

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างชุดทดลองการตกอย่างอิสระ โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ 2) จำลองกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระตามทฤษฎีด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 3) เปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี 4) เปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี และ 5) เปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กับชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

1. ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ
2. ผลการจำลองกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระตามทฤษฎีด้วยโปรแกรม Microsoft Excel
3. ผลการเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี
4. ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี
5. ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนกับชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

### ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือจำนวน 2 ชุดคือ ชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ และชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ได้ง่าย ประหยัดเวลาในการทดลอง และมีความถูกต้องแม่นยำสูงโดยมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีเท่ากับ 0.0184 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือผู้วิจัยได้แสดงไว้ในบทที่ 3 เรื่องการออกแบบชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ และเรื่องการออกแบบชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องมือทั้ง 2 ชุดนี้นอกจากจะใช้กับการทดลองเพื่อหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองในเรื่องอื่นๆ เช่น แรงเสียดทาน ขนาดแรงต้านอากาศ แรงหนีศูนย์กลาง ความเร็ว ความเร่ง ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นต้น

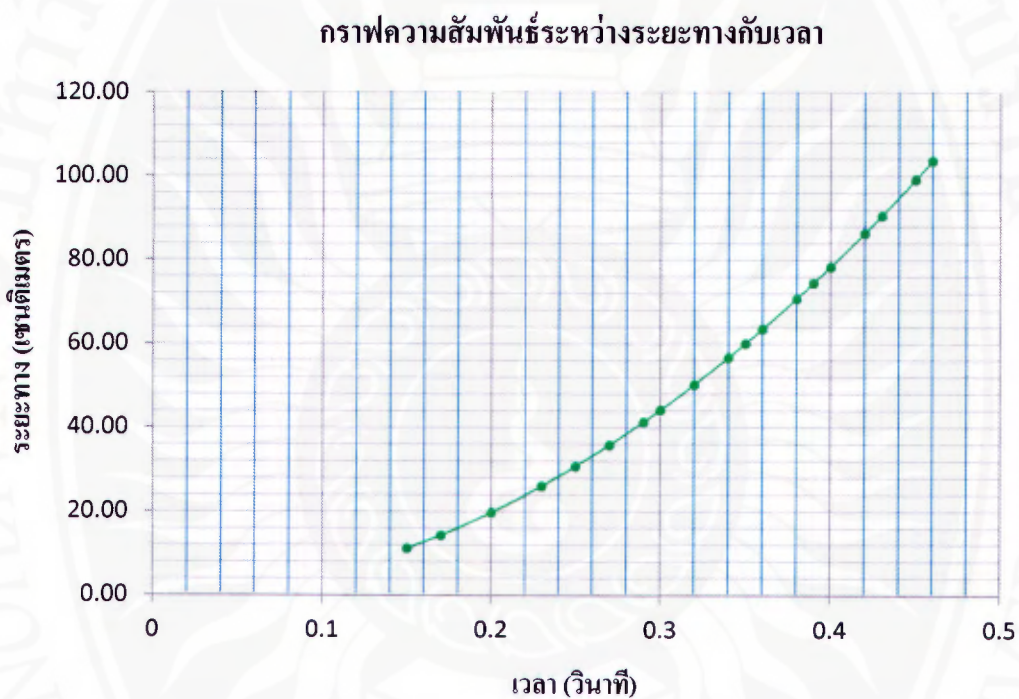


ภาพที่ 4.1 ชุดทดลองที่เสร็จสมบูรณ์

## ผลการจำลองกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระตามทฤษฎีด้วยโปรแกรม

### Microsoft Excel

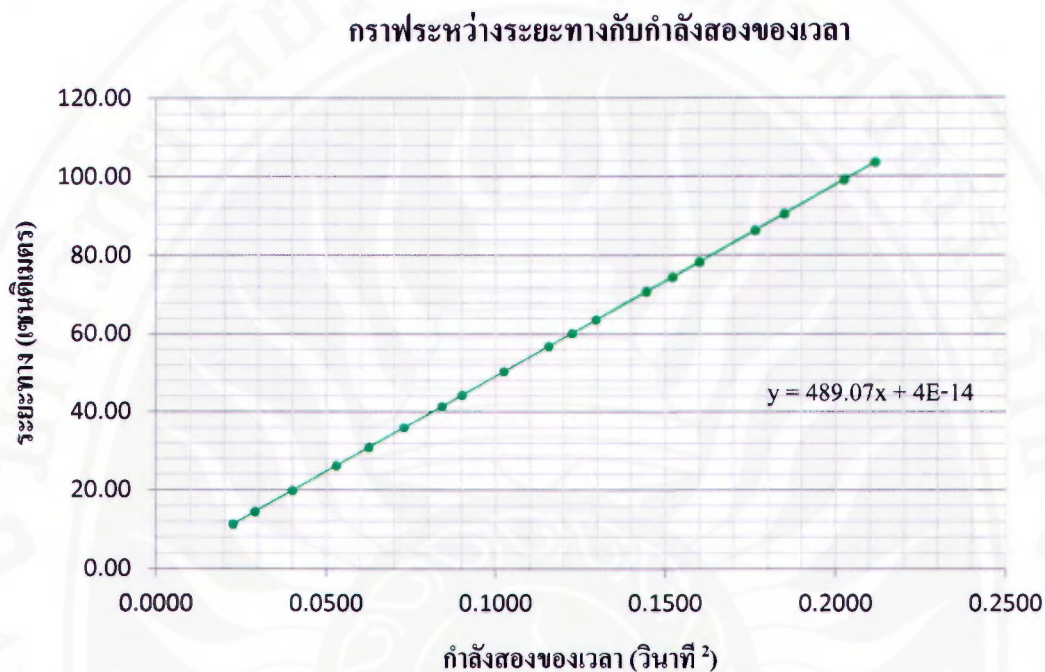
ผลจากการจำลองกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาตามทฤษฎีโดยใช้ค่าความเร่งเท่ากับ  $9.7814$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> ซึ่งเป็นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ละติจูด  $8$  องศา  $41$  ลิปดา  $96$  ฟลิปดาเหนือและใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งได้ผลดังนี้



