บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

จากบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการกลิ้งของทรงกระบอกตันและทรงกระบอกกลวง และวิเคราะห์หลักการฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการกลิ้ง เช่น มุมวิกฤต หลักการอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้น สำหรับในบทนี้ผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายวีดีโอของการกลิ้งมาออกแบบบทสัมภาษณ์เพื่อใช้สำรวจความเข้าใจเรื่องการกลิ้งของทรงกระบอกตันและกลวง เมื่อได้ผลความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับการกลิ้งของทรงกระบอก ผู้วิจัยได้นำผลไปพัฒนาสื่อสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบวีดีโอ และได้ศึกษาความเข้าใจของนักศึกษาที่เพิ่มขึ้นโดยใช้แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน ดังนั้นในบทนี้จะแบ่งผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ส่วน คือ ความเข้าใจการกลิ้งของทรงกระบอก และ การใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบวีดีโอ

4.1 ความเข้าใจการกลิ้งของทรงกระบอก

4.1.1 กลุ่มนำร่องและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มนำร่อง เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 4 คน นักศึกษาได้ผ่านการเรียนในหัวข้อการเคลื่อนที่เชิงมุม ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับการกลิ้งโดยไม่ไถลโดยนักศึกษาทั้ง 4 คน ได้เรียนกระบวนวิชา 207187 ฟิสิกส์ 1 มาแล้ว

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 21 คน ที่ได้ผ่านการเรียนกระบวนวิชา 207105 ฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรมเกษตร 1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 ซึ่งครอบคลุมหัวข้อการเคลื่อนที่เชิงมุมและการกลิ้งโดยไม่ไถล นักศึกษาเข้าร่วมการสัมภาษณ์ด้วยความสมัครใจและได้รับค่าตอบแทน ผลการเรียนของนักศึกษาที่ร่วมการสัมภาษณ์มีตั้งแต่ระดับ D ไปจนถึง A ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงผลการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

นักศึกษา	เกรด
S4, S9, S11	A
S1, S2, S5	B+
S3, S6, S8, S10, S14, S16	B
S12, S13, S15	C+
S7, S17, S18	C
S21	D+
S19, S20	D

4.1.2 ระเบียบวิธีวิจัย

ในการวิจัยผู้วิจัยได้สร้างบทสัมภาษณ์ประกอบภาพถ่ายวีดีโอความเร็วสูง และได้เริ่มทดลองสัมภาษณ์กับกลุ่มนำร่องซึ่งเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์จำนวน 4 คน โดยใช้สถานการณ์ในการสัมภาษณ์เพียงสถานการณ์เดียว คือ การกลิ้งลงพื้นเอียงของทรงกระบอกตันและกลวง จากการวิเคราะห์ผลพบว่านักศึกษามีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยและทอร์ก ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงและเพิ่มเติมบทสัมภาษณ์ที่เน้นให้นักศึกษาใช้ความเข้าใจโมเมนต์ความเฉื่อยและทอร์กมาอธิบาย จากนั้นได้ทำสื่อสาธิตในลักษณะภาพถ่ายวีดีโอเพื่อใช้ประกอบการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างและทำการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง 21 คนแล้วนำผลการสัมภาษณ์ที่ได้ไปพัฒนาสื่อสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ หรือ ILDs โดยภาพ 4.1 แสดงแผนภาพการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับการกลิ้งของทรงกระบอก

ภาพ 4.1 แผนภาพแสดงการเก็บข้อมูลความเข้าใจการกลิ้ง

4.1.3 บทสัมภาษณ์ประกอบสถานการณ์

บทสัมภาษณ์ประกอบด้วย 9 สถานการณ์ มีจุดประสงค์เพื่อสำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่อง ทอร์ก โมเมนต์ความเฉื่อยและการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกบนพื้นเอียง จากการสัมภาษณ์นักศึกษาทั้งหมด 21 คน ได้บทสรุปของคำตอบดังแสดงในตาราง 4.2 เห็นได้ว่านักศึกษาทุกคนให้คำตอบที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับงาน เนื่องจากเนื้อหาใน 207105 ไม่ได้ครอบคลุมงานเชิงมุม นอกจากนี้นักศึกษาส่วนใหญ่ให้คำตอบที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับบทบาทของแรงเสียดทานที่มีต่อการกลิ้งของวัตถุ ทั้งที่นักศึกษาได้เรียนเกี่ยวกับการกลิ้งมาแล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับบทสัมภาษณ์นี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ตาราง 4.2 แสดงบทสรุปของคำตอบจากการสัมภาษณ์ทั้ง 9 ข้อ

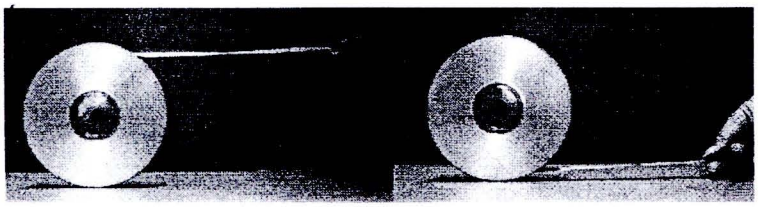
บทสัมภาษณ์ลำดับที่	ร้อยละของคำตอบ (%)	
	ถูก	ผิด
1: ทอร์ก	90%	10%
2: โมเมนต์ความเฉื่อย	67%	33%
3: โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมวลต่างกัน	95%	5%
4: โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน	70%	30%
5: บทบาทของแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุขณะกลิ้ง	5%	95%
6: ความเร่งของทรงกระบอกตันมวลต่างกัน	30%	70%
7: ความเร่งของทรงกระบอกตันและกลวงมวลเท่ากัน	33%	67%
8: งานของการกลิ้ง	0%	100%
9: พลังงานกลรวมของการกลิ้ง	70%	30%

4.1.4 ผลวิเคราะห์การสัมภาษณ์

1) ผลวิเคราะห์บทสัมภาษณ์ที่ 1

บทสัมภาษณ์ที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจเกี่ยวกับทอร์กโดยให้นักศึกษาทำนายว่าแผ่นซีดีจะกลิ้งไปทางใด เมื่อออกแรงที่ตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมให้เหตุผลประกอบโดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และเฉลย แสดงในภาพ 4.2

บทสัมภาษณ์ที่ 1: ถ้าดึงเชือกที่ตำแหน่งด้านบน ดังรูป (ก) แผ่นซีดีจะกลิ้งไปทางใด เพราะเหตุใด และถ้าดึงเชือกที่ตำแหน่งด้านล่าง ดังรูป (ข) แผ่นซีดีจะกลิ้งไปทางใด เพราะเหตุใด



เฉลย (ก) ถ้าดึงเชือกในตำแหน่งด้านบน แผ่นซีดีจะกลิ้งไปทางขวาหรือทิศเดียวกับแรง เพราะทอร์ก (τ) คือผลคูณเชิงเวกเตอร์ระหว่างแขนของแรง (R) และแรง (F) ที่กระทำต่อแผ่นซีดีโดยเขียนเป็นสมการได้ว่า $\tau = R \times F$ เมื่อออกแรงดึงด้านบนทอร์กจะมีทิศพุ่งเข้ากระดาษตามกฎมือขวาทำให้แผ่นซีดีหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือกลิ้งไปในทิศเดียวกับแรง (ข) ถ้าออกแรงดึงด้านล่าง แผ่นซีดีจะกลิ้งไปในทิศตรงข้ามกับแรง เพราะทอร์กมีทิศพุ่งออกกระดาษตามกฎมือขวาทำให้แผ่นซีดีหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือกลิ้งไปในทิศตรงข้ามกับแรง

ภาพ 4.2 แสดงบทสัมภาษณ์ที่ 1 พร้อมเฉลย

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ที่แสดงในตาราง 4.3 พบว่าในกรณีดึงด้านบนนักศึกษา 95 % มีความเข้าใจว่าแผ่นซีดีจะหมุนตามเข็มนาฬิกาและวัตถุจะกลิ้งไปในทิศเดียวกับแรง ส่วนนักศึกษาจำนวน 5 % ไม่สามารถอธิบายได้ สำหรับในกรณีดึงด้านล่างนักศึกษา 85 % มีความเข้าใจว่าแผ่นซีดีจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาและวัตถุจะกลิ้งไปในทิศตรงข้ามกับแรง แต่มีนักศึกษา 10 % ที่เข้าใจว่าวัตถุจะกลิ้งไปในทิศเดียวกับแรง และนักศึกษา 5 % ไม่สามารถอธิบายได้

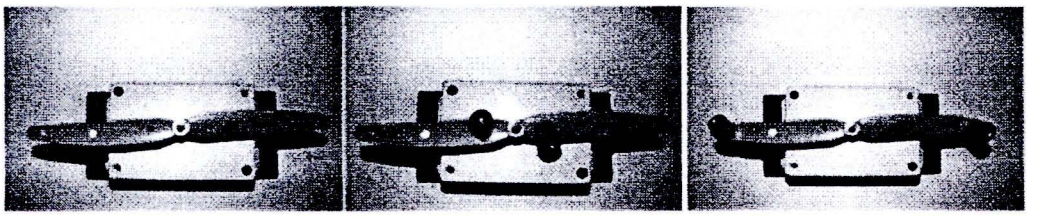
ตาราง 4.3 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 1

ลักษณะของเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
(ก) กรณีดึงด้านบน	
- วัตถุกลิ้งไปในทิศเดียวกับแรงดึง (ถูกต้อง)	95%
- วัตถุกลิ้งไปในทิศตรงข้ามกับแรงดึง	5%
(ข) กรณีดึงด้านล่าง	
- วัตถุกลิ้งไปในทิศเดียวกับแรงดึง	10%
- วัตถุกลิ้งไปในทิศตรงข้ามกับแรงดึง (ถูกต้อง)	85%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	5%

2) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 2

บทสัมภาษณ์ที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยโดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.3

บทสัมภาษณ์ที่ 2: การหมุนของใบพัดโดยมอเตอร์กระแสตรง ในกรณีที่ไม่ได้ติดมวล ติดมวลด้านในหรือติดมวลด้านนอก ลักษณะการหมุนจะแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร



เฉลย ถ้าเติมมวล m สองอันบนใบพัดที่ระยะห่างจากแกนหมุนของใบพัดเท่ากับ R ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของใบพัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น $2mR^2$ และถ้าติดมวลด้านในระยะห่างจากแกนหมุนของใบพัด(R) มีค่าน้อยกว่าการติดมวลด้านนอก ดังนั้นกรณีติดมวลด้านนอกค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่ามากที่สุดทำให้ใบพัดที่ติดมวลด้านนอกหมุนช้าที่สุด ส่วนในกรณีไม่เติมมวล ใบพัดจะหมุนเร็วที่สุดเพราะโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าน้อยที่สุด

ภาพ 4.3 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 2

ตาราง 4.4 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 2

ลักษณะของเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ไม่ติดมวลหมุนได้เร็วที่สุด	**67%**
- มวลน้อยที่สุด	39%
- โมเมนต์ความเฉื่อยน้อยที่สุด(ถูกต้อง)	22%
- ไม่สามารถอธิบายได้	6%
2. ติดมวลด้านในหมุนได้เร็วที่สุด	**11%**
- เกิดแรงเหวี่ยง	6%
- ไม่สามารถอธิบายได้	6%
3. ติดมวลด้านนอกหมุนได้เร็วที่สุด	**22%**
- เกิดแรงเหวี่ยง	11%
- ไม่สามารถอธิบายได้	11%

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ที่แสดงดังตาราง 4.4 พบว่านักศึกษา 67 % มีความเข้าใจว่าไม่ติดมวลจะหมุนได้เร็วที่สุดโดยให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา *S5* และ *S14*

S5 :"แบบไม่เติมมวลน่าจะเร็วที่สุดครับเพราะโมเมนต์ความเฉื่อยน่าจะน้อยที่สุดครับ"

S14: "ไม่มีมวลหน่วงและมีโมเมนต์[ความ]เฉื่อยน้อยสุดจึงเร็วสุด"

ส่วนนักศึกษาอีก 22 % ตอบว่าถ้าติดมวลด้านนอกจะหมุนได้เร็วที่สุด เพราะเกิดแรงเหวี่ยงมากที่สุด โดยให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S8 และ S17

S8: "ติดมวลด้านนอกน่าจะ [เคลื่อนที่] เร็วที่สุดเพราะมีมวลมาช่วยเหวี่ยง"

S17:"ปีกที่ติดมวลด้านนอกสุดจะหมุนเร็วที่สุด เพราะว่า จากสมการโมเมนต์ความเฉื่อยขึ้นอยู่กับมวลแล้วก็ขึ้นกับรัศมีครับ ติดด้านนอกโมเมนต์ความเฉื่อยเลยมากที่สุดครับ"

นักศึกษาอีก 11 % มีความเข้าใจว่าถ้าติดมวลด้านในจะหมุนได้เร็วที่สุด โดยให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S8

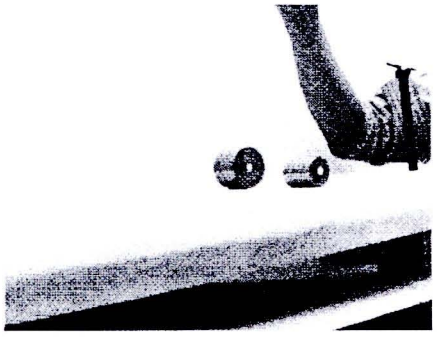
S8: "การติดมวลบนใบพัดทำให้มีมวลมาช่วยเหวี่ยง แล้วก็เติมมวลด้านใน การหมุนน่าจะดีกว่าด้านนอก ส่วนอันที่ 1 ไม่มีมวลทำให้ไม่มีแรงเหวี่ยง การหมุนก็จะไม่ดี"

จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาบางส่วนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่ามวลที่เพิ่มให้กับใบพัดมามีผลทำให้เกิดแรงเหวี่ยงมากขึ้น และแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นนั้นมีส่วนในการทำให้ใบพัดหมุนได้เร็วขึ้น

3) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 3

บทสัมภาษณ์ที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยจากการพิจารณาทรงกระบอกตันมวลต่างกัน โดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.4

บทสัมภาษณ์ที่ 3: ในการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกตัน โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันที่มีมวลต่างกันจะมีค่าแตกต่างกันหรือไม่



เฉลย โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมวล m และรัศมี R หาได้จากสมการ $I = \frac{1}{2}mR^2$ จากสมการพบว่า โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมีค่าแปรผันตรงกับมวลและรัศมี ดังนั้นทรงกระบอกตันที่มีมวลและรัศมีมากกว่าจะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลและรัศมีน้อยกว่า

ภาพ 4.4 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 3

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตาราง 4.5 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 3

ลักษณะเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ทรงกระบอกตันมวลมากกว่ามีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า	**95%**
- มวลและรัศมีมากกว่า(ถูกต้อง)	67%
- โมเมนต์ความเฉื่อยขึ้นอยู่กับมวลและรัศมี(ถูกต้อง)	28%
2. ทรงกระบอกตันมวลน้อยกว่ามีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า	**5%**
- รัศมีน้อยกว่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า	5%
3. ทรงกระบอกตันทั้งสอง มีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากัน	-

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ที่แสดงดังตาราง 4.5 จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษา 95 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลมากกว่าจะมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าโดยที่ 67% ให้เหตุผลว่าเพราะมวลและรัศมีมากกว่าและอีก 28 % ให้เหตุผลว่าโมเมนต์ความเฉื่อยขึ้นอยู่กับมวลและรัศมี ตัวอย่างการให้เหตุผลของนักศึกษา S4

S4: "มีมวลและรัศมีมากกว่าทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยมีค่ามากกว่าครับ"

ส่วนนักศึกษาอีก 5 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลน้อยกว่าจะมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าโดยให้เหตุผลดังตัวอย่างนักศึกษา S20

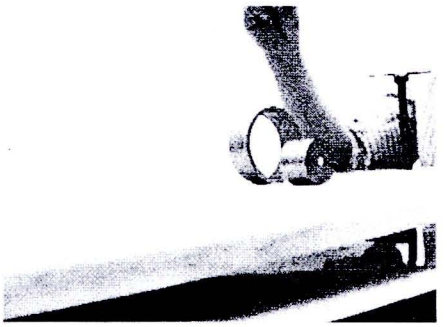
S20:"มวลก้อนเล็กจะมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าครับ เพราะมีรัศมีน้อย โมเมนต์ความเฉื่อยจะมีค่ามาก"

จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของมวลและรัศมีที่มีต่อโมเมนต์ความเฉื่อย เพราะนักศึกษาตอบถูกต้องว่ายิ่งมวลและรัศมีมีค่ามาก โมเมนต์ความเฉื่อยก็มีค่ามากขึ้นตาม

4) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 4

บทสัมภาษณ์ที่ 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อย จากการพิจารณาทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากันโดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.5

บทสัมภาษณ์ที่ 4: โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากันจะมีค่าแตกต่างกันหรือไม่



เฉลย โมเมนตุ์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมวล m และรัศมี R หาได้จากสมการ $I = \frac{1}{2}mR^2$ และโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกกลวงมวล m และรัศมีภายนอก R_1 และภายใน R_2 หาได้จากสมการ $I = \frac{1}{2}m\left(R^2_1 + R^2_2\right)$ จากสมการพบว่า ในกรณีมวลเท่ากันรัศมีของทรงกระบอกตันน้อยกว่าทรงกระบอกกลวง ดังนั้นทรงกระบอกตันจะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกกลวง

ภาพ 4.5 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 4

ตาราง 4.6 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 4

ลักษณะเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ทรงกระบอกกลวงมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าทรงกระบอกตัน	**70%**
- รัศมีมากกว่า(ถูกต้อง)	70%
2. ทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าทรงกระบอกกลวง	**25%**
- การกระจายตัวน้อยกว่า	10%
- รัศมีมากกว่า	15%
3. ทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับทรงกระบอกกลวง	**5%**
- มวลเท่ากัน	5%

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ในตาราง 4.6 พบว่านักศึกษา 70 % ตอบถูกต้องว่าทรงกระบอกกลวงมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า โดยส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่า เพราะทรงกระบอกกลวงมีรัศมีมากกว่า ดังตัวอย่างของนักศึกษา S6 และ S11

S6: "ทรงกระบอกกลวงมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า เพราะมีรัศมีมากกว่า"

S11:"ทรงกระบอกกลวงมีค่ารัศมีมากกว่าทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า ดูจากความสัมพันธ์ของสมการโมเมนต์ความเฉื่อย ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจะขึ้นอยู่กับมวล และรัศมี"

ส่วนนักศึกษาอีก 25 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าโดยที่ 10% ให้เหตุผลว่า เพราะมีการกระจายตัวของมวลน้อยกว่า ส่วนอีก 15% ให้เหตุผลว่า เพราะรัศมีของทรงกระบอกตันมากกว่า โดยให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S10 และ S20

S10: "ทรงกระบอกตันมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า เพราะมวลดูแน่นกว่า"

S20: "ทรงกระบอกตันมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าเพราะรัศมีมากกว่า เนื่องจากรัศมีของทรงกระบอกกลวงคือผลต่างของรัศมีภายนอกและภายในซึ่งมีค่าน้อยกว่ารัศมีของทรงกระบอกตันทำให้ทรงกระบอกกลวงมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า"

นักศึกษาอีก 5 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันและกลวงมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากัน เพราะมวลเท่ากันโดยให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S13

S13: "เท่ากัน เพราะมีมวลเท่ากัน แต่รัศมีต่างกัน มันขัดแย้งกับทฤษฎีครับ จริงๆ คือมันไม่น่าเท่ากัน ถ้าตามทฤษฎีมันขึ้นอยู่กับรัศมีและมวล ถ้าตามทฤษฎีทรงกระบอกกลวงต้องมีความเฉื่อยมากกว่า แต่ถ้าตามการทดลองคิดว่าน่าจะเท่ากัน"

จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาบางส่วนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่ายิ่งวัตถุมีการกระจายมวลน้อย (หรือความหนาแน่นมาก) ก็จะยิ่งมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก และบางส่วนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับรัศมีที่ใช้ในการคิดหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกกลวง ว่าคิดคล้าย

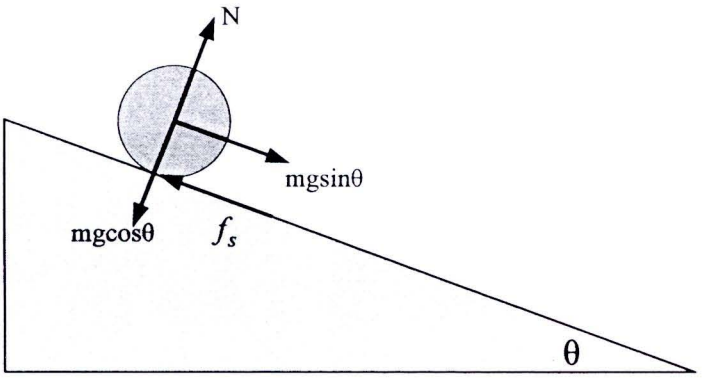
กับการคิดหาปริมาตร (รัศมีของทรงกระบอกกลวง คือ ผลต่างระหว่างรัศมีภายนอกและรัศมีภายใน) ทำให้นักศึกษาให้คำตอบที่ไม่ถูกต้อง

5) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 5

บทสัมภาษณ์ที่ 5 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์บทบาทของแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังกลิ้งโดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.6

บทสัมภาษณ์ที่ 5: ให้เขียนแผนภาพแรง (Free Body Diagram) ของการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกตันลงพื้นเอียง โดยถ้ามีแรงเสียดทานให้ระบุว่าเป็นแรงเสียดทานจลน์หรือสถิต และแรงเสียดทานมีผลต่อการกลิ้งอย่างไร

เฉลย แรงที่กระทำต่อทรงกระบอกตันในกรณีการกลิ้งโดยไม่ไถล ประกอบด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งแสดงในลักษณะส่วนประกอบของแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง ($mg\cos\theta$) และแรงในแนวขนานกับพื้นเอียง ($mg\sin\theta$) แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส (N) และแรงเสียดทานสถิต (f_s) ซึ่งทำให้เกิดทอร์กมีผลทำให้ทรงกระบอกตันกลิ้งโดยไม่ไถล



ภาพ 4.6 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 5

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ในตาราง 4.7 พบว่า นักศึกษาถึง 85 % เขียนแผนภาพแรงและทิศทางของแรงได้ถูกต้อง แต่นักศึกษาส่วนใหญ่ (80%) กลับเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าเป็นแรงเสียดทานจลน์ และ 38% ของนักศึกษาเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าแรงเสียดทาน (ในสถานการณ์นี้) มีหน้าที่ต้านการกลิ้งทำให้ทรงกระบอกกลิ้งช้าลง ซึ่งความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทานใน

ลักษณะนี้มักพบในผู้เรียนฟิสิกส์ระดับพื้นฐาน โดยนักศึกษาให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S8 และ S10

S8: "แรงเสียดทานจลน์ เพราะมีการเคลื่อนที่ ซึ่งแรงเสียดทานนี้จะมีผลต่อการกลิ้ง คือถ้าแรงเสียดทานมากจะกลิ้งได้เร็ว แต่ถ้าแรงเสียดทานน้อยจะกลิ้งได้ช้า"

S10: "ตอนแรกเป็นแรงเสียดทานสถิต ตอนกลิ้งเป็นแรงเสียดทานจลน์ เพราะมีการเคลื่อนที่ โดยมีผลต่อการกลิ้ง ถ้ากลิ้งบนพื้นลื่นมันจะเกิดการ free แต่ถ้ากลิ้งบนพื้นฝืดซึ่งมีแรงเสียดทานจะทำให้เกิดการหมุน"

ตาราง 4.7 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 5

ลักษณะของเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. เขียนทิศของแรงเสียดทานถูกต้อง	**85%**
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่และแรงเสียดทานทำให้ทรงกระบอกเกิดการหมุน	28%
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่และแรงเสียดทานทำให้ทรงกระบอกกลิ้งช้าลง	38%
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่แต่ไม่สามารถบอกบทบาทของแรงเสียดทานได้	14%
- แรงเสียดทานสถิตแต่ไม่สามารถให้เหตุผลได้ (ถูกต้อง)	5%
2. เขียนทิศของแรงเสียดทานผิด	**15%**
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่และแรงเสียดทานทำให้ทรงกระบอกเกิดการหมุน	5%
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่และแรงเสียดทานทำให้ทรงกระบอกกลิ้งช้าลง	5%
- แรงเสียดทานจลน์เพราะทรงกระบอกกำลังเคลื่อนที่แต่ไม่สามารถบอกบทบาทของแรงเสียดทานได้	5%

นอกจากนี้นักศึกษายังสับสนเกี่ยวกับบทบาทของแรงเสียดทาน ดังตัวอย่างบทสัมภาษณ์ของนักศึกษา S14 และ S20 ที่ให้เหตุผลดังนี้

S14: "มีหน้าที่ทำให้เกิดการหมุนหรือเกิดทอร์ก"

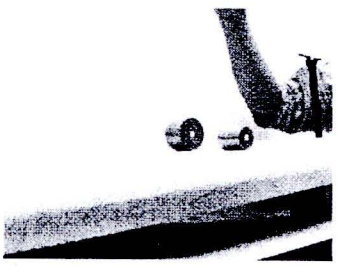
S20: "มีหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ถ้าแรงเสียดทานมากทรงกระบอกจะกลิ้งช้า"

จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับบทบาทและชนิดของแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งลงมาจากพื้นเอียง โดยที่นักศึกษามีความเข้าใจว่าแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันคือแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งทำหน้าที่ต้านการกลิ้งของวัตถุ ส่งผลให้กลิ้งช้าลง

6) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 6

บทสัมภาษณ์ที่ 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจเกี่ยวกับการกลิ้งลงพื้นเอียงของทรงกระบอกตันที่มีมวลต่างกัน โดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.7

บทสัมภาษณ์ที่ 6 : ถ้าปล่อยทรงกระบอกตันมวลต่างกันให้กลิ้งลงจากพื้นเอียงพร้อมกัน ทรงกระบอกตันมวลมากกว่าจะถึงปลายของพื้นเอียง ก่อน, หลัง หรือถึงพร้อมกับทรงกระบอกตันที่มีมวลน้อยกว่า



เฉลย จากทฤษฎีการกลิ้งโดยไม่ไถลพบว่าความเร่งของทรงกระบอกตันหาได้จากสมการ $a = \frac{2}{3} g \sin\theta$ จากสมการพบว่าถ้ารูปทรงของวัตถุเหมือนกันความเร่งจะไม่ขึ้นอยู่กับมวลมีผลทำให้ความเร่งของทรงกระบอกตันมวลต่างกันมีค่าเท่ากันเสมอ

ภาพ 4.7 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 6

แต่ในการตอบนักศึกษาอาจใช้การให้เหตุผลในเชิงคุณภาพ คือ วิเคราะห์ว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลไม่เท่ากันจะมีโมเมนต์ความเฉื่อยไม่เท่ากัน ส่วนแรงที่เกี่ยวข้องในการกลิ้งก็ไม่เท่ากัน ประกอบกับรัศมีไม่เท่ากัน ทำให้การพิจารณาจะต้องซับซ้อนขึ้น แต่จากการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่จะยึดเอาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเป็นหลักในการให้เหตุผล ดังแสดงในตาราง 4.7

ตาราง 4.8 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 6

ลักษณะเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ทรงกระบอกตันที่มีมวลมากกว่าถึงพื้นก่อน	**19%**
- เพราะมวลมากกว่า	14%
- เพราะมวลและรัศมีมากกว่า	5%
2. ทรงกระบอกตันที่มีมวลน้อยกว่าถึงพื้นก่อน	**51%**
- เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า	41%
- เพราะมวลน้อยกว่าทำให้แรงเสียดทานน้อยกว่า	10%
3. ทรงกระบอกตันทั้งสองถึงพื้นพร้อมกัน	**30%**
- เพราะมวลมากโมเมนต์ความเฉื่อยมากแรงฉุดก็มาก มวลน้อยโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยแรงฉุดก็น้อย	10%
- เพราะกลิ้งบนพื้นผิวเดียวกัน	10%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	10%

จากผลการสัมภาษณ์ในตาราง 4.8 พบว่านักศึกษาเพียง 10% ที่ตอบถูกและให้เหตุผลที่พิจารณาทั้งโมเมนต์ความเฉื่อยและแรงที่ทำให้เกิดการกลิ้ง ดังตัวอย่างการให้เหตุผลของนักศึกษา S4

> *S4: "เพราะมวลมากโมเมนต์ความเฉื่อยมาก แต่แรงฉุด $mg\sin\theta$ และถ้ามวลน้อยโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยแต่แรงฉุดก็น้อย ดังนั้นมวลน่าจะไม่มีผล ดังนั้นทรงกระบอกตันเหมือนกันน่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วเท่ากัน"*

แต่ในบทสัมภาษณ์นี้นักศึกษาส่วนใหญ่ (51%) ตอบไม่ถูกต้องว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลน้อยกว่าจะถึงพื้นก่อน โดยให้เหตุผลจากการพิจารณาเพียงโมเมนต์ความเฉื่อย (41%) หรือพิจารณาเพียงแรงเสียดทาน (10%) ดังตัวอย่างการให้เหตุผลของนักศึกษา S6 และ S10 ดังนี้

> *S6: "เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า"*

> *S10: "เพราะมีแรงปฏิกิริยาน้อยกว่าทำให้แรงเสียดทานน้อยกว่าจึงกลิ้งได้เร็วกว่า*

จากการให้เหตุผลของ S10 จะเห็นว่าว่านักศึกษายังไม่เข้าใจทอร์กเพียงพอ เพราะพิจารณาเฉพาะขนาดของแรง แต่ไม่คำนึงถึงแขนของแรง

นอกจากนี้นักศึกษาที่ตอบผิดว่าทรงกระบอกตันที่มีมวลมากกว่าเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า โดยที่ 14% ของนักศึกษาให้เหตุผลว่าเพราะมวลมากกว่า อีก 5% ให้เหตุผลว่าเพราะมวลและรัศมีมากกว่า ดังตัวอย่างของนักศึกษา S1

