การพัฒนาบทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเรื่อง "งานเนื่องจากแรงแปรค่าได้"

The Development of Calculus-based Physics Lesson on the Topic " Work Done by Varying Force"

วิชาญ คงธรรม

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

E-mail : wichan_k@mju.ac.th

มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่สามารถแก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานได้ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาและศึกษาผลการใช้บทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ต่อการแก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ บทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานได้พัฒนาขึ้นจากการที่ผู้วิจัยได้ทำการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไปได้พบปัญหาที่สอดคล้องกับผลการวิจัยทางการศึกษาจำนวนมากว่านักศึกษามีปัญหาในการเชื่อมโยงตัวแปรในแคลคูลัสกับตัวแปรในโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และการขาดความเชื่อมโยงจากแนวคิด หลักการ ทั้งทางแคลคูลัสและฟิสิกส์ขั้นต้นไปสู่ขั้นที่ซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ออกแบบบทเรียนเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว บทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานที่พัฒนาขึ้นเมื่อนำมาใช้กับนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา ฟส 105 (ฟิสิกส์ทั่วไป 1) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 32 คน หลังจากนั้นให้นักศึกษาทำข้อสอบแบบอัตนัย และสัมภาษณ์ความเข้าใจเนื้อหา กระบวนการแก้ปัญหา แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เนื้อหา ผลปรากฏว่านักศึกษาทั้งหมดเข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ สามารถเชื่อมโยงตัวแปรในแคลคูลัสกับฟิสิกส์ได้ และแก้ปัญหาโจทย์ข้อสอบได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล และเข้าใจความหมายแทนที่จะใช้วิธีการท่องจำเพื่อสอบ

คำสำคัญ: *บทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐาน งานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ การแก้ปัญหา*

Abstract

Many students had some difficulties solving physics problems involving calculus. The purposes of this study are to develop and study the ability of the students to solve calculus-based physics problems based on "Work Done by Varying Force" lesson. Calculus-based physics lessons have been developed by many physics teachers. The study results showed that the students had difficulties correlating variables in calculus to variables in physics problems and hence, mixing the concept and principle of calculus and physics, from simple model to complex model. Therefore, we had developed the lesson to solve this problem. We applied our lesson to 32 Maejo University

students who registered in PH105 (General Physics 1) course in the second semester of the academic year 2012. The data from the test and interviews shows that all the students had increased their comprehension on the content in the "Work Done by Varying Force" topic. They were able to associate between the variables in calculus with appropriate variables in physics. Moreover, they can solve physics problems in a more reasonable and meaningful way instead of memorizing the contents.

Keyword: *Calculus- based physics lesson, Work Done by Varying Force, problem solving*

มหาวิทยาลัยรังสิต

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้วิชาแคลคูลัสและฟิสิกส์ที่สอนในระดับมหาวิทยาลัยทั้งในประเทศและทั่วโลกได้แยกสอนต่างสาขาวิชา ทั้ง ๆ ที่ทั้งสองวิชานี้มีความเกี่ยวพันกัน และนักวิจัยทางการศึกษา (Tuminaro (2004); Meredith and Marrongelle (2008); Hadfield and Wieman, 2010; Nguyen and Rebello (2011) ได้ศึกษาการนำความรู้ทางแคลคูลัสไปใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่านักศึกษาไม่สามารถเชื่อมโยงตัวแปรที่มีในโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์กับแนวคิด หลักการทางแคลคูลัสได้ และไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า ตัวแปรใดที่ต้องอินทิเกรท ตัวแปรใดเป็นขอบเขตของการอินทิเกรท นักจิตวิทยาการศึกษาคนสำคัญ Piaget (1952) ได้แนะนำว่า ความขัดแย้งกันระหว่างสิ่งที่สังเกตได้กับความคาดหวังที่น่าจะสังเกตได้เป็นแรงผลักดันให้ผู้เรียนขยายหรือสร้างกรอบแนวคิดใหม่จากกรอบแนวคิดที่มีอยู่เดิม นั่นคือการให้นักศึกษาขยายแนวคิดไปเป็นการอินทิเกรทแทนการหาผลบวก (summation) จะต้องจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนค้นพบว่าแบบแผนความรู้ที่มีไม่สามารถนำไปอธิบายสิ่งที่ซับซ้อนกว่าเดิมได้ ดังเช่น นักศึกษาสามารถคำนวณหางานโดยการหาผลบวกของงานย่อยในแต่ละช่วงการกระจัดที่มีแรงคงที่กระทำ ถ้ามีงานย่อยจำนวนมากเป็นไปไม่ได้ที่จะหางานทั้งหมดของงานย่อยจำนวนมากโดยวิธีการหาผลบวก นั่นคือนักศึกษาจะต้องมองหาทางเลือกอื่นเพื่อคำนวณงานทั้งหมด ซึ่งพบว่าไม่มีการทำให้เกิดความขัดแย้งในทางความคิดดังกล่าวขึ้น โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ให้นักศึกษาทำจะประกอบด้วยงานสุทธิที่เกิดจากงานย่อยไม่เกินสามงานย่อย ซึ่งใช้วิธีการหาผลบวก และงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้กระทำอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอซึ่งใช้วิธีการหาอินทิกรัล ยังขาดการนำเสนอที่ทำให้เกิดการพัฒนาแนวคิดเดิมไปสู่แนวคิดใหม่ที่ซับซ้อนกว่าเดิม

