

Received: February 22, 2021; Revised: March 15, 2021; Accepted: March 22, 2021

การทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนสำหรับการวัดค่าความดันของ ของเหลว

Performance testing of barometer sensor in smartphone for liquid pressure measurement

ชาติ ทีณะ^{1*} สุทัศน์ จันบัวลา¹ ยุทธนา พิมพทองงาม¹ และวิชา ฉิมพลี¹

Chat Teeka^{1*}, Sutas Janbuala¹, Yutthana Pimthongngam¹ and Witcha Chimphlee¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร

*Corresponding Author E-mail Address : chat_tee@dusit.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ เป็นการนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์ และแอปพลิเคชันวัดค่าความดันบน iPhone 8 (แอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Bar-o-Meter-Altimeter & Barometer) และ Samsung Galaxy Note 9 (แอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Physics Toolbox Sensor Suited) ในการวัดค่าความดันของน้ำ ($\rho_w = 1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) และน้ำสไปรท์ ($\rho_s = 1.067 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) ผลการวิจัย พบว่า เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์และแอปพลิเคชันวัดค่าความดันบน iPhone 8 วัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ได้แม่นยำกว่าน้ำ ในขณะที่เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 วัดค่าความดันของน้ำได้แม่นยำกว่าน้ำสไปรท์ โดยค่าความดันที่วัดได้ทั้ง iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดเทียบกับทฤษฎีมีค่าน้อยกว่า 1 จึงสรุปได้ว่า เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์และแอปพลิเคชันวัดค่าความดันบน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงในการวัดค่าความดันของของเหลว เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการ iOS และ Android นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความดันของของเหลวที่ไหลในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่าแรงดันของของเหลวต่อพื้นที่ภาคตัดขวางต่าง ๆ ได้

คำสำคัญ: การทดสอบประสิทธิภาพ เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์ สมาร์ตโฟน ความดันของของเหลว

Abstract

In this paper, we presented results of the performance of barometer sensors and pressure measurement applications on iPhone 8 (Barometer Plus and Bar-o-Meter-Altimeter & Barometer applications) and Samsung Galaxy Note 9 (Barometer Plus and Physics Toolbox Sensor Suited applications) to measure the

pressure of water ($p_w=1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) and sprite ($p_s=1.067 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). The research results found that, the Barometer sensor and application on iPhone 8 can be measured precisely the water pressure more than sprite. Moreover, Samsung Galaxy Note 9 can be measured precisely the sprite pressure more than water. The percent errors of liquid pressure measured both iPhone 8 and Samsung Galaxy Note 9 have been less than 1. Conclusion that, the barometer sensors and pressure measurement applications on iPhone 8 and Samsung Galaxy Note 9 have been high efficiencies and precise in measuring liquid pressure. In application, the barometer sensors both on iOS and Android smartphones can be used measuring the pressure of liquid flow through the pipe in many dimensions to find the liquid force per cross-sectional area.

Keywords: Efficiency testing, Barometer sensor, Smartphone, Liquid pressure

บทนำ

ในปัจจุบันโลกของเราได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 หรือยุคไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งเป็นยุคที่เกิดการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากทางด้านเทคโนโลยี ผู้พัฒนาและออกแบบจึงสร้างผลิตภัณฑ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมามากมาย สำหรับเป็นสิ่งที่สามารถอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ได้ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต เป็นต้น เราจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันสมาร์ทโฟนได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตมนุษย์มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ที่กะทัดรัด พกพาง่าย และสามารถตอบสนองสิ่งที่มนุษย์ต้องการได้ เช่น การทำงานผ่านทางออนไลน์ การซื้อขายสินค้า การติดต่อสื่อสาร หรือการศึกษา ค้นคว้าหาความรู้ เป็นต้น ในไม่กี่ปีที่ผ่านมาผู้พัฒนาได้มีการพัฒนาเซนเซอร์ต่าง ๆ ติดตั้งลงบนเมนบอร์ดสมาร์ทโฟน (Chen et al., 2014; Countryman, 2014) ให้มีระบบปฏิบัติการและฟีเจอร์ที่ทันสมัย รวมทั้งตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้มากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มยอดขายทางการตลาดและเพิ่มประโยชน์ให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งการเพิ่มเซนเซอร์ถือว่าการพัฒนาสมาร์ทโฟนรูปแบบหนึ่ง (Countryman, 2014; Daponte et al., 2013) โดยเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประโยชน์ในการใช้งานจากสมาร์ทโฟน เช่น เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ เป็นต้น กล่าวคือ เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ในสมาร์ทโฟนสามารถทำการวัดระดับความสูงในขณะที่อยู่บนพื้นที่สูง อีกทั้งเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์สามารถทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน (Vanini et al., 2016) เพื่อใช้ศึกษาหาความดันบรรยากาศ (Monteiro et al., 2016) และระดับความสูงที่เราต้องการทราบ (Monteiro and Martí, 2017) รวมไปถึงการใช้ประโยชน์ทางด้านการศึกษาทดลองทางฟิสิกส์ (Vieyra et al., 2017) ซึ่งผู้เรียนหรือผู้สอนสามารถประยุกต์ใช้เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ที่ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทำกิจกรรมการทดลอง เช่น กิจกรรมการทดลอง เรื่อง ความดัน พบว่าเครื่องมือในการทดลองอาจจะมีไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้เรียน หรือบางครั้งเครื่องมืออาจจะมีการชำรุดเสียหาย ซึ่งส่งผลต่อการศึกษาดังนั้นการนำเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ที่ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนมาประยุกต์ใช้ในการทำกิจกรรมการทดลองนั้น อาจจะทำให้ผู้เรียนสามารถทำกิจกรรมการทดลองได้แบบรายบุคคลหรือเพียงพอต่อจำนวนของผู้เรียน นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ที่ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนยังมีความสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณปริมาณค่าต่าง ๆ ทางฟิสิกส์อีกด้วย (Kuhn and Vogt, 2013; Oprea and Miron, 2014; Vogt and Kuhn, 2014; González et al., 2015; Sans et al., 2015) รวมทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทำกิจกรรมการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีเรื่องของไหลได้อีกด้วย

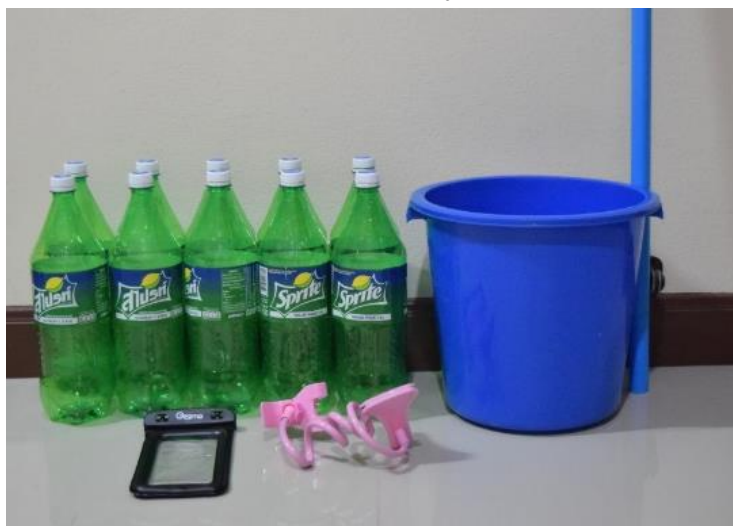
ในการวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์และแอปพลิเคชันบน สมาร์ทโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการ iOS (iPhone 8) และ Android (Samsung Note 9) ในการวัดค่าความดันของของเหลวตัวอย่าง คือ น้ำ และน้ำสไปรท์

เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์ (Barometer Sensor/Pressure Sensor) คือ เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนเมนบอร์ดของสมาร์ทโฟนสำหรับใช้ในการตรวจวัดความดันอากาศหรือความกดอากาศ สามารถใช้วัดค่าความดันที่ระดับความสูงต่าง ๆ เหนือพื้นดิน และที่ระดับความลึกของของเหลว โดยค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น hPa (1 hPa=100 Pa) ข้อดีของการใช้เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ทโฟน คือ สามารถใช้ วัดค่าความดันอากาศได้ทุกที่ที่เราต้องการวัดค่า สะดวกและใช้งานง่าย ข้อเสีย คือ เนื่องจาก Barometer Sensor/Pressure Sensor มีในสมาร์ทโฟนบางรุ่นเท่านั้น เช่น ในระบบปฏิบัติการ iOS เริ่มมีใน iPhone 6 เป็นต้น และในระบบปฏิบัติการ Android เริ่มมีใน Samsung Galaxy Note 5 เป็นต้น ทั้งนี้สามารถตรวจสอบว่าสมาร์ทโฟนรุ่นใดมี Barometer Sensor/Pressure Sensor หรือไม่ ได้ที่ <http://www.techmoblog.com> ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ทโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการ iOS และ Android ในการวัดค่าความดันของน้ำและน้ำสไปรท์

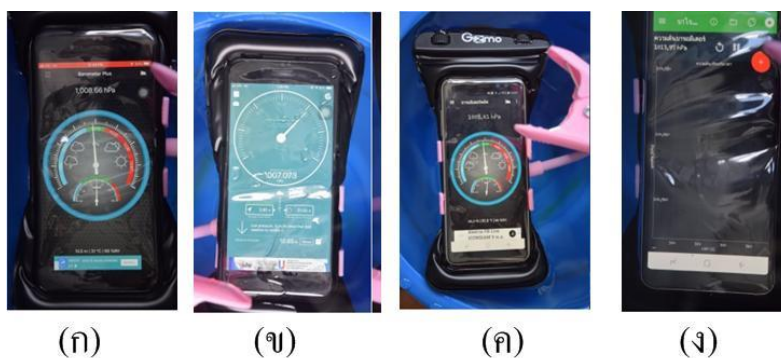
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์การวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้อุปกรณ์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยของเหลว ได้แก่ น้ำ (ความหนาแน่น $\rho_w = 1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) และน้ำสไปรท์ (ความหนาแน่น $\rho_s = 1.067 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) เนื่องจากน้ำและน้ำสไปรท์มีความใสเหมือนกัน จึงเลือกใช้เป็นของเหลวในการวิจัยครั้งนี้ ตลับเมตร ซองกันน้ำและที่ยึดชนิดหนีบสำหรับใส่สมาร์ทโฟน สมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการ iOS (iPhone 8) และระบบปฏิบัติการ Android (Samsung Galaxy Note 9) ถังพลาสติกสำหรับใส่ของเหลว ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 1 เมตร และ แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS (Barometer Plus และ Bar-o-Meter-Altitude & Barometer แสดงดังรูปที่ 2 (ก)-(ข)) และบนระบบปฏิบัติการ Android (Barometer Plus และ Physics Toolbox Sensor Suite แสดงดังรูปที่ 2 (ค)-(ง))



