

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการแกว่งของวงแหวน 3 แบบ ได้แก่ วงแหวนเหล็กเต็มรูป วงแหวนพลาสติกเต็มรูป และวงแหวนพลาสติกบางส่วน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 ไปแล้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

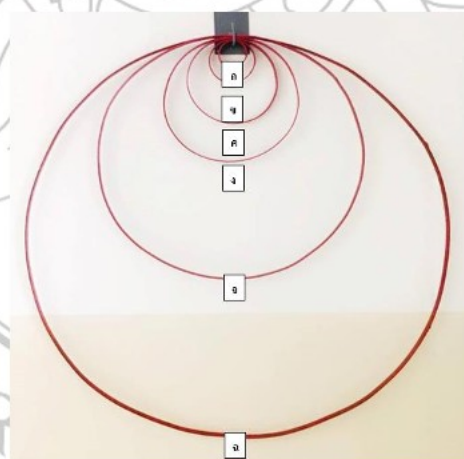
4.1 การแกว่งของวงแหวนเหล็กที่มีขนาดต่างกัน

ในการศึกษาการแกว่งของวงแหวนเหล็กที่มีขนาดต่างกัน ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยวิธีการจับเวลากับเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง และได้หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนเหล็ก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 การหาค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วง

1) การหาค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงด้วยเทคนิคการจับเวลา

เป็นการนำวงแหวนเหล็กทั้ง 6 วง ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ดังภาพที่ 4.1 มาแกว่ง โดยการจับเวลา เมื่อแกว่งครบ 20 รอบ กดยุติเวลาทันที จะได้คาบของการเคลื่อนที่ที่วงแหวนเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ และทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และเมื่อนำไปหาอัตราเร็วเชิงมุม จะได้ข้อมูลจากการทดลอง ดังตารางที่ 4.1



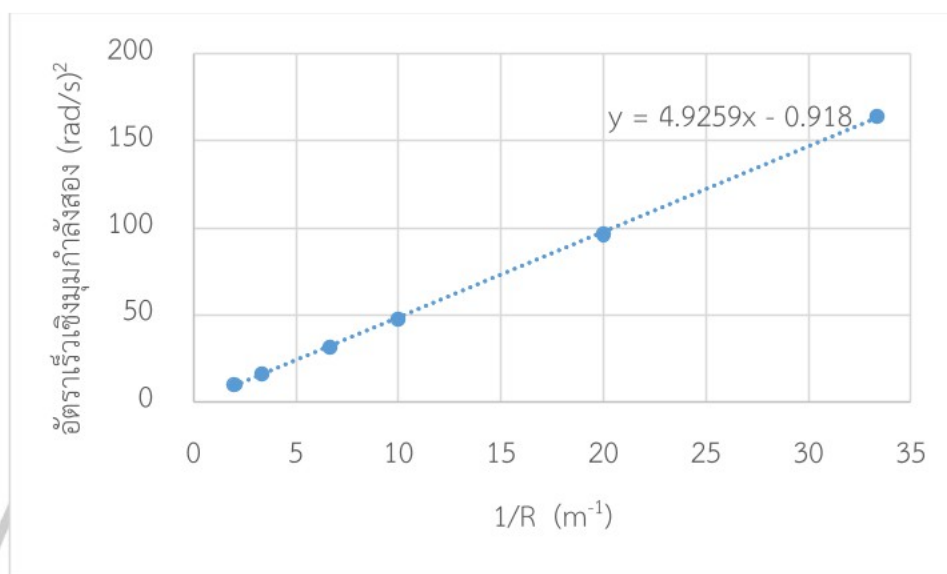
ภาพที่ 4.1 วงแหวนเหล็กขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 4.1 แสดงรูปวงแหวนเหล็กที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ก) วงแหวนเหล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร, ข) วงแหวนเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร, ค) วงแหวนเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร, ง) วงแหวนเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร, จ) วงแหวนเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และ ฉ) วงแหวนเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการแกว่งของวงแหวนเหล็กทั้ง 6 วง ด้วยเทคนิคการจับเวลา

วงที่	รัศมีของ วงแหวน ,R ($R \times 10^{-3}$) (m)	1/R (m^{-1})	เวลาในการแกว่ง 20 รอบ (วินาที)				คาบการ แกว่ง (T) (วินาทีต่อ รอบ)	อัตราเร็ว เชิงมุม กำลังสอง $(\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2})$ (rad/s) ²
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
1	3.34	2.00	9.88	9.81	9.88	9.86	0.49	164.26
2	5.19	3.33	12.58	12.91	12.88	12.79	0.64	96.29
3	10.04	6.67	18.08	18.28	18.09	18.15	0.91	47.63
4	15.03	10.00	22.36	22.04	22.87	22.42	1.12	31.44
5	30.09	20.00	31.35	31.16	30.91	31.14	1.56	16.21
6	49.50	33.33	40.37	40.30	40.10	40.26	2.01	9.76

จากตารางพบว่า วงแหวนใหญ่ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมาก จะมีคาบของการแกว่งมาก แต่จะมีอัตราเร็วเชิงมุมน้อย ส่วนวงแหวนเล็กที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย จะมีคาบของการแกว่งน้อย แต่อัตราเร็วเชิงมุมจะมีค่ามากกว่าวงแหวนใหญ่ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 มาหาความสัมพันธ์ของอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสอง กับส่วนกลับของรัศมี จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 4.2

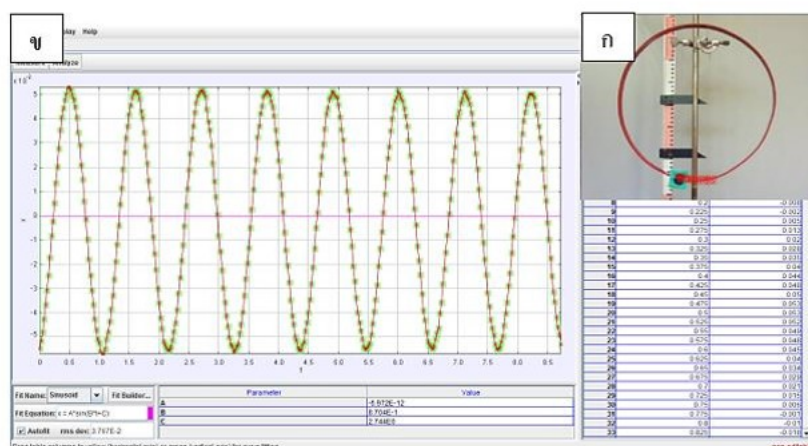


ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี

จากภาพที่ 4.2 จะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่า อัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองแปรผันตรงกับส่วนกลับของรัศมี เมื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากสูตร $g = 2slope$ ของสมการ (2.19) ได้ค่าความชันจากกราฟเท่ากับ 4.93 m/s² ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 9.86$ m/s² และได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.77 %

2. การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง

ในการหาค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง ผู้วิจัยได้บันทึกวิถีไอด้วยความเร็ว 120 เฟรมต่อวินาที ของวงแหวนเหล็กทั้ง 6 วง แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker พบว่า การเคลื่อนที่ของวงแหวนในแนวระดับ มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ ดังภาพที่ 4.3



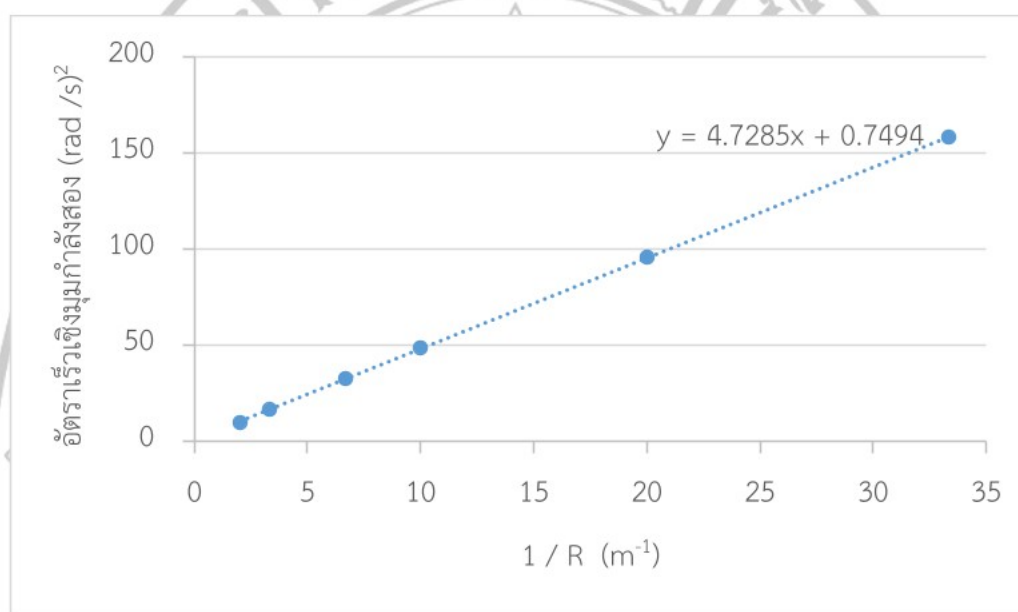
ภาพที่ 4.3 การทดลองหาค่า g ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง ก) รูปการทดลอง และ ข) รูปการติดตามการเคลื่อนที่ของวงแหวนเหล็กในโปรแกรม Tracker

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นการเคลื่อนที่ของวงแหวนในแนวระดับ มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ โดยมีระยะกระจัดกลับไปกลับมาผ่านจุดสมดุล จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker เมื่อใส่สมการ $x = A \sin(Bt + C)$ ลงไปในโปรแกรม Tracker และทำการเปรียบเทียบกับสมการการเคลื่อนที่ $x = A \sin(\omega t + \phi)$ จะพบว่า ค่าอัตราเร็วเชิงมุม (ω) มีค่าเท่ากับ B สามารถหาได้ในการทดลองแต่ละครั้ง จะได้ข้อมูลจากการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของรัศมีของวงแหวน และอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองของวงแหวนเหล็กทั้ง 6 วง ด้วยเทคนิควิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง

วงที่	รัศมีของ วงแหวน , R (m)	1/R (m ⁻¹)	อัตราเร็วเชิงมุมกำลังสอง (ω^2) จาก Tracker (rad/s) ²
1	0.03	33.33	12.57
2	0.05	20.00	9.78
3	0.10	10.00	6.97
4	0.15	6.67	5.69
5	0.30	3.33	4.02
6	0.50	2.00	3.13

จากตารางพบว่า วงแหวนใหญ่ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมาก จะมีคาบของการแกว่งมาก แต่จะมีอัตราเร็วเชิงมุมน้อย ส่วนวงแหวนเล็กที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย จะมีคาบของการแกว่งน้อย แต่อัตราเร็วเชิงมุมจะมีค่ามากกว่าวงแหวนใหญ่ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่า อัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองแปรผันตรงกับส่วนกลับของรัศมี เมื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากสูตร $g = 2 \text{slope}$ ของสมการ (2.19) ได้ค่าความชันจากกราฟเท่ากับ 4.73 m/s^2 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 9.46 \text{ m/s}^2$ และได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 3.32 %

การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยวิธีการจับเวลากับเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง ทั้ง 2 วิธีจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกำลังสองกับส่วนกลับของรัศมี มีลักษณะเป็นเส้นตรง และได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกใกล้เคียงกัน จะเห็นว่า การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงสามารถทำให้เห็นภาพเส้นทางการเคลื่อนที่ของวงแหวนได้ชัดเจนและเข้าใจการเคลื่อนที่มากยิ่งขึ้น ดังผลการศึกษาของ Loo Kang WEE, Charles CHEW, Giam Hwee GOH, Samuel

TAN and Tat Leong LEE (2010) ซึ่งพบว่า การวิเคราะห์วิดีโอของการเคลื่อนที่จริง ทำให้นักเรียนได้รับความเข้าใจลึกซึ้ง ในการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการสอนแบบใหม่ วิธีการนี้เรียกว่า “การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงจาก” นอกจากนี้ Andre Heck and Peter Uylings (2010) ได้ศึกษาพบว่า แบบจำลองช่วยให้นักเรียนสามารถสรุป ได้อย่างชัดเจน ไม่ต้องเชื่อสิ่งที่ตำราเรียนกล่าวไว้ เมื่อนักเรียนมีเครื่องมือการสร้างแบบจำลอง ที่พวกเขาทำได้เอง เพื่อแก้สมการของการเคลื่อนที่ สามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล เชิงทดลองกับข้อมูลเชิงทดลองทฤษฎีได้

4.1.2 การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I)

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง มาศึกษาเส้นทางการแกว่งของวงแหวน ทำให้ได้ค่าอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ในการแกว่งวงแหวน และเมื่อนำไปแทนในสมการ $I = \frac{mgR}{\omega^2}$ จะสามารถหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนได้ ต่อไปผู้วิจัยจะใช้สัญลักษณ์ เป็น I_{Tracker} เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker และเมื่อนำค่า I_{Tracker} มาเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนที่มาจากสมการ $I = 2mR^2 (I_{\text{ทฤษฎี}})$ จะได้ข้อมูล ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker เทียบกับโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากทางทฤษฎี

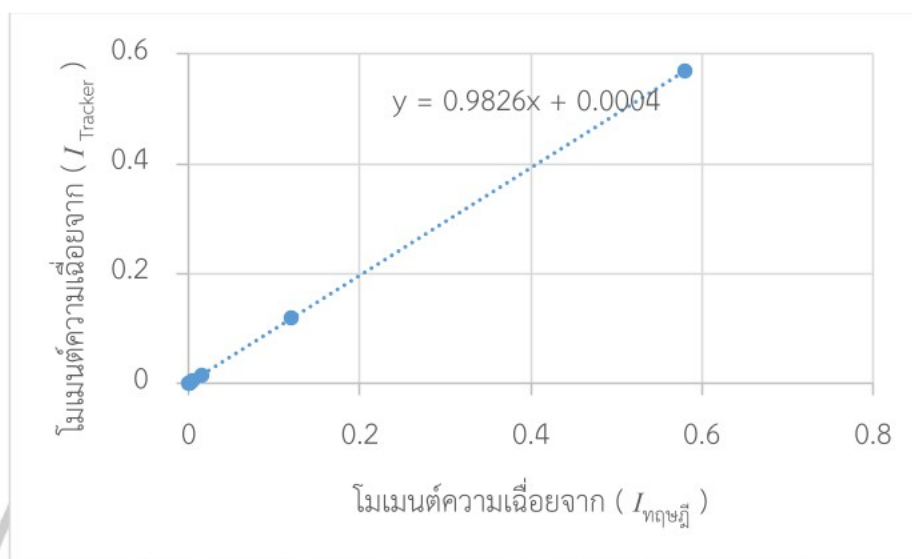
รัศมีของ วงแหวน , R (m)	มวล , m (kg)	อัตราเร็ว เชิงมุม (ω_{Tracker}) จากโปรแกรม Tracker (rad/s)	โมเมนต์ ความเฉื่อย ($I_{\text{Tracker}} \times 10^{-4}$) $I = \frac{mgR}{\omega^2}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	โมเมนต์ ความเฉื่อย ($I_{\text{ทฤษฎี}} \times 10^{-4}$) $I = 2mR^2$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	ร้อยละความ แตกต่างของ โมเมนต์ ความเฉื่อย $I_{\text{Tracker}} = \frac{mgr}{\omega_0^2}$ และ $I_{\text{Theory}} = 2mr^2$
0.03	0.07	12.57	1.26	1.26	0
0.05	0.11	9.78	5.50	5.50	0

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker เทียบกับโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากทางทฤษฎี

รัศมีของ วงแหวน , R (m)	มวล , m (kg)	อัตราเร็ว เชิงมุม (ω_{Tracker}) จากโปรแกรม Tracker (rad/s)	โมเมนต์ ความเฉื่อย ($I_{\text{Tracker}} \times 10^{-4}$) $I = \frac{mgR}{\omega^2}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	โมเมนต์ ความเฉื่อย ($I_{\text{ทฤษฎี}} \times 10^{-4}$) $I = 2mR^2$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	ร้อยละความ แตกต่างของ โมเมนต์ ความเฉื่อย $I_{\text{Tracker}} = \frac{mgr}{\omega_0^2}$ และ $I_{\text{Theory}} = 2mr^2$
0.10	0.23	6.97	50.00	50.00	0
0.15	0.34	5.69	200.00	200.00	0
0.30	0.68	4.02	1200.00	1200.00	0
0.50	1.15	3.13	5700.00	5800.00	1.74
ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ย					0.29

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า วงแหวนหลักใหญ่ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมาก จะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก ส่วนวงแหวนหลักเล็กที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย จะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I_{Tracker})

จากสูตร $I = \frac{mgR}{\omega^2}$ และค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ($I_{\text{ทฤษฎี}}$) จากสูตร $I = 2mR^2$ พบว่า ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ดังจะเห็นในภาพที่ 4.5

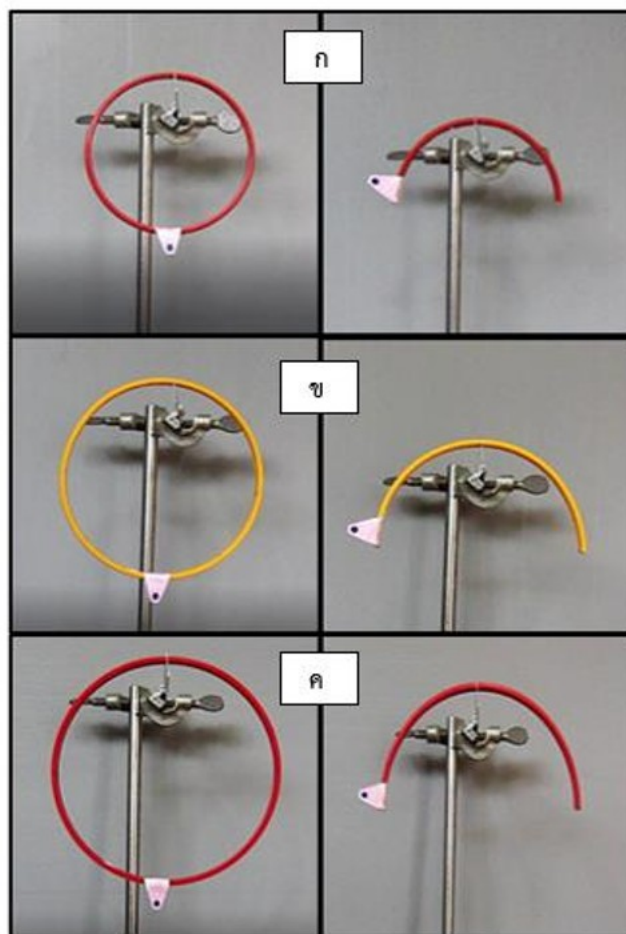


ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อย $I_{Tracker}$ กับโมเมนต์ความเฉื่อย $I_{ทฤษฎี}$

จากภาพที่ 4.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อย $I_{Tracker}$ กับโมเมนต์ความเฉื่อย $I_{ทฤษฎี}$ พบว่า ได้กราฟเส้นตรง ถ้าข้อมูลแกน x และ y มีค่าเท่ากัน จะมีความชันเท่ากับ 1 จากการทดลองนี้ ได้ความชันเท่ากับ 0.98 แสดงข้อมูลบนแกน x และ y ว่าจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้น การทดลองโดยใช้เทคนิควิเคราะห์ห้วงวิดีโอความเร็วสูง สามารถอธิบายโมเมนต์ความเฉื่อยจากการแกว่งของวงแหวนเหล็ก เมื่อวงแหวนเหล็กมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ได้ค่อนข้างดี

4.2 การแกว่งของวงแหวนพลาสติกที่มีขนาดต่างกัน

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการแกว่งของวงแหวนพลาสติกเต็มรูปกับการแกว่งวงแหวนพลาสติกที่ถูกตัดออกบางส่วนดังภาพที่ 4.6 โดยผู้วิจัยได้ทำการหาค่าคาบการแกว่งของวงแหวนทั้งสองลักษณะโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้วงวิดีโอความเร็วสูง แล้วนำมาเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.6 โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้



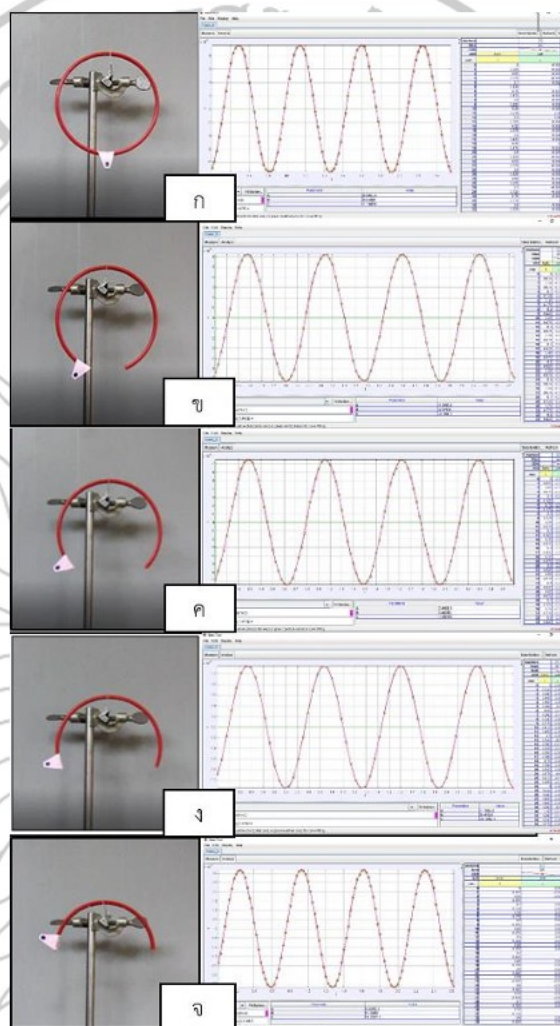
ภาพที่ 4.6 วงแหวนพลาสติกเต็มรูปกับวงแหวนพลาสติกที่ถูกตัดออกบางส่วน
 ก) วงแหวนพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร, ข) วงแหวนพลาสติกที่มีขนาด
 เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.14 เมตร และ ค) วงแหวนพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.16 เมตร

จากภาพที่ 4.6 เป็นตัวอย่างของวงแหวนพลาสติกเต็มรูปและบางส่วน ที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลอง
 สำหรับตอนนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การแกว่งของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.10 เมตร

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองศึกษาการแกว่งวงแหวนพลาสติกทั้งแบบเต็มรูป
 และแบบบางส่วน ซึ่งวงแหวนพลาสติกบางส่วนนั้นผู้วิจัยได้ทำการตัดจากวงแหวนพลาสติกเต็มรูป
 โดยตัดเป็นส่วนๆ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ 1. 0.10m (0) 2. 0.10m (1/8) 3. 0.10m (2/8)
 4. 0.10m (3/8) และ 5. 0.10m เมตร (4/8) ซึ่งหมายความว่าตามลำดับต่อไปนี้ เงื่อนไขที่ 1
 เป็นวงแหวนขนาด 0.10 เมตร เต็มรูป เงื่อนไขที่ 2 เป็นวงแหวนขนาด 0.10 เมตร และถูกตัดออก

1/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 3 เป็นวงแหวนขนาด 0.10 เมตร และถูกตัดออก 2/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 4 เป็นวงแหวนขนาด 0.10 เมตร และถูกตัดออก 3/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 5 เป็นวงแหวนขนาด 0.10 เมตร และถูกตัดออก 4/8 ของวงแหวนเต็มรูป ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 วงแหวนพลาสติกเต็มรูปกับวงแหวนพลาสติกที่ถูกตัดออกบางส่วนตามเงื่อนไข ก) 0.10m (0), ข) 0.10m (1/8), ค) 0.10m (2/8), ง) 0.10m (3/8), และ จ) 0.10m (4/8)

เมื่อปล่อยวงแหวนพลาสติก ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ขณะเดียวกันได้บันทึกวิดีโอความเร็วสูง ด้วยอัตรา 120 fps แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.4

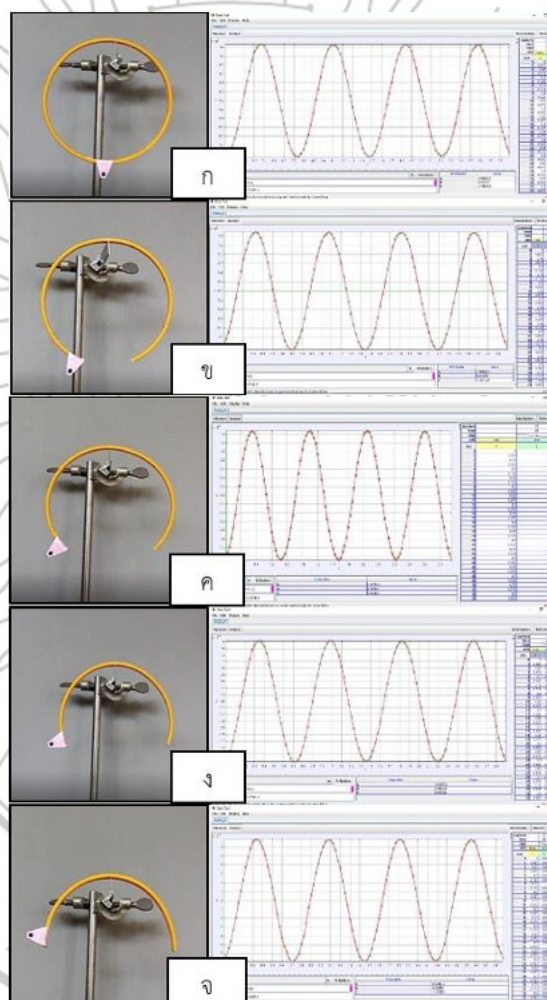
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลคาบของการแกว่งที่ได้มาจากทางทฤษฎีและทางโปรแกรม Tracker ของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.10 m เต็มรูปและบางส่วน

เงื่อนไขที่	รัศมี วงแหวน , R (m)	ข้อมูล จากทฤษฎี	ข้อมูลจาก Tracker		%error ของ คาบการ แกว่ง
		คาบของการแกว่ง (T) $T = 2\pi \sqrt{\frac{I_A}{mgR}}$ (วินาทีต่อรอบ)	อัตราเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	คาบของ การแกว่ง (T) $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (วินาทีต่อ รอบ)	
1. 0.10m (0)	0.05	0.63	9.41	0.67	6.35
2. 0.10m (1/8)	0.05	0.63	9.20	0.68	7.93
3. 0.10m (2/8)	0.05	0.63	9.40	0.67	6.35
4. 0.10m (3/8)	0.05	0.63	9.47	0.66	4.76
5. 0.10m (4/8)	0.05	0.63	9.54	0.66	4.76
%error เฉลี่ย					6.03

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า คาบการแกว่งของวงแหวนพลาสติกเต็มรูปและบางส่วน จากสมการที่ (2.5) ใช้สูตรเดียวกัน ทำให้คำนวณได้คาบเท่ากัน คือ 0.63 วินาทีต่อรอบ นั้นหมายความว่า เมื่อแกว่งวงแหวนเต็มรูปกับบางส่วน วงแหวนทั้งสองลักษณะ จะใช้เวลาในการ ครอบรอบเท่ากัน เมื่อสังเกตผลจากการทดลอง โดยใช้เทคนิควิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง จะเห็นว่า คาบ การแกว่งของวงแหวนทั้งสองลักษณะ มีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีค่าประมาณ 0.66 วินาทีต่อรอบ และได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากทฤษฎี 6.03 %

4.2.2 การแกว่งของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.14 เมตร

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองศึกษาการแกว่งวงแหวนพลาสติกทั้งแบบเต็มรูปและแบบบางส่วน ซึ่งวงแหวนพลาสติกบางส่วนนั้นผู้วิจัยได้ทำการตัดจากวงแหวนพลาสติกเต็มรูปโดยตัดเป็นส่วนๆ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ 1. 0.14m (0) 2. 0.14m (1/8) 3. 0.14m (2/8) 4. 0.14m (3/8) และ 5. 0.14m (4/8) ซึ่งหมายความว่าตามลำดับต่อไปนี้ เงื่อนไขที่ 1 เป็นวงแหวนขนาด 0.14 เมตร เต็มรูป เงื่อนไขที่ 2 เป็นวงแหวนขนาด 0.14 เมตร และถูกตัดออก 1/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 3 เป็นวงแหวนขนาด 0.14 เมตร และถูกตัดออก 2/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 4 เป็นวงแหวนขนาด 0.14 เมตร และถูกตัดออก 3/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 5 เป็นวงแหวนขนาด 0.14 เมตร และถูกตัดออก 4/8 ของวงแหวนเต็มรูป ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 วงแหวนพลาสติกเต็มรูปกับวงแหวนพลาสติกที่ถูกตัดออกบางส่วนตามเงื่อนไข
ก) 0.14m (0), ข) 0.14m (1/8), ค) 0.14m (2/8), ง) 0.14m (3/8), และ จ) 0.14m (4/8)

เมื่อปล่อยวงแหวนพลาสติก ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ขณะเดียวกันได้บันทึกวิดีโอความเร็วสูงด้วยอัตรา 120 fps แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.5

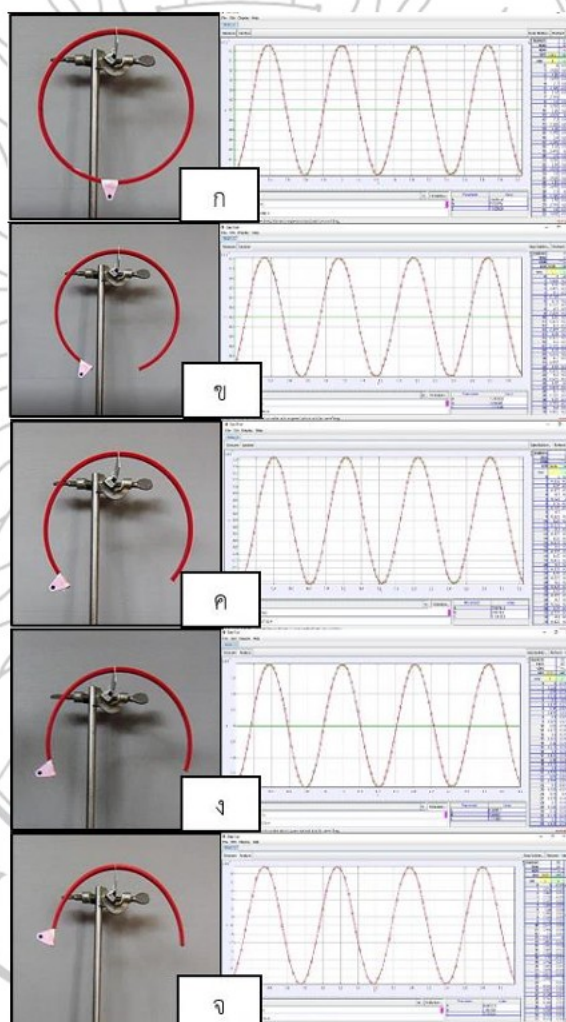
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลคาบของการแกว่งที่ได้มาจากทางทฤษฎีและทางโปรแกรม Tracker ของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.14 m เต็มรูปและบางส่วน

เงื่อนไขที่	รัศมี วงแหวน , R (m)	ข้อมูล จากทฤษฎี	ข้อมูลจาก Tracker		%error ของ คาบการ แกว่ง
		คาบของการแกว่ง (T) $T = 2\pi \sqrt{\frac{I_A}{mgR}}$ (วินาทีต่อรอบ)	อัตราเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	คาบของ การแกว่ง (T) $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (วินาทีต่อ รอบ)	
1. 0.14m (0)	0.07	0.75	8.50	0.74	1.33
2. 0.14m (1/8)	0.07	0.75	8.51	0.74	1.33
3. 0.14m (2/8)	0.07	0.75	8.53	0.74	1.33
4. 0.14m (3/8)	0.07	0.75	8.36	0.75	0.00
5. 0.14m (4/8)	0.07	0.75	8.43	0.74	1.33
%error เฉลี่ย					1.06

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า คาบการแกว่งของวงแหวนพลาสติกเต็มรูปและบางส่วนจากสมการที่ (2.5) ใช้สูตรเดียวกัน ทำให้คำนวณได้คาบเท่ากัน คือ 0.75 วินาทีต่อรอบ นั้นหมายความว่า เมื่อแกว่งวงแหวนเต็มรูปกับบางส่วน วงแหวนทั้งสองลักษณะ จะใช้เวลาในการครบรอบเท่ากัน เมื่อสังเกตผลจากการทดลอง โดยใช้เทคนิควิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง จะเห็นว่า คาบการแกว่งของวงแหวนทั้งสองลักษณะ มีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีค่าประมาณ 0.74 วินาทีต่อรอบ และได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากทฤษฎี 1.06 %

4.2.3 การแกว่งของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.16 เมตร

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองศึกษาการแกว่งวงแหวนพลาสติกทั้งแบบเต็มรูปและแบบบางส่วน ซึ่งวงแหวนพลาสติกบางส่วนนั้นผู้วิจัยได้ทำการตัดจากวงแหวนพลาสติกเต็มรูปโดยตัดเป็นส่วนๆ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ 1. 0.16m (0) 2. 0.16m (1/8) 3. 0.16m (2/8) 4. 0.16m (3/8) และ 5. 0.16m (4/8) ซึ่งหมายความว่าตามลำดับต่อไปนี้ เงื่อนไขที่ 1 เป็นวงแหวนขนาด 0.16 เมตร เต็มรูป เงื่อนไขที่ 2 เป็นวงแหวนขนาด 0.16 เมตร และถูกตัดออก 1/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 3 เป็นวงแหวนขนาด 0.16 เมตร และถูกตัดออก 2/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 4 เป็นวงแหวนขนาด 0.16 เมตร และถูกตัดออก 3/8 ของวงแหวนเต็มรูป เงื่อนไขที่ 5 เป็นวงแหวนขนาด 0.16 เมตร และถูกตัดออก 4/8 ของวงแหวนเต็มรูป ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 วงแหวนพลาสติกเต็มรูปกับวงแหวนพลาสติกที่ถูกตัดออกบางส่วนตามเงื่อนไข

ก) 0.16m (0), ข) 0.16m (1/8), ค) 0.16m (2/8), ง) 0.16m (3/8), และ จ) 0.16m (4/8)

เมื่อปล่อยวงแหวนพลาสติก ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ขณะเดียวกันได้บันทึกวิดีโอความเร็วสูงด้วยอัตรา 120 fps แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลคาบของการแกว่งที่ได้มาจากทางทฤษฎีและทางโปรแกรม Tracker ของวงแหวนพลาสติกขนาด 0.16 m เต็มรูปและบางส่วน

เงื่อนไขที่	รัศมี วงแหวน , R (m)	ข้อมูล จากทฤษฎี	ข้อมูลจาก Tracker		%error ของ คาบการ แกว่ง
		คาบของการแกว่ง (T) $T = 2\pi \sqrt{\frac{I_A}{mgR}}$ (วินาทีต่อรอบ)	อัตราเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	คาบของ การแกว่ง (T) $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (วินาทีต่อ รอบ)	
1. 0.16m (0)	0.08	0.80	7.65	0.82	2.50
2. 0.16m (1/8)	0.08	0.80	7.66	0.82	2.50
3. 0.16m (2/8)	0.08	0.80	7.60	0.83	3.75
4. 0.16m (3/8)	0.08	0.80	7.71	0.81	1.25
5. 0.16m (4/8)	0.08	0.80	7.64	0.82	2.50
%error เฉลี่ย					2.50

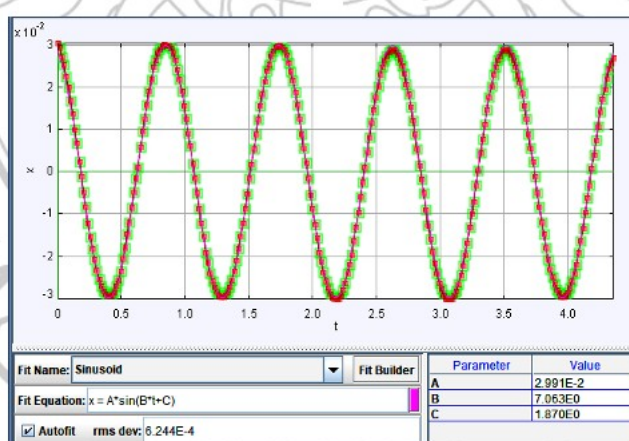
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า คาบการแกว่งของวงแหวนพลาสติกเต็มรูปและบางส่วนใช้สูตรเดียวกัน ทำให้คำนวณได้คาบเท่ากัน คือ 0.80 วินาทีต่อรอบ นั้นหมายความว่า เมื่อแกว่งวงแหวนเต็มรูปกับบางส่วน วงแหวนทั้งสองลักษณะ จะใช้เวลาในการครบรอบเท่ากัน เมื่อสังเกตผลการทดลอง โดยใช้เทคนิควิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงจะเห็นว่า คาบการแกว่งของวงแหวนทั้งสองลักษณะ มีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีค่าประมาณ 0.82 วินาทีต่อรอบ และได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากทฤษฎี 2.50 %

4.2 ผลการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูง เรื่อง การแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากิจกรรมเสริมการเรียนรู้นอกห้องเรียนเพื่อพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง “การแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน” เป็น 2 ลักษณะ คือ การศึกษาการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูงและการศึกษาอย่างอิสระ โดยกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูงได้พัฒนามาจากผลการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา เนื้อหาของกิจกรรมเน้นให้นักศึกษาใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การสังเกต การพยากรณ์ การคำนวณ การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกกับสเปส และสเปกกับเวลา การลงความเห็นจากข้อมูล และการตีความหมายข้อมูล และการลงข้อมูล จากหัตถ์โอความเร็วสูง ที่ผ่านการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่และวิเคราะห์ลักษณะการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนแบบเต็มรูปและแบบบางส่วน ตัวอย่างของเนื้อหาในกิจกรรมแสดงดังภาพที่ 4.10



(ก)



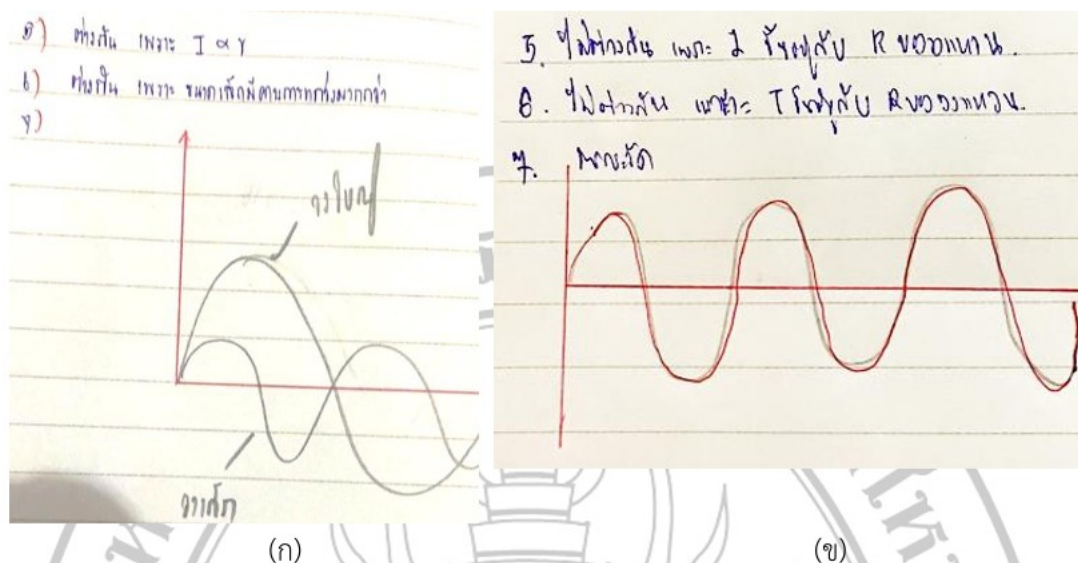
(ข)

ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างเนื้อหาในกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่อง การแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูง

จากภาพที่ 4.10 แสดงตัวอย่างเนื้อหาในกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน โดยมีการเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างวงแหวนเต็มรูปและวงแหวนบางส่วน ดังภาพที่ 4.10 (ก) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูง จะเห็นความความสัมพันธ์ของตำแหน่ง กับเวลาของทั้งสองลักษณะเป็นดังภาพที่ 4.10 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการติดตามเคลื่อนที่ได้ความสัมพันธ์ของตำแหน่ง กับเวลาเป็นคลื่นรูปไซน์ โดยทั้งสองลักษณะมีคาบการเคลื่อนที่เท่ากัน นั้นแสดงให้เห็นว่าคาบการเคลื่อนที่ไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงแหวน หากวงแหวนมีรัศมีเท่ากัน คาบก็จะมีค่าเท่ากัน และเนื้อหาสำคัญตรงจุดนี้ผู้วิจัยได้นำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มความเข้าใจให้นักศึกษาผ่านกิจกรรมการเสริมเรียนรู้

สำหรับขั้นตอนการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ นั้น ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาครูสาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไปชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และมีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่มที่ 2 (กลุ่มควบคุม) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูงและศึกษาด้วยตนเองอย่างอิสระ ตามลำดับ แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักศึกษาจำนวนกลุ่มละ 20 คน โดยสมาชิกในแต่ละกลุ่มทำงานร่วมกันเป็นคู่ (cooperative learning) เพื่อให้ให้นักศึกษาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อน และเรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่มดังนั้นแต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักศึกษา 10 คู่ ทั้งนี้ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลนี้เป็นช่วงที่อยู่ในสภาวะการการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ระลอกที่ 3 นั่นคือเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 1 – 3 มิถุนายน 2564 ผู้วิจัยได้มีการปรับปรุงการทำกิจกรรมเป็นแบบออนไลน์

กลุ่มตัวอย่างแต่ละคู่จะร่วมกันทำกิจกรรมตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดกิจกรรมทั้งสองวัน ซึ่งก่อนและหลังทำกิจกรรมกลุ่มตัวอย่างได้ถูกตรวจสอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วยแบบทดสอบเรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน และตัวอย่างการตอบคำถามในแบบทดสอบของทั้งสองกลุ่มก่อนและหลังทำกิจกรรม (กลุ่มทดลองและ กลุ่มควบคุม) จากกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ตัวอย่างการตอบคำถามข้อที่ 5 - 7 ในแบบทดสอบกิจกรรมเสริมการเรียนรู้โดยกลุ่มตัวอย่างคู่ที่ 3 ในกลุ่มทดลอง (ก) การตอบคำถามก่อนทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ (ข) การตอบคำถามหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้

จากภาพที่ 4.11 แสดงตัวอย่างการตอบคำถามในแบบทดสอบกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่อง การแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน ข้อที่ 5 - 7 โดยกลุ่มตัวอย่างคู่ที่ 3 ในกลุ่มทดลอง ซึ่งภาพที่ 4.11 (ก) แสดงการเขียนทำนาย หรือการเขียน คำตอบก่อนทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ ภาพที่ 4.11 (ข) แสดงการเขียนคำตอบภายหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ โดยคำถามก่อนและหลังทำกิจกรรมจะมี ลักษณะเหมือนกัน นั่นคือ ให้กลุ่มตัวอย่างอธิบายความสัมพันธ์ของโมเมนต์ความเฉื่อยกับลักษณะของ วงแหวน และให้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างวง แหวนบางส่วนใหญ่และเล็ก

5. โหมดความถี่ของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” ต่างกันหรือไม่ อย่างไร

คำตอบ = ต่างกัน
เพราะ = เส้นรอบวงไม่เท่ากัน

6. วงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แกว่งด้วยคาบต่างกันหรือไม่ อย่างไร

คำตอบ = ไม่ต่างกัน
เพราะ = รัศมีเท่ากัน

7. จงวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจัดจากแนวสมมูลกับเวลาของบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” (แบบคร่าว ๆ เพื่อเปรียบเทียบคาบของทั้งสองวง)



(ก)

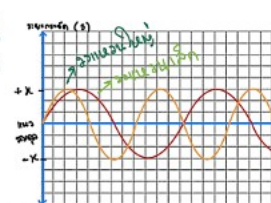
5. โหมดความถี่ของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” ต่างกันหรือไม่ อย่างไร

คำตอบ = ต่างกัน
เพราะ = รัศมีต่างกัน

6. วงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แกว่งด้วยคาบต่างกันหรือไม่ อย่างไร

คำตอบ = ต่างกัน
เพราะ = รัศมีต่างกัน

7. จงวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจัดจากแนวสมมูลกับเวลาของบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” (แบบคร่าว ๆ เพื่อเปรียบเทียบคาบของทั้งสองวง)



(ข)

ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างการตอบคำถามข้อที่ 5 – 7 ในแบบทดสอบกิจกรรมเสริมการเรียนรู้โดยกลุ่มตัวอย่างคู่ที่ 1 ของกลุ่มควบคุม (ก) การตอบคำถามก่อนทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ (ข) การตอบคำถามหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้

จากภาพที่ 4.12 แสดงตัวอย่างการตอบคำถามในแบบทดสอบกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน ข้อ 5 – 7 โดยกลุ่มตัวอย่างคู่ที่ 1 ของกลุ่มควบคุม และใช้ข้อสอบชุดเดียวกันกับกลุ่มทดลอง

หลังจากทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้นำคำตอบของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกคำตอบดังกล่าวออกเป็น 5 ประเภท ตามระดับแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่แสดงในคำตอบนั้น ๆ ว่าอยู่ในระดับใด ได้แก่ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (SU) แนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU & MU) แนวคิดที่คลาดเคลื่อน (SM) และไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (NU) จำนวนข้อมูลจำนวนกลุ่มย่อยที่แสดงแนวคิดในแต่ละระดับถูกนำมาหาค่าร้อยละแสดงด้วยข้อมูลตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.8 ผลการจำแนกแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของกลุ่ม

ตัวอย่าง 2 กลุ่ม (กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มทดลอง และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มควบคุม)

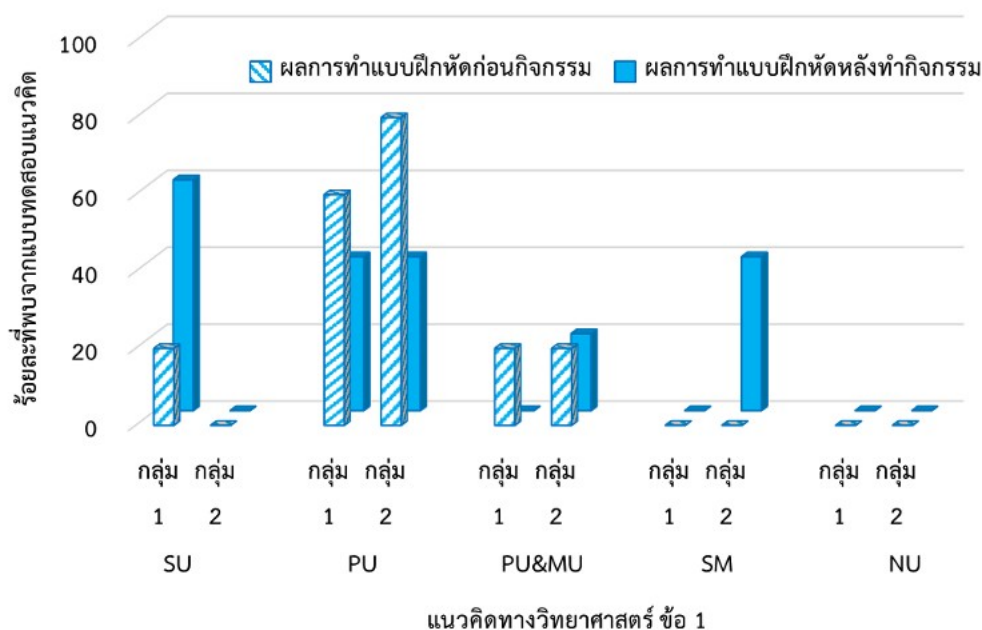
ประเด็น	กลุ่ม ตัวอย่าง	ร้อยละของคำตอบจำแนกตามแนวคิด									
		ก่อนทำกิจกรรม					หลังทำกิจกรรม				
		SU	PU	PU& MU	SM	NU	SU	PU	PU& MU	SM	NU
1.โมเมนต์ความเฉื่อยของ วงแหวนวงใหญ่กับวงเล็ก	กลุ่ม 1	20	60	20	0	0	60	40	0	0	0
	กลุ่ม 2	0	80	20	0	0	0	40	20	40	0
2.คาบของวงแหวนวงใหญ่ กับวงเล็ก	กลุ่ม 1	0	60	20	20	0	80	20	0	0	0
	กลุ่ม 2	0	0	0	100	0	0	60	40	0	0
3.กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระยะกระจัดจาก แนวสมดุลกับเวลาของวง แหวนใหญ่กับเล็ก	กลุ่ม 1	0	40	20	0	40	60	20	0	20	0
	กลุ่ม 2	0	0	0	20	80	20	20	0	60	0
4.ความสัมพันธ์ระหว่าง คาบการแกว่งมีกับรัศมีของ วงแหวน	กลุ่ม 1	0	0	20	80	0	40	40	20	0	0
	กลุ่ม 2	0	20	20	40	20	0	40	60	0	0
5.โมเมนต์ความเฉื่อยของ วงแหวนบางส่วน “ใหญ่ กับเล็ก” วงแหวน	กลุ่ม 1	0	40	40	20	0	60	0	40	0	0
	กลุ่ม 2	0	40	0	20	40	0	40	20	40	0
6. คาบของวงแหวน บางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” วง แหวน	กลุ่ม 1	0	60	0	40	0	60	40	0	0	0
	กลุ่ม 2	0	60	20	0	20	0	20	0	80	0
7. กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระยะกระจัดจาก แนวสมดุลกับเวลาของ บางส่วน “ใหญ่กับเล็ก”	กลุ่ม 1	0	20	0	40	40	60	20	0	20	0
	กลุ่ม 2	0	0	0	0	100	0	20	0	80	0
ค่าร้อยละเฉลี่ยจาก ข้อ 1 – ข้อ 7	กลุ่ม 1	2.86	40.00	17.14	28.57	11.43	60.00	25.71	8.57	5.71	0.00
	กลุ่ม 2	0.00	28.57	8.57	25.71	37.14	2.86	34.29	20.00	42.86	0.00

หมายเหตุ เช่นกรณีแนวคิด SU เท่ากับร้อยละ 10 หมายถึงมีคำตอบ SU จำนวน 1 คำตอบจาก

จำนวนทั้งหมด 10 คำตอบ

ประเด็นคำถามในแบบทดสอบ แยกเป็น 7 ประเด็นหลัก คือ (1) โหมดความถี่ของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็ก (2) คาบของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็ก (3) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดจากแนวสมมูลกับเวลาของวงแหวนใหญ่กับวงเล็ก (4) ความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งมีกับรัศมีของวงแหวน (5) โหมดความถี่ของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” วงแหวน (6) คาบของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” วงแหวน (7) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดจากแนวสมมูลกับเวลาของบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” รายละเอียดและผลการวิเคราะห์คำตอบของกลุ่มตัวอย่าง มีดังต่อไปนี้

คำถามข้อที่ 1 คือ “โหมดความถี่ของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็ก ต่างกันหรือไม่อย่างไร” แนวคำตอบคือ “แตกต่างกัน โดยโหมดความถี่ของวงแหวนขึ้นอยู่กับ มวลและรัศมีของวงแหวน และวงแหวนวงใหญ่มีโหมดความถี่มากกว่าวงแหวนวงเล็ก” ผลการวิจัยพบว่าก่อนทำกิจกรรม นักศึกษาส่วนมาก กลุ่มทดลอง (กลุ่มที่ 1) ร้อยละ 60 และนักศึกษากลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ 2) ร้อยละ 80 มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) เนื่องจากอธิบายโหมดความถี่ของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็กได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน เช่น “โหมดความถี่ของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็กมีค่าต่างกัน เพราะรัศมีของขนาดใหญ่มีค่ามากกว่าขนาดเล็ก” นักศึกษาไม่ได้บอกถึงมวลที่ต่างกันของวงแหวน และเมื่อผ่านการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้แล้ว พบว่านักศึกษากลุ่มทดลองแสดงการมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 60 โดยสามารถอธิบายโหมดความถี่ของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็กได้ถูกต้องและครบถ้วน และพบว่านักศึกษากลุ่มควบคุม มีการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) ลดลง โดยแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) เพิ่มขึ้น จากการสอบถามนักศึกษา พบว่าเมื่อนักศึกษาทำการศึกษาด้วยตัวเองจากแหล่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตนักศึกษามีความสับสนกับสมการของโหมดความถี่จึงทำให้เขียนคำตอบไม่ถูกต้อง เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลแสดงเป็นกราฟแท่ง แสดงดังภาพที่ 4.13

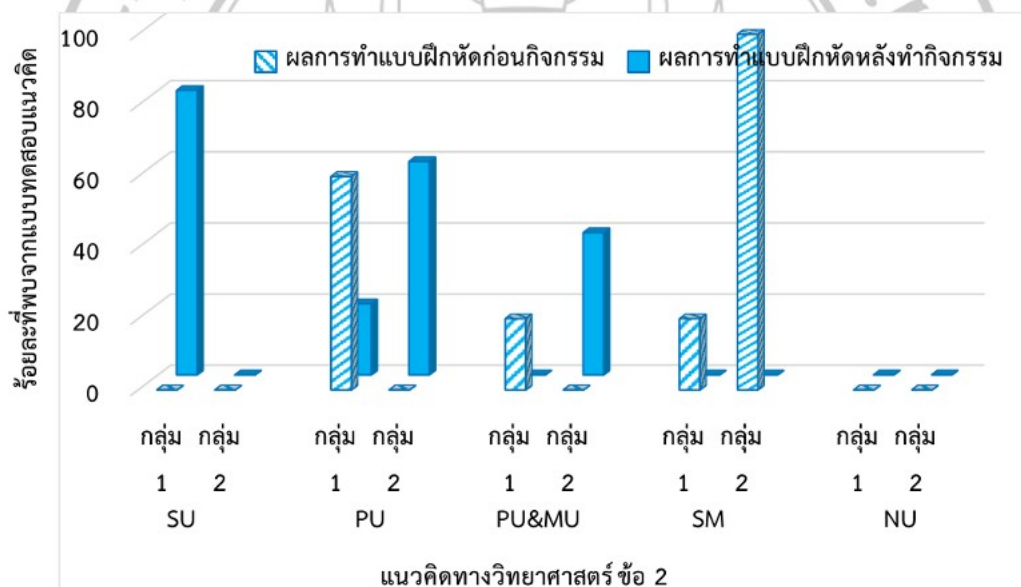


ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 1 ก่อน และหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มควบคุมสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูงสามารถทำให้นักศึกษาอธิบายโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนวงใหญ่กับวงเล็กได้ถูกต้องมากขึ้น

