

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ค่าพีเอช (pH) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ซึ่งบอกสภาพความเป็นกรด-เบส ของสารละลาย การตรวจวัดค่าพีเอช ส่วนมากพบในห้องปฏิบัติการทางเคมีและชีวเคมีทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าพีเอชเป็นค่าที่กำหนดคุณสมบัติทางเคมีของสาร โดยการปรับเปลี่ยนค่าพีเอช มีผลต่อความสามารถในการละลายของสารเคมีหรือโมเลกุลชีวภาพในสารละลาย สามารถควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีให้เพิ่มหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยา หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการ ได้ การวัดและการควบคุมค่าพีเอช ไม่เพียงใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังมีบทบาทในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานเฉพาะด้านในแต่ละสาขาหลากหลาย เช่น การวัดและการควบคุมค่าพีเอช ในงานตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม (Environment detection) เช่น ค่าพีเอช ของน้ำในทะเลสาบ แม่น้ำ และมหาสมุทร มีค่าแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ พืช ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่อาศัยอยู่ในน้ำ ค่าพีเอช ในดินมีผลต่อความสามารถในการดำรงชีวิตของพืช และส่งผลต่อผลผลิตในการทำเกษตรกรรมนอกจากนี้ น้ำเสียจากโรงงานและครัวเรือนเป็นอีกสาเหตุของการเปลี่ยนค่าพีเอช ของน้ำและนำไปสู่ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมในชุมชน การวัดและการควบคุมค่าพีเอช ในงานอุตสาหกรรม (Industrial process control) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมปฏิกิริยาเคมี ในอุตสาหกรรมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เช่นใน อุตสาหกรรมน้ำดื่ม อาหาร ยา วัคซีน และอุตสาหกรรมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบบางส่วน เช่นอุตสาหกรรม กระดาษ พลาสติก เซมิคอนดักเตอร์ แก้ว และสิ่งทอ เป็นต้น งานวิจัยด้านการชีววิทยาการแพทย์ (Biomedical) และการติดตามการวินิจฉัยทางการแพทย์ (Medical monitoring) เช่น การวัดและการควบคุมค่าพีเอช ของเลือด ซึ่งของเหลวในร่างกายสิ่งมีชีวิตปกติจะมีช่วงค่าพีเอช เฉพาะค่า ถ้าค่าพีเอช ของเลือดคนเราเปลี่ยนไปจากเดิมเพียงเล็กน้อย เพียง 0.03 ค่าพีเอช อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายให้ผิดปกติได้ [1] วิธีการตรวจวัดค่าพีเอชเพื่อทดสอบคุณสมบัติความเป็นกรด-เบส ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยถูกจัดจำแนกเป็นหมวดหมู่ 5 กลุ่มดังนี้ น้ำยาอินดิเคเตอร์ (Indicator reagents) แถบทดสอบค่าพีเอช (pH test strips) อิเล็กโทรดโลหะ (Metal electrode) อิเล็กโทรดกระเปาะแก้ว (Glass electrode) และ เซ็นเซอร์เชิงแสง (Optode) [1-2]

สีย้อมบ่งบอกค่าพีเอช (Indicator dyes) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสีเฉพาะ จึงสามารถดูดกลืนแสงสีในย่านตามองเห็น (Visible light) เมื่อหยดสีย้อมลงในสารละลายที่ต้องการทดสอบ ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายค่าหนึ่ง จะทำให้สีและการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไปจากเดิม [1] แถบทดสอบค่าพีเอช เป็นแถบกระดาษหรือวัสดุอื่นที่ถูกย้อมด้วยสีย้อมบ่งบอกค่าพีเอช ชนิดเดียว

เรียกว่า กระดาษลิตมัส (Litmus paper) หรือหลายชนิดรวมกัน เรียกว่า กระดาษยูนิเวอร์สแซลพีเอชอินดิเคเตอร์ (Universal pH indicator paper) วิธีใช้งานจุ่มแถบทดสอบลงในสารละลายที่ต้องการทดสอบ สีที่เปลี่ยนไปขึ้นกับค่าพีเอชของสารละลายถูกนำมาเทียบกับสีมาตรฐานที่ระบุค่า พีเอช วิธีนี้ใช้งานง่าย แต่ใช้ได้ครั้งเดียวมีข้อจำกัดในการวัดบางช่วงพีเอชเท่านั้น และความละเอียดในการจำแนก (Resolution) ค่า พีเอช น้อย ไม่มีความแม่นยำ (Accuracy) มักเกิดความคลาดเคลื่อน เมื่อทดสอบในสารละลายที่มีความเข้มข้นเกลือสูงๆ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อความคลาดเคลื่อน หรือการปนของสารอินทรีย์อื่นในของเหลวที่ทดสอบ [1]

อิเล็กโทรดโลหะ ชนิดอิเล็กโทรดไฮโดรเจน (Hydrogen electrode) เป็นวิธีที่มีมาตรฐานที่สุดในการวัดค่า พีเอช เทียบกับวิธีอื่นๆ ปริมาณไฮโดรเจนไอออนถูกตรวจวัดและหาค่าได้จากการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดไฮโดรเจนมาตรฐาน (Standard hydrogen electrode) และอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference electrode) อิเล็กโทรดไฮโดรเจนมาตรฐานประกอบด้วยอิเล็กโทรดแพลตตินัมในสารละลายที่มีไฮโดรเจนไอออน 1.0 โมล ($\text{pH} = 0$) เมื่อไฮโดรเจนไอออนดูดซับที่ผิวแพลตตินัมสมดุลจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนเป็นฟองต่อเนื่องรอบอิเล็กโทรดแพลตตินัม วิธีนี้ไม่ค่อยสะดวกเวลาใช้งาน

อิเล็กโทรดกระเปาะแก้วเป็นวิธีที่ใช้งานง่ายกว่า ส่วนประกอบเป็นกระเปาะ (Bulb) แก้ว เป็นเยื่อหุ้มบางๆ (Glass membrane) ที่สามารถคัดเลือกและยินยอมให้ไฮโดรเจนไอออนผ่านเข้าออกได้ ด้านในของกระเปาะใส่กรดไฮโดรคลอริก HCl (กรด) และสารละลายคลอไรด์ (เบส) ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เรียกว่าอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference electrode) เมื่อจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายที่ต้องการทดสอบ ผิวนอกของกระเปาะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออน เกิดการสร้างประจุด้านในของเมมเบรน โดยปริมาณประจุไฟฟ้าแปรผันตามกับปริมาณไฮโดรเจนไอออนในสารละลายภายนอก ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเมมเบรนแปรตามลอการิทึมของความเข้มข้นไอออนใน สารละลายภายนอกใช้หลักการเปลี่ยนค่า พีเอช เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า [1]

พีเอชมิเตอร์ทางไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดกระเปาะแก้วมีผู้นิยมใช้มากที่สุด สามารถวัดได้ช่วงกว้างตั้งแต่ $\text{pH} = 0$ ถึง $\text{pH} = 14$ มีความละเอียดในการจำแนกค่า พีเอช ได้มาก และมีความเที่ยงตรง (Precision) ความแม่นยำ (Accuracy) สูง สามารถทำซ้ำๆ ได้ (Reproducibility) มีอายุการใช้งานนาน (Long life time) สามารถสอบเทียบ (Calibration) ความถูกต้องของเครื่องมือได้จากสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน (Standard buffer solution) แต่มักพบปัญหาในการจำแนกค่าในช่วงปลายของ พีเอช ทั้งกรดและเบส [3] หรือที่อุณหภูมิเกินกว่า 100°C ค่า พีเอช มีความไม่แน่นอนตอบสนองช้า กระเปาะทำด้วยแก้วซึ่งเปราะและ แตกหักง่าย ไม่เหมาะ ใช้กับการทดสอบอาหาร (Food measurement) และการทดสอบภายในร่างกาย (In vivo measurement) ได้เมื่อเทียบกับวิธีทางแสง และไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) แบบอื่น โดยเฉพาะวิธีทางแสง ซึ่งมีข้อดีกว่าทางไฟฟ้า เนื่องจากไม่ใช้ไฟฟ้าจึงไม่มีการรบกวนจากคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ (Electromagnetic interference) ซึ่งเป็นปัญหาของเซ็นเซอร์ทางไฟฟ้าทั่วไป ไม่เป็นเหตุให้เกิดประกายไฟ (Spark) ที่นำไปสู่การระเบิด ของอุปกรณ์ สามารถใช้เป็นตัวตรวจวัดระยะไกล (Remote sensing) ได้ด้วย โดยพัฒนาเป็นโพรบเส้นใยนำแสงสำหรับการวัด พีเอช [1-2]

เซ็นเซอร์เชิงแสงสำหรับตัวตรวจวัดค่า พีเอช ส่วนใหญ่มักใช้วิธีการตรึงสีย้อมบ่งบอกค่า พีเอช ลงบนวัสดุตรวจวัดเนื่องจากคุณสมบัติการเปลี่ยนสีของสีย้อม และการดูดกลืนแสงสีของเซ็นเซอร์เชิงแสง จึงมีการเลือกเอาสีย้อมที่เหมาะสมมาทำการวิจัยด้านเซ็นเซอร์ ซึ่งแสงเป็นจำนวนมาก จำแนกตามวิธีการตรึงสีย้อมแบ่งเป็น 3 วิธี [2-4] คือ การตรึงสีย้อมโดยการดูดซับ (Physical adsorption) บนวัสดุของแข็ง ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) เป็นการติดตรึงทางกายภาพ (Physically immobilized) วิธีนี้สีย้อมถูกแทรกเข้าไปในผิววัสดุดูดซับและมีบางส่วนเคลือบเป็นชั้นบางๆที่ผิววัสดุ การตรึงสีย้อมด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent immobilization) บนวัสดุที่มีคุณสมบัติพื้นผิวชอบน้ำ (Hydrophilic) เช่น เซลลูโลส แก้ว เป็นต้นเป็นการติดตรึงทางเคมี (Chemically immobilized) และการตรึงสีย้อมแบบยึดจับทางกายภาพในวัสดุประเภทโพลิเมอร์เป็นการติดตรึงทางกายภาพเช่นกัน การตรึงสีย้อมด้วยพันธะโควาเลนต์มีข้อได้เปรียบต่างจากวิธีอื่น มักไม่ค่อยประสบปัญหาการหลุดลอก (Leaching) และการเกิดฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) สามารถใช้งานได้นานกว่า

พีเอชเซ็นเซอร์เชิงแสง (Optical pH sensor) ที่ใช้สีย้อมบ่งบอกค่า พีเอช ตรึงบนวัสดุ ทำหน้าที่เป็นวัสดุตรวจวัด ใช้งานโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงเชิงแสง เช่นการดูดกลืนแสง (Absorbance) การเรืองแสง (Luminescence) การส่องผ่านแสง (Transmittance) และความเข้มแสง (Intensity) ของโมเลกุลของอินดิเคเตอร์ เมื่อถูกกระตุ้นด้วย พีเอช ในช่วงที่ตอบสนอง โดยการแพร่ (Diffusion) เข้าไปในผิวของวัสดุตรวจวัด [2-4] อย่างไรก็ดี พบว่าหลักการวัดค่า พีเอช ดังกล่าว มักมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การตอบสนองไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear response) และช่วงค่าการวัดแคบ (Narrow dynamic range) สีย้อมส่วนใหญ่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ช่วง 2-4 พีเอช เท่านั้น มีการศึกษาและวิจัยเพื่อให้ช่วงค่าการวัดกว้างขึ้น โดยใช้สีย้อมเรืองแสง (Fluorescent indicator) และการเติมสีย้อมมากกว่าหนึ่งชนิดผสมกัน [2] เป็นต้น

เนื่องด้วยการตรึงสีย้อมด้วยพันธะโควาเลนต์ บนวัสดุที่มีคุณสมบัติพื้นผิวชอบน้ำเช่น เซลลูโลส แก้ว มีข้อได้เปรียบเรื่องการติดทนนาน และมีการรายงานถึงชนิดของ วัสดุที่นำมาใช้ติดตรึงสีย้อมเช่น เซลลูโลสเมมเบรน (Cellulose membrane) โพลิเมอร์ และแก้ว ซึ่งมีคุณสมบัติใส โปร่งแสง แสงสีสามารถทะลุผ่านได้การตรึงสีย้อมใช้เทคนิคโซล-เจล (Sol-gel) ในการเตรียมวัสดุตรวจวัด โดยระหว่างขั้นตอนการเปลี่ยนจากโซลเป็นเจลของสารตั้งต้น (เซลลูโลส โพลิเมอร์ แก้ว) ทำการเติมสีย้อมลงไป [4,6] หรือวิธีการย้อมสีอย่างง่ายลงบนแผ่นเซลลูโลสอะซิเตดเมมเบรนที่ได้จากฟิล์มถ่ายรูป

ที่ใช้แล้ว [2-3,5] ทั้งนี้วัสดุตรวจวัดมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำจึงสามารถวัดการเปลี่ยนสีกลับไปกลับมา (Reversibility) ได้ด้วย

งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการย้อมสีอย่างง่ายลงบนแผ่นเซลลูลอสอะซิเตดเมมเบรนที่ได้จากฟิล์มถ่ายรูปที่ใช้แล้วมาทำเป็นวัสดุตรวจวัด ร่วมกับการออกแบบระบบทางแสง เพื่อสร้างเป็นเครื่องต้นแบบ เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่า พีเอช เซิงแสง งานวิจัยแบ่งขอบเขตของงานออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุตรวจวัดที่ตอบสนองต่อการวัดเซิงแสงโดยการวิเคราะห์ค่าสี และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วย วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ ในช่วง พีเอช ค่าต่างๆ และในส่วนหลังทำการออกแบบระบบทางแสงโดยใช้ แอลอีดี (Light Emitting Diode) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ใช้ออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ (Optical power meter) หรือเครื่องวัดกำลังแสงทำหน้าที่เป็นตัวรับแสง จากสมมติฐานว่าการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช มีผลต่อการตอบสนองของค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นตรวจวัดที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง หากเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงค่าดังกล่าวส่งผ่านแผ่นตรวจวัดที่นำไปวัดค่า พีเอช แต่ละค่าที่ดูดกลืนแสงได้แตกต่างกันแล้ว ความเข้มแสงภายหลังทะลุผ่านแผ่น ตรวจวัดย่อมเปลี่ยนแปลงค่าเนื่องจากความสามารถในการดูดกลืนแสงแปรผกผันกับความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน จึงเลือกสีของหลอดแอลอีดี ที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนมาเป็นแหล่งกำเนิดแสง และตรวจวัดปริมาณความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดกำลังแสง ที่ในอนาคตคาดว่าหากเปลี่ยนมา เป็นตัวรับแสงธรรมดา คาดว่า จะได้แอลอีดี-พีเอชเซ็นเซอร์เซิงแสงราคาถูกสำหรับงานตรวจวัดค่า พีเอช

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุตรวจวัดค่าพีเอชด้วยเซลลูลอสอะซิเตดเมมเบรนที่ตรึงสีย้อมบ่งบอกค่าพีเอชในงานนี้เลือกใช้สีย้อมอะลิซาริน เฮลโล อาร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเซิงแสงในย่านตามองเห็นของวัสดุตรวจวัดค่าพีเอช ในสารละลายพีเอชค่าต่างๆ ด้วยวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและทดสอบความสามารถในการตอบสนองต่อการวัดค่าพีเอชของ พีเอชเซ็นเซอร์ ที่สร้างขึ้น
- 1.2.4 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์แอลอีดี-พีเอชเซ็นเซอร์เซิงแสงอย่างง่าย และศึกษาคุณสมบัติเซิงแสงของวัสดุตรวจวัดค่าพีเอชในสารละลายพีเอชค่าต่างๆ ด้วยออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุตรวจวัดค่าพีเอช ด้วยเซลล์ลูโลสอะซิเตดเมมเบรนที่รีงสีซ็อม อะลิซาริน เยลโล อาร์ โดยควบคุมความเข้มข้นสารละลายสีซ็อม และเวลาในการรีงสีซ็อม
- 1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Absorbance) เชิงแสงในย่านตามองเห็นของวัสดุตรวจวัดค่าพีเอชในสารละลายพีเอชค่าต่างๆด้วย วิสibelสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเลือกแสงของหลอดแอลอีดีที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงแทนวิสibelสเปกโตรมิเตอร์
- 1.3.3 ศึกษาและทดสอบความสามารถในการตอบสนองต่อการวัดค่าพีเอชของ พีเอชเซ็นเซอร์ เมมเบรนที่สร้างขึ้นได้แก่เวลาในการตอบสนอง (Response time) ความสามารถในการเปลี่ยนกลับปามา (Reversibility) ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ความคงที่ของวัสดุตรวจวัด (Long-term stability)
- 1.3.4 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์แอลอีดีพีเอชเซ็นเซอร์เชิงแสงอย่างง่ายและศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของวัสดุตรวจวัดค่าพีเอชในสารละลายพีเอชค่าต่างๆโดยเลือกหลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์ตรวจวัดกำลังแสง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้พีเอชเซ็นเซอร์เชิงแสงโดยใช้แผ่นเซลล์ลูโลสอะซิเตดเมมเบรนเพื่อใช้ตรวจวัดค่าพีเอช
- 1.4.2 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์เชิงแสงตรวจวัดปริมาณอื่นในอนาคต