จากการสอนของผู้วิจัยในรายวิชาฟส 105 (ฟิสิกส์ทั่วไป 1) มาหลายปี พบว่ามีปัญหาการใช้แคลคูลัสเพื่อแก้ปัญหาในรายวิชาฟิสิกส์ และตำราวิชาฟิสิกส์หลายเล่มที่ใช้ประกอบการสอนยังขาดการนำเสนอที่ทำให้ผู้เรียนเกิดความขัดแย้งจากความรู้เดิมที่เป็นพื้นฐานไปสู่การค้นหา พัฒนาสู่ความรู้ใหม่ที่ซับซ้อนและใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนตามข้อเสนอของ Piaget ก็มีอยู่จริง ผู้วิจัยจึงได้สนใจพัฒนาบทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเพื่อศึกษาผลการใช้แก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ของนักศึกษา

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัญหาการเรียนรู้เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ของนักศึกษา

2. เพื่อศึกษางานวิจัยทางการศึกษาและทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาในการเรียนรู้เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ของนักศึกษา

3. เพื่อสร้างบทเรียน เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ และ 4. เพื่อศึกษาผลการใช้บทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเรื่อง งานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ต่อการแก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ของนักศึกษา

3. อุปกรณ์และวิธีการ

ผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัย (participants) นี้คือ ผู้วิจัยซึ่งเป็นผู้สอนรายวิชา ฟส 105 (ฟิสิกส์ทั่วไป 1) นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 ของภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 35 คน นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 ของภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 32 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ เครื่องบันทึกเสียง เอกสารตำราที่ใช้ประกอบการสอน และข้อสอบอัตนัย

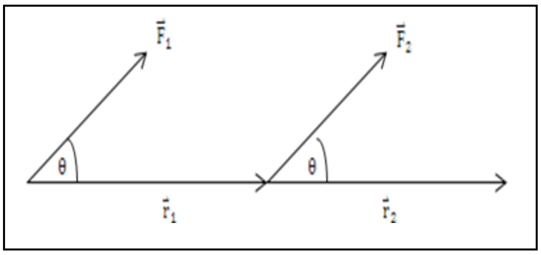
การเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้ 1. เพื่อตอบปัญหาตามจุดประสงค์ข้อที่หนึ่ง หลังจากนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนปีการศึกษา 2554 ซึ่งได้รับการสอนโดยยึดเอกสารตำราประกอบการสอนเป็นหลัก ทำข้อสอบอัตนัยแล้วสัมภาษณ์ความเข้าใจเนื้อหาและกระบวนการแก้ปัญหาโจทย์ข้อสอบ 2. เพื่อตอบปัญหาตามจุดประสงค์ข้อที่สอง ผู้วิจัยศึกษาเอกสารรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง 3. ผู้วิจัยพัฒนาบทเรียนภายใต้ปัญหาการเรียนรู้เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้กับองค์ความรู้ทางการศึกษา 4. เพื่อตอบปัญหาตามจุดประสงค์ข้อที่สี่ให้นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนปีการศึกษา 2555 เรียนรู้โดยใช้บทเรียนที่ได้พัฒนาขึ้น หลังจากนั้นให้ทำข้อสอบอัตนัยแล้วสัมภาษณ์ความเข้าใจเนื้อหาและกระบวนการแก้ปัญหาโจทย์ข้อสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลจากการตอบข้อสอบแบบอัตนัยและข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis)

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการวิจัยมีดังนี้

4.1. ผลจากการสัมภาษณ์นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 35 คน พบว่านักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเรื่องงานคือนักศึกษาเข้าใจว่า เมื่อมีแรงคล $\vec{F}$ กระทำที่จุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ของวัตถุ หลังจากนั้นวัตถุเคลื่อนที่ไปโดยไม่มีแรงกระทำมีการกระจัด $\vec{r}$ มีนักศึกษาจำนวน 10 คน เข้าใจว่าเกิดงานขึ้นเท่ากับ $Fr\cos\theta$ มีนักศึกษาจำนวน 25 คน เข้าใจได้ถูกต้องว่า ถ้าเกิดงาน $Fr\cos\theta$ จะต้องมีแรงคงที่ $\vec{F}$กระทำต่อวัตถุตลอดเวลาหรือกระทำต่อวัตถุทุกตำแหน่งตลอดการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นจนกระทั่งจุดสิ้นสุดของช่วงการกระจัด $\vec{r}$ และเมื่อถามคำถามว่า เมื่อมีแรง $\vec{F}_1$ กระทำที่จุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ตลอดช่วงการกระจัด $\vec{r}_1$ และมีแรง $\vec{F}_2$ กระทำตลอดช่วงการกระจัด $\vec{r}_2$ ดังรูปที่ 1

