บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ได้สรุปผลการวิจัยที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัย (ดังที่ระบุไว้ในบทที่ 1) และได้ให้แนวทางสำหรับการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในการสอนเกี่ยวกับการกลิ้ง และแนวทางการทำวิจัยที่สามารถต่อยอดจากงานวิจัยนี้ได้

5.1 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 คือ เพื่อศึกษาเรื่องการกลิ้งทั้งในทางทฤษฎีและการทดลอง โดยการศึกษาการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกตันและกลวงทางทฤษฎีกล่าวไว้ในบทที่ 3 และได้สร้างชุดทดลองการกลิ้งของทรงกระบอกตันและกลวงขนาดต่าง ๆ โดยในขั้นแรกได้ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างไม้และเหล็ก เพื่อนำไปคำนวณค่าทางทฤษฎีและเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ใช้เทคนิควิเคราะห์วีดีโอความเร็วสูง สรุปได้ว่า

1) ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของทรงกระบอกที่มีรูปร่างเหมือนกันจะมีค่าเท่ากันโดยไม่ขึ้นอยู่กับมวล
2) ในกรณีที่ทรงกระบอกตันและกลวงที่มีมวลเท่ากัน ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของทรงกระบอกตันจะที่มีค่ามากกว่าทรงกระบอกกลวง เนื่องจากทรงกระบอกตันมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าทำให้กลิ้งได้ง่ายกว่า
3) ผลจากการทดลองได้ค่ามุมวิกฤตที่ใกล้เคียงกับทางทฤษฎี
4) จากการใช้เทคนิควิเคราะห์วีดีโอความเร็วสูง สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การกลิ้งโดยไม่ไถลต้องเป็นไปตามเงื่อนไขสำคัญ 2 เงื่อนไข คือ $s = \theta R$ และ งานเนื่องจากแรงเสียดทานต้องมีค่าเท่ากับศูนย์

5.2 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 คือ เพื่อสำรวจความเข้าใจหลังเรียนของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบกลิ้งโดยไม่ไถล โดยได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาออกแบบบทสัมภาษณ์ จากนั้นทำการสัมภาษณ์กลุ่มนำร่องประกอบไปด้วยนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 1 จำนวน 4 คน และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงบทสัมภาษณ์แล้วนำไป

สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างประกอบไปด้วยนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 1 จำนวน 21 คน จากการวิเคราะห์บทสัมภาษณ์พบความเข้าใจคลาดเคลื่อนสรุปได้ดังนี้

1) การเพิ่มมวลบนใบพัดทำให้เกิดแรงเหวี่ยงมากขึ้น ซึ่งแรงเหวี่ยงนี้มีส่วนทำให้ใบพัดหมุนได้เร็วขึ้น
2) วัตถุที่มีการกระจายมวลน้อย (หรือความหนาแน่นมาก) ก็จะยิ่งมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก
3) รัศมีที่ใช้ในการคิดหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกกลวง คล้ายกับการหาปริมาตร (รัศมีของทรงกระบอกกลวง คือ ผลต่างระหว่างรัศมีภายนอกและรัศมีภายใน)
4) แรงเสียดทานที่กระทำต่อทรงกระบอกตัน คือ แรงเสียดทานจลน์ เพราะทรงกระบอกมีการเคลื่อนที่ และแรงเสียดทานจะต้านการกลิ้งทำให้ทรงกระบอกกลิ้งช้าลง
5) ถ้าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก จะทำให้กลิ้งได้เร็วกว่า
6) งานของการกลิ้งเกิดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก

ข้อสรุปจากการวิเคราะห์บทสัมภาษณ์พบว่านักศึกษาไม่เข้าใจโมเมนต์ความเฉื่อย และมักจะเชื่อมโยงโมเมนต์ความเฉื่อยกับมวลเป็นส่วนใหญ่ หรือถ้านักศึกษามักใช้สมการในการให้เหตุผล แต่นักศึกษายังไม่เข้าใจการประยุกต์ใช้สมการในทรงกระบอกตัน นอกจากนี้นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้เรื่องโมเมนต์ความเฉื่อย บทบาทของแรงเสียดทาน งานและหลักการอนุรักษ์พลังงาน ในการอธิบายการกลิ้งโดยไม่ไถล และการให้เหตุผลของนักศึกษายังไม่มีการนำปริมาณเชิงมุมมาใช้ในการอธิบาย แสดงให้เห็นว่านักศึกษายังไม่เข้าใจการกลิ้งโดยไม่ไถลเท่าที่ควร

5.3 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 3

วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 3 คือ นำข้อมูลที่ได้ไปออกชุดอุปกรณ์สาธิตการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ทำสื่อสาธิตทั้งในรูปแบบอุปกรณ์จริงและในรูปแบบภาพถ่ายวีดีโอ เพื่อให้สะดวกแก่ผู้สอนที่ไม่ต้องการเตรียมอุปกรณ์ ประกอบกับสื่อสาธิตในรูปแบบวีดีโอจะสะดวกในการเห็นการเคลื่อนที่ได้ชัดเจนกว่าสื่ออุปกรณ์จริง โดยสื่อสาธิตมีทั้งหมด 2 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 โมเมนต์ความเฉื่อย ที่สาธิตการหมุนของใบพัดเมื่อติดมวลบนใบพัด โดยติดสองตำแหน่งคือตำแหน่งใกล้จุดหมุนและตำแหน่งปลายของใบพัด

ชุดที่ 2 การกลิ้งโดยไม่ไถล ที่สาธิตการกลิ้งโดยไม่ไถลลงพื้นเอียงของทรงกระบอกตันและกลวง โดยให้นักศึกษาเปรียบเทียบการกลิ้งโดยไม่ไถลของทรงกระบอกตันมวลต่างกัน ทรงกระบอกกลวงมวลต่างกัน ทรงกระบอกตันและกลวงมวลต่างกัน และทรงกระบอกตันและกลวงมวลที่มีมวลเท่ากัน ตามลำดับ

สื่อสาธิตชุดที่ 2 ได้นำไปใช้สอนกระบวนวิชา 207105 ฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ อุตสาหกรรมเกษตร 1 จำนวน 2 ตอน ที่สอนโดยอาจารย์คนเดียวกัน

5.4 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 4

วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 4 คือ เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้เกี่ยวกับการกลิ้งของนักศึกษาหลังจากใช้ชุดอุปกรณ์สาธิตในการสอน โดยแบ่งนักศึกษาเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม (กลุ่มที่มีการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว) และกลุ่มทดลอง (กลุ่มที่มีการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายหรือสอนแบบ ILDs) จากการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของนักศึกษาพบว่าหัวข้อที่ไม่มีการสอนโดยใช้สื่อสาธิตพบว่ากลุ่มควบคุมมีค่า <c> เท่ากับ -0.09, 0.43 และ-0.16 ตามลำดับและสำหรับกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ -0.58, 0.74 และ 0 ตามลำดับ แต่สำหรับหัวข้อที่มีการใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายพบว่ากลุ่มควบคุมมีค่า <c> เท่ากับ 0.57, 0.27 และ-0.05 ตามลำดับและสำหรับกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 0.88, 0.87 และ 0.93 ตามลำดับ จากผลการประเมินความรู้ของนักศึกษาพบว่าหัวข้อที่มีการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายพบว่าค่า Normalized change ของกลุ่มทดลองมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างเห็นได้ชัดเจน แสดงว่านักศึกษามีความเข้าใจที่ถูกต้องเพิ่มขึ้น แต่สำหรับหัวข้อที่มีการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว พบว่านักศึกษามีความเข้าใจเท่าเดิมหรือลดลง ซึ่งจากผลการประเมินความรู้ก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้สอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยาย สามารถเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพของการเรียนการสอนมากกว่าการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว

5.5 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยในครั้งนี้พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่อง โมเมนต์ความเฉื่อย บทบาทของแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุกลิ้งโดยไม่ไถล งานและหลักการอนุรักษ์พลังงาน และนักศึกษาไม่สามารถนำความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์มาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกลิ้งโดยไม่ไถลได้อย่างถูกต้องชัดเจน และพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการสอนระหว่างการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวและการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายหรือการสอนแบบ ILDs พบว่าการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบจากค่า Normalized change ระหว่างกลุ่มควบคุมคือกลุ่มผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวและกลุ่มทดลองคือกลุ่มผู้เรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้สื่อสาธิตประกอบการบรรยายพบว่า Normalized change ของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยกว่า จากผลดังกล่าวมีนัยสำคัญที่แสดงว่า กลุ่มผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบ

ILDs มีความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องการกลิ้งลงจากพื้นเอียงมากกว่ากลุ่มผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว

5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สอน

จากการวิเคราะห์ผลสัมภาษณ์และผลการประเมินของนักศึกษาก่อนและหลังเรียนพบว่านักศึกษาบางส่วนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันและกลวง ดังนั้นอาจารย์ผู้สอนควรเน้นนิยามของโมเมนต์ความเฉื่อยรวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโมเมนต์ความเฉื่อย ดังนั้นผู้สอนควรเน้นการเชื่อมโยงความรู้เรื่องโมเมนต์ความเฉื่อยกับการกลิ้งโดยไม่ไถลอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มักจะให้เหตุผลเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้คำว่า "การกระจายมวล" แต่นักศึกษาส่วนหนึ่งยังสับสนในการใช้คำนี้ ผู้สอนควรอธิบายให้ผู้เรียนเห็นภาพของลักษณะการกระจายมวลที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ผู้สอนควรเน้นเรื่องบทบาทของแรงเสียดทาน เพราะผู้เรียนส่วนใหญ่มักคิดว่าถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่จะมีแรงเสียดทานจลน์เกี่ยวข้อง ผู้สอนควรเน้นให้นักศึกษาเห็นว่าในการกลิ้งโดยไม่ไถลพื้นผิวของวัตถุที่สัมผัสกับพื้นจะเปลี่ยนไปเสมอ แรงเสียดทานที่เกี่ยวข้องจึงเป็นแรงเสียดทานสถิต ทั้งนี้ผู้สอนควรเพิ่มเวลาเพื่อให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับงานของการกลิ้งโดยไม่ไถลโดยเฉพาะงานเนื่องจากแรงเสียดทานทั้งในกรณีเชิงมุม และเชิงเส้นเพื่อนักศึกษาจะได้นำความรู้เรื่องงานไปเชื่อมโยงกับพลังงานกลรวมของการกลิ้งได้อย่างถูกต้อง เพื่อเพิ่มความเข้าใจของนักศึกษาในเรื่องการกลิ้งโดยไม่ไถลซึ่งนักศึกษาจะได้นำความรู้ที่ถูกต้องไปต่อยอดในการเรียนในระดับที่สูงขึ้นต่อไปในอนาคต

5.7 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวการเคลื่อนที่แบบกลิ้งโดยไม่ไถลนักศึกษาต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์หลายเรื่องซึ่งประกอบด้วย เรื่องโมเมนต์ความเฉื่อย บทบาทของแรงเสียดทาน กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน งานและหลักการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้น การสำรวจความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์เหล่านี้จึงมีความสำคัญซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาสื่อการสอนรวมถึงการปรับปรุงแผนการสอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียนการสอนต่อไปในอนาคต

ในงานวิจัยนี้พบว่าการใช้สื่อการสอนในรูปแบบวีดีโอยังอาจก่อให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันและทรงกระบอกกลวง จะเห็นได้จาก

ผลการตอบแบบประเมินในบทที่ 4 ที่หลังเรียนนักศึกษาในกลุ่มทดลองตอบผิดมากขึ้น ซึ่ง คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขผลกระทบนี้