การทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ธัญรส เหมจินดา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

การทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ธัญรส เหมจินดา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

COMPUTER INTERFACE EXPERIMENT OF SIMPLE PENDULUM

TUNYAROD HEMJINDA

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master of Science in Science Education
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University
Academic Year 2012

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัย นางธัญรส เหมจินดา

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ศึกษา

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร.ปานจิต มุสิก)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสชัย สิทธิรักษ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

(ดร.จิต นวนแก้ว)

.....กรรมการ

(ดร.ปานจิต มุสิก)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสชัย สิทธิรักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ชัย หญิงประยูร)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไว้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

(อาจารย์สมพงค์ เหมือนเพชร)

ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน

วันที่ 11 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

บทคัดย่อ

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
ผู้วิจัย	นางธัญรส เหมจินดา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ศึกษา
ประธานอาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปานจิต มุสิก
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสชัย สิทธิรักษ์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม Scilab 5.3.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยค่าสถิติพื้นฐาน คำนวณค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างของคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายจากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และการจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการวิจัยพบว่า

ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้สอดคล้องกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายจะมีค่าคงที่เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่าน้อยๆ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความยาวเชือกคาบของการเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลจากการทดลองและการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีความแตกต่างกันเฉลี่ย ร้อยละ 2.95

ABSTRACT

The Title	Computer Interface Experiment of Simple Pendulum
The Author	Mrs. Tunyarod Hemjinda
Program	Science Education
Thesis Chairman	Dr. Panjit Musik
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Hussachai Sittirak

The objective of this research project is to study the motion of a simple pendulum. It involved building an experiment kit that measure the period of oscillation and is connected to a computer. The result from the experiment was compared with a mathematical model created by a computer software called Scilab 5.3.2. The instruments used in this project are the experiment kit, a connecting circuit, and Scilab 5.3.2. The data was analyzed by descriptive statistics and the error between the result obtained from the experiment and the result obtained from the model was determined.

The result was as follow:

The result from the experiment agreed with the mathematical model. At small angle the period was constant, but at large angle the period increased as the angle increased. Also, the period increased as the length of the pendulum increased. On average, the difference between the result obtained from the experiment and the result obtained from the model is 2.95 percent.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการอนุเคราะห์ของ ดร.ปานจิต มุสิก ประธานอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสชัย สิทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและแนะนำการแก้ไขข้อบกพร่องทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นายอนุชิต ไล่ทัน ผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แสดงข้อคิดเห็นและให้คำแนะนำในการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบุคคลในครอบครัว พ่อแม่ พี่น้อง เพื่อนร่วมงาน ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่คอยส่งเสริม สนับสนุน และให้กำลังใจ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ธัญรส เหมจินดา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....ก
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญภาพ.....ช
บทที่

1 บทนำ.....1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....5
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....5
สมมติฐานของการวิจัย.....7
ขอบเขตของการวิจัย.....7
ข้อตกลงเบื้องต้น.....7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....7
ประโยชน์ของการวิจัย.....8

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....9
การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย.....9
ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย.....11
การเชื่อมต่อชุดทดลองกับคอมพิวเตอร์.....15
การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก.....15
พอร์ตเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก.....17
ไมโครคอนโทรลเลอร์.....20

บทที่ **หน้า**

อินฟราเรดเซ็นเซอร์.....23
การจำลองทางคณิตศาสตร์.....24
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Scilab.....25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....26
งานวิจัยในประเทศ.....26
งานวิจัยต่างประเทศ.....27

3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....30
การสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์.....31
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2.....46
การเปรียบเทียบผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์วัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย.....47

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....48

5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....63
สรุปผลการวิจัย.....63
อภิปรายผลการวิจัย.....64
ข้อเสนอแนะ.....65

บรรณานุกรม.....66

ภาคผนวก.....70
ภาคผนวก ก ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2.....71
ภาคผนวก ข วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์.....79
ภาคผนวก ค โปรแกรมเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์.....85

ประวัติผู้วิจัย.....111

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m = 69 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5° 50

2 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m = 69 g และ มุมเริ่มต้น (θ) = 3° 5° 7° 9° 53

3 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มไม้ทรง m = 4.10 g และมุมเริ่มต้น (θ) = 5° 15° 35° 55

4 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m_1 = 69 g ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก m_2 = 32.10 g และลูกตุ้มไม้ทรงกลม m_3 = 4.10 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5° 57

5 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 74

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1 กรอบแนวคิดของการวิจัย....6
2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย....9
3 การจัดอุปกรณ์ทดลอง....11
4 ชุดทดลองเพนดูลัม....13
5 หัวต่อ DB-25 ขา....18
6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์....21
7 ขั้นตอนการดำเนินการ....30
8 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย....31
9 ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย....32
10 การเชื่อมต่อวงจร....33
11 sensor....35
12 แผงวงจรทั้งหมดเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน....37
13 ชุดวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์....37
14 พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณ....37
15 สวิตซ์เปิด-ปิด....38
16 การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์....38
17 รายละเอียดการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์....39
18 แผนผังการทำงานของชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้ม อย่างง่าย....40
19 การประกอบชุดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย....41
20 ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย....49
21 คาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อ $m = 69\ g$ $\theta = 5^\circ$ และ l เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m....51

ภาพที่ **หน้า**

22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l 52
23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m = 69 g และ $\theta = 3^\circ\ 5^\circ\ 7^\circ\ 9^\circ$ 54
24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มไม้ทรงกลม m = 4.10 g และ $\theta = 5^\circ\ 15^\circ\ 35^\circ$ 56
25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่ เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m_1 = 69 g ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก m_2 = 32.10 g และลูกตุ้มไม้ทรงกลม m_3 = 4.10 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5° 58
26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ l จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 59
27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l จากการจำลองทางคณิตศาสตร์ 60
28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l เปรียบเทียบผลจากการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายและการจำลอง 61
29 แสดงการจัดขาขาอง P89V51RD2 73
30 หน่วยความจำของ P89V51RD2 76
31 รีจิสเตอร์ของหน่วยความจำภายใน 78
32 วงจรรวม 80
33 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 81
34 วงจรจ่ายไฟ 82
35 วงจรตรวจจับแสง 83
36 วงจร key pad 84

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนามนุษย์ให้มีความสมบูรณ์ในยุคโลกาภิวัตน์ที่ความรู้และวิทยาการต่างๆ มีความเจริญก้าวหน้าทันสมัยอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องอาศัยการจัดการศึกษาให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงอย่างมีคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาทักษะการคิด เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ การเรียนรู้จากการปฏิบัติและประสบการณ์มีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาดังกล่าว สอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติอย่างหลากหลายเหมาะสมกับระดับชั้น ซึ่งกระบวนการจัดศึกษาในส่วนของการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ต้องให้เกิดทั้งความรู้ ทักษะ และเจตคติด้านวิทยาศาสตร์ โดยครูต้องจัดการเรียนรู้ที่ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลและพัฒนาการทางสมอง จัดเตรียมและเลือกใช้สื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรม นำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน

วิธีสอนโดยใช้การทดลอง (ทิศนา แขมมณี, 2552) เป็นกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลองและลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปรายผลการทดลอง และสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง วิธีการสอนแบบนี้เป็นวิธีการที่มุ่งช่วยให้ผู้เรียนรายบุคคลหรือรายกลุ่มเกิดการเรียนรู้ โดยการเห็นผลประจักษ์ชัดจากการคิดและการกระทำของตนเอง ทำให้การเรียนรู้นั้นตรงกับความเป็นจริง มีความหมายสำหรับผู้เรียนและจำได้นาน องค์ประกอบที่สำคัญของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง การตั้งปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ข้อดีของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง คือผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้พิสูจน์ทดสอบและเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเองจึงเกิดการเรียนรู้ความเข้าใจ

แม้ว่าหลักสูตรจะได้ปรับปรุงเนื้อหาสาระ และกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติทดลองโดยเฉพาะในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศ

จึงได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการปรับปรุงการทดลองให้มีความถูกต้องน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ในการนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะใช้รายวิชาฟิสิกส์ในเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยศึกษาจากการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายเป็นต้นแบบ

ปัจจุบันการทดลองเกี่ยวกับการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาของนักเรียนโดยทั่วไปทำการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาที่ปล่อยให้แกว่งไปมาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเป็นจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มจำนวนหนึ่ง แล้วนำเวลาที่ได้มาหารด้วยจำนวนรอบเพื่อหาคาบเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ ซึ่งมีข้อจำกัดคือไม่สามารถวัดคาบการเคลื่อนที่ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ได้โดยตรงและต่อเนื่องตลอดการทดลอง ทำให้มีค่าผิดพลาดมากผลการทดลองไม่สอดคล้องกับทฤษฎี ดังนั้นหากต้องการที่จะศึกษาการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยละเอียดจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดคาบการเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและต่อเนื่อง

การใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับชุดทดลองในการสอนวิชาฟิสิกส์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการปฏิบัติการทดลองของรายวิชาฟิสิกส์ เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีคุณภาพสูงและราคาถูกลง คอมพิวเตอร์สามารถทำงานซ้ำๆ หรือทำงานที่มีความละเอียดซึ่งประสาทสัมผัสของมนุษย์ไม่สามารถทำได้ ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง รวดเร็วและสามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น แสดงผลในรูปกราฟ ภาพ หรืองานกราฟฟิกต่างๆ ได้

Santarelli, Carolla and Ferner (1993) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมอย่างง่ายโดยใช้ชุดทดลอง Microcomputer-Based Laboratory system (MBL) ซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อการทดลองเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งชุดการทดลองประกอบด้วย photogate sensor, Universal Laboratory Interface (ULI) และไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคาบของการเคลื่อนที่กับค่ากำลังสองของความเร็วที่ตำแหน่งสมดุล และค่ากำลังสองของความเร็วกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมอย่างง่าย ผลการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ของคาบและค่ากำลังสองของความเร็วมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น และค่ากำลังสองของความเร็วจะลดลงแบบเอกโปเนนเชียลตามเวลาด้วย นอกจากนี้ Ocaya (2000) ได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาคาบของเพนดูลัมเชิงประกอบโดยใช้โฟโตไดโอด (photodiode sensor) เป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการตัดผ่านลำแสงที่ตกกระทบโฟโต้ไดโอดของเพนดูลัมเชิงประกอบ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโฟโต้ไดโอดเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยในการออกแบบการทดลองได้ใช้วงจรการเปลี่ยนกระแสเป็นศักย์ไฟฟ้า (I-V converter) และไอซีเบอร์ 555 ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ให้เป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่มีความเหมาะสม ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ (interrups) ขึ้น โดยในการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง

ไมโครคอมพิวเตอร์การรับส่งข้อมูลระหว่างวงจรแปลงสัญญาณกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะสื่อสารกันผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ (printer port) และใช้ซอฟท์แวร์ในการเก็บวิเคราะห์ข้อมูลเป็นซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมภาษาซี จากผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดคาบการทดลองที่มีความละเอียดถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง และสามารถนำคาบที่ได้จากการทดลองคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 1%

อนุวัฒน์ บุญธรรมโม (2546) ศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดคาบและความเร็วของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมอย่างง่าย ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าเชิงทฤษฎีและคาบการเคลื่อนที่จะมีค่าคงที่เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 20° และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานจลน์มีการลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลซึ่งมีค่าสอดคล้องกับทางทฤษฎี อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้นำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุโดยผลการทดลองที่ได้ต่างจากค่าเชิงทฤษฎีไม่เกิน 3%

นอกจากนี้การจำลองหรือการทดลองเสมือนให้เหตุการณ์ที่ต้องการศึกษาเกิดขึ้นในคอมพิวเตอร์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้สำหรับการทำนายผลการทดลองและทำให้ผู้ทำการทดลองเห็นผลการทดลองได้อย่างชัดเจน เช่น แบบจำลองเชิงตัวเลขการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม (สัมฤทธิ์ อัศดรวิเศษ, 2544) นำวิธีการเชิงตัวเลขและการโปรแกรมด้วย Mathematica ร่วมกับภาษาซี พัฒนาแบบจำลองในปัญหาฟิสิกส์พื้นฐานเรื่องเพนดูลัม ผลการวิจัยพบว่า ผลคำนวณที่ได้ครอบคลุมผลเฉลยและทุกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แต่เมื่อใดก็ตามที่การกระจัดเชิงมุมหรือมุมในการแกว่งมีค่ามาก แอมพลิจูดและความถี่ของปริมาณเชิงมุมต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอนตลอดเวลา

Torzo and Peranzoni (2009) ศึกษาการใช้การจำลองเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษา เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของลูกตุ้ม เพื่อสนับสนุนการทดลองทางฟิสิกส์ ได้แก่กระบวนการทำนายผล ตั้งสมมติฐาน และแปลผลการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า การใช้การจำลองเชิงตัวเลขง่าย ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลที่เวลาจริงมาศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดีกว่าการทดลองแบบเก่า และรัตน์ติกาญ สุทธิเกิด (2550) ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์และจิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ ด้วยโปรแกรม Scilab เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วยโปรแกรม Scilab หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีระดับจิตวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อน

เรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ จิรันดร บู๊ฮวดใช้ และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ (2553) พัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้ Viasual Basic รวมกับ Scilab โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนทางคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้า ให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการอนุญาตให้ผู้สนใจมีการดาวน์โหลดชุดฝึกเหล่านี้ไปทดลองใช้งาน พบว่ามีผู้สนใจจำนวนมาก จึงสรุปได้ว่าโปรแกรม Scilab สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Visual Basic เพื่อพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนวิชาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทดลองด้วยชุดทดลองเปรียบเทียบกับผลการจำลองเชิงตัวเลขก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อยืนยันความถูกต้องของการทดลอง Zheng, et al (1994) ได้ทำการวิจัยด้วยการใช้ชุดทดลอง MBL และการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงตัวเลข (numerical integral methods) และแคลคูลัสในการคำนวณหาคาบของเพนดูลัมเพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าที่วัดคาบได้จากการทดลองกับคาบที่ได้โดยใช้ซอฟแวร์ Mathcad ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาภาวะของเพนดูลัมที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของเพนดูลัม (nonlinear pendulum) ซึ่งพบว่าในการทดลองคาบที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับคาบที่คำนวณได้จากทฤษฎีเมื่อมุมเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 50° และเมื่อมุมเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้นค่าคาบจากการทดลองและการคำนวณจากทฤษฎีมีความแตกต่างกันมากขึ้น

จากการทดลองด้วยการจับเวลาที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง จึงได้มีการทดลองจับเวลาโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ที่ให้ค่าที่เวลาจริงมีความถูกต้องสูง และการใช้แบบจำลองมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันความถูกต้อง จากการวิจัยทดลองเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ที่อาศัยเซ็นเซอร์เป็นตัวจับเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ค่าละเอียดสอดคล้องกับทฤษฎี ผู้วิจัยจึงสนใจการใช้วิธีการดังกล่าวในการออกแบบและสร้างชุดทดลองดังกล่าวใหม่โดยใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ในส่วนของตัวตรวจจับ วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมที่ใช้ควบคุม การแสดงผลการวัดที่จอภาพไมโครคอมพิวเตอร์ การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟท์แวร์ Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

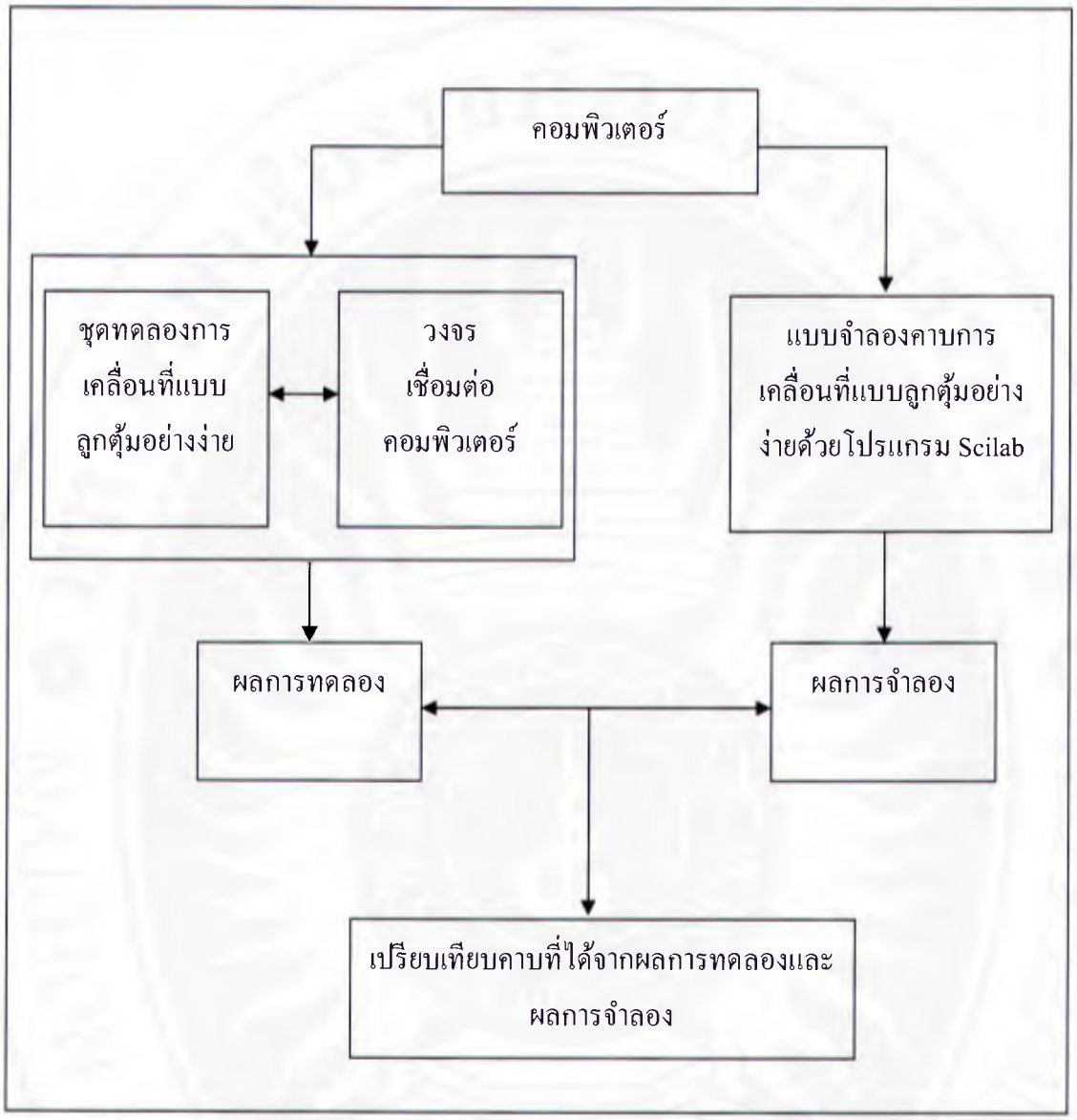
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2

3. เปรียบเทียบคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับผลการจำลอง

กรอบแนวคิดของการวิจัย

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) คือ วัตถุที่แขวนจากจุดตรึงด้วยแขนของลูกตุ้มซึ่งอาจจะเป็นด้ายเชือก หรือแท่งวัตถุเล็ก ๆ ก็ได้ เมื่อดึงวัตถุไปจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อยวัตถุเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งนี้โดยระนาบการแกว่งจะอยู่ในแนวดิ่ง และแขนของลูกตุ้มจะทำมุม θ กับแนวดิ่ง คาบการแกว่ง (T) ของลูกตุ้มขึ้นอยู่กับความยาวของแขนลูกตุ้ม (l) และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ณ ตำแหน่งที่ทดลองโดยไม่ได้ขึ้นกับมวลของลูกตุ้ม การทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มในห้องปฏิบัติการทั่วไปจะทำการวัดคาบของการเคลื่อนที่โดยใช้นาฬิกาจับเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มทีละหลายรอบแล้วนำค่าเวลาที่ได้มาเฉลี่ยกับจำนวนรอบ ซึ่งมีข้อจำกัดคือทำให้ไม่สามารถวัดคาบการเคลื่อนที่ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ได้โดยตรงและต่อเนื่องตลอดการทดลอง

เมื่อออกแบบอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองปัญหาฟิสิกส์ ก็จะทำให้สามารถบันทึกผลการทดลองและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทางฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเชื่อมต่อชุดทดลองกับไมโครคอมพิวเตอร์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเรียนการสอนฟิสิกส์ ดังแสดงกรอบแนวคิดใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

1. สร้างชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายสามารถวัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายได้ผลใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี

2. เขียนโปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องตามทฤษฎี

3. เมื่อเปรียบเทียบคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายจากชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายกับการค่าที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ค่าร้อยละของความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 5

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

2. การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ วงจรส่งและตรวจจับแสง และชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

3. โปรแกรมควบคุมชุดทดลองและเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ เขียนด้วยโปรแกรม Visual Basic 6 จำลองทางคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2

4. เปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ด้วยการแสดงในรูปกราฟ

ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับความยาวของแขนของลูกตุ้ม ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเริ่มต้นกับคาบ และความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมวลของลูกตุ้ม โดยเชื่อมต่อชุดการทดลองกับคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ผลการทดลองที่ได้จะสามารถหาคาบของการเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย หมายถึง ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย ดัดแปลงจากชุดทดลองเพนดูลัม (pendulum apparatus) ของบริษัทแกมมาโก้ จำกัด เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งมี

ส่วนประกอบสำคัญคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 โปรแกรมการเชื่อมต่อด้วย Visual Basic 6

2. การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (computer interface) หมายถึง ระบบเชื่อมโยงที่รวบรวมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ มาใช้การทดสอบค่าความเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างของสัญญาณแอนะลอก แล้วทำการแสดงผลที่ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถนำผลการประมวลไปเก็บและนำไปควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ โดยการทำงานผ่านระบบสัญญาณรับเข้า (data acquisition system) ระบบควบคุมอุปกรณ์ภายนอก (control system) ระบบเชื่อมโยง (interface system) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer language)

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical modeling) หมายถึง เครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ประมาณการเชิงตัวเลขเพื่อเป็นตัวแทนของกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ ใช้แทนสภาพจริงในภาคสนามหรือกรณีทดลองในห้องปฏิบัติการ

4. ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) หมายถึง วัตถุที่แขวนจากจุดตรึงด้วยแขนของลูกตุ้ม ซึ่งอาจจะเป็นด้าย เชือก หรือแท่งวัตถุเล็กๆ ก็ได้ เมื่อดึงวัตถุไปจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อยวัตถุเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งนี้โดยระนาบการแกว่งจะอยู่ในแนวดิ่ง แขนของลูกตุ้มจะทำมุม θ กับแนวดิ่ง

5. การเคลื่อนที่แบบคาบ (periodic) หมายถึง การเคลื่อนที่ซ้ำรอยการเคลื่อนที่เดิมเป็นคาบเวลารอบตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่เป็นตำแหน่งสมดุล เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า คาบ (period) แทนด้วย T

ประโยชน์ของการวิจัย

1. ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นสื่อในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

2. นำวิธีการสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย ไปประยุกต์ใช้ในการทดลองหาค่า g และค่าอื่นๆ ที่ไม่สามารถใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

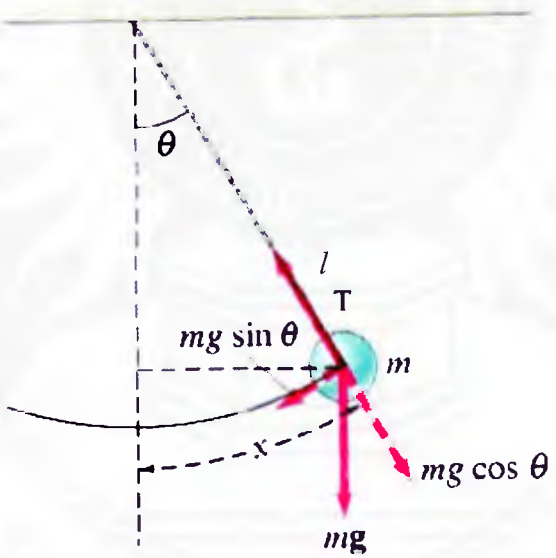
3. ส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์ได้ง่ายขึ้น โดยใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เกิดการเรียนรู้และความคิดแบบบูรณาการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และการจำลองทางคณิตศาสตร์ มีการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย การเชื่อมต่อชุดทดลองกับคอมพิวเตอร์และการจำลองทางคณิตศาสตร์

การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) ประกอบด้วยมวลขนาดเล็กตามอุดมคติเป็นจุดแขวนที่ปลายด้ายหรือเชือกอ่อน โดยธรรมชาติวัตถุแขวนห้อยในแนวดิ่งเป็นตำแหน่งสมดุล เมื่อดึงวัตถุให้เอียงทำมุมเล็ก ๆ กับแนวดิ่งแล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ดังรูป



ภาพที่ 2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
ที่มา : จิแอนโคลี (Giancoli, 2000, 372)

ขณะที่ลูกตุ้มมวล m ที่ผูกกับเส้นเชือกยาว l เอียงทำมุม θ กับแนวดิ่ง มีแรงสองแรงกระทำต่อมวล m คือน้ำหนักของลูกตุ้ม mg และแรงดึงในเส้นเชือก T ทำมุม θ กับแนวดิ่ง ดังภาพที่ 2

เนื่องจากแรง mg สามารถคิดแยกออกเป็นสองแรงในแนวตั้งฉากกัน ดังภาพที่ 2 จะเห็นว่าแรง $mg\sin\theta$ เป็นแรงที่ดึงมวล m กลับสู่ตำแหน่งสมดุล ให้แรงนี้เป็นแรง F คือ

$$F = -mg\sin\theta$$

ถ้า θ เป็นมุมเล็กๆ (ค่าของมุมที่ทำให้ $\sin\theta \approx \tan\theta$) การเคลื่อนที่โค้งประมาณได้ว่าเป็นเส้นตรง มีขนาดการกระจัด x และ $\sin\theta = \frac{x}{l}$ จะได้

$$F = -mg\frac{x}{l}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $F = ma$ จะได้

$$-mg\frac{x}{l} = ma$$

$$a = -\frac{g}{l}x$$

จะเห็นว่า ความเร่งของลูกตุ้มแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศทางตรงกันข้าม การแกว่งของลูกตุ้มจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกด้วย

