ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249560

การพัฒนาการฐายิตสำหรับการสอนการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง

สรายุทธ พรหมราช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

b00253977

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249560

การพัฒนาการสาธิตสำหรับการสอนการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง

สรายุทธ พรหมราช

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

การพัฒนาการสาธิตสำหรับการสอนการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง

สรายุทธ พรหมราช

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ดร.กรีฑา แก้วคง

.....กรรมการ
ดร.เดชา ศุภพิทยาภรณ์

.....กรรมการ
ดร.ดุษฎี สุวรรณขจร

.....กรรมการ
ดร. พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
ดร.พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์

14 ตุลาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กรีฑา แก้วคง,อาจารย์ ดร.เดชา ศุภพิทยาภรณ์ และอาจารย์ ดร. ดุษฎี สุวรรณขจร ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้ข้อแนะนำ ตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อภิชาต ลิมปิชัยพานิช ที่ได้กรุณาใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลผลการเรียนรู้ของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ในกระบวนวิชา 207105 และขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณสมาชิกในสาขาการสอนฟิสิกส์ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยสำหรับผู้สอนวิชาฟิสิกส์ ตลอดจนผู้ที่สนใจในด้านการศึกษา

สรายุทธ พรหมราช

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการสาธิตสำหรับการสอนการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง
ผู้เขียน	นายสรายุทธ พรหมราช
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนฟิสิกส์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์

บทคัดย่อ

249560

งานวิจัยนี้มีสี่วัตถุประสงค์หลัก วัตถุประสงค์ที่หนึ่งเพื่อศึกษาการกลิ้งทั้งในทางทฤษฎีและการทดลอง โดยได้เริ่มศึกษาการกลิ้งของทรงกระบอกตันและกลวงลงจากพื้นเอียงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวีดีโอความเร็วสูง คณะผู้วิจัยพบว่า ความเร่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่มีรูปร่างเหมือนกันจะมีค่าเท่ากันและไม่ขึ้นอยู่กับมวล ทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าจึงกลิ้งได้เร็วกว่าทรงกระบอกกลวง นอกจากนี้ทรงกระบอกทั้งสองกลิ้งโดยไม่ไถลเมื่อมุมของพื้นเอียงน้อยกว่ามุมวิกฤต ค่าจากทฤษฎีของมุมวิกฤตสำหรับทรงกระบอกทั้งสองใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง จากการทดลองพบว่าพลังงานกลรวมของทรงกระบอกมีค่าคงที่ในกรณีกลิ้งโดยไม่ไถล ผลการทดลองถูกนำไปออกแบบบทสัมภาษณ์และภาพถ่ายวีดีโอนำมาใช้เป็นสถานการณ์ประกอบการสัมภาษณ์

ในวัตถุประสงค์ที่สองเพื่อสำรวจความเข้าใจหลังเรียนของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง การเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ประกอบวีดีโอ—การดึงแผ่นซีดี การหมุนของใบพัด และการกลิ้งลงพื้นเอียงของทรงกระบอกบทสัมภาษณ์ที่ได้ไปทดลองสัมภาษณ์กลุ่มนำร่องประกอบด้วยนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 จำนวน 4 คน บทสัมภาษณ์ที่ปรับแล้วนำไปใช้สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 1จำนวน 21 คน จากการวิเคราะห์บทสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่อง โมเมนต์ความเฉื่อย บทบาทของแรงเสียดทานที่มีต่อการกลิ้ง งานในการกลิ้ง รวมถึงความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของทรงกระบอกแบบต่าง ๆ เป็นต้น

249560

ในวัตถุประสงค์ที่สามเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ ไปออกชุดอุปกรณ์สาธิตการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง วีดีโอการสาธิตและใบกิจกรรม เพื่อประกอบการบรรยายเชิงมีปฏิสัมพันธ์ ในวัตถุประสงค์ที่สี่ศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับการกลิ้งของนักศึกษาหลังจากสอนด้วยการสาธิตในรูปแบบวีดีโอ โดยนำสื่อสาธิตในรูปแบบวีดีโอไปใช้สอนใน 2 ห้องของกระบวนวิชา 207105 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 โดยให้ห้องหนึ่งที่มีนักศึกษา 46 คน กำหนดเป็นกลุ่มควบคุมและผู้สอนจะบรรยายเพียงอย่างเดียวในหัวข้อการกลิ้ง ส่วนอีกห้องที่มีนักศึกษา 64 คน กำหนดให้เป็นกลุ่มทดลองและสอนโดยผู้สอนคนเดิมที่ใช้เทคนิคการสาธิตประกอบการบรรยายแบบมีปฏิสัมพันธ์ ได้มีการเปรียบเทียบความเข้าใจก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มโดยใช้แบบประเมินความเข้าใจการเคลื่อนที่แบบกลิ้งที่ประกอบไปด้วยคำถามแบบปรนัยจำนวน 6 ข้อ พบว่ากลุ่มทดลองมีค่า <c> เท่ากับ 0.89 และกลุ่มควบคุมมีค่า <c> เท่ากับ 0.26 ซึ่งจากค่า Normalized change แสดงว่าการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายมีประสิทธิภาพมากกว่าการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว

Thesis Title	Development of Demonstrations for Teaching Rolling Motion
Author	Mr. Sarayuth Phommarach
Degree	Master of Science (Teaching Physics)
Thesis Advisor	Dr. Pornrat Wattanakasiwich

ABSTRACT

249560

This study has four main objectives. The first objective is to study rolling motion in theory and in experimentation. Initially, rolling without slipping of solid and hollow cylinders was studied in the real situation by using technique of high-speed video analysis. We found that center-of-mass acceleration of objects with similar shapes are the same and do not depend on mass. A solid cylinder has smaller moment of inertia, so it rolls faster than a hollow cylinder. Moreover, both cylinders rolled without slipping when an inclined angle was smaller than a critical angle. The theoretical critical angles for both cylinders were close to experimental values. From the experiment, total mechanical energy was conserved in case of rolling without slipping. Experimental results were used to construct an interview protocol; and the videos were used as situations for conducting an interview.

The second objective was to investigate post-instruction understanding of engineering and science freshmen about rolling motion. Data were collected by interviewing with videos—pulling a disk, rotation of propellers and cylinders rolling down an inclined plane. The interview protocol

249560

was used with a pilot group consisted of 4 science freshmen. The improved interview protocol was used with a sample group consisted of 21 engineering freshmen. From analyzing the interviews, we found that most students did not understand roles of frictions in rolling, rotational work, center-of-mass acceleration of different cylinders.

For the third objective, the interview results were used to design a demonstration set for rolling motion, demonstration videos and activity worksheets, for an interactive lecture. For the forth objective, we studied student understanding of rolling motion after teaching with the demonstration in video format. The rolling motion videos were used to teach two sections of the 207105 course in the first academic year of 2011. One section of 46 students was assigned to be a control group and an instructor only lectured in the topic of rolling motion. Another section of 64 students was assigned to be a treatment group and the same instructor used interactive lecture demonstrations to teach the topic. Student understanding before and after the instruction in both groups were compared by using a rolling motion conceptual survey, consisting of 6 multiple-choice questions. As a result, the treatment group has a normalized change $\langle c \rangle = 0.89$ and the control group has a normalized change $\langle c \rangle = 0.26$. This indicated that the treatment group improved in their understanding of rolling motion more than the control group.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ส่วนต่างๆ ของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยการกลิ้งเชิงทฤษฎี	4
2.2 งานวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา	12
2.3 งานวิจัยวีดีโอความเร็วสูง	15
2.4 เทคนิคการสาธิตประกอบการบรรยายแบบมีปฏิสัมพันธ์	18
2.5 วิธีการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยใช้คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน	19
บทที่ 3 การทดลองการกลิ้งของทรงกระบอก	20
3.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบกลิ้งโดยไม่ไถล	20
3.2 วัตถุประสงค์การทดลอง	26
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
3.4 แหล่งของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง	27
3.5 วิธีทดลอง	28

3.6 ผลการทดลอง 31
3.7 สรุปผลการทดลอง 35

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล 36
4.1 ความเข้าใจการกลิ้งของทรงกระบอก 36
4.2 การใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายแบบมีปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบวีดีโอ 57
4.3 แบบประเมินและผลการประเมินความเข้าใจการกลิ้งโดยไม่ไถล 60
4.4 สรุปผลการใช้สื่อสาธิต ILD 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 75
5.1 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 75
5.2 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 75
5.3 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 3 76
5.4 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 4 77
5.5 สรุปผลการวิจัย 77
5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สอน 78
5.7 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 79

บรรณานุกรม 80
ภาคผนวก 82
ภาคผนวก ก เอกสารประกอบการสัมภาษณ์ 83
ภาคผนวก ข แบบประเมินก่อนและหลังเรียน 85
ภาคผนวก ค แบบทำนายผล 88
ภาคผนวก ง โปสเตอร์นำเสนอผลงานวิจัย 91
ภาคผนวก จ หนังสือตอบรับการตีพิมพ์ 94
ภาคผนวก ฉ บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ 96
ประวัติผู้เขียน 109

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงระยะทางเชิงเส้น s ความเร็วปลาย v พลังงานตอนต้น(E_i) ซึ่งประกอบด้วยพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานตอนปลาย(E_f) ซึ่งประกอบด้วยพลังงานจลน์เนื่องจากการเลื่อนที่และการหมุน	10
2.2 แสดงข้อมูลความเร็วปลายของทรงกลมที่วัดจาก photocell ที่ต่อเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และความเร็วที่ได้จากทฤษฎี	11
4.1 แสดงผลการเรียนรู้ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง	37
4.2 แสดงบทสรุปของคำตอบจากการสัมภาษณ์ทั้ง 9 ข้อ	38
4.3 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 1	40
4.4 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 2	41
4.5 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 3	43
4.6 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 4	44
4.7 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 5	47
4.8 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 6	49
4.9 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 7	52
4.10 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 8	53
4.11 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 9	56
4.12 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 1	61
4.13 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 2	63
4.14 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 3	65
4.15 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 4	67
4.16 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 5	69
4.17 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่างของแบบประเมินข้อที่ 6	71

สารบาญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 การกลิ้งของทรงกระบอกบนพื้นราบ[1]	5
2.2 แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุขณะกลิ้งโดยไม่ไถลลงมาตามพื้นเอียง[2]	6
2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรื่องการกลิ้งของทรงกลมเหล็ก[3]	8
2.4 คำถามเกี่ยวกับการกลิ้ง[4]	13
2.5 กราฟแสดงผลการตอบคำถามเกี่ยวกับแรงเสียดทานต่อการกลิ้ง (ในภาพ 2.4)	13
2.6 คำถามเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อย[4]	14
2.7 กราฟแสดงผลการตอบคำถามเกี่ยวกับแรงเสียดทานต่อการกลิ้ง (ในภาพ 2.6)	14
2.8 แสดงการปล่อยลูกขนไก่ที่ความสูง 4.5 เมตรจากพื้น[5]	16
2.9 แสดงการกลิ้งของทรงกลมตันลงจากพื้นเอียง [6]	17
2.10 แสดงกราฟพลังงานของทรงกลม(ลูกบอลยาง)ขณะกลิ้งลงจากพื้นเอียง[6]	18
2.11 แสดงการกลิ้งของทรงกระบอกตันมวลต่างกันลงจากพื้นเอียง[7]	18
3.1 แสดงการกลิ้งของทรงกระบอกตันครบ 1 รอบ	20
3.2 แสดงแผนภาพแรงที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งโดยไม่ไถลลงมาตามพื้นเอียง	21
3.3 แสดงแรงที่กระทำต่อทรงกระบอกกลวงขณะกลิ้งลงมาตามพื้นเอียง	23
3.4 แสดงอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแรงเสียดสถิตสูงสุด	28
3.6 แสดงการเตรียมอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองกลิ้งของทรงกระบอกตัน	29
3.6 การใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์การกลิ้งของทรงกระบอกตัน	30
3.7 การใช้ “data tool”ในโปรแกรม Tracker เพื่อหาค่าความเร่งของทรงกระบอกตัน	30
3.8 เปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองกับค่าตามทฤษฎีทรงกระบอกตันมวล 294.50 กรัม และ163.50 กรัมพบว่ามีมุมวิกฤตเท่ากัน คือ 21.4 องศา	32
3.9 เปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองกับค่าตามทฤษฎีของทรงกระบอกตันและกลวงมวล 294.5 กรัม เท่ากัน ที่มุมวิกฤตในทางทฤษฎีคือ 21.4 และ15.6 องศาตามลำดับ	32
3.10 การกลิ้งของทรงกระบอกกลวง(มวล 294.13 กรัม, รัศมีวงในและวงนอกเท่ากับ 3.5 และ 4.0 เซนติเมตร ตามลำดับ) ลงจากพื้นเอียง (a) มุม 12 องศา (การกลิ้งแบบไม่ไถล) และ (b) มุม 40 องศา (การกลิ้งแบบเกิดการไถล)	33

3.11 เปรียบเทียบพลังงานของทรงกระบอกตันมวล 294.50 กรัม รัศมี 4.00 เซนติเมตร ที่มุมของพื้นเอียงเท่ากับ 12 องศา 34
3.12 เปรียบเทียบพลังงานของทรงกระบอกตันมวล 294.50 กรัม รัศมี 4.00 เซนติเมตร ที่มุมของพื้นเอียงเท่ากับ 42 องศา 34
4.1 แผนภาพแสดงการเก็บข้อมูลความเข้าใจการกลิ้ง 38
4.2 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 1 39
4.3 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 2 40
4.4 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 3 42
4.5 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 4 44
4.6 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 5 46
4.7 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 6 48
4.8 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 7 51
4.9 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 8 53
4.10 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 9 55
4.11 แสดงลักษณะการติดมวลด้านในและนอกบนใบพัดของมอเตอร์กระแสตรง 58
4.12 แสดงลักษณะการกลิ้งของทรงกระบอกตันและกลวงลงพื้นเอียง 58
4.13 แสดงการสอนแบบที่ 1 59
4.14 แสดงการสอนแบบที่ 2 59
4.15 แสดงภาพนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์กำลังทำแบบทดสอบก่อนเรียน(Pre-test) 60
4.16 การสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยาย 60
4.17 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 1 62
4.18 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 1 62
4.19 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 2 64
4.20 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 2 64
4.21 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 3 66
4.22 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 3 66
4.23 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 4 68
4.24 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 4 68
4.25 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 5 70

4.26 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 5 70
4.27 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 6 72
4.28 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อที่ 6 72
4.29 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินทั้ง 6 ข้อ 74
4.30 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินทั้ง 6 ข้อ 74