คำถามข้อที่ 2 คือ “วงแหวนวงใหญ่กับวงเล็กแกว่งด้วยคาบต่างกันหรือไม่ อย่างไร” แนวคำตอบคือ “แตกต่างกัน เนื่องจากคาบการเคลื่อนที่ของวงแหวนแปรผันตรงกับรากที่สองของรัศมีวงแหวน นั่นคือ วงแหวนใหญ่จะมีคาบการเคลื่อนที่มากกว่าวงแหวนเล็ก” ผลการศึกษาพบว่าก่อนทำกิจกรรมนักศึกษาในกลุ่มทดลองส่วนมาก คือค่าเฉลี่ยร้อยละ 60 แสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) เนื่องจากสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งและขนาดวงแหวนได้ เช่น “แกว่งด้วยคาบที่ต่างกัน เพราะขนาดต่างกัน” โดยไม่ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของขนาดหรือรัศมีของวงแหวนกับคาบ เป็นต้น แต่สำหรับกลุ่มควบคุมพบว่าก่อนทำกิจกรรมนักศึกษาร้อยละ 100 แสดงแนวคิดคลาดเคลื่อน เนื่องจากอธิบายว่า “แกว่งด้วยคาบที่ไม่ต่างกัน เพราะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของวงแหวน” ทั้งนี้แนวคิดที่พบก่อนทำกิจกรรมนี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดหรือความรู้เดิมจากประสบการณ์เก่าที่นักศึกษาติดตัวมาก่อน ดังนั้นนักศึกษาจึงอธิบายตามความเข้าใจของตนเอง และเมื่อผ่านการทำ

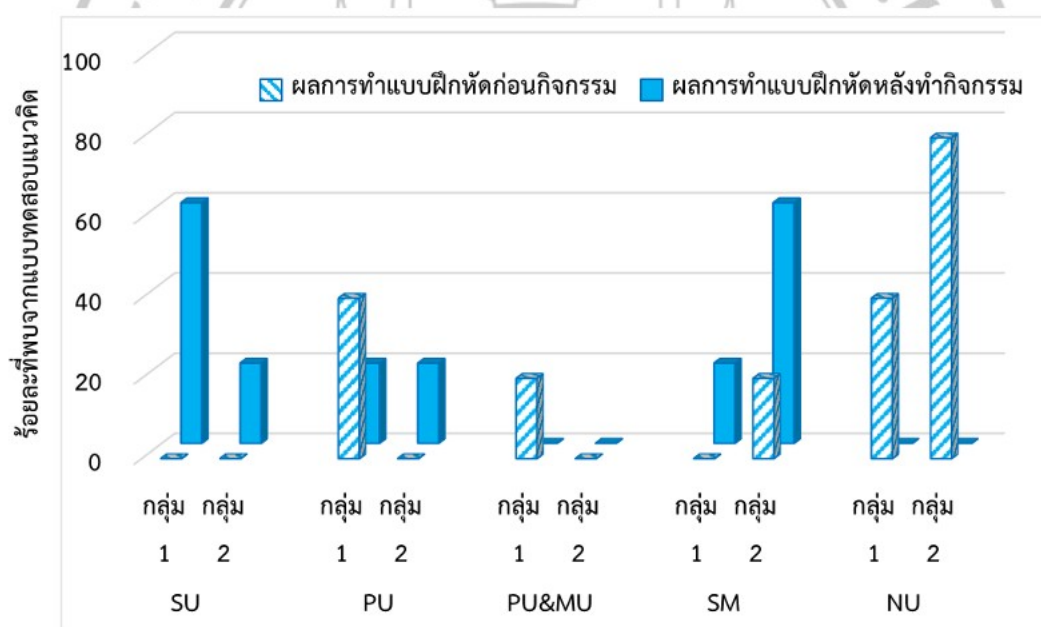
กิจกรรมแล้วพบว่านักศึกษาทั้งสองกลุ่มแสดงแนวคิดที่เป็นวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยเฉพาะนักศึกษา กลุ่มทดลองที่ส่วนใหญ่แสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) หลังทำกิจกรรมถึงร้อยละ 80 โดยสามารถ เขียนสูตรและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งและขนาดวงแหวนได้อย่างครบถ้วนทุก องค์ประกอบ และสำหรับกลุ่มควบคุมพบว่าส่วนใหญ่ร้อยละ 60 แสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) เนื่องจากอธิบายได้มากขึ้นจากก่อนทำกิจกรรมแต่ยังไม่ครบทุกองค์ประกอบ นอกจากนี้หลังทำ กิจกรรมกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไม่แสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนหรือไม่แสดงแนวคิดเลย แสดงว่ากลุ่ม ตัวอย่างเข้าใจการแกว่งกวัดของวงแหวนมากขึ้น ข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของ นักศึกษาทั้งสองกลุ่มแสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 2 ก่อน และหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มทดลองสามารถ แสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 2 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจากก่อน ทำกิจกรรมซึ่งไม่มีการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เลย แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมเสริมการเรียนรู้ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิถีโคจรความเร็วสูงสามารถทำให้นักศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่ง และขนาดวงแหวนได้มากขึ้น

คำถามข้อที่ 3 คือ “จงวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดจากแนวสมมูลกับเวลาของวงแหวนใหญ่กับเล็ก (แบบคร่าว ๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าของทั้งสองวง)” แนวคำตอบคือ “กราฟรูปไซน์ที่วงแหวนเล็กมีคาบน้อยกว่าวงแหวนใหญ่” ผลการวิจัยพบว่า ก่อนทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ นักศึกษากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมส่วนมาก ไม่แสดงแนวคิด (NU) ถึงร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ และเมื่อผ่านการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ พบว่านักศึกษาทั้งสองกลุ่มแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 และ 20 สำหรับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ตามลำดับ ข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มในประเด็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน แสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4.15



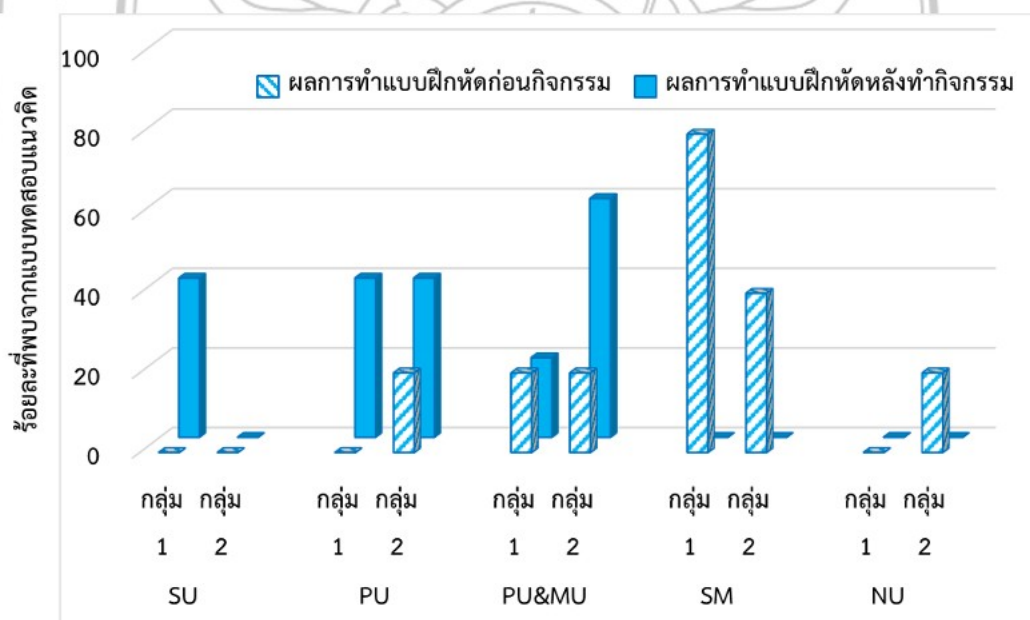
แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 3

ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 3 ก่อนและหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 3 เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน และแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนกลุ่มควบคุมยังคงแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนอยู่ถึงร้อยละ 60 แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง ทำให้

นักศึกษาให้ความสนใจและแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น ในประเด็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจัดจากแนวสมดุลงกับเวลาของวงแหวนใหญ่กับเล็ก

คำถามข้อที่ 4 คือ “คาบการแกว่งมีความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับรัศมีของวงแหวน อย่างไร”
 แนวคำตอบ “คาบการเคลื่อนที่ของวงแหวนแปรผันตรงกับรากที่สองของรัศมีวงแหวน” ผลการวิจัยพบว่า ก่อนทำกิจกรรมนักศึกษาในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมส่วนใหญ่มีการแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนถึงร้อยละ 80 และ 40 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน และบางส่วน (PU) และแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU&MU) ในกลุ่มควบคุมแสดงว่ากลุ่มนี้ยังสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับรัศมีของวงแหวนได้บ้าง แตกต่างจากกลุ่มทดลองซึ่งไม่สามารถอธิบายได้เลย และเมื่อผ่านการทำกิจกรรมเสริม พบว่านักศึกษาในกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น ร้อยละ 40 แต่สำหรับกลุ่มควบคุมยังพบแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU&MU) ถึงร้อยละ 60 ข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มในประเด็นการเข้าสู่ความเร็วปลายที่สามารถเกิดขึ้นกับการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน แสดงเป็นกราฟแท่งดังภาพที่ 4.16

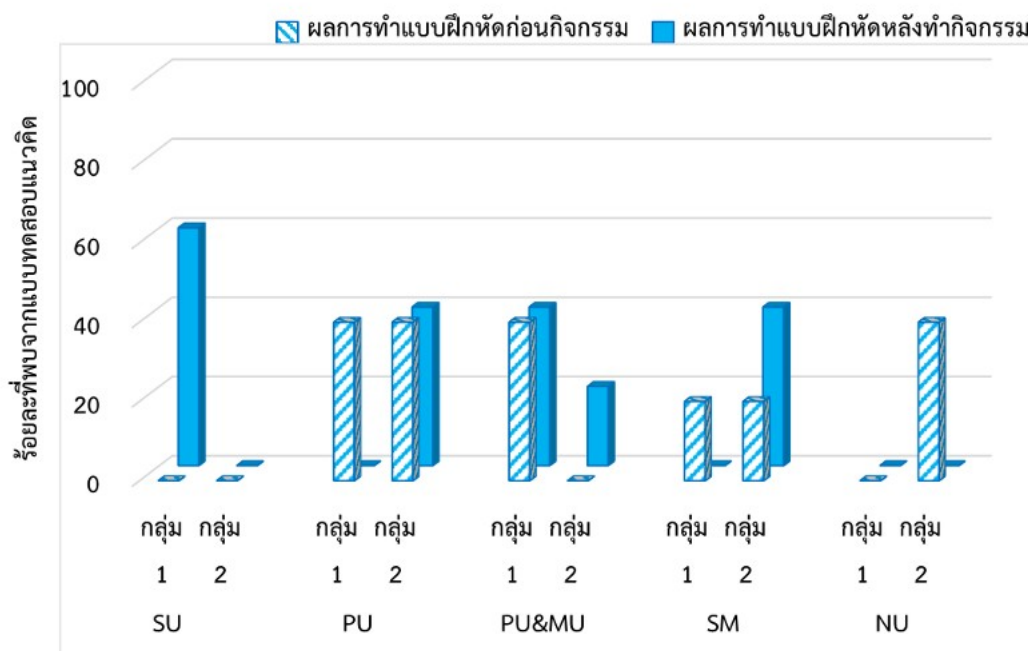


แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 4

ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 4 ก่อนและหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 4 เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ ถึงแม้จะมีการอธิบายยังไม่ครบถ้วนทุกองค์ประกอบ แต่กลุ่มควบคุมส่วนมากยังคงแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU&MU) อยู่ถึงร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ วิดีโอความเร็วสูง ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจและแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นในประเด็นความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับรัศมีของวงแหวน

คำถามข้อที่ 5 คือ “โมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” ต่างกันหรือไม่อย่างไร” แนวคำตอบ “แตกต่างกัน โดยโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วนขึ้นอยู่กับ มวลและรัศมีของวงแหวนบางส่วน และวงแหวนบางส่วนวงใหญ่มีโมเมนต์ความเฉื่อยมากกว่าวงแหวนวงเล็ก” ผลการวิจัยพบว่า ก่อนทำกิจกรรมนักศึกษากลุ่มทดลองแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) และแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU&MU) ร้อยละ 40 เท่ากัน และแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนร้อยละ 20 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองสามารถอธิบายเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วนได้บ้าง สำหรับกลุ่มควบคุม พบว่าแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) และไม่แสดงแนวคิด (NU) ร้อยละ 40 20 และ 40 ตามลำดับ และเมื่อผ่านการทำกิจกรรม พบว่านักศึกษากลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ร้อยละ 60 แต่สำหรับกลุ่มควบคุมไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) และข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มในประเด็นโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แสดงเป็นกราฟแท่งดังภาพที่ 4.17



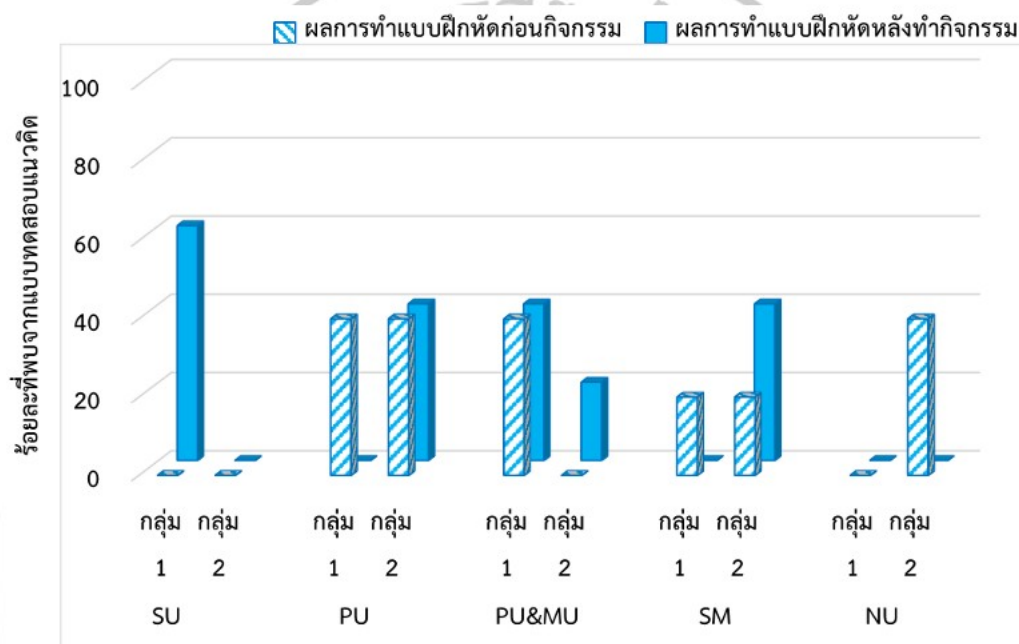
แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 5

ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 5 ก่อน และหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 5 เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่กลุ่มควบคุมยังไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัวใจความเร็วสูง ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจและแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นในประเด็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วน

คำถามข้อที่ 6 คือ “วงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แกว่งด้วยคาบต่างกันหรือไม่ อย่างไร” แนวคำตอบ “ไม่ต่างกัน เพราะคาบการแกว่งไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและมวลของวงแหวน แต่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงแหวนบางส่วน” ผลการวิจัยพบว่า ก่อนทำกิจกรรมนักศึกษากลุ่มทดลองแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) และแนวคิดคลาดเคลื่อนร้อยละ 60 และ 40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองสามารถอธิบายเกี่ยวกับโมเมนต์ความเฉื่อยของวงแหวนบางส่วนได้บ้าง สำหรับกลุ่มควบคุมพบว่าแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) ร้อยละ 40 แสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน และแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU&MU) และไม่แสดงแนวคิดร้อยละ 20 เท่ากัน และเมื่อผ่านการทำกิจกรรม พบว่านักศึกษากลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่าง

ชัดเจน ถึงร้อยละ 60 แต่สำหรับกลุ่มควบคุมไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) อีกทั้งแสดงแนวคิดคลาดเคลื่อนอย่างชัดเจน ข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มในประเด็นคาบของการแกว่งกับลักษณะของวงแหวนบางส่วน แสดงเป็นกราฟแท่งดังภาพที่ 4.18



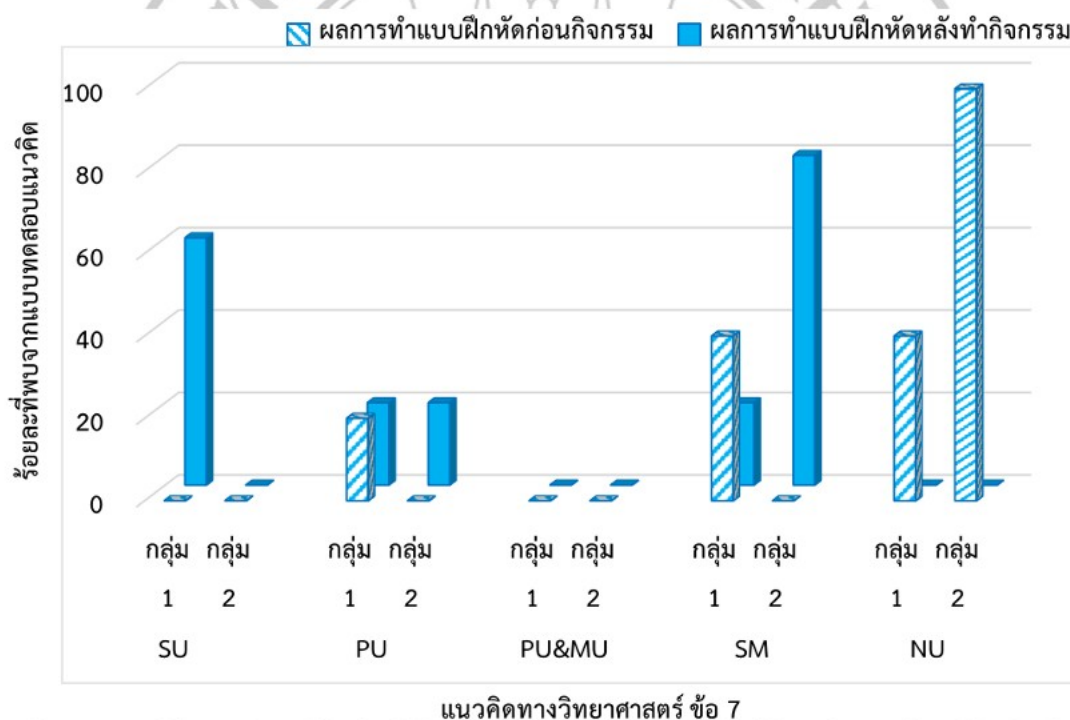
แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 5

ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 6 ก่อนและหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 5 เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่กลุ่มควบคุมยังไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูง ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจและแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นในประเด็นความสัมพันธ์ระหว่างคาบของวงแหวนบางส่วน

คำถามข้อที่ 7 คือ “จงวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดจากแนวสมดุลกับเวลาของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แนวคำตอบ “เป็นกราฟรูปไซน์ที่มีคาบการเคลื่อนที่ของวงใหญ่กับเล็กมีคาบเท่ากัน” ผลการวิจัยพบว่า ก่อนทำกิจกรรมนักศึกษากลุ่มทดลองแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) ร้อยละ 20 และแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) และไม่แสดงแนวคิด คิดเป็น

ร้อยละ 40 เท่ากัน สำหรับการแสดงแนวคิดของกลุ่มควบคุม คือ ไม่แสดงแนวคิด คิดเป็นร้อยละ 100 และเมื่อผ่านการทำกิจกรรม พบว่านักศึกษากลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ร้อยละ 60 แต่สำหรับกลุ่มควบคุมไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) และแนวคิดที่พบส่วนใหญ่ร้อยละ 80 เป็นแนวคิดคลาดเคลื่อน ข้อมูลสรุปสำหรับการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มในประเด็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจัดจากแนวสมดุลกับเวลาของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก” แสดงเป็นกราฟแท่งดังภาพที่ 4.19



แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 7

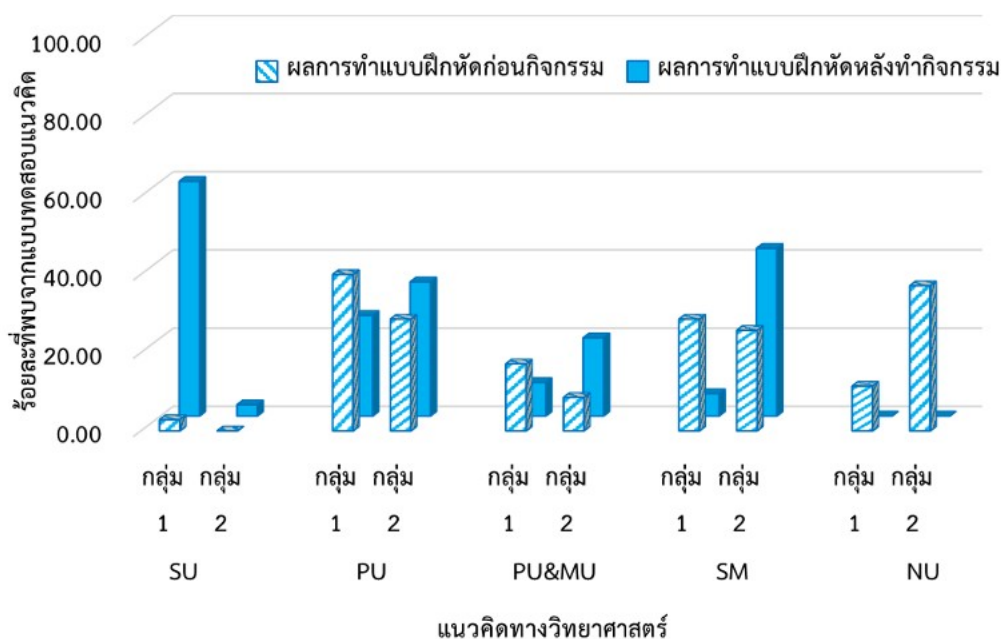
ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแบบทดสอบข้อ 7 ก่อน และหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากภาพที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการตอบคำถามแบบทดสอบข้อที่ 7 เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองสามารถแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่กลุ่มควบคุมยังไม่พบการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูง ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจและแสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นใน

ประเด็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจัดจากแนวสมดุกับเวลาของวงแหวนบางส่วน “ใหญ่กับเล็ก”

ดังนั้นจากการสำรวจข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแนวคิดเรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน ด้วยแบบทดสอบก่อนและหลังทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่าง (ทดลองและกลุ่มควบคุม) พบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 ลักษณะ จากการเฉลยคะแนนโดยภาพรวมคือ **กลุ่มทดลอง** พบว่าก่อนการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูงแสดงแนวคิดตามลำดับต่อไปนี้คือ วิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) แนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (PU&MU) ไม่แสดงแนวคิด (NU) และแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ด้วยค่าร้อยละเฉลี่ย 40.00 28.57 17.14 11.43 และ 2.86 ตามลำดับ **ภายหลัง** การทำกิจกรรมเสริมกลุ่มตัวอย่างแนวคิดตามลำดับต่อไปนี้คือ แนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) วิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (PU&MU) และแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) ด้วยค่าร้อยละเฉลี่ย 60.00 25.71 8.57 และ 5.71 ตามลำดับ และไม่พบนักศึกษาที่ไม่ตอบคำถาม **สำหรับกลุ่มควบคุม** แสดงแนวคิดตามลำดับต่อไปนี้คือ ไม่แสดงแนวคิด (NU) วิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) และแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (PU&MU) ด้วยค่าร้อยละเฉลี่ย 37.14 28.57 25.71 และ 8.57 ตามลำดับ และไม่พบนักศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) **ภายหลัง** การทำกิจกรรมเสริมกลุ่มตัวอย่างแนวคิดตามลำดับต่อไปนี้คือ แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) วิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) แนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (PU&MU) และ แนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ด้วยค่าร้อยละเฉลี่ย 42.86 34.29 20.00 และ 2.86 ตามลำดับ และไม่พบนักศึกษาที่ไม่ตอบคำถาม

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลร้อยละของการตอบคำถาม (ข้อที่ 1 ถึงข้อ 7) มาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาเขียนเป็นแผนภูมิแท่ง (แยกตามผลก่อนและหลังการทำกิจกรรม) จำแนกตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 ประเภท ของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง (กลุ่ม 1) และกลุ่มควบคุม (กลุ่ม 2) แสดงในภาพที่ 4.20 ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เมื่อผ่านการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ด้วยการศึกษาผ่านเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์โอความเร็วสูง กลุ่มทดลองมีความเข้าใจ และสามารถอธิบายการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน ด้วยแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยร้อยละ 0 เพิ่มเป็นร้อยละ 60

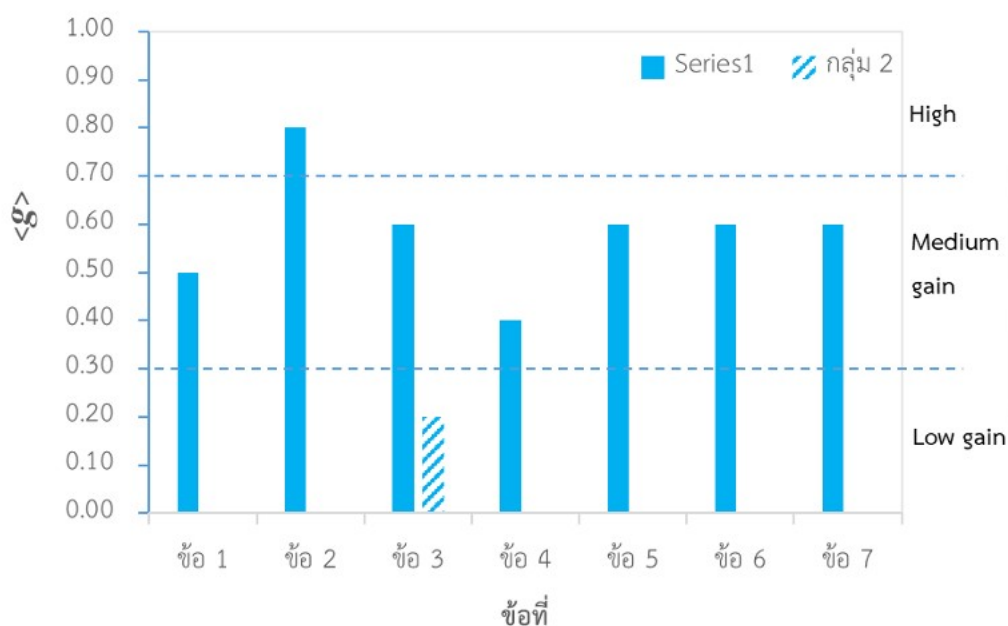


ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบร้อยละที่พบ (จากแบบทดสอบข้อ 1 – ข้อ 7) กับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังทำกิจกรรมเสริมนอกห้องเรียน ของกลุ่มตัวอย่าง กลุ่ม 1 (กลุ่มทดลอง) และกลุ่ม 2 (กลุ่มควบคุม)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแนวคิด เรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน ของนักศึกษาลัทธิศรัทธาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สาขาวิชาฟิสิกส์และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป พบว่าก่อนการจัดกิจกรรมเสริมให้นักศึกษาทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วน แนวคิดคลาดเคลื่อนและไม่ตอบคำถาม นั่นคือนักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนในระดับน้อย ส่งผลให้ตอบคำถามได้ไม่ถูกต้อง เช่น ไม่สามารถอธิบายลักษณะสำคัญของการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนได้ หรือไม่สามารถเขียนหรืออธิบายกราฟที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ได้ รวมทั้งไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อคาบการเคลื่อนที่ เป็นต้น ภายหลังจากการทำกิจกรรมเสริม พบการตอบคำถามด้วยแนวคิดวิทยาศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่างที่ถูกต้องครอบคลุมทุกองค์ประกอบเพิ่มขึ้นจากจำนวนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 60 แต่สำหรับกลุ่มควบคุมไม่พบแนวคิดวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น แต่ยังคงพบแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนเพิ่มขึ้นจากก่อนการทำกิจกรรมเสริมแบบอิสระ เป็นไปได้มากกว่าการเสริมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูงทำให้นักศึกษาสนใจด้วยการเห็นภาพการเคลื่อนที่จริงเป็นรูปธรรม ส่งผลถึงการใช้ความเข้าใจและเหตุผลในการตอบคำถามอย่างครอบคลุมลึกซึ้ง

เมื่อวิเคราะห์ผลการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรายข้อของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม แสดงในภาพที่ 4.21 เพื่อพิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนจำแนกตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่เพิ่มขึ้นของนักศึกษาต่อข้อสอบในแต่ละข้อ พบว่ากลุ่มทดลองที่ศึกษานอกห้องเรียน

ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงจะให้ความก้าวหน้าทางการเรียนที่แสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่มากกว่าด้วยค่า $\langle g \rangle$ ที่อยู่ในช่วงระดับสูง จำนวน 1 ข้อ คือข้อ 2 (เป็นแบบทดสอบข้อที่แสดงความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้นมา) และข้อที่เหลือทั้ง 6 ข้อ เป็นความก้าวหน้าทางการเรียนระดับกลาง (เป็นแบบทดสอบข้อที่แสดงความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้นมาปานกลาง) และไม่พบความก้าวหน้าทางการเรียนระดับต่ำ (เป็นแบบทดสอบข้อที่แสดงความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้นมาเล็กน้อย) แสดงให้เห็นว่านักศึกษากลุ่มทดลองมีความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้นไปอยู่ในช่วงระดับกลางและระดับสูง ส่วนกลุ่มควบคุมที่ศึกษาออกห้องเรียนด้วยวิธีอิสระมีค่า $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วงระดับต่ำ จำนวนเพียง 1 ข้อ คือข้อ 3 และอีก 6 ข้อที่เหลือไม่พบความก้าวหน้าทางการเรียน แสดงให้เห็นว่านักศึกษากลุ่มควบคุมส่วนใหญ่ไม่พบความก้าวหน้าทางการเรียนในการแสดงแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU)



ภาพที่ 4.21 ค่า $\langle g \rangle$ เฉลี่ยรายข้อ ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม

จากกราฟการเปรียบเทียบความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยด้วยค่า $\langle g \rangle$ ของนักศึกษา จะเห็นว่านักศึกษาที่ใช้กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงเรื่องการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวน มีความก้าวหน้าทางการเรียนระดับสูงและระดับกลางนั่นคือนักศึกษามีความเข้าใจและแสดงออกทางแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ในประเด็นเนื้อหาเกี่ยวกับการแกว่งกวัดของเพนดูลัมวงแหวนมากขึ้นกว่าก่อนทำกิจกรรม

4.3 ความพึงพอใจของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

หลังจากการทำกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ ผู้วิจัยทำการสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม โดยใช้แบบสอบถามวัดความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวน ผลการประเมินความพึงพอใจแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวน ก่อนร่วมทำกิจกรรมนี้ในระดับใด	3.24	0.67	ปานกลาง
2. ท่านมีความเข้าใจในเรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวนมากขึ้นระดับใด	4.65	0.56	มากที่สุด
3. ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรมนี้	4.40	0.64	มาก
4. ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเข้าร่วมกิจกรรมนี้ไปใช้ในการพัฒนาตัวท่านได้	4.35	0.45	มาก
5. กิจกรรมมีความน่าสนใจและท้าทายการเรียนรู้	4.55	0.28	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.24	0.52	มาก

จากตารางที่ 4.5 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวน โดยมีผู้ประเมิน 40 คน มีหัวข้อการประเมินทั้งหมด 5 ข้อ ซึ่งมีประเด็นการสอบถามคือ 1) ความรู้ความเข้าใจในเรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวน ก่อนร่วมทำกิจกรรมนี้ในระดับใด 2) ท่านมีความเข้าใจในเรื่องการแก้แค้นของเพนดูลัมวงแหวนมากขึ้นระดับใด 3) ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรมนี้ 4) ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเข้าร่วมกิจกรรมนี้ไปใช้ในการพัฒนาตัวท่านได้ 5) กิจกรรมมีความน่าสนใจและท้าทายการเรียนรู้ พบว่าสรุปผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ ได้ระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 โดยระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

จุดเด่น

1. กิจกรรมสามารถเห็นภาพการแก่งกวัดของวงแหวนเต็มรูปและบางส่วนชัดเจน
2. กิจกรรมมีความน่าสนใจและเข้าใจมากขึ้น

จุดด้อย

1. ควรจัดในรูปแบบ onsite