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี



จากการจำลองกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาตามทฤษฎี  
ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎีมีค่าความชันเท่ากับ 489.07 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> ความเร่งของกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาเป็น 2 เท่าของความชัน ดังนั้นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 978.14 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> หรือเท่ากับ 9.7814 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

## ผลการเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี

ในการเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์เรียงตามลำดับดังนี้ ผลจากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ และผลการเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี

### 1. ผลจากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ

ในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จากการใช้ชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ โดยปล่อยให้วัตถุตกอย่างอิสระแล้วจับเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่งและทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง ดังตารางที่ 4.1 หลังจากนั้นเปลี่ยนตำแหน่งการจับเวลา ดังตารางที่ 4.2 – 4.4 แล้วนำค่าระยะทาง ค่าเฉลี่ยของเวลาและกำลังสองของเวลาของการทดลองทั้ง 4 ครั้งมารวมโดยเรียงตามลำดับค่าของระยะทาง ดังตารางที่ 4.5 นำค่าของระยะทางกับเวลา และระยะทางกับกำลังสองของเวลาไปเขียนกราฟ ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาครั้งที่ 1

ระยะทาง (เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)					ค่าเฉลี่ย	$t^2$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
10.00	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.0225
30.00	0.24	0.25	0.25	0.24	0.25	0.25	0.0625
50.00	0.31	0.32	0.33	0.31	0.32	0.32	0.1024
70.00	0.37	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38	0.1444
90.00	0.42	0.43	0.44	0.42	0.43	0.43	0.1849

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาครั้งที่ 2

ระยะทาง (เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)					ค่าเฉลี่ย	$t^2$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
15.00	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.0289
35.00	0.26	0.27	0.27	0.26	0.27	0.27	0.0729
55.00	0.33	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34	0.1156
75.00	0.38	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.1521
95.00	0.44	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.2025

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาครั้งที่ 3

ระยะทาง (เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)					ค่าเฉลี่ย	$t^2$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
20.00	0.20	0.19	0.19	0.21	0.20	0.20	0.0400
40.00	0.29	0.28	0.29	0.30	0.29	0.29	0.0841
60.00	0.35	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.1225
80.00	0.40	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.1600
100.00	0.45	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.2025

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาครั้งที่ 4

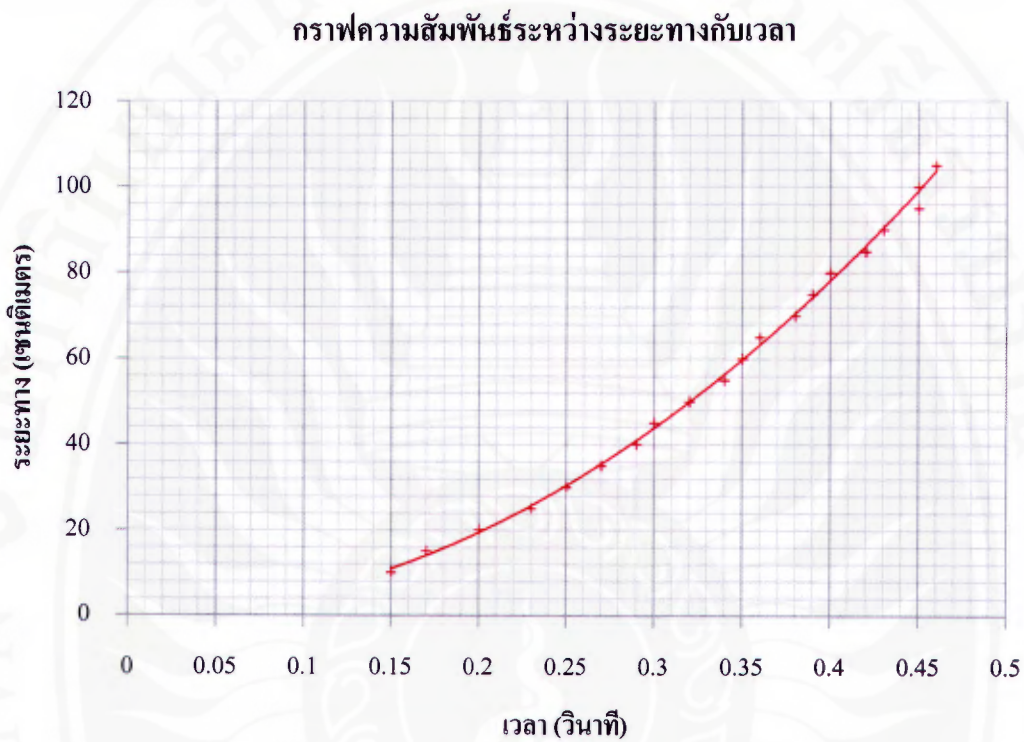
ระยะทาง (เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)					ค่าเฉลี่ย	$t^2$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
25.00	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.0529
45.00	0.29	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30	0.0900
65.00	0.35	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.1296
85.00	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42	0.1764
105.00	0.45	0.46	0.46	0.45	0.46	0.46	0.2116



ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ค่าเฉลี่ยของเวลา และกำลังสองของเวลา

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยของเวลา (วินาที)	$t^2$ (วินาที <sup>2</sup> )
10.00	0.15	0.0225
15.00	0.17	0.0289
20.00	0.20	0.0400
25.00	0.23	0.0529
30.00	0.25	0.0625
35.00	0.27	0.0729
40.00	0.29	0.0841
45.00	0.30	0.0900
50.00	0.32	0.1024
55.00	0.34	0.1156
60.00	0.35	0.1225
65.00	0.36	0.1296
70.00	0.38	0.1444
75.00	0.39	0.1521
80.00	0.40	0.1600
85.00	0.42	0.1764
90.00	0.43	0.1849
95.00	0.45	0.2025
100.00	0.45	0.2025
105.00	0.46	0.2116

นำค่าของระยะทางกับเวลาที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟโดยให้เวลาอยู่ในแกน x และระยะทางอยู่ในแกน y ดังแสดงในภาพที่ 4.4

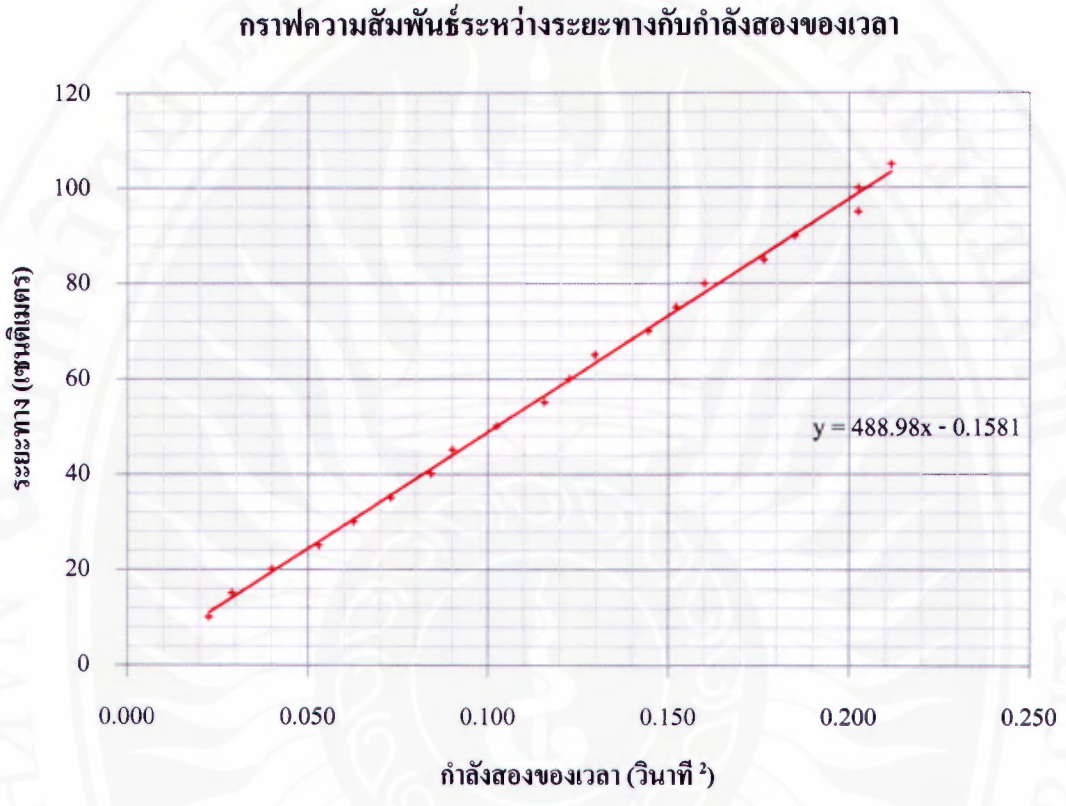


ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากการทดลองพบว่าเส้นแนวโน้มของกราฟเป็นกราฟเส้นโค้งสอดคล้องตามทฤษฎี



