

การศึกษาและเปรียบเทียบผลการวัดความสูงของวัตถุที่มีรูปทรงต่างกัน ด้วยการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก

The Study and Comparison the Results of Object Height Measurement with Different Shape using Ultrasonic Sensor

อนรรักษ์ โนसान

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ หนองจอก กรุงเทพฯ 10530

Email: anuruk@mut.ac.th

Manuscript received May 11, 2020

Revised May 29, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับการวัดค่าความสูงของวัตถุที่มีลักษณะรูปทรงความสูงต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไข่ไก่รูปทรงวงรี กล้องไม้ขีดไฟรูปทรงสี่เหลี่ยม และลูกเทนนิสรูปทรงกลม กำหนดระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัดกับอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ 5 ระดับ คือ 100 150 200 250 และ 300 มม. โดยได้พัฒนามาจากงานวิจัยอื่นก่อนหน้านี้ซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาในประเด็นวัตถุรูปทรงดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้ กล้องไม้ขีดไฟให้ผลค่าการวัดดีที่สุด ไข่ไก่รองลงมา และลูกเทนนิสน้อยที่สุด ดังนี้ ค่าความถูกต้องของกล้องไม้ขีดไฟที่ใช้ระยะอ้างอิง 100 มม. มีค่าเป็น 92.64% และที่ระยะอ้างอิง 300 มม. มีค่าเป็น 61.57% ไข่ไก่ที่ใช้ระยะอ้างอิง 100 มม. มีค่าเป็น 75.57% และที่ระยะอ้างอิง 300 มม. มีค่าน้อยกว่า 0.1% และลูกเทนนิสที่ใช้ระยะอ้างอิง 100 มม. มีค่าเป็น 43.75% และที่ระยะอ้างอิง 150 มม. มีค่าน้อยกว่า 0.1%

คำสำคัญ: อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก ค่าความสูงของวัตถุรูปทรงต่างกัน ระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัด

ABSTRACT

In this paper, we present the study and comparison of the ultrasonic sensors for object height measurement with three different shapes including the hen egg with ellipse shaped, matchbox with square shaped and table tennis ball with round shaped. Determine the distance between the reference distance and the ultrasonic sensor device with 5 levels as 100 150 200 250 and 300 mm. respectively. It develops from previous researches which studied on the different shapes objects not yet. Experiment results show that the matchbox is given the best measurement the hen egg is subordinated and at least the table tennis ball. The accuracy rate of the measurement of height as the highest and least is following. The reference distance at 100 and 300 mm. of the matchbox is 92.64% and 61.57%, at 100 and 300 mm. of the hen egg is 75.57% and less than 0.1% and at 100 and 150 mm. of the table tennis ball is 43.75% and less than 0.1%.

Keywords: Ultrasonic sensor, Object height measurement, Reference distance.

1. บทนำ

ในปัจจุบันจะพบว่าอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic

sensor) ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลายด้านอย่างแพร่หลาย อาทิ เช่น การสร้างเครื่องช่วยเหลือในการนำทาง [1] และค้นหาวัตถุ [2] แก่ผู้พิการทางสายตา (Visually impaired) ส่วนในด้านภาคอุตสาหกรรมเกษตร (Agricultural industry) ได้ใช้เป็นการตรวจวัดและแจ้งเตือนปริมาณสิ่งตกค้างในถังไซโลระบบหีบอ้อย [3] และได้ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ประมวลผลงานแสงอาทิตย์สำหรับการจอตระย่นในเวลากลางคืน [4] ทางด้านการพัฒนาการเรียนการสอน เช่น การพัฒนาเกมเดินแบบปฏิสัมพันธ์ [5] การใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดหาค่าระยะทาง (Distance) ในชุดทดลองระบบควบคุมอัตโนมัติระยะไกลควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ [6] และการนำเซนเซอร์อัลตราโซนิกออกแบบร่วมกับการเล่นเกมพื้นบ้านไทยเพื่อพัฒนาทักษะการคิดแบบนักวิทยาการคอมพิวเตอร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา [9] เป็นต้น ด้านการใช้วัดปริมาณทางกายภาพ เช่น อุปกรณ์วัดหาค่าความสูง (Height) ของบุคคล [7] และเครื่องวัดหาค่าน้ำหนัก (weighting instrument) ของน้ำมันที่ใช้ในฟาร์มโคนม [8] อีกทั้งด้านการกีฬา เช่น การวัดหาค่าระยะลูกกอล์ฟในการแข่งขันกีฬาเปตอง [10] รวมไปถึงการประยุกต์ใช้งานร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing: IoT) ผ่านเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน เช่น การแจ้งเตือนขยะผ่านแอปพลิเคชัน [11] จนกระทั่งเมื่อเร็ว ๆ นี้ มีการเน้นการวิจัยและการศึกษาทั้งทางด้านการประมาณค่าและการวัดหาค่าระยะทางด้วยระบบและอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก เช่น ด้วยแบบอุปกรณ์เฉพาะ (MC9RS08KA2) [12] แบบอุปกรณ์ทั่วไป [14] และแบบระบบช่วงพิสัยไกล (Long-range ultrasonic sensor system) [13] เป็นต้น ที่สำคัญยังรวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจวัดหาค่าระยะทางในหุ่นยนต์อีกด้วย [15]

จากงานดังกล่าวจะเห็นว่า ยังไม่มีการศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดหาค่าความสูงของวัตถุที่มีลักษณะรูปทรงความสูงอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งต่อการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมในอนาคตได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบ การใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก สำหรับการวัดหาค่าความสูงของวัตถุที่มีลักษณะรูปทรงต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบและวิเคราะห์ถึงผล

ของแต่ละรูปทรง ไม่ว่าจะเป็น ไซโกรูปทรงวงรี กล้องไม้ขีดไฟรูปทรงสี่เหลี่ยม และลูกเทเบิลเทนนิสรูปทรงกลม ที่มีผลต่อการวัดค่าความสูง



รูปที่ 1 อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 [19]

2. วิเคราะห์การวัดความสูงของวัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

2.1 อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก

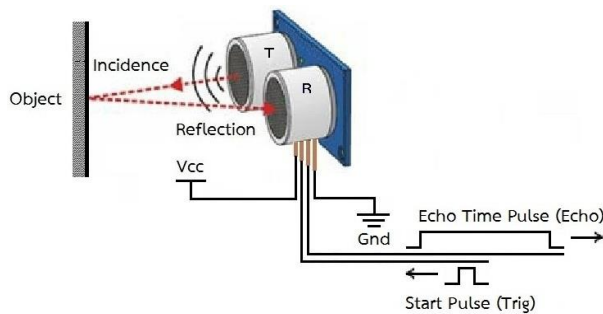
จากในรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 [19] ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากและใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการวัดระยะทาง การตรวจหา หรือตรวจจับวัตถุ โดยจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สร้างความถี่ชนิดคริสตัล (Crystal) และอุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีลักษณะคล้ายกับดวงตา 2 ดวงที่วางอยู่ด้านหน้า ซึ่งเป็นตัวส่งสัญญาณคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Transmit: T, ด้านซ้ายของรูป) และตัวรับ (Receiver: R, ด้านขวาของรูป) โดยการทำงานของอุปกรณ์จะเป็นแบบโมดูล 4 ขา (Pin) ประกอบด้วย ขาไฟเลี้ยง Vcc (+5VDC) ขา Trig (Trigger) เป็นขาเข้า (Input) เพื่อรับคลื่นสัญญาณพัลส์กระตุ้น ขา Echo เป็นขาออก (Output) ทำหน้าที่ส่งคลื่นสัญญาณพัลส์สะท้อนกลับ และขาไฟกราวด์ Gnd (Ground) ตามลำดับ

หลักการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิกนั้น จะอาศัยสมการพื้นฐานในการหาค่าระยะทาง คือ

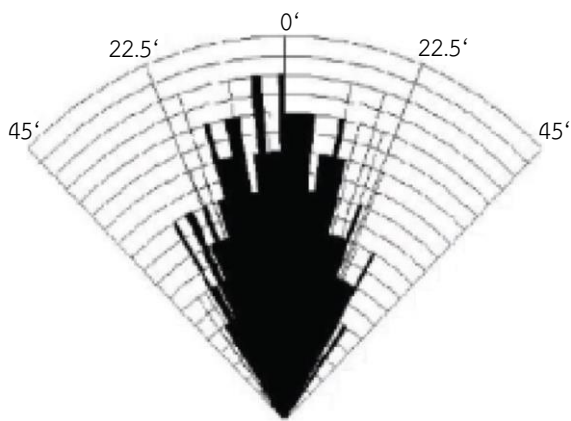
$$D = V * T \quad (1)$$

โดยที่ D คือ ระยะทาง (Distance) V คือ ความเร็ว (Velocity) ซึ่งความเร็วสากลของสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลางที่เป็นอากาศ คือ 330 เมตร/วินาที และ T คือ เวลา (Time) โดยเริ่มจากจะต้องกระตุ้นการทำงานด้วยการส่งสัญญาณคลื่นพัลส์ (Pulse)

trigger) เข้าไปที่ขาเข้าตัวเซนเซอร์อัลตราโซนิกให้เป็นสถานะ 'high' เป็นช่วงเวลา 10 ไมโครวินาที และปรับสถานะให้เป็น 'low' จากนั้น ตัวส่งของเซนเซอร์จะส่งสัญญาณคลื่นความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ แพร่กระจายออกไปและเมื่อเกิดการกระทบ (Incidence) กับวัตถุใด (Object) ก็ตาม จะถูกสะท้อนสัญญาณคลื่นความถี่ (Reflection) กลับมายังตัวรับของเซนเซอร์ จากนั้นวงจรที่อยู่ภายในตัวโมดูลจะปรับขา Echo ให้มาอยู่ในสถานะ 'high' ที่ใช้ในช่วงเวลาเดียวกันและทำการคำนวณเปรียบเทียบหาเวลาช่วงการสะท้อน (echo) [15] ดังแสดงในรูปที่ 2 และสุดท้าย โมดูลจะส่งข้อมูลค่าเวลานี้ให้กับอุปกรณ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ คำนวณหาผลลัพธ์เพื่อ



รูปที่ 2 หลักการทำงานเซนเซอร์อัลตราโซนิก [21]



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพมุมการแพร่กระจายคลื่นเซนเซอร์อัลตราโซนิก ในทางปฏิบัติ [15], [20]

แปลงเป็นค่าระยะทางในขั้นตอนต่อไป ค่าของมุมทั้งการส่งและการรับสัญญาณคลื่นความถี่ของเซนเซอร์อัลตราโซนิกนั้น จากการทดสอบประสิทธิภาพในทางปฏิบัติพบว่าค่ามุมที่ดีที่สุดควรมีค่าไม่

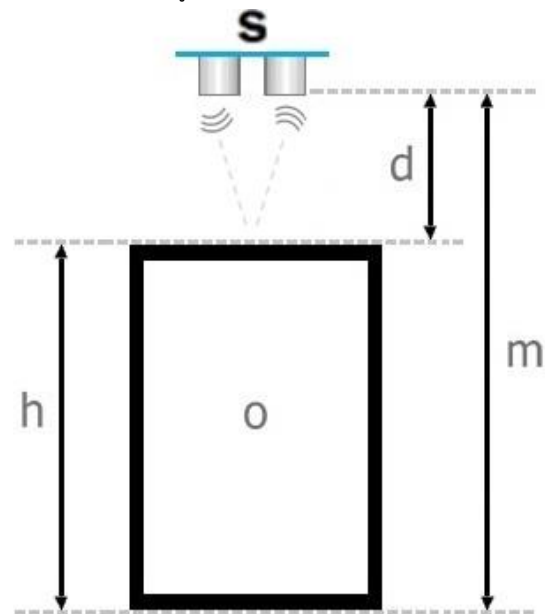
เกิน 30 องศา [15], [20] ซึ่งจากรูปที่ 3 ได้แสดงค่าของมุมการแพร่กระจายดังกล่าวไว้

2.2 การวิเคราะห์เพื่อวัดความสูงของวัตถุ

ในกรณีที่将会นำอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกไปใช้สำหรับการวัดหาความสูงของวัตถุนั้น จะต้องคำนึงและมีการกำหนดข้อรายละเอียดอย่างอื่นประกอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 โดยจากรูปที่ 4 นั้น เป็นการแสดงให้เห็นถึงการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกในการวัดความสูงของวัตถุ [7] โดยสามารถอธิบายในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (2) คือ

$$h = m - d \quad (2)$$

เมื่อ h (Height) คือ ความสูงของวัตถุ m (Marker) คือ ความสูงของอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกจากพื้น หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า m คือ ระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัดกับอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก และ d (Distance) คือ ระยะทางระหว่างจุดสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของวัตถุกับอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก โดยที่ s (Sensor) คือ อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก และ o คือ วัตถุที่ต้องการวัดหาความสูง จากสมการที่ (2) เมื่อทำการสลับย้ายข้าง



รูปที่ 4 การใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดความสูง

ค่า h และค่า d เราจะได้สมการหาระยะทางระหว่างวัตถุกับอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$d = m - h \quad (3)$$

และในทำนองเดียวกันกับ h , m และ d แล้ว จะได้สมการหาระยะทางหรือความสูงของอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกจากจุดอ้างอิงการวัด ดังแสดงในสมการที่ (4) นั่นเอง

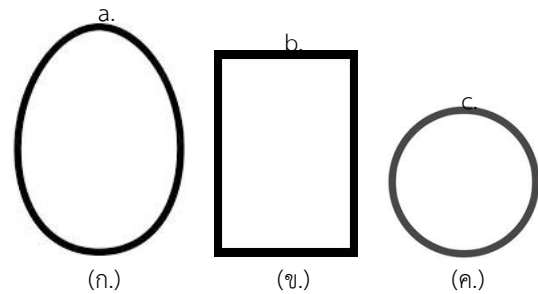
$$m = h + d \quad (4)$$

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2) (3) และ (4) อาจกล่าวได้ว่า ลักษณะรูปทรงมีผลที่สำคัญต่อการวัดความสูงของวัตถุ ด้วยเหตุผลที่ว่า หากค่า h หรือค่า d ค่าใดค่าหนึ่งไม่ถูกต้องแล้วนั้น จะส่งผลให้อีกค่าผิดเพี้ยนไม่ถูกต้องเช่นกัน ซึ่งในบทความนี้จะพิจารณา ลักษณะของวัตถุที่มีรูปทรงความสูงต่างชนิดกัน 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 (ก.) (ข.) และ (ค.) คือ ลักษณะของวัตถุที่มีรูปทรงความสูงเป็นแบบ รูปทรงวงรี รูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงกลม ซึ่งมีความสูง ณ ที่จุด a. b. และ c. ของแต่ละวัตถุตามลำดับ โดยหากเทียบกับวัตถุที่ใช้งานจริงในชีวิตประจำวันแล้วนั้น อาจจะสามารถยกตัวอย่างให้เห็นภาพและเกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้นได้ดังนี้ รูปทรงวงรี คือ ลักษณะของไข่ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยม คือ ลักษณะของกล่องชนิดต่าง ๆ หรือตู้คอนเทนเนอร์ และรูปทรงกลม คือ ลักษณะของอุปกรณ์กีฬาหลากหลายประเภท เช่น ลูกเทนนิส ลูกเบสบอล ลูกบาสเกตบอล หรือลักษณะของผลไม้ขนาดชนิด เช่น ส้ม และแตงโม เป็นต้น และหากพิจารณาเบื้องต้นถึงชนิดต่าง ๆ แท้จริงก็คือ ลักษณะของวัตถุที่มีความสูงเป็นแบบทั้งทรงวงรีและทรงสี่เหลี่ยมผสมกันนั่นเอง

อีกปัจจัยหนึ่งที่จะต้องพิจารณา ซึ่งมีผลโดยตรงกับลักษณะรูปทรงความสูงของวัตถุ คือ ขนาดพื้นที่ผิวในการสะท้อนคลื่นของวัตถุ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญอีกประการหนึ่งเช่นกัน โดยขนาดพื้นที่ผิวของรูปทรงต่าง ๆ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ คือ การหาขนาดพื้นที่ผิวรูปทรงวงรี ดังแสดงในสมการที่ (5) คือ

$$E_{sa} = \frac{4\pi r_1 r_2}{2} \quad (5)$$



รูปที่ 5 ลักษณะวัตถุที่มีความสูงเป็นแบบ

(ก.) ทรงวงรี (ข.) ทรงสี่เหลี่ยม และ (ค.) ทรงกลม

เมื่อ E_{sa} คือขนาดพื้นที่ผิวของรูปทรงวงรี (Ellipse surface area) ของวัตถุ r_1 คือรัศมีที่ 1 (Radius1) หรือรัศมีตามแนวแกน X ซึ่งหมายถึงระยะทางจากจุดศูนย์กลางถึงขอบตามแนวแกนนอน และ r_2 คือรัศมีที่ 2 (Radius2) หรือรัศมีตามแนวแกนตั้ง ซึ่งหมายถึงระยะทางจากจุดศูนย์กลางถึงขอบตามแนวแกนตั้ง ของขนาดพื้นที่ผิวของรูปทรงวงรีของวัตถุ

การหาขนาดพื้นที่ผิวรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากสมการที่ (6) คือ

$$R_{sa} = w * l \quad (6)$$

โดยที่ R_{sa} คือขนาดพื้นที่ผิวของรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle surface area) ของวัตถุ w คือค่าความกว้าง (Width) และ l คือค่าความยาว (Length) ของพื้นที่ผิวรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าของวัตถุ

และการหาขนาดพื้นที่ผิวรูปทรงกลม สามารถหาได้จากสมการที่ (7) คือ

$$S_{sa} = \frac{4\pi r^2}{2} \quad (7)$$

เมื่อ S_{sa} คือขนาดพื้นที่ผิวรูปทรงกลม (Sphere surface area) ของวัตถุ และ r คือรัศมีของรูปทรงกลมของวัตถุ ซึ่งเป็นระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมถึงขอบ หากเมื่อพิจารณาในเทอมของสมการที่ (5) และ (7) จะพบว่ามีค่าขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุเพียงแค่ครึ่งเดียว (หารด้วยค่า 2) ด้วยเหตุผลที่ว่า เมื่อทำการวัดความสูงของทั้งวัตถุรูปทรงวงรีและรูปทรงกลมนั้น ตัววัตถุจะ

ถูกตั้งฉากกับระนาบพื้นการวัด จึงทำให้พื้นที่ผิวในเฉพาะส่วนที่อยู่ด้านบน

หรือครึ่งบนเท่านั้นที่จะถูกกระทบกับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก

ดังนั้นในบทความนี้ จึงสนใจเลือกใช้วัตถุตามการใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน และตามลักษณะดังกล่าว 3 ชนิด คือ 1.) ไข่ไก่ 2.) กล้องไม้ขีดไฟ และ 3.) ลูกเทเบิลเทนนิส ดังแสดงในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 คือ วัตถุต่างชนิดกันขนาดเท่าของจริงที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบผลการวัดความสูงด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกโดย (ก.) คือ ไข่ไก่เบอร์ 0 [16] วัดขนาดความสูงจากการสุ่มตัวอย่าง (Sample) ได้ค่าที่แท้จริง 63 มิลลิเมตร (ข.) คือ กล้องไม้ขีดไฟเล็ก [17] วัดขนาดความสูงได้ค่าที่แท้จริง 54 มิลลิเมตร และ (ค.) คือ ลูกเทเบิลเทนนิสมาตรฐาน [18] วัดขนาดความสูงได้ ค่าที่แท้จริง 40 มิลลิเมตร ซึ่งในการทดลองได้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนของวัตถุ ที่มีลักษณะรูปทรงความสูงเป็นแบบทรงวงรี ทรงสี่เหลี่ยม และทรงกลม ตามลำดับ

สรุปขั้นตอนเตรียมการก่อนการทดลองการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับการวัดความสูงของวัตถุต่างชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ ใช้วัตถุ 3 ชนิด ได้แก่ ไข่ไก่ขนาดความสูงเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวยาว 63 มิลลิเมตร กล้องไม้ขีดไฟขนาดความสูง 54 มิลลิเมตร และลูกเทเบิลเทนนิสขนาดความสูงเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก.) (ข.) และ (ค.) ตามลำดับ โดยกำหนดระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัด m ไว้ที่ 5 ระดับ คือ 100 มิลลิเมตร 150 มิลลิเมตร 200 มิลลิเมตร 250 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร หรือที่ระยะทางการวัดตั้งแต่ 10 ถึง 30 เซนติเมตร โดยมีขั้นการเพิ่มขึ้นของระยะ (Step) ทุก 5 เซนติเมตร ตามลำดับ