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเป็นการเคลื่อนที่แบบแกว่งชนิดหนึ่ง โดยมีสมการการเคลื่อนที่ตามสมการ (1)

$$x = A\sin(\omega t + \varphi) \tag{1}$$

เมื่อ x, A, ω, t และ φ คือ การกระจัด แอมพลิจูด ความเร็วเชิงมุม เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และเฟส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ครบรอบเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ คือ คาบ (T) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็นสมการ (2)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \tag{2}$$

กรณีของลูกตุ้มอย่างง่ายเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 2 จะได้สมการ

$$-mg\sin\theta = m\frac{d^2s}{dt^2} \tag{3}$$

เมื่อ $s = l\theta$ และ l คงที่ สามารถเขียนสมการ (3) ใหม่ได้เป็น (4)

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\sin\theta \tag{4}$$

เมื่อพิจารณา θ น้อยๆ จะได้ว่า $\sin\theta$ ใกล้เคียง θ และ $\frac{d^2\theta}{dt^2} = \omega$ จึงสามารถเขียนสมการ (4) ใหม่ได้เป็นสมการ (5)

$$\omega = \sqrt{\frac{l}{g}} \tag{5}$$

จากสมการ (2) และสมการ (5) จะได้

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \tag{6}$$

สามารถนำความสัมพันธ์จากสมการ (6) ไปหาค่า g ได้

ถ้ามุมการแกว่งกว้าง จะไม่ถือว่าเป็นการแกว่งแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก บางครั้งถ้ามุมการแกว่งไม่กว้างเกินไป สามารถประมาณคาบการแกว่งได้จากสมการ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}\left(1 + \frac{1}{16}\theta_0^2 + \frac{11}{3072}\theta_0^4 + \frac{173}{737280}\theta_0^6 + ...\right)} \tag{7}$$

(Simpson, 2010)

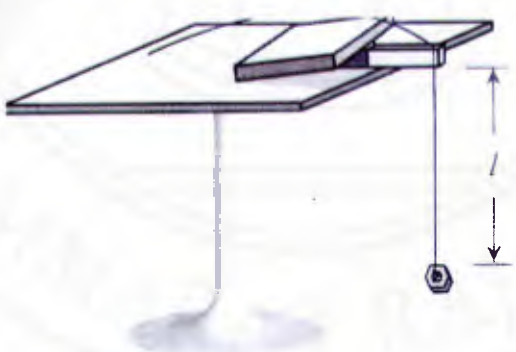
ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

1. การทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สสวท., 2553) ในรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

การทดลอง 4.4 **ลูกตุ้มอย่างง่าย**

จุดประสงค์ เพื่อหาความเร่งโน้มถ่วงของโลก g

วิธีทดลอง



ภาพที่ 3 การจัดอุปกรณ์ทดลอง

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2553, 161)

1) ทำลูกตุ้มอย่างง่าย โดยใช้นอตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm ผูกสายเอ็นยาวประมาณ 1 m ใช้ไม้หนีบ (สำหรับหนีบเสื้อ) หนีบอีกปลายหนึ่งของเส้นเอ็นยึดไม้หนีบกับขอบโต๊ะให้นอตห้อยอยู่ในแนวดิ่ง ความยาวของเส้นเอ็น (l) ให้วัดจากจุดแขวนถึงศูนย์กลางของนอต

2) แกว่งนอตและจับเวลาการแกว่งเพื่อหาคาบ (T) โดยเปลี่ยนความยาวของเส้นเอ็นต่างกัน 6 ค่า การจับเวลาแต่ละครั้งให้จับเวลาเมื่อนอตแกว่งครบ 30 รอบ หาค่าเฉลี่ยของเวลาครบ 30 รอบ แล้วจึงหาคาบ

3) เขียนกราฟระหว่าง T^2 กับ (l) โดยให้ T^2 อยู่บนแกนตั้ง (l) อยู่บนแกนนอน (เพราะสาเหตุใดจึงเขียนกราฟระหว่าง T^2 กับ (l))

หาค่า g จากความชันของกราฟ และประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ g ที่ได้จากการทดลองเป็นเท่าใด

2. การทดลองเพนดูลัมโดย ธเนศ สินธุ์ประจิม (2552, 36-44) ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม สำหรับนักศึกษาระดับอุดมศึกษา ดังนี้

การทดลอง เพนดูลัม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก
2. สามารถหาค่าคงที่โน้มถ่วงได้

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองเพนดูลัม

ทฤษฎี

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเป็นการเคลื่อนที่แบบแกว่งชนิดหนึ่ง โดยมีสมการการเคลื่อนที่ตามสมการ

$$x = A\sin(\omega t + \varphi)$$

เมื่อ x, A, ω, t และ φ คือ การกระจัด แอมพลิจูด ความเร็วเชิงมุม เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และเฟส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ครบรอบเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ คือ คาบ (T) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็นสมการ

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

กรณีของเพนดูลัมเมื่อพิจารณาจะได้สมการ

$$-mg\sin\theta = m\frac{d^2s}{dt^2}$$

เมื่อ $s = l\theta$ และ l คงที่ สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\sin\theta$$

เมื่อพิจารณา θ น้อยๆ จะได้ว่า $\sin\theta$ ใกล้เคียง θ และ $\frac{d^2\theta}{dt^2} = \omega$ จึงสามารถเขียนสมการ ใหม่ได้เป็นสมการ

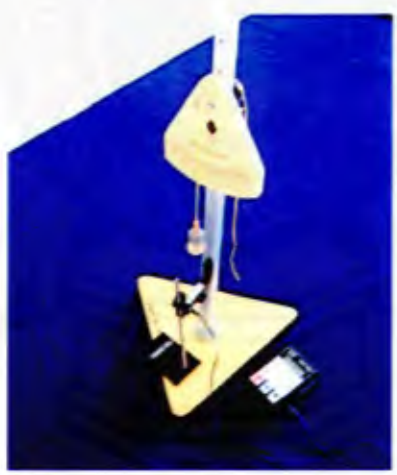
$$\omega = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

จะได้

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

วิธีทดลอง

1) ติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชุดทดลองเพนดูลัม

ที่มา : ธเนศ สินธุ์ประจิม (2552, 42)

2) ปรับความยาวเชือกห้อยลูกตุ้มให้ยาว 30 cm โดยใส่เฉพาะลูกตุ้มอย่างเดียวไม่ต้องมีห่วงเหล็ก ดึงเชือกให้ทำมุม 15° แล้วปล่อยให้แกว่ง จับคาบในการเคลื่อนที่โดยใช้โฟโต้เกตและสมาร์ทไทเมอร์ บันทึกผล

3) เปลี่ยนเป็นมุม 20° 25° 30° แล้วทดลองเหมือนเดิม

4) ที่ค่ามุมเท่ากับ 30° ความยาวเชือก 30 cm เท่าเดิม ให้เพิ่มห่วงเหล็กลงไป 3 ห่วงแล้วแกว่งเพื่อหาคาบการเคลื่อนที่เช่นเดิม จากนั้นจึงเพิ่มห่วงลงไปครั้งละ 3 ห่วง ทดลองเหมือนเดิม

5) ที่ลูกตุ้มรวมกับห่วง 3 ห่วง ทดลองโดยเปลี่ยนความยาวเชือกจาก 30 cm เป็น 40 cm 50 cm 60 cm และ 70 cm ตามลำดับ โดยให้มุมเท่ากับ 30°

6) เขียนกราฟระหว่าง T กับ θ, T กับ m, T กับ l, และ T^2 กับ l โดยให้ T อยู่แกนตั้งเสมอ

7) จากกราฟ T^2 กับ l หาค่าความชันของกราฟเพื่อใช้ค่า g โดยพิจารณาสมการของเส้นตรง

$$y = mx + c$$

เทียบกับสมการยกกำลัง 2 จะได้

$$T^2 = \left(4\pi^2\right)\frac{l}{g}$$

หรือ

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{g}\right)l$$

จะได้

$$m = \frac{4\pi^2}{g}$$

$$g_{Exp} = \frac{4\pi^2}{m}$$

8) เปรียบเทียบค่า g ที่ได้จากการทดลองกับค่าทฤษฎีโดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากสมการ

$$\% = \frac{\left(g_{The} - g_{Exp}\right)}{g_{The}} \times 100$$

การเชื่อมต่อชุดทดลองกับคอมพิวเตอร์

วงจรอินเตอร์เฟส เป็นระบบเชื่อมโยงที่รวบรวมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ มาใช้ในการทดสอบค่าความเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างของสัญญาณแอนะลอก แล้วทำการแสดงผลที่ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถนำผลการประมวลไปเก็บไว้และนำไปควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ โดยการทำงานผ่านระบบสัญญาณรับเข้า (data acquisition system) ระบบควบคุมอุปกรณ์ภายนอก (control system) ระบบเชื่อมโยง (interface system) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer language)

จะเห็นได้ว่าเมื่อออกแบบอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย และสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขจำลองปัญหาฟิสิกส์ ก็จะทำให้สามารถบันทึกผลการทดลองและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทางฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเชื่อมต่อชุดทดลองกับไมโครคอมพิวเตอร์และสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือภายนอก (external equipment) ต่างๆ ได้ เพื่อทำการวัดปริมาณทางกายภาพและส่งผลกลับในการควบคุมปริมาณทางกายภาพ หรืออาจจะเป็นการประยุกต์ใช้ในการควบคุมรักษาความปลอดภัยให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร การควบคุมการทำงานของลิฟท์ขึ้นลง การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ การควบคุมหรือวัดอุณหภูมิ เป็นต้น

การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานควบคุมนั้น สิ่งแรกที่จะต้องมี คือ ส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่างๆ ผ่านวงจรภาคหน้าเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอก ผ่านอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป (พาณิชย์ อินต๊ะ, 2548, หน้า 76-81)

ในการส่งข้อมูลออกไปนั้นจะส่งเป็นรูปแบบของเลขฐานสอง เช่น 01101100_2 ซึ่งเลขแต่ละตัวจะแทนด้วย 1 bit อาจเป็น 8 bit หรือ 16 bit ขึ้นอยู่กับระบบนั้นๆ โดยผ่านพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ถ้าหากเป็นการต่อจากพอร์ตเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตอนุกรม (serial port) หรือพอร์ตขนาน (parallel port) สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจะมีระดับแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

- serial port (RS-232) 3 VDC ถึง 25VDC

- parallel port (printer port) 5 VDC (TTL) ต่อ 1 bit

จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากพอร์ตทั้งสองนั้นสามารถที่จะนำไปควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ภายนอกได้ เช่น พอร์ตขนาน (printer port) ระดับแรงดันไฟฟ้า 5VDC สามารถนำมาใช้ในการขับรีเลย์ ทรานซิสเตอร์ หลอดไฟ หรือ LED ให้ทำงานได้โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปควบคุมการทำงานของพอร์ตขนาน เป็นต้น

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของอินพุต และเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. พอร์ตต่อกับคีย์บอร์ด หรืออาจเรียกกันว่า PS/2, mini-DIN

2. พอร์ตต่อเมาส์ หรืออาจเรียกกันว่า PS/2, mini-DIN

3. พอร์ตต่อจอภาพ

4. พอร์ตต่ออนุกรม อาจเรียก serial port, com port (COM1, COM2) ใช้ในระบบติดต่อสื่อสาร RS-232

5. พอร์ตต่อขนาน อาจเรียก parallel port เช่น printer port เป็นพอร์ตต่อขนานชนิดหนึ่งที่ใช้ต่อพ่วงกับเครื่องพิมพ์

6. พอร์ตต่อจอยสติก

7. พอร์ตต่อโมเด็ม ตัวคอนเน็กเตอร์จะเป็นประเภทเดียวกับสายสัญญาณโทรศัพท์

8. พอร์ต USB (universal serial bus) เป็นพอร์ตรุ่นใหม่ที่สามารถพ่วงอุปกรณ์ได้มาก เช่น เมาส์ คีย์บอร์ด โมเด็ม กล้องดิจิตอล เป็นต้น

9. พอร์ตเชื่อมต่อระบบเครือข่าย จะมีอยู่ในการ์ดแลนด์ เรียกว่า พอร์ต RJ-45

10. พอร์ต SCSI (small computer system interface) มักใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วสูง เช่น ฮาร์ดดิสก์ที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสูง

เมื่อเลือกการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วลำดับต่อไปจะต้องเลือกระบบสำหรับใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก โดยจะต้องเลือกระบบสื่อสารให้ตรงกับฮาร์ดแวร์ที่เลือกใช้ ซึ่งระบบสื่อสารต่าง ๆ มีดังนี้

1. USB (universal serial port) รวมถึง firewire (IEEE-1348) เป็นระบบติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบใหม่ที่มีความเร็วสูง เป็นระบบที่ติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดแวร์ ซึ่ง USB1 ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแทนการติดต่อแบบ RS-232 และ centronics printer ports ซึ่งอุปกรณ์โมเด็มปัจจุบันได้เลือกใช้ระบบสื่อสารชนิดนี้ หรืออุปกรณ์ตัว

อื่นๆ เป็นต้น firewire ได้ถูกออกแบบเพื่อรองรับการสื่อสารสำหรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณภาพ เสียง วีดีโอ

2. microwire, SPI, I^2C interface การติดต่อสื่อสารเป็นแบบ synchonous serial เหมาะสำหรับใช้ในระยะสั้นๆ โดยสายสัญญาณของระบบนี้จะใช้เพียง 2 เส้นเท่านั้น ดังนั้นจึงเหมาะสมกับระบบที่มีทรัพยากรในการควบคุมจำกัด ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว (single chip microcontroller) ที่มีพอร์ตจำนวนไม่มากมักนิยมใช้ระบบนี้ในการควบคุมและติดต่อสื่อสาร

3. ethernet ใช้ติดต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายหรือระบบ LAN ซึ่งเป็นระบบที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อกันในเครือข่ายหลายตัว เป็นระบบที่มีความเร็วสูงและความจุ แต่ละอุปกรณ์ (hardware) และโปรแกรม (software) ซึ่งจะมีความซับซ้อน อีกทั้งราคาสูงกว่าระบบการติดต่อสื่อสารแบบอื่นๆ

4. centronics parallel printer port interface สามารถส่งข้อมูลได้หลายบิตสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างพีซีกับเครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ เครื่องเก็บข้อมูลแบบภายนอก (data accquisition devices) เป็นต้น

5. IrDA (interface data association) เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งใช้ได้ในระยะทางสั้นๆ ในสถานที่ที่จำกัดซึ่งไม่สามารถติดตั้งสายเคเบิลได้ หรือในสถานที่ที่ต้องการความสะดวกสบาย เช่น รีโมตทีวี หรือวีดีโอ เมาส์ หรือ คีย์บอร์ดอินฟราเรด เป็นต้น

6. MIDI (musical instrument digital interface) ใช้สำหรับการสื่อสารแบบอนาลอกในเครื่องมือด้านเครื่องเสียง เครื่องมือด้านดนตรี (ซินติไซเซอร์ / เปอร์คัตชั่น / กีตาร์เอฟเฟ็ก) เครื่องมือควบคุมเสียงในโรงภาพยนตร์ (มิกเซอร์ / อีควอไลเซอร์ / เอฟเฟ็กต่างๆ)

พอร์ตเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

1. พอร์ตขนาน (parallel port) (ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ parallel port, 13 กันยายน 2553) เป็นพอร์ตที่มีการรับส่งข้อมูลเป็นแบบขนาน และนิยมต่อพ่วงกับเครื่องพิมพ์ ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกตามความนิยมอีกชื่อว่าว่า พอร์ตเครื่องพิมพ์ (printer port) พอร์ตขนานมีการรับ/ส่งข้อมูลแบบขนาน จึงทำให้มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตขนานสามารถประยุกต์นำมาใช้ในการรับ/ส่งข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่จำเป็นต้องสร้างฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมใดๆ

ภาพที่ 5 หัวต่อ DB-25 ขา

สายสัญญาณเชื่อมโยงระหว่างพอร์ตเครื่องพิมพ์แบบขนานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ภายนอก ด้านพอร์ตเครื่องพิมพ์แบบขนานจะเป็นหัวต่อแบบ DB-25 ขา ดังแสดงในภาพที่ 5

จะเห็นได้ว่าการนำพอร์ตขนานมาใช้งานด้านการควบคุมฮาร์ดแวร์ภายนอกจะมีความสะดวก ประหยัด และได้ความเร็วในการเชื่อมต่อในระดับที่น่าพอใจ นอกจากนั้นหากนำคุณสมบัติของการเขียนโปรแกรมง่ายๆ ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดว์ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic (VB) จะสามารถสร้างระบบการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์ใช้งานได้ง่าย

2. พอร์ตอนุกรม (serial port) (ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม, 8 มกราคม 2553) การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับส่งที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่ แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือบอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps)

ตำแหน่งแอดเดรสพื้นฐานของพอร์ตอนุกรมมีตำแหน่งดังนี้คือ

COM1 มีแอดเดรสพื้นฐาน (base) อยู่ที่ 3F8H

COM2 มีแอดเดรสพื้นฐาน (base) อยู่ที่ 2F8H

COM3 มีแอดเดรสพื้นฐาน (base) อยู่ที่ 3E8H

COM4 มีแอดเดรสพื้นฐาน (base) อยู่ที่ 2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออสจะทำการตรวจสอบตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์

เครื่องคอมพิวเตอร์ PC โดยทั่วไปสามารถต่อพอร์ตอนุกรม RS-232 สูงสุดได้ 4 พอร์ต ซึ่งจะมีชื่อเรียกเป็น COM1 COM2 COM3 และ COM4 ซึ่งพอร์ตอนุกรมแต่ละตัวจะใช้ UART ภายในคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

3. พอร์ตยูเอสบี (USB port) USB ย่อมาจาก universal serial bus เมื่อแปลความหมายแบบตรงตัวก็จะได้ความหมายว่า บัสอนุกรมอเนกประสงค์ มีคุณสมบัติทางเทคนิคโดยสรุปดังนี้

1) สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลาย ๆ ชนิดรวมเข้าสู่คอนเน็กเตอร์ตัวเดียว สูงสุด 127 ตัว (ไม่รวมอุปกรณ์มาสเตอร์)

2) ไม่เกิดการขัดแย้งกันของการเข้าใช้ทรัพยากรของระบบ (IRQ)

3) ตรวจสอบการเชื่อมต่อและตั้งค่าการทำงานต่าง ๆ อัตโนมัติ ระหว่างที่เครื่องกำลังทำงานอยู่

4) ความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลจะขึ้นอยู่กับมาตรฐาน มีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐาน USB 1.0/1.1 มีอัตราในการถ่ายทอดข้อมูลความเร็วต่ำ (low speed) เท่ากับ 1.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/sec) และความเร็วเต็มที่ (full speed) เท่ากับ 12 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/sec)

มาตรฐาน USB 2.0 จะมีอัตราเร็วในการถ่ายทอดเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับคือ ความเร็วสูง (high speed) ซึ่งมีความเร็วสูงถึง 480 เมะบิตต่อวินาที

5) ที่ขาของพอร์ตยูเอสบีมีแรงดันไฟตรง +5V จ่ายออกมาด้วย ทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้พลังงานไม่มากนัก สามารถใช้แรงดันจากพอร์ตยูเอสบีนี้เป็นไฟเลี้ยงเพื่อทำงานได้ โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกเพิ่มเติมอีก แต่กระแสไฟฟ้ารวมต้องไม่เกิน 100 มิลลิแอมป์

ยูเอสบี เป็นการส่งข้อมูลที่อุปกรณ์ทุก ๆ ตัวจะต้องส่งสัญญาณรวมกันไปในสายสัญญาณเพียงคู่เดียว ดังนั้นอุปกรณ์ทุกๆ ตัวที่เชื่อมต่อกับบัสจะต้องส่งข้อมูลเรียงลำดับกันไป

เพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล ทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จะมีข้อมูลวิ่งไปได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ไม่สามารถรับและส่งข้อมูลไปในเวลาเดียวกันได้

จังหวะการรับส่งข้อมูลของยูเอสบีจะถูกควบคุมจากโฮสต์ (host) ซึ่งก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นจุดรวมของอุปกรณ์ทุกตัวที่เชื่อมต่ออยู่ นั่นเอง การรับส่งข้อมูลจะถูกกำหนดเป็นเฟรม โดยทุกๆ 1 มิลลิวินาที (ms) จะเกิดการรับส่งข้อมูลขึ้น 1 เฟรม ในแต่ละเฟรมจะแบ่งย่อยออกเป็นแพ็กเก็ต (packet) เริ่มต้นการทำงานของแต่ละเฟรมโดยโฮสต์จะส่งสัญญาณเริ่มต้นเฟรมหรือ SOF (start of frame) ออกไปเพื่อให้อุปกรณ์ทุกตัวรู้จังหวะการเริ่มเฟรม หลังจากนั้นโฮสต์ก็จะเริ่มส่งหรือรับข้อมูลต่างๆ ตามที่ได้จัดลำดับความสำคัญไว้ โดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายในบัสจะต้องทำงานตามจังหวะที่โฮสต์กำหนดไว้เท่านั้น การส่งข้อมูลกลับไปยังโฮสต์จะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อได้รับการถามหรือร้องขอจากโฮสต์

ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นสำหรับระบบยูเอสบี มีดังนี้

1) ส่วนซอฟต์แวร์

1.1) ไดรเวอร์อุปกรณ์ยูเอสบี (USB device drivers)

1.2) ไดรเวอร์ยูเอสบี (USB driver)

1.3) ไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB host controller driver)

2) ส่วนฮาร์ดแวร์

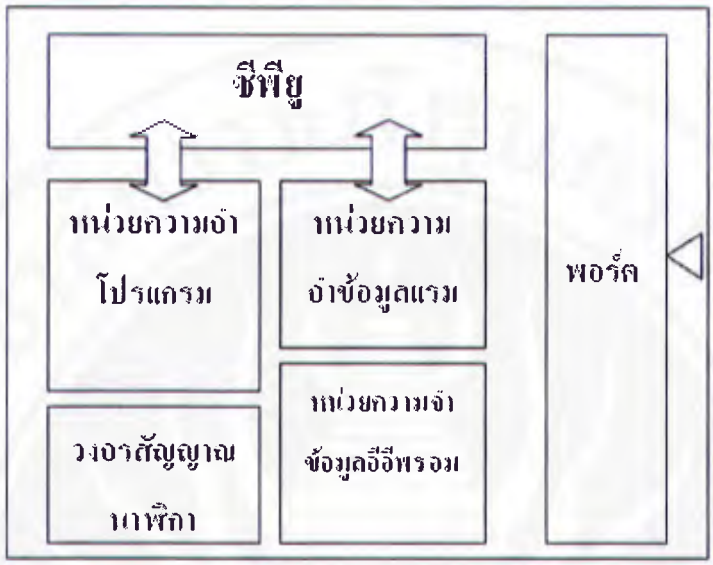
2.1) ยูเอสบีโฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB host controller) / รูตฮับ (root hub) ได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์นั่นเอง

2.2) ยูเอสบีฮับ (USB hub) อาจไม่มีก็ได้ถ้าจำนวนช่องของพอร์ตยูเอสบี ที่คอมพิวเตอร์มีมากเพียงพอ

2.3) อุปกรณ์ยูเอสบี (USB device) มีให้เห็นมากมายทั้งพรินเตอร์ สแกนเนอร์ ฮาร์ดดิสก์ โมเด็ม เมาส์ คีย์บอร์ด และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) (เอกชัย มะการ, 2552) หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่มีความสำคัญมากในระบบคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยทำการบรรจุไว้ในตัวถังเดียวกัน



ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ

1) หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : central processing unit)

2) หน่วยความจำ (memory) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำเก็บโปรแกรม (program memory) ทำหน้าที่คล้าย ๆ กับฮาร์ดดิสก์ในคอมพิวเตอร์ ข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง และหน่วยความจำข้อมูล (data memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลในการทำงานชั่วคราว ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมซึ่งข้อมูลจะหายเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นแบบอีอีพรอม (EEPROM : erasable electrically programmable read-only memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3) ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือเรียกว่าพอร์ต (port) มีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ พอร์ตรับสัญญาณหรือพอร์ตอินพุต (input port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (output port) ส่วนนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและอุปกรณ์ภายนอกเหล่านั้นนั่นเองที่เป็นสื่อกลางในการติดต่อกับมนุษย์ ยกตัวอย่างพอร์ตอินพุตใช้ต่อกับสวิตซ์เพื่อรับข้อมูลที่ผู้ใช้งานกดป้อนเข้ามาซึ่งเหมือนกับการใช้คีย์บอร์ดในการป้อนข้อความเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ พอร์ตเอาต์พุตใช้ต่อกับลำโพงเพื่อขับเสียง ต่อกับหลอดไฟเพื่อแสดงผล ต่อกับมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุน ต่อกับหน่วยความจำเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หากเปรียบเทียบ

กับคอมพิวเตอร์พอร์ตเอาต์พุตก็คือส่วนที่ต่อกับเครื่องพิมพ์สำหรับพิมพ์ข้อมูลออกมาและส่วนที่ต่อกับจอมอนิเตอร์เพื่อแสดงภาพ เป็นต้น

4) เส้นทางสัญญาณหรือบัส (bus) การติดต่อแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต จะกระทำบนสายสัญญาณจำนวนมาก เรียกว่า เส้นทางสัญญาณหรือบัส โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (data bus) บัสแอดเดรส (address bus) และบัสควบคุม (control bus)

บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลสำหรับการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการประมวลผลของซีพียูและเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นๆ สำหรับในงานทั่วไป ขนาดของบัสข้อมูลคือ 8 บิต และในปัจจุบันมีการพัฒนาไปถึง 16, 32 และ 64 บิตแล้ว บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ซึ่งก็คือการกำหนดค่าแอดเดรส จำนวนสายสัญญาณของบัสแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมากและถ้ายิ่งมีมากเท่าใดจะเป็นการแสดงถึงความจุของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นสามารถติดต่อได้สามารถคำนวณได้จาก

จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำ = 2^n โดยที่ n คือจำนวนสายสัญญาณ

ตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ 2^{10} = 1,024 ตำแหน่ง

หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริง ๆ จะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าไร หากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้นจะเท่ากับ 8 × 1024 = 8,192 บิต โดยปกตินิยมเรียกความจุของหน่วยความจำในหน่วยเป็นไบต์ (byte) หรือกิโลไบต์ (kilo byte : KB) มากกว่า โดย 1 ไบต์เท่ากับ 8 บิต และ 1 กิโลไบต์เท่ากับ 1,024 ไบต์ (ไม่ใช่ 1,000 เหมือนกับหน่วยวัดทั่วไป) ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาเป็นตัวอย่างจึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิต หรือ 1,024 ไบต์ หรือ 1 กิโลไบต์

บัสควบคุมเป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ตสำหรับสายสัญญาณควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือก-อ่าน-เขียนหน่วยความจำ สายสัญญาณเลือก - อ่าน – เขียนข้อมูลกับพอร์ต

5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งเนื่อง จากการทำงานทั้งหมดในไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะโดยใช้สัญญาณนาฬิกา หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะถี่และมีมากตาม ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

อินฟราเรดเซ็นเซอร์

แสงอินฟราเรด (infrared sensor) (อินฟราเรดเซ็นเซอร์, 27 มกราคม 2553) คือ แสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าแสงสีแดงลงไป ดังนั้นจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตาของมนุษย์ ซึ่งคุณสมบัตินี้เองจึงทำให้ชนิดที่ใช้แสงอินฟราเรดเป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยจะอาศัยหลักการของการสะท้อนของแสง กล่าวคือใช้อุปกรณ์ส่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดปล่อยแสงออกไป และเมื่อแสงกระทบกับวัตถุด้านหน้ามันก็จะสะท้อนแสงกลับมาเข้าที่ตัวรับแสง ส่วนอัตราของการสะท้อนกลับนั้นขึ้นอยู่กับสีและสภาพความมันของวัตถุที่สะท้อน เช่น สีดำจะมีอัตราการสะท้อนกลับน้อยกว่าสีขาว หรือสภาพพื้นที่ผิวที่มีความราบเรียบเป็นมันวาวจะสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าพื้นที่ผิวที่มีลักษณะด้านและขรุขระ เป็นต้น

คุณสมบัติของแสงอินฟราเรด

1) แสงอินฟราเรดมีความถี่ 10^{11}-10^{14} เฮิร์ต และความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-13}-10^{-6} เมตร

2) แสงอินฟราเรดตรวจรับได้ด้วยประสาทสัมผัสทางผิวหนัง หรือฟิล์มถ่ายรูปชนิดพิเศษ

3) แสงอินฟราเรดสิ่งมีชีวิตจะแผ่ออกมาตลอดเวลาเพราะเป็นคลื่นความร้อน

4) แสงอินฟราเรดใช้ในการสื่อสาร เช่น ถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม ใช้เป็นรีโมทคอนโทรลของเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ และใช้ควบคุมจรวดนำวิถี

5) แสงอินฟราเรดใช้เป็นพาหะนำสัญญาณในใยแก้วนำแสง (optical fiber)

เนื่องจากแสงอินฟราเรดมีความยาวคลื่นที่สั้น มีคุณสมบัติที่เด่นคือจะเดินทางเป็นแนวเส้นตรงและไม่สามารถเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางหรือวัตถุได้ จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการสื่อสารในระยะสั้นๆ หรือตรวจจับสิ่งของต่างๆ อินฟราเรดประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนเครื่องรับและเครื่องส่ง

ส่วนเครื่องส่งจะทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดให้กับเครื่องรับ ใช้ IR LED เป็นตัวขับแสงอินฟราเรด แสงที่ส่งออกมาจะมีช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของแสงธรรมดาทั่ว ๆ ไป คือมากกว่า 20 kHz

ส่วนเครื่องรับ จะใช้โฟโต้ไดโอด โฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือแอลดีอาร์ เป็นตัวรับแสงก็ได้ โดยที่ทั้งเครื่องรับและส่งจะต้องมีความถี่เท่ากัน เพราะถ้าไม่เท่ากันจะทำให้ไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้

การทำงานของอินฟราเรดเซ็นเซอร์

อินฟราเรดเซ็นเซอร์มีหลักการทำงานคือ จะส่งแสงอินฟราเรดจากเครื่องรับไปยังเครื่องส่งโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกัน และเครื่องรับและเครื่องส่งอยู่คนละที่กัน

1) เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกัน จะใช้หลักการสะท้อนกับวัตถุเมื่อมีวัตถุผ่านหรือขวางกั้นอยู่ เพื่อให้ระบบทำงานแต่ถ้าวัตถุไม่สะท้อนแสงหรือสะท้อนแสงได้น้อย เช่น วัตถุสีดำ ตัวเซนเซอร์จะไม่ทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี

2) เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่คนละที่กัน จะอาศัยหลักการการตัดเส้นทางเดินของแสงเมื่อมีการตัดเส้นทางเดินของแสงระบบจะทำงาน โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น ทำวงจรตรวจจับคนเดินผ่าน เป็นต้น

การจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบ หรือ Model เป็นคำที่ใช้เพื่อสื่อความหมายหลายอย่าง โดยทั่วไปจะหมายถึงวิธีการดำเนินงานที่เป็นแบบอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น แบบจำลองสิ่งก่อสร้าง Longman (1981) ได้ให้ความหมายโดยสรุปไว้ว่า หมายถึงสิ่งที่เป็นแบบย่อส่วนของของจริง ซึ่งเท่ากับแบบจำลอง

Good (1983) ได้ให้ความหมายของรูปแบบไว้ว่า รูปแบบหมายถึงแบบอย่างของสิ่งใดสิ่งหนึ่งเพื่อเป็นแนวทางการการสร้างหรือทำซ้ำ เป็นตัวอย่างเพื่อการเลียนแบบ เป็นแผนภูมิหรือรูปสามมิติซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือหลักการหรือแนวคิด เป็นชุดของปัจจัยหรือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

ทิศนา แขมมณี (2551) ให้ความหมายของรูปแบบว่า หมายถึงตัวแทนที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมของลักษณะบางประการของสิ่งของที่เป็นจริงอย่างหนึ่ง หรือเป็นเครื่องมือทางความคิดที่บุคคลใช้ในการหาความรู้ความเข้าใจปรากฏการณ์

สุบรรณ์ พันธ์วิศวาส และชัยวัฒน์ ปัญจพงศ์ (2552) ใช้คำว่า แบบจำลอง (Model) คือการย่อหรือเลียนแบบความสัมพันธ์ที่ปรากฏอยู่ในโลกของปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการจัดระบบความคิดในเรื่องนั้นให้ง่ายขึ้นและเป็นระเบียบ

จึงกล่าวได้ว่า ตัวแบบคือแบบจำลองอย่างง่ายหรือย่อส่วนของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ผู้เสนอแบบจำลองนั้น ๆ ได้ศึกษาและพัฒนาขึ้นมา เพื่อแสดงหรืออธิบายปรากฏการณ์ให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น หรืออาจใช้ประโยชน์ในการทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หรือใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไป โดยสรุป ตัวแบบ หรือแบบจำลองจึงหมายถึง สิ่งที่เป็นตัวแทน

ของโครงสร้างทางความคิด หรือองค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ที่แสดงตัวเป็นระบบของเรื่องที่จะศึกษา ในที่นี้ก็คือระบบลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

โดยทั่วไปจัดให้การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเป็นระบบหนึ่ง ที่สามารถสร้างสมการเคลื่อนที่แบบ ODE (ordinary differential equation) ให้เป็นตัวแบบ จากนั้นนำตัวแบบไปใช้เพื่อหาความสัมพันธ์อื่นๆ ที่เป็นการจำลองแบบ จากตัวแบบ โดยอาศัยโปรแกรมไซแลบ (scilab) ในการสร้างตัวแบบและประยุกต์ใช้ตัวแบบโดยการจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น ในการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Scilab

โปรแกรม Scilab (เสกสรร ไชยจิตต์, 2551) เป็นโปรแกรมภาษาขั้นสูงที่พัฒนาโดยกลุ่มของนักวิจัยจาก INRIA และ ENPC ในประเทศฝรั่งเศส ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน โปรแกรม Scilab เป็นโปรแกรมที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ต้องเสียเงินค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ สามารถนำไปใช้งานได้ในหลายระบบปฏิบัติการ เช่น ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ (Linux) ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ระบบปฏิบัติการ Solaris และระบบปฏิบัติการ HP-UX เป็นต้น

ข้อดีของโปรแกรม Scilab

1) ง่ายต่อการเรียนรู้และทำความเข้าใจ

2) ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก

3) สามารถประมวลผลข้อมูลที่อยู่ในรูปเชิงสัญลักษณ์ (symbolic) และข้อมูลที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์ (matrix) ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

4) มีฟังก์ชัน (function) สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์จำนวนมากพร้อมใช้งาน

5) มีกล่องเครื่องมือ (toolbox) จำนวนมากที่ประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการแก้ไขปัญหาทางด้านวิศวกรรม, วิทยาศาสตร์ และอื่น ๆ

6) สามารถพัฒนาฟังก์ชันใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Scilab ได้

7) สามารถใช้งานร่วมกันกับโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ภาษาซี (C) และภาษา MATLAB ได้

8) สามารถสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับทำการจำลองระบบ (system simulation) ได้

9) สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้เนื่องจากมีรหัสแหล่งที่มา (source code) คู่มือการใช้งาน (manual) และ on-line help

ประโยชน์ของโปรแกรม Scilab

1) เพื่อการประหยัดเวลาในการคำนวณที่ซับซ้อน

2) เพื่อช่วยในการเขียนกราฟที่ซับซ้อน

3) มีความถูกต้องและแม่นยำกว่าการคำนวณโดยใช้มนุษย์

การใช้โปรแกรม Scilab เขียนกราฟ (graphs) โปรแกรม Scilab มีคำสั่งสำหรับการเขียนกราฟต่าง ๆ เช่น

1) คำสั่ง plot (x,y) ใช้ในการเขียนกราฟ โดยค่าของ x จะแสดงอยู่ในแนวนอน และค่าของ y จะแสดงอยู่ในแนวตั้ง

2) เราสามารถกำหนดคำสั่งใน Scilab เพื่อให้เขียนกราฟของหลาย ๆ ฟังก์ชั่นเพื่อเปรียบเทียบค่าได้ เช่น คำสั่ง plot2d (x,y) ใช้ในการเขียนกราฟ 2 มิติ โดยค่าของ x จะแสดงอยู่ในแนวนอน และค่าของ y จะแสดงอยู่ในแนวตั้ง

Scilab สามารถสร้างรูปแบบ (model) และแบบจำลอง (simulation) ทางคณิตศาสตร์ระบบต่างๆ ที่หลากหลายได้ เช่น

1) สมการอนุพันธ์ธรรมดาทั่วไป (ordinary differential equations : ODE)

2) ปัญหาค่าขอบ (boundary value problems)

3) สมการที่ต่างกัน (difference equations)

4) สมการพีชคณิตเชิงอนุพันธ์ (differential algebraic equation)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ

สัมฤทธิ์ อัศดรวิเศษ (2544) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขในฟิสิกส์พื้นฐานด้วย Mathematica : โปรเจ็กไทล์ วงจรอนุกรม RLC เพนดูลัม โดยนำวิธีการเชิงตัวเลขและการโปรแกรมด้วย Mathematica ร่วมกับภาษาซีมาพัฒนาแบบจำลองในปัญหาฟิสิกส์พื้นฐาน เช่น โพรเจกไทล์ วงจรอนุกรม RLC และเพนดูลัม เป็นต้น พบว่าปัญหาโพรเจกไทล์ในกรณีที่แรงต้านอากาศแปรผันตรงกับความเร็วขณะใดขณะหนึ่งยกกำลังสอง ที่มุมยิง 45° กับแนวระดับ ระยะทางตามแนวราบจะไม่ใช่ระยะทางไกลที่สุด ส่วนปัญหาวงจรอนุกรม RLC ผลการคำนวณครอบคลุมผลเฉลยทุกกรณี เช่น overdamping critical damping และ underdamping เป็นต้น ที่สถานะชั่วครู่และสถานะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของ $V_R(t)$, $V_L(t)$ และ $V_c(t)$ นั้นมีแอมพลิจูดและความถี่แตกต่างกันทั้งสามกรณี ในกรณี underdamping เมื่อความถี่ที่ให้ตรงกับความถี่ธรรมชาติของวงจรจะทำให้เกิดการสั่นพ้อง แต่ถ้าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติจะทำให้เกิด

ปรากฏการณ์บีตส์ สำหรับปัญหาเพนดูลัม ผลการคำนวณที่ได้จะครอบคลุมผลเฉลยทุกกรณีและทุกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แต่เมื่อใดก็ตามที่การกระจัดเชิงมุมมีค่ามากจนกระทั่ง $\sin\theta$ ไม่มีค่าประมาณ θ แอมปลิจูดและความถี่ของปริมาณเชิงมุมต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอนตลอดเวลา

อนุวัฒน์ บุญธรรมโม (2546) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาและการประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม โดยการใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดคาบและความเร็วของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมอย่างง่าย โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าเชิงทฤษฎีและสรุปได้ว่าคาบการเคลื่อนที่จะมีค่าคงที่เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 20 องศาและมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานจลน์มีการลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลซึ่งมีค่าสอดคล้องกับทางทฤษฎี อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้นำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุโดยผลการทดลองที่ได้ต่างจากค่าเชิงทฤษฎีไม่เกิน 3%

รัตน์ติกาญ สุทธิเกิด (2550) ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วยโปรแกรม Scilab เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วยโปรแกรม Scilab หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีระดับจิตวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จิรันดร บู๊ฮวดใช้ และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ (2553) พัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้ Visual Basic ร่วมกับ Scilab โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนทางคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้า ให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการอนุญาตให้ผู้สนใจมีการดาวน์โหลดชุดฝึกเหล่านี้ไปทดลองใช้งาน พบว่ามีผู้สนใจจำนวนมาก จึงสรุปได้ว่าโปรแกรม Scilab สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Visual Basic เพื่อพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนวิชาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. งานวิจัยต่างประเทศ

Zheng, et al (1994) ได้ทำการวิจัยด้วยการใช้ชุดทดลอง MBL และการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงตัวเลข (numerical integral methods) และแคลคูลัสในการคำนวณหาคาบของเพนดูลัม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าที่วัดคาบได้จากการทดลองกับคาบที่วัดได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ Mathcad ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาภาวะของเพนดูลัมที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของเพนดูลัม (nonlinear pendulum) ซึ่งพบว่าในการทดลองคาบที่ได้จากการทดลองมี

ค่าใกล้เคียงกับคาบที่คำนวณได้จากทฤษฎีเมื่อมุมเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 50° และเมื่อมุมเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้นค่าคาบจากการทดลองและการคำนวณจากทฤษฎีมีความแตกต่างกันมากขึ้น

Ocaya (2000) ได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาคาบของเพนดูลัมเชิงประกอบโดยใช้โฟโตไดโอด (photodiode sensor) เป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการตัดผ่านลำแสงที่ตกกระทบโฟโต้ไดโอดของเพนดูลัมเชิงประกอบ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโฟโต้ไดโอดเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยในการออกแบบการทดลองได้ใช้วงจรการเปลี่ยนกระแสเป็นศักย์ไฟฟ้า (I-V converter) และไอซีเบอร์555 ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ให้เป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่มีความเหมาะสม ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ (interrups) ขึ้น โดยในการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์การรับส่งข้อมูลระหว่างวงจรแปลงสัญญาณกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะสื่อสารกันผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์และใช้ซอฟท์แวร์ในการเก็บวิเคราะห์ข้อมูลเป็นซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมภาษาซี จากผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดคาบการทดลองที่มีความละเอียดถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง และสามารถนำคาบที่ได้จากการทดลองคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 1%

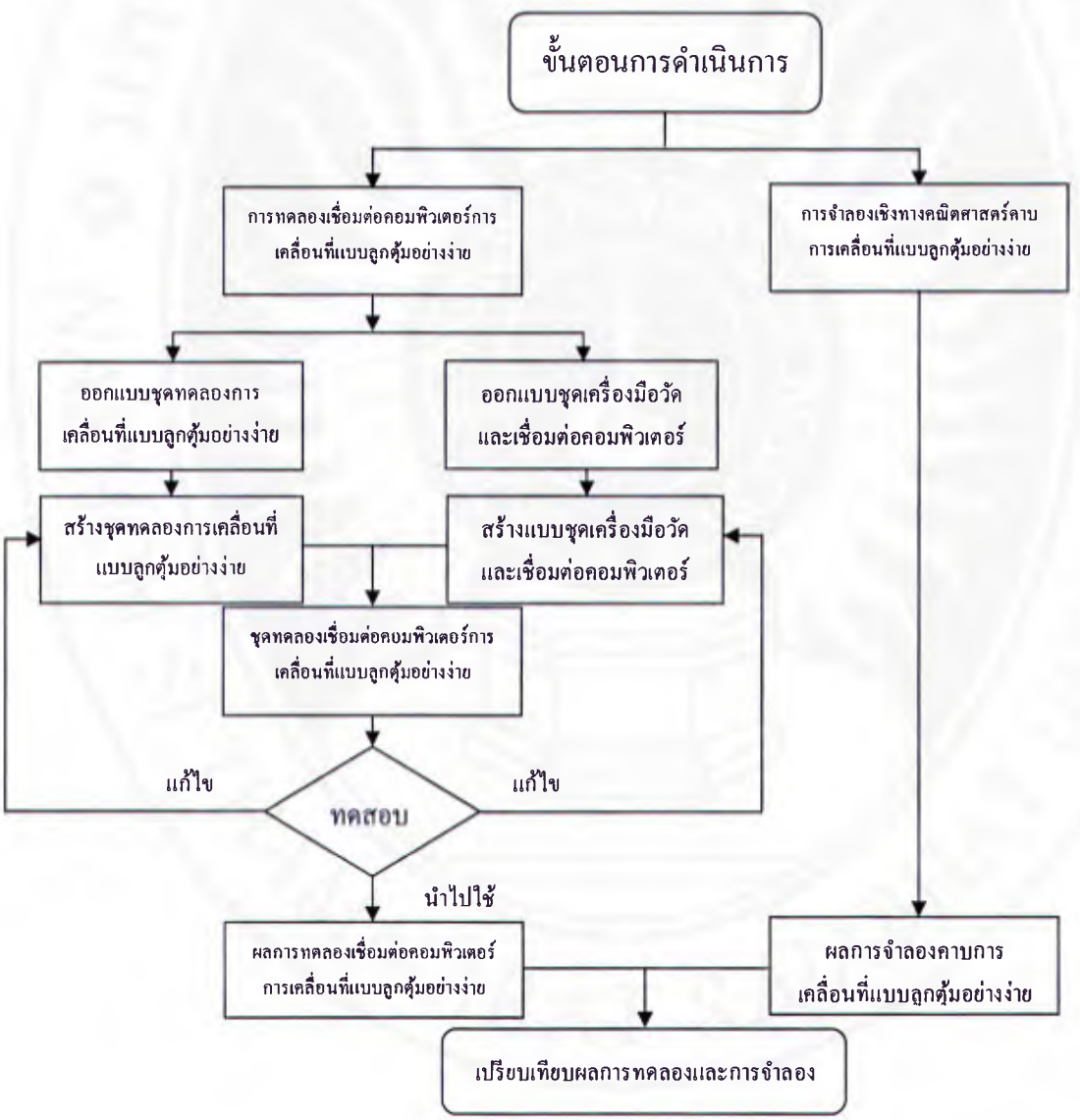
Santarelli, Carolla and Ferner (1993) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมอย่างง่ายโดยใช้ชุดทดลอง MBL ซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อการทดลองเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งชุดการทดลองประกอบด้วย photogate sensor, ULI และไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคาบของการเคลื่อนที่กับค่ากำลังสองของความเร็วที่ตำแหน่งสมดุล และค่ากำลังสองของความเร็วกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมอย่างง่าย ผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ของคาบและค่ากำลังสองของความเร็วมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น และค่ากำลังสองของความเร็วจะลดลงแบบเอกโปเนนเชียลตามเวลาด้วย

Torzo and Peranzoni (2009) ศึกษาการใช้การจำลองเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษา เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของลูกตุ้ม เพื่อสนับสนุนการทดลองทางฟิสิกส์ ได้แก่กระบวนการทำนายผล ตั้งสมมติฐาน และแปลผลการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า การใช้การจำลองเชิงตัวเลขง่ายๆ ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลที่เวลาจริงมาศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดีกว่าการทดลองแบบเก่า

จากการศึกษางานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ พบว่าการใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับชุดทดลองทางวิทยาศาสตร์จะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความละเอียด และมีความผิดพลาดน้อยเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี นอกจากนี้การใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในการศึกษาสนับสนุนการทดลองทางฟิสิกส์ ทำให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาศึกษาวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องสูง ผู้ใช้เกิดความสนใจและสามารถเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์ได้ง่ายกว่าการทดลองแบบเก่า

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย โดยทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และการจำลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย มีวิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ โดยการสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินการ

การสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

1. ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

วัสดุอุปกรณ์

1) ชุดทดลองเพนดูลัม (pendulum apparatus) ของบริษัทแกมมาโก้ จำกัด จำนวน 1 ชุด

2) ไม้โปรแทรกเตอร์ครึ่งวงกลมขนาดใหญ่ จำนวน 1 อัน

3) ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม มวล 69 กรัม จำนวน 1 ลูก

4) ลูกตุ้มไม้ทรงกลม มวล 32.10 กรัม จำนวน 1 ลูก

5) ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก มวล 4.10 กรัม จำนวน 1 ลูก

6) ปืนกาว

7) เชือก

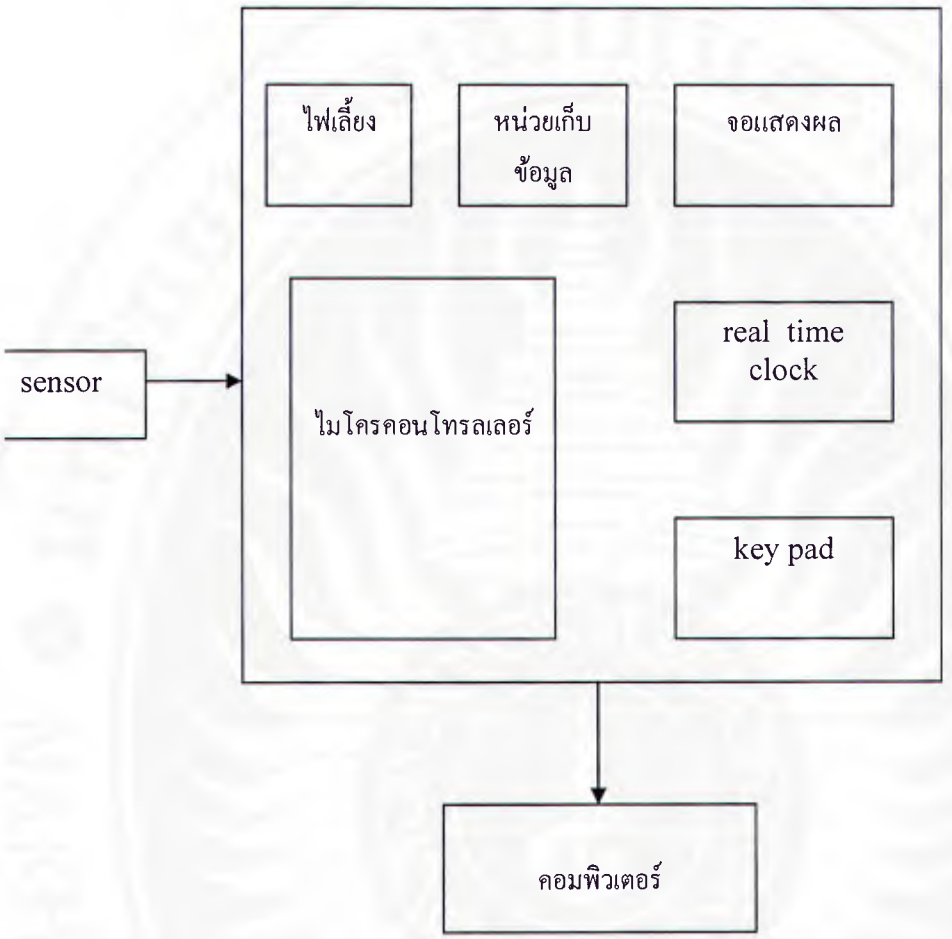
ภาพที่ 8 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

2. ประกอบชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย ดังภาพที่ 9

ภาพที่ 9 ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

3. ออกแบบชุดเครื่องมือวัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย และการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดเชื่อมต่อข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปคอมพิวเตอร์ ชุด real time clock ชุด sensor ตรวจจับวัตถุ ชุดหน่วยเก็บข้อมูล ชุดไฟเลี้ยง ชุดเชื่อมต่อกับระบบภายนอก และชุด key pad ดำเนินการเป็นขั้นตอนแต่ละวงจรย่อยมีการเชื่อมต่อกันดังแสดงในภาพที่ 10

วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 10 การเชื่อมต่อวงจร

3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์

1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 จำนวน 1 ชุด

2) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF จำนวน 1 ตัว

3) ชุดกำเนิดความถี่แบบ Crystal 18.432 MHz จำนวน 1 ชุด

หลักการทำงาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ทำหน้าที่ระบบควบคุมโดยการรับคำสั่งจาก key pad แสดงผลแบบ real time บนจอ LCD รับสัญญาณจาก sensor ตรวจจับวัตถุและส่งข้อมูลกลับไปยังไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 ชุดเชื่อมต่อข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์

1) IC-MAX 232 จำนวน 1 ชุด

2) ตัวเก็บประจุขนาด 10 μF จำนวน 4 ตัว

3) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF จำนวน 1 ตัว

หลักการทำงาน

IC - MAX 232 จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณของ RS-232 (recommended standard 232) ซึ่งเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ serial ใช้เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลแบบ serial ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น มาเป็นระดับ TTL (transistor-transistor logic) และในทำนองเดียวกันก็แปลงระดับสัญญาณ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณ RS-232 โดยมีการเปลี่ยนระดับแรงดัน ของ logic จากเดิมที่จะอยู่ในช่วง 0-5 V ไปเป็นช่วง -15 ถึง 15 V

