การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในห้องเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

Model Analysis Evaluation of the Just-in-Time Teaching Approach Integrated into Lecture Classes on the Newton's 1st and 2nd Laws of Motion Concept

ศุภโชค พุทธิสารวิมล

Supachoke Puttisanwimon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Physics
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในห้องเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

Model Analysis Evaluation of the Just-in-Time Teaching Approach Integrated into Lecture Classes on the Newton's 1st and 2nd Laws of Motion Concept

ศุภโชค พุทธิสารวิมล
Supachoke Puttisanwimon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Physics
Prince of Songkla University
2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในห้องเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2
ผู้เขียน นายศุภโชค พุทธิสารวิมล
สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา รักกะเปา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุระ วุฒิพรหม)

.....กรรมการ
(ดร.ปภาวี ฟาน โดมเมเลน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา รักกะเปา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา รักกะเปา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายศุภโชค พุทธิสารวิมล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายศุภโชค พุทธิสารวิมล)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในห้องเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2
ผู้เขียน นายศุภโชค พุทธิสารวิมล
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) ที่ใช้ร่วมกับการสอนแบบบรรยายในห้องเรียนขนาดใหญ่ สำหรับนักศึกษาระดับมหาวิทยาลัยชั้นปีที่ 1 เพื่อปรับแก้ความเข้าใจผิดและส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 และประเมินด้วยเทคนิค model analysis วิธีการสอนนี้อาศัยเทคโนโลยีด้านเว็บไซต์เพื่อสำรวจความเข้าใจเดิมของผู้เรียนก่อนเรียนด้วยคำถาม Warm Up, การจัดกิจกรรมแบบ active learning ในชั้นเรียน และการตรวจสอบความเข้าใจหลังเรียนด้วยคำถาม Puzzles กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2556 จำนวน 567 คน (เพศชาย 24%) ประเมินความเข้าใจเนื้อหาก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) จำนวน 43 ข้อ ผลการวิจัยพบว่าหลังการเรียนการสอนด้วยวิธีการนี้ นักศึกษาได้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (10.60±4.68) สูงกว่าก่อนเรียน (8.56±3.40) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (วิเคราะห์ด้วย paired samples t-test) แต่จากการวิเคราะห์ค่า normalized gain พบว่าหลังเรียนโดยเฉลี่ยผู้เรียนมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น (learning gain) ในระดับต่ำ ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$ =0.04±0.01) เมื่อพิจารณาสถานะทางความคิด (model state) ของผู้เรียนด้วยเทคนิค model analysis ที่อาศัยแนวคิดทางกลศาสตร์ควอนตัมเชิงเมทริกซ์ พบว่า หลังเรียนนักศึกษาเลือกใช้ model ที่ถูกต้องมากขึ้น และเลือกใช้ model ที่ผิดเท่าเดิม แต่อย่างไรก็ตาม model state ของผู้เรียนจากก่อนไปหลังเรียนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก อีกทั้งยังคงอยู่ในบริเวณ incorrect region ดังนั้นวิธีการสอนนี้จึงควรได้รับการพัฒนาให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้นสำหรับห้องเรียนฟิสิกส์ขนาดใหญ่

Thesis Title Model Analysis Evaluation of the Just-in-Time Teaching Approach Integrated into Lecture Classes on the Newton's 1st and 2nd Laws of Motion Concept
Author Mr.Supachoke Puttisanwimon
Major Program Physics
Academic Year 2013

ABSTRACT

This research aims to develop a Just-in-Time Teaching (JiTT) approach integrated into physics lecture classes to promote freshmen understanding on the Newton's 1st and 2nd laws of motion and to evaluate the approach using the model analysis technique. JiTT is one of active learning instructional methods in Physics Education Research (PER) composing of the web-based questions, and the classroom activities based on learners' prior knowledge. This research studied the use of JiTT in physics lecture of the 567 freshmen of faculty of Science (24% male), Prince of Songkla University in academic year 2013. The pre- and post-tests were based on the well-known research-based multiple choice test of the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE). Results revealed that the post-test mean score (10.60±4.68) was greater than the pre-test mean score (8.56±3.40), proved by the paired samples t-test at 0.05 significant level. The average normalized gain improvement ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$) of the Newton 1st and 2nd laws of motion was 0.04±0.01. It was classified as the low learning gain. The students' mental models of this concept were estimated via the model analysis technique based on the matrix mechanics of quantum physics. It exposed that after the instruction, there was a greater number of students who applied the correct model; and the same number of students, who applied the incorrect model. However, the model state shift of students was small and entire models were in the incorrect model region. It indicates that more interactive instructional materials and activities are still needed in the JiTT approach which mixed in large physics lecture classes to enhance students understanding and achieving a greater learning gain.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา รักกะเปา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยและให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมาจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางเพิ่มเติมในการทำงานวิจัยให้ลุล่วงไปได้อย่างราบรื่น และกรุณารับเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.สุระ วุฒิพรหม ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง ดร.ปภาวี ฟาน โดมเมเลน ที่รับเป็นกรรมการสอบและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพล ศรีแก้ว, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตนนท์ บูรณชัย, ดร.ฉลองรัฐ แดงงาม และ ดร.สุรีรัตน์ หอมหวล ที่ให้ความกรุณารับเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย รวมทั้งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2555 และ 2556 ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างดำเนินการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ประจำปีการศึกษา 2556 โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการเข้าร่วมทดลองใช้เครื่องมือวิจัยในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย รวมถึงญาติพี่น้องทุกคนที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ทั้งด้านการศึกษาและการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณ นายอุทิศ คงอนุวัฒน์ ผู้อำนวยการโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา ที่เห็นความสำคัญของการศึกษาและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้รับการศึกษาต่อในระดับปริญญาโทครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนทั้งภาควิชาฟิสิกส์และต่างภาควิชาที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกเรื่องอย่างดีตลอดมา

ศุภโชค พุทธิสารวิมล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษา	4
2.2 แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE)	4
2.3 วิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)	6
2.4 Normalized gain	7
2.5 Model analysis	11
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างและประเมินเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	18
3.1.1 แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE)	18
3.1.2 วิธีการสอน Just-in-Time Teaching (JiTT)	19
3.2 การดำเนินการวิจัย	25
3.2.1 กลุ่มตัวอย่าง (samples)	25
3.2.2 บริบทของงานวิจัย (research contexts)	25
3.2.3 การดำเนินการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT	25
4. ผลการดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลของชุดคำถาม Puzzle	31
4.2 ผลของแบบประเมินความเข้าใจเรื่องและการเคลื่อนที่ (FMCE)	34
4.2.1 T-test	34
4.2.2 Normalized gain	34
4.2.3 Model analysis	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการวิจัย
   5.1 สรุปผลการวิจัย 42
   5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 43
   5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 43
บรรณานุกรม 44
ภาคผนวก
   ภาคผนวก ก. แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) 50
   ภาคผนวก ข. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือวิจัย 57
   ภาคผนวก ค. แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบ 58
   ภาคผนวก ง. LMS@PSU E-Learning Management System 61
   ภาคผนวก จ. แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT 68
   ภาคผนวก ฉ. สื่อการสอนด้วยวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) 82
   ภาคผนวก ช. การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (SPC2013) 90
   ภาคผนวก ซ. การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (ICPE2013) 96
ประวัติผู้เขียน 106

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กลุ่มคำถามของ FMCE แบ่งตามกลุ่มเนื้อหา (content cluster)	5
3.1	(ก) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบบทความ (สถานการณ์ยานอวกาศ)	27
3.1	(ข) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบการประมาณ (สถานการณ์กล่องไม้)	27
3.1	(ค) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบตัวเลือก (สถานการณ์รถยนต์และรถบรรทุก)	27
3.2	(ก) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบบทความ (สถานการณ์ลูกเทนนิส)	28
3.2	(ข) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบการประมาณ (สถานการณ์นักกระโดดร่ม)	29
3.2	(ค) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบตัวเลือก (สถานการณ์ลิฟต์)	29
4.1	ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถาม Puzzle (สถานการณ์นักสเก็ตน้ำแข็ง)	31
4.2	ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถาม Puzzle (สถานการณ์กล่องบนพื้นเอียง)	32
4.3	การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยาย ที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT (คะแนนเต็ม 43 คะแนน)	34
4.4	การจัดกลุ่มคำถามข้อที่ 1-21 ในแบบประเมินความเข้าใจ FMCE ตามเนื้อหา	36
4.5	ผลลัพธ์ของ class model density matrix, eigenvalues, eigenvectors และองค์ประกอบพิกัดของ class model point ใน model plot ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT	38
4.6	ผลลัพธ์ของ class model density matrix, eigenvalues, eigenvectors และองค์ประกอบพิกัดของ class model point ใน model plot ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ	39

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	พีระมิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)	6
2.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\%\langle G \rangle$ กับคะแนนทดสอบก่อนเรียน (pre-test) ของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาในงานวิจัยของ Hake ปี 1998	9
2.3	แผนผังกระบวนการสร้างรูปแบบความคิด โดยมีรูปแบบความคิดทั้งหมด w รูปแบบที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหานั้นๆ (Model 1, Model 2, ..., Model w) และ q_1, q_2,...,q_w เป็นความน่าจะเป็นที่นักเรียนจะถูกกระตุ้นให้ใช้รูปแบบความคิดแบบต่างๆ	12
2.4	ปริภูมิของรูปแบบความคิด 3 รูปแบบที่แทนด้วยเวกเตอร์รูปแบบที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน	12
2.5	Model plot และขอบเขตพื้นที่ต่างๆ ของกราฟรูปแบบความคิด	15
2.6	แผนภาพแสดง (ก) model projection angle และ (ข) angular distribution plot	16
3.1	ชุดคำถาม Warm Up สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	20
3.2	ชุดคำถาม Warm Up สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	21
3.3	ชุดคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	22
3.4	ชุดคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	22
3.5	ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ของระบบ LMS@PSU ในงานวิจัยนี้	24
3.6	ตัวอย่างสื่อการเรียนการสอนที่ใช้ในวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในงานวิจัยนี้ (ก) วีดิทัศน์, (ข) สื่อการทดลองเสมือน และ (ค) สื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว	25
3.7	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) ในงานวิจัยนี้	26
4.1	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการตอบถูกก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน และผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$) ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT	35
4.2	กราฟรูปแบบความคิด (model plot) ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้งชั้นเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture) และการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในหัวข้อย่อยเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ผลคะแนนจากการทดสอบการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (Ordinary National Education Test: O-NET) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ประจำปีการศึกษา 2551-2554 ประมาณ 300,000 คนทั่วประเทศต่อปี แสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีผลการเรียนรู้รายวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับต่ำ คะแนนเฉลี่ยแต่ละปีต่ำกว่าร้อยละ 40 และลดลงทุกปี เมื่อพิจารณาในสาระที่เกี่ยวกับรายวิชาฟิสิกส์ พบว่า สาระเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ นักเรียนได้คะแนนต่ำสุด โดยคะแนนเฉลี่ยทุกปีต่ำกว่าร้อยละ 35 (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2555; Usawinchai, 2003) เนื่องจากความรู้ที่ติดตัวนักเรียนมาจากระดับมัธยมศึกษามีผลต่อการเรียนรู้ในระดับมหาวิทยาลัย (Fisher, 2004; Halloun and Hestenes, 1985; Pablico, 2010; Usawinchai, 2003) ดังนั้นความเข้าใจในระดับต่ำของนักเรียนไทยเรื่องแรงและการเคลื่อนที่อาจจะเป็นปัญหาในการเรียนเรื่องนี้และเนื้อหาอื่นที่เกี่ยวข้องในระดับมหาวิทยาลัยได้

ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้สำรวจความเข้าใจของนักศึกษาเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ โดยใช้แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) ซึ่งเป็นแบบประเมินมาตรฐานจากงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (Physics Education Research: PER) (Beichner, 2009; Davenport, 2008; Thornton et al., 2009; Thornton and Sokoloff, 1998; Ramlo, 2008) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2555 จำนวน 420 คน ที่ลงเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน 1 สำรวจก่อนการเรียนการสอนหัวข้อนี้ในระดับมหาวิทยาลัย แบบประเมิน FMCE ที่ใช้มีจำนวน 43 ข้อ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มเนื้อหา ได้แก่ ความเร็ว, ความเร่ง, กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 และ กฎของนิวตันข้อที่ 3 (Smith and Wittmann, 2008) ผลการสำรวจพบว่า นักศึกษาได้คะแนนเฉลี่ยเพียงร้อยละ 21 ตัวอย่างความเข้าใจผิดที่พบ เช่น นักศึกษาร้อยละ 70 คิดว่าวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัวมีแรงกระทำขนาดคงตัวทิศไปทางขวา, นักศึกษาร้อยละ 90 เชื่อว่าเมื่อโยนวัตถุขึ้นไปในอากาศ ณ จุดสูงสุดก่อนวัตถุตกลงมาไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ, และนักศึกษาร้อยละ 60 เข้าใจว่ารถยนต์ที่กำลังดันรถบรรทุกแต่ไม่สามารถทำให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ได้เป็นเพราะแรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาดน้อยกว่าแรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับมาเป็นต้น อีกทั้งยังพบว่า หลังการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture) นักศึกษาได้คะแนนเฉลี่ยเพียง ร้อยละ 30 โดยเนื้อหาย่อยของเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ที่นักศึกษามีความเข้าใจผิด

มากที่สุดทั้งก่อนและหลังเรียน คือ เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 โดยได้คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 20 (Puttisanwimon, Rakkapao and Pengpan, 2013)

ความเข้าใจผิดเหล่านี้เป็นผลมาจากประสบการณ์ของผู้เรียนและกระบวนการเรียนการสอนในอดีต (Redish, 2003) ทั้งนี้หากต้องการปรับแก้ความเข้าใจผิดและส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ผู้สอนควรสร้างวิธีการสอนที่เน้นให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมและลงมือทำเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่ถูกต้องได้ด้วยตนเองตามทฤษฎีการเรียนรู้ constructivism วิธีการสอนนี้เรียกว่า “active learning method” (Cachman and Eschenbach, 2003; Meltzer and Thornton, 2012; Sokoloff and Thornton, 2004) วิธีการสอนแบบ active learning มีหลายแบบขึ้นกับผู้เรียนและบริบทของห้องเรียน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) ซึ่งเป็นวิธีการสอนแบบ active learning หนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในห้องเรียนขนาดใหญ่ในระดับอุดมศึกษาที่ต้องอาศัยการสอนแบบบรรยายเป็นพื้นฐาน วิธีการสอนแบบ JiTT นี้จะใช้เว็บไซต์สำรวจและเก็บข้อมูลความเข้าใจของผู้เรียนก่อนเรียน แล้วนำผลที่ได้มาแปลความเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในห้องเรียนซึ่งเหมาะกับบริบทของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนการเรียนการสอนโดยใช้ระบบออนไลน์ LMS@PSU ในปัจจุบัน

สำหรับการประเมินวิธีการสอนนั้น นอกจากจะใช้สถิติพื้นฐานในงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา ได้แก่ การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของคะแนนด้วย t-test และการคำนวณผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นด้วย normalized gain (Hake, 1998; Engelhardt, 2009; ธงไชย และคณะ, 2550) แล้วผู้วิจัยจะวิเคราะห์สถานะของรูปแบบความคิด (model state) ของผู้เรียน โดยการประมาณรูปแบบความคิด (model estimation) ด้วยเทคนิค model analysis (Hammer, 1996; Bao and Redish, 2001, 2006; Bao, Hogg and Zollman, 2002; CadwalladerOlsker, 2009) ที่อาศัยแนวคิดทางกลศาสตร์ควอนตัมเชิงเมทริกซ์ ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ในงานวิจัย PER ที่จะช่วยให้ผู้สอนทราบสถานะของรูปแบบความคิดของผู้เรียนเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างหรือประเมินวิธีการสอนต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจที่จะสร้างวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT สำหรับหัวข้อย่อยเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นหัวข้อที่นักศึกษามีความเข้าใจผิดมากที่สุดสำหรับนักศึกษาระดับมหาวิทยาลัยชั้นปีที่ 1 เก็บข้อมูลก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบประเมินความเข้าใจ FMCE และประเมินวิธีการสอนโดยอาศัยการวิเคราะห์สถานะของรูปแบบความคิดของผู้เรียนด้วยเทคนิคใหม่ คือ model analysis

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) เพื่อใช้ในชั้นเรียนขนาดใหญ่สำหรับหัวข้อย่อยเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการสอนที่สร้างขึ้นโดยการประมาณรูปแบบความคิด (model estimation) โดยอาศัยเทคนิค model analysis

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สร้างวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) เพื่อปรับแก้ความเข้าใจผิดและส่งเสริมการเรียนรู้ในหัวข้อย่อยเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2556 (อาศัยผลการศึกษาจากปีการศึกษา 2555)

2. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ paired sample t-test, average normalized gain และประมาณรูปแบบความคิด (model estimation) ด้วยเทคนิค model analysis

3. เปรียบเทียบสถานะทางความคิด (model state) ของผู้เรียนที่เปลี่ยนไประหว่างการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture) กับการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเข้าใจผิด (misconception) ของผู้เรียนในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่และหัวข้อย่อยที่ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดมากที่สุดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างกระบวนการเรียนการสอน

2. ได้วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching

3. ทราบสถานะของรูปแบบความคิด (model state) เพื่อนำไปสู่การพัฒนาวิธีการสอนและสื่อการสอนต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษา

งานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (Physics Education Research: PER) เริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณ 30 กว่าปีที่แล้ว โดยกลุ่มคณาจารย์ฟิสิกส์จากหลายมหาวิทยาลัยในสหรัฐอเมริกา เช่น University of Washington, North Carolina State University, University of Maryland จนกระทั่งปี ค.ศ. 1995 PER ถูกจัดให้เป็นงานวิจัยสาขาหนึ่งของฟิสิกส์อย่างเป็นทางการ (Beichner, 2009; Beichner et al., 1995; Cummings, 2011; McDermott and Redish, 1999) ปัจจุบัน PER ได้รับความสนใจมากขึ้นจากนักวิจัยของหลายมหาวิทยาลัยทั่วโลก รวมถึงบุคคลสำคัญในวงการฟิสิกส์ที่หันมาทำงานวิจัย PER เช่น Carl E. Weiman นักฟิสิกส์รางวัลโนเบล ปี 2001 (Rockefeller et al., 2011)

วัตถุประสงค์สำคัญของ PER คือ การแก้ปัญหาการเรียนการสอนฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัยและส่งเสริมให้นักศึกษาเรียนรู้ฟิสิกส์ได้ดียิ่งขึ้น โดยอาศัยกระบวนการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ลักษณะงานวิจัย PER มี 4 ประเภท ได้แก่ (Beichner, 2009; Jairuk, 2007)

(1) การศึกษาและประเมินความเข้าใจแนวคิดหลักหรือทัศนคติของผู้เรียน

(2) การสร้างสื่อการเรียนการสอน

(3) การออกแบบและพัฒนาวิธีการสอน

(4) การพัฒนาวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

สำหรับในประเทศไทย งานวิจัย PER ที่ทำโดยคณาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์นั้นเริ่มมีเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา โดยมีในหลายมหาวิทยาลัย ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหิดล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปัจจุบันงานวิจัย PER ในประเทศไทยได้รับความแพร่หลายมากขึ้น (Soankwan et al., 2007)

2.2 แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE)

ในงานวิจัย PER การตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดหลัก (concept) ในเนื้อหาฟิสิกส์ของผู้เรียนจะอาศัยเครื่องมือมาตรฐานที่ได้จากงานวิจัย (research-based instruments) สำหรับเนื้อหากลศาสตร์ มีการสร้างเครื่องมือประเภทนี้ขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1985 โดย Halloun และ Hestenes เรียกว่า Mechanics Diagnostic test (MD) แต่ด้วยข้อความที่ใช้ไม่กระชับชัดเจนบางข้อ

จึงได้มีการพัฒนาเป็น Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) ทั้งนี้พบว่าตัวเลือกคำตอบของ FCI ไม่ครอบคลุมแนวคิดทั้งหมดที่เป็นไปได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 จึงมีการนำข้อมูลผลงานวิจัยจากข้อสอบ FCI มาปรับสร้างข้อสอบชุดใหม่ เรียกว่า แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) โดย Ron Thornton และ David Sokoloff ซึ่งแบบประเมินนี้มีลักษณะเป็นคำถามแบบ 5-7 ตัวเลือก จำนวน 47 ข้อ โดยตัวเลือกเหล่านี้สร้างมาจากกลุ่มคำตอบส่วนใหญ่ของผู้เรียนจากการใช้คำถามนี้เป็นคำถามแบบปลายเปิด อีกทั้ง FMCE ยังมีตัวเลือก j ไว้สำหรับกรณีที่ผู้ตอบคิดว่าไม่มีตัวเลือกใดตรงกับที่ตนเองคิด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 30 นาทีในการทำ FMCE (Thornton and Sokoloff, 1998; Thornton et al., 2009) ซึ่ง FMCE สามารถแบ่งตามกลุ่มเนื้อหา (content cluster) ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มคำถามของ FMCE แบ่งตามกลุ่มเนื้อหา (content cluster) (Smith and Wittmann, 2008)

กลุ่มเนื้อหา (content cluster)	**คำถามข้อที่**
แรง (กฎนิวตันข้อที่ 1 และ 2)	1-4, 7-14, 16-21
ความเร่ง	22-29
กฎนิวตันข้อที่ 3	30-32, 34, 36, 38
ความเร็ว	40-43
พลังงาน*	44-47

หมายเหตุ *ในงานวิจัยนี้ไม่พิจารณาเรื่องพลังงาน จึงใช้คำถามเพียง 43 ข้อ (คำถามข้อที่ 1-43)*

แบบประเมิน FMCE มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงาน PER (Thornton and Sokoloff, 1998; McDermott and Redish, 1999; Thornton, Cummings and Marx, 2009) ในปี 2008 ได้มีการประเมิน FMCE ทั้งความเที่ยงตรง (validity) จากผู้เชี่ยวชาญซึ่งพบว่ามีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ระดับดีมากและความน่าเชื่อถือ (reliability) จากการทดสอบโดยใช้สถิติ Cronbach alpha พบว่ามีค่าสูงถึง 0.91 จากผลทดสอบหลังเรียน (Ramlo, 2008) สำหรับในประเทศไทย ตัวอย่างงานวิจัยที่นำ FMCE มาใช้ เช่น ในปี 2008 พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์ ใช้แบบประเมิน FMCE เก็บข้อมูลกับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 1 เพื่อใช้ประเมินสถานะทางความคิดเรื่องกลศาสตร์ด้วยเทคนิค model analysis, ปี 2010 เดชา ศุภพิทยาพรณ์ และคณะ ใช้ FMCE ประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการสอนแบบ Peer instruction ที่ผสมวิธีแบบสืบสวน (inquiry method)

และวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional instruction) ด้วย normalized gain, และงานวิจัยของ อัมพร วัจนะและนฤมล เอมะรัตต์ ในปี 2011 ใช้ FMCE ประเมินความเข้าใจของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 เปรียบเทียบกับการใช้แบบประเมิน MPEX (Maryland Physics Expectations) เพื่อประเมินความคาดหวังในการเรียนฟิสิกส์ เป็นต้น

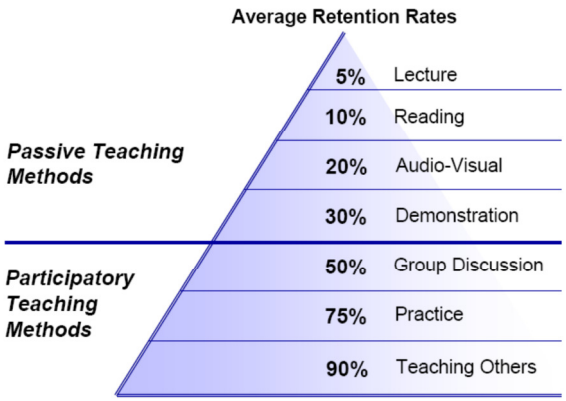
2.3 วิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)

Just-in-Time Teaching (JiTT) เป็นวิธีการสอนที่มีการสำรวจความเข้าใจก่อนเรียนของผู้เรียนโดยใช้คำถามที่นำไปไว้บนเว็บไซต์และมีการจัดกิจกรรมการเรียนแบบ active learning ในห้องเรียนโดยอาศัยผลการสำรวจนั้น วิธีการสอนแบบ JiTT พัฒนาขึ้นโดย Gregor Novak และ Andy Gavrin จาก Indiana University-Purdue University Indianapolis (IUPUI) และ Evelyn Patterson จาก U.S. Air Force Academy ในปี 1999 วิธีการนี้มีแนวคิดด้านกระบวนการรับรู้ที่เป็นพื้นฐานสำคัญสองประการ นั่นคือ

(1) ผู้เรียนจะเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากถูกกระตุ้นความคิดอย่างเหมาะสม

(2) ผู้สอนจะสอนอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากทราบสิ่งที่ผู้เรียนรู้

วิธีการสอนแบบ JiTT เป็นหนึ่งในวิธีการสอนแบบ active learning ตามทฤษฎีการเรียนรู้แบบ constructivism ที่มีแนวคิดว่า การเรียนรู้เกิดขึ้นเมื่อผู้คนมีปฏิสัมพันธ์กัน ความรู้ของแต่ละบุคคลต้องสร้างขึ้นเองไม่สามารถส่งผ่านกันได้ สำหรับวิธีการที่ทำให้เกิดการเรียนรู้และการรับรู้ของผู้เรียนแสดงได้ด้วยพีระมิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (Lalley and Miller, 2007)



รูปที่ 2.1 พีระมิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)

จากพีระมิดแห่งการเรียนรู้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเรียนการสอนที่แตกต่างกันมีผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนแตกต่างกันด้วย โดยพบว่าวิธีการสอนแบบที่ผู้เรียนมีหน้าที่เป็นเพียงผู้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว (passive teaching methods) เปอร์เซ็นต์ความเข้าใจที่เหลือเฉลี่ยหลังเรียน (average retention rates) มีค่าน้อยกว่า 50% ได้แก่ วิธีการสอนแบบบรรยาย, การอ่าน, การดูโสตทัศน์ และ การดูการสาธิต ในขณะที่วิธีการสอนแบบ active learning ที่ผู้เรียนมีส่วนร่วม (participatory teaching methods) พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเข้าใจที่เหลือเฉลี่ยหลังเรียนมีค่ามากกว่า 50% ได้แก่ การอภิปราย, การฝึกปฏิบัติจริง และการสอนผู้อื่น สำหรับวิธีการสอนแบบ JiTT จะเน้นการใช้ความรู้เดิมที่ติดตัวผู้เรียนมาใช้อภิปรายร่วมกันในห้องเรียน

วิธีการสอนแบบ JiTT มีขั้นตอนดังนี้ (Novak, 1999)

(1) ผู้สอนออกแบบคำถามที่เรียกว่า warm up แล้วนำไปไว้บนเว็บไซต์

(2) ผู้เรียนเข้ามาตอบ warm up และส่งไปยังผู้สอนผ่านทางระบบเว็บไซต์ภายในเวลาที่ผู้สอนกำหนดก่อนการเรียนในหัวข้อนั้น

(3) ผู้สอนเก็บรวบรวมและแปลความข้อมูลที่ได้ และใช้เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมในห้องเรียน

(4) ผู้เรียนและผู้สอนทำกิจกรรมและอภิปรายผลร่วมกัน

(5) หลังเรียน ผู้สอนนำคำถามเสริมความเข้าใจและมีความซับซ้อนของบริบทมากขึ้น เรียกว่า puzzle ไปไว้บนเว็บไซต์ให้ผู้เรียนเข้ามาตอบเช่นเดิม เพื่อดูผลหลังการทำกิจกรรม

จุดเด่นของวิธีการสอนแบบ JiTT คือ

(1) วิธีการสอนนี้มีการสำรวจความรู้เดิมที่ติดตัวผู้เรียน (prior knowledge) ซึ่งมีผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน

(2) วิธีการสอนนี้มีการอภิปรายร่วมกันเพื่อส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียน

(3) วิธีการสอนนี้เหมาะที่จะใช้ในห้องเรียนทั้งขนาดเล็กและใหญ่ (N= 30-300)

(4) วิธีการสอนนี้สามารถใช้ร่วมกับวิธีการสอนแบบอื่นๆ ได้ง่าย

2.4 Normalized gain

สถิติพื้นฐานสำหรับการประเมินการสอนในงานวิจัยด้านการศึกษา ได้แก่ การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างคะแนนโดยอาศัย t-test หรือ z-test ซึ่งสถิติเหล่านี้บอกเพียงความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนแต่ไม่สามารถบอกผลการเรียนรู้ส่วนที่เพิ่มขึ้นได้ ต่อมาในปี 1998 Richard Hake ได้พัฒนาวิธีการประเมินที่เรียกว่า normalized gain ขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น (learning gain) ของผู้เรียน สามารถใช้ได้ทั้งในภาพรวมของทั้งห้องเรียน รายบุคคล รายเนื้อหาและรายข้อ

Normalized gain เป็นวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียนจากการทำให้มีโอกาสเพิ่มขึ้นเท่ากัน และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 โดยในห้องเรียนหนึ่งๆ จะคำนวณออกมาในรูปของ average normalized gain ($\langle g \rangle$) ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง ($\%\langle G \rangle$: actual gain) ต่อผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ ($\%\langle G_{\max} \rangle$: maximum possible gain) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\langle g \rangle = \frac{\%\langle G \rangle}{\%\langle G \rangle_{\max}} = \frac{\left(\%\langle S_f \rangle - \%\langle S_i \rangle\right)}{\left(100\% - \%\langle S_i \rangle\right)} \qquad \cdots\cdots\cdots(1)$$

โดยที่ $\langle g \rangle$ คือ average normalized gain

$\%\langle S_f \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

$\%\langle S_i \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

***<u>หมายเหตุ</u>** คิดเฉพาะนักเรียนที่มีคะแนนสอบทั้งก่อนและหลังเรียนเท่านั้น

ทั้งนี้การคำนวณ average normalized gain ($\langle g \rangle$) ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าที่เป็นเปอร์เซ็นต์แทนในสมการที่ (1) แต่สามารถใช้เป็นคะแนนจริงที่เก็บได้จากข้อมูลการวิจัยโดย pre-test คือ คะแนนสอบก่อนเรียน, post-test คือ คะแนนสอบหลังเรียน และคะแนนเต็มของข้อสอบชุดนั้นๆ แทนค่า 100% ได้เลย

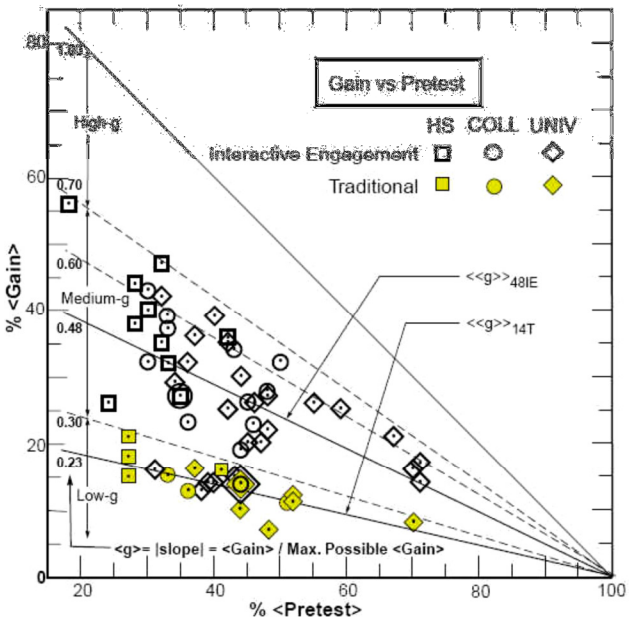
ในงานวิจัยค่า $\langle g \rangle$ ที่คำนวณได้ คือ จำนวนเท่าของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียนเมื่อคิดเทียบกับผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ สำหรับค่า $\langle g \rangle$ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

High gain มีค่า $\langle g \rangle \geq 0.7$

Medium gain มีค่า $0.7 > \langle g \rangle \geq 0.3$

Low gain มีค่า $\langle g \rangle < 0.3$

ซึ่งอ้างอิงจากผลงานวิจัยของ Hake ในปี 1998 ที่มีการใช้ข้อสอบ FCI สำรวจกลุ่มตัวอย่างนักเรียน (HS) และนักศึกษา (College: COLL และ University: UNIV) จาก 62 สถาบันการศึกษาที่ใช้วิธีการสอนแบบ Interactive Engagement (IE) จำนวน 48 กลุ่ม (48IE) (N=4,458) เทียบกับวิธีการสอนแบบ Traditional Lecture (T) จำนวน 14 กลุ่ม (14T) (N=2,084) และวิเคราะห์ด้วย average normalized gain: $\langle g \rangle$ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\%\langle G\rangle$ กับคะแนนทดสอบก่อนเรียน (pre-test) ของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาในงานวิจัยของ Hake ปี 1998

จากผลการวิจัยพบว่า วิธีการสอนแบบ Traditional Lecture (T) คำนวณ $\langle g\rangle$ เฉลี่ยได้ 0.23, วิธีการสอนแบบ Interactive Engagement (IE) คำนวณ $\langle g\rangle$ เฉลี่ยได้ 0.48 และไม่มีห้องเรียนใดได้ค่า $\langle g\rangle$ มากกว่า 0.7 (Hake, 1998) อีกทั้งหลายงานวิจัยพบว่าวิธีการสอนแบบ Traditional Lecture คำนวณค่า $\langle g\rangle$ ได้ต่ำกว่า 0.3 (Buck and Wage, 2005; Cummings et al., 1999; Hake, 1998, 2002) ดังนั้นในงานวิจัย PER จึงมักใช้ค่านี้ ($\langle g\rangle$ < 0.3) เป็นตัวเลขมาตรฐานจากวิธีการสอนแบบ Traditional Lecture ในการเปรียบเทียบค่า $\langle g\rangle$ กับวิธีการสอนแบบอื่นๆ และสามารถหาค่าความผิดพลาดของ $\langle g\rangle$ (เรียก $\sigma_{\langle g\rangle}$) ได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2)

$$\sigma_{<g>} = \left[\left(\frac{1}{(C-y)}\sigma_x\right)^2 + \left(\frac{(x-C)}{(C-y)^2}\sigma_y\right)^2\right]^{1/2} \qquad \cdots\cdots\cdots(2)$$

โดยที่ x คือ ค่าเฉลี่ยคะแนน post-test ซึ่งจะได้ $\sigma_x = sd_x/\sqrt{N}$ (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของ x: standard deviation of the mean of x)

y คือ ค่าเฉลี่ยคะแนน pre-test ซึ่งจะได้ $\sigma_y = sd_y/\sqrt{N}$ (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของ y: standard deviation of the mean of y)

sd_x, sd_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของ x และ y ตามลำดับ

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมดที่มีทั้งคะแนนก่อนและหลังเรียน

C คือ คะแนนเต็ม (หรือจำนวนคำถาม)

จุดเด่นของการวิเคราะห์ average normalized gain คือเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับคะแนนทดสอบก่อนเรียน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยของ Marx และ Cummings ในปี 2007 ได้นำค่า average normalized gain มาใช้ประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนแต่กลับพบข้อจำกัดบางอย่างในการวิเคราะห์ข้อมูล นั่นคือ ค่า $\langle g \rangle$ มีความลำเอียงในการแปลความหมายสำหรับคนที่ได้คะแนนหลังเรียนต่ำลง, ค่า $\langle g \rangle$ ซึ่งอยู่ในช่วง 0-1 เป็นช่วงค่าที่ไม่สมมาตรในการแปลความหมายบางข้อมูล และในกรณีที่ผู้เรียนได้คะแนนเต็มในการทดสอบก่อนเรียนส่งผลให้คำนวณหาค่า $\langle g \rangle$ ไม่ได้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ Marx และ Cumming ได้ปรับวิธีการคำนวณและเรียกเป็น normalized change (c) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3)

$$c = \begin{cases} \dfrac{\text{post}-\text{pre}}{100-\text{pre}} & \text{post} > \text{pre} \\ \text{drop} & \text{post} = \text{pre} = 100 \text{ or } 0 \\ 0 & \text{post} = \text{pre} \\ \dfrac{\text{post}-\text{pre}}{\text{pre}} & \text{post} < \text{pre} \end{cases} \qquad \cdots\cdots\cdots(3)$$

