได้รับการบอกกล่าวและย้ำเตือนบ้างเป็นบางครั้ง	ฉันใส่ใจกับการทำโครงงานตลอดเวลา โดยไม่ต้องให้มีการบอกกล่าวหรือย้ำเตือน และ ฉันส่งเสริมให้สมาชิกในกลุ่ม

ภาคผนวก ข
คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ ข.1 คะแนนดิบจากแบบทดสอบก่อนเรียน–หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

เลขที่	ชื่อ – สกุล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ความก้าวหน้า	
				คะแนน	ร้อยละ
1	นายพีรวรรธก์ เจริญศิริ	8	19	9	73
2	นายสหรัฐ วรรณโท	15	24	11	50
3	นายณัฐชานนท์ ค้ามีผล	11	21	10	63
4	นายสุรวุฒิ สุขสุเมฆ	10	24	14	67
5	เด็กชายจิตรกร ขายม	15	27	12	50
6	นายฐนกร ขจัดพาล	13	21	11	57
7	นายธนพัฒน์ บุญศรี	7	18	8	77
8	เด็กชายธีรัช วรจริยาสกุล	11	21	10	63
9	นายเดชไชยนันท์ สอนโกษา	11	25	14	63
10	นายพีระศักดิ์ พลโยธา	12	27	15	60
11	นายสุปรีดิ์ ตรีสอน	10	24	14	67
12	นายปฏิพัทธ์ ลัทธิวรรณ	17	27	10	43
13	เด็กชายพงศธร ลุนบง	8	15	7	73
14	เด็กชายภูริชา พันธ์วงศ์	19	25	12	37
15	นายวรภาศ คำทองดี	18	27	8	40
16	เด็กชายศักดิ์รพี นามศักดิ์	18	24	6	40
17	เด็กหญิงกุลภัสสร์ แก่นนาคำ	14	22	9	53
18	นางสาวชุติกาญจน์ อามาตย์	9	21	6	70
19	นางสาวพัทธวรรณ ภูมิเวียงศรี	12	27	15	60
20	เด็กหญิงสุชัญญา ฤๅชา	15	26	11	50
21	นางสาวณัฐกานต์ คลังกลาง	12	24	12	60
22	เด็กหญิงมาริษา ศรีภา	9	23	14	70
23	นางสาวศุภัชญา สนอุป	11	27	16	63
24	นางสาวชุตินันท์ ศรีสุมัง	10	27	17	67
25	นางสาวณิชกานต์ เผ่าวงศา	8	24	16	73
26	เด็กหญิงพลอย หลิน	8	24	9	73
27	นางสาววิชญานี เมืองโคตร	12	24	11	50

ตารางที่ ข.1 คะแนนดิบจากแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (ต่อ)

เลขที่	ชื่อ – สกุล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ความก้าวหน้า	
				คะแนน	ร้อยละ
28	นางสาวเก็จมณี ไสยกิจ	14	27	16	73
29	นางสาวชลนิกานต์ ชำนาญไพร	15	26	12	60
30	เด็กหญิงพัชริญาน์ โชติฐิติพัทธ์	14	21	13	53
31	เด็กหญิงภัททิยา พันตาเอก	12	23	11	50
32	นางสาวศิริลักษณ์ แสงบุตร	13	24	7	53
33	นายจักรี ศรีวิชา	9	21	11	60
34	นายณัฐพล ราชพิลา	10	27	11	57

ตารางที่ ข.2 ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องสภาพสมดุล

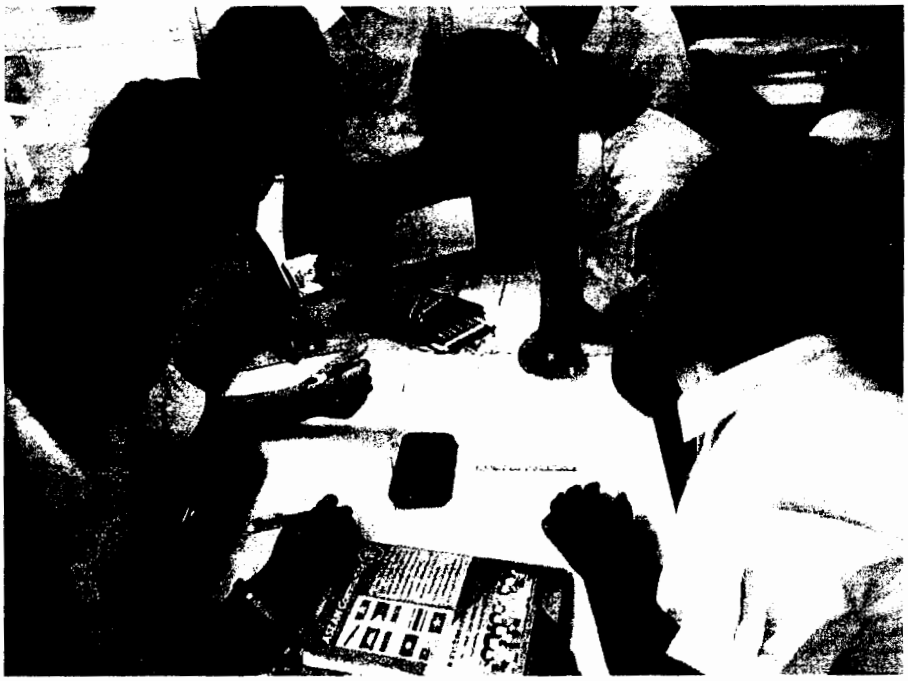
ข้อที่	ผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ			ผลรวมของคะแนน	ค่า IOC	ผลการพิจารณา
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
2	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
3	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
5	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
6	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
7	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
8	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
9	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
10	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
11	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
12	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
13	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
14	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
15	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
16	1	0	0	1	0.33	ปรับปรุง
17	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
18	1	0	0	1	0.33	ปรับปรุง
19	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
20	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้

