การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

รายงานการวิจัย

ของ

ผศ.สิริน สิระธนกุล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากงบประมาณเงินผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Development of Gravity Acceleration Measurement

Asst.Prof. Sirin Sirathanakul

Division of Science, Faculty of Science and Technology

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

2018

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : **การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก**

ปีการศึกษา : 2561

วัตถุทุกก้อนบนโลกมีน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักวัตถุเกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ไปกระทำต่อมวลของวัตถุนั้น การหาน้ำหนักวัตถุในหน่วยของนิวตันสามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างมวลในหน่วยกิโลกรัมและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงในหน่วยเมตรต่อวินาทีกำลังสอง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ชุดทดลองที่สร้างขึ้นใช้วิธีการตกอิสระของวัตถุที่เป็นลูกกลม ในท่อสูญญากาศและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับเซนเซอร์แสงจับความเร็วของการเคลื่อนที่ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรม Microsoft Excel ผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากเครื่องมือวัดมีค่า 9.617 m/s^2 เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองวัดกับค่าจริง ณ กรุงเทพฯ ประเทศไทยพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ1.697 และผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ จำนวน 5 คน โดยใช้แบบสอบถาม พบว่ามีค่าเฉลี่ยเลขคณิต 4.89 ผลการวิจัยสรุปได้ว่าชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงและมีคุณภาพระดับดีมาก เหมาะสมที่จะนำไปใช้

Abstract

Title : **Development of Gravity Acceleration Measurement**

Year : 2018

On Earth all objects have a weight which Earth's mass exerts on them to downward force of gravity. The weight of an object can find something's weights in Newton unite. It calculated on multiply the mass in kilograms by the acceleration of gravity in the units of meters/seconds^2. The purpose of this study was to design and develop an experimental setup for measuring the gravity acceleration. It involved designing by using free-fall motion method in vacuum tube based on digital Technology and photo gate sensor, measured the velocity of the ball object. The data were analyzed by Microsoft Excel. The value of gravity acceleration obtained at 9.617 m/s^2 from the experiment set up. The value from the experiment was compared with the obtained from true value at Bangkok, Thailand. It found the error at 1.697 %. The assessment of the quality used a questionnaire for data collection. Five content experts in Physics teaching evaluated it. That found mean 4.89. The results of the study revealed that the experimental set up were excellent quality of and high efficiency. So that, this experiment suitable to be used in physics classroom.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยการพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกฉบับนี้สำเร็จได้จากความกรุณาและช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ในส่วนของอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ที่สละเวลาช่วยแนะนำและประเมินเครื่องมือที่สร้างขึ้น และอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างสื่อการสอน นายสุนทร คำพินิจ ที่ช่วยแนะนำและสร้างชุดทดลองของการศึกษานี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอบคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุมัติให้ทุนวิจัยโดยใช้เงินงบประมาณผลประโยชน์คณะฯ

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ อันเกิดจากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณของบิดามารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่เป็นผู้วางรากฐานการศึกษานี้ให้แก่ผู้วิจัย

สิริน สิระธนกุล
วราวุฒิ พุทธให้
ธนัฏฐา อำนวยวัฒนะกุล

ตุลาคม 261

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

นิยามศัพท์ของคำที่ใช้ในการวิจัย 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย 4

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

การสอนปฏิบัติ 6

การพัฒนาเครื่องมือทดลอง 10

การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 12

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดทางฟิสิกส์ 18

3 วิธีดำเนินการวิจัย 21

การศึกษาวิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 22

การทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากเครื่องมือวัดที่มี 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การออกแบบพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก..... 27
การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 28
การทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 33
การตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้นมา 34
การประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ 34
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 36
ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 36
ตอนที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น 37
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 41
สรุปผลการพัฒนาชุดทดลอง 41
อภิปรายผลการพัฒนาชุดทดลอง 42
ข้อเสนอแนะ 46
บรรณานุกรม 47
ภาคผนวก 50
- ภาคผนวก ก. หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ 51
- ภาคผนวก ข. ระบบท่อสูญญากาศและระบบควบคุมการเคลื่อนที่ 59
- ภาคผนวก ค. แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 68
ประวัติผู้วิจัย 71

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1. ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ…….. 13
2. ผลการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น… 37
3. แสดงระดับความคิดเห็นจากการประเมินผลคุณภาพของชุดทดลอง 4 ด้าน ...…..…. 38
4. แสดงผลการประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัย 4 ด้าน ……..…. 39

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่ **หน้า**

1. แรงดึงดูดระหว่างมวลสารของวัตถุคู่หนึ่ง…….. 12
2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากการทดลองปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ….…… 15
3. การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย..…….…. 17
4. การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การจับเวลาด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา…..…. 22
5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ โดยใช้การจับเวลาด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ..……. 23
6. การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย และจับเวลาด้วย นาฬิกาจับเวลา ……. 24
7. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของการการแกว่ง (T^2) กับความยาวเชือก (ℓ).. 25
8. การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การปล่อยอิสระด้วยอุปกรณ์ปล่อยวัตุและจับความเร็ว และเวลาขนองการเคลื่อนที่ด้วยการประมวลจากคอมพิวเตอร์และเซนเซอร์แสง…… 26
9. แสดงการต่อวงจรของเครื่องอินเตอร์เฟส ……. 29
10. แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อทำการวัดค่าความเร็ว …… 30
11. แสดงระบบท่อสูญญากาศพร้อมอุปกรณ์จับยึดท่อ …… 31
12. แสดงการต่อชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกของชุดทดลอง ที่สร้างขึ้นในการวิจัย ……. 32

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการศึกษาในปัจจุบันมุ่งให้ความสำคัญกับการพัฒนาความรู้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาควรจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกการปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น ทำเป็น รักการอ่านและเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง ผสมผสานสาระความรู้ด้านต่าง ๆ อย่างได้สัดส่วนสมดุลกัน คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล รวมทั้งปลูกฝังคุณธรรม ค่านิยมที่ดีงามและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ไว้ในทุกวิชา (พระราชบัญญัติ การ ศึกษา แห่ง ชาติ ฉบับ ล่าสุด2542 , www.moe.go.th/edtechfund/.../prb_study(final).pd) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานของการพัฒนาเทคโนโลยีและคุณภาพของประชากร ส่วนต่างๆของอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ทุกชนิดล้วนสร้างขึ้นจากความรู้ทางฟิสิกส์ ดังนั้นหลักการหรือหลักทฤษฎีทางฟิสิกส์ถูกนำไปใช้ในศาสตร์ต่างๆ ทุกสาขา สื่อการเรียนการสอนในสาขาต่างๆ มีบทบาทสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะและสามารถสร้างองค์ความรู้จากสื่อที่เรียนได้ ในการเรียนการสอนทางฟิสิกส์นั้นการทดลองเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่สามารถพัฒนาความรู้ ทักษะและประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการรับประสบการณ์ทางตรงจากการทดลอง จากการค้นพบจะนำไปสู่ข้อสรุปต่างๆ ตามกฎ หลักการ และทฤษฎี ทำให้เกิดความเข้าใจเนื้อหาวิชามากขึ้น ส่งผลให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้ ซึ่ง ศาสตราจารย์ ดร.สิปปนนท์ เกตุทัต (2542:27) กรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ผู้ทรงคุณวุฒิ ได้กล่าวถึงความสามารถในการนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติว่า สมบัติสำคัญสุดคือความสามารถนำข้อมูลดิบที่มีอยู่มาจัดระบบ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ และสังเคราะห์ต่อไปจนสรุปเป็นทฤษฎี(Theory) ได้ และเมื่อประมวลกับประสบการณ์ที่มีจะก่อให้เกิดการหยั่งรู้(Wisdom) และท้ายที่สุดจะสามารถตัดสินใจ วางแผนและดำเนินการปฏิบัติงานได้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

การศึกษาสนามแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นการเข้าใจในธรรมชาติที่เราอาศัยอยู่ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อมวลของวัตถุก่อให้เกิดน้ำหนัก (Weight) ของวัตถุนั้นๆ และมีทิศพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางโลก วัตถุต่างๆจึงติดอยู่กับพื้นโลก วัตถุเดียวกันจะมีน้ำหนักต่างกันเมื่อวัดที่ตำแหน่งต่างกันบนโลกทั้งนี้เนื่องจากโลกของเราไม่ใช่วัตถุที่เป็นทรงกลมอย่างแท้จริง นักวิทยาศาสตร์ใช้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ซึ่งที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือการสร้างแบบจำลองผิวระดับอ้างอิงความสูงของภูมิประเทศซึ่งค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงนี้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่างๆ ของโลก ในการศึกษาทางฟิสิกส์การปฏิบัติการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษา ในทางปฏิบัตินั้นพบว่ามีตัวแปรที่ทำให้การวัดมีความคลาดเคลื่อนนั้นได้แก่ เทคนิควิธีการ ความละเอียดของเครื่องมือ ความชำนาญของการวัด ความต้านทานของอากาศ ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีหลายชนิด เครื่องมือทดลองหรือชุดทดลองแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กับราคาของเครื่องมือที่แตกต่างกันแม้ใช้งานในลักษณะเดียวกัน เช่น เครื่องนับเวลาแบบดิจิตอลที่สามารถวัดละเอียดในระดับหน่วยมิลลิวินาที เป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องมือวัดต่างๆ ที่มีความละเอียดเป็นเครื่องมือที่มีราคาสูงให้ผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ผู้ใช้ต้องมีความระมัดระวังรอบคอบในการบำรุงรักษาและต้องมีความรู้ในเทคนิคการใช้เครื่อง ความสามารถหรือประสิทธิภาคของเครื่องมือวัดเองก็มีผลต่อการวัด ได้แก่ เครื่องนับเวลาที่เป็นเครื่องเคาะสัญญาณเวลาซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ เครื่องนี้มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเครื่องนับเวลาดิจิตอลที่กล่าวถึงเบื้องต้น แต่เครื่องนี้ต้องใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าและการเคาะเวลาแต่ละครั้งจะปรากฏเป็นจุดบนแถบกระดาษที่ใช้ร่วมกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเมื่อกระทบกันทำให้เกิดความเสียดทาน ส่งผลต่อตำแหน่งทำให้มีระยะทางที่คลาดเคลื่อนได้ในแต่ละเศษเสี้ยววินาทีนั้นๆ และการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาจากการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระนั้นยิ่งมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้มากเพราะสายตาที่มองไม่ใช่เครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพดี

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงจะพัฒนาปรับปรุงเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกให้สามารถวัดค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความคลาดเคลื่อนน้อย และสะดวกต่อการใช้งาน โดยคณะผู้วิจัยมีความคิดเห็นใน 2 ประการคือ ประการที่หนึ่งการทดลองต่างๆ เพื่อวัดค่าโดยวิธีการต่างๆ จากเครื่องมือวัดเท่าที่มีอยู่ของคณะฯ นั้นเป็นการทดลองที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็น

อากาศซึ่งว่าแม้มีน้อยแต่ก็จะมีผลของความต้านทานของอากาศ และความหนืดของอากาศจะมีผลต่อเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ควรเป็น และในอีกประการหนึ่งของความคิดเห็นของกลุ่มผู้วิจัยคือยุคปัจจุบันซึ่งเป็นยุคของการนำคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์มาประยุกต์ใช้ในงานด้านการเรียนการสอน และโดยทั่วไปหน่วยงานต่างๆ มักมีคอมพิวเตอร์ใช้กันอยู่แล้ว ไม่ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดซื้อ จึงเห็นว่าควรนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการปฏิบัติการทดลองด้วย นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังมีข้อดีคือประกอบด้วยโปรแกรมการทำงานที่รับข้อมูลเข้า มีกระบวนการคำนวณ การพิมพ์และการแสดงผลลัพธ์ จากความคิดเห็นทั้งสองประการนี้ทำให้คณะผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถพัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ โดยการควบคุมให้วัตถุตกอิสระภายในท่อสูญญากาศ และตรวจวัดค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยระบบประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้อุปกรณ์เซนเซอร์แสงมาช่วยจับความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) พัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

2) ประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3. ขอบเขตของการวิจัย

1) พัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ด้วยวิธีการการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลก

2) ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองด้วยการหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน

3) ประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่สร้างขึ้น

4. นิยามศัพท์ของคำที่ใช้ในการวิจัย

1) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกหมายถึงอัตราของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่อิสระแนวดิ่ง ภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลก

2) ประสิทธิภาพของชุดทดลองหมายถึงความสามารถของชุดทดลองในการวัดค่าได้ถูกต้อง ในการวิจัยนี้พิจารณาประสิทธิภาพจากค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน โดยการเปรียบระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นเทียบกับค่าที่ยอมรับ สำหรับการวิจัยนี้ใช้ค่ามาตรฐานของสถาบันมาตร

วิทยาแห่งชาติที่กล่าวว่า ค่าจากการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จังหวัดกรุงเทพฯ มีค่าเท่ากับ 9.78297 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

3) คุณภาพของชุดทดลองหมายถึงชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติตามที่ตั้งไว้ ในการวิจัยนี้พิจารณาจากผลการประเมิน โดยใช้แบบสอบถาม แบ่งเป็น 4 ด้านคือ ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การบำรุงรักษาและซ่อมแซม และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน

4) ผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ หมายถึงอาจารย์ที่มีวามรู้และความสามารถในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์และการปฏิบัติการทดลองด้านฟิสิกส์ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติว่าเป็นผู้จบไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาโท ด้านฟิสิกส์ และมีประสบการณ์สอนในระดับอุดมศึกษาไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือเป็นผู้มีตำแหน่งผลงานวิชาการด้านฟิสิกส์ระดับไม่ต่ำกว่าผู้ช่วยศาสตราจารย์

5) ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องมือ หมายถึงอาจารย์หรือเจ้าหน้าที่ที่จบด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมีผลงานด้านการสร้างเครื่องมือวิจัย ไม่น้อยกว่า 3 ปี

5. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากกรอบแนวคิดดังนี้

1) กำนดขอบเขตของเนื้อหา โดยศึกษาเนื้อหาความรู้และทฤษฎี จากคำอธิบายรายวิชา เอกสารที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ

2) กำนดระยะเวลาที่ใช้สอน เกี่ยวกับทฤษฎี ระยะเวลการปฏิบัติการทดลอง การประมวลผล และการสรุป

3) กำนดรูปแบบของสื่อชุดการทดลอง โดยศึกษเกี่ยวกับการออกแบบสื่อการสอน หลักการสร้างสื่อชุดทดลอง จากแหล่งเรียนรู้ หนังสือ เอกสารต่าง ๆ และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ด้านการผลิตเครื่องมือและการผลิตสื่อการสอน แล้วกำหนดเป็นวิธีการดำเนินการทดลอง จากนั้นกำหนดวัสดุ และครุภัณฑ์ที่ต้องการใช้ในการสร้าง และสุดท้ายกำหนดเป็นรูปแบบชุดทดลอง

4) สร้างเครื่องมือชุดทดลอง ยึดรูปแบบการออกแบบสร้างเครื่องมือ เกี่ยวกับ ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ และความสะดวกในการใช้งาน เป็นต้น

ชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ประกอบด้วย 3 ระบบหลัก คือ

1. ระบบท่อสูญญากาศ

2. ระบบควบคุมการเคลื่อที่ท่อสูญญากาศและวัตถุในท่อ

3. ระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

5) พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือวิจัย ให้มีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของชุดทดลองจะประเมินจากร้อยละของความคลาดเคลื่อนของผลการวัดเทียบกับค่าจริงที่ยอมรับ เกณฑ์ประสิทธิภาพที่ตั้งไว้คือมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 4.00

6) พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือวิจัย ให้มีคุณภาพ ประเมินคุณภาพของเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่พัฒนาขึ้นจากแบบสอบถาม ซึ่งประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทางฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่าน แล้วแปลผลการประเมินเป็นระดับคุณภาพ เกณฑ์คุณภาพที่ตั้งไว้อยู่ที่ระดับดีหรือดีมาก

6. ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1) เครื่องมือชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดได้มีประสิทธิภาพ โดยมีผลการวัดค่าสอดคล้องกับค่าที่ยอมรับ และมีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเรียนการสอน

2) ความรู้ที่ได้รับจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัยอื่นต่อไปหรือนำไปปรับปรุงในการพัฒนาเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งนำเสนอตามลำดับ 4 เรื่อง ดังนี้

1. การสอนปฏิบัติ
   - 1.1 ความหมายของการสอนปฏิบัติ
   - 1.2 องค์ประกอบของการสอนปฏิบัติ
   - 1.3 คุณค่าและประโยชน์ของการสอนปฏิบัติ
2. การพัฒนาเครื่องมือทดลอง
   - 2.1 การเลือกสื่อการสอน
   - 2.2 หลักการผลิตพัฒนาเครื่องมือทดลอง
3. การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
   - 3.1 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน
   - 3.2 วิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดทางฟิสิกส์

1. การสอนปฏิบัติ

การสอนเป็นขบวนการส่งทอดความรู้ และมีความมุ่งหมายอื่นแฝงอยู่ด้วยเช่น ความเข้าใจ ทัศนคติ และอื่นๆ การสอนช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และได้รับการส่งเสริมให้คิดเองได้ รวมทั้งส่งเสริมให้ปฏิบัติได้ด้วยตนเอง สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์ (2526:23-24) ได้กล่าวว่า การบอกไม่ใช่การสอน การฟังไม่ใช่การเรียน และการดูก็ไม่ใช่การเรียน แต่การสอนหมายถึงการจัดสถานการณ์หรือกิจกรรม เพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิดประสบการณ์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเรียนรู้ง่ายขึ้น เนื่องจากความมจริงแล้วการเรียนรู้ได้โดยไม่มีการสอนนั้นก็เป็นไปได้แต่จะยากหรือใช้เวลามากและที่สำคัญผู้เรียนทุกคนไม่อาจเรียนรู้ได้เองหมดเพราะมีความแตกต่างระหว่างบุคคล การสอนประกอบด้วยการสอนภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

1.1 ความหมายของการสอนปฏิบัติ

บุญชม ศรีสะอาด(2541:68) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ว่าคือการสอนที่ให้ผู้เรียนมีโอกาสทำกิจกรรมการทดลอง โดยได้รับการแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครู เป็นการฝึกใช้ทฤษฎีโดยผ่านการทดลอง

ภพ เลาหไพบูลย์(2542 : 167 – 168) ได้กล่าวถึงการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ว่า เป็นการสอนที่ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้วหรือเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เป็นการหาแนวทางในการแก้ปัญหา หรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตัวเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางในการเรียนการสอน

จากที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่าการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์ การสอนทฤษฎีของการปฏิบัติ เป็นการสอนที่ผู้สอนที่ต้องการปูพื้นฐานให้ผู้เรียนส่วนใหญ่ได้รู้และเข้าใจในเวลาเดียวกัน มุ่งในการขยายเนื้อหาสาระให้ชัดเจน ส่วนการสอนปฏิบัติการทดลองเป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือ เริ่มตั้งแต่การวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การเก็บข้อมูลผลการทดลอง การบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.2 องค์ประกอบของการสอนปฏิบัติ

การเรียนการสอนภาคปฏิบัตินั้นผู้สอนมีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้แนะนำ คอยดูแลช่วยเหลือและสนับสนุนให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง ผู้สอนจึงต้องเตรียมตัวในส่วนต่างๆ ของการสอนปฏิบัติ สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์ (2526:23-31) ได้กล่าวถึงการเรียนการสอนภาคปฏิบัติโดยสรุปคือองค์ประกอบของการสอนปฏิบัติมี 3 ส่วนคือ

1. แผนการสอน เป็นการอภิปรายก่อนการทดลอง เกี่ยวกับทฤษฎีและจุดประสงค์ของการทดลอง ขั้นตอนการทดลอง ข้อควรระวัง เป็นต้น และการสรุปผลหลังทำรายงานผลทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว

2. เอกสารประกอบการสอน ประกอบด้วย ใบเนื้อหา คำแนะนำในการทดลอง ใบบันทึกผล ใบวิเคราะห์และรายงานผล และคำถามท้ายการทดลอง ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างแจ่มแจ้งในสิ่งที่จะทำในการทดลอง และสามารถใช้ข้อมูลหรือผลการทดลองที่

รวบรวมได้ มาสรุปเป็นกฎ ทฤษฎี หรือหลักการ รวมถึงอภิปรายถึงข้อผิดพลาดของการทดลองที่อาจเป็นไปได้

3. สื่อการสอน ประกอบด้วยสื่อเครื่องมือหรือชุดทดลอง วัสดุที่จะใช้ประกอบการฝึกทักษะ ผู้สอนต้องเตรียมเครื่องมือไว้ล่วงหน้า ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน มีเพียงพอต่อจำนวนผู้เรียน และต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้เรียนขณะทำการทดลอง ทั้งนี้การสอนปฏิบัติการทดลองอาจมีการใช้อุปกรณ์ช่วยสอนก็ยิ่งจะทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ช่วยสอนแต่ละชนิดมีจุดมุ่งหมายและการใช้งานที่ต่างกัน ผู้สอนต้องพิจารณาเลือกให้เหมาะสมกับวิธีการ เวลาและระดับผู้เรียน