โดยที่ c คือ normalized change

post คือ ค่าของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 100%

pre คือ ค่าของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 100%

ซึ่งในการคำนวณภาพรวมของห้องเรียน จะเรียกเป็น average of normalized change: c_{ave} โดยการคิดรายบุคคลแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งพบว่ายังคงแปลความหมายได้เช่นเดียวกับค่า $\langle g \rangle$ ทั้งนี้ค่า c_{ave} มีจุดเด่น คือ เป็นค่าที่ไม่มีความลำเอียงสำหรับคนที่ได้คะแนนหลังเรียนน้อยกว่าก่อนเรียน (post < pre), ค่าของ c_{ave} อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ซึ่งมีการแบ่งช่วงค่าได้อย่างสมมาตร และด้วยการแยกเป็นกรณีดังสมการที่ (3) สามารถคำนวณหาค่า c_{ave} ได้ทุกกรณี ทั้งนี้สามารถหาค่าความผิดพลาดของ c_{ave} ได้ เรียกว่า standard error of mean of c (sem_c) ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4)

$$sem_c = \frac{\sigma_c}{\sqrt{N}} \quad ; \quad \sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(c_i - c_{ave}\right)^2}{N-1}} \qquad \cdots\cdots\cdots(4)$$

โดยที่ σ_c คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละค่า c (standard deviation of the individual c-score)

c_i คือ ค่า normalized change ของผู้เรียนรายบุคคล (individual student's normalized change)

c_{ave} คือ ค่า average of normalized change ทั้งห้องเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมดที่มีทั้งคะแนนก่อนและหลังเรียน

2.5 Model analysis

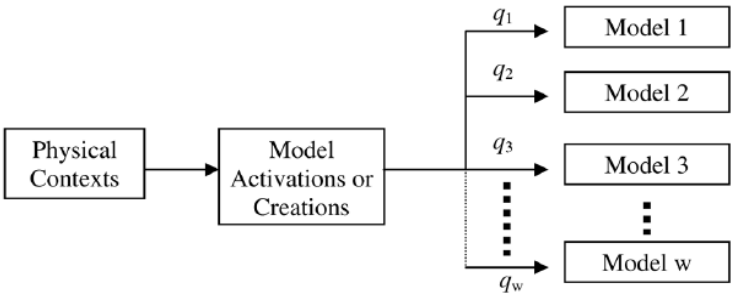
เนื่องจาก t-test และ normalized gain ยังบอกไม่ได้ว่าผู้เรียนมีแนวความคิดหรือรูปแบบความคิดต่อเรื่องนั้นๆ อย่างไร ดังนั้นต่อมาในปี 2001 Bao และ Redish ได้ร่วมกันพัฒนาวิธีการประเมินแบบใหม่เรียกว่า model analysis โดยอาศัยพื้นฐานจากงานวิจัยด้านการศึกษา (education), จิตวิทยาการเรียนรู้ (cognitive science) และประสาทวิทยา (neuroscience) ที่มีแนวคิดว่า เส้นประสาทต่างๆ ภายในสมองทำหน้าที่เชื่อมโยงกัน ขณะที่คนเราสร้างกระบวนการรับรู้ต่อเรื่องหนึ่งๆ โดยที่กระบวนการนี้ขึ้นกับบริบท (context) ของเรื่องนั้นๆ เป็นสำคัญ (Bao, Hogg and Zollman, 2002; Bao and Redish, 2006) เทคนิค model analysis แบ่งออกเป็น 2 แบบ (algorithms) คือ

(1) Concentration factor เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อสอบและตัวเลือกโดยดูจากการกระจายตัวของคำตอบ

(2) Model estimation เป็นวิธีการวิเคราะห์หาแนวโน้มหรือแบบจำลอง (model) ทางความคิดที่ผู้เรียนใช้หรือสถานะทางความรู้ของผู้เรียน (student' s knowledge state) (ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาเฉพาะส่วนของ model estimation เท่านั้น)

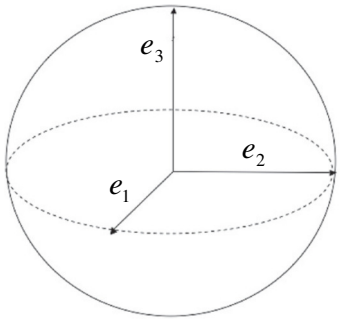
หลายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การเรียนรู้ของผู้เรียนขึ้นกับบริบท (Bao, Hogg and Zollman, 2002; Bao and Redish, 2006) ซึ่งหมายความว่า สำหรับกลุ่มคำถามหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับหนึ่งแนวคิดหลัก (one concept) แต่มีบริบท (contexts) แตกต่างกันไปในแต่ละคำถาม ผู้เรียนอาจตอบบางคำถามถูกแต่อาจตอบบางคำถามผิด ทั้งนี้เพราะผู้เรียนเลือกใช้รูปแบบความคิด (mental model) ในการตอบแต่ละคำถามต่างกันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าบริบทของคำถามเหล่านั้นไปกระตุ้นให้ผู้เรียนเลือกใช้รูปแบบความคิดที่ต่างกัน

ดังนั้นหากนำคำถามที่มีหนึ่งแนวคิดหลัก แต่มีบริบทต่างกันมาให้ผู้เรียนทำ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นที่ผู้เรียนจะใช้รูปแบบความคิดต่างๆ ในการตอบคำถามได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังกระบวนการสร้างรูปแบบความคิด โดยมีรูปแบบความคิดทั้งหมด w รูปแบบที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหานั้นๆ (Model 1, Model 2, ..., Model w) และ q_1, q_2,...,q_w เป็นความน่าจะเป็นที่นักเรียนจะถูกกระตุ้นให้ใช้รูปแบบความคิดแบบต่างๆ (Bao and Redish, 2006)

เราสามารถเทียบเคียงแนวคิดนี้กับแนวคิดทางกลศาสตร์ควอนตัมได้ โดยสถานะของรูปแบบความคิด (model state) ของผู้เรียนแทนด้วยปริภูมิของรูปแบบความคิด (model space) ที่มีเวกเตอร์ของรูปแบบความคิด (เวกเตอร์ของโมเดล) ที่สัมพันธ์กับลักษณะคำตอบที่มักพบทั่วไปเป็นเวกเตอร์ฐานหลักตั้งฉาก (orthonormal basis vectors: e_n) ตัวอย่างเช่นรูปแบบความคิด 3 รูปแบบ (3 models: e_1, e_2, e_3) แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปริภูมิรูปแบบความคิด 3 รูปแบบที่แทนด้วยเวกเตอร์รูปแบบที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน (Bao, 1999)

ทำให้สามารถประมาณรูปแบบความคิด (model estimation) ได้โดยอาศัยเทคนิคทางกลศาสตร์ควอนตัมเชิงเมทริกซ์และการหาค่า eigenvalues, eigenvectors ซึ่งมีวิธีการดังนี้

(1) สร้างเวกเตอร์เพื่อแทนรูปแบบความคิดแบบต่างๆ ของผู้เรียน ซึ่งเป็นผลมาจากงานวิจัยเชิงคุณภาพ จะเรียกว่า common model (M) หรือ physical model ยกตัวอย่างเช่น หากมีทั้งหมด w model สำหรับ 1 concept จะสร้างได้ M_1 ถึง M_w ด้วย linear vector space โดยที่แต่ละ model แทนด้วย orthonormal basis vector; $\hat{e}_w$ ดังสมการที่ (5)

$$\hat{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad , \quad \hat{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad , \quad \ldots, \hat{e}_w = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \text{.....(5)}$$

ดังนั้นสถานะของรูปแบบความคิด (model state) ของนักเรียนคนที่ k^{th} แสดงด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วยใน model space; u_k ดังสมการที่ (6)

$$u_k = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} \sqrt{n_1^k} \\ \vdots \\ \sqrt{n_i^k} \\ \vdots \\ \sqrt{n_w^k} \end{bmatrix} = |u_k\rangle \qquad \text{.....(6)}$$

โดยที่ n_1^k คือ จำนวนของคำตอบของนักเรียนคนที่ k^{th} ที่เลือก Model ที่ i

w คือ จำนวนรูปแบบคำตอบทั้งหมด (common models)

m คือ จำนวนคำถามทั้งหมดที่อยู่ใน concept เดียวกัน

(2) นำ model state ของผู้เรียนแต่ละคนมาสร้างเมทริกซ์ความหนาแน่น (density matrix) ยกตัวอย่างเช่น กรณี 1 concept มี 3 common models (w = 3) จะได้เมทริกซ์ความหนาแน่นของรูปแบบความคิดของนักเรียนคนที่ k^{th} (the k^{th} student model density matrix) แสดงดังสมการที่ (7)

$$D_k = u_k \otimes u_k^T = |u_k\rangle\langle u_k| = \frac{1}{m}\begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad \text{.....(7)}$$

(3) นำเมทริกซ์ความหนาแน่นของนักเรียนทั้งหมดในชั้นเรียนมารวมกัน เพื่อให้ได้เมทริกซ์ความหนาแน่นของชั้นเรียนนั้น (class model density matrix) แสดงดังสมการที่ (8) โดย N คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมดในชั้นเรียน

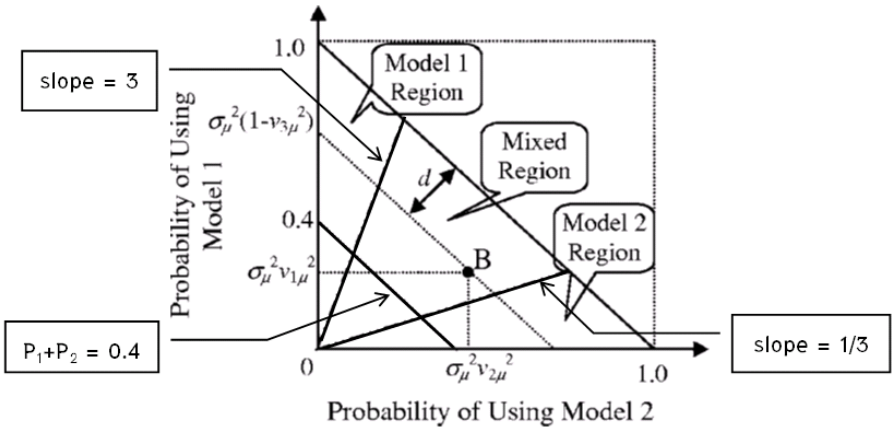
$$D = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33} \end{bmatrix} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} D_k = \frac{1}{N.m}\begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad \text{.....(8)}$$

ทั้งนี้ค่าตามแนวเส้นทแยงมุม (diagonal elements) ของเมทริกซ์ความหนาแน่นของชั้นเรียน คือ ρ_{11}, ρ_{22} และ ρ_{33} จะบอกถึงสัดส่วนของนักเรียนทั้งห้องที่เลือกใช้ model 1, 2 และ 3 (รวมกันได้เท่ากับ 1) ส่วนค่านอกแนวเส้นทแยงมุม (off-diagonal elements) เช่น ρ_{12} บอกค่ารากที่สองของจำนวนนักเรียนที่เลือก model 1 และ 2 ซึ่งจะแสดงถึงความคงเส้นคงวา (consistency) ของผู้เรียนรายคนในการเลือก model 1 และ 2 ประกอบกัน กล่าวคือ ถ้ามีนักเรียนหลายคนที่เลือกทั้ง model 1 และ model 2 ค่าที่ได้ก็จะมาก (large mixing) จะแสดงถึงความคงเส้นคงวาต่ำ (low consistency) โดยทั่วไปค่า off-diagonal elements (เช่น ρ_{12}) จะถือว่ามีนัยสำคัญเมื่อ $\frac{\rho_{12}}{\sqrt{(\rho_{11} \times \rho_{22})}} \times 100 > 50\%$

(4) หาค่า eigenvalues และ eigenvectors จาก class density matrix เพื่อแสดงการกระจายตัวของ common model ของนักเรียนทั้งชั้นเรียน ซึ่ง eigenvalues จะบอก consistency ของนักเรียนทั้งชั้นเรียนในการเลือก model หากมีค่ามากแสดงว่าผู้เรียนส่วนใหญ่เลือกใช้ model คล้ายๆ กัน แต่หากค่าน้อยแสดงว่าผู้เรียนในชั้นเรียนเลือกใช้ model กระจายกัน (จากงานวิจัยของ Bao เสนอว่าควรมีค่ามากกว่า 0.65 ซึ่งจะถือได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่ในชั้นเรียนเลือกใช้สถานะทางความคิดคล้ายๆ กัน) ส่วน eigenvectors บอกถึง class model state ซึ่งจะบอกว่าผู้เรียนในชั้นเรียนส่วนใหญ่เลือก model ใด

ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ class model state จากค่า eigenvalues และ eigenvectors จะนำเสนอด้วยกราฟรูปแบบความคิด (model plot) ซึ่งเป็นกราฟ 2 มิติที่แสดงถึงความน่าจะเป็นของผู้เรียนทั้งชั้นเรียนที่จะใช้ model 1 หรือ model 2 ในการตอบคำถาม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยให้แกน y เป็นความน่าจะเป็นที่จะใช้ model 1 (P_1) ซึ่งเป็นรูปแบบความคิดที่ถูกต้อง และ

แกน x เป็นความน่าจะเป็นที่จะใช้ model 2 (P_2) ซึ่งเป็นรูปแบบความคิดที่ผิด ข้อมูลที่ลงในพื้นที่กราฟเป็นจุดพิกัด (P_2,P_1) เช่น จุด B เป็นต้น สำหรับพื้นที่ของกราฟ model plot ถูกแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ พื้นที่ใต้เส้นความชันค่าเท่ากับ 1/3 เป็นบริเวณ model 2 (model ที่ผิด), พื้นที่ส่วนกลางเป็นบริเวณ mixed model, พื้นที่เหนือเส้นความชันค่าเท่ากับ 3 เป็นบริเวณ model 1 (model ที่ถูก) และพื้นที่บริเวณใกล้จุดกำเนิด ซึ่งอยู่ใต้เส้น $P_1 + P_2 = 0.4$



รูปที่ 2.5 Model plot และขอบเขตพื้นที่ต่างๆ ของกราฟรูปแบบความคิด (Bao and Redish, 2006)

สำหรับการแบ่งความชันเป็น 1/3 และ 3 ใน model plot นั้น อาศัยความสัมพันธ์เชิงมุมและเชิงเส้นของ physical models เนื่องจาก model plot เป็นกราฟ 2 มิติ ที่มี model 2 แบบตั้งฉากกันในระนาบ เช่น model μ และ model η ดังแสดงในรูป 2.6(ก) มุมที่เกิดขึ้นในระนาบเรียกว่า model projection angle เช่น $\phi_{\eta\mu}$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (9)

$$\phi_{\eta\mu} = \arctan\left(\frac{\sqrt{q_\mu}}{\sqrt{q_\eta}}\right) \qquad \cdots\cdots\cdots(9)$$

โดยที่ $\phi_{\eta\mu}$ คือ model projection angle

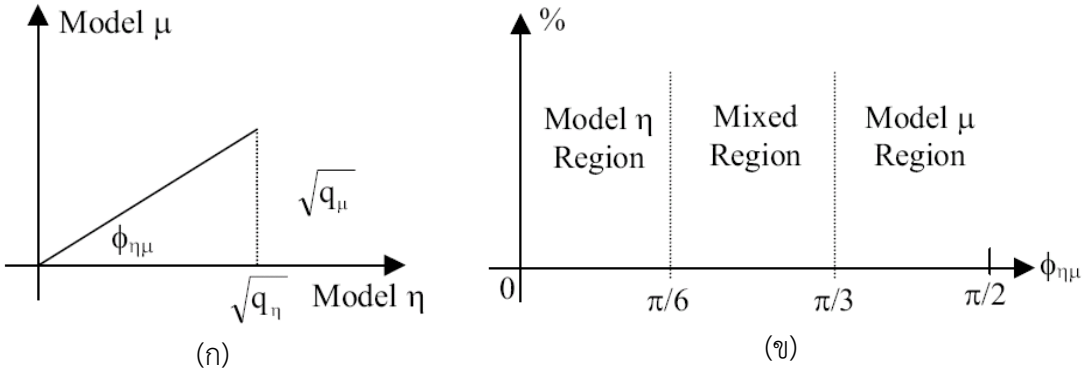
q_μ คือ ความน่าจะเป็นที่นักเรียนเลือกใช้ model μ

q_η คือ ความน่าจะเป็นที่นักเรียนเลือกใช้ model η

หรือสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังแสดงในสมการที่ (10)

$$\tan^2\left(\phi_{\eta\mu}\right)=\frac{q_\mu}{q_\eta} \qquad \cdots\cdots\cdots(10)$$

และเนื่องจากมีการแบ่งมุมในระนาบเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน เพื่อแสดงถึงขอบเขตของ model μ, model η และ model ที่ผสมกัน เรียกว่าเป็น angular distribution plot ดังแสดงในรูปที่ 2.6(ข) เมื่อแกน x เป็น q_η และแกน y เป็น q_μ ดังนั้น ถ้า $\phi_{\eta\mu}=\frac{\pi}{6}$ จะเขียนในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นเป็นเส้นตรงที่มีความชัน 1/3 ทำให้พื้นที่ของ model η จึงอยู่ภายใต้เส้นตรงความชัน 1/3 และในลักษณะเดียวกันถ้า $\phi_{\eta\mu}=\frac{\pi}{3}$ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน 3 นั่นเอง สำหรับพื้นที่ใต้เส้นตรง $P_1 + P_2 = 0.4$ ใน model plot นั้น ถือเป็นพื้นที่ของรูปแบบความคิดรอง (secondary model region) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเกิดจากผลการคำนวณด้วยค่า eigenvalue ที่มีค่าน้อยซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวมากของผู้เรียนในห้องเรียนในการเลือกใช้ model ทำให้ทำนายความน่าจะเป็นในการเลือกใช้ model ด้วยเทคนิค model analysis ได้ยาก ทั้งนี้จากงานวิจัยพบว่าโดยทั่วไปแล้ว eigenvalue ที่มีค่ามากที่สุดจะมีค่ามากกว่า eigenvalue ที่น้อยกว่าอยู่ 3-4 เท่า ถ้าหากเรานำ eigenvalue ที่มีค่าน้อยมาคำนวณและพิกัดลงใน model plot จะได้พิกัดที่อยู่ใต้เส้น $P_1 + P_2 = 0.4$ เสมอ



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดง (ก) model projection angle และ (ข) angular distribution plot (Bao, 1999)

ในการคำนวณหาพิกัด (P_2,P_1) บน model plot จะใช้ค่าผลคูณระหว่างค่า eigenvalue ที่มากที่สุดของ class density matrix กับค่า eigenvectors ของ eigenvalue นั้น (ซึ่งจะเรียกว่าเป็น primary eigenvectors) ตามสมการที่ (11)

$$P_1 = \sigma_\mu^2 v_{1\mu}^2 \quad \text{และ} \quad P_2 = \sigma_\mu^2 v_{2\mu}^2 \qquad \cdots\cdots\cdots(11)$$

โดย σ_μ^2 คือ eigenvalue ที่มีค่ามากที่สุด

$v_\mu = \begin{pmatrix} v_{1\mu} \\ v_{2\mu} \\ v_{3\mu} \end{pmatrix}$ คือ eigenvectors ของ eigenvalue ที่มีค่ามากที่สุด

วิธี model analysis มีจุดเด่นคือเป็นวิธีการที่อาศัยทั้งงานวิจัยเชิงคุณภาพจากการหารูปแบบความคิดด้วยข้อมูลเชิงลึกและงานวิจัยเชิงปริมาณที่สามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวนมากได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่นักเรียนทำทั้งถูกและผิดมาวิเคราะห์ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา คือ t-test และ normalized gain ที่ใช้เฉพาะส่วนที่ผู้เรียนทำถูกเท่านั้น ซึ่งเป็นการจำกัดประสิทธิภาพการใช้งานของแบบทดสอบมาตรฐานในงานวิจัย PER รวมถึงวิธีการนี้สามารถบอกได้ว่าผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาในสถานะใดก่อนเรียนและหลังเรียนส่งผลให้สามารถบอกพัฒนาการของผู้เรียนรวมถึงผลของวิธีการสอนที่นำไปใช้กับผู้เรียนได้อย่างชัดเจน (Bao, 1999; Bao and Redish, 2006)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อประเมินความเข้าใจแนวคิดหลักเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ของนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) โดยอาศัยการประมาณรูปแบบความคิดด้วยเทคนิค model analysis ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 การสร้างและประเมินเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างและประเมินเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1. แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE)

ในงานวิจัยนี้ใช้แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) ฉบับภาษาไทยซึ่งแปลและผ่านการประเมินคุณภาพโดยกลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษา PENThai ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ฉบับปรับปรุงปี 2553) สำหรับเก็บข้อมูลก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย (ภาคผนวก ก.) โดยก่อนนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบประเมิน FMCE อีกครั้ง ด้วยเทคนิคการหาความเชื่อมั่นแบบอิงกลุ่มที่ใช้ค่าความแปรปรวนของคะแนนเป็นหลักเพื่อดูความสอดคล้องภายในของเครื่องมือ (internal consistency) ด้วยวิธีการคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) เลือกใช้สถิติ KR-20 (Fraenkel and Wallen, 1993) กับข้อมูลหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2555 จำนวน 420 คน ดังสมการที่ (12)

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum pq}{S_t^2}\right) \qquad \cdots\cdots\cdots(12)$$

เมื่อ r_{tt} แทน ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

k แทน จำนวนข้อสอบในแบบประเมิน

p แทน สัดส่วนของผู้ทำถูกในข้อหนึ่งๆ (จำนวนคนทำถูกหารด้วยจำนวนคนสอบทั้งหมด)

q	แทน	สัดส่วนของผู้ทำผิดในข้อหนึ่งๆ หรือ 1-p
S_t^2	แทน	คะแนนความแปรปรวนของเครื่องมือฉบับนั้น

ผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าความเชื่อมั่น (KR-20) ของแบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) มีค่าเท่ากับ 0.91 (ค่าที่ยอมรับได้ในงานวิจัย คือ $r_{tt} > 0.70$) (Fraenkel, Wallen and Hyun, 2011) จึงถือว่าแบบประเมินนี้มีความน่าเชื่อถือในระดับที่ยอมรับได้

3.1.2. วิธีการสอน Just-in-Time Teaching (JiTT)

วิธีการสอน JiTT เป็นกระบวนการเรียนการสอนที่ประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ ได้แก่ คำถามสำหรับวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนที่แขวนไว้ในเว็บไซต์และกิจกรรมในชั้นเรียนแบบกระตุ้นผู้เรียน (active learning activities)

เนื่องจากเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 เป็นเรื่องที่ผู้เรียนมีความเข้าใจผิดมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงสนใจสร้างวิธีการสอนแบบ JiTT ในเรื่องนี้ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในวิธีการสอนแบบ JiTT ประกอบด้วย

(1) ชุดคำถาม Warm Up และ Puzzle

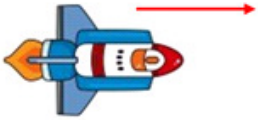
Warm Up เป็นชุดคำถามใช้สำหรับตรวจสอบความรู้เดิมของผู้เรียนก่อนเรียน และ Puzzle เป็นชุดคำถามใช้สำหรับตรวจสอบความรู้หลังเรียน โดยรายละเอียดการสร้างและประเมินชุดคำถามแต่ละแบบที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) ชุดคำถาม Warm Up

ชุดคำถาม Warm Up 1 ชุดประกอบด้วยคำถาม 3 แบบ แบบละ 1 ข้อ ได้แก่ คำถามแบบบทความ (essay question), คำถามแบบการประมาณ (estimation question) และคำถามแบบตัวเลือก (multiple-choices question) ผู้เรียนต้องตอบคำถาม Warm up ให้เรียบร้อยก่อนเข้าชั้นเรียนภายในเวลาที่ผู้สอนกำหนด ชุดคำถาม Warm Up จะช่วยให้ผู้สอนทราบถึงความรู้เดิมของผู้เรียนโดยเฉพาะความเข้าใจผิดเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างวิธีการหรือเครื่องมือการสอนเพื่อแก้ไขปรับปรุงความเข้าใจผิดเหล่านั้นต่อไป

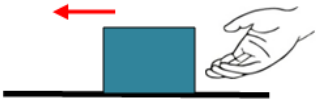
ในงานวิจัยนี้ชุดคำถาม Warm Up ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษา, หนังสือ, เว็บไซต์ทางการศึกษา และประสบการณ์ในชั้นเรียนของผู้วิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

(1) คำถามแบบบทความ (Essay question)



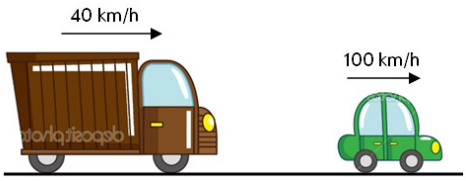
ในการเดินทางของยานอวกาศระหว่างดาวเคราะห์ หากยานอวกาศไม่ติดเครื่องยนต์จะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร (อธิบายพร้อมให้เหตุผลประกอบ)

(2) คำถามแบบการประมาณ (Estimation question)



เด็กผลักกล่องไม้ที่วางอยู่บนพื้นราบลื่นจากหยุดนิ่งให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว 2 เมตรต่อวินาที เมื่อกล่องไม้หลุดออกจากมือของเด็กแล้วจงหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องใบนี้เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ (กำหนดมวลของกล่องไม้ตามความเหมาะสม พร้อมทั้งแสดงการคำนวณให้เข้าใจ)

(3) คำถามแบบตัวเลือก (Multiple choices question)



รถยนต์คันหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขับแซงผ่านรถบรรทุกที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทั้งสองคันเป็นอย่างไร

1. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกมากกว่ารถยนต์ เพราะมวลมากกว่า
2. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะมวลน้อยกว่า
3. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะอัตราเร็วมากกว่า
4. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกเท่ากับรถยนต์ เพราะอัตราเร็วคงตัวเหมือนกัน
5. คำตอบเป็นอย่างอื่น

รูปที่ 3.1 ชุดคำถาม Warm Up สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1

(1) คำถามแบบบทความ (Essay question)

โยนลูกเทนนิสในมือขึ้นไปบนอากาศในแนวดิ่ง เมื่อลูกเทนนิสขึ้นไปได้จนสูงสุดจะตกกลับลงมา หากไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ จงหาแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิส เมื่อ

1) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้นไป
2) ขณะที่ลูกเทนนิสอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด
3) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ลงมา

(2) คำถามแบบการประมาณ (Estimation question)

นักกระโดดร่มกระโดดออกจากเครื่องบินที่ความสูง 5 กิโลเมตรจากผิวโลก เมื่อร่มชูชีพกางออก ทำให้เขาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 5 เมตร/วินาที^{2} ขนาดของแรงที่ร่มชูชีพกระทำต่อนักกระโดดร่มนี้เป็นเท่าใด และแรงที่กระทำดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับมวลของนักกระโดดร่มอย่างไร (กำหนดมวลของนักกระโดดร่มตามความเหมาะสม)

(3) คำถามแบบตัวเลือก (Multiple choices question)

ลิฟต์หนัก 200 นิวตัน ขณะเคลื่อนที่ขึ้น หากสายเคเบิลที่ดึงลิฟต์ขาด แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลิฟต์เป็นอย่างไร

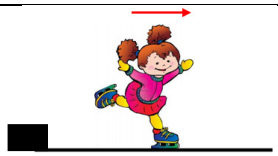
1. ขนาด 0 นิวตัน ทิศลง
2. ขนาด 0 นิวตัน ทิศขึ้น
3. ขนาด 200 นิวตัน ทิศลง
4. ขนาด 200 นิวตัน ทิศขึ้น
5. คำตอบเป็นอย่างอื่น

รูปที่ 3.2 ชุดคำถาม Warm Up สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

2) คำถาม Puzzle

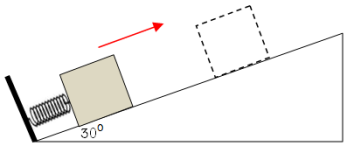
คำถาม Puzzle เป็นคำถามที่ใช้ประเมินความรู้ของผู้เรียนหลังผ่านกระบวนการเรียนด้วยกิจกรรมที่ผู้สอนจัดขึ้นในชั้นเรียนตามแบบวิธี JiTT ผนวกกับการสอนแบบบรรยาย คำถาม Puzzle เป็นคำถามปลายเปิดจำนวน 1 ข้อ ที่เน้นให้ผู้เรียนแสดงความเข้าใจ กระบวนการคิดและการแก้ปัญหา หลังจากเรียนเนื้อหาแล้ว ทั้งนี้ประมาณ 1 สัปดาห์หลังจบเนื้อหา ผู้สอนจะนำคำถาม puzzle ไปไว้บนเว็บไซต์ ผู้เรียนจะต้องตอบคำถาม Puzzle ให้เรียบร้อยภายในเวลาที่ผู้สอนกำหนด หลังจากนั้นผู้สอนจะรวบรวมคำตอบที่ได้และนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินผลวิธีการสอนต่อไป

ในงานวิจัยนี้ชุดคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ถูกพัฒนาขึ้นในทำนองเดียวกันกับชุดคำถาม Warm Up แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



นักสเก็ตน้ำแข็งใช้เท้าถีบขอบสนามด้วยแรงขนาด 10 นิวตัน เพื่อผลักตนเองให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าบนพื้นน้ำแข็งลื่นดังรูป ขณะที่เขากำลังทรงตัวและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยอัตราคงตัว 5 เมตรต่อวินาที ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อเขาเป็นเท่าใด และนักสเก็ตน้ำแข็งคนนี้จะเคลื่อนที่ต่อไปอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณประกอบความเข้าใจเพื่อแสดงค่าและทิศทางของความเร็ว)

รูปที่ 3.3 ชุดคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1



กล่องใบหนึ่งมวล 1 กิโลกรัมถูกกดติดไว้กับสปริงที่ยึดติดกับฝาด้านหนึ่งบนพื้นเอียงลื่นทำมุม 30 องศากับพื้นราบ เมื่อปล่อยให้กล่องเป็นอิสระ กล่องใบนี้จะถูกสปริงผลักให้ไถลขึ้นไปบนพื้นเอียงด้วยอัตรา 20 เมตรต่อวินาที^{2} ดังรูป ขนาดและทิศของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องใบนี้ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง, อยู่ที่ตำแหน่งปลายพื้นเอียง และขณะที่กำลังเคลื่อนที่กลับลงมาเป็นอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณให้เหตุผลประกอบความเข้าใจ)

รูปที่ 3.4 ชุดคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

ทั้งคำถาม Warm Up และ Puzzle ที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างอื่นก่อนการใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่นำไปทดลองใช้เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ โรงเรียนหาดใหญ่-วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 40 คน (นักเรียนจากโรงเรียนที่ผู้วิจัยปฏิบัติงานปัจจุบัน) รวมทั้งให้ผู้เชี่ยวชาญ (ภาคผนวก ข.) ประเมินความถูกต้องด้านภาษาเนื้อหาของคำถามและความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ด้วยแบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบ (ภาคผนวก ค.) (Index of item objective congruence: IOC) หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า IOC ตามสมการที่ (13) หากข้อคำถามใดมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50-1.00 ถือว่ามีค่าความเที่ยงตรง สามารถนำคำถามข้อนั้นไปใช้งานได้ แต่หากต่ำกว่าค่าดังกล่าวนี้ต้องปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง (กรมวิชาการ, 2545)

$$IOC = \frac{\Sigma R}{n} \qquad \cdots\cdots\cdots(13)$$

เมื่อ IOC แทน ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์

ΣR แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ประเมิน

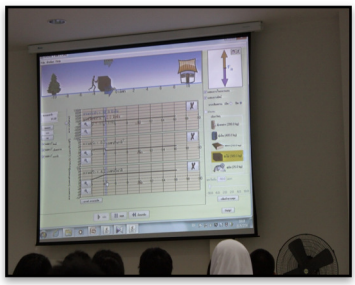
เมื่อปรับแก้คำถามตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญและผลการทดลองใช้เรียบร้อยแล้ว คำถามเหล่านั้นจะถูกนำไปไว้ในระบบเว็บไซต์ออนไลน์เพื่อให้ผู้เรียนเข้ามาตอบคำถาม โดยในงานวิจัยนี้จะนำชุดคำถามใส่ไว้ในระบบการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบออนไลน์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เรียกว่า LMS@PSU E-Learning Management System ในรายวิชา 332-101 Fundamental Physics I สามารถเข้าถึงได้จาก *http://lms.psu.ac.th/* แสดงดังรูปที่ 3.5 (รายละเอียดและวิธีการใช้หน้าเว็บไซต์ LMS@PSU แสดงในภาคผนวก ง.)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ของระบบ LMS@PSU ในงานวิจัยนี้ (PSU, 2012)

(2) ชุดกิจกรรมในชั้นเรียน

คำตอบของผู้เรียนจากชุดคำถาม Warm Up จะถูกใช้เป็นข้อมูลใน การออกแบบกิจกรรมและสร้างสื่อการสอนเพื่อใช้ปรับแก้ความเข้าใจผิดของผู้เรียนในชั้นเรียน ผู้สอนจะนำเสนอความเข้าใจผิดของผู้เรียนที่ได้จากชุดคำถาม Warm Up ในชั้นเรียนเป็นหลักพร้อมกับอภิปราย (ถาม-ตอบ) ร่วมกับผู้เรียนเกี่ยวกับความเข้าใจผิดเหล่านั้น สื่อการสอนที่ใช้ ได้แก่ วีดิทัศน์ (video clips), การทดลองเสมือน (interactive simulations) และสื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว (animation pictures) สื่อการสอนเหล่านี้มีทั้งที่ผู้สอนสร้างขึ้น (สื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Microsoft Power Point และใบความรู้) และสื่อที่สืบค้นจากเว็บไซต์ต่างๆ ได้แก่ สื่อวีดิทัศน์นำมาจากเว็บไซต์ Youtube สามารถเข้าถึงได้จาก *https://www.youtube.com/* (Youtube, 2013) และ สื่อการทดลองเสมือนนำมาจากเว็บไซต์ Physics Education Technology (*PhET*) ของมหาวิทยาลัยโคโลราโด โบลเดอร์ (University of Colorado Boulder) สามารถเข้าถึงได้จาก *http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/* (University of Colorado Boulder, 2013) เป็นต้น ตัวอย่างของสื่อการสอนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งสื่อการสอนทั้งหมดจะถูกนำไปทดลองใช้และประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้งความถูกต้องทางด้านภาษาและเนื้อหาก่อนนำไปใช้จริง สำหรับรายละเอียดของการจัดกิจกรรมในชั้นเรียนเป็นไปตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น (ภาคผนวก จ.)

(ก) วีดิทัศน์



(ข) สื่อการทดลองเสมือน

(ค) สื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสื่อการเรียนการสอนที่ใช้ในวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธี JiTT ในงานวิจัยนี้ (ก) วีดิทัศน์, (ข) สื่อการทดลองเสมือน และ (ค) สื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 กลุ่มตัวอย่าง (samples)

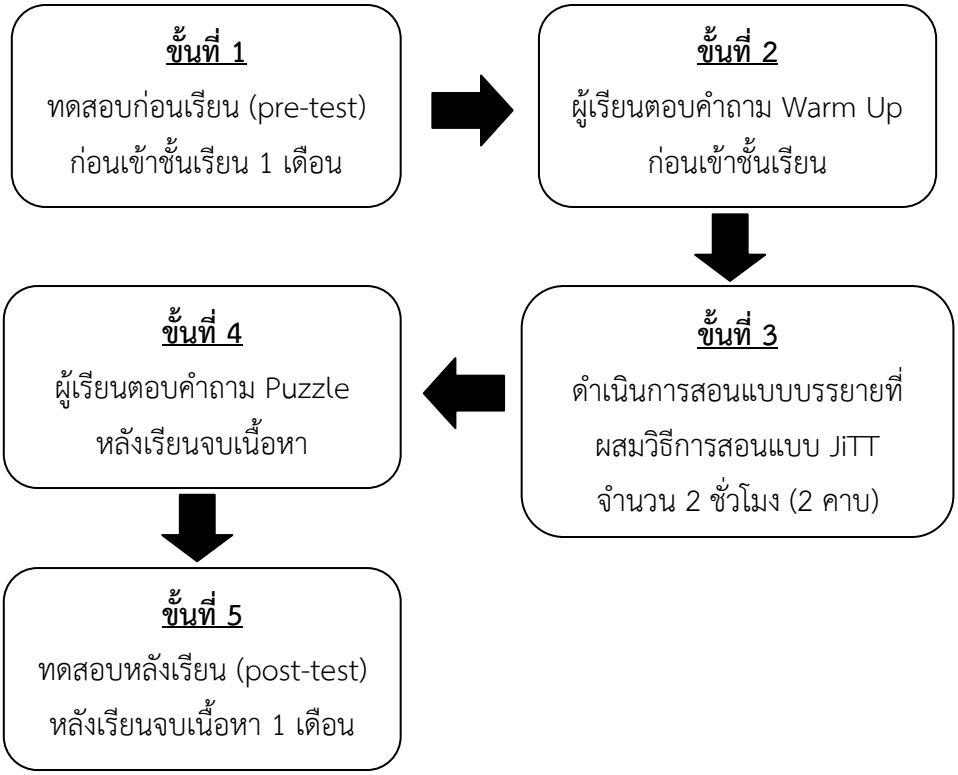
นักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ลงเรียนรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 567 คน (เพศชาย 24%) โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และเป็นนักศึกษาที่มีผลข้อมูลก่อนและหลังเรียนครบถ้วน

3.2.2 บริบทของงานวิจัย (research contexts)

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองชนิด One Group Pre – Posttest Design กับกลุ่มตัวอย่างในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 สำหรับเนื้อหาเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

3.2.3 การดำเนินการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยนำวิธีการสอน JiTT ผสมกับการสอนแบบบรรยาย เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และปรับแก้ความเข้าใจผิดของผู้เรียนในเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 สำหรับขั้นตอนการปฏิบัติการวิจัยโดยภาพรวมแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) ในงานวิจัยนี้

รายละเอียดการดำเนินการวิจัย มีดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1: ก่อนเข้าชั้นเรียนประมาณ 1 เดือน กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมิน FMCE เป็นการทดสอบก่อนเรียน (pre-test) โดยใช้เวลาทำประมาณ 30 นาที ผลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ควบคู่กับการทดสอบหลังเรียนอีกครั้ง

ขั้นที่ 2: ก่อนเรียนเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผู้สอนนำชุดคำถาม Warm Up ขึ้นไปไว้บนระบบ LMS@PSU เพื่อให้นักศึกษาเข้าไปทำและส่งกลับภายในเวลา 5 วัน จากนั้นผู้สอนรวบรวมคำตอบจาก Warm Up เพื่อวิเคราะห์และออกแบบกิจกรรมในชั้นเรียนให้แล้วเสร็จภายใน 1 สัปดาห์ ในงานวิจัยนี้คำตอบของนักศึกษาต่อชุดคำถาม Warm Up ถูกจับเป็นกลุ่มตามแนวคิดหลักดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ สำหรับตารางที่ 3.1(ก-ค) แสดงกลุ่มคำตอบและร้อยละการตอบจากกลุ่มตัวอย่าง (N=567) ต่อชุดคำถามในหัวเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1(ก) คำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบบทความ (สถานการณ์ยานอวกาศ) (N=567)

กลุ่มคำตอบ	ยานอวกาศเคลื่อนที่ได้หรือไม่	รายละเอียด/เหตุผล	ร้อยละ
1*	ได้	เพราะในการเคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องมีแรงใดๆ กระทำต่อยานอวกาศ / มีความเฉื่อย	29
2	ได้	เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างมวลของยานอวกาศและดาวเคราะห์	38
3	ไม่ได้	เพราะไม่มีแรงใดๆ กระทำต่อยานอวกาศ และจำเป็นต้องมีแรงในการขับเคลื่อนยานอวกาศ	31
4	ได้/ไม่ได้	อื่นๆ (คำตอบไม่สมบูรณ์และจัดเข้ากลุ่มไม่ได้)	2

ตารางที่ 3.1(ข) คำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบการประมาณ (สถานการณ์กล่องไม้) (N=567)

กลุ่มคำตอบ	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องไม้พบว่า...	รายละเอียด/เหตุผล	ร้อยละ
1*	เท่ากับศูนย์	นักศึกษาแสดงการคำนวณด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และให้ $\vec{a}=0$ เพราะมีความเร็วคงตัว	46
2	ไม่เท่ากับศูนย์	นักศึกษาแสดงการคำนวณหาแรงลัพธ์จากแรงที่มือผลักกล่องด้วยกฎนิวตันข้อที่ 2	48
3	เท่ากับ/ไม่เท่ากับศูนย์	อื่นๆ (คำตอบไม่สมบูรณ์และจัดเข้ากลุ่มไม่ได้)	6

ตารางที่ 3.1(ค) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบตัวเลือก (สถานการณ์รถยนต์และรถบรรทุก) (N=567)

ตัวเลือก	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทั้งสองคัน พบว่า...	ร้อยละ
1	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกมากกว่ารถยนต์ เพราะมวลมากกว่า	17
2	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะมวลน้อยกว่า	16
3	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะอัตราเร็วมากกว่า	34
4*	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกเท่ากับรถยนต์ เพราะอัตราเร็วคงตัว	25
5	คำตอบเป็นอย่างอื่น	8

คำตอบที่ถูกต้อง

ผลข้อมูลในตารางที่ 3.1(ก) พบว่ามีเพียงร้อยละ 29 ของผู้เรียนที่เข้าใจว่ายานอวกาศเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องมีแรงมากระทำ แต่ผู้เรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 69) ยังคงเชื่อว่าการเคลื่อนที่ของยานอวกาศขณะนั้นต้องมีแรงกระทำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเข้าใจผิดที่ว่า “แรงจำเป็นต่อการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ” (Bao, 1999) สำหรับสถานการณ์กล่องไม้ตามตารางที่ 3.1(ข) พบว่า ผู้เรียนร้อยละ 48 คิดว่ามีแรงลัพธ์กระทำต่อกล่องไม้ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวบนพื้นลื่นโดยแรงนี้มาจากแรงผลักจากมือเด็กซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนยังคงคิดว่ามีแรงมือติดกล่องไม้ไปขณะเคลื่อนที่ทั้งที่กล่องไม้และมือไม่ได้สัมผัสกันแล้ว ทั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจผิดเกี่ยวกับแรงสัมผัส (contact force) ของผู้เรียน และจากผลข้อมูลในตารางที่ 3.1(ค) พบว่า ร้อยละ 34 ของผู้เรียนเข้าใจว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าจะมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุมากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำกว่า อีกทั้งร้อยละ 67 ของผู้เรียนเชื่อว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุ

สำหรับตารางที่ 3.2(ก-ค) แสดงกลุ่มคำตอบและร้อยละการตอบจากกลุ่มตัวอย่างต่อชุดคำถามในหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2(ก) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบบทความ (สถานการณ์ลูกเทนนิส) (N=567)

กลุ่มคำตอบ	ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้น		ลูกเทนนิส ณ ตำแหน่งสูงสุด		ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ลง	
	แรงที่กระทำ...	ร้อยละ	แรงที่กระทำ...	ร้อยละ	แรงที่กระทำ...	ร้อยละ
1*	แรงโน้มถ่วง	7	แรงโน้มถ่วง	7	แรงโน้มถ่วง	45
2	แรงลดลง	47	แรงเป็นศูนย์	92	แรงเพิ่มขึ้น	48
3	แรงโยนและแรงโน้มถ่วง	43	คำตอบอื่นๆ	1	คำตอบอื่นๆ	7
4	คำตอบอื่นๆ	3	-	-	-	-

<u>หมายเหตุ</u> ตอบถูกทุกกรณี คิดเป็นร้อยละ 7 ของผู้เรียนทั้งหมด

ตารางที่ 3.2(ข) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบการประมาณ (สถานการณ์นักกระโดดร่ม)

กลุ่มคำตอบ	แรงที่ร่มชูชีพกระทำต่อนักกระโดดร่ม (T) เท่ากับ...	ร้อยละ (N=488)	แรงดังกล่าวสัมพันธ์กับมวลนักกระโดดร่ม คือ...	ร้อยละ (N=258)
1*	$\sum\vec{F}=m\vec{a} \Rightarrow$ mg-T=ma T=mg-ma	54	แรงแปรผันตรงกับมวล	97
2	$\sum\vec{F}=m\vec{a} \Rightarrow$ T=ma	42	แรงแปรผกผันกับมวล	3
3	คำตอบอื่นๆ	4	-	-

<u>หมายเหตุ</u> ตอบถูกทุกคำถาม คิดเป็นร้อยละ 55 ของผู้เรียนทั้งหมด (N=243)

ตารางที่ 3.2(ค) ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถามแบบตัวเลือก (สถานการณ์ลิฟต์) (N=567)

ตัวเลือก	แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลิฟต์ พบว่า...	ร้อยละ
1	ขนาด 0 นิวตัน ทิศลง	22
2	ขนาด 0 นิวตัน ทิศขึ้น	4
3*	ขนาด 200 นิวตัน ทิศลง	60
4	ขนาด 200 นิวตัน ทิศขึ้น	8
5	คำตอบเป็นอย่างอื่น	4

คำตอบที่ถูกต้อง

จากผลข้อมูลในตารางที่ 3.2(ก) พบว่า ผู้เรียนเชื่อว่าขณะลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้นมีแรงกระทำลดลง (ร้อยละ 47), ขณะอยู่ที่จุดสูงสุดในอากาศมีแรงกระทำเป็นศูนย์ (ร้อยละ 92) และขณะกำลังเคลื่อนที่ลงมีแรงกระทำเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 48) แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนพิจารณาขนาดของแรงตามขนาดความเร็วของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ ($F \propto v$) ซึ่งเป็นความเข้าใจผิดที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith และ Wittmann (2008) อีกทั้งยังมีผู้เรียนร้อยละ 43 คิดว่าขณะลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้นไปในอากาศมีแรงโยนจากมือกระทำต่อลูกเทนนิสด้วยซึ่งเป็นความเข้าใจผิดเกี่ยวกับแรงสัมผัส (contact force) สอดคล้องกับคำถามก่อนหน้านี้ นอกจากนี้พบว่ามีเพียงร้อยละ 7 ของผู้เรียนที่สามารถตอบคำถามสถานการณ์วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งได้ถูกต้องทุกกรณีและเข้าใจว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายในโลกมีแรงโน้มถ่วงกระทำเสมอ สำหรับสถานการณ์ของนักกระโดดร่มชูชีพจากข้อมูลในตารางที่ 3.2(ข) พบว่าร้อยละ 42 ของผู้เรียนคำนวณหาแรงที่กระทำต่อวัตถุที่สนใจผิดโดยผู้เรียนบอกแรงต่างๆ ที่กระทำต่อวัตถุไม่ถูกต้องและขาดความเข้าใจในการเขียนแผนภาพแรงอิสระที่กระทำต่อระบบ (free body diagram) ทั้งนี้พบว่า

จำนวนผู้เรียนตอบคำถามข้อนี้แตกต่างกันชัดเจนโดยตอบคำถามแรก (N = 488) มากกว่าคำถามหลัง (N = 258) อาจเป็นผลมาจากคำถามในข้อนี้ค่อนข้างยาวและกำกวมจึงส่งผลให้ผู้เรียนตอบคำถามหลังจำนวนน้อยลง และเมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 3.2(ค) กลับพบว่าร้อยละ 60 ของผู้เรียนตอบคำถามสถานการณ์ของลิฟต์ได้ถูกต้องซึ่งแตกต่างกับสถานการณ์ของนักกระโดดร่มชูชีพเนื่องจากมีบริบทที่ซับซ้อนมากกว่า (คนและร่มชูชีพ) แสดงให้เห็นว่าความเข้าใจของผู้เรียนขึ้นกับบริบทของคำถาม (Bao, 1999; Bao, Hogg and Zollman, 2002; Bao and Redish, 2006)

ความเข้าใจผิดที่พบจากชุดคำถามเหล่านี้จะถูกปรับแก้โดยวิธีการสอนแบบ JiTT ในชั้นเรียนผนวกกับการสอนแบบบรรยายโดยนำข้อมูลความเข้าใจผิดของผู้เรียนมาออกแบบกิจกรรมและสืบค้นสื่อการสอนเพื่อใช้ในชั้นเรียน เช่น วีดิทัศน์การส่งยานอวกาศขึ้นสู่ห้วงอวกาศใช้สำหรับแก้ไขความเข้าใจผิดเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1, สื่อการทดลองเสมือนชุดคนผลักวัตถุบนพื้นราบลื่นและพื้นเอียงใช้สำหรับแก้ไขความเข้าใจผิดเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 และสื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวของนักกระโดดร่มชูชีพและการตกอย่างอิสระของวัตถุใช้สำหรับแก้ไขความเข้าใจผิดเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เป็นต้น

ขั้นที่ 3: ดำเนินการสอนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ JiTT กับกลุ่มตัวอย่างตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสำหรับเนื้อหาเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

ขั้นที่ 4: หลังเรียนหัวข้อนี้จบ 1 สัปดาห์ ผู้สอนนำคำถาม Puzzle ขึ้นไปไว้บนระบบ LMS@PSU ให้ผู้เรียนเข้าไปทำและส่งกลับภายในเวลา 5 วัน จากนั้นผู้สอนรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อใช้ในการประเมินวิธีการสอนนี้ (นำเสนอในบทถัดไป)

ขั้นที่ 5: หลังเรียนจบ 1 เดือน กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมิน FMCE อีกครั้งเป็นการทดสอบหลังเรียน (post-test) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้รวมทั้ง pre-test ไปวิเคราะห์เพื่อประเมินวิธีการสอนนี้ (นำเสนอในบทถัดไป)

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผลการดำเนินการวิจัยเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนในหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 หลังการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT นำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.1 ผลของชุดคำถาม Puzzle

4.2 ผลของแบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE)

4.1 ผลของชุดคำถาม Puzzle

คำตอบของผู้เรียนจากระบบ LMS@PSU สำหรับชุดคำถาม Puzzle ถูกนำมาวิเคราะห์และจัดกลุ่มตามแนวคิดหลักเพื่อแสดงถึงความเข้าใจของผู้เรียนต่อหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 หลังเรียนแสดงผลข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

1) ผลคำตอบของคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถาม Puzzle (สถานการณ์นักสเก็ตน้ำแข็ง)

กลุ่มคำตอบ	ขนาดแรงลัพธ์ที่กระทำต่อนักสเก็ตน้ำแข็งพบว่า...	ร้อยละ (N=550)	การเคลื่อนที่ของนักสเก็ตน้ำแข็งพบว่า...	ร้อยละ (N=526)
1*	เท่ากับศูนย์	83	นักสเก็ตน้ำแข็งยังคงเคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าด้วยความเร็วคงตัว ($\vec{a}=0$)	96
2	ไม่เท่ากับศูนย์	16	คำตอบอื่นๆ	4
3	คำตอบอื่นๆ	1	-	-

*หมายเหตุ ตอบถูกทุกคำถาม คิดเป็นร้อยละ 73 ของผู้เรียนทั้งหมด (N=524) (*คำตอบที่ถูกต้อง)*

หลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT พบว่าร้อยละ 83 ของผู้เรียนตอบคำถามได้ถูกต้องว่าขนาดแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวมีค่าเป็นศูนย์และร้อยละ 96 ของผู้เรียนตอบได้ถูกต้องว่าวัตถุดังกล่าวจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่ต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละของคำตอบที่ถูกต้องก่อนเรียนจากชุดคำถาม Warm Up ของสถานการณ์ยานอวกาศ (ร้อยละ 29) และสถานการณ์กล่องไม้ (ร้อยละ 46)

ในตารางข้อมูล 3.1(ก-ข) พบว่าวิธีการสอนนี้ช่วยให้ผู้เรียนตอบคำถามเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ได้ถูกต้องเพิ่มขึ้นหลังเรียน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความเข้าใจผิดของผู้เรียนเรื่องแรงสัมผัส (contact force) ในสถานการณ์นี้ผู้เรียนร้อยละ 16 เชื่อว่ามีแรงเท้ากระทำต่อนักสเก็ตน้ำแข็งขณะกำลังเคลื่อนที่เมื่อเปรียบเทียบกับผลข้อมูล Warm Up ของสถานการณ์กล่องไม้ในตารางที่ 3.1(ข) (ผู้เรียนร้อยละ 48 เชื่อว่ามีแรงมือกระทำต่อกล่องไม้ขณะเคลื่อนที่) แสดงให้เห็นว่าหลังเรียนด้วยวิธีการสอนนี้ช่วยให้ผู้เรียนตอบผิดเรื่องนี้น้อยลง

2) ผลคำตอบของคำถาม Puzzle สำหรับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลคำตอบของผู้เรียนจากคำถาม Puzzle (สถานการณ์กล่องบนพื้นเอียง)

กลุ่มคำตอบ	กล่องกำลังเคลื่อนที่ขึ้น (N=426)		กล่องอยู่ที่ปลายพื้นเอียง (N=325)		กล่องกำลังเคลื่อนที่ลง (N=328)	
	ขนาดแรงลัพธ์ (F)... (ร้อยละ)	ทิศแรงลัพธ์.. (ร้อยละ)	ขนาดแรงลัพธ์ (F)... (ร้อยละ)	ทิศแรงลัพธ์.. (ร้อยละ)	ขนาดแรงลัพธ์ (F)... (ร้อยละ)	ทิศแรงลัพธ์.. (ร้อยละ)
1*	$F = mg\sin 30$ (12%)	ลง (23%)	$F = mg\sin 30$ (26%)	ลง (33%)	$F = mg\sin 30$ (61%)	ลง (100%)
2	$F = ma + mg\sin 30$ (62%)	ขึ้น (77%)	$F = 0$ (67%)	ไม่มี (67%)	$F = ma - mg\sin 30$ (24%)	-
3	$F = ma$ (12%)	-	$F = mg\cos 30$ (4%)	-	$F = ma + mg\sin 30$ (9%)	-
4	$F = ma - mg\sin 30$ (11%)	-	$F = ma + mg\sin 30$ (3%)	-	$F = mg\sin 30 - ma$ (6%)	-
5	$F = mg\cos 30$ (3%)	-	-	-	-	-

*<u>หมายเหตุ</u> ตอบถูกทุกคำถาม คิดเป็นร้อยละ 7 ของผู้เรียนทั้งหมด (N=295) (*คำตอบที่ถูกต้อง)*

ผลข้อมูลตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าหลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ผู้เรียนสามารถตอบคำถามเกี่ยวกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งได้ถูกต้องมากขึ้นในแต่ละกรณี (กลุ่มคำตอบ 1 : 12%, 26% และ 61% ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับบริบทที่คล้ายคลึงกันก่อนเรียนของสถานการณ์ลูกเทนนิสจากชุดคำถาม Warm Up ในตารางที่ 3.2(ก) (กลุ่มคำตอบ 1 : 7%, 7% และ 45% ตามลำดับ) แต่เนื่องด้วยคำถาม Puzzle ข้อนี้มีบริบทซับซ้อนมากขึ้น (พื้นเอียง, สปริง และกล่อง) อาจทำให้ผู้เรียนเกิดปัญหาในการเขียนแผนภาพแรงอิสระ (free body diagram) ที่ถูกต้องจึงส่งผลให้ร้อยละของคำตอบที่ถูกยังไม่สูงมากนักและคำตอบที่ได้มีความหลากหลาย อย่างไรก็ตามผลข้อมูลยังชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ว่าผู้เรียนส่วนใหญ่เข้าใจผิดว่าแรงแปรผันตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ นั่นคือ ขณะกล่องเคลื่อนที่ขึ้นแรงมีทิศขึ้น ขนาด $ma + mg\sin 30$ เมื่อกล่องหยุดนิ่ง ณ ปลายพื้นเอียงแรงเป็นศูนย์ และขณะกล่องเคลื่อนที่ลงแรงมีทิศลง ขนาด $mg\sin 30$ ทั้งนี้ความเข้าใจผิดของผู้เรียนที่เชื่อว่าแรงแปรผันตามการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นความเข้าใจผิดหลักที่พบในงานวิจัย PER ของเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Sokoloff and Thornton, 1998; Smith and Wittmann, 2008) ผลข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการสอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ควรได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้ใช้ได้กับบริบทที่ซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งควรเสริมความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับ free body diagram ซึ่งเป็นความเข้าใจพื้นฐานทางฟิสิกส์

4.2 ผลของแบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE)

4.2.1 T-test

จากผลข้อมูลแบบประเมิน FMCE ทั้งก่อนและหลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT วิเคราะห์หาความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนด้วยสถิติ paired sample t-test ในการทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent samples) โดยกำหนดสมมติฐานของการวิจัย คือ

H_0 : $\mu_{ก่อน} \geq \mu_{หลัง}$

H_1 : $\mu_{ก่อน} < \mu_{หลัง}$

เมื่อ μ คือ ค่าคะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมิน FMCE

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SPSS ดำเนินการคำนวณตามสมการสถิติ paired sample t-test ด้วยคำสั่ง Analyze → Compare means → Paired-Sample T-Test ผลการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT (คะแนนเต็ม 43 คะแนน)

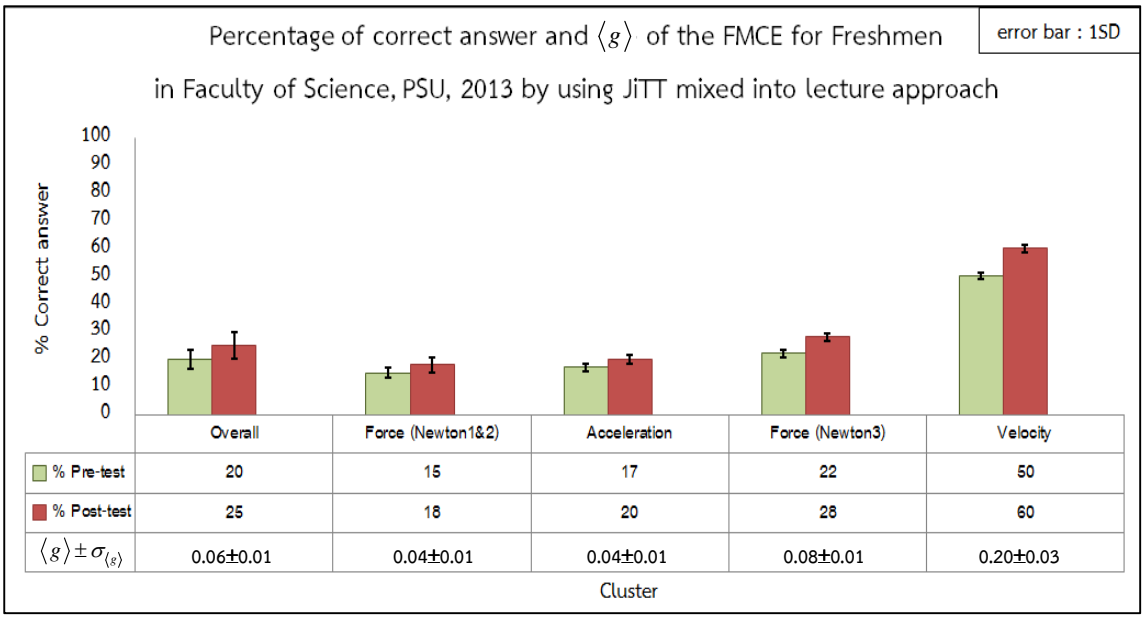
Lecture+JiTT	จำนวน (คน)	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	Sig.
ก่อนเรียน	567	8.56	3.40	-10.71*	0.00
หลังเรียน	567	10.60	4.68		

*($t_{0.025,500}$ = -1.9647)

ผลการวิเคราะห์ พบว่า การเรียนการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ทำให้ผู้เรียนได้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งแสดงว่าหลังเรียนผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เพิ่มขึ้น

4.2.2 Normalized gain

เพื่อหาปริมาณผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น (learning gain) ของผู้เรียนจึงวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมิน FMCE ด้วยร้อยละการตอบถูกของผู้เรียน และ average normalized gain ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$) โดยแสดงผลทั้งแบบภาพรวม (overall) และแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามเนื้อหา (content cluster) ได้ผลดังแสดงในแผนภูมิของรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการตอบถูกก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนและผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$) ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT

จากแผนภูมิในรูปที่ 4.1 พบว่า ร้อยละของภาพรวม (overall) ที่ผู้เรียนตอบคำถามถูกจากแบบประเมินความเข้าใจ FMCE หลังเรียน (25%) มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน (20%) และเมื่อพิจารณาหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 พบว่าร้อยละคำตอบที่ถูกต้องหลังเรียน (18%) สูงกว่าก่อนเรียน (15%) เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นของผู้เรียน ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.06±0.01 และ 0.04±0.01 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าหลังการเรียนการสอนด้วยวิธีการนี้ โดยเฉลี่ยผู้เรียนมีผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้น 6% เมื่อคิดภาพรวม หรือ 4% เมื่อคิดเฉพาะเรื่องกฎของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 โดยเทียบกับผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้เป็น 100% ซึ่งจัดว่าเป็นผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นในระดับต่ำ (< 30%) (Hake, 1998) ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT นี้เน้นกิจกรรมการอภิปรายร่วมกันและถาม-ตอบในห้องเรียน โดยอาศัยความเข้าใจผิดเดิมของผู้เรียนเป็นสำคัญ เมื่ออาศัยการแปลความผลข้อมูลร่วมกับเทคนิค model analysis จึงเป็นไปได้ว่าวิธีการสอนนี้ช่วยให้ผู้เรียนปรับเปลี่ยนความคิดจากรูปแบบที่ผิดอย่างชัดเจนเป็นรูปแบบความคิดผสมระหว่างถูกกับผิด เรียกว่า hybrid model (Bao and Redish, 2006) โดยที่ hybrid model หรือ confusion state เป็นสัญลักษณ์ของการเรียนรู้ (D'Mello et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในระดับสูงขึ้นต่อไป เช่น ใช้สื่อการสอนที่กระตุ้น

ความคิดของผู้เรียนในหลายบริบท, รูปแบบกิจกรรมในชั้นเรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมโดยการแบ่งกลุ่มเรียนย่อยหรือมีผู้ช่วยสอนในการจัดกิจกรรม และ ใช้วิธีการสอนแบบ active learning อื่นผนวกกับวิธีการสอนแบบ JiTT เป็นต้น

นอกจากนี้แผนภูมิดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าหัวข้อเรื่องความเร่ง (acceleration) มีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นในระดับต่ำ (0.04±0.01) เช่นเดียวกับหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับหัวข้อนี้ควรได้รับการปรับแก้ต่อไป สำหรับหัวข้อเรื่องความเร็ว (velocity) พบว่าผู้เรียนมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด (0.20±0.03) เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ อีกทั้งคะแนนก่อนเรียนมีค่าสูง (50%) แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีความเข้าใจเดิมเรื่องความเร็วดีกว่าเรื่องอื่นทั้งนี้สอดคล้องกับผลข้อมูลจากหลายงานวิจัย เนื่องจากคำถามเรื่องความเร็วในแบบประเมิน FMCE มีรูปแบบเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาซึ่งพบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มองกราฟดังกล่าวเสมือนเป็นรูปที่แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุส่งผลให้ผู้เรียนสามารถใช้สามัญสำนึก (common sense) ในการเลือกคำตอบที่ถูกต้องได้ อีกทั้งผู้เรียนมักเข้าใจเนื้อหากลศาสตร์เกี่ยวกับการบรรยายการเคลื่อนที่ (kinematics) มากกว่าส่วนที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่กับต้นเหตุของการเคลื่อนที่ (kinetics) (Smith and Wittmann, 2008; Thornton et al., 2009)

4.2.3 Model analysis

เนื่องจากสถิติ t-test บอกเพียงความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน และค่า normalized gain บอกเพียงผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะบอกถึงสถานะทางความคิดของผู้เรียน (model state) ผู้วิจัยจึงนำเทคนิค model analysis มาใช้วิเคราะห์ข้อมูล FMCE จากหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ที่สนใจในงานวิจัยนี้ (ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดมากที่สุด) ซึ่งตรงกับคำถามข้อที่ 1-21 ในแบบประเมินความเข้าใจ FMCE โดยคำถามทั้ง 21 ข้อ สามารถแบ่งตามเนื้อหาได้เป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงตารางที่ 4.4 (Thornton and Sokoloff, 1998)

ตารางที่ 4.4 การจัดกลุ่มคำถามข้อที่ 1-21 ในแบบประเมินความเข้าใจ FMCE ตามเนื้อหา

กลุ่มที่	เนื้อหา	คำถามข้อที่
1	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1	2, 5, 15
2	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2	1, 3 – 4, 6 – 14, 16 – 21

ผู้วิจัยวิเคราะห์สถานะทางความคิดของผู้เรียน (model state) ด้วยวิธี model estimation ของเทคนิค model analysis โดยใช้ข้อมูลจากตัวแทนข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 จำนวน 4 ข้อ คือ คำถามข้อที่ 2, 5, 11 และ 12 ซึ่งมีความแตกต่างกันของบริบทและเป็นคำถามที่เห็นภาพได้ชัดเจนสอดคล้องกับเนื้อหาที่ต้องการวิเคราะห์ผู้เรียนทั้งสองกลุ่มเนื้อหา จากข้อคำถามเหล่านี้สามารถจัดรูปแบบความคิดหลัก (common model) ของผู้เรียนออกได้เป็น 3 รูปแบบ (Bao, 1999) ได้แก่

รูปแบบที่ 1 (model 1) : ไม่จำเป็นที่จะต้องมีแรงในการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมของวัตถุและแรงไม่จำเป็นต้องอยู่ในทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ (รูปแบบที่ถูกต้อง : correct model)

รูปแบบที่ 2 (model 2) : ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ จำเป็นต้องมีแรงกระทำโดยแรงจะอยู่ในทิศการเคลื่อนที่เสมอและสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็ว (รูปแบบที่ไม่ถูกต้อง : incorrect model)

รูปแบบที่ 3 (model 3) : รูปแบบความคิดอื่นๆ และคำตอบที่ไม่สมบูรณ์ (รูปแบบว่างเปล่า : null model)

ข้อมูลของข้อคำถาม FMCE ทั้ง 4 ข้อ ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยวิธีการสอนแบบแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค model analysis ตามสมการที่ 6-8 โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft excel และ Scilab เพื่อหาค่า class model density matrix, eigenvalues และ eigenvectors ของทั้งก่อนเรียน (pre-test) และหลังเรียน (post-test) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของ class model density matrix, eigenvalues, eigenvectors และองค์ประกอบพิกัดของ class model point ใน model plot ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT

Result	Pre-test	Post-test
Class density matrix	$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.12 & 0.07 \\ 0.12 & 0.60 & 0.32 \\ 0.07 & 0.32 & 0.30 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.16 & 0.18 & 0.09 \\ 0.18 & 0.60 & 0.27 \\ 0.09 & 0.27 & 0.24 \end{bmatrix}$
Eigenvalues	0.83 0.10 0.07	0.80 0.11 0.09
Eigenvectors	$\begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.83 \\ 0.52 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.45 \\ -0.83 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.93 \\ -0.32 \\ 0.18 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.29 \\ 0.84 \\ 0.45 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.78 \\ 0.06 \\ -0.62 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} -0.55 \\ 0.53 \\ -0.64 \end{pmatrix}$
Class model point		
y-component	$P_1 = (0.83)(0.19)^2 = 0.03$	$P_1 = (0.80)(0.29)^2 = 0.07$
x-component	$P_2 = (0.83)(0.83)^2 = 0.57$	$P_2 = (0.80)(0.84)^2 = 0.57$

จากผลข้อมูลในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณา diagonal element ของ class density matrices พบว่า หลังเรียนผู้เรียนเลือก model ที่ถูกต้อง (model 1) เพิ่มมากขึ้นจาก 10% เป็น 16% และมีแนวโน้มเลือก null model ลดลง จาก 30% ลดเหลือ 24% ทั้งนี้ยังพบว่าหลังเรียนผู้เรียนเลือกใช้ model ที่ผิด (model 2) เท่ากันจากก่อนเรียน (60%) นอกจากนี้เมื่อพิจารณา off-diagonal elements พบว่า หลังเรียนผู้เรียนแต่ละคนมีแนวโน้มที่จะใช้ model 2 และ 3 ประกอบกัน ($\rho_{23}=\rho_{32}$) ลดลงจากเดิม 0.32 เป็น 0.27 อย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือหลังเรียนผู้เรียนมีแนวโน้มที่จะเลือกใช้เพียง model เดียว (model 2 หรือ model 3) มากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในงานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเลือกใช้ model เพียง model เดียว แม้อาจจะยังไม่ใช่ pure correct model แต่ incorrect model ก็ไม่เพิ่มขึ้นและเป็นไปได้ว่า model ทางความคิดของผู้เรียนอยู่ใน confusion state

ทั้งนี้เมื่อลองวิเคราะห์ผลข้อมูลจากวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture) ที่ใช้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2555 (N=420) ด้วยตัวแทนข้อคำถามเดียวกันเพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.6

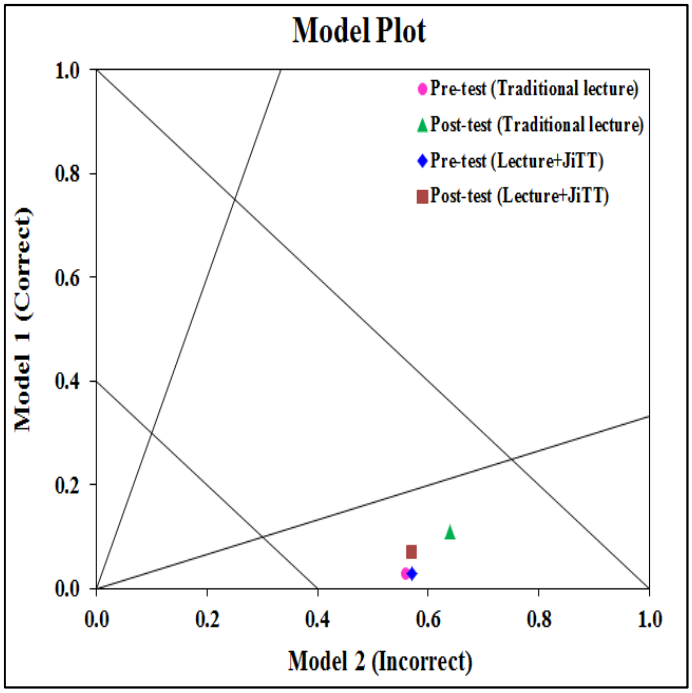
ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ของ class model density matrix, eigenvalues, eigenvectors และองค์ประกอบพิกัดของ class model point ใน model plot ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ

Result	Pre-test	Post-test
Class density matrix	$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.12 & 0.07 \\ 0.12 & 0.58 & 0.33 \\ 0.07 & 0.33 & 0.32 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.21 & 0.23 & 0.06 \\ 0.23 & 0.66 & 0.15 \\ 0.06 & 0.15 & 0.13 \end{bmatrix}$
Eigenvalues	0.84 0.09 0.07	0.79 0.12 0.09
Eigenvectors	$\begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.82 \\ 0.55 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.48 \\ -0.82 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.93 \\ -0.32 \\ 0.17 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.90 \\ 0.23 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 0.92 \\ -0.33 \\ -0.21 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} -0.12 \\ 0.25 \\ -0.95 \end{pmatrix}$
Class model point		
y-component	$P_1 = (0.84)(0.19)^2 = 0.03$	$P_1 = (0.79)(0.38)^2 = 0.11$
x-component	$P_2 = (0.84)(0.82)^2 = 0.56$	$P_2 = (0.79)(0.90)^2 = 0.64$

จากผลข้อมูลในตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณา diagonal elements ของ class density matrices พบว่า หลังเรียนผู้เรียนเลือก model ที่ถูกต้อง (model 1) เพิ่มมากขึ้นจาก 10% เป็น 21% และมีแนวโน้มเลือก null model ลดลง จาก 32% เหลือ 13% โดยหลังเรียนผู้เรียนเลือก model ที่ผิด (model 2) เพิ่มขึ้นจาก 58% เป็น 66% นอกจากนี้เมื่อพิจารณา off-diagonal elements พบว่า หลังเรียนผู้เรียนแต่ละคนมีแนวโน้มที่จะใช้ model 2 และ 3 ประกอบกัน (ρ_{23}=ρ_{32}) ลดลงจากเดิม 0.33 เป็น 0.15 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าหลังเรียนนักศึกษามีแนวโน้มที่จะเลือกใช้เพียง model เดียว (model 2 หรือ model 3) มากขึ้น แต่สำหรับนักศึกษาที่ใช้ model 1 และ 2 ประกอบกัน (ρ_{12} = ρ_{21}) พบว่า หลังเรียนค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.12 เป็น 0.23 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงความคงเส้นคงวาต่ำ (low consistency) นั่นคือ หลังเรียนนักศึกษาใช้ทั้งสอง model ประกอบกันมากขึ้น ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบ eigenvalues ที่มากสุดและ eigenvectors ที่สอดคล้องกันจากคะแนนก่อนเรียน (pre-test) ของทั้งสองวิธีการสอน พบว่า ความน่าจะเป็นที่นักศึกษาเลือกใช้ model แต่ละ model ไม่แตกต่างกันหรืออาจกล่าวได้ว่านักศึกษามีความรู้พื้นฐานเรื่องนี้ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับหลังเรียนจะเห็นได้ชัดเจนว่า วิธีการสอนแบบบรรยายปกติ

หลังเรียนผู้เรียนเลือก model ถูกและผิดมากขึ้น แต่วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT หลังเรียนผู้เรียนเลือก model ถูกมากขึ้นโดยที่ model ผิดมีจำนวนคงตัว

ทั้งนี้เพื่อให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะทางความคิดของผู้เรียนได้ชัดเจนมากขึ้นจึงวิเคราะห์หา class model point ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 และนำไปสร้างกราฟรูปแบบความคิด (model plot) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสอนทั้งสองวิธี ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟรูปแบบความคิด (model plot) ระหว่างก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้งชั้นเรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture) และการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการแบบ JiTT ในหัวข้อย่อยเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

จากกราฟรูปแบบความคิดในรูปที่ 4.2 พบว่า หลังเรียนทั้งการสอนแบบบรรยายปกติและการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT พิกัด class model point (post-test) ยังคงอยู่ในบริเวณรูปแบบความคิดที่ผิด (model 2) ทั้งนี้วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT มีการเปลี่ยนแปลง model state จากก่อนเรียนไปหลังเรียนน้อยกว่าวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ โดยไปในทิศทางที่ model ถูกเพิ่มขึ้น model ผิดคงตัว (วิธีการสอนแบบบรรยายปกติ model state เลื่อนไปในทิศทางที่ model ถูกเพิ่มขึ้น และ model ผิดเพิ่มขึ้นด้วย) แม้วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะช่วยปรับให้ผู้เรียนใช้ model ที่ถูก

มากขึ้นหลังเรียน แต่การเปลี่ยน model state จากก่อนไปหลังเรียนมีค่าน้อย อีกทั้งยังคงอยู่ใน incorrect model จึงแสดงให้เห็นว่าวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ในงานวิจัยนี้ยังจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง โดยอาจปรับกิจกรรมในชั้นเรียน, สื่อการสอนที่นำมาใช้ หรือนำเอาวิธีการสอนแบบ active learning อื่นๆ มาใช้ร่วมกันเพื่อกระตุ้นความคิดของผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้และเลือกใช้รูปแบบความคิดที่ถูกต้องมากขึ้น (Bonwell and Eison, 1991; Watkins and Mazur, 2010; Meltzer and Thornton, 2012) อย่างไรก็ตามการประเมินด้วยเทคนิค model analysis ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ในงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษาช่วยให้ทราบถึงสถานะทางความคิดและการเปลี่ยนแปลงสถานะทางความคิดระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนที่เกิดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน นับเป็นจุดเด่นที่น่าสนใจของวิธีการประเมินนี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) เพื่อปรับแก้ความเข้าใจผิดและส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 สำหรับนักศึกษาระดับมหาวิทยาลัยชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำรวจความเข้าใจก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) และประเมินวิธีการสอนที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิค model analysis ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ในงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ JiTT ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สร้างมาจากการสำรวจความเข้าใจเดิมของผู้เรียนก่อนเรียนผ่านทางเว็บไซต์ LMS@PSU และนำมาประมวลผลเพื่อจัดกิจกรรมแบบ active learning ในชั้นเรียนที่เน้นการอภิปรายร่วมกันและใช้สื่อการสอนร่วมสมัยเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองตามทฤษฎีการเรียนรู้แบบ constructivism

2. การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ JiTT ที่สร้างขึ้นสำหรับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 พบว่าหลังเรียนโดยวิธีการสอนนี้ ผู้เรียนได้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (ประเมินด้วย paired sample t-test) แต่มีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น (learning gain) ในระดับต่ำ ($\langle g \rangle \pm \sigma_{\langle g \rangle}$ =0.04±0.01) เมื่อพิจารณา model state ด้วยเทคนิค model analysis พบว่า วิธีการสอนนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้ model ที่ถูกมากขึ้นหลังเรียนและใช้ model ผิดเท่าเดิม มีการเลื่อนเพียงเล็กน้อยของ model state จากก่อนไปหลังเรียน อีกทั้งยังคงอยู่ในบริเวณของ incorrect model ดังนั้นวิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ JiTT ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบความเข้าใจผิด (misconception) ของผู้เรียนในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่และหัวข้อย่อยที่ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดมากที่สุดจากการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายปกติ (traditional lecture method) คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2

2. ได้วิธีการสอนแบบบรรยายที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) เพื่อปรับแก้ความเข้าใจผิดเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ที่เหมาะกับชั้นเรียนขนาดใหญ่

3. ทราบสถานะของรูปแบบความคิด (model state) ของผู้เรียนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค model analysis ซึ่งเป็นเทคนิคการประเมินแนวใหม่ในงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาวิธีการสอนและสื่อการสอนต่อไป

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. จากงานวิจัยพบว่าเกิดปัญหาการคัดลอกคำตอบและการตอบคำถามไม่สมบูรณ์ของนักศึกษาในชุดคำถามทั้ง Warm Up และ Puzzle ในระบบ LMS@PSU ซึ่งเป็นส่วนสำคัญหนึ่งของวิธีการสอนแบบ JiTT จึงทำให้ผลข้อมูลในการวิเคราะห์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจำเป็นต้องปรับปรุงและเลือกใช้เว็บไซต์ที่มีระบบป้องกันการคัดลอกคำตอบของผู้เรียน

2. จากการตอบคำถามของผู้เรียนทั้งชุดคำถาม Warm Up และ Puzzle พบว่ามีผู้เรียนจำนวนหนึ่งที่ตอบคำถามไม่ครบทุกคำถามย่อยและบางส่วนตอบไม่ตรงประเด็นทำให้ผู้วิจัยต้องตระหนักมากขึ้นในการออกแบบคำถาม โดยคำถามที่ดีควรกระชับมีหนึ่งบริบทและไม่ซับซ้อน

3. ด้วยข้อจำกัดของการดำเนินการสอนจริงด้วยวิธีการสอนแบบ JiTT (ในงานวิจัยนี้ใช้เวลา 2 ชั่วโมง) จึงอาจส่งผลให้สถานะของรูปแบบความคิด (model state) ของผู้เรียนหลังเรียนเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นหากเป็นไปได้ควรดำเนินการสอนด้วยวิธีการนี้สำหรับหัวข้ออื่นที่เกี่ยวข้องด้วย

บรรณานุกรม

กรมวิชาการ. 2545. เอกสารประกอบหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน. หน้า 65. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์. 2549. สำรวจความเข้าใจของนักศึกษาในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่โดยการวิเคราะห์รูปแบบความคิด. โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาสื่อหรืออุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์กรมหาชน). 2555. สทศ.วิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานคะแนน O-NET มัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2554. NIETS News. 34 (พฤษภาคม-มิถุนายน): หน้า 8.

อภิสิทธิ์ ธงไชย, ขวัญ อารยะธนิตกุล, เชิญโชค ศรขวัญ, นฤมล เอมะรัตต์ และรัชภาคย์ จิตต์อารี. 2550. การประเมินผลการเรียนรู้แบบใหม่โดยการใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน. วารสาร มฉก.วิชาการ 11, 21 (ก.ค.-ธ.ค. 50): หน้า 86-94.

Bao, L. 1999. Dynamics of student modeling: a theory, algorithms, and application to quantum mechanics. Dissertation for Doctor of Philosophy, Faculty of the Graduate School, University of Maryland.

Bao, L. and E. F. Redish. 2001. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. Physics Education Research., American Journal of Physics Supplement. 69 (7): S45-S53.

_____. 2006. Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. Physical Review Special Topics – Physics Education Research. 2: 1-16.

Bao, L., K. Hogg, and D. Zollman. 2002. Model analysis of fine structure of student models: An example with Newton's third law. American Journal of Physics. 70 (7): 766-787.

Beichner, J. R. 2009. Introduction to Physics Eduction Reseach. A peer reviewed chapter of Getting Started in PER. (Henderson, C. and Harper, K., eds.), College Park, MD: American Association of Physics Teachers.

_____. 2009. An Introduction to Physics Education Research. North Carolina State University, Raleigh, NC. http://www.percentral.org/document/ ServeFile.cfm?ID=8806&DocID=1147&DocFID=1704&Attachment=1. (accessed January 25, 2013).

Beichner, R., R. Hake, L. C. McDermott, E. F. Redish, F. Reif, and J. Risley. 1995. Support of Physics-Education Research as a Subfield of Physics: Proposal to the NSF Physics Division. Unpublished white paper.

Bonwell, C. C., and Eison, J. A. 1991. Active learning: Creating excitement in the classroom. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1. Washington, D.C.: The George Washington University.

Buck, J. R., and K. E. Wage. 2005. Active and Cooperative Learning in Signal Processing Courses. IEEE Signal Processing Magazine. 22 (2): 76–81.

CadwalladerOlsker, T. 2009. A Model Analysis of Proof Schemes. Proceedings of the Twelfth SIGMAA on RUME Conference on Research in Undergraduate Mathematics Education.

Cashman, E. M. and E. A. Eschenbach. 2003. Active learning with web technology-just in time!. Proceedings of the 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Boulder, CO., November 5-8: T3F-9-T3F-13.

Cummings, K. 2011. A Developmental History of Physics Education Research. Department of Physics, Southern Connecticut State University, New Haven, CT.

Cummings, K., J. Marx, R. Thornton, and D. Kuhl. 1999. Evaluating innovations in studio physics. Physics Education Research., American Journal of Physics Supplement. 67 (7): S38–S44.

D'Mello, S., Lehman B., Pekrun R. and Graesser A. 2014. Confusion can be beneficial for learning. Learning and Instruction, Elsevier. 29: 153-170.

Engelhardt, P. V. 2009. An Introduction to Classical Test Theory as Applied to Conceptual Multiple-choice Tests." In Getting Started in PER. http://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=8807&DocID=1148. (accessed 6 February 2014).

Emarat, N., K. Arathanitkul, C. Soankwan, R. Chitaree, and I. Johnston. 2002. The effectiveness of the Thai traditional teaching in the introductory physics course: A comparison with the US and Australian approaches. Proceedings of Scholarly Inquiry in Flexible Science Teaching and Learning Symposium, April 5: 1-9.

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E. and Hyun H. H. 2011. How to Design and Evaluate Research in Education (8th ed.). New York: McGraw-Hill.

Fisher, K. M. 2004. The importance of prior knowledge in college science instruction. in Sunal, D.W., Wright, E.L., & Bland., J. Reform in Undergraduate Science Teaching for the 21st Century (Chapter 5). Information Age Publishing.

Hake, R. 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics. 66 (1): 64-74.

_____. 2002. Assessment of Physics Teaching Methods. Proceedings of the UNESCO-ASPEN Workshop on Active Learning in Physics, Univ. of Peradeniya, Sri Lanka, 2-4 Dec. 2002; http://www.physics.indiana.edu/~hake/. (accessed December 20, 2012).

Halloun, J. A. and D. Hestenes. 1985. The initial knowledge state of college physics students. American Journal of Physics. 53 (11): 1043-1048.

Hammer, D. 1996. More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and as appropiate role for education research. American Journal of Physics. 64 (10): 1316-1325.

Hestenes, D., M. Wells, and G. Swackhamer. 1992. Force Concept Inventory. The Physics Teacher. 30: 141-158.

Jairuk, U. 2007. The use of interactive lecture demonstrations in force and motion to teach high school-level physics. Thesis for the Degree of Master of Science and Technology Education, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University: 1-2 refer to Sokoloff, D. R. and Thornton, R. K. 2004. The Physics Suite: Interactive Lecture Demonstrations Active Learning in Introductory Physics. New Jersey: John Wiley & Sons.

_____.: 6 refer to Randall, D. K., 2004. Five Easy Lessons: Strategies for successful Physics Teaching. San Francisco. Addison Wesley.

_____.: 7 refer to Usawinchai, C. 2003. Undestanding on Concept of Force of Thai Freshmen [dissetaiton]. Mallinson Institute for Science Education.

Lalley, J. and R. Miller 2007. The learning pyramid: Does it point teachers in the right direction?. Education and Information Technologies. 128 (1): 64-79.

Marx, J. D. and K. Cummings. 2007. Normalized change. American Journal of Physics. 75 (1): 87-91.

McDermott, L. C. and E. F. Redish. 1999. Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. American Journal of Physics. 67 (9): 755-767.

Meltzer, D. E. and R. K. Thornton. 2012. Resource Letter ALIP–1: Active-Learning Instruction in Physics. American Journal of Physics. 80 (6): 478-496.

Novak, M. G., E. T. Patterson, A. D. Gavin, and W. Christian. 1999. Just-in-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Pablico, J. R. 2010. Misconceptions on force and gravity among high school students. Thesis for the degree of Master, Natural Sciences, submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana University and Agricultural and Mechanical College.

Puttisanwimon, S., Rakkapao, S. and Pengpan, T. 2013. Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by Using the Model Analysis Technique. Proceedings of Siam Physics Congress SPC2013, March, 21-23, Chaingmai, Thailand: 413-416.

Ramlo, S. 2008. Validity and reliability of the force and motion conceptual evaluation American Journal of Physics. 76 (9): 882-886.

Redish, E. F. 2003. Teaching Physics with Physics Suite. New Jersey: John Wiley & Sons.

Rockefeller IV, J. D., D. K. Inouye, J. F. Kerry, B. L. Dorgan, B. Boxer, B. Nelson, M. Cantwell, et al. 2011. Nomination of Carl E. Wieman, Ph.D., to be associate director for science, office of Science and Technology Policy, executive office of the president. U.S. Government printing office, Washington, DC.

Smith, T. I. and M. C. Wittmann. 2008. Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation. Physical Review Special Topics – Physics Education Research. 4: 1-12.

Soankwan, C., N. Emarat, K. Arayathanitkul, and R. Chitaree. 2007. Physics Education in Thailand. Internation Newsletter on Physics Education. October 2007: 6-8.

Sokoloff, D. R. and R. K. Thornton. 1998. Assesing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. American Journal of Physics. 66 (4): 338-352.

Thornton, R. K., D. Kuhl, K. Cummings, and J. Marx. 2009. Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory. Physical Review Special Topics – Physics Education Research. 5: 1-8.

Wattanakasiwich, P. 2008. Assessing Student Conceptual Understanding of Force and Motion with Model Analysis. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences. 7 (2): 307-315.

_____. 2009. Model Analysis: A Quantum Approach to Analyze Student Understanding. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences. 36(1): 24-32.

Wittmann, M. C. 2000. Interim report for the realtime physics and interactive lecture demonstration dissemination project. Department of Physics and Astronomy, University of Maine, http://perlnet.umephy.maine.edu/research/Wittmann2002RTPpaper.pdf (accessed December 13, 2012).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่

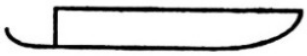
(Force and Motion Conceptual Evaluation : FMCE)

คำสั่ง:

- **อย่าเขียนคำตอบหรือข้อความใดๆ ลงในกระดาษคำถามนี้**
- ให้เขียนตัวเลือกที่คิดว่าถูกต้องที่สุด ลงในช่องว่างของ**กระดาษคำตอบ**
- **คำถามมี 43 ข้อ ใช้เวลา 30 นาที** เสร็จแล้วคืนทั้งกระดาษคำถามและกระดาษคำตอบ

คำถามข้อ 1 – 7 เลื่อนน้ำแข็งเคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งซึ่งแรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด คนใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้ามีปุ่มแหลม ๆ สามารถยืนบนน้ำแข็งและออกแรงเพื่อดันเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นน้ำแข็งได้ จงเลือกแรง**หนึ่งแรง** (จาก A ถึง G) ที่**กระทำต่อเลื่อน ซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของเลื่อนในแต่ละข้อ** (1 – 7)

* ตัวเลือกแต่ละตัวสามารถใช้ได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่ใช้เลยก็ได้ ถ้าคิดว่าไม่มีข้อใดถูกให้ตอบตัวเลือก J

	A. แรงมีทิศไปทาง**ขวา**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น** B. แรงมีทิศไปทาง**ขวา**และมีขนาดที่**คงตัว** C. แรงมีทิศไปทาง**ขวา**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง**
	D. ไม่จำเป็นต้องมีแรงกระทำ
	E. แรงมีทิศไปทาง**ซ้าย**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง** F. แรงมีทิศไปทาง**ซ้าย**และมีขนาด**คงตัว** G. แรงมีทิศไปทาง**ซ้าย**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น**

_____1. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

_____2. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว

_____3. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

_____4. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

_____5. เลื่อนถูกดันให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จนกระทั่งมีความเร็วขนาดหนึ่ง ไปทางขวา แรงใดที่จะทำให้เลื่อนยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วนี้

_____6. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอและมีความเร่งไปทางขวา

_____7. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

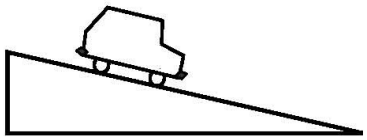
---

* Tools for Scientific Thinking, CSMT, Tufts University,

Motion & Force Conceptual Evaluation 9/96 โดย R.K. Thornton และ D. Sokoloff

แปลโดย กลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษา PENThai ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ฉบับปรับปรุง ปี 2553)

คำถามข้อ 8 – 10 ผลักส่งรถของเล่นอย่างรวดเร็วแล้ว**ปล่อย**ให้เคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง ทำให้รถเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงไปจนถึงตำแหน่งสูงสุดและเคลื่อนที่กลับลงมาอีก ***แรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด***



ให้เลือกตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อแสดง**แรงสุทธิ**ที่กระทำต่อรถหลังจากรถหลุดออกจากมือแล้ว ตามที่บรรยายในแต่ละข้อข้างล่าง (8 – 10) ถ้าคิดว่าไม่มีตัวเลือกใดถูกให้ตอบตัวเลือก J

(A) แรงสุทธิ**คงตัว** ทิศ**ลง**ตามพื้นเอียง

(B) แรงสุทธิที่มีขนาดกำลัง**เพิ่มขึ้น** ทิศ**ลง**ตามพื้นเอียง

(C) แรงสุทธิที่มีขนาดกำลัง**ลดลง** ทิศ**ลง**ตามพื้นเอียง

(D) แรงสุทธิเป็นศูนย์

(E) แรงสุทธิ**คงตัว** ทิศ**ขึ้น**ตามพื้นเอียง

(F) แรงสุทธิที่มีขนาดกำลัง**เพิ่มขึ้น** ทิศ**ขึ้น**ตามพื้นเอียง

(G) แรงสุทธิที่มีขนาดกำลัง**ลดลง** ทิศ**ขึ้น**ตามพื้นเอียง

_____8. รถกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงหลังจากหลุดออกจากมือ

_____9. รถอยู่ที่จุดสูงสุด

_____10. รถกำลังเคลื่อนที่ลงพื้นเอียง

คำถามข้อ 11 – 13 โยนเหรียญ ๆ หนึ่งขึ้นไปตรง ๆ หลังจากที่เหรียญหลุดมือ เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดแล้วตกกลับลงมาอีก ให้ใช้ตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อบอกว่า**แรง**ใดกำลังกระทำต่อเหรียญในแต่ละกรณีที่บรรยายในข้อข้างล่าง (11 – 13) ถ้าคิดว่าไม่มีตัวเลือกใดถูกให้ตอบตัวเลือก J ***ไม่ต้องคำนึงถึงผลเนื่องจากแรงต้านอากาศ***

A. แรงมีทิศ**ลง**และมีขนาด**คงตัว**

B. แรงมีทิศ**ลง**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น**

C. แรงมีทิศ**ลง**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง**

D. แรงเป็นศูนย์

E. แรงมีทิศ**ขึ้น**และมีขนาด**คงตัว**

F. แรงมีทิศ**ขึ้น**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น**

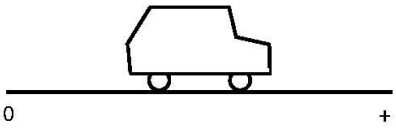
G. แรงมีทิศ**ขึ้น**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง**

_____11. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ขึ้นหลังจากที่ถูกโยน

_____12. เหรียญอยู่ที่จุดสูงสุด

_____13. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ลง

คำถามข้อ 14 – 21 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือทางซ้ายได้ ตามเส้นตรงในแนวระดับ (บนด้านบวกของแกนอ้างอิง ดังรูป) ให้ทิศขวามือคือทิศบวก



แรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด

ให้เลือกกราฟของ**แรงสุทธิที่กระทำต่อรถยนต์กับเวลา** (จาก A ถึง H) ~~หนึ่งกราฟ~~สำหรับข้อความแต่ละข้อข้างล่าง (14 – 21) ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของรถเป็นไปตามที่บรรยาย

* กราฟแต่ละกราฟสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่เลือกเลยก็ได้ ถ้าคิดว่าไม่มีกราฟใดถูกให้ตอบตัวเลือก J

_____14. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา (หนีห่างจากจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว

_____15. รถอยู่นิ่ง

_____16. รถเคลื่อนที่ไปทางขวาโดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

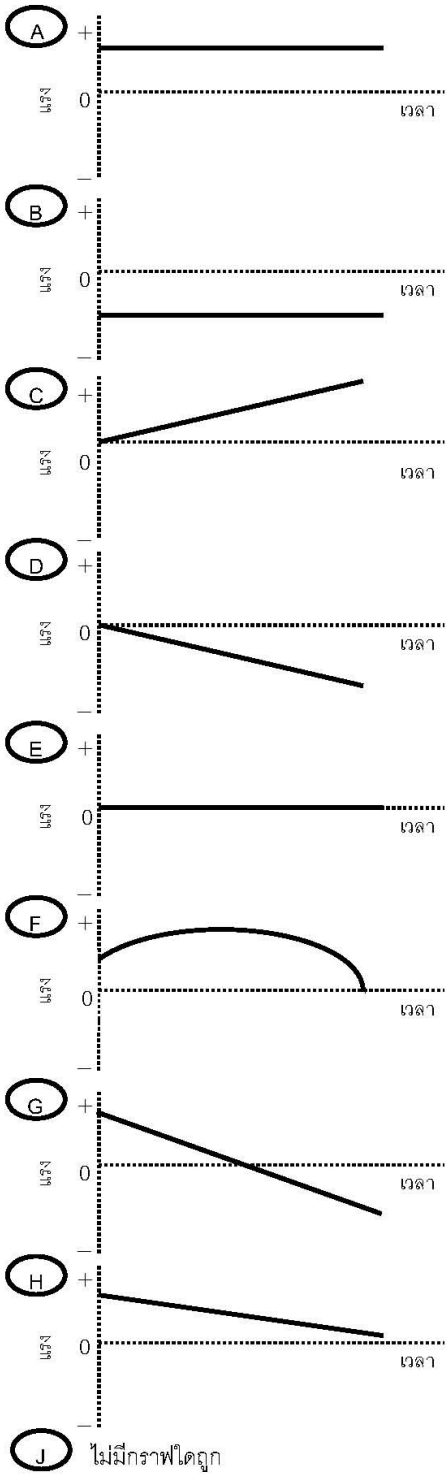
_____17. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว

_____18. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

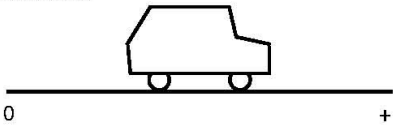
_____19. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

_____20. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นแล้วเคลื่อนที่ช้าลง

_____21. รถถูกดันไปทางขวาแล้วปล่อย กราฟใดบรรยายแรงที่กระทำ~~หลัง~~จากที่รถถูกปล่อย

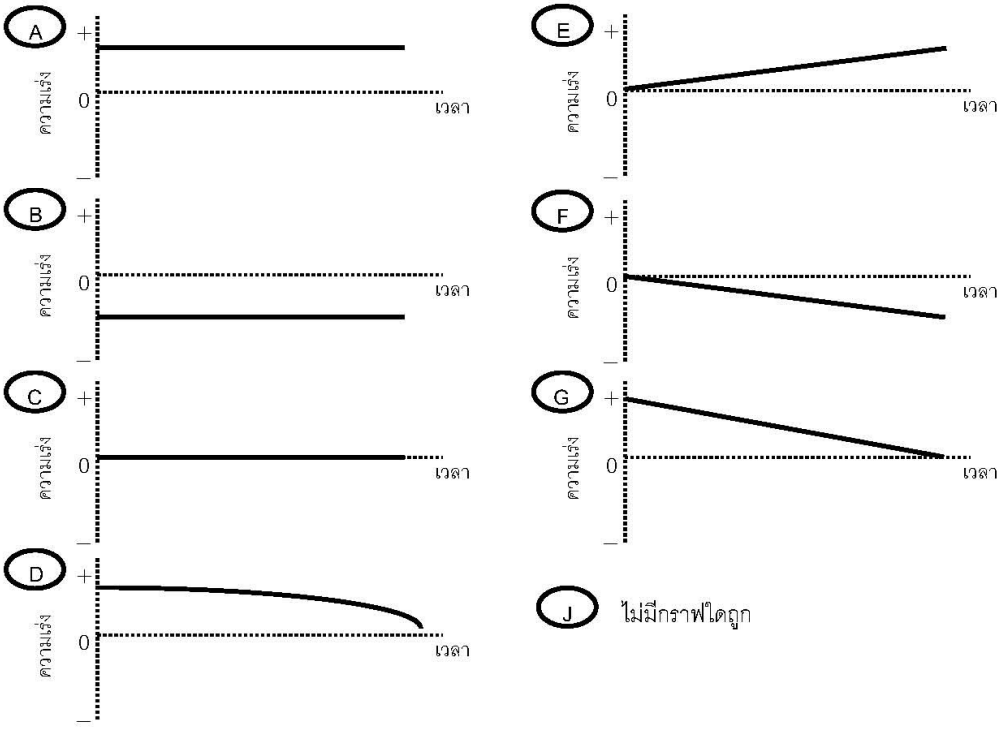


คำถามข้อ 22 – 26 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือทางซ้ายได้ ตามเส้นตรงในแนวระดับ (บนด้านบวกของแกนอ้างอิง ดังรูป) ให้ทิศขวามือคือทิศบวก



ให้เลือกกราฟ**ความเร่ง-เวลา** (จาก A ถึง G) ที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถที่บรรยายในแต่ละข้อข้างล่าง (22 – 26)

* กราฟแต่ละกราฟสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่เลือกเลยก็ได้ ถ้าคิดว่าไม่มีกราฟใดถูกให้ตอบตัวเลือก J



_____22. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา (หนีห่างจากจุดกำเนิด) โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ

_____23. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ

_____24. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว

_____25. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ

_____26. รถเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว

คำถามข้อ 27 – 29 โยนเหรียญขึ้นไปตรง ๆ หลังจากที่เหรียญหลุดออกจากมือ เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดแล้วตกกลับลงมาอีก ให้ใช้ตัวเลือกต่อไปนี้ (จาก A ถึง G) เพื่อบอก**ความเร่ง**ของเหรียญในแต่ละกรณีที่บรรยายในข้อข้างล่าง (27 – 29) โดยให้ใช้ทิศ**ขึ้น**เป็นทิศ**บวก** ถ้าคิดว่าไม่มีตัวเลือกใดถูกให้ตอบตัวเลือก J

A. ความเร่งมีทิศ**ลบ**และมีขนาด**คงตัว**
B. ความเร่งมีทิศ**ลบ**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น**
C. ความเร่งมีทิศ**ลบ**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง**
D. ความเร่งเป็นศูนย์
E. ความเร่งมีทิศ**บวก**และมีขนาด**คงตัว**
F. ความเร่งมีทิศ**บวก**และมีขนาดที่กำลัง**เพิ่มขึ้น**
G. ความเร่งมีทิศ**บวก**และมีขนาดที่กำลัง**ลดลง**

_____27. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ขึ้นหลังจากหลุดออกจากมือ
_____28. เหรียญอยู่ที่จุดสูงสุด
_____29. เหรียญกำลังเคลื่อนที่ลง

คำถามข้อ 30 – 34 เป็นการชนระหว่างรถยนต์และรถบรรทุก สำหรับการชนในแต่ละข้อ (30 – 34) ข้างล่าง ให้เลือกหนึ่งคำตอบจากตัวเลือก A ถึง J ซึ่งบรรยายแรงระหว่างรถยนต์และรถบรรทุกที่ถูกต้องที่สุด

A. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ด้วยขนาดที่มากกว่าแรงที่รถยนต์กระทำต่อรถบรรทุก
B. รถยนต์ออกแรงกระทำต่อรถบรรทุกด้วยขนาดที่มากกว่าแรงที่รถบรรทุกกระทำต่อรถยนต์
C. รถทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำต่อกันเลย รถยนต์ถูกชนพังเพราะว่ามันไปอยู่ขวางทางรถบรรทุก
D. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ แต่รถยนต์ไม่ได้ออกแรงกระทำต่อรถบรรทุก
E. รถบรรทุกออกแรงกระทำต่อรถยนต์ด้วยขนาดเท่ากับแรงที่รถยนต์กระทำต่อรถบรรทุก
F. ข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอที่จะเลือกคำตอบข้อใดข้อหนึ่งจากข้างบนได้
J. ไม่มีข้อใดถูก

*ในคำถามข้อ 30 - 32 รถบรรทุก**หนัก**กว่า**รถยนต์มาก ๆ*

_____30. รถทั้งคู่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันขณะที่ชนกัน
_____31. รถยนต์กำลังเคลื่อนที่เร็วกว่ารถบรรทุกมาก ๆ
_____32. รถบรรทุกอยู่นิ่งขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่เข้าชน

*ในคำถามข้อ 33 - 34 เปลี่ยน รถบรรทุกเป็นรถปิกอัพซึ่ง**มีน้ำหนักเท่ากับ**รถยนต์*

_____33. ทั้งรถปิกอัพและรถยนต์กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันขณะที่ชนกัน
_____34. รถปิกอัพอยู่นิ่งขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่เข้าชน

ฉบับปรับปรุง ปี 2553

คำถามข้อ 35 – 38 รถบรรทุกคันใหญ่ซึ่งจอดเสียอยู่บนถนนถูกดันกลับเข้าเมืองด้วยรถยนต์เล็ก

ให้เลือกหนึ่งคำตอบจากตัวเลือก A ถึง J ที่บรรยายแรงระหว่างรถยนต์และรถบรรทุกในแต่ละสถานการณ์ (35 – 38) ได้ถูกต้อง

A. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาด**เท่ากับ**แรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
B. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาด**น้อยกว่า**แรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
C. แรงที่รถยนต์ดันรถบรรทุกมีขนาด**มากกว่า**แรงที่รถบรรทุกดันรถยนต์กลับ
D. เนื่องจากรถยนต์ติดเครื่องอยู่ดังนั้นรถยนต์จึงออกแรงกระทำต่อรถบรรทุก แต่เพราะเครื่องยนต์รถบรรทุกดับอยู่ รถบรรทุกจึงไม่สามารถออกแรงดันรถยนต์กลับได้
E. รถทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำซึ่งกันและกันเลย รถบรรทุกถูกดันไปข้างหน้าเพราะว่ามันไปอยู่ขวางทางรถยนต์
J. ไม่มีข้อใดถูก

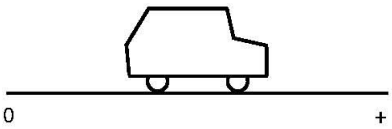
_____35. รถยนต์กำลังดันรถบรรทุกแต่ไม่สามารถทำให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ได้
_____36. ขณะที่รถยนต์กำลังดันรถบรรทุก รถยนต์กำลังเร่งเครื่อง**เร็วขึ้น**เพื่อให้ได้อัตราเร็วที่ต้องการแล่น
_____37. รถยนต์ซึ่งกำลังดันรถบรรทุกกำลังแล่นด้วยอัตราเร็วที่ต้องการและยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วย**อัตราเร็วเดิม**
_____38. รถยนต์ซึ่งกำลังดันรถบรรทุกกำลังแล่นด้วยอัตราเร็วที่ต้องการอยู่ขณะที่คนขับรถบรรทุกเหยียบเบรกและทำให้รถยนต์เคลื่อน**ที่ช้าลง**

_____39. นักเรียนสองคนนั่งอยู่บนเก้าอี้สำนักงานที่เหมือนกันทุกประการและหันหน้าเข้าหากัน บ๊อบมีมวล 95 kg ขณะที่จิมมีมวล 77 kg บ๊อบวางเท้าเปล่าของเขาบนเข่าของจิมดังที่แสดงให้เห็นในรูปด้านขวามือ บ๊อบดันเท้าของเขาออกไปทันทีทันใดทำให้เก้าอี้ทั้งสองเลื่อน ในขณะที่เท้าของบ๊อบยังแตะอยู่กับหัวเข่าของจิม ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง

บ๊อบ จิม

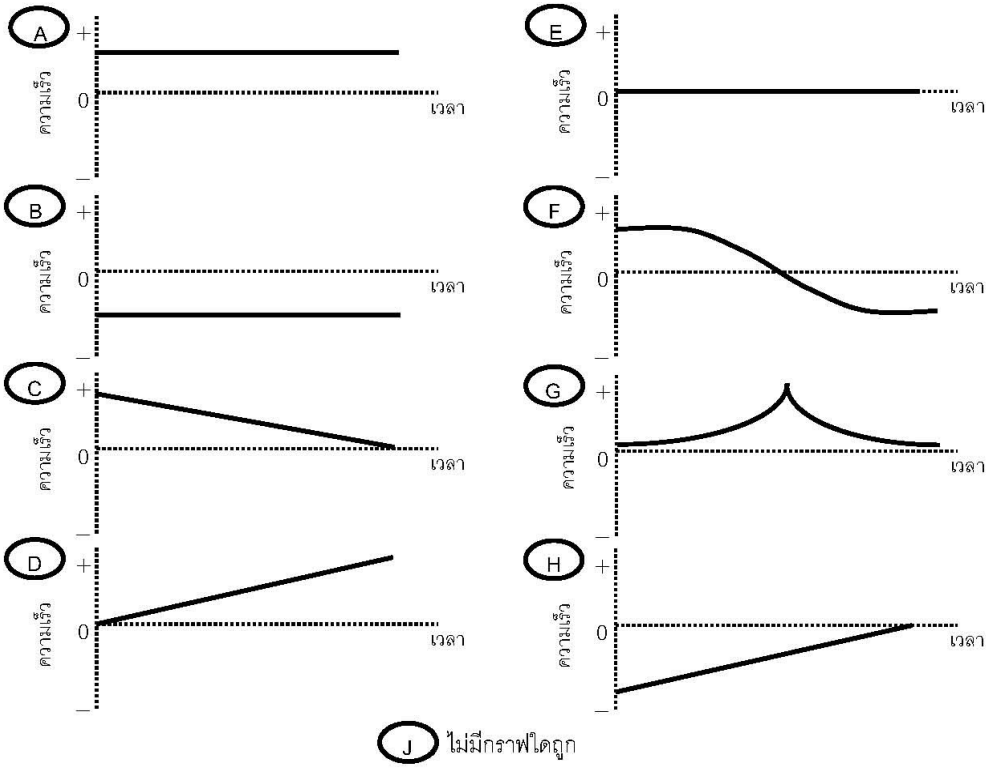
A. นักเรียนทั้งสองไม่ได้ออกแรงกระทำต่อกันเลย
B. บ๊อบออกแรงทำต่อจิม แต่จิมไม่ได้ออกแรงใด ๆ ทำต่อบ๊อบเลย
C. นักเรียนแต่ละคนต่างออกแรงแระทำซึ่งกันและกัน แต่จิมออกแรงมากกว่า
D. นักเรียนแต่ละคนต่างออกแรงแระทำซึ่งกันและกัน แต่บ๊อบออกแรงมากกว่า
E. นักเรียนแต่ละคนออกแรงขนาดเท่ากันกระทำต่อกันและกัน
J. ไม่มีข้อใดถูก

คำถามข้อ 40 – 43 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือซ้าย ตามเส้นตรงในแนวระดับ (บนด้านบวกของแกนอ้างอิง ดังรูป) ให้ทิศบวกคือทิศขวามือ



ให้เลือกกราฟ**ความเร็ว-เวลา** (ตัวเลือก A – H) ที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถที่บรรยายในแต่ละข้อข้างล่าง (40 – 43)

* กราฟแต่ละกราฟสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่เลือกเลยก็ได้ ถ้าคิดว่าไม่มีกราฟใดถูกให้ตอบตัวเลือก J



_____40. รถกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา (ออกจากจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว

_____41. รถมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับทิศ

_____42. รถกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว

_____43. รถกำลังเพิ่ม *อัตราเร็ว* ด้วยอัตราสม่ำเสมอ

ΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨΨ

ภาคผนวก ข.

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือวิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์
   หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   สาขาชำนาญการ ฟิสิกส์ทฤษฎี (Theoretical physics)
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรพล ศรีแก้ว
   รองหัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ ฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   สาขาชำนาญการ ฟิสิกส์วัสดุ (Material physics)
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตนนท์ บูรณชัย
   อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   สาขาชำนาญการ ชีวฟิสิกส์ (Biophysics)
4. ดร.ฉลองรัฐ แดงงาม
   อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   สาขาชำนาญการ ฟิสิกส์วัสดุ (Material physics)
5. ดร.สุรีรัตน์ หอมหวล
   อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   สาขาชำนาญการ ชีวฟิสิกส์ (Biophysics)

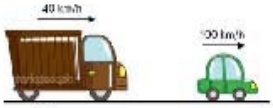
ภาคผนวก ค.

แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบ

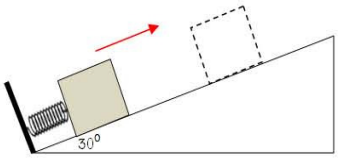
(IOC : Index of item objective congruence)

<u>คำชี้แจง</u> ตารางนี้ออกแบบเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการวัดกับข้อสอบในแต่ละข้อว่าสอดคล้องกันหรือไม่ โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านมีความคิดเห็นตามเกณฑ์ ดังนี้

+ 1 เมื่อแน่ใจว่าสอดคล้อง 0 เมื่อ<u>ไม่</u>แน่ใจว่าสอดคล้อง - 1 เมื่อแน่ใจว่า<u>ไม่</u>สอดคล้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	ข้อสอบ	การพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	- 1	
1) สามารถอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ได้ $\left(\sum \vec{F} = 0\right)$	1. ในการเดินทางของยานอวกาศระหว่างดาวเคราะห์ หากยานอวกาศไม่ติดเครื่องยนต์ จะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร (อธิบายพร้อมให้เหตุผลประกอบ)				
	2. เด็กผลักกล่องไม้ที่วางอยู่บนพื้นราบลื่นจากหยุดนิ่งให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว 2 เมตรต่อวินาที เมื่อกล่องไม้หลุดออกจากมือของเด็กแล้วจงหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องใบนี้เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ (กำหนดมวลของกล่องไม้ตามความเหมาะสม พร้อมทั้งแสดงการคำนวณให้เข้าใจ)				
	3. รถยนต์คันหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขับแซงผ่านรถบรรทุกที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทั้งสองคันเป็นอย่างไร  (1) แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกมากกว่ารถยนต์ เพราะมวลมากกว่า (2) แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะมวลน้อยกว่า (3) แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มากกว่ารถบรรทุก เพราะอัตราเร็วมากกว่า (4) แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถบรรทุกเท่ากับรถยนต์ เพราะอัตราเร็วคงตัวเหมือนกัน (5) คำตอบเป็นอย่างอื่น				

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับคะแนน			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	- 1	
1) สามารถอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ได้ $\left(\sum \vec{F} = 0\right)$	4. นักสเก็ตน้ำแข็งใช้เท้าถีบขอบสนามด้วยแรงขนาด 10 นิวตัน เพื่อผลักตนเองให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าบนพื้นน้ำแข็งลื่นดังรูป ขณะที่เขากำลังทรงตัวและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยอัตราคงตัว 5 เมตรต่อวินาที ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อเขาเป็นเท่าใด และนักสเก็ตน้ำแข็งคนนี้จะเคลื่อนที่ต่อไปอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณประกอบความเข้าใจเพื่อแสดงค่าและทิศทางของความเร็ว)				
2) สามารถอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ได้ $\left(\sum \vec{F} = m\vec{a}\right)$	5. โยนลูกเทนนิสในมือขึ้นไปบนอากาศในแนวดิ่ง เมื่อลูกเทนนิสขึ้นไปได้จนสูงสุดจะตกกลับลงมา หากไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ จงหาแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิส เมื่อ 1) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้นไป 2) ขณะที่ลูกเทนนิสอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด 3) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ลงมา				
	6. นักกระโดดร่มกระโดดออกจากเครื่องบินที่ความสูง 5 กิโลเมตรจากผิวโลก เมื่อร่มชูชีพกางออกทำให้เขาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 5 เมตร/วินาที^{2} ขนาดของแรงที่ร่มชูชีพกระทำต่อนักกระโดดร่มนี้เป็นเท่าใด และแรงที่กระทำดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับมวลของนักกระโดดร่มอย่างไร (กำหนดมวลของนักกระโดดร่มตามความเหมาะสม)				
	7. ลิฟต์หนัก 200 นิวตัน ขณะเคลื่อนที่ขึ้น หากสายเคเบิลที่ดึงลิฟต์ขาด แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลิฟต์เป็นอย่างไร (1) ขนาด 0 นิวตัน ทิศลง (2) ขนาด 0 นิวตัน ทิศขึ้น (3) ขนาด 200 นิวตัน ทิศลง (4) ขนาด 200 นิวตัน ทิศขึ้น (5) คำตอบเป็นอย่างอื่น				

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับคะแนน			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	- 1	
2) สามารถอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ได้ $\left(\sum \vec{F} = m\vec{a}\right)$	8. กล่องใบหนึ่งมวล 1 กิโลกรัมถูกกดติดไว้กับสปริงที่ยึดติดกับฝาด้านหนึ่งบนพื้นเอียงลื่นทำมุม 30 องศากับพื้นราบ เมื่อปล่อยให้กล่องเป็นอิสระ กล่องใบนี้จะถูกสปริงผลักให้ไถลขึ้นไปบนพื้นเอียงด้วยอัตรา 20 เมตรต่อวินาที^{2} ดังรูป ขนาดและทิศของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องใบนี้ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง, อยู่ที่ตำแหน่งปลายพื้นเอียง และขณะที่กำลังเคลื่อนที่กลับลงมาเป็นอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณให้เหตุผลประกอบความเข้าใจ) 				

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

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

ภาคผนวก ง.

LMS@PSU E-Learning Management System

1. รายละเอียดของเว็บไซต์

ระบบ LMS@PSU เป็นระบบที่ได้จัดตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการสนับสนุนการเรียนการสอนของอาจารย์และนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยตัวของระบบนั้นมีพื้นฐานมาจากฟรีซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการสร้างบทเรียนออนไลน์ในระบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนในรูปแบบที่ผู้สอนต้องการ ตัวอย่างความสามารถของระบบ LMS@PSU ได้แก่

1) สามารถสร้างแหล่งข้อมูลใหม่หรือเผยแพร่เอกสารที่ทำไว้ เช่น Microsoft Office, Web Page, PDF หรือ Image

2) มีระบบติดต่อสื่อสารระหว่างนักเรียน เพื่อนร่วมชั้นเรียนและผู้สอน เช่น chat หรือ web board

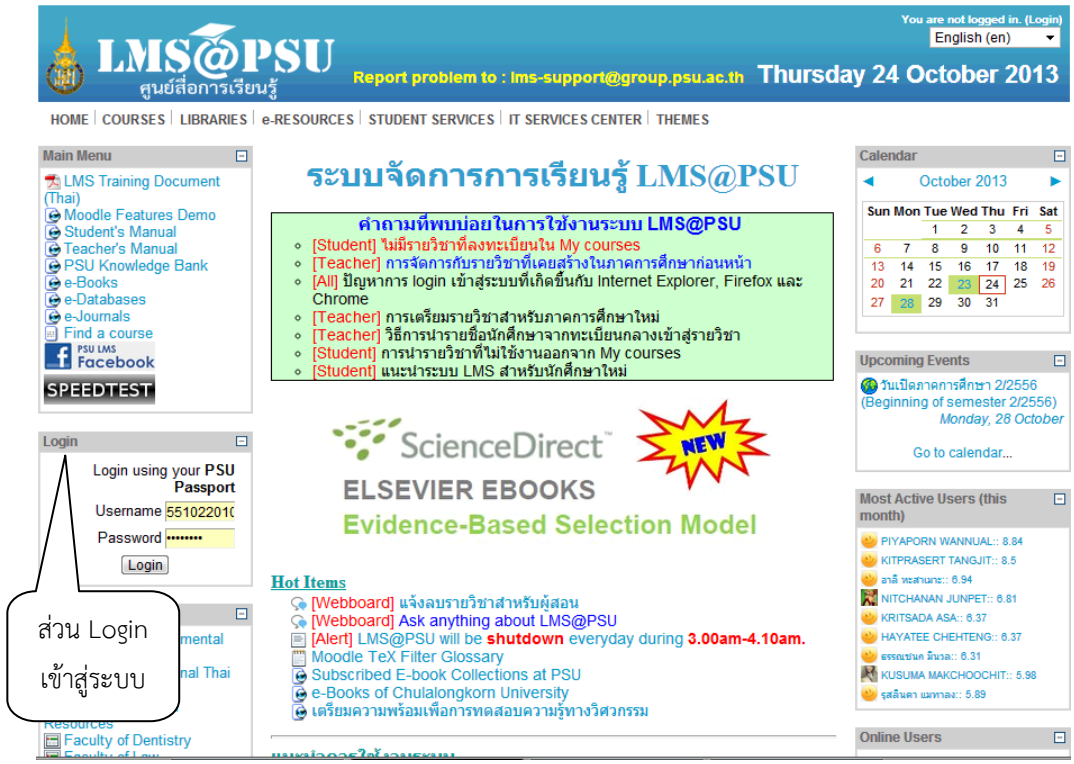
3) มีระบบแบบทดสอบ รับการบ้านและกิจกรรม ที่รองรับระบบให้คะแนนที่หลากหลาย

4) สำรองทำการและกู้คืนข้อมูลได้ง่าย

5) เป็นระบบที่ Free Open Source ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

2. ขั้นตอนการเข้าใช้งานระบบ LMS@PSU

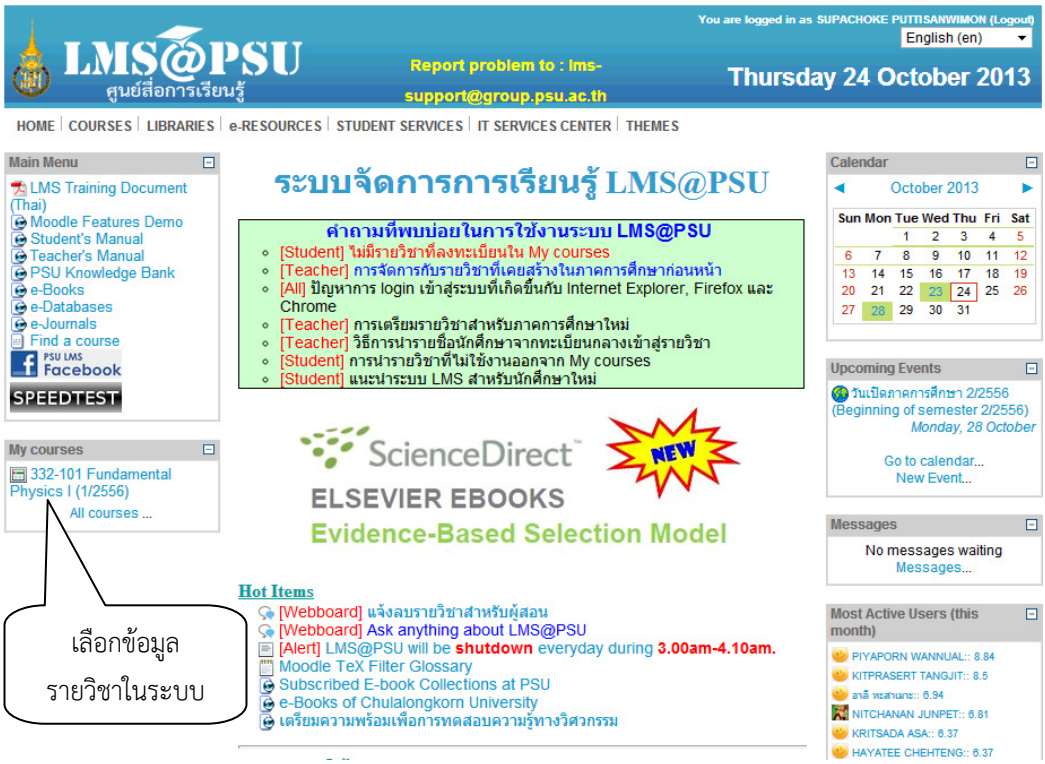
1) การเข้าสู่ระบบ LMS@PSU สามารถเข้าได้โดยใช้ Browser ทาง URL *http://lms.psu.ac.th/* ซึ่งหน้าแรกของระบบ LMS@PSU แสดงดังรูป



รูปที่ ง.1 หน้าแรกของระบบ LMS@PSU และการเข้าสู่ระบบ (Login)

2) ผู้เรียนต้องทำการเข้าสู่ระบบในส่วนของการ Login เข้าสู่ระบบ โดยใช้ PSU Passport (ID และ password ที่นักศึกษาจะได้รับมาตั้งแต่วันแรกที่เข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

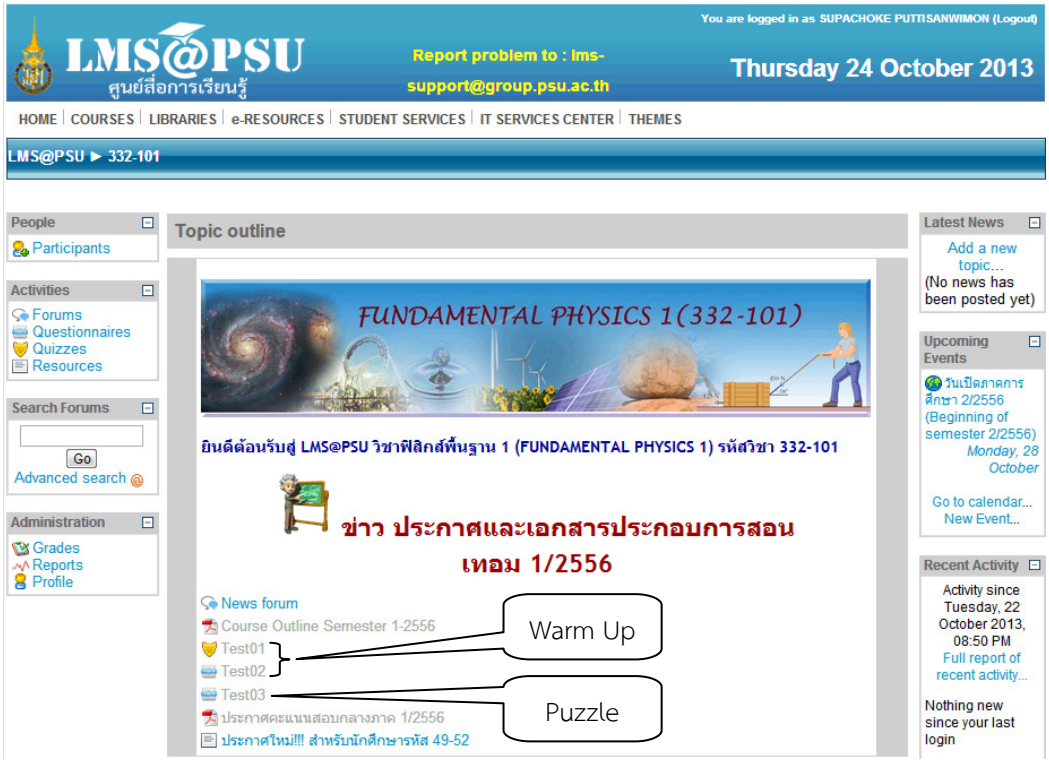
3) เมื่อเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว ให้เลือกข้อมูลรายวิชาในระบบ ในงานวิจัยนี้คือรายวิชา 332-101 Fundamental Physics I (1/2556) แสดงดังรูป



รูปที่ ง.2 การเลือกข้อมูลรายวิชาในระบบ LMS@PSU ในงานวิจัยนี้

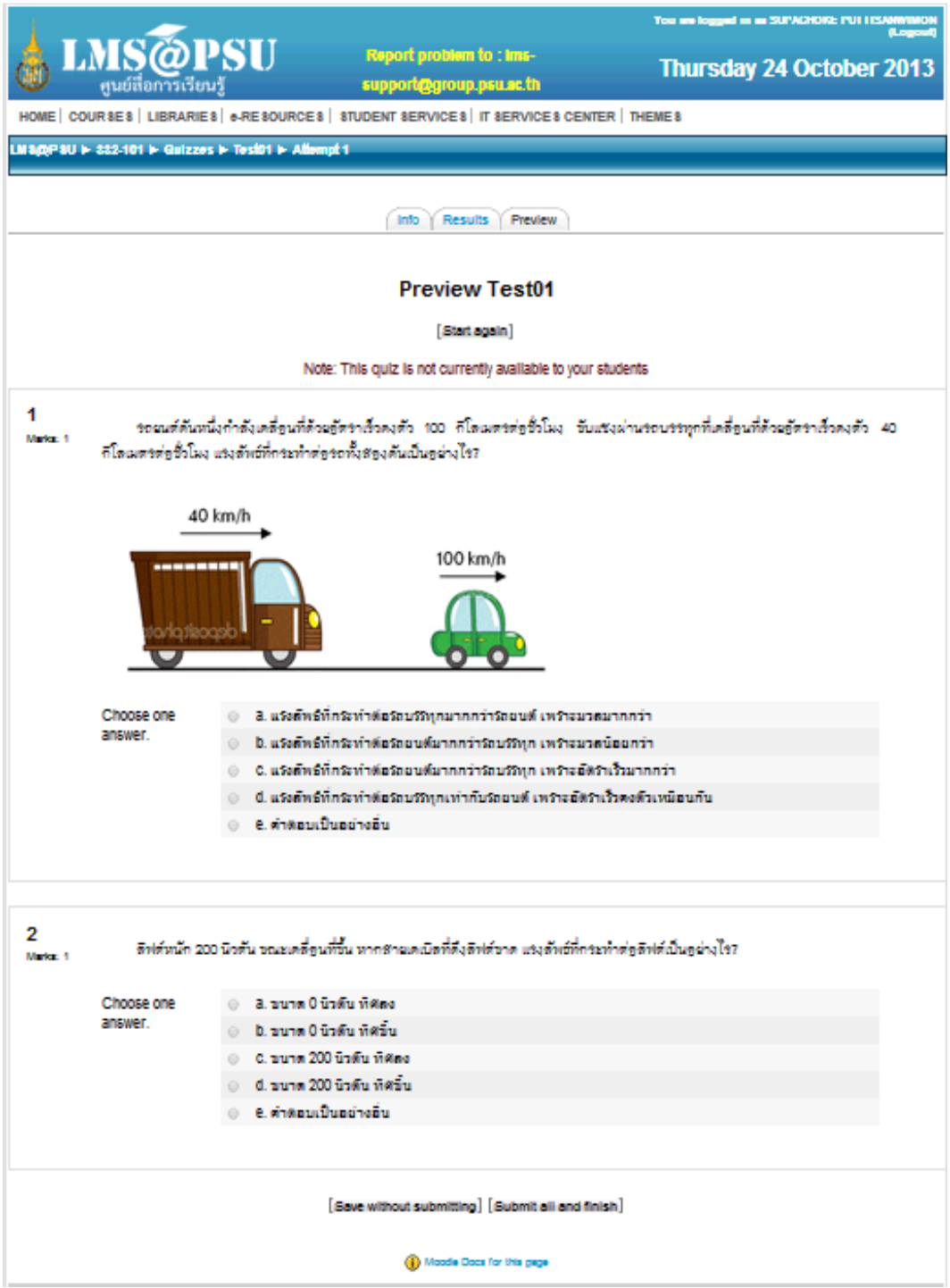
4) หลังจากเข้าสู่ข้อมูลรายวิชา 332-101 Fundamental Physics I (1/2556) จะปรากฏรายละเอียดทั้งประกาศ เนื้อหา สื่อการสอน และชุดแบบฝึกเสริมต่างๆ ในแต่ละบท โดยในงานวิจัยนี้สนใจที่หัวข้อเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Chapter 3: Force and Motion) ซึ่งจะมีใบความรู้และสื่อการสอนที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนแบบบรรยายที่ผสมกับวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT) ในชั้นเรียน

5) ผู้เรียนจะต้องดำเนินการตอบคำถามของชุดคำถาม Warm Up (Test01 และ Test02) ก่อนเรียน และชุดคำถาม Puzzle (Test03) หลังเรียนในหัวข้อย่อยเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นหัวข้อเรื่องย่อยที่ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดมากที่สุด แสดงดังรูปที่ ง.3

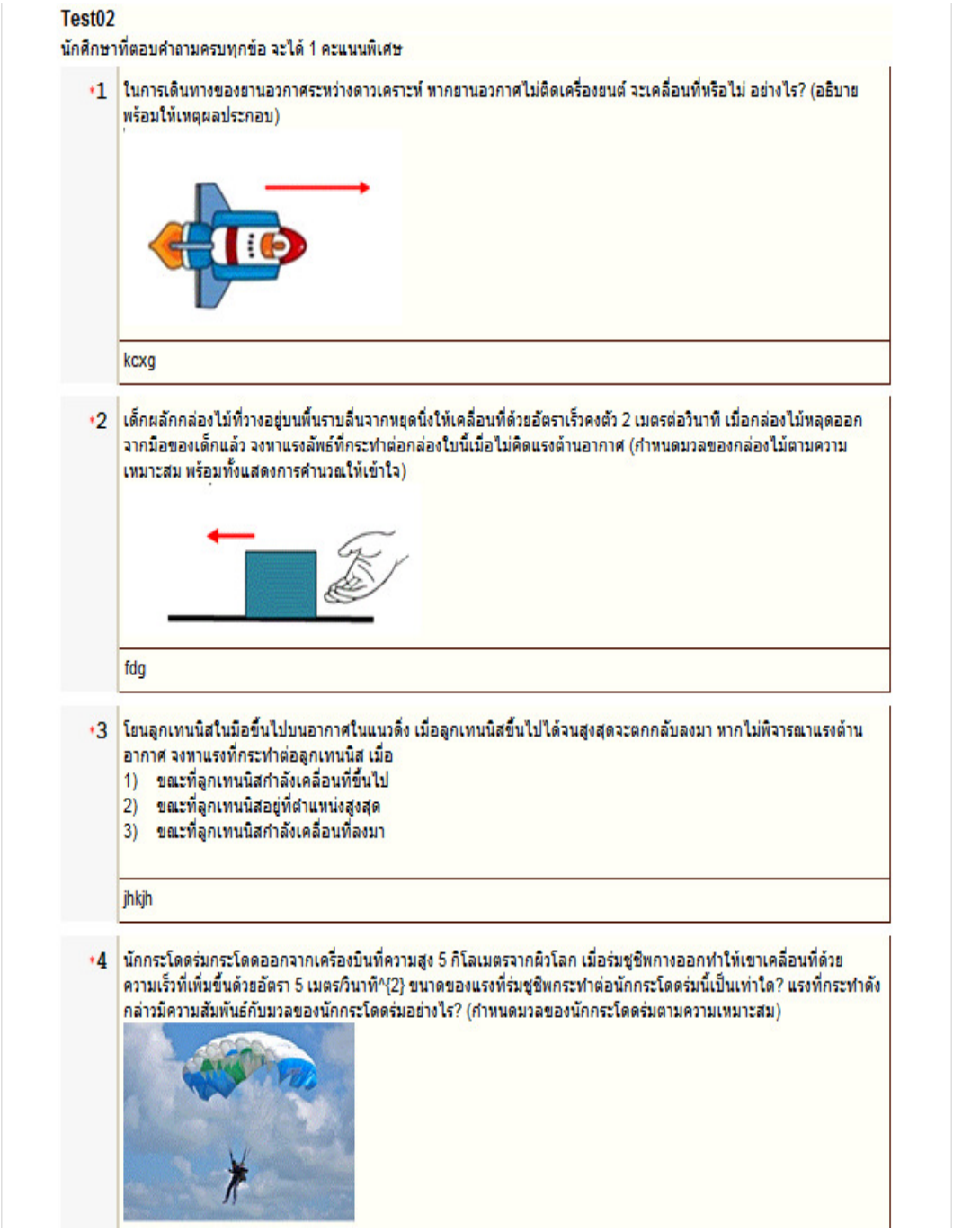


รูปที่ ง.3 หน้าแรกของรายวิชา 332-101 Fundamental Physics I (1/2556) ในระบบ LMS@PSU

6) ผู้เรียนจะต้องดำเนินการตอบชุดคำถาม Warm up มีด้วยกันสองส่วนคือ Test01 และ Test02 ก่อนการเรียนในชั้นเรียน แสดงดังรูปที่ ง.4 และ ง.5 ตามลำดับ



รูปที่ ง.4 Test01 เป็นชุดคำถาม Warm Up แบบตัวเลือก (multiple-choices question)



Test02

นักศึกษาที่ตอบคำถามครบทุกข้อ จะได้ 1 คะแนนพิเศษ

*1 ในการเดินทางของยานอวกาศระหว่างดาวเคราะห์ หากยานอวกาศไม่ติดเครื่องยนต์ จะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร? (อธิบายพร้อมให้เหตุผลประกอบ)

kcxg

*2 เด็กผลักกล่องไม้ที่วางอยู่บนพื้นราบลื่นจากหยุดนิ่งให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 2 เมตรต่อวินาที เมื่อกล่องไม้หลุดออกจากมือของเด็กแล้ว จงหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องใบนี้เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ (กำหนดมวลของกล่องไม้ตามความเหมาะสม พร้อมทั้งแสดงการคำนวณให้เข้าใจ)

fdg

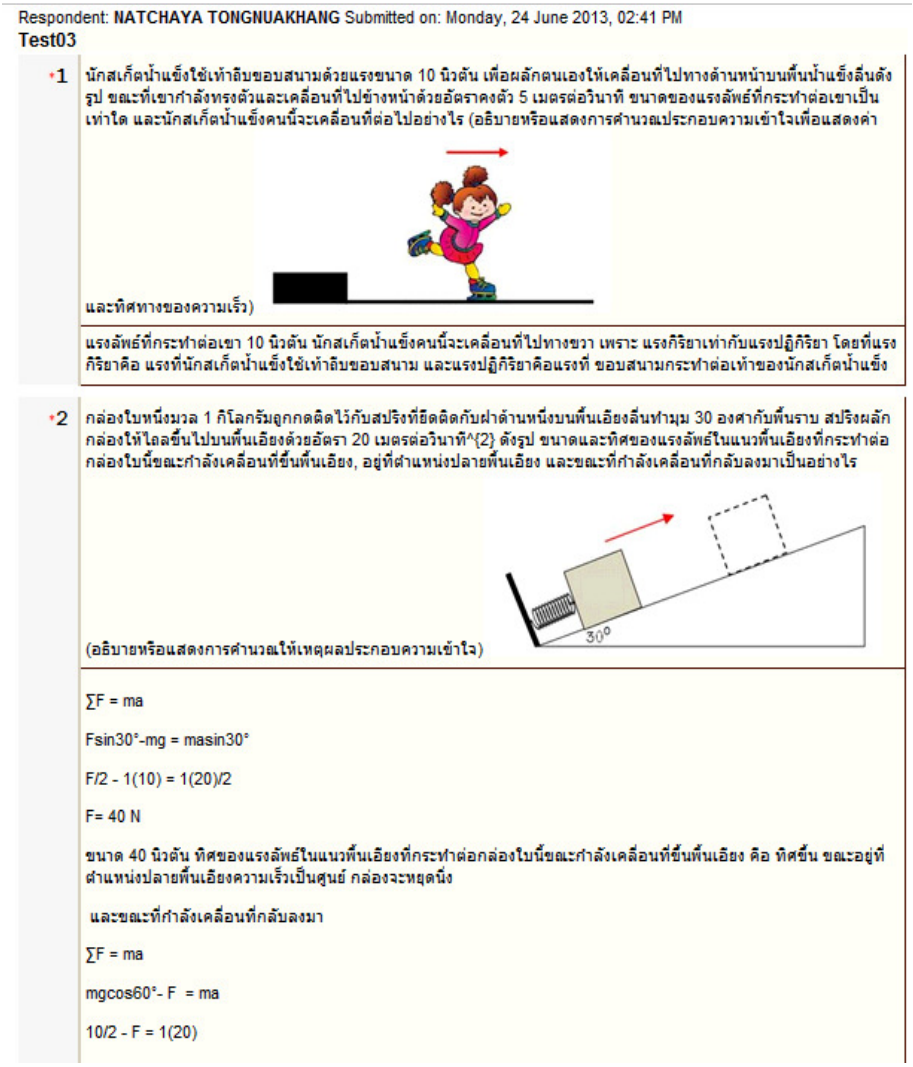
*3 โยนลูกเทนนิสในมือขึ้นไปบนอากาศในแนวดิ่ง เมื่อลูกเทนนิสขึ้นไปได้จนสูงสุดจะตกกลับลงมา หากไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ จงหาแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิส เมื่อ
1) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ขึ้นไป
2) ขณะที่ลูกเทนนิสอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด
3) ขณะที่ลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่ลงมา

jhkjh

*4 นักกระโดดร่มกระโดดออกจากเครื่องบินที่ความสูง 5 กิโลเมตรจากผิวโลก เมื่อร่มชูชีพกางออกทำให้เขาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 5 เมตร/วินาที^{2} ขนาดของแรงที่ร่มชูชีพกระทำต่อนักกระโดดร่มนี้เป็นเท่าใด? แรงที่กระทำดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับมวลของนักกระโดดร่มอย่างไร? (กำหนดมวลของนักกระโดดร่มตามความเหมาะสม)

รูปที่ ง.5 Test02 เป็นชุดคำถาม Warm Up แบบบทความและการประมาณ (essay and estimation questions)

7) หลังดำเนินการเรียนการสอนเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนจะต้องดำเนินการตอบชุดคำถาม Puzzle ซึ่งคือ Test03 หลังเรียนภายในเวลาที่กำหนด แสดงดังรูปที่ ง.6



Respondent: **NATCHAYA TONGNUAKHANG** Submitted on: Monday, 24 June 2013, 02:41 PM

Test03

*1 นักสเก็ตน้ำแข็งใช้เท้าถีบขอบสนามด้วยแรงขนาด 10 นิวตัน เพื่อผลักตนเองให้เคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าบนพื้นน้ำแข็งลื่นดังรูป ขณะที่เขากำลังทรงตัวและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยอัตราคงตัว 5 เมตรต่อวินาที ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อเขาเป็นเท่าใด และนักสเก็ตน้ำแข็งคนนี้จะเคลื่อนที่ต่อไปอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณประกอบความเข้าใจเพื่อแสดงค่าและทิศทางของความเร็ว)

แรงลัพธ์ที่กระทำต่อเขา 10 นิวตัน นักสเก็ตน้ำแข็งคนนี้จะเคลื่อนที่ไปทางขวา เพราะ แรงกิริยาเท่ากับแรงปฏิกิริยา โดยที่แรงกิริยาคือ แรงที่นักสเก็ตน้ำแข็งใช้เท้าถีบขอบสนาม และแรงปฏิกิริยาคือแรงที่ ขอบสนามกระทำต่อเท้าของนักสเก็ตน้ำแข็ง

*2 กล่องใบหนึ่งมวล 1 กิโลกรัมถูกกดติดไว้กับสปริงที่ยึดติดกับฝาด้านหนึ่งบนพื้นเอียงลื่นทำมุม 30 องศากับพื้นราบ สปริงผลักกล่องให้ไถลขึ้นไปบนพื้นเอียงด้วยอัตรา 20 เมตรต่อวินาที^{2} ดังรูป ขนาดและทิศของแรงลัพธ์ในแนวพื้นเอียงที่กระทำต่อกล่องใบนี้ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง, อยู่ที่ตำแหน่งปลายพื้นเอียง และขณะที่กำลังเคลื่อนที่กลับลงมาเป็นอย่างไร (อธิบายหรือแสดงการคำนวณให้เหตุผลประกอบความเข้าใจ)

$\sum F = ma$

$F\sin30° - mg = ma\sin30°$

$F/2 - 1(10) = 1(20)/2$

$F = 40$ N

ขนาด 40 นิวตัน ทิศของแรงลัพธ์ในแนวพื้นเอียงที่กระทำต่อกล่องใบนี้ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง คือ ทิศขึ้น ขณะอยู่ที่ตำแหน่งปลายพื้นเอียงความเร็วเป็นศูนย์ กล่องจะหยุดนิ่ง

และขณะที่กำลังเคลื่อนที่กลับลงมา

$\sum F = ma$

$mg\cos60° - F = ma$

$10/2 - F = 1(20)$

รูปที่ ง.6 Test03 เป็นชุดคำถาม Puzzle (opened-end questions)

8) ในการตอบคำถามทั้งชุดคำถาม Warm Up และ Puzzle ของผู้เรียน หลังจากดำเนินการเขียนแสดงคำตอบลงในช่องใส่คำตอบสำหรับข้อสอบแบบเขียนตอบและเลือกคำตอบสำหรับข้อสอบแบบตัวเลือกเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนจะต้องส่งคำตอบเข้าสู่ระบบโดยกดปุ่ม “Submit” (อยู่ด้านล่างของหน้าจอในการตอบคำถามแต่ละตอน) ทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดกำหนดเวลาในการตอบคำถามทุกส่วน ผู้สอนจะทำการปิดระบบเพื่อป้องกันการแก้ไขคำตอบภายหลังของผู้เรียน หลังจากนั้นผู้สอนจะดำเนินการรวบรวมคำตอบทั้งหมดของผู้เรียนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์และจัดกลุ่มคำตอบที่ได้ของผู้เรียนเพื่อนำไปสู่การวิจัยต่อไป

ภาคผนวก จ.

แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการสอนแบบบรรยาย (Lecture method) ที่ผสมวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)

คณะ วิทยาศาสตร์ **รายวิชา** ฟิสิกส์พื้นฐาน 1 (332-101) **ระดับ** ปริญญาตรี (ชั้นปีที่ 1)
ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงและการเคลื่อนที่ **เวลา** 2 ชั่วโมง (2 คาบ)
เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 **ภาคเรียนที่** 1 **ปีการศึกษา** 2556

1. มาตรฐานการเรียนรู้

ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ พ.ศ. 2554

2. สาระสำคัญ

นิวตันได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุและได้เสนอกฎการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบไว้สามข้อ ได้แก่

<u>กฎข้อที่ 1</u> (กฎของความเฉื่อย: Inertia): วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (≡ความเฉื่อย) ไม่ว่าจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ถ้าแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์ ($\sum \vec{F} = 0$)

<u>กฎข้อที่ 2</u> (กฎของแรง: Force): ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งของวัตถุ ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$)

<u>กฎข้อที่ 3</u> (กฎของกิริยาและปฏิกิริยา): ถ้าวัตถุสองก้อนเกิดอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน แรงที่วัตถุก้อนที่หนึ่งกระทำต่อวัตถุก้อนที่สอง (แรงกิริยา: action) จะมีขนาดเท่าแต่ทิศตรงข้ามกับแรงที่วัตถุก้อนที่สองกระทำต่อวัตถุก้อนที่หนึ่ง (แรงปฏิกิริยา: reaction)

3. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1) บอกความหมายและอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ได้
2) แก้โจทย์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ได้

3.1 จุดประสงค์การเรียนรู้ (ด้านความรู้)

1) นักเรียนอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ได้
2) นักเรียนอธิบายผลที่เกิดจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ได้

3.2 จุดประสงค์การเรียนรู้ (ด้านกระบวนการคิด)

1) ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 อธิบายตัวอย่างเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องได้

2) แก้โจทย์ปัญหาการคำนวณเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ได้

3.3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (ด้านเจตคติ / คุณลักษณะที่พึงประสงค์)

1) มีความตรงต่อเวลา

2) มีความตั้งใจเรียนและปฏิบัติงาน ตามที่ได้รับมอบหมาย

3) มีความกระตือรือร้นและสนใจในการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนการสอน

4) มีปฏิสัมพันธ์ที่ดีและให้ความช่วยเหลือในการทำงานกลุ่ม

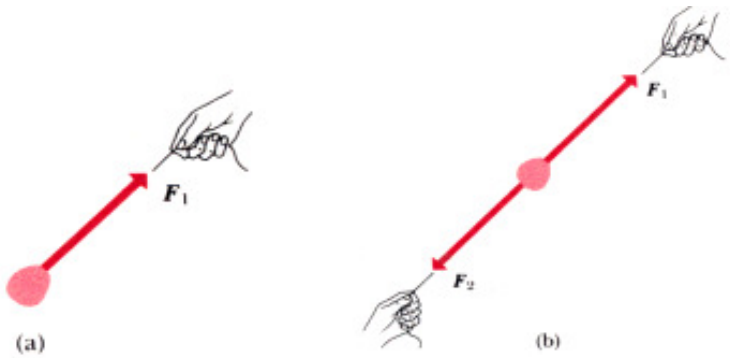
4. สาระการเรียนรู้ (เนื้อหา)

เซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Isaac Newton) เป็นนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ เกิดใน ปี ค.ศ.1642 นิวตันมีความสนใจในดาราศาสตร์และเขาได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflecting telescope) เนื่องจากนิวตันเกิดความสงสัยว่า “แรงอะไรทำให้ผลแอปเปิลตกลงสู่พื้นดินและแรงอะไรตรึงดวงจันทร์ไว้กับโลก” ข้อสงสัยเหล่านี้นำเขาไปสู่การค้นพบกฎการเคลื่อนที่สำคัญ 3 ข้อ (สำหรับแผนการจัดการเรียนรู้นี้นำเสนอเนื้อหาของกฎ 2 ข้อแรก)

รูปที่ 1 เซอร์ ไอแซค นิวตัน

กฎข้อที่ 1 ของนิวตัน: กฎของความเฉื่อย (Inertia)

“วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว) หากแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าเป็นศูนย์” ขยายความได้ว่า ถ้าวัตถุนั้นนิ่งอยู่ไม่เคลื่อนไหวก็ยังคงนิ่งอยู่อย่างนั้น แต่ถ้าวัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ($\vec{a} = 0$) ก็ยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ต่อไปตราบใดแรงลัพธ์ภายนอกมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2 แรงกระทำบนวัตถุ

พิจารณาก้อนน้ำแข็งวางอยู่เฉยๆ บนพื้นที่เปียกลื่น ถ้ามีแรง F_1 กระทำตามรูปที่ 2(a) น้ำแข็งจะเคลื่อนที่เลื่อนตำแหน่งไป เราเรียกว่า น้ำแข็งไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล (สภาพเดิม) ถ้าเราให้แรง F_2 พร้อมกับแรง F_1 โดยแรง F_2 มีขนาดเท่ากับแรง F_1 แต่มีทิศตรงข้าม ดังรูปที่ 2(b) วัตถุจะรักษาสภาวะอยู่นิ่งหรือถ้ากำลังเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เนื่องจากแรงทั้งสองเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม นั่นคือ

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

เวกเตอร์ลัพธ์ ($\vec{R}$) เป็นผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสองจะมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล (สภาพเดิม) ผลรวมของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\vec{R}$) ของแรงทั้งหมดจะต้องเท่ากับศูนย์

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = 0$$

หรือก็คือ

$$\sum \vec{F}_x = 0 \, , \sum \vec{F}_y = 0$$

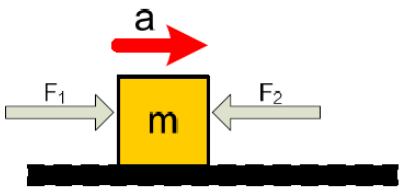
นิวตันบรรยายกฎข้อที่หนึ่งว่า “วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว) หากแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าเป็นศูนย์” กฎของเขาค่อนข้างจะขัดแย้งกับความจริงที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน พิจารณาเมื่อเราลองออกแรงผลักหนังสือบนโต๊ะ ถ้าไม่ออกแรงต่อหนังสือจะเคลื่อนที่ต่อไปชั่วขณะและหยุดการเคลื่อนที่ หากต้องการให้หนังสือยังคงเคลื่อนที่ต่อไปก็ต้องออกแรงดันต่อ สาเหตุมาจากแรงเสียดทานบนผิวของโต๊ะซึ่งมีทิศสวนทางกับการเคลื่อนที่ของหนังสือ แต่ถ้าหากพื้นผิวของโต๊ะลื่นแรงเสียดทานก็จะมีค่าน้อย (หรือไม่มีแรงเสียดทาน) การเคลื่อนที่ของหนังสือก็จะสามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม นั่นคือ ยังคงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไปทางด้านหน้าได้นั่นเอง

พิจารณาตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับกฎข้อที่หนึ่ง :

ขณะที่รถติดสัญญาณไฟแดง ตัวเราหยุดนิ่งอยู่กับที่แต่เมื่อสัญญาณไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว เมื่อคนขับเหยียบคันเร่งให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ตัวของเราจะพยายามคงสภาพหยุดนิ่งไว้ (รักษาสภาพเดิมก่อนหน้านี้ หรือ สภาวะสมดุล) ผลคือ หลังของเราจะถูกผลักติดกับเบาะ ขณะที่รถเกิดความเร่งไปข้างหน้า ในทำนองกลับกัน เมื่อสัญญาณไฟเขียวเปลี่ยนเป็นไฟแดง คนขับรถเหยียบเบรกเพื่อจะหยุดรถ ตัวเราซึ่งเคยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวเดียวกับรถ ทันใดเมื่อรถหยุดตัวเราจะถูกผลักมาทางด้านหน้านั่นเอง สถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 นั่นเอง

กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน : กฎของแรง (Force)

กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน หรืออาจเรียกว่า กฎของแรง กฎข้อนี้กล่าวว่า “ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งของวัตถุ” นั่นคือ ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ โดยมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ



รูปที่ 3 วัตถุถูกกระทำด้วยแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์

ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เนื่องจากความเร่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรง ดังนั้น อัตราส่วนของแรงกับความเร่งจะมีค่าคงที่ และเท่ากับมวล m ของวัตถุ สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$m = \frac{\vec{F}}{\vec{a}}$$

หรือก็คือ

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

ถ้าแรง $\vec{F}$ กระทำกับมวล m_1 วัดความเร่งได้ $\vec{a}_1$ และออกแรงที่มีขนาดเท่ากันกับมวล m_2 วัดความเร่งได้ $\vec{a}_2$ ดังนั้นจากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$m_1\vec{a}_1 = m_2\vec{a}_2$$

หรือนั่นคือ

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2}$$

จะพบว่า อัตราส่วนของมวลเป็นสัดส่วนกลับกันกับอัตราส่วนของความเร่ง สรุปได้ว่าแรงขนาดเดียวกันเมื่อกระทำกับมวลที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่น้อยกว่ากระทำกับมวลที่มีขนาดเล็กกว่านั่นเอง

ในกรณีที่ระบบมีแรงภายนอกหลายๆ แรงกระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกัน ความเร่งของวัตถุสามารถคำนวณได้จากแรงลัพธ์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรงภายนอกเหล่านั้นทั้งหมดโดยรวมแบบเวกเตอร์ ดังนั้น หากแยกแรงที่กระทำต่อวัตถุออกเป็นแรงกระทำย่อยบนแกน x และแกน y จะได้ว่า

แรงรวมบนแกน x คือ $\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x$

แรงรวมบนแกน y คือ $\sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y$

แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ คือ $\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_x + \sum \vec{F}_y = m\vec{a}_x + m\vec{a}_y = m\vec{a}$

นั่นคือ $\sum \vec{F}$ เป็นแรงลัพธ์สุทธิที่กระทำบนวัตถุในระบบนั่นเอง

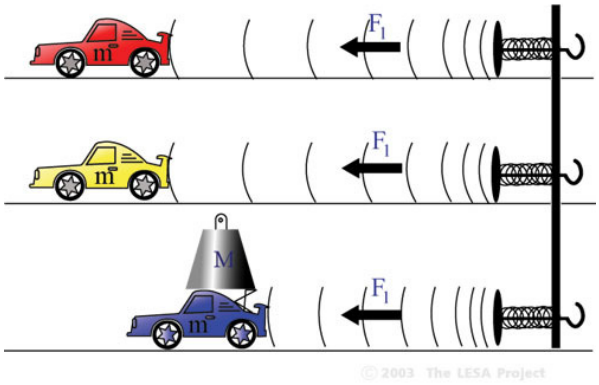
สำหรับระบบ 2 มิติ แรงลัพธ์จะได้ว่า $\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_x + \sum \vec{F}_y$

สำหรับระบบ 3 มิติ แรงลัพธ์จะได้ว่า $\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_x + \sum \vec{F}_y + \sum \vec{F}_z$

พิจารณาตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับกฎข้อที่สอง :

เมื่อสปริงออกแรงที่มีขนาดเท่ากันผลักรถทดลองให้เคลื่อนที่ตรงไปด้านหน้าดังรูปที่ 4 รถที่ไม่บรรทุกสิ่งของ (รถสีแดงและรถสีเหลือง) จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่มีขนาดมากกว่ารถที่บรรทุกของ (รถสีน้ำเงิน) เนื่องจากรถที่ไม่บรรทุกมีมวล (ความเฉื่อย) น้อยกว่ารถที่บรรทุกมวลนั่นเอง ดังนั้น

- ถ้าเราผลักวัตถุให้แรงขึ้น ความเร่งของวัตถุก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ($\vec{a} \propto \vec{F}$)
- ถ้าเราออกแรงเท่าๆ กัน ผลักวัตถุสองชนิดซึ่งมีมวลไม่เท่ากัน วัตถุที่มีมวลมากจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งน้อยกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย ($\vec{a} \propto \frac{1}{m}$)



รูปที่ 4 ความเร่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

<u>คาบที่ 1 (1 ชั่วโมง) : กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1</u>

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (กระตุ้นความคิด / เร้าความสนใจ)

1) ผู้สอนนำเสนอกลุ่มคำตอบของผู้เรียนที่ได้จากชุดคำถาม Warm Up ในระบบ LMS@PSU หน้าชั้นเรียน ซึ่งผู้สอนได้รวบรวมและจัดกลุ่มคำตอบที่ได้ทั้งหมดเพื่อแสดงถึงความรู้เดิมของผู้เรียนที่ติดตัวมาก่อนการเรียนในชั้นเรียนเกี่ยวกับหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 พร้อมพูดคุยกับผู้เรียนในชั้นเรียนเกี่ยวกับปัญหาที่พบจากชุดคำถาม Warm Up

2) ผู้สอนถามนักเรียนในชั้นเรียน เพื่อเป็นการนำเข้าสู่บทเรียนเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1

ผู้สอน : “นักศึกษาคิดว่าในการส่งยานอวกาศสำรวจจากฐานบนโลกออกไปยังอวกาศนั้น เกิดแรงกระทำหรือไม่ ขณะที่กำลังส่งยานขึ้นไปจากฐานยิงบนโลก, ขณะที่ยานสำรวจกำลังเคลื่อนที่สำรวจอยู่ในอวกาศ และขณะที่ตกกลับลงมายังโลก และแรงเหล่านั้นคือแรงอะไรบ้าง?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ เกิดแรงกระทำต่อยานอวกาศ ดังนี้

ขณะที่กำลังส่งยานขึ้นไปจากฐานยิงบนโลก ได้แก่ แรงขับเคลื่อนจากเชื้อเพลิงและแรงโน้มถ่วง

ขณะที่ยานสำรวจกำลังเคลื่อนที่สำรวจอยู่ในอวกาศ ไม่มีแรงกระทำ (ยานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แรงลัพธ์กระทำเป็นศูนย์ และอยู่ในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วงในอวกาศ)

ขณะที่ตกกลับลงมายังโลก ได้แก่ แรงโน้มถ่วง

3) ผู้สอนเปิดวิดีทัศน์ (video clip) ที่เตรียมมาให้ผู้เรียนได้ชม เกี่ยวกับ การส่งยานอวกาศสำรวจจากฐานยิงบนโลกออกไปสู่อวกาศ เพื่อสังเกตพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของวัตถุในกรณีต่างๆ หลังจากนั้นผู้สอนตั้งคำถามถามผู้เรียนอีกครั้งเกี่ยวกับวิดีทัศน์ที่ได้ชมไป

ผู้สอน : “จากคลิปวิดีโอที่นักศึกษาได้ชมไปนั้น สรุปแล้วนักศึกษาคิดว่าการส่งยานอวกาศสำรวจจากฐานบนโลกออกไปยังอวกาศนั้น เกิดแรงกระทำหรือไม่ ขณะที่กำลังส่งยานขึ้นไปจากฐานยิงบนโลก, ขณะที่ยานสำรวจกำลังเคลื่อนที่สำรวจอยู่ในอวกาศ และขณะที่ตกกลับลงมายังโลก?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *(คำตอบควรเปลี่ยนไปในทางที่ถูกต้องมากขึ้น)*

4) ผู้สอนอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และนำเข้าสู่หัวข้อสำคัญที่ต้องศึกษารายละเอียดต่อไป

“จากทั้งคำตอบในชุดคำถาม Warm Up ที่แสดงไป พร้อมทั้งวิดีโอคลิปที่ได้ชมไปนั้น แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงกระทำ โดยในแต่ละขณะช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน จะพบว่าอาจจะมีหรือไม่มีแรงกระทำได้ด้วยเหตุจากพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของวัตถุในขณะนั้น เช่น ขณะที่ยานอวกาศถูกส่งขึ้นจากฐานยิงบนโลก จำเป็นต้องมีแรงขับเคลื่อนจากเชื้อเพลิงในการเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อต่อต้านแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อยานในทิศลงสู่

เบื้องล่างตลอดเวลา และเมื่อยานอวกาศลอยออกไปสู่อวกาศแล้ว (พ้นจากสภาพแรงโน้มถ่วง) ขณะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในอวกาศจะพบว่าไม่มีแรงกระทำใดๆ ต่อยานเนื่องจากยานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แรงลัพธ์กระทำจึงเป็นศูนย์ แต่เมื่อตกกลับมายังโลกอีกครั้งพบว่ายานจะเคลื่อนที่ตกกลับมาภายใต้แรงโน้มถ่วงอีกครั้งหนึ่งในทิศลงสู่เบื้องล่าง จะเห็นได้ว่าแรงไม่จำเป็นที่จะต้องเกิดขึ้นกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่เสมอไปนั่นเอง ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ค้นพบโดย เซอร์ไอแซค นิวตัน ที่เคยเรียนกันมาตั้งแต่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาแต่กลับพบว่านักศึกษาหลายคนยังคงมีความเข้าใจผิดอยู่จากการตอบคำถาม Warm Up อีกทั้งหัวข้อดังกล่าวนับเป็นพื้นฐานสำคัญหนึ่งในการศึกษาเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของวิชาฟิสิกส์พื้นฐานอย่างมาก ดังนั้นเราจะมาทำความเข้าใจเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สำหรับคาบนี้จะขอเริ่มจากกฎข้อที่ 1 ก่อน ให้นักศึกษาได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องชัดเจน”

5.2 ขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1) ผู้สอนนำเสนอสื่อภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Microsoft PowerPoint ประกอบการอธิบายในหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 พร้อมทั้งตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

ผู้สอน : “หากในระบบที่เราสนใจมีวัตถุชิ้นหนึ่งวางนิ่งอยู่ในระบบ นักศึกษาคิดว่าวัตถุชิ้นนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพหรือพฤติกรรมไปจากเดิมได้เมื่อใด?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุชิ้นนี้* (ผู้สอนอธิบายเพิ่มเติมหากกรณีที่วัตถุชิ้นนี้ไม่มีแรงมากระทำก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ)

ผู้สอน : “นักศึกษาคิดว่าเป็นไปได้หรือไม่ หากวัตถุในระบบดังกล่าวนี้มีแรงกระทำเกิดขึ้น แต่วัตถุยังคงสามารถอยู่ในสภาพเดิมได้ หากเป็นไปได้จะเกิดขึ้นได้อย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *เป็นไปได้ โดยแรงที่มากระทำต่อวัตถุชิ้นนี้ทั้งหมดจะต้องเกิดผลรวมแรงลัพธ์เป็นศูนย์ จะถือว่าระบบยังคงรักษาสภาพเดิมได้*

ผู้สอน : “ในกรณีวัตถุในระบบกำลังเคลื่อนที่ หากยังคงต้องการให้วัตถุเคลื่อนที่แบบเดิมต่อไป นักศึกษาคิดว่าวัตถุจะเคลื่อนที่อย่างไร และถือว่าระบบดังกล่าวมีแรงกระทำหรือไม่?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วหรือความเร็วสม่ำเสมอ (v คงตัว) โดยถือว่าระบบมีแรงลัพธ์กระทำเป็นศูนย์เช่นกัน*

2) ผู้สอนนำเสนอและสรุปเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 พร้อมทั้งสมการให้ผู้เรียนฟังอีกครั้ง จากนั้นนำเสนอผลคำตอบที่ได้จากชุดคำถาม Warm Up เกี่ยวกับเด็กผลักกล่องไม้บนพื้นราบลื่นเพื่อแสดงความเข้าใจก่อนเรียนที่ติดตัวของผู้เรียนมาพร้อมทั้งวิเคราะห์ความเข้าใจผิดที่เกิดขึ้น

3) ผู้สอนนำเสนอสื่อการทดลองเสมือนเกี่ยวกับ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ชุดคนผลักวัตถุบนพื้นราบหน้าชั้นเรียนพร้อมตั้งคำถามเกี่ยวกับสื่อดังกล่าวให้ผู้เรียนได้ศึกษา คิดวิเคราะห์ และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน เพื่อแก้ไขความเข้าใจผิดที่เกิดขึ้นของผู้เรียน

ผู้สอน : “จากสื่อการทดลองเสมือนที่ครูจะนำเสนอให้นักศึกษาได้ชมต่อไปนี้ เมื่อครูใส่แรงผลักกระทำต่อกล่องใบหนึ่งที่วางอยู่บนพื้นลื่นเมื่อทำให้ปล่อยมือออกจากกล่องใบนี้ นักศึกษาคิดว่ากล่องใบนี้จะมีพฤติกรรมต่อไปอย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *กล่องจะเริ่มเคลื่อนที่จากแรงผลักของคน และกล่องยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไป*

ผู้สอน : “เมื่อปล่อยมือให้กล่องเคลื่อนที่ต่อไปแล้ว นักศึกษาคิดว่ามีแรงใดกระทำต่อกล่องใบนี้อีกหรือไม่?

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *เมื่อคนปล่อยมือออกจากกล่องแล้ว จะไม่มีแรงใดๆ กระทำต่อกล่องใบนี้อีก*

หลังจากนั้นผู้สอนนำเสนอผลคำตอบที่ถูกต้องของผู้เรียนจากชุดคำถาม Warm Up ในกรณีข้อคำถามนี้อีกครั้งหนึ่ง

4) ผู้สอนนำเสนอสื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Microsoft PowerPoint เกี่ยวกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว พร้อมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ในเชิงสมการที่สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ดังนี้

ผู้สอน : จากสื่อภาพดังกล่าว นักศึกษาจะพบว่าเมื่อรถทั้งสองคันต่างก็กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวเส้นตรง (1 มิติ) จะทำให้ได้ว่า

จากความสัมพันธ์ $\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \dfrac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$

หรือ $\vec{a}_{inst} = \dfrac{d\vec{v}}{dt} = \lim_{t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

นั่นคือ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จะพบว่า $\vec{v} = \text{constant} \Rightarrow \Delta\vec{v} = 0 \Rightarrow d\vec{v} = 0$

ซึ่งด้วยกฎการเคลื่อนที่เบื้องต้นของนิวตัน จะทำได้ว่า $\sum\vec{F} = m\vec{a} = m\dfrac{d\vec{v}}{dt} = 0$

ดังนั้น $\sum\vec{F} = 0$ ความสัมพันธ์ดังกล่าว คือ “กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1” ซึ่งกล่าวได้ว่า “วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (≡ ความเฉื่อย) ไม่ว่าจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ถ้าแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทาต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์” นั่นเอง

5) จากนั้นผู้สอนทำการเสนอสื่อภาพนิ่งของผลคำตอบจากชุดคำถาม Warm Up เกี่ยวกับรถสองคันที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เพื่ออภิปรายและวิเคราะห์ร่วมกันกับผู้เรียนในชั้นเรียน จากผลที่ได้อีกครั้งหนึ่งเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้อง

ผู้สอน: “นักศึกษาจะพบว่าเมื่อวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวค่าหนึ่ง วัตถุดังกล่าวจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไปได้เรื่อยๆ แต่จะเห็นว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าเป็นศูนย์ตามความสันพันธ์ของสมการที่ได้แสดงไปก่อนหน้านี้ นอกจากนี้แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับวัตถุนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงหรือจำเป็นต้องมีขนาดตามความเร็วของวัตถุ นั่นคือ แรงไม่แปรผันตามความเร็วของวัตถุ แต่จะแปรผันตามความเร่งของวัตถุซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 (ซึ่งกล่าวในคาบถัดไป) นั่นเอง”

6) ผู้สอนให้ผู้เรียนฝึกหัดและวิเคราะห์โจทย์ปัญหาพร้อมกันในชั้นเรียน โดยผู้สอนคอยให้คำแนะนำ อธิบาย และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนเพื่อทบทวนและฝึกความเข้าใจจากเนื้อหาที่เรียนไปอีกครั้งหนึ่งตามใบความรู้ที่ผู้เรียนดาวน์โหลดมาจากระบบ LMS@PSU

5.3 ขั้นอภิปรายและสรุป

1) ผู้สอนเฉลยคำตอบของตัวอย่างโจทย์ปัญหา หลังจากนั้นสุ่มถามผู้เรียนเกี่ยวกับเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในท้ายคาบเรียนอีกครั้งก่อนการสรุปท้ายคาบเรียน

ผู้สอน : “นักศึกษาคิดว่าหากเราต้องการให้วัตถุในระบบยังคงอยู่ในสภาพหรือพฤติกรรมแบบเดิมก่อนหน้านี้ต่อไปเรื่อยๆ นั่นหมายความว่าจะต้องไม่มีแรงใดๆ มากระทำต่อวัตถุในระบบของเราใช่หรือไม่?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *ไม่ใช่ เนื่องจากในระบบอาจมีแรงกระทำต่อวัตถุได้ แต่หากผลรวมของแรงกระทำทั้งหมดหรือแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ วัตถุดังกล่าวจะยังคงรักษาสภาพเดิมต่อไปได้นั่นเอง*

2) สุดท้ายผู้สอนสรุปเพื่อเน้นย้ำความคิดรวบยอดของเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ให้กับผู้เรียนเข้าใจตรงกันทั้งชั้นเรียน

ผู้สอน : “จากสื่อที่นำเสนอไป นักศึกษาจะเห็นได้ว่าหากวัตถุถูกแรงกระทำ วัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแนวแรงลัพธ์ เช่น กล่องถูกมือผลัก จะทำให้กล่องเคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าด้วยแรงผลักจากมือซึ่งก็คือ แรงสัมผัส (contact force) นั่นเอง และเมื่อพิจารณาในกรณีไม่มีแรงเสียดทานใดๆ ในระบบ เช่น ในที่นี้คือพื้นลื่น กล่องจะยังคงรักษาสภาพเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไปได้แม้ว่าจะปล่อยกล่องออกจากมือที่ผลักแล้วก็ตามกล่าวคือแรงสัมผัสหมดไป ดังนั้นจะพบว่า แรงไม่ได้จำเป็นต่อการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งๆ หากวัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ซึ่งนั่นคือแรงลัพธ์เป็นศูนย์ วัตถุดังกล่าวจะสามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้ต่อไป พฤติกรรมดังกล่าวนี้ก็คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ซึ่งกล่าวว่า “วัตถุจะรักษาสภาวะหยุดนิ่ง หรือสภาวะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากมีแรงลัพธ์มากระทำ” นั่นเอง

3) ผู้สอนมอบหมายแบบฝึกหัดและโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 โดยใส่ไว้ในระบบ LMS@PSU เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกหัดหลังเรียน

<u>คาบที่ 2 (1 ชั่วโมง) : กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2</u>

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (กระตุ้นความคิด / เร้าความสนใจ)

1) ผู้สอนทบทวนผู้เรียนเกี่ยวกับเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 ที่ได้ศึกษาไปในคาบที่แล้วโดยสุ่มถามคำถามเดิมจากคาบที่แล้วกับผู้เรียนอีกครั้ง

2) ผู้สอนเปรียบเทียบสถานการณ์ที่แตกต่างจากคราวที่แล้วให้ผู้เรียนได้คิดวิเคราะห์พร้อมตั้งคำถามกับผู้เรียนเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

ผู้สอน: “เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เรากล่าวได้ว่าวัตถุนั้นมีแรงลัพธ์กระทำเป็นศูนย์จึงทำให้วัตถุยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมต่อไปได้ แต่เมื่อคิดไปถึงจุดเริ่มต้นของวัตถุดังกล่าวนี้นักศึกษาคิดว่ามันเคลื่อนที่ได้เพราะอะไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *วัตถุถูกแรงกระทำ เช่น แรงผลัก แรงดึง แรงลาก เป็นต้น*

ผู้สอน: “หากเป็นเช่นนั้นแล้ว วัตถุดังกล่าวจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวหรือไม่? อย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *ไม่ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง (การเปลี่ยนแปลงความเร็วจากเริ่มต้นหยุดนิ่งแล้วมีความเร็วตอนปลาย)*

3) ผู้สอนนำเสนอสื่อภาพนิ่งเกี่ยวกับเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 พร้อมอธิบายให้ผู้เรียนฟังอีกครั้งหนึ่ง

ผู้สอน: ดังนั้นแล้วเรากล่าวได้ว่า “ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งของวัตถุ” สิ่งนี้ก็คือ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ที่เราจะศึกษากันในคาบนี้

4) นอกจากนี้ผู้สอนนำเสนอกลุ่มคำตอบของผู้เรียนที่ได้จากชุดคำถาม Warm Up เรื่องการโยนลูกเทนนิสขึ้นไปในอากาศแนวดิ่ง พร้อมกับพูดคุยกับผู้เรียนในชั้นเรียนเกี่ยวกับปัญหาที่พบจากชุดคำถาม Warm Up ดังกล่าว

ผู้สอน : “จากคำตอบที่มีความหลากหลายซึ่งได้จากนักศึกษา แต่คำตอบใดจะเป็นคำตอบที่ถูกต้อง ครูมีสถานการณ์คล้ายคลึงกันให้นักศึกษาวิเคราะห์พร้อมกันอีกครั้งหนึ่ง”

5.2 ขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1) ผู้สอนนำเสนอสื่อภาพเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Microsoft PowerPoint ประกอบการอธิบายในหัวข้อเรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เกี่ยวกับสถานการณ์การโยนลูกบอลขึ้นไปในอากาศแนวดิ่ง พร้อมทั้งตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

ผู้สอน: “เมื่อเราโยนลูกบอลขึ้นไปในอากาศแนวดิ่ง นักศึกษาอธิบายพฤติกรรมที่จะเกิดขึ้นต่อไปหลังจากนี้ได้ว่าอย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *เมื่อลูกบอลถูกโยนขึ้นไป ลูกบอลจะเคลื่อนที่ขึ้นไปซักระยะหนึ่งจนถึงจุดสูงสุดที่ลูกบอลเคลื่อนที่ไปได้ หลังจากนั้นลูกบอลจะตกกลับลงมาเช่นเดิม*

ผู้สอน: “หากเป็นเช่นนั้นแล้ว เมื่อเราแยกพิจารณาเป็นกรณีตามลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกบอล ได้แก่ กำลังเคลื่อนที่ขึ้น, ณ จุดสูงสุด และกำลังเคลื่อนที่ลง นักศึกษาคิดว่าในแต่ละกรณีดังกล่าวนี้มีแรงกระทำต่อลูกบอลนี้หรือไม่ แรงเหล่านั้นคือแรงอะไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *แต่ละกรณีจะมีแรงกระทำต่อลูกบอลดังนี้*

ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้น: แรงโยน และ แรงโน้มถ่วง

ณ จุดสูงสุด: แรงเป็นศูนย์ (เนื่องจากวัตถุหยุดการเคลื่อนที่)

ขณะกำลังเคลื่อนที่ลง: แรงโน้มถ่วง

ผู้สอน: “และหากเป็นดังที่นักศึกษากล่าวมา เมื่อเราแยกพิจารณาในแต่ละกรณีแบบเดิมเช่นกัน นักศึกษาคิดว่าในแต่ละกรณีนี้ลูกบอลจะมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *แต่ละกรณีลูกบอลจะมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่ดังนี้*

ขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้น: ลูกบอลจะค่อยๆ เคลื่อนที่ช้าลง

ณ จุดสูงสุด: ลูกบอลหยุดนิ่ง

ขณะกำลังเคลื่อนที่ลง: ลูกบอลจะค่อยๆ เคลื่อนที่เร็วขึ้น

2) จากนั้นผู้สอนทำการสรุปคำตอบที่ได้จากผู้เรียนอีกครั้ง พร้อมกับอธิบายประกอบการใช้สื่อภาพเคลื่อนไหวให้ผู้เรียนเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกบอลอย่างถูกต้องใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ผู้สอน: “จากคำตอบที่นักศึกษาตอบมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่านักศึกษายังคงเข้าใจว่าการเคลื่อนที่ของลูกบอลขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำ อีกทั้งยังมองว่าพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของวัตถุเปลี่ยนไปตามแรงที่มากระทำต่อลูกบอลซึ่งสัมพันธ์อยู่กับความเร็วของวัตถุอีกด้วย นับว่าเป็นความเข้าใจที่ผิดซึ่งสอดคล้องกับผลคำตอบที่ได้จากชุดคำถาม Warm Up ที่แสดงไปก่อนหน้านี้นั่นเอง ในความเป็นจริงแล้วหากเราพิจารณาให้ดีจะพบว่าการเคลื่อนที่ของลูกบอลนั้นมีแรงอย่างหนึ่งกระทำอยู่เสมอ นั่นคือ แรงโน้มถ่วง (mg) ในทิศลงสู่เบื้องล่าง เนื่องจากทุกกรณีของลูกบอลยังคงเคลื่อนที่อยู่ภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกที่ลูกบอลถูกกระทำอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาขณะลูกบอลกำลังเคลื่อนที่ขึ้นกล่าวว่าต้องไม่มีแรงโยนมากระทำต่อลูกบอลอีกแล้ว เนื่องจากมือไม่ได้สัมผัสลูกบอลหลังจากนี้กล่าวคือแรงสัมผัสหมดไปแล้วนั่นเอง สุดท้ายแม้ว่าในแต่ละกรณีของการเคลื่อนที่ของลูกบอลจะแตกต่างกัน นั่นคือ ช้าลง หยุดนิ่ง และเร็วขึ้น แต่ไม่ได้หมายความว่าแรงกระทำจะแปรผันไปตามความเร็วของวัตถุเด็ดขาด ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ที่ได้แสดงไปก่อนหน้านี้แล้วนั่นเองว่า แรงเกี่ยวข้องกับความเร่งของวัตถุไม่ใช่ความเร็วของวัตถุเด็ดขาด”

3) ผู้สอนนำเสนอผลคำตอบของผู้เรียนของคำถามเกี่ยวกับการกระโดดร่มของนักกระโดดร่มชูชีพ จากนั้นวิเคราะห์ผลคำตอบที่ได้จากผู้เรียน พร้อมกับอภิปรายร่วมกับผู้เรียนเกี่ยวกับกรณีดังกล่าวเพื่อปรับความเข้าใจของผู้เรียนให้ถูกต้องตรงกัน อีกทั้งนำเสนอสื่อภาพนิ่งเพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเขียนแผนภาพแรงอิสระ (free body diagram) เพิ่มเติมให้กับผู้เรียนด้วยเพื่อเป็นการเพิ่มพูนความเข้าใจเกี่ยวกับทิศของแรงที่กระทำและนำมาใช้กับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4) ผู้สอนนำเสนอสื่อภาพนิ่งเกี่ยวกับการตกอย่างอิสระของวัตถุ (free fall) พร้อมอธิบายเพื่อเสริมความเข้าใจในกรณีแรงกระทำที่เกิดขึ้นต่อวัตถุรวมทั้งฝึกการเขียนแผนภาพแรงอิสระเพื่อใช้

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นอีกครั้ง หลังจากนั้นจึงนำเสนอผลคำตอบของชุดคำถาม Warm Up เกี่ยวกันการตกของลิฟต์ให้ผู้เรียนทราบและวิเคราะห์อีกครั้ง

5) นอกจากนี้ผู้สอนเพิ่มเติมความรู้ของผู้เรียนโดยการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กรณีมีแรงกระทำหลายแรงในระบบ โดยใช้สื่อภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวประกอบการบรรยายของผู้สอนเกี่ยวกับวัตถุที่ถูกแรงกระทำให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบและพื้นเอียงตามลำดับ และเพื่อให้ผู้เรียนยืนยันความเข้าใจที่ถูกต้องและเห็นภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้สอนจะใช้สื่อการทดลองเสมือนเกี่ยวกับการออกแรงกระทำต่อวัตถุให้เคลื่อนที่บนพื้นราบและพื้นเอียงในกรณีแตกต่างกันไป แสดงให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดจากผลลัพธ์ที่เห็นได้ด้วยตนเองจากสื่อการสอนดังกล่าว

6) ผู้สอนให้ผู้เรียนฝึกหัดและวิเคราะห์โจทย์ปัญหาพร้อมกันในชั้นเรียน โดยผู้สอนคอยให้คำแนะนำ อธิบาย และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนเพื่อทบทวนและฝึกความเข้าใจจากเนื้อหาที่เรียนไปอีกครั้งหนึ่งตามใบความรู้ที่ผู้เรียนดาวน์โหลดมาจากระบบ LMS@PSU

5.3 ขั้นอภิปรายและสรุป

1) ผู้สอนเฉลยคำตอบของตัวอย่างโจทย์ปัญหา หลังจากนั้นสุ่มถามผู้เรียนเกี่ยวกับเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในท้ายคาบเรียนอีกครั้งก่อนการสรุปท้ายคาบเรียน

ผู้สอน : “ดังนั้นจากการศึกษาในคาบนี้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 นักศึกษาบอกความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้หรือไม่ อย่างไร? นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างแรงย่อยที่กระทำและแรงลัพธ์ในระบบเป็นอย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *ได้ นั่นคือ เมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำ วัตถุจะเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ซึ่งพบว่าแรงลัพธ์มีทิศเดียวกันกับความเร่งของวัตถุ และมีขนาดเป็นไปตามความสัมพันธ์ของผลคูณระหว่างมวลกับความเร่งของวัตถุ นอกจากนี้แรงย่อยที่กระทำต่อวัตถุก็คือแรงต่างๆ ซึ่งเราสามารถหาได้จากการเขียนแผนภาพแรงอิสระที่กระทำต่อระบบ ส่วนแรงลัพธ์ของระบบคือแรงที่เกิดจากความสัมพันธ์ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 หรือก็คือ* $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ *นั่นเอง*

ผู้สอน : “และเมื่อพิจารณาเกี่ยวกับแรงสัมผัส (contact force) นักศึกษาอธิบายได้อย่างถูกต้องอีกครั้งว่าอย่างไร?”

