



การศึกษาความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตัน
ในระยะความสูงไม่เกินสามเมตรโดยใช้สมาร์ตโฟน

Educating terminal velocity in event of free falling of shuttlecock
in three meter of height by using smart phone

กฤษกร บุญประเสริฐ^{1*} ศกามาศ สุขเมือง² และ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ¹

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10100

²หมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนหอวัง แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

*E-mail: Kritsakorn.boonpraserd@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วปลาย(Terminal velocity) แรงต้าน(Drag force) และสัมประสิทธิ์การต้าน (Drag coefficient) ของอากาศโดยสร้างและพัฒนาชุดการทดลองการตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตันภายในระยะความสูงไม่เกิน 3 เมตร โดยใช้สมาร์ตโฟน การดำเนินการวิจัยมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 ออกแบบและพัฒนาการทดลอง ดำเนินการโดยการหาระยะในการปล่อยตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตันปกติ เพื่อให้เกิดความเร็วปลาย ขั้นที่ 2 ปรับปรุงลูกแบดมินตันโดยใช้ลูกแบดมินตันเซิงพานิชย์และลูกแบดมินตันที่ดัดแปลงทั้งหมด 10 แบบ ด้วยการลดมวล และตัดแต่งขนไก่ เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการตกแต่งลูกแบดมินตันในการปล่อยตกอย่างอิสระในความสูง 2.8 เมตร แล้วบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยใช้สมาร์ตโฟน ขั้นที่ 3 วิเคราะห์การทดลอง ทั้งทางทฤษฎี และผลการทดลองจริง เนื่องจากแรงต้านอากาศมีความสัมพันธ์กับความเร็ว 2 แบบ คือ สมการแบบเชิงเส้น และแบบสมการกำลังสอง นำผลการทดลองไปวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อให้ได้ข้อมูลของการกระจัดและเวลาของตำแหน่งต่าง ๆ ในการเคลื่อนที่ ความเร็วปลาย แล้วนำความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศมาคำนวณ แรงต้าน และสัมประสิทธิ์การต้าน

Received: March 11, 2020

Revised: April 02, 2020

Accepted: May 12, 2020

ผลการทดลองพบว่าลูกแบดมินตันที่มีมวล 2.31 กรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร สามารถเกิดความเร็วปลายประมาณ 3.54 เมตรต่อวินาทีโดยระยะความสูง 2.8 เมตร ผลการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่าแรงต้านเท่ากับ 0.022 นิวตัน และมีสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.87

คำสำคัญ: การตกอย่างอิสระ ลูกแบดมินตัน ความเร็วปลาย สมาร์ทโฟน

Abstract

The objective of this research aims to educate physics quantity and consists of terminal velocity, drag force and drag coefficient of air by construct and develop the free falling of badminton shuttlecock activity in limit of length less than three meter by using smart phone. Experimental solutions have three process, to begin with design and improve experiment by find the least length for free falling and also show terminal velocity in graph. Secondly, try to modify the commercial shuttlecock 10 models by decrease mass and cut off feather to have more air resistance for educated the effect of free fall in 2.8 meter of high. Lastly, analyze the motion in theory and experiment due to air resistance force relate with velocity 2 models including linear equation and quadratic equation and bring the data for numerical analyzed to obtain distance time in the motion and terminal velocity and use relation of air to computed to obtain drag force and drag coefficient.

Experimental results show some of shuttlecock have the terminal velocity by 2.8 meter free falling. Measure physical data of shuttlecock including mass, diameter and front area. The best condition is in the shuttlecock number 3 that have mass about 2.31 gram and feather diameter is 6.64 centimeter which this shuttlecock can show terminal velocity in 3.5 meter per second, drag force is 0.022 Newton and drag coefficient is 0.87.

Keywords: free falling, badminton shuttlecock, terminal velocity, smart phone

1. บทนำ

การเรียนการสอนฟิสิกส์ในปัจจุบันที่เน้นการเรียนการสอนแบบบรรยายเป็นหลักส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้รับความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งการเรียนรู้ที่ดีต้องเรียนรู้ผ่านการลงมือทำเพื่อให้ผู้เรียนสามารถสังเคราะห์องค์ความรู้ได้ด้วยตัวของผู้เรียนเอง ทำให้ผู้วิจัยต้องการที่จะพัฒนาการทดลองเชิงปฏิบัติการให้เกิดในห้องเรียนการเรียนการสอนวิชา

ฟิสิกส์โดยการบูรณาการศาสตร์วิชาแขนงต่าง ๆ ที่ผู้เรียนได้เรียนมาใช้ร่วมเกิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเนื่องด้วยในปัจจุบันผู้เรียนในประเทศไทยมีการขาดทักษะความคิดสร้างสรรค์ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการใช้ชีวิตในศตวรรษที่ 21 ส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถสร้างนวัตกรรมใหม่มาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ [1] ทำให้การปลูกฝังให้นักเรียนเกิดทักษะความคิดสร้างสรรค์ก็เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยให้ความสำคัญเช่นกัน มากไปกว่านั้น

คือการแก้ไขความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียนเกี่ยวกับเนื้อหาฟิสิกส์ที่ถูกตัดทิ้งเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาในห้องเรียน

การจัดการเรียนการสอนให้ก้าวทันโลกซึ่งปัจจุบันองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อผู้เรียนเป็นอย่างยิ่ง โลกรอบตัวมีเทคโนโลยีมากมายที่ใช้กันในชีวิตประจำวัน ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านั้นล้วนใช้หลักการของฟิสิกส์ ช่วยสามารถเข้าใจและทำนายผลของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเหล่านั้นได้ถ้าเราเข้าใจหลักการของฟิสิกส์ ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่มีคุณภาพให้กับเยาวชนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนา ความเจริญก้าวหน้าของประเทศ การเรียนการสอนที่จะตอบสนองต่อการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และส่งเสริมการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์คือ การใช้สะเต็มศึกษา (STEM education) มาเป็นเครื่องมือในการพัฒนานักเรียน [2] ซึ่งSTEM Education คือการสอนแบบบูรณาการข้ามกลุ่มสาระวิชา (Interdisciplinary Integration) ระหว่างศาสตร์สาขาต่าง ๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science: S) เทคโนโลยี (Technology: T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) โดยนำจุดเด่นของธรรมชาติตลอดจนวิธีการสอนของแต่ละสาขาวิชามาผสมผสานกันอย่างลงตัวเพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้ทุกแขนงมาใช้ในการแก้ปัญหา [4] นอกจากนี้ STEM Education ยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาทักษะสำคัญในโลกโลกาภิวัตน์หรือทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 อีกด้วย [5]

กีฬาเบดมินตันถูกบรรจุอยู่ในหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษา เป็นกีฬา

ที่นิยมเล่นกันอย่างแพร่หลาย วิธีของลูกขนไก่ที่ใช้ในกีฬาเบดมินตันมีวิธีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างจากกีฬาชนิด ๆ อื่น โดยมีวิถีที่โค้งที่เป็นพาราโบลาที่เคลื่อนที่โดยไม่โค้งเต็มรูป [6] เนื่องจากความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็วแปรผันแบบผกผันกำลังสอง ซึ่งต่างจากกีฬาทั่วไปที่แรงต้านอากาศกับความเร็วมักแปรผันกำลังหนึ่ง จึงพิจารณาการตกอย่างอิสระของลูกเบดมินตัน พบว่าในการตกอย่างอิสระของลูกเบดมินตันจะสามารถเข้าใจสมการแรงต้านอากาศของวัตถุได้โดยง่าย เพราะความเร็วของลูกเบดมินตันจะเข้าใกล้ความเร็วปลาย (Terminal velocity) [7] หรือความเร็วสูงสุดคงที่ของการเคลื่อนที่ แต่ข้อจำกัดของการที่จะวิเคราะห์การเคลื่อนที่ที่ต้องปล่อยในที่สูงประมาณ 10 เมตร ทำให้การออกแบบการทดลองเพื่อใช้ได้ในห้องเรียนเป็นไปได้ยาก

จากงานวิจัยในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับลูกเบดมินตัน ในปี ค.ศ. 1999 Alison j. Cooke ได้ศึกษาอากาศพลศาสตร์ของลูกเบดมินตัน [8] โดยมีการใช้อุโมงค์ลมเพื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แรงต้านและใช้การตกในของเหลวเพื่อพิจารณาความเร็วปลายของลูกเบดมินตัน พบว่าสมการมีความสอดคล้องกับสมการที่เป็นรูปแบบทั่วไปในการศึกษาการต้านอากาศในกรณี รูปแบบที่ความเร็วและแรงต้านอากาศแปรผันกำลังสอง จากงานวิจัยดังกล่าวอุปกรณ์ในการทดลองมีความซับซ้อนต่อมาในปี ค.ศ. 2009 Lung Ming Chen ในศึกษาวิธีการเคลื่อนที่ของลูกเบดมินตัน โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณจากทฤษฎี และการทดลองจริง เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบแรงต้านอากาศที่แปรผันต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ พบว่าการเคลื่อนที่ของลูกเบดมินตันจะเป็นไปตามสมการกำลังสอง ซึ่งเป็น

ทดลอง โดยการให้ลูกแบดมินตันเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้ง จากข้อจำกัดภายใต้ความสูงจำกัดในห้องเรียน ผู้วิจัยจึงหาข้อมูลเพิ่มเติมในการทดลองอิสระ ในปี 2015 Caroline Cohen มีการศึกษาเกี่ยวกับลูกแบดมินตันอย่างหลากหลายด้าน [9] ซึ่งในงานวิจัยพบว่าสมการความเร็วปลายของลูกแบดมินตันสอดคล้องเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งได้ทำการปล่อยลูกแบดมินตันที่ความสูงประมาณ 18 เมตร ด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตัน ที่สามารถตรวจจับความเร็วปลายภายในความสูงเพียง 3 เมตร

ดังนั้น จุดประสงค์หลักของผู้วิจัยจึงมุ่งหวังที่จะออกแบบและตกแต่งลูกแบดมินตันหลากหลายแบบให้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเห็นความเร็วปลายในการเคลื่อนที่ได้ในระหว่างการตกอย่างอิสระที่ปล่อยในความสูงภายในห้องเรียน ในระยะ 2.8 เมตร โดยทดสอบโดยการถ่ายวิดีโอเพื่อบันทึกการเคลื่อนที่ และเพื่อความแม่นยำจะวิเคราะห์การตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตันด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ (Tracker) ทดสอบประสิทธิภาพของลูกแบดมินตัน โดยการนำความเร็วปลายที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ แรงต้านอากาศ และสัมประสิทธิ์แรงต้าน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีการตกอย่างอิสระที่คิดความต้านทานอากาศ

เมื่อลูกแบดมินตันกำลังตกอย่างอิสระ พิจารณารูปที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน[10]

$$m\bar{g} + \bar{F}_d + \bar{F}_B = m\bar{a} \dots\dots\dots(1)$$

ในสมการ (1) $m\bar{g}$ คือ น้ำหนักของลูกแบดมินตัน, \bar{F}_d คือ แรงต้านอากาศ, \bar{F}_B คือ แรงลอยตัว ($\bar{F}_B = \rho V\bar{g}$)[10] ซึ่งขนาดของแรงต้านอากาศจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตกอย่างอิสระในอากาศ

พิจารณารูปแบบสมการแรงต้านอากาศ โดยทั่วไปแรงต้านอากาศมีอยู่สองรูปแบบขึ้นอยู่กับความเร็วในการตกอย่างอิสระของวัตถุ [12]