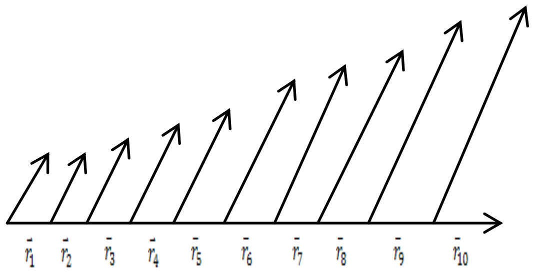


รูปที่ 1 แรง $\vec{F}_1$ และ$\vec{F}_2$ กระทำตลอดช่วง $\vec{r}_1$ และ $\vec{r}_2$ ตามลำดับ

นักศึกษาทั้ง 25 คน ตอบได้ว่า งานมีค่าเท่ากับ $F_1r_1\cos\theta + F_2r_2\cos\theta$ แต่เมื่อถามคำถามว่า ถ้ามีแรง

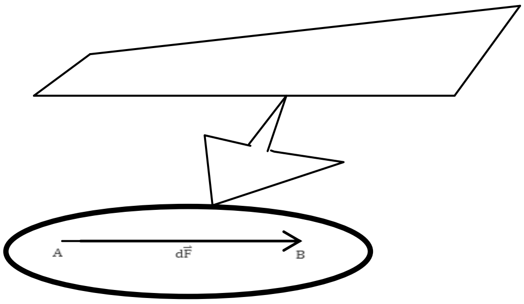
มหาวิทยาลัยรังสิต

ที่มีขนาดเพิ่มขึ้นกระทำในแต่ละช่วงการกระจัด $\vec{r}$ มีรูปแบบดังรูปที่ 2



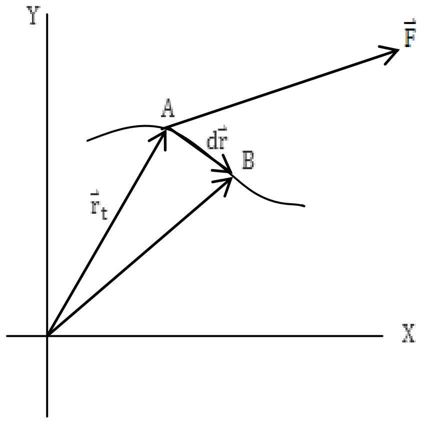
รูปที่ 2 แรง $\vec{F}_1$ ถึง $\vec{F}_{10}$ กระทำตลอดช่วง $\vec{r}_1$ ถึง $\vec{r}_{10}$ ตามลำดับ

สมมติว่ามีการกระจัด $\vec{r}$ ย่อย ๆ จำนวนมากกว่า 10 มาก ๆ เช่น 1,000,000 นักศึกษาคิดว่าจะหางานได้อย่างไร มีนักศึกษาจำนวน 10 คน บอกว่าหางานทั้งหมดได้จากการหาผลบวกของงานย่อย ๆ 1,000,000 ค่า มีนักศึกษาจำนวน 15 คน ตอบว่าอาจจะต้องหางานโดยการอินทิเกรท เพราะว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะหาผลบวกของจำนวนย่อย ๆ ที่มีจำนวนมากขนาดนั้น จึงต้องเปลี่ยนจากการหาผลบวกเป็นการอินทิเกรท แต่เมื่อให้ตอบคำถามที่ว่า ถ้ามีแรงไม่คงที่กระทำต่อวัตถุคล้ายรูปที่ 2 แต่แรงกระทำต่อเนื่องทุกจุดหรือตลอดเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดมีลักษณะดังรูปที่ 3 ถ้าให้ที่แต่ละจุดมีการกระจัด $\vec{r}$ ที่มีขนาดน้อยยิ่งคือ $d\vec{r}$ และถ้าเราขยาย $d\vec{r}$ ที่จุดใดจุดหนึ่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงรูปขยายการกระจัด $d\vec{r}$ ที่จุดหนึ่ง

