

อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเอียง

Portable height measuring device using ultrasonic sensor with tilt dumping sensor

องอาจ ทับบุรี¹, กัญยรัตน์ เอกเอี่ยม¹
Ong-art Tubburee¹, Kanyarat Ek-iam¹

Received: 26 March 2022 ; Revised: 9 May 2022 ; Accepted: 1 July 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก บนฐานการตรวจจับความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงด้วยเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน โดยหลักการการทำงานจะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบการขนานกับพื้น โดยใช้ค่าความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน รุ่น GY-521 เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นให้เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 ส่งและรับคลื่นเสียงความถี่สูงพร้อมทั้งนำค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงดังกล่าวส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ESP-8266 เพื่อคำนวณหาส่วนสูงที่ได้และส่งไปแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ผลการทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายในห้องปฏิบัติการทั้งในสภาวะปกติและภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส รวมทั้งเงื่อนไขการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้เอียงอยู่ระหว่างมุม 0 จนถึง ± 10 องศา ยืนยันให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับเครื่องวัดส่วนสูงมาตรฐานมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 นอกจากนี้ผลการทดสอบใช้วัดส่วนสูงของอาสาสมัครจำนวน 50 ราย ที่มีความสูงอยู่ระหว่าง 119-181 เซนติเมตร พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.72 ซึ่งไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้

คำสำคัญ: อุปกรณ์วัดส่วนสูง, เซนเซอร์อัลตราโซนิก, เซนเซอร์ตรวจจับความเอียง, ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

The aim of this research is to design a portable height measurement system using an ultrasonic sensor, based on the height measurement device's tilt detection using a tilt dumping sensor projecting. The operating principle starts with checking for ground parallel using the values of linear acceleration and angular velocity obtained from a tilt dumping sensor (GY-521). This is used as a starting reference for the ultrasonic sensor (HC-SR04) in transmitting and receiving high-frequency sound waves as well as their time travelled to the microcontroller (ESP-8266). This is for calculating the height and to display the results on the LCD screen. The height of a piece of cardboard was measured in the laboratory at a distance of 50-200 cm in normal conditions and at room temperatures, ranging from 20-35 °C, including the condition of placing the height measuring device inclined between 0 and ± 10 degree. This confirmed that the percentage error of the standard height measuring device was less than 1.00%. Furthermore, the test results obtained from measuring the height of 50 volunteers, whose heights ranged from 119 cm to 181 cm showed that the largest error was determined to be 0.72%, which is less than the specified error of 1.00%.

Keywords: Height measuring device, ultrasonic sensor, tilt dumping sensor, microcontroller

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

* ติดต่อ: ongart.tub@vru.ac.th, tubburee.o@gmail.com

¹ Lecture, Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Walaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Tambon Klong Neung, Pathumthani 13180 Thailand

* Corresponding author: E-mail: ongart.tub@vru.ac.th, tubburee.o@gmail.com

บทนำ

การประเมินภาวะโภชนาการโดยการวัดสัดส่วนของร่างกายเป็นวิธีการที่เริ่มใช้มาตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โดยนักมานุษยวิทยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินภาวะการขาดสารอาหาร (Protein energy malnutrition) และภาวะโภชนาการเกิน (สำนักโภชนาการ, 2561) ปัจจุบันการวัดสัดส่วนของร่างกายเพื่อประเมินภาวะต่างๆ ยังคงถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index) หรือที่นิยมเรียกสั้นๆ ว่าค่าบีเอ็มไอ (BMI) ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนปริมาณไขมันในร่างกายได้ดี เชื่อถือได้ และหาได้ง่ายโดยการทราบเพียงน้ำหนักและส่วนสูง (Nunnaphat & Thanach, 2019) โดยส่วนสูงของร่างกายคือ ค่าที่ได้จากการวัดระยะจากส่วนบนสุดของศีรษะลงมาถึงฝ่าเท้า ซึ่งนอกจากจะใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นในการคำนวณค่าดัชนีมวลกายแล้ว ยังเป็นส่วนหนึ่งของร่างกายที่สามารถบ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของโครงกระดูก ซึ่งปกติแล้วส่วนสูงของร่างกายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอายุอยู่ในช่วงวัยรุ่นตอนปลายจึงจะหยุดการเจริญเติบโต (ลัดดาเหมาะสมสุวรรณ, 2552) แต่หากร่างกายขาดอาหารเรื้อรังก็จะส่งผลให้ร่างกายชะงักการเจริญเติบโตได้ จนทำให้ส่วนสูงต่ำกว่ามาตรฐานตามเกณฑ์ของช่วงอายุต่างๆ

ปัจจุบันการวัดส่วนสูงเป็นวิธีการที่พบเห็นได้โดยทั่วไปในหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น สถานศึกษา โรงพยาบาล คลินิก หรือแม้กระทั่งที่พักอาศัยโดยทั่วไป เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และไม่มีค่าใช้จ่ายจากการวัด อีกทั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงยังสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไม้วัดส่วนสูงแบบอ่านค่าจากสเกลยังคงเป็นอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ข้อด้อยของการวัดส่วนสูงด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้ผู้ทำการวัดเพื่อทำหน้าที่วัดและอ่านค่าส่วนสูงให้กับผู้ที่ถูกวัดส่วนสูง และหากระดับสายตาของผู้ทำการวัดและอ่านค่าส่วนสูงอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากตำแหน่งการอ่านที่ไม่ถูกต้อง (Parallax error) รวมถึงจากการประมาณค่าของผู้ทำการวัด หากความสูงที่วัดได้ไม่ตรงกับสเกลที่ระบุไว้ (Thunyarat *et al.*, 2017) การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุดังกล่าว ทำได้โดยอาศัยหลักการการทำงานของอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบันเข้ามาช่วยตรวจวัด ประมวลผล และแสดงผลที่วัดได้แทนมนุษย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงอัตโนมัติแบบพกพา (Marathe *et al.*, 2014 ; Onuma *et al.*, 2017) โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared sensor) ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดีทำให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวกและความคลาดเคลื่อนจากการวัดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2.00 อย่างไรก็ตามการใช้เซนเซอร์อินฟราเรดนั้นหากเกิดการสะท้อนแสงของวัตถุ รวมถึงหากมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ มารบกวน อาทิเช่น แสงจากดวงอาทิตย์หรือจากหลอดไฟฟ้ามาร์บจะส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดมีค่ามากขึ้น การลดผลกระทบดังกล่าวทำได้จากการเปลี่ยนมาใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic sensor) ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี (Rattanasuda *et al.*, 2019 ; Thunyarat *et al.*, 2017) ที่สามารถวัดส่วนสูงได้ตั้งแต่ระยะ 2-200 เซนติเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ระหว่างร้อยละ 0.60-1.00 แต่ด้วยลักษณะของอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่ออกแบบให้เหมือนกับไม้วัดส่วนสูง โดยการใช้เซนเซอร์อัลตรา-โซนิกติดตั้งบนปลายไม้วัดที่ความสูง 200 เซนติเมตร ทำให้อุปกรณ์วัดส่วนสูงมีขนาดใหญ่ และไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ส่วนสูงที่วัดได้มีความถูกต้อง และสะดวกต่อการวัดส่วนสูงมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 2 ตัว เพื่อวัดส่วนสูงเป็นข้อมูลส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี (Alexander *et al.*, 2017) ทำให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวก และมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดน้อยกว่าร้อยละ 1.00 แต่ด้วยวิธีการวัดที่จะต้องวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงไว้บนศีรษะ โดยมีเงื่อนไขว่าเซนเซอร์อัลตรา-โซนิกที่ติดตั้งบริเวณปลายทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์วัดจะต้องอยู่ในระดับที่เท่ากันเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่สะดวกในกรณีที่ทำการวัดส่วนสูงด้วยตนเอง และที่สำคัญคือ การตรวจสอบระดับที่ความสูงที่เท่ากันด้วยเซนเซอร์อัลตรา-โซนิกทั้ง 2 ตัว สามารถยืนยันระดับการวัดที่ถูกต้องได้เพียงแนวแกนเดียวเท่านั้น

Table 1 An increased rate of growth in height according to age

Age	Increased rate of growth in height	Growth in height according to age
Newborn	-	50 cm
1-6 Months	2.5 cm/month	65 cm
6-12 Months	1 cm/month	75 cm
1-7 Years	7.5 cm/month	125 cm
8-15 Years	5 cm/month	165 cm

ผลการศึกษาพบว่าเซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 เป็นเซนเซอร์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับระบบวัดส่วนสูง (Panatsada, 2017) สาเหตุเพราะมีพิสัยในการวัดระยะทางอยู่ในช่วง 2-400 เซนติเมตร อีกทั้งยังได้รับการออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ราคาไม่แพง และหาซื้อได้ง่าย อย่างไรก็ตามด้วยขนาดลำคลื่นสะท้อนที่กว้าง ประกอบกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำเนิดเสียงและรูปร่างตัวลำโพง (Horn) ของเซนเซอร์อัลตราโซนิกรุ่นดังกล่าวทำให้เซนเซอร์รุ่นนี้มีมุมวัด (Measuring angle) ที่เกิดขึ้นได้ในช่วง ± 15 องศา (Cytron Technologies, 2013) ลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ โดยพบว่าการนำเซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 ไปออกแบบและสร้างเป็นอุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นไม้วัดส่วนสูงแบบตั้งพื้น โดยการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกไว้บนปลายไม้วัดที่ความสูง 200 เซนติเมตรทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่วัดได้คิดเป็นร้อยละ 1.00 (Thunyarat *et al.*, 2017) ด้วยสาเหตุดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 เพื่อทำหน้าที่วัดส่วนสูง แต่ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายและนำไปวางไว้ ณ จุดที่ต้องการวัดส่วนสูงได้สะดวกกว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบไม้วัด อาจส่งผลให้ส่วนสูงที่วัดได้มีความแตกต่างจากส่วนสูงจริง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้กำหนดเงื่อนไขของการเริ่มวัดส่วนสูงบนพื้นฐานการตรวจวัดความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จากการตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม เพื่อส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ประมวลผลพร้อมแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแอลซีดี ซึ่งจะช่วยให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวก ตลอดจนช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่วัดได้ โดยอาจเกิดขึ้นจากลักษณะการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ไม่ขนานกับพื้น ซึ่งจะทําส่วนสูงที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 เช่นเดียวกับกับอุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นไม้วัดส่วนสูงแบบตั้งพื้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงอันเนื่องมาจากการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่ไม่ขนานกับพื้น
2. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแอลซีดี ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 1.00
3. เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่ได้จากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอเทียบกับส่วนสูงที่ได้จากอุปกรณ์วัดส่วนสูงมาตรฐาน

ทฤษฎีและหลักการ

1. ส่วนสูงของร่างกาย

ส่วนสูงของร่างกายเป็นพัฒนาการที่มีต่อเนื่องมาตั้งแต่การเติบโตในวัยเด็ก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่นม การออกกำลังกาย รวมถึงการได้นอนหลับพักผ่อนอย่างเพียงพอในเวลาที่ร่างกายหลั่งโกรทฮอร์โมน (Growth hormone) ดังนั้นหากเด็กได้รับสารอาหารไม่เพียงพอเป็นเวลานาน หรือมีการเจ็บป่วยบ่อยๆ จะมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของกระดูกเป็นไปอย่างเชื่องช้าหรือชะงักงัน ทำให้เป็นเด็กตัวเตี้ย (Stunting) หรือมีส่วนสูงต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นการวิเคราะห์ส่วนสูงตามเกณฑ์อายุตาม Table 1 จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ภาวะการเจริญเติบโต (ของโครงสร้างร่างกาย) ได้ชัดเจนกว่าการใช้ข้อมูลน้ำหนักตามเกณฑ์อายุ (สำนักโภชนาการ, 2561) อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของเด็กในท้องถิ่นต่างๆ ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไรได้ด้วย

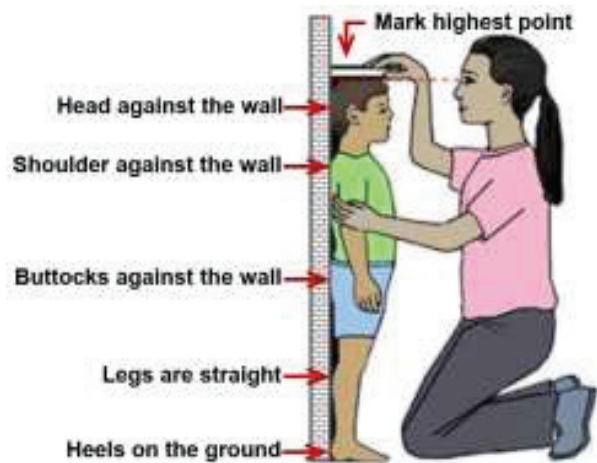


Figure 1 Standard height-measuring principle

การวัดส่วนสูงในเด็กเล็กที่มีอายุต่ำกว่า 2 ปี องค์การอนามัยโลก (World health organization) กำหนดให้ใช้การวัดความยาวของตัวเด็กในท่านอนหงายลงบนแผ่นไม้พื้นราบที่มีขีดบอกความยาว ซึ่งควรจะต้องใช้ผู้ทำการวัดอย่างน้อย 2 คน ทั้งนี้หากผู้ที่ถูกวัดส่วนสูงมีอายุมากกว่า 2 ปี จะใช้วิธีการวัดส่วนสูงด้วยไม้วัดส่วนสูงหรือโลหะที่เลื่อนขึ้นลงเพื่อวัดส่วนสูงหรืออาจเป็นแถบเทปที่ขึงจากหัวด้านบนแล้ววัดส่วนสูงลงมาได้ โดยผู้ที่ถูกวัดส่วนสูงจะต้องถอดรองเท้าหรือถุงเท้าแล้วยืนบนพื้นราบ เท้าทั้งสองข้างชิดกัน และยืนขาตรง ในขณะที่ส้นเท้า หลัง ก้น ไหล่ และศีรษะจะต้องสัมผัสกับไม้วัด จากนั้นผู้ทำการวัดจะเลื่อนไม้จากการอ่านค่าส่วนสูงมาให้สัมผัสกับศีรษะของผู้ที่ถูกวัด และทำการอ่านค่าตัวเลขส่วนสูงที่ได้ออกมาตาม Figure 1 ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการวัดความยาวของเด็กในท่านอนหงายหรือการวัดส่วนสูงด้วยไม้วัดส่วนสูงก็ต้องใช้อุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดของสเกลไม่น้อยกว่า 0.10 เซนติเมตร (ณัฐวรรณ

เชาวน์ลีลิตกุล และคณะ, 2558)

2. เซนเซอร์อัลตราโซนิก

อัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) ซึ่งมีความถี่สูงเกินกว่าการรับรู้และการได้ยินเสียงจากหูของมนุษย์ที่อยู่ในระหว่าง 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ข้อโดดเด่นของคลื่นเสียงคือ เป็นคลื่นที่ใช้อากาศเป็นพาหะ อีกทั้งยังสามารถเดินทางผ่านก๊าซ และของเหลวได้ (Rattanasuda et al., 2019) ประกอบกับเมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ (f) สูงขึ้น จะทำให้ความยาวคลื่น (λ) สั้นลง ตามสมการ (1) มีผลทำให้คลื่นเสียงที่ส่งออกมาจะไม่แตกกระจายเป็นวงกว้าง ดังนั้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจึงสามารถเดินทางไปยังตำแหน่งหรือเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1}$$

เซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ได้รับความนิยมใช้งานกันโดยทั่วไป คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงประมาณ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ สาเหตุเพราะเป็นความถี่ที่ทำให้มีระยะเดินทางเพียงพอต่อการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราเร็วของเสียง (V) ซึ่งหากอุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น ณ ความดันคงที่ จะทำให้อากาศขยายตัวออกและความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ส่งผลให้อัตราเร็วของเสียงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ (T) ที่มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$v = 331 + 0.606T \tag{2}$$

หลักการการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก แสดงเป็นไดอะแกรมได้ดัง Figure 2 โดยตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock generator) จะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวควบคุมการทำงาน (Controller) เพื่อควบคุมการทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ซึ่งจะประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก โดยที่ตัวส่งจะมีหน้าที่สร้างคลื่นอัลตราโซนิกจากสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุใดๆ จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับคลื่น และแปลงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้าส่งให้ตัวประมวลผล (Processor) คำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางไปและเดินทางกลับ (t) เพื่อส่งให้ตัวส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) ดังนั้นหากทราบอัตราเร็วในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก และนำมาคูณกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับของคลื่น ก็จะทำให้ทราบระยะทางไปและกลับของคลื่น เขียนได้ดังสมการ

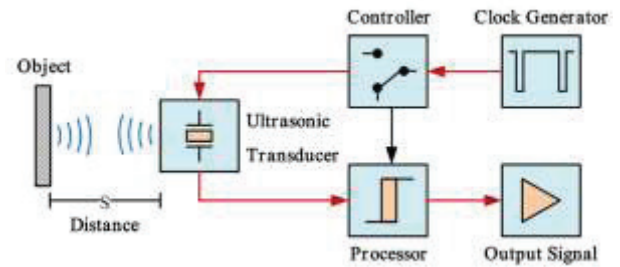


Figure 2 Operating diagram of an ultrasonic sensor

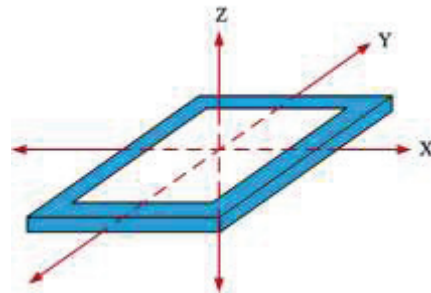


Figure 3 A relationship when a small model of a rectangular room is placed in parallel to the floor and the X, Y, and Z axes

$$S = v \times t \tag{3}$$

จากสมการ (3) จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทางเป็นเวลารวมที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางออกจากตัวส่งไปกระทบกับวัตถุเป้าหมายและเดินทางกลับมาถึงตัวรับ ดังนั้นการได้มาซึ่งระยะห่างระหว่างตัวส่งกับวัตถุเป้าหมายจึงจะต้องใช้เวลาเพียงครึ่งหนึ่งของเวลารวม (t/2) มาคำนวณจึงจะทำให้ได้ระยะห่างที่ถูกต้อง

3. เซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน

การตรวจจับความเอียงของวัตถุแบบสามแกนจากการวัดความเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration) ด้วยการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก (Analog signal) ที่แปรผลมาจากแรงของสปริงที่ติดตั้งอยู่ทุกด้านของแบบจำลองกำแพงห้องสี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งหากห้องสี่เหลี่ยมวางเอียงอยู่จะทำให้เกิดการยุบตัวหรือยืดตัวของสปริงออกไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Wutichai et al., 2016) ร่วมกับใช้การวัดค่าความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) หรือใช้ ไจโรสโคป (Gyroscope) ด้วยวิธีการคำนวณหาการเคลื่อนไหวแบบหมุนรอบตัวเอง ดังนั้นไม่ว่าการใช้งานอุปกรณ์จะอยู่ในแนวแกนและมุมใดก็ตาม การตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวก็จะแม่นยำมากขึ้น

จาก Figure 3 พบว่า ในสภาวะหยุดนิ่ง (Static) ค่าความเร่งเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งขนานกับพื้นจะมีค่าเป็น 0 ในขณะที่ทิศทางในแนวแกน Z จะตั้งฉากกับพื้นโลก ส่งผลให้มีความเร่งเชิงเส้นเกิดขึ้นเท่ากับแรง

โน้มถ่วงของโลกที่กระทำอยู่ โดยมีค่าเท่ากับ 9.80 m/s^2 หรือประมาณ 10 m/s^2 เขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\begin{cases} X = 0 \\ Y = 0 \\ Z = 0 \end{cases} \quad (4)$$

ดังนั้น หากนำเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงของวัตถุแบบสามแกนไปใช้งานและได้รับสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นแบบอนาล็อกซึ่งแปลผลมาเป็นค่าความเร่งเชิงเส้นในแต่ละแนวแกนแล้วไม่เป็นไปตามสมการ (4) จะหมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้งานยังวางไม่ขนานกับพื้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบลักษณะและโครงสร้างของอุปกรณ์

เป้าหมายของการออกแบบโครง (Frame) ของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา เพื่อใช้บรรจุอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน อุปกรณ์แสดงผล รวมถึงสายวงจรต่างๆ ไว้ภายใน โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกพีวีซี (PVC) เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ก๊าซ และน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ อีกทั้งยังเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี น้ำหนักเบา ตลอดจนมีราคาไม่แพง ด้วยการนำมาตัดและขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซึ่งสามารถแยกเป็นส่วนประกอบทั้งหมด 5 ชิ้นส่วนดัง Figure 4(a) โดยมีรายละเอียด คือ หมายเลข ① มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้ายาว 21 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 3 เซนติเมตร โดยตัดเป็นกรอบและเจาะรูไว้เพื่อติดตั้งจอแอลซีดี และเซนเซอร์อัลตราโซนิก หมายเลข ② มีขนาดและลักษณะเหมือนส่วนประกอบหมายเลข ① เพียงแต่ไม่มีการตัดกรอบและเจาะรู เนื่องจากใช้บรรจุอุปกรณ์ควบคุมและสายวงจรต่างๆ หมายเลข ③ เป็นข้อต่อตรงสำหรับต่อส่วนประกอบหมายเลข ① และหมายเลข ② เข้าด้วยกัน พร้อมทั้งมีรูสำหรับติดตั้งสวิตช์เริ่มวัดส่วนสูง (Start) และสวิตช์รีเซ็ตค่าส่วนสูง (Reset) หมายเลข ④ คือฝาปิดหัว-ท้ายอุปกรณ์ (End plate) สำหรับส่วนประกอบหมายเลข ② ซึ่งมีการเจาะรูไว้เพื่อติดตั้งสวิตช์เปิด-ปิดอุปกรณ์ และหมายเลข ⑤ คือฝาปิดหัว-ท้ายอุปกรณ์ สำหรับส่วนประกอบหมายเลข ①

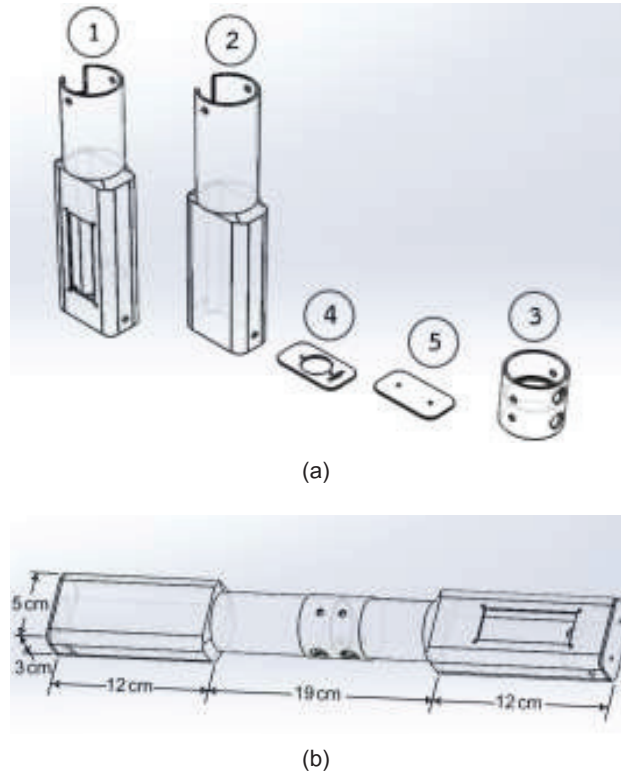


Figure 4 Design of a portable height measuring device's frame. (a) components of a device (b) Overview of the device frame

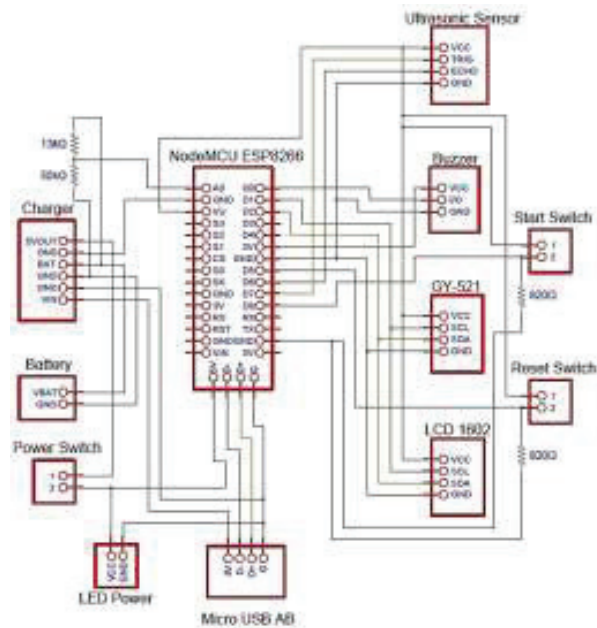


Figure 5 A diagram of control system and display operation

Table 2 Details of devices connecting with node MCU ESP 8266

Input Devices				ESP 8266	Output Devices	
Start SW.	Reset SW.	GY-521	HC-SR04		LCD 1602	Buzzer
				PD0		I/O
		SCL		PD1	SCL	
		SDA		PD2	SDA	
	Low			PD5		
			ECHO	PD6		
			TRIG	PD7		
Low				PD8		

การนำส่วนประกอบทั้ง 5 ชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันจะทำให้โครงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา ดัง Figure 4(b) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว 43 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 3 เซนติเมตร โดยที่ความหนาของผิวโครงจากพลาสติกพีวีซีที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 0.22 เซนติเมตร

2. การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน

ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นตามไดอะแกรมใน Figure 5 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ตัวประมวลผล อุปกรณ์แสดงผล (Display) และแหล่งจ่ายพลังงาน (Power supply) โดยรายละเอียดของการออกแบบและเลือกใช้ อุปกรณ์ต่างๆ ของการทำงานในแต่ละส่วนมีดังนี้

2.1 ตัวประมวลผล

ตัวประมวลผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โนตเอ็มซียู อีเอสพี 8266 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ทำให้ใช้งานได้ง่าย และสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่านสายยูเอสบี (USB) และที่สำคัญคือวงจรมีขนาดเล็ก และราคาไม่แพง เพื่อรับข้อมูลอินพุตจากสวิตช์กดติด-ปล่อยดับจำนวน 2 ตัว (Start & Reset switch) เซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน (GY-521) และเซนเซอร์อัลตราโซนิก (HC-SR04) มาประมวลผลเป็นค่าส่วนสูงที่วัดได้ และส่งข้อมูลให้กับหน้าจอแอลซีดี (LCD screen) รวมทั้งลำโพงบีซเซอร์ (Buzzer) เพื่อแสดงผลการวัดส่วนสูงที่ได้ รวมทั้งการแจ้งเตือนต่างๆ โดยมีรายละเอียดการต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ภาคอินพุตและเอาต์พุตตาม Table 2

2.2 ระบบวัดส่วนสูง

การออกแบบระบบวัดส่วนสูงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา เพื่อให้ผู้ที่ต้องการวัดส่วนสูงสามารถนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงมาวางไว้บนศีรษะก็สามารถแสดงค่าส่วนสูงได้นั้น จะ

ต้องทำการตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงวางอยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้น (ไม่เอียง) ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดน้อยกว่าร้อยละ 1.00 ขณะผู้วิจัยได้ทดสอบวัดส่วนสูงที่ระยะตั้งแต่ 50 จนถึง 200 เซนติเมตร โดยการปรับมุมเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาทั้งในแนวแกน X และแกน Y ดัง Figure 6 ผลที่ได้พบว่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.00 จะเกิดขึ้นที่องศาของการวางอุปกรณ์เอียงไม่เกิน ± 10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y จากผลที่ได้รับ ขณะผู้วิจัยจึงต่อใช้งานเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน ดังรายละเอียดการต่อ

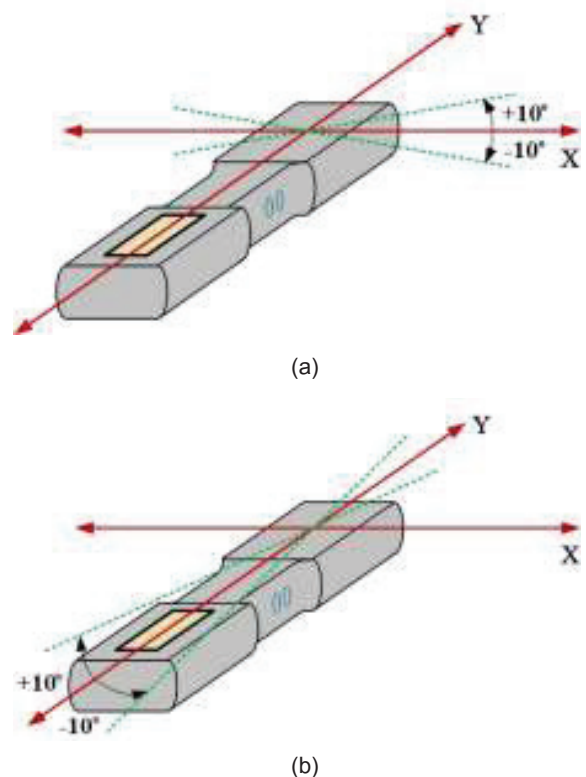


Figure 6 The inclination angle of a portable height measuring device. (a) Tilt from the X-axis (b) Tilt from the Y-axis

Table 3 Linear acceleration result when measuring device is inclined at an angle of -10° and $+10^\circ$ degrees

Trial	Linear acceleration of -10°		Linear acceleration of $+10^\circ$	
	X	Y	X	Y
1 st testing	0.010	-0.041	0.861	-0.902
2 nd testing	0.012	-0.040	0.860	-0.904
3 rd testing	0.011	-0.040	0.862	-0.901
4 th testing	0.010	-0.038	0.858	-0.893
5 th testing	0.009	-0.039	0.860	-0.901
Average	0.010	-0.040	0.860	-0.900

ใน Table 2 และทดสอบหาค่าความเร่งเชิงเส้นในแนวแกน X และแกน Y ที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้เอียงที่ขอบเขตสูงสุดตาม Figure 6 คือ -10° และ $+10^\circ$ ทั้งในแนวแกน X และแกน Y และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้ซ้ำ 5 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะเว้นช่วงเวลาห่างกัน 10 นาที เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าความเร่งเชิงเส้นที่ได้ดังแสดงใน Table 3 เพื่อใช้กำหนดเป็นข้อมูลอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับตรวจสอบความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา ก่อนเริ่มวัดส่วนสูง ผลที่ได้สามารถแสดงเป็นช่วงของค่าความเร่งเชิงเส้นในแนวแกน X และแกน Y ดังนี้

$$\begin{cases} 0.01 \geq X \geq 0.86 \\ -0.04 \geq Y \geq -0.90 \end{cases} \quad (5)$$

เมื่ออุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางอยู่ในระนาบที่กำหนดตามสมการ (5) จึงจะเริ่มวัดส่วนสูงด้วยการแปลผลอัตราเร็วของการเดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงความถี่สูงจากเซนเซอร์อัลตราโซนิคมาเป็นระยะทาง พร้อมทั้งใช้ค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน คุณเข้าไปในสมการเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่เกิดจากอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างตามสมการ (2) แต่เนื่องจากผลของการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิคเข้ากับโครงที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ตำแหน่งปล่อยและรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิคอยู่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของศีรษะที่สัมผัสกับอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาเป็นระยะทาง 1.26 เซนติเมตร ดังนั้นเพื่อปรับตั้งให้ผลการวัดส่วนสูงที่ได้มีความถูกต้องตามตำแหน่งที่อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางอยู่บนศีรษะทำได้โดยการบวกค่าคงตัวเท่ากับ 1.26 เพิ่มเข้าไปในสมการ (3) ได้ผลดังสมการ

$$s = [(331 + 0.606T)\frac{t}{2}] + 1.26 \quad (6)$$

2.3 ระบบแสดงผลและการแจ้งเตือน

การแจ้งเตือนสถานะการวัดส่วนสูงให้ผู้ที่ทำการวัดส่วนสูงทราบว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่วางอยู่บนศีรษะวางขนานกับพื้นหรือไม่ จะใช้สัญญาณเสียงจากลำโพงบีซเซอร์แบบพาสซีฟ (Passive buzzer) รุ่น MH-FMD โดยต่อรับสัญญาณควบคุมการทำงานจากพอร์ตดิจิตอล 0 (PD0) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 8266 และแสดงผลการวัดส่วนสูงตลอดจนแจ้งเตือนขั้นตอนการทำงานให้ผู้ใช้อุปกรณ์วัดส่วนสูงได้ทราบผ่านทางหน้าจอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ที่ต่อรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 8266 ด้วยรูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม (I2C) จากพอร์ตดิจิตอล 1 (PD1) และพอร์ตดิจิตอล 2 (PD2) ตามรายละเอียดใน Table 2

2.4 แหล่งจ่ายพลังงาน

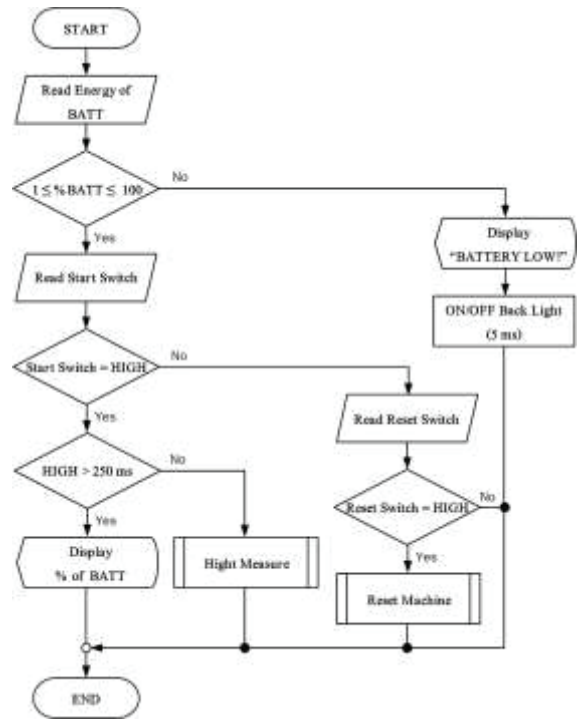
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบควบคุมการทำงานตลอดจนไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่างๆ ถูกส่งมาจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลีเมอร์ขนาด 1,700 มิลลิแอมป์ชั่วโมง (mAh) พิกัดแรงดันสูงสุด 4.2 โวลต์ ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการคายประจุ (Discharge) และการอัดประจุ (Charge) ให้แบตเตอรี่ด้วยอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ใช้ชิปไอซี 5305 ที่สามารถอัดประจุเข้าไปในแบตเตอรี่ได้ใหม่จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าภายนอก อาทิเช่น เต้ารับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ และแบตเตอรี่สำรอง ยลช ผ่านพอร์ตไมโครยูเอสบี ทั้งนี้หากเกิดความผิดปกติขึ้นที่แบตเตอรี่ อันได้แก่อุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการลัดวงจร หรือเกิดเหตุขัดข้องต่างๆ อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จะหยุดการอัดและคายประจุไฟฟ้าทันที เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ใช้งานและอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

3. การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

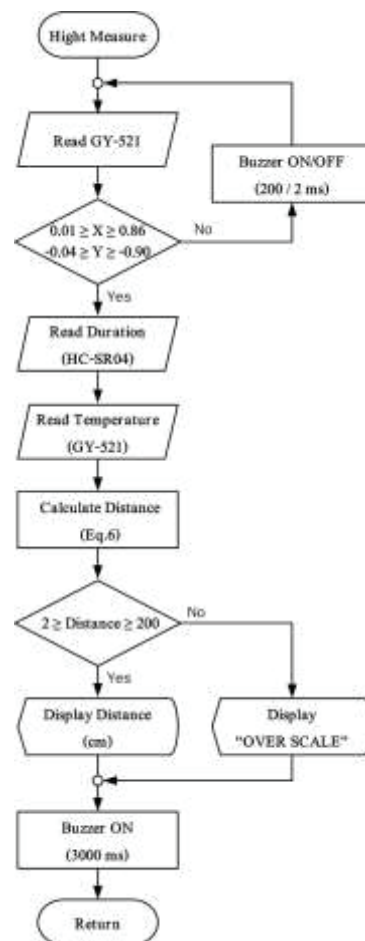
แผนผังการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาแสดงใน Figure 7(a) เริ่มต้นด้วยการกดสวิตช์เพื่อเปิดอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จากนั้นระบบจะตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ โดยหากแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้าเหลือเกินกว่าร้อยละ 1.00 จึงจะสามารถส่งงานผ่านสวิตช์ต่างๆ ได้ แต่หากพลังงานในแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1.00 โปรแกรมจะส่งข้อความ "BATTERY LOW!" ไปแสดงผลที่จอแอลซีดี พร้อมกับควบคุมให้แสงสว่างของจอแอลซีดีกะพริบเป็นเวลา 5 วินาที หลังจากนั้นแสงสว่างของจอแอลซีดีจะดับและไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงได้จนกว่าค่าความจุของแบตเตอรี่จะมากกว่าร้อยละ 1.00 หรือมีการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ใหม่

การควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะใช้สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับจำนวน 2 ตัว คือสวิตช์สตาร์ทและสวิตช์รีเซ็ต เมื่อกดสวิตช์สตาร์ทจะมีผลให้สัญญาณลอจิก HIGH ไปปรากฏที่พอร์ตดีจิตอล 8 (PD8) ส่งผลให้เกิดการข้ามไปทำงานยังโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า Hight Measure เพื่อเริ่มวัดส่วนสูงดังแสดงใน Figure 7(b) แต่หากกดสวิตช์สตาร์ทค้างไว้เกินกว่า 250 มิลลิวินาที จะเป็นการสั่งให้หน้าจอลอจิกแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ ซึ่งได้จากการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมแบตเตอรี่ออกมาเป็นค่าร้อยละ แต่หากมีการกดสวิตช์รีเซ็ตจะทำให้มีสัญญาณลอจิกเป็น HIGH ไปปรากฏที่พอร์ตดีจิตอล 5 (PD5) ที่มีการสั่งใช้งานแบบอินเตอร์รัพท์ (Interrupt) ส่งผลให้โปรแกรมข้ามไปทำงานยังโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า Reset Machine เพื่อทำการรีเซ็ตค่าส่วนสูง สถานะตัวแปรต่างๆ และหน้าจอลอจิกเพื่อกลับไปอยู่ในสถานะเริ่มต้นใช้งานใหม่อีกครั้ง

การวัดส่วนสูงด้วยโปรแกรมย่อย Hight Measure ดัง Figure 7(b) จะเริ่มด้วยการตรวจสอบการขนานกับพื้นของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา โดยการอ่านค่ามุมในแนวแกน X และแกน Y ที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนมาเปรียบเทียบกับสมการ (5) ทั้งนี้หากมุมในแนวแกน X และแกน Y ไม่เป็นไปตามที่กำหนดจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทราบด้วย



(a)



(b)

Figure 7 A programming flowchart of the proposed system.

(a) Main program (b) Sub program

เสียงบับเซอร์ตั้งและเจียบสลักกันตลอดเวลา แต่หากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางขนานกับพื้นแล้ว โปรแกรมจะสั่งให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกออกไปกระทบกับพื้นสัมผัส และนำระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางไป-กลับมากำหนดร่วมค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน เพื่อหาส่วนสูงที่ได้ตามสมการ (6) ทั้งนี้หากส่วนสูงที่วัดได้อยู่ระหว่าง 2-200 เซนติเมตร อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจึงจะแสดงค่าส่วนสูงที่ได้ทางหน้าจอแอลซีดี พร้อมทั้งแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบด้วยเสียงบับเซอร์ตั้งต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วินาที หลังจากนั้นค่าส่วนสูงที่วัดได้จะถูกแสดงผลค้างไว้ที่หน้าจอแอลซีดีซึ่งผู้ทำการวัดสามารถนำลงมาจากศีรษะเพื่ออ่านค่าส่วนสูงได้ด้วยตนเอง จนกว่าจะมีการกดสวิทช์รีเซ็ตเพื่อลบค่าส่วนสูงดังกล่าวออกจากหน้าจอแอลซีดี แต่หากส่วนสูงที่วัดได้นอกเหนือจากขอบเขตดังกล่าวจะแสดงข้อความ OVER SCALE ทางหน้าจอแอลซีดีแทน พร้อมทั้งยังคงแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบด้วยเสียง บับเซอร์ตั้งต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วินาทีเช่นกัน

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาขึ้นตามหลักและวิธีการที่ให้รายละเอียดไว้ จนได้มาซึ่งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ดังแสดง Figure 8 ซึ่งมีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร น้ำหนัก 572 กรัม ทั้งนี้เพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของวิธีการออกแบบและสร้างที่นำเสนอ จึงได้ทำการทดสอบโดยการนำไปใช้วัดส่วนสูงที่ระดับต่างๆ ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงไม่ขนานกับพื้น รวมถึงการใช้งานภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการนำไปทดสอบวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยมีรายละเอียดดังนี้



Figure 8 A prototype of a portable height measuring device

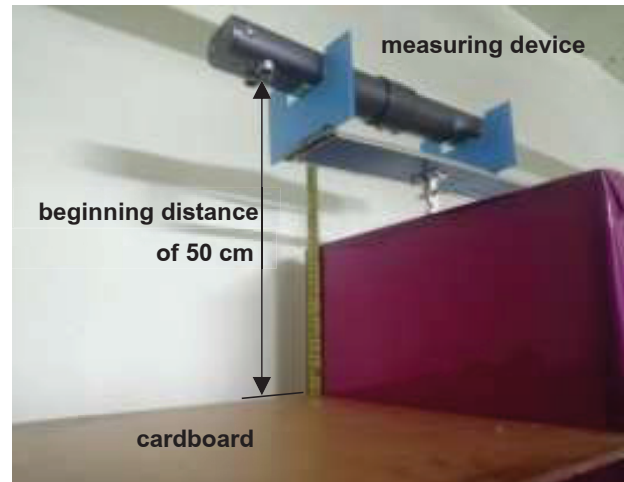


Figure 9 Installation of a portable height measuring device for performance assessment in the lab

1. การทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอ ภายในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งได้มีการปรับตั้งให้อุณหภูมิภายในห้องให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิของระบบปรับอากาศภายในห้อง จากนั้นจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ขนานกับพื้น และใช้ฉากเรียบที่สามารถปรับเลื่อนขึ้น-ลงได้ ทำหน้าที่เป็นพื้นผิวที่ผู้ทำการวัดส่วนสูงยืนอยู่ ดังแสดงตาม Figure 9 เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงระดับต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร จากนั้นเลื่อนฉากเรียบให้ออกห่างจากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาครั้งละ 1 เซนติเมตร ไปจนถึงระยะ 200 เซนติเมตร โดยทดสอบวัดส่วนสูงด้วยวิธีการดังกล่าวซ้ำ 3 ครั้ง ทั้งนี้ การทดสอบในแต่ละครั้งจะเว้นช่วงเวลาห่างกัน 1 วัน เพื่อนำส่วนสูงระยะต่างๆ ที่ได้ในแต่ละครั้งมาคำนวณหาร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากความสูงจริงที่ได้จากตำแหน่งของฉากเรียบซึ่งวางทับอยู่บนสเกลของสายวัดของตลับเมตรยี่ห้อ สแตนเลย์ รุ่น 30-656N ได้ผลดัง Figure 10

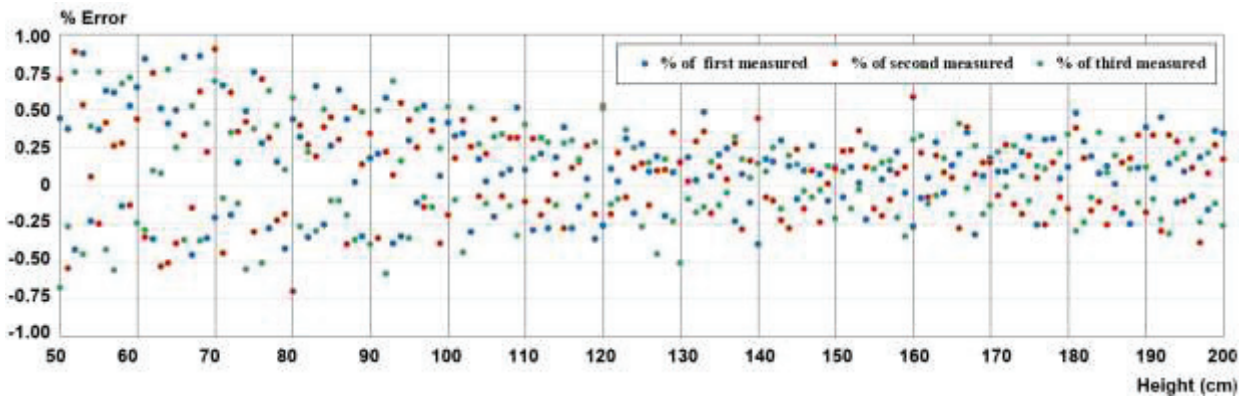
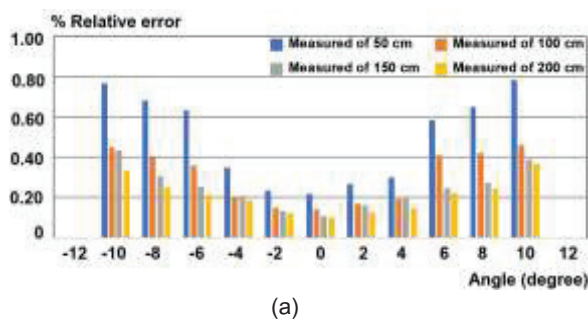


Figure 10 Percentage error occurred from height measuring a range of 50-200 centimeters

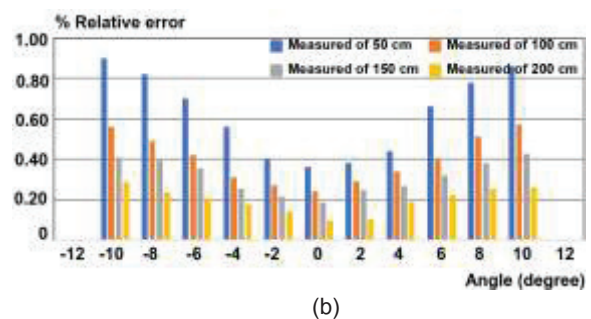
จาก Figure 10 พบว่าเมื่อนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาไปทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป โดยแนวโน้มความคลาดเคลื่อนจะลดลงหากระยะส่วนสูงที่วัดมีค่ามากขึ้น ตัวอย่างเช่น การวัดส่วนสูงในช่วงระยะระหว่าง 50-100 เซนติเมตร

ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าร้อยละ 0.90 โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงการวัด

ดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 0.41 แต่หากพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวัดส่วนสูงที่ระยะ 100-200 เซนติเมตร จะพบว่ามีค่าสูงสุดเป็นร้อยละ 0.58 โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงการวัดดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 0.20 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาลดช่วงการวัดส่วนสูง 50-200 เซนติเมตร จะพบว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 0.26 โดยความคลาดเคลื่อนสูงสุดมีค่าร้อยละ 0.90 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้



(a)



(b)

Figure 11 Percentage relative error of placing the portable height measuring device that is not paralleled.

(a) Tilt from the X axis (b) Tilt from the Y axis

จาก Figure 11 แสดงผลการวัดส่วนสูงด้วยอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอง่ายใต้งานไขการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้ทำมุมตั้งแต่ -12 องศาจนถึง 12 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงไว้บนแผ่นอะคริลิกที่สามารถปรับความเอียงได้ และใช้ไมโครแทรกเตอร์วัดมุมเอียง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวัดส่วนสูงตั้งแต่ระยะ 50 จนถึง 200 เซนติเมตร พบว่าหากติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ทำมุมเอียงเกินกว่า ±10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y อุปกรณ์จะไม่วัดส่วนสูงและไม่แสดงผลออกมาให้ทราบ แต่หากติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ทำมุมเอียงน้อยกว่า 10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y จะสามารถวัดส่วนสูงได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวางอุปกรณ์ให้เอียงในแนวแกน X มีค่าสูงสุดคิด

เป็นร้อยละ 0.78 เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้เอียง 10 องศาเพื่อวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวางอุปกรณ์ให้เอียงในแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.90 จากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาเอียง -10 องศาเพื่อวัดความสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตรเช่นกัน อย่างไรก็ตามจะพบว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะลดลงจากสองปัจจัย ได้แก่ มุมเอียงของการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา และระยะส่วนสูงของการวัดที่มีค่ามากขึ้นตามลำดับ

การยืนยันความถูกต้องของการใช้ค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนมาเป็นตัวคูณเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูง

อันเนื่องมาจากความยาวคลื่นอัลตราโซนิกที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งาน โดยการทดสอบวัดส่วนสูงในห้องที่มีการปรับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันไป โดยคณะผู้วิจัยยังคงทดสอบวัดส่วนสูงภายในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยการปรับตั้งอุณหภูมิภายในห้องทั้งจากการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้อุณหภูมิในห้องต่ำลงและใช้สภาพแวดล้อมจากภายนอกเข้ามาช่วยทำให้อุณหภูมิในห้องสูงขึ้น จนค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณที่วางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาไว้มีค่าเท่ากับ 20 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส คงที่เป็นระยะเวลา 3 นาที จากนั้นจึงทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50 100 150 และ 200 เซนติเมตร และบันทึกผลการวัดมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน ได้ผลดัง Figure 12 พบว่าความคลาดเคลื่อนที่จะมีค่าสูงขึ้นหากอุณหภูมิในสถานที่ใช้งานมีค่ามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากภาพรวมของผลการทดสอบจะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าร้อยละ 0.52 เกิดจากการวัดส่วนสูงระยะ 50 เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00

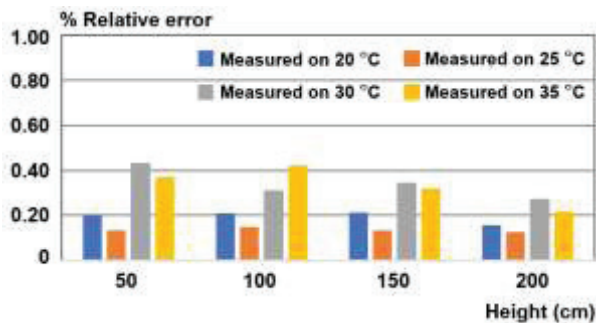


Figure 12 Percentage relative error of measuring height in the rooms with different temperatures

2. การทดสอบใช้งานจริงกับอาสาสมัคร

การทดสอบใช้งานจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมและประมวลผลการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่น่าเสนอ โดยการนำไปใช้วัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 8-50 ปี ณ สถานที่ต่างๆ จำนวน 50 คน เพื่อนำค่าส่วนสูงที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับส่วนสูงที่วัดได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง ยี่ห้อ ZEPPER รุ่น MK250C และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ได้ผลดัง Figure 13

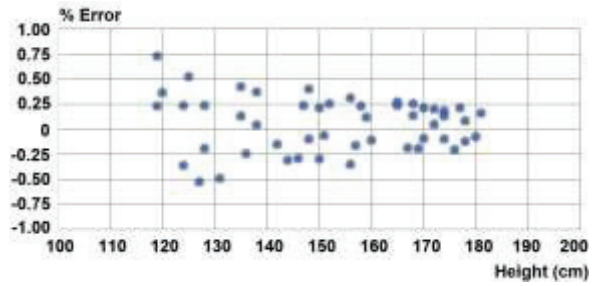


Figure 13 Percentage error occurred from measuring the height of 50 volunteers

จาก Figure 13 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงหากส่วนสูงของอาสาสมัครที่ถูกวัดมีค่ามากขึ้น โดยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครที่มีส่วนสูงระหว่าง 119-150 เซนติเมตร มีค่าร้อยละ 0.31 ที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.72 ขณะที่ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 0.18 จากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครที่มีส่วนสูงระหว่าง 150-181 เซนติเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.35 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้ง 50 คน พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาด้วยการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกมาทำหน้าที่วัดส่วนสูงบนพื้นฐานการตรวจวัดความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่วางอยู่บนศีรษะ โดยใช้การตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม เพื่อส่งข้อมูลให้กับไมโคร-คอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ประมวลผลพร้อมแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ผลการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายใต้การปรับตั้งอุณหภูมิห้องปฏิบัติการให้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะมีค่าสูงขึ้นจากสองสาเหตุ ได้แก่ ส่วนสูงที่มีค่าน้อย และอุณหภูมิขณะใช้งานที่มีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้รับในห้องปฏิบัติการ พบว่าจะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 1.00 ซึ่งเป็นไปตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ และยังคงมีความโดดเด่นกว่าผลงานวิจัยของ Tunji *et al.* (2020) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนัก โดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกและโหลดเซลล์เพื่อแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ซึ่งผลการทดสอบวัดความสูงตั้งแต่ 40-210 เซนติเมตรเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่างร้อยละ 0.48-2.00 โดยที่ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยลงหากความสูงที่วัดมีค่ามากขึ้น

จากการทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายใต้การติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่นำเสนอให้เอียงทำมุมตั้งแต่ -12 องศาจนถึง 12 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ผลปรากฏว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่นำเสนอ จะทำการวัดและแสดงค่าส่วนสูงในกรณีที่มีมุมเอียงอยู่ระหว่าง -10 ถึง +10 องศา ซึ่งผลการทดสอบวัดส่วนสูงที่ได้ จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.90 เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้เอียง -10 องศาในแนวแกน Y เพื่อวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร ซึ่งมีค่ากว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดต่ำลงหากมุมเอียงจากการวางอุปกรณ์มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ทั้งนี้หากนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Alexander *et al.* (2017) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก พบว่ามีข้อโดดเด่นกว่าในเรื่องจำนวนของเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ใช้น้อยกว่า 1 ตัว ประกอบกับน้ำหนักที่เบากว่าคิดเป็นร้อยละ 32.73 โดยที่ผลการทดสอบวัดส่วนสูงก็ยังคงได้รับความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้จากการนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอไปทดสอบใช้จริงด้วยการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 8-50 ปี ณ สถานที่ต่างๆ จำนวน 50 ราย ซึ่งมีความสูงอยู่ระหว่าง 119-181 เซนติเมตร พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.72 ซึ่งต่ำกว่าผลงานวิจัยของ Thunyarat *et al.* (2017) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก ซึ่งได้รับผลการทดสอบวัดความสูงของอาสาสมัครที่มีอายุระหว่าง 9-12 ปี จำนวน 106 ราย ที่มีความสูงต่ำกว่า 130 เซนติเมตร ไปจนถึง 167 เซนติเมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.00

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้รับการออกแบบและสร้างมาให้สามารถวัดส่วนสูงได้ด้วยการนำไปวางไว้บนศีรษะให้ขนานกับพื้น ดังนั้นในการวัดส่วนสูงแต่ละครั้งให้ได้ผลที่ถูกต้องจะต้องมั่นใจว่าผู้ที่กำลังวัดส่วนสูงต้องไม่ใส่รองเท้าหรือมีวัสดุอื่นใดมารองเท้าอยู่ อีกทั้งการยืนจะต้องอยู่ในลักษณะที่ศีรษะตั้งตรงและมองไปข้างหน้า ตลอดจนคอ หลัง รวมถึงขาต้องตั้งตรง
2. ระบบวัดส่วนสูงที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ อาศัยการคำนวณหาระยะทางจากเวลาที่ใช้เดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงความถี่สูงจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก

ดังนั้นผู้ที่กำลังวัดส่วนสูงจึงควรรยืนอยู่บนพื้นผิวที่มีความหนาแน่นสูง และมีความเรียบเพื่อให้การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Panatsada, 2017) ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของส่วนสูงที่วัดได้

3. ระบบวัดส่วนสูงที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ กำหนดเงื่อนไขของการเริ่มวัดส่วนสูงเมื่ออุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะต้องวางเอียงไม่เกินกว่า ± 10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่ได้ให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการกำหนดเงื่อนไขมุมเอียงของการเริ่มวัดส่วนสูงเมื่อวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้มีค่าน้อยกว่า ± 10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y แต่ทั้งนี้อาจทำให้ผู้วัดส่วนสูงจะต้องใช้เวลาในการวัดส่วนสูงแต่ละครั้งนานขึ้น จากการที่อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับพื้นมากยิ่งขึ้น

4. การเพิ่มระบบและอุปกรณ์เพื่อบันทึกข้อมูลการวัดส่วนสูงเข้าไปในอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จะช่วยอำนวยความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่น่าไปใช้ในสถานที่ที่มีผู้ที่ต้องการวัดส่วนสูงเป็นจำนวนมาก ตลอดจนมีความจำเป็นต้องนำค่าส่วนสูงของแต่ละบุคคลไปวิเคราะห์ผลอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณอาสาสมัครทั้ง 50 ท่าน ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อมาร่วมทดสอบใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอ จนทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลผลการทดสอบใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐวรรณ เชาวน์ลิลิตกุล, สุพจน์ รื่นเริงกลิ่น และลักษณะรินทร์ตระกูล. (2558). *คู่มือการใช้มาตรฐานการเจริญเติบโตขององค์การอนามัยโลก ปี ค.ศ. 2006 ในเด็กแรกเกิด - 5 ปี*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ลัดดา เหมาะสุวรรณ. (2552). *รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สำนักโภชนาการ. (2561). *รู้เท่าทันน้ำหนัก-ส่วนสูง แนวทางการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ: ด้านโภชนาการ*. กระทรวงสาธารณสุข.

- Alexander, N., Michael, H., Anthony, M., Jiang, W. & Ying, S. (2017). An ultrasonic sensor based portable height measuring device. *Proceedings of the 43rd Annual Northeast Bioengineering Conference*. New Jersey, USA.
- Cytron Technologies. (2013). *Product user's manual - HCSR04 ultrasonic sensor*. Cytron Technologies.
- Marathe, R., Kulkarni, A. & Devkar, U. (2014). Portable automatic height detector. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 3(10), 2693-2698.
- Nunnaphat, T., & Thanach, K. (2019). Obesity in the elderly: Evaluation and prevention. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 13(1), 16-26.
- Onuma, W., & Panatsada, A. (2017). Digital thickness meter using infrared sensor. *Journal of Associated Medical Sciences*, 50(3), 442-449.
- Panatsada, A. (2017). Performance of infrared sensor and ultrasonic sensor for medical applications. *Srinakharinwirot Science Journal*, 33(1), 135-145.
- Rattanasuda, S., Theerathawan, P. & Jureeporn, S. (2019). The design and creation of automatic body mass index (BMI) projecting by internet network. *Journal of Industrial Technology*, 14(2), 73-85.
- Thunyarat, W., Panatsada, A. & Chayanon, A. (2017). Digital height meter using ultrasonic sensor. *Journal of Associated Medical Sciences*, 50(3), 435-441.
- Tunji, J. E., Dayo, H. O. & Ibrahim, B. A. (2020). Parametric design of height and weight measuring system. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering (IJIREEICE)*, 8(7), 22-34.
- Wutichai, P., Butree, K. & Kornsuma, P. (2016). The study and design device to data records the forward head posture, for a worker using computer and users using smartphones: phototype design. *Proceedings of the 2016 Thailand National Ergonomics Conference*. Pathum Thani.