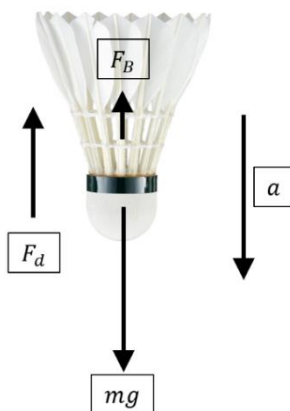
$$\bar{F}_d^1 = -b\bar{v} \dots\dots\dots(2)$$

รูปแบบที่ 1 ของสมการแรงต้านอากาศ เมื่อ b คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และรูปทรงของวัตถุ ณ ขณะตก และ v คือความเร็วของวัตถุ

$$mg - bv - \rho Vg = ma \dots\dots\dots(3)$$

เขียนในรูปแบบสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้ [13]

Free Body Diagram



รูปที่ 1 แผนภาพแรงและทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตัน

$$mg - b \frac{dx}{dt} - \rho Vg = m \frac{d^2x}{dt^2} \dots\dots\dots(4)$$

สมการแรงต้านอากาศรูปแบบที่ 2 [14]

$$F_d^2 = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \dots\dots\dots(5)$$

จากสมการรูปแบบที่ 2 ของสมการแรงต้านอากาศ เมื่อ C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน, ρ คือความหนาแน่นของอากาศ และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุขณะกำลังเคลื่อนที่ จากรูปแบบสมการแรงต้านอากาศ ทำให้ได้สมการการเคลื่อนที่สองรูปแบบ คือ

$$mg - \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 - \rho V g = ma \dots\dots\dots(6)$$

เขียนในรูปแบบสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

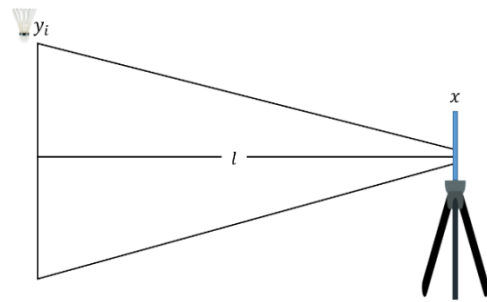
$$mg - \frac{1}{2} C_d \rho A \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - \rho V g = m \frac{d^2x}{dt^2} \dots\dots\dots(7)$$

โดยทฤษฎีแล้วการตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็ว จะส่งผลให้ลูกแบดมินตันมีรูปแบบการตกที่แตกต่างกัน 2 ช่วง คือ ช่วงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และช่วงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เนื่องจากเริ่มต้นในการตกจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำ ทำให้ลูกแบดมินตันตกลงมาด้วยความเร่งตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้แรงต้านอากาศจะมากขึ้นตามไปด้วย จนกระทั่งเมื่อแรงต้านอากาศเพิ่มขึ้นจนสมดุลกับน้ำหนักของลูกแบดมินตัน ก็จะทำให้ลูกแบดมินตันเคลื่อนที่โดยที่ไม่มีแรงภายนอกเข้ามากระทำจึงรักษาสภาพการเคลื่อนที่ตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน โดยมีความเร็วคงที่ ซึ่งเรียกว่า ความเร็วปลาย (Terminal velocity)

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยผู้วิจัยต้องการศึกษา ผลกระทบของแรงต้านอากาศที่มีต่อลูกแบดมินตันในการตกอย่างอิสระ โดยต้องการนำไปประกอบการเรียนการ

สอนในเนื้อหา การตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตัน ซึ่งปกติจะไม่คิดแรงต้านอากาศ แต่การเล่นกีฬาแบดมินตัน แรงต้านอากาศจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันอย่างชัดเจน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาผลกระทบของแรงต้านอากาศโดยใช้ลูกแบดมินตันจำนวน 10 รูปแบบโดยกำหนดการเคลื่อนที่เฉพาะในแนวตั้ง ที่ความสูงขนาดต่าง ๆ และเพื่อสามารถทดสอบในชั้นเรียนผู้วิจัยกำหนดระยะความสูง ประมาณ 2.8 เมตร ซึ่งเป็นความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง โดยทำการทดลองดังนี้

