

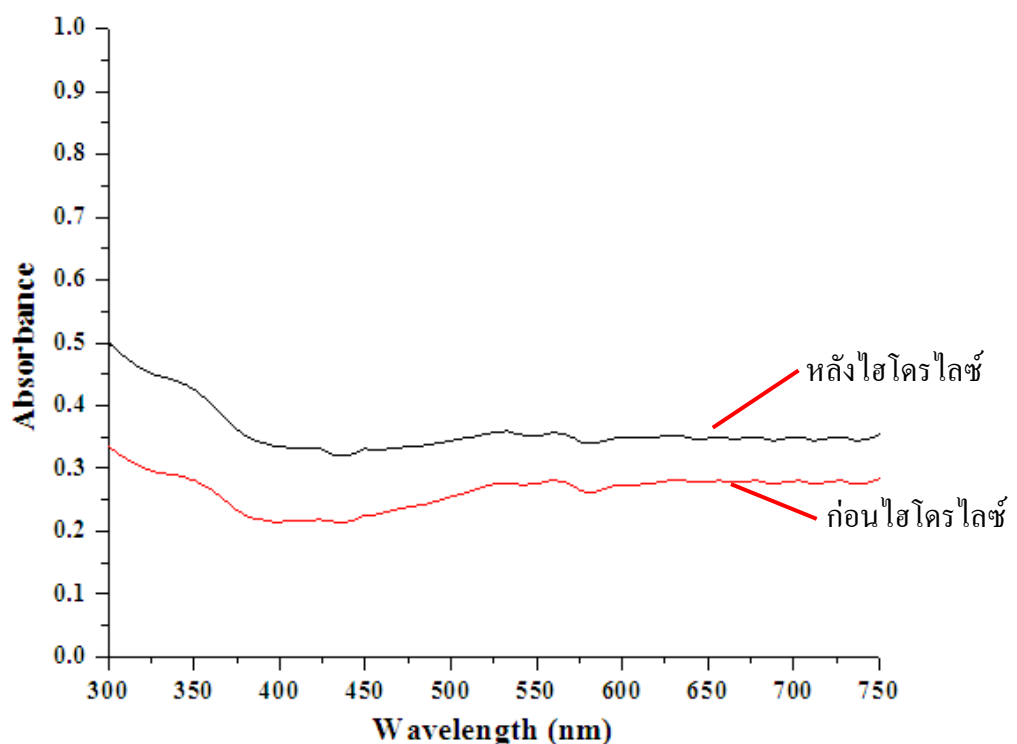
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้เป็นผลการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนตรึงสีย้อมอะลิซาริน เยลโลอาร์ในการนำมาสร้าง พีเอช เซ็นเซอร์เมมเบรนนำไป ทำการทดสอบกับสารละลาย พีเอช ในช่วงเบส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนสีของเซ็น เซอร์ด้วยการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง ด้วยวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ในย่านตามองเห็นเปรียบเทียบกับสีย้อมอะลิซาริน เยลโลอาร์ในรูปสารละลาย ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

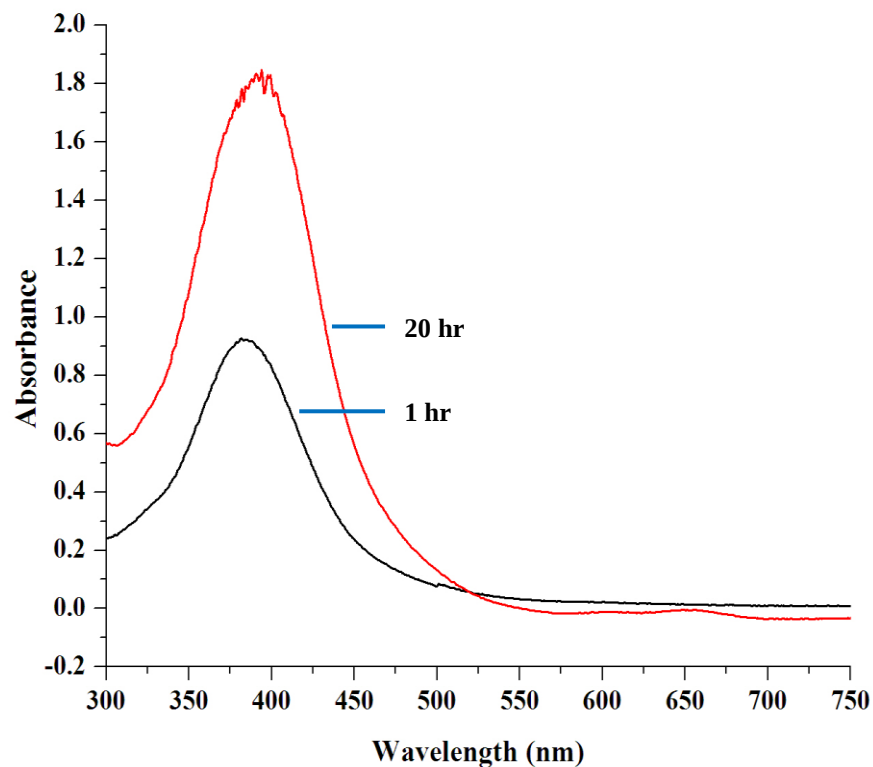
4.1 ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนก่อนและหลังการย้อมสีย้อมอะลิซาริน เยลโลอาร์ ด้วยวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์

การทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรน ก่อนและหลังการ ไฮโดรไลซ์จำนวน 1 แผ่น ด้วยเครื่อง วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ก่อนการย้อมสีทำการวัดโดยเทียบกับอากาศ เป็นค่าอ้างอิง ได้ผลการทดลองดังนี้ ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนก่อนและหลังการทำไฮโดรไลซ์

การทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โล สอะซิเตดเมมเบรนที่ทำการไฮโดรไลซ์จำนวน 1 แผ่น ย้อมสีด้วยอะลิซาริน เซลโล อาร์ 1 ชั่วโมง และ 20 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ก่อนการ ย้อมสี โดยทำการวัด เทียบกับเซลล์โลสอะซิเตดเมมเบรนที่ทำการไฮโดรไลซ์ เป็นค่าอ้างอิง ได้ผลการ ทดลองดังนี้ ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โลสอะซิเตดที่ทำการย้อมสีด้วย วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์

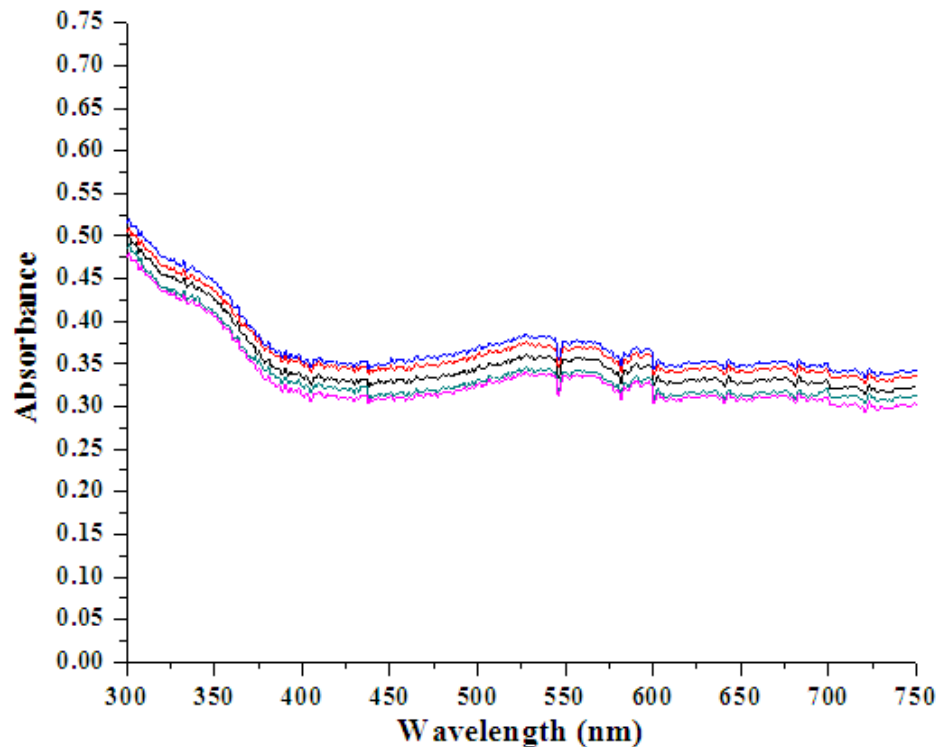
จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสง รูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าแผ่นเซลล์โลสอะซิเตดเมมเบรนที่ใช้ ในการวิจัยไม่ โปร่งใส 100% เพราะมีการดูดกลืนแสงมากที่สุดอยู่ 2 ช่วงความยาวคลื่น ช่วงที่ 1 ที่ความยาวคลื่นช่วง 300-370 nm การดูดกลืนแสงมีค่าสูงซึ่งเป็นช่วงที่ตามองไม่เห็นสีที่ปรากฏ และช่วงที่ 2 ที่ความยาว คลื่นช่วง 500-560 nm (ดูดกลืน yellow-green) จึงทำให้มองเห็นแผ่นเซลล์โลส อะซิเตดเมม เบรนเป็นสีม่วง (violet) เป็นช่วงที่ตามองเห็น ในทั้งสองช่วงดังกล่าวทำให้ทราบคุณสมบัติพื้นฐาน ของเซลล์โลสอะซิเตดเมมเบรนที่เตรียมได้ว่าไม่ใส มีความขุ่นและมีสีม่วงน้ำเงินจางๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ สนใจการดูดกลืนแสง ในช่วงที่ตามองเห็นคือความยาวคลื่น 380-750 nm ดังนั้นจำเป็นต้องทราบสีของ แผ่นฟิล์มก่อนการย้อมสี และนำค่าดังกล่าวมาเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง ภายหลังการย้อมสี

การทำไฮโดรไลซิสทำให้เซลลูโลสอะซิเตดเมมเบรน แห่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือการทำ ปฏิกิริยากับน้ำ ได้ดี อีกทั้งการทำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นการเปลี่ยนจากหมู่ อะซิทิว (acetyl group) เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) คาดว่าจะเพิ่มความสามารถในการยึดจับกับสีย้อมได้ดีขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลลูโลสอะซิเตดเมมเบรนหลังการทำไฮโดรไลซิสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทำไฮโดรไลซิส แสดงให้เห็นว่าหลังทำไฮโดรไลซิสของฟิล์มยังคงมีสีเดียวกับก่อนทำไฮโดรไลซิสแต่ ฟิล์มขุ่นมากกว่าเดิม ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าน่าจะเกิดจาก การแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ สีเดิมที่ตกค้างบนฟิล์มยังคงติดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ฟิล์มติดสีได้ดีขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจึงเพิ่มขึ้น

จากรูปสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงเมื่อทำการย้อมสีอะลิซาริน เบลโลอาร์ ลงบนเซลลูโลสอะซิเตดเมมเบรน (ในช่วงต่อไปจะเรียกว่า แผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน) ที่เวลา 1 ชั่วโมงและ 20 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าแผ่นเซลลูโลสอะซิเตดเมมเบรน ย้อมสี 1 ชั่วโมง มีการดูดกลืนแสงน้อยกว่า 1 a.u. และเมื่อย้อมสี 20 ชั่วโมงมีการดูดกลืนแสงมากกว่า 1.8 a.u. ซึ่งพบว่าติดสีเข้มมาก ซึ่งในการเลือกเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีอะลิซาริน เบลโลอาร์ ในงานวิจัยนี้ เลือกที่เวลา 1 ชั่วโมง เพราะการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงมาตรฐานของเครื่องมือวัดคือ 0.1-1 a.u. ไม่เข้มเกินไป ซึ่งถ้าเข้มมาก สังกะสีที่ออกฟิสิกส์จะแตกเกิดจากการกระเจิงของแสง [16] นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดกลืนแสงของแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนมีปริมาณมากที่สุดเพียง 1 พิกที่ความยาวคลื่น 382 nm (ดูดกลืนแสงสีม่วง) ทำให้มองเห็น ฟิล์มเป็นสีเขียวอมเหลือง (green-yellow) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้เราจะนำไปทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลง ของพีเอช เซ็นเซอร์เมมเบรนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายต่อไป

4.2 ผลการทดสอบความสม่ำเสมอของการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรน ด้วยวิธีเบสเปกโตรมิเตอร์

การทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์ จำนวน 5 แผ่นมาทำการวัดด้วยด้วยเครื่องวิธีเบสเปกโตรมิเตอร์ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.3

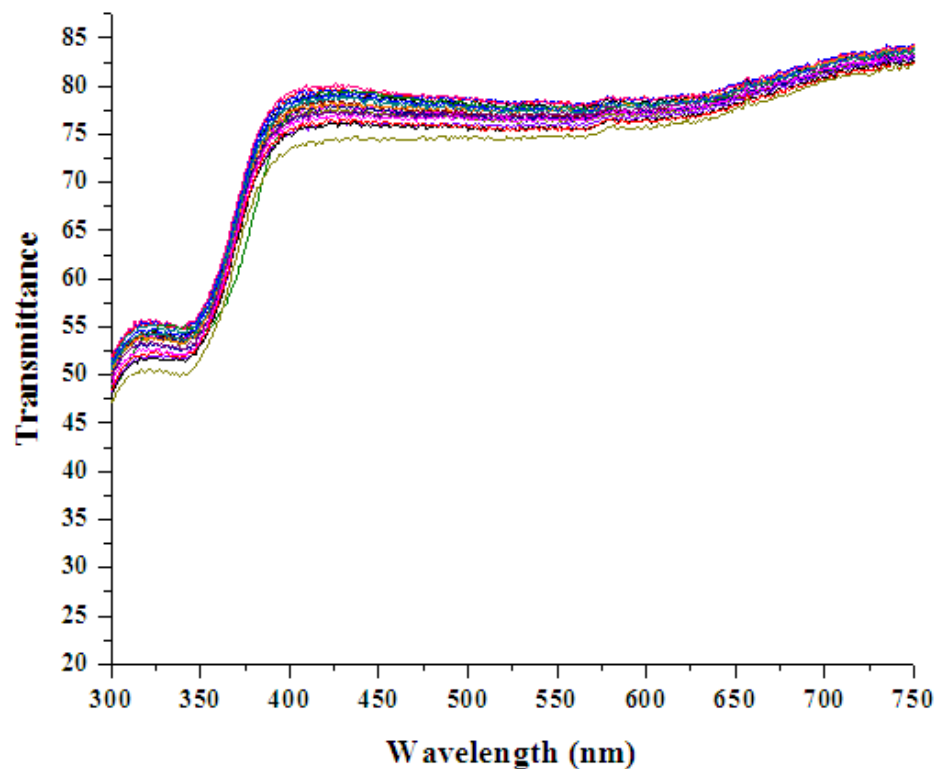


รูปที่ 4.3 แสดงความสม่ำเสมอสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์แต่ละแผ่น

จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรูปที่ 4.3 พบว่าแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์ ตำแหน่งการดูดกลืนแสงที่เหมือนกัน แตกต่างกันที่ปริมาณในการดูดกลืนแสงเท่านั้นที่ความยาวคลื่น 382 nm ค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละแผ่นพีเอชซีเออร์เมมเบรนเป็น 0.34885, 0.36385, 0.36885, 0.38570, 0.326850 ซึ่งทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของแผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรนที่ได้จากการเตรียม ถึงจะมีขั้นตอนในการเตรียมเหมือนกันคุณสมบัติพื้นฐานของการดูดกลืนแสงแต่ละแผ่นที่เตรียม ได้แตกต่างกันในการศึกษาควรรู้แผ่นเซลล์โอสอะซิเตดเมมเบรน แผ่นเดียวในการทำวิจัยในแต่ละชุดการวิจัย

4.3 ผลการทดสอบความสม่ำเสมอของการส่องผ่านแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซีเตดเมมเบรนด้วยวิธีเบิสเปกโตรมิเตอร์

การทดสอบการส่องผ่านแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซีเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์ 1 แผ่นที่ตำแหน่งต่างๆ 20 ตำแหน่งทำการวัดด้วยด้วยเครื่องเบิสเปกโตรมิเตอร์ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.4

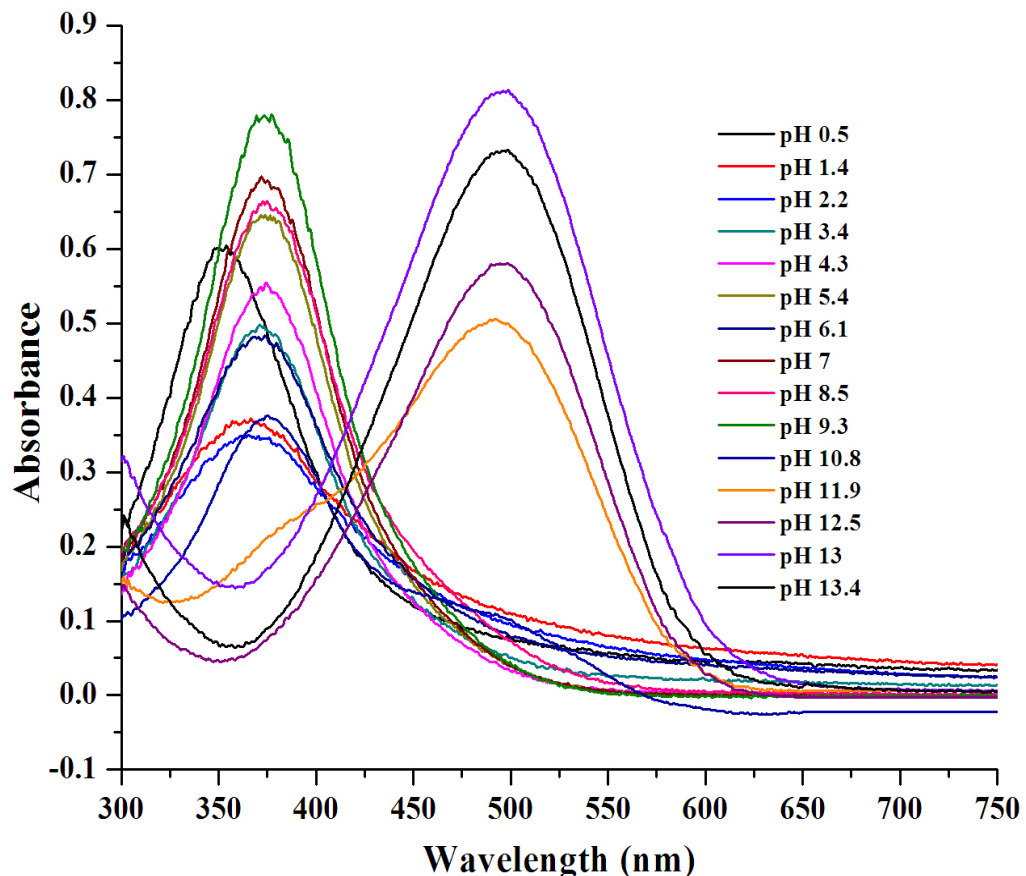


รูปที่ 4.4 แสดงความสม่ำเสมอของสเปกตรัมการส่องผ่านแสงของแผ่นเซลล์โอสอะซีเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์ ที่ตำแหน่งต่าง

จากสเปกตรัมการส่องผ่านแสงรูปที่ 4.4 พบว่าแผ่นเซลล์โอสอะซีเตดเมมเบรนที่ไฮโดรไลซ์ ในแต่ละตำแหน่งมีการส่องผ่านแสงแตกต่างกัน ที่ความยาวคลื่น 382 nm ตำแหน่งที่ 1-20 มีค่าการส่องผ่านแสงดังต่อไปนี้ 74.302, 75.216, 75.057, 74.228, 73.300, 72.838, 73.110, 73.757, 75.409, 68.730, 72.827, 73.357, 72.665, 71.304, 71.254, 71.675, 74.307, 73.944, 72.159, 69.534 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของแผ่นเซลล์โอสอะซีเตดเมมเบรนที่ได้จากการเตรียม บนแผ่นเดียวกันก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาต้องใช้ตำแหน่งเดียวกันตลอดทุกครั้งในการศึกษาในแต่ละชุดการวิจัย

4.4 ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายอะลิซาริน เยลโล อาร์ ในสารละลายพีเอช 0-14 ด้วยวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์

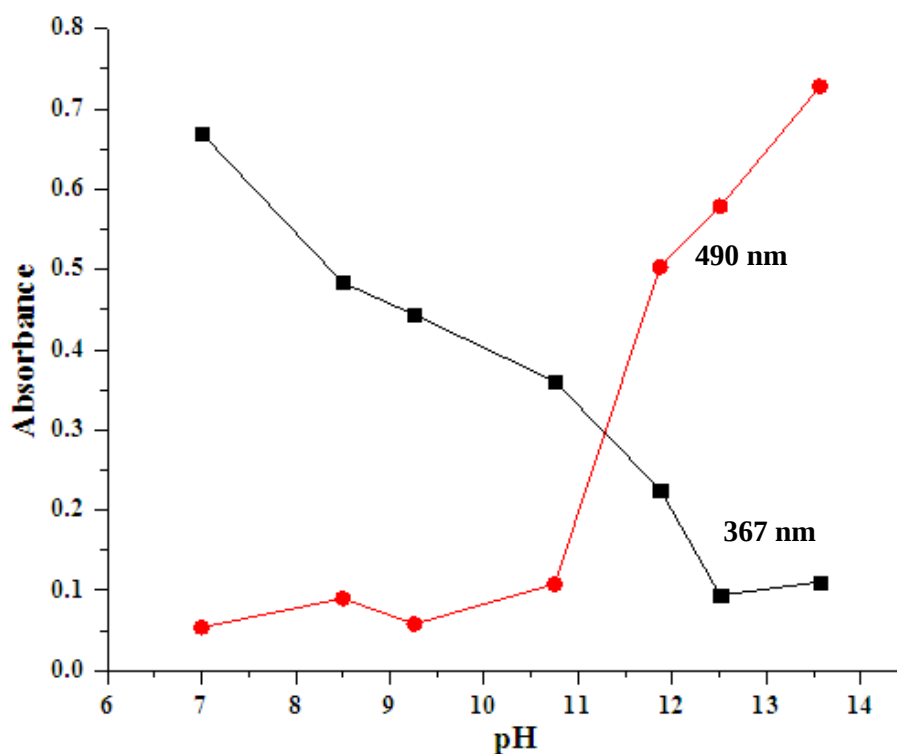
การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายอะลิซาริน เยลโล อาร์ กับสารละลายพีเอช 0-14 ด้วยเครื่องวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะลิซาริน เยลโล อาร์ ในสารละลายพีเอช 0-14

จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรูปที่ 4.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของอะลิซาริน เยลโล อาร์ อินดิเคเตอร์ในสารละลายพีเอช 0-14 โดยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงของสารละลายอะลิซาริน เยลโลอาร์ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าพีเอช การเปลี่ยนแปลงมีดูดกลืนแสงค่ามากที่สุด 2 ช่วงความยาวคลื่นที่ 367 nm (มองเห็นสีเหลือง) และ 490 nm (มองเห็นสีแดง) จากคุณสมบัติการเปลี่ยนสีของอะลิซาริน เยลโล อาร์ อินดิเคเตอร์ มีช่วงการเปลี่ยนสีในช่วงเบส ที่ค่าพีเอช 10.1-12 (yellow-red) ซึ่งสารละลายพีเอช 0-9 มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 367 nm (สีเหลือง) สีของสารละลายไม่เปลี่ยน และสารละลายพีเอช 10-14 มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 490 nm มีการเปลี่ยนสีของสารละลาย (จากเหลือง→แดง) จากสเปกตรัมการดูดกลืน

แสงดังกล่าวทำให้รู้คุณสมบัติของของอะลิซาริน เบลโล อาร์ อินดิเคเตอร์ มีการตอบสนองในช่วงเบสเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาจึงเลือกใช้สารละลายพีเอช 7-14 เพื่อศึกษาการตอบสนองของ พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนกับสารละลาย



รูปที่ 4.6 การดูดกลืนแสงของอะลิซาริน เบลโล อาร์ ในสารละลายพีเอช 7-14

จากกราฟรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับพีเอชของสารละลายพีเอช 7 ถึง พีเอช 13.5 เมื่อนำข้อมูลจากกราฟ รูปที่ 4.5 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายที่ความยาวคลื่น 2 ตำแหน่งที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 367 และ 490 nm พบว่าเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนของแสงจะลดลงที่ความยาวคลื่น 367 nm (มองเห็นสีเหลือง) และที่ความยาวคลื่น 490 nm (มองเห็นสีแดง) ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลาย ที่สูงขึ้น และจากการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงพบว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 410 nm กราฟทั้งสองจะตัดกันที่ตำแหน่ง (isobestic point) ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดสมดุลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอะลิซาริน เบลโล อาร์ ระหว่างสีเหลืองและสีแดงซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงผันกลับ ได้ของอลิซาริน เบลโล อาร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างกรด-เบส

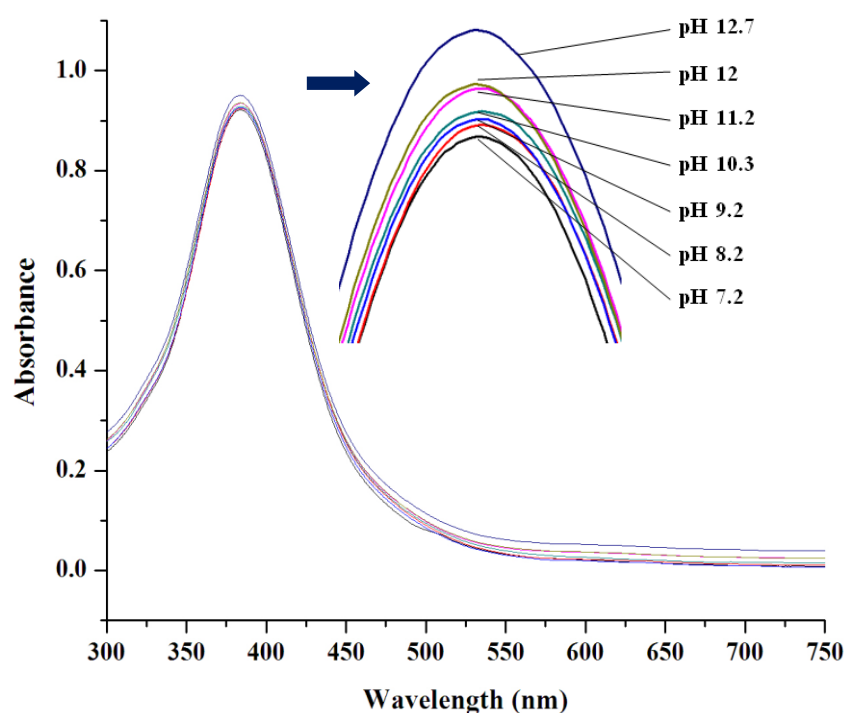
4.5 ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นพีเอช เซ็นเซอร์เมมเบรน ในสารละลายพีเอช 7-14 ด้วยวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์ ในแบบกะและแบบต่อเนื่อง

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนทดสอบกับค่า พีเอช 7-14 ซึ่งทำการวัดในสองระบบคือระบบแห้งและระบบเปียก

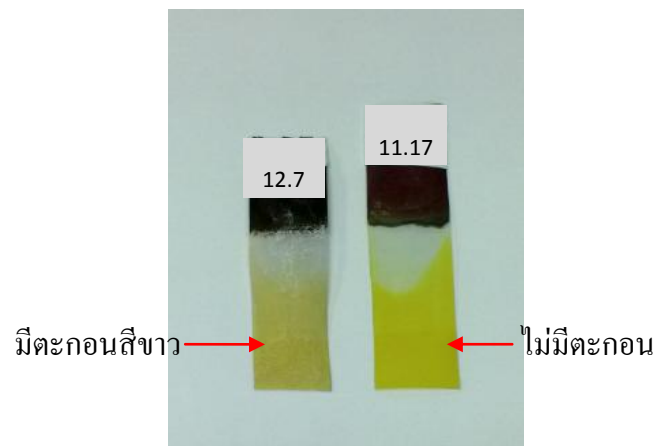
ระบบแห้งคือ กระบวนการทำการทดลองที่มีขั้นตอนการทำให้ พีเอชเซ็นเซอร์ เมมเบรนแห้งหลังจากการแช่ในสารละลายพีเอชในแต่ละพีเอชก่อนทำการ วัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการกระบวนการวัดการดูดกลืนแสงจะวัดแบบกะ(batch condition)

ระบบเปียกคือกระบวนการทำการทดลองที่มีขั้นตอนการทำให้พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนแช่ ในสารละลายพีเอชโดยทำการดูด สารละลายพีเอช เข้า-ออก อย่างรวดเร็ว จากคิวเวทเมื่อมีการต้องการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยก ะบวนการวัดการดูดกลืนแสงแบบต่อเนื่อง (continuous condition)