S1: "เพราะมวลมากกว่า โมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าน่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า"

เหตุผลของนักศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า นักศึกษามีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่า ถ้าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก จะทำให้กลิ้งได้เร็วกว่า เพราะนักศึกษาพยายามเชื่อมโยงโมเมนต์ความเฉื่อยกับมวล เพราะถ้าวัตถุที่มีมวลมากกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า นักศึกษายังขาดความเข้าใจในเชิงคุณภาพที่ว่า โมเมนต์ความเฉื่อย คือ ค่าที่บอกสภาพต้านการเคลื่อนในลักษณะหมุนหรือการกลิ้งของวัตถุ

7) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 7

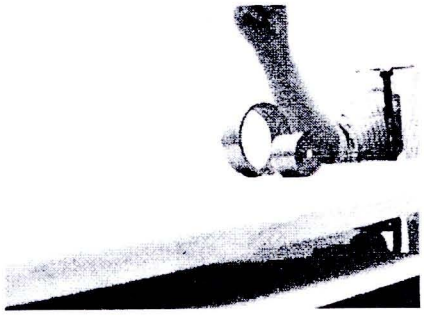
บทสัมภาษณ์ที่ 7 เกี่ยวกับความเร่งของทรงกระบอกตันและกลวงมวลเท่ากันโดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้ในการสัมภาษณ์และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.8

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ในตาราง 4.9 พบว่านักศึกษา 57% ตอบถูกต้องว่าทรงกระบอกตันกลิ้งได้เร็วกว่า โดยที่นักศึกษา 27% ให้เหตุผลถูกต้องว่า เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า ดังตัวอย่างของนักศึกษา S4

S4: "เพราะถูกดึงลงด้วยแรงเท่ากัน ทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าเลยกลิ้งได้เร็วกว่า"

ส่วนนักศึกษา 5% ตอบถูกแต่ให้เหตุผลไม่ถูกต้องว่าโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า และนักศึกษาอีก 10% ให้เหตุผลว่าเพราะรัศมีน้อยกว่า ส่วนอีก 10% ให้เหตุผลว่า เพราะทรงกระบอกกลวงน่าจะเกิดแรงต้านจากอากาศมากกว่า และนักศึกษาอีก 5% ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้

บทสัมภาษณ์ที่ 7 : ถ้าปล่อยทรงกระบอกตันและกลวงมวลเท่ากันให้กลิ้งลงจากพื้นเอียงพร้อมกัน ทรงกระบอกตันจะถึงปลายของพื้นเอียง ก่อน, หลัง หรือถึงพร้อมกับทรงกระบอกกลวง



เฉลย จากทฤษฎีการกลิ้งโดยไม่ไถลพบว่าทรงกระบอกตันมีความเร่ง $a=\frac{2}{3}g\sin\theta$ และทรงกระบอกกลวงมีความเร่ง $a=\frac{2g\sin\theta}{\left(3+\left(R_1/R_2\right)^2\right)}$ ดังนั้นความเร่งของทรงกระบอกตันมีค่ามากกว่า เพราะไม่ขึ้นอยู่กับรัศมีภายนอกและภายในอย่างเช่นทรงกระบอกกลวง ในกรณีมวลเท่ากันโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมีค่าน้อยกว่าทรงกระบอกกลวง เพราะทรงกระบอกกลวงมีมวลหนาแน่นในรัศมีที่มากกว่าทรงกระบอกตัน ทำให้ทรงกระบอกตันกลิ้งได้ง่ายกว่าทรงกระบอกกลวง

ภาพ 4.8 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 7

ส่วนนักศึกษาอีก 33 % ตอบไม่ถูกต้องว่าทรงกระบอกกลวงกลิ้งได้เร็วกว่า โดย 14% ให้เหตุผลว่าเพราะรัศมีมากกว่าน่าจะกลิ้งได้ระยะทางที่มากกว่า อีก 14% ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ ส่วน 5% ให้เหตุผลว่าเพราะการกระจายมวลมากกว่าน่าจะเกิดแรงเหวี่ยงมากกว่า ดังตัวอย่างของนักศึกษา S9

S9: "เพราะมีการกระจายมวลมากกว่าน่าจะกลิ้งได้เร็วกว่า"

เหตุผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่านักศึกษามีการใช้คำว่า "การกระจายมวล" เป็นเหตุผลประกอบหลายครั้ง แต่การใช้คำนี้อธิบายว่า "ทรงกระบอกกลวงมีการกระจายมวลมากนั้น" ไม่ถูกต้อง ควรจะใช้ว่ามวลของทรงกระบอกตันกระจายเป็นระยะห่างจากแกนหมุนมากกว่าของทรงกระบอกตัน

ตาราง 4.9 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 7

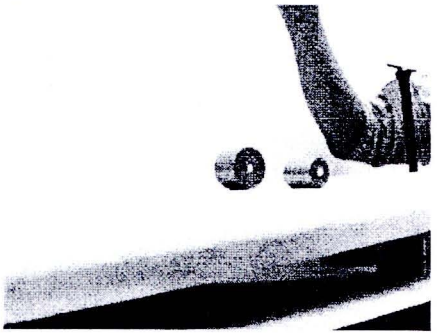
	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ทรงกระบอกตันถึงพื้นก่อน	**57%**
- เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า(ถูกต้อง)	27%
- เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า	5%
- เพราะรัศมีน้อยกว่า	10%
- เพราะทรงกระบอกกว่าน่าจะเกิดแรงต้านจากอากาศมากกว่า	10%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	5%
2. ทรงกระบอกกลวงถึงพื้นก่อน	**33%**
- เพราะรัศมีมากกว่าน่าจะกลิ้งได้ระยะทางมากกว่า	14%
- เพราะการกระจายมวลมากกว่าน่าจะเกิดแรงเหวี่ยงมากกว่า	5%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	14%
3. ทรงกระบอกทั้งสองถึงพื้นพร้อมกัน	**10%**
- เพราะมวลเท่ากัน	10%

โดยสรุปจากการสัมภาษณ์นี้พบว่านักศึกษาที่ตอบถูกบางส่วน ยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อย หรือยังเข้าใจไม่เพียงพอเห็นได้จากการให้เหตุผลที่ปริมาณที่มีความเกี่ยวข้องน้อยมากกับสถานการณ์ที่ให้ ในส่วนของนักศึกษาที่ตอบผิด พบว่าการให้เหตุผลยังไม่มีการนำปริมาณเชิงมุมมาใช้ แสดงถึงยังมีความเข้าใจในระดับต่ำ

8) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 8

บทสัมภาษณ์ที่ 8 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจเกี่ยวกับงานของการกลิ้ง โดยบทสัมภาษณ์ที่ใช้และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.9

บทสัมภาษณ์ที่ 8: ถ้าปล่อยทรงกระบอกตันที่มีมวลต่างกันให้กลิ้งลงจากพื้นเอียงพร้อมกัน จะเกิดงานของทรงกระบอกตันหรือไม่ ถ้าเกิด งานนั้นเกิดจากแรงอะไร และงานของทรงกระบอกตันใดมีค่ามากกว่า



เฉลย งานเนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะงานจากแรงเสียดทาน ($W_f = -fs$) และงานจากทอร์กซึ่งเกิดจากแรงเสียดทาน ($W_\tau = \tau\theta = fR\theta = fs$ เมื่อ $\tau = fR$ และ $s = R\theta$) มีขนาดเท่ากันแต่มีเครื่องหมายตรงข้าม ดังนั้นงานทั้งสองจึงหักล้างกันทำให้งานรวมมีค่าเป็นศูนย์

ภาพ 4.9 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 8

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ในตาราง 4.10 พบว่านักศึกษา 90% ตอบไม่ถูกต้องว่า ทรงกระบอกตันที่มีมวลมากกว่า เกิดงานมากกว่า โดย 32% ให้เหตุผลว่าเพราะเป็นงานเนื่องจากแรงเสียดทานจึงขึ้นอยู่กับมวล ดังตัวอย่างของนักศึกษา S1

> *S1: "เกิดงานเนื่องจากแรงเสียดทาน ถ้าเป็นทรงกระบอกตันมวลต่างกัน ทรงกระบอกตันที่มวลมากกว่าจะเกิดงานมากกว่า ส่วนทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน งานเท่ากันซึ่งงานไม่เป็นศูนย์"*

ตาราง 4.10 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 8

ลักษณะของเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. ทรงกระบอกตันมวลมากกว่าเกิดงานมากกว่า	**90%**
- เพราะเป็นงานเนื่องจากแรงเสียดทานซึ่งขึ้นอยู่กับมวล	32%
- เพราะเป็นงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงซึ่งขึ้นอยู่กับมวล	38%
- เพราะเป็นงานเนื่องจากแรงปฏิกิริยาตั้งฉากซึ่งขึ้นอยู่กับมวล	5%
- เพราะเป็นงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงปฏิกิริยาซึ่งขึ้นอยู่กับมวล	10%
- เพราะโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า	5%
2. ทรงกระบอกตุ้นมวลน้อยกว่าเกิดงานมากกว่า	**0%**
3. ทรงกระบอกตันทั้งสองเกิดงานเท่ากัน	**10%**
- เพราะงานไม่ขึ้นอยู่กับมวล	5%
- เพราะรูปร่างเหมือนกันและการกระจัดเท่ากัน	5%

อีก 38% ให้เหตุผลว่าเพราะเป็นงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจึงขึ้นอยู่กับมวล ดังตัวอย่างของนักศึกษา S6

> *S6: "เกิดงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ถ้าเป็นทรงกระบอกตันมวลต่างกัน ทรงกระบอกตันที่มวลมากกว่าจะเกิดงานมากกว่า ส่วนทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน ทรงกระบอกกลวงน่าจะเกิดงานมากกว่าเพราะโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่า"*

นักศึกษา 5% ให้เหตุผลว่าเพราะเป็นงานเนื่องจากแรงปฏิกิริยาตั้งฉากซึ่งขึ้นอยู่กับมวล นักศึกษา 10% ให้เหตุผลว่าเพราะเป็นงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงปฏิกิริยาซึ่งขึ้นอยู่กับมวล ดังตัวอย่างของ *S13*

> *S13: "เกิดงานเนื่องจากแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉาก ถ้าเป็นทรงกระบอกตันมวลต่างกัน ทรงกระบอกตันที่มวลมากกว่าจะเกิดงานมากกว่าเพราะมวลมากกว่า ส่วนทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน งานเท่ากันเพราะมวลเท่ากัน เนื่องจากแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉาก ขึ้นอยู่กับมวล"*

นอกจากนี้นักศึกษาอีก 5% ให้เหตุผลว่าเพราะโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมากกว่า จึงทำให้เกิดงานมากกว่า แสดงถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อย

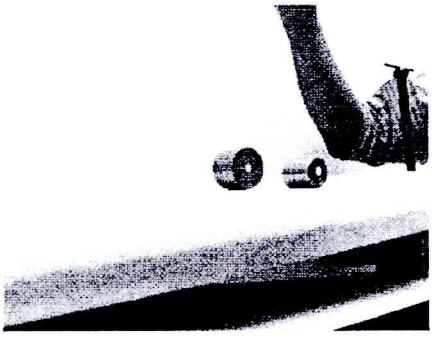
ส่วนนักศึกษาอีก 10% ตอบถูกว่าทรงกระบอกตันทั้งสองเกิดงานเท่ากัน แต่เหตุผลที่ให้ยังไม่ชัดเจนเท่าทีควร โดย 5% ให้เหตุผลว่าเพราะงานไม่ขึ้นอยู่กับมวล และอีก 5% ให้เหตุผลว่าเพราะรูปร่างเหมือนกันและการกระจัดเท่ากัน

จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับงานของการกลิ้งโดยนักศึกษาเข้าใจว่างานของการกลิ้งเกิดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก เป็นผลมาจากในกระบวนวิชา 207105 นักศึกษาไม่ได้เรียนเกี่ยวกับงานเชิงมุม จึงทำให้มีคำตอบที่ไม่ถูกต้องในบทสัมภาษณ์นี้มากกว่าบทสัมภาษณ์อื่น

9) ผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ข้อที่ 9

บทสัมภาษณ์ที่ 9 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานกลรวมของการกลิ้งโดยบทสัมภาษณ์และคำตอบที่ถูกต้องแสดงดังภาพ 4.10

บทสัมภาษณ์ที่ 9: ถ้าปล่อยทรงกระบอกตันให้กลิ้งลงจากพื้นเอียงพลังงานกลรวมของทรงกระบอกตันจะมีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง หรือคงที่



เฉลย ในการกลิ้งโดยไม่ไถล งานเนื่องจากแรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากับศูนย์ มีผลทำให้พลังงานกลรวมของระบบมีค่าคงที่ซึ่งไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน โดยที่ตำแหน่งเริ่มปล่อยพลังงานกลรวมของทรงกระบอกประกอบด้วยพลังงานศักย์โน้มถ่วงและที่ตำแหน่งปลายล่างของพื้นเอียงพลังงานกลรวมของทรงกระบอกประกอบด้วยพลังงานจลน์เนื่องจากการเลื่อนที่และพลังงานจลน์เนื่องจากการหมุน

ภาพ 4.10 แสดงบทสัมภาษณ์และเฉลยข้อที่ 9

ตาราง 4.11 สรุปผลการสัมภาษณ์ของบทสัมภาษณ์ที่ 9

ลักษณะเหตุผล	จำนวนนักศึกษา(%)
1. พลังงานกลรวมเพิ่มขึ้น	**15%**
- เพราะทรงกระบอกมีความเร็วเพิ่มขึ้น	10%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	5%
2. พลังงานกลรวมลดลง	**15%**
- เพราะสูญเสียไปเนื่องจากงานของแรงเสียดทาน	10%
- ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้	5%
3. พลังงานกลรวุมคงที่(ถูกต้อง)	**70%**
- เพราะเปลี่ยนจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์	35%
- เพราะเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน	35%

จากผลสรุปการสัมภาษณ์ในตารางที่ 4.11 พบว่านักศึกษา 70 % ตอบได้ถูกต้องว่าพลังงานรวมของระบบมีค่าคงที่ โดยที่ 35% ให้เหตุผลว่าเพราะพลังงานเปลี่ยนรูปจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์ และอีก 35% ให้เหตุผลว่าเพราะเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานโดยนักศึกษาให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S13

> *S13:"พลังงานกลรวมน่าจะคงที่เพราะเปลี่ยนพลังงานเปลี่ยนรูปจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงไปเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน"*

ส่วนนักศึกษา 15% ตอบไม่ถูกต้องว่าพลังงานรวมของระบบมีค่าลดลง โดย 10%ให้เหตุผลว่าเพราะสูญเสียไปเนื่องจากงานของแรงเสียดทานและอีก 15% ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ โดยนักศึกษาให้เหตุผลดังตัวอย่างของนักศึกษา S14

> *S14:"พลังงานกลรวมมีค่าลดลงเนื่องจากศูนย์เสียไปในรูปของงานเนื่องจากแรงเสียดทาน"*

นักศึกษาอีก 15 % ตอบไม่ถูกต้องว่าพลังงานรวมของระบบเพิ่มขึ้น โดย 10% ให้เหตุผลว่าเพราะทรงกระบอกมีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลนี้แสดงว่านักศึกษาพิจารณาเฉพาะพลังงานจลน์ที่

เพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้พิจารณาถึงพลังงานศักย์ที่ลดลง นอกจากนี้ยังมีนักศึกษาที่ตอบไม่ถูกอีก 5% ที่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้

จากการวิเคราะห์บทสัมภาษณ์นี้พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่ตอบถูกต้องว่ามีการอนุรักษ์พลังงานกล แต่มีนักศึกษาอีกส่วนที่ตอบไม่ถูกต้อง และให้เหตุผลที่แสดงถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงเสียดทานที่กระทำกับทรงกระบอกตัน และพลังงานกล

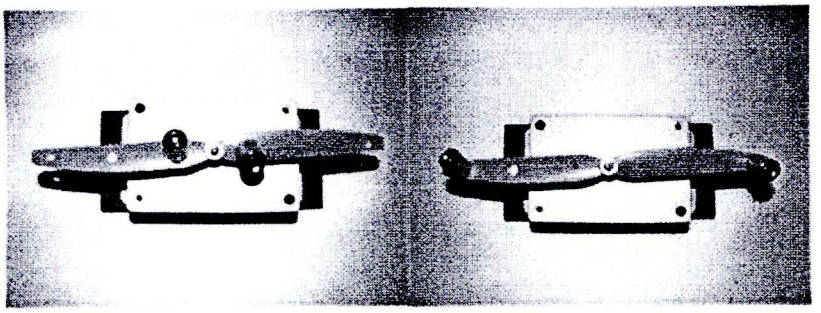
4.2 การใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายแบบมีปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบวีดีโอ

4.2.1 การพัฒนาสื่อสาธิตฯ

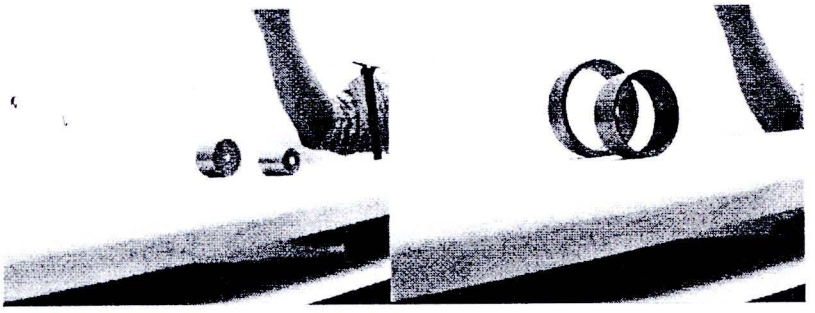
จากผลการสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องการกลิ้ง เนื่องจากนักศึกษาไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการกลิ้งมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการกลิ้งได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างสื่อสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบวีดีโอเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในเรื่องนี้ โดยเริ่มจากการวางแผนในการบันทึกภาพถ่ายวีดีโอ ซึ่งประกอบด้วยภาพวิดีโอที่เกี่ยวข้องกับเรื่องโมเมนต์ความเฉื่อย โดยการติดใบพัดที่มอเตอร์กระแสตรงแล้วเติมมวลสองก้อนที่ระยะต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4.11 เพื่อเป็นสื่อในการสอนเรื่องโมเมนต์ความเฉื่อย และภาพวิดีโอที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบกลิ้งโดยใช้วัตถุทรงกระบอกตันและกลวงอย่างละ 2 อันซึ่งประกอบด้วยมวล 294 และ 115 กรัม แสดงดังภาพ 4.12 โดยแบ่งการถ่ายวีดีโอเป็น 5 แบบ คือ

1) การกลิ้งของทรงกระบอกตัน 2 อันมวลต่างกัน คือ 294 และ 115 กรัม ตามลำดับ
2) การกลิ้งของทรงกระบอกกลวง 2 อันมวลต่างกัน คือ 294 และ 115 กรัม ตามลำดับ
3) การกลิ้งของทรงกระบอกกลวงและตันมวลเท่ากัน คือ มวล 294 กรัม
4) การกลิ้งของทรงกระบอกกลวงและตันมวลต่างกัน คือ มวล 115 และ 294 กรัม ตามลำดับ
5) การกลิ้งของทรงกระบอกกลวงและตันมวลต่างกัน คือ มวล 294 และ 115 กรัม ตามลำดับ

สุดท้ายทำการตัดต่อภาพถ่ายวีดีโอเพื่อนำมาสร้างสื่อสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรม Ulead Video Studio



ภาพ 4.11 แสดงลักษณะการติดมวลด้านในและนอกบนใบพัดของมอเตอร์กระแสตรง



ภาพ 4.12 แสดงลักษณะการกลิ้งของทรงกระบอกตันและกลวงลงพื้นเอียง

4.2.2 ระเบียบวิธีวิจัยและกลุ่มตัวอย่าง

1) กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ลงทะเบียนเรียนในกระบวนวิชา 207105 ฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ อุตสาหกรรมเกษตร 1 ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มควบคุมจำนวน 46 คนและกลุ่มทดลอง 64 คน

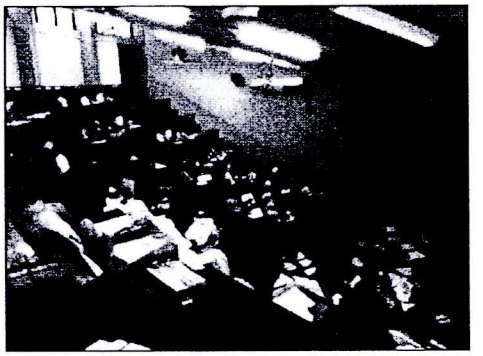
2) แผนการใช้สื่อสาธิต ILDs ในห้องเรียน

การวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลเป็น 2 แบบ ประกอบด้วย แบบที่ 1 เป็นการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว และแบบที่ 2 เป็นการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายหรืออาจเรียกว่าการสอนแบบ ILDs โดยขั้นตอนการสอนของทั้งสองแบบแสดงดังภาพ 4.13 และ ภาพ 4.14 ตามลำดับ

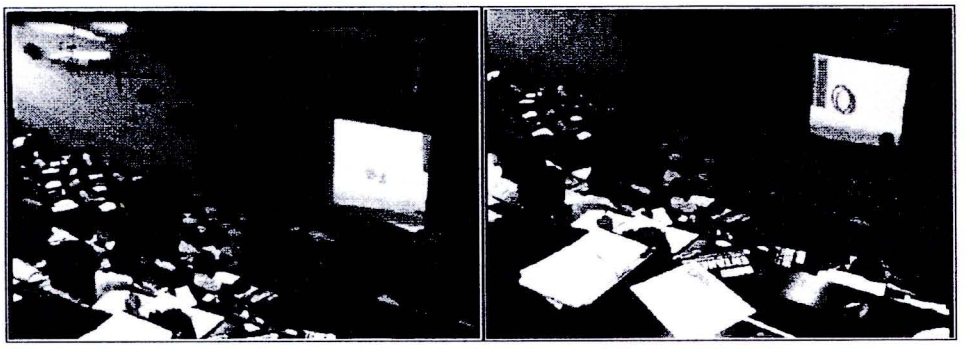
ภาพ 4.13 แสดงการสอนแบบที่ 1

ภาพ 4.14 แสดงการสอนแบบที่ 2

สำหรับการสอนทั้งสองแบบให้เวลานักศึกษาในการทำแบบทดสอบก่อนและหลังเรียนครั้งละประมาณ 5 นาที ซึ่งการทำแบบประเมินของนักศึกษาแสดงดังภาพ 4.15 และ การสอนทั้งสองแบบใช้เวลาประมาณ 30 นาที สำหรับการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายแสดงดังภาพ 4.16



ภาพ 4.15 นักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์กำลังทำแบบทดสอบก่อนเรียน(Pre-test)

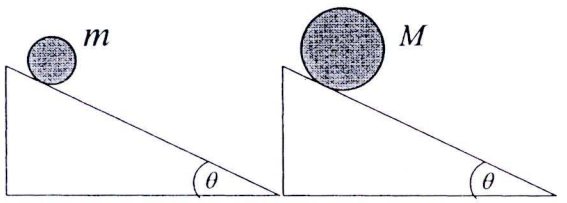


ภาพ 4.16 การสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยาย

4.3 แบบประเมินและผลการประเมินความเข้าใจการกลิ้งโดยไม่ไถล

แบบประเมินก่อนและหลังเรียนเป็นข้อสอบชุดเดียวกันมีจุดประสงค์เพื่อสำรวจความเข้าใจเรื่อง โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอก และการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกบนพื้นเอียง ซึ่งประกอบไปด้วยข้อสอบแบบปรนัย 6 ข้อ โดยมีรายละเอียดแบบประเมินและผลการตอบแบบประเมินดังต่อไปนี้

1. พิจารณาการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียงที่มีมุมเท่ากัน ทรงกระบอกตันมวล m **มีโมเมนต์ความเฉื่อยเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับ**ทรงกระบอกตัน มวล M (ให้ $m < M$)



ก. มากกว่า ข. น้อยกว่า

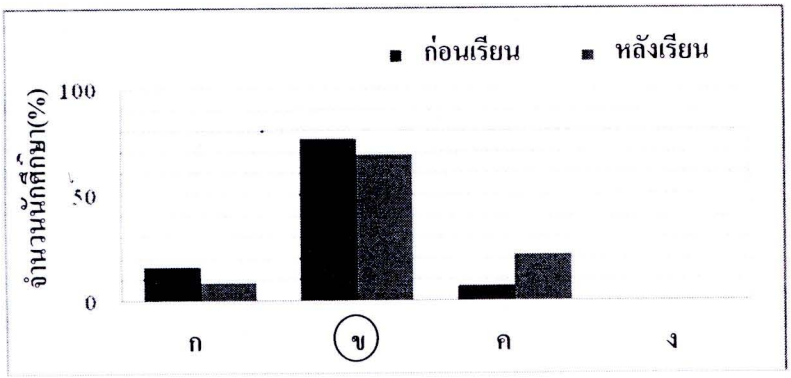
ค. เท่ากับ ง. สรุปไม่ได้ข้อมูลไม่เพียงพอ

ตาราง 4.12 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 1

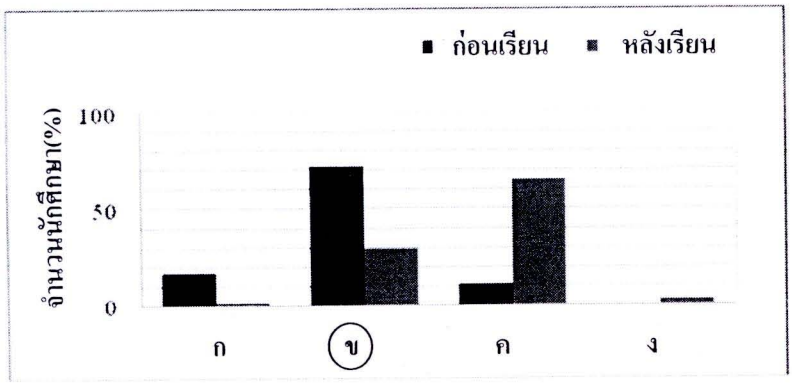
รูปแบบการสอน	**คะแนนก่อนเรียน (%)**	**S.D.**	**คะแนนหลังเรียน (%)**	**S.D.**	**Normalized Change <c>**
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	76	1.21	69	1.43	-0.09
การสอนแบบ ILDs (กลุ่มทดลอง)	72	1.29	30	0.82	-0.58

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 76% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกตัน มวล M และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 69 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกตัน มวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกน้อยลง 7%

ในกรณีที่ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 72% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกตัน มวล M และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 30 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกตัน มวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกน้อยลง 42% แต่สังเกตพบว่านักศึกษากว่า 66% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับทรงกระบอกตันมวล M มากขึ้น

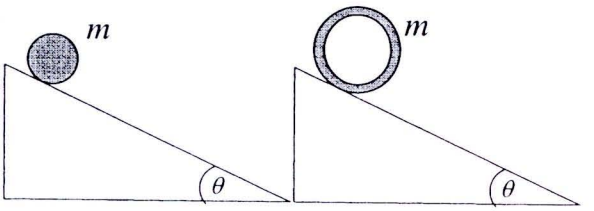


ภาพ 4.17 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 1



ภาพ 4.18 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 1

2. พิจารณาการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียงที่มีมุมเท่ากันของทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวล m เท่ากัน ทรงกระบอกตัน **มีโมเมนต์ความเฉื่อยเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับ**ทรงกระบอกกลวง



ก. มากกว่า ข. น้อยกว่า

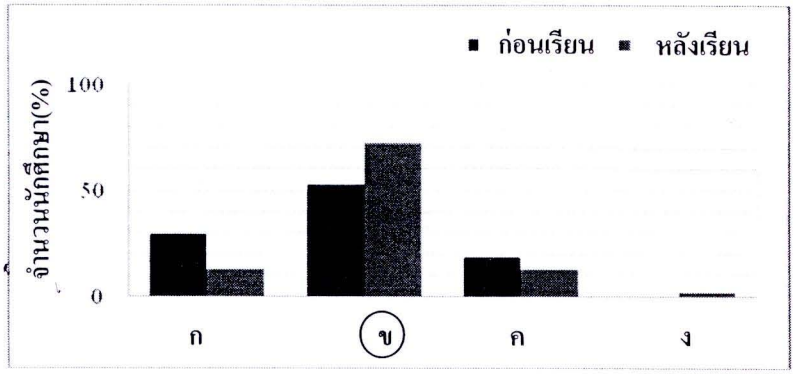
ค. เท่ากับ ง. สรุปไม่ได้ข้อมูลไม่เพียงพอ

ตาราง 4.13 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 2

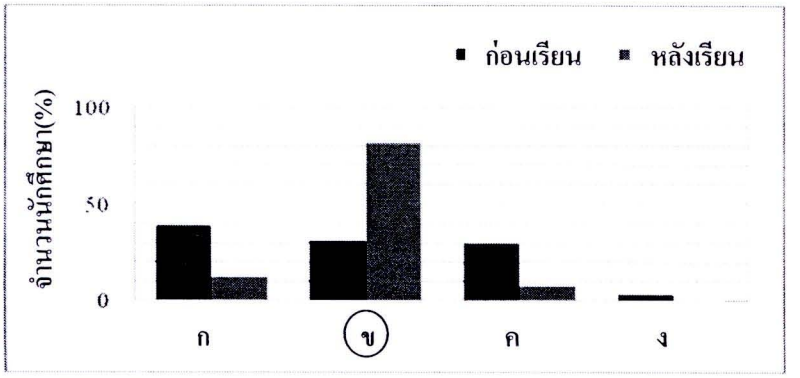
รูปแบบการสอน	คะแนนก่อนเรียน (%)	S.D.	คะแนนหลังเรียน (%)	S.D.	Normalized Change <c>
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	53	1.21	73	1.43	0.43
การสอนแบบ ILDs (กลุ่มทดลอง)	31	1.29	82	0.82	0.74

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 53% มีความเข้าใจที่ถูกต้องว่าทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน ทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกกลวง และพบว่าหลังเรียนกลุ่มควบคุมมีความเข้าใจที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็น 73 % แสดงว่านักศึกษาในกลุ่มควบคุมตอบถูกเพิ่มขึ้น 20 %

ในกรณีที่ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 31% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวล m เท่ากันทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทรงกระบอกกลวง หลังเรียนนักศึกษาในกลุ่มทดลองจำนวนถึง 82 % ตอบถูกต้อง แสดงว่านักศึกษาในกลุ่มทดลองมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้น 51 %



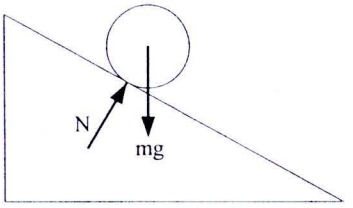
ภาพ 4.19 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 2



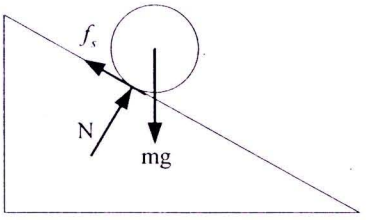
ภาพ 4.20 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 2

3. ในการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียง แผนภาพแรง(Free Body Diagram) ในข้อใดแสดงแรงทั้งหมดที่กระทำต่อทรงกระบอกตัน ได้อย่างถูกต้องเมื่อ f_s และ f_k แทนแรงเสียดทานสถิตและจลน์ ตามลำดับ

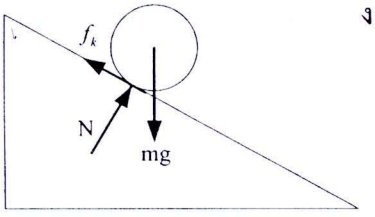
ก.



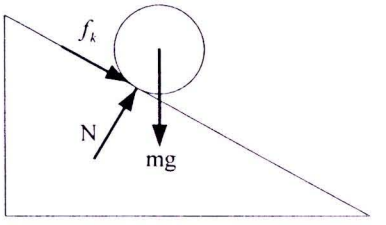
ข.



ค.



ง.

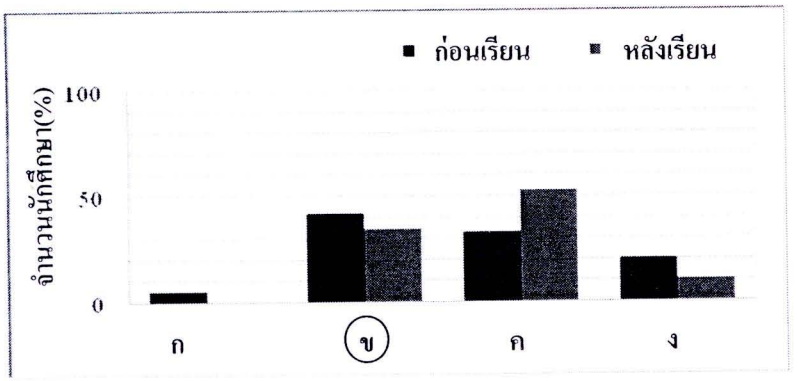


ตาราง 4.14 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 3

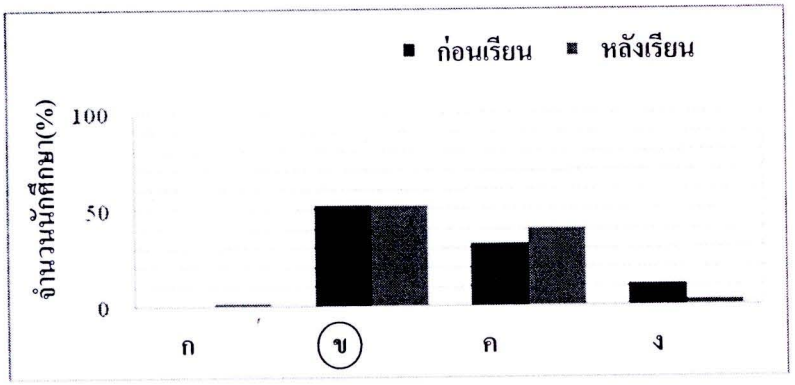
รูปแบบการสอน	คะแนนก่อนเรียน (%)	S.D.	คะแนนหลังเรียน (%)	S.D.	Normalized Change <c>
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	42	1.21	35	1.43	-0.16
การสอนแบบ ILD (กลุ่มทดลอง)	52	1.29	52	0.82	0

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 42% มีความเข้าใจว่าแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งลงมาจากพื้นเอียงเป็นแรงเสียดทานสถิต และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 35 % มีความเข้าใจว่าแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งลงมาจากพื้นเอียงเป็นแรงเสียดทานสถิตแสดงว่านักศึกษาตอบถูกลดลง 7 %

ในกรณีที่ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 52% มีความเข้าใจว่าแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งลงมาจากพื้นเอียงเป็นแรงเสียดทานสถิต และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 52 % มีความเข้าใจว่าแรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งลงมาจากพื้นเอียงเป็นแรงเสียดทานสถิตแสดงว่านักศึกษาตอบถูกเท่าเดิม

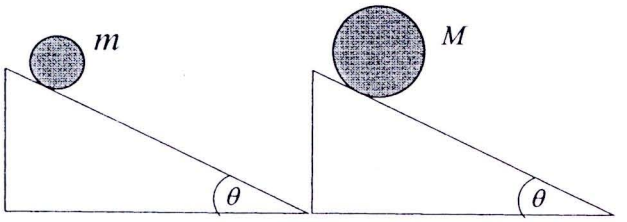


ภาพ 4.21 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 3



ภาพ 4.22 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 3

4. พิจารณาการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียงที่มีมุมเท่ากัน ทรงกระบอกตันมวล m **มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล** (a_{CM}) **เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับ**ทรงกระบอกตัน มวล M (ให้ $m < M$)



ก. มากกว่า ข. น้อยกว่า

ค. เท่ากับ ง. สรุปไม่ได้ข้อมูลไม่เพียงพอ

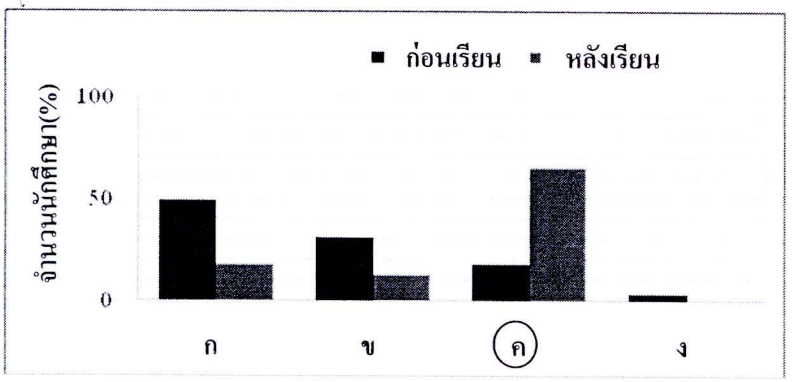
ตาราง 4.15 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 4

รูปแบบการสอน	คะแนนก่อนเรียน (%)	S.D.	คะแนนหลังเรียน (%)	S.D.	Normalized Change <c>
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	18	1.21	65	1.43	0.57
การสอนแบบ ILDs (กลุ่มทดลอง)	23	1.29	91	0.82	0.88

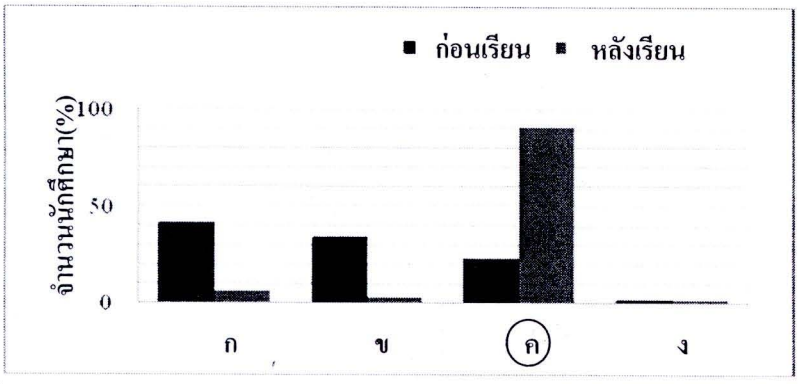
ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 18 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เท่ากับทรงกระบอกตัน มวล M

และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 65 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เท่ากับทรงกระบอกตัน มวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกเพิ่มขึ้น 47 %

ในกรณีที่ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 23 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เท่ากับทรงกระบอกตัน มวล M และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 91 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เท่ากับทรงกระบอกตัน มวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกเพิ่มขึ้น 68 %

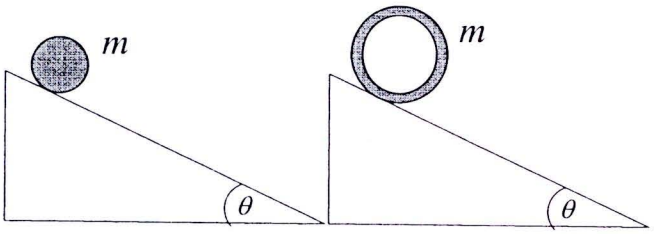


ภาพ 4.23 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 4



ภาพ 4.24 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 4

5. พิจารณาการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียงที่มีมุมเท่ากันของทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวล m เท่ากัน ทรงกระบอกตัน**มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับ**ทรงกระบอกกลวง



ก. มากกว่า ข. น้อยกว่า

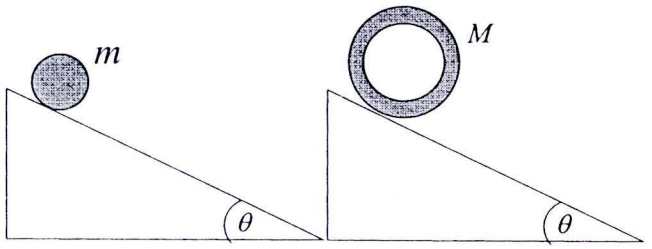
ค. เท่ากับ ง. สรุปไม่ได้ข้อมูลไม่เพียงพอ

ตาราง 4.16 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 5

รูปแบบการสอน	**คะแนนก่อนเรียน (%)**	**S.D.**	**คะแนนหลังเรียน (%)**	**S.D.**	**Normalized Change <c>**
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	40	1.21	56	1.43	0.27
การสอนแบบ ILDs (กลุ่มทดลอง)	54	1.29	94	0.82	0.87