นำค่าของระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟโดยให้กำลังสองของเวลาอยู่ในแกน x และ ระยะทางอยู่ในแกน y ดังแสดงในภาพที่ 4.5

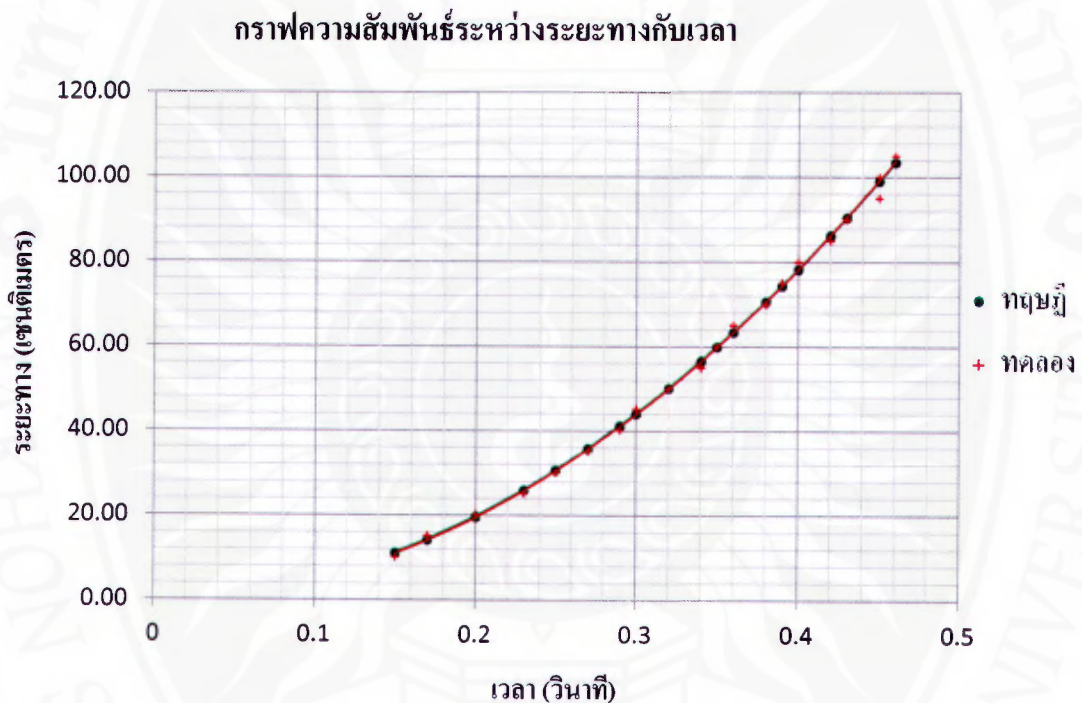


ภาพที่ 4.5 กราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองเวลาที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการทดลองมีค่าความชันเท่ากับ 488.98 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> ความเร่งของกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลา เป็น 2 เท่าของความชัน ดังนั้นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 977.96 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> หรือเท่ากับ 9.7796 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

## 2. ผลการเปรียบเทียบกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี

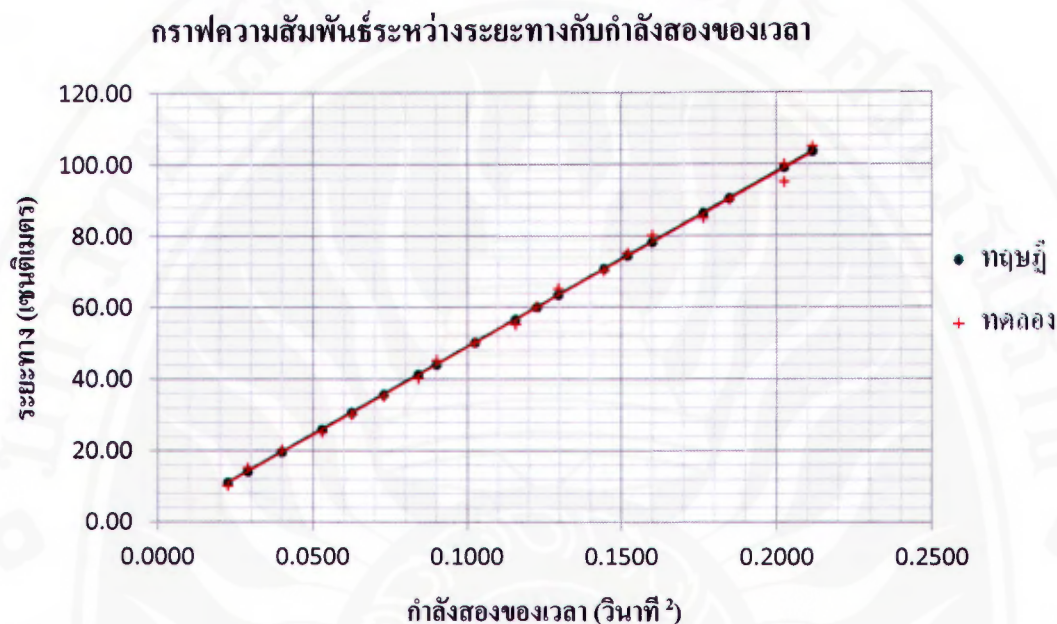
จากสมการ  $s = ut + \frac{1}{2}gt^2$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณค่าความเร่ง  $g$  เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นกับเวลา และอยู่ในรูปของสมการพาราโบลา  $y = ax^2 + bx + c$  นำค่าของระยะทางกับเวลาที่ได้จากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองการตกอย่างอิสระและค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎีมาเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ได้ผลการเปรียบเทียบดังภาพที่ 4.5 และเมื่อนำระยะทางกับกำลังสองของเวลามาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงตามสมการ  $y = mx + c$  ผลการเปรียบเทียบดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กราฟระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากชุดทดลองและการจำลองทางทฤษฎี

จากภาพที่ 4.6 พบว่ากราฟที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับกราฟที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎีส่วนใหญ่ซ้อนทับกันแสดงว่าคุณค่าที่ได้จากชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

เมื่อนำค่าของระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการทดลองและการคำนวณจากทฤษฎีมาเขียนกราฟในระบบพิกัดฉากเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากชุดทดลองและการจำลองทางทฤษฎี

ผลการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎีพบว่ากราฟส่วนใหญ่ซ้อนทับกันซึ่งตรงกับสมมติฐานที่ว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุกับการจำลองทางทฤษฎีเชิงตัวเลขที่เขียนด้วยโปรแกรม Microsoft Excel มีค่าใกล้เคียงกัน



### ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎีสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ใช้ค่าความเร่งเชิงลวดิจิตัลโดยใช้ตำแหน่งที่ตั้งของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งตั้งอยู่ ณ ละติจูด 8 องศา 41 ลิปดา 96 พิลิปดาเหนือ รายละเอียดดังแสดงไว้ในบทที่ 2 เรื่องค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎี โดยมีค่าเท่ากับ 978.14 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> หรือเท่ากับ 9.7814 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ส่วนค่าความเร่งที่ได้จากการทดลอง หาได้จาก 2 เท่าของความชันของกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลา รายละเอียดดังแสดงไว้ในบทที่ 2 เรื่องวิธีการหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งความชันของกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้มีค่าความชันเท่ากับ 488.98 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ดังนั้นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 977.96 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> หรือมีค่าเท่ากับ 9.7796 เมตร/วินาที<sup>2</sup> และนำมาเปรียบเทียบกับร้อยละของความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีได้ดังนี้

$$= \frac{|977.96 - 978.14|}{978.14} \times 100$$

$$= 0.0184$$

ดังนั้นร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเทียบกับทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.0184

## ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนกับชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

การเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนผู้วิจัยใช้ชุดทดลองในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 เล่ม 1 ซึ่งจัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์เรียงตามลำดับดังนี้ ผลจากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียน การเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นและการเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับชุดทดลองตามหนังสือเรียน

### 1. ผลจากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียน

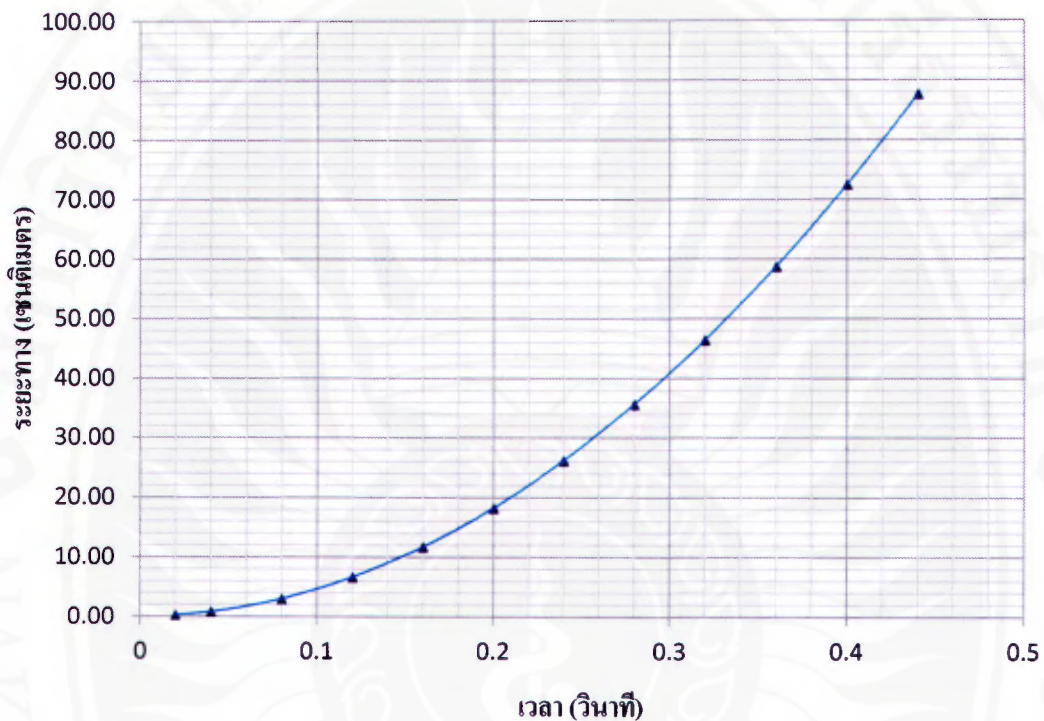
ผลการทดลองในครั้งนี้ ได้จากการทดลองโดยมีวิธีการทดลองดังแสดงในบทที่ 2 เรื่อง เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียน

เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เซนติเมตร)	$t^2$ (วินาที <sup>2</sup> )
0.02	0.18	0.0004
0.04	0.72	0.0016
0.08	2.90	0.0064
0.12	6.52	0.0144
0.16	11.58	0.0256
0.20	18.10	0.0400
0.24	26.05	0.0576
0.28	35.50	0.0784
0.32	46.34	0.1024
0.36	58.64	0.1296
0.40	72.40	0.1600
0.44	87.60	0.1936

เมื่อนำค่าของระยะทางกับเวลาและระยะทางกับกำลังสองของเวลามาเขียนกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 4.8

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา

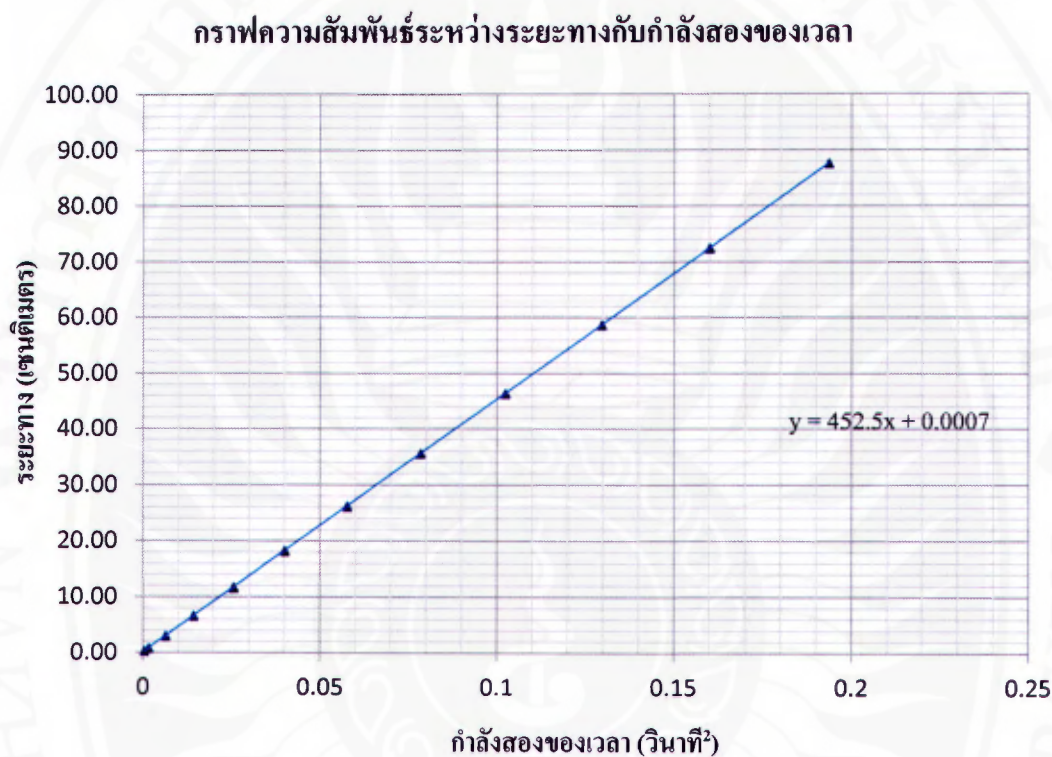


ภาพที่ 4.8 กราฟระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียน

จากกราฟระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จากการใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียนพบว่า เส้นแนวโน้มของกราฟเป็นกราฟเส้นโค้งเช่นเดียวกับชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นแสดงว่าผลการทดลองสอดคล้องตามทฤษฎี