3.3 ชุด real time clock

อุปกรณ์

1) แบตเตอรี่ CR2032 ขนาด 3 V จำนวน 1 ก้อน

2) IC - DS1307 จำนวน 1 ชุด

3) ตัวเก็บประจุ ขนาด 0.1 μF จำนวน 1 ตัว

4) ตัวเก็บประจุ ขนาด 15 μF จำนวน 2 ตัว

5) ชุดกำเนิดความถี่แบบ Crystal 32.768 kHz จำนวน 1 ชิ้น

หลักการทำงาน

IC - DS1307 เป็น real time controller โดยใช้ชุดกำเนิดความถี่แบบ Crystal 32.768 kHz และใช้แบตเตอรี่ CR2032 ขนาด 3 V เป็นตัวสำรองข้อมูล (back up) ในกรณีที่อุปกรณ์อื่นๆ มีปัญหา

3.4 ชุด sensor ตรวจจับวัตถุ

อุปกรณ์

1) infrared emitting diode TSAL 7400 จำนวน 1 ตัว

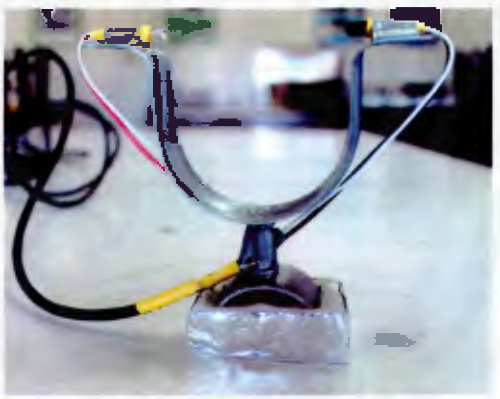
2) photo transistor TOPS 050 TB 2 จำนวน 1 ตัว

3) ตัวต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 1 ตัว

4) ตัวต้านทานขนาด 10 kΩ จำนวน 1 ตัว

หลักการทำงาน

infrared emitting diode TSAL 7400 เป็นตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดช่วง 940 ηm และ ใช้ photo transistor TOPS 050 TB 2 เป็นตัวรับสัญญาณย่านความถี่อินฟราเรดช่วง 750 – 1050 ηm เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่มาตัดสัญญาณอินฟราเรด จะทำให้วงจรเป็นวงจรเปิด เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน วงจรก็จะกลับมาเป็นวงจรปิดอีกครั้ง



ภาพที่ 11 sensor

3.5 ชุดหน่วยเก็บข้อมูล

อุปกรณ์

1) IC - 24LC512 จำนวน 1 ชุด

2) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF จำนวน 1 ตัว

หลักการทำงาน

IC - 24LC512 เป็น microchip ทำหน้าที่เป็นหน่วยเก็บข้อมูล โดยที่ผู้ใช้สามารถลบหรือแก้ไขหรือเขียนซ้ำข้อมูลที่บรรจุอยู่ภายในได้ และสามารถกระทำซ้ำได้หลายครั้ง ประเภท EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory)

3.6 ชุดไฟเลี้ยง

อุปกรณ์

1) หม้อแปลง ขนาด 9 V จำนวน 2 ลูก

2) ไดโอดแบบบริจด์ DB104G จำนวน 2 ชุด

3) ตัวเก็บประจุ ขนาด 1,000 μF จำนวน 4 ตัว

4) ตัวเก็บประจุ ขนาด 0.1 μF จำนวน 4 ตัว

5) ไดโอด ขนาด 12 V จำนวน 2 ตัว

6) MC7812CT จำนวน 1 ตัว

7) MC7805CT จำนวน 1 ตัว

หลักการทำงาน

ชุดไฟเลี้ยงใช้สำหรับ controller โดยแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V ลดลงเหลือ 9 V หลังจากนั้นให้แรงดันไฟฟ้าผ่านฟิลเตอร์ ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น 5 V สำหรับ controller

3.7 ชุดเชื่อมต่อกับระบบภายนอก

อุปกรณ์

1) USB to RS232 จำนวน 1 ชุด

2) USB to PC จำนวน 1 ชุด

3) ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF จำนวน 1 ตัว

หลักการทำงาน

USB to RS232 ตัวเปลี่ยนสัญญาณจาก USB Level เป็น RS232 Level และใช้ USB to PC จะเป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ไปยังเครื่อง computer

3.8 ชุด key pad

อุปกรณ์

1) key board ขนาด 4 x 4 แถว จำนวน 1 แผง

2) จอ LCD ขนาด 20 character จำนวน 1 อัน

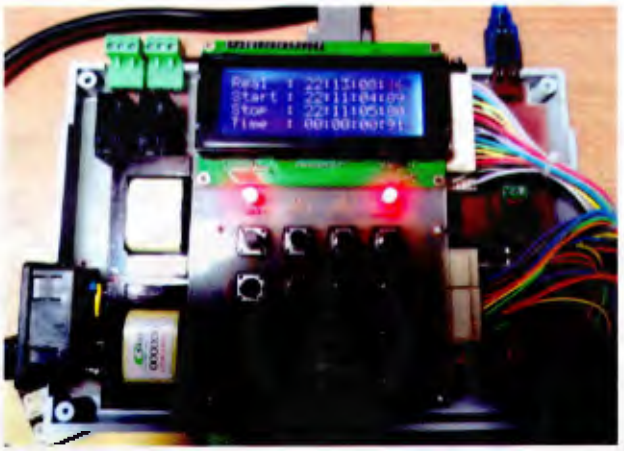
3) สวิตช์แบบกด จำนวน 16 อัน

4) ตัวต้านทาน ขนาด 330 Ω จำนวน 4 ตัว

5) หลอด LED จำนวน 4 หลอด

หลักการทำงาน

key pad เป็นกลุ่มแป้นพิมพ์ที่จัดไว้เป็นกลุ่ม ๆ เพื่อให้สะดวกในการใช้พิมพ์งานที่เป็นประเภทเดียวกัน ประกอบด้วยปุ่มตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 9 ปุ่ม ESC ปุ่ม time set up ปุ่ม clear data และปุ่ม Start/Stop โดย key pad จะเชื่อมต่อสัญญาณกับไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2BN และจอ LCD ขนาด 20 Character



ภาพที่ 12 แผงวงจรทั้งหมดเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน

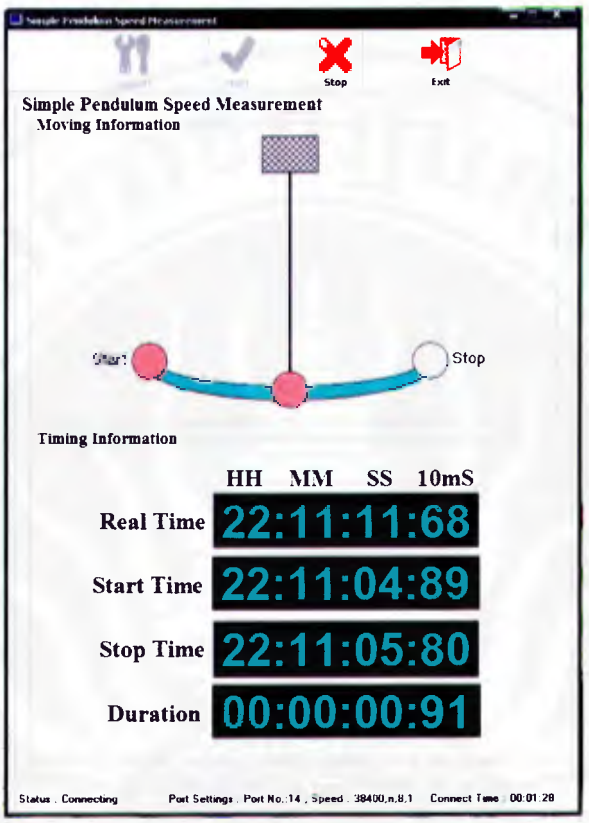
ภาพที่ 13 ชุดวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 14 พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณ

ภาพที่ 15 สวิตซ์เปิด-ปิด

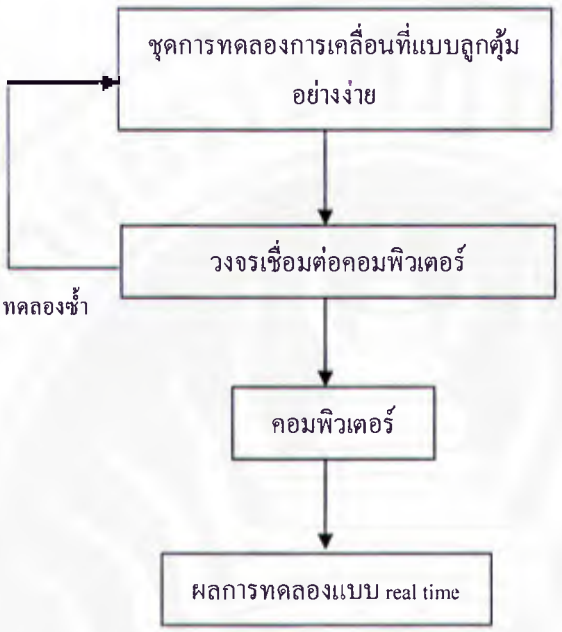
4. การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลใช้คำสั่งการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic ซึ่งเขียนชุดคำสั่งโดยผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงในภาคผนวก

ภาพที่ 16 การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์



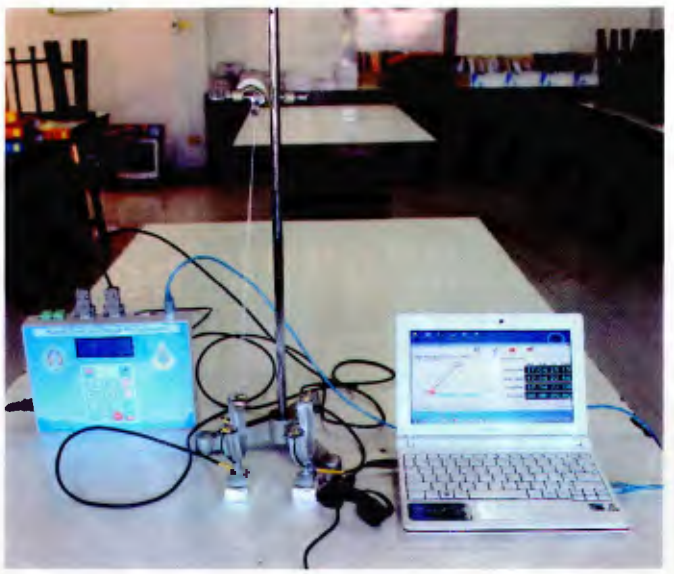
ภาพที่ 17 รายละเอียดการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

5. เชื่อมต่อชุดทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายกับวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แสดงผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีวิธีการดำเนินการ โดยการเตรียมชุดทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย และวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แผนผังการทำงานของชุดทดลองอินเตอร์เฟสคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

6. ทำการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายและนำเสนอผลการทดลองในรูปกราฟด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2



ภาพที่ 19 การประกอบชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

6.1 ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมุมเริ่มต้น โดยให้ความยาวแขนของลูกตุ้มเท่ากับ 0.20 m ปรับเชือกให้เอียงทำมุม 5° กับแนวดิ่งแล้วปล่อยลูกตุ้มให้เคลื่อนที่ผ่านวงจรส่งและตรวจจับแสง เปลี่ยนความยาวแขนของลูกตุ้มเป็น 0.25, 0.30, 0.35 จนถึง 0.80 m โดยเพิ่มขึ้นครั้งและ 0.05 m แล้วทำการทดลองเหมือนเดิม

6.2 แสดงผลการทดลองที่ได้จากข้อ 6.1 ด้วยกราฟแสดงคาบของการเคลื่อนที่ (T) เปรียบเทียบกับความยาวแขนของลูกตุ้ม (l) ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยใช้เทคนิค least square fit ใช้คำสั่งดังนี้

```
-->clf;
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->plot2d(x,y,0)
-->X=[x.^2 x ones(x)]
-->a=X\y
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx.^2+a(2)*xx+a(3)
-->plot2d(xx,yy)
-->xgrid([1])
```

```
-->xtitle('Simple Pendulum','Length(m)','Period(s)')
```

6.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยใช้เทคนิค least square fit ใช้คำสั่งดังนี้

```
-->clf;
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->y^2
-->plot2d(x,y^2,0)
-->X=[x ones(x)]
-->a=X\y^2
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx+a(2)
-->plot2d(xx,yy)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum','l (m)','T^2 (s^2)')
```

6.4 หาความชันและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ที่ได้จากการทดลอง โดยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ใช้คำสั่ง ดังนี้

```
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->y^2
-->plot2d(x,y^2,0)
-->X=[x ones(x)]
-->a=X\y^2
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx+a(2)
-->yy/xx
-->xx=[0:0.05:1];
-->yy=a(1)*xx+a(2);
-->yy/xx
-->g=(4*%pi^2)/(yy/xx)
```

6.5 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมุมเริ่มต้นที่มีค่าน้อยๆ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6 1 โดยเปลี่ยนมุมเริ่มต้นเป็น 3° 7° และ 9°

6.6 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากข้อ 6 5 ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยใช้เทคนิค least square fit ใช้คำสั่งดังนี้

```
-->clf;
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->z=[0.93;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->m=[0.93;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.43;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->n=[0.94;1.03;1.11;1.21;1.28;1.34;1.43;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->plot2d(x,y,0)
-->plot2d(x,z,-1)
-->plot2d(x,m,-2)
-->plot2d(x,n,-9)
-->X=[x.^2 x ones(x)]
-->a=X\y
-->b=X\z
-->c=X\m
-->d=X\n
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx.^2+a(2)*xx+a(3)
-->zz=b(1)*xx.^2+b(2)*xx+b(3)
-->mm=c(1)*xx.^2+c(2)*xx+c(3)
-->nn=d(1)*xx.^2+d(2)*xx+d(3)
-->plot2d(xx,yy)
-->plot2d(xx,zz,2)
-->plot2d(xx,mm,3)
-->plot2d(xx,nn,5)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum','l (m)','T(s)')
```

6.7 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมุมเริ่มต้นที่มีขนาดโตขึ้น ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6.1 โดยเปลี่ยนมุมเริ่มต้นเป็น 5° 15° และ 25° ใช้ลูกตุ้มไม้ทรงกลม มวล 4.10 g

6.8 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากข้อ 6.7 ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยเทคนิค least square fit ใช้คำสั่งดังนี้

```
-->clf;
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.92;1.02;1.12;1.21;1.28;1.36;1.43;1.50;1.57;1.63;1.69;1.75;1.82]
-->z=[0.92;1.02;1.12;1.21;1.29;1.36;1.44;1.50;1.57;1.63;1.69;1.75;1.82]
-->m=[0.92;1.03;1.13;1.23;1.31;1.38;1.46;1.54;1.60;1.65;1.72;1.78;1.85]
-->plot2d(x,y,0)
-->plot2d(x,z,-2)
-->plot2d(x,m,-4)
-->X=[x.^2 x ones(x)]
-->a=X\y
-->b=X\z
-->c=X\m
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx.^2+a(2)*xx+a(3)
-->zz=b(1)*xx.^2+b(2)*xx+b(3)
-->mm=c(1)*xx.^2+c(2)*xx+c(3)
-->plot2d(xx,yy)
-->plot2d(xx,zz,5)
-->plot2d(xx,mm,3)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum','Length(m)','Period(s)')
```

6.9 หาความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการแกว่งกับมวลของลูกตุ้ม โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6.1 โดยใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม มวล 69 กรัม ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก มวล 32.10 กรัม และลูกตุ้มไม้ทรงกลม มวล 4.10 กรัม

6.10 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากข้อ 6.9 ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ด้วยเทคนิค least square fit ใช้คำสั่งดังนี้

```
-->clf;
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->z=[0.93;1.06;1.14;1.22;1.31;1.38;1.44;1.52;1.60;1.66;1.72;1.77;1.84]
-->m=[0.92;1.02;1.12;1.21;1.28;1.36;1.43;1.50;1.57;1.63;1.69;1.75;1.82]
-->plot2d(x,y,-9)
-->plot2d(x,z,-7)
-->plot2d(x,m,-2)
-->X=[x.^2 x ones(x)]
-->a=X\y
-->b=X\z
-->c=X\m
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx.^2+a(2)*xx+a(3)
-->zz=b(1)*xx.^2+b(2)*xx+b(3)
-->mm=c(1)*xx.^2+c(2)*xx+c(3)
-->plot2d(xx,yy)
-->plot2d(xx,zz,2)
-->plot2d(xx,mm,3)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum','l(m)','T(s)')
```

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยใช้ค่า g ละติจูดเท่ากับ 9.781 m/s^2 ด้วยคำสั่งในโปรแกรม Scilab 5.3.2 ดังนี้

```
-->clf;
-->L=(0:0.05:1);
-->g=9.781;
-->T=2*(22/7)*sqrt(L/g)
-->plot2d(L,T)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum period versus length','l(m)','T(s)')
```

2. สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ใช้คำสั่ง ดังนี้

```
-->clf;
-->L=(0:0.05:1);
-->g=9.781;
-->T=2*(22/7)*sqrt(L/g)
-->plot2d(L,T^2)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum period^2 versus length','l(m)','T^2(s^2)')
```

3. หาค่าความชันที่ได้จากกราฟในข้อ 2 ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ใช้คำสั่ง ดังนี้

```
-->clf;
-->L=(0.2:0.05:0.8);
-->g=9.781;
-->T=2*(22/7)*sqrt(L/g)
-->(T^2)/L
```

การเปรียบเทียบผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์วัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

1. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลขแล้วแสดงเป็นกราฟด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยนำผลที่ได้จากการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายยกกำลังสองเปรียบเทียบกับความยาวแขนของลูกตุ้ม โดยให้มวลของลูกตุ้มคงที่ คาบเริ่มต้นของการแกว่งคงที่เท่ากับ 5° ความยาวเชือกเท่ากับ 0.20 – 0.80 m และเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยคำสั่งดังนี้

```
-->x=(0.2:0.05:0.8)'
-->y=[0.94;1.03;1.11;1.20;1.28;1.34;1.42;1.49;1.60;1.65;1.71;1.77;1.83]
-->y^2
-->plot2d(x,y^2,0)
-->X=[x ones(x)]
-->a=X\y^2
-->xx=[0:0.05:1]'
-->yy=a(1)*xx+a(2)
-->plot2d(xx,yy,6)
-->xgrid([1])
-->xtitle('Simple Pendulum','l','T^2')
-->L=(0:0.05:1);
-->g=9.781;
-->T=2*(%pi)*sqrt(L/g)
-->plot2d(L,T^2)
```

2. นำค่าความชัน (m) และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยสมการ

$$\%\text{diff} = \left|\frac{\text{theoretical} - \text{measured}}{\text{theoretical}}\right| \times 100\%$$

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และการจำลองเชิงตัวเลข ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยแยกเสนอดังนี้

1. การสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

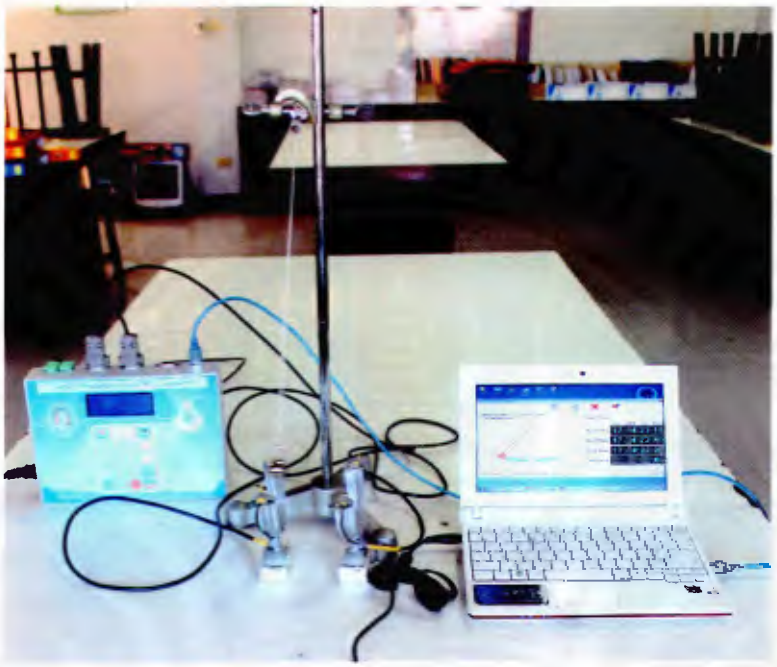
2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2

3. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของคาบที่ได้จากการทดลองกับคาบจากการจำลองเชิงตัวเลข

การสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

การสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ใช้ในการทดลองหาคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับความยาวเชือก คาบกับมุมเริ่มต้น และคาบกับมวลของลูกตุ้ม ได้ผลการทดลองดังแสดงตามลำดับต่อไปนี้

1. ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย ออกแบบและประกอบตามลักษณะดังภาพ



ภาพที่ 20 ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายที่สร้างขึ้น สามารถวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง และแสดงผลที่วัดได้ทางจอคอมพิวเตอร์ มีความสะดวกในการใช้งานกว่าชุดการทดลองแบบเดิมที่ใช้ในห้องเรียนซึ่งทดลองโดยการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มจำนวน 30 รอบ แล้วนำเวลาที่ได้จากการจับเวลามาหาคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยการเฉลี่ยกับจำนวนรอบ

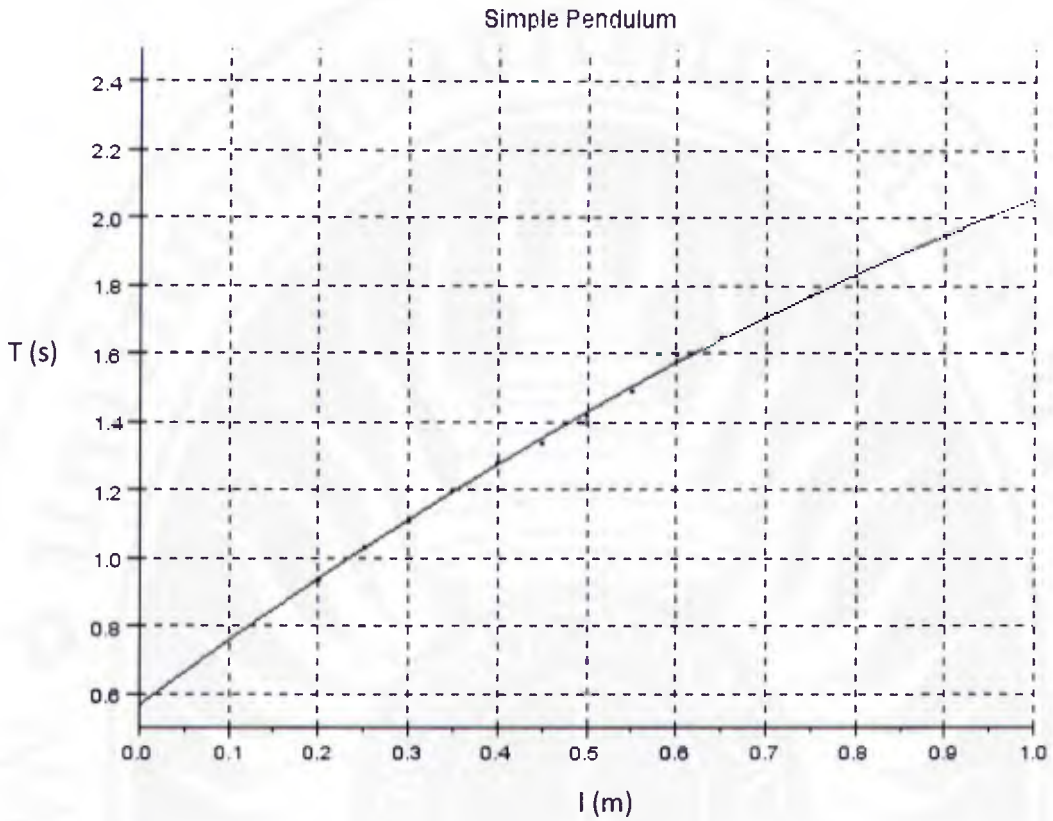
2. ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย

2.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการเคลื่อนที่ (T) กับความยาวของเชือก (l) โดยให้ l เท่ากับ 0.20 m ปรับเชือกให้เอียงทำมุม 5° กับแนวดิ่งแล้วปล่อยลูกตุ้มให้เคลื่อนที่ผ่าน sensor เปลี่ยนค่า l เป็น 0.25, 0.30, 0.35, ..., 0.80 m โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m

ตารางที่ 1 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m = 69 g
มุมเริ่มต้น (θ) = 5°

l(m)	T(s)					T เฉลี่ย	T^2
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
0.20	0.94	0.89	0.98	0.93	0.94	0.94	0.8836
0.25	1.03	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.0609
0.30	1.11	1.11	1.11	1.12	1.11	1.11	1.2321
0.35	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.4400
0.40	1.28	1.28	1.29	1.28	1.28	1.28	1.6384
0.45	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.7956
0.50	1.42	1.43	1.42	1.43	1.42	1.42	2.0164
0.55	1.49	1.48	1.49	1.49	1.48	1.49	2.2201
0.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	2.5600
0.65	1.65	1.66	1.65	1.65	1.66	1.65	2.7225
0.70	1.71	1.71	1.71	1.72	1.71	1.71	2.9241
0.75	1.76	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	3.1329
0.80	1.83	1.83	1.82	1.83	1.83	1.83	3.3489

