การวิเคราะห์ระยะจุดตกตามแนวระดับของการตกจากที่สูงโดยใช้โปรแกรมแทรกเกอร์
Analysis the Horizontal Displacement of Falling from Height using Tracker Program

ปัญญ์ชิตา สุจริต* และ พัชรา สินลอยมา
Punchita Sujarit* and Patchara Sinloyma

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
Faculty of forensic science, Royal Police Cadet Academy
*E-mail: May.punchita@gmail.com

Received: 23 Mar, 2021
Revised: 29 Jun, 2021
Accepted: 07 Jul, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการวัดระยะจุดตกด้วยมือกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ และหาความสัมพันธ์ความเร็วของหุ่นในแนวระดับ กับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จากการยิงหุ่นให้ตกจากอาคารสูง 11 เมตร โดยที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่น และมีแรงภายนอกที่เกิดจากแรงดันอากาศภายในจรวจมากระทำต่อหุ่นขนาด 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ Pearson Correlation ผลวิจัยพบว่า ระยะจุดตกตามแนวระดับที่วัดด้วยมือมีระยะเฉลี่ย 2.40, 2.55, 3.20, 2.53 และ 2.31 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ แต่เมื่อมีแรงที่กระทำต่อหุ่นขนาด 6 และ 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ระยะจุดตกจะใกล้อาคารมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการยิงหุ่นไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน และเมื่อพิจารณาการตกจากที่สูงด้วยทฤษฎีการเคลื่อนที่การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ พบว่า ความเร็วของหุ่นในในแนวระดับมีความสัมพันธ์เชิงเส้น กับระยะจุดตกของหุ่น และความสูงของอาคาร และสามารถประมาณความเร็วของการตกจากที่สูงโดยใช้สมการ $v_x = 0.99\ s_x\ (s_y)^{-1/2} + 0.07$

คำสำคัญ: การตกจากที่สูง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์

Abstract

This research aims to analyze the relationship of the horizontal distances (s_x) of falling by manual measurement and using Tracker program and the relationship between speed (v_x) versus horizontal distance (s_x) and height building (s_y) with the theoretical examination of the projectile motion. The tested puppet was examined by the shooting of falling model with non-external force and with the external force produced by an air in rocker bottle of 4, 5, 6 and 7 kg/cm^2 from the 11 meters (s_y) height building. Statistical data analysis was carried out by the Pearson Moment Correlation Regression. The results showed that horizontal distance analysis under manual measurement showed a positive relationship with the Tracker program at the significance level of 0.01, where the average distances are 2.40, 2.55, 3.20, 2.53 and 2.31 meters, respectively. In addition, with the external force of 6 and 7 kg/cm^2 , the horizontal distances were found to be closer to the building due to the effect of a rotational motion as the center of mass was not forced. The velocity of the falling can be estimated by the proposed equation $v_x = 0.99\ s_x\ (s_y)^{-1/2} + 0.07$

Keyword: Falling from height, Projectile motion, Tracker program

1. บทนำ

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เปิดเผยสถิติการฆ่าตัวตายโดยมีสถิติคนฆ่าตัวตายทุก 40 วินาที และการฆ่าตัวตายเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของวัยรุ่นหนุ่มสาว อายุระหว่าง 15 – 29 ปี รองจากการเกิดอุบัติเหตุทางท้องถนน ซึ่งอัตราการฆ่าตัวตายมีแนวโน้มสูงขึ้นในหลายประเทศทั่วโลก โดยมีการจัดอันดับการฆ่าตัวตายจาก 183 ประเทศทั่วโลก โดย World Population Review ในปี 2019 พบว่าประเทศที่มีอัตราการฆ่าตัวตายสูงที่สุดในโลกคือประเทศ ลิทัวเนีย ตั้งอยู่ในทวีปยุโรป สาเหตุมาจากปัญหาทางสังคมและปัญหาการเงิน [1] ทวีปเอเชียประเทศที่มีอัตราการฆ่าตัวตายสำเร็จ คือ ประเทศเกาหลีใต้ โดยมีอัตราการฆ่าตัวตายสำเร็จเฉลี่ย 26.9 คน ต่อประชากร 100,000 คน ซึ่ง

