

# อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด

## Digital thickness meter using infrared sensor

■ อรุณา วาโยพัถ ปันตดา อวิคุณประเสริฐ\*  
Onuma Wayopat Panatsada Awikunprasert\*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น  
Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, Thailand

\* ผู้รับผิดชอบบทความ (Email: panaaw@kku.ac.th)  
\* Corresponding author (Email: panaaw@kku.ac.th)

Received June 2017  
Accepted as revised July 2017

### Abstract

**Introduction:** Knowing of patient thickness helps to determine the proper current and voltage of x-ray tube. Lesions on radiographs can be clearly seen and provide an accurate diagnosis. Implementation of microcontrollers and infrared sensors for digital thickness measurement can reduce time spending in thickness measurements providing a convenient way to measure the thickness without touching patient.

**Objectives:** Purposes of the study was to design and create a digital patient thickness meter using infrared sensor. Digital display provides an accurate and precise reading value. It was easily used, real time measurement, and touchless method.

**Materials and methods:** Digital thickness meter was calibrated and tested for the efficiency. Three different measurements of body's thickness were compared. These values were measured from a traditional method using caliper, digital thickness meter, and digital thickness meter with a volunteer holding a smooth board.

**Results:** The result showed that digital meter has an error of 6%. There was a linear relationship between thickness values measured from calipers, digital meter ( $R^2=0.7993$  and digital meter with holding a smooth board ( $R^2=0.8756$ ). Statistical analysis showed that there was a significant difference between the thickness from caliper compared to digital meter with holding a smooth board ( $p<0.05$ ). Thickness measurement in male volunteers provided more accurate result than female. Use of digital thickness meter with holding a smooth board was more accurate than using digital thickness meter alone.

**Conclusion:** Digital thickness meter using infrared sensor is a cheap, lightweight, and touchless measurement. However, the precision and accuracy of meter depend on the efficiency of infrared sensor which is a reflection property and surface absorption of material. Moreover, movement and breathing of volunteers affect the accuracy of measurement.

*Journal of Associated Medical Sciences 2017; 50(3): 442-449. Doi: 10.14456/jams.2017.60*

**Keywords:** Infrared sensor, thickness measurement, microcontroller, Arduino

## บทคัดย่อ

**ที่มาและความสำคัญ:** การทราบค่าความหนาของผู้ป่วยส่งผลต่อการกำหนดค่ากระแสและความต่างศักย์ที่ปลอดภัยซึ่งเหมาะสำหรับการถ่ายภาพรังสีให้มีคุณภาพที่ดี สามารถเห็นรายละเอียดของโรคได้ชัดเจน และทำให้การวินิจฉัยโรคถูกต้อง การนำไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์อินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการวัดความหนาและแสดงผลแบบดิจิทัลช่วยลดเวลาในการวัดค่าความหนา สะดวกในการวัดค่าโดยไม่ต้องมีการสัมผัสตัวผู้ป่วย

**วัตถุประสงค์:** เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด เพื่อให้เห็นค่าความหนาเป็นตัวเลขได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ใช้งานง่าย สะดวกรวดเร็ว และสามารถวัดความหนาโดยไม่ต้องสัมผัสตัวผู้ป่วย

**วัสดุและวิธีการศึกษา:** อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นถูกนำไปเปรียบเทียบและทดสอบประสิทธิภาพ เปรียบเทียบการวัดความหนา 3 วิธี คือ การใช้คาลิปเปอร์ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน การใช้อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล และการใช้อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยให้อาสาสมัครถือฉากรีบ

**ผลการศึกษา:** อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าร้อยละ 6 ค่าความหนาที่วัดได้จากคาลิปเปอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ( $R^2=0.7993$ ) และเมื่อให้อาสาสมัครถือฉากรีบ ( $R^2=0.8756$ ) การวิเคราะห์ความแตกต่างของการวัดพบว่าค่าความหนาที่ได้จากการวัดโดยใช้คาลิปเปอร์แตกต่างกับวิธีวัดความหนาแบบดิจิทัลโดยอาสาสมัครถือฉากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และการวัดความหนาในอาสาสมัครชายให้ความแม่นยำมากกว่าการวัดความหนาในอาสาสมัครหญิง การวัดความหนาแบบดิจิทัลโดยอาสาสมัครถือฉากเรียบมีความถูกต้องมากกว่าไม่ถือฉาก

**สรุปผลการศึกษา:** อุปกรณ์วัดความหนาที่สร้างขึ้นโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด มีราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถนำมาใช้วัดค่าความหนาได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องสัมผัสตัวผู้ถูกวัด อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องและแม่นยำของอุปกรณ์ขึ้นกับประสิทธิภาพของเซนเซอร์อินฟราเรดที่ใช้สมบัติการสะท้อนและสมบัติของพื้นผิวของวัตถุ นอกจากนี้การเคลื่อนไหว การหายใจของอาสาสมัครส่งผลต่อความถูกต้องในการวัดค่าความหนา

*Journal of Associated Medical Sciences 2560; 50(3): 442-449. Doi: 10.14456/jams.2017.60*

**คำสำคัญ:** เซนเซอร์อินฟราเรด การวัดความหนา ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน

## บทนำ

ในการถ่ายภาพรังสีวินิจฉัย จำเป็นต้องกำหนดปริมาณรังสีที่เหมาะสมกับอวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพ การตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดเอกซเรย์ (mA) เวลา (s) ความต่างศักย์ที่สูงที่สุดของหลอดเอกซเรย์ (kVp) เพื่อกำหนดปริมาณรังสีให้ปลอดภัยและเหมาะสมกับผู้ป่วยมากที่สุดนั้น จำเป็นต้องทราบค่าความหนาของผู้ป่วย<sup>1,2</sup> และเพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางรังสีที่มีคุณภาพดีเกี่ยวข้องกับปัจจัยสำคัญคือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้แกหลอดเอกซเรย์ที่ส่งผลต่อความดำของภาพ เมื่อกระแสไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ภาพมีความดำมากขึ้น ในการสร้างภาพการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่สูงที่สุดของหลอดเอกซเรย์มีผลต่ออัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio; SNR) ทำให้รายละเอียดของภาพที่ได้ไม่ชัดเจน และปัจจัยที่สำคัญคือความหนาของผู้ป่วยซึ่งส่งผลต่อการกำหนดค่า mAs และ kVp

ที่เหมาะสมในการถ่ายภาพรังสี เพื่อให้ภาพที่ได้มีค่าเปรียบต่างหรือคอนทราสต์และคุณภาพของภาพที่ดี สามารถเห็นรายละเอียดของโรคได้ชัดเจนและทำให้การวินิจฉัยโรคถูกต้องมากยิ่งขึ้น<sup>3,4</sup>

การคาดคะเนความหนาของผู้ป่วยด้วยสายตาอาจเกิดความไม่แม่นยำในการกำหนดค่า mAs และ kVp ส่งผลให้ภาพเอกซเรย์ที่ได้มีคุณภาพลดลงจากความเป็นจริงหรือมากกว่าความเป็นจริง ส่งผลต่อการวินิจฉัยโรคผิดพลาดได้โดยปกติ ใช้อุปกรณ์คาลิปเปอร์ (calipers) ลักษณะคล้ายรูปตัวแอล ในการวัดความหนา มีข้อดีคือราคาถูก แต่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากความไม่ชำนาญในการอ่านสเกลของผู้ปฏิบัติงาน ใช้เวลาในการวัดนาน<sup>5</sup> นอกจากนี้ ในกรณีที่ผู้ป่วยเป็นเพศหญิงและผู้ปฏิบัติงานเป็นเพศชาย อาจเกิดความยากลำบากหรือไม่เหมาะสมในการวัดความหนาของผู้ป่วยโดยการใช้คาลิปเปอร์

มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การวัดความหนาของโลหะ ยางรถยนต์ ความหนาของสี เครื่องตรวจจับความสูงแบบอัตโนมัติ และในด้านการแพทย์ เช่น อุปกรณ์วัดความหนาของผู้ป่วยโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดและไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Mega32 เพื่อแสดงค่า kVp และ mAs ที่เหมาะสมและสามารถควบคุมค่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับในการถ่ายภาพรังสีทรวงอก<sup>7</sup> จากรายงานการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์อินฟราเรดและเซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับวัดความหนา พบว่าเซนเซอร์อินฟราเรดมีพิสัยในการวัดระยะทาง 40-100 เซนติเมตร ซึ่งมีระยะทางสั้นกว่าเซนเซอร์อัลตราโซนิก และมีข้อดี คือ การทำงานของเซนเซอร์ไม่ขึ้นกับความชื้น อุณหภูมิ และความหนาแน่นของวัตถุ แต่มีข้อจำกัด คือ สีของวัตถุมีผลต่อการสะท้อนของคลื่นอินฟราเรด<sup>8</sup> ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เซนเซอร์

อินฟราเรดในการวัดความหนา โดยวัตถุประสงค์ คือการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล เพื่อให้ได้ความหนาที่แม่นยำและเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว

## วัสดุและวิธีการศึกษา

### การออกแบบและสร้างอุปกรณ์

ส่วนประกอบหลักของอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลประกอบด้วยเซนเซอร์อินฟราเรดของยี่ห้อ Sharp รุ่น GP2Y0A02YK0F บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และจอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD) จากนั้นเชื่อมต่ออุปกรณ์และบรรจุก่อประกอบต่างๆ ลงในกล่อง และเขียนโค้ดผ่านโปรแกรม Arduino ลงบนไอซี เพื่อวัดระยะทางระหว่างเซนเซอร์ถึงฉากเรียบ (Figure 1)

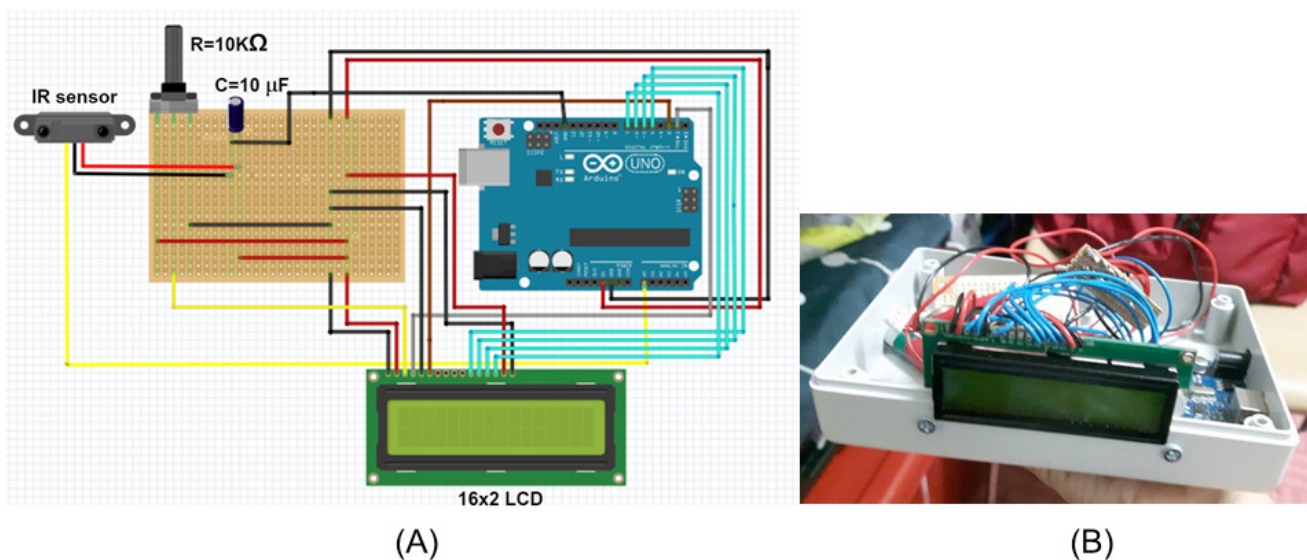
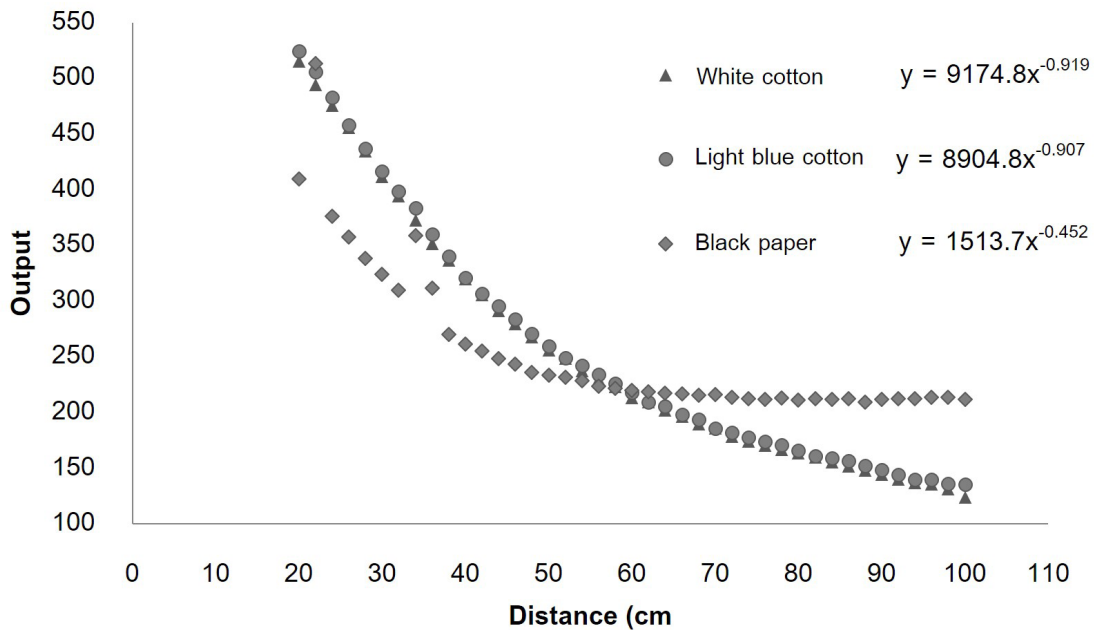


Figure 1 (A) circuit and electronics components of digital thickness meter (B) Assembly the digital thickness meter.

จากนั้นปรับเทียบเซนเซอร์อินฟราเรดเพื่อหาสมการที่เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้เป็นฉากเพื่อสะท้อนคลื่นอินฟราเรดในการศึกษานี้ใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายสีขาว (เสื้อนักศึกษา) ผ้าฝ้ายสีฟ้าอ่อน (เสื้อผู้ป่วย) และกระดาษสีดำ การปรับเทียบทำได้โดยเลื่อนฉากออกจากเซนเซอร์และบันทึกค่าดิจิทัลเอาท์พุททุกๆ 1 เซนติเมตร ตั้งแต่ 20-100 เซนติเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าดิจิทัลเอาท์พุทเฉลี่ยที่ระยะต่างๆ ไปเขียนกราฟและได้สมการของวัสดุต่างๆ ดังนี้ เมื่อใช้ผ้าสีขาวเป็นฉาก ได้สมการ

$y = 9174.8x^{-0.919}$  เมื่อใช้เสื้อผู้ป่วยเป็นฉาก สมการ คือ  $y = 8904.8x^{-0.907}$  เมื่อใช้กระดาษสีดำเป็นฉาก ได้สมการ คือ  $y = 1513.7x^{-0.452}$  การปรับเทียบแสดงให้เห็นว่าการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรดขึ้นกับสีของฉากหรือวัสดุสะท้อน เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าเอาท์พุทของเซนเซอร์มีค่าลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเทียบก่อนการนำไปใช้งาน (Figure 2) นำสมการระยะทางที่ได้มาแปลงเป็นสมการความหนา ดังสมการความหนา = ระยะทางที่กำหนดไว้ (80 เซนติเมตร) – สมการระยะทาง



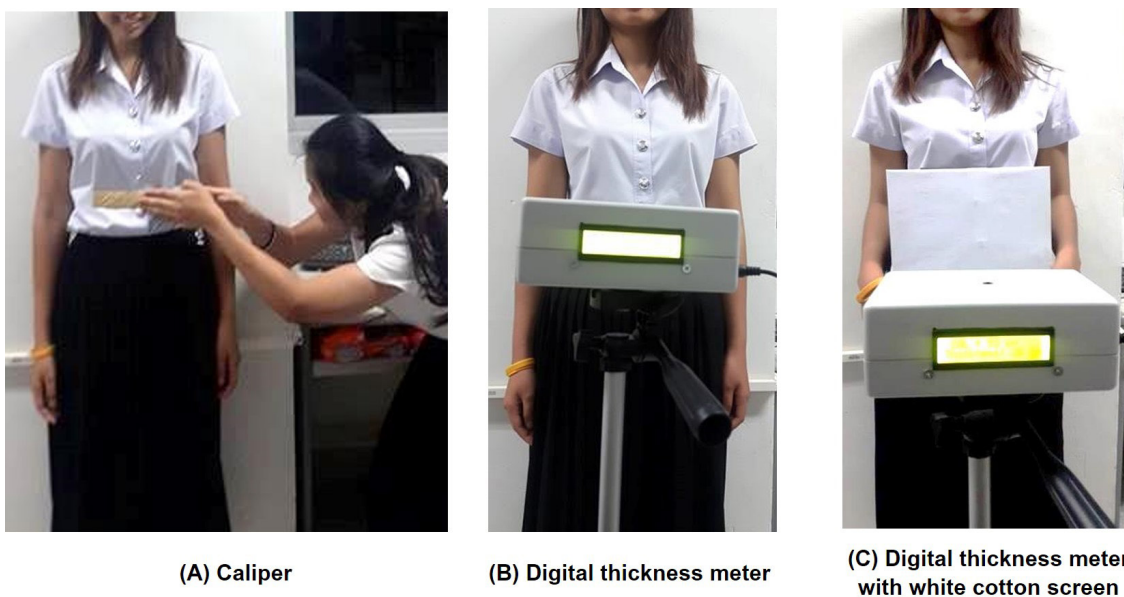
**Figure 2** Calibration graph of infrared sensor measured the distance of 20-100 cm using three difference screen material which were white cotton, light blue cotton and black paper.

**การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดความหนา**

นำอุปกรณ์วัดความหนาที่ผ่านการปรับเทียบแล้วไปวัดระยะทางระหว่างอุปกรณ์และฉากเรียบโดยใช้ผ้าฝ้ายสีขาวเป็นฉาก เลื่อนฉากออกจากอุปกรณ์และบันทึกค่าทุกๆ 1 เซนติเมตร ตั้งแต่ 20-80 เซนติเมตร วัดซ้ำ 3 ครั้ง และนำระยะทางที่วัดได้จากอุปกรณ์เปรียบเทียบกับระยะจริง

**การทดสอบการใช้งาน**

นำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปวัดความหนาของอาสาสมัครทั้งหมด 150 ราย โดยแต่ละรายถูกวัดค่าความหนาด้วยวิธีการ 3 วิธี คือ การวัดความหนาแบบทั่วไปโดยใช้คาลิปเปอร์ (caliper) การวัดความหนาด้วยอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล และการวัดความหนาด้วยอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยให้อาสาสมัครถือฉากเรียบ (Figure 3) จากนั้น เปรียบเทียบค่าความหนาที่ได้จากทั้งสามวิธี



**Figure 3** Measurement of thickness with three different methods.

## ผลการศึกษา

### ประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดความหนา

จากการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

ในการวัดระยะทางช่วง 20-40 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ  $\pm 6.0$  และเมื่อวัดระยะทางในช่วง 40-80 เซนติเมตร ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ  $\pm 4.0$  (Figure 4)

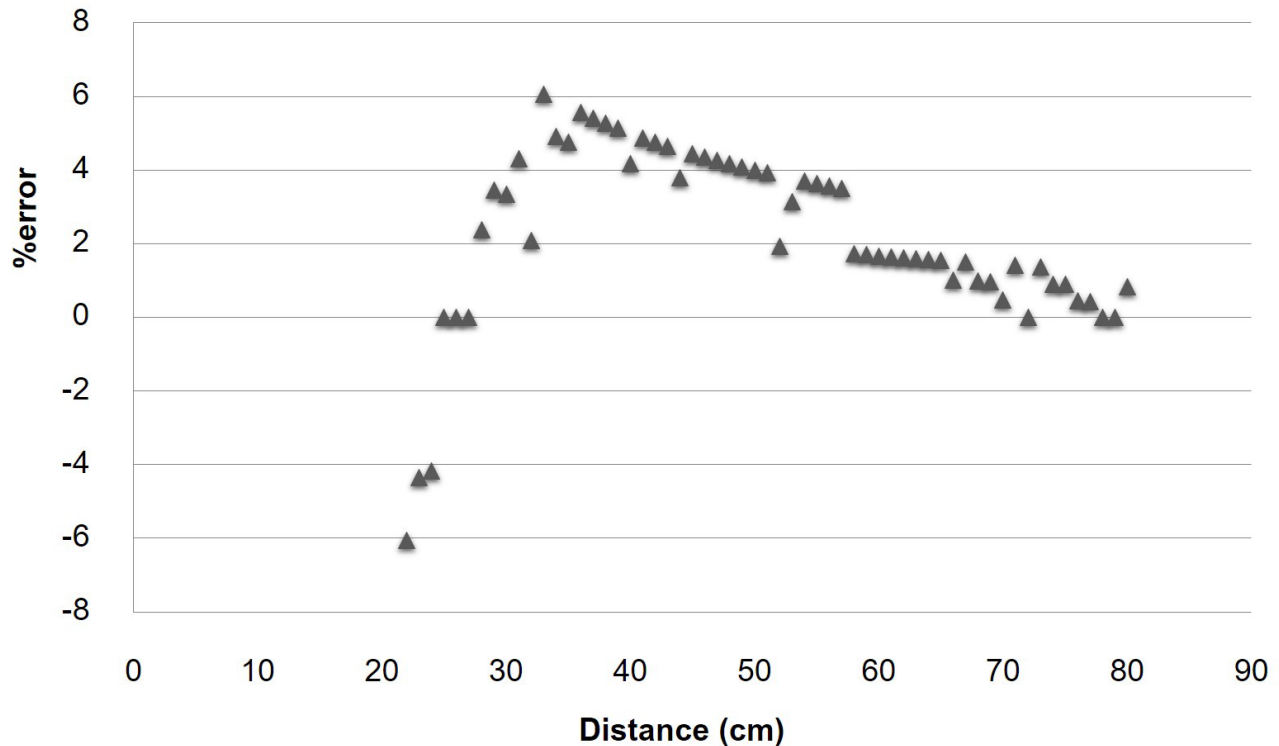
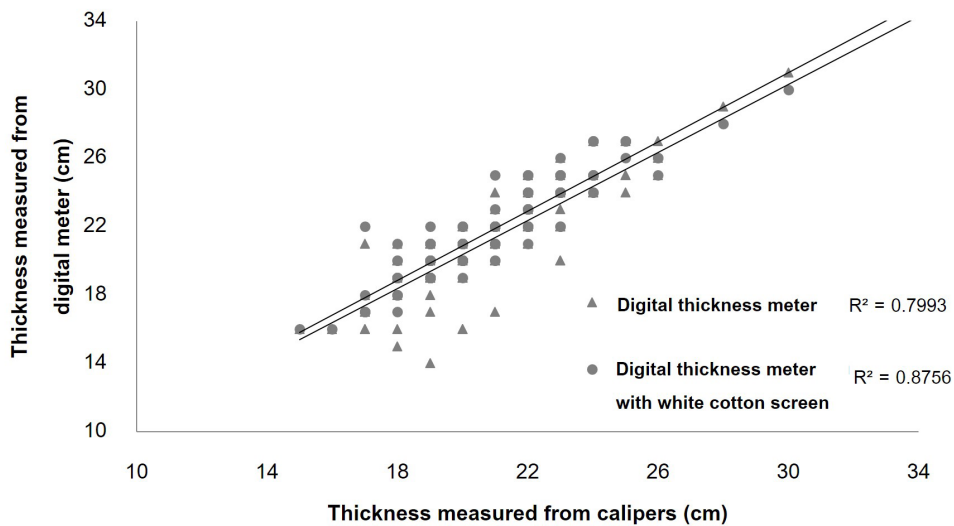


Figure 4 Percentage error of distance measurement using digital thickness meter with white cotton screen.

### การเปรียบเทียบการวัดความหนาจาก 3 วิธี

การวัดความหนาที่ได้จากการทดลองจากอาสาสมัครจำนวน 150 ราย โดยแต่ละวิธีการใช้อาสาสมัครและตำแหน่งการวัดเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาที่ได้จากทั้ง 3 วิธี คือ การวัดความหนาแบบทั่วไปโดยใช้คาลิปเปอร์ (caliper) การวัดความหนาด้วยอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล และการวัดความหนาด้วยอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยให้อาสาสมัครถือฉากเรียบ พบว่าค่าความหนาที่ได้จากการใช้คาลิปเปอร์เปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2=0.7993$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดความหนา

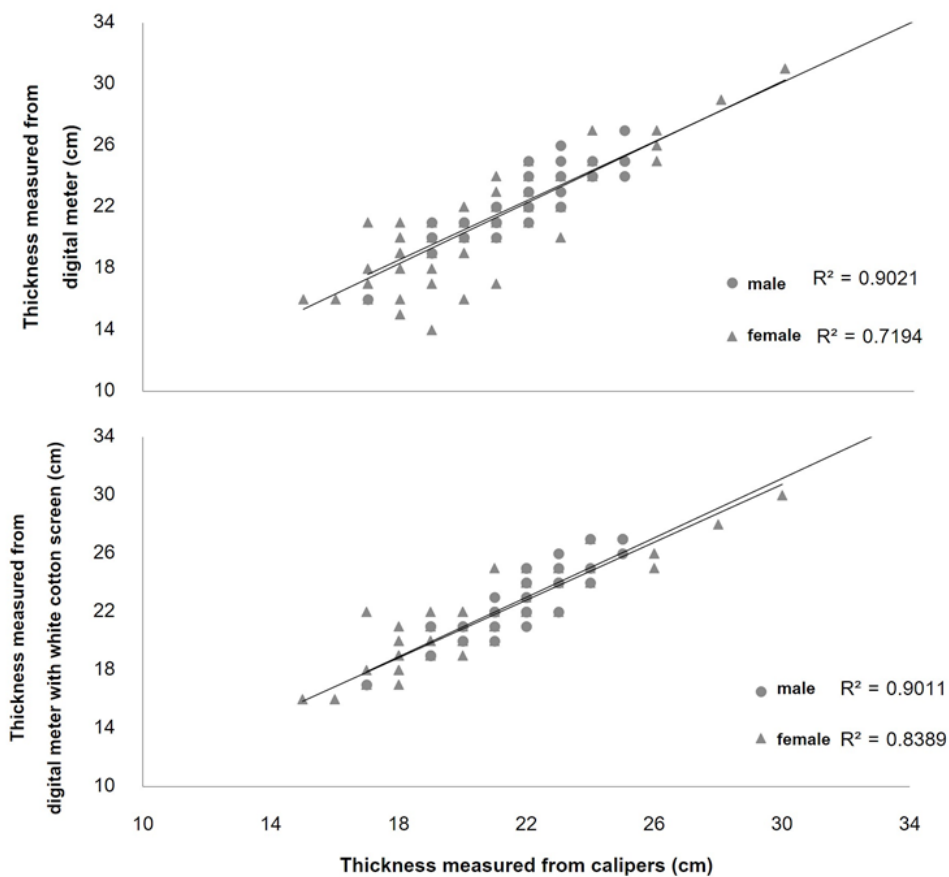
โดยให้อาสาสมัครถือฉากเรียบ มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2=0.8756$ ) (Figure 5) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA พบว่าค่าความหนาที่ได้จากทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.021$ ) ความหนาเฉลี่ยที่วัดจากการใช้คาลิปเปอร์เท่ากับ  $20.9\pm 2.8$  เซนติเมตร จากอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล มีค่าเฉลี่ย  $21.2\pm 3.1$  เซนติเมตร และวิธีวัดความหนาด้วยอุปกรณ์วัดความหนาโดยอาสาสมัครถือฉากเรียบ มีค่าเฉลี่ย  $21.8\pm 3.0$  เซนติเมตร เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Post Hoc พบว่าวิธีการวัดความหนาแบบคาลิปเปอร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีวัดความหนาโดยแบบดิจิทัลโดยอาสาสมัครถือฉาก ( $p<0.05$ )



**Figure 5** Comparison of measured thickness from three techniques; calipers, digital thickness meter and digital thickness meter with cotton screen.

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนา ระหว่างอาสาสมัครชายและหญิง พบว่าค่าความหนาที่วัดในอาสาสมัครชายโดยใช้คาลิปเปอร์กับอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2=0.9021$ ) และในอาสาสมัครหญิงเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาจากคาลิปเปอร์

กับอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2=0.7194$ ) และเมื่อให้อาสาสมัครถือฉาก พบว่าค่าความหนาที่ได้เมื่อวัดในอาสาสมัครชายมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2=0.9011$ ) และอาสาสมัครหญิง ( $R^2=0.8389$ ) (Figure 6)



**Figure 5** Comparison of measured thickness between male and female volunteers using digital thickness meter and digital thickness meter with cotton screen.

## วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดซึ่งสามารถแสดงค่าความหนาได้ถูกต้องและแม่นยำ สะดวก รวดเร็วในการใช้งาน อีกทั้งยังเป็น การวัดความหนาโดยไม่มีการสัมผัสตัวอาสาสมัครหรือผู้ป่วย เซนเซอร์อินฟราเรดมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา ราคาถูก อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ที่ระยะ 20-80 เซนติเมตร พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ  $\pm 6.0$  การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์สามารถทำได้โดยให้อาสาสมัครถือฉากเรียบมีผ้าสีขาวหุ้มซึ่งมีเนื้อผ้าและสีเดียวกับเสื้อของอาสาสมัคร เนื่องจากข้อจำกัดของเซนเซอร์อินฟราเรด คือ สีของวัตถุมีผลสะท้อนของคลื่นอินฟราเรด<sup>9</sup> นอกจากนี้ การตอบสนองของเซนเซอร์อินฟราเรดไม่เป็นเชิงเส้นและขึ้นกับคุณสมบัติของการดูดกลืนและการสะท้อนพื้นผิวของวัตถุ ดังนั้น ก่อนนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติของพื้นผิวและสีของวัตถุ

ในการนำไปใช้งานในการวัดค่าความหนาของผู้ป่วย ต้องคำนึงถึงพื้นผิวของวัตถุที่ไม่เรียบ การเคลื่อนไหวของวัตถุ เสื้อผ้าของผู้ป่วย ซึ่งอาจทำให้มุมในการสะท้อนและตกกระทบไม่เท่ากันทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดความหนาได้ นอกจากนี้ แสงภายนอก เช่น แสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟยังส่งผลต่อความถูกต้องในการวัดค่า ควรหลีกเลี่ยงแสงดังกล่าว<sup>10</sup>

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดค่าความหนา ระหว่างอาสาสมัครชายและหญิงโดยใช้อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัล พบว่าเมื่อใช้อุปกรณ์วัดความหนาแบบดิจิทัลวัดค่าความหนาในอาสาสมัครชายให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่าในอาสาสมัครหญิง และผลเช่นเดียวกับการให้อาสาสมัครถือฉากเรียบ อาจเนื่องมาจากสรีระร่างกายของอาสาสมัคร เช่น สรีระร่างกายของอาสาสมัครชายค่อนข้างตรงและเรียบ แตกต่างจากอาสาสมัครหญิง ส่งผลต่อความถูกต้องของการวัดค่าความหนาด้วยอุปกรณ์ดิจิทัล

1. Mahidol University. Chapter 5: Kilovoltage peak (kVp). MTRD310 .[updated 2016 Feb 22; cited 2016 Sep 16]. Avialable from: [http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/MTRD310/web/exposurefactor/2\\_5kVp.htm](http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/MTRD310/web/exposurefactor/2_5kVp.htm) (in Thai).
2. Mahidol University. Chapter 3: exposurefactor. MTRD310.[updated 2012 Aug 06; cited 2016 Sep 17]. Avialable from: [http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/MTRD310/web/exposurefactor/2\\_3intro&mA.htm](http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/MTRD310/web/exposurefactor/2_3intro&mA.htm) (in Thai).
3. Petcharakorn Hanpanich. Factors affecting the quality of radiography : Electric potential.[ cited 2016 Sep 17]. Avialable from: gotoknow: <https://www.gotoknow.org/posts/588617> (in Thai).
4. Suchart Kiatwattanacharoen. X-ray machines. [ cited 2016 Sep 16]. Avialable from: [http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx\\_ray\\_vet321\\_55.pdf](http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55.pdf) (in Thai).
5. Ampolpoj Wongpeum, ltt Subinmongkol, Somlak Jamroonsai, Sararas Intarak. The Measurement of Shoulder Soft Tissue Thickness by Using Chest Radiographic Image. Radiological Technology: Golden Jubilee Medical Center (in Thai).
6. Rhuta Marathe, Amruta Kulkarni, Utkarsha Devkar. Portable automatic height detector. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). 2014; 3(10): 2693-8.
7. Sastrawut Thammakittiphan. Optimum kVp and mAs for Chest X-RAY Using Least Square [Thesis]. Medical Instrumentation: King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 2007 [cited 2016 Sep 20]. Available from: <http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/4740381019.pdf> (in Thai).
8. Panatsada Awikunprasert, Onuma Wayopat, Thunyarat Wongke, Theerayut Charnnuwong, Petcharakorn Hanpanich and Chayanon Awikunprasert. Performance of Infrared Sensor and Ultrasonic Sensor for Medical Applications. Srinakharinwirot Science Journal 2016. 33(1); In Press (in Thai).
9. Nakasuto. Infared light. [cited 2016 Oct 24]. Available from: <http://nakasut007ster1234.blogspot.com/2006/12/infared-light.html> (in Thai).
10. Mustapha B, Zayegh A, Begg RK. Ultrasonic and Infrared Sensors Performance in a Wireless Obstacle Detection System. First International Conference on Artificial Intelligence, Modelling & Simulation; Washington, DC, USA: IEEE Computer Society Washington, DC, USA. 2013. p. 487-92