เมื่อมีแรง $\vec{F}$ กระทำให้วัตถุเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น A ไปยังจุดสิ้นสุด B ตามการกระจัด $d\vec{r}$ แรงกระทำในช่วงดังกล่าวที่จะนำไปคิดคำนวณค่าขนาดงานน้อยยิ่ง $dw = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ จงอธิบายว่าแรง $\vec{F}$ ดังกล่าวว่าเป็นเช่นไร มีนักศึกษาจำนวน 8 คน ไม่มั่นใจหรือตอบว่าตอบไม่ได้ มีนักศึกษาจำนวน 5 คน ตอบว่า แรง $\vec{F}$ ต้องเป็นแรงเดียวกับแรงที่กระทำที่จุดกึ่งกลางของ $d\vec{r}$ หรือกึ่งกลางระหว่างจุด A และจุด B ซึ่งถือว่าเป็นแรง เฉลี่ย เนื่องจากแรงที่กระทำตลอดช่วง A และ B ไม่เท่ากัน จึงใช้แรงที่เป็นแรงเฉลี่ย มีนักศึกษา จำนวน 2 คน ตอบว่าแรง $\vec{F}$ ดังกล่าวเป็นแรงเดียวกันกับแรงที่กระทำที่จุด A และให้ถือว่าแรงนี้กระทำต่อเนื่องทุกตำแหน่งตลอดเวลาช่วง A ถึง B ของ $d\vec{r}$ ถึงแม้ว่าแรงที่จุด A และจุด B หรือจุดอื่น ๆ ไม่เท่ากันก็ตาม แต่ถือว่า แรง $\vec{F}$ ที่จุด A เป็นตัวแทนของแรงที่กระทำตลอดช่วง $d\vec{r}$ ได้เนื่องจาก $d\vec{r}$ มีขนาดสั้นมาก ๆ และเมื่อถามว่าทำไมจึงเป็นแรง $\vec{F}$ จุด A นักศึกษาทั้ง 2 คนให้เหตุผลตรงกันว่าจากนิยามของงาน $dw = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ และเมื่อพิจารณา $\vec{r}$ และ $d\vec{r}$ ดังรูปที่ 4

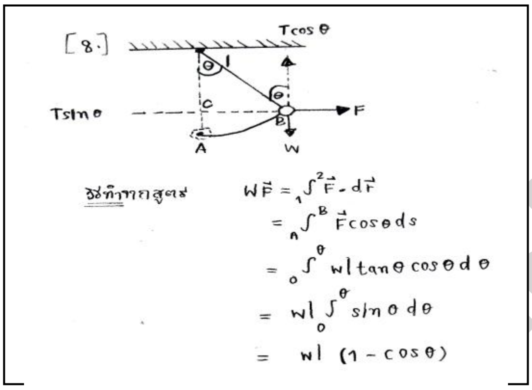


รูปที่ 4 แนววิถีการเคลื่อนที่ของวัตถุและเวกเตอร์บอกตำแหน่ง

จะเห็นว่า แรง $\vec{F}$ เป็นแรง $\vec{F}_t$ หรือเป็นแรง $\vec{F}$ ที่กระทำที่จุด A ไม่ใช่แรง $\vec{F}$ ที่กระทำที่จุด B หรือแรง

มหาวิทยาลัยรังสิต

$\vec{F}$ ที่กระทำที่จุดระหว่างจุด A และจุด B และเมื่อให้นักศึกษาแก้ปัญหาโจทย์ (แรงในแนวระดับ F กระทำต่อลูกตุ้มขนาดเล็กมีมวล m ซึ่งแขวนด้วยเชือกเบายาว l แรง F นี้ กระทำต่อลูกตุ้มให้เคลื่อนที่อย่างช้ามาก ขนาดของแรงแปรค่าทำให้ลูกตุ้มอยู่ในสมดุลตลอดเวลา จงคำนวณหางาน เนื่องจากแรงนี้ที่กระทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่จากตำแหน่งต่ำสุดไปยังตำแหน่งเชือกทำมุม θ กับแนวดิ่ง) พบว่าจากจำนวนนักศึกษา 35 คน แสดงวิธีทำได้ถูกต้องจำนวน 7 คน จำนวน 28 คนไม่ได้แสดงการหาค่า $d\vec{r}$ (ดังรูปที่ 5) และผลจากการสัมภาษณ์นักศึกษาไม่สามารถอธิบายวิธีหาค่า $d\vec{r}$ ได้



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการแก้ปัญหาโจทย์ด้วยวิธีท่องจำ