เป็นประเทศที่มีความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเทคโนโลยี ปัจจัยที่ทำให้คนฆ่าตัวตายเกิดจากการลงโทษของสังคมที่รุนแรงต่อผู้กระทำความผิดหรือคำพูดที่ผิดบนโลกอินเตอร์เน็ตให้ไม่มีจุดยืนในสังคม และวงการบันเทิงของประเทศเกาหลีนั้น ได้นำเสนอข่าวดาราที่มีการฆ่าตัวตายบ่อยครั้ง ทำให้เกิดพฤติกรรมเลียนแบบของวัยรุ่นขึ้นมา ประเทศไทยมีอัตราการฆ่าตัวตายสำเร็จสูงสุดเป็นอันดับ 1 ของกลุ่มประเทศอาเซียน จัดอยู่ในอันดับ 32 ของโลก โดยมีอัตราการฆ่าตัวตายสำเร็จเฉลี่ย 14.5 คน ต่อประชากร 100,000 คน

ศูนย์ป้องกันการฆ่าตัวตายระดับชาติกรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณะสุข สำรวจปัจจัยที่มีผลต่อการฆ่าตัวตายสำเร็จของประชากรไทย ในปีพุทธศักราช 2561 – 2562 มีสาเหตุมาจากสภาพปัญหาเรื่องความสัมพันธ์ ร้อยละ 53.04 ปัญหาจากการใช้สุรา ร้อยละ 29 โรคทางกาย ร้อยละ 25.7 โรคทางจิตเวช ร้อยละ 19.8 ปัญหาทางเศรษฐกิจ ร้อยละ 18.3 นายแพทย์ณัฐกร จำปาทอง ผู้อำนวยการโรงพยาบาลจิตเวชขอนแก่นราชนครินทร์ กล่าวว่า “ผู้ชายจะฆ่าตัวตายได้สำเร็จมากกว่าผู้หญิง 4 เท่า” โดยช่วงอายุที่พบการฆ่าตัวตายสูงที่สุดของประชากรไทย เป็นช่วงวัย 20 – 24 ปี [2] ซึ่งเป็นช่วงการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยและเป็นช่วงผู้ใหญ่ตอนต้น สาเหตุการฆ่าตัวตายที่พบจะเป็นปัญหาเรื่องความสัมพันธ์มากเป็นอันดับแรกจากเหตุการณ์ที่นักศึกษาฆ่าตัวตายในปีพุทธศักราช 2562 มีมากถึง 11 เหตุการณ์ และพบว่าวิธีที่นักศึกษาใช้ในการฆ่าตัวตายคือการกระโดดตึกอาคารเรียน การพิสูจน์ทราบสาเหตุการตาย และพฤติการณ์การตาย สามมารถทำได้โดยการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการประยุกต์วิทยาศาสตร์มาใช้เพื่อประโยชน์ทางกฎหมายและการดำเนินคดี

ตรวจสถานที่เกิดเหตุเกี่ยวกับชีวิต ร่องรอยในสถานที่เกิดเหตุเป็นสิ่งสำคัญ ต้องมีการพิจารณาจากพยานหลักฐานและวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งในหลายกรณีอาจมีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเข้าร่วมการสืบสวน [3] และในกรณีการตกจากที่สูงที่ไม่พบประจักษ์พยานในสถานที่เกิดเหตุนั้น เป็นการยากต่อการพิสูจน์ว่ามีพฤติการณ์การตายอย่างไร ดังนั้นจึงต้องมีการนำความรู้ในสาขาวิชาฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายกรณีการตายโดยการตกจากที่สูง ซึ่งสามารถคำนวณและอธิบายได้โดยทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การวิเคราะห์รูปแบบการตกจากที่สูงโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ (Tracker) เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุ และมีความนิยมในการใช้เป็นสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์ โดยโปรแกรมสามารบันทึกและติดตามการเคลื่อนที่วัตถุ เวลา อัตราเร็วตามแนวระดับ อัตราเร็วตามแนวดิ่ง พร้อมทั้งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะตามแนวดิ่งกับเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างระยะตามแนวระดับกับเวลาได้ ทำให้ทราบว่าการเคลื่อนที่ของตกจากที่สูงมีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ [4] การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองการตกของหุ่นที่มีขนาดตัวใกล้เคียงกับมนุษย์ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของระยะจุดตกตามแนวระดับ ความเร็ว และเวลาที่ใช้ในการตกของหุ่น ซึ่งพิจารณาแรงที่มากระทำใน 2 รูปแบบ คือ 1) รูปแบบการตกที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นหรือการตกแบบอิสระ (free fall) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที^{2} โดยการตกในลักษณะนี้จะเป็นการตกที่มีระยะกระจัดตามแนวดิ่ง เท่านั้น [5] กรณีการตกจากที่สูงที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำนั้นเปรียบได้เสมือนกับผู้ตาย ฆ่าตัวตายโดยการปล่อยตัวตกลงมาจากที่สูง หรือเป็นกรณีอุบัติเหตุที่ทำให้เกิดการพลัดตกจากที่สูง 2) การตกจากที่สูงโดยที่มีแรงภายนอกมากระทำเป็นไปในลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งมีความเร็วตามแนวมากระทำกับวัตถุ ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ คือ การเคลื่อนที่ตามแนวระดับ และการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง โดยวัตถุจะตกลงภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น [6] เปรียบเสมือนผู้ตายอาจถูกทำให้ตายโดยการผลักตกลงมา [7] ซึ่งพฤติการณ์การตายนั้นจะส่งผลต่อรูปคดี ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในวิเคราะห์ระยะจุดตกของศพ และใช้ในการประมาณความเร็วการตกจากที่สูงได้

งานวิจัยนี้เป็นการทดลอง (Experimental Research) โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดระยะจุดตกด้วยมือกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์เวอร์ชัน 5.1.3 เพื่อทดสอบว่าสามารถใช้โปรแกรมในการอ้างอิงระยะการตกจากที่สูงเมื่อเทียบกับการวัดระยะจุดตกด้วยมือ และสามารถทราบถึงสมการประมาณความเร็วตามแนวระดับของหุ่นที่ตกจากที่สูง โดยพิจารณา ความสูงของอาคาร ระยะจุดตกของหุ่น โดยการทดลองนี้ใช้หุ่นผ้าที่มีมวล 25 กิโลกรัม ส่วนสูง 170 เซนติเมตร ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันพบว่า ผลรวมของแรงที่กระทำต่อหุ่นมีค่าเท่ากับมวลคูณความเร่งของหุ่น ซึ่งความเร่งของหุ่นที่ตกจากที่สูงนั้นมีค่าเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงของโลกคือ 9.81 เมตร/วินาที^{2} [5] ระดับความสูงของอาคารที่ใช้ในการทดลอง 11 เมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่เมื่อตกลงมาสามารถทำให้บาดเจ็บหนักหรือเสียชีวิตได้ [8] การวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ยิงจรวดด้วยแรงดันอากาศ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแรงดันที่สามารถทำให้หุ่นตกลงได้ พบว่าเป็นแรงดันที่มีขนาด 4 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เป็นแรงดันที่ยิงไปยังหุ่นและทำให้หุ่นตกพอดี

และแรงที่มากที่สุดที่ขวด PET ขนาด 1.25 ลิตร รับได้และไม่เกิดการแตกหรือฉีกขาดคือ แรงขนาด 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ เวอร์ชัน 5.1.3

2.1.2 ตุ๊กตาหุ่นผ้า มวล 25 กิโลกรัม สูง 170 เซนติเมตร

2.1.3 ฐานยิงจรวจที่ทำมุม 45° และขวดน้ำที่ใช้บรรจุลม ขนาด 1.25 ลิตร

2.1.3 เครื่องปั๊มลม

2.1.4 กล้องสำหรับบันทึกวิดีโอพร้อมขาตั้ง

2.1.5 ตลับเมตรสำหรับวัดระยะจุดตกของหุ่น

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง โดยตั้งให้ฐานยิงจรวดห่างจากหุ่นระยะ 1.25 เมตร ดัง Figure 1 และ ติดตั้งกล้องให้อยู่ในมุมฉาก ให้มีระยะห่างจากจุดอ้างอิงในแนวระดับ 12 เมตร (เป็นบริเวณเหมาะสมที่สุดในการบันทึก) ดัง Figure 2 โดยทำการทอดลองแบ่งเป็น 2 รูปแบบ โดยการทำการทดลองซ้ำ 15 ครั้ง พบว่ากากระจายของข้อมูลที่วัดระยะจุดตกของหุ่นตามแนวระดับมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมากที่สุด โดยพิจารณารูปแบบการตกของหุ่น ดังนี้