คำตอบที่คาดว่าผู้เรียนจะตอบ คือ *แรงสัมผัส ก็คือ แรงต่างๆ ที่มากระทำต่อระบบที่เราสนใจ โดยเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของผิววัตถุทั้งสอง และจะหมดไปเมื่อวัตถุไม่ได้สัมผัสกันแล้ว ดังนั้น เมื่อลูกเทนนิสหลุดออกจากมือของเราขึ้นไปในอากาศแล้วจะไม่มีแรงโยนเกิดขึ้นกับลูกเทนนิสอีกแม้ว่าลูกเทนนิสยังคงกำลังเคลื่อนที่ขึ้นต่อไปก็ตาม*

2) สุดท้ายผู้สอนสรุปเพื่อเน้นย้ำความคิดรวบยอดของเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ให้กับผู้เรียนเข้าใจตรงกันทั้งชั้นเรียน

ผู้สอน : “ดังนั้นในคาบนี้จึงกล่าวได้ว่าสำหรับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ค่อนข้างมีรายละเอียดที่จำเป็นต้องให้ความเข้าใจมากขึ้น นั่นคือ นักศึกษาจำเป็นต้องเขียนแผนภาพแรงอิสระได้อย่างถูกต้องเพื่อนำไปพิจารณาแรงต่างๆ ที่กระทำในระบบที่เราพิจารณา จากนั้นต้องตระหนัก

เสมอว่าเมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำจนเกิดการเคลื่อนที่แล้วนั้น วัตถุดังกล่าวย่อมเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดความเร็วของวัตถุแต่อย่างใด หากแต่ต้องพิจารณาหรือคำนวณจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 ตามความสัมพันธ์ของสมการที่ได้กล่าวไปแล้วนั่นเอง”

3) สุดท้ายผู้สอนมอบหมายโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 โดยใส่ไว้ในระบบ LMS@PSU เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกหัดหลังเรียนต่อไป

6. การวัดและประเมินผล

1. วิธีการวัดและประเมินผล
   1) ด้านความรู้
      - การตอบคำถามระหว่างการเรียน
      - แบบฝึกหัดและข้อคำถามในระบบ LMS@PSU
   2) ด้านทักษะ / กระบวนการคิด
      - สังเกตพฤติกรรม กระบวนการคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาโจทย์ในใบความรู้
      - สังเกตและวิเคราะห์คำตอบของคำถามในระบบ LMS@PSU
   3) ด้านเจตคติ / คุณลักษณะที่พึงประสงค์
      - การร่วมกิจกรรม
      - ความสนใจ ความตั้งใจ และพฤติกรรมที่เหมาะสมขณะเรียน
2. เครื่องมือการวัดและประเมินผล
   - ข้อคำถาม Warm Up และ Puzzle ในระบบ LMS@PSU
   - แบบฝึกหัดโจทย์ปัญหาในระบบ LMS@PSU
   - แบบประเมินการสังเกตพฤติกรรมขณะเรียน
   - แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรม และเจตคติทางวิทยาศาสตร์
3. เกณฑ์การวัดและประเมินผล
   - ตอบคำถามในชุดคำถาม Puzzle ถูกต้องและคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน
   - แสดงความคิดเห็นหรือตอบคำถามอย่างน้อย 1 ครั้ง ถือว่าผ่านเกณฑ์
   - ประเมินพฤติกรรมขณะเรียนอย่างน้อยอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถือว่าผ่านเกณฑ์

7. สื่อแหล่งเรียนรู้

1. สื่อ
   - หนังสือเรียนฟิสิกส์ เล่ม 1 ทบวงมหาวิทยาลัย
   - ใบความรู้ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2
2. แหล่งการเรียนรู้
   - ห้องสมุด
   - ข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต

8. บันทึกหลังสอน

1. ผลจากการสอน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. วิธีการแก้ไข / นวัตกรรมที่ควรนำมาใช้

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ

.....

(นายศุภโชค พุทธิสารวิมล)

ผู้สอน

ลงชื่อ ลงชื่อ

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา รักกะเปา) (รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์

ภาคผนวก ฉ.

สื่อการสอนด้วยวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching (JiTT)

สื่อวีดิทัศน์ (clip video): การเคลื่อนที่ของยานอวกาศ

กฎของนิวตัน (The Newton's law)

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)

"วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (≡ความเฉื่อย) ไม่ว่าจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ถ้าแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์"

กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)

"ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งของวัตถุ"

1

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)

2

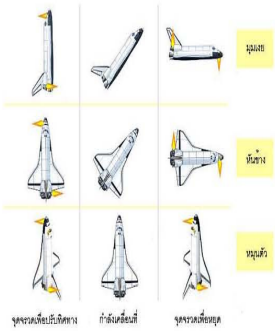
ความแตกต่างระหว่างเครื่องบินไอพ่น และจรวด

เครื่องยนต์ของเครื่องบินไอพ่นดูดอากาศภายนอกเข้ามาอัดแน่น และทำการสันดาป (เผาไหม้) ทำให้เกิดแรงดันไปข้างหน้า จนปีกสามารถสร้างแรงยก (ความดันอากาศบนปีกน้อยกว่าความดันอากาศใต้ปีก) ทำให้เครื่องลอยขึ้นได้ ส่วนจรวดบรรจุเชื้อเพลิงและออกซิเจนไว้ภายใน เมื่อทำการสันดาปจะปล่อยก๊าซร้อนพุ่งออกมา ดันให้จรวดพุ่งไปในทิศตรงกันข้าม

จรวดไม่ต้องอาศัยอากาศภายนอก มันจึงเดินทางในอวกาศได้ ส่วนเครื่องบินต้องอาศัยอากาศทั้งในการสร้างแรงยก และการเผาไหม้

(http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/rocket/rocket.html)

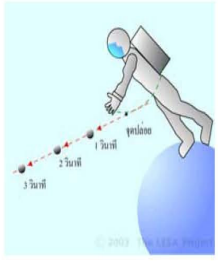
สภาพแวดล้อมในอวกาศ



อวกาศเป็นสภาวะที่มีความหนาแน่นของ N_2, O_2 ต่ำซึ่งถือว่าเป็นสภาพสุญญากาศและไร้แรงโน้มถ่วง เนื่องจากไกลจากดาวเคราะห์มาก ดังนั้นการเคลื่อนที่จึงไร้แรงเสียดทานและความเร่ง ยานอวกาศหรือนักบินอวกาศเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการจุดจรวดขนาดเล็ก และจุดจรวดด้านตรงข้ามด้วยแรงที่เท่ากันเมื่อต้องการจะหยุด

(http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/rocket/rocket.html)

การเคลื่อนที่ในอวกาศ



นิวตันอธิบายว่า ในอวกาศเป็นสภาพสุญญากาศ (สภาวะไร้อากาศ) ดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่โดยปราศจากแรงต้านใดๆ จึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ทิศทางเป็นเส้นตรง การที่ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงโคจรลักษณะรูปวงรีได้นั้น เป็นเพราะมีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งคือแรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์ เกิดเป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล ซึ่งนิวตันตั้งข้อสังเกตว่า แรงโน้มถ่วงที่ทำให้แอปเปิลตกสู่พื้นดินนั้น เป็นแรงเดียวกันกับ แรงที่ดึงดวงจันทร์ไว้กับโลก หากปราศจากซึ่งแรงโน้มถ่วงของโลกแล้ว ดวงจันทร์ก็คงจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงผ่านโลกไป

(http://www.kanta.ac.th/media/sci/www.lesa.in.th/space/laws/newton/newton.html)

กฎของนิวตัน (The Newton's law)

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)

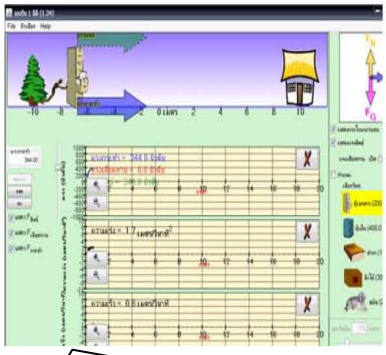
"วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม (≡ความเฉื่อย) ไม่ว่าจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ถ้าแรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์"

$$\sum \vec{F} = 0$$

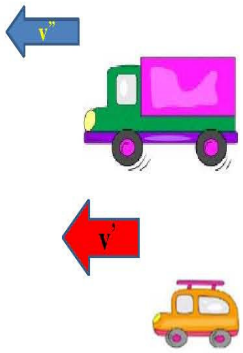
6

สื่อภาพเคลื่อนไหว (animation): การเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยความเร็วคงตัว

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)



Object with constant velocity



สื่อการทดลองเสมือน (simulation): คนผลักกล่องไม้บนพื้นราบ

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ในแนวเส้นตรง (1 มิติ)

จาก $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$

หรือ $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \lim_{t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

เมื่อความเร็วคงตัว ⇒ $\vec{v} = \text{constant}$ ⇒

ดังนั้น

กฎของนิวตัน (The Newton's law)

กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)

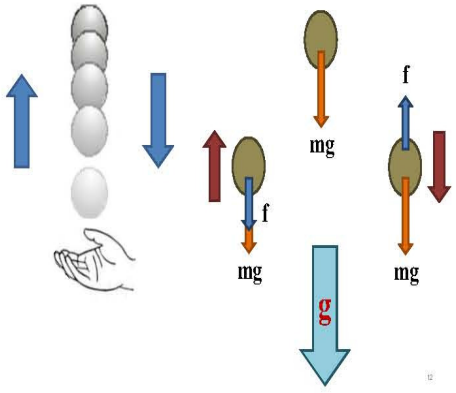
"ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งของวัตถุ"

$$\sum\vec{F} = m\vec{a}$$

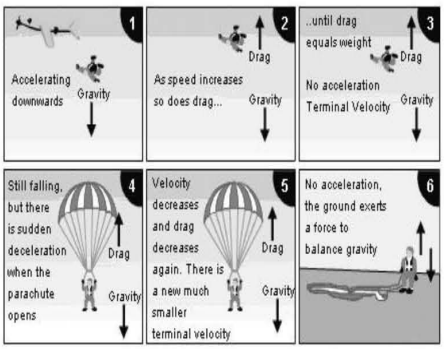
สื่อภาพนิ่ง (picture): การโยนวัตถุขึ้นไปในอากาศแนวดิ่ง

การใช้กฎของนิวตัน ข้อที่ 2

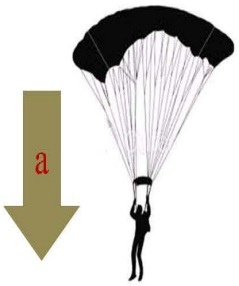
Tossed ball



Parachute

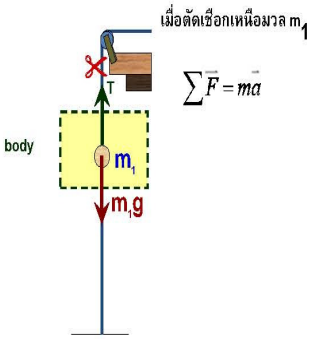


Free Body Diagram



$\sum \vec{F} = m\vec{a}$

Free fall

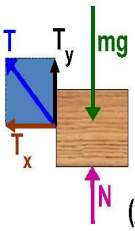


$\sum \vec{F} = m\vec{a}$

สื่อภาพเคลื่อนไหว (animation): การตกอย่างอิสระ

ถ้าออกแรงดึงเชือกลากไม้ไปตามพื้นราบลื่น

คำตอบ : พิจารณาจากแรงภายนอกที่กระทำต่อไม้ **3** แรง



$\Sigma F_y =$

$=$

$\Sigma F_x =$

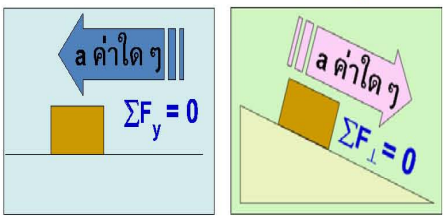
$(\Sigma F)^2 =$

$=$

$\therefore \Sigma F =$

ข้อสังเกต :

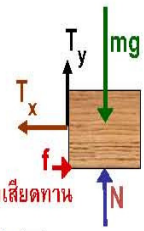
1. วัตถุเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวเรียบ(ติดกับพื้นผิวตลอดเวลา) แสดงว่าแรงลัพธ์ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น **มีค่าเป็นศูนย์**



สื่อการทดลองเสมือน (simulation): พฤติกรรมของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

ข้อสังเกต :

2. ในสถานการณ์นี้ ถ้ามี ความเสียดทาน ที่พื้น



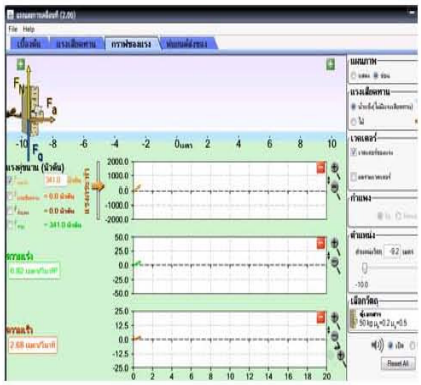
แรงลัพธ์แนวดิ่ง ยังคงได้ว่า $\sum F_y =$

แรงลัพธ์แนวราบจะได้ว่า ทิศ +

$\sum F_x =$

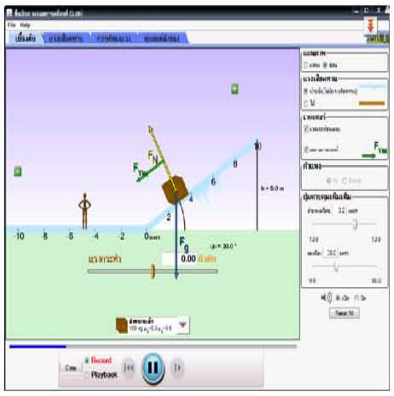
ได้แรงลัพธ์สุดท้ายคือ $\sum F =$

กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)



สื่อการทดลองเสมือน (simulation): วัตถุเคลื่อนที่บนพื้นเอียง

กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)



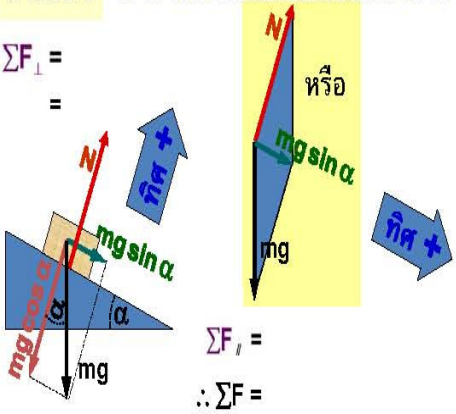
คำถาม :

แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุขณะกำลังเคลื่อนที่มีขนาดและทิศทางอย่างไร

คำตอบ : แรงภายนอกที่กระทำต่อไม้มี 2 แรง

$\sum F_\perp =$

$=$



$\sum F_{/\!/} =$

$\therefore \sum F =$

สรุป กฎของนิวตัน ข้อที่ 1 และ 2

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)

$$\sum \vec{F} = 0$$

กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)

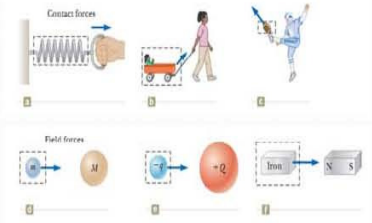
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

ใบความรู้เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 สำหรับผู้เรียน

(ดาวน์โหลดได้จากระบบ LMS@PSU)

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

แรงคือการดันหรือการดึง ถ้าแรงที่กระทำมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างวัตถุสองชิ้น เรียกว่า แรงสัมผัส (contact force) แต่แรงที่กระทำโดยไม่สัมผัสกัน เรียกว่า แรงสนาม (field force)



Isaac Newton (1642-1727)

(English Physicist and Mathematician)

กฎข้อที่ 1 ของนิวตัน

"วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ตราบใดที่แรงลัพธ์ภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นเป็นศูนย์"

$$\sum F = 0$$

กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

"ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกที่ไม่เท่ากับศูนย์กระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นจะมีความเร่ง ทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ เวกเตอร์แรงลัพธ์มีค่าเท่ากับมวลของวัตถุคูณกับความเร่งของวัตถุ"

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

หน่วย SI

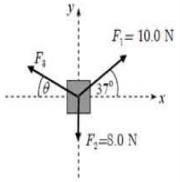
มวล (*m*) หน่วย กิโลกรัม (kg)

ความเร่ง (*a*) หน่วย เมตร/วินาที^{2} (m/s^2)

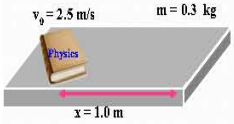
แรง (*F*) หน่วย นิวตัน (N)

1 N คือปริมาณแรงลุพธ์ที่ทำให้วัตถุมวล 1 kg มีความเร่ง 1 m/s^2

ตัวอย่างที่ 22 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว โดยมีแรงต่างๆ มากระทำดังแสดงใน free body diagram ดังรูป จงหาขนาดของแรง $\vec{F}_3$ และมุม θ

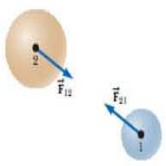


ตัวอย่างที่ 23 นักศึกษาคนหนึ่งผลักหนังสือฟิสิกส์ (มวล 0.3 kg)ที่วางอยู่บนโต๊ะไปทางขวา ขณะที่หลุดจากมือหนังสือมีความเร็วต้น 2.5 m/s ในขณะที่มันไถลมันเคลื่อนที่ช้าลงเพราะแรงเสียดทานขนาดคงตัวกระทำต่อมัน ถ้าหนังสือไถลไปได้ระยะทาง 1.0 m ก่อนหยุดนิ่ง จงหาขนาดและทิศของแรงเสียดทานที่พื้นโต๊ะกระทำต่อหนังสือ



กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน

"ถ้าวัตถุสองก้อนเกิดอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน แรงที่วัตถุก้อนที่หนึ่งกระทำต่อวัตถุก้อนที่สอง(แรงกิริยา) จะมีขนาดเท่าแต่ทิศตรงข้ามกับแรงที่วัตถุก้อนที่สองกระทำต่อวัตถุก้อนที่หนึ่ง(แรงปฏิกิริยา)"



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$\vec{F}_{12} \Rightarrow \vec{F}_{by\,1\,on\,2}$$

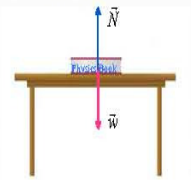
$$\vec{F}_{21} \Rightarrow \vec{F}_{by\,2\,on\,1}$$

แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุคนละก้อน

)

แรงภายใน เป็นแรงที่ระบบกระทำกับระบบ หรือกระทำกับสิ่งแวดล้อม
แรงภายนอก เป็นแรงที่สิ่งแวดล้อมกระทำกับระบบ

มีแรงอะไรบ้างที่กระทำต่อหนังสือฟิสิกส์ที่วางอยู่บนโต๊ะ



แรงกิริยา	แรงปฏิกิริยา
1. แรงที่โลกดึงหนังสือลง เรียก $\vec{w}$	
2. แรงที่โต๊ะดันหนังสือขึ้น เรียก $\vec{N}$	

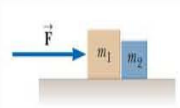
มวลและน้ำหนัก

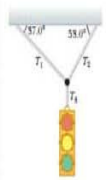
มวล (mass, m) คือปริมาณที่บอกถึงสมบัติความเฉื่อยของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

น้ำหนัก (weight, $\vec{W}$) คือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ
มีหน่วยเป็น นิวตัน

ถ้านักศึกษาอยู่บนดวงจันทร์ ($g = 1.62\ m/s^2$) นักศึกษาจะมีมวลและน้ำหนักเท่ากับตอนอยู่บนโลกหรือไม่

Free-body diagram





ขั้นตอนการแก้ปัญหาโจทย์กลศาสตร์โดยการใช้กฎของนิวตัน

1. เขียนแกนอ้างอิง

2. วาด Free body diagram
แสดงแรงทั้งหมดที่กระทำบนวัตถุ (แรงภายนอก)
ถ้าวัตถุมีมากกว่าหนึ่ง ให้แยกคิดแต่ละวัตถุ ความเร่งมีทิศตามแรงลัพธ์

3. แสดงองค์ประกอบย่อยของแรง

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x$$

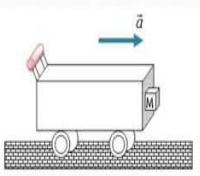
$$\sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y$$

ตัวอย่างที่ 24 ชายคนหนึ่งลากรถประคองกล่อง M มวล 0.2 kg ไว้หน้ารถเข็น ไม่ให้ตกลงพื้นได้ โดยไม่ใช้กาว ตะขอหรือสิ่งยึดติดใดเลย เขาเพียงแค่ผลักรถเข็นไปข้างหน้าด้วยความเร่ง (กำหนด สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องและรถเข็นเป็น 0.6)

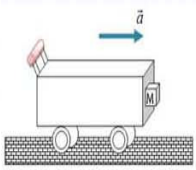
24.1) จงเขียน Free-body diagram ของกล่อง M

24.2) จงหาขนาดของความเร่งที่น้อยที่สุดของรถเข็นที่เขาต้องผลักเพื่อไม่ให้กล่องตกลงมา

24.3) ถ้าความเร่งมีขนาดเป็นสองเท่าของขนาดเดิม ขนาดของแรงเสียดทานที่กระทำต่อกล่องเป็นเท่าใด



24.1) จงเขียน Free-body diagram ของกล่อง M



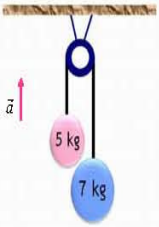
24.2) จงหาขนาดของความเร่งที่น้อยที่สุดของรถเข็นที่เขาต้องผลักเพื่อไม่ให้กล่องตกลงมา

ตัวอย่างที่ **25** ชายคนหนึ่งมวล 50 kg นั่งอยู่ในกระเช้ามวล 10 kg ถ้าเขาดึงตัวเองขึ้นไปด้วยความเร่ง 2 m/s^2 จงหาแรงดึงเชือกและแรงที่ชายคนนี้กระทำต่อกระเช้า (เชือกเบาและไม่มีแรงเสียดทาน)

กำหนด ทิศขึ้นเป็น บวก

ตัวอย่างที่ **26** ลูกคู่มมวล **5 kg** และ **7 kg** แขวนในแนวดิ่งด้วยเชือกเบาไม่ยืดและคล้องผ่านลูกรอกลื่น ดังแสดงในรูป จงหาขนาดความเร่งของลูกคู่มและขนาดแรงดึงเชือก

กำหนด ทิศขึ้นเป็น บวก



น้ำหนักปรากฏในลิฟต์ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

ตัวอย่างที่ **27** นักศึกษายืนอยู่บนตาชั่งที่วางอยู่ในลิฟต์ จงคำนวณหาน้ำหนักของนักศึกษาเล่าที่ตาชั่งอ่านค่าได้ ถ้า 1) ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาด 2 m/s^2 ทิศลง

2) ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาด 2 m/s^2 ทิศขึ้น

3) ลิฟต์ขาด

1) ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาด 2 m/s^2 ทิศลง

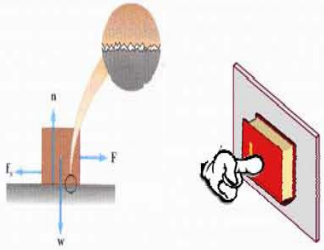
กำหนด ทิศขึ้นเป็น บวก

2) ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาด 2 m/s^2 ทิศขึ้น

3) ลิฟต์ขาด

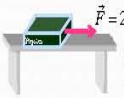
แรงเสียดทาน (frictional force)

เมื่อวัตถุสองชิ้นมีการกระทำระหว่างกันโดยการสัมผัสกันโดยตรง (แตะกัน) ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสอง เราเรียกแรงสัมผัสที่กระทำระหว่างกันในแนวขนานกับผิววัว่า แรงเสียดทาน ทิศแรงเสียดทานเป็นทิศที่ต้านการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวสองผิวเสมอ

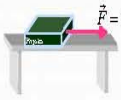


1) หนังสืออยู่นิ่งบนโต๊ะ

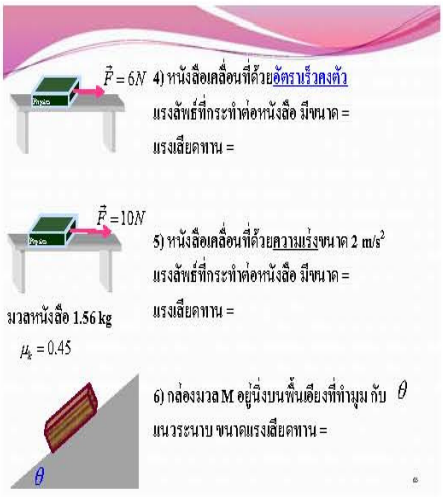
แรงเสียดทาน =

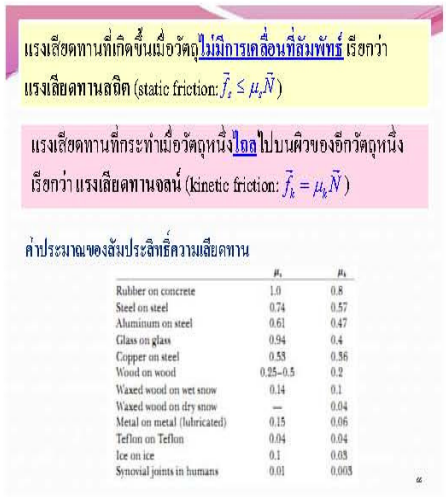


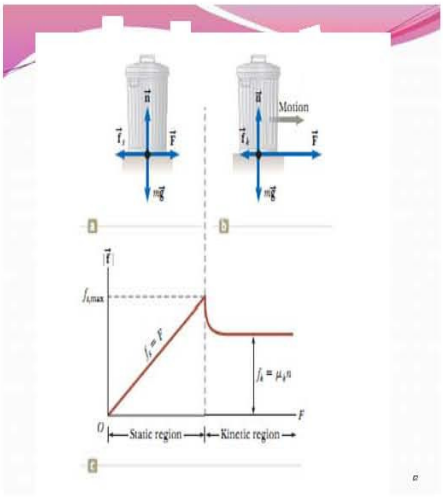
2) ดึงด้วยแรงขนาด 2N แต่หนังสืออยู่นิ่งบนโต๊ะ แรงเสียดทาน =



3) ดึงด้วยแรงขนาด 3N แต่หนังสืออยู่นิ่งบนโต๊ะ แรงเสียดทาน =


$\vec{F} = 6N$
4) หนังลื่อเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว
แรงลัพธ์ที่กระทำต่อหนังสือ มีขนาด =
แรงเสียดทาน =
$\vec{F} = 10N$
5) หนังลื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาด 2 m/s²
แรงลัพธ์ที่กระทำต่อหนังสือ มีขนาด =
แรงเสียดทาน =
มวลหนังสือ 1.56 kg
$\mu_k = 0.45$
6) กล่องมวล M อยู่นิ่งบนพื้นเอียงที่ทำมุม กับ θ
แนวระนาบ ขนาดแรงเสียดทาน =
θ


แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุไม่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต (static friction: $\vec{f}_s \le \mu_s \vec{N}$)
แรงเสียดทานที่กระทำเมื่อวัตถุหนึ่งไถลไปบนผิวของอีกวัตถุหนึ่ง เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction: $\vec{f}_k = \mu_k \vec{N}$)
ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
Rubber on concrete 1.0 0.8
Steel on steel 0.74 0.57
Aluminum on steel 0.61 0.47
Glass on glass 0.94 0.4
Copper on steel 0.53 0.36
Wood on wood 0.25–0.5 0.2
Waxed wood on wet snow 0.14 0.1
Waxed wood on dry snow — 0.04
Metal on metal (lubricated) 0.15 0.06
Teflon on Teflon 0.04 0.04
Ice on ice 0.1 0.03
Synovial joints in humans 0.01 0.003


Motion
$f_{s\max}$
$f_s = F$
$f_k = \mu_k n$
Static region
Kinetic region

ตัวอย่างที่ 28 ยกแก้วขึ้นด้วยอัตราเร็วคงตัว (มือจับแก้วแน่น โดยไม่ไถล) มีแรงเสียดทานที่มือทำต่อแก้วหรือไม่
ถ้ามี อยู่ทิศไหน
$\vec{v}$
ยกแก้วขึ้นด้วยอัตราเร็วคงตัว

ภาคผนวก ช.

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (SPC2013)

1. ชื่อผลงาน:

Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by Using the Model Analysis Technique

2. ชื่อผู้เขียน:

นายศุภโชค พุทธิสารวิมล, ผศ.ดร.สุทธิดา รักกะเปา และ รศ.ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์

3. ชื่องานประชุม:

Siam Physics Congress SPC2013

4. ชื่อหน่วยงานที่จัด:

สมาคมฟิสิกส์ไทย ม.เชียงใหม่ ม.บูรพา และม.ธรรมศาสตร์

5. วันที่จัดงาน:

21-23 มีนาคม 2556

6. สถานที่จัดงาน:

Chiangmai Grandview Hotel & Convention Center, Chiang Mai, Thailand

7. ประเทศที่ไปเสนอผลงาน:

ไทย

8. รูปแบบการเผยแพร่:

โปสเตอร์ (poster)

9. งานประชุมระดับ:

นานาชาติ

Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by Using the Model Analysis Technique

S. Puttisanwimon*, S. Rakkapao and T. Pengpan

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90112, Thailand

**Corresponding author. E-mail: choky13@gmail.com*

Abstract

To examine students' conceptual understanding of forces and motions, samples (N=420) were asked to complete 43 items of the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) as pre-and post-tests. The results showed that the post-test mean score was greater than the pre-test mean score proved by the paired t-test at 0.05 significant level. To illustrate the overall improvement, we have calculated the average normalized gain and found the low learning gain (0.12±0.02) of these students. Moreover, it was found the lowest learning gain (0.06±0.02) on the cluster of the 1st and 2nd laws of Newton. We then analyzed the characteristics of these students' mental models on that topic by using the model estimation of the model analysis technique. Based on the largest eigenvalue and its eigenvectors, as well as the model plot, it obviously revealed that both pre-and post-class model states of these students, taught by traditional lecture-based methods, were still in the misconception state.

Introduction

The model analysis is based on the matrix mechanics of quantum physics. It consists of two algorithms: 1) concentration factor used for the test analysis and 2) model estimation used for investigation the students' knowledge states [1]. This study focuses on the model estimation. It is useful in analyzing student's knowledge states in large classes with well designed multiple-choice questions. Its results will introduce instructors in ways of plans and designs the instructional materials for classrooms.

Materials and Methods

1. Data collection

The data were collected both pre- and post-instruction of traditional lecture-based classes from 420 science freshmen at PSU in 2012 by using Thai version of FMCE. The participants filled out 43 items of the FMCE, categorized into four-cluster contents (i.e. velocity, acceleration, the Newton's first and second laws and the Newton's third law) [2], for 30 minutes.

2. Model analysis

Student understanding of a given concept depends on contexts [1]. The different common models with context dependent defined as the mental model states in the model estimation of the model analysis. Each common model is associated with an element of an orthonormal basis ($\hat{e}_w$) in a linear vector space. The responses from a single student are used to construct a student model state with a vector of unit length in the model space (u_k). For k^{th} student in a class is shown as:

$$\hat{e}_1=\begin{pmatrix}1\\0\\\vdots\\0\end{pmatrix},\ \hat{e}_2=\begin{pmatrix}0\\1\\\vdots\\0\end{pmatrix},\ \ldots,\hat{e}_w=\begin{pmatrix}0\\0\\\vdots\\1\end{pmatrix}\Rightarrow u_k=\frac{1}{\sqrt{m}}\begin{bmatrix}\sqrt{n_1^k}\\\sqrt{n_2^k}\\\sqrt{n_3^k}\end{bmatrix} \quad (1)$$

where w is the whole common models for a concept. n_1^k, n_2^k and n_3^k represent the numbers of the student's answers corresponding with Model 1, Model 2 and Model 3, respectively. The m represents total questions in that concept.

The individual student model state is used to construct a student density matrix (D_k), then sum and divide it by numbers of all students (N) to obtain the class density matrix (D).

$$D_k=u_k\otimes u_k^T\Rightarrow D=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}D_k=\frac{1}{Nm}\begin{bmatrix}n^k & \sqrt{n^k n_2^k} & \sqrt{n^k n_3^k}\\\sqrt{n_2^k n^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k}\\\sqrt{n_3^k n^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13}\\\rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23}\\\rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33}\end{bmatrix} \quad (2)$$

Find the large eigenvalue (σ^2) and its primary eigenvectors (v_μ) to illustrate as a model point in the model plot.

Acknowledgements

This work was supported by the Graduate School and the Department of Physics, Prince of Songkla University. The authors would like to thanks all participating students, and also to show gratitude to the PENThai team at Mahidol university.

Results and Discussions

The model analysis results focus on the topic of the 1st and 2nd laws of Newton's motions as the lowest learning gain cluster. The data were analyzed to find out a student model state, a student density matrix and a class density matrix, respectively. We calculated eigenvalues and eigenvectors by using the ***Scilab*** program [3]. The class density matrices, large eigenvalues and their primary eigenvectors were shown in table 1. These were used to construct a model point (P_2,P_1) shown in the model plot in figure 1.

Table1: Results of pre-and post class density matrices, large eigenvalues, primary eigenvectors, and components of the class model point.

Result	Pre-test	Post-test
Class density matrix	$\begin{bmatrix}0.10 & 0.12 & 0.07\\0.12 & 0.58 & 0.33\\0.07 & 0.33 & 0.32\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}0.21 & 0.23 & 0.06\\0.23 & 0.66 & 0.15\\0.06 & 0.15 & 0.13\end{bmatrix}$
Large eigenvalue	0.84	0.79
Primary eigenvactor	$\begin{pmatrix}0.19\\0.82\\0.55\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0.38\\0.90\\0.23\end{pmatrix}$
Class model point		
y-component	P_1=0.03	P_1=0.11
x-component	P_2=0.56	P_2=0.64

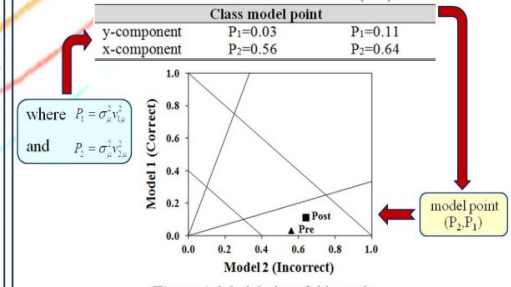


Figure 1. Model plot of this study.

In the model plot, both pre- and post-class model points were located in the incorrect model (model 2) region. This indicated that most students still have misconception about forces and motions concept even after lecture class instruction.

Conclusion

In this study, the data of the 1st and 2nd laws of Newton concept were measured by the model estimation of the model analysis technique. It was shown by the model plot that both pre- and post-class model states of these freshmen were still in the misconception region. These findings have suggested the significant information that a more active instruction is desired for freshmen physics lecture classes.

References

[1] L. Bao and E. F. Redish, "Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning," Phys. Rev. ST Phys. Educ. **2**, 1-16 (2006).

[2] T. I. Smith and M. C. Wittmann, "Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation," Phys. Rev. ST Phys. Educ. **4**, 1-12 (2008).

[3] C. Gomez and CEO, "Scilab 5.3.3", Scilab Enterprises S.A.S, Versailles, France. (2001). online url: http://www.scilab.org/download/5.3.3.

Siam Physics Congress SPC2013
Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013

Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by using the Model Analysis Technique

S. Puttisanwimon*, S. Rakkapao, and T. Pengpan

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90112, Thailand
**Corresponding author. E-mail: choky13@gmail.com*

Abstract

To examine students' conceptual understanding of forces and motions, the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) test was administered to 420 freshmen (18% male) of faculty of Science, Prince of Songkla University (PSU) in year 2012. These students, enrolled in the fundamental physics I course, were asked to determine 43 items of the FMCE both at the beginning and the end of the conventional classes as pre-and post-tests, respectively. For the FMCE results, although it was displayed by the paired t-test at 0.05 significant level that the post-test mean score (13.05±7.44) was greater than the pre-test mean score (9.03±4.00), most students still held misunderstanding of forces and motions. To illustrate the overall improvement, we have calculated the average normalized gain ($\langle g \rangle$) and found the low learning gain (0.12±0.02) of these students. Moreover, the results have shown that these students had the lowest learning gain (0.06±0.02) on the cluster of the first and second laws of Newton. We then analyzed the characteristics of these students' mental models on that topic by using the model estimation of the model analysis technique. Based on the largest eigenvalue and its eigenvectors, as well as the model plot, it obviously revealed that both pre-and post-class model states of these students, taught by traditional lecture-based methods, were still in the misconception state. These preliminary findings indicated that a more active instructional approach is required for freshmen physics lecture classes.

Keywords: Conceptual understanding, misconception, forces and motions, normalized gain, model nnalysis

Introduction

The evaluation plays a significant role in Physics Education Research (PER) as it reveals the students' prior knowledge, as well as the students' improvement at the end of classes. Generally, class quantitative evaluation by using the research-based multiple-choice tests in PER is such statistical methods as t-test, and normalized gain.

T-test is a basic statistical method for comparing the difference of the two mean scores at any levels of significance. On the other hand, the normalized gain, developed by Richard Hake in 1998, can be calculated for demonstration the student's learning gain in a class or a given topic [1]. Both former methods do not show the students' mental model state of learning that will be of benefit to instructors in the views of guided information for developing proper teaching and learning processes for the learners.

The model analysis, founded by Lei Bao in 1999, has served this advantage [2]. It is a new evaluation technique in PER, which is based on the matrix mechanics of quantum physics. The model analysis consists of two algorithms; the concentration factor and the model estimation. The concentration factor is used for the test analysis by determining the distribution of students' responses from the multiple-choice instruments. The model estimation is used for investigation of students' mental models as the students' knowledge states.

In this study, we focus on the part of model estimation. Since several physics education researches have disclosed that numberless students have difficulties in identifying the correct answers when a similar concept is presented under different physical contexts [2-5]. Students' understanding depends on contexts of questions. The probability for a student to use a concept to solve a question is exposed by the model estimation of model analysis. The model estimation presents both the students' misconception and the students' mental model state of knowledge. Its results will introduce instructors in ways of plans and designs the instructional materials for classrooms. This method is useful in analyzing student's knowledge states in large classes with well designed multiple-choice questions.

To evaluate students' conceptual understanding on the topic of forces and motions, this study will utilize the model analysis technique. The collected

Siam Physics Congress SPC2013
Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013

data are from science freshmen at Prince of Songkla University by using the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) test.

Materials and Methods

1. Data collection

The data were collected both pre- and post-instruction from 420 complete responses of science freshmen (18% male), Prince of Songkla University, enrolling fundament physics I (332-101) course in the first semester of year 2012, by using Thai version of FMCE developed by the Physics Education Network of Thailand (PENThai) research group at Mahidol University. In the physics classes, these students were taught by using the traditional lecture-based method, including some physics animations from academic websites. The participants were asked to determine 43 items of the FMCE for 30 minutes. The FMCE is categorized into four-cluster contents, such as velocity, acceleration, the Newton's first and second laws and the Newton's third law [6]. Each item of FMCE is a multiple-choice single response question (A-H). If students consider that there is no correct choice, they can choose choice J.

2. T-test and Normalized gain (g)

In the study, we use t-test to compare the difference between pre-test and post-test mean scores. Because the pre-and post-test scores are from the same student, we select to calculate the paired-samples t-test as shown in the following equation:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \qquad (1)$$

where $\bar{d}$ is the difference of average scores between pre- and post-classes; S_d is the standard deviation of difference scores; and n is number of samples.

The normalized gain is use to evaluate the effectiveness of the instructional tools by measuring the students' learning gain. It is calculated from the ratio of the actual gain ($\langle G \rangle$) and the maximum possible gain ($\langle G \rangle_{\max}$) defined as:

$$\langle g \rangle = \frac{\%\langle G \rangle}{\%\langle G \rangle_{\max}} = \frac{\left(\%\langle S_f \rangle - \%\langle S_i \rangle\right)}{\left(100\% - \%\langle S_i \rangle\right)} \qquad (2)$$

where $\langle g \rangle$ is *average normalized gain* of a class; $\langle S_f \rangle$ and $\langle S_i \rangle$ are class average scores of post- and pre-tests as percentages, respectively. The interpretation of $\langle g \rangle$ values has been divided into 3 levels, namely high gain ($\langle g \rangle \geq 0.7$), medium gain ($0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$), and low gain ($\langle g \rangle < 0.3$), respectively. In general, an active learning method reinforces students' learning gain into at least the middle level [1-2].

3. Model analysis

The theoretical framework of model analysis is based on the scientific researches of cognitive science, neuroscience and education [3-4]. It utilizes the qualitative researches to design the quantitative parameters. The part of model estimation of the model analysis aims to model students' knowledge state for a given concept. Based on several previous researches, student understanding of a concept depends on the context [4]. It means that, for a given physics concept, students may apply a scientific concept to solve a question with one context, but they may use alternative concepts to answer other different context questions. Therefore, if we use a set of equivalent concept questions, designed for a particular physics concept to activate students understanding, the probability for students to apply different concepts in solving these questions can be measured by using the model estimation. Its diagram is shown in figure 1. When a student answers a question, the physical context of that question causes him/her to activate or create a certain model.

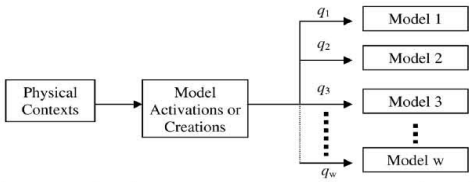


Figure 1. The diagram represents processes of model creations. There are a total of w common models in solving this problem (i.e., Model 1, Model 2,…, Model w). The q_1, q_2,…,q_w represent the probabilities for a student being triggered into activating the corresponding models [3].

This process is analogous to that of quantum measurement [2-3]. The different common models with context dependent defined as the mental model states. Each of common models is associated with an element of an orthonormal basis ($\hat{e}_w$) in a linear vector space. It can be shown mathematically as:

$$\hat{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \ldots, \hat{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{w}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \qquad (3)$$

where w is the total number of common models for a certain concept.

The responses from a single student to the research-based multiple-choice instruments are used to construct a student model state with a vector of unit length in the model space ($|u\rangle$). For example, for one concept with three common models, the model state for k^{th} student in a class is shown as:

Siam Physics Congress SPC2013
Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013

$$|u_k\rangle = \frac{1}{\sqrt{m}}\begin{bmatrix}\sqrt{n_1^k}\\ \sqrt{n_2^k}\\ \sqrt{n_3^k}\end{bmatrix} \quad (4)$$

where n_1^k, n_2^k and n_3^k represent the numbers of the k^{th} student answers corresponding with Model 1, Model 2 and Model 3, respectively. The m represents the total number of questions in that concept.

The individual student model state is used to construct a student density matrix (D_k), as show in the following.

$$D_k = u_k \otimes u_k^T = |u_k\rangle\langle u_k| = \frac{1}{m}\begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad (5)$$

For the entire class, we then sum the student density matrices and divide it by number of all students (N) called the class density matrix (D). It is the average of the individual students' model density matrices.

$$D = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} D_k = \frac{1}{N.m}\begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad (6)$$

Then eigenvalues and eigenvectors are computed to show the students' distribution in each common model.

For the presentation of these values, we will create the model plot. It is a two-dimensional graph to represent the class use of two models (correct and incorrect) [2]. It is displayed by using a large eigenvalue (> 0.65) which established the primary eigenvector to be represented as a point in a space of graph. The class model state is expressed by this point and shown in Figure 2. The primary vector, denoted by $v_\mu = \left(v_{1\mu}, v_{2\mu}, v_{3\mu}\right)^T$ with the large eigenvalue σ_μ^2 is a point on the model plot with a coordinate (P_1, P_2), where $P_1 = \sigma_\mu^2 v_{1\mu}^2$ and $P_2 = \sigma_\mu^2 v_{2\mu}^2$ [3]. Each region in the model plot can give information about the class model state in each concept, which model 1 as correct model, model 2 as incorrect model, and the middle as mixed model state.

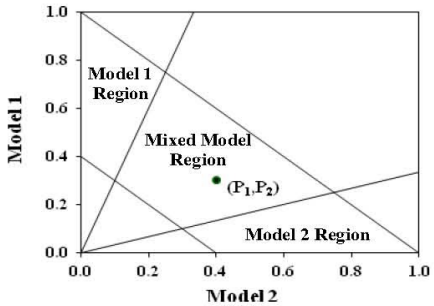


Figure 2. Model plot and model regions [3].

Results and Discussion

1. Results of T-test and Normalized Gain

The FMCE data were first calculated the paired t-test to compare the difference between pre-test and post-test mean scores. The results showed that the post-test mean score (13.05 ± 7.44) was greater than the pre-test mean score (9.03 ± 4.00) at 0.05 significant level. Hence, these students, learned by the traditional lecture-based approach, have knowledge increment.

Moreover, we have analyzed the percentage of these students in correct responses on pre-and post-tests, and improvement via the average normalized gain ($\langle g \rangle$) as shown in figure 3. It was displayed as overall data and the four-cluster concept. Total students' learning gain was in the low level ($\langle g \rangle$=0.12). Generally, the students' correct answers were less than 35% for post-test and 25% for pre-test, with the exception of the cluster concept of velocity. This means that these students have less problem on that topic. Its learning gain was in the middle level ($\langle g \rangle$=0.60). In contrast, these students had the lowest learning gain ($\langle g \rangle$=0.06) on the cluster concept of the first and second laws of Newton. There was merely 20% correction of these students in post-test. Therefore, we selected to focus on that topic by computing the model estimation.

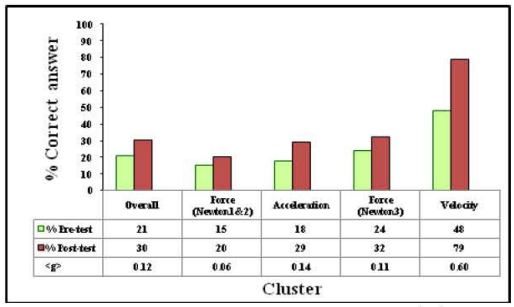


Figure 3. Average normalized gain ($\langle g \rangle$) and percentage of students' correct answers of FMCE pre- and post-tests categorized into overall and four-cluster concept.

2. Results of Model Analysis

This study has measured the model analysis only on the topic of the first and second laws of Newton's motion. Based on qualitative physics education researches, students' common models on this topic were classified as:

Model 1: It is necessary to have a force to maintain motion and there is no such a thing as a "force in the direction of motion." (Correct model);

Model 2: A force is needed to maintain motion. This model also includes the ideas that there is always

a force in the direction of motion and that the force is directly related to the velocity of motion. (Incorrect model); and

Model 3: Other ideas and incomplete answers (Null model) [3].

We utilized question 2, 5, 11 and 12 of the FMCE as the typical items associated with the concept. Then the data were analyzed to find out a student model state, a student density matrix and a class density matrix, respectively. In this study, we calculated eigenvalues and eigenvectors by using the freeware program called ***Scilab*** [7]. The class density matrices, dominant eigenvalues and their primary eigenvectors were shown in the following table 1.

Eventually, the eigenvalues and the primary eigenvectors are constructed to be the class model state plotting on the model plot, as shown in figure 4.

Table1: Results of pre-and post class density matrices, dominant eigenvalues, primary eigenvectors, and components of the class model point.

Result	Pre-test	Post-test
Class density matrix	$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.12 & 0.07 \\ 0.12 & 0.58 & 0.33 \\ 0.07 & 0.33 & 0.32 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.21 & 0.23 & 0.06 \\ 0.23 & 0.66 & 0.15 \\ 0.06 & 0.15 & 0.13 \end{bmatrix}$
Dominant eigenvalue	0.84	0.79
Primary eigenvactor	$\begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.82 \\ 0.55 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.90 \\ 0.23 \end{pmatrix}$
Class model point		
A vertical component	$P_1=(0.84)(0.19)^2$ =0.03	$P_1=(0.79)(0.38)^2$ =0.11
A horizontal component	$P_2=(0.84)(0.82)^2$ =0.56	$P_2=(0.79)(0.90)^2$ =0.64

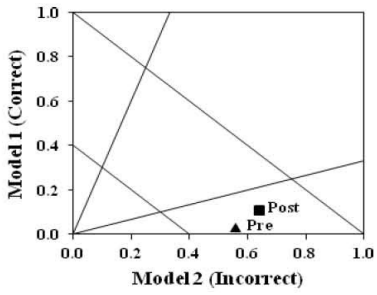


Figure 4. Model plot of freshmen class model states on the first and second laws of Newton concept from the FMCE data.

In the model plot, although a small shift of the post-class model points towards the correct model (model 1), both pre- and post-class model points were located in the incorrect model (model 2) region. This indicated that most students still have misconception about force and motion concept even after lecture class instruction. Thus, a more active instruction is necessary to use in physics classes to improve students' learning.

Conclusions

In this study, we have evaluated science freshmen understanding of forces and motions by using the FMCE. Both pre-and post-test data of the traditional lecture-based class were analyzed. Results have been revealed by the paired t-test at 0.05 significant level that the post-test mean score was greater than the pre-test mean score. Overall improvement of these students was in the low level acquired by calculating the average normalized gain. Moreover, the students' lowest learning gain was found in the first and second laws of Newton concept. Ultimately, the data of that concept were measured by the model estimation of the model analysis technique. It was shown by the model plot that both pre- and post-class model states of these freshmen were still in the misconception region. These findings have suggested the significant information that a more active instruction is desired for freshmen physics lecture classes.

Acknowledgments

This work was supported by the Graduate School and the Department of Physics, Prince of Songkla University. The authors would like to thanks all participating students, and also to show gratitude to the PENThai team at Mahidol university.

References

1. R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," Am. J. Phys. 66 (1), 64-74 (1998).
2. L. Bao, University of Maryland, 1999.
3. L. Bao and E. F. Redish, "Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning," Physical Review Special Topics-Physics Ecucation Research 2, 1-16 (2006).
4. K. Hogg L. Bao, and D. Zollman, "Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law," Am. J. Phys. 70, S766-S787 (2002).
5. P. Wattankasiwich and S. Anata, "Model Analysis: A Quantum Approach to Analyze Student Understanding," Chiang Mai J. Sci. 36 (1), 24-32 (2009).
6. T. I. Smith and M. C. Wittmann, "Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation," Physical Review Special Topics-Physics Ecucation Research 4 (020101), 1-12 (2008).
7. Scilab Enterprises S.A.S, "Scilab 5.3.3", (Claude Gomez, CEO, Versailles, France, 2001), Vol. 2013.

ภาคผนวก ซ.

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (ICPE2013)

1. ชื่อผลงาน:

Assessment of the Just-in-Time-Teaching Approach on the Newtonian Mechanics Concept by Using the Model Analysis Technique

2. ชื่อผู้เขียน:

นายศุภโชค พุทธิสารวิมล, ผศ.ดร.สุทธิดา รักกะเปา และ รศ.ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์

3. ชื่องานประชุม:

The International Conference on Physics Education 2013 (ICPE-EPEC2013)

4. ชื่อหน่วยงานที่จัด:

The International Commission on Physics Education (ICPE), Commission C14 of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), The European Physical Society Physics Educational Division (EPS PED) and The Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague.

5. วันที่จัดงาน:

5-9 สิงหาคม 2556

6. สถานที่จัดงาน:

Don Giovani hotel, Prague, Czech Republic

7. ประเทศที่ไปเสนอผลงาน:

สาธารณรัฐเช็ค

8. รูปแบบการเผยแพร่:

การนำเสนอแบบปากเปล่า (oral presentation)

9. งานประชุมระดับ:

นานาชาติ

ICPE-EPEC 2013

The International Conference on Physics Education
August 5-9 2013, Prague, Czech Republic

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Presented to

Supachoke Puttisanwimon

For having participated in The International Conference on Physics Education, between August 5-9 2013 in Prague, Czech Republic with the presentation:

Assessment of the Just-in-Time-Teaching Approach on the Newtonian Mechanics Concept by Using the Model Analysis Technique

L. Dvořák

Leoš Dvořák

Local Organizing Committee

Assessment of the Just-in-Time-Teaching Approach on the Newtonian Mechanics Concept by Using the Model Analysis Technique

S. Puttisanwimon, S. Rakkapao* and T. Pengpan

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90112, Thailand

*Corresponding author. E-mail: suttida.r@psu.ac.th

Abstract

The Just-in-Time-Teaching (JiTT) is one of the interactive instructional methods in Physics Education Research (PER). Web-based questions and in-class activities based on misconceptions are the key elements of JiTT. It can be applied to a small or large class with a single instructor, and is easy to combine with other methods. This study aims to evaluate the JiTT method, which is included in the lecture physics classes, by using the model analysis technique. Samples are 567 science freshmen, who enrolled in the fundamental physics course, from Prince of Songkla University, Thailand. Since, we focus on the Newton's first and second laws of motions, the well-known research-based multiple choice test, Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE), was administered to the students both before and after the lecture class mixed JiTT instruction. Based on the class density matrix as well as the model plot of the model analysis, it has revealed that after the instruction the percentage of the students using the correct model to solve the questions has increased. However, most students were still in the incorrect model region. Although, there was a slight change from pre-to post class model point, it was a sign of learning. This indicates that active learning activities are necessary in physics lecture classes.

Keywords: University Education, Misconception, Forces and Motions, Just-in-Time-Teaching, Model Analysis

Introduction

In Thailand, large classes of an introductory physics course at university level are common [1]. One instructor confronts with more than 200 students in a class, which a lecture-based instruction is unavoidable. To promote students understanding in the class, Just-in-Time-Teaching (JiTT), as an active learning approach, has been suggested in Physics Education Research (PER). The JiTT, developed at Indiana University-Purdue University Indianapolis, and the United States Air Force Academy in USA, is a pedagogical strategy for using the World Wide Web to create an active learning environment in classrooms [2, 3]. The distinguished feature of JiTT approach is using a series of questions to monitor the student understanding in one concept before and after the instruction via online system. This is a way to extract students' prior knowledge before the starting of the class. The prior knowledge is a primary resource for instructors to design class activities and instructional evaluation. The JiTT encourages students to construct their own body of knowledge through classroom discussion, including use other supplement instructional materials. It promotes students' learning from the view of constructivist theory [4, 5]. Moreover, the JiTT is appropriated for a large class with one instructor [6, 7]. Therefore, in this study, we select to combine the JiTT with the large lecture of introductory physics classes.

To evaluate the effectiveness of using the JiTT integrated in the lecture class, we focus on the analysis of changing students' mental model of learning before and after the instruction. The model analysis is used for this purpose. It is based on the matrix mechanics of quantum physics [8, 9]. The model analysis consists of two algorithms; the concentration factor and the model estimation. The concentration factor is used for the test analysis by determining the distribution of students' responses from the multiple-choice instruments. The model estimation is used for investigation of students' mental models as knowledge states. This study focuses only on the model estimation of the model analysis. It is useful in analyzing student's knowledge states in large classes with well designed multiple-choice questions. Its results are used not only for evaluation the forcefulness of the teaching approach, but also for guideline instructors in ways of plans and designs the instructional materials for classrooms.

In this study, we design and create the JiTT approach integrated into the traditional lecture physics classes for science freshmen at Prince of Songkla University, Thailand. The concept of the Newton's first and second laws of motions is the first requirement [10]. The collected data from Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) test are analyzed via the model estimation of the model analysis technique to reveal the influence of this instruction.

Materials and Methods

1. Data collection

The data were collected both pre- and post-instruction from 567 complete responses of science freshmen (24% male) at Prince of Songkla University, Thailand, by using Thai version of FMCE. The 43 items of FMCE, a research-based multiple-choice instrument, were categorized into four content clusters namely velocity, acceleration, the Newton's first and second laws and the Newton's third law [11]. Only data of the Newton's first and second laws of motions were illustrated in this article.

2. Just-in-Time-Teaching (JiTT)

The JiTT is a teaching and learning strategy comprising two elements: 1) classroom activities that promote active learning and 2) World Wide Web resources that are used to enhance the classroom component [2]. This method exposes the students' prior knowledge by "*Warm up* questions" and the students' improvement at the end of classes by "*Puzzle* questions". Based on our previous research results, in this study, we concentrate on creating the JiTT procedures for the concept of the Newton's first and second laws of motions [10].

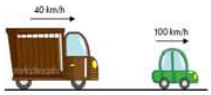
2.1 Warm up Questions

The questions were used to extract students' prior knowledge for the concept before the beginning of the class, in order to use as key resources to design the classroom activities. There are three types of the *Warm up* questions: 1) an essay question, 2) an estimation question, and 3) a multiple-choices question. All questions are put on the classroom's website for students to response in time. In this study, *Warm up* questions, involving the Newton's first and second laws of motions, were developed from PER articles, academic websites and classroom experiences of researchers. The questions were validated and modified following suggestions of students and physics experts. An example of the *Warm up* questions for the Newton's first law, used in our research by placing on "LMS@PSU E-Learning Management System", is shown in Figure 1 [12].

(a) Essay question: During the motion of a spacecraft far away from the planets, if the spacecraft's engine is not used, can the spacecraft move? Why? (Explain and give your reasons.)

(b) Estimation question: A boy pushes the wooden box rested on the frictionless floor moving with a constant speed of 2 m/s. When the wooden box out of the boy's hand, calculating the net force acting on the wooden box if no air resistance. (Define any mass of the wooden box and show the calculation, if any.)

(c) Multiple-choices question:



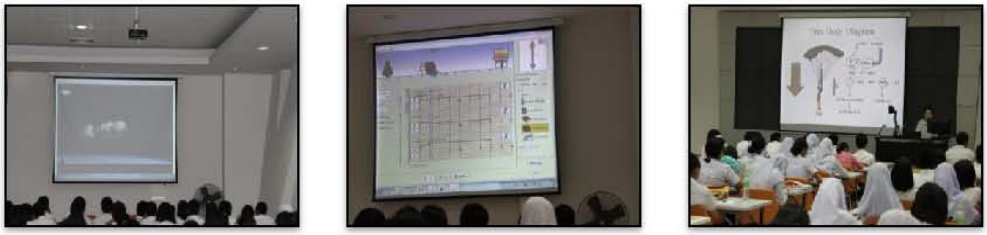
A car, moving with a constant speed of 100 km/h, overtakes a truck, moving with a constant speed of 40 km/h. Which is the correct answer involving the net force acting on the vehicles?

(A) The net force acting on the truck is greater than that of the car because of its larger mass.
(B) The net force acting on the car is greater than that of the truck because of its smaller mass.
(C) The net force acting on the car is greater than that of the truck because of its higher speed.
(D) The net forces acting on the car and the truck are equal because of the constant speeds.
(E) Other.

Figure 1. The *Warm up* questions for the Newton's first law used in this study

2.2 Classroom Activities

Students' responses for the *Warm up* questions were used to plan classroom activities. In lecture class, firstly, the instructor shows the students' responses to a given concept on the screen in front of the class, and discusses the prior knowledge. Secondly, students learn from free online video clips or interactive simulations, which are from well known academic websites such as Physics Education Technology: University of Colorado, Boulder (*PhET*) [13]. The instructor asks questions relating to the video clip and engages students to share their ideas with neighbors. The last procedure is classroom discussion, in order to help students to reorganize and to construct their own ideas. Examples of instructional materials are shown in Figure 2.



(a) (b) (c)

Figure 2. Instructional materials for classroom activities: (a) video clips, (b) interactive simulations, and (c) animation pictures.

2.3 Puzzle Questions

The *Puzzle* open-ended questions were used to examine both students' understanding and the JiTT method as the formative evaluation. One week after ending the topic, the *Puzzle* questions were put online and students' feedbacks were analyzed. An example of *Puzzle* questions for the Newton's first law concept is shown in the Figure 3.

The ice-skater used one foot to push 10 Newton force to move herself out of the field edge. She is sliding with a constant speed of 5 m/s on frictionless ice, shown in the figure. Describe the net force acting on the ice-skater and her movement.

Figure 3. The *Puzzle* question for the Newton's first law used in this study

3. Model analysis

The theoretical framework of the model analysis technique is based on the scientific researches of neuroscience, cognitive science and education [8, 9]. It takes advantage of the qualitative researches to design the quantitative parameters. The model estimation of the model analysis is used in this study to estimate students' mental models of learning both before and after the JiTT combined with lecture. Since students' understanding depends on contexts of questions, the probability for a student to use a concept to solve a question can be measured by the model estimation [8, 9, 14]. For a given concept, a physical context of a question will activate a student to use one mental model to response the question. Each mental model is analogous as an element of an orthonormal basis (e_w) in a linear vector space, as shown in formula (1).

$$e_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, e_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \ldots, e_w = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1) \qquad |u_k\rangle = \begin{bmatrix} \sqrt{q_1^k} \\ \sqrt{q_2^k} \\ \sqrt{q_3^k} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} \sqrt{n_1^k} \\ \sqrt{n_2^k} \\ \sqrt{n_3^k} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Responses from a single student to the research-based multiple-choice questions are used to construct a single student model state with a vector of unit length in the model space ($|u_k\rangle$). The model state for the k^{th} student in a class, which focuses on three common models, is shown in formula (2), where n_1^k, n_2^k and n_3^k mean the numbers of the k^{th} student answers corresponding with Model 1, Model 2 and Model 3, respectively, and m means the total number of questions in that concept.

The individual student model state is used to construct a single student density matrix (D_k), where $D_k = u_k \otimes u_k^T$. For the entire class it is combined to create the class density matrix (D).

$$D = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} D_k = \frac{1}{N.m} \begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

The diagonal elements of the class density matrix reflect the percentage of the responses generated with the corresponding models used by the class. The off-diagonal elements reflect the consistency of the individual students' use of their models. Large off-diagonal elements signify low consistency (large mixing) for individual students in their model use. This is computed to find out the eigenvalues and eigenvectors for showing the students' distribution in each mental model. The largest eigenvalue (> 0.65) was selected and used to establish the primary eigenvectors (v_μ). These can be presented in a model

plot with a model point expressing the class model state as shown in Figure 4(a). The model plot is a two-dimensional graph to represent the class use of two models (correct and incorrect). It can be divided into 3 regions for giving the class model state in each concept, which model 1 as correct model, model 2 as incorrect model, and the middle as mixed model state. The two axes represent the probabilities that students in the class will use the corresponding models. The largest eigenvalue (σ_μ^2) and its primary eigenvector, denoted by $\upsilon_\mu = \left(\upsilon_{1\mu} \quad \upsilon_{2\mu} \quad \upsilon_{3\mu}\right)^T$, are pointed on the model plot with a coordinate $\left(P_2, P_1\right)$, where $P_1 = \sigma_\mu^2 \upsilon_{1\mu}^2$ and $P_2 = \sigma_\mu^2 \upsilon_{2\mu}^2$.

Results and Discussion

1. Results from JiTT questions

Students' responses for the *Warm up* and *Puzzle* questions of JiTT were analyzed and grouped following the main idea. In this article, we present only students' answers from the *Warm up* questions (shown in Figure 1), and the *Puzzle* question (shown in Figure 3).

1.1 Results from the Warm up Questions

Table 1(a). Students' responses to the essay question (spacecraft situation)

Group	Can the spacecraft move?	Reasons	Percentage
1	Yes.	It is not necessary to have a force to maintain the spacecraft's motion.	29%
2	Yes.	The spacecraft is still moving because of the gravitational interaction between the spacecraft and the planets.	38%
3	No.	There is no force acting on the spacecraft. / A force is needed to maintain its motion.	31%
4	Yes./No.	Others	2%

Table 1(b). Students' responses to the estimation question (wooden box situation)

Group	The net force acting on the wooden box is…	Reasons	Percentage
1	Zero	The box is moving with a constant speed.	46%
2	Not zero	There is a pushed force by the hand calculated by the Newton's second law.	48%
3	Zero/Not zero	Others	6%

For the students' responses to the multiple-choice question (car & truck situation), there were 17%, 16%, 34%, 25%, and 8% of the students selected choice (A) to (E), respectively. It displayed that 67% of these students believed that the net force acting on the constant speed object is varied by mass and speed. Thirty-four percent of them believed that the net force acting on the higher speed object is greater than that of the lower one. Moreover, students' answers to the three types of the *Warm up* questions showed that more than a half of these students brought the alternative concepts involving the Newton's first law of motion into classroom. Thirty-one percent of these students believed that during the motion far away from the planets of the spacecraft, if the spacecraft's engine is not used, it

cannot move because of none force acting on the spacecraft. This strongly agrees with the misconception that a force is necessary to maintain the object's motion [8]. Furthermore, for the wooden box situation shown in Figure 1(b) and Table 1(b), 48% of the students answered that there is net force acting on the wooden box moving with a constant speed on the frictionless floor, by which most believed there is a hand force. This implies the misunderstanding of the contact force that the force still exists during no contact between the two objects. The alternative concepts of the students found in this process were revised by classroom activities of the JiTT instruction.

1.2 Results from the Puzzle Question

Students' responses to the *Puzzle* question (shown in Figure 3) were demonstrated in Table 2. We found that after this instruction 81% of the students answered the correct idea that the net force, acting on the ice-skater moving with a constant speed, is zero. It indicates that the teaching method helps students to reorganize their ideas from several different ideas to more consistency one idea. However, there were 19% of the students still held the alternative concepts. Some believed that there is a kind of foot forces.

Table 2. Students' responses to the *Puzzle* question (ice-skater situation).

Group	The net force acting on the ice-skater is…	Reasons	Percentage
1	Zero	The ice-skater is still moving with a constant speed.	81%
2	Not zero	There is a pushed force by her foot.	12%
3	Zero/ Not zero	Others	7%

2. Results from FMCE

Students' model states for the Newton's first and second laws were calculated by the model estimation. There are three common models of this concept: *Model 1)* It is necessary to have a force to maintain motion and there is no such a thing as a force in the direction of motion (correct model).; *Model 2)* A force is needed to maintain motion and is always in the direction of motion. The force is directly related to the velocity of motion (incorrect model).; and *Model 3)* Other ideas and incomplete answers (null model) [8, 9].

Table 3. Results of pre-and post class density matrices, dominant eigenvalues, and primary eigenvectors

Results	Pre-	Post-
Class density matrix	$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.12 & 0.07 \\ 0.12 & 0.60 & 0.32 \\ 0.07 & 0.32 & 0.30 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.16 & 0.18 & 0.09 \\ 0.18 & 0.60 & 0.27 \\ 0.08 & 0.27 & 0.24 \end{bmatrix}$
Dominant eigenvalue	0.83	0.80
Primary eigenvector	$\begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.83 \\ 0.52 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.29 \\ 0.84 \\ 0.45 \end{pmatrix}$

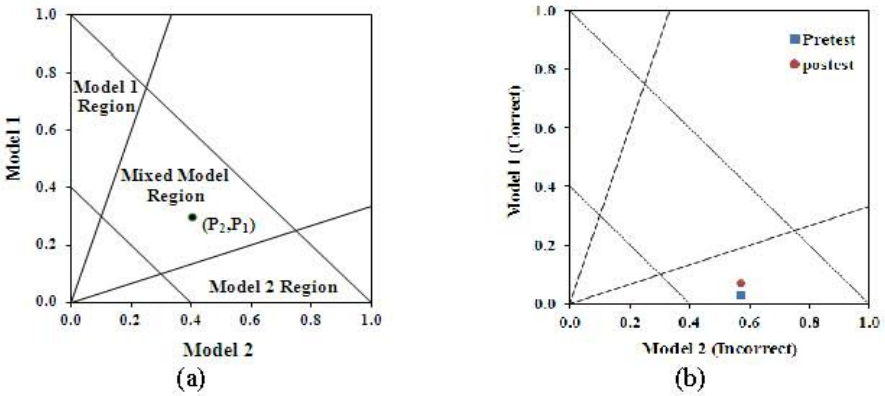


Figure 4. (a) Model plot and model regions. (b) Pre-and post class model states on the Newton's first and second laws for the JiTT instruction

In this study, we employed question 2, 5, 11 and 12 of the FMCE as the typical items associated with the concept. Results were shown in Table 3, and the class model states were shown in Figure 4(b). After the JiTT instruction, the percentage of students, who used the correct model to solve the questions, has increased from 10% to 16%, shown by the diagonal elements of the class density matrices. Moreover, the percentage of students, who held the null model, has decreased from 30% to 24%. The percentages of students, who used the incorrect model, before and after the instruction, were equal. Additionally, the off-diagonal element ρ_{23} in the pre-and post-class density matrices showed the significant large mixing between the incorrect and null models. It moved from 75% to 71% of mixing ideas after the instruction. It means that after the JiTT instruction, amount of students, who used the correct model, is higher; who used the mixing of incorrect and null models is lower. The shift of the class model states is shown in Figure 4(b). There was a slight change from pre-to post model points, and all were in the incorrect model region. Although, the JiTT instruction cannot force students to the correct model region, it has made some changes to the students. This can be a part of learning.

Conclusions

This study presents an effort to use the JiTT method integrated into the traditional lecture class of the Newton's first and second laws of motion. The FMCE data were collected from science freshmen (N=567) at Prince of Songkla University, Thailand. These were analyzed to determine students' model states of learning via the model estimation of the model analysis. Research results have disclosed some changes of the students' model states after this instruction, but in a small scale. To help students learn more, the JiTT should be combined with other active methods, such as Peer Instruction (PI) [15]. The more interactive classroom activities of the JiTT approach benefit students' learning in science and mathematics classrooms [16, 17]. It is an interesting future work in enhancing students' understanding of physics.

Acknowledgments

The authors would like to thanks all participating students and all colleagues. This work was supported by graduate school, department of physics, and faculty of science at Prince of Songkla University, Thailand.

References

[1] Soankwan C., Emarat N., Arayathanitkul K., Chitaree R.: Physics Education in Thailand. International Newsletter on Physics Education. (October 2007), p. 6-8.

[2] Novak M. G., Patterson E. T., Gavin A. D., Christian. W.: Just-in-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, (1999)

[3] Novak G. M., Patterson E. T., Gavrin A. D., Christian W., Forinash K.: Just in Time Teaching. Am. J. Phys. 67, (1999), p. 937-938.

[4] Gavrin A. D., Novak G. What is Physics Good For? Motivating Students With Online Materials. In: IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education. Philadelphia, Pennsylvania, (1999).

[5] Novak G. M., Patterson E. T., Gavrin A., Enger R. C.: Just-in-Time Teaching: Active Learner Pedagogy with WWW. In: IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education. Cancun, Mexico: Eds. J., (1998), p. 1-5.

[6] Gavrin A.: Just-in-Time Teaching. Metropolitan Universities Journal. 17, 4. (2006), p. 9-18.

[7] Redish E. F.: Teaching Physics with Physics Suite. New Jersey: John Wiley & Sons (2003).

[8] Bao L.: Dynamics of student modeling: a theory, algorithms, and application to quantum mechanics. Doctor of Philosophy. University of Maryland, (1999).

[9] Bao L., Redish E. F.: Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. Phys Rev ST Phys Educ Res. 2, (2006), p. 1-16.

[10] Puttisanwimon S., Rakkapao S., Pengpan T.: Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by Using the Model Analysis Technique. In: The 8th Annual Conference of Thai Physics Society. Chiang Mai, Thailand, (2013), p. 413-416.

[11] Smith T. I., Wittmann M. C.: Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation. Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 4, (2008), p. 1.

[12] PSU: LMS@PSU E-Learning Management System. FUNDAMENTAL PHYSICS 1 (332-101). (2012), [online]. [cit. 8. 9. 2013]. Available from: http://lms.psu.ac.th/

[13] University of Colorado Boulder: PhET Interactive Simulations. (2013), [online]. [cit. 3. 4. 2013]. Available from: http://phet.colorado.edu.

[14] Hogg K., Bao L., Zollman D.: Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law. Am. J. Phys. 70, (2002), p. S766-S787.

[15] Watkins J., Mazur E.: Just-in-Time Teaching and Peer Instruction. In: Simkins, S., Maier, M., editors. Just in Time Teaching: Across the Disciplines, and Across the Academy, p. 39-62: Stylus Publishing, (2010)

[16] Mzumara H. R. Web Science: Assessment of Just-in-Time Teaching at IUPUI. In: The EDUCAUSE 2001conference. Indianapolis, (2001). p. 1-19.

[17] Luo W.: Just-in-Time-Teaching (JiTT) Improves Students' Performance in Classes - Adaptation of JiTT in Four Geography Courses. Journal of Geoscience Education. 56, 2. (2008), p. 166-171.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายศุภโชค พุทธิสารวิมล
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510220109
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550
ป.บัณฑิต วิชาชีพครู	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2551

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ระยะเวลา 2 ปีการศึกษา (2555-2556) โดยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนสนับสนุนไปนำเสนอผลงานวิชาการ ปีการศึกษา 2556 โดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ข้าราชการ ตำแหน่ง ครู อันดับ คศ.1
โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Puttisanwimon, S., Rakkapao, S. and Pengpan, T. 2013. Investigation of Freshmen Conceptual Understanding of Forces and Motions by Using the Model Analysis Technique. Proceedings of Siam Physics Congress SPC2013, Chaingmai, Thailand, March 21-23, 2013: 413-416.

Puttisanwimon, S., Rakkapao, S. and Pengpan, T. 2013. Assessment of the Just-in-Time Teaching Approach on the Newtonian Mechanics Concept by Using the Model Analysis Technique. Proceedings of The International Conference on Physics Education 2013 (ICPE-EPEC2013), Prague, Czech Republic, August 5-9, 2013: 1-8.