4.2. ทิศทางการเรียนรู้เรื่องงาน ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยทางการศึกษา ทฤษฎีทางการศึกษา และเอกสารตำราฟิสิกส์ที่ใช้ประกอบการสอนที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเรียนรู้เรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ พบว่า 1) นักศึกษามีปัญหาในการเชื่อมโยงตัวแปรทางฟิสิกส์กับตัวแปรทางแคลคูลัส และไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าตัวแปรใดที่ต้องอินทิเกรท ตัวแปรใดเป็นขอบเขตของการอินทิเกรท ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tuminaro (2004); Meredith and Marrongelle (2008); Hadfield and Wieman (2010) และ Nguyen and Rebello (2011) 2) Piaget (1952) ได้แนะนำว่า การสอนที่ทำให้ผู้เรียนพัฒนาแบบแผนความรู้ที่ใช้อยู่เดิมไปสู่แบบแผนความรู้ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อไปอธิบายสิ่งใหม่ ต้องทำให้ผู้เรียนเห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของแบบแผนความรู้เดิม ซึ่งสอดคล้องกับสภาพการเรียนแบบเดิม ในปีการศึกษา 2554 ผู้วิจัยสอนโดยยึดเอกสารตำราประกอบการสอนเป็นหลัก ซึ่งการนำเสนอเนื้อหาขาดการเชื่อมโยง เช่น โจทย์ตัวอย่าง และแบบฝึกหัด ให้คำนวณหางานในช่วง $\vec{F}_1$ กับ $\vec{r}_1$ หรืออย่างมากก็ไม่เกิน $\vec{F}_1$ กับ $\vec{r}_1$ และ $\vec{F}_2$ กับ $\vec{r}_2$ และ $\vec{F}_3$ กับ $\vec{r}_3$ แทนที่จะให้ผู้เรียนหาค่างานย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ผู้เรียนตระหนักว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้การหาผลบวก และเกิดการเปลี่ยนแปลงวิธีคิดโดยมองหาวิธีอินทิเกรท และ 3) Ausubel (1968) แนะนำว่า "ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้คือสิ่งที่ผู้เรียนรู้อยู่แล้ว ค้นหาว่าเขารู้อะไรบ้าง แล้วสอนพวกเขาให้สอดคล้องกับสิ่งนั้น" สภาพการเรียนการสอนเดิมในปีการศึกษา 2554 ได้ยึดตามเอกสารตำราประกอบการสอนเป็นหลัก เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุจะเกิดงานขึ้นก็ต่อเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่ง แต่ขาดการนำเสนอความรู้เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งได้อธิบายว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แสดงว่าวัตถุอยู่ที่ใหม่เวลาใหม่หรือบอกด้วย เวกเตอร์บอกตำแหน่ง (position vector) $\vec{r}$ ที่ขึ้นอยู่กับเวลา $(\vec{r}_t)$ หรือขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ($\vec{r}_\theta$ หรือ $\vec{r}_x$) จากนิยามของงาน $dw = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ จะกล่าวถึงเฉพาะ $d\vec{r}$ เท่านั้น การแก้ปัญหาโจทย์ตัวอย่างก็เช่นเดียวกัน จะมองหา $d\vec{r}$ และกล่าวถึง $d\vec{r}$ เท่านั้น ไม่ได้กล่าวถึง $\vec{r}$ และมองหา $\vec{r}$ ซึ่งเป็นเวกเตอร์บอกตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งจะส่งผลถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาที่ค้นพบจาก ปีการศึกษา 2554

4.3. บทเรียนเรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ จากการศึกษาปัญหาการเรียนรู้แบบเดิมที่ยึดเอกสารตำราประกอบการสอนเป็นหลัก ในปีการศึกษา 2554 และได้ศึกษางานวิจัยและแนวคิดของนักการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้จัดทำบทเรียน เรื่อง งานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ มี

ลักษณะดังนี้ 1) ทบทวนความรู้เดิมที่เกี่ยวข้องคือ ผลคูณเชิงสเกลาร์ จุดอ้างอิงในกรอบอ้างอิง เวกเตอร์บอกตำแหน่ง และการกระจัด $\Delta\vec{r} = \vec{r}(t) - \vec{r}(t + \Delta t)$ หรือ