2.2.1.1 ตกแบบไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่น โดยการจัดท่าทางของหุ่นนั่งในลักษณะหย่อนขาลงอาคารและให้หุ่นตกลงมาเอง วัดระยะการตกของหุ่น พร้อมบันทึกวิดีโอการตกของหุ่นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ (Tracker)

2.2.1.2 ตกแบบมีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยการจัดท่าทางของหุ่นนั่งในลักษณะหย่อนขาและใช้ไม้สำหรับค้ำยันหุ่น จากนั้นอัดอากาศด้วยแรงดันที่กำหนดเข้าไปยังอุปกรณ์ฐานยิงจรวด จากนั้นยิงจรวดไปยังบริเวณศีรษะของหุ่น และวัดระยะการตกของหุ่น พร้อมบันทึกวิดีโอการตกของหุ่นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ (Tracker)

Figure 1 The position of the shot

Figure 2 Camera set point to record video

2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วีดิโอ (Tracker) เลือกวีดีโอที่ต้องการ ดัง **Figure 3** กำหนดจุดพิกัดอ้างอิงในการวิเคราะห์ จุดเริ่มต้น (x,y) หรือจุด (0,0) เป็นจุดที่วางหุ่นโดยเลือกสัญลักษณ์ ดัง Figure 4 กำหนดความสูงอ้างอิงที่ระยะ 1 เมตร โดยเลือกสัญลักษณ์ ดัง **Figures 5** การใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์จะต้องนำ 1 วิดีโอต่อการวิเคราะห์ 1 ครั้งเท่านั้น

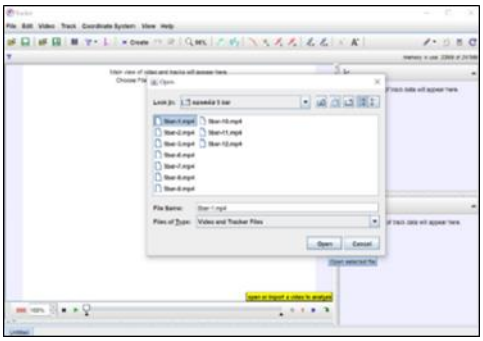

Figure 3 Open video file on Tracker program

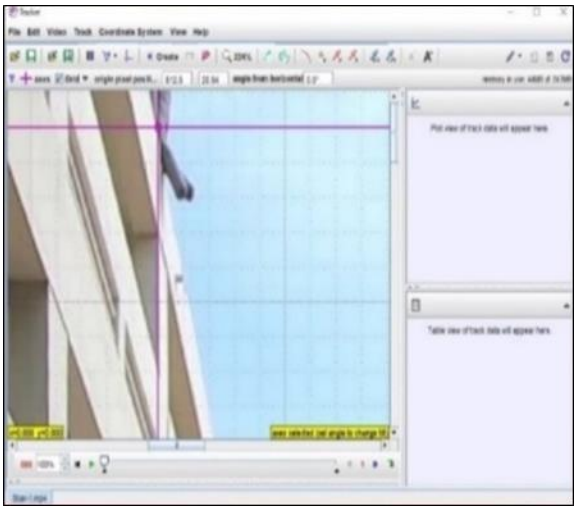

Figure 4 Set axes at the cloth puppet

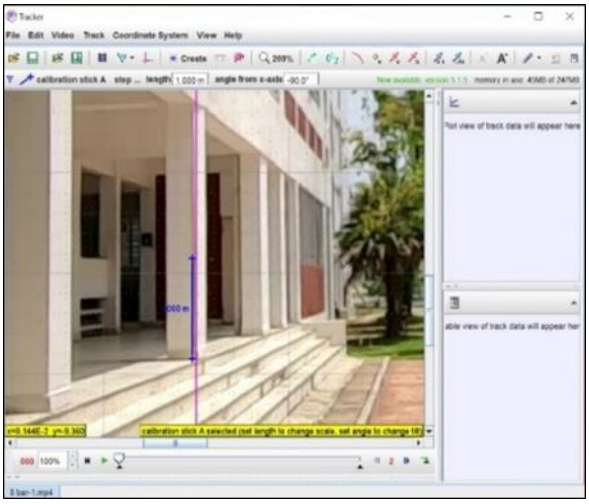

Figure 5 Set calibration tape at 1 meter length

ระบุตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนที่กดเลือกที่ปุ่ม Create และเลือก Create Point Mass โปรแกรมจะปรากฏตารางข้อมูลการวิเคราะห์ผลการเคลื่อนที่ โดยมุมบนขวาจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่โดยสามารถระบุได้ว่าต้องการให้แกน x และ แกน y เป็นตัวแปรใด มุมขวาล่างจะปรากฏตารางบันทึการตัวแปรในการเคลื่อนที่จากการที่ทำการกำหนดจุดการเคลื่อนที่ของตุ๊กตาผ้า โดยการกดปุ่ม shift> click ตุ๊กตาผ้าที่บริเวณกลางลำตัว > กำหนดจุดไปเรื่อย ๆ จนตุ๊กตาผ้าหยุดการเคลื่อนที่ หรือที่ความเร็วเป็นศูนย์ ดัง **Figure 6** จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ (Tracker) พบว่าความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ตามแนวระดับกับเวลามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ในแนวระดับของหุ่นมีความเร็วที่คงที่ ดัง **Figure 7** และ

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งกับเวลาการเคลื่อนที่พบว่ามีความสัมพันธ์แบบสมการพาราโบลา ดัง Figure 8 ซึ่งทั้งการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ 2 มิติ ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งนั้นเป็นไปตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

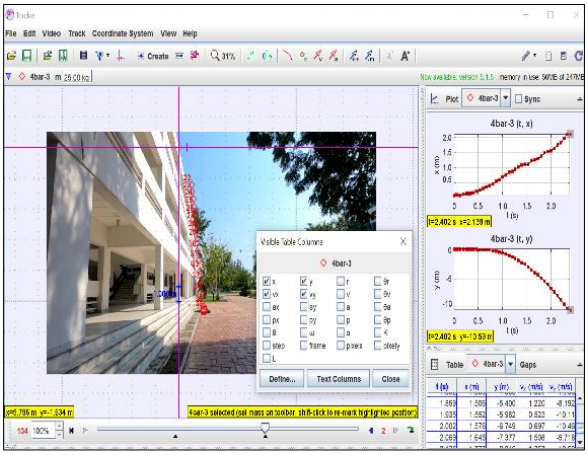

Figure 6 Create point mass

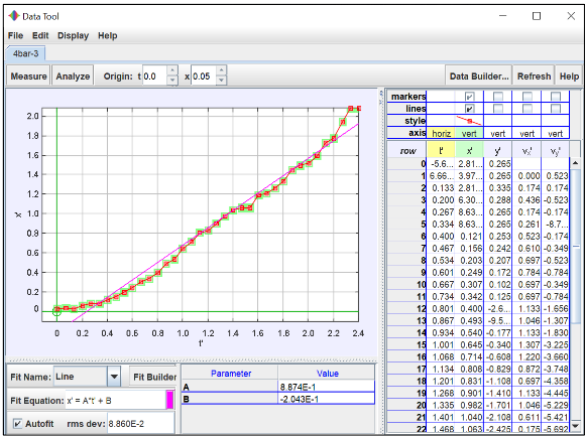

Figure 7 Relationship between horizon distance and time of falling

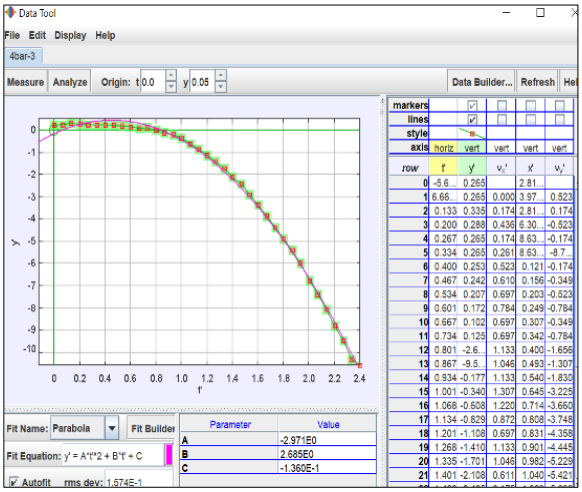

Figure 8 Relationship between building height and time of falling

2.2.3 นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์ (Tracker) โดยนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ได้แก่ ระยะจุดตกตามแนวระดับของหุ่น (s_x) ความเร็วการตกของหุ่นตามแนวระดับ (v_x) และเวลาการตกของหุ่น (t) เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้ Pearson Correlation

3. ผลการทดลอง

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกที่วัดด้วยมือกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ ดัง Table 1 และทิศทางการตกจากที่สูงของหุ่น ดัง Figure 9