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองวัดความดันในของเหลว



รูปที่ 2 เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์และแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนของระบบปฏิบัติการ (ก) iOS (Barometer Plus)

(ข) iOS (Barometer & Altimeter) (ค) Android (Barometer Plus) และ

(ง) Android (Physics Toolbox Sensor Suite)

ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์และแอปพลิเคชันวัดความดันบนสมาร์ทโฟนด้วยกฎของสตีเวนตามวิธีการทดลองของ Macchia (2016) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

(1) นำตลับเมตรวัดตามยาวท่อ PVC ตั้งแต่ปลายของท่อจนได้ความยาว 27 เซนติเมตร โดยวาดสเกลลงบนท่อโดยที่จุดเริ่มต้น 0 เซนติเมตรอยู่ที่บริเวณกลางท่อ และจุด 27 เซนติเมตร อยู่ที่บริเวณปลายท่อ

(2) นำน้ำเปล่า/น้ำสไปรท์เทลงในถังน้ำพลาสติก โดยให้ระดับน้ำสูงจากก้นถัง 20 เซนติเมตร

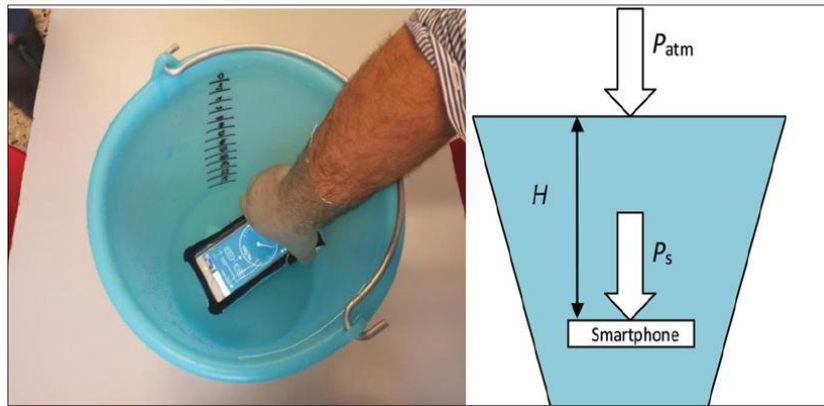
(3) นำอุปกรณ์สำหรับยึดติดสมาร์ทโฟนชนิดหนีบพันรอบท่อ PVC โดยใช้ปลายด้านหนีบที่ขนาดใหญ่กว่ายึดติดกับท่อ PVC ส่วนด้านที่เล็กกว่าปรับให้หงายขึ้นด้านบน เพื่อใช้สำหรับติดตั้งสมาร์ทโฟนในการทดลอง

(4) นำน้ำ/น้ำสไปรท์ที่เตรียมไว้เทลงถังพลาสติกตามระดับความสูงที่กำหนด (20 เซนติเมตร)

(5) วัดค่าความดันของน้ำที่ตำแหน่งแตกต่างกัน (ตำแหน่งที่ 1 (0 cm) ตำแหน่งที่ 2 (5 cm) ตำแหน่งที่ 3 (10 cm) ตำแหน่งที่ 4 (15 cm) และตำแหน่งที่ 5 (20 cm) ตามลำดับ) โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์ของสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Bar-o-Meter-Altimeter & Barometer และสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ Android ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Physics Toolbox Sensor Suite

(6) บันทึกค่าความดันที่ระดับความลึกต่าง ๆ ที่ได้จากแอปพลิเคชัน แล้วนำค่าความดันจากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าความดันจากการคำนวณตามทฤษฎี

การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์และแอปพลิเคชันวัดความดันบนสมาร์ทโฟนด้วยกฎของสตีเวนตามวิธีการทดลองของ Macchia (2016) ด้วยการนำสมาร์ทโฟน (ใส่ช่องกั้นน้ำ) จุ่มลงในของเหลวที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อวัดค่าความดันแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์วัดความดันบนสมาร์ทโฟน (ภาพซ้ายมือ) และ องค์ประกอบของความดันที่กระทำต่อสมาร์ทโฟน (ภาพขวามือ) (Macchia, 2016)

Macchia (2016) ได้ทำการศึกษาวัดค่าความดันของของไหลตามความสัมพันธ์ของกฎของสตีเวน ดังสมการที่ (1)

$$P_s = \rho g H + P_{atm} \quad (1)$$

เมื่อ P_s คือความดันของของเหลวที่ทำการวัด (ในหน่วย hPa) P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศของอากาศที่เกิดขึ้นบนผิวของของเหลว (ในหน่วย hPa) (โดยที่ 1 Pa=0.01 hPa) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Aneroid Barometer BTI® วัดค่า P_{atm} ที่ระดับผิวของของเหลว 0 cm (น้ำและน้ำสไปร์ท) ได้ค่า P_{atm} =1008.21 hPa (= 1.00821×10^5 Pa เป็นค่าทางทฤษฎี) ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (ในหน่วย kg/m³) โดยความหนาแน่นของน้ำ (ρ_w) เท่ากับ 1.000×10^3 kg/m³ และน้ำสไปร์ท (ρ_s) เท่ากับ 1.067×10^3 kg/m³ (1.6 kg/ 1.5×10^{-3} m³) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.80 m/s²) และ H คือ ความลึกของสมาร์ทโฟนที่จมอยู่ในของเหลว (ในหน่วย cm) และใช้สมการ (1) ในการคำนวณค่าความดันของของเหลวที่ระดับความลึกต่าง ๆ