$\Delta\vec{r} = \vec{r}(x) - \vec{r}(x + \Delta x)$

หรือ $\Delta\vec{r} = \vec{r}(\theta) - \vec{r}(\theta + \Delta\theta)$ เน้นย้ำให้เห็นว่าเวกเตอร์บอกตำแหน่งของวัตถุที่เป็นฟังก์ชันของสเกลาร์ เวลา t หรือตำแหน่งที่บ่งบอกด้วยค่าของ x เทียบกับจุดอ้างอิง บนแกน X หรือค่าของมุม θ ที่กระทำกับแกนอ้างอิง ตามลำดับ 2) นำเสนอนิยามงาน คือ $W = \vec{F} \cdot \vec{r}$ เมื่อ $\vec{F}$ เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ตลอดเวลาหรือทุกตำแหน่งที่วัตถุเคลื่อนที่จาก A ถึง B 3) นำเสนอแรงที่กระทำไม่คงที่ในช่วง $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \ldots, \vec{r}_n$ ที่มีค่า n จำนวนมาก พร้อมทั้งโจทย์ตัวอย่างเพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนารูปแบบแนวคิดการหางานทั้งหมดจากการหาผลบวกไปเป็นการหาค่าอินทิเกรท และ 4) แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์เรื่องงานกับตัวแปรในแคลคูลัสให้ชัดเจน คือจากนิยามของงาน $dw = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ โดยพิจารณา $d\vec{r}$ จากความรู้เรื่องแคลคูลัสของเวกเตอร์ที่ได้จากการศึกษาในบทเรียนที่ผ่านมาแล้ว และกล่าวถึงเนื้อหาทางจลนศาสตร์เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่คำนึงถึงสาเหตุของการเคลื่อนที่ ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ไปมีเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}(t)$ เป็นฟังก์ชันของเวลาเมื่อเวลาผ่านไป Δt วัตถุเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่ง $\vec{r}\,(t + \Delta t)$ มีการกระจัด $\Delta\vec{r}$ โดยที่

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t}$$

ซึ่งเขียนในรูปดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) ได้เป็น $d\vec{r} = \frac{d\vec{r}}{dt}dt$ นั่นคือเมื่อเราทราบ $\vec{r}(t)$ คือเวกเตอร์บอกตำแหน่งของวัตถุ เราสามารถหาค่า $d\vec{r}$ ได้จากการหาอนุพันธ์ของ $\vec{r}(t)$ เทียบกับ t หรือ $\frac{d\vec{r}}{dt}$ ทั้งแรง $\vec{F}$ และการกระจัด $d\vec{r}$ เป็นฟังก์ชันของเวลา ผลคูณสเกลาร์ $\vec{F} \cdot d\vec{r}$ จะได้เป็นฟังก์ชันสเกลาร์คูณอยู่กับ dt

$$dw = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

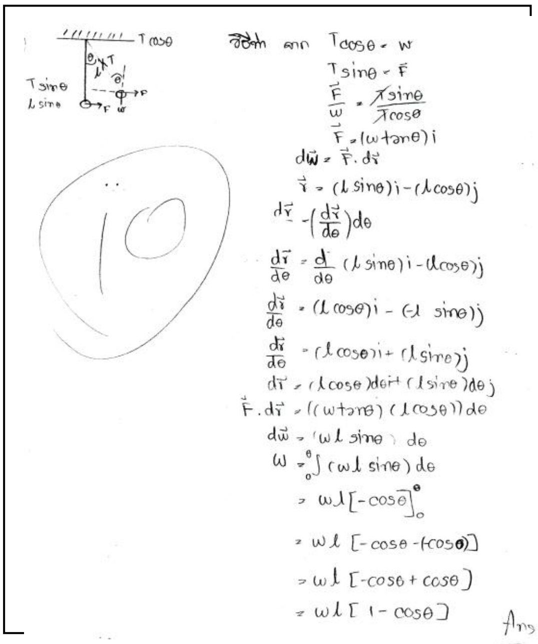
$$dw = \left(\vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt}\right) dt$$

$\vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt}$ เป็นฟังก์ชันสเกลาร์และเป็นฟังก์ชันของเวลา

4.4. ผลการใช้บทเรียนที่พัฒนาขึ้นต่อการแก้ปัญหาโจทย์ข้อสอบอัตนัย พบว่า นักศึกษาจำนวน 29 คนจากจำนวน 32 คนทำข้อสอบอัตนัยได้ทั้งสองข้อและนักศึกษาจำนวน 3 คน ทำได้ข้อเดียว และพบว่านักศึกษาเลือกวิธีการแก้ปัญหาโจทย์แทนที่จะใช้วิธีการกำหนด $d\vec{r} = dx\hat{\imath} + dy\hat{\jmath} + dz\hat{k}$ แล้วใช้นิยามงาน $w = \int \vec{F} \cdot (dx\hat{\imath} + dy\hat{\jmath} + dz\hat{k})$ เหมือนวิธีในเอกสารตำรามาเป็นการมองหาจุดอ้างอิงในกรอบอ้างอิงที่เหมาะสม เพื่อกำหนดเวกเตอร์บอกตำแหน่งที่อาจเป็นฟังก์ชันของเวลา t หรือตำแหน่ง *x* หรือ θ หลังจากนั้นหาการกระจัดน้อยยิ่ง $d\vec{r}$ และมองหาแรง $\vec{F}$ ที่เป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดียวกับฟังก์ชันของ $\vec{r}$ (นักศึกษาแสดงวิธีทำดังรูปที่ 6) และต้องตระหนักว่าแรง $\vec{F}$ กระทำขณะ ที่วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งของเวลาใด ๆ ที่กำหนดโดยเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ หลังจากนั้นนักศึกษา หาค่า $\vec{F} \cdot d\vec{r}$ และสุดท้ายจึงหางาน w ที่วัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่บ่งบอกด้วยตัวแปรเริ่มต้น ถึงตำแหน่งที่บ่งบอกด้วยตัวแปรสิ้นสุด และผลการสัมภาษณ์ พบว่านักศึกษาทำข้อสอบโดยไม่ใช้วิธีในเอกสารตำรา เนื่องจากการที่กำหนด $d\vec{r}$ โดยไม่กำหนด $\vec{r}$ ทำให้นึกภาพไม่ออก มองไม่เห็นภาพของแรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อวัตถุขณะอยู่ที่ตำแหน่งหรือเวลาใด ๆ ทำให้วัตถุเปลี่ยนจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง เกิดการกระจัด $d\vec{r}$ และภาพของแรงกระทำ $\vec{F}$ ที่กระทำต่อ

