



การหาค่าความตึงผิวโดยวิธีหยดของเหลว : ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มหยด Determination of Surface Tension by Pendant Drop Method: Effect of Tip's Diameters

สุมิตรา อิมรक्षा และ จิตรา เกตุแก้ว

Sumitra Imraksa and Chittra Kedkaew

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received : 15 December 2021

Revised : 18 January 2021

Accepted : 19 February 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบชุดการทดลองหาค่าความตึงผิวของของเหลวโดยวิธีหยดน้ำ เพื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือระดับอุดมศึกษา โดยอาศัยภาพถ่ายของหยดน้ำและหลักการผลต่างของความดันในของเหลวจากสมการยัง-ลาปลาซในการคำนวณ ชุดการทดลองประกอบด้วยเข็มฉีดยาที่ตัดปลายตรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm หลอดไฟ และโทรศัพท์มือถือ ในการทดลองจะหยดน้ำกลั่นจากเข็มฉีดยาขนาดต่างกัน ถ่ายภาพหยดน้ำ และนำภาพที่ได้มาวัดระยะ D_E และ D_S ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ ซึ่งระยะ D_E แทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่กว้างที่สุดของหยดน้ำ และ D_S แทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ ตำแหน่งที่วัดจากจุดต่ำสุดของหยดน้ำที่อยู่ห่างเป็นระยะ D_E พอดี จากผลการวัดและคำนวณพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวหยดที่ใช้หยดของเหลวไม่มีผลต่อค่าความตึงผิวของของเหลว แต่รูปทรงของหยดน้ำจะมีผลต่อค่าความตึงผิว โดยผลต่างของ D_E กับ D_S จากภาพถ่ายหยดน้ำที่หยดจากหัวหยดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm มีค่าอยู่ในช่วง 0.080 – 0.10 mm นอกจากนี้ภาพถ่ายหยดน้ำที่ให้ค่าความตึงผิวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด ควรเป็นภาพถ่ายหยดน้ำขณะที่หยดน้ำกำลังจะหลุดออกจากปลายหัวหยด ซึ่งเป็นจุดที่เกิดความสมดุลระหว่างแรงตึงผิวและแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับตัวหยดน้ำ โดยที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มฉีดยา และปริมาณของน้ำที่ใช้ ไม่ส่งผลต่อค่าความตึงผิวที่คำนวณได้จากวิธีนี้

คำสำคัญ : ความตึงผิว ; วิธีหยดน้ำ ; สมการยัง-ลาปลาซ



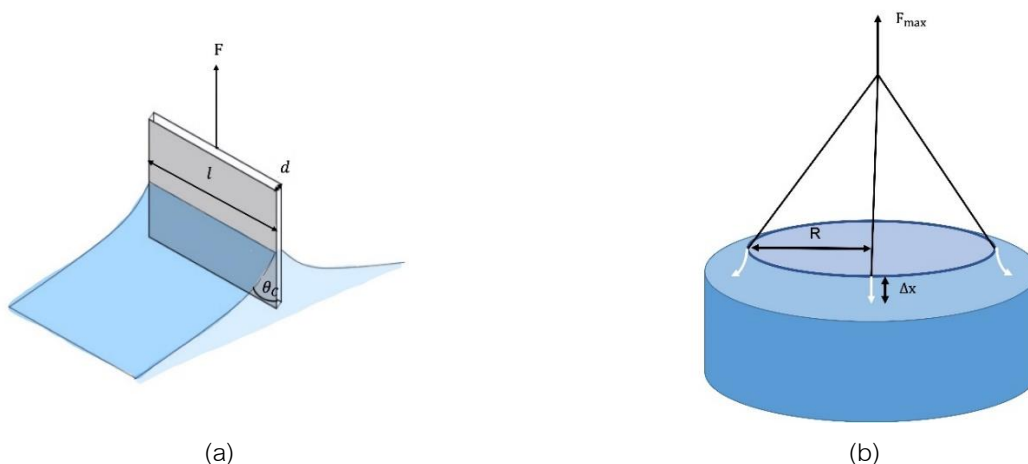
Abstract

This research aims design for the experimental setup to determine surface tension of liquids by the pendant drop method. This experiment was designed for student in the upper secondary level or higher education. Photographs of water droplet were taken, and Young-Laplace equation was applied. The setup consists of a syringe with its tip straight cut for diameters of 0.60, 0.80 and 1.2 mm. A lamp and smartphone were set to take photographs which are analyzed by ImaeJ program. A drop of distilled water was formed at the tip. The pendant drop method requires measuring diameter. The value of the diameter of the drop at its widest part was D_E and the value of the diameter of in a position at vertical distance D_E from the lowest end was D_S . From the results, the diameter of the dropper's tip does not affect the surface tension of the distilled water. But the shape of the water drop affects to the surface tension. The difference between D_E and D_S of the water drops from various tip's diameters should be in the range of 0.080 – 0.10 mm. In order to obtain accurate surface tension, the water drop must maintain its shape before it leaves the tip of the dropper that the balance between surface tension and the gravitational force. Finally, the tip's diameter of dropper and the volume of distilled water do not affect the surface tension.

Keywords : surface tension, pendant drop method, Young Laplace's equation

บทนำ

แรงตึงผิวของของเหลว เป็นสมบัติพื้นฐานของของเหลวใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติได้ เช่น การเดินบนผิวน้ำของจิ้งจกน้ำ หรือในทางอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบค่าความแรงตึงผิวของของเหลวเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว เช่น น้ำยาล้างจาน สีทาบ้าน น้ำมันหล่อลื่น ยา หรือ อาหาร (Michael & Kornelia, 1988; Tomas *et al.*, 2007; Anahita *et al.*, 2009) เป็นต้น แรงตึงผิวเป็นแรงที่ได้จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรือที่เรียกว่าแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular forces) โดยแรงนี้จะทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุลรอบๆ ให้อยู่ชิดกัน แต่เนื่องจากของเหลวมีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อบรรจุของเหลวลงในภาชนะ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเดียวกันบริเวณผิวน้ำของของเหลวในแนวรัศมี ในขณะที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเดียวกันที่บริเวณผิวน้ำเป็นแรงที่พยายามยึดเหนี่ยวโมเลกุลของของเหลวไม่ให้แยกออกจากกัน เรียก แรงตึงผิว โดยแรงตึงผิวของของเหลวแต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน ถ้าโมเลกุลของของเหลวยึดกันด้วยแรงดึงดูดสูง แรงตึงผิวก็จะมีค่าสูงด้วย โดยความตึงผิว (surface tension) คือ อัตราส่วนของแรงตึงผิวต่อความยาวของเส้นรอบวงที่ตั้งฉากกับแรงตึงผิวนั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความตึงผิว คือความพยายามในการยึดผิวของเหลว วิธีการหาค่าแรงตึงผิวของของเหลว มีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ วิธีหลอดแคปิลารี (capillary rise method) วิธีแบบแผ่นของวิลเฮล์ม (Wilhelmy plate method) วิธีแบบวงแหวนของดุนอยด์ (Du Nouy Ring Method) วิธีหยดของเหลวจากปลายเข็ม (The dripping from a needle Method) หรือ วิธีหยดของเหลว (Pendant drop method) (Rudolph 1935 ; Concetto, 2006; Joseph *et al.*, 2015; H. Chen *et al.*, 2017) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกัน สำหรับการศึกษาค่าแรงตึงผิวของของเหลวที่ใช้ในการเรียนการสอนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 ส่วนใหญ่จะออกแบบชุดการทดลองโดยใช้วิธีแบบแผ่นของวิลเฮล์ม หรือ แบบวงแหวนของดุนอยด์ ดังภาพที่ 1(a) และ 1(b) ตามลำดับ โดยอาศัยแรงตึงวัตถุให้หลุดออกจากของเหลวที่ต้องการทดสอบ เป็นวิธีการหาค่าความตึงผิวที่ใช้มานาน วิธีการนี้จะต้องใช้ของเหลวในปริมาณมาก และวัตถุ เช่น วงแหวน หรือเส้นลวด จะต้องจุ่มลงในของเหลวที่ต้องการทดสอบและ ของเหลวควรมีลักษณะใส เพราะถ้าของเหลวมีสี หรือขุ่น จะทำให้การสังเกตจุดที่วัตถุหลุดออกจากของเหลวนั้นทำได้ยาก



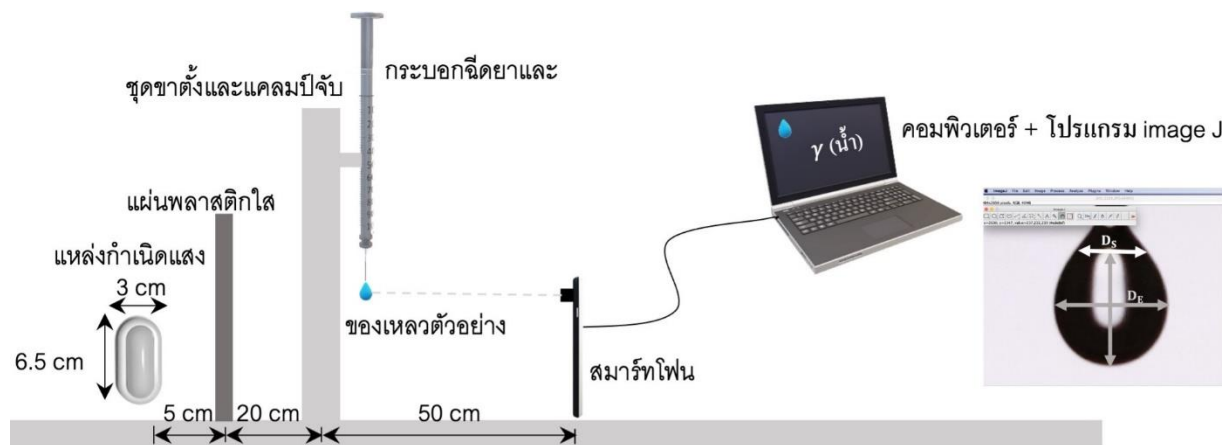
ภาพที่ 1 การหาค่าความตึงผิวของของเหลวโดยวิธี (a) แบบแผ่นของวิลเฮล์ม และ (b)แบบวงแหวนของดุนอยด์

สำหรับวิธีหาค่าความตึงผิวของของเหลวด้วยวิธีหยดน้ำ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ได้กับของเหลวที่มีปริมาณน้อยๆ โดยต่อมาได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดค่าความตึงผิว ที่สามารถวัดค่าความตึงผิวของของเหลวในปริมาณน้อยให้มีค่าที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งวิธีการหาความตึงผิวโดยอาศัยวิธีหยดน้ำ เริ่มมีการศึกษามานานแล้ว แต่ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากการวัดทำได้ยาก กล้องที่ใช้ในการจับภาพถ่ายมีความละเอียดน้อย ไม่สามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวที่มีขนาดเล็กได้ จึงมีเพียงการศึกษาในเชิงการคำนวณ (Andreas, J. M. 1937; Stauffer C.E. 1965) สำหรับหลักการหาความตึงผิวโดยวิเคราะห์จากรูปปร่างของหยดน้ำ มีด้วยกันหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของคอนเซตโต (Concetto, 2006) ที่ใช้กฎของเทต (Tate's law) เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวของหยดน้ำ ซึ่งในงานวิจัยของเขาได้ใช้หัวเข็มฉีดยาเป็นหัวหยดของเหลว และผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้ ต้องทราบปริมาตรและมวลของของเหลวที่หยด ซึ่งทำได้ยากเมื่อต้องใช้ของเหลวในปริมาณที่น้อย ดังนั้นในงานวิจัยของคอนเซตโต จึงต้องทำการทดลองหลายครั้ง เพื่อจะหาค่ามวลเฉลี่ยของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของเชน (H. Chen *et.al*, 2017) ที่เปรียบเทียบค่าความตึงผิวที่คำนวณโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องในโทรศัพท์มือถือที่มีค่าความละเอียดของกล้องแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่าความละเอียดของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพหยดน้ำจะให้ค่าความตึงผิวที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดการทดลองหาความตึงผิวโดยอาศัยการวิเคราะห์รูปร่างหยดน้ำ การใช้หัวเข็มฉีดยาเป็นหัวหยด และใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือในการบันทึกภาพถ่ายหยดน้ำ เพื่อนำมาใช้เป็นชุดสาธิตประกอบการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน สำหรับนักเรียนและนักศึกษา

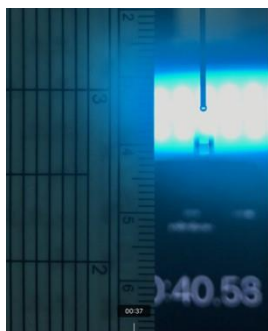
วิธีดำเนินการวิจัย

ชุดทดลองประกอบ ด้วยหัวหยดของเหลว ที่ใช้หัวเข็มฉีดยาที่ตัดปลายเข็มให้ตรง 3 ขนาด มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเป็น 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ กระจกฉีดยาขนาดบรรจุ 3 ml.

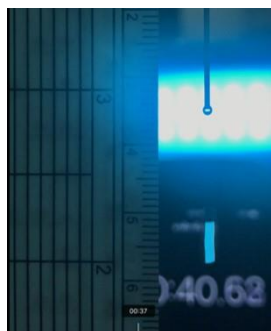


ภาพที่ 2 การจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

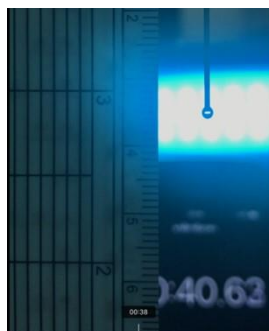
สมาร์ทโฟนที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่าย คือ Iphone 7 โดยกล้องหลังมีความละเอียด 12 เมกะพิกเซล รูรับแสงขนาด $f/1.8$ การบันทึกภาพเคลื่อนไหวมีอัตราเฟรมอยู่ที่ 30 เฟรมต่อวินาที, ชุดขาตั้งพร้อมแคลมป์จับ และแผ่นพลาสติกใสวางตรงกลางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและชุดขาตั้งที่ยึดเข็มฉีดยาเป็นระยะ 5 และ 20 cm ตามลำดับ ใช้หลอดไฟกำลังไฟฟ้า 0.2 W เป็นแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านหลังเพื่อใช้เป็นพื้นหลังในการถ่ายภาพ ซึ่งจัดวางอุปกรณ์ดังภาพที่ 2 และตัวอย่างของเหลวที่ใช้ในการทดสอบ เป็น น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 26°C



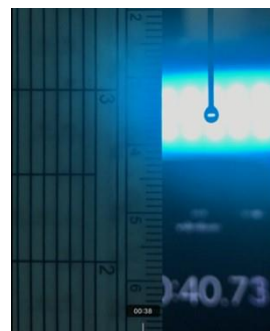
Caption 1



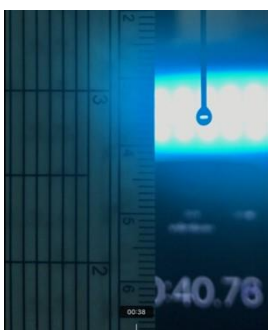
Caption 2



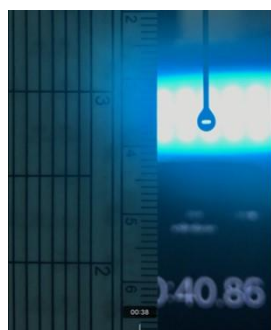
Caption 3



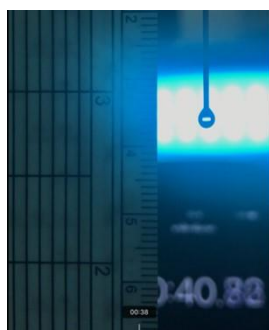
Caption 4



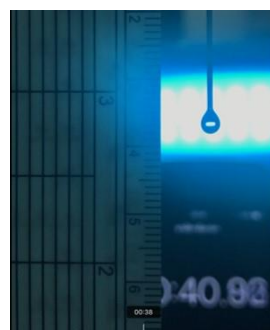
Caption 5



Caption 6

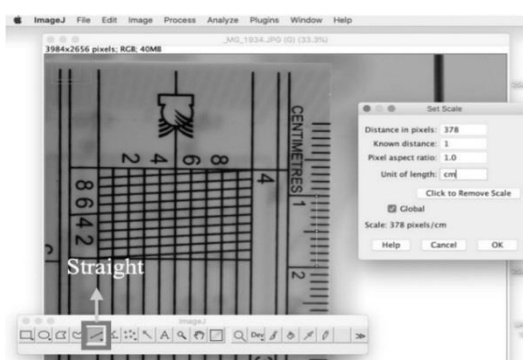


Caption 7

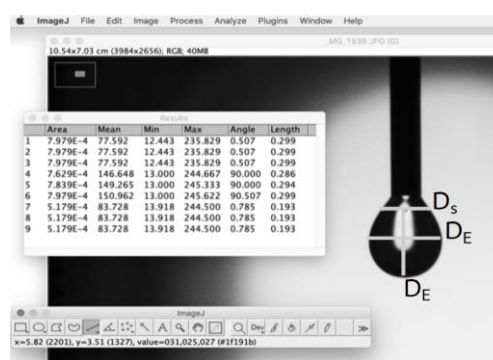


Caption 8

(a)



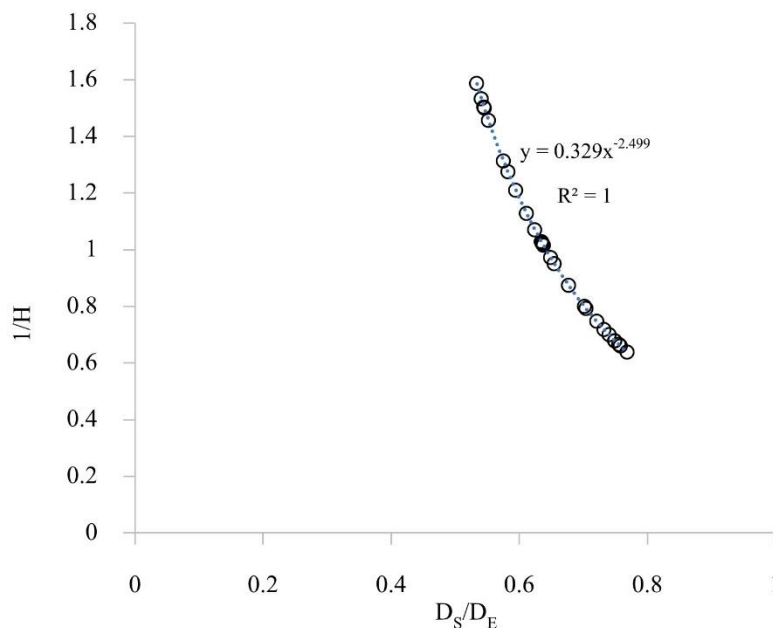
(b)



(c)

ภาพที่ 3 (a) ภาพถ่ายแบบต่อเนื่อง ขณะเริ่มกดเข็มให้หยดย่น้ำจนกระทั่งหยดย่น้ำเริ่มหลุดออกจากปลายเข็ม (b) การตั้งค่าสเกลของโปรแกรมอิมเมจเจ และ (c) การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดย่น้ำโดยใช้โปรแกรมอิมเมจเจ

นำสมาร์ทโฟนมาติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของชุดขาตั้งและแคลมป์จับ โดยให้กล้อง อยู่ในระดับเดียวกับปลายของเข็มฉีดยาและสามารถโฟกัสภาพถ่ายของหยดน้ำได้ชัดเจน ถ่ายภาพหยดน้ำขนาดต่างๆ ที่หยดจากปลายเข็มฉีดยาทั้งสามขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 0.60, 0.80 และ 1.2 mm) ตั้งกล้องให้อยู่ในระดับเดียวกันกับปลายของเข็มฉีดยา และปรับแสงสว่างลงเพื่อให้สามารถมองเห็นขอบของหยดของเหลวได้ชัดเจน ตั้งค่ากล้องถ่ายรูปโดยใช้โหมดถ่ายภาพต่อเนื่อง กดถ่ายภาพพร้อมกับกดเข็มฉีดยาให้ของเหลวไหลออกมาที่ปลายเข็มฉีดยา ดังภาพที่ 3(a) โดยบันทึกภาพถ่ายแบบต่อเนื่อง ตั้งแต่เริ่มกดเข็มฉีดยาจนหยดน้ำเริ่มหลุดออกจากปลายเข็ม นำภาพถ่ายของหยดน้ำทั้งหมด มาปรับความคมชัดของภาพและเปิดโปรแกรมอิมเมจเจ ตั้งค่าสเกล โดยเลือกไอคอน Straight เพื่อกำหนดความยาวอ้างอิงจากสเกลบนไม้บรรทัดตามภาพที่ 3(b) เมื่อกำหนดระยะตามสเกลอ้างอิงแล้ว เลือกที่ไอคอน Straight และนำไปวัดระยะ D_E เป็น เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่กว้างที่สุดของหยดน้ำ และ D_S แทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ ตำแหน่งที่วัดจากจุดต่ำสุดของหยดน้ำที่อยู่ห่างเป็นระยะ D_E พอดี จากนั้นนำข้อมูล D_E และ D_S ที่ได้จากการหยดน้ำ เมื่อใช้เข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ ไปคำนวณหาค่าความตึงผิว (γ) ของน้ำต่อไป



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{H}$ และ $\frac{D_S}{D_E}$

การคำนวณค่าความตึงผิวของของเหลวโดยวิธีวิเคราะห์หยดน้ำ สามารถใช้สมการของ ยัง-ลาปลาซ (Young-Laplace equation) ในการอธิบายความสมดุล ระหว่างแรงตึงผิวของของเหลวกับแรงโน้มถ่วง เนื่องจากน้ำหนักของหยดน้ำ



ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่พยายามใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข ในการหาค่าคงที่เหมาะสม (Joseph *et al.*, 2015; Stauffer C.E., 1965) ในงานวิจัยนี้ใช้สมการ

$$\gamma = \frac{\Delta \rho g D_E^2}{H} \quad (1)$$

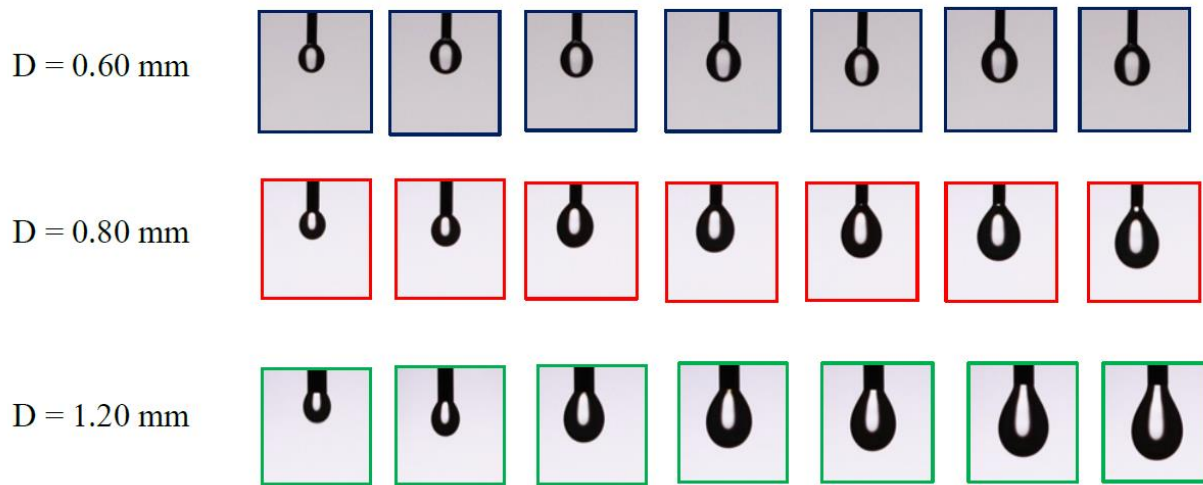
เมื่อ γ แทน ความตึงผิวของของเหลว, $\Delta \rho$ แทน ผลต่างของความหนาแน่น (ในงานวิจัยนี้เป็นผลต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำและอากาศ ที่มีค่าเป็น 999 kg/m^3) g แทน ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (มีค่าเป็น 9.81 m/s^2) และ $\frac{1}{H}$ เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนระหว่าง $\frac{D_S}{D_E}$ โดย D_E แทน เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่กว้างที่สุดของหยดน้ำ และ D_S แทน ระยะความกว้างของหยดน้ำที่วัดจากปลายของหยดน้ำมาด้วยระยะ D_E มีรูปแบบของฟังก์ชันเป็น

$$\frac{1}{H} = a \left(\frac{D_S}{D_E} \right)^b \quad (2)$$

โดย $\frac{1}{H}$ เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย สำหรับตัวแปร a และ b เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ ในตอนเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าตัวแปร a และ b เป็น 0.345 และ -2.54 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงจากงานวิจัยของ Nicolas-Alexandre Goy และคณะ (Nicolas A.G. *et.al.*, 2017) นำมาแทนค่าในสมการ (2) ร่วมกับข้อมูลที่เป็นอัตราส่วนของ $\frac{D_S}{D_E}$ เพื่อหาค่า $\frac{1}{H}$ และนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log\left(\frac{1}{H}\right)$ และ $\log\left(\frac{D_S}{D_E}\right)$ ได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งจะนำไปหาค่า ตัวแปร a และ b เพื่อนำไปใช้ต่อไป ซึ่งผลจากการเขียนภาพจะได้ค่าตัวแปร a และ b เป็น 0.33 และ -2.50 ตามลำดับ

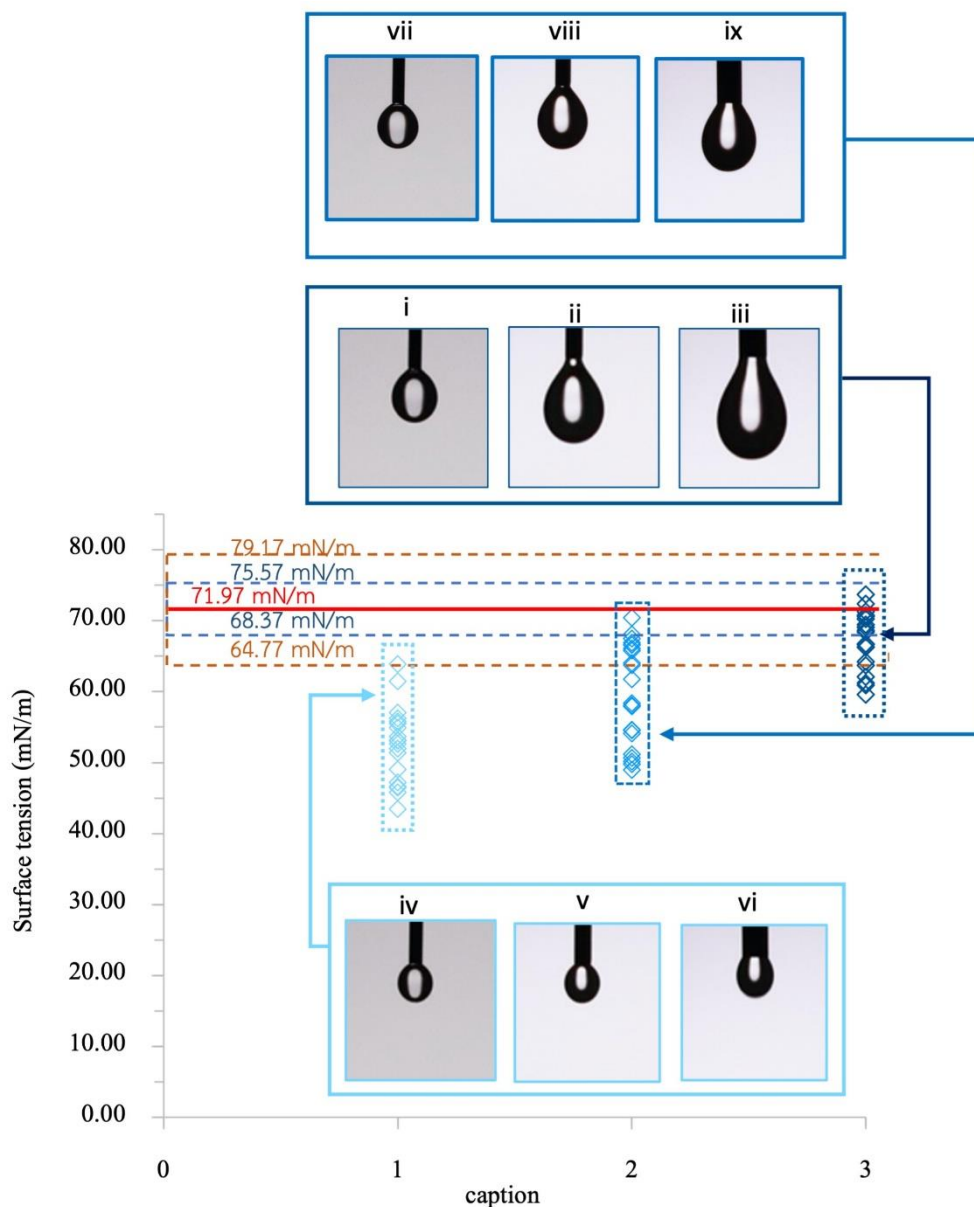
ผลการวิจัย

ตัวอย่างภาพถ่ายหยดน้ำ เมื่อใช้เข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยเป็นภาพที่ได้เมื่อค่อยๆออกแรงกดกระบอกฉีดยาลง จากภาพจะเห็นได้ว่า รูปร่างของหยดน้ำขณะยังติดอยู่ที่ปลายหัวหยด จะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป ในช่วงแรก รูปร่างหยดน้ำจะมีลักษณะกลม สังเกตเห็นได้ชัด เมื่อปลายเข็มฉีดยามีขนาดเล็ก และรูปร่างของหยดน้ำจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป เมื่อออกแรงกดปลายกระบอกฉีดยา



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายต่อเนื่องของหยดน้ำ เมื่อใช้เข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ

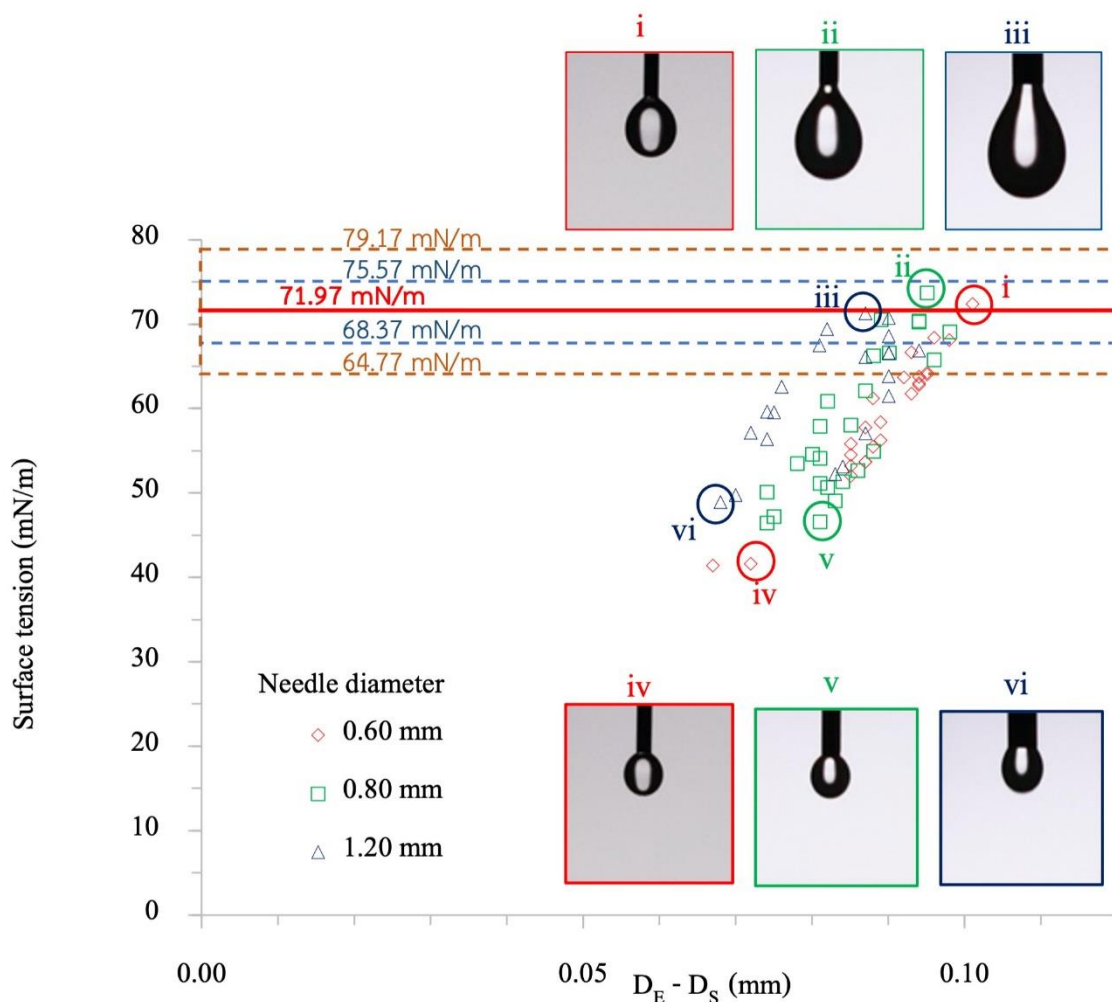
เพื่อให้เห็นความแตกต่างของรูปร่างหยดน้ำ รวมถึงค่าความตึงผิว จึงได้เลือกภาพหยดน้ำที่ได้จากแต่ละเงื่อนไข โดยเลือกภาพในลำดับที่ 1 4 และ 7 ซึ่งในที่นี้จะใช้เป็น caption ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ นำได้วัดหาค่า D_E และ D_S ด้วยโปรแกรม อิมเมจเจ และคำนวณค่าความตึงผิวจากสมการที่ (1) และนำค่าความตึงผิวที่คำนวณจากภาพถ่ายทั้งหมด เขียนกราฟ โดยแบ่งตามลำดับของ caption ของภาพ ได้เป็นดังภาพที่ 6 และเส้นสีแดงแทน เส้นบอกระดับค่าความตึงผิวอ้างอิงที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 71.97 mN/m (Goncalves, F.A., *et.al.* 1991) สำหรับเส้นประสีฟ้า และสีน้ำตาล แทน ขอบเขตของค่าความตึงผิวที่ $\pm 5\%$ และ $\pm 10\%$ ของค่าอ้างอิง ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ค่าความตึงผิวของน้ำกลั่นที่คำนวณจากภาพถ่ายหยดน้ำจากเข็มฉีดยาขนาดต่างกันและตำแหน่งภาพที่บันทึก

จากภาพที่ 6 ความตึงผิวที่ได้จากภาพถ่ายจาก caption ที่ 1 หรือภาพถ่ายในช่วงเวลาแรกที่ออกแรงกดกระบอกฉีดยา และรูปร่างของหยดน้ำมีลักษณะกลม สังเกตจากภาพที่ 6 ภาพหยดน้ำ iv v และ vi เป็นภาพถ่ายหยดน้ำที่ได้จากเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ โดยค่าความตึงผิวที่คำนวณได้ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 41.58 – 64.80 mN/m ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าอ้างอิงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ค่าความตึงผิวที่คำนวณจากภาพถ่ายจาก caption ที่ 3 ที่ได้จากภาพถ่ายหยดน้ำในช่วงปลายก่อนที่หยดน้ำกำลังจะหลุดออกจากปลายของเข็มฉีดยา จะให้ค่าความตึงผิวที่ใกล้เคียงกับ

ค่าอ้างอิง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 59.20 – 73.71 mN/m ค่าความตึงผิวส่วนใหญ่ที่คำนวณได้จะมีค่าครอบคลุมค่าอ้างอิง และค่าความตึงผิวที่คำนวณได้มีการกระจายตัวที่แคบกว่า เมื่อเทียบกับภาพถ่ายหยดน้ำในช่วงแรก สังเกตจากภาพหยดน้ำ i ii และ iii ที่ได้จากเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตึงผิวของน้ำ (γ) และผลต่างของ D_E กับ D_S เมื่อใช้เข็มฉีดยาที่มีขนาด 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ

จากภาพที่ 7 เมื่อพิจารณาภาพหยดน้ำจาก caption ที่ 3 ของ i ii และ iii เป็นตัวอย่างภาพหยดน้ำที่ได้จากเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60, 0.80 และ 1.2 mm ตามลำดับ จะให้ค่าความตึงผิวที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง และมีผลต่างของ D_E และ D_S อยู่ในช่วง 0.080 – 0.10 mm โดยตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของหยดน้ำที่สนใจจากภาพที่ 7 ของตัวอย่าง (i - vi)

ซึ่งรหัสภาพ i – iii แทนกลุ่มของภาพถ่ายหยดน้ำที่ให้ค่าความตึงผิวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง ในขณะที่ รหัสภาพ iv-vi จะแทนกลุ่มของภาพถ่ายหยดน้ำในช่วงแรก (caption 1) มีค่าความตึงผิวในช่วง 41.58 – 49.75 mN/m

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าความตึงผิวของน้ำ เมื่อใช้เข็มฉีดยาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ

รหัส ภาพ	เส้นผ่าน ศูนย์กลางของ เข็มฉีดยา (mm)	D_s (cm)	D_E (cm)	$D_E - D_s$ (cm)	D_s/D_E	$1/H$	$(D_E)^2$ (cm) ²	γ (mN/m)
i	0.60	0.130	0.231	0.101	0.563	1.384	0.053	72.37
ii	0.80	0.198	0.293	0.095	0.676	0.876	0.086	73.71
iii	1.2	0.226	0.313	0.087	0.722	0.742	0.098	71.28
iv	0.60	0.145	0.217	0.072	0.668	0.901	0.047	41.58
v	0.80	0.107	0.188	0.081	0.569	1.346	0.035	46.61
vi	1.2	0.200	0.270	0.070	0.741	0.696	0.073	49.76

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากภาพถ่ายหยดน้ำที่ได้จากปลายหัวหยดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ในภาพที่ 5 เมื่อนำมาวัดหาค่า D_E และ D_s จะพบว่า ในช่วงเริ่มต้นที่ออกแรงกดปลายกระบอกฉีดยา หยดน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายหัวหยด จะมีลักษณะกลม ซึ่งจะให้ค่า D_s เข้าสู่ศูนย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ในภาพที่ 7 จะพบว่าในช่วงแรกนี้แรงตึงผิวของของเหลวยังเกิดไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ผลที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงมาก แต่เมื่อเพิ่มแรงกดบนกระบอกฉีดยา รูปทรงของหยดน้ำจะค่อยๆเปลี่ยนแปลง โดยหยดน้ำจะเคลื่อนตัวลงมาตามแรงโน้มถ่วง หยดน้ำเริ่มไม่เป็นทรงกลม แต่ยังไม่หลุดออกจากปลายของเข็มฉีดยา อันแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหยดน้ำยังคงสภาพอยู่ได้ด้วยแรงตึงผิว เมื่อสังเกตค่า D_s ที่ได้จากภาพถ่ายนั้น พบว่ามีค่าเข้าใกล้ D_E แต่ D_E มากกว่า D_s เสมอ จากการเปรียบเทียบผลต่างของค่า $D_E - D_s$ กับค่าความตึงผิวในภาพที่ 7 ผลต่างของ $D_E - D_s$ ที่จะให้ค่าความตึงผิวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.080 – 0.10 mm ซึ่งเป็นภาพหยดน้ำที่ได้จากหัวหยด ทั้ง 3 ขนาด จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มฉีดยาหรือหัวหยด ไม่มีผลต่อการคำนวณค่าความตึงผิว ด้วยวิธีหยดน้ำ โดยใช้ระบบภาพดิจิทัล ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความตึงผิวที่หาได้จากวิธีนี้ คือ รูปร่างของหยดน้ำ โดยรูปทรงของหยดน้ำที่จะให้ค่าความตึงผิวที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุดควรเป็น ภาพถ่ายของหยดน้ำในขณะที่หยดน้ำกำลังจะหลุดออกจากปลายเข็มฉีดยา โดยที่ผลของปริมาณน้ำหรือของเหลวที่ใช้หยดจะไม่ส่งผลต่อค่าความตึงผิวของน้ำ ในขณะที่ความละเอียดของภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ การจัดวางไฟส่องสว่าง จะทำให้ภาพถ่ายหยดน้ำที่ได้มีความคมชัดโดยเฉพาะที่บริเวณขอบของหยดน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการนำไปวัดหาค่า D_E และ D_s ต่อไป



สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองให้เห็นว่า ชุดการทดลองหาค่าความตึงผิวของของเหลว ด้วยวิธีหยดน้ำ โดยใช้ระบบภาพดิจิทัลที่สร้างขึ้น สามารถหาค่าความตึงผิวของน้ำกลั่นได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง โดยตัวแปรที่ศึกษาเป็นขนาดของหัวหยดหรือเข็มฉีดยาที่ตัดปลายตรง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเป็น 0.60, 0.80 และ 1.2 mm เมื่อทดลองหยดน้ำและใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือถ่ายภาพหยดน้ำในเงื่อนไขต่าง ๆ และนำภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์รูปร่าง หาค่า D_E และ D_S คำนวณเพื่อหาค่าความตึงผิว สำหรับหยดน้ำที่มีค่าผลต่างของค่า $D_E - D_S$ อยู่ระหว่าง 0.080 – 0.10 mm จะให้ค่าความตึงผิวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง นอกจากนี้ภาพหยดน้ำที่ให้ค่าความตึงผิวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด ควรเป็นภาพถ่ายหยดน้ำขณะที่หยดน้ำกำลังจะหลุดออกจากปลายเข็มหยด ซึ่งเป็นสถานะสมดุลระหว่างแรงตึงผิวและแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับตัวหยดน้ำ โดยที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มฉีดยา และปริมาณของน้ำที่ใช้ ไม่ส่งผลต่อค่าความตึงผิวที่คำนวณได้จากวิธีนี้ จึงทำให้การชุดการทดลองหาค่าความตึงผิวของของเหลว ด้วยวิธีหยดน้ำ โดยใช้ระบบภาพดิจิทัล เป็นชุดอุปกรณ์ที่เตรียมอุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก ใช้ของเหลวในปริมาณน้อย สามารถนำไปใช้ในห้องเรียน และให้นักเรียนหรือนักศึกษาสามารถมีส่วนร่วมในการวัดค่า และบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ด้วยตนเองได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Anahita, F. A., Abolghasem, J., and Sui Y.C. (2009). Impact of surface tension in pharmaceutical sciences. *Journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 12(2), 218-228.

Andreas, J. M., Hauser, E. A., and Tucker, W.B. (1937). Boundary tension by pendant drops. *The Journal of Physical Chemistry*, 42(8), 1001-1019.

Concetto, G. (2006). Measurement of surface tension by the dripping from a needle. *Physics Education*, 41(5), 440-444.

Chen, H., Muros-Cobos, J.L., Holgado-Terriza, J.A., and Amirfazli, A. (2017). Surface tension measurement with a smartphone using a pendant drop. *Colloids and Surface A Physicochemical and Engineering Aspects*, 533, 213-217.



- Goncalves, F.A., Kestin, J., and Sengers, J.V. (1991). Surface-Tension Effects in Suspended-Level Capillary Viscometers, *International Journal of Thermophysics*, 12, 1013-1028.
- Joseph, D.B., Michael J. N., Raymond R.D., Derek, Y.C.C., and Rico, F. T. (2015). Measurement of surface and interfacial tension using pendant drop tensiometry. *Journal of Colloid and Interface Science*, 454, 226-237.
- Michael, O., and Kornelia, A. (1998). Correlation between surface tension and physical paint properties. *Progress in organic coatings*, 33(3-4), 197-201.
- Nicolas-Alexandre, G., Zakari, D., Maxime, L., Adrian, G., Nicolas, D., Antoine, D., and Ulysse, D. (2017). Surface tension measurements with a smartphone. *Physics Teacher*, 55, 498 - 499.
- Rudolph, M. (1935). Surface Tension by the ring method: applicability of the Du Nouy apparatus. *Journal of Chemical Education*, 12, 573-576.
- Stauffer C.E., (1965). The measurement of surface tension by the pendant drop technique. *The Journal of Physical Chemistry*, 69(6), 1933-1938.
- Tomas, K., Frederic, D., and Andree, V. (2007). Importance of surface tension characterization for food pharmaceutical and packaging products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 391- 407.