ในด้านอุปกรณ์ ใช้ชุดโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิกรุ่น HC-SR04 และชุดบอร์ดควบคุมอาณูโน (Arduino microcontroller board) รุ่น Arduino/Genuino Mega 2560 ทำงานร่วมกันด้วยโปรแกรม Arduino IDE v.1.8.5 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 (Windows 7) และในการทดลองการวัดความสูงนี้ จะใช้อัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูล (Sampling rate) ที่ 31.25 มิลิวินาที หรือการสุ่มวัดตัวอย่างข้อมูลความสูงจำนวน 32 ครั้งใน 1 วินาที (Iteration) นั้นเอง

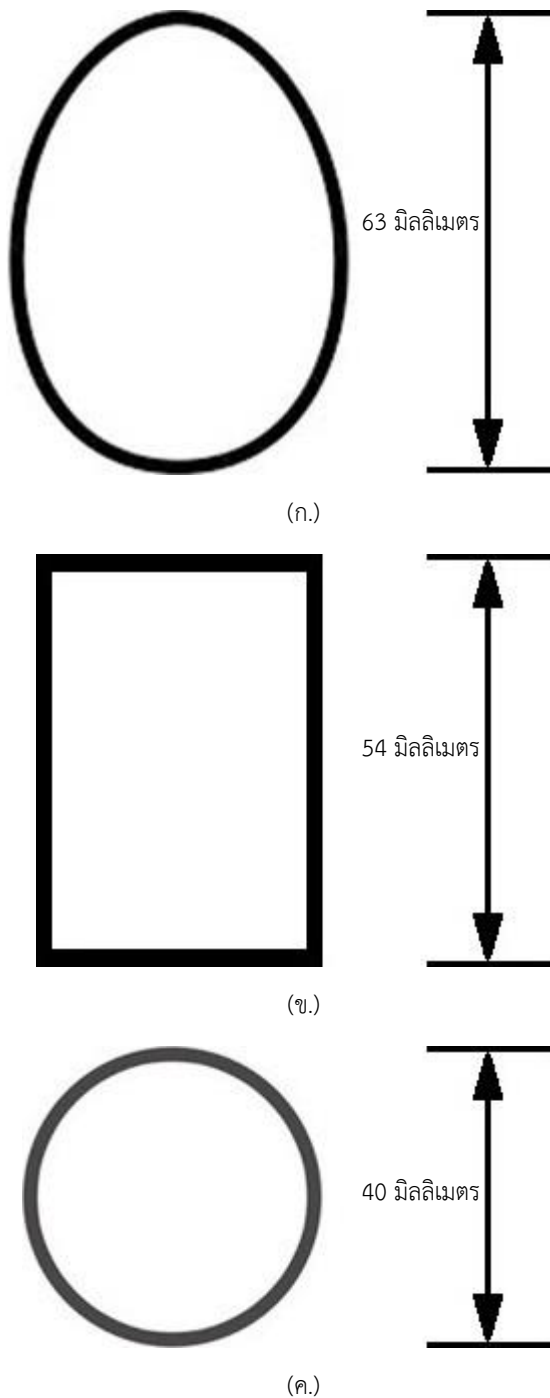
3. ผลการทดลอง

อันดับแรก จะพิจารณาผลการวัดค่าระยะทาง d ระหว่างจุดสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของวัตถุกับอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก โดยค่าผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลค่าเฉลี่ยระยะทาง d ระหว่างจุดสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของวัตถุกับอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

วัตถุ o	ระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัด m				
	100 มม.	150 มม.	200 มม.	250 มม.	300 มม.
ค่า d ไข่ไก่	52.4	144.7	197.7	247.6	300.6
ค่า d กล้อง ไม้ขีดไฟ	50.0	99.4	158.1	209.1	266.7
ค่า d ลูกเท- เบิลเทนนิส	82.5	159.9	204.8	252.0	285.9

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 1 จะได้ว่า ไข่ไก่ สามารถวัดค่าเฉลี่ยระยะ d ได้ 52.4 มิลลิเมตร 144.7 มิลลิเมตร 197.7 มิลลิเมตร และ 247.6 มิลลิเมตร ทุกระยะของ m คือ 100 มิลลิเมตร 150 มิลลิเมตร 200 มิลลิเมตร และ 250 มิลลิเมตร ตามลำดับ ยกเว้นค่า $d = 300.6$ มิลลิเมตร ที่ระยะ $m = 300$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ผิดพลาด โดยมีผลมาจากค่าระยะ m ไม่สอดคล้องกับค่า E_{sa} ในสมการที่ (5) โดยจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป กล้องไม้ขีดไฟ วัดค่าเฉลี่ยระยะ d ได้ 50.0 มิลลิเมตร 99.4 มิลลิเมตร 158.1 มิลลิเมตร 209.1 มิลลิเมตร และ 266.7 มิลลิเมตร ในทุกระยะของ m และลูกเทเบิลเทนนิส สามารถวัดค่าเฉลี่ยระยะ d ได้ 82.5 มิลลิเมตร และ 285.9 มิลลิเมตร ที่ระยะของ $m = 100$ มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับเท่านั้น ส่วนอีก 3 ค่าเฉลี่ยระยะ d คือ 159.9 มิลลิเมตร 204.8 มิลลิเมตร 252.0 มิลลิเมตร ที่ระยะของ $m = 150$ มิลลิเมตร 200 มิลลิเมตร และ 250 มิลลิเมตร ตามลำดับนั้น เป็นค่าที่ผิดพลาดซึ่งมีผลมาจากค่าระยะ m ไม่สอดคล้องกับค่า S_{sa} ในสมการที่ (7) เช่นเดียวกันกับในกรณีของการวัดไข่ไก่ที่ระยะ $m = 300$ มิลลิเมตร ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 6 ลักษณะวัตถุตามขนาดจริงและการใช้งานในชีวิตประจำวัน
(ก.) ไข่ไก่ (ข.) กล่องไม้ขีดไฟ และ (ค.) ลูกเทเบิลเทนนิส

อย่างไรก็ตามการที่สามารถวัดค่า d ที่ระยะของ m ได้นั้น

ไม่ได้มีผลพิสูจน์ที่ชี้ชัดว่าค่า d ที่วัดได้มีความถูกต้องและแม่นยำ เพราะจะต้องนำผลมาพิจารณาพร้อมกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (2) ก่อนหน้านั้นหากนำค่าระยะ m และผลค่าเฉลี่ยระยะ d ของแต่ละวัตถุที่วัดได้ในตารางที่ 1 ไปแทนค่าลงในสมการที่ (2) $h = m - d$ จะได้ผลค่าความต่างของระยะ ซึ่งก็คือค่าความสูง h ของวัตถุแต่ละชนิดดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2 กล่าวคือ ผลค่าความสูงของวัตถุในลักษณะรูปทรงความสูงต่างกัน ดังนี้คือ ไข่ไก่ (รูปทรงวงรี) สามารถหาค่าความสูง h เฉลี่ยมีค่าเป็น 47.6 5.3 2.3 2.4 และ N/A มิลลิเมตร ทุกระยะของ m ที่ 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อหากพิจารณาค่า $h = N/A$ ที่ระยะ $m = 300$ มิลลิเมตร แล้วนั้น จะเป็นค่าความสูงที่ระบุว่าจะไม่สามารถอ่านค่าได้ เพราะจากการคำนวณจะได้ค่าที่มีความผิดพลาด โดยมีผลมาจากค่าระยะ d จากผลที่วัดได้ในตารางที่ 1 นั้นเอง ในส่วนของกล่องไม้ขีดไฟ (รูปทรงสี่เหลี่ยม) สามารถหาค่าความสูง h เฉลี่ยมีค่าเป็น 50.0 50.6 41.9 40.9 และ 33.3 มิลลิเมตร ทุกระยะของ m ที่ 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยค่าความสูงที่มากที่สุดคือที่ระยะ $m = 150$ มิลลิเมตร แทนที่จะเป็นระยะ $m = 100$ มิลลิเมตร และลูกเทเบิลเทนนิส (รูปทรงกลม) สามารถหาค่าความสูง h เฉลี่ยมีค่าเป็น 17.5 N/A N/A N/A และ 14.1 มิลลิเมตร ทุกระยะของ m ที่ 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ และที่ค่า $h = N/A$ นั้น เป็นค่าที่ไม่สามารถอ่านค่าได้ ซึ่งไม่ถูกต้อง โดยมีความผิดพลาดมาจากผลของค่าระยะ d ที่ระยะ m มีค่าเป็น 150 200 และ 250 มิลลิเมตร ในตารางที่ 1 เช่นกัน

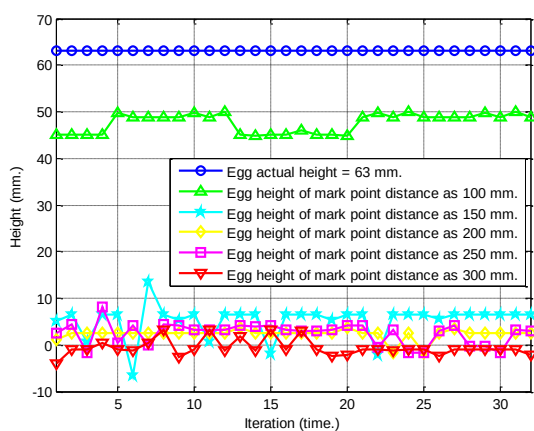
ลำดับต่อไปจะแสดงผลเปรียบเทียบการวัดค่าความสูงของวัตถุไข่ไก่ กล่องไม้ขีดไฟ และลูกเทเบิลเทนนิส โดยที่จะเป็นผลระหว่างค่าความสูงที่แท้จริง และค่าความสูง h ที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) โดยการวัดค่า d ได้ในแต่ละครั้งจากระยะ m ทั้ง 5 ระยะ รวมถึงแสดงผลค่าความถูกต้องของการวัด ด้วยเช่นกัน

โดยค่าความถูกต้องของการวัดนั้น สามารถหาได้ดังแสดงในสมการที่ (8) คือ

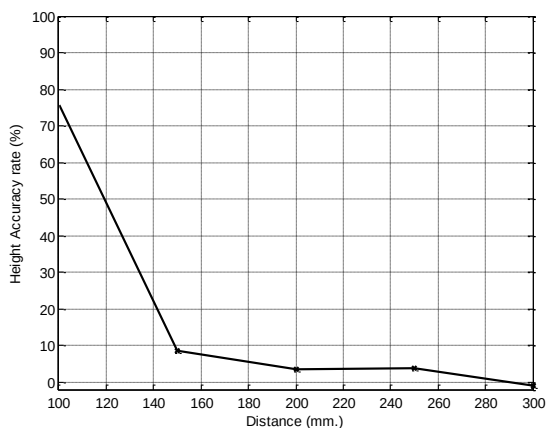
$$H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{h_a} * 100\% \quad (8)$$

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าความสูง h ของวัตถุ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

วัตถุ o	ระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงการวัด m				
	100 มม.	150 มม.	200 มม.	250 มม.	300 มม.
ค่า h ไข่ไก่	47.6	5.3	2.3	2.4	N/A
ค่า h กล่อง ไม้ขีดไฟ	50.0	50.6	41.9	40.9	33.3
ค่า h ลูกเท- เบิลเทนนิส	17.5	N/A	N/A	N/A	14.1



รูปที่ 7 ผลการหาค่าความสูงของไข่ไก่จากการวัดค่า d



รูปที่ 8 ผลค่าความถูกต้องของการวัดค่าความสูงของไข่ไก่

โดยเมื่อ H คือเปอร์เซ็นต์ค่าความถูกต้องของการวัดค่าความสูงของ

วัตถุ N คือจำนวนการสุ่มวัดตัวอย่างข้อมูลความสูงใน 1 วินาที ($N = 32$) h คือค่าความสูงของวัตถุที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) i คือจำนวนครั้งของการสุ่มวัดตัวอย่างข้อมูลความสูงใน 1 วินาที ($i = 1, \dots, N$) และ h_a คือค่าความสูงที่แท้จริงของวัตถุ ไข่ไก่เบอร์ 0 63 มม. กล่องไม้ขีดไฟเล็ก 54 มม. และลูกเทเบิลเทนนิสมาตรฐาน 40 มม.

จากรูปที่ 7 คือ ผลเปรียบเทียบค่าความสูงของไข่ไก่ ระหว่างค่าความสูงที่แท้จริงและค่าความสูงที่ได้จากระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร โดยที่เส้นที่รูปวงกลม คือ ค่าความสูงจริง ส่วนเส้นที่รูปสามเหลี่ยมหงาย เส้นที่รูปดาว เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมจตุรัส และเส้นที่รูปสามเหลี่ยมคว่ำ คือ ค่าความสูงที่ได้ในแต่ละครั้งที่ระยะ m มีค่าเป็น 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 8 คือ ผลลัพธ์ของค่าความสูงของไข่ไก่ ที่ระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร โดยที่จะได้ค่า H หรือค่าความถูกต้องของการวัด คือ 75.57% 8.45% 3.62% 3.87% และมีค่าน้อยกว่า 0.1% ตามลำดับ

จากรูปที่ 9 คือ ผลเปรียบเทียบค่าความสูงของกล่องไม้ขีดไฟ ระหว่างค่าความสูงที่ได้จากระยะที่เพิ่มขึ้นทีละ 50 มิลลิเมตร ของระยะ m ตั้งแต่ 100 ถึง 300 มิลลิเมตร และค่าความสูงที่แท้จริง โดยที่เส้นที่รูปสามเหลี่ยมหงาย เส้นที่รูปดาว เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมจตุรัส และเส้นที่รูปสามเหลี่ยมคว่ำ คือ ค่าความสูงที่ได้ในแต่ละครั้งที่ระยะ m มีค่าเป็น 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนเส้นที่รูปวงกลม คือ ค่าความสูงจริง