การคำนวณค่าความดันทางทฤษฎี

การคำนวณค่าความดันในทางทฤษฎีโดยใช้สมการที่ (1) ค่า P_{atm} วัดค่าด้วย Aneroid Barometer BTI® ที่ระดับผิวของของเหลว 0 cm (น้ำและน้ำสไปร์ท) ได้ค่า P_{atm} =1008.21 hPa ตัวอย่างการคำนวณค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึก 5 cm ดังนี้

$$P_s = \rho g H + P_{atm} = (1000 \text{ kg/m}^3)(9.80 \text{ m/s}^2)(5 \times 10^{-2} \text{ m})(0.01 \text{ hPa}) + 1008.21 \text{ hPa} = 1013.11 \text{ hPa}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความดันของน้ำสไปร์ทที่ระดับความลึก 5 cm ดังนี้

$$P_s = \rho g H + P_{atm} = (1067 \text{ kg/m}^3)(9.80 \text{ m/s}^2)(5 \times 10^{-2} \text{ m})(0.01 \text{ hPa}) + 1008.21 \text{ hPa} = 1013.44 \text{ hPa}$$

ผลการวิจัย

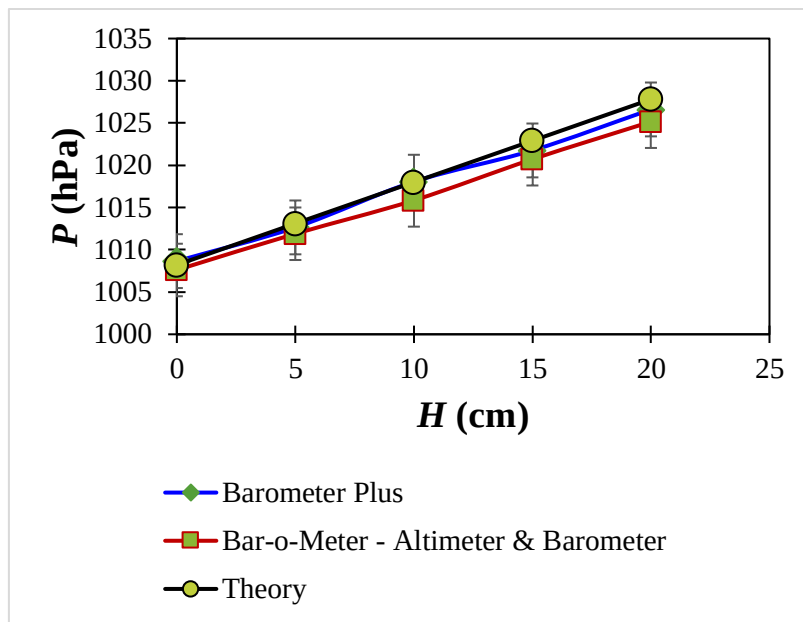
1. การวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ค่าความดันบรรยากาศที่ใช้เป็นค่าทฤษฎีเป็นค่าที่วัดโดยใช้ Aneroid Barometer BTI® วัดค่าความดันที่ผิวน้ำระดับ 0 cm ได้ค่าความดันบรรยากาศ (P_{atm}) 1008.21 hPa และใช้ค่าความดันบรรยากาศ (P_{atm}) นี้แทนค่าในสมการที่ (1) และน้ำที่ใช้ในการทดลองมีความหนาแน่น (ρ_w) เท่ากับ $1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android และค่าคำนวณทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ iOS

ระดับความลึก	ความดันในของของเหลว, P (hPa)					ค่าทฤษฎี	% Error
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.		
Barometer Plus App							
0 cm	1008.66	1008.66	1008.66	1008.66	0.00	1008.21	0.045
5 cm	1012.04	1011.95	1013.97	1012.65	1.14	1013.11	0.045
10 cm	1017.73	1017.79	1018.66	1018.06	0.52	1018.01	0.005
15 cm	1021.52	1021.27	1022.50	1021.76	0.65	1022.91	0.112
20 cm	1026.50	1027.30	1026.02	1026.61	0.65	1027.81	0.117
Bar-o-Meter-Altimeter & Barometer App							
0 cm	1007.07	1008.65	1007.10	1007.61	0.90	1008.21	0.060
5 cm	1011.62	1012.32	1011.75	1011.90	0.37	1013.11	0.119
10 cm	1015.41	1016.62	1015.52	1015.85	0.67	1018.01	0.212
15 cm	1020.33	1021.52	1020.32	1020.72	0.69	1022.91	0.214
20 cm	1024.24	1025.03	1026.21	1025.16	0.99	1027.81	0.258

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 วัดค่าความดันที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (0–20 เซนติเมตร) โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บน iPhone 8 ประกอบด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer พบว่า ที่ระดับ 0 cm การวัดค่าความดันของน้ำ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ได้ค่าเท่ากันทุกครั้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.045% ในขณะที่ทำการวัดค่าความดันของน้ำ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer พบว่า ได้ค่าแตกต่างกันและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.90 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.060% และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่า ค่าความดันมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และสอดคล้องกับค่าคำนวณทางทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 0.258 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (น้อยกว่า 1%) เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ตโฟน (Barometer Plus และ Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer) กับค่าทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ ด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ให้ค่าใกล้เคียงทฤษฎีมากกว่าการวัดด้วยแอปพลิเคชัน Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer



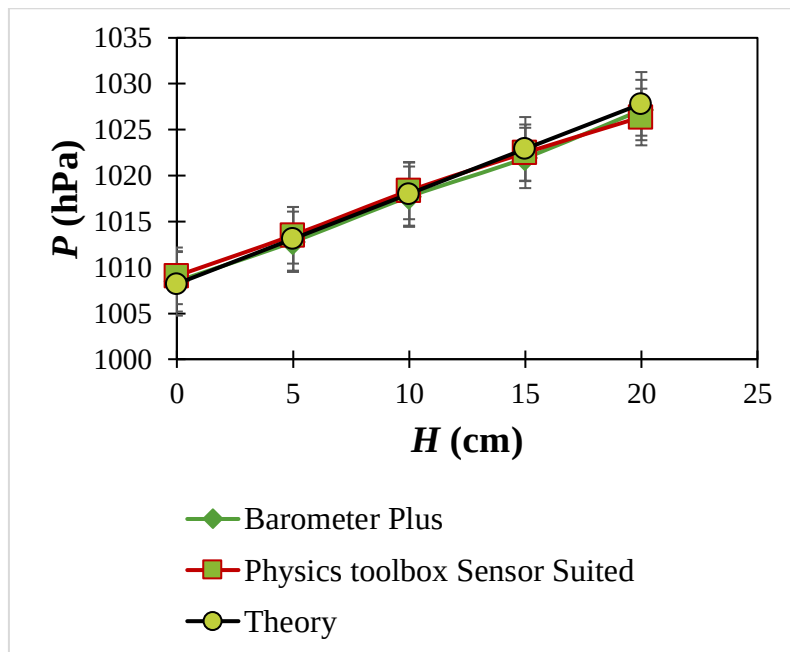
รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ iOS กับทฤษฎี

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android

ระดับความ ลึก	ความดันในของของเหลว, P (hPa)					ค่าทฤษฎี	% Error
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.		
Barometer Plus App							
0 cm	1008.41	1008.39	1008.66	1008.48	0.15	1008.21	0.027
5 cm	1013.34	1012.95	1012.09	1012.79	0.64	1013.11	0.032
10 cm	1017.80	1017.79	1017.32	1017.70	0.27	1018.01	0.030
15 cm	1021.38	1022.73	1021.65	1021.92	0.71	1022.91	0.097
20 cm	1026.91	1027.52	1026.98	1027.14	0.33	1027.81	0.065
Physics toolbox Sensor Suited App							
0 cm	1009.36	1008.93	1008.95	1009.08	0.24	1008.21	0.086
5 cm	1013.97	1012.96	1013.56	1013.50	0.51	1013.11	0.038
10 cm	1018.99	1017.55	1018.45	1018.33	0.73	1018.01	0.031
15 cm	1022.99	1022.52	1021.93	1022.48	0.53	1022.91	0.042
20 cm	1026.60	1025.95	1026.59	1026.38	0.37	1027.81	0.139

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 วัดค่าความดันที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (0 – 20 เซนติเมตร) โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 ประกอบด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Physics toolbox Sensor Suited พบว่า ที่ระดับ 0 cm การวัดค่าความดันของน้ำ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ได้ค่าความดันของน้ำ

แตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.027% ในขณะที่ทำการวัดค่าความดันของน้ำ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Physics toolbox Sensor Suited พบว่า ได้ค่าความดันของน้ำแตกต่างกันและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.24 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.086% และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่า ค่าความดันมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และสอดคล้องกับค่าคำนวณทางทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 0.139 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (น้อยกว่า 1%) เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ทโฟน (Barometer Plus และ Physics toolbox Sensor Suited) กับค่าทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ ด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ให้ค่าใกล้เคียงทฤษฎีมากกว่าการวัดด้วยแอปพลิเคชัน Physics toolbox Sensor Suited



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ Android กับค่าทางทฤษฎี

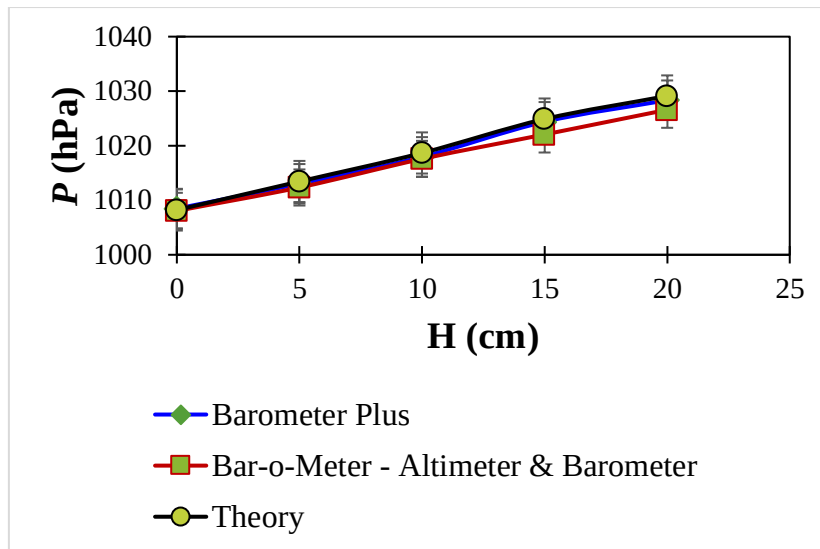
2. การวัดค่าความดันน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ค่าความดันบรรยากาศที่ใช้เป็นค่าทฤษฎีเป็นค่าที่วัดโดย Aneroid Barometer BTI® วัดค่าความดันที่ผิวน้ำสไปรท์ระดับ 0 cm ได้ค่าความดันบรรยากาศ (P_{atm}) 1008.21 hPa และใช้ค่าความดันบรรยากาศ (P_{atm}) นี้แทนค่าในสมการที่ (1) และน้ำสไปรท์ที่ใช้ในการทดลองมีความหนาแน่น (ρ_s) เท่ากับ $1.067 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์อมิเตอร์บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android และค่าคำนวณทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองวัดค่าความดันของน้ำสไปร์ทที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS

ระดับความลึก	ความดันในช่องของเหลว, P (hPa)					ค่าทฤษฎี	% Error
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.		
Barometer Plus App							
0 cm	1008.73	1008.13	1008.55	1008.47	0.31	1008.21	0.026
5 cm	1013.17	1012.99	1012.57	1013.01	0.31	1013.44	0.042
10 cm	1018.36	1018.01	1017.75	1017.95	0.31	1018.67	0.071
15 cm	1023.04	1024.32	1023.47	1024.38	0.65	1024.89	0.050
20 cm	1027.05	1028.56	1027.31	1028.34	0.81	1029.12	0.076
Bar-o-Meter–Altimeter & Barometer App							
0 cm	1008.18	1008.02	1007.95	1008.05	0.12	1008.21	0.016
5 cm	1012.07	1012.00	1011.94	1012.34	0.07	1013.44	0.109
10 cm	1017.86	1017.56	1017.32	1017.58	0.27	1018.67	0.107
15 cm	1022.17	1022.02	1021.98	1022.06	0.10	1024.89	0.276
20 cm	1026.89	1026.53	1026.34	1026.59	0.28	1029.12	0.246

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 วัดค่าความดันของน้ำสไปร์ทที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (0–20 เซนติเมตร) โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 ประกอบด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer พบว่า ที่ระดับ 0 cm การวัดค่าความดันของน้ำสไปร์ท 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ได้ค่าความดันแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดค่าความดันเท่ากับ 0.31 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีพบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.026% ในขณะที่ทำการวัดค่าความดันของน้ำสไปร์ท 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer พบว่า ได้ค่าความดันแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดเท่ากับ 0.21 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีพบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.016% และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำสไปร์ทที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่า ค่าความดันที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และสอดคล้องกับค่าคำนวณทางทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎีพบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 0.246 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (น้อยกว่า 1%) เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 (Barometer Plus และ Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer) กับค่าทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ ด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ให้ค่าใกล้เคียงทฤษฎีมากกว่าการวัดด้วยแอปพลิเคชัน Bar -O-Meter- Altimeter & Barometer



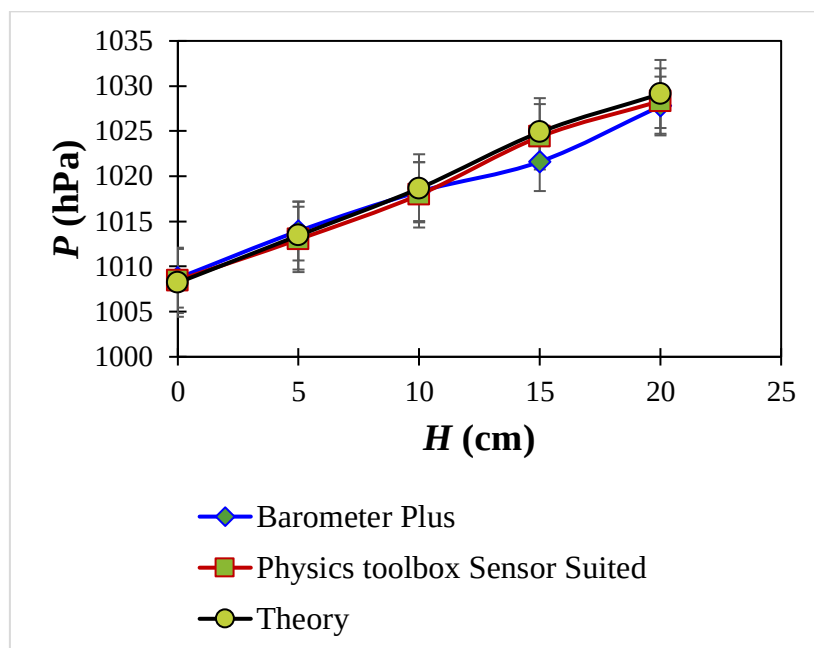
รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึก โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ iOS กับค่าทางทฤษฎี

ตารางที่ 4 ผลการทดลองวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android

ระดับความลึก	ความดันในของของเหลว, P (hPa)					ค่าทฤษฎี	% Error
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.		
Barometer Plus App							
0 cm	1009.48	1008.45	1008.20	1008.71	0.68	1008.21	0.050
5 cm	1014.28	1014.01	1013.51	1013.93	0.39	1013.44	0.048
10 cm	1018.79	1018.26	1017.85	1018.30	0.47	1018.67	0.036
15 cm	1022.02	1021.55	1021.30	1021.62	0.37	1024.89	0.319
20 cm	1028.57	1027.03	1026.77	1027.79	0.97	1029.12	0.129
Physics toolbox Sensor Suited App							
0 cm	1008.73	1008.13	1008.55	1008.47	0.31	1008.21	0.026
5 cm	1013.47	1012.99	1012.57	1013.01	0.45	1013.44	0.042
10 cm	1018.09	1018.01	1017.75	1017.95	0.18	1018.67	0.071
15 cm	1025.63	1024.32	1023.47	1024.38	1.09	1024.89	0.050
20 cm	1029.14	1028.56	1027.31	1028.34	0.94	1029.12	0.076

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 วัดค่าความดันที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (0–20 เซนติเมตร) โดยใช้เซนเซอร์บาร์อิมิตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 ประกอบด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus และ Physics toolbox Sensor Suited พบว่า ที่ระดับ 0 cm การวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ได้ค่าความดันของน้ำสไปรท์แตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดเท่ากับ 0.68 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีพบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.050% ในขณะที่ทำการวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ 3 ซ้ำด้วยแอปพลิเคชัน Physics toolbox

Sensor Suited พบว่า ได้ค่าความดันของน้ำสไปรท์แตกต่างกันและมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดเท่ากับ 0.31 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีความคลาดเคลื่อน 0.026% และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่า ค่าความดันมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และสอดคล้องกับค่าคำนวณทางทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 0.319 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนน้อยมาก (น้อยกว่า 1%) เมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความดันที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 (Barometer Plus และ Physics toolbox Sensor Suited) กับค่าทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ ด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus ให้ค่าใกล้เคียงทฤษฎีมากกว่าการวัดด้วยแอปพลิเคชัน Physics toolbox Sensor Suited



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android กับทฤษฎี

3. ประสิทธิภาพของเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ตโฟน

เมื่อนำค่าความดันเฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของน้ำและน้ำสไปรท์ที่วัดด้วยเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ตโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการ iOS และ Android และค่าทางทฤษฎี ที่ระดับความลึกต่าง ๆ จากตารางที่ 1-4 มาสรุปรวมดังแสดงในตารางที่ 5 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ตโฟน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความดันที่ได้จากการทดลอง และค่าความดันจากการคำนวณตามทฤษฎี

สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS					สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ Android				
ระดับ ความลึก	(iPhone 8)				(Samsung Galaxy Note 9)				ค่าทฤษฎี
	Barometer Plus		Bar-O-Meter- Altimeter & Barometer		Barometer Plus		Physics toolbox Sensor Suited		
	ค่าเฉลี่ย	% Error	ค่าเฉลี่ย	% Error	ค่าเฉลี่ย	% Error	ค่าเฉลี่ย	% Error	
วัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ									
0 cm	1008.66	0.045	1007.61	0.060	1008.48	0.027	1009.08	0.086	1008.21
5 cm	1012.65	0.045	1011.90	0.119	1012.79	0.032	1013.50	0.038	1013.11
10 cm	1018.06	0.005	1015.85	0.212	1017.70	0.030	1018.33	0.031	1018.01
15 cm	1021.76	0.112	1020.72	0.214	1021.92	0.097	1022.48	0.042	1022.91
20 cm	1026.61	0.117	1025.16	0.258	1027.14	0.065	1026.38	0.139	1027.81
วัดค่าความดันของน้ำสปรีทที่ระดับความลึกต่าง ๆ									
0 cm	1008.47	0.026	1008.05	0.016	1008.71	0.050	1008.47	0.026	0.026
5 cm	1013.01	0.042	1012.34	0.109	1013.93	0.048	1013.01	0.042	0.042
10 cm	1017.95	0.071	1017.58	0.107	1018.30	0.036	1017.95	0.071	0.071
15 cm	1024.38	0.050	1022.06	0.276	1021.62	0.319	1024.38	0.050	0.050
20 cm	1028.34	0.076	1026.59	0.246	1027.79	0.129	1028.34	0.076	0.076

จากตารางที่ 5 ค่าความดันเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความดันของน้ำ ซึ่งทำการวัดด้วยแอปพลิเคชัน Barometer Plus เหมือนกันทั้งใน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 พบว่า ที่ระดับ 0 cm การวัดค่าความดันด้วย Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.027 ซึ่งน้อยกว่าการวัดค่าความดันด้วย iPhone 8 (0.045%) และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำที่ระดับความลึก 20 cm พบว่า การวัดค่าความดันด้วย Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.065 ซึ่งน้อยกว่าการวัดค่าความดันด้วย iPhone 8 (0.117%) นั่นคือ เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความดันของน้ำดีกว่า iPhone 8 แต่เมื่อนำไปวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับ 0 cm พบว่า การวัดค่าความดันด้วย Samsung Galaxy Note 9 (แอปพลิเคชัน Barometer Plus) มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.050 ซึ่งมากกว่าการวัดค่าความดันด้วย iPhone 8 (แอปพลิเคชัน Barometer Plus) (0.026%) และเมื่อทำการวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ที่ระดับความลึก 20 cm พบว่า การวัดค่าความดันด้วย Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.129 ซึ่งมากกว่าการวัดค่าความดันด้วย iPhone 8 (0.076%) นั่นคือ เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความดันของน้ำสไปรท์ ดีกว่า Samsung Galaxy Note 9 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความดันของของเหลวที่มีความหนาแน่นสูง ($\rho_s > \rho_w$) ในขณะที่การวัดค่าความดันของของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำ Samsung Galaxy Note 9 มีประสิทธิภาพในการวัดค่าได้แม่นยำกว่า iPhone 8 ทั้งนี้ในการวัดค่าความดันของน้ำและน้ำสไปรท์ด้วยเซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความดันน้อยกว่า 1% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เซนเซอร์บาร์อิมิเตอร์บน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความดันของของเหลว

บทสรุป

ในการวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 และแอปพลิเคชันวัดค่าความดันบนสมาร์ทโฟน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 และแอปพลิเคชันวัดค่าความดัน มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความดันของของเหลว (น้ำและน้ำสไปร์ท) โดยเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บน iPhone 8 วัดค่าความดันของของเหลวที่มีค่าความหนาแน่นสูงได้แม่นยำกว่า ในขณะที่เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บน Samsung Galaxy Note 9 วัดค่าความดันของของเหลวที่มีค่าความหนาแน่นต่ำได้แม่นยำกว่า ทั้งนี้การวัดค่าความดันของของเหลวด้วย iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ดังนั้นเซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์และแอปพลิเคชันวัดค่าความดันของของเหลวบน iPhone 8 และ Samsung Galaxy Note 9 มีประสิทธิภาพสูงและความแม่นยำสูงในการวัดค่าความดันของของเหลว

เซนเซอร์บาร์โอมิเตอร์บนสมาร์ทโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการ iOS และ Android นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความดันของของเหลวที่ไหลในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่าแรงดันของของเหลวต่อพื้นที่ภาคตัดขวางต่าง ๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมในแผนงานวิจัยพื้นฐาน – มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เลขที่สัญญาทุนวิจัย 64-FF-ค08

เอกสารอ้างอิง

- Chen C.Y., Chen Y.H., Lin C.F., Weng C.J., and Chien H.C. (2014). A review of ubiquitous mobile sensing based on smartphones. *International Journal of Automation and Smart Technology*. 4(1): 13–19.
- Countryman C.L. (2014). Familiarizing students with the basics of a smartphone's internal sensors. *The Physics Teacher*. 52: 557–559.
- Daponte P., Vito De L., Picariello F. and Riccio M. (2013). State of the art and future developments of measurement applications on smartphones. *Measurement*. 46(9): 3291–3307.
- González M.Á., González Manuel Á., Martín M.E., Llamas C., Martínez Ó., Vegas J., Herguedas M. and Hernández, C. (2015). Teaching and learning physics with smartphones. *Journal of Cases on Information Technology*. 17(1): 31–50.
- Kuhn J. and Vogt P. (2013). Applications and examples of experiments with mobile phones and smartphones in physics lessons. *Frontiers in Sensors*. 1(4): 67–73.
- Macchia S. (2016). Analyzing Stevin's law with the smartphone barometer. *The Physics Teacher*. 54: 373.
- Monteiro M. and Martí A.C. (2017). Using smartphone pressure sensors to measure vertical velocities of elevators, stairways, and drones. *Physics Education*. 52(1): 015010.

- Monteiro M., Vogt P., Stari C., Cabeza C. and Marti A.C. (2016). Exploring the atmosphere using smartphones. *The Physics Teacher*. 54: 308–309.
- Oprea M. and Miron C. (2014). Mobile phones in the modern teaching of physics. *Romanian Reports in Physics*. 66(4): 1236–1252.
- Sans J.A., Manjón F.J., Cuenca-Gotor V., Giménez-Valentín M.H., Salinas I., Barreiro J.J., Monsoriu J.A. and Gomez-Tejedor J.A. (2015). Smartphone: a new device for teaching Physics. 1st International Conference on Higher Education Advances, HEAd'15, Universitat Politècnica de València, València, 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HEAd15.2015.332>
- Vanini S., Faraci F., Ferrari A. and Giordano S. (2016). Using barometric pressure data to recognize vertical displacement activities on smartphones. *Computer Communications*. 87: 37–48.
- Vieyra R.E., Vieyra C., and Macchia S. (2017). Kitchen physics: Lessons in fluid pressure and error analysis. *The Physics Teacher*. 55: 87–90.
- Vieyra R., Vieyra C., Jeanjacquot P., Marti A. and Monteiro M. (2015). Turn your smartphone into a science laboratory. *The Science Teacher*. 32–40.
- Vogt P. and Kuhn J. (2014). Acceleration sensors of smartphones: Possibilities and examples of experiments for application in physics lessons. *Frontiers in Sensors*. 2: 1–9.