Table 1 the relationship of the horizontal distances (s_x) of falling by manual measurement and using Tracker program

Force (kg/cm^2)	Horizontal Distance (m)		Pearson Corelation
	Manual	Program	
Non-external force	2.40	2.41	.979**
4	2.55	2.39	.912**
5	3.20	2.90	.656**
6	2.53	2.65	.769**
7	2.31	2.64	.727**

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

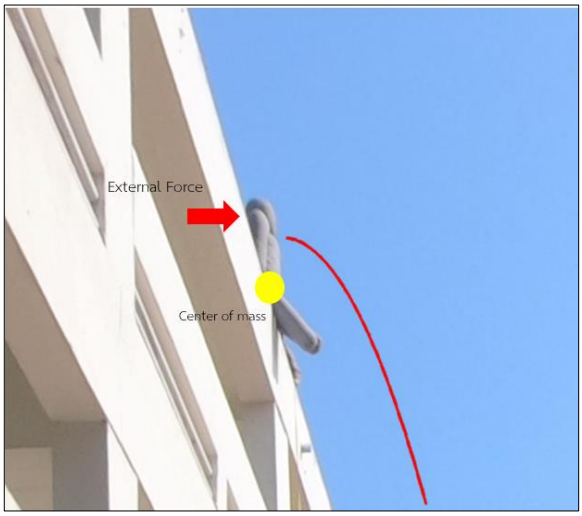

Figure 9 The puppet motion was examined by the shooting of falling model with external force

3.2 การหาความสัมพันธ์ความเร็วของหุ่นในแนวระดับกับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ [9] ตามแนวระดับและตามแนวดิ่ง โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ทั้ง 2 มิติ ที่ระยะเวลาเท่ากัน ระยะจุดตกตามแนวระดับของหุ่นสามารถหาได้ดังสมการที่ (1)

$$s_x = v_x t \qquad (1)$$

ความสูงของอาคารสามารถคำนวนได้ ดังสมการที่ (2)

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} g t^2 \qquad (2)$$

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ทั้ง 2 มิติ เท่ากันพบความสัมพันธ์ระหว่าง สมการที่ (1) และสมการที่ (2) สามารถหาความเร็วของการตกจากที่สูงตามแนวระดับได้ดัง สมการที่ (3)

$$v_x = 2.21 s_x \sqrt{\frac{1}{s_y}} \qquad (3)$$

s_y = ระดับความสูงของอาคาร มีหน่วยเป็น เมตร

s_x = ระยะจุดตกวัดจากกลางลำตัวของหุ่นถึงอาคาร มีหน่วยเป็น เมตร

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตร/วินาที^{2}

t = เวลาที่ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที

u_y = ความเร็วตามแนวแกน y มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

u_x = ความเร็วตามแนวแกน x มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

แนวระดับ กับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร พบว่าความเร็วการตกของหุ่นตามแนวระดับมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการคำนวณความเร็วตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดัง Table 2

Table 2 the relationship of the speed (v_x) of falling by using Tracker program and Theory of the projectile motion.

Force (kg/cm^2)	Speed (m/s)		Pearson Corelation
	Program	Theory	
Non-external force	0.82	1.61	.774**
4	0.79	1.71	.033
5	0.95	2.14	.637*
6	0.85	1.69	.573*
7	0.86	1.54	.623*

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

3.3 การหาสมการความเร็วของการตกจากที่สูงจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวระดับโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ กับระยะจุดตกของหุ่นและความสูงของอาคาร เมื่อไม่มีแรงกระทำต่อหุ่น และมีแรงกระทำต่อหุ่นขนาด 4, 5, 6 และ7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

จากสมการที่ (3) พบว่า v_x แปรผันตรงกับระยะการตกและความสูงของอาคาร $s_x\sqrt{\frac{1}{s_y}}$ ดัง Table 3

Table 3 Analysis of falling from the 11 meters height building using Tracker program

Pressure (kg/cm^2)	s_x (m)	v_x (m/s)	t (s)	$s_x\sqrt{\frac{1}{s_y}}$
Non-external force	2.41	0.82	2.99	0.73
4	2.39	0.79	3.03	0.75
5	2.90	0.95	3.14	0.87
6	2.65	0.85	3.03	0.80
7	2.64	0.86	3.12	0.80