ตารางที่ ข.2 ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องสภาพสมดุล (ต่อ)

ข้อที่	ผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ			ผลรวมของคะแนน	ค่า IOC	ผลการพิจารณา
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
21	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
22	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
23	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
24	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
25	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
26	1	0	0	1	0.33	ปรับปรุง
27	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
28	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
29	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
30	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้

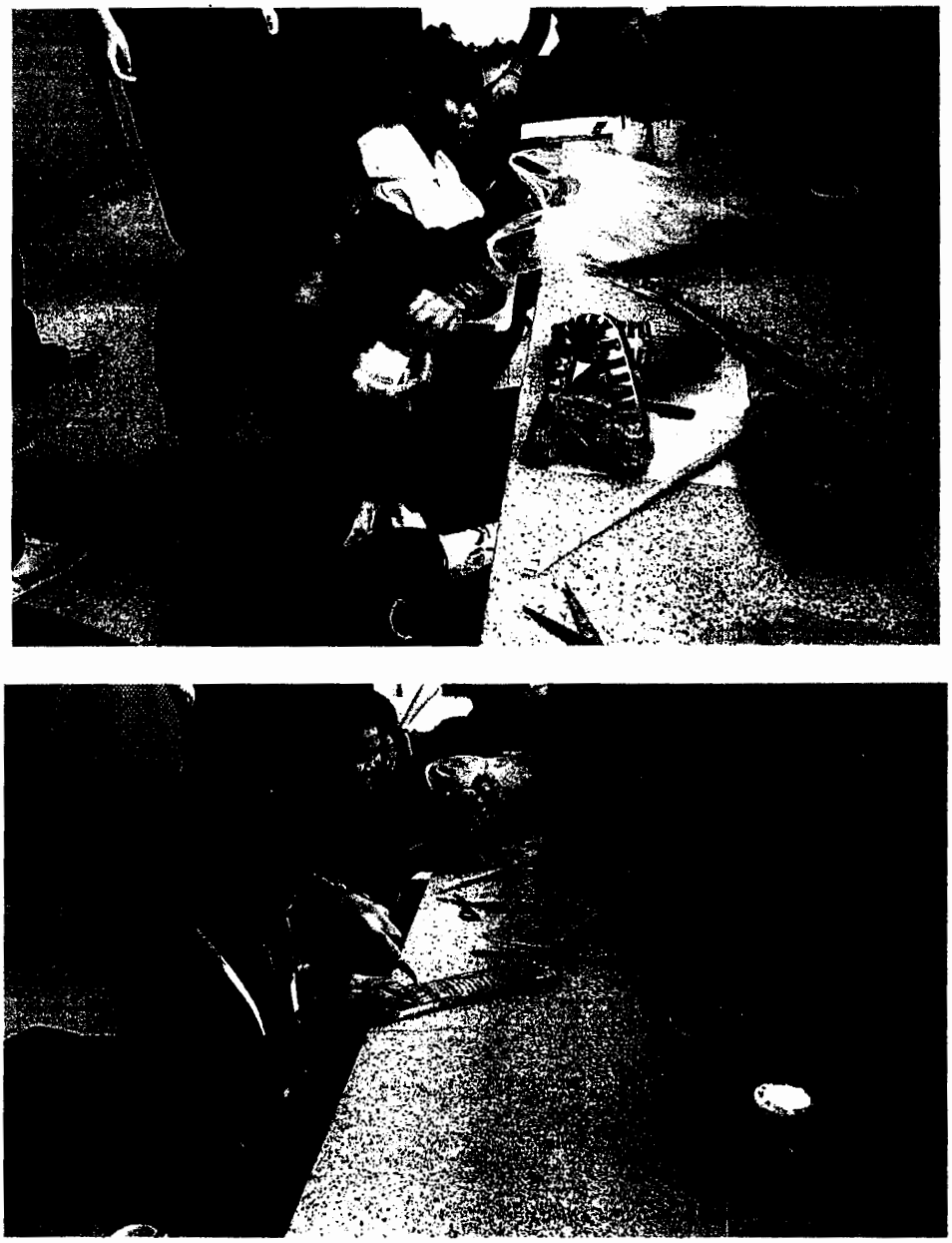
ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน



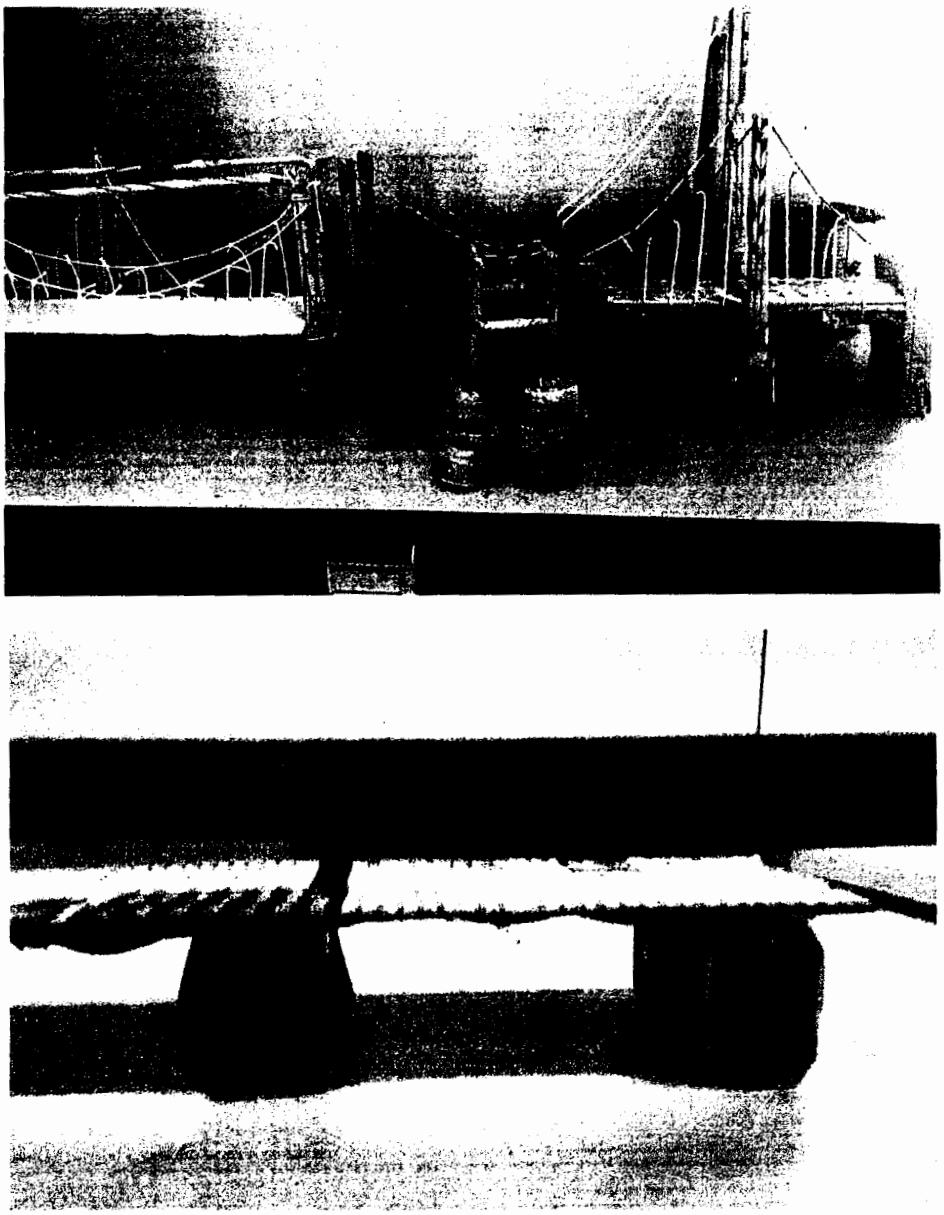
ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน

ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน (ต่อ)



ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน (ต่อ)

ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน (ต่อ)



ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน (ต่อ)

ภาพที่ ค.1 การทำกิจกรรมการทดลองของนักเรียน (ต่อ)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางปิยวรรณ มัธยมนันทน์
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2547 – 2550
	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2551
	ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู
	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2556 – 2559
	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2552 – 2555
	ครูโรงเรียนโพนทองวิทยายน
	อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด
	พ.ศ. 2555–ปัจจุบัน
	ครูโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ตำแหน่ง	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนโพนทองวิทยายน
	อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด
	อีเมล์ belle_piya@hotmail.com