จากรูปที่ 10 คือ ค่าความถูกต้อง H ของกล่องไม้ขีดไฟ คือ 92.64% 93.79% 77.57% 75.65% และ 61.57% โดยเป็นผลจากการวัดที่ระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 11 คือ ผลเปรียบเทียบค่าความสูงของลูกเทเบิลเทนนิส ระหว่างค่าความสูงจริงและค่าความสูงที่ได้จากระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร โดยที่เส้นที่รูปวงกลม คือ ค่าความสูงที่แท้จริง ส่วนเส้นที่รูปสามเหลี่ยมหงาย เส้นที่รูปดาว เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด เส้นที่รูปสี่เหลี่ยมจตุรัส และเส้นที่รูปสามเหลี่ยมคว่ำ คือ ค่าความสูงที่ได้ในแต่ละครั้งที่

ระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ

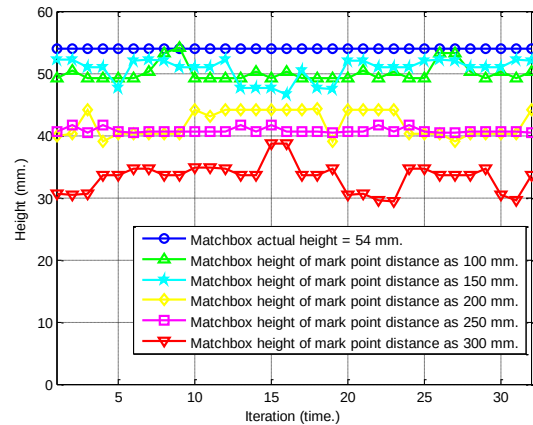
และจากรูปที่ 12 คือ ผลลัพธ์ของค่าความสูงของลูกเทเบิลเทนนิส ที่ระยะ m มีค่าเป็น 100 150 200 250 และ 300 มิลลิเมตร โดยที่มีค่าความถูกต้อง H ของการวัด คือ 43.75% มีค่าน้อยกว่า 0.1% มีค่าน้อยกว่า 0.1% มีค่าน้อยกว่า 0.1% และ 35.37% ตามลำดับ

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

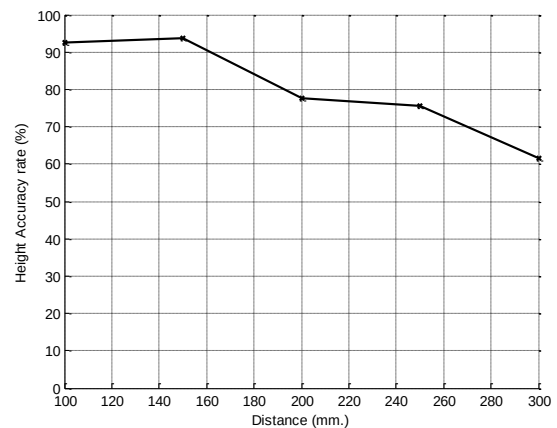
กรณีที่ 1: วัตถุไขไก่ (รูปทรงวงรี) เกิดการไม่สมมูลกันระหว่างค่าระยะ m ที่ 300 มิลลิเมตร และค่า E_{sa} ในสมการที่ (5) กล่าวคือ วัตถุไขไก่อมีขนาดพื้นที่ E_{sa} ที่น้อยและยังมีระยะห่าง m จากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่มาก ทำให้เกิดทั้งการตกกระทบและการสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิกมีค่าความผิดพลาดได้สูง จึงทำให้ค่าระยะ d ที่วัดได้มีค่าเป็น 300.6 มิลลิเมตร ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดความสูงหรือค่า $h = N/A$ นั่นเอง

กรณีที่ 2: ผลการหาค่าความสูงของวัตถุกล่องไม้ขีดไฟ (รูปทรงสี่เหลี่ยม) จากตารางที่ 2 ที่ h มีค่าเป็น 50.0 และ 50.6 มิลลิเมตร ที่ค่าระยะ m มีค่าเป็น 100 และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับนั้น เป็นเพราะสาเหตุใด ค่าระยะ m ที่มากกว่าจึงได้ค่า h ที่มากกว่า ซึ่งแท้จริงแล้วจะต้องน้อยกว่า สามารถอธิบายได้ว่า จากรูปที่ 9 คือ ผลการหาค่าความสูงของกล่องไม้ขีดไฟจากจำนวนครั้งของการวัดค่าระยะทาง d ทั้งหมด ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความสูงที่มากกว่า 50.5 มิลลิเมตร จะพบว่า เส้นที่รูปสามเหลี่ยมหาย ($m = 100$ มิลลิเมตร) จะมีค่าความสูงเทียบกับค่าความสูงจริงที่ 54 มิลลิเมตร คือ จะได้ค่าความสูงที่เท่ากันจากการวัดครั้งที่ 9 และค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดจากครั้งที่ 8, 26 และ 27 คิดเป็น 12.5% ของการวัด ส่วนเส้นที่รูปดาว ($m = 150$ มิลลิเมตร) นั้น จะมีค่าความสูงที่วัดได้ในทำนองเดียวกัน คือ ไม่มีค่าความสูงที่เท่ากัน แต่มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดจากครั้งที่ 1 - 4, 6 - 12, 17, และ 20 - 32 ซึ่งคิดเป็น 78.13% ของการวัด ด้วยเหตุดังกล่าวนี้นำมาซึ่งผลทำให้ ค่าความสูง h ของวัตถุกล่องไม้ขีดไฟที่ค่าระยะ $m = 150$ มิลลิเมตร จึงมีค่ามากกว่าที่ค่าระยะ $m = 100$ มิลลิเมตร และอาจจะสรุปเป็นอีกนัยหนึ่งได้ว่า ผลของค่าความผิดพลาด (Error) ในการหาค่าความสูง h ของวัตถุกล่องไม้ขีดไฟที่เกิดขึ้นนี้ มาจากการวัดหาค่าระยะทาง d ซึ่งถูกกำหนดค่าของระยะทาง m มีช่วงความห่าง (Step) ที่น้อย

เกินไป (50 มิลลิเมตร) เมื่อเทียบกับค่าความไว (Sensitivity) ของอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิก นั่นเอง

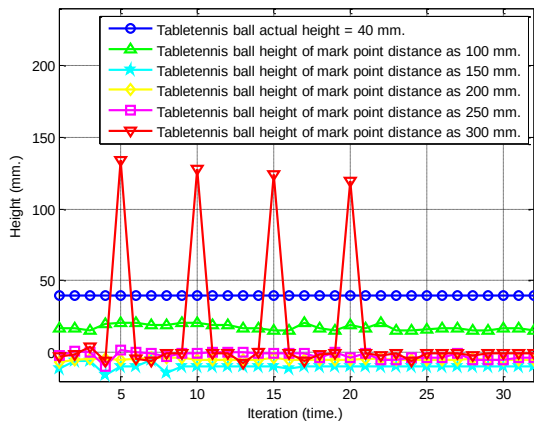


รูปที่ 9 ผลการหาค่าความสูงของกล่องไม้ขีดไฟจากการวัดค่า d

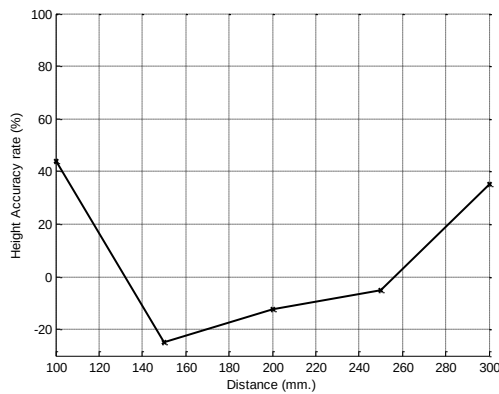


รูปที่ 10 ผลค่าความถูกต้องของการวัดค่าความสูงของกล่องไม้ขีดไฟ

ในกรณีที่ 3: เหตุผลที่ได้ค่าความสูง h เฉลี่ย มีค่าเป็น N/A ที่ค่าระยะ m มีค่าเป็น 150 200 และ 250 มิลลิเมตร ของวัตถุลูกเทเบิลเทนนิสนั้น เพราะที่เกิดจากสาเหตุเดียวกันกับวัตถุไขไก่ ในกรณีที่ 1 กล่าวคือ ตามสมการที่ (6) รูปทรงกลมวัตถุลูกเทเบิลเทนนิสนั้น จะมีขนาดพื้นที่ S_{sa} ที่น้อยมากๆ มีผลโดยตรงอย่างมากต่อการตกกระทบและการสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิก ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดของค่าระยะ d และค่าความสูง h ที่จะวัดได้นั้นผิดพลาด



รูปที่ 11 ผลการหาค่าความสูงของลูกเทเบิลเทนนิสจากการวัดค่า d

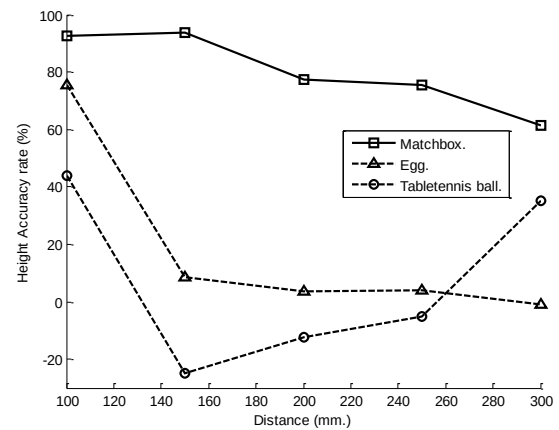


รูปที่ 12 ผลค่าความถูกต้องของการวัดค่าความสูงของลูกเทเบิลเทนนิส

สูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปทรงวงรีวัตถุไข่ไก่ และรูปทรงสี่เหลี่ยมวัตถุกล่องไม้ขีดไฟ แม้ว่าจะมีค่าระยะห่าง m จากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่น้อยหรือมากก็ตาม เช่น ค่าความสูง h เฉลี่ย มีค่าเป็น 17.5 และ 14.1 มิลลิเมตร ที่ค่าระยะ m มีค่าเป็น 100 และ 300 มิลลิเมตรตามลำดับ เป็นต้น

และสุดท้ายในกรณีที่ 4: ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่มีความสำคัญมากที่สุด กล่าวคือ จากผลของค่าความถูกต้อง H ของการวัดมีค่าเป็นลบ ซึ่งเขียนระบุแทนด้วย มีค่าน้อยกว่า 0.1% นั้น อธิบายได้ว่า เกิดจากสาเหตุความผิดพลาดในการวัดความสูงด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกของข้อเท็จจริงที่ว่า เมื่อวัตถุอยู่ใกล้หรือมีระยะทาง d ที่ห่างจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมากเพียงใด ค่าความผิดพลาดก็จะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า H ที่ได้เป็นค่าบวกหรือค่าความถูกต้องจะแปรผกผันกับค่า d เสมอ แต่ค่า H ที่ได้

เป็นค่าลบ มีค่าน้อยกว่า 0.1% หรือเป็นค่าความผิดพลาดจะแปรผันตรงกับค่า d เสมอ เช่นกัน ทั้งนี้ด้วยผลโดยตรงจากทั้งการแพร่กระจายและการสะท้อนกลับของสัญญาณคลื่นความถี่ที่ขึ้นกับค่าระยะทาง d นั้นเอง (ค่าระยะ d น้อยที่สุดของอุปกรณ์ HC-SR04 ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 20 มิลลิเมตร หรือ 2 เซนติเมตร) จึงเป็นผลให้ค่า H จากผลการทดลองมีค่าทั้งที่เป็นค่าบวกและค่าที่น้อยกว่า 0.1% เช่น กล่องไม้ขีดไฟและลูกเทเบิลเทนนิสมีค่า H เป็น 93.79%



รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องผลลัพธ์การวัดค่าความสูงของกล่องไม้ขีดไฟ ไข่ไก่ และลูกเทเบิลเทนนิส

และมีค่าน้อยกว่า 0.1% เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลัก (Factor) ที่จะต้องพิจารณาในการนำเซนเซอร์อัลตราโซนิกไปประยุกต์ใช้ในงานจริง

สรุปได้ว่าค่าระยะทาง m และค่าขนาดพื้นที่ E_{sa} , R_{sa} และ S_{sa} ในสมการที่ (5) (6) และ (7) นั้น มีผลต่อค่าความถูกต้องการวัดค่าความสูงของวัตถุแต่ละชนิด ดังนั้นหากเปรียบเทียบผลค่าความสูงของวัตถุทั้งสามนั้นจะพบว่า กล่องไม้ขีดไฟในรูปทรงแบบสี่เหลี่ยมให้ผลค่าการวัดที่ดีที่สุด ในส่วนของไข่ไก่รูปทรงแบบวงรีให้ผลค่าการวัดรองลงมา และลูกเทเบิลเทนนิสในรูปทรงกลมให้ผลค่าการวัดที่น้อยที่สุด นั้นเอง

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบผลการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับการวัดค่าความสูงของวัตถุที่มี

ลักษณะรูปทรงความสูงต่างชนิดกัน 3 แบบ คือ ไข่ไก่รูปทรงวงรี กล่องไม้ขีดไฟรูปทรงสี่เหลี่ยม และลูกเทเบิลเทนนิสรูปทรงกลม โดย การนำเสนอนี้ได้พัฒนาต่อยอดมาจากงานวิจัยของท่านอื่น ๆ ก่อน หน้าซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาในประเด็นวัตถุรูปทรงดังกล่าว โดย ผลลัพธ์จากการศึกษานั้น เมื่อเปรียบเทียบผลค่าความสูงของวัตถุ รูปทรงทั้งสามที่วัดได้จะพบว่า กล่องไม้ขีดไฟในรูปทรงแบบสี่เหลี่ยม ให้ผลค่าการวัดดีที่สุด ในส่วนของไข่ไก่รูปทรงแบบวงรี ให้ผลค่าการ วัดที่รองลงมา และลูกเทเบิลเทนนิสในรูปทรงกลมให้ผลค่าการวัด น้อยที่สุด โดยได้แสดงผลค่าความถูกต้องที่มากที่สุดและที่น้อยที่สุด ของการวัดค่าความสูงดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งกล่องไม้ขีดไฟ มีค่าเป็น 92.64% และ 61.57% ไข่ไก่มีค่าเป็น 75.57% และมีค่า น้อยกว่า 0.1% ที่ค่าระยะ m มีค่าเป็น 100 และ 300 มิลลิเมตร ตามลำดับ และลูกเทเบิลเทนนิสได้มีค่าเป็น 43.75% และมีค่าน้อย กว่า 0.1% ที่ค่าระยะ m มีค่าเป็น 100 และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุสรณ์ เราเท่า, ดิเรก มณีวรรณ, สันติชาติ พันตา และ เอกรัตน์ ดีตาวงค์, “เครื่องช่วยนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยระบบคลื่นสะท้อน,” 7th ECTI-CARD 2015, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7., หน้า. 275-280, 2558.
- [2] วรา พูลสวัสดิ์ และ พิษญา ตันชัยย์, “การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์แบบอัลตราโซนิกเพื่อช่วยผู้พิการทางสายตาค้นพบวัตถุในพื้นที่ใหม่,” 7th ECTI-CARD 2015, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7., หน้า. 614-617, 2558.
- [3] จิรพันธ์ ทาแกง, ชูธง สัมมัตตะ, วันไชย คาเสน, สุทธิพงษ์ สุขมัน และ พรหมพัฒน์ วงศ์แก้วมูล, “การตรวจวัดและแจ้งเตือนปริมาณสิ่งตกค้างในถังไซโลระบบหีบอ้อย บริษัทน้ำตาลทิพย์สุโขทัย,” 7th ECTI-CARD 2015, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7., หน้า. 682-685, 2558.
- [4] พลการ พรหมเมศรี, “การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกส์งานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่จอดรถยนต์ร่วมกับตัวตรวจจับชนิดอัลตราโซนิก,” 7th ECTI-CARD 2015, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7., หน้า. 152-155, 2558.
- [5] นฤเทพ สุวรรณธาดา, “การพัฒนาเกมต้นแบบปฏิสัมพันธ์ด้วยอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์อาคุโยโน,” 7th ECTI-CARD 2015, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7., หน้า. 119-122, 2558.
- [6] กิริติช สายพัทลุง, ธงชัย ทองอยู่ และ ปาริฉัตร แก่นสม, “ระบบควบคุมอัตโนมัติระยะไกลควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์,” การประชุมวิชาการระดับชาติปัญญาภิวัฒน์ ครั้งที่ 7, สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์., หน้า. G28-G37, มิถุนายน. 2560.
- [7] ธัญญรัตน์ วงศ์เก, ปณิสตา อวิคุณประเสริฐ และ ชยานนท์ อวิคุณประเสริฐ, “อุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก,” Journal of Associated Medical Sciences., vol. 50, No. 3, หน้า. 435-441, กันยายน. 2560.
- [8] อภิวัฒน์ จันท, ขวลิศ ปัญญาอิสระ และ ทศพันธ์ สุวรรณทัต, “การออกแบบและสร้างเครื่องวัดน้ำหนักนํ้าหนักด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งเพื่อใช้ในฟาร์มโคนม,” 10th ECTI-CARD 2018, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10., หน้า. 151-154, มิถุนายน. 2561.
- [9] เทียง เหมียดโฮง, ศิวาพร เหมียดโฮง และ สราวุธ เชาวสุก, “นวัตกรรมดิจิทัลการละเล่นพื้นบ้านไทยเพื่อพัฒนาทักษะการคิดแบบนักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา,” 10th ECTI-CARD 2018, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10., หน้า. 135-138, มิถุนายน. 2561.
- [10] ธนภัทร มาลีลย์, พัชรณัฐ แสงอ่อน และ พงศ์พัทธ์ มังคละศิริ, “การวัดระยะลูกกอล์ฟในการแข่งขันกีฬาเบตองแสดงผลดิจิทัล,” 10th ECTI-CARD 2018, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10., หน้า. 287-290, มิถุนายน. 2561.
- [11] เอกพล อนุสรณ์ และ พุฒิพงศ์ เกิดพิพัฒน์, “การแจ้งเตือนขยะผ่านแอปพลิเคชันไลน์,” 10th ECTI-CARD 2018, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10., หน้า. 734-737, มิถุนายน. 2561.
- [12] L. Puebla Palma, “Ultrasonic Distance Measurer Implemented with the MC9RS08KA2,” RTAC Americas, Freescale Semiconductor Application Note., Document Number: AN3481, Rev. 0, Feb. 2008.
- [13] J. Majchrzak, M. Michalski and G. Wiczyński, “Distance Estimation With a Long-Range Ultrasonic Sensor System,” IEEE Sensors Journal., vol. 9, no. 7, July. 2009.
- [14] L. Koval, J. Vaňuš and P. Bilik, “Distance Measuring by Ultrasonic Sensor,” ScienceDirect, IFAC., IFAC-PapersOnLine 49-25, pp. 153-158, 2016.
- [15] V. A. Zhmud, N. O. Kondratiev, K. A. Kuznetsov, V. G. Trubin and L. V. Dimitrov, “Application of Ultrasonic Sensor for Measuring Distances in Robotics,” International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018., Journal of Physics: Conf.Series 1015, 032189, doi:10.1088/1742-6596/1015/3/032189, 2018.
- [16] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “ไข่ไก่ HEN EGG,” มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553., ICS 67.120.20 ISBN, ธันวาคม. 2553.
- [17] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “ไม้ขีดไฟ,” มอก.53-2548., 2548.
- [18] กองวิชาการศึกษา, “การศึกษาเทเบิลเทนนิส,” งานพัฒนางานองค์ความรู้ กองวิชาการศึกษา ฝ่ายสารสนเทศและวิชาการศึกษา การกีฬาแห่งประเทศไทย., 2558.
- [19] <https://components101.com/sites/default/files/components/Ultrasonic-Sensor.jpg>.

- [20] Cytron Technologies Sdn. Bhd., “User’s Manual V1.0,” [www.cytron.com.my.](http://www.cytron.com.my/), Product User’s Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor, May. 2013.
- [21] Handson Technology., “User Guide: Ultrasonic Sensor V2.0,” [www.handsontec.com.](http://www.handsontec.com/), HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide, SKU: MDU-1014.



อนรรักษ์ โนसान สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาออยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปี พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาออยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปี พ.ศ. 2549 จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และกำลังศึกษาปริญญาเอก ในสาขา -

วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาออยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และได้รับตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สนใจงานวิจัย ด้านอุปกรณ์ตรวจจับแบบไร้สัมผัส และด้านการวิเคราะห์และการรู้จำทั้งเสียงพูดและผู้พูดภาษาไทย