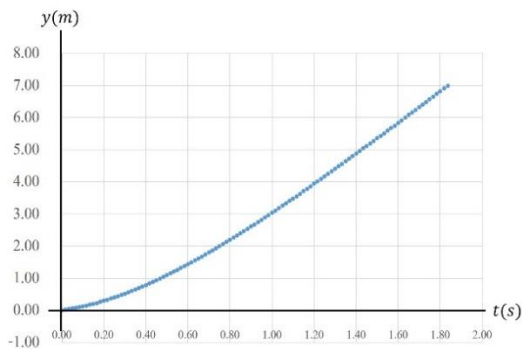


รูปที่ 2 แผนภาพการทดลองการวัดการตกของลูกแบดมินตันในแกน y(t)

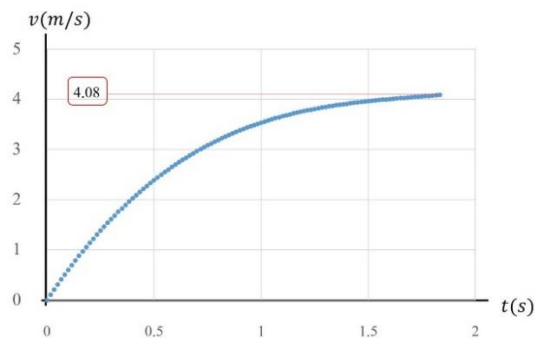
1. ในการทดลอง จะใช้โทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) ที่สามารถบันทึกวิดีโอ 60 เฟรมต่อวินาที ต่อเข้ากับขาตั้งกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ให้ห่างจากฉากหลังประมาณ 2.82 เมตร ดังรูปที่ 2 (ฉากหลังของการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ควรเป็นพื้นหลังที่มีสีตัดกันกับลูกแบดมินตันอย่างชัดเจน
2. ทดสอบเบื้องต้นกับลูกแบดมินตันเชิงพานิชย์ชนิดขนไก่ ด้วยการปล่อยตกที่ระยะความสูง 7 เมตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3a พบว่ามีความเร็วปลายเท่ากับ 4.08 เมตรต่อวินาที โดยที่ระยะสูงประมาณ 5 เมตร จึงจะเริ่มสังเกตเห็นความเร็วปลาย

3. ใช้ลูกแบดมินตันแบบขนไก่ 10 ลูกซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน โดยมวล และรูปร่าง เพื่อศึกษาความเร็วปลาย ปล่อยตกอย่างอิสระเพื่อบันทึกผลการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

4. บันทึกภาพเคลื่อนไหวในการทดลองวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวโดยใช้ โปรแกรมแทรคเกอร์ (Tracker) version 4.11.0 [3] จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยทำเป็นกราฟการเคลื่อนที่ ทั้งกราฟการกระจัดและเวลา กราฟความเร็วและเวลา และสัมพันธ์แรงต้านกับเวลา



รูปที่ 3a การทดลองและการคำนวณ $y(t)-t$ ของลูกแบดมินตัน 1



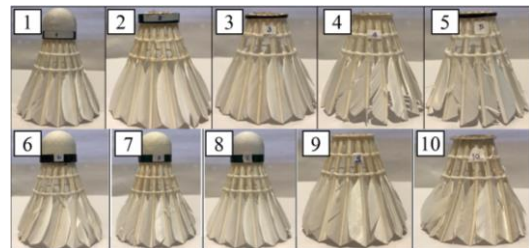
รูปที่ 3b การทดลองและการคำนวณ $v(t)-t$ ของลูกแบดมินตัน 1

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิจัย

จากการจัดตั้งอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ ดังรูปที่ 2 เมื่อตำแหน่ง x คือ สมาร์ทโฟน ตำแหน่ง y_i คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของลูกแบดมินตัน และระยะ l คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์กับระนาบการตกของลูกแบดมินตัน ในลูกแบดมินตันดัดแปลง ที่มีมวล 5.19 กรัม จะมีความเร็วปลายที่ 4.9 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหัวยาว 2.70 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนปลายยาว 6.50 เซนติเมตร และความยาวจากหัวลูกแบดมินตันถึงหางลูกแบดมินตันยาว 9.00 เซนติเมตร ซึ่งลูกแบดมินตันถูกปล่อยลงมาจากความสูง 7 เมตร และการวัดการทดลองในแนวดิ่ง $y(t)$ ได้ในรูปที่ 3a จากนั้นเปลี่ยนระดับความสูงในการปล่อยให้สูงเพียง 2.80 เมตร พบว่า ความเร็วปลายของลูกแบดมินตันยังไม่คงตัว โดยช่วงท้ายอยู่ที่ 5.00 - 5.17 เมตรต่อวินาที

จากนั้นเปลี่ยนยี่ห้อของลูกแบดมินตัน และดัดแปลงให้ลูกแบดมินตันมีการต้านอากาศที่มากขึ้นโดยการลดมวลของลูกแบดมินตันลง เพื่อให้เกิดความเร็วปลายในการตกเพียง 2.80 เมตร ได้ลูกแบดมินตันทั้งหมด 10 แบบ แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งได้วัดลักษณะทางกายภาพของลูกแบดมินตันทั้ง 10 ลูก ดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 ลูกแบดมินตันทั้ง 10 ลูก

ตารางที่ 1 ขนาดของมวล และเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกแบดมินตัน 10 แบบ ระยะการตก 2.8 เมตร

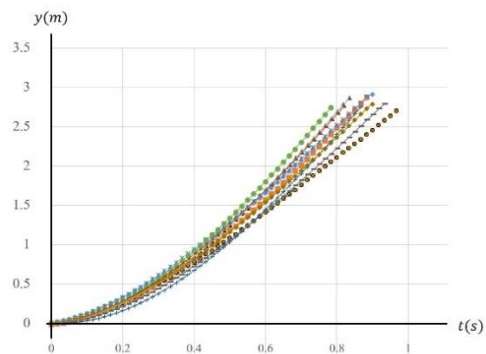
	ลูกแบดมินตันที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
มวล (g)	4.61	3.01	2.31	2.18	2.26	6.37	2.76	4.78	4.82	2.49
เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	6.54	6.58	6.64	6.67	6.51	6.49	6.63	6.69	6.47	6.42
ความเร็ว										
ปลาย (m/s)	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×

การทดลองปล่อยลูกแบดมินตันภายในความสูง 2.8 เมตร พบว่ามีลูกแบดมินตันที่ 3 และ 4 ที่มีมวล 2.31 กรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระ 3.54 เมตรต่อวินาที และลูกแบดมินตันที่มีมวล 2.18 กรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.67 เซนติเมตร เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระ 2.91 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ได้มาจากการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 5b

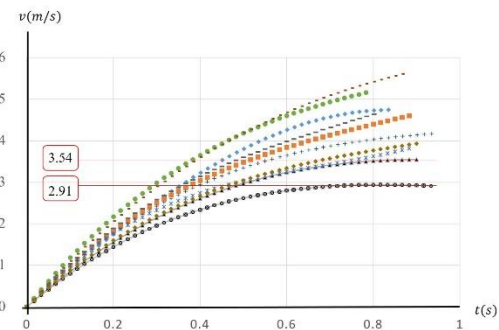
เมื่อพิจารณา free body diagram เมื่อลูกแบดมินตันตกอย่างอิสระจนมีความเร็วคงที่ กล่าวคือ ความเร่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน ทำให้ สมการที่ (1) เหลือเพียง $mg - F_d = 0$ (จะไม่นำ \vec{F}_B มาพิจารณาเพราะมีค่าน้อยมาก ๆ [6]) ดังนั้น $F_d = mg$ ทำให้แรงต้านอากาศของลูกแบดมินตันลูกที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.022 นิวตัน หลังจากนั้นเพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของลูกแบดมินตันโดยวิเคราะห์จากสมการที่ (5) จะได้สมการสัมประสิทธิ์แรงต้านดังนี้

$$C_d = \frac{2mg}{\rho Av^2} \dots\dots\dots(8)$$

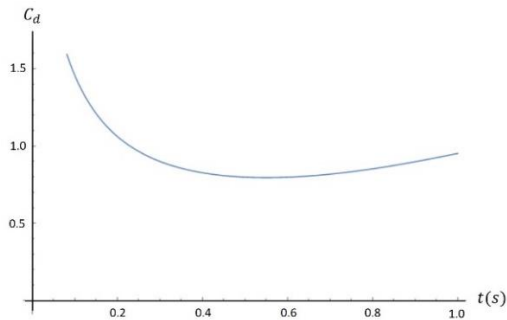
เมื่อใช้ความเร็วปลายจากผลการทดลองในรูปที่ 5b ของลูกแบดมินตันลูกที่ 3 ซึ่งมีความเร็วปลายเท่ากับ 3.54 เมตรต่อวินาที และมีมวล 2.31 กรัม สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์แรงต้านได้มีค่าเท่ากับ 0.88 ในขณะที่วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านผ่านโปรแกรม Mathematica ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 โดยในช่วงวินาทีที่ 0.8 – 0.9 ซึ่งเป็นช่วงที่ลูกแบดมินตันเกิดความเร็วมีความเร็วปลาย ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่าประมาณ 0.8 – 1.0 ซึ่งทั้งการคำนวณและการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Caroline Cohen [9]



รูปที่ 5a การทดลองและการคำนวณ $y(t)-t$ ของลูกแบดมินตันทั้ง 10 ลูก



รูปที่ 5b การทดลองและการคำนวณ $v(t)-t$ ของลูกแบดมินตันทั้ง 10 ลูก



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของ ลูกเบดหมายเลข 3 ผ่านโปรแกรม Mathematica

3.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

ในทฤษฎีการตกอย่างอิสระของวัตถุ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อคิดแรงต้านจะมี 2 รูปแบบคือ แรงต้านแปรผันตรงกับความเร็ว และแปรผันตรงกับความเร็วกำลังสอง [7] ซึ่งต่อมา Lung-Ming Chen [6] ได้ทำการศึกษาวิธีการเคลื่อนที่ของลูกเบดมินตันโดยการปล่อยตกอย่างอิสระเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็ว พบว่าแรงต้านอากาศจะสัมพันธ์กับความเร็วกกำลังสอง และในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมภายใต้ความสูงจำกัดแล้วพบว่าเมื่อใช้ ความเร็วกกำลังสองและได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_d) ซึ่งสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ได้จากงานวิจัยของ Caroline Cohen [9] แสดงว่างานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำลูกเบดมินตันมาประยุกต์ใช้ในห้องเรียนได้โดยมีการดัดแปลงลูกเบดมินตันที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสามารถทำได้โดยการลดมวลแต่คงสภาพโครงสร้างเดิมไว้ ซึ่งในการดัดแปลงลูกเบดมินตันเพื่อให้ได้ความเร็วปลายมีการตัดเอาส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีมวลค่อนข้างมากออก ซึ่งการลดน้ำหนักจะช่วยให้แรงต้านอากาศสมดุลกับน้ำหนักได้ไวขึ้น ส่งผลให้ลูกเบดมินตันแสดงความเร็วปลายได้ไวยิ่งขึ้น ซึ่งการตัดหัวของ

ลูกเบดมินตันจะทำให้ เลขเรย์โนลด์ เปลี่ยนเพียงเล็กน้อยเพราะรูปร่างส่วนใหญ่ยังคงเดิม ทำให้เส้นทางการไหลของอากาศมีแนวโน้มเหมือนเดิม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Caroline Cohen [9] ซึ่งระยะในการตกอย่างอิสระในงานวิจัยเพื่อให้เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระใช้ห้องที่มีเพดานสูงเพียง 2.8 เมตร โดยลูกเบดมินตันลูกที่ 3 และลูกที่ 4 มีแนวโน้มจะเกิดความเร็วปลายที่ 2.5 เมตร และ 2.0 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากความสูงในการวิจัยของ Lung-Ming Chen [6] ที่จุดปล่อยลูกเบดมินตันสูงจากพื้นถึง 18 เมตรและเริ่มเกิดความเร็วปลายที่ระยะ 6 เมตร

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการตกอย่างอิสระของลูกเบดมินตัน โดยการลดมวลในส่วนหัวของลูกเบดมินตัน และปรับปรุงปีกขนไก่รอบลูกเบดมินตัน พบว่ามี 2 รูปแบบ ซึ่งมีมวล 2.31 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร และมวล 2.18 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.67 เซนติเมตร โดยเป็นลูกเบดมินตันหมายเลข 3 และหมายเลข 4 ตามลำดับ จากการพิจารณาลูกเบดมินตันหมายเลข 3 จะมีแรงต้านอากาศเท่ากับ 0.022 นิวตัน และสัมประสิทธิ์แรงต้านประมาณ 0.88 การทดลองสามารถสังเกตความเร็วปลายได้โดยการบันทึกภาพเคลื่อนไหว ภายในความสูง 2.8 เมตรได้ ซึ่งเป็นความสูงที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในห้องเรียนที่มีเพดานสูงไม่เกิน 3 เมตร ซึ่งจะทำให้นักเรียนสามารถสังเกตเห็นความเร็วปลายของลูกเบดมินตันที่เป็นวัตถุที่สามารถหาได้โดยง่าย โดยใช้สมาร์ตโฟนช่วยในการศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ในโครงการส่งเสริมการผลิตครูผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พาสณา จุฬรัตน์. การศึกษาและการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนิสิตระดับปริญญาตรี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการแนะแนวและจิตวิทยาการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2549.
- [2] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เอกสารการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สู่ระดับมัธยมศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์สกสค. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ. 2557.
- [3] สุภาวรรณ สวนพลอย วัฒนา รัมมะเอ็ด และ อารยา มุ่งชานาญกิจ. การใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิถีไดโอะเทรคเกอร์ช่วยสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่องการเคลื่อนที่แบบคาบเพื่อเพิ่มผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรณีศึกษาของโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2558. กรุงเทพฯ ประเทศไทย. 24 เมษายน 2558; 1293-1299.
- [4] พรทิพย์ สิริภัทราชัย. STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *วารสารนักบริหาร*. 2556. 33(2) : 49-56.
- [5] DeJarnette Nancy K., America's children: providing early exposure to STEM (science, technology, engineering and math) initiatives. *Education*. 2012. 133(1) : 77-84.
- [6] Lung Ming C., Yi Hsiang P. and Yung-Jen C. A study of shuttlecock's trajectory in badminton. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2009. 8(4) : 657-662.
- [7] Raymond A.S. and John. W.J. Jr. *Physics for scientists and engineers with modern physics*. 9th ed. Boston, USA. 2014.
- [8] Alison J. C. Shuttlecock aerodynamics. *Sports Engineering*. 1999. 2(2) : 85-96.
- [9] Caroline C., Baptiste D., David Q. and Christophe C. The physics of badminton. *New Journal of Physics*. 2015. 17 : 2-17.
- [10] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 8. โรงพิมพ์สกสค. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ. 2554.
- [11] Jim N. and Jane N. Buoyancy can can. *The physics teacher*. 2015. 53(5) : 279-281.
- [12] Thornton S.T. and Marion J.B. *Classical dynamics of particles and systems*. 4th ed. Saunders College Publishing, Harcourt Brace & Company. 2004.

- [13] Engelhardt W. Free fall in gravitational theory. *Physics Essays*. 2017. 30(3) : 294-297
- [14] Maxemow S. That's a drag: The effects of drag forces. *Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two*. 2009. 2(1) : 1-17
- [15] Pendrill A. -M., Ekström P., Hansson L., Mars P., Ouattara L. and Ryan U. The equivalence principle comes to school - Falling objects and other middle school investigations. *Physics Education*. 2014. 49: 425-430.