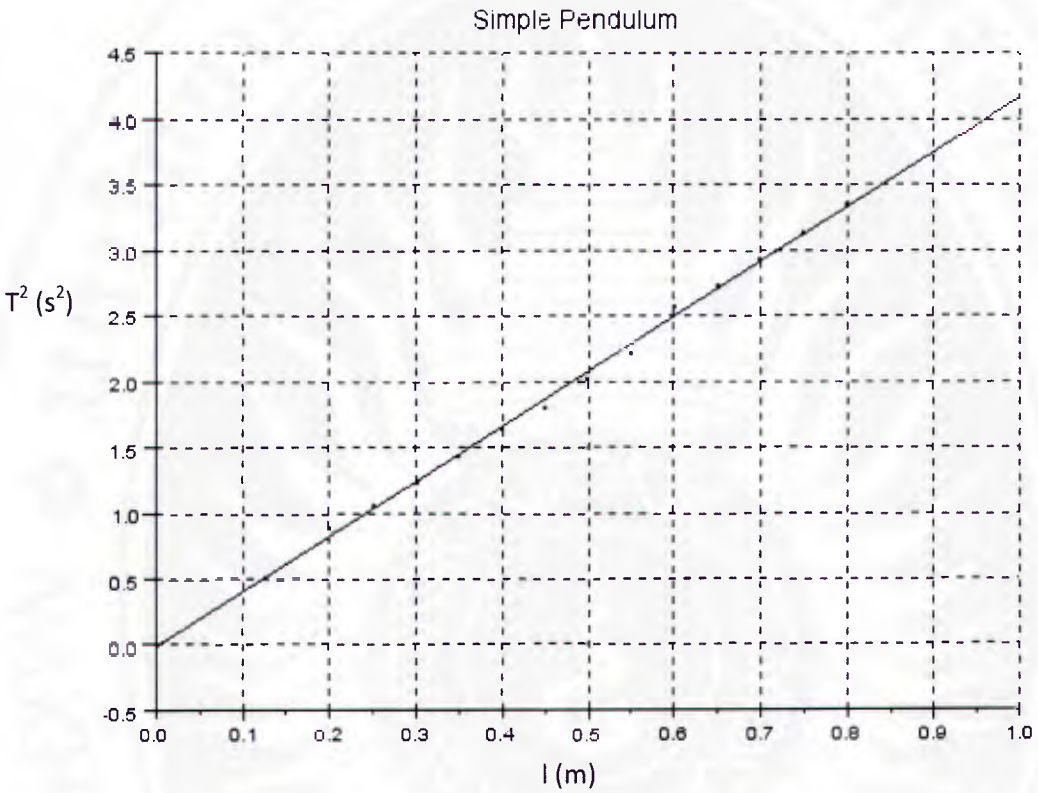
จากตาราง นำผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นกราฟด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 คาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อ m = 69 g $\theta = 5^{\circ}$ และ l เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m

จากการทดลองพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายเมื่อ m = 69 g $\theta = 5^{\circ}$ และ l เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m คาบการเคลื่อนที่ (T) จะเพิ่มขึ้นตามค่า l ที่เพิ่มขึ้น กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง

จากตารางที่ 1 นำค่า T^2 ที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า T^2 และ l ด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l

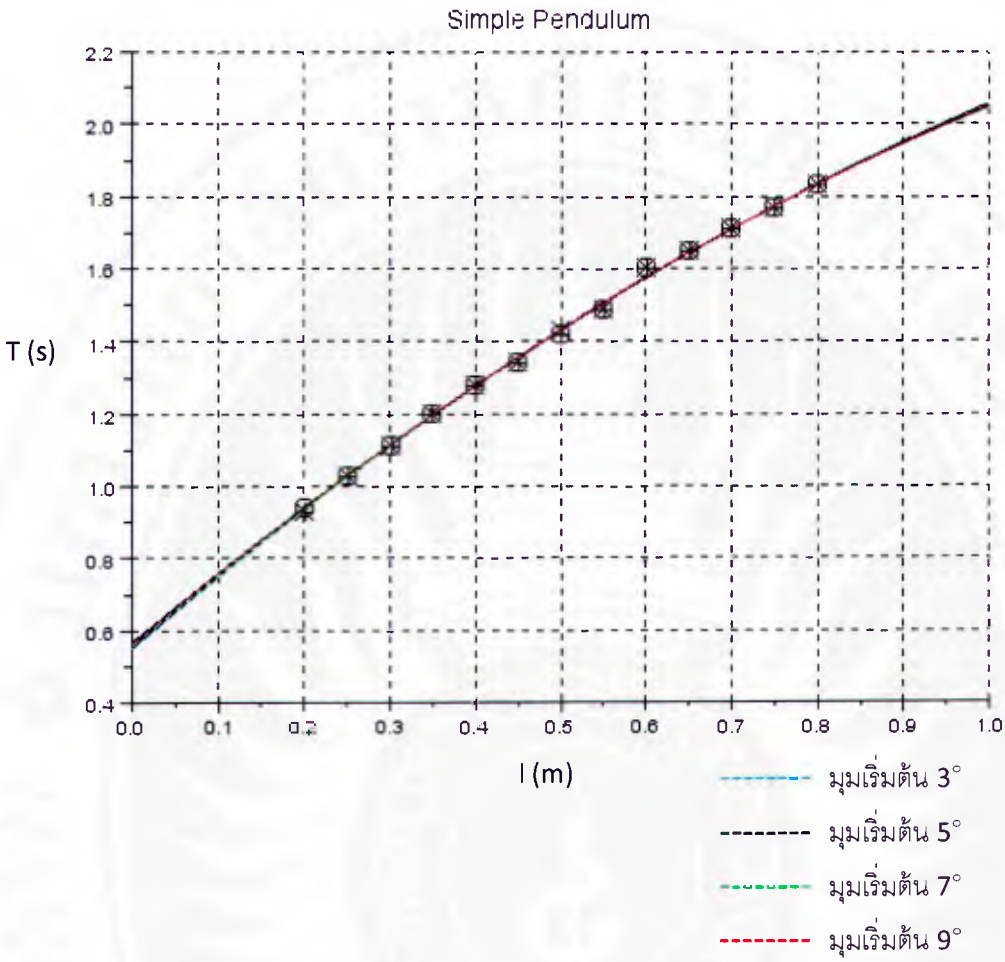
กราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l มีลักษณะเป็นเส้นตรง คำนวณความชันจากกราฟ (m) ด้วยสมการ $m = \frac{4\pi^2}{g}$ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) จากกราฟ โดยโปรแกรม Scilab 5.3.2 ได้ค่าความชันเท่ากับ 4.158 และค่า g เท่ากับ 9.495

2.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมุมเริ่มต้น

ตารางที่ 2 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m = 69 g และมุมเริ่มต้น (θ) = 3° 5° 7° 9°

l(m)	T(s)			
	3°	5°	7°	9°
0.20	0.93	0.94	0.93	0.94
0.25	1.03	1.03	1.03	1.03
0.30	1.11	1.11	1.11	1.11
0.35	1.20	1.20	1.20	1.21
0.40	1.28	1.28	1.28	1.28
0.45	1.34	1.34	1.34	1.34
0.50	1.42	1.42	1.43	1.43
0.55	1.49	1.49	1.49	1.49
0.60	1.60	1.60	1.60	1.60
0.65	1.65	1.65	1.65	1.65
0.70	1.71	1.71	1.71	1.71
0.75	1.77	1.77	1.77	1.77
0.80	1.83	1.83	1.83	1.83

นำผลที่ได้จากตารางที่ 2 มาเปรียบเทียบความแตกต่างของคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อมีมุมเริ่มต้นต่างกัน (มุมมีค่าน้อย ๆ) ด้วยกราฟ ดังภาพที่ 23



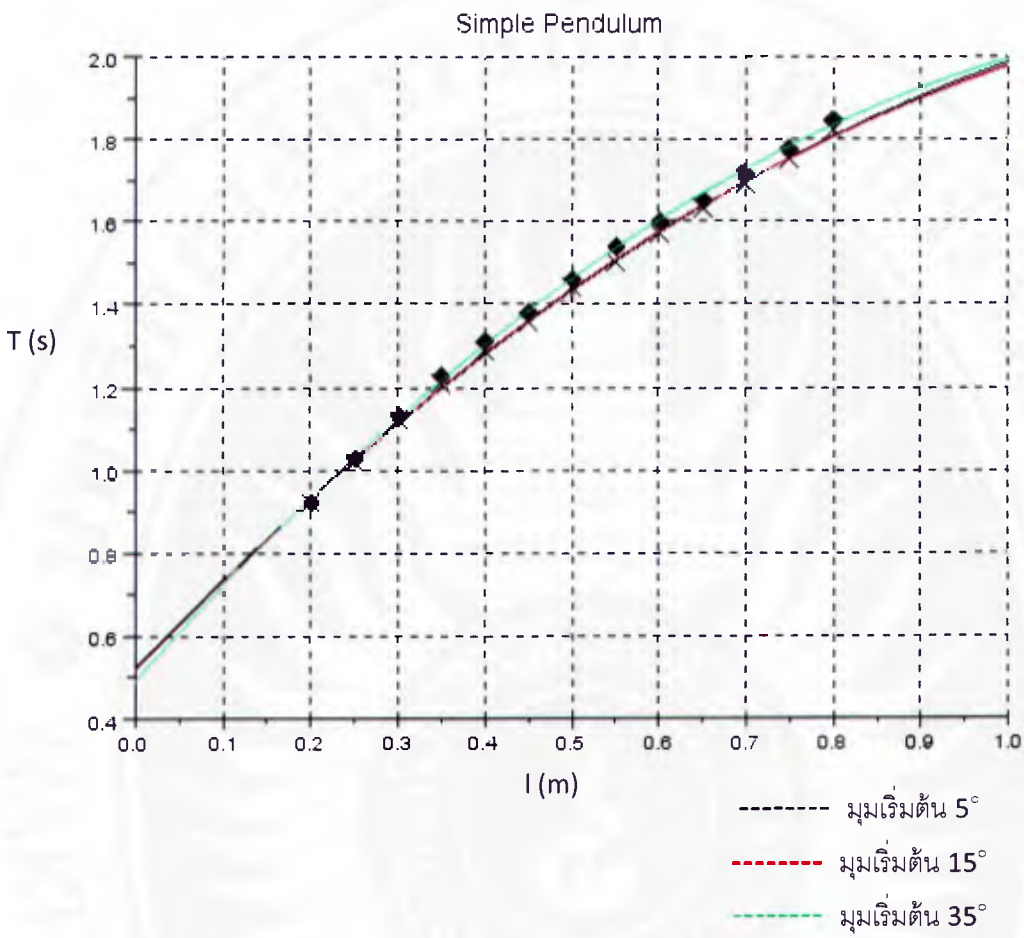
ภาพที่ 23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม $m = 69\ g$ และ $\theta = 3^\circ\ 5^\circ\ 7^\circ\ 9^\circ$

จากกราฟพบว่า คาบที่วัดได้จากการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม $m = 69\ g$ และ $\theta = 3^\circ\ 5^\circ\ 7^\circ\ 9^\circ$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มไม้ทรงกลม m = 4.10 g และมุมเริ่มต้น (θ) = 5° 15° 35°

l(m)	T(s)		
	5°	15°	35°
0.20	0.92	0.92	0.92
0.25	1.02	1.02	1.03
0.30	1.12	1.12	1.13
0.35	1.21	1.21	1.23
0.40	1.28	1.29	1.31
0.45	1.36	1.36	1.38
0.50	1.43	1.44	1.46
0.55	1.50	1.50	1.54
0.60	1.57	1.57	1.60
0.65	1.63	1.63	1.65
0.70	1.69	1.69	1.72
0.75	1.75	1.75	1.78
0.80	1.82	1.82	1.85

นำผลที่ได้จากตารางที่ 3 มาเปรียบเทียบความแตกต่างของคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อมีมุมเริ่มต้นต่างกัน (มุมมีค่ามาก) ด้วยกราฟ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มไม้ทรงกลม $m = 4.10\ g$ และ $\theta = 5^\circ\ 15^\circ\ 35^\circ$

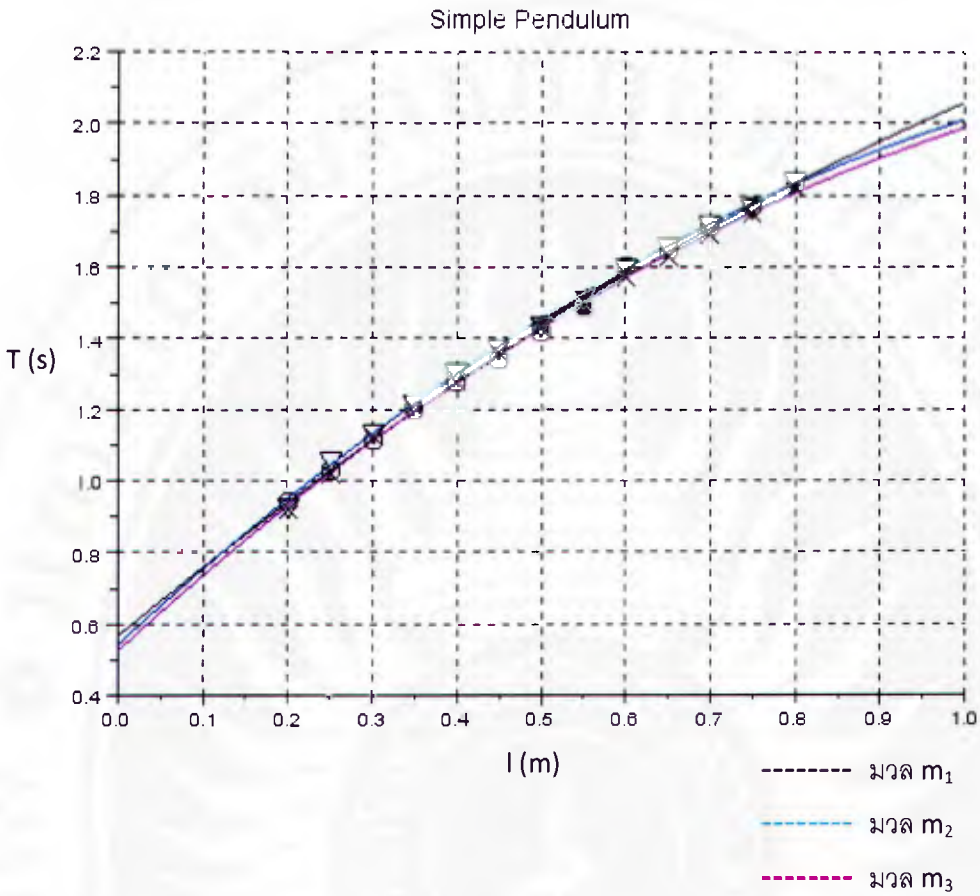
จากกราฟพบว่า คาบที่วัดได้จากการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มไม้ ทรงกลม $m = 4.10\ g$ และ $\theta = 5^\circ\ 15^\circ\ 35^\circ$ มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

2.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับมวลของลูกตุ้ม

ตารางที่ 4 คาบการเคลื่อนที่ (T) ของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m_1 = 69 g ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก m_2 = 32.10 g และลูกตุ้มไม้ทรงกลม m_3 = 4.10 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5°

l(m)	T(s)		
	m_1	m_2	m_3
0.20	0.94	0.93	0.92
0.25	1.03	1.06	1.02
0.30	1.11	1.14	1.12
0.35	1.20	1.22	1.21
0.40	1.28	1.31	1.28
0.45	1.34	1.38	1.36
0.50	1.42	1.44	1.43
0.55	1.49	1.52	1.50
0.60	1.60	1.60	1.57
0.65	1.65	1.66	1.63
0.70	1.71	1.72	1.69
0.75	1.77	1.77	1.75
0.80	1.83	1.84	1.82

นำผลที่ได้จากตารางที่ 4 มาเปรียบเทียบความแตกต่างของคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อมีมวลต่างกันด้วยกราฟ ดังภาพที่ 25

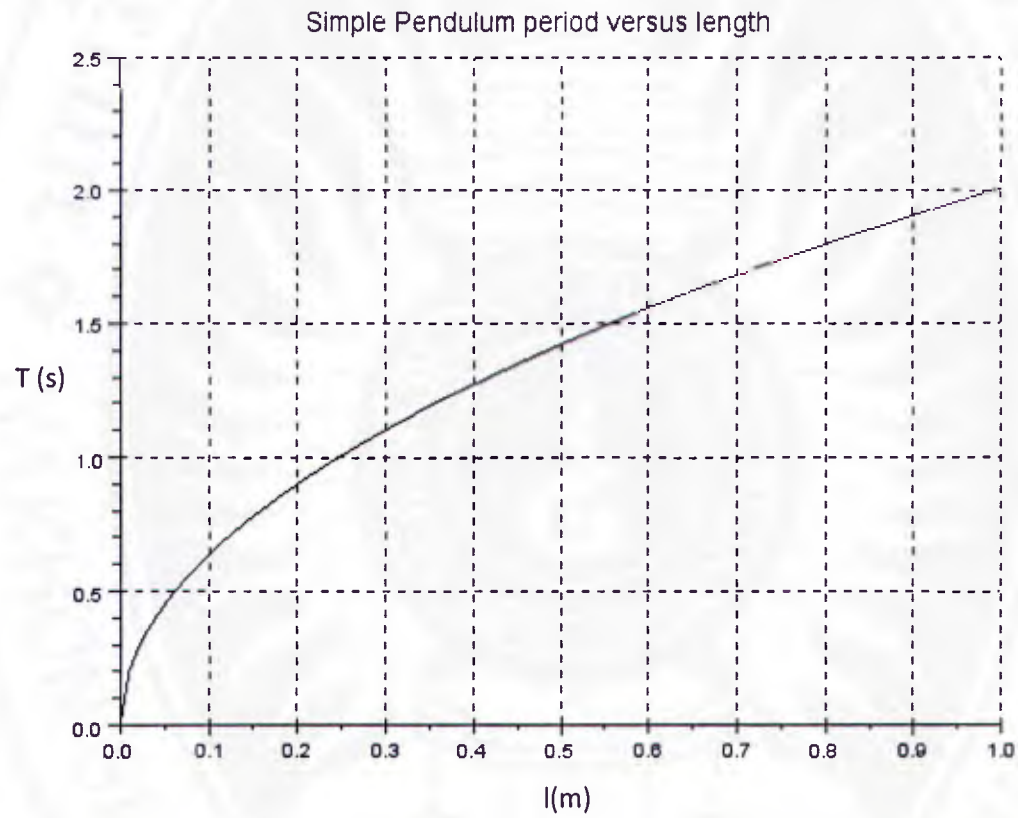


ภาพที่ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาบของการเคลื่อนที่ เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m_1 = 69 g ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก m_2 = 32.10 g และลูกตุ้มไม้ทรงกลม m_3 = 4.10 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5°

จากกราฟพบว่า คาบการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อใช้ลูกตุ้มเหล็กทรงกลม m_1 = 69 g ลูกตุ้มเหล็กทรงกระบอก m_2 = 32.10 g และลูกตุ้มไม้ทรงกลม m_3 = 4.10 g มุมเริ่มต้น (θ) = 5° มีค่าใกล้เคียงกัน

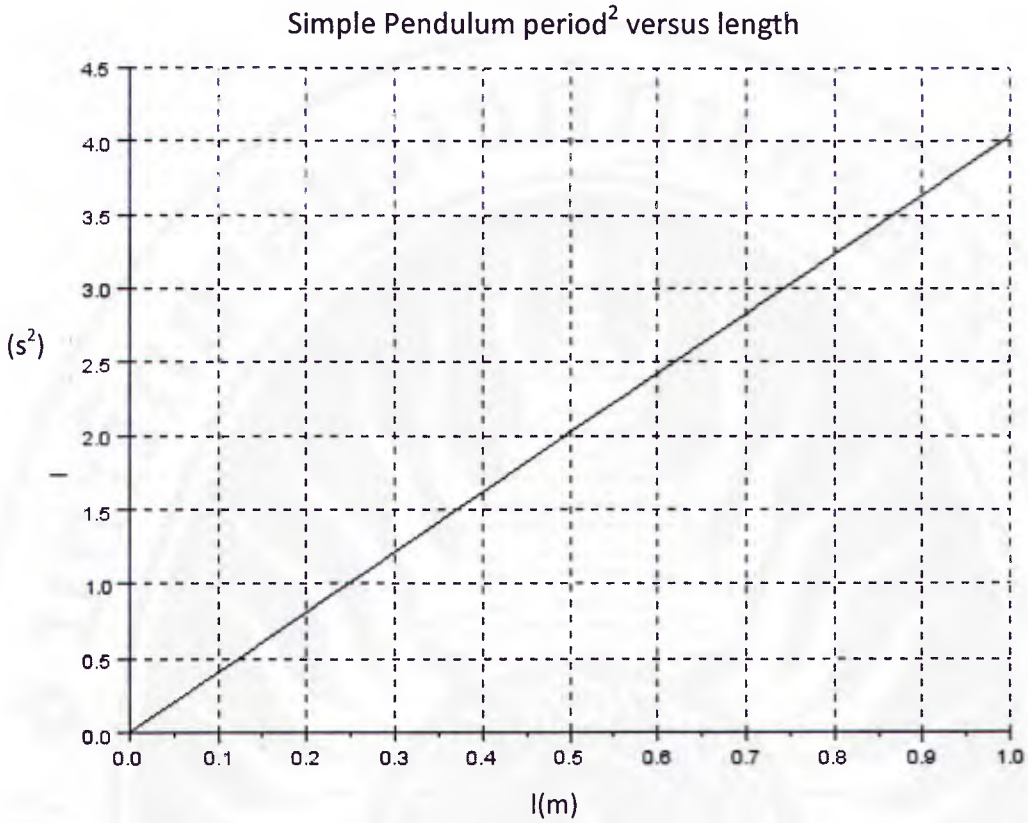
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 จากสมการ โดยใช้ค่า g ละติจูดเท่ากับ 9.781 m/s^2 เมื่อมุม θ มีค่าน้อยๆ จากสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (Simpson, 2010) ด้วยคำสั่งในโปรแกรม Scilab 5.3.2 ได้ผลดังภาพที่ 26 และภาพที่ 27



ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ l จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม Scilab

จากกราฟ พบว่าคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย (T) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวเชือก (l) เพิ่มขึ้น กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง

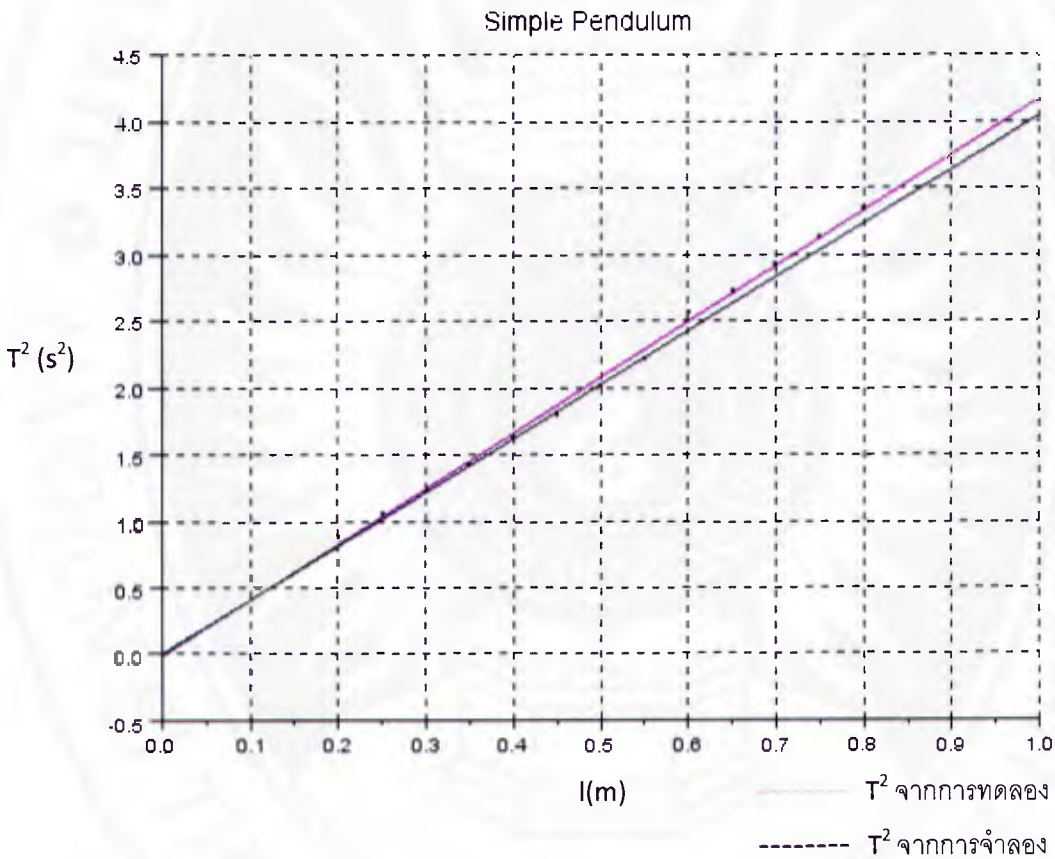


ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l จากการจำลองทางคณิตศาสตร์

จากกราฟ พบว่าเมื่อนำค่ากำลังสองของคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย (T^2) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความยาวเชือก (l) โดยใช้ค่า g ละติจูดเท่ากับ 9.781 m/s^2 กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ความชันของกราฟเท่ากับ 4.039

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของคาบที่ได้จากการทดลองวัดคาบจากทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายกับคาบจากการจำลองทางคณิตศาสตร์

เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายและการจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วแสดงเป็นกราฟด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยมุมเริ่มต้นของการแกว่งของลูกตุ้มคงที่เท่ากับ 5° ความยาวเชือกเท่ากับ 0.20 – 0.80 m และเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ของกำลังสองของคาบ (T^2) กับความยาวเชือก (l) ที่ได้จากการทดลองและการจำลอง ได้ผลดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 กับ l เปรียบเทียบผลจากการทดลองวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายและการจำลอง

จากกราฟเมื่อนำค่าความชันของกราฟที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าความชันของกราฟที่ได้จากการจำลองมาหาร้อยละของความแตกต่าง ด้วยสมการ

$$\%\text{diff} = \left|\frac{\text{theoretical} - \text{measured}}{\text{theoretical}}\right| \times 100\%$$

$$\%\text{diff} = \left|\frac{4.039 - 4.158}{4.039}\right| \times 100\%$$

$$\%\text{diff} = 2.95$$

พบว่า ความแตกต่างของผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 %

เมื่อนำค่า g จากผลการทดลองที่หาได้จากสมการ $m = \frac{4\pi^2}{g}$ เมื่อ m คือความชันของกราฟ ได้ค่า g = 9.495 เปรียบเทียบกับค่า g ละติจูด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.781 มาหาร้อยละของความแตกต่าง ด้วยสมการ

$$\%\text{diff} = \left|\frac{\text{theoretical} - \text{measured}}{\text{theoretical}}\right| \times 100\%$$

$$\%\text{diff} = \left|\frac{9.781 - 9.495}{9.781}\right| \times 100\%$$

$$\%\text{diff} = 2.92$$

พบว่า ความแตกต่างของค่า g จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่า g ละติจูดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.92 %

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อแสดงคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วย Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองเชิงตัวเลข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย วงจรเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม Scilab 5.3.2

วิเคราะห์ข้อมูลโดยค่าสถิติพื้นฐาน คำนวณความแตกต่างระหว่างค่าของคาบจากการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข ด้วยสมการ $\%\text{diff} = \left|\frac{\text{theoretical} - \text{measured}}{\text{theoretical}}\right| \times 100\%$

สรุปผลการวิจัย

1. การสร้างชุดการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายเพื่อนำไปใช้วัดคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการแกว่งของลูกตุ้ม (T) กับความยาวเชือก (l) พบว่า เมื่อความยาวเชือก (l) เพิ่มขึ้นคาบของการแกว่ง (T) ก็เพิ่มขึ้น กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้ง เป็นไปตามทฤษฎี

1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการแกว่งกับมุมเริ่มต้นเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ด้วยกราฟโดยโปรแกรม Scilab 5.3.2 พบว่า เมื่อมุมเริ่มต้นมีเป็นมุมเล็ก ๆ คาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายจะไม่แตกต่าง แต่เมื่อเพิ่มขนาดของมุมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น คาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายจะเพิ่มขึ้น

1.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการแกว่ง (T) กับมวลของลูกตุ้ม (m) เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ ด้วยกราฟโดยโปรแกรม Scilab 5.3.2 พบว่า เมื่อมวลของลูกตุ้มไม่เท่ากันคาบของการแกว่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นมวลจึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย เป็นไปตามสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ดังนั้น $T \alpha \sqrt{l}$

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 โดยใช้ค่า g ละติจูดเท่ากับ 9.781 m/s^2 ได้แบบจำลองเชิงตัวเลขเป็นกราฟ

ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบและความยาวเชือกของลูกตุ้ม พบว่า จากกราฟเมื่อความยาวเชือกเพิ่มขึ้นคาบของการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายที่ได้จากการจำลองเพิ่มขึ้น

3. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกำลังสองของคาบกับความยาวเชือกจากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และการจำลองทางคณิตศาสตร์ จากความชันของกราฟ พบว่าผลการทดลองและผลจากการจำลองที่ได้มีความแตกต่างกันเฉลี่ย ร้อยละ 2.95 เมื่อเปรียบเทียบค่า g จากผลการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.495 m/s^2 กับค่า g ละติจูด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.781 m/s^2 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.92

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย โดยการออกแบบชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่าย สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Scilab 5.3.2 และเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่า ชุดทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายที่สร้างขึ้นสามารถวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง และมีความสะดวกในการใช้งานกว่าชุดการทดลองแบบเดิมที่ใช้ในห้องเรียนที่ทดลองโดยการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มแล้วนำมาหาคาบการเคลื่อนที่โดยการเฉลี่ยกับจำนวนรอบ

การทดลองหาคาบการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สามารถหาคาบการเคลื่อนที่ที่มีความละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 2.92 สอดคล้องกับออกแบบการทดลองของ Ocaya (2000) ที่ได้ออกแบบการหาคาบการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมเชิงประกอบ โดยชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดคาบการทดลองที่มีความละเอียดและสามารถนำคาบที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 1

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Scilab เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถยืนยันผลการทดลองได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Torzo and Peranzoni (2009) ที่ใช้การจำลองเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษา ซึ่งสามารถสนับสนุนการทดลองทางฟิสิกส์ตั้งแต่การทำนายผล ตั้งสมมติฐาน และแปลผลการทดลองได้ดีกว่าการทดลองแบบเก่า

ผลที่ได้จากการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายมีความแตกต่างกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์คิดเป็นร้อยละ 2.95 สอดคล้องกับอนุวัฒน์ บุญธรรมโม

(2546) ได้กล่าวว่าผลการใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้วัดคาบการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมอย่างง่ายสอดคล้องกับค่าเชิงทฤษฎี

ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มอย่างง่ายและวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการแทนการทดลองแบบทั่วไปในบทเรียน โดยจะได้ค่าของคาบการแกว่งที่ถูกต้องแม่นยำและมีความละเอียดเป็นมิลลิวินาที

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายและอธิบายผลจากการทดลองโดยใช้ค่าทางทฤษฎีก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะสามารถทำให้ผู้เรียนสามารถเกิดความเข้าใจในบทเรียนทางฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ Torzo and Peranzoni (2009) กล่าวไว้ว่าการใช้การจำลองเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาเพื่อสนับสนุนการทดลองทางฟิสิกส์สามารถให้ข้อมูลมาศึกษาและวิเคราะห์ผลได้ดีกว่าการทดลองแบบเก่า

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการวัดคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย ควรเพิ่มความละเอียดในการจับเวลาเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการนำผลการทดลองไปใช้

2. การวัดมุมเริ่มต้นและปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยมืออาจทำให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดคาบจากการทดลอง ควรหาเทคนิควิธีการในการปล่อยลูกตุ้มที่เหมาะสม

3. รูปร่างและขนาดของลูกตุ้มอาจส่งผลต่อการวัดคาบการเคลื่อนที่ของ sensor จึงควรใช้ลูกตุ้มที่มีรูปร่างและขนาดเท่ากันในการเปรียบเทียบคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเมื่อมีมวลต่างกัน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการพัฒนาชุดการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับการทดลองการเคลื่อนที่แบบอื่นๆ เช่น การเคลื่อนที่แบบวงกลม การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ เพื่อให้มีสื่อการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ที่หลากหลาย

2. ควรมีการวิจัยการนำชุดทดลองที่ได้ไปใช้กับผู้เรียน โดยมีแผนการจัดการเรียนการสอน แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน เพื่อจะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนฟิสิกส์ต่อไป

3. ควรมีการแสดงผลการทดลองที่เวลาจริง โดยแสดงผลเป็นรูปกราฟเพื่อส่งเสริมความเข้าใจให้กับผู้เรียน

4. ควรมีการสร้างแบบจำลองการทดลองที่สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ และแสดงผลการทดลองออกมาให้เห็นได้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการทดลองจริง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

จิรันดร บู๊ฮวดใช้ และ ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. (2553). **การพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC ร่วมกับ SCILAB**. นครปฐม : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

ปรัชนันท์ นิลสุข. (2543). คอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบจำลองสถานการณ์. **วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา**, 12(2), 47-58.

ทิศนา แขมมณี. (2551). **รูปแบบการเรียนการสอนทางเลือกที่หลากหลาย**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2552). **วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธเนศ สินธุ์ประจิม. (2552). **คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน 1**. ตรัง : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

นคร ภักดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2548). **ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยแปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2**. กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟเอ็กซ์เพอริเมนต์

พานิช อินต๊ะ. (2548). การเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก (11). **วารสาร Electrical & Control**, 4(19), 76-81.

พานิช อินต๊ะ และ โกศล โอพารไพโรจน์. (2550). **การเรียนรู้การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก Visual Basic**. กรุงเทพฯ : The Knowledge Center.

รัตน์ติกาญ สุทธิเกิด. (2550). **การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการด้วยโปรแกรม SCILAB** . กรุงเทพฯ : สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. (2551). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2551). **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค.ลาดพร้าว.

_____. (2553). **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค.ลาดพร้าว.

สัมฤทธิ์ อัศดรวิเศษ. (2544). **การพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขในฟิสิกส์พื้นฐานด้วย Mathematica : โปรเจ็กไทล์ วงจรอนุกรม RLC เพนดูลัม**. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุบรรณ พันธ์วิลาศ และ ชัยวัฒน์ ปัญจพงศ์. (2522). **ระเบียบวิธีวิจัยแนวปฏิบัติ**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

อนุวัฒน์ บุญธรรมโม. (2546). **การศึกษาและการประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม**. สงขลา : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์. (2549). **การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข**. ขอนแก่น : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Giacomo Torzo & Paolo Peranzoni. (2009) **The real pendulum : theory, simulation, experiment**. Padova : Department of Physics Padova University.

Giancoli, C.D. (2000). **Physics for scientist & engineers**. USA : Prentice Hall.

Good, C.V. (1973). **Dictionary of education**. New York : McGraw-Hill book.

Longman, C. (1981). **Longman dictionary of contemporary English**. England : Clay.

Ocaya,R. O. (2000). A Simple computer interface to time relatively slow physics event. **Physics Education**. 35(4), 267-276.

Santarelli,V ., Carolla, J. and Ferner, M. (1993). A New look at the Simple Pendulum. **The Physics Teacher**. 31, 236-238.

Zheng, T. F., et al. (1994). Teaching the nonlinear Pendulum. **The Physics Teacher**. 32, 248-251.

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม. (2553). ค้นเมื่อ มกราคม 8, 2553, จาก http://www.teacher.en.rmutt.ac.th/ktw/Resources.

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Parallel Port. (2553). ค้นเมื่อ กันยายน 13, 2553, จาก http://www.wara.com/modules.php?name=News&file=article&sid=239.

เครื่องเขียนกราฟการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย. (2553). ค้นเมื่อ มกราคม 27, 2553, จาก http://www.ipst.ac.th/design/product2546/Simple-Pendulum.htm.

เสกสรรค์ ไชยจิตต์. (2555). **แนะนำโปรแกรม Scilab สำหรับงานด้านวิศวกรรม**. ค้นเมื่อ พฤศจิกายน 22, 2555, จาก http://www. mechatronics.ptwit.ac.th/seksan/?q=node/17

อินฟราเรดเซ็นเซอร์. (2553). ค้นเมื่อ มกราคม 27, 2553, จาก http://www.research.crma.ac.th/2549/index.php.

Introduction to Mathematica for Science Students. (2552) ค้นเมื่อ ธันวาคม 9, 2552, จาก http://www.einstein.sc.mahidol.ac.th/~u4705076/home.htm.

Richard Fitzpatrick. (2009). **Classical Mechanics an introductory course**. Retrived September 12, 2009. from http://www.farside.ph.utexas.edu/teaching/301/lectures/node157.htm.

Simple Pendulum. (2009). Retrived November 9, 2009, from http://www. hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/pend.htm.

D.G. Simpson. (2010). **The Nonlinear Pendulum**. Retrived March 22, 2013, from http://www.pgccphy.net/ref/nonlin-pendulum.pdf.

The Simple Pendulum. (2009). Retrived November 9, 2009, from http://www.paws kettering.edu/drussell//Demos/Pendulum/Pendula.htm.

Wolfram Demonstrations Project. (2009). **Conservation of Energy with a Simple Pendulum**. Retrived November 15, 2009, from http://www.deminstrations.wolfram.com/ConservationOfEnergy With a Simple Pendulum.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ของบริษัท Philips มีหน่วยความจำโปรแกรมแฟลช 64 กิโลไบต์ มีขาพอร์ตสำหรับใช้งานมากถึง 4 พอร์ต (P0-P3) พร้อมทั้งไทเมอร์ 3 ตัว มีโมดูล PCA สำหรับสร้างสัญญาณ PWM มากถึง 5 ช่อง รวมทั้งมีหน่วยความจำแรมพิเศษอีก 1 กิโลไบต์ และสามารถโปรแกรมหน่วยความจำผ่านพอร์ตอนุกรมในแบบ ISP ได้ด้วย

1. คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช มีคุณสมบัติทางเทคนิคที่โดดเด่น ดังนี้

1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิตที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2) ในการโปรแกรมสามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่นครั้งมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์

3) หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์

4) โปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมแบบ ISP

5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 40 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมชชีนไซเคิลและ 20 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชชีนไซเคิล

6) ขาพอร์ต 18 บิต 4 พอร์ต แบบกึ่งสองทิศทางเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

7) อุปกรณ์เพอร์ริเฟอรัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานด้วยความเร็ว 12 ลูกสัญญาณนาฬิกาต่อแมชชีนไซเคิลได้ แม้ว่าซีพียูจะสามารถทำงานด้วยความเร็ว 6 ลูกสัญญาณนาฬิกาภายในต่อแมชชีนไซเคิล

8) วงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

9) ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 3 ตัว

10) มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว

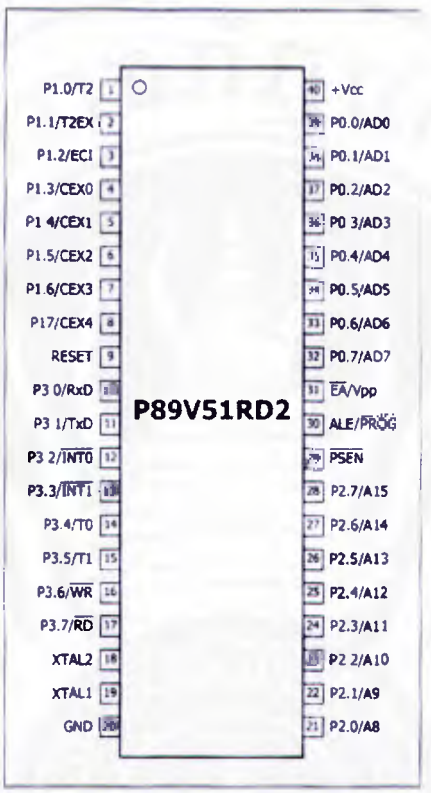
11) สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 8 ประเภท

12) กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ

13) สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

14) มีวอตซ์ดอกไทเมอร์

15) มีวงจรโมดูลนับโปรแกรมได้ (PCA) ซึ่งบรรจุวงจรตรวจสัญญาณ เปรียบเทียบสัญญาณ วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลซ์ และวอตซ์ดอกไทเมอร์



ภาพที่ 29 แสดงการจัดขาของ P89V51RD2

ตารางที่ 5 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2

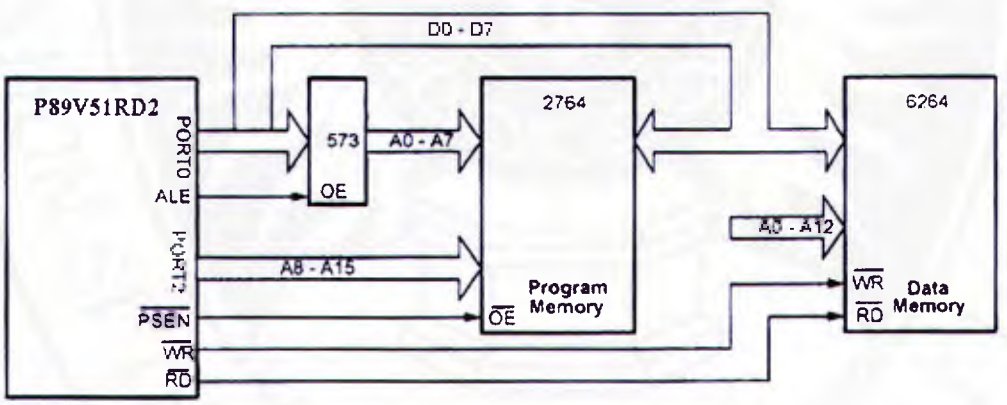
ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
VCC	40	input	ต่อไฟเลี้ยง +5V
GRN	20	input	ต่อกราวด์
P0.0-P0.7	39-32	input/output	- ใช้งานเป็นขาพอร์ต input/output ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตที่ต้องการติดต่อ - ใช้ในการต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยการใช้มัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก
P1.0-P1.7	1-8	input/output	- ใช้งานเป็นพอร์ต input/output สำหรับใช้งานทั่วไป เฉพาะ P1.5-P1.7 สามารถจับกระแสได้สูง 16mA ต่อขา - เป็นขาสัญญาณของไทเมอร์ 2 และขาสัญญาณ PCA ดังรายละเอียด T2(P1.0 : ขา 1) เป็นขา input สำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และขา output สัญญาณนาฬิกา T2EX(P1.1:ขา 2) เป็นขา input สำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ECI(P1.2 : ขา 3) เป็นขา input สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับโมดูล PCA CEX0(P1.3 : ขา 4) เป็นขา input/output ภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสำหรับ PCA โมดูล 0 CEX1(P1.4 : ขา 5) เป็นขา input/output ภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสำหรับ PCA โมดูล 1 CEX2(P1.5 : ขา 6) เป็นขา input/output ภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสำหรับ PCA โมดูล 2 CEX3(P1.6 : ขา 7) เป็นขา input/output ภายนอกของวงจร

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
			ตรวจจับและเปรียบเทียบสำหรับ PCA โมดูล 3 CEX4(P1.7 : ขา 8) เป็นขา input/output ภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสำหรับ PCA โมดูล 4
P2.0-P2.7	21-18	input/output	- ใช้งานเป็นขาพอร์ต input/output สำหรับใช้งานทั่วไป - ใช้ต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) เมื่อติดต่อด้วย
P3.0-P3.7	10-17	input/output	- ใช้งานเป็นพอร์ตหน้าที่พิเศษ ดังรายละเอียด RxD(P3.0 : ขา 10) เป็นขา input สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม TxD(P3.1 : ขา 11) เป็นขา input สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม INT0(P3.2 : ขา 12) เป็นขา input สำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 INT1(P3.3 : ขา 13) เป็นขา input สำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 T0(P3.4 : ขา 14) เป็นขา input สำหรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 T1(P3.5 : ขา 15) เป็นขา input สำหรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1 WR(P3.6 : ขา 16) เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
RESET	9	input	ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณลอจิก “1” อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชชีนไซเคิลโดยที่วงจรนาฬิกายังคงทำงานปกติ
ALE	30	output	address latch enabic ออกมาทุกๆ แมชชีนไซเคิล อย่างไรก็ตามสามารถดิสเอเบิลสัญญาณพัลส์นี้ได้โดยการเซ็ตบิต 0 ของรีจิสเตอร์ AUXR

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
PSEN	29	output	program store enabic ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครจะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง
EA/Vpp	31	input	external access enabic/programming voltage input : ใช้สำหรับการเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ "0" เลือกให้ไมโครติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก "1" เลือกให้ไมโครติดต่อกับหน่วยความจำภายใน
XTAL1	19	input	ขา input รับสัญญาณจากวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ (ขา XTAL2)



ภาพที่ 30 หน่วยความจำของ P89V51RD2

2. หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (program memory)

หน่วยความจำชนิดนี้ทำหน้าที่เก็บคำสั่งของผู้เขียน โปรแกรมส่วนใหญ่จะใช้ EPROM เป็นตัวเก็บ โดยมีสัญญาณ PSEN เป็นขาสัญญาณเพื่อติดต่อกับ EPROM สามารถอ้างหน่วยความจำได้ 64 กิโลไบต์ ชื่อของ EPROM นั้นส่วนใหญ่จะขึ้นด้วย 27 แล้วตามด้วยหน่วย

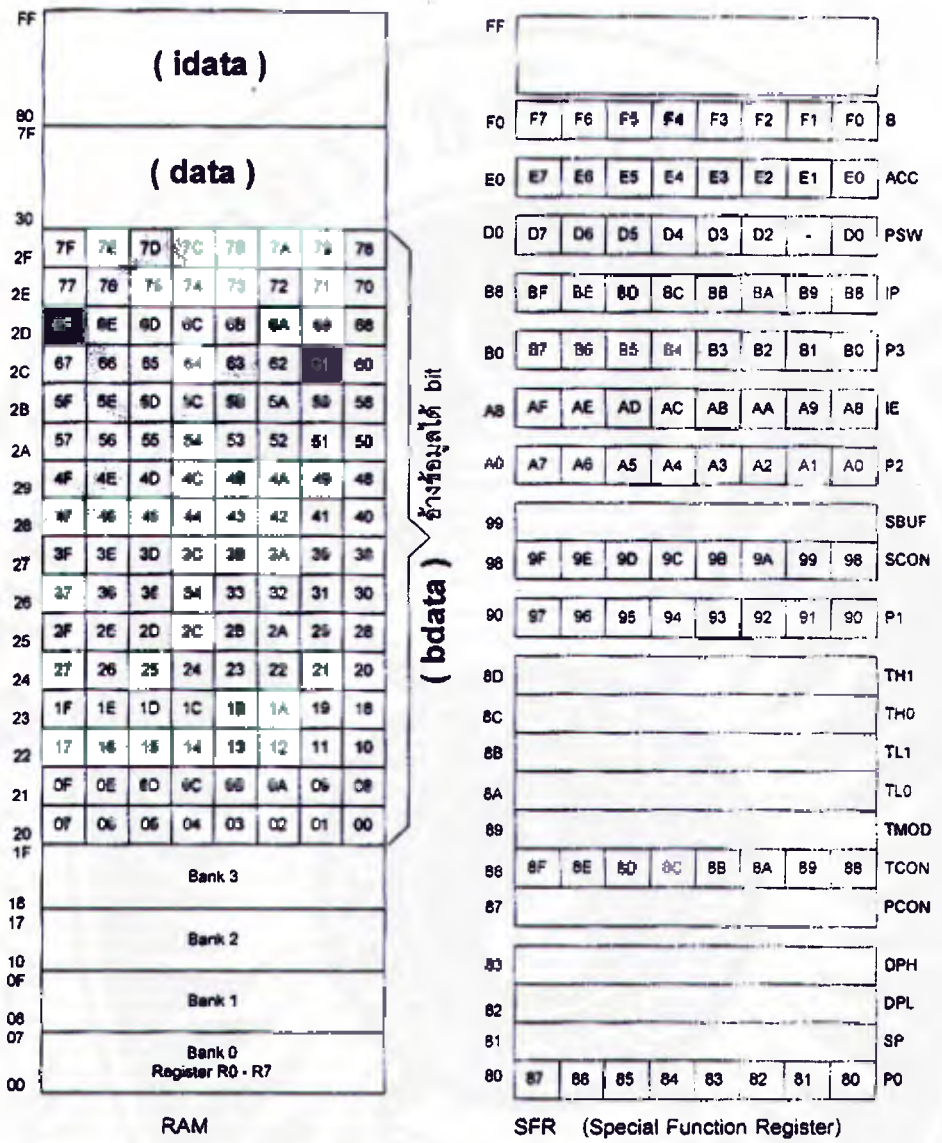
ขนาดของความจำเช่น 2764 หมายเลข 64 คือขนาดหน่วยความจำ โดยเอา 64/8 = 8 กิโลไบต์ เราก็จะได้ขนาดของ EPROM ตัวนี้ จากนั้นได้มีการพัฒนา MCS-51 โดยเอา EPROM ใส่เข้าไปในตัว MCS-51 แล้วตั้งชื่อเบอร์ใหม่ว่า 8751 และมีการพัฒนาขึ้นไปอีกคือการนำเอา flash ROM ซึ่งสามารถลบและเขียนด้วยไฟฟ้าเข้าไปใน MCS-51 แล้วตั้งชื่อใหม่ว่า 8951 จนเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

3. หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (data memory)

หน่วยความจำชนิดนี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ที่เราต้องการ ซึ่งก็คือ RAM ที่ต่ออยู่ภายนอก สามารถเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ขา RD, WR ในการเขียนและอ่าน Data จาก RAM MCS-51 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์ เช่นกัน ส่วนใหญ่หน่วยความจำนี้จะถูกจัด address ให้ถัดจาก program memory (EPROM) RAM ที่ส่วนใหญ่จะเป็น static RAM เบอร์จะขึ้นด้วย หมายเลข 61, 62, 64, 68 แล้วตามขนาดด้วยขนาดของหน่วยความจำ เช่น 6264 หมายเลข 64 คือขนาดของหน่วยความจำ โดยเอาค่า 64/8 = 8 กิโลไบต์ เราจะได้ขนาดของ RAM

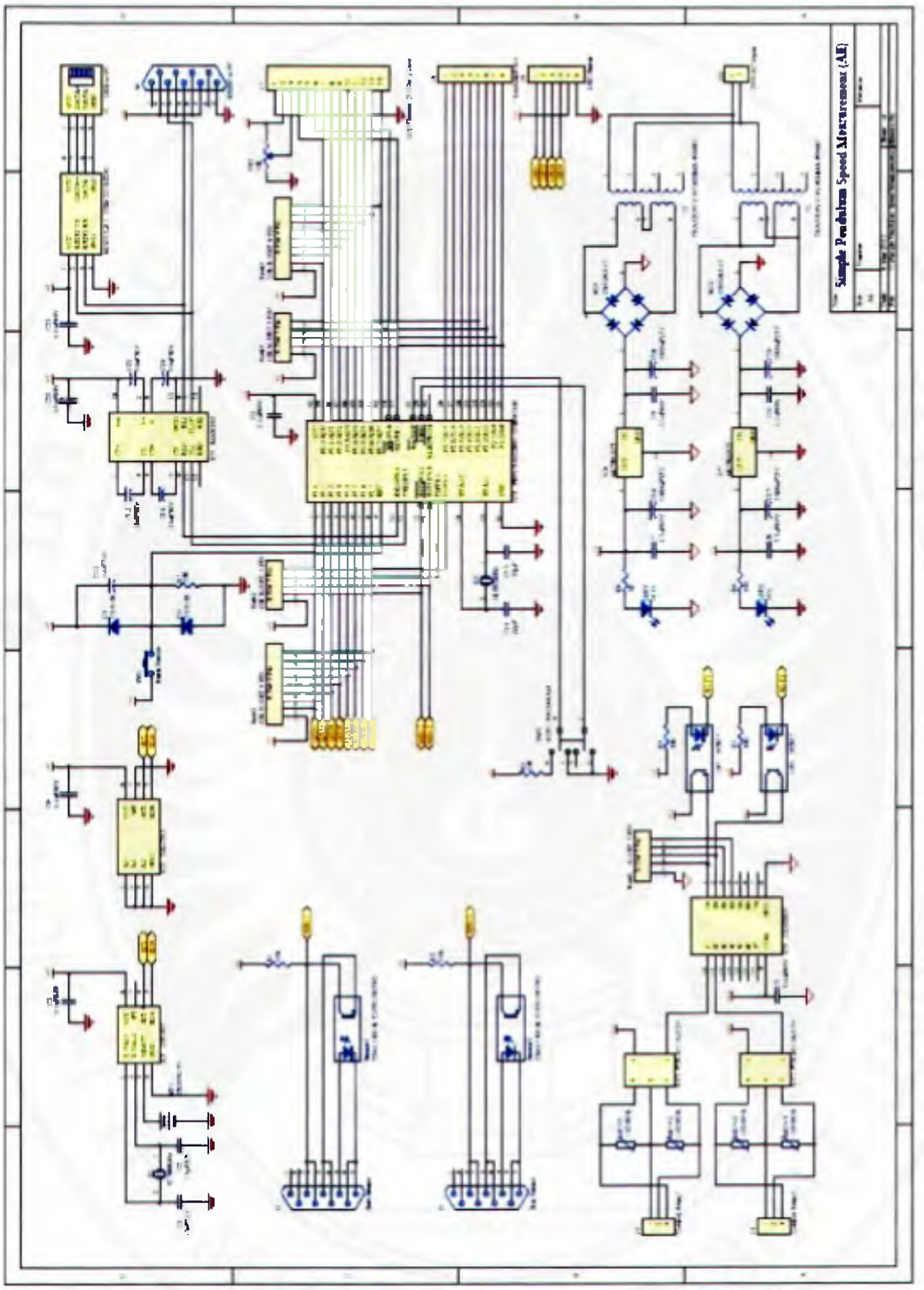
4. หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (internal RAM)

เป็นหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ซึ่งเป็น RAM ในหน่วยความจำนั้น จะประกอบด้วย register ซึ่งจะมี address ประจำตัวทำหน้าที่ใช้งานแตกต่างกันไปตามการใช้งาน

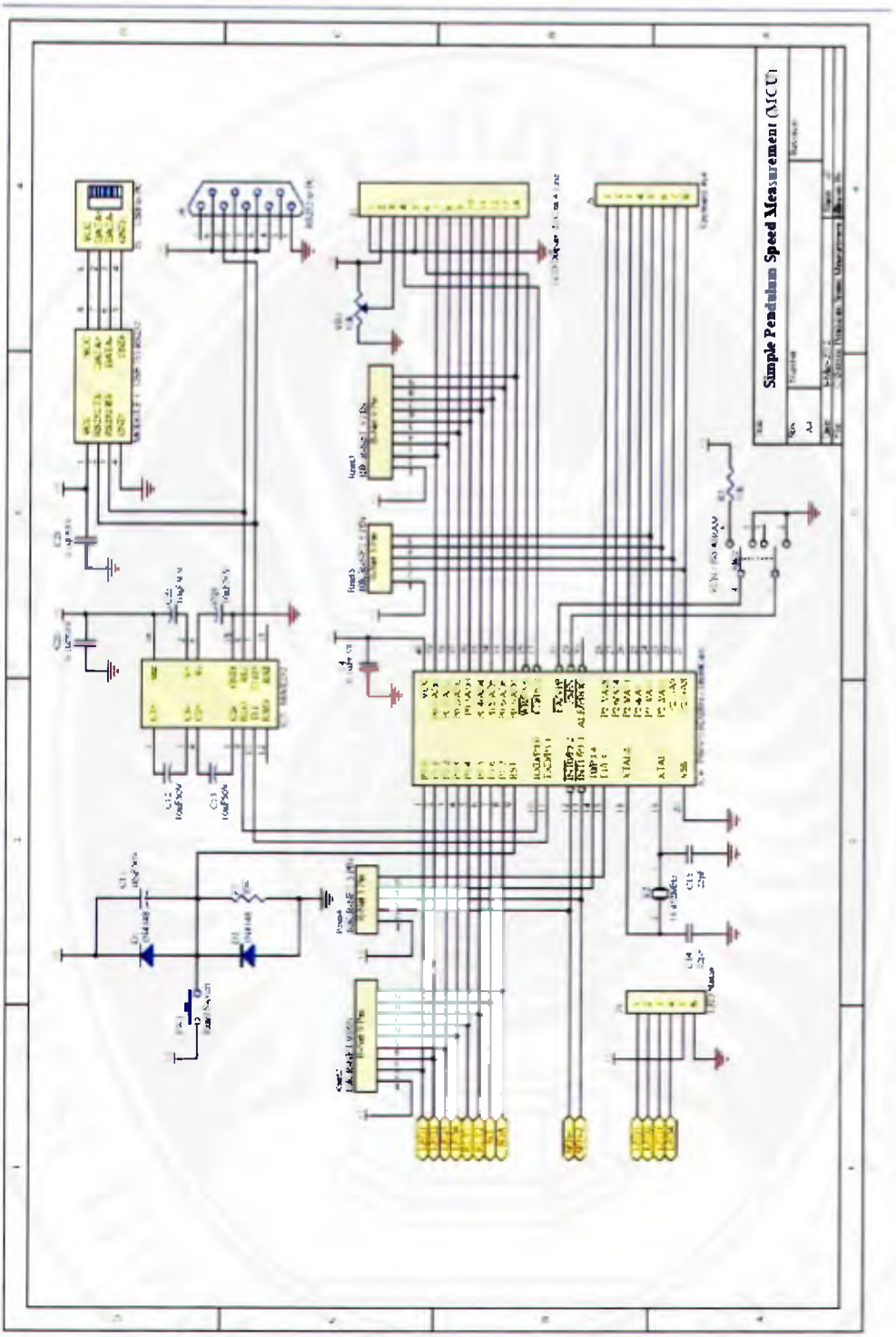


ภาพที่ 31 รีจิสเตอร์ของหน่วยความจำภายใน

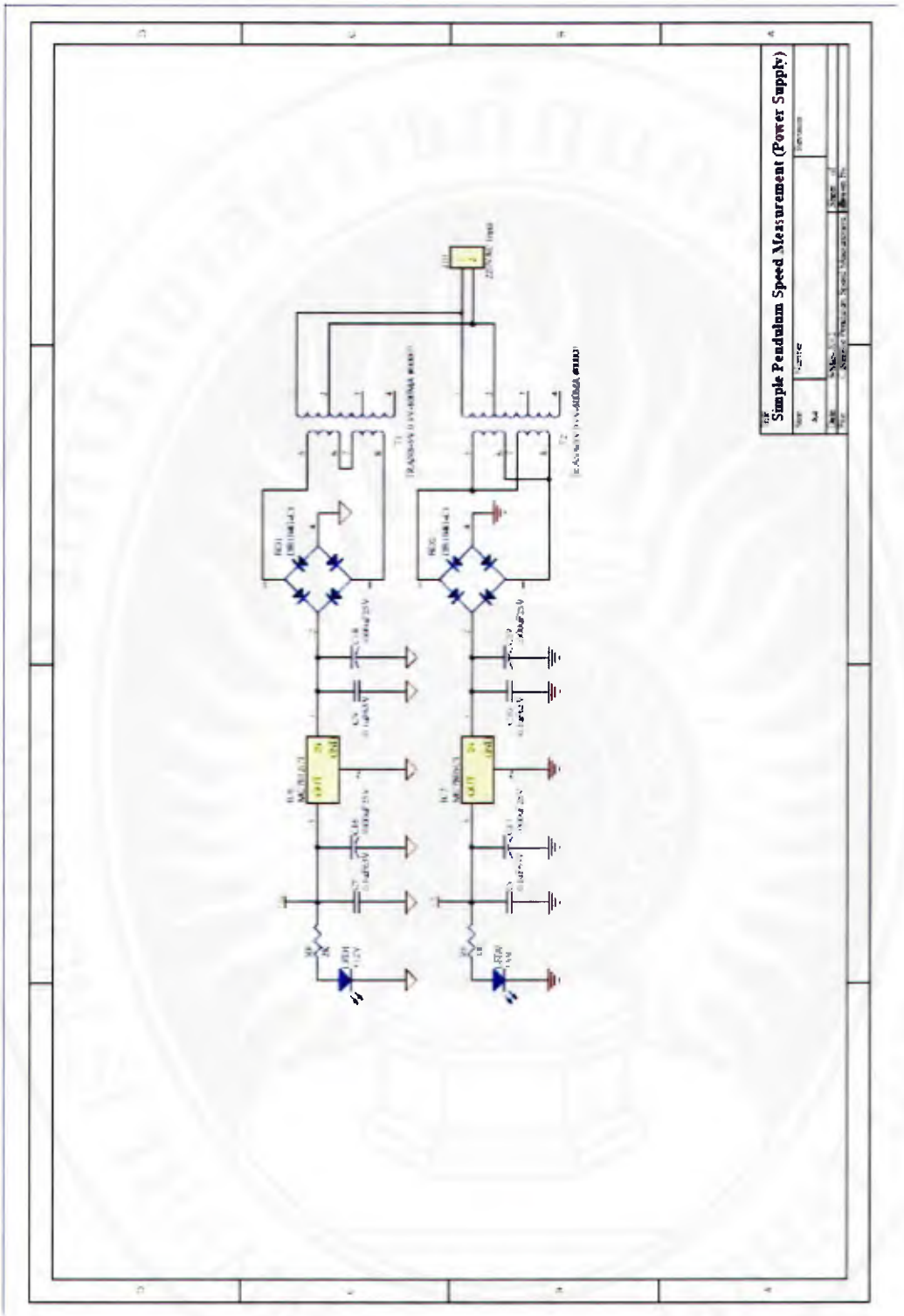
ภาคผนวก ข
วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์



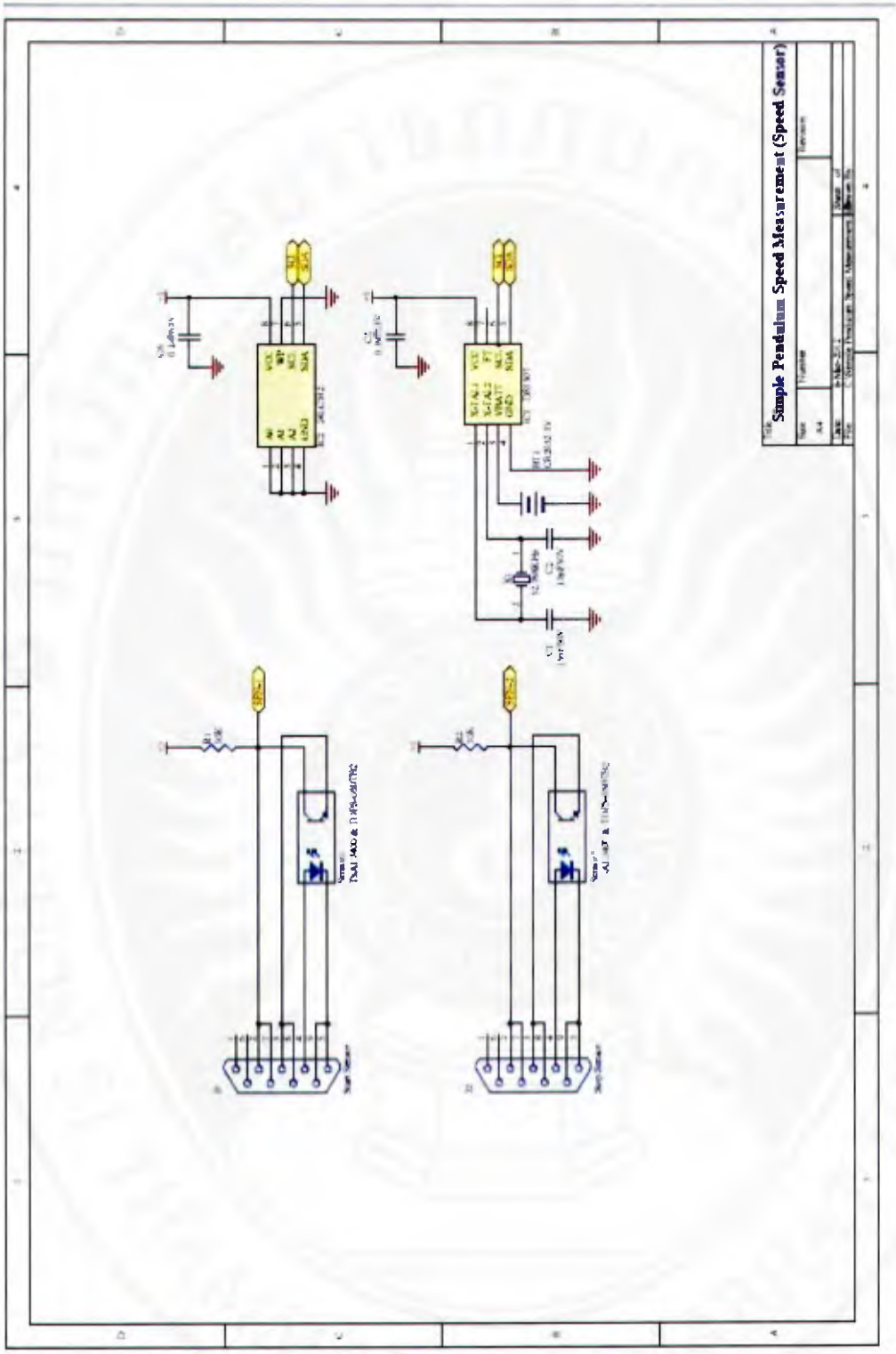
ภาพที่ 32 วงจรรวม



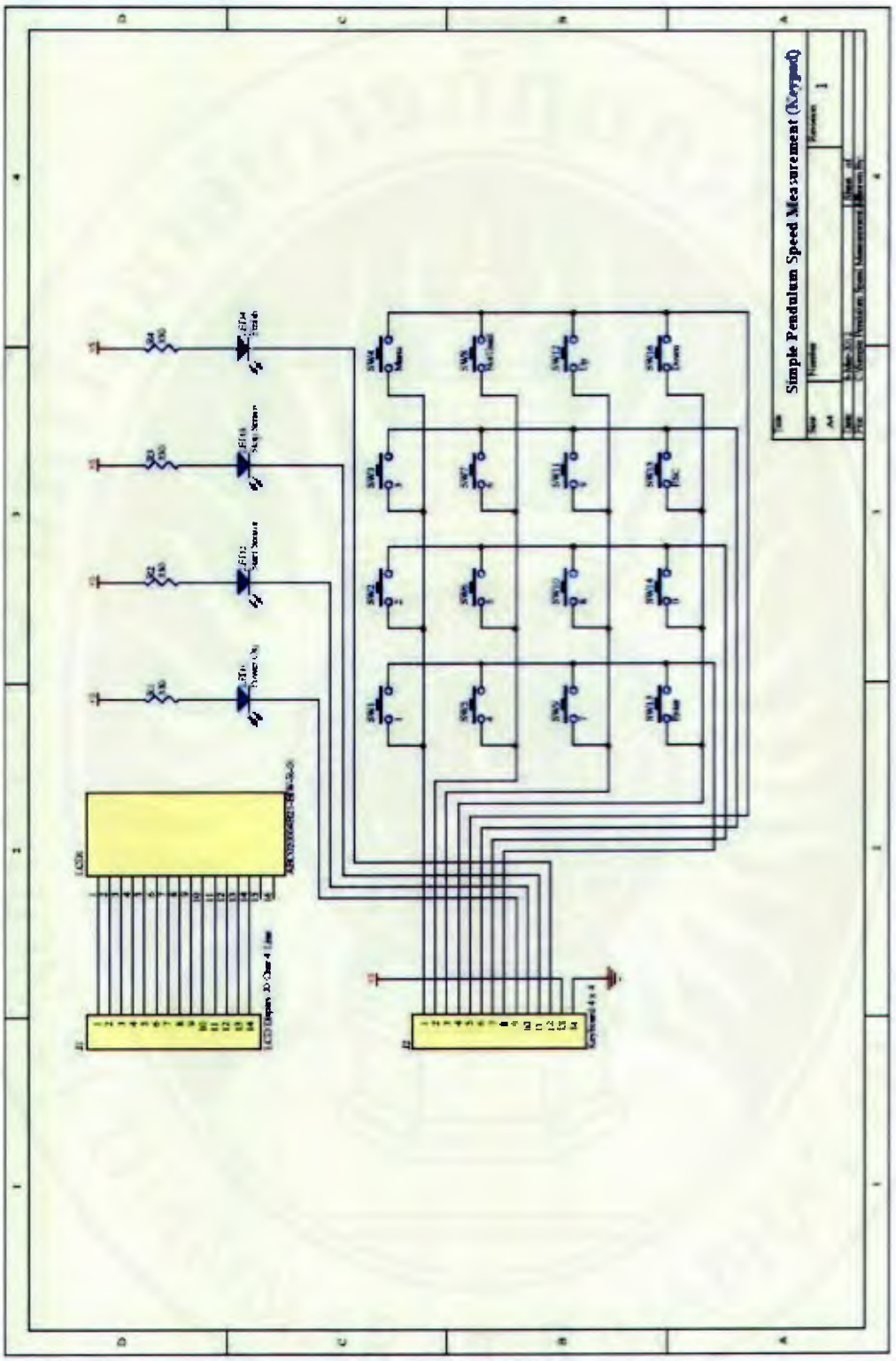
ภาพที่ 33 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 34 วงจรจ่ายไฟ



ภาพที่ 35 วงจรตรวจจับแสง



ภาพที่ 36 วงจร key pad

ภาคผนวก ค

โปรแกรมเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

FormCommPort.frm

```
VERSION 5.00
Object = "{831FDD16-0C5C-11D2-A9FC-0000F8754DA1}#2.0#0"; "MSCOMCTL.OCX"
Begin VB.Form FormCommPort
   AutoRedraw      =   -1  'True
   BorderStyle     =   3  'Fixed Dialog
   Caption         =   "CommPort Setting"
   ClientHeight    =   4230
   ClientLeft      =   4440
   ClientTop       =   3600
   ClientWidth     =   5985
   Icon            =   "FormCommPort.frx":0000
   LinkTopic       =   "Form3"
   LockControls    =   -1  'True
   MaxButton       =   0   'False
   MinButton       =   0   'False
   ScaleHeight     =   4230
   ScaleWidth      =   5985
   ShowInTaskbar   =   0   'False
   StartUpPosition =   2  'CenterScreen
   Begin VB.Frame fraSettings
      BorderStyle     =   0  'None
      Height          =   3495
      Left            =   255
      TabIndex        =   2
      Top             =   570
      Width           =   5445
      Begin VB.CommandButton cmdCancel
         Caption         =   "Cancel"
         Height          =   300
         Left            =   4335
         TabIndex        =   22
         Top             =   1065
         Width           =   1080
      End
      Begin VB.Frame Frame1
         Caption         =   "Maximum Speed"
         Height          =   870
         Left            =   180
         TabIndex        =   20
         Top             =   630
         Width           =   2340
         Begin VB.ComboBox cboSpeed
            Height          =   315
            Left            =   375
            Style           =   2  'Dropdown List
            TabIndex        =   21
            Top             =   330
            Width           =   1695
         End
      End
      Begin VB.Frame fraConnection
         Caption         =   "Connection Preferences"
         Height          =   1770
         Left            =   180
         TabIndex        =   12
         Top             =   1635
```

```
   Width           =   2325
   Begin VB.ComboBox cboStopBits
      Height          =   315
      Left            =   1050
      Style           =   2  'Dropdown List
      TabIndex        =   16
      Top             =   1260
      Width           =   1140
   End
   Begin VB.ComboBox cboParity
      Height          =   315
      Left            =   1050
      Style           =   2  'Dropdown List
      TabIndex        =   15
      Top             =   810
      Width           =   1140
   End
   Begin VB ComboBox cboDataBits
      Height          =   315
      Left            =   1050
      Style           =   2  'Dropdown List
      TabIndex        =   14
      Top             =   330
      Width           =   1140
   End
   Begin VB.Label Label5
      Caption         =   "Stop Bits:"
      Height          =   285
      Left            =   180
      TabIndex        =   19
      Top             =   1320
      Width           =   885
   End
   Begin VB Label Label4
      Caption         =   "Parity:"
      Height          =   285
      Left            =   180
      TabIndex        =   18
      Top             =   855
      Width           =   615
   End
   Begin VB.Label Label3
      Caption         =   "Data Bits:"
      Height          =   285
      Left            =   180
      TabIndex        =   17
      Top             =   375
      Width           =   825
   End
End
Begin VB.ComboBox cboPort
   Height          =   315
   Left            =   900
   Style           =   2  'Dropdown List
   TabIndex        =   11
   Top             =   150
   Width           =   1425
End
Begin VB.CommandButton cmdOK
```

```
    Caption         =   "OK"
    Default         =   -1  'True
    Height          =   300
    Left            =   4335
    MaskColor       =   &H00000000&
    TabIndex        =   0
    Top             =   705
    Width           =   1080
End
Begin VB.Frame Frame7
    Caption         =   "&Echo"
    Height          =   870
    Left            =   2595
    TabIndex        =   8
    Top             =   630
    Width           =   1590
    Begin VB OptionButton optEcho
        Caption         =   "Off"
        Height          =   315
        Index           =   0
        Left            =   135
        MaskColor       =   &H00000000&
        TabIndex        =   10
        Top             =   360
        Width           =   615
    End
    Begin VB.OptionButton optEcho
        Caption         =   "On"
        Height          =   195
        Index           =   1
        Left            =   795
        MaskColor       =   &H00000000&
        TabIndex        =   9
        Top             =   420
        Width           =   555
    End
End
Begin VB Frame Frame5
    Caption         =   "&Flow Control"
    Height          =   1770
    Left            =   2595
    TabIndex        =   3
    Top             =   1635
    Width           =   1620
    Begin VB.OptionButton optFlow
        Caption         =   "None"
        Height          =   255
        Index           =   0
        Left            =   180
        MaskColor       =   &H00000000&
        TabIndex        =   7
        Top             =   345
        Width           =   855
    End
    Begin VB.OptionButton optFlow
        Caption         =   "Xon/Xoff"
        Height          =   255
        Index           =   1
        Left            =   180
```

```
            MaskColor       =   &H00000000&
            TabIndex        =   6
            Top             =   645
            Width           =   1095
         End
         Begin VB.OptionButton optFlow
            Caption         =   "RTS"
            Height          =   255
            Index           =   2
            Left            =   180
            MaskColor       =   &H00000000&
            TabIndex        =   5
            Top             =   945
            Width           =   735
         End
         Begin VB.OptionButton optFlow
            Caption         =   "Xon/RTS"
            Height          =   255
            Index           =   3
            Left            =   180
            MaskColor       =   &H00000000&
            TabIndex        =   4
            Top             =   1245
            Width           =   1155
         End
      End
      Begin VB.Label Label1
         Caption         =   "Port:"
         Height          =   315
         Left            =   330
         TabIndex        =   13
         Top             =   180
         Width           =   495
      End
   End
   Begin MSComctlLib.TabStrip tabSettings
      Height          =   4065
      Left            =   90
      TabIndex        =   1
      Top             =   105
      Width           =   5820
      _ExtentX        =   10266
      _ExtentY        =   7170
      MultiRow        =   -1  'True
      _Version        =   393216
      BeginProperty Tabs {1EFB6598-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
         NumTabs         =   1
         BeginProperty Tab1 {1EFB659A-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
            Caption         =   "Properties"
            ImageVarType    =   2
         EndProperty
      EndProperty
   End
End
Attribute VB_Name = "FormCommPort"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
```

```
Private iFlow As Integer, iTempEcho As Boolean


Sub LoadPropertySettings()
Dim i As Integer, Settings As String, Offset As Integer

' Load Port Settings
For i = 1 To 16
    cboPort.AddItem "Com  & Trim$(Str$(i))
Next i

' Load Speed Settings
cboSpeed AddItem "110"
cboSpeed.AddItem "300"
cboSpeed.AddItem "600"
cboSpeed AddItem "1200"
cboSpeed.AddItem "2400"
cboSpeed AddItem "4800"
cboSpeed.AddItem "9600"
cboSpeed.AddItem "14400"
cboSpeed.AddItem "19200"
cboSpeed.AddItem "28800"
cboSpeed.AddItem "38400"
cboSpeed.AddItem "56000"
cboSpeed.AddItem "57600"
cboSpeed AddItem "115200"
cboSpeed.AddItem "128000"
cboSpeed.AddItem "256000"

' Load Data Bit Settings
cboDataBits AddItem "4"
cboDataBits AddItem "5"
cboDataBits AddItem "6"
cboDataBits.AddItem "7"
cboDataBits AddItem "8"

' Load Parity Settings
cboParity.AddItem "Even"
cboParity.AddItem "Odd"
cboParity.AddItem "None"
cboParity.AddItem "Mark"
cboParity.AddItem "Space"

' Load Stop Bit Settings
cboStopBits.AddItem "1"
cboStopBits AddItem "1.5"
cboStopBits.AddItem "2"

' Set Default Settings

Settings = FormMain.MSComm1.Settings

' In all cases the right most part of Settings will be 1 character
' except when there are 1.5 stop bits.
If InStr(Settings, ".") > 0 Then
    Offset = 2
Else
    Offset = 0
End If
```

```
cboSpeed.Text = Left$(Settings, Len(Settings) - 6 - Offset)
Select Case Mid$(Settings, Len(Settings) - 4 - Offset, 1)
Case "e"
    cboParity.ListIndex = 0
Case "m"
    cboParity.ListIndex = 1
Case "n"
    cboParity.ListIndex = 2
Case "o"
    cboParity.ListIndex = 3
Case "s"
    cboParity.ListIndex = 4
End Select

cboDataBits.Text = Mid$(Settings, Len(Settings) - 2 - Offset, 1)
cboStopBits.Text = Right$(Settings, 1 + Offset)

cboPort.ListIndex = FormMain.MSComm1.CommPort - 1

optFlow(FormMain.MSComm1.Handshaking) Value = True
If Echo Then
    optEcho(1).Value = True
Else
    optEcho(0).Value = True
End If

End Sub


Private Sub cmdCancel_Click()
Unload Me
End Sub

Private Sub cmdOK_Click()
Dim OldPort As Integer, ReOpen As Boolean

On Error Resume Next

Echo = iTempEcho
OldPort = FormMain.MSComm1.CommPort
NewPort = cboPort.ListIndex + 1

If NewPort <> OldPort Then                    ' If the port number changes,
close the old port.
    If FormMain.MSComm1.PortOpen Then
    FormMain.MSComm1.PortOpen = False
           ReOpen = True
    End If

FormMain.MSComm1.CommPort = NewPort           ' Set the new port number.

    If Err = 0 Then
        If ReOpen Then
           FormMain.MSComm1.PortOpen = True
            frmTerminal.mnuOpen.Checked = FormMain.MSComm1.PortOpen
            frmTerminal.mnuSendText.Enabled = FormMain.MSComm1.PortOpen
            frmTerminal.tbrToolBar.Buttons("TransmitTextFile").Enabled =
FormMain.MSComm1.PortOpen
```

```
        End If
    End If

    If Err Then
        MsgBox Error$, 48
        FormMain.MSComm1.CommPort = OldPort
        Exit Sub
    End If
End If


FormMain.MSComm1 Settings = Trim$(cboSpeed.Text) & "," & Left$(cboParity.Text,
1) _
    & "," & Trim$(cboDataBits.Text) & "," & Trim$(cboStopBits.Text)

If Err Then
    MsgBox Error$, 48
    Exit Sub
End If

FormMain.MSComm1.Handshaking = iFlow
If Err Then
    MsgBox Error$, 48
    Exit Sub
End If

SaveSetting App.Title, "Properties", "Settings", FormMain.MSComm1.Settings
SaveSetting App.Title, "Properties", "CommPort", FormMain.MSComm1.CommPort
SaveSetting App.Title, "Properties", "Handshaking",
FormMain.MSComm1.Handshaking
SaveSetting App.Title, "Properties", "Echo", Echo

Unload Me

End Sub

Private Sub Form_Load()

' Set the form's size
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2

' Size the frame to fit in the tabstrip control
fraSettings.Move tabSettings.ClientLeft, tabSettings.ClientTop

' Make sure the frame is the top most control
fraSettings.ZOrder

' Load current property settings
LoadPropertySettings

End Sub



Private Sub optEcho_Click(Index As Integer)
If Index = 1 Then
    iTempEcho = True
```

```
Else
    iTempEcho = False
End If
End Sub

Private Sub optFlow_Click(Index As Integer)
iFlow = Index
End Sub
```

FormMain.frm

```
VERSION 5.00
Object = "{648A5603-2C6E-101B-82B6-000000000014}#1.1#0"; "MSCOMM32.OCX"
Object = "{831FDD16-0C5C-11D2-A9FC-0000F8754DA1}#2.0#0"; "MSCOMCTL.OCX"
Begin VB.Form FormMain
   Caption         =   "Simple Pendulum Speed Measurement"
   ClientHeight    =   8025
   ClientLeft      =   4710
   ClientTop       =   525
   ClientWidth     =   17775
   Icon            =   "FormMain.frx":0000
   LinkTopic       =   "Form1"
   MaxButton       =   0   'False
   Moveable        =   0   'False
   ScaleHeight     =   8025
   ScaleWidth      =   17775
   StartUpPosition =   1  'CenterOwner
   Begin MSComctlLib.ImageList ImageList1
      Left            =   16800
      Top             =   5160
      _ExtentX        =   1005
      _ExtentY        =   1005
      BackColor       =   -2147483643
      ImageWidth      =   48
      ImageHeight     =   48
      MaskColor       =   12632256
      _Version        =   393216
      BeginProperty Images {2C247F25-8591-11D1-B16A-00C0F0283628}
         NumListImages   =   4
         BeginProperty ListImage1 {2C247F27-8591-11D1-B16A-00C0F0283628}
            Picture         =   "FormMain.frx":030A
            Key             =   ""
         EndProperty
         BeginProperty ListImage2 {2C247F27-8591-11D1-B16A-00C0F0283628}
            Picture         =   "FormMain.frx":1E5E
            Key             =   ""
         EndProperty
         BeginProperty ListImage3 {2C247F27-8591-11D1-B16A-00C0F0283628}
            Picture         =   "FormMain.frx":39B2
            Key             =   ""
         EndProperty
         BeginProperty ListImage4 {2C247F27-8591-11D1-B16A-00C0F0283628}
            Picture         =   "FormMain.frx":5506
            Key             =   ""
         EndProperty
      EndProperty
   End
   Begin MSCommLib.MSComm MSComm1
      Left            =   16800
      Top             =   4680
      _ExtentX        =   1005
      _ExtentY        =   1005
      _Version        =   393216
      DTREnable       =   -1  'True
      BaudRate        =   38400
   End
   Begin VB.Timer Timer1
```

```
   Enabled         =   0   'False
   Interval        =   250
   Left            =   16920
   Top             =   2880
End
Begin VB Timer Timer2
   Enabled         =   0   'False
   Interval        =   400
   Left            =   16920
   Top             =   3240
End
Begin VB.Timer Timer3
   Enabled         =   0   'False
   Interval        =   1000
   Left            =   16920
   Top             =   3600
End
Begin VB.Timer Timer5
   Interval        =   1000
   Left            =   16920
   Top             =   4320
End
Begin VB.Timer Timer4
   Enabled         =   0   'False
   Interval        =   1000
   Left            =   16920
   Top             =   3960
End
Begin VB.Frame FrameMain
   Caption         =   "Simple Pendulum Speed Measurement"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   15.75
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   6255
   Left            =   120
   TabIndex        =   16
   Top             =   1080
   Width           =   17535
   Begin VB.Frame FrameTimeInformation
      Caption         =   "Timing Information"
      BeginProperty Font
         Name            =   "Times New Roman"
         Size            =   14.25
         Charset         =   0
         Weight          =   700
         Underline       =   0   'False
         Italic          =   0   'False
         Strikethrough   =   0   'False
      EndProperty
      Height          =   5655
      Left            =   8280
      TabIndex        =   13
      Top             =   360
```

```
Width           =   9030
Begin VB.TextBox TextRealTime
   Alignment       =   2  'Center
   BackColor       =   &H00000000&
   BeginProperty DataFormat
      Type            =   1
      Format          =   "00:00:00:00"
      HaveTrueFalseNull=   0
      FirstDayOfWeek  =   0
      FirstWeekOfYear =   0
      LCID            =   1054
      SubFormatType   =   0
   EndProperty
   BeginProperty Font
      Name            =   "Arial"
      Size            =   39.75
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   ForeColor       =   &H00FFFF00&
   Height          =   960
   Left            =   3120
   TabIndex        =   4
   Text            =   "00:00:00:00"
   Top             =   1080
   Width           =   4575
End
Begin VB.TextBox TextStopTime
   Alignment       =   2  'Center
   BackColor       =   &H00000000&
   BeginProperty DataFormat
      Type            =   1
      Format          =   "00:00:00:00"
      HaveTrueFalseNull=   0
      FirstDayOfWeek  =   0
      FirstWeekOfYear =   0
      LCID            =   1054
      SubFormatType   =   0
   EndProperty
   BeginProperty Font
      Name            =   "Arial"
      Size            =   39.75
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   ForeColor       =   &H00FFFF00&
   Height          =   990
   Left            =   3120
   TabIndex        =   1
   Text            =   "00:00:00:00"
   Top             =   3240
   Width           =   4575
End
```

```
Begin VB.TextBox TextDurationTime
   Alignment       =   2  'Center
   BackColor       =   &H00000000&
   BorderStyle     =   0  'None
   BeginProperty DataFormat
      Type            =   1
      Format          =   "00:00:00:00"
      HaveTrueFalseNull=   0
      FirstDayOfWeek  =   0
      FirstWeekOfYear =   0
      LCID            =   1054
      SubFormatType   =   0
   EndProperty
   BeginProperty Font
      Name            =   "Arial"
      Size            =   39.75
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   ForeColor       =   &H00FFFF00&
   Height          =   900
   Left            =   3120
   TabIndex        =   2
   Text            =   "00:00:00:00"
   Top             =   4320
   Width           =   4575
End
Begin VB.TextBox TextStartTime
   Alignment       =   2  'Center
   BackColor       =   &H00000000&
   BorderStyle     =   0  'None
   BeginProperty DataFormat
      Type            =   1
      Format          =   "00:00:00:00"
      HaveTrueFalseNull=   0
      FirstDayOfWeek  =   0
      FirstWeekOfYear =   0
      LCID            =   1054
      SubFormatType   =   0
   EndProperty
   BeginProperty Font
      Name            =   "Arial"
      Size            =   39.75
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   ForeColor       =   &H00FFFF00&
   Height          =   915
   Left            =   3120
   TabIndex        =   3
   Text            =   "00:00:00:00"
   Top             =   2160
   Width           =   4560
```

```
End
Begin VB.TextBox Text1
   Height          =   885
   Left            =   3120
   TabIndex        =   0
   Text            =   "Text1"
   Top             =   4320
   Width           =   4575
End
Begin VB.Label LabelRealTime
   Caption         =   "Real Time"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20.25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   495
   Left            =   1200
   TabIndex        =   9
   Top             =   1320
   Width           =   1815
End
Begin VB.Label Label10mS
   Alignment       =   2  'Center
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "10mS"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20.25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   465
   Left            =   6600
   TabIndex        =   8
   Top             =   600
   Width           =   1005
End
Begin VB.Label LabelSS
   Alignment       =   2  'Center
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "SS"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20.25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   465
```

```
   Left            =   5760
   TabIndex        =   7
   Top             =   600
   Width           =   450
End
Begin VB.Label LabelMM
   Alignment       =   2  'Center
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "MM"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20 25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   465
   Left            =   4440
   TabIndex        =   6
   Top             =   600
   Width           =   765
End
Begin VB.Label LabelHH
   Alignment       =   2  'Center
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "HH"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20.25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   465
   Left            =   3360
   TabIndex        =   5
   Top             =   600
   Width           =   645
End
Begin VB Label LabelDuration
   Alignment       =   2  'Center
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "Duration"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   20 25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   465
   Left            =   1320
   TabIndex        =   12
```

```
      Top             =   4560
      Width           =   1635
   End
   Begin VB.Label LabelStart
      Alignment       =   2  'Center
      Appearance      =   0  'Flat
      AutoSize        =   -1  'True
      Caption         =   "Start Time"
      BeginProperty Font
         Name            =   "Times New Roman"
         Size            =   20.25
         Charset         =   0
         Weight          =   700
         Underline       =   0   'False
         Italic          =   0   'False
         Strikethrough   =   0   'False
      EndProperty
      ForeColor       =   &H80000008&
      Height          =   465
      Left            =   1080
      TabIndex        =   10
      Top             =   2400
      Width           =   1905
   End
   Begin VB.Label LabelStop
      Alignment       =   2  'Center
      Appearance      =   0  'Flat
      AutoSize        =   -1  'True
      Caption         =   "Stop Time"
      BeginProperty Font
         Name            =   "Times New Roman"
         Size            =   20.25
         Charset         =   0
         Weight          =   700
         Underline       =   0   'False
         Italic          =   0   'False
         Strikethrough   =   0   'False
      EndProperty
      ForeColor       =   &H80000008&
      Height          =   465
      Left            =   1200
      TabIndex        =   11
      Top             =   3480
      Width           =   1815
   End
End
Begin VB.Frame FrameMovementInformation
   Caption         =   "Moving Information"
   BeginProperty Font
      Name            =   "Times New Roman"
      Size            =   14.25
      Charset         =   0
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
   Height          =   5655
   Left            =   240
```

```
TabIndex        =   14
Top             =   360
Width           =   7815
Begin VB.Line Line3
   BorderStyle      =   4  'Dash-Dot
   BorderWidth      =   3
   Visible          =   0   'False
   X1               =   6360
   X2               =   3960
   Y1               =   3960
   Y2               =   1080
End
Begin VB.Shape ShapeCircle3
   FillColor        =   &H8000000F&
   FillStyle        =   0  'Solid
   Height           =   615
   Left             =   6000
   Shape            =   3  'Circle
   Top              =   3960
   Width            =   735
End
Begin VB.Shape ShapeCircle1
   FillColor        =   &H8000000F&
   FillStyle        =   0  'Solid
   Height           =   615
   Left             =   1200
   Shape            =   3  'Circle
   Top              =   3960
   Width            =   735
End
Begin VB.Line Line1
   BorderWidth      =   3
   Visible          =   0   'False
   X1               =   1560
   X2               =   3960
   Y1               =   3960
   Y2               =   1080
End
Begin VB Line Line2
   BorderStyle      =   4  'Dash-Dot
   BorderWidth      =   3
   Visible          =   0   'False
   X1               =   3960
   X2               =   3960
   Y1               =   4440
   Y2               =   1080
End
Begin VB.Shape Shape3
   BorderStyle      =   0  'Transparent
   FillColor        =   &H8000000F&
   FillStyle        =   0  'Solid
   Height           =   855
   Left             =   1440
   Top              =   3360
   Width            =   5055
End
Begin VB.Label LabelCStop
   Alignment        =   2  'Center
   AutoSize         =   -1  'True
```

```
   Caption         =   "Stop"
   BeginProperty Font
      Name         =   "MS Sans Serif"
      Size         =   12
      Charset      =   222
      Weight       =   700
      Underline    =   0   'False
      Italic       =   0   'False
      Strikethrough =  0   'False
   EndProperty
   Height          =   300
   Left            =   6720
   TabIndex        =   19
   Top             =   4080
   Width           =   615
End
Begin VB.Label LabelCStart
   AutoSize        =   -1  'True
   Caption         =   "Start"
   BeginProperty Font
      Name         =   "MS Sans Serif"
      Size         =   12
      Charset      =   222
      Weight       =   700
      Underline    =   0   'False
      Italic       =   0   'False
      Strikethrough =  0   'False
   EndProperty
   Height          =   300
   Left            =   600
   TabIndex        =   18
   Top             =   4080
   Width           =   615
End
Begin VB.Shape Shape4
   FillStyle       =   7  'Diagonal Cross
   Height          =   615
   Left            =   3480
   Top             =   480
   Width           =   975
End
Begin VB.Shape ShapeCircle2
   FillColor       =   &H8000000F&
   FillStyle       =   0  'Solid
   Height          =   615
   Left            =   3600
   Shape           =   3  'Circle
   Top             =   4440
   Width           =   735
End
Begin VB.Shape Shape2
   FillColor       =   &H8000000F&
   FillStyle       =   0  'Solid
   Height          =   855
   Left            =   1680
   Shape           =   2  'Oval
   Top             =   3720
   Width           =   4575
End
```

```
      Begin VB.Shape Shape1
         FillColor       =   &H00FFFF00&
         FillStyle       =   0  'Solid
         Height          =   1335
         Left            =   1440
         Shape           =   2  'Oval
         Top             =   3600
         Width           =   5055
      End
   End
End
Begin MSComctlLib.StatusBar sbrStatus
   Height          =   435
   Left            =   120
   TabIndex        =   17
   Top             =   7440
   Width           =   17535
   _ExtentX        =   30930
   _ExtentY        =   767
   _Version        =   393216
   BeginProperty Panels {8E3867A5-8586-11D1-B16A-00C0F0283628}
      NumPanels       =   3
      BeginProperty Panel1 {8E3867AB-8586-11D1-B16A-00C0F0283628}
         AutoSize        =   2
         Object.Width            =   4419
         MinWidth        =   4410
         Text            =   "Connect Status :"
         TextSave        =   "Connect Status :"
         Key             =   "Status"
         Object.ToolTipText     =   "Communications Port Status"
      EndProperty
      BeginProperty Panel2 {8E3867AB-8586-11D1-B16A-00C0F0283628}
         AutoSize        =   1
         Object.Width            =   22015
         MinWidth        =   2
         Text            =   "Port Settings :"
         TextSave        =   "Port Settings :"
         Key             =   "Settings"
         Object.ToolTipText     =   "Communications Port Settings"
      EndProperty
      BeginProperty Panel3 {8E3867AB-8586-11D1-B16A-00C0F0283628}
         AutoSize        =   2
         Object.Width            =   4419
         MinWidth        =   4410
         Text            =   "Connect Time :"
         TextSave        =   "Connect Time :"
         Key             =   "ConnectTime"
         Object.ToolTipText     =   "Connect Time"
      EndProperty
   EndProperty
   BeginProperty Font {0BE35203-8F91-11CE-9DE3-00AA004BB851}
      Name            =   "MS Sans Serif"
      Size            =   8.25
      Charset         =   222
      Weight          =   700
      Underline       =   0   'False
      Italic          =   0   'False
      Strikethrough   =   0   'False
   EndProperty
```

```
End
Begin MSComctlLib.Toolbar Toolbar1
   Align           =   1  'Align Top
   Height          =   1050
   Left            =   0
   TabIndex        =   15
   Top             =   0
   Width           =   17775
   _ExtentX        =   31353
   _ExtentY        =   1852
   ButtonWidth     =   1482
   ButtonHeight    =   1799
   Wrappable       =   0   'False
   Appearance      =   1
   Style           =   1
   ImageList       =   "ImageList1"
   _Version        =   393216
   BeginProperty Buttons {66833FE8-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
      NumButtons      =   16
      BeginProperty Button1 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button2 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button3 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button4 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button5 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button6 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button7 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button8 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Caption         =   "Comport"
         Key             =   "Comport1"
         Object ToolTipText     =   "Comport Setting"
         ImageIndex      =   1
      EndProperty
      BeginProperty Button9 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Enabled         =   0   'False
         Style           =   2
      EndProperty
      BeginProperty Button10 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
         Style           =   3
```

```
        EndProperty
        BeginProperty Button11 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Caption         =   "Start"
           Key             =   "Start1"
           Object.ToolTipText     =   "Start"
           ImageIndex      =   2
        EndProperty
        BeginProperty Button12 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Enabled         =   0   'False
           Style           =   2
        EndProperty
        BeginProperty Button13 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Caption         =   "Stop"
           Key             =   "Stop1"
           Object.ToolTipText     =   "Stop"
           ImageIndex      =   3
        EndProperty
        BeginProperty Button14 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Style           =   3
        EndProperty
        BeginProperty Button15 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Enabled         =   0   'False
           Style           =   2
        EndProperty
        BeginProperty Button16 {66833FEA-8583-11D1-B16A-00C0F0283628}
           Caption         =   "Exit"
           Key             =   "Exit1"
           Object.ToolTipText     =   "Exit"
           ImageIndex      =   4
        EndProperty
     EndProperty
     BorderStyle     =   1
  End
End
Attribute VB_Name = "FormMain"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
     Dim StartTime As Date
     Dim z As Double
     Dim t As String
     Dim MovingData As Byte

     Dim strbuffer As String
     Dim strbuffer1 As String
     Dim strbuffer2 As String

     Dim HourStart As String
     Dim MinuteStart As String
     Dim SecondStart As String
     Dim mSStart As String

     Dim HourStop As String
     Dim MinuteStop As String
     Dim SecondStop As String
     Dim mSStop As String
```

```
        Dim HourDuration As String
        Dim MinuteDuration As String
        Dim SecondDuration As String
        Dim mSDuration As String

Private Sub Form_Load()

Dim CommPort As String, Handshaking As String, Settings As String

        Toolbar1.Buttons("Stop1").Enabled = False

        ShapeCircle1.Visible = False
        ShapeCircle2.Visible = True
        ShapeCircle3.Visible = False
        ShapeCircle2 FillColor = &H8080FF

        Shape1.Visible = False
        Shape2.Visible = False

        Line1.Visible = False
        Line2.Visible = True
        Line3.Visible = False

        LabelCStart.Visible = False
        LabelCStop Visible = False

      TextStartTime.Locked = True
        Timer1 Enabled = False
        Timer2.Enabled = False
        Timer3 Enabled = False
        Timer4 Enabled = False
        Timer5 Enabled = True
        z = Timer

        sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = "Present Time : " & Format(Now,
"hh nn:ss")

Settings = GetSetting(App.Title, "Properties", "Settings", "")
        If Settings <> "" Then
          MSComm1.Settings = Settings
          If Err Then
              MsgBox Error$, 48
              Exit Sub
          End If
        End If

        CommPort = GetSetting(App.Title, "Properties", "CommPort", "")
        If CommPort <> "" Then MSComm1 CommPort = CommPort

        Handshaking = GetSetting(App.Title, "Properties", "Handshaking", "")
        If Handshaking <> "" Then
          MSComm1 Handshaking = Handshaking
          If Err Then
              MsgBox Error$, 48
              Exit Sub
          End If
        End If
        On Error GoTo 0
```

```
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
   '-------------------------------------------
   '                Recive Data
   '-------------------------------------------
  Dim strbuffer As String
     If MSComm1.CommEvent Then
        strbuffer = MSComm1.Input
        End If

        strbuffer1 = Right(strbuffer1 & strbuffer, 47)
        strbuffer2 = Left(strbuffer1, 47)
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
   '-------------------------------------------
   '                Send Data
   '-------------------------------------------
      If MSComm1.PortOpen = False Then
         MSComm1 PortOpen = True
      Else
         MSComm1 OutBufferCount = 0
         MSComm1 Output = Chr(&H1) & Chr(&H52) & Chr(&HD)
         MSComm1.RThreshold = 1
      End If

End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
      MovingData = MovingData + 1
      Select Case MovingData
       Case "1"
            ShapeCircle1 FillColor = &H8080FF
            Line1 Visible = True
            Line2.Visible = False
            Line3.Visible = False
       Case "2"
            ShapeCircle2 FillColor = &H8080FF
            Line1 Visible = False
            Line2.Visible = True
            Line3.Visible = False
       Case "3"
            ShapeCircle3 FillColor = &H8080FF
            Line1.Visible = False
            Line2.Visible = False
            Line3.Visible = True
       Case "4"
            ShapeCircle1.FillColor = &H8000000F
            ShapeCircle2 FillColor = &H8000000F
            ShapeCircle3 FillColor = &H8000000F

            Line1.Visible = True
            Line2.Visible = False
            Line3 Visible = False
            MovingData = 0
       End Select
End Sub
```

```
Private Sub Timer3_Timer()
      sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = "Connect Time : " & Format(Now -
StartTime, "hh:nn:ss") & " "
      t = Timer - z

      HourDuration = Mid(strbuffer1, 37, 2)
      MinuteDuration = Mid(strbuffer1, 40, 2)
      SecondDuration = Mid(strbuffer1, 43, 2)
      mSDuration = Mid(strbuffer1, 46, 2)
      TextRealTime.Text = Mid(strbuffer1, 1, 11)
      TextStartTime.Text = Mid(strbuffer1, 13, 11)
      TextStopTime.Text = Mid(strbuffer1, 25, 11)
      TextDurationTime.Text = Mid(strbuffer1, 37, 11)

End Sub
Private Sub Timer4_Timer()
      Timer3.Interval = 1000
      Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer5_Timer()
sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = "Present Time : " & Format(Now,
"hh:nn:ss")
End Sub

Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As MSComctlLib.Button)
      Select Case Button.Key

      Case "Comport1"
      FormCommPort.Show

      Case "Start1"
            Timer1.Interval = 250
            Timer1.Enabled = True
            Timer2.Enabled = True
            Timer3.Interval = 1000
            Timer4.Enabled = True
            Timer5.Enabled = False

            sbrStatus.Panels("Status").Text = "Status : " & "Connecting"
            sbrStatus.Panels("Settings").Text = "Port Settings : Port No.:" &
MSComm1.CommPort & " , Speed : " & MSComm1.Settings

            StartTime = Now
            sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = "Connect Time : " &
Format(Now - StartTime, "hh:nn:ss") & " "

            Toolbar1.Buttons("Start1").Enabled = False
            Toolbar1.Buttons("Comport1").Enabled = False
            Toolbar1.Buttons("Stop1").Enabled = True

            ShapeCircle1.FillColor = &H8000000F
            ShapeCircle2.FillColor = &H8000000F
            ShapeCircle3.FillColor = &H8000000F

            ShapeCircle1.Visible = True
            ShapeCircle2.Visible = True
            ShapeCircle3.Visible = True
```

```
            Shape1.Visible = True
            Shape2.Visible = True

            Line1.Visible = True
            Line2.Visible = False
            Line3.Visible = False

            LabelCStart.Visible = True
            LabelCStop.Visible = True

      Case "Stop1"
            ShapeCircle1.Visible = False
            ShapeCircle2.Visible = True
            ShapeCircle3.Visible = False
            ShapeCircle2.FillColor = &H8080FF

            Shape1.Visible = False
            Shape2.Visible = False

            Line1.Visible = False
            Line2.Visible = True
            Line3.Visible = False
            MovingData = 0

            TextRealTime.Text = "00:00:00:00"
            TextStartTime.Text = "00:00:00:00"
            TextStopTime.Text = "00:00:00:00"
            TextDurationTime.Text = "00:00:00:00"

            Timer1.Enabled = False
            Timer2.Enabled = False
            Timer3.Enabled = False
            Timer4.Enabled = False
            Timer5.Enabled = True
            MSComm1.PortOpen = False
            sbrStatus.Panels("Status").Text = "Status : " & "Disconnect"
            sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = ""
            sbrStatus.Panels("ConnectTime").Text = "Present Time : " &
Format(Now, "hh:nn:ss")

            Toolbar1.Buttons("Start1").Enabled = True
            Toolbar1.Buttons("Comport1").Enabled = True
            Toolbar1.Buttons("Stop1").Enabled = False

            LabelCStart.Visible = False
            LabelCStop.Visible = False

      Case "Exit1"
      Unload Me

      End Select
End Sub
```

SimplePemdulum SpeedMeasurement.vbp

```
Type=Exe
Reference=*\G{00020430-0000-0000-C000-
000000000046}#2 0#0#..\..\..\..\WINDOWS\SYSTEM32\stdole2 tlb#OLE Automation
Object={F9043C88-F6F2-101A-A3C9-08002B2F49FB}#1.2#0; comdlg32.ocx
Object={648A5603-2C6E-101B-82B6-000000000014}#1.1#0; MSCOMM32.OCX
Object={5E9E78A0-531B-11CF-91F6-C2863C385E30}#1.0#0; MSFLXGRD.OCX
Object={38911DA0-E448-11D0-84A3-00DD01104159}#1.1#0; COMCT332.OCX
Object={BDC217C8-ED16-11CD-956C-0000C04E4C0A}#1.1#0; Tabctl32.ocx
Object={831FDD16-0C5C-11D2-A9FC-0000F8754DA1}#2.0#0; MSCOMCTL.OCX
Form=FormCommPort.frm
Reference=*\G{6B263850-900B-11D0-9484-
00A0C91110ED}#1.0#0#..\..\..\..\WINDOWS\system32\MSSTDFMT.DLL#Microsoft Data
Formatting Object Library 6.0 (SP4)
Form=FormMain.frm
IconForm="FormMain"
Startup="FormMain"
HelpFile=""
Title="Simple Pendulum Speed Measurement"
ExeName32="Simple Pendulum Speed Measurement.exe"
Command32=""
Name="SimplePendulumSpeedMeasurement"
HelpContextID="0"
Description="Simple Pendulum Speed Measurement"
CompatibleMode="0"
MajorVer=1
MinorVer=0
RevisionVer=0
AutoIncrementVer=0
ServerSupportFiles=0
VersionCompanyName="."
CompilationType=0
OptimizationType=0
FavorPentiumPro(tm)=0
CodeViewDebugInfo=0
NoAliasing=0
BoundsCheck=0
OverflowCheck=0
FlPointCheck=0
FDIVCheck=0
UnroundedFP=0
StartMode=0
Unattended=0
Retained=0
ThreadPerObject=0
MaxNumberOfThreads=1
DebugStartupOption=0

[MS Transaction Server]
AutoRefresh=1
```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-ชื่อสกุล	นางธัญรส เหมจินดา
วัน เดือน ปีเกิด	8 พฤษภาคม 2515
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 216/106 หมู่บ้านพิกุลแก้ว ถนนพัฒนาการคูขวาง ตำบลปากนคร อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 8000
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	ครูชำนาญการ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ นครศรีธรรมราช อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80290

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2533	มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2537	วท.บ. (ศึกษาศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี
พ.ศ. 2555	วท.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช