

การตรวจวัดแรงตึงผิวเชิงปริมาณของหยดน้ำบนพื้นผิวโพลียูรีเทนไฮโดรโฟบิก ร่วมกับการวิเคราะห์
ไฟฟ้าเคมีเพื่อการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำ

Quantitative Surface Tension Measurement of Water Droplets on Hydrophobic
Polyurethane Surfaces Coupled with Electrochemical Analysis for Water
Contaminant Detection

กมลพร ประมูลสินทรัพย์ สุนิสา บุรัมย์

ชญาดา ตะวันหะ¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย บุรีรัมย์ ตำบลสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

*E-mail: 467KamonpomPramoolsinsup@pcshsbr.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องการตรวจวัดแรงตึงผิวเชิงปริมาณของหยดน้ำบนพื้นผิวโพลียูรีเทนไฮโดรโฟบิก ร่วมกับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีเพื่อการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินคุณภาพน้ำโดยอาศัยการวิเคราะห์แรงตึงผิวของหยดน้ำบนพื้นผิวโพลียูรีเทนไฮโดรโฟบิก ร่วมกับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำเนื่องจากสารปนเปื้อนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางไฟฟ้าเคมีแตกต่างกัน การผสมผสานข้อมูลจากทั้งสองเทคนิคจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ การศึกษาดำเนินการโดยเตรียมพื้นผิวโพลียูรีเทนไฮโดรโฟบิกสำหรับรองรับหยดน้ำตัวอย่าง วัดมุมสัมผัส เพื่อนำไปวิเคราะห์แรงตึงผิวและตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเครื่อง Differential Pulse Voltammetry จากผลการทดลองพบว่าพื้นผิวแก้วให้การแผ่กระจายของหยดน้ำสม่ำเสมอเหมาะสำหรับใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิง ขณะที่พื้นผิวโพลียูรีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสารละลายมากกว่าโดยเฉพาะสารละลาย Pb(II) และ Zn(II) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสและแรงตึงผิวอย่างชัดเจน การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีสามารถตรวจวัด Zn(II), Pb(II) และ Cu(II) ได้ โดยค่ากระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นในช่วง 1–9 ppm และเมื่อนำผลจากทั้งสองเทคนิคมาวิเคราะห์ร่วมกัน พบว่าสามารถเพิ่มความไว ความจำเพาะ และความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดได้ดีกว่าการใช้เพียงวิธีเดียว ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการการวิเคราะห์แรงตึงผิวบนพื้นผิวโพลียูรีเทนร่วมกับเทคนิคไฟฟ้า มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นระบบตรวจวัดสารปนเปื้อนในน้ำแบบพกพา ต้นทุนต่ำ ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย ตรวจวัดได้รวดเร็วและแม่นยำเหมาะสำหรับการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำและงานด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ, แรงตึงผิว, พื้นผิวโพลียูรีเทนไฮโดรโฟบิก, Differential Pulse Voltammetry, สารปนเปื้อนในน้ำ

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และ ระบบนิเวศ โดยรวมการรักษาสภาพน้ำให้บริสุทธิ์และปลอดภัยจึงเป็นเรื่องจำเป็น เพราะน้ำที่ปนเปื้อน สารเคมีหรือสิ่งมีชีวิต

ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญมากในยุคปัจจุบันหนึ่งในวิธีที่สำคัญที่สะท้อนสภาพคุณภาพน้ำได้คือการวัดแรงตึงผิวของน้ำ เนื่องจากแรงตึงผิวจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีสารปนเปื้อน เช่น สารลดแรงตึงผิวหรือสารอินทรีย์ การวัด

แรงตึงผิวจึงสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบและประเมินคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีการวัดแรงตึงผิวแบบดั้งเดิมมักมีข้อจำกัดในเรื่องของความซับซ้อนและความแม่นยำ จึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการใหม่ที่สามารถตรวจวัดได้ง่ายขึ้นและรวดเร็ว เทคโนโลยีชีวภาพและไฟฟ้าเคมีเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดและวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำ การนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาผสมผสานกับการวัดแรงตึงผิวโดยใช้หยดน้ำจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เพื่อสร้างระบบที่สามารถวัดผลได้แบบเรียลไทม์ มีความไวและความแม่นยำสูง รวมถึงสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้จริง ดังนั้นการพัฒนาวิธีการตรวจวัดแรงตึงผิวเชิงปริมาณด้วยหยดน้ำควบคู่กับโมเดลเลียนแบบชีวภาพและเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและตอบโจทย์ด้านการตรวจสอบคุณภาพน้ำในยุคสมัยใหม่ทั้งยังช่วยส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต เพื่อปกป้องและอนุรักษ์แหล่งน้ำให้ยั่งยืนและปลอดภัยสำหรับทุกคน

วิธีการดำเนินงาน

1. การเตรียมสารละลายโลหะหนัก

- 1) เตรียมสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ 10 เมกะเมตร และ 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่ง 0.331 กรัม ของ $Pb(NO_3)_2$
- 3) ละลายในน้ำ DI (Deionized Water) เล็กน้อยในบีกเกอร์ จากนั้นย้ายลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 4) เติมน้ำ DI จนถึงขีดบอกปริมาตร และเขย่าให้เข้ากัน
- 5) ตีตกผลึกให้ชัดเจนและเก็บในที่มืด
- 6) เตรียมสารละลาย $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 10 เมกะเมตร และ 100 มิลลิลิตร
- 7) ชั่ง 0.250 กรัม ของ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
- 8) ละลายในน้ำ DI (Deionized Water) เล็กน้อยในบีกเกอร์ จากนั้นย้ายลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 9) เติมน้ำ DI จนถึงขีดบอกปริมาตร และเขย่าให้เข้ากัน
- 10) ตีตกผลึกให้ชัดเจนและเก็บในที่มืด
- 11) เตรียมสารละลาย $ZnSO_4$ 1 เมกะเมตร
- 12) คำนวณมวลสารที่ต้องการจากสูตร

$$\text{mass} = \text{mol} \times \text{MW}$$

- 13) ละลายในน้ำ DI (Deionized Water) เล็กน้อยบีกเกอร์ จากนั้นย้ายลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 14) เติมน้ำ DI จนถึงขีดบอกปริมาตร และเขย่าให้เข้ากัน
- 15) ตีตกผลึกให้ชัดเจนและเก็บในที่มืด

2. การเตรียมสารละลายอินทรีย์

- 1) เตรียมสารละลาย Methylene Blue 1 เมกะเมตร และ 1 ลิตร
- 2) ชั่ง 0.320 กรัม ละลายในน้ำ DI และเติมจนครบ 1 ลิตร
- 3) เขย่าให้เข้ากัน
- 4) ตีตกผลึกให้ชัดเจนและเก็บในที่มืด

3. การวัดแรงตึงผิวด้วยหยดและการวัดพื้นผิวชีวเลียนแบบแผ่นแก้วและแผ่น Polyurethane (PU)

- 1) การตั้งค่าและเตรียมอุปกรณ์
- 2) ติดตั้งกล้องให้มองเห็นหยดน้ำจากด้านข้าง โดยให้แนวเลนส์ขนานกับแกนของหยดปรับโฟกัสให้ขอบของหยดคมชัด
- 3) สร้างหยดน้ำบนพื้นผิวแก้วกับ Polyurethane (Pu)
- 4) รวบรวมหยดน้ำจากนั้นถ่ายภาพด้านข้างของหยดน้ำอย่างน้อย 3 ภาพต่อตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์แบบ dynamic
- 5) วิเคราะห์ผลด้วย tracker
- 6) วิเคราะห์แบบ Dynamic และหา contact angle และรัศมีของหยดน้ำเพื่อหาแกมมาของสาร

4. การวัดทางเคมีไฟฟ้า

- 1) เตรียมขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working Electrode Preparation) เตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอน (Glassy Carbon Electrode; GCE) โดยการขัดผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยผงอะลูมินา (Alumina) จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนก่อนนำไปใช้งาน
- 2) จัดเตรียมเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Cell Setup) การตรวจวัดดำเนินการในเซลล์ไฟฟ้าเคมีระบบ 3 ขั้วไฟฟ้า (Three-electrode system) ประกอบด้วย Working Electrode, Reference Electrode และ Counter Electrode จากบัพเฟอร์อะซิเตต ปริมาตร 100 ml ลงในเซลล์โดยมีบิสมาท (B(II)) ความเข้มข้น 50 mg/L

และสารละลายมาตรฐานของโลหะเป้าหมาย (Zn(II), Pb(II), Cu(II)) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

3) สภาวะการวิเคราะห์โดยใช้โหมด Differential Pulse Voltammetry (DPV) กำหนดสภาวะการ ทดลองดังนี้:

3.1) Deposition time: ใช้เวลา 120 วินาที

3.2) กำหนดศักย์ไฟฟ้า: -1.4 V สำหรับการวิเคราะห์

Zn(II) และ -1.2 V สำหรับการวิเคราะห์ Pb(II) และ Cu(II)

3.3) Equilibration Step: กำหนดระยะเวลาพัก 5 นาที

3.4) ศักย์ไฟฟ้า (Potential Scan): กำหนดศักย์ไฟฟ้า

สิ้นสุด (End potential) ที่ 0.25 V 3.5) ช่วงกระแส

(Current Range): กำหนดไว้ที่ 100 μA

ผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดลองวัดแรงตึงผิวและมุมสัมผัส ของหยดน้ำบนแผ่น PU และแผ่นแก้วโดยใช้เทคนิค

การ ถ่ายภาพและโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ และจากการทดลองใช้เทคนิคไฟฟ้าเคมี Differential Pulse

Voltammetry (DPV) ในการตรวจจับสารปนเปื้อนในน้ำ

1. ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผลการวัดแรงตึงผิวด้วยหยดน้ำบนแผ่น PU และแผ่นแก้ว

สาร	อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัส (rad/s)	อัตราการเพิ่มของพื้นที่ (cm ² /s)	แกมมา (N/m)
น้ำ	41.77	0.027	4.85×10^{-3}
Pb(NO ₃) ₂	51.25	0.032	6.27×10^{-3}
CuSO ₄ ·5H ₂ O	43.50	0.029	5.18×10^{-3}
ZnSO ₄	89.08	0.034	5.62×10^{-3}
Methylene Blue	45.49	0.022	3.83×10^{-3}

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการทดสอบเพื่อหาแรงตึงผิว

โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัส ค่าอัตราการเพิ่มของพื้นที่ ค่าแกมมา ของหยดน้ำบนแผ่นแก้ว

การทดสอบการวัดแรงตึงผิวของน้ำบนแผ่นแก้ว

จากการศึกษาเปรียบเทียบในตารางที่ 1 พบว่า

ความสามารถในการแผ่กระจายตัวของสารละลายบนแผ่น

แก้วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย ZnSO₄ มี

อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสสูงสุด (89.08 rad/s)

ในขณะที่สารละลาย Pb(NO₃)₂ แสดงค่าแรงตึงผิวเชิงสถิต

(Static Surface Tension) สูงสุด ที่ 6.27×10^{-3} N/m

และสามารถคำนวณค่าแกมมาโดยใช้สมการ Young-

Laplace ที่มีการปรับเพื่อให้สามารถคำนวณได้ผ่านการ

วิเคราะห์รูปทรงของผิวโค้ง หรือโดยการแก้สมการเชิง

ตัวเลข ดังนี้

$$\gamma = \frac{\Delta p g D^2}{H}$$

โดยที่

γ คือ ความตึงผิวของเหลว มีหน่วยเป็น N/m

Δp คือ ผลต่างของความหนาแน่นระหว่างของเหลว และอากาศ มีหน่วยเป็น kg/m³

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็น 9.81 m/s²

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างที่สุดของหยดของเหลว มีหน่วยเป็น m

H คือ ฟังก์ชันของอัตราส่วน DS/DE

สาร	อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัส (rad/s)	อัตราการเพิ่มของพื้นที่ (cm ² /s)	แกมมา (N/m)
น้ำ	143.95	0.054	9.55×10^{-3}
Pb(NO ₃) ₂	146.77	0.073	1.67×10^{-2}
CuSO ₄ ·5H ₂ O	153.88	0.034	1.66×10^{-2}
ZnSO ₄	158.05	0.060	1.05×10^{-2}
Methylene Blue	31.14	0.012	2.12×10^{-3}

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดสอบเพื่อหาแรงตึงผิว

โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัส ค่าอัตราการเพิ่มของพื้นที่ ค่าแกมมาของหยดน้ำบน PU

การทดสอบการวัดแรงตึงผิวของน้ำบน PU

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า พื้นผิว Polyurethane

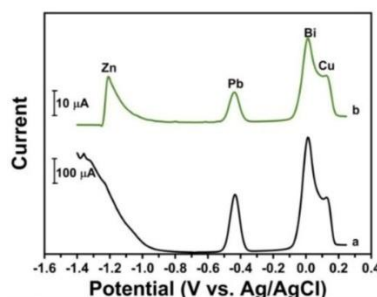
(PU) ส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจลนศาสตร์ ของ

หยดสารละลายอนินทรีย์ได้รวดเร็วมาก โดยมี Pb(NO₃)₂

เป็นสารที่แสดงค่าแรงตึงผิวสูงสุดและ ZnSO₄ เป็นสารที่มี

ความไวต่อการเปลี่ยนรูปทรง สูงสุดบนพื้นผิวชนิดนี้

2. การวัดเคมีทางไฟฟ้า



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง current และ

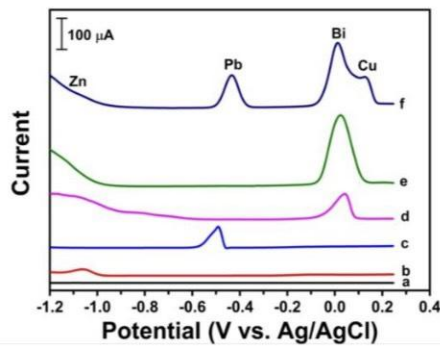
Potential Stripping voltammograms ของ Zn(II),

Pb(II) และ Cu(II) (5 mg/L) ที่ขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน

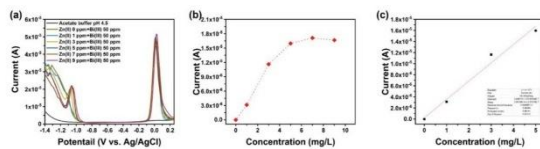
เคลือบบิสมาท (B(BI) 50 mg/L) ในสารละลายบัฟเฟอร์

อะซิเตด 0.1 M (pH 4.5) โดยใช้เป็น supporting

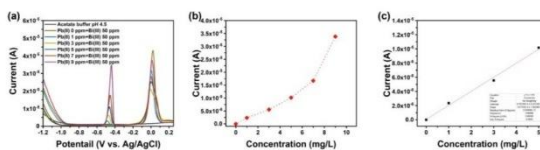
electrolyte ที่ช่วงกระแส 100 μA (a) และ 10 μA (b)



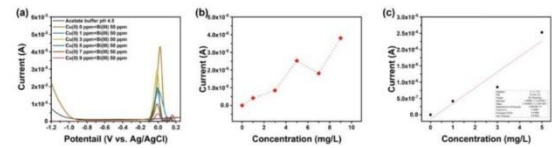
รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง current และ Potential Stripping voltammograms ที่ขั้วไฟฟ้า กลาสซีคาร์บอน ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตด 0.1 M (pH 4.5) ที่ช่วงกระแส 100 μA โดย (a) บัฟเฟอร์อะซิเตดเพียงอย่างเดียว (b) Zn(II) 5 mg/L (c) Pb(II) 5 mg/L (d) Cu(II) 5 mg/L (e) Bi(III) 50 mg/L และ (f) Zn(II), Pb(II) และ Cu(II) (5 mg/L) ร่วมกับ Bi(III) 50 mg/L



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง current/Potential และ current/Concentration (a) Stripping voltammograms ของ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตด 0.1 M (pH 4.5) ที่ขั้วไฟฟ้า กลาสซีคาร์บอนเคลือบบิสมัท (Bi(III) 50 mg/L) (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของ Zn(II) และ (c) กราฟมาตรฐานสำหรับการตรวจวัด Zn(II)



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง current/Potential และ current/Concentration (a) Stripping voltammograms ของ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตด 0.1 M (pH 4.5) ที่ขั้วไฟฟ้า กลาสซีคาร์บอนเคลือบบิสมัท (Bi(III) 50 mg/L) (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของ Zn(II) และ (c) กราฟมาตรฐานสำหรับการตรวจวัด Zn(II)



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง current/Potential และ current/Concentration (a) Stripping voltammograms ของ Cu(II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตด 0.1 M (pH 4.5) ที่ขั้วไฟฟ้า กลาสซีคาร์บอนเคลือบบิสมัท (Bi(III) 50 mg/L) (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของ Cu(II) และ (c) กราฟมาตรฐานสำหรับการตรวจวัด Cu(II) การทดสอบการวัดทางเคมีไฟฟ้า

การจำแนกชนิดของโลหะจากกราฟโวลแทมโมแกรม (Stripping Voltammograms) พบว่าขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอนที่เคลือบด้วยบิสมัท สามารถแยกแยะพีคของโลหะหนักสามชนิดออกจากกันได้อย่างชัดเจน ตามค่าศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัว:

สังกะสี (Zn): ปรากฏพีคที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -1.2 V ตะกั่ว (Pb): ปรากฏพีคที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -0.5 V ทองแดง (Cu): ปรากฏพีคที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ +0.1 V บิสมัท (Bi): พีคของสารที่ใช้เคลือบปรากฏเด่นชัดที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.0 V ผลของความเข้มข้นต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Effect of Concentration) จากการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของโลหะแต่ละชนิด (Zn, Pb, Cu) ตั้งแต่ 1 ppm ถึง 9 ppm พบว่าความสูงของพีคกระแสไฟฟ้า (Peak Current) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย คือ เมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มขึ้นสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current) จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับในทิศทางเดียวกัน

สรุปผล

โครงการเรื่องการตรวจวัดแรงดึงผิวเชิงปริมาณด้วยหยดน้ำร่วมกับโมดูลเลียนแบบชีวภาพและไฟฟ้าเคมีเพื่อการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยได้ออกแบบและสร้างระบบทดลองสองโมดูลได้แก่ โมดูลแรงดึงผิวของหยดน้ำและโมดูลวัดสัญญาณเคมีไฟฟ้า แล้วนำผลที่ได้จากทั้งสองระบบมาวิเคราะห์ร่วมกันอย่างเป็นระบบเพื่อประเมินศักยภาพของแผ่น PU

และแผ่นแก้วในการใช้เป็นพื้นผิวตรวจจับสารปนเปื้อนในน้ำในอนาคต

1.การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผ่น

Polyurethane (PU) และแผ่นแก้ว

จากการศึกษาพบว่าแผ่น PU มีประสิทธิภาพในการเป็นพื้นผิวตรวจวัด (Sensing Surface) สูงกว่าแผ่นแก้วอย่างมีนัยสำคัญ โดยแผ่น PU สามารถขยายสัญญาณการตอบสนองของหยดน้ำสารละลายได้ดีกว่า ทั้งในด้านอัตรา การเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสที่สูงกว่าแผ่นแก้วประมาณ 3.4 เท่าในน้ำบริสุทธิ์ และค่าแรงตึงผิวที่คำนวณได้บนแผ่น PU มีค่าสูงกว่าบนแผ่นแก้วถึง 2.5 เท่าในสารละลายชนิดเดียวกัน

2.ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวและลักษณะของ สารปนเปื้อน

พฤติกรรมเชิงจลนศาสตร์ของหยดน้ำบนพื้นผิว PU มีความสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของไอออนโลหะหนัก โดยสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ แสดงค่าแรงตึงผิวสูงที่สุด (1.67×10^{-3} N/m) และมีอัตราการแผ่กระจายตัวของพื้นที่หยดน้ำรวดเร็วที่สุด ($0.073 \text{ cm}^2/\text{s}$) ขณะที่สารละลาย $ZnSO_4$ มีความไวต่อการเปลี่ยนรูปร่างของหยดน้ำสูงที่สุด (158.05 rad/s) ซึ่งลักษณะเฉพาะเหล่านี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) เบื้องต้นในการจำแนกชนิดของสารปนเปื้อนได้

3.การพัฒนาเทคนิคบูรณาการร่วมกับระบบไฟฟ้าเคมี

การบูรณาการโมดูลการวัดแรงตึงผิวบนแผ่น PU ร่วมกับเทคนิค Stripping Voltammetry ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดโดยระบบไฟฟ้าเคมีสามารถแยกแยะและวัดปริมาณโลหะหนัก $Zn(II)$, $Pb(II)$ และ $Cu(II)$ ได้อย่างแม่นยำในช่วงความเข้มข้น 1-9 ppm ซึ่งผลการทดลองทั้งสองระบบมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีของตะกั่ว (Pb) ที่ให้สัญญาณเด่นชัดที่สุดทั้งในเชิงกายภาพและเชิงเคมีไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิทยาศาสตร์เรื่องนี้ประกอบด้วยวิธีการดำเนินงานหลายขั้นตอน นับตั้งแต่การศึกษาหาข้อมูลการหาวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทำอุปกรณ์ในการทดลอง การวิเคราะห์ผล การสรุปและอภิปรายผลการทดลอง การจัดทำรูปเล่มโครงการ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดีตลอดระยะเวลาดังกล่าวคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือแนะนำในด้านต่าง ๆ ได้รับกำลังใจจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาจากทุก ๆ ท่านเป็นอย่างยิ่ง ณ โอกาสนี้ขอขอบคุณทุก ๆ ท่าน ดังนี้ขอขอบพระคุณ คุณครูชญาดา ตะวันหะ ครูที่ปรึกษาภาควิชาวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย บุรีรัมย์ ผู้ให้คำแนะนำปรึกษา แนะนำความรู้และเสียสละเวลาในการดูแลคณะผู้จัดทำให้สามารถทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจนโครงการประสบความสำเร็จลงได้

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มวิจัยพลวัตของสารละลายผสมของสารลดแรงตึงผิว (2551). แรงตึงผิวของพลวัตของสารละลายผสมของสารลดแรงตึงผิวประจุลบ [ปริญญา นิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัย บูรพา]. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- essential-guide-to-conformal-coating Woodward, R.P. (2000). Surface tension measurements using the drop shape method.<http://www.firsttenangstroms.com/pdfdocs/STPaper.pdf>.
- Rossignolo, G., Malucelli, G. & Lorenzetti, A. (2024). Recycling of polyurethanes: Where we are and where we are going. Green Chemistry, 26(1), 1-30. <https://doi.org/10.1039/D3GC02091>