จาก Table 3 สามารถพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเร็วการตกของหุ่น (v_x) กับ ระยะจุดตกและความสูงของอาคาร $s_x\sqrt{\frac{1}{s_y}}$ จึงสามารถประมาณการความเร็วการตกจากที่ ดัง Figure 10

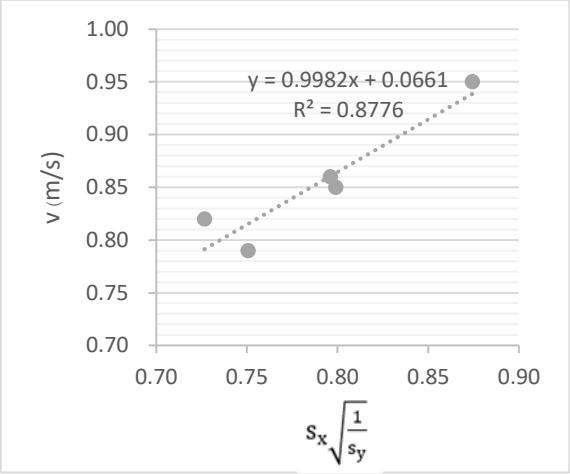

Figure 10 Relationship between speed (v_x) and $s_x\sqrt{\frac{1}{s_y}}$

เมื่อพิจารณา **Figure 10** พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการตกของหุ่น ((v_x) กับ ระยะจุดตกและความสูงของอาคาร $s_x\sqrt{\frac{1}{s_y}}$ มีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง ดังสมการที่ (4)

$$y = 0.9882\,x + 0.0661 \quad (4)$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.8776$

4. สรุปผลการการวิจัย

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกที่วัดด้วยมือกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ ผลการทดลองพบว่าการวัดระยะจุดตกด้วยมือมีความสัมพันธ์กันมากกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรกเกอร์สามารถใช้อธิบายการตก และระยะจุดตกจากที่สูงของหุ่นได้ กรณีไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ระยะจุดตกของหุ่นมีระยะ 2.40 เมตร เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 4 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีระยะการตกของหุ่น 2.55 เมตร แรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีระยะการตกของหุ่น 3.20 เมตร แรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีระยะการตกของหุ่น 2.53 เมตร และเมื่อมีแรง

ภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หุ่นจะมีระยะการตกที่ 2.31 เมตร

4.2 การหาความสัมพันธ์ความเร็วของหุ่นในแนวระดับกับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ผลการทดลองพบว่า ความเร็วตามแนวระดับที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ กับการคำนวณความเร็วตามทฤษฎี มีความสัมพันธ์เชิงบวกที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในกรณีที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่น และ มีความสัมพันธ์เชิงบวกที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในกรณีที่มีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นขนาด 5, 6 และ 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าการคำนวณความเร็วการตกของหุ่นตามทฤษฎีสามารถอธิบายความเร็วการตกของหุ่นได้จริง

4.3 การหาสมการความเร็วของการตกจากที่สูงจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวระดับโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์กับระยะจุดตกของหุ่นและความสูงของอาคาร แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรง คือ

$$v_x = 0.99\, s_x \sqrt{\frac{1}{s_y}} + 0.07 \qquad (5)$$

และแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการทำนายความเร็วตามแนวระดับของการตกจากที่สูง ร้อยละ 87.76

5. อภิปรายผลการวิจัย

การตรวจสถานที่เกิดเหตุในคดีการตกจากที่สูง ผู้ตรวจพิสูจน์หลักฐานต้องพิจารณาและให้ความสำคัญกับสถานที่เกิดเหตุเพื่อให้สามารถตัดพยานหลักฐานที่ไม่เกี่ยวข้องกับรูปคดี เพื่อเชื่อมโยงเหตุการณ์ (Crime Reconstruction) นำไปสู่การทราบถึงพฤติการณ์การเสียชีวิตได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด [10] การทดลองการตกจากที่สูงที่ระดับความสูง 11 เมตร จะพิจารณาการตกเป็น 2 รูปแบบ 1) การตกจากที่สูงที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ และ 2) การตกจากที่สูงที่มีแรงภายนอกมากระทำ จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า กรณีไม่มีแรงภายนอกมากระทำหุ่นมีระยะจุดตก 2.40 เมตร โดยความเร็วในการตกของหุ่นจากการคำนวณตามสมการที่ (5) มีความเร็วการตกตามแนวระดับ 0.78 เมตร/วินาที แต่ในกรณีที่มีแรงภายนอกมากระทำที่ขนาด 4, 5, 6 และ 7 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีระยะจุดตก 2.55, 3.20, 2.52 และ 2.31 เมตร ตามลำดับ สามารถคำนวณความเร็วการตกของหุ่นจากสมการที่ (5) มีความเร็วตามแนวระดับ 0.83, 1.03, 0.82 และ 0.75 เมตร/วินาที ตามลำดับ ดังนั้น พบว่าเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นโดยการยิงหุ่นที่บริเวณศีรษะ ไม่สามารถระบุความเร็วการตกของหุ่นที่แน่นอนจากระยะจุดตกของหุ่นได้ เนื่องแรงที่กระทำต่อหุ่นไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นทำให้เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อหุ่นมากยิ่งขึ้น หุ่นนั้นจะม้วนตัวกลับเข้าใกล้อาคารมากขึ้น [11] การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเร็วของหุ่นในแนวระดับ กับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ สามารถทำนายความสัมพันธ์ของความเร็วตามแนวระดับ (v_x) นั้น จะเปลี่ยนตามระยะการตกของหุ่นและความสูงของอาคาร ตามสมการ $v_x = 0.99\, s_x\, (s_y)^{-1/2} + 0.07$

6. ข้อเสนอแนะ

5.1 การวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองในที่โล่งแจ้ง ทิศทางของลมหรือสภาพอากาศขณะทำการทดลองจึงผลต่อลักษณะท่าทางการตกของหุ่น ซึ่งตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นสมการการเคลื่อนที่ ที่ไม่คิดแรงต้านอากาศจึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ดังนั้น จึงควรทำการทดลองที่เป็นอาคารปิด หรืออาคารที่สามารถควบคุมทิศทางของลมได้

5.2 การวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองโดยการยิงบริเวณศีรษะขอวหุ่นทำให้หุ่นมีการเคลื่อนที่แบบหมุนเมื่อมีแรงกระทำต่อหุ่นที่มากขึ้น เกิดจากการยิงหุ่นโดยไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล ดังนั้น จึงควรปรับการยิงของหุ่นให้ผ่านจุดศูนย์กลางมวล จึงจะเป็นไปตามทฤษฎีการเคลื่อนที่คือ เมื่อให้แรงกระทำต่อวัตถุมากขึ้นจะส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ไกลยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ โครงการทุนสนับสนุนโครงงานวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านนิติวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2562 คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

8. Reference

[1] Manochanphen, N. 2018. **World's Highest number of suicide countries 2018.** https://thestandard.co/world-population review-suicide-stat-2018/. Accessed 5 April 2019. (*in Thai*)

[2] Supawattanakul, K. 2019. **Penetrating the problem of suicide in Thai society The second highest cause of unnatural death after accidents.** https://www.hfocus.org/content/2019/05/17140. Accessed 5 April 2019. (*in Thai*)

[3] Chemsuwan, A. 2001. **Forensic Science 1 for Crime Investigation.** Bangkok: TCG printing. (*in Thai*)

[4] Ruangbun, T. and Wuttipron, S. 2016. Designing andDeveloping Electromagnetic Induction Projection Launcher. **Journal of Education Prince of Songkla University.** 7(1): 101-203. (*in Thai*)

[5] Kittiraveechote, A. 2015. **Physics I'm (im)possible.** Bangkok: P.S. Patana Press. (*in Thai*)

[6] Lertsri, P. 2016. **Kotrsian Physics Quota 1.** Bangkok: se-education Press. (*in Thai*)

[7] Fongsiripaiboon, W. n.d. **Falling From Height: Forensic Aspects.**http://www.wongkarnpat.com/viewpat.php?id=1225. Accessed 22 February 2019. (*in Thai*)

[8] Zlatar and et al. 2019. Falls from Height: Analysis of 114 Cases. **Production Journal.** 29(6): 1-24.

[9] Pattanachai, S. 2019**. Lecture High School Physics Summary.** Bangkok: Carpediamer. (*in Thai*)

[10] Suebpongsiri, S. 2015. Offender's Modus Operandi versus Signature crime: The similar but different. **Journal of Criminology and forensic Science.** 3(2): 37-52 (*in Thai*)

[11] Sittikong, P. 2016. **Physics 1 Higher Education.** Bangkok: top. (*in Thai*)