มหาวิทยาลัยรังสิต

วัตถุขณะอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ ที่บ่งบอกด้วยเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ การใช้วิธีแบบใหม่เป็นการแก้ปัญหาด้วยความเข้าใจ ไม่ใช่ต้องท่องจำบางส่วนเข้าใจบางส่วนเพื่อแก้ปัญหาโดยวิธีตามเอกสารตำรา



รูปที่ 6 แสดงการแก้ปัญหาโจทย์ด้วยวิธีในบทเรียนที่พัฒนาขึ้น

ข้อวิจารณ์ ผลจากการใช้บทเรียนที่พัฒนาขึ้นต่อกระบวนการแก้ปัญหาโจทย์ข้อสอบอัตนัยแล้วสัมภาษณ์ พบว่า นักศึกษาเกือบทั้งหมดทำข้อสอบอัตนัยได้ทั้งสองข้อ และผลจากการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาเลือกวิธีแก้ปัญหาโจทย์ตามบทเรียนที่ได้พัฒนาขึ้นเพราะเป็นวิธีที่เข้าใจความหมาย ไม่ต้องท่องจำเพื่อสอบ ผู้วิจัยคิดว่าปัจจัยที่ส่งผลให้บทเรียนวิชาฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ประสบผลสำเร็จได้แก่ การสร้างบทเรียนที่คำนึงถึงความรู้เดิม ความคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน มาใช้ในการพัฒนาบทเรียน การจัดทำบทเรียนให้เอื้อต่อการพัฒนาแบบแผนความรู้ทั้งแคลคูลัสและฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนและใช้แก้ปัญหาได้แล้วนำไปสู่การขยายแนวคิด แบบแผนความรู้ที่ซับซ้อนมากขึ้น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางฟิสิกส์ กับตัวแปรในแคลคูลัสอย่างชัดเจน ดังเช่น การหาการกระจัด $\vec{r}$ ก่อนการหา $d\vec{r}$ เน้นให้เห็นว่า หัวของเวกเตอร์บอกถึงตำแหน่งของวัตถุที่แสดงโดยเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ อาจขึ้นอยู่กับเวลา t หรือตำแหน่ง x หรือ θ ก็ได้แล้วแต่โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนดและแรงที่กระทำต่อวัตถุ $\vec{F}$ นั้นกระทำต่อวัตถุอยู่ที่ปลายของเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ นั้นคือ $\vec{F}(t)$ กระทำขณะที่วัตถุอยู่ที่ $\vec{r}(t)$ หรือ $\vec{F}(x)$ กระทำกับวัตถุที่ $\vec{r}(x)$ หรือ $\vec{F}(\theta)$ กระทำต่อวัตถุอยู่ที่ $\vec{r}(\theta)$ เน้นย้ำว่า $\vec{F}$ และ $\vec{r}$ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดียวกัน ทำให้นักศึกษาไม่สับสนระหว่าง $\vec{F}$ และ $\vec{r}$ ว่าเป็นฟังก์ชันของตัวแปรใด หรือขอบเขตของการอินทิเกรต $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$ มีขีดจำกัดบนและล่างขึ้นอยู่กับตัวแปรใดเป็นต้น

5. การอภิปรายผล

ปัจจัยที่ส่งผลสำเร็จของผู้เรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำความรู้ความหมายจากเนื้อหาที่เรียนไปใช้แก้ปัญหาได้นั้นมีหลายประการ การค้นหาปัญหาในกระบวนการเรียนรู้ที่อยู่ในสถานการณ์ที่ประกอบด้วยผู้เรียน สื่อเอกสารตำราเรียน และผู้สอน เป็นวิธีการหนึ่งในการนำไปสู่การพัฒนาบทเรียน การพิจารณาแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียน โดยเฉพาะแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน รวมเข้าไว้ในการจัดกระบวนการเรียนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ Ausubel กล่าวว่า “ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้คือสิ่งที่ผู้เรียนรู้อยู่แล้ว ค้นหาว่าเขารู้อะไรบ้าง แล้วสอนพวกเขาให้สอดคล้องกับสิ่งนั้น” ซึ่งทำให้ผู้เรียนนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีความหมาย บทเรียนต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในวิชาแคลคูลัสกับสถานการณ์ที่ปรากฏอยู่ในฟิสิกส์ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ในธรรมชาติให้ชัดเจน ที่เป็นเหตุเป็นผล นำไปใช้แก้ปัญหาได้โดยอาศัย

มหาวิทยาลัยรังสิต

แนวคิด หลักการทางแคลคูลัสได้โดยไม่ใช่ใช้วิธีท่องจำ นอกจากนี้ Piaget ยังได้เสนอแนะให้จัดเนื้อหาบทเรียนที่เชื่อมโยงแนวคิดเดิมที่เรียบง่ายไปสู่แนวคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งนำไปใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นบทเรียนทางฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานจะต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เกิดการขยายแบบแผนแนวคิดเดิมไปสู่แบบแผนแนวคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น ในงานวิจัยนี้นักศึกษาเปลี่ยนจากการมองหา $d\vec{r} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$ ซึ่งมองไม่เห็นภาพ $d\vec{r}$ ที่ชัดเจน มาเป็นการมองหาจุดอ้างอิงในกรอบอ้างอิงที่เหมาะสม กำหนดเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ แล้วหา $d\vec{r} = \frac{d\vec{r}}{dt}dt$ ซึ่งทำให้มองเห็นและเข้าใจถึงตำแหน่งที่วัตถุอยู่ที่เวลา t ใด ๆ มองเห็นการกระจัด $d\vec{r}$ และมองเห็นแรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อวัตถุขณะเวลา t ใด ๆ ได้อย่างชัดเจน

6.บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบทเรียนฟิสิกส์ที่ใช้แคลคูลัสเป็นพื้นฐานเรื่องงานเนื่องจากแรงแปรค่าได้ ซึ่งผู้วิจัยต้องการทราบปัญหาของการเรียนรวมทั้งต้องการศึกษาองค์ความรู้ที่เกิดจากงานวิจัยทางการศึกษา แนวคิดของนักการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาบทเรียน และต้องการศึกษาผลการใช้บทเรียนที่ได้พัฒนาขึ้นต่อการแก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ของนักศึกษา ผลการศึกษาพบว่าผู้เรียนมีปัญหาในการเรียนเนื่องจากขาดความรู้พื้นฐานเดิมที่สัมพันธ์กับเรื่องที่จะเรียน รวมทั้งมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ผู้เรียนมีปัญหาที่สำคัญคือ ไม่สามารถเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรที่มีในปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์กับตัวแปรที่มีในทางแคลคูลัส ผู้เรียนไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์โดยใช้แคลคูลัสได้ การสอนที่ยึดเอกสารตำราประกอบการสอนเป็นหลักยังขาดความเชื่อมโยงที่เอื้อต่อการขยายแบบแผนแนวคิดที่เรียบง่ายไปสู่แบบแผนแนวคิดที่ซับซ้อน เพื่อให้มีกระบวนการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงใช้แนวคิดความรู้จากการศึกษางานวิจัยทางการศึกษาและแนวคิด ทฤษฎีทางการศึกษาของนักการศึกษา เพื่อยึดเป็นแนวทางในการพัฒนาบทเรียนและศึกษาผลที่ผู้เรียนใช้แก้ปัญหาข้อสอบอัตนัย พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดของชั้นเรียนเข้าใจเนื้อหาและนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีความหมายและมีเหตุมีผลไม่ต้องท่องจำเพื่อทำข้อสอบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวทั้งสองรุ่นที่ได้ร่วมงานวิจัยและเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำต่อการเขียนบทความนี้

8. เอกสารอ้างอิง

Ausubel, D.P. (1968). Educational Psychology : A Cognitive View. New York: Holt Rinehart and Winston, Inc.

Hadfield, L.C. and Wieman, C.E. (2010). Student interpretations of equations related to the first law of thermodynamics. J. Chem. Educ. 87(3): 750-755.

Meredith, D.C. and Marrongelle, K.A. (2008). How students use mathematical resources in an electrostatics context. Am. J. Phys. 76: 570-578.

Nguyen, D. and Rebello, N.S. (2011). Students' Difficulties with Integration in Electricity. Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 7: 010113.

Piaget, J. (1952). The Origins of Intelligence in Children. New York: International Universities Press, Inc.

มหาวิทยาลัยรังสิต

Tuminaro, J. (2004). A Cognitive Framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Maryland, College Park.

มหาวิทยาลัยรังสิต