เมื่อนำค่าของระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียนมาเขียนกราฟโดยให้กำลังสองของเวลาอยู่ในแกน x และระยะทางอยู่ในแกน y จะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียน

จากกราฟในภาพที่ 4.9 พบว่าค่าความชันของกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียนมีค่า 452.5 แสดงว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งหาจากสองเท่าของความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ 905.00 เซนติเมตร/วินาที<sup>2</sup> หรือเท่ากับ 9.05 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

## 2. ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนกับชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ในการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบโดยการใช้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{ร้อยละของความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี})}{\text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$$

2.1 การหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียน

$$\begin{aligned} &= \frac{|905.00 - 978.14|}{978.14} \times 100 \\ &= 7.4775 \end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียนเทียบกับทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 7.4775

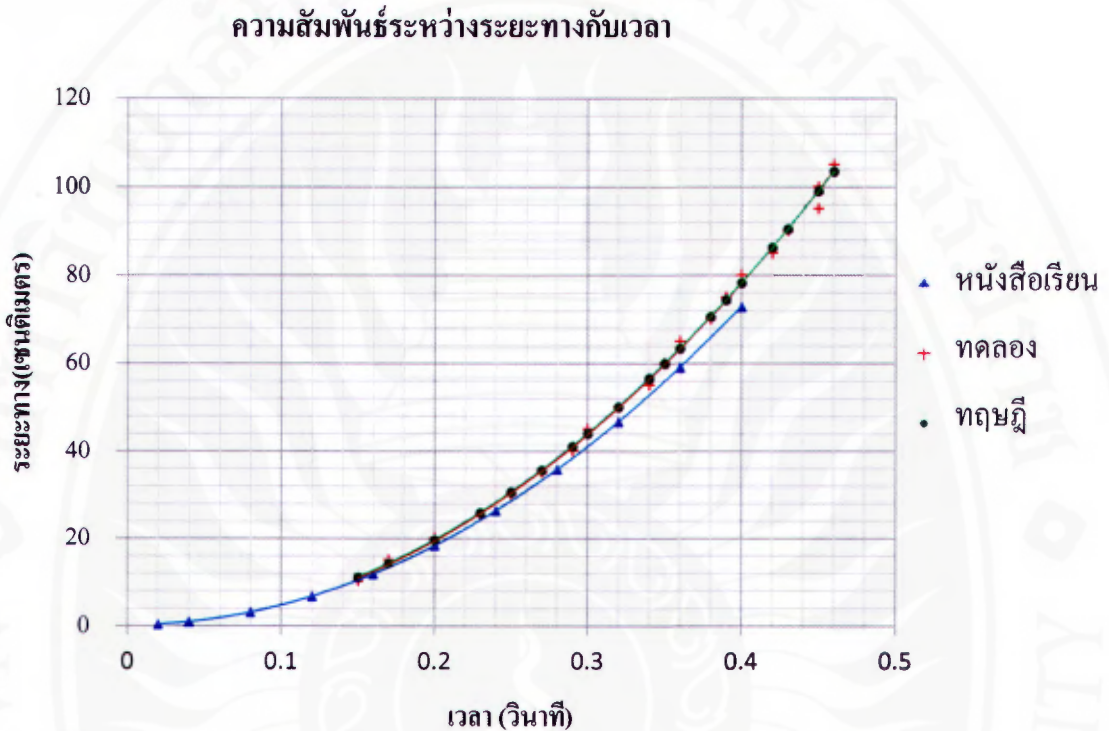
2.2 การหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

$$\begin{aligned} &= \frac{|977.96 - 978.14|}{978.14} \times 100 \\ &= 0.0184 \end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละของความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเทียบกับทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.0184

จากการเปรียบเทียบผลร้อยละของความคลาดเคลื่อนของชุดทดลองทั้ง 2 ชุดพบว่า ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีน้อยกว่าที่ได้จากการใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียน ซึ่งตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ชุดและข้อมูลจากการจำลองมาเขียนกราฟระหว่างระยะทางกับเวลาจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.10