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 40 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันมีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) มากกว่าทรงกระบอกกลวงและพบว่าหลัง

6. พิจารณาการกลิ้งโดยไม่ไถลลงจากพื้นเอียงที่มีมุมเท่ากันทรงกระบอกตันกลวงมวล m **มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) เป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับ**ทรงกระบอกกลวงมวล M (ให้ $m < M$)



ก. มากกว่า ข. น้อยกว่า

ค. เท่ากับ ง. สรุปไม่ได้ข้อมูลไม่เพียงพอ

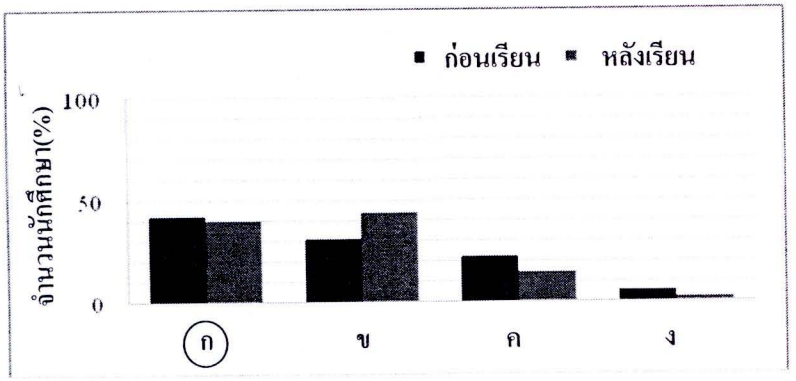
ตาราง 4.17 คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองของแบบประเมินข้อที่ 6

รูปแบบการสอน	**คะแนนก่อนเรียน (%)**	**S.D.**	**คะแนนหลังเรียน (%)**	**S.D.**	**Normalized Change <c>**
การสอนแบบบรรยาย (กลุ่มควบคุม)	42	1.21	40	1.43	-0.05
การสอนแบบ ILDs (กลุ่มทดลอง)	46	1.29	96	0.82	0.93

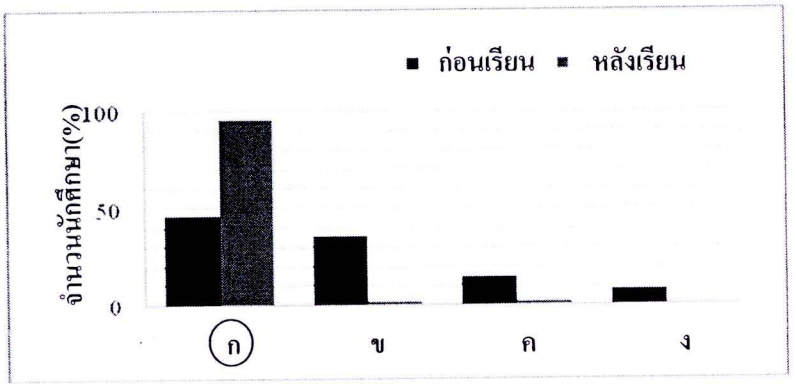
ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 42% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันกลวงมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) มากกว่าทรงกระบอกกลวงมวล M และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 40 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันกลวงมวล m มี

ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) มากกว่าทรงกระบอกกลวงมวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกลดลง 2%

ในกรณีที่ใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน พบว่าก่อนเรียนนักศึกษา 46% มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันกลวงมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) มากกว่าทรงกระบอกกลวงมวล M และพบว่าหลังเรียนนักศึกษา 96 % มีความเข้าใจว่าทรงกระบอกตันกลวงมวล m มีความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (a_{CM}) มากกว่าทรงกระบอกกลวงมวล M แสดงว่านักศึกษาตอบถูกเพิ่มขึ้น 50 %



ภาพ 4.27 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 6

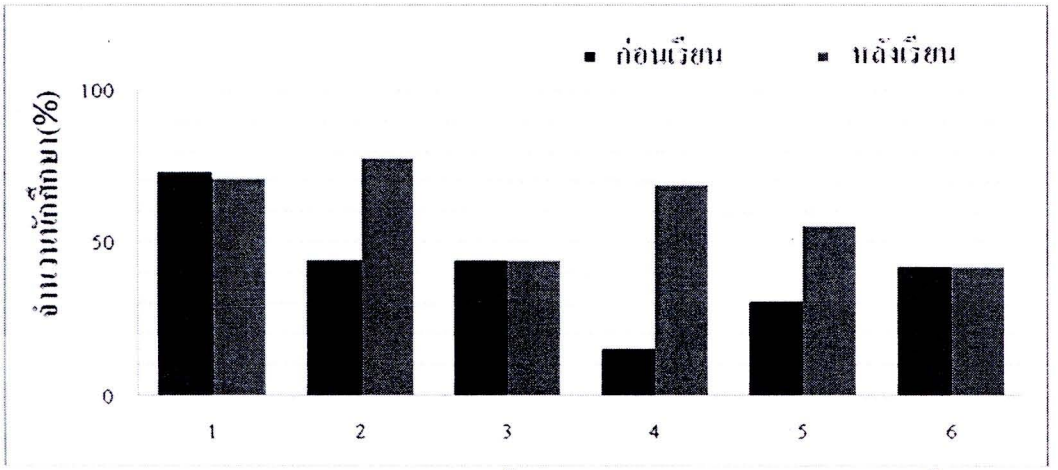


ภาพ 4.28 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินข้อ 6

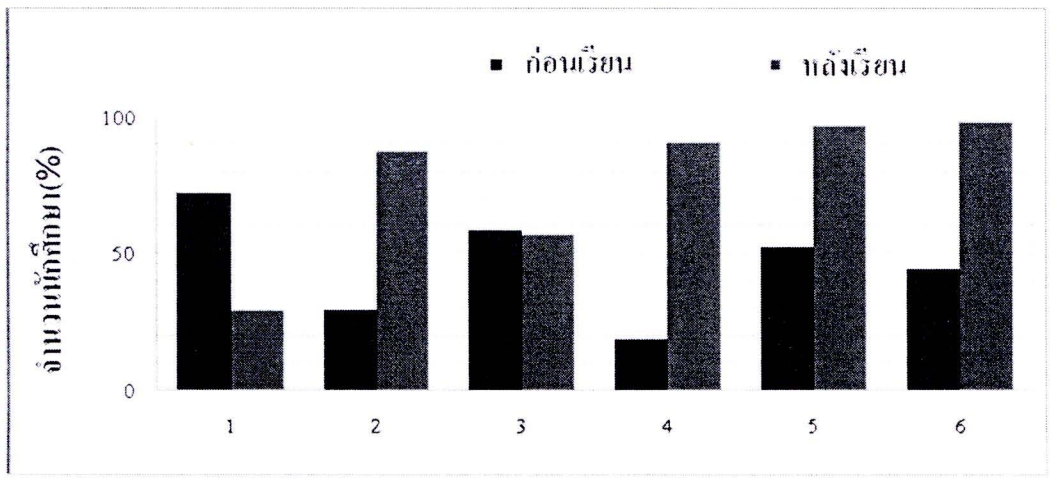
4.4 สรุปผลการใช้สื่อสาธิต ILDs

การเรียนการสอนโดยวิธีการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถทำให้นักศึกษาเข้าใจทฤษฎีได้อย่างชัดเจน จากกราฟในภาพ 4.29 และ ภาพ 4.30 แสดงคำตอบในคำถามเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อย หลังเรียนจำนวนนักศึกษาในกลุ่มควบคุมตอบคำถามได้ถูกต้องลดลง 2.2 % เมื่อเทียบกับนักศึกษาในกลุ่มทดลองที่ตอบคำถามถูกต้องลดลงถึง 43.1 % สำหรับข้อที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยพบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 33.4 % แต่ถ้าเทียบกับการสอนโดยใช้สื่อสาธิต ILDs พบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 58.5 % สำหรับการตอบแบบประเมินในข้อที่ 3 ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อทรงกระบอกตันขณะกลิ้งโดยไม่ไถลลงมาตามพื้นเอียงพบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเท่าเดิม แต่ถ้าเทียบกับการสอนโดยใช้สื่อสาธิต ILDs พบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณลดลง1.6 % สำหรับการตอบแบบประเมินในข้อที่ 4 ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับการกลิ้งทรงกระบอกตันมวลต่างกันลงมาตามพื้นเอียงพบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 53.3% แต่ถ้าเทียบกับการสอนโดยใช้สื่อสาธิต ILDs พบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 72.3 % สำหรับการตอบแบบประเมินในข้อที่ 5 ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับการกลิ้งทรงกระบอกตันและกลวงมวลเท่ากันลงมาตามพื้นเอียงพบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 24.5% แต่ถ้าเทียบกับการสอนโดยใช้สื่อสาธิต ILDs พบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 44.6% และสำหรับการตอบแบบประเมินในข้อที่ 6 ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับการกลิ้งทรงกระบอกตันและกลวงมวลไม่เท่ากันโดยที่ทรงกระบอกกลวงมวลมากกว่าลงมาตามพื้นเอียงพบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเท่าเดิม แต่ถ้าเทียบกับการสอนโดยใช้สื่อสาธิต ILDs พบว่านักศึกษาที่ตอบคำถามได้อย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น 53.9 %

จากผลการตอบแบบประเมินข้อที่ 4 , 5 และ 6 พบว่านักศึกษามีความเข้าใจที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากใช้สื่อสาธิตประกอบการสอน แต่สำหรับการตอบแบบประเมินข้อที่ 1 และ 3 พบว่านักศึกษามีความเข้าใจเท่าเดิมหรือลดลงเนื่องจากเป็นการสอนเชิงบรรยายเท่านั้น ซึ่งจากผลการตอบแบบประเมินสามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้สื่อสาธิต ILDs เพื่อประกอบการเรียนการสอนสามารถเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว



ภาพ 4.29 แสดงคำตอบของกลุ่มควบคุมทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินทั้ง 6 ข้อ



ภาพ 4.30 แสดงคำตอบของกลุ่มทดลองทั้งก่อนและหลังเรียนในแบบประเมินทั้ง 6 ข้อ