ดังนั้นการสอนปฏิบัติเป็นการสอนที่ผู้เรียนมีโอกาสทำงานร่วมกันมากยิ่งขึ้น โดยใช้สื่อการสอน ผู้เรียนจะได้ลงมือกระทำหรือปฏิบัติเพื่อเรียนรู้จาการทดลองด้วยตนเองภายใต้การแนะนำช่วยเหลือของอาจารย์ผู้สอน เน้นพฤติกรรมด้านทักษะพิสัย (Psychomotor domain) ช่วยให้ผู้สอนลดบทบาทการพูดให้น้อยลง มุ่งที่จะฝึกทักษะในเนื้อหาวิชาที่เรียน ซึ่งการสอนปฏิบัตินั้น ก็จะมีพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย (Cognitive domain) ซึ่งเป็นพฤติกรรมของการเรียนรู้ทางด้านสมองหรือสติปัญญาเป็นหลัก และจะมีพฤติกรรมด้านจิตพิสัย(Affective domain) ซึ่งเป็นพฤติกรรมของการเรียนรู้ด้านจิตสำนึก ทัศนคติ และอารมณ์ เป็นส่วนประกอบร่วมด้วย

1.3 คุณค่าและประโยชน์ของการสอนปฏิบัติ

จรินทร์ จุลวานิช (2541: 10-11) กล่าวถึงประโยชน์และคุณค่าของการสอนปฏิบัติว่าทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ในแนวทางเดียวกัน ผู้สอนที่แตกต่างกันก็สามารถให้ประสบการณ์ได้เหมือนกัน ช่วยให้ผู้สอนถ่ายทอดเนื้อหาและประสบการณ์ที่สลับซับซ้อน และมีลักษณะที่เป็นนามธรรมสูง ซึ่งผู้สอนไม่สามารถถ่ายทอดเนื้อหานั้นๆ ด้วยการบรรยาย

การทดลองเป็นหัวใจที่สาคัญของการเรียนวิทยาศาสตร์การทดลองทางวิทยาศาสตร์จะต้องมีความรู้ความเข้าใจและมีทักษะทาง วิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการใช้ กระบวนการต่างๆ ได้แก่ การสังเกต การวัด การจาแนกประเภท การหา ความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับเวลา การใช้ตัวเลข การจัดกระทาและสื่อ ความหมายข้อมูล การลงความคิดเห็น การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การ กาหนดนิยามเชิง

ปฏิบัติการ การกาหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง และ การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป อย่างคล่องแคล่วถูกต้องและแม่นยา

บุญชม ศรีสะอาด(2541 : 278 -279) ได้สรุปความสำคัญขนองการสอนแบบปฏิบัติการ เป็น 2 ส่วน คือ

1. ความสำคัญในแง่ของการศึกษา การสอนแบบฝึกปฏิบัติเป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ เป็นการสอนที่ผู้เรียนได้เรียนรู้จากของจริง และลงมือทำด้วยตนเองซึ่งเป็นรากฐานของการแก้ปัญหา ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ จึงเป็นการศึกษาที่สมบูรณ์

2. ความสำคัญในแง่ของผู้สอน การสอนแบบปฏิบัติช่วยผู้สอนได้มีโอกาสเห็นผลการสอนของตนเองว่า ผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้จริงหรือไม่ ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือ เป็นการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปรับปรุงแก้ไขได้ทันที ช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ในด้านการนำไปใช้

ข้อดีข้อของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง (ทิศนา แขมมณี 2552:336)

1. ผู้เรียนได้เรียนรู้ประสบการณ์ตรงจากการทดลอง โดยผ่านกระบวนการต่างๆ จึงเกิดการเรียนรู้ได้ดี มีความเข้าใจ และจดจำการเรียนรู้ได้นาน

2. ผู้เรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการต่างๆ ได้แก่ กระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการคิด กระบวนการกลุ่ม รวมทั้งได้พัฒนาลักษณะนิสัยใฝ่รู้

3. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมาก ทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้

ข้อจำกัดของการสอนแบบปฏิบัติการ ทดลอง (ทิศนา แขมมณี 2552:336)

1. ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุ สำหรับผู้เรียนจำนวนมาก
2. ใช้เวลามาก เนื่องจากการดำเนินการแต่ละขั้นตอนการทดลอง
3. ผู้สอนต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงจะสามารถสอนและฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการปฏิบัติการทดลองมีประโยชน์และคุณค่าต่อการจัดการเรียนการสอน การลงมือปฏิบัติด้วยตนเองเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มีความรับผิดชอบ มีโอกาสปฏิบัติงาน และมีโอกาสใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ชนิดต่างๆ เพื่อเรียนรู้กฎ หลักการ และ

ทฤษฎี ที่ทราบแล้ว ช่วยให้สามารถถ่ายทอดเนื้อหาที่มีลักษณะเป็นนามธรรมสูงและประสบการณ์ที่ซับซ้อนและที่ไม่สามารถถ่ายทอดด้วยการบรรยายได้ดี เปลี่ยนบทบาทให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ โดยผู้เรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ และผู้สอนเป็นผู้มีบทบาทในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ดีการสอนแบบนี้ผู้สอนต้องเป็นผู้มีความรู้ ความเข้าใจและมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงจะสามารถฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดีมีประสิทธิภาพตรงกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ และทำให้ไม่เสียเวลา

2. การพัฒนาเครื่องมือทดลอง

สื่อการเรียน คือวัสดุอุปกรณ์และกิจกรรมที่ผู้สอนและผู้เรียนต้องทำ เพื่อเป็นแนวทางในการเรียนรู้ ซึ่งต้องจัดทำและหามาไว้ให้เรียบร้อยก่อนการสอน การพิจารณาเลือกสื่อการสอน ต้องดูที่จุดปรสงค์เชิงพฤติกรรม วัยและความสนใจของผู้เรียน ประหยัดและใช้ได้สะดวก ปลอดภัย

2.1 การเลือกสื่อการสอน

สื่อการสอนเป็นสิ่งที่มีบทบาทอย่างมากในการเรียนการสอนเนื่องจากว่า เป็นตัวกลางช่วยนำและถ่ายทอดความรู้จากผู้สอนหรือจากแหล่งความรู้ไปยังผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเนื้อหาได้ตรงกับที่ผู้สอนต้องการ

กิดานัน มลิทอง(2543:76) ได้กล่าวถึงการเลือกสื่อการสอนว่าเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ผู้สอนจะต้องตั้งวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมในการเรียนให้แน่นอนเสียก่อน เพื่อใช้วัตถุประสงค์นั้นเป็นตัวนำชี้นำให้การเลือกสื่อการสอนที่เหมาะสม นอกจาก นี้ยังมีหลักการอื่นๆ เพื่อประกอบ ดังนี้

1. สื่อต้องสัมพันธ์เหมาะสมกับเนื้อหาบทเรียนและจุดประสงค์การสอน
2. สื่อมีเนื้อหาถูกต้อง ทันสมัย น่าสนใจ
3. สื่อเหมาะสมกับวัย ระดับชั้น ความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ของผู้เรียน
4. สื่อควรสะดวกในการใช้ มีวิธีไม่ซับซ้อนยุ่งยากจนเกินไป
5. สื่อที่มีคุณภาพเทคนิคการผลิตที่ดี มีความชัดเจนและเป็นจริง
6. สื่อช่วยให้รู้จักคิดอย่างมีเหตุผล และให้ข้อมูลที่ถูกต้อง
7. สื่อมีราคาไม่แพงจนเกินไป หรือถ้าจะผลิตเองควรคุ้มกับเวลาและการลงทุน

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการเรียนการสอนจะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้นั้นผู้สอนจะต้องมีความสามารถในการเลือกสื่อที่เหมาะสมกับเนื้อหา กับระดับผู้เรียนและมีความสามารถในการผลิตสื่อ และผู้สอนยังต้องมีการเตรียมตัว เตรียมสภาพแวดล้อม เตรียมผู้เรียน และติดตามผลการใช้สื่อด้วยจึงจะทำให้การสอนดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 หลักการผลิตเครื่องมือทดลอง

การลงมือปฏิบัติหรือทำการทดลองค้นหาความรู้ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเพื่อพิสูจน์หรือค้นหาความรู้ด้วย โช สาลีฉัน (2541 : 29-30) กล่าวว่าลักษณะของอุปกรณ์ที่ดีมีดังนี้

1. รูปร่างลักษณะต้องจูงใจ
2. ทำงานได้ตามที่ต้องการ
3. สะดวกในการใช้และปฏิบัติ
4. มีความคงทนถาวร
5. วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุหาได้ง่าย มีในท้องถิ่น
6. วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุราคาถูก
7. ควรใช้งานได้หลายอย่าง
8. สะดวกในการเก็บรักษา
9. มีเสถียรภาพดี
10. เวลาสาธิตและปฏิบัติการทดลองมองเห็นและสังเกตได้ชัดเจน

การผลิตสื่อการสอนเพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ เสริมการเรียนรู้ได้ดี มีกระบวนการดังนี้

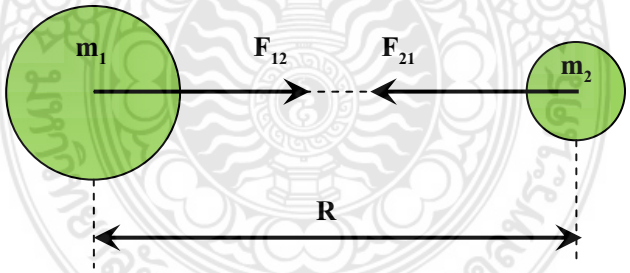
1. สำรวจข้อมูลพื้นฐาน เช่น วัตถุประสงค์ สิ่งแวดล้อม สิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อให้ได้ข้อมูลในการพิจารณาเลือกผลิตสื่อ
2. วิเคราะห์เนื้อหา มีเนื้อหาอะไรบ้างที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์
3. วิเคราะห์ผู้เรียน ผู้เรียนมีพื้นฐานความรู้ และประสบการณ์อะไรและแค่ไหน
4. วิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนการสอน เพื่อช่วยในการวิเคราะห์สื่อและเลือกสื่อตรงตามจุดประสงค์

5. วิเคราะห์กิจกรรม ต้องให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างไรบ้าง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้
6. วิเคราะห์สื่อการสอนว่าจะผลิตสื่ออย่างใดจึงจะเหมาะสม
7. ผลิตสื่อตามที่วิเคราะห์ไว้ ตามกระบวนการผลิตสื่อ
8. ทดลองใช้สื่อที่ผลิต แล้วปรับปรุงข้อบกพร่อง จนได้สื่อที่มีคุณภาพ สามารถใช้ได้อย่างถูกต้องและได้ผลดี

ในการสร้างเครื่องมือทดลองจึงต้องศึกษาเนื้อหาอย่างละเอียด เรียงลำดับเนื้อหาตามขั้นตอนจากพื้นฐานของผู้เรียน กำหนดกิจกรรม เลือกสื่อการเรียนการสอน และกำหนดจุดประสงค์การเรียนให้สอดคล้องกับเนื้อหาสาระ และครอบคลุมเนื้อหาโดยกำหนดเป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมให้ชัดเจนซึ่งหมายถึงความสามารถของผู้เรียนที่แสดงออกมาหลังจากการเรียนแล้ว

3. การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3.1 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลสารของนิวตันได้กล่าวถึงว่า วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะออกแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ขนาดของแรงดึงดูดนี้แปรผันตรงกับมวลของวัตถุทั้งสอง และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะระหว่างวัตถุทั้งสองนั้น



รูปที่ 1 แรงดึงดูดระหว่างมวลสารของวัตถุคู่หนึ่ง

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

เขียนเป็นสมการได้ว่า $$F_{12} = F_{21} = \frac{G m_1 m_2}{R^2} \quad \ldots\ldots (1)$$

เมื่อ F_{12} คือแรงที่วัตถุที่ 1 กระทำต่อวัตถุที่ 2

F_{21} คือแรงที่วัตถุที่ 2 กระทำต่อวัตถุที่ 1

G = ค่าความโน้มถ่วงสากล เท่ากับ $6.673\times10^{-11}\ N.m^2/kg^2$ (นิวตัน – เมตรต่อกิโลกรัม^2)

R = ระยะห่างระหว่างมวล

m_1 = มวลของโลก

m_2 = มวลของวัตถุ

แรง F เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล m_1 กับมวล m_2 ด้วยแรงขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อให้ m_1 เป็นมวลของโลกเท่ากับ M และรัศมีของโลกเป็น R จะได้ขนาดของแรงที่โลกดึงดูดวัตถุซึ่งก็คือน้ำหนักของวัตถุมีขนาดเท่ากับ $\frac{GMm}{R^2}$ เมื่อ มวลของโลก $M = 5.98\times10^{24}$ kg แลรัศมีของโลก R = 6.38×10^{6} m จะได้ค่า $\frac{GM}{R^2} = 9.81792\ m/s^2$ จึงได้สมการน้ำหนักวัตถุเป็น $W = mg$; g = 9.81 m/s^2 แต่ในความเป็นจริงโลกไม่ได้เป็นทรงกลมจริงๆ คือมีลักษณะคล้ายผลส้ม โดยบริเวณขั้วโลกจะแบนลง ส่วนบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะป่องออก และพื้นผิวโลกก็มีลักษณะแตกต่างกัน ดังนั้นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวโลกมีค่าแตกต่างกัน เช่นบริเวณขั้วโลกจะมีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมากกว่า 9.81 m/s^2

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติทำการวิจัยวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational acceleration) ณ จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพฯ ปทุมธานี อุบลราชธานี อุดรธานี เชียงใหม่ ชุมพร และสงขลา ได้ค่าดังแสดงในตาราง (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ,2549 อ้างอิงจาก ภาวณี รัตนสมบูรณ์ , 2557)

ตารางที่ 1 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ลำดับที่	จังหวัด	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
1	กรุงเทพฯ	9.78297
2	ปทุมธานี	9.78312
3	อุบลราชธานี	9.78322
4	อุดรธานี	9.78415
5	เชียงใหม่	9.78426

จากผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อใช้ความละเอียดที่ระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง จะมีค่าเท่ากับ $9.78\ m/s^2$ เท่ากัน แต่เมื่อใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่งจะมีค่าต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่ง ก็คือเมื่อทำการทดลองที่กรุงเทพฯ จึงใช้ค่า $g = 9.783\ m/s^2$ เป็นค่าจริง เพื่อใช้หาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

3.2 วิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

วิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีหลายวิธี ได้แก่ การปล่อยให้วัตถุตกอย่างอิสระ การวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การวัดแบบการบิดของคาน การวัดการยืดของระบบมวลของสปริง การวัดด้วยดาวเทียมจากค่าพิกัดบนระบบอ้างอิง(Global Positioning System; GPS)

การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ที่พบมากมี 2 วิธีคือ การปล่อยให้ตกอิสระและการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

1. การปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ทดลองโดยปล่อยให้วัตถุมวล m ตกอย่างอิสระ วัตถุจะเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งด้วยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง(**Gravitational acceleration** หรือ **g)** ถ้าไม่มีแรงต้านทานของอากาศ ค่าของ g จะเป็นค่าคงตัวไม่ขึ้นกับขนาดของมวล คือเป็นไปตาม **สมการการเคลื่อนที่**เชิงเส้น

$$h = ut + \frac{1}{2}gt^2 \qquad \ldots\ldots (2)$$

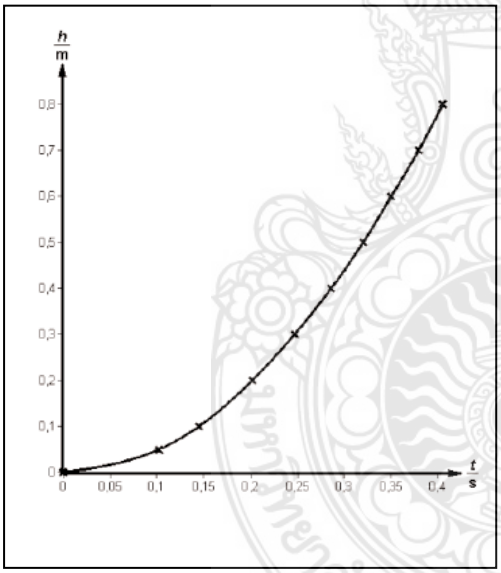
$$v^2 = u^2 + 2gh \qquad \ldots\ldots (3)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วปลาย (เมตรต่อวินาที)
u คือ ความเร็วเริ่มต้น (เมตรต่อวินาที)
h คือ ระยะกระจัดในแนวดิ่ง (เมตร)
g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
t คือ เวลาที่วัตถุตกลงมาเป็นระยะทาง h (วินาที)

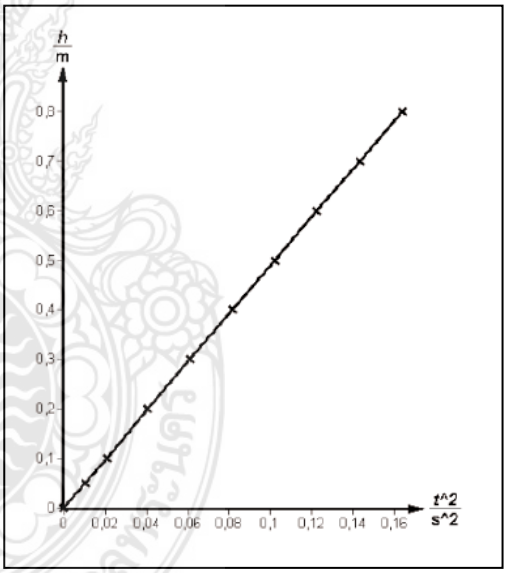
วัตถุใดๆที่ตกโดยอิสระ จะมีขนาดของค่าของความเร็วต้น u เท่ากับ 0 เสมอ และมีหลักการ

พิจารณาเครื่องหมายของปริมาณเวกเตอร์คือกำหนดให้ทิศของความเร็วต้น u เป็นเครื่องหมายบวก ดังนั้นปริมาณเวกเตอร์ใดมีทิศเดียวกับความเร็วต้น ให้มีเครื่องหมายเป็นบวก ดังนั้นในกรณีปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ จะมีเครื่องหมายของทั้งปริมาณความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g และระยะกระจัด h เป็นเครื่องหมายบวก

จากสมการการเคลื่อนที่เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกอิสระจากที่สูง h แล้วจับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็น t จะได้สมการการเคลื่อนที่เชิงเส้นเป็น $h = \frac{1}{2}gt^2$ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ด้วยกราฟกระดาษกราฟสเกลปกติระหว่างตัวแปร $h - t$ จะได้กราฟเส้นโค้ง แต่เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร $h - t^2$ จะได้เป็นกราฟเส้นตรง มีสมการของกราฟเส้นตรงเป็น $h = kt^2$ เมื่อให้ k เป็นความชันของเส้นกราฟ นั่นคือจะได้กราฟที่มีความชันเส้นกราฟ k เท่ากับ $\frac{1}{2}g$ ดังนั้นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g จึงมีขนาดเป็น 2 เท่าของความชันของเส้นกราฟ



รูปที่ 2.1 ความสูงกับเวลาของการตก



รูปที่ 2.2 ความสูงกับกำลังสองของเวลาของการตก

รูปที 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากการทดลองปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ

<u>หมายเหตุ</u> การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะมีตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองหลายตัวแปร เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ ความหนาแน่นอากาศ และลม จึงต้องควบไม่ให้ตัวแปรเหล่านี้มามีผลต่อการทดลองเพื่อวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ดังนั้นถ้านำหลักนี้ไปทำการทดลอง ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งบนโลก จะทำให้เราสามารถหาค่า g ของบริเวณที่ทำการทดลองได้

ถ้าทำการทดลองโดยการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระโดยให้ระยะ h_1 เป็นระยะจากจุดปล่อยถึงตัวจับสัญญาณตัวแรก มีการจับสัญญาณในรูปเวลา และ h_2 เป็นระยะจากจุดปล่อยถึงตัวจับสัญญาณตัวสองในรูปในรูปเวลา ดังนั้นจากสมการ $v^2 = u^2 + 2gh$ โดย $u = 0$ เราจะได้ว่า

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} \qquad \text{..... (4)}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} \qquad \text{..... (5)}$$

เมื่อ v_1 คือ ความเร็ววัตถุขณะผ่านตัวจับเวลาตัวแรก

v_2 คือ ความเร็ววัตถุขณะผ่านตัวจับเวลาตัวสอง

เนื่องจากเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ ดังนั้นความเฉลี่ยของวัตถุขณะเคลื่อนที่ระหว่างตัวจับสัญญาณทั้งสองตัว จะหาได้ดังนี้

$$v_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}}{2} \qquad \text{..... (6)}$$

จากนิยามของความเร็วเฉลี่ย $V_{av} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ดังนั้นอัตราเร็วยังหาได้อีกแบบ คือ

$$v_{av} = \frac{h_2 - h_1}{\Delta t} \qquad \text{..... (7)}$$

อัตราเร็วเฉลี่ยลูกกลม ตามสมการ (6) และ (7) มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$\frac{\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}}{2} = \frac{h_2 - h_1}{\Delta t} \qquad \text{..... (8)}$$

$$\Delta t(\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}) = 2(h_2 - h_1)$$

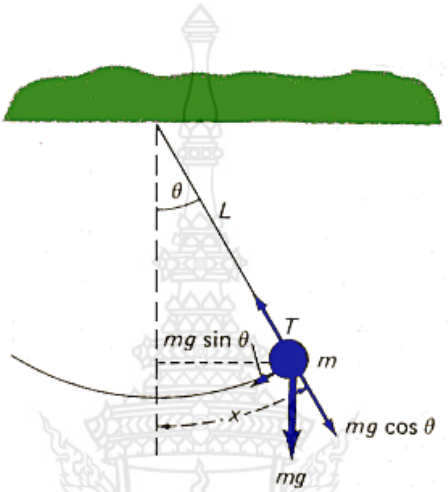
$$[\Delta t(\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2})]^2 = [2(h_2 - h_1)]^2$$

$$(\Delta t)^2(2gh_1 + 4g\sqrt{h_1 h_2} + 2gh_2) = 4(h_2^2 - 2h_1 h_2 + h_1^2)$$

ดังนั้น $$g = \frac{2(h_2^2 - 2h_1 h_2 + h_1^2)}{(\Delta t)^2(h_1 + 2\sqrt{h_1 h_2} + h_2)} \qquad \text{..... (9)}$$

2. การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายประกอบด้วยวัตถุกลมเล็กๆ มวล m ผูกติดกับเส้นเชือกที่เบายาว ℓ และไม่มีการยืดหด เมื่อดึงขึ้นทำมุม θ เป็นมุมเล็กๆหรือเป็นมุมแคบๆ กับแนวดิ่งน้อยกว่า 5 องศา แล้วปล่อยให้มวลเคลื่อนที่ลงมาอย่างอิสระภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลก ถ้าลูกตุ้มแกว่งด้วยคาบเวลาคงที่ย่อมแสดงว่าลูกตุ้มไม่สูญเสียพลังงานในการ

แกว่ง ลูกตุ้มก็จะมีการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ จะมีแรงส่วนประกอบของน้ำหนักวัตถุในแนวเส้นสัมผัสดึงลงมาให้วัตถุอยู่ในแนวดิ่งตลอดเวลา แรงนี้จึงเป็นแรงดึงกลับ จะมีทิศตรงข้ามกับทิศการขจัดของลูกตุ้มเสมอ ดังนั้นทำให้ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันจึงได้



รูปที่ 3 การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

$$F = -mg\sin\theta = ma \qquad \ldots\ldots (10)$$

$$-mg\sin\theta = m(-\omega^2 x) \qquad \ldots\ldots (11)$$

$$g\sin\theta = \omega^2 x \qquad \ldots\ldots (12)$$

เมื่อ θ เป็นมุมเล็ก $\sin\theta \cong \theta$ (หน่วยเรเดียน) จะได้ $\tan\theta \cong \sin\theta = \frac{x}{\ell}$ ดังนั้นจึงได้

$$g\frac{x}{\ell} = \omega^2 x \qquad \ldots\ldots (13)$$

นั่นคือ

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad \ldots\ldots (14)$$

T = คาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา (s)

ℓ = ความยาวเชือกที่ผูกกับลูกตุ้มนาฬิกา (m)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s) = $\frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T}$ จึงได้ $T = \frac{2\pi}{\omega}$

นั่นคือ $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ ..... (15)

$$T^2 = \frac{4\pi^2\ell}{g} \quad \text{..... (16)}$$

$$\frac{T^2}{\ell} = \frac{4\pi^2}{g}$$

ถ้าทำการทดลองปล่อยลูกตุ้มให้เชือกยาว ℓ กางทำมุม 5° กับแนวดิ่ง โดยให้ระนาบการแกว่งขนานกับแกนขาตั้ง จับเวลาในการแกว่งของลูกตุ้มจำนวน 10 รอบของการแกว่ง ทำการทดลองซ้ำ ประมาณ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของคาบการแกว่ง เมื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์จากสมการที่ 16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ด้วยกราฟกระดาษกราฟสเกลปกติระหว่างตัวแปร $T - \ell$ จะได้กราฟเส้นโค้ง แต่เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร $T^2 - \ell$ จะได้เป็นกราฟเส้นตรง มีสมการของกราฟเส้นตรงเป็น $T^2 = k\ell$ เมื่อให้ k เป็นความชันของเส้นกราฟ $k = \frac{T^2}{\ell}$ นั่นคือจะได้กราฟที่มีความชันเส้นกราฟ k เท่ากับ $\frac{4\pi^2}{g}$ ดังนั้นเมื่อทราบค่าของความชันเส้นกราฟ k แล้วจะคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g ได้ โดยค่าของ g มีขนาดเป็น $\frac{4\pi^2}{k}$ นั่นคือ $g = \frac{4\pi^2}{\text{ความชันเส้นกราฟ}}$

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดทางฟิสิกส์

ภาวณี รัตนสมบูรณ์ (2557) ได้ทำการวิจัยพัฒนาชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และจำลองกราฟความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎีด้วยโปรแกรม Microsoft Excel แล้วเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของชุดจำลองที่ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองทางทฤษฎีจากหนังสือเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ผลการวิจัยพบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างนั้นมีค่าเท่ากับ 9.7796 เมตร/วินาที^{2} ร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีเท่ากับ 0.0184 ในขณะที่ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีค่าเท่ากับ 9.05 เมตร/วินาที 2 และมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีเท่ากับ 7.4775

สายันต์ โสดาจันทร์ (2552) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างเครื่องมือเพื่อพิสูจน์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างง่าย ด้วยวิธีการตกอย่างอิสระ โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการปล่อยวัตถุและใช้นาฬิการแบบดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 วินาที อ้างอิงจาก http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/bitstream/123456789/2073/5/Chapter2.pdf เครื่องมือสามารถปรับความสูงในการปล่อยวัตถุ และเปลี่ยนขนาดของมวลในการทดลองได้ ซึ่งเมื่อวัตถุถูกปล่อยนั้นนาฬิกาจับเวลาจะเริ่มนับเวลาและเมื่อวัตถุตกถึงพื้นซึ่งมีวงจรปิดจะสิ้นสุดการนับเวลา แล้วนำผลที่ได้จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ไปวิเคราะห์หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผลการวิจัยพบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการตกอิสระของนักเรียนสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 และนักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาฟิสิกส์หลังการทดลอง

ณัฐพล วรหาญ (2559) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์อย่างง่ายของลูกตุ้มนาฬิกาด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC ณ จังหวัดกรุงเทพฯ แล้วเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎี พบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณเท่ากับ 9.823 m/s^2 และ 0.408 %

เบญจามิน รีด (Benjamen Reed) ได้ทำการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้การเคลื่อนที่ของมวลที่ลอยเหนือรางทดลอง(air track and floating mass) ชุดทดลองประกอบด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ รางยาว 2.0 เมตรพร้อมเครื่องเป่าลม วัตถุที่ใช้ในการทดลองยาว 13.0 เซนติเมตร พร้อมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อกับชุดจับเวลาแบบแสง 2 อัน การทดลองจะให้ลมเป่าเข้าไปในรางที่มีวัตถุที่ใช้ในการทดลองวางอยู่เพื่อยกวัตถุขึ้นให้สูงเหนือราง เพื่อไม่ให้เกิดแรงเสียดทานระว่างวัตถุกับราง โดยรางจะวางอยู่ในลักษณะเอียง วัตถุจะเคลื่อนที่ลงตามแนวเอียงของราง ติดตั้งชุดจับเวลาด้วยแสง 2 ชุดที่ระยะห่างกัน 1.0 เมตร เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านชุดจับเวลาจากตัวที่ 1 ไปตัวที่ 2 จะบอกเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ทำการทดลองซ้ำรวม 5 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์การถดถอยควบคู่ไปกับการหาค่าความคลาดเคลื่อน และทดสอบเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยสถิติไคสแคว์ (Chi-squared Test) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ยอมรับคือ 9.81 m/s^2 ผลจากการทดลองวัดค่าได้ 10.73 ± 0.32 m/s^2 และผลจากการทดสอบด้วยการทดสอบไคสแคว์พบว่าค่า g ของผลการทดลองไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับ ผู้วิจัยได้ให้ข้อคิดเห็นว่าอาจเป็นผลจากความเร็วัตถุ ณ จุดเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ หรืออาจเป็นผลจากระบบของรางที่ใช้ลมเป่าเพื่อยกวัตถุ

ควินติน เนเธอร์คอต และอีเวลีนน์ วอลตัน(Quintin T. Nethercott and M. Evelynn Walton; 2013) ได้ทำการศึกษาวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้การแกว่งของลูกตุ้ม

นาฬิกาอย่างง่าย ณ มหาวิทยาลัยยูทาห์ ประเทศสหรัฐอเมริกา การทดลองจะใช้ไม้เมตรวัดความยาวของแขนลูกตุ้ม มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.01 เซนติเมตร และใช้แคลิเปอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลมโลหะ และจับเวลาของการเคลื่อนที่โดยใช้นาฬิกาอะตอมในห้องปฏิบัติการ ผูกลูกกลมติดกับเส้นเชือกและปลายอีกด้านของเส้นเชือกแขวนไว้กับบ่วงอลูมิเนียม ซึ่งอลูมิเนียมนี้จะไปยึดติดกับผนัง เส้นเชือกที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความยาวได้ ใช้ความยาว 20 - 60 เซนติเมตร ทำการทดลองเริ่มจากวัดความยาวแขนลูกตุ้มแล้วปล่อยลูกกลมที่ผูกติดกับเส้นเชือก ให้แกว่งเป็นมุมเล็กๆ น้อยกว่า 10 องศา และจับเวลาของการเคลื่อนที่ 20 รอบ หาเวลาเฉลี่ย หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง โดยการวิเคราะห์จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของคาบการแกว่าง(T^2) กับความยาวของแขนลูกตุ้มนาฬิการ(ℓ) ผลการทดลองได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง g มีค่าเป็น 9.7 ± 0.1 m/s^2 และเมื่อใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยจะได้ค่า g มีค่าเป็น 9.8 ± 0.1 m/s^2 และค่าที่ยอมรับของเมือง ซอลต์เลก ของรัฐยูทาห์ สหรัฐอเมริกาของเว็ปไซด์ The National Geodetic Survey มีค่า g เป็น 9.79787 ± 0.00002 m/s^2 แสดงว่าผลการวัดสอดคล้องกับค่าที่ยอมรับอยู่ภายในขอบเขตของค่ามาตรฐานของเมืองเซลท์เลก (http://www.physics.utah.edu/~ewalton/lab_report.pdf)

จากการศึกษางานวิจัย แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเรียนรู้และวิธีการสอนของผู้สอนมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติของผู้เรียน นอกจากนี้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนยังมีผลมาจากตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ เจตคติ สภาพแวดล้อม และพฤติกรรมการเรียนรู้ เป็นต้น การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนจึงควรต้องคำนึงถึงความแตกต่างของกลุ่มผู้เรียนด้วย จึงจะทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพสูงอีกวิธีหนึ่ง ส่วนในประเด็นของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกนั้นพบว่าเป็นค่าคงตัวเสมอ ณ ที่หนึ่งๆ แต่ต่างสถานที่กันมีค่าต่างกันได้ และการจะวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกสามารถทำได้หลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามตัวกลางที่เป็นอากาศจะมีผลต่อการทดลองเสมอ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง และประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่สร้างขึ้น จากประสบการณ์การสอนทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ และการทำวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาชุดทดลองทางฟิสิกส์ ทำให้ผู้วิจัยมองเห็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับ การเคลื่อนที่เชิงเส้น การเคลื่อนที่เชิงมุม แรง ทอร์ค และการสมดุล มาพัฒนาให้เครื่องมือสามารถวัดค่าได้สอดคล้องกับทฤษฎีหรือค่าจริง และเครื่องมือยังมีความง่ายของการปฏิบัติการวัด และการวิเคราะห์ผลการวัดให้มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียนซึ่งเป็นระดับปริญญาตรี รวมทั้งในด้านต้นทุนการผลิตที่มีราคาชุดทดลองที่ไม่สูงมาก รวมทั้งชุดทดลองนี้น่าจะเป็นชุดที่สามารถทำให้เห็นผลของแรงต้านทานของอากาศในการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ชัดเจน การวิจัยนี้เปรียบกับค่าที่ได้จากการทดลองของเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับค่าที่ยอมรับ ซึ่งที่ยอมรับนี้จะใช้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g ณ กรุงเทพฯ ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ในระดับทศนิยม 3 ตำแหน่งเนื่องจากค่า g ของประเทศไทย ณ จังหวัดต่างกัน มีค่าต่างกันที่ตำแหน่งทศนิยมหลักที่ 3 ดังได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ดังนั้นค่า g ที่เป็นค่าจริงในงานวิจัยนี้ใช้ค่า 9.783 m/s^2

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การศึกษาวิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแบบต่างๆในปัจจุบัน
2. การทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากเครื่องมือวัดที่มี
3. การออกแบบพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
4. การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
5. การทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
6. การตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้นมา
7. การประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์

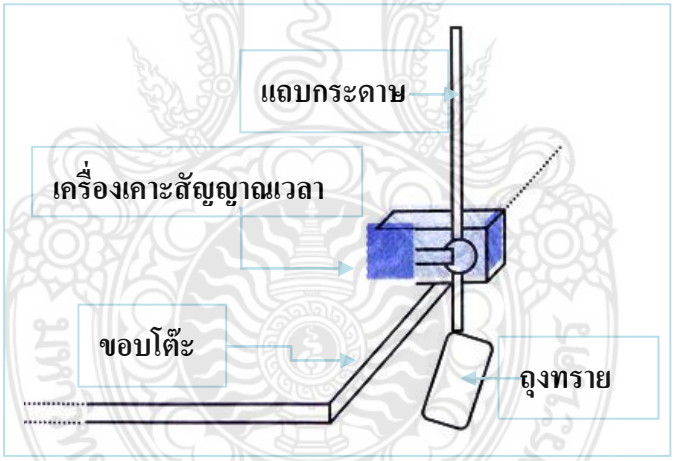
1. **การศึกษาวิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก**

วิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีมากมายหลายวิธี ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 เกี่ยวกับวิธีการวัดค่า และศึกษาถึงข้อดีและข้อจำกัดในการวัดค่าของแต่ละวิธี

2. **การทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากเครื่องมือวัดที่มี**

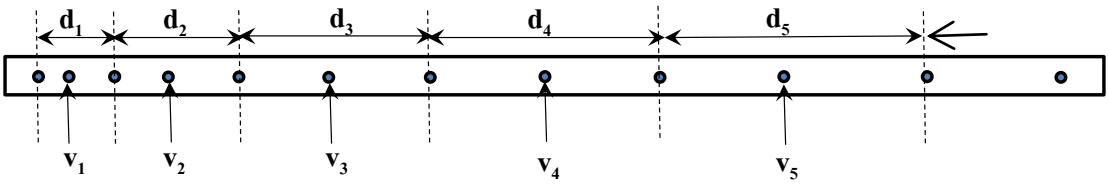
ทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากเครื่องมือวัดที่มี ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ติดตั้งชุดทดลองโดยยึดเครื่องเคาะสัญญาณเวลากับฐานตั้งหรือขอบโต๊ะให้อยู่ในแนวดิ่งให้สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา แขวนถุงทรายกับแถบกระดาษคาร์บอนโดยให้ปลายด้านหนึ่งของแถบกระดาษรอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ใช้มือจับถุงทรายไว้ กดสวิตซ์หม้อแปลงไฟจะทำให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาจะทำงาน แล้วปล่อยถุงทรายให้ตกอิสระ แถบกระดาษจะถูกลากผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำให้ปรากฏจุดบนแถบกระดาษนั้นหลังจากนี้นำไปวิเคราะห์โดยแบ่งแถบ



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การจับเวลาด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

กระดาษออกเป็นตอนๆ ตอนละ 2 ช่วงจุด แล้วคำนวณหาค่าความเร็วขณะใดขณะหนึ่งด้วยสมการ $\vec{v}_{in} = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}\right) = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะใดขณะหนึ่งกับเวลา จะได้กราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งจากสมการ $v = u + at$ จะได้ค่าความชันของเส้นกราฟเป็นค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ เนื่องจากวัตถุตกอิสระภายใต้สนามแรงโน้มถ่วง ดังนั้นค่าความเร่งนี้จึงเป็นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง g นั่นเอง มีข้อมูลผลการทดลองดังนี้



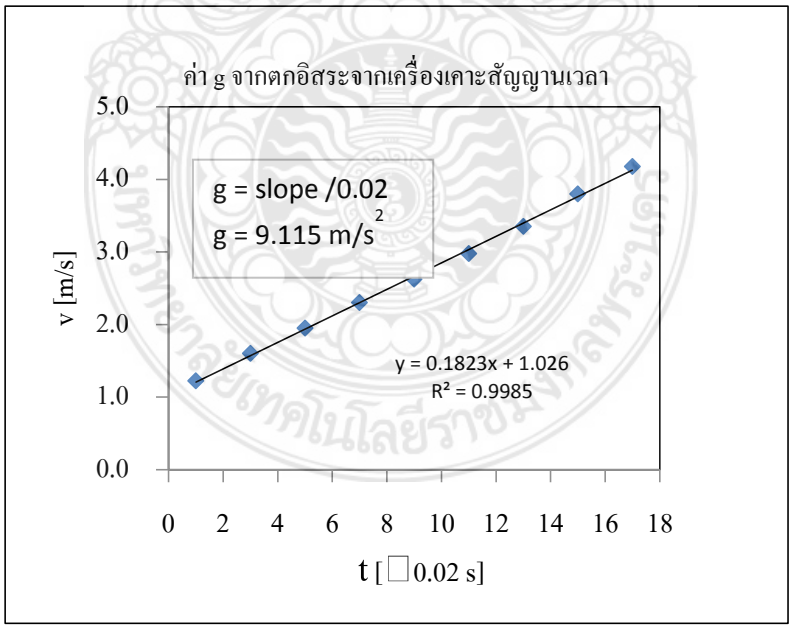
ผลการการทดลอง ขนาดของการกระจัดของแถบกระดาษแต่ละตอน ซึ่งใช้เวลา 2/50 วินาที เท่ากัน

ระยะกระจัด	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9
(cm)	4.90	6.40	7.80	9.20	10.50	11.90	13.40	15.20	16.70

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ขนาดของความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง ณ ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของแถบกระดาษแต่ละตอน

ความเร็ว	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9
(m/s)	1.225	1.600	1.950	2.300	2.625	2.975	3.350	3.800	4.175

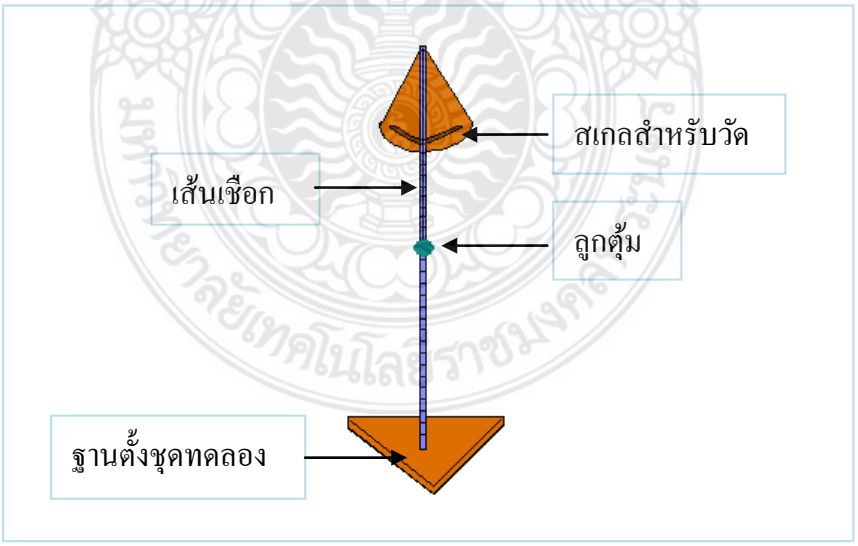
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ โดยการจับเวลาของการเคลื่อนที่ด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ โดยใช้การจับเวลาด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft excel ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g = 9.115 m/s^2 วิธีนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองร้อยละ 6.83

วิธีที่ 2 การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย มวล m ที่ผูกด้วยเชือกเบาในกรณีที่มุมของการแกว่งน้อยกว่า 5 องศา การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) การทดลองจะจัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพ โดยวัดความยาวเชือกจากจุดที่ยึดกับแป้นวัดถึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลูกตุ้ม แล้วบันทึกผล หลังจากนั้นให้จับลูกตุ้มให้เชือกกางทำมุม 5^0 กับแนวดิ่ง ให้เส้นเชือกมีระนาบขนานกับแกนของขาตั้ง แล้วปล่อยลูกตุ้ม จับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาในการแกว่งของลูกตุ้มจำนวน 10 รอบของการแกว่ง ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วทำการทดลองซ้ำในทำนองเดียวกันแต่เปลี่ยนความยาวของเส้นเชือกอีก 2 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยของคาบการแกว่ง T แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของการการแกว่ง (T^2) กับความยาวเชือก (ℓ) ซึ่งจากสมการของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์คือ $T^2 = \frac{4\pi^2 \ell}{g}$ จะได้ว่าความชันเส้นกราฟเท่ากับ $\frac{T^2}{\ell}$ ดังนั้นเมื่อทราบค่าของความชันเส้นกราฟจึงหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g ได้ นั่นคือค่าของ $g = \frac{4\pi^2}{\text{slope}}$

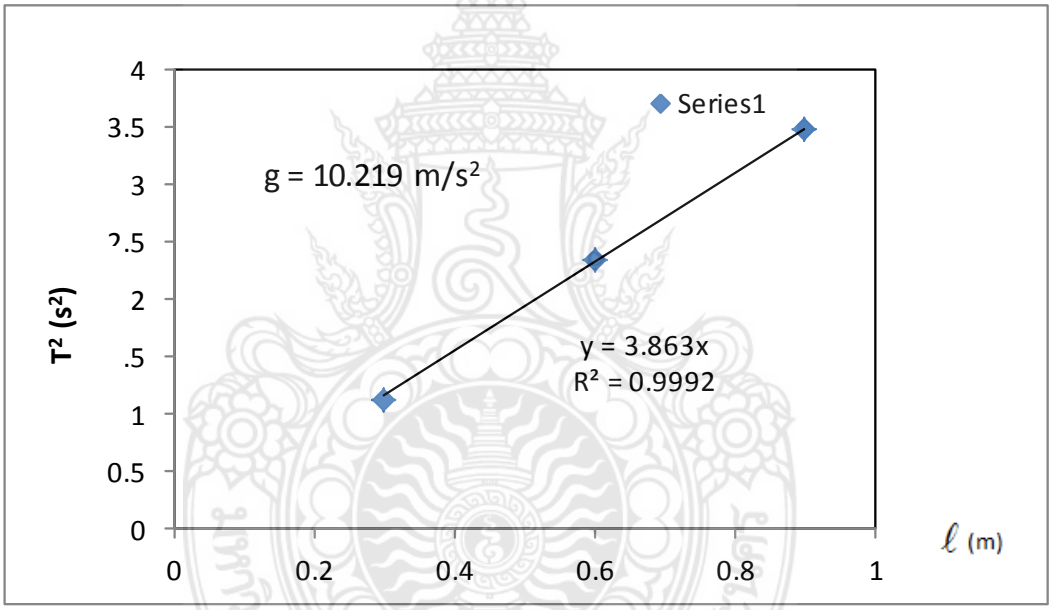


รูปที่ 6 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย และ การจับเวลานาฬิกาจับเวลา

ผลการทดลอง การแกว่งลูกตุ้ม 10 รอบ มุม 5^0 กับแนวดิ่ง หน่วยการวัดเวลาเป็นวินาที

เวลา / ความยาวเชือก	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเวลาเฉลี่ย	T (s)	T^2 (s^2)
30 cm	10.53	10.56	10.53	10.60	10.68	10.58	1.058	1.1194
60 cm	15.18	15.41	15.25	15.38	15.31	15.30	1.530	2.3409
90 cm	18.66	18.75	18.56	18.69	18.53	18.64	1.864	3.4745

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของการการแกว่ง (T^2) กับความยาวเชือก (ℓ)



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของการการแกว่ง (T^2) กับความยาวเชือก (ℓ)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft excel ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g = 10.219 m/s^2 วิธีนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองร้อยละ 4.45

วิธีที่ 3 การปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ประกอบด้วยอุปกรณ์ปล่อยวัตถุและใช้ระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบอินเตอร์เฟสและเซนเซอร์แบบแสงเป็นเครื่องมือสำหรับวัดความเร็วของการเคลื่อนที่ เมื่อผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2

จากนั้นนำไปเข้าสมการการคำนวณ $v^2 = u^2 + 2gh$ การทดลองนี้ความเร็วต้นของการทดลอง u มีค่าเท่ากับความเร็วที่ได้จากการเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 1 และมีความเร็วปลาย v มีค่าเท่ากับความเร็วที่ได้จากการเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 2 จึงสามารถคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ได้จากสมการ $g = \frac{v^2 - u^2}{2h}$ ดังนั้นการทดลองต้องวัดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองตัว ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดที่ระยะห่างกัน 60 เซนติเมตร

รูปที่ 8 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า g โดยใช้การปล่อยอิสระด้วยอุปกรณ์ปล่อยวัตุและจับความเร็วและเวลาขนองการเคลื่อนที่ด้วยการประมวลจากคอมพิวเตอร์และเซนเซอร์แสง

ผลคทดลอง จับความเร็วของกการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อผ่านเซนเซอร์แต่ละตัว และการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ครั้งที่	u (m/s)	v (m/s)	g (m/s^2)
1	1.992	3.81	8.790
2	1.953	3.825	9.014
3	1.875	3.805	9.135
4	1.76	3.824	9.604
5	1.767	3.880	9.943
6	1.754	3.792	9.419
7	1.756	3.799	9.457
8	1.754	3.795	9.438
9	1.753	3.789	9.403
10	1.762	3.834	9.662

ผลการทดลองนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.387 m/s^2 และมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 4.05 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.333

3. การออกแบบพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามการสร้างเครื่องมือ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ 4 ขั้น ดังนี้

1) ขั้นเตรียม ศึกษาฐานความรู้ที่เป็นพื้นฐานของเนื้อหาจากหนังสือ ตำราต่างๆ และข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เนต ทำความเข้าใจถึงวิธีการต่างข้อดีและข้อจำกัดต่างๆ

2) กำหนดวิธีการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จากหลักการออกแบบการผลิตสื่อการสอน คำนึงถึงความชัดเจนของเนื้อหา ระยะเวลาของการเรียนการสอน วัตถุประสงค์การเรียนรู้และผลการเรียนที่คาดหวัง และคำนึงถึงครุภัณฑ์ที่มี รวมทั้งงบประมาณของการวิจัย

3) เขียนโครงร่างคร่าวๆ ของเครื่องมือชุดการทดลอง รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์ และรายละเอียดของการดำเนินการทดลอง การออกแบบคำนึงถึงความสะดวก ความเที่ยงตร ความแม่นยำ และใช้เวลาน้อยในการทดลอง

4) นำแบบอย่างคร่าวๆ ไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการทดลอง จำนวน 3 ท่าน ถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องมือ แล้วปรับปรุงแบบตามคำแนะนำความเหมาะสม แล้วนำแบบไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเครื่องมือ และปรับปรุงแบบของชุดทดลองที่จะสร้างขึ้นจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทั้งสองด้านคือผู้เชี่ยวชาญด้านการทดลอง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาด้านฟิสิกส์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องมือ ซึ่งเป็นผู้ที่เรียนจบด้านวิศวกรรม

4. การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ประกอบด้วย 3 ระบบหลัก คือ

1) ระบบท่อสูญญากาศ

2) ระบบควบคุมการเคลื่อที่ท่อสูญญากาศและวัตถุในท่อ

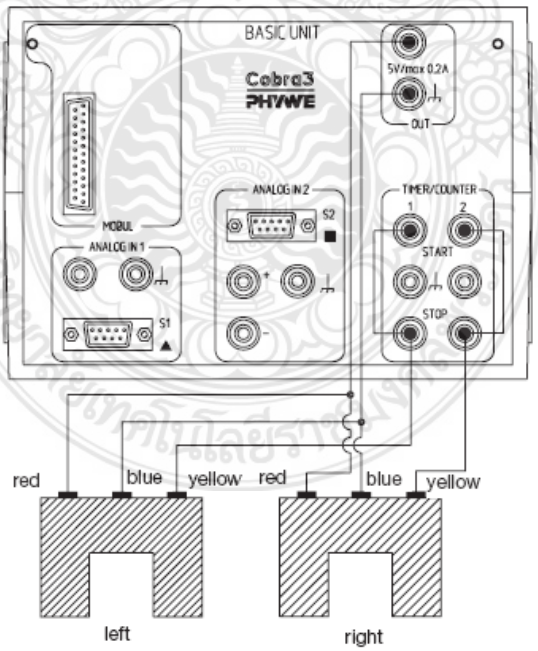
3) ระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุชุดทดลองการตกอย่าง

1) ระบบท่อสูญญากาศ เป็นระบบปิด ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ท่ออะคริลิคปลายปิด สายยาง และปั๊มชนิด Vacuum Pump โดยใช้แท่งอลูมิเนียมกลึงขึ้นรูปปิดหัวและท้าย มีโอริงกันอากาศซึมเข้าออกระหว่างอากาศในท่อกับนอกท่อ ด้านบนซึ่งปิดด้วยอลูมิเนียมจะกลึงเป็นเบ้าครึ่งทรงกลมขนาดเท่าลูกกลมเหล็กที่จะใช้เป็นวัตถุในการทดลอง เพื่อเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของท่อในการปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ปลายส่วนด้านล่างของท่อมีอุปกรณ์ข้อต่อและสายยางเชื่อมต่อท่อส่วนที่มีอลูมิเนียมปิดทับกับปั๊ม โดยมีการใส่วาล์วชนิดทางเดียวไว้ในระหว่างปั๊มกับท่ออะคริลิคเพื่อเป็นการดูดอากาศออกทางเดียวป้องกันไม่ให้อากาศออกมาขณะทำการทดลอง และป้องกันไม่ให้น้ำมันในปั๊มถูกดูดเข้าไปในท่ออคิลิคเมื่อปิดปั๊ม และที่ปั๊มจะมีเกจสำหรับวัดความดันอากาศติดด้วยสำหรับอ่านค่าความดันอากาศ ท่อที่ใช้ถ้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มากก็จะใช้ปั๊มที่มีกำลังต่ำและใช้เวลาในการสูบอากาศไม่นานก็จะเป็นสูญญากาศ ในการวิจัยนี้ใช้ท่อขนาดยาว 1.0 เมตร ใช้ปั๊มชนิด Vacuum Pump

2) ระบบควบคุมการเคลื่อที่ของท่อสูญญากาศและวัตถุในท่อที่ใช้สำหรับการทดลองการตกอิสระ การควบคุมการเคลื่อนที่ของท่อใช้หลักของโมเมนต์ โดยมีฐานตั้งชุดทดลองผลิตจากอลูมิเนียม และมีสกรูยึดยึดฐานตั้งชุดทดลองกับโต๊ะโดยสามารถปรับระยะได้ตามขนาดความกว้าง

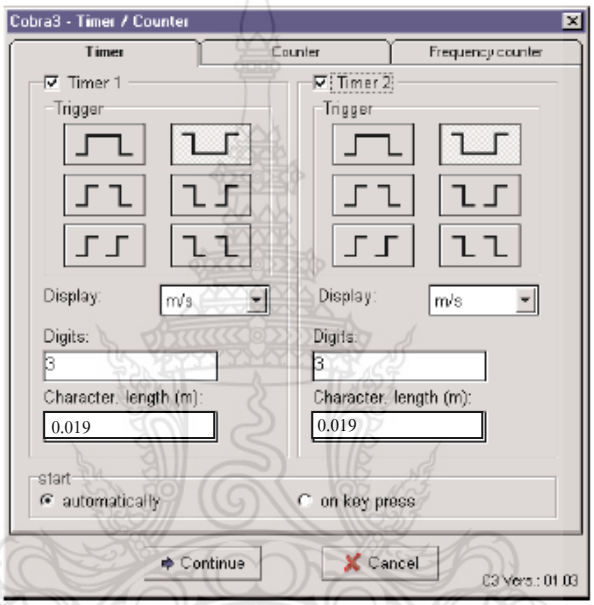
ของโต๊ะทดลองที่จะใช้วางอุปกรณ์ และมีสกรูแบบกดล๊อคเพื่อใช้เป็นจุดหมุนของการหมุนท่อ เพื่อเคลื่อนที่วัตถุที่จะใช้ในการศึกษาซึ่งอยู่ภายในท่อให้เคลื่อนที่จากด้านล่างของท่อมาอยู่ด้านบนของท่อโดยที่ไม่ต้องถอดปลายอลูมิเนียมที่ปิดทับออก ซึ่งจะเป็นการเสียเวลามาก ที่ด้านบนของระบบท่อสูญญากาศมีแท่งอลูมิเนียมที่เจาะรูยึดติดไว้เพื่อสอดแท่งแม่เหล็กเข้าไป สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วัตถุในการเคลื่อนที่อิสระเป็นลูกกลมโลหะ การเลือกเป็นวัตถุเป็นทรงกลมเนื่องจากเป็นรูปทรงที่สมมาตร ลดแรงต้านของอากาศได้ดี และขณะลูกกลมเคลื่อนที่มีการสมดุลดีกว่ารูปทรงอื่น เพื่อว่าในการทดลองเมื่อปริมาตรของอากาศในท่อมีน้อยจะได้สูญอากาศออกจากท่อในปริมาตรที่น้อยด้วย ผลที่ได้คือไม่

3) ระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรม measurement ใช้ร่วมกับชุดอินเตอร์เฟส Cobra3 Timer และอุปกรณ์ชุดเซนเซอร์แสงอีก 2 อัน ระบบท่อสูญญากาศเป็นท่ออะคริลิคซึ่งมีความใสและเหนียว จึงสามารถใช้กับเซนเซอร์แสง ในการจับความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ จะได้ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่แม่นยำ ในการตั้งค่าโปรแกรมนี้จะต้องต่อชุดเซนเซอร์แสงกับวงจรของเครื่องอินเตอร์เฟสดังรูป ซึ่งจะไปเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยการเก็บข้อมูลการทดลองเริ่มจากการเรียกโปรแกรม measurement ของคอมพิวเตอร์แล้วให้เปิดโปรแกรม Timer/Counter และทำการตั้งค่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อทำ



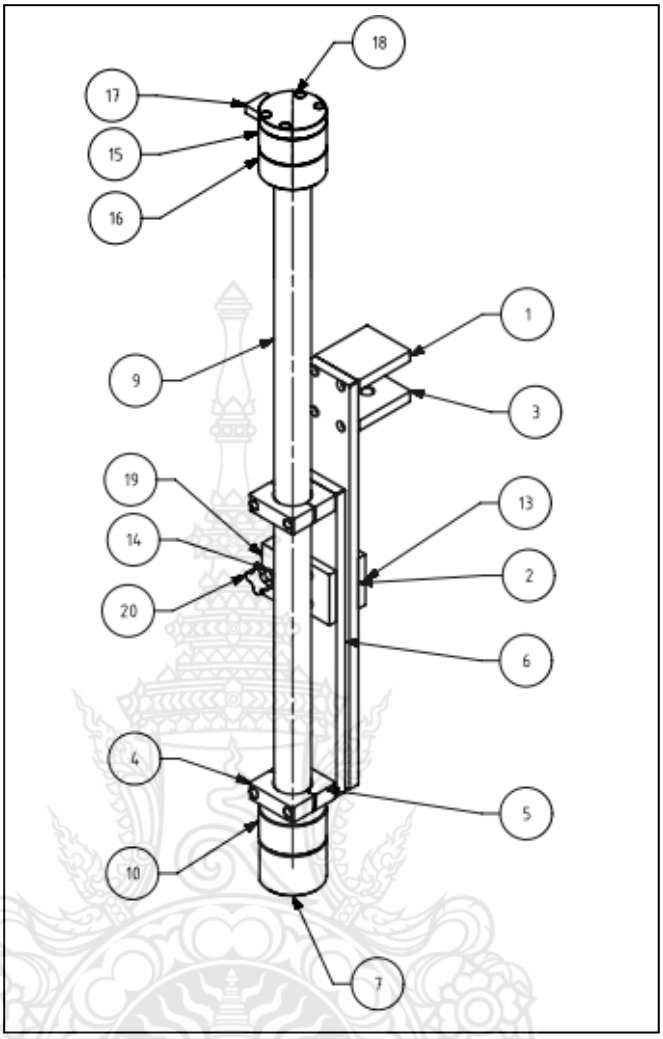
รูปที่ 9 แสดงการต่อวงจรของเครื่องอินเตอร์เฟส

การวัดค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ ในส่วนที่เรียกว่า Trigger เป็นดังรูป ส่วนของ display เลือกเป็นการวัดความเร็ว แสดงในหน่วย m/s สำหรับค่า Digits เป็นการแสดงจำนวนทศนิยม เลือกเป็น 3 เพื่อให้แสดงค่าด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง และสุดท้ายคือค่า Character length คือการแสดงค่าของวัตถุที่เคลื่อนที่เพื่อตัดแสง ให้เลือกตามขนาดของวัตถุในการทดลอง ในที่นี้ใช้ลูกกลมเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19.0 มิลลิเมตร โดยทำการวัดด้วยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ จึงใส่เป็นค่า 0.019 เนื่องจากโปรแกรมบันทึกในหน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 10 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อทำการวัดค่าความเร็ว

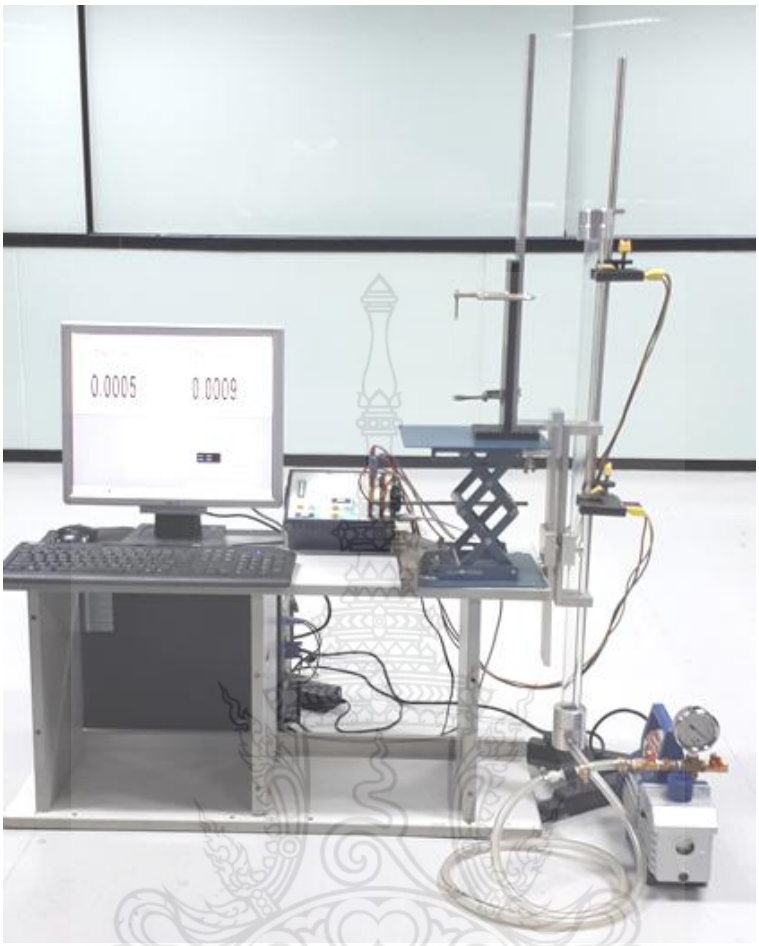
วางเซนเซอร์ที่ต่อเข้ากับ Timer1 ของตัวอินเตอร์เฟส ไว้ที่ตำแหน่งสูงกว่าเซนเซอร์ที่ต่อเข้ากับ Timer 2 ไว้ แล้วกด Continue จะขึ้นหน้าต่างของ Timer ทำการปรับตัวจับยึดจนกระทั่งวัตถุอยู่นิ่ง ซึ่งสังเกตได้จากหน้าต่างบนคอมพิวเตอร์ บนหน้าต่างของ Timer 1 และ Timer 2 ขึ้นหน้าจอว่า Wait จึงจะทำการปล่อยวัตถุให้ตกลงมา ด้วยการดึงแม่เหล็กที่ยึดลูกกลมเหล็กซึ่งอยู่ด้านบนของท่อออกด้านข้างหรือจะดึงขึ้นก็ได้ แล้วลูกกลมจะเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตามลำดับ ค่าความเร็วที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 จะเป็นความเร็วต้น และค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 จะเป็นความเร็วปลายของการเคลื่อนที่ของวัตถุ หลังนั้นนำค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ไปคำนวณหาค่า ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 11 แสดงระบบท่อสูญญากาศพร้อมอุปกรณ์จับยึดท่อ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

วิธีทดลอง

1) ขั้นเตรียมการทดลอง ต่อชุดระบบท่อสูญญากาศกับระบบควบคุมการเคลื่อที่ท่อสูญญากาศ หมุนสกรูยึดระบบท่อกับโต๊ะทดลอง ตั้งชุดทดลองให้อยู่ตรงในแนวดิ่ง และวางชุดระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้เซนเซอร์แสงบนพื้น ปรับระยะห่างระหว่างเซนเซอร์สองตัวตามต้องการ ในที่นี้ใช้ระยะห่าง 60 เซนติเมตร และจัดวางให้ตำแหน่งส่งและรับสัญญาณของเซนเซอร์อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางท่ออะคริลิค



รูปที่ 12 แสดงการต่อชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกของชุดทดลองที่สร้างขึ้นในการวิจัย

2) ทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ ทดสอบปั๊มโดยกดเปิดสวิตซ์ดูว่าเข็มบนหน้าปัดของปั๊มแสดงการเปลี่ยนแปลงมีค่าความดันอากาศลดลงจนสุดสเกลแล้วคงที่ ทดสอบระบบตรวจจับความเร็วของการเคลื่อนที่วัตถุ โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่แนะนำมาแล้วในเบื้องต้น เมื่อหน้าจอคอมพิวเตอร์แสงสถานะเสถียรของเซนเซอร์ว่าพร้อมใช้งาน ให้ทดลองใช้นิ้วมือหรือวัสดุทึบแสงตัดผ่านตัวจับสัญญาณตัวแรก (ตัวบน) จะเห็นตัวเลขบนหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ในส่วนของ Timers 1 แล้วทดสอบเซนเซอร์ตัวที่สองในทำนองเดียวกันก็จะปรากฏตัวเลขที่บนหน้าจอ

3) ขั้นทดลองการตกอิสระของวัตถุ โดยหลังจากติดตั้งเครื่องมือเรียบร้อยแล้ว แท่งแม่เหล็กถาวรสอดไว้ในช่องด้านบนของชุดระบบท่อสูญญากาศ ลูกกลมเหล็กถูกแม่เหล็กดูดไว้ให้อยู่ในตำแหน่งเบ้าซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของท่อออคริลิค ปั๊มสูญญากาศได้ต่ออยู่กับท่อออคริลิกที่ปลายล่าง ระบบเซนเซอร์แสงเพื่อตรวจจับความเร็วอยู่ในสถานะพร้อมทำงานแล้ว ให้ทำการดึงแท่งแม่เหล็กออกจากด้านบนของระบบท่อ ลูกกลมเหล็กจะตกลงในแนวดิ่งแบบอิสระ ผ่านเซนเซอร์ตัวแรก และตัวที่สองตามลำดับ บนจอคอมพิวเตอร์ที่หน้าต่างของ Timer จะแสดงตัวเลขความเร็วของการเคลื่อนที่ แล้วบันทึกข้อมูล และวิเคราะห์หาค่า g

5. การทดสอบเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หลังจากที่สร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเสร็จแล้วในเบื้องต้น ได้ดำเนินการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของชุดทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยวิเคราะห์จากปัญหาที่เกิดขึ้นเฉพาะหน้า แล้วปรับปรุงแก้ไข ในการวิจัยครั้งนี้มีอุปสรรคที่เป็นปัญหาที่ทำให้ต้องปรับปรุงเครื่องมือหลายครั้งด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาน้ำมันจากปั๊มสูญญากาศถูกดึงเข้าไปในระบบท่อหลังการปิดปั๊ม ได้แก้ไขครั้งแรกโดยใช้ตัวกรองน้ำมันมาช่วย แต่ปรากฏยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ดีเท่าที่ควร ยังมีน้ำมันเข้าระบบได้บ้างแต่น้อยลง จึงแก้ปัญหาด้วยการติดวาล์วทางเดียวแทนที่ตำแหน่งของตัวกรองน้ำมันทำให้แก้ปัญหาได้ นอกจากนี้ยังพบการติดตั้งระบบตรวจวัดความเร็วด้วยแสงว่าไม่เสถียรทำให้ยากต่อการวัดทั้งนี้เนื่องจากเดิมได้ติดตั้งยึดเซนเซอร์สำหรับจับความเร็วไว้กับชุดระบบท่อสูญญากาศทำให้เสียความเสถียรง่าย จึงแยกระบบตัวนี้ออกมาต่างหาก นอกจากนี้ยังพบจากการทดลองซึ่งในตอนแรกได้ใช้ท่อที่ยาว 2.0 เมตร มาใช้ในการทดลองเนื่องจากคิดว่าท่อยาวจะเห็นผลจากการมีแรงต้านของอากาศกับไม่มีแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่กลับเป็นการสร้างปัญหาให้ทดลองยากเพราะสูง และเนื่องจากความสูงทำให้ระบบจับยึดท่อมีความเสถียรยาก และเมื่อทดลองปล่อยวัตถุโดยให้ตำแหน่งของเซนเซอร์สองตัวที่ใช้ในการทดลองมีระยะห่างต่างกันหลายๆ ค่า พบว่าแม้ระยะห่างจะห่างกันไม่มากนักก็เห็นผลการทดลอง จึงต้องดำเนินการลดขนาดความยาวของท่อลง ซึ่งการแก้ปัญหาต่างๆ ผ่านไปได้ก็ด้วยการวิเคราะห์ปัญหาและการให้คำปรึกษาของผู้เชี่ยวชาญด้ จนสามารถสร้างเครื่องมือวัดที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้สำเร็จ

6. การตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้นมา

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้นจากเอกสารต่างๆ เช่น ตำราเกี่ยวกับการวิจัย งานวิจัยในลักษณะเดียวกัน เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินคุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดทดลองที่สร้างขึ้นมา 3 ขั้นตอน คือ

1) การเก็บข้อมูลการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ทำโดยทีมงานวิจัย ในการวิจัยนี้ได้เลือกตำแหน่งให้เซนเซอร์สำหรับจับวัดความเร็วของการเคลื่อนมีระยะห่างกัน 60 เซนติเมตร และทำการทดลองซ้ำในทำนองเดียวกันรวม 10 ครั้ง แต่ละครั้งนำผลการวัดความเร็วและระยะทางที่ตำแหน่งจากห่างกันไปคำนวณหาค่า g ตามสมการ $g=\frac{v^2-u^2}{2h}$ แล้วคำนวณค่า g เฉลี่ยทั้งหมด

2) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมของ Microsoft excel

3) คำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ยอมรับคือค่า g ณ กรุงเทพฯ ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีค่าเท่ากับ 9.78297 m/s^2 ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เลขนัยสำคัญ 3 ตัว ตามความละเอียดของเครื่องมือวัด

การหาประสิทธิภาพของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นได้ตั้งค่าประสิทธิภาพที่ยอมรับคือร้อยละของความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 4.00 เนื่องจากเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีอยู่หลายๆวิธี มีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 4.00 ดังเห็นได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือชุดทดลองที่มีอยู่ในตอนต้นของบทนี้ ถ้ามีความคลาดเคลื่อนได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะถือว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพ

7. การประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของเครื่องมือจากเอกสารต่างๆ เช่น ตำราเกี่ยวกับการวิจัย งานวิจัยในลักษณะเดียวกัน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น มีการดำเนินการ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) สร้างแบบประเมินคุณภาพของเครื่องมือเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามวิธีของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์; 2538: 114) และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญที่จะประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบ แล้วปรับปรุงแก้ไข

ระดับ 5 หมายถึง มีคุณภาพดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง มีคุณภาพดี

ระดับ 3 หมายถึง มีคุณภาพพอใช้

ระดับ 2 หมายถึง ต้องปรับปรุง

ระดับ 1 หมายถึง ใช้ไม่ได้

ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ประเมิน 4 ด้านคือ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน นอกจากนี้ยังมีส่วนปลายเปิดให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็น และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมด้วย

2) นำแบบประเมินคุณภาพของเครื่องมือไปให้ผู้เชี่ยวชาญที่จะประเมินคุณภาพของเครื่องมือจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสม ได้เครื่องมือวัดในแต่ละด้านมีจำนวนข้อดังนี้

- ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป จำนวน 4 ข้อ
- ด้านลักษณะการใช้งาน จำนวน 4 ข้อ
- ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม จำนวน 4 ข้อ
- ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน จำนวน 4 ข้อ

แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามที่ปรับปรุงเพื่อนำหาค่าดัชนีความสอดคล้อง เมื่อผ่านเกณฑ์การประเมินจึงจะนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดค่าที่สร้างขึ้น

3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดลองตรวจประเมินคุณภาพของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น หลังจากสร้างเครื่องมือเสร็จ ผลการประเมิน มีเกณฑ์ในการแปลความหมายของคะแนนเฉลี่ยที่ได้ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง มีคุณภาพดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีคุณภาพดี

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง มีคุณภาพพอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง ต้องปรับปรุง

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง ใช้ไม่ได้

4) สถิติที่ใช้ในการประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ ใช้คือค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมของ Microsoft Excel

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยเรื่อง พัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการศึกษาเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลอง ดำเนินการ 3 ขั้นตอนคือ

1) การเก็บข้อมูลการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในการวิจัยนี้ได้เลือกตำแหน่งให้เซนเซอร์สำหรับจับวัดความเร็วของการเคลื่อนมีระยะห่างกัน 60 เซนติเมตร และทำการทดลองซ้ำในทำนองเดียวกันรวม 10 ครั้ง แต่ละครั้งนำผลการวัดความเร็วและระยะทางที่ตำแหน่งจากห่างกันไปคำนวณหาค่า g แล้วคำนวณค่า g เฉลี่ยทั้งหมด

2) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมของ Microsoft Excel

3) คำนวณหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ยอมรับคือค่า g ณ กรุงเทพฯ ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีค่าเท่ากับ 9.78297 m/s^2 ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง จึงใช้ค่าเป็น g = 9.783 m/s^2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ครั้งที่	u (m/s)	v (m/s)	g (m/s^2)
1	1.656	3.788	9.609
2	1.537	3.630	9.012
3	1.489	3.787	10.104
4	1.551	3.692	9.354
5	1.622	3.698	9.204
6	1.648	3.880	10.282
7	1.595	3.765	9.693
8	1.619	3.822	9.989
9	1.620	3.808	9.897
10	1.635	3.675	9.027

ผลการทดลองนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.617 m/s^2 และมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 1.697 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.454 ผลการทดลองแสดงว่าเครื่องมือที่พัฒนามีประสิทธิภาพ โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเพียง 1.697

ตอนที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่าน

การประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงระดับความคิดเห็นจากการประเมินผลคุณภาพของชุดทดลอง 4 ด้าน

รายการประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1.ลักษณะทางกายภาพทั่วไป					
1.1 ชุดทดลองมีความมั่นคงและแข็งแรง	////	/			
1.2 การออกแบบชุดทดลองมีความน่าสนใจ	////	/			
1.3 รูปร่างและขนาดมีความเหมาะสมต่อการใช้ทดลอง	/////				
1.4 ชิ้นส่วนต่างๆสามารถประกอบเป็นชุดทดลองได้ง่าย	////	/			
2. ลักษณะการใช้งาน					
2.1 การติดตั้งชุดทดลองสามารถทำได้รวดเร็ว	////	/			
2.2 การใช้งานในขณะทำการทดลองมีความสะดวก	////	/			
2.3 สามารถทำการทดลองเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว	/////				
2.4 มีความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง	/////				
3. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม					
3.1 การบำรุงรักษาและเก็บรักษาทำได้ง่าย	////	/			
3.2 การเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดทำได้ง่าย	////	/			
3.3 สามารถซ่อมบำรุงแยกแต่ละส่วนได้สะดวก	/////				
3.4 มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงไม่สูง	////		/		
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน					
4.1 พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	/////				
4.2 สามารถทำการทดลองซ้ำได้เร็ว	/////				
4.3 ผู้เรียนมีส่วนร่วมทำการทดลอง	/////				
4.4 กระบวนการทดลองเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	/////				

ข้อเสนอแนะต่อเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น จากผู้เชี่ยวชาญมีดังนี้

1. ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับข้อต่อในระบบสูญญากาศ

2. ต้องบำรุงรักษาท่อที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากมีผลกับการตรวจวัดความเร็วด้วยแสงของเซนเซอร์
3. ควรเพิ่มเกจวัดความดันบริเวณท่อที่ทำการทดลอง เนื่องจากระบบสูญญากาศมีท่อสำหรับดูดอากาศที่ยาว ซึ่งมีผลต่อความดัน ดังนั้นบริเวณปากปั๊มกับบริเวณท่อทดลองจะมีความแตกต่างกันของความดันอากาศค่อนข้างสูง
4. ควรนำผลของเลขนัยสำคัญมาพิจารณาด้วย
5. ควรพิจารณาความสามารถในการทำงานของเซนเซอร์ ที่ใช้งานกับวัตถุโปร่งแสงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

ตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัย 4 ด้าน

รายการประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	$\overline{X}$	**SD**	**แปลผล**
1.ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	4.850	0.366	ดีมาก
1.1 ชุดทดลองมีความมั่นคงและแข็งแรง	4.800	0.447	ดีมาก
1.2 การออกแบบชุดทดลองมีความน่าสนใจ	4.800	0.447	ดีมาก
1.3 รูปร่างและขนาดมีความเหมาะสมต่อการใช้ทดลอง	5.000	0.000	ดีมาก
1.4 ชิ้นส่วนต่างๆสามารถประกอบเป็นชุดทดลองได้ง่าย	4.800	0.447	ดีมาก
2. ลักษณะการใช้งาน	4.900	0.308	ดีมาก
2.1 การติดตั้งชุดทดลองสามารถทำได้รวดเร็ว	4.800	0.447	ดีมาก
2.2 การใช้งานในขณะทำการทดลองมีความสะดวก	4.800	0.447	ดีมาก
2.3 สามารถทำการทดลองเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว	5.000	0.000	ดีมาก
2.4 มีความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง	5.000	0.000	ดีมาก
3. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม	4.800	0.523	ดีมาก
3.1 การบำรุงรักษาและเก็บรักษาทำได้ง่าย	4.800	0.447	ดีมาก
3.2 การเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดทำได้ง่าย	4.800	0.447	ดีมาก
3.3 สามารถซ่อมบำรุงแยกแต่ละส่วนได้สะดวก	5.000	0.000	ดีมาก
3.4 มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงไม่สูง	4.600	0.894	ดีมาก

รายการประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	$\overline{X}$	SD	แปลผล
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	5.000	0.000	ดีมาก
4.1 พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	5.000	0.000	ดีมาก
4.2 สามารถทำการทดลองซ้ำได้เร็ว	5.000	0.000	ดีมาก
4.3 ผู้เรียนมีส่วนร่วมทำการทดลอง	5.000	0.000	ดีมาก
4.4 กระบวนการทดลองเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	5.000	0.000	ดีมาก
รวมรายการประเมินทุกด้าน	4.888	0.365	ดีมาก

จากตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัย จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน มีผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยทั้ง 4 ด้าน จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตคือ 4.888 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.356 และเมื่อพิจารณาผลการประเมินในแต่ละด้านมีค่าดังนี้

1. ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป มีคุณภาพดีมากทุกหัวข้อ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.366
2. ด้านลักษณะการใช้งาน มีคุณภาพดีมากทุกหัวข้อ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.308
3. ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม มีคุณภาพดีมากทุกหัวข้อ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.523
4. ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน มีคุณภาพดีมากทุกหัวข้อ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.000

การประเมินที่มีค่าคุณภาพต่ำสุดคือด้านการบำรุงรักษาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ยเป็น 4.600 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.894 และรายการประเมินที่มีค่าคุณภาพสูงสุดคือความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน มีค่าเฉลี่ยเป็น 5.000 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.000

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อพัฒนาชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก สำหรับสาระสำคัญของบทนี้ในต่อไปนี้จะกล่าวถึง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล สรุปผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น และการอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การวิจัยเรื่องนี้มีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 2 ประเภท คือ

1. ชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่พัฒนาขึ้น
2. แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาชุดทดลอง ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลของการทดลองและการประเมินด้วยตนเองแล้วนำไปวิเคราะห์ผล

สรุปผลการพัฒนาชุดทดลอง การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของชุดทดลอง การประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลองที่พัฒนาพิจารณาจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ในการวิจัยนี้ถือว่าเครื่องมือเมื่อประสิทธิภาพเมื่อร้อยละของความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 4.00 จากการคำนวณหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนโดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับค่าค่าที่ยอมรับซึ่งวัดโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่ง ณ กรุงเทพฯ ของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 9.78297 m/s^2 ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง จึงใช้ค่า 9.783 m/s^2 วิเคราะห์ผลจากการทดลองด้วยโปรแกรม Microsoft Excel พบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกหรือ g เท่ากับ 9.617 m/s^2 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.454 และมีค่าความ

คลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.697 ผลการทดลองแสดงว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดี

2. ประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัยทำการประเมินแบบประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญในการสอนและการปฏิบัติการด้านฟิสิกส์ จำนวน 5 คน เกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้คือมีระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ไม่น้อยกว่า 3.51 คือเกณฑ์ในระดับดีหรือดีมาก แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองครอบคลุม 4 ด้าน คือ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft excel พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละด้านเป็น 4.85 , 4.90 , 4.80 และ 5.00 เรียงตามลำดับ และคุณภาพของชุดทดลองจากการประเมินทั้ง 4 ด้าน มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต 4.89 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.356 สรุปได้ว่าผลจากการประเมินผลคุณภาพของชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญดังที่ปรากฏเป็นตัวเลขแสดงว่าชุดทดลองที่สร้างมีคุณภาพในภาพรวมและในแต่ละด้านของการประเมินอยู่ในระดับดีมากทั้งหมด

อภิปรายผลการพัฒนาชุดทดลอง การอภิปรายผลการวิจัย แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นในการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g แสดงว่าชุดทดลองที่พัฒนามีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ การที่ชุดทดลองมีประสิทธิภาพนั้นเป็นผลมาจากหลายประการ ได้แก่

1.1 การออกแบบการสร้างชุดทดลองที่ดี ด้วยการศึกษาข้อบกพร่องของการทดลองวัดค่าจากเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลอง 3 วิธี คือวิธีที่ 1การปล่อยวัตถุให้ตกอิสระและใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาจับเวลาการเคลื่อนที่ วิธีที่ 2 การปล่อยลูกตุ้มให้แกว่งอย่างง่ายและจับเวลาของการเคลื่อนที่ด้วยนาฬิกาจับเวลา และวิธีที่ 3 การปล่อยวัตถุให้ตกอิสระ ใช้อุปกรณ์ตัวปล่อยวัตถุในการปล่อยวัตถุและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์แสงจับความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งผลที่ได้จากทั้ง 3 วิธีมีค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนมากกว่า 4.00 และวิธีที่พบว่ามีเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนน้อยสุดคือ วิธีที่ 3 การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้น่าจะเป็นผลจากวิธีที่ 1 นั้นการเคาะแถบกระดาษของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นผลทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างผิวสัมผัสจึงเป็นผลต่อเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้วัดความเร็วได้น้อยลง ส่วนวิธีที่ 2 นั้นการใช้นาฬิกาจับเวลาของการเคลื่อนโดยใช้สายตาช่วยในการกำหนดตำแหน่ง ทำให้ระยะเวลาที่วัดได้ของการเคลื่อนที่มีโอกาสคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งในที่นี้พบว่ามีค่าของคาบการแกว่งน้อยกว่าที่ควรทำให้ค่าที่วัดได้มากกว่ากว่าที่ควรจะเป็น และวิธีที่ 3 การจับเวลาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้

ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเร็วด้วยแสงทำให้เวลาของการเคลื่อนที่ในระยะทางหนึ่งมีค่าถูกต้องมากขึ้นกว่าวิธีอื่นในที่นี้ ประกอบกับการใช้อุปกรณ์ช่วยในการปล่อยวัตถุทำให้วัตถุที่ถูกปล่อยลงมามีวิถีการเคลื่อนที่ที่น่าจะเป็นแนวดิ่งและไม่แกว่ง แม้ว่าวิธีที่ 3 นี้ดูน่าจะดี แต่ค่าที่วัดได้ก็มีค่าน้อยกว่าค่าจริง ซึ่งก็อาจจะเป็นผลของการปล่อยวัตถุนั้นวัตถุไม่ได้ตกอิสระภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของแท้จริง ทำให้ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการวิจัยในการทำให้วัตถุตกอิสระอย่างแท้จริงภายใต้สนามแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยการให้วัตถุตกในท่อสูญญากาศ ดังจะเห็นในชีวิตประจำวันว่าวัตถุก้อนที่มีน้ำหนักมากจะตกถึงพื้นก่อนวัตถุที่มีน้ำหนักน้อยกว่า และสำหรับวัตถุที่มีน้ำหนักเท่ากันถ้ารูปร่างของวัตถุเป็นแผ่นจะตกถึงพื้นช้ากว่ารูปทรงอื่นๆ นี่แสดงถึงว่าโมเลกุลของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งในขั้นของการออกแบบนี้ได้ออกแบบตามกระบวนการออกแบบเพื่อลดแรงต้านการเคลื่อนที่ของอากาศ แล้วนำแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านการสอนและการทดลองทางฟิสิกส์ได้พิจารณาและให้คำแนะนำ นอกจากนี้ยังให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตสื่อการสอนได้พิจารณาแบบและให้คำแนะนำ จึงทำให้การออกแบบชุดทดลองไปสู่เป้าหมาย ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของวีระศักดิ์ วัตถุและคณะ(2554;17) ที่กล่าวว่าการออกแบบชุดทดลองตามกระบวนการออกแบบที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งในที่นี้ก็คือผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการผลิตสื่อจะทำให้ได้ชุดทดลองที่มีคุณภาพ จึงนับว่าการประเมินและเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยในการวิจัยเชิงพัฒนา

2. การสร้างชุดทดลองมีกระบวนการปรับปรุงประสิทธิภาพชุดทดลอง ในแต่ละขั้นของการสร้างชุดทดลอผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเครื่องมือทำการสร้างต้นแบบชุดทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ในการกำหนดต่างๆ แล้วจึงดำเนินการให้เครื่องจักรอัตโนมัติกลึงชิ้นส่วนต่างๆ ออกมาตามแบบ แล้วจึงนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้สรูยึด จากนั้นนำวัสดุและเครื่องมือต่างมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบต่างๆ ของชุดทดลอง และปรับปรุงชุดทดลองจากปัญหาต่างๆที่พบ ด้วยความเอาใจใส่และสังเกตสิ่งต่างๆ ว่าสิ่งใดที่จะผลต่อการทดลองที่ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน โดยมีการดำเนินการในส่วนระบบต่างๆ ของชุดทดลองที่สร้าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบท่อสูญญากาศ ในการสร้างชุดทดลองได้ปรับชุดปล่อยวัตถุให้มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมเท่ากับลูกกลมที่ใช้ในการทดลองโดยให้อยู่ ณ ศูนย์กลางของท่อ ซึ่งจะเป็นผลให้วัตถุตกอิสระลงในแนวดิ่งไม่เอียงหรือเบนวิถีการเคลื่อนที่ตามแรงแม่เหล็ก ระบบควบคุมการเคลื่อที่ของท่อสูญญากาศและวัตถุ ได้ออแบบให้ใช้หลักของโมเมนต์ดังนั้นกำหนดให้มีจุดหมุนของระบบนี้เพื่ออาศัยแรงโน้มถ่วงทำให้ลูกกลมสามารถเคลื่อนที่ระหว่างปลายสองด้านของท่อ และใช้วัตถุในการทดลองเป็นลูกกลมเหล็กเพื่อให้ใช้แม่เหล็กช่วยในการเคลื่อนที่ จึงไม่ต้องเสียเวลาไขน๊อตต่างๆเพื่อเคลื่อนที่วัตถุในท่อ และระบบตรวจจับความเร็วด้วยแสงโดยใช้ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ได้ออกแบบให้ระบบนี้แยกเป็นอิสระจากระบบท่อสูญญากาศและระบบควบคุมการเคลื่อที่ของท่อสูญญากาศและวัตถุเพื่อให้เกิดความเสถียรของการวัดและจัดอุปกรณ์การทดลองได้สะดวก ดังนั้นกระบวนการทดสอบเครื่องมือและปรับปรุงจึงเป็นกระบวนการหนึ่งในการช่วยให้ชุดทดลองที่สร้างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการพัฒนาเครื่องมือ และงานวิจัยของกิ่งแก้ว บรรลุผล สกุลและคณะ(2551) ที่ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดทดลองเรื่องการวัดอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของทนง อัครธีรานนท์ (2552) ที่ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า ซึ่งก็ใช้กระบวนการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาชุดทดลอง

3. การดำเนินการวิจัยใช้กระบวนการกลุ่ม การวิจัยนี้ทำในลักษณะของทีมงานวิจัย ทำให้สอดคล้องกับการปฏิบัติการทดลองทางฟิสิกส์ที่มักอยู่ในรูปของกระบวนการกลุ่ม การเป็นทีมทำให้เกิดการแบ่งกันทำหน้าที่และประสานงานร่วมกันจึงทำให้การทดลองสะดวก รวดเร็ว และเห็นข้อผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง ดังนั้นจึงเป็นการช่วยกันอุดช่องโหว่ของการปฏิบัติการทดลองได้ ทำให้การทดลองต่างๆ ประสบผลสำเร็จด้วยดี เช่น ในการทดลองผู้ทดลองหลังจากเปิดสวิตซ์ของปั๊มสูญญากาศเพื่อให้ดูดอากาศของจากท่อของระบบสูญญากาศนั้นก็ต้องดูที่หน้าปัดของเกจวัดด้วยว่าระบบเป็นศูนย์หรือยัง เมื่อเป็นศูนย์จึงจะเริ่มการทดลองปล่อยวัตถุให้ตกอิสระได้ เป็นต้น ซึ่ง กิตติทัช เขียวฉอ้อน(2017; 16) ได้เขียนบทความวิชาการถึงข้อดีของการทำงานเป็นทีมทีมว่า การทำงานเป็นทีมโดยที่แต่ละคนไม่ลืมการมีผู้นำที่มาช่วยเติมเพิ่มพลังในการโฟกัสจุดประสงค์ของงานร่วมกัน ทุกคนในทีมทุ่มความคิดและแรงกายเพื่ออความสำเร็จของงาน โดยไม่ถือว่าเป็นผลงานของตนเพียงคนเดียวแต่ผลงานทั้งหมดเป็นของทีมจะทำให้ผลงานมีประสิทธิภาพ

2. ผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยผู้เชี่ยวชาญในการสอนและการปฏิบัติการด้านฟิสิกส์ จำนวน 5 คน ประเมินคุณภาพของชุดทดลองครอบคลุม 4 ด้าน คือ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละด้านเป็น 4.85 , 4.90 , 4.80 และ 5.00 เรียงตามลำดับ และคุณภาพของเครื่องมือวิจัยทั้ง 4 ด้าน มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต 4.89 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 0.356 เกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้คือมีระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีหรือดีมาก ผลจากการประเมินผลคุณภาพของเครื่องมือวิจัยดังที่ปรากฏเป็นตัวเลขแสดงว่าเครื่องมือที่สร้างมีคุณภาพของชุดทดลองในภาพรวมและในแต่ละด้านของการประเมินอยู่ในระดับดีมากทั้งหมด

การอภิปรายผลการวิจัย จะแยกออกเป็น 4 ส่วน ตามแต่ละด้านของการประเมินคุณภาพ ดังนี้

1. ด้านการพัฒนาเครื่องมือ ผู้วิจัยได้ใช้การศึกษาจากเครื่องมือที่มีมาเป็นจุดเริ่มต้นในการออกแบบพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาข้อบกพร่องของเครื่องมือชุดทดลองที่มี แล้วออกแบบตามหลักการสร้างเครื่องมือตามลักษณะของอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ของโช สาลีฉันท์ (2541;29-30) ทำให้ได้เครื่องมือที่มี รูปร่างลักษณะจูงใจ สะดวกในการใช้ปฏิบัติ มีความคงทนถาวร สะดวกในการเก็บรักษา มีเสถียรภาพดี ทำงานได้ตามที่ต้องการ และใช้เวลาในปฏิบัติการทดลองไม่มากอีกทั้งเห็นผลการทดลองได้ชัดเจน อีกทั้งส่วนต่างๆ แยกระบบกันเมื่อเกิดการชำรุดจึงสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

2. ด้านค่าใช้จ่ายในการพัฒนา ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ของการพัฒนาเป็นวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นชุดระบบสูญญากาศ ส่วนคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการวัดค่าเป็นครุภัณฑ์และเป็นชุดซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ในการทดลองอื่นที่บริษัทอนุญาตให้ใช้ได้ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ในการนำมาใช้ จึงเท่ากับเป็นการใช้ครุภัณฑ์ได้คุ้มค่าเนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้หลายการทดลองเพิ่มมากขึ้น เป็นการใช้งานได้คุ้มค่าเงินงบประมาณที่เสียไป ดังที่ทิศนา แขมมณี ได้กล่าวไว้ในหนังสือศาสตร์การสอนว่าข้อจำกัดของการสอนแบบทดลองคือ เครื่องมือมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นในการพัฒนาชุดทดลองที่ได้ผลดีมีประสิทธิภาพแล้ว ก็สามารถนำไปเป็นต้นแบบในการผลิต นับได้ว่าคุ้มค่ากับการลงทุนในการวิจัย

3. ด้านส่งเสริมการเรียนรู้ ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการทดลองและมีคุณภาพทั้งในด้านของลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การบำรุงรักษาและซ่อมแซมและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน ทำให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน การปฏิบัติการทดลองทางฟิสิกส์จะทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงและการทดลองที่ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องจะสามารถพัฒนาความรู้ และทักษะให้ผู้เรียนได้เป็นอย่างดี นำไปสู่การค้นพบข้อสรุปต่างๆ ตามกฎ หลักการ และทฤษฎี ซึ่งส่งผลให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้ ดังที่ทนง อัครธีรานนท์ (2552) ได้กล่าวถึงแบทเชลเดอร์(Batchelder; 1956: 33) ว่า ถ้าอุปกรณ์การสอนได้รับการเลือกสรรอย่างดีมีหลักเกณฑ์ ได้รับการประเมินอย่างเหมาะสม ตลอดจนได้รับการใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างสมบูรณ์ และพิพัฒน์ สมใจ (2552 : บทความวิจัย) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนการสอนให้บรรลุตามเจตนารมณ์ของหลักสูตรว่า การปฏิบัติการทดลองเป็นสื่อการสอนที่ช่วยให้ครูสามารถอธิบายสิ่งที่ซับซ้อนยากแก่การเข้าใจให้ผู้เรียนเข้าใจได้และทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังก่อให้มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพราะสามารถหาความจริงจากการทดลองได้โดยตรงด้วยตนเอง (ทิศนา แขมมณี 2552:336)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะของการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ประสิทธิภาพของชุดทดลอง มีความสัมพันธ์กับการนำไปใช้ของอาจารย์ผู้สอนด้วย อาจารย์ต้องเข้าใจเนื้อหา ต้องเตรียมเครื่องมือให้พร้อมก่อนการสอน และเข้าใจวิธีการใช้จึงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงในการเรียนการสอน

1.2 ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการศึกษา จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพัฒนาบทเรียนผ่านสื่อคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การเรียนการสอนมีความรวดเร็ว ความชัดเจน ความต่อเนื่อง และน่าสนใจ ตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงยุคปัจจุบัน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ชุดทดลองที่สร้างขึ้นแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพในระดับที่ดีมาก แต่ผลการทดลองก็ยังมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง แม้จะไม่ถึงร้อยละ 2 ก็ตาม เป็นเรื่องน่าได้ศึกษาและทำการวิจัยต่อไป ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยมีความเห็นว่าน่าจะได้ศึกษาผลของการเคลื่อนที่ของแสงผ่านท่ออะคริลิก เนื่องจากในการวิจัยนี้การตรวจจับความเร็วใช้หัวตรวจวัดเป็นเซนเซอร์แสง ซึ่งตามทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลางนั้นค่าความเร็วของแสงจะลดลงอย่างมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีหักเหแสงของตัวกลาง ซึ่งการศึกษานี้น่าจะนำมาใช้แก้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดด้วยเซนเซอร์แสง เพื่อให้ผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีความถูกต้องมากขึ้น

บรรณานุกรม

กิ่งแก้ว บรรลุผลสกุล,นววรรณ ทองมี และปิยะพงษ์ โอฬารทิชาชาต. (2551). **การพัฒนาชุดทดลองเรื่องการวัดอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์** เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3

กิดานันท์ มลิทอง. (2543). **เทคโนโลยีการศึกษา และนวัตกรรม** กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงพิมพ์ชวนพิมพ์

กิตติทัช เขียวฉอ้อน.(2560). **การทำงานเป็นทีมสู่การเพิ่มประสิทธิผลในการทำงาน** วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2560

จรินทร์ จุลวานิช. (2541). **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

โช สาลีฉัน. (2541) **เทคโนโลยีพื้นฐานการสร้างสื่อการสอน** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ สุวีริยสาส์น

ทนง อัครธีรานนท์. (2552). **การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า** กรุงเทพฯ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ทัศนา แขมมณี. (2552) **ศาสตร์การสอน:องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ** กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุญชม ศรีสะอาด 2541 **การพัฒนาการสอน** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ ชมรมเด็ก

พิพัฒน์ สมใจ. (2552). **การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรไอซี 555 วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม** ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 เมษายน 2552 – กันยายน 2553. 68 - 75.

ภาวณี รัตนสมบูรณ์ **การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ชุดทดลองเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์** จาก http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/handle/123456789/2073 เผยแพร่เมื่อ24-กันยายน 2557

ภพ เลาหไพบูลย์ . (2542). **แนวการสอนวิทยาศาสตร์** พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ ไทยวัฒนาพานิช

ยุทธ ไกยวรรณ์. (2544). **สถิติสำหรับการวิจัย** ศูนย์หนังสือราชภัฏพระนคร

วีระศักดิ์ วัตถุ, วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ และ กิติพงศ์ มะโน. (2554). **การพัฒนาชุดทดลอง MCS-51 ผ่านพอร์ต USB** วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 มิถุนายน 2554 – กันยายน 2554

สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์. (2526). **การสอนทักษะปฏิบัติ(Workshop Teaching)** ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สุมาลี จันทร์ชลอ . (2542). **การวัดและประเมินผล** ศูนย์สื่อเสริม กรุงเทพฯ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิปปนนท์ เกตุทัต. (2542). **ก้าวมั่น ทันโลก วิสัยทัศน์ และยุทธศาสตร์แห่งชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** กรุงเทพฯ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Cardarelli John B. (1973**). Model of School Learning, Teachers College** Record.64(2)

Hugh D. Young and Roger A Fredman (2004). University Physics with Modern Physics 11 th Edition. Pearson Addision Wesley

John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson **Physics** Willey fifth edition International Edition.

Paul E. Tippens (2007) **Physics** seventh edition McGRAW – Hill International Edition.

Serway **(**2000). **Physics for Scientists and Engineers** 6th Edition Thomson Brooks/Cole.

Smit , Patly Temeton. (1994). Effect **on Student Attitude and Achievement.** Dissertation. Abstract International. 4 (7) , 11-17

https://benjamenreedphysics.files.wordpress.com/2012/12/gravity-lab-report-bpr-2012.pdf สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 2561 รายงานการวิจัยเรื่อง **Determining gravitational acceleration using an inclined air track: Data Handling & Statistics** ของ Benjamen Reed

http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/bitstream/123456789/2073/5/Chapter2.pdf สืบค้นเมื่อ กันยายน 2561 รายงานการวิจัย**เรื่องการสร้างเครื่องมือเพื่อพิสูจน์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างง่าย** ของ สายันต์ โสดาจันทร์ (2552)

http://www.google.co.th, *www.moe.go.th/edtechfund/.../prb_study(final).pd* **พระราชบัญญัติ การศึกษา แห่ง ชาติ ฉบับ ล่าสุด**. สืบค้นเมื่อ 24 กันยายน 2555 เว็บไซต์

http://www.journalgrad.ssru.ac.th/index.php/5-01/article/view/672 สืบค้นเมื่อ กันยายน 2561 รายงานการวิจัยเรื่อง**การศึกษาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มนาฬิกาด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC** ของ ณัฐพล วรหาญ - 2559

http://www.physics.utah.edu/~ewalton/lab_report.pdf สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 2561 รายงานการวิจัย **เรื่อง Determining the Acceleration Due to Gravity with a Simple Pendulum** ณ มหาวิทยาลัยยูทาห์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ของ Quintin T. Nethercott and M. Evelynn Walton ; 2013

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาฟิสิกส์ เป็นอาจารย์ที่มีวามรู้และความสามารถในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์และการปฏิบัติการทดลองด้านฟิสิกส์ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติว่าเป็นผู้จบไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาโทด้านฟิสิกส์ และมีประสบการณ์สอนทางฟิสิกส์ในระดับอุดมศึกษาไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือเป็นผู้มีตำแหน่งผลงานวิชาการด้านฟิสิกส์ระดับไม่ต่ำกว่าตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน คือ

1. ผศ.ดร.ปิยะพงษ์ ปานแก้ว
2. ดร.ชัชวาล ศรีภักดี
3. นายพลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ
4. ดร.ธนพงศ์ สารีอินทร์
5. ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์

ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องมือ เป็นอาจารย์หรือพนักงานมหาวิทยาลัยที่จบด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมีผลงานด้านการสร้างเครื่องมือวิจัย จำนวน 1 คน คือ นายสุนทร คำพินิจ อาจารย์ในสังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กลุ่มวิชาฟิสิกส์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑
เรื่อง ขออนุญาตออกหนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือวิจัย

.....

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านรองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย และหัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

ด้วยข้าพเจ้า นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ตามแผนการดำเนินงานวิจัย จึงมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัยที่พัฒนา จึงขออนุมัติออกหนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือ ดังแนบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และลงนามหนังสือเชิญ จำนวน ๖ ฉบับ

(นางสิริน สิระธนกุล)
หัวหน้าโครงการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผ่านรองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

.....
.....
.....
.....
.....

(นายชัชวาล ศรีภักดี)
หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์
.....กรกฎาคม ๒๕๖๑

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน หัวหน้าสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการนี้ จึงขอเรียนเชิญ นายพลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยในโครงการดังกล่าวฯ โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน หัวหน้าสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการนี้ จึงขอเรียนเชิญ ดร.ธนพงศ์ สารีอินทร์ อาจารย์ในสังกัดสาขาวิชาของท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัย โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน หัวหน้าสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการนี้ จึงขอเชิญ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ อาจารย์ในสังกัดสาขาวิชาของท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัย โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน หัวหน้าสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

เนื่องด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการนี้ จึงขอเรียนเชิญท่าน ผศ.ดร.ปิยะพงษ์ ปานแก้ว เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยในโครงการดังกล่าวฯ โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **วันที่** ๒๓ กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการนี้ จึงขอเรียนเชิญ ดร.ชัชวาล ศรีภักดี เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยในโครงการดังกล่าวฯ โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่ **ศธ. ๐๕๘๑.๐๖/** **วันที่** ..... กรกฎาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืองานวิจัย

.....

เรียน คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

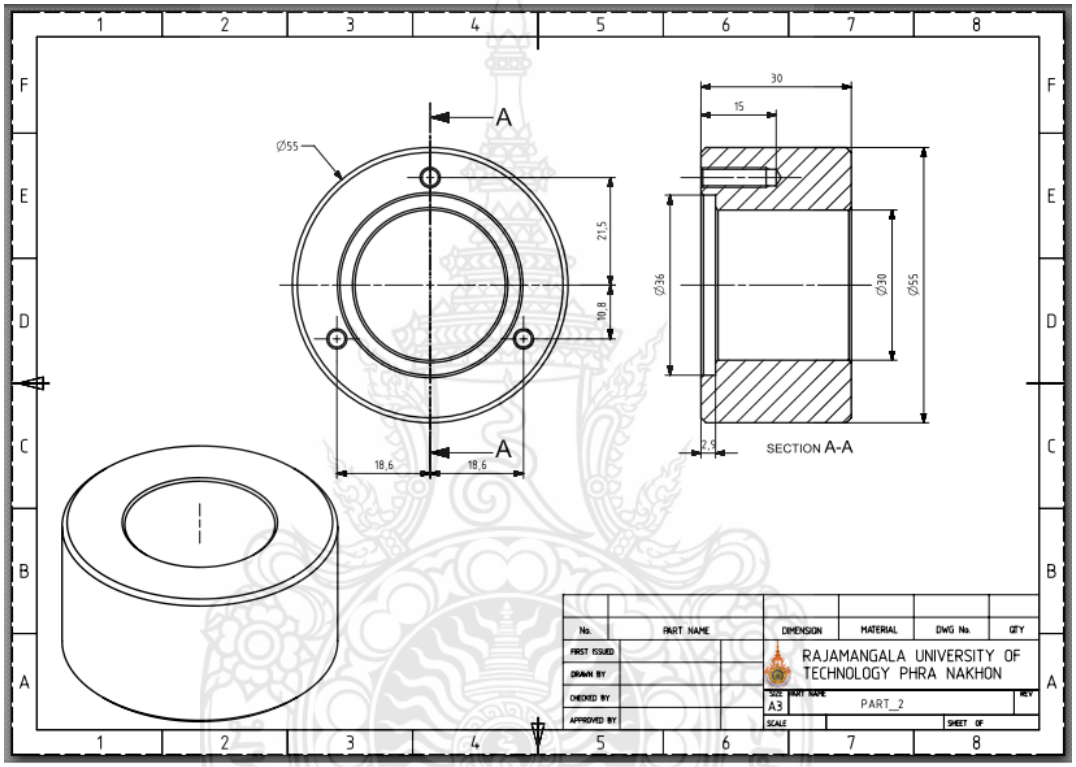
ด้วย นางสิริน สิระธนกุล อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวจะต้องมีการประเมินการออกแบบและคุณภาพของเครื่องมือวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้พิจารณาแล้วเห็นว่า นายสุนทร คำพินิจ อาจารย์ในสังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นผู้มีความรู้ ความสามารถและเชี่ยวชาญในการผลิตเครื่องมือ ในการนี้คณะฯ จึงขอเชิญบุคคลของท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยในโครงการดังกล่าวฯ โดยวัน เวลา จะแจ้งให้ทราบในภายหลัง

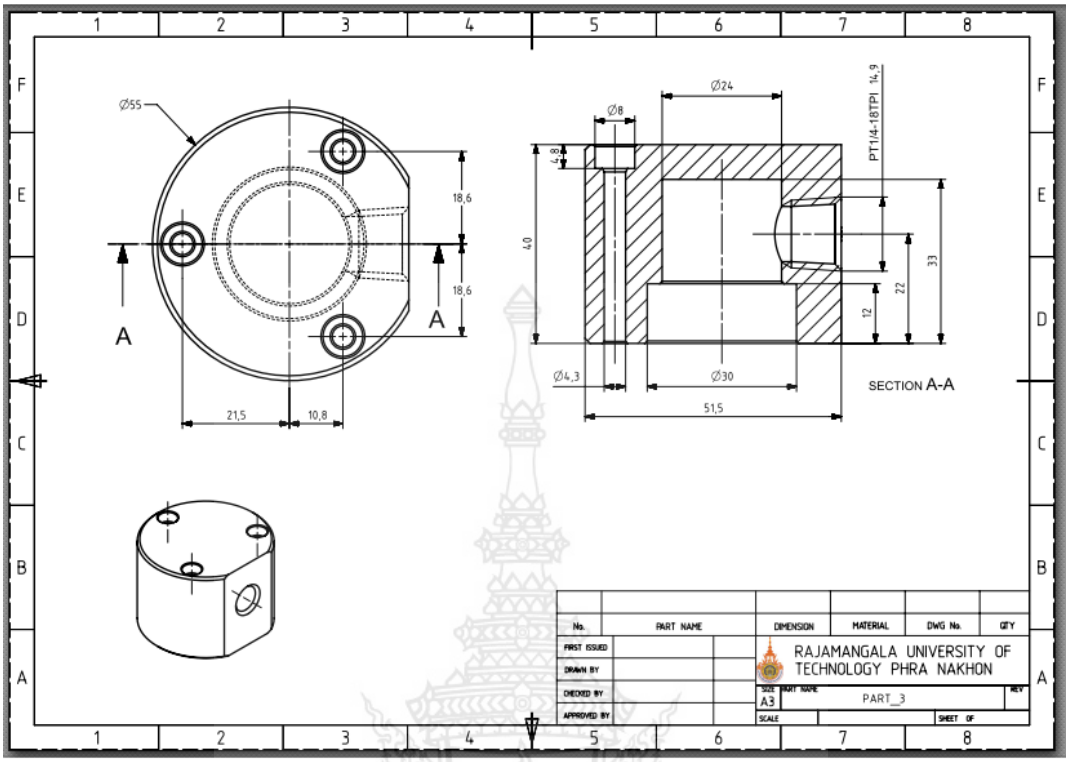
จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์

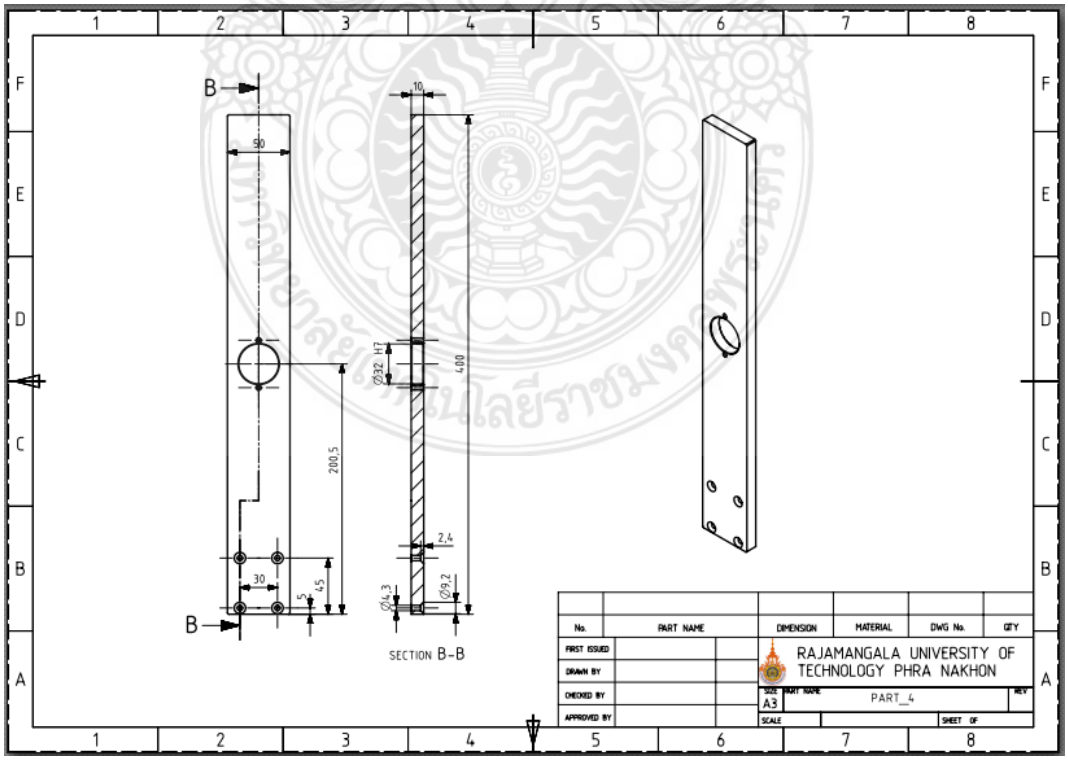
(นายไพศาล การถาง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

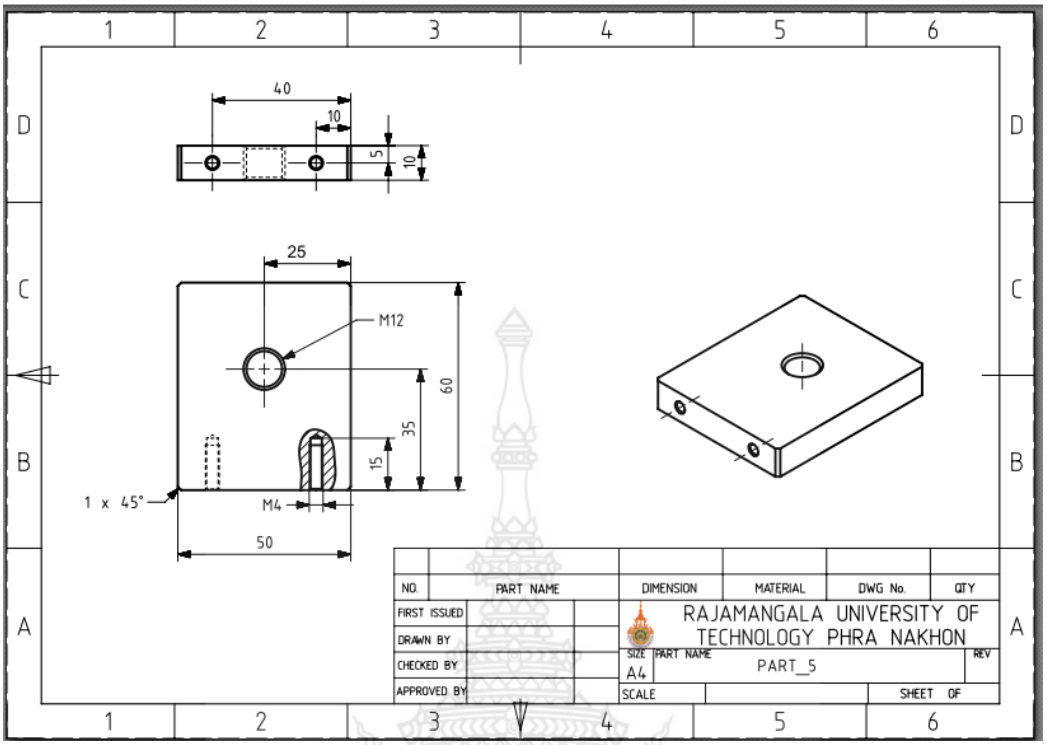
ภาคผนวก ข.

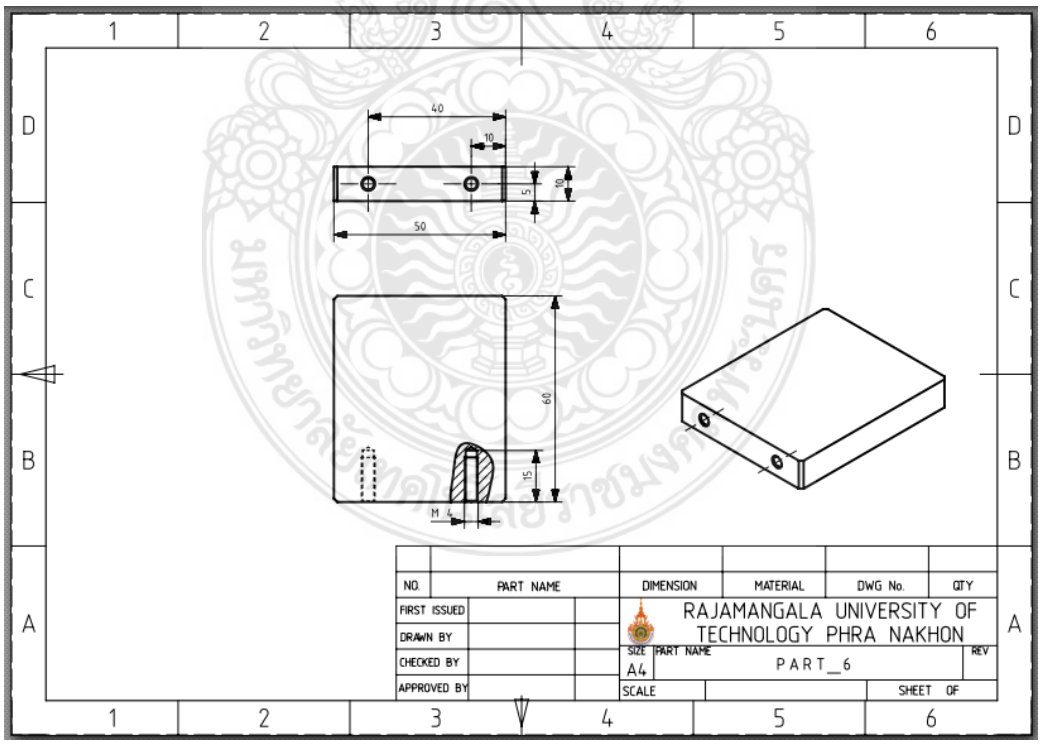
ระบบท่อสูญญากาศและระบบควบคุมการเคลื่อนที่

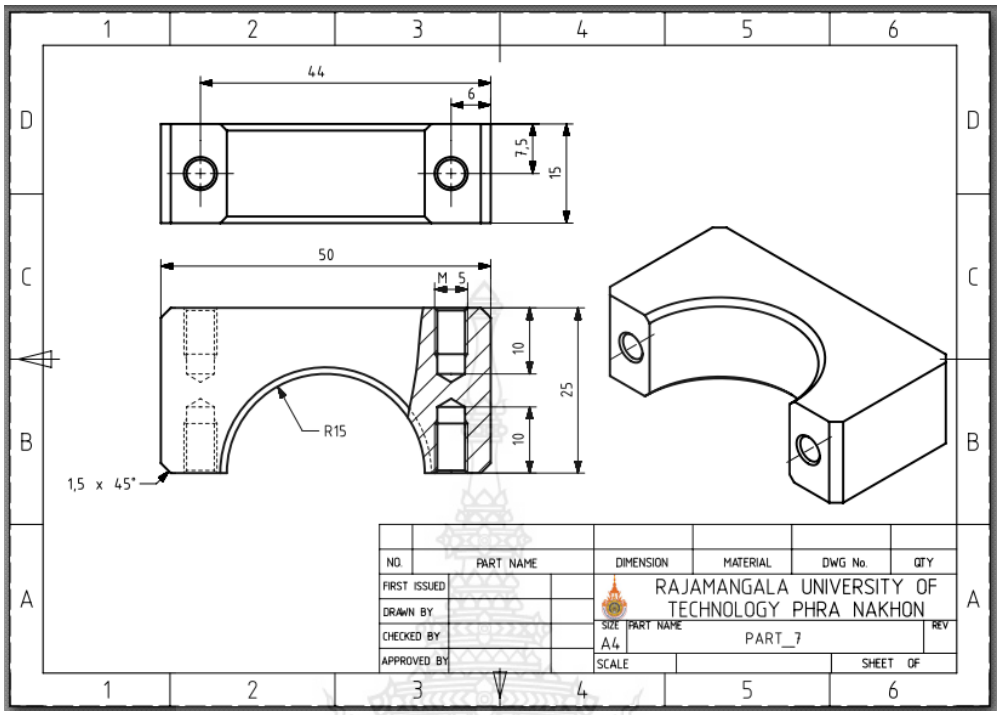


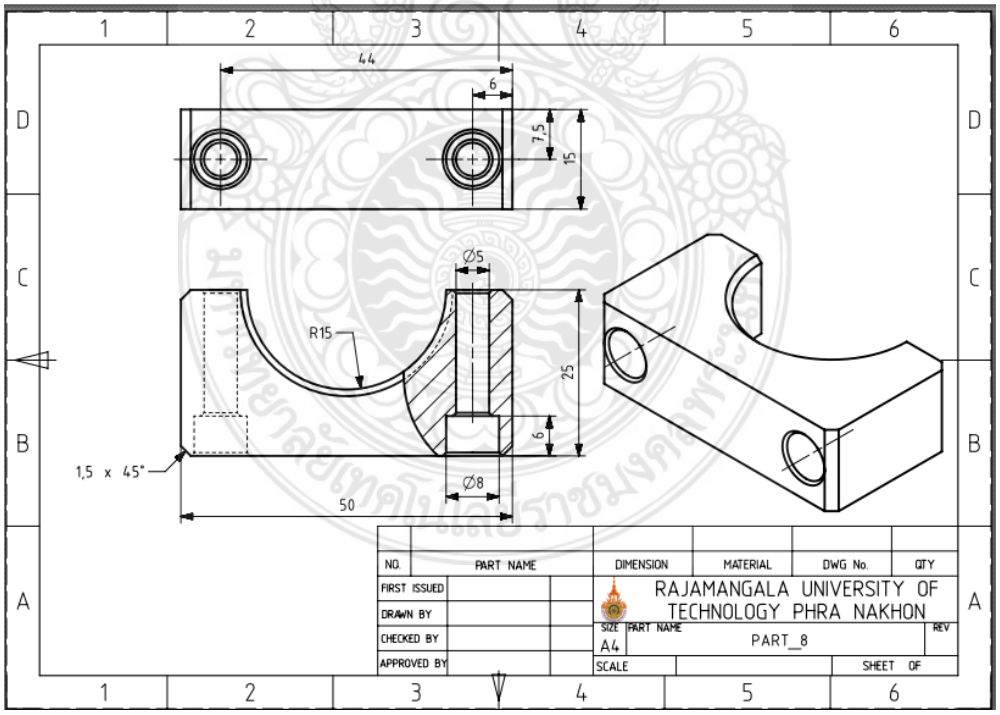

Ø55
18,6
18,6
A
A
21,5
10,8
Ø24
Ø8
PT1/4-18TPI 14,9
40
33
22
12
Ø4,3
Ø30
51,5
SECTION A-A
No.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A3
PART NAME
PART_3
REV
SCALE
SHEET OF

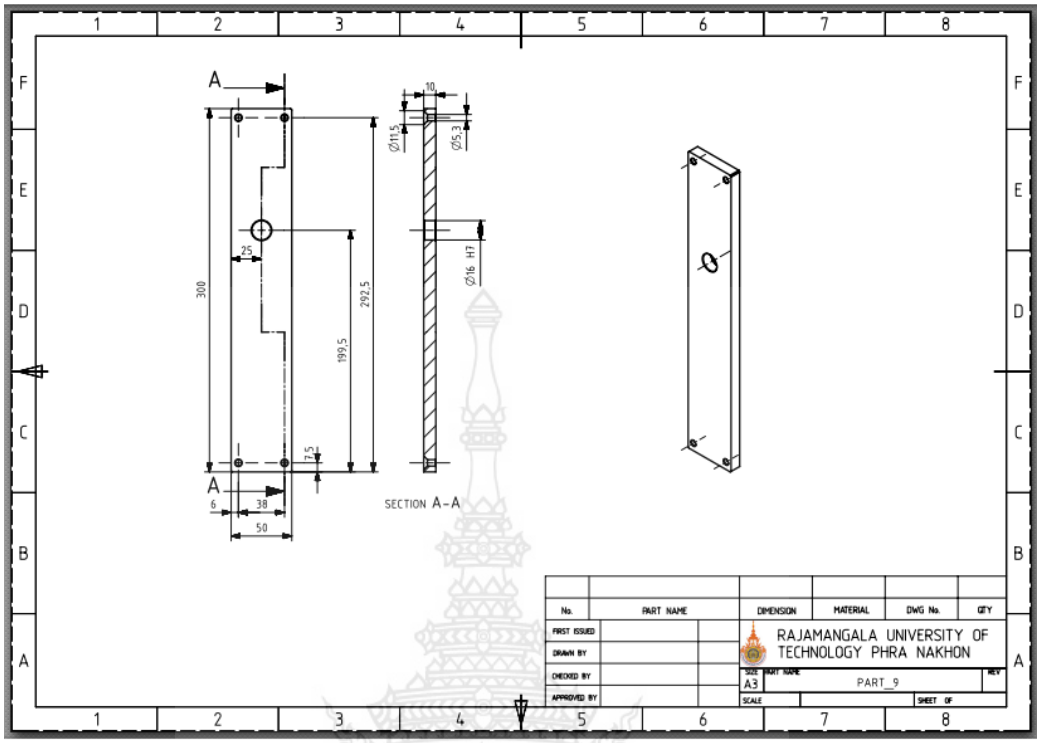

B
B
50
10
Ø32 H7
400
200,5
30
5
4,5
2,4
Ø4,3
Ø9,2
SECTION B-B
No.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A3
PART NAME
PART_4
REV
SCALE
SHEET OF

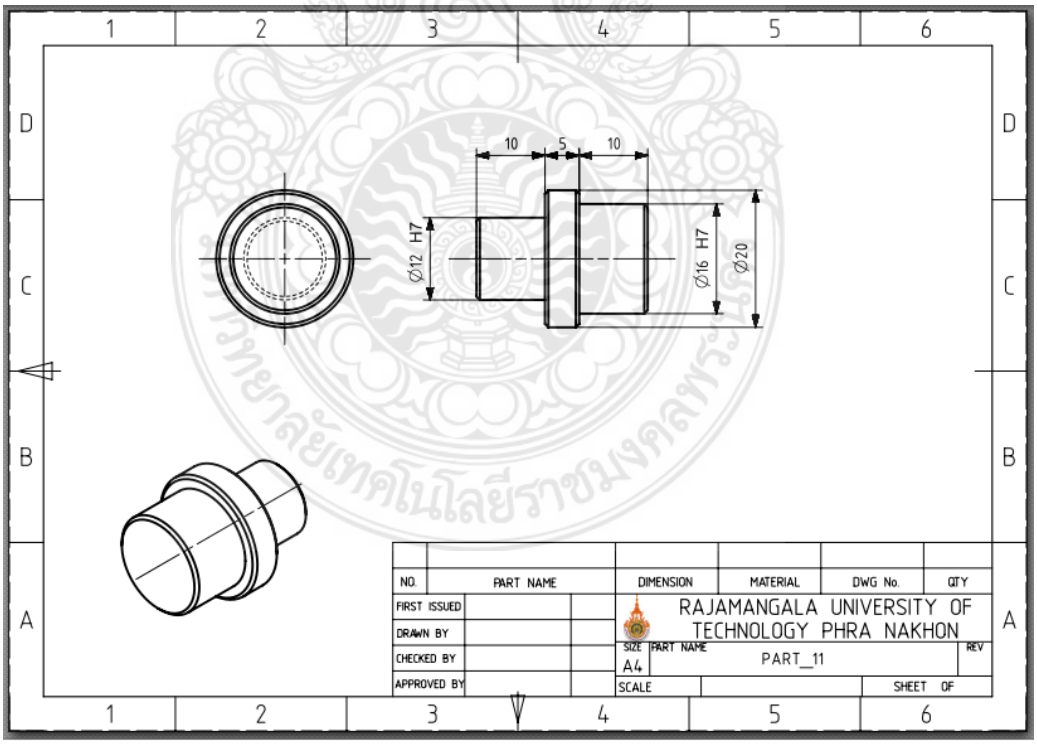

40
10
5
10
25
M12
60
35
15
1 x 45°
M4
50
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_5
REV
SCALE
SHEET OF

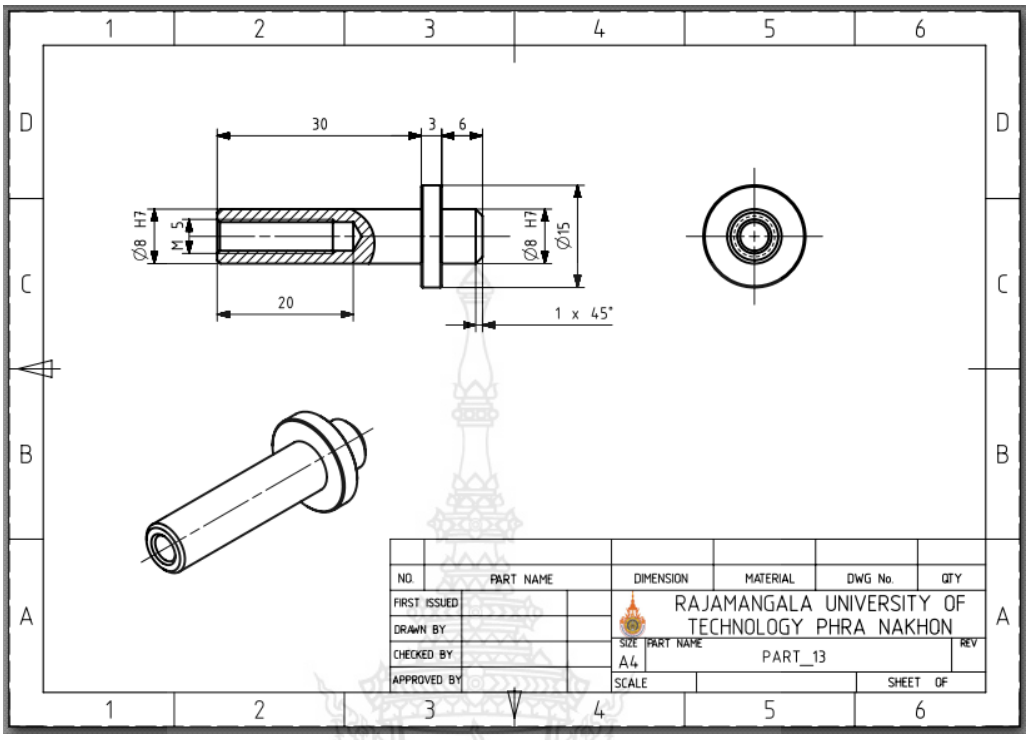

40
10
5
10
50
60
15
M4
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_6
REV
SCALE
SHEET OF

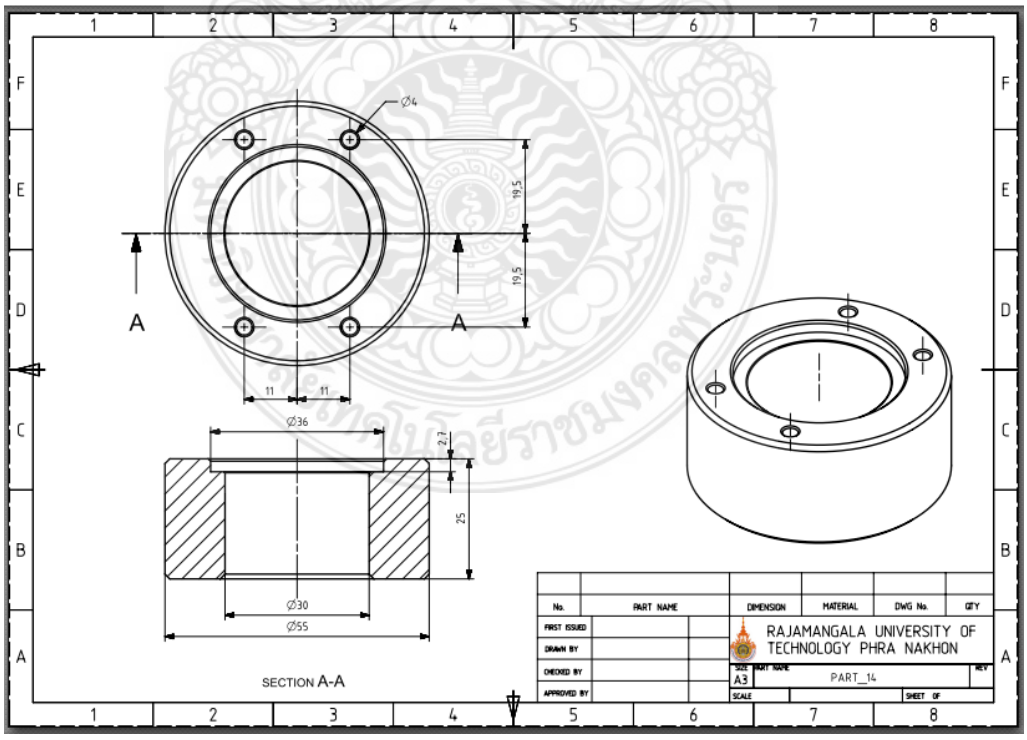

44
6
7.5
15
50
M 5
10
25
10
R15
1,5 x 45°
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
PART NAME
REV
A4
PART_7
SCALE
SHEET OF

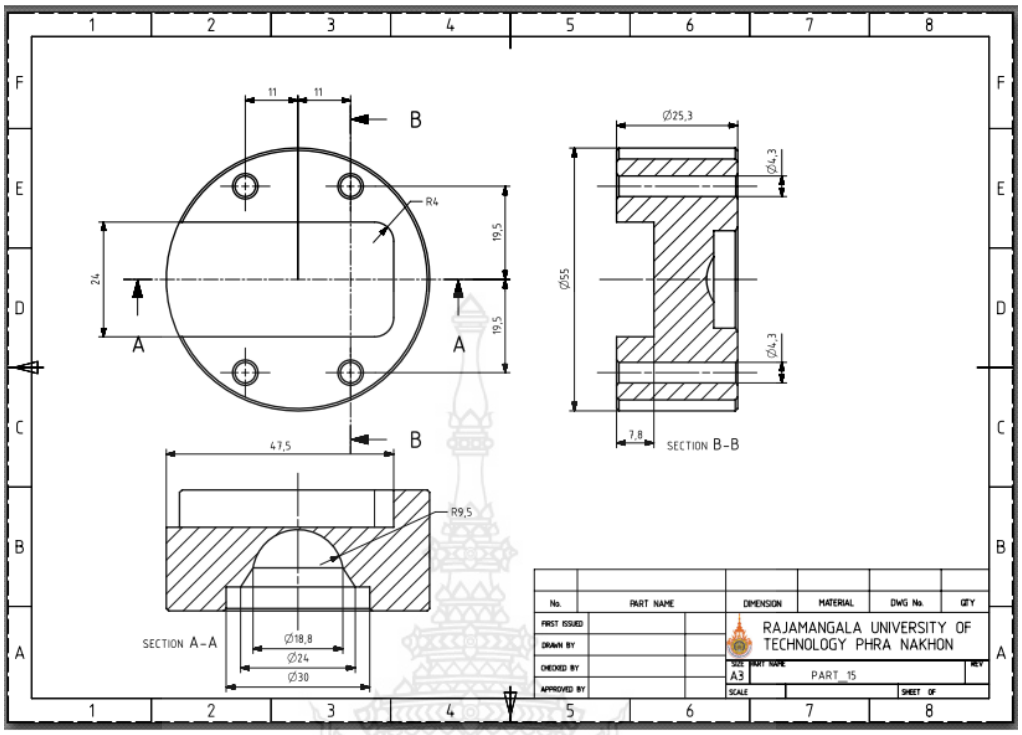

44
6
7.5
15
Ø5
R15
25
6
1,5 x 45°
Ø8
50
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
PART NAME
REV
A4
PART_8
SCALE
SHEET OF

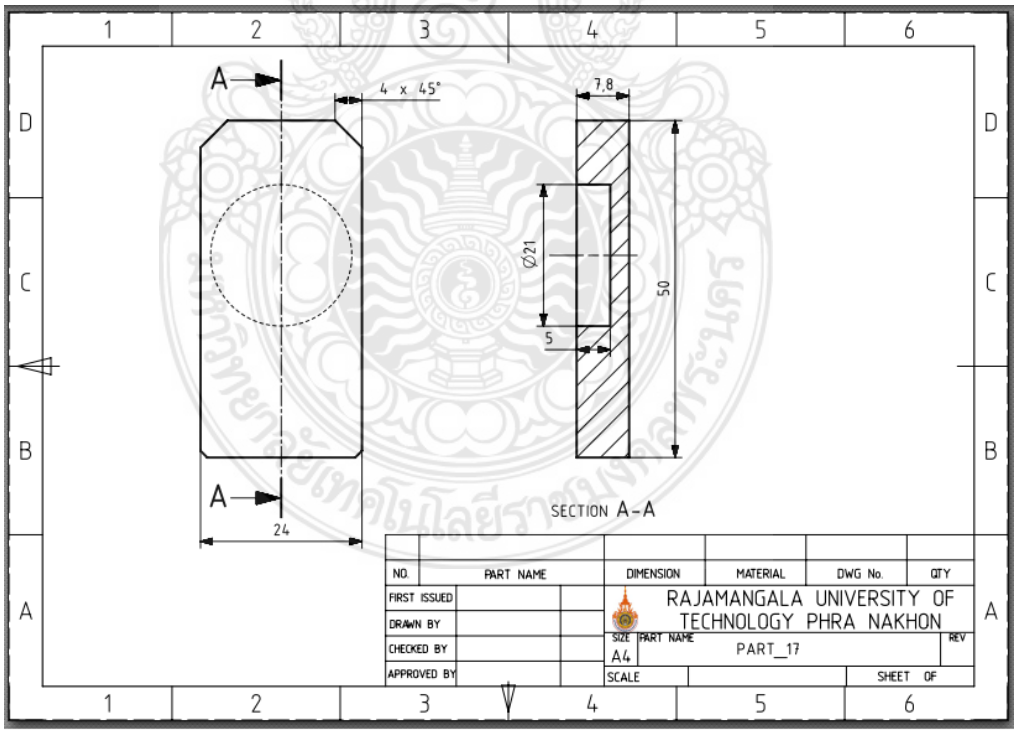

A
A
SECTION A-A
300
292.5
199.5
25
7.5
6
38
50
10
Ø11.5
Ø5.3
Ø16 H7
No.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A3
PART NAME
PART_9
REV
SCALE
SHEET OF

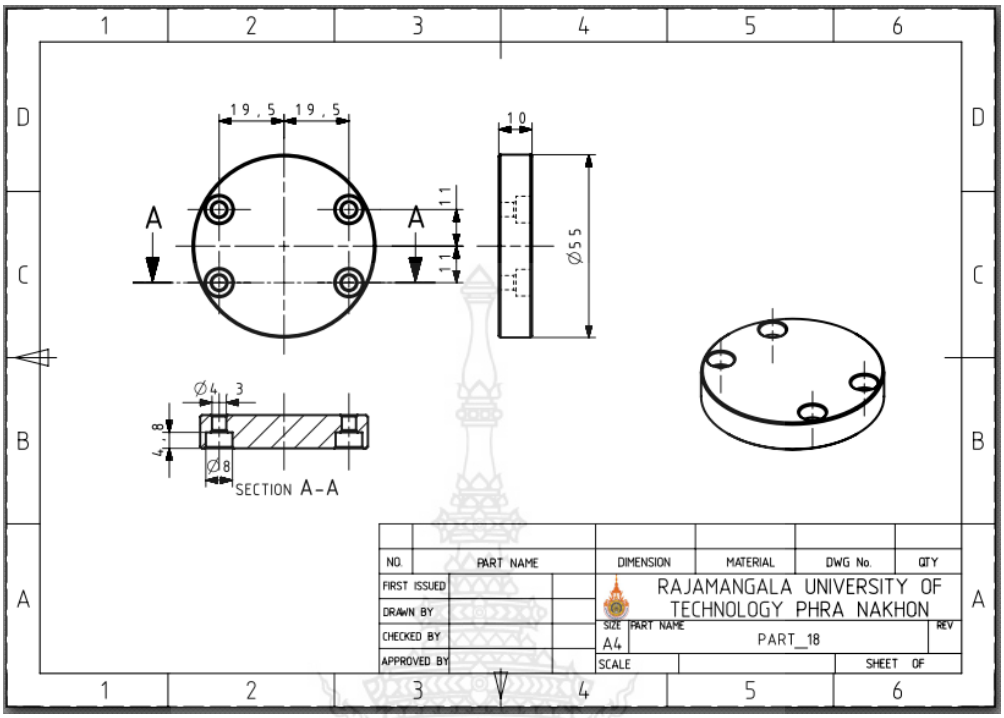

10
5
10
Ø12 H7
Ø16 H7
Ø20
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_11
REV
SCALE
SHEET OF

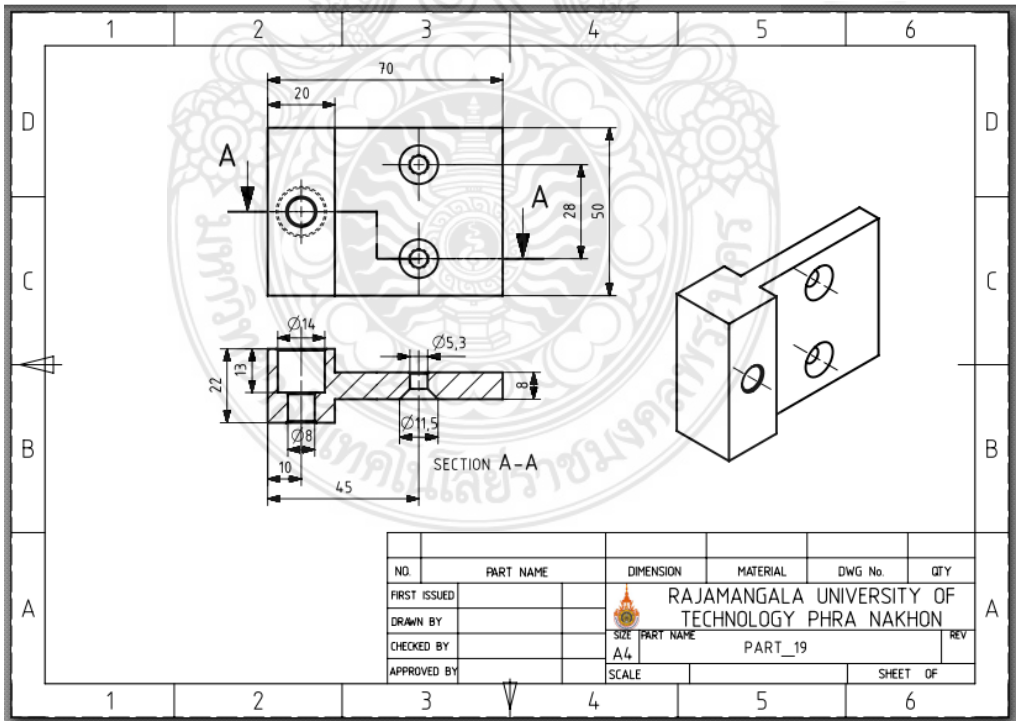

30
3
6
Ø8 H7
M 5
Ø8 H7
Ø15
20
1 x 45°
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_13
REV
SCALE
SHEET OF

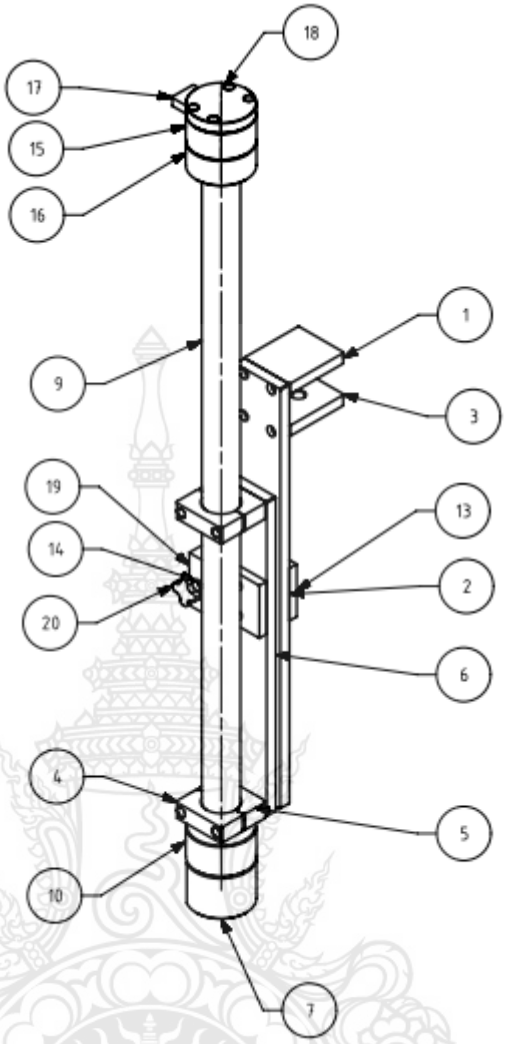

Ø4
19.5
19.5
A
A
11
11
Ø36
2.2
25
Ø30
Ø55
SECTION A-A
No.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A3
PART NAME
PART_14
REV
SCALE
SHEET OF


11
11
B
R4
19,5
19,5
24
A
A
Ø25,3
Ø4,3
Ø55
Ø4,3
7,8
SECTION B-B
47,5
B
R9,5
SECTION A-A
Ø18,8
Ø24
Ø30
No.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A3
PART NAME
PART_15
REV
SCALE
SHEET OF


A
4 x 45°
7,8
Ø21
50
5
A
24
SECTION A-A
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_17
REV
SCALE
SHEET OF


19.5
19.5
10
A
A
11
11
Ø55
Ø4
3
4.8
Ø8
SECTION A-A
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_18
REV
SCALE
SHEET OF


70
20
A
A
28
50
Ø14
Ø5,3
13
22
8
Ø11.5
Ø8
10
45
SECTION A-A
NO.
PART NAME
DIMENSION
MATERIAL
DWG No.
QTY
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON
SIZE
A4
PART NAME
PART_19
REV
SCALE
SHEET OF



No	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DWG No	QTY
20	PART-20		STANDARD		1
19	PART-19		AL 6083		1
18	PART-18		AL 7075		1
17	PART-16		AL 7075		1
16	PART-14		AL 7075		1
15	PART-15		AL 7075		1
14	PART-13		AL 6083		1
13	PART-12		AL 6083		1
12	PART-11		AL 6083		1
11	PART-10		AL 6083		1
10	PART-2		AL 7075		1
9	PART-1		AL 6083		1
8	ORING-1		STANDARD		1
7	PART-3		AL 7075		1
6	PART-9		AL 6083		1
5	PART-7		AL 6083		2
4	PART-8		AL 6083		2
3	PART-5		AL 6083		1
2	PART-4		AL 6083		1
1	PART-6		AL 6083		1

FIRST ISSUED		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
DRAWN BY			
CHECKED BY		SIZE A3	PART NAME / REV
APPROVED BY		SCALE	SHEET OF

ภาคผนวก ค.

แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

แบบประเมินฉบับนี้จัดทำเพื่อประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อประโยชน์ของการพัฒนาเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ดังนั้นขอให้ท่านตอบแบบประเมินคุณภาพครบทุกข้อตามความคิดเห็นของท่าน

แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง มี 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 แบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า มีการประเมิน 4 ด้าน คือ

1. ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป 4 ข้อ
2. ด้านลักษณะการใช้งาน 4 ข้อ
3. ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม 4 ข้อ
4. ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ในการเรียนการสอน 4 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ขอขอบคุณท่านผู้ประเมินที่กรุณาสละเวลาในประเมินคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งคณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

ขอแสดงความนับถือ

.....

(นางสิริน สิระธนกุล)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ตอนที่ 1 แบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า

คำชี้แจง : โปรดทำเครื่องหมายถูก (√) ลงในช่องที่แสดงระดับความคิดเห็นคุณภาพของชุดทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
ซึ่งมีเกณฑ์ความหมายของระดับคะแนนจากแบบสอบถามดังนี้

5 = มากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย และ 1 = น้อยที่สุด

รายการประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	**ระดับความคิดเห็น**				
	5	4	3	2	1
1.ลักษณะทางกายภาพทั่วไป					
1.1 ชุดทดลองมีความมั่นคงและแข็งแรง					
1.2 การออกแบบชุดทดลองมีความน่าสนใจ					
1.3 รูปร่างและขนาดมีความเหมาะสมต่อการใช้ทดลอง					
1.4 ชิ้นส่วนต่างๆสามารถประกอบเป็นชุดทดลองได้ง่าย					
2. ลักษณะการใช้งาน					
2.1 การติดตั้งชุดทดลองสามารถทำได้รวดเร็ว					
2.2 การใช้งานในขณะทำการทดลองมีความสะดวก					
2.3 สามารถทำการทดลองเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว					
2.4 มีความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง					
3. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม					
3.1 การบำรุงรักษาและเก็บรักษาทำได้ง่าย					
3.2 การเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดทำได้ง่าย					
3.3 สามารถซ่อมบำรุงแยกแต่ละส่วนได้สะดวก					
3.4 มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงไม่สูง					
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน					
4.1 พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
4.2 สามารถทำการทดลองซ้ำได้เร็ว					
4.3 ผู้เรียนมีส่วนร่วมทำการทดลอง					
4.4 กระบวนการทดลองเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					

ตอนที่ 2 แบบแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสิริน สิระธนกุล
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Sirin Sirathanakul

2. เลขหมายบัตรประจาตัวประชาชน xxxxxxxxxxxxx

3. ตาแหน่งปัจจุบัน
   - ตาแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
   - คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพฯ 10800
   - 34/31 หมู่ 5 หมู่บ้านนทรี 4 ตาบลบางศรีเมือง อาเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000
   - โทรศัพท์ : 095-5390327
   - โทรสาร : -
   - ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Sir_Lsci@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา
   - การศึกษาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
   - การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   -

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย
   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
   หัวหน้าโครงการวิจัย:การพัฒนาชุดการสอนเรื่องปริมาณเวกเตอร์

หัวหน้าโครงการวิจัย:การสร้างบทเรียนผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง “ การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยกราฟ

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย
ผู้ร่วมวิจัย :การศึกษาพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษาของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1. การพัฒนาชุดการสอนเรื่องปริมาณเวกเตอร์ งบประมาณวิจัยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ตีพิมพ์วารสารวิจัยชื่อ Applied Mechanics and Materials Applied Mechanics and Materials ฉบับที่ 804 ปีที่ 2015
2. การสร้างบทเรียนผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง “ การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยกราฟ ” ตีพิมพ์วารสารวิจัยชื่อ Applied Mechanics and Materials Applied Mechanics and Materials ฉบับที่ 804 ปีที่ 2015
3. การศึกษาพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษาของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล งบประมาณเงินรายได้ ปี 2559 เผยแพร่ในงานการประชุมวิชาการนานาชาติ ICONSCI 8 th RMUTP International Conference ปี ค.ศ. 2017
4. งานวิจัยเรื่อง Development of an Educational Experiment Setup for Measuring the Speed of Sound ตีพิมพ์วารสารวิจัยชื่อ Applied Mechanics and Materials Applied Mechanics and Materials ฉบับที่ 879 ปีที่ 2018 เลขหน้า 290-29

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) : นายวราวุฒิ พุทธให้
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) : Mr. Waravut Puthai

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์

3. หน่วยงาน ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์และ e-mail
กลุ่มวิชาฟิสิกส์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

โทรศัพท์: (02) 9132424

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ waravut.p@rmutp.ac.th, waravut8@yahoo.com

4. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาเอก	PhD. Engineering	Hiroshima University	2560
ปริญญาโท	วทบ. ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2546
ปริญญาตรี	กศบ. ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2541

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Water treatment using ceramic membranes for Nanofiltration
- Ceramic membrane for Nanofiltration
- Separation techniques

6. งานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

Puthai W., Wanichapichart P., and Kaewpiboon A. 2005. Effect of Polyethylene Glycol on Characteristics Chitosan Membranes. Songklanakarin J. Sci. Technol. Vol. 27.

Puthai W., Wanichapichart P., 2003. Characteristics of PES/Chitosan composite membranes. 29th Congress on Science & Technology of Thailand.

Wanichapichart P., and Puthai W., 2003. Characteristics of polyethersulfone/chitosan composite membranes. The Fifth International Membrane Science and Technology Conference (IMSTEC 03) 10-14 November 2003. Sydney, Australia.

Wanichapichart P., Kaewnoppara S., Khemmarat B., and Puthai W., 2002. Characterzation of Cellulose membranes produced by Acetobacter xylinum.Songklanakarin J. Sci Technol. Vol. 24.

Toshinori Tsuru, Suhaina Mohd Ibrahim and Waravut Puthai, Pore Size Control of Porous Ceramic Membranes and Application to ROBUST Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes, Bulletin of the Ceramic Society of Japan, 2015, 50, No. 2, pp 121-125.

Waravut Puthai, Masakoto Kanezashi, Hiroki Nagasawa, Katsumi Wakamura, Hiroshi Ohnishi, Toshinori Tsuru, Effect of firing temperature on the water permeability of SiO2-ZrO2 membranes for nanofiltration, J. Membr. Sci., 2016, 497, 348-356

Ricardo. Abejón, Suhaina Mohd Ibrahim and Waravut Puthai, Hiroki Nagasawa, and Toshinori Tsuru, Evaluation of non-commercial ceramic SiO2-ZrO2 and organosilica BTESE membranes in a highly oxidative medium: Performance in hydrogen peroxide, J. Membr. Sci., 2016, 520, 740-748.

Waravut Puthai, Masakoto Kanezashi, Hiroki Nagasawa, Toshinori Tsuru, Nanofiltration performance of SiO2-ZrO2 membranes in aqueous solutions at high temperatures, Sep. Purif Technol., 2016, 168, 238-247.

Waravut Puthai, Masakoto Kanezashi, Hiroki Nagasawa, Toshinori Tsuru, SiO2-ZrO2 Nanofiltration membranes of different Si/Zr molar ratios: Stability in hot water and acid/alkaline solutions, J. Membr. Sci., 2017, 524, 700-711.

Waravut Puthai, Masakoto Kanezashi, Hiroki Nagasawa, Toshinori Tsuru, Development and permeation properties of SiO2-ZrO2 nanofiltration membranes with a MWCO < 200, J. Membr. Sci., 2017, 535, 331-341.

R. Abejóna, A. Abejón, W. Puthai, S.B. Ibrahim, H. Nagasawa, T. Tsuru, A. Garea, Preliminary techno-economic analysis of non-commercial ceramic and organosilica membranes for hydrogen peroxide ultrapurification, Chemical engineering research and design 125 (2017) 385–397.

Sofiatun Anisah, Waravut Puthai, Masakoto Kanezashi, Hiroki Nagasawa, Toshinori Tsuru, Preparation, characterization, and evaluation of TiO2-ZrO2 nanofiltration membranes fired at different temperatures, J. Membr. Sci., 2018, 564, 691-699.