บทที่5
สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุปผลวิจัย

จากผลการทดลองและข้อมูลที่ได้จากการคำนวณวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยจุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 4 ข้อซึ่งผลการวิจัยที่แสดงแล้วในบทที่ 4 พบว่าประสงความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยทุกข้อโดยสามารถสรุปผลการวิจัยความละเอียด ดังนี้

1. สามารถออกแบบการทดลองในการหาค่าแรงตึงในเส้นเชือกและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยการใช้การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย (Conical pendulum) โดยสามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับโรงเรียนมัธยมและมหาวิทยาลัยเพื่อให้ผู้เรียนรู้ตามทฤษฎีของเพนดูลัมกรวยในทางลึกซึ้งมากยิ่งขึ้นได้

2. สามารถหาค่าแรงตึงในเส้นเชือกของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวยได้โดยพบว่าค่าแรงตึงในเส้นเชือกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.782 นิวตัน 0.729 นิวตัน 0.689 นิวตัน 0.799 นิวตัน และ 0.724 นิวตัน ในกรณีความยาวของเส้นเชือก 90 เซนติเมตร 100 เซนติเมตร 110 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ130 เซนติเมตร ตามลำดับ

3. สามารถหาแรงเข้าสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย ได้โดยพบว่าค่าแรงเข้าสู่ศูนย์กลางเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.546 นิวตัน 0.467นิวตัน 0.348 นิวตัน 0.569 นิวตัน และ 0.460 นิวตัน ในกรณีความยาวของเส้นเชือก 90 เซนติเมตร100 เซนติเมตร 110 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ130 เซนติเมตร ตามลำดับ

4. สามารถหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 9.819 เมตรต่อวินาที^{2} 9.821 เมตรต่อวินาที ^{2} 9.793 เมตรต่อวินาที ^{2} 9.814 เมตรต่อวินาที ^{2} และ 9.739 เมตรต่อวินาที^{2} ในกรณีความยาวของเส้นเชือก 90 เซนติเมตร100 เซนติเมตร 110 เซนติเมตร120 เซนติเมตร และ 130เซนติเมตร ตามลำดับซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 0.65

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

อภิปรายผล

ในการอภิรายผลการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะจำแนกออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์ทางทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย (Conical pendulum) เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจตามทฤษฎีอย่างลึกซึ้งมากขึ้นและเป็นการอภิปรายผลในเชิงเปรียบเทียบผลการวิจัยของ Mazza และคนอื่นๆ (Mazza and other,2007

:pp.62-67) ในกรณีตัวแปร ความยาวเส้นเชือก คาบ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความเร็ว และรัศมี และส่วนที่ 2 เป็นการอภิปรายผลของค่าแรงตึงในเส้นเชือกและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาตรฐานดังจะแสดงในรายละเอียดดังนี้

1. อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์ทางทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวยและเปรียบเทียบกับผลการวิจัยที่ผ่านมา

จากผลการทดลองของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย (Conical pendulum) เป็นไปตามหลักทฤษฎีจะพบว่าความเร็วของเครื่องบินบังคับจะมีค่าไม่คงที่ (Jewett and Serway, 2008 : p.138) ในระยะความยาวของเส้นเชือก L ที่ต่างกัน จึงส่งผลให้คาบ และรัศมี ของวงโคจรมีค่าไม่คงที่ตามไปด้วย รายละเอียดความสัมพันธ์ของคาบ รัศมี สำหรับความยาวของเส้นเชือกต่างๆและมีความเร็ว ของวัตถุ ซึ่งเปรียบเทียบค่าของรัศมี ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าคำนวณทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คาบ รัศมี สำหรับความยาวของเส้นเชือกในระยะต่างๆของผลการทดลองและความเร็วของวัตถุ โดยเปรียบเทียบค่าของระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

ความยาวเส้นเชือก $(L;cm)$	คาบ $(T;s)$	เส้นผ่าศูนย์กลาง $(2r;cm)$	ความเร็ว Airspeed $(v;cm\times s^{-1})$	รัศมีจากการทดลอง $(r_{exp};cm)$	รัศมีจากการคำนวณตามทฤษฎี $(r_{theory};cm)$	ความคลาดเคลื่อน $\left(\frac{r_{exp}-r_{theory}}{r_{exp}}\right)\times 100$
90	1.648	120.38	229.36	60.19	60.00	+0.32
90	1.624	121.82	235.54	60.91	61.79	-1.44
90	1.619	126.06	244.49	63.03	62.22	+1.29
90	1.582	128.30	254.65	64.15	65.15	-1.56
90	1.573	133.18	265.85	66.59	65.82	+1.16
100	1.786	121.34	213.33	60.67	60.95	-0.46
100	1.773	122.70	217.30	61.35	62.42	-1.74
100	1.764	126.98	226.03	63.49	63.39	+0.16
100	1.733	131.24	237.79	65.62	66.55	-1.42
100	1.727	136.22	247.67	68.11	67.12	+1.45

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ความยาวเส้นเชือก $(L;cm)$	คาบ $(T;s)$	เส้นผ่าศูนย์กลาง $(2r;cm)$	ความเร็ว Airspeed $(v;cm\times s^{-1})$	รัศมีจากการทดลอง $(r_{exp};cm)$	รัศมีจากการคำนวณตามทฤษฎี $(r_{theory};cm)$	ความคลาดเคลื่อน $\left(\frac{r_{exp}-r_{theory}}{r_{exp}}\right)\times 100$
110	1.940	114.64	185.55	57.32	57.89	-0.99
110	1.925	122.02	199.04	61.01	60.16	+1.39
110	1.901	125.32	207.00	62.66	63.49	-1.33
110	1.892	131.24	217.81	65.62	64.68	+1.43
110	1.889	130.56	217.02	65.28	65.07	+0.32
120	1.919	153.02	250.38	76.51	77.60	-1.42
120	1.869	165.72	278.42	82.86	82.84	+0.02
120	1.842	173.66	296.03	86.83	85.32	+1.74
120	1.802	176.50	307.55	88.25	88.80	-0.62
120	1.769	181.94	322.95	90.97	91.38	-0.45
130	2.036	159.78	246.42	79.89	79.28	+0.76
130	2.031	161.52	249.72	80.76	79.93	+1.03
130	2.018	166.50	259.07	83.25	81.58	+2.01
130	1.987	171.62	271.21	85.81	85.27	+0.63
130	1.975	173.90	276.48	86.95	86.61	+0.39

จากตารางที่5.1 จะพบว่าที่ระยะความยาวของเส้นเชือก 5 ระยะ คือ 90 เซนติเมตร 100 เซนติเมตร 110 เซนติเมตร 120เซนติเมตร และ130 เซนติเมตร การหาคาบการเคลื่อนที่และเส้นผ่าศูนย์กลางของการเคลื่อนที่เพื่อที่จะหาความเร็วของวัตถุ โดยความเร็วของวัตถุนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) คือ $v = \frac{2\pi r}{T}$ และสามารถหารัศมีของวงโคจรตามทฤษฎีได้จากสมการที่ (2.19) $r = \sqrt{L^2 - \left[\frac{gT^2}{4\pi^2}\right]^2}$ ในที่นี้ผู้วิจัยใช้ค่า $g = 9.802 m/s^2$ ซึ่งเป็นค่า g มาตรฐานที่ใช้ในการทดลองทางฟิสิกส์ โดยภาพรวมพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของรัศมีของการเคลื่อนที่ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณตามทฤษฎีในอัตราที่น้อยกว่าร้อยละ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mazza และคนอื่น ๆ (Mazza and other, 2007 :p.65)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2. การอภิปรายผลการหาค่าแรงตึงในเส้นเชือกและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

จากการวิจัยครั้งนี้จากข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 5.1 จะสามารถนำไปสู่การหาแรงตึงในเส้นเชือก (String tension) ในขณะที่เครื่องบินบังคับเคลื่อนที่ (Larson and Grant, 1991: pp.564-565) ตามสมการที่ (2.21) และแรงตึงในเส้นเชือกตามแนวรัศมี (The radial component of the string tension, $F_T^{(r)}$) ตามสมการที่ (2.21) นอกจากนั้นแล้วยังหาค่าเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ตามสมการที่ (2.22) (Mazza and other, 2007 :p.66) ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยตามความยาวของเส้นเชือกแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าแรงตึงในเส้นเชือก แรงเข้าสู่ศูนย์กลางและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองในระยะความยาวของเส้นเชือกต่าง ๆ

ความยาว $(L;\mathrm{cm})$	**แรงตึงในเส้นเชือก** $(F_T;N)$	**แรงตึงเชือกในแนวรัศมี** $(F_T^{(r)};N)$	**ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก** $(g_{exp};m/s^2)$	**ความคลาดเคลื่อน** $\left(\frac{g_{exp}-g_{std}}{g_{exp}}\right)\times 100$
90	0.746	0.493	9.727	-0.75
90	0.767	0.526	9.908	+1.07
90	0.772	0.533	9.664	-1.43
90	0.808	0.584	9.948	+1.47
90	0.818	0.597	9.651	-1.56
100	0.705	0.427	9.829	+0.27
100	0.715	0.446	9.908	+1.07
100	0.722	0.458	9.776	-0.27
100	0.749	0.498	9.909	+1.08
100	0.754	0.506	9.682	-1.24
110	0.657	0.346	9.838	+0.37
110	0.667	0.365	9.742	-0.62
110	0.684	0.395	9.867	+0.66
110	0.691	0.406	9.734	-0.69
110	0.693	0.409	9.786	-0.16
120	0.733	0.474	9.901	+0.99
120	0.772	0.533	9.800	-0.02
120	0.795	0.566	9.628	-1.81

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

120	0.831	0.615	9.876	+0.75
120	0.862	0.656	9.863	+0.62
130	0.705	0.430	9.758	-0.45
130	0.709	0.436	9.741	-0.63
130	0.718	0.450	9.670	-1.37
130	0.740	0.486	9.755	-0.48
130	0.749	0.499	9.772	-0.30

จากตารางที่ 5.2 จะพบว่าที่ระยะความยาวความยาวเส้นเชือกต่าง ๆ 5 ค่า คือ 90 เซนติเมตร 100เซนติเมตร 110 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ 130 เซนติเมตรนั้น ค่าแรงตึงในเส้นเชือกอยู่ระหว่าง 0.657 นิวตัน ถึง 0.862 นิวตัน และค่าแรงตึงของเส้นเชือกในแนวรัศมี มีค่าอยู่ระหว่าง 0.346 นิวตัน ถึง 0.656 นิวตัน และที่สำคัญที่สุดคือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 2

ข้อเสนอแนะ

การวัดรัศมีของวงโคจรต้องมีความละเอียดอ่อนและผู้ทดลองควรมีความระมัดระวัง การบันทึกวีดิโอ ขณะทำการทดลองแล้วใช้ ซอฟแวร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำให้ได้ค่ารัศมีของวงโคจรที่แม่นยำขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี