

การประยุกต์อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงกับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
สำหรับการทดลองทางฟิสิกส์ เรื่อง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

Application of Internet of
Things-Applied Ultrasonic Sensor for Physics Experiment
in the Coefficient of Kinetic Friction

ศศิฎานันท์ แก้วลา, พัฒนสุข ชำนินอก, เสริฐ เขียนนอก,

ภควัฒน์ วงศ์วรรณวัฒนา และคัชรินทร์ เวชชากุล*

สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ถนนราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

นัตดา เวชชากุล

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Sasiyanan Kaewla, Pattanasuk Chamninok, Sert Kiennork,

Pakawat Wongwanwattana and Khatcharin Wetchakun*

Program of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University,

Ratchathani Road, Nai Muang, Muang, Ubon Ratchathani 34000

Natda Wetchakun

Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University,

Huay Kaew Road, Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะเฉพาะและความสามารถการตรวจจับวัตถุอุปสรรคของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 และประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปยังอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงสำหรับการทดลองทางฟิสิกส์ เรื่อง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่และกฎของสโตกส์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต ผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุอุปสรรคกับการกระจัดที่อ่านได้จากอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราร้อยละการตรวจจับวัตถุอุปสรรคได้ไม่เท่ากันระหว่างวัตถุอุปสรรคที่มีขนาดเส้นผ่าน

*ผู้รับผิดชอบบทความ : khatcharin.w@ubru.ac.th

ศูนย์กลางเท่ากับและมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกตมีค่า 0.30-0.53 นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วของวัตถุอุปสรรคกับขนาดแรงเสียดทานจลน์ และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงแนวตั้งฉากกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ การอ่านขนาดการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 โดยใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีความเที่ยงตรงมากกว่าอุปกรณ์ควบคุมด้วยมือที่ประกอบด้วยตลับเมตรและนาฬิกาจับเวลา ผลการวิจัยให้ค่าความแม่นยำที่ใกล้เคียงกันระหว่างอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอุปกรณ์ควบคุมด้วยมือกรณีที่ใช้ขนาดแรงแนวตั้งฉากที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.58 นิวตัน

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์; อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง; อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This research studied characteristics and sensing abilities of HC-SR04 ultrasonic sensor and applied internet of things to HC-SR04 ultrasonic sensor for physics experiment in coefficient of kinetic friction using knowledge of motion along a straight line with constant speeds and Stoke's law to find the coefficients of kinetic friction between uPVC and borosilicate glass. The correlation between angular position of the obstacle object and displacement reading from HC-SR04 ultrasonic sensor was found in this research. Moreover, detections in percentages of HC-SR04 ultrasonic sensor were different in the displacement detections between the obstacle objects having their diameters larger/smaller than those of transmitter and receiver of HC-SR04 ultrasonic sensor. The coefficients of kinetic friction between uPVC and borosilicate glass were found in the range of 0.30-0.53. Furthermore, the correlation between speed of the obstacle object and kinetic friction force, and the correlation between normal force and coefficient of kinetic friction were found in this research. The displacement reading between the obstacle object and HC-SR04 ultrasonic sensor using HC-SR04 ultrasonic sensor-applied internet of things has more precision than that using manual devices consisting of a measuring tape and a stopwatch. The results provide similar accuracy between internet of things-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and the manual devices in the case of applying the normal force of ≥ 1.58 N.

Keywords: coefficient of kinetic friction; ultrasonic sensor; internet of things

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมอดูลตัวรับรู้หรืออุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic

sensor module) ทางการค้าสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ซึ่งแต่ละยี่ห้อมีรายละเอียดเฉพาะอุปกรณ์ที่ต่างกันไปได้แก่ 600-Series Polaroid sensor,

Parallex’s PING))) ultrasonic sensor, SPL ultrasonic sensor, HC-SR04 เป็นต้น อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้หลักการเดียวกัน คือ การส่งคลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่สูงในรูปแบบพัลส์จากตัวส่งทรานสดิวซ์เซอร์ที่ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric transducer) ไปตกกระทบวัตถุอุปสรรค (obstacle object) ซึ่งตัวทรานสดิวซ์เซอร์ส่งสัญญาณในอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงในท้องตลาดให้ความถี่ในช่วง 40-50 กิโลเฮิร์ตซ์ คลื่นเหนือเสียงในรูปแบบพัลส์ที่ถูกส่งออกมานั้นจะสะท้อนกลับตามกฎการสะท้อน (law of reflection) ซึ่งบอกไว้ว่ามุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน โดยสัญญาณคลื่นเหนือเสียงที่สะท้อนกลับออกมา มีลักษณะหรือปริมาณทางกายภาพของคลื่นเหนือเสียงนั้น สามารถเปลี่ยนแปลงไปจากสัญญาณเริ่มแรก ได้แก่ ความเข้ม (intensity) ที่วัดได้ในรูปปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้า และรูปแบบของคลื่น (wave pattern) องค์ความรู้พื้นฐานนี้สามารถนำมาใช้ในการแยกสภาพพื้นผิวได้ [1] เมื่อคลื่นเหนือเสียงในรูปแบบพัลส์สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุอุปสรรคและเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางมายังตัวรับทรานสดิวซ์เซอร์ที่วางอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกันและห่างกัน ด้วยระยะ r ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณคลื่นเหนือเสียงในรูปแบบพัลส์นี้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเหนือเสียงในรูปแบบพัลส์ที่เดินทางมายังตัวรับทรานสดิวซ์เซอร์สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ขึ้นกับตัวกลางแก๊สชนิดต่าง ๆ ในการเคลื่อนที่นั้น ซึ่งจะมีผลต่อขนาดอัตราเร็วของคลื่นเหนือเสียง โดยขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดของตัวกลาง เป็นต้น แต่ความชื้นมีผลต่ออัตราเร็วของเสียงน้อยมากจึงสามารถละทิ้งไปได้ สมการคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นเหนือเสียงเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$v_{sound} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

โดยที่ R คือ ค่าคงที่ของแก๊สสากลลักษณะ (8.314 จูล/โมล.เคลวิน); T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน); M คือ น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส (กิโลกรัม/โมล); γ คือ ค่าคงที่แอดิแบติก

กรณีอัตราเร็วของคลื่นเหนือเสียงที่เคลื่อนที่ในอากาศ ($v_{sound \text{ in air}}$) สามารถคำนวณดังสมการที่ (2)

$$v_{sound \text{ in air}} \approx 331.4 + 0.6T \quad (2)$$

ระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเหนือเสียง ($2s_{sound \text{ in air}}$) สามารถคำนวณจากสมการการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (3)

$$2s_{sound \text{ in air}} = v_{sound \text{ in air}} \cdot \Delta t \quad (3)$$

การกระจายระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง (s) สามารถคำนวณจากสมการการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (4)

$$s = \sqrt{v_{sound \text{ in air}}^2 - (r/2)^2} \quad (4)$$

โดยที่ r คือ ระยะห่างระหว่างตัวทรานสดิวซ์ส่งและรับสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง ในกรณีที่ระยะ r น้อย ๆ สามารถประมาณค่าดังสมการที่ (5)

$$s \approx s_{sound \text{ in air}} \quad (5)$$

เมื่อชนิดและสภาพพื้นผิวของวัตถุอุปสรรคต่างกันจะส่งผลต่อการสะท้อนของคลื่น นั่นคือ ความเข้มและมุมการสะท้อนของคลื่นเหนือเสียงตามลำดับ จึงทำให้การวัดการกระจายโดยอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงสามารถเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น แต่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยเกี่ยวกับสีของวัตถุอุปสรรค [3] งานวิจัยที่ผ่านมาได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงในการผลิตอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่องคัดแยกโลหะโดยสามารถแยกโลหะ 8 ชนิด ได้แก่ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กซีทีไฟล์ สแตนเลส เหล็กชุบกำลาโนส และอะลูมิเนียมขัดเงา [4] แวนดาแจ็งเตือนสิ่งกีดขวางสำหรับผู้พิการทางสายตา [5] เครื่องแจ้งเตือนสิ่งกีด

ขวางเพื่อผู้พิการทางสายตา [6] อุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก [7] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงกับการทดลองทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่น การทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก [8]

HC-SR04 เป็นอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงที่ใช้หลักการที่กล่าวไปข้างต้น โดยทำงานที่ความต่างศักย์ 4.5-5.5 โวลต์ มีสัญญาณดิจิทัลขาเข้า (TRIG) และขาออก (ECHO) ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยมีการสร้างสัญญาณในรูปแบบพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์อย่างน้อย 10 ไมโครวินาที ป้อนให้ที่ขา TRIG และวัดความกว้างของสัญญาณจากขา ECHO ถ้าวัตถุอยู่ใกล้ ความกว้างของสัญญาณพัลส์ (pulse width) ที่วัดได้จะมีค่าน้อย แต่ถ้าวัตถุอยู่ไกลออกไป ความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่วัดได้จะมีค่ามาก [9] สามารถเชื่อมต่อเข้ากับแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เช่น บอร์ด NodeMCU Development Kit v2 ที่ประกอบด้วยชุดเครื่องมือเพื่อการพัฒนา (development kit) มีโครงสร้างพื้นฐานของโมดูล ESP-12E และเฟิร์มแวร์ภาษา Lua ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพ ESP 8266 Wi-Fi SoC จากบริษัท AI Thinker ที่เป็นหน่วยประมวลผลโปรแกรม บอร์ด NodeMCU Development Kit v2 มีลักษณะคล้ายคลึงกับบอร์ด Arduino มีเรกกูเลเตอร์ (regulator) ปรับแรงดันไฟฟ้าจากพอร์ต USB 5 โวลต์กระแสตรง ไปเป็น 3.3 โวลต์กระแสตรง สำหรับใช้ในบอร์ดและมีตัวแปลงสัญญาณข้อมูลให้สอดคล้องกับการใช้งานพอร์ต USB บนคอมพิวเตอร์ได้ (TTL-to-USB adapter or USB-to-Serial) [10,11]

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things, IoT) คือ กระบวนทัศน์ใหม่ (novel paradigm) ในภาพเหตุการณ์ (scenario) ของการสื่อสารโทรคมนาคม

แบบไร้สายสมัยใหม่ (modern wireless telecommunication) ที่กำลังเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ไอเดียพื้นฐานของมโนทัศน์ (concept) นี้ คือ การแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของสรรพสิ่งรอบตัวเรา เช่น การระบุข้อมูลสิ่งต่าง ๆ โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio-frequency identification, RFID) อุปกรณ์รับรู้ (sensor) แอคชูเอเตอร์ (actuator) โทรศัพท์มือถือ และอื่น ๆ ซึ่งสรรพสิ่งเหล่านี้สามารถมีอันตรกิริยา (interact) ต่อกัน และสามารถทำงานร่วมกับสรรพสิ่งอื่นเพื่อบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ กระบวนทัศน์ใหม่นี้มาจากวิสัยทัศน์ที่หาทิศทางให้คาบเกี่ยวกับ 3 เรื่อง ได้แก่ อินเทอร์เน็ต สรรพสิ่ง และความหมาย (things-oriented vision, internet-oriented vision and semantic-oriented vision) อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งทำให้เกิดการพัฒนาการประยุกต์ใช้งานแวดวงและสิ่งแวดลอมต่าง ๆ จำนวนมาก เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตจากปริมาณและประเภทของข้อมูลต่าง ๆ จำนวนมากที่ให้โดยอุปกรณ์ที่สื่อสารแบบไร้สายระหว่างกัน ได้แก่ การขนส่งและโลจิสติกส์ (transportation and logistic) การดูแลสุขภาพ (healthcare) สิ่งแวดลอมอัจฉริยะ (smart environment) บุคคลและสังคม (personal and social) เป็นต้น [12,13]

นโยบายด้านการศึกษาของประเทศไทย ต้องการให้นักเรียน/นักศึกษามีทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งรวมทักษะดิจิทัล [14] และมีการส่งเสริมการเรียนรู้เกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพราะฉะนั้นเพื่อส่งเสริมนโยบายด้านการศึกษาของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงสนใจประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งกับอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียงสำหรับการทดลองทางฟิสิกส์ เรื่อง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์ 2 เรื่อง เข้าด้วยกัน ได้แก่ การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ และกฎ

ของสโตนิกส์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต

2. อุปกรณ์วิธีการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 โดยมีข้อกำหนด (คุณลักษณะ) ดังตารางที่ 1 ใช้น้ำยาล้างจาน ยี่ห้อซันไลต์กลิ่นเลมอน [15] บอร์ด NodeMCU Development Kit v2 ชิ้นส่วนรางเก็บสายไฟยูพีวีซี (uPVC) ขนาด 80 x 100 ตารางมิลลิเมตร แผ่น PP

board ตุ่มมวลมาตรฐาน 0.02 และ 0.05 กิโลกรัม วัตถุอุปสรรคทรงกลม ได้แก่ ลูกเหล็กผิวเรียบมันวาว ขนาด 1.50 และ 1.83 เซนติเมตร แผ่นอะลูมิเนียมผิวเรียบมันวาว เกรด 1100 ขนาด 1.5 x 1.5 ตารางเซนติเมตร แผ่นกระจกเรียบชนิดบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) ดัดลบเมตร ไม้บรรทัด นาฬิกาจับเวลา เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ รอกเดี่ยว ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ยาว 75 เซนติเมตร และตุ้มมวลเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร

Table 1 HC-SR04 ultrasonic sensor features [9,16]

Working voltage	DC 5 V
Working current	15 mA
Working frequency	40 Hz
Ultrasonic frequency	40 kHz
Sonic burst from module	8 cycle
Max range	4 m
Min range	2 cm
Measuring angle	15 degree
Trigger input signal	10 μ s TTL pulse
Echo output signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Diameter of transmitting and receiving transducers	15 mm
Length between transmitting and receiving transducers	27 mm
Total dimension	45 x 20 x 15 mm ³

2.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะและความสามารถการตรวจจับวัตถุอุปสรรคของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04

จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 1 เพื่อทดสอบผลการตรวจจับของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือ

เสียง HC-SR04 โดยวางตำแหน่งเชิงมุมการวางวัตถุอุปสรรคลงในกระดาดภาพที่มีมุมเท่ากับ ± 10 , ± 20 และ ± 30 องศา เปรียบเทียบกับเส้นตั้งฉาก แต่ละค่ามุมมีการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 เท่ากับ 5, 10 และ 15

เซนติเมตร จัดให้แนวเส้นตั้งฉากอยู่กึ่งกลางระหว่างตัวส่งและรับคลื่นเหนือเสียงของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 วางวัตถุอุปสรรคแผ่นอะลูมิเนียมเกรด 1100 เรียบขนาด 1.5×1.5 ตารางเซนติเมตร และทรงกลมเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ได้แก่ 1.50 และ 1.83 เซนติเมตร ลงในตำแหน่งต่าง ๆ ที่วาดไว้ในกระดาษกราฟ จากนั้นต่ออุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 เข้าบอร์ด NodeMCU Development Kit v2 ควบคุมโดยการเขียนรหัสคำสั่งด้วยโปรแกรม Visual Studio Code โดยอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ตรวจจับสัญญาณเวลา (Δt) ของคลื่นเสียงที่เดินทาง ณ อุณหภูมิห้องขณะทดลอง หรือความกว้างของสัญญาณพัลส์ชา Echo ในหน่วยไมโครวินาทีที่เข้าประมวลผลในบอร์ด NodeMCU Development Kit v2 โดยใช้สมการที่ (2), (3) และ (5) ในรหัสคำสั่งคำนวณออกมาเป็นค่าการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคกับอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 แล้วส่งค่าการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่คำนวณได้จากรหัสคำสั่งโปรแกรม Visual Studio Code ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ Firebase ดังรูปที่ 2 โดยทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

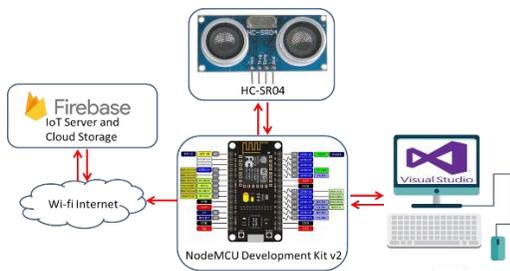


Figure 2 Diagram of displacement and time measuring system based on IoT.



Figure 3 Experimental setup of application of internet of things-applied ultrasonic sensor for physics experiment in coefficient of kinetic friction between uPVC and borosilicate glass.

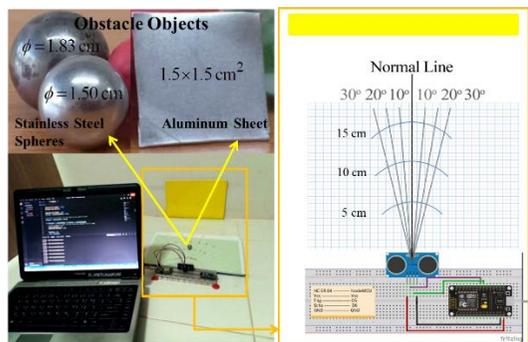


Figure 1 Experimental setup of investigations of characteristics and sensing abilities of HC-SR04 ultrasonic sensor.

2.3 การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งกับอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต

จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3 เพื่อทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต โดยใช้วัตถุอุปสรรค คือ ชิ้นส่วนรางเก็บสายไฟยูพีวีซี โดยมีแผ่น PP board สอดในร่องทางด้านรับคลื่นเหนือเสียงเพื่อทำหน้าที่ในการสะท้อนคลื่นเหนือเสียงกลับไปยังอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 มีมวลรวม 0.0411 กิโลกรัม (m_B) จากนั้น

ทำให้วัตถุอุปสรรคเคลื่อนที่ในแนวระนาบด้วยความเร็วคงที่บนแผ่นแก้วบอโรซิลิเกตซึ่งวางบนโต๊ะที่ใช้ในการทดลอง โดยผูกวัตถุอุปสรรคกับเส้นด้ายเบาคล้องผ่านรอกเดี่ยว อีกปลายด้ายด้านหนึ่งผูกด้วยตุ้มมวลเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร (m_2) ให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งภายใต้ของไหลบรรจุอยู่ในท่อพีวีซีของไหลที่ใช้ คือ น้ำยาล้างจานชนิดกึ่งกลีนิมะนาว มีความถ่วงจำเพาะ 1.036 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความหนืด (η) 750 เซนติพอยส์ [15] เปลี่ยนแปลงค่ามวลของวัตถุอุปสรรคจากการเพิ่มตุ้มมวล (m_A) บนรางเก็บสายไฟพีวีซี ศึกษาการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่มีความเร็วคงที่โดยใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 วัดการกระจัดของวัตถุอุปสรรคถึงอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 โดยใช้วิธีการเดียวกับตอนที่ 2.2 ส่วนค่าเวลาที่วัตถุอุปสรรคเคลื่อนที่ดึงมาจากแม่ข่ายทางอินเทอร์เน็ตโดยรหัสคำสั่ง แล้วส่งค่าการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่คำนวณได้และค่าเวลาที่วัตถุอุปสรรคเคลื่อนที่ได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ Firebase ดังรูปที่ 2 วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาเพื่อตรวจสอบว่าวัตถุอุปสรรคมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (v) จากนั้นพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุอุปสรรคเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต (μ_k) ดังรูปที่ 4 โดยเทียบผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมด้วยมือ ซึ่งประกอบด้วยตัวลิบเมตรและนาฬิกาจับเวลา โดยทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

พิจารณาในรอบที่ 1 เพื่อหาแรงดึงเชือก (\vec{T}) จากสมการที่ (6)

$$\vec{F}_{net} = 0$$

$$\vec{T} + \vec{F}_B + \vec{F}_D = m_2 \vec{g}; \quad |\vec{F}_B| = \rho V g$$

และ $|\vec{F}_D| = 6\pi\eta r v$ (6)

โดยที่ m_2 คือ มวลของตุ้มเหล็กทรงกลมในท่อพีวีซี; V คือ ปริมาตรของตุ้มเหล็กทรงกลมที่ถูกแทนที่ด้วยของไหล; ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล; \vec{F}_D คือ แรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดของของไหล; \vec{F}_B คือ แรงลอยตัวที่กระทำผ่านตุ้มเหล็กทรงกลม; m_2 ภายใต้ของไหล; r คือ รัศมีของตุ้มเหล็กทรงกลม m_2

สามารถหาแรงดึงเชือก (\vec{T}) จากสมการที่ (7)

$$|\vec{T}| = (m_2 g) - \left(\frac{4}{3} \rho \pi g r^3 \right) - (6\pi\eta r v) \quad (7)$$

พิจารณาในรอบที่ 2 เพื่อหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ (μ_k) จากสมการที่ (9)

$$\vec{f}_k = \vec{T} \quad (8)$$

$$\mu_k \vec{F}_N = \vec{T}$$

$$\mu_k = \frac{|\vec{T}|}{|\vec{F}_N|} \quad (9)$$

โดยที่ \vec{F}_N คือ แรงแนวตั้งฉาก; \vec{f}_k คือ แรงเสียดทานจลน์

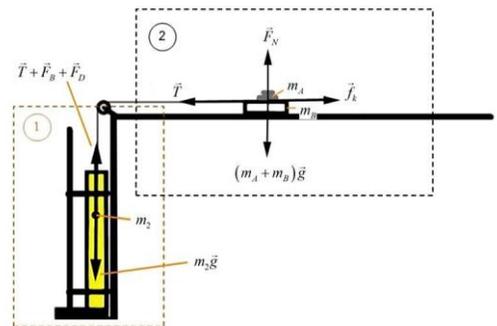


Figure 4 Analytic diagram of applying forces to the obstacle object ($m_A + m_B$) and the spherical object (m_2) under the fluid for finding coefficients of kinetic friction between uPVC and borosilicate glass.

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะและความสามารถการตรวจจับวัตถุอุปสรรคของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04

ผลการวัดการกระจัดของวัตถุอุปสรรคแผ่นอะลูมิเนียมเกรด 1100 ขนาด 1.5 x 1.5 ตารางเซนติเมตร โดยใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่การกระจัดจริง 5, 10 และ 15 เซนติเมตร โดยเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเชิงมุมที่วัตถุอุปสรรคอยู่ห่างจากเส้นตั้งฉาก ดังนี้ ±10, ±20 และ ±30 องศา แสดงดังรูปที่ 5 พบความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของวัตถุอุปสรรคที่วัดจากอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 และตำแหน่งเชิงมุมที่วัตถุอุปสรรคอยู่ห่างจากเส้นตั้งฉากเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (quadratic function) โดยค่าที่อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ตรวจจับได้มีความแม่นยำในกรณีที่ว่าวัตถุอุปสรรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ ±10 องศา อย่างไรก็ตามสามารถตรวจจับในช่วงตำแหน่งเชิงมุม -30 ถึง 30 องศา โดยที่การกระจัด 5 เซนติเมตร พบการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจัดที่ตรวจจับเล็กน้อยตามมุมที่กว้างมากขึ้น และที่การกระจัด 10-15 เซนติเมตร พบการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจัดที่ตรวจจับมากขึ้นตามมุมที่กว้างมากขึ้น

ผลการทดสอบความสามารถของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 โดยรายงานในรูปอัตราร้อยละการตรวจจับได้ (% detection) ในช่วงตำแหน่งเชิงมุมที่วัตถุอุปสรรคอยู่ -30 ถึง 30 องศา โดยใช้วัตถุอุปสรรคทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกัน ดังนี้ (1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 (2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.83 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 แสดงดังรูปที่ 6 พบว่า ที่การกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคกับอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 5 เซนติเมตร อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 สามารถตรวจจับวัตถุอุปสรรคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 และ 1.63 เซนติเมตร ในช่วงตำแหน่งเชิงมุม -30 ถึง 30 องศา ด้วยอัตราร้อยละการตรวจจับเท่ากับ 100

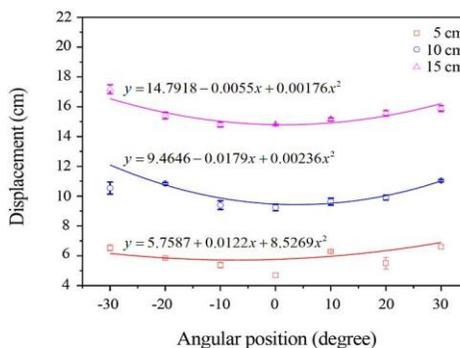


Figure 5 Correlation between displacement between the obstacle object and HC-SR04 ultrasonic sensor detected by HC-SR04 ultrasonic sensor, and angular position measured from normal line of aluminum 1100 sheet with its dimension of 1.5x1.5 cm² by varying the displacements of 5, 10 and 15 cm.

เมื่อพิจารณาการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคกับอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 10 และ 15 เซนติเมตร อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 สามารถตรวจจับวัตถุอุปสรรคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งเชิงมุมมากกว่า ±10 องศา (±20 และ ±30 องศา) ด้วยอัตราร้อยละการตรวจจับโดยเฉลี่ย 38 และสามารถตรวจจับวัตถุ

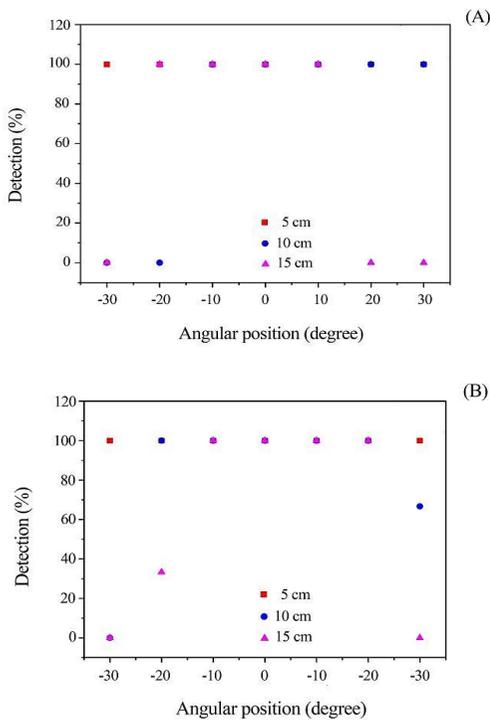


Figure 6 Correlation between detection in percentages of HC-SR04 ultrasonic sensor and angular position measured from the normal line of spherical iron objects with their diameters of (A) 1.50 cm and (B) 1.83 cm by varying displacements between the obstacle object and HC-SR04 ultrasonic sensor of 5, 10 and 15 cm.

อุปสรรคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.83 เซนติเมตรได้ ที่ตำแหน่งเชิงมุมมากกว่า ±10 องศา (±20 และ ±30 องศา) ด้วยอัตราร้อยละการตรวจจับโดยเฉลี่ย 50 ขณะที่สามารถตรวจจับวัตถุอุปสรรคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งเชิงมมน้อยกว่าหรือเท่ากับ ±10 องศา (0 และ ±10 องศา) ด้วยอัตราร้อยละการตรวจจับโดยเฉลี่ยเท่ากับ 100 และสามารถ

ตรวจจับวัตถุอุปสรรคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.83 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งเชิงมมน้อยกว่าหรือเท่ากับ ±10 องศา (0 และ ±10 องศา) ด้วยอัตราร้อยละการตรวจจับโดยเฉลี่ย 100 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อวัตถุอุปสรรคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 มีความสามารถตรวจจับวัตถุอุปสรรคได้ดีขึ้น และเมื่อตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุอุปสรรคมากกว่า ±10 องศา จากแนวเส้นตั้งฉาก อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 มีความสามารถตรวจจับวัตถุอุปสรรคได้ลดลง และมีอัตราร้อยละการตรวจจับไม่ถึง 100

3.2 ผลการประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปยังอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ในการหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต

การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงของวัตถุอุปสรรคเป็นผลมาจากการถ่วงด้วยมวล m_2 ผ่านรอดเดี่ยวภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก และควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ให้คงที่โดยใช้กฎของสโตกส์ ผลการทดลองพบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการกระจัดกับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุอุปสรรคจากการเปลี่ยนแปลงค่าแรงแนวตั้งฉากโดยการเปลี่ยนค่ามวลของตุ้มมวลมาตรฐาน m_A ขนาด 0.06 (รูปที่ 7) 0.08 (รูปที่ 8) 0.10 (รูปที่ 9) 0.12 (รูปที่ 10) และ 0.14 (รูปที่ 11) กิโลกรัม โดยแต่ละค่าแรงแนวตั้งฉากที่เปลี่ยนแปลงทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ดังรูปที่ 7 ถึง 11 (A-B) แต่ละค่าแรงแนวตั้งฉากจะได้ค่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุอุปสรรคที่เคลื่อนที่โดยหาได้จากค่าเฉลี่ยของความชันกราฟเส้นตรงทั้งหมด 5 ค่า แสดงดังตารางที่ 2 โดยค่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุอุปสรรคที่เคลื่อนที่จากการวัดโดยใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่

ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีความแตกต่างจากการวัดโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยมือด้วยอัตราร้อยละความแตกต่างเฉลี่ย 22 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มมวลมาตรฐานตั้งแต่ 0.06 ถึง 0.10 กิโลกรัม และอัตราร้อยละความแตกต่างประมาณ 12 จากการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มมวลมาตรฐานตั้งแต่ 0.12 ถึง 0.14 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่ามวลของตุ้มมวลมาตรฐานมากขึ้นจะมีผลทำให้ขนาดความเร็วของวัตถุอุปสรรคลดลง จึงทำให้ในกรณีเพิ่มมวลของตุ้มมวลมาตรฐานตั้งแต่ 0.12 ถึง 0.14 กิโลกรัม วัตถุอุปสรรคจะมีการเคลื่อนที่ช้าลง และทำให้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถตรวจจับค่าได้แม่นยำมากขึ้นและใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมด้วยมือ ซึ่งเป็นไปได้ว่าจะเกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) เมื่อวัตถุอุปสรรคเคลื่อนที่ด้วย

อัตราเร็วค่าหนึ่งห่างออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงจะทำให้ความถี่ของคลื่นเหนือเสียงเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าลดลงตามค่าอัตราเร็วของวัตถุอุปสรรคที่เคลื่อนที่ส่งผลให้ความกว้างของสัญญาณพัลส์ขา Echo เพิ่มขึ้น การกระจัดที่วัดได้ในกรณีวัตถุอุปสรรคกำลังเคลื่อนที่ออกจากอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 จึงมีค่ามากกว่าการกระจัดที่วัดได้ในกรณีวัตถุอุปสรรคหยุดนิ่ง ซึ่งปรากฏการณ์ดอปเพลอร์นี้ทำให้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ตรวจจับการกระจัดของวัตถุอุปสรรคคลาดเคลื่อนไปได้ [17,18]

ตารางที่ 2 พบความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลรวมของวัตถุอุปสรรค $m_A + m_B$ และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต โดยเมื่อค่ามวลรวมของวัตถุอุปสรรค $m_A + m_B$ มากขึ้น ขนาดแรงแนวตั้งฉากก็จะมากขึ้นด้วย ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้ว

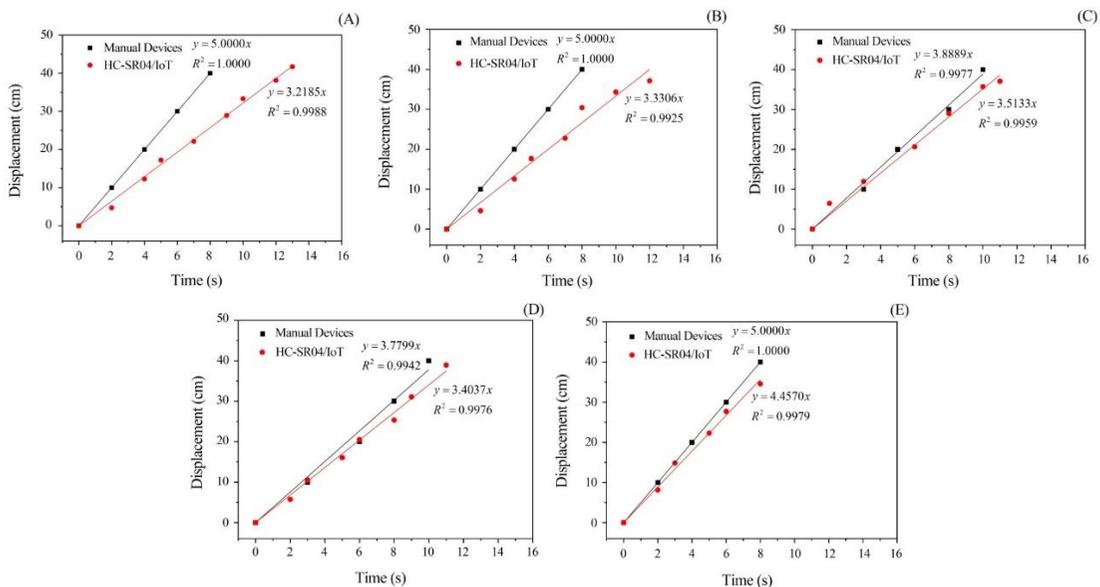


Figure 7 Correlation between displacement and time collected by IoT-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and manual devices in (A) the first time, (B) the second time, (C) the third time, (D) the fourth time and (E) the fifth time, from adding 0.06 kg of the standard mass objects.

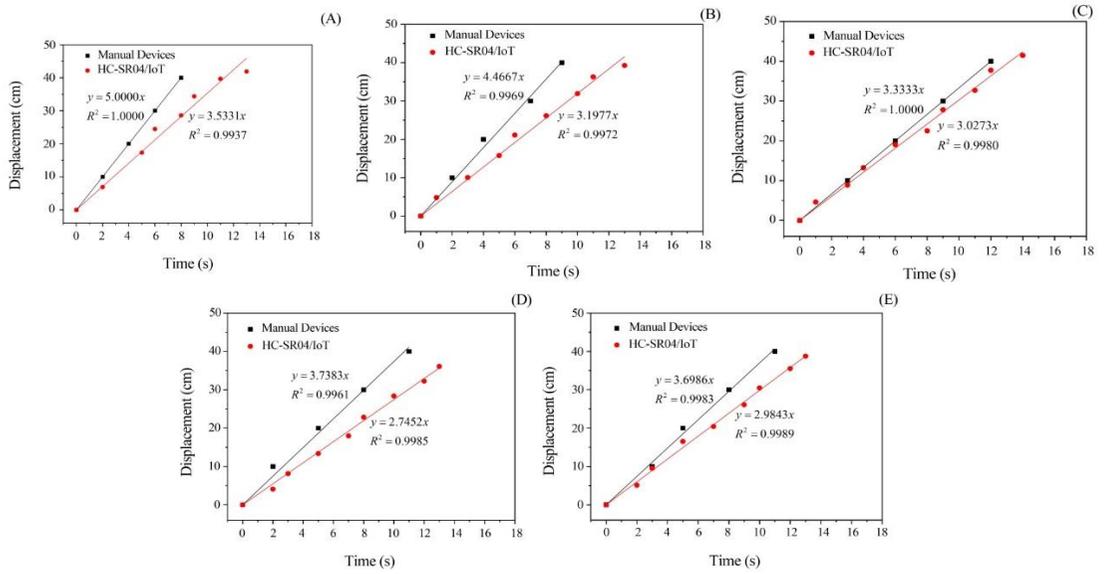


Figure 8 Correlation between displacement and time collected by IoT-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and manual devices in (A) the first time, (B) the second time, (C) the third time, (D) the fourth time and (E) the fifth time, from adding 0.08 kg of the standard mass objects.

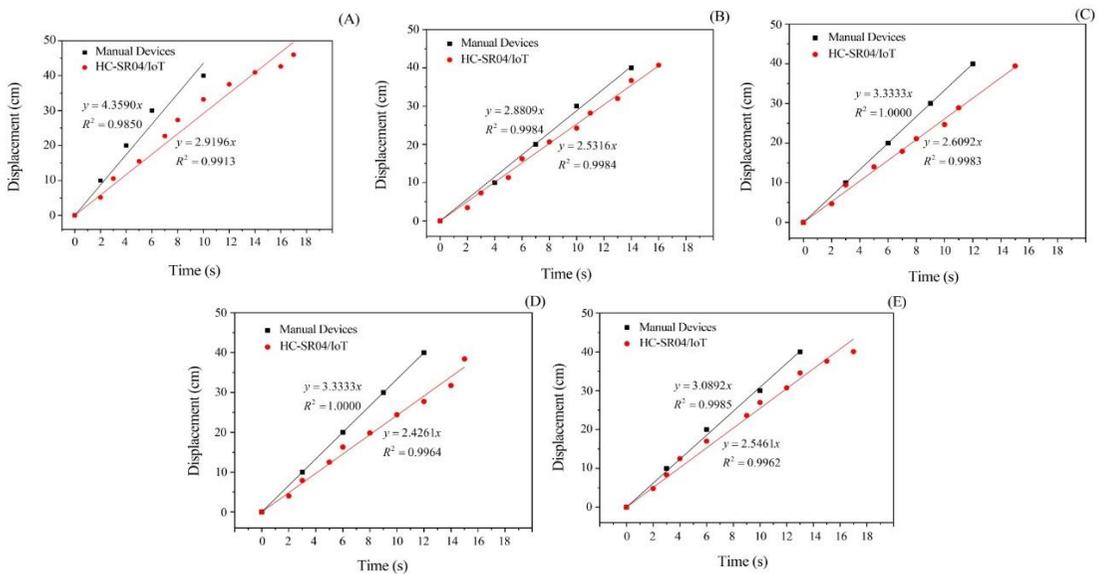


Figure 9 Correlation between displacement and time collected by IoT-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and manual devices in (A) the first time, (B) the second time, (C) the third time, (D) the fourth time and (E) the fifth time, from adding 0.10 kg of the standard mass objects.

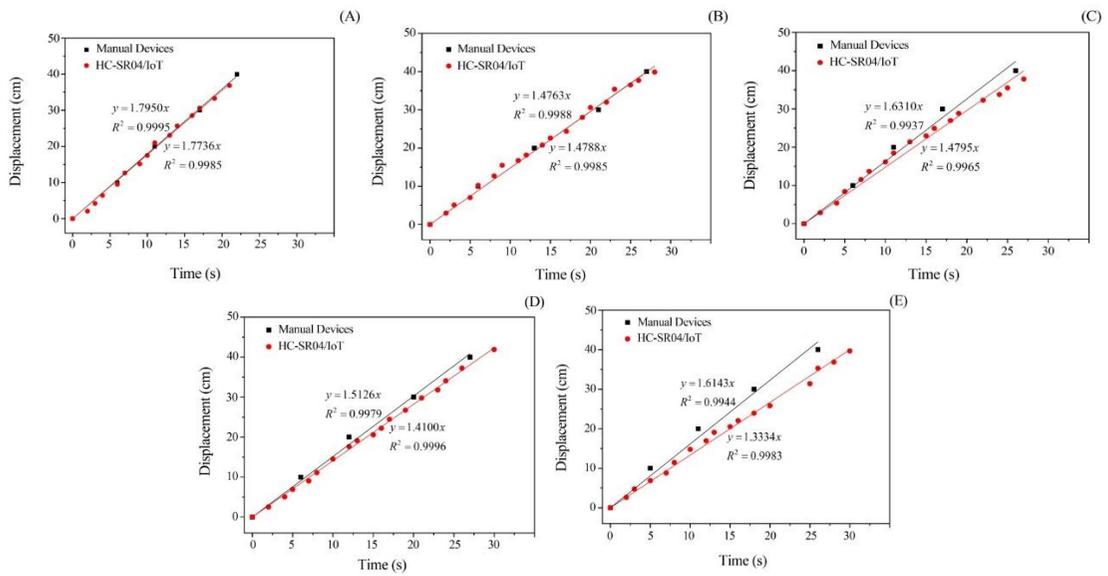


Figure 10 Correlation between displacement and time collected by IoT-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and manual devices in (A) the first time, (B) the second time, (C) the third time, (D) the fourth time and (E) the fifth time, from adding 0.12 kg of the standard mass objects.

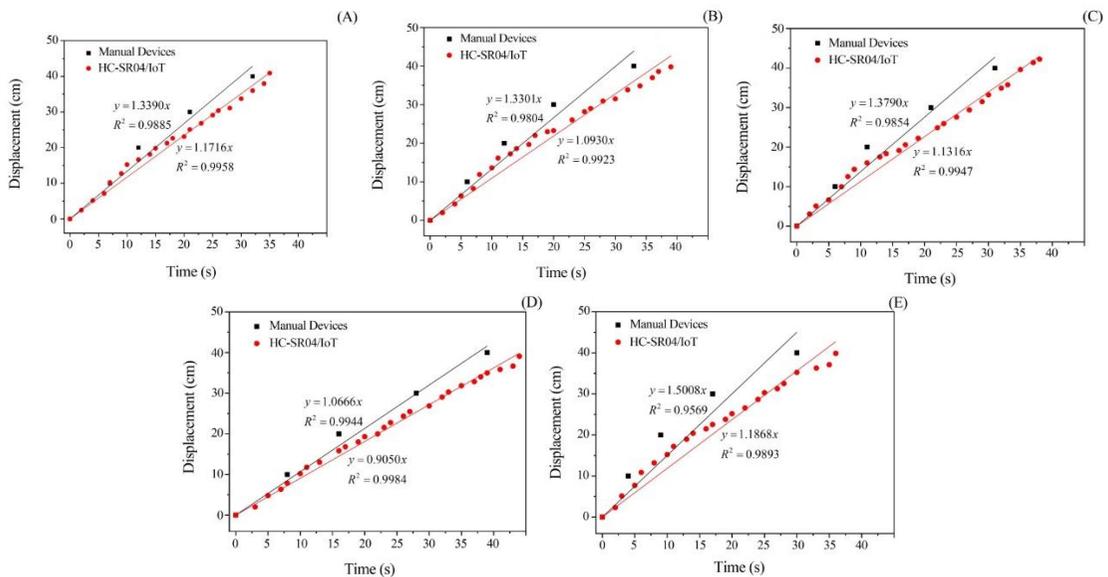


Figure 11 Correlation between displacement and time collected by IoT-applied HC-SR04 ultrasonic sensor and manual devices in (A) the first time, (B) the second time, (C) the third time, (D) the fourth time and (E) the fifth time, from adding 0.14 kg of the standard mass objects.

Table 2 Data of average v (m/s), R^2 , SD , T (N) and μ_k from the repeated tests for 5 times from varying m_A values in the range of 0.06-0.14 kg with constant mass m_B of 0.0411 kg

m_A (kg)	$m_A + m_B$ (kg)	v (m/s)		R^2		SD		T (N)		μ_k	
		HC-SR04/IoT	Manual Devices								
0.06	0.1011	0.0358	0.0453	0.9965	0.9984	0.0050	0.0064	0.5243	0.5226	0.5292	0.5275
0.08	0.1211	0.0310	0.0405	0.9973	0.9983	0.0029	0.0067	0.5252	0.5235	0.4425	0.4411
0.10	0.1411	0.0261	0.0340	0.9961	0.9964	0.0019	0.0057	0.5260	0.5246	0.3804	0.3794
0.12	0.1611	0.0150	0.0161	0.9983	0.9969	0.0017	0.0012	0.5280	0.5278	0.3344	0.3343
0.14	0.1811	0.0110	0.0132	0.9941	0.9811	0.0011	0.0016	0.5287	0.5283	0.2979	0.2977

บอรรอซิลิกเทลดลง และขนาดความเร็วของวัตถุอุปสรรคจะสัมพันธ์กับขนาดแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งตามการวิเคราะห์ในสมการที่ (8) ขนาดแรงเสียดทานจลน์เท่ากับขนาดแรงดึงเชือก จึงกล่าวได้ว่าเมื่อขนาดความเร็วของวัตถุอุปสรรคมากขึ้นจะทำให้ขนาดแรงดึงเชือกและขนาดแรงเสียดทานจลน์ลดลง โดยผลการทดลองสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Deleau และคณะ [19] ที่แสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดแรงแนวตั้งฉาก และขนาดความเร็วในการเลื่อนวัตถุมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดแรงเสียดทานจลน์จากการใช้ IRIS Tribometer ในการทดสอบ เมื่อดูจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD พบว่าการใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยมือ เมื่อดูจากค่า R^2 พบว่าอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้ค่า R^2 ไม่แตกต่างกันมากกับอุปกรณ์ควบคุมด้วยมือ แสดงให้เห็นว่าทั้งสองตัวแปร ได้แก่ การกระจัดและเวลา มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง บ่งชี้ว่าวัตถุอุปสรรคมีการเคลื่อนที่ไปด้วยขนาดความเร็วคงที่ (รูปที่ 7 ถึง 11) ซึ่งจากการทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ระหว่าง

ยูพีวีซีและแก้วบอรรอซิลิกเทในช่อง 0.30 ถึง 0.53 จากการใช้ทั้งสองชนิดอุปกรณ์ โดยทั้งสองชนิดอุปกรณ์ให้ค่า μ_k ใกล้เคียงกัน ในกรณีที่เปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มมวลมาตรฐาน m_A ตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.18 กิโลกรัม ตามลำดับ งานวิจัยของ Truncyte และคณะ [20] รายงานค่า μ_k ระหว่างยูพีวีซีและแก้วไว้ 0.42 โดยทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน Standard DIN 53375 จากการใช้ความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที (0.0083 เมตร/วินาที) และค่า $f_k \approx 0.8$ นิวตัน ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับค่า μ_k ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอรรอซิลิกเทที่ได้จากงานวิจัยนี้

4. สรุป

งานวิจัยนี้พบว่าอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 มีลักษณะเฉพาะในการตรวจจับวัตถุอุปสรรค ดังนี้ ค่าการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคถึงอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 อ่านได้มีความสัมพันธ์ตามฟังก์ชันกำลังสองกับตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุอุปสรรค และอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 มีความแม่นยำในการวัดตำแหน่งเชิงมุมน้อยกว่าหรือเท่ากับ ± 10 องศา และมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุอุปสรรคทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ในช่วงตำแหน่งเชิงมุม ± 20 ถึง ± 30 องศา ได้ดีกว่า และช่วงตำแหน่งเชิงมุม 0 ถึง ± 10 องศา ได้เท่ากับการตรวจจับวัตถุอุปสรรคทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรับและส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 และมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุอุปสรรคในการกระจัดระยะใกล้ 5 เซนติเมตร ได้ดีในช่วงตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุอุปสรรค 0 ถึง ± 30 องศา

ผลงานวิจัยนี้ยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างยูพีวีซีและแก้วบอโรซิลิเกต โดยมีค่า 0.30-0.53 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดแรงแนวตั้งฉากที่ใช้ทดสอบ และขนาดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับขนาดแรงเสียดทานจลน์/ขนาดแรงตั้งฉาก การอ่านค่าการกระจัดระหว่างวัตถุอุปสรรคและอุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 โดยใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้ค่าความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยมือ และการใช้อุปกรณ์รับรู้คลื่นเหนือเสียง HC-SR04 ที่ประยุกต์กับอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้ค่าความแม่นยำเคียงกับการใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยมือกรณีให้ขนาดแรงแนวตั้งฉากที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.58 นิวตัน นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้วิธีจากงานวิจัยนี้หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัสดุประเภทอื่น ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาประจำปีการศึกษา 2563 และสถานที่สำหรับทำวิจัย ขอ

ขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับความร่วมมือทางด้านวิชาการและพัฒนางานวิจัย

6. References

- [1] Iwasaki, D., Haruyama, K., Mu, S., Lu, H., Tanaka, K., Kitazono, Y., Wakasa, Y., Serikawa, S. and Nakashima, S., 2012, Ground material distinction method using reflection intensities obtained by ultrasonic sensor, pp. 117-120, IEEE/SICE International Symposium on System Integration.
- [2] Kassim, A., Jaafar, H., Azam, M., Abas, N. and Yasuno, T., 2013, Performances study of distance measurement sensor with different object materials and properties, pp. 281-284, IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology.
- [3] Awikunprasert, P., Wayopat, O., Wongke, T., Charnnuwong, T., Hanpanich, P. and Awikunprasert, C., 2017, Performance of infrared sensor and ultrasonic sensor for medical applications, SWU Sci. J. 33(1): 135-146. (in Thai)
- [4] Noipon, A. and Maneerat, N., 2017, Metal classifying machine using ultrasonic testing method, Ladkrabang Eng. J. 34(2): 16-22. (in Thai)
- [5] Hatthasin, U. and Payarach, N., 2015, Development of a sound system and detection safety tests in the obstacles-

- warning glasses for the visually impaired, pp. 553-558, The Eleventh National Conference on Computing and Information Technology. (in Thai)
- [6] Chanprasert, K., 2017, Development of the obstacle warning instruments, Thai Sci. Technol. J. 25(1): 137-147. (in Thai)
- [7] Wongke, T., Awikunprasert, P. and Awikunprasert, C., 2017, Digital height meter using ultrasonic sensor, J. Assoc. Med. Sci. 50(3): 435-441. (in Thai)
- [8] Buachoom, A., Thedsakhulwong, A. and Wuttiptom, S., 2019, An Arduino board with ultrasonic sensor investigation of simple harmonic motion, J. Phys. Conf. Ser. 1380: 012098.
- [9] Datasheetspdf, HC-SR04 User Guide, Available Source: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1380138/ETC1/HC-SR04/1>, April 27, 2020.
- [10] Esploradores, Datasheet nodemcu, Available Source: <https://www.esploradores.com/datasheet-nodemcu>, April 27, 2020.
- [11] Azwar, A.G., Laluma, R.H., Halim, R.P., Nurwathi, Gunawansyah and Gunawan, 2019, Smart trash monitoring system design using NodeMCU-based IoT, pp. 67-71, IEEE 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications.
- [12] Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G., 2010, The internet of things: A survey, Comput. Netw. 54: 2787-2805.
- [13] Lu, T. and Neng, W., 2010, Future internet: The Internet of Things, pp. V5: 376-380, 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering.
- [14] Information and Communication Technology Center, Digital Skills to Digital Citizenship in 21st-Century, Available Source: <https://www.ops.go.th/main/index.php/knowledge-base/article-pr/1355-goto-citizens21st.html>, April 23, 2020. (in Thai)
- [15] Consumer Product Information Database, Material Safety Data Sheet – Sunlight, Available Source: https://whatsinproducts.com/files/brands_pdf/1366915304.pdf, April 23, 2020.
- [16] Cytron Technologies, Product User’s Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor, Available Source: <https://www.cytron.com.my>, April 23, 2020.
- [17] Lee, S., Choi, W. and Lee, D.H., 2019, Securing ultrasonic sensors against signal injection attacks based on a mathematical model, IEEE Access 7: 107716-107729.
- [18] Tudor, D., Dobrescu, L. and Dobrescu, D., 2015, Ultrasonic electronic system for blind people navigation, pp. 1-4, E-Health and Bioengineering Conference.
- [19] Deleau, F., Mazuyer, D. and Koenen, A., 2009, Sliding friction at elastomer/glass contact: Influence of the wetting conditions and instability analysis, Tribol.

- Int. 42: 149-159.
- [20] Truncyte, D., Daukantiene, V. and Gutauskas, M., 2008, The influence of triboelectricity on textile polymer friction parameters, *Fibres Text. East. Eur.* 1(66): 50-53.