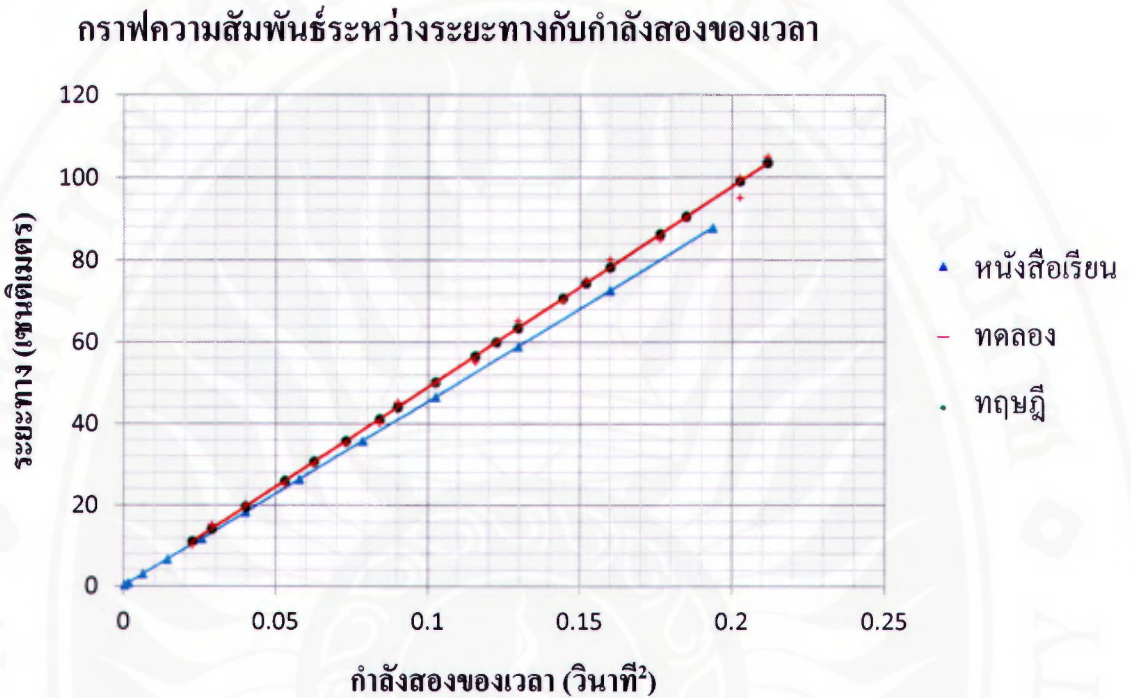


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบกราฟระหว่างระยะทางกับเวลา

จากภาพที่ 4.10 พบว่ากราฟที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับกราฟที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎีส่วนใหญ่ซ้อนทับกัน แต่กราฟที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนไม่ซ้อนทับกับกราฟที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี แสดงว่าผลการทดลองที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำกว่าผลการทดลองที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียน



เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ชุดและข้อมูลจากการจำลองมาเขียนกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาเวลาจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลา

ความชันของกราฟระหว่างระยะทางกับกำลังสองของเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันกับความชันของกราฟที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี แต่ความชันของกราฟที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียนน้อยกว่าความชันของกราฟที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี แสดงว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำกว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากชุดทดลองตามหนังสือเรียน

### 3. ผลการเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับชุดทดลองตามหนังสือเรียน

ในการเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยระหว่างชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับชุดทดลองตามหนังสือเรียนมีผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยของชุดทดลอง

ลำดับ ที่	รายการ	ชุดทดลอง ตามหนังสือเรียน	ชุดทดลอง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น
1	ความละเอียดของเวลา	0.02 วินาที	0.01 วินาที
2	วิธีการเก็บค่าที่วัดได้	บันทึกเอง	บันทึกด้วยไมโครชิพ
3	ใช้กระบวนการกลุ่มในการทดลอง	ใช่	ใช่
4	ใช้ทักษะการวัด	ใช่	ใช่
5	การส่งผ่านข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น	ไม่ได้	ได้
6	เวลาที่ใช้ในการทดลองและติดตั้งอุปกรณ์	10 นาที	5 นาที
7	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	30 นาที	10 นาที
8	ความยากง่ายในการใช้ชุดทดลอง	ใช้ง่าย	ใช้ง่าย
9	การใช้วัสดุสิ้นเปลือง	ใช่	ไม่ใช่
10	ราคาของชุดทดลองและวัสดุ	4,700 บาท	12,500 บาท
11	ร้อยละของความคลาดเคลื่อน	7.4775	0.0184

จากการเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยของชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับชุดทดลองตามหนังสือเรียนจะเห็นได้ว่าชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีจุดเด่นในด้านความละเอียดของเวลามากกว่าวิธีการเก็บค่าที่วัดได้บันทึกด้วยไมโครชิพซึ่งสามารถกลับมาดูซ้ำได้ สามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องฉายภาพ ใช้เวลาในการทดลองติดตั้งอุปกรณ์และการวิเคราะห์ข้อมูลน้อย ไม่มีการใช้วัสดุสิ้นเปลืองและค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ส่วนชุดทดลองตามหนังสือเรียนมีจุดเด่นในด้านราคาของชุดทดลองถูกกว่า แต่ต้องเปลี่ยนแถบกระดาษทุกครั้งที่ในการทดลอง ซึ่งเป็นวัสดุสิ้นเปลือง ในด้านการใช้กระบวนการกลุ่มในการทดลอง การใช้ทักษะการวัด และความยากง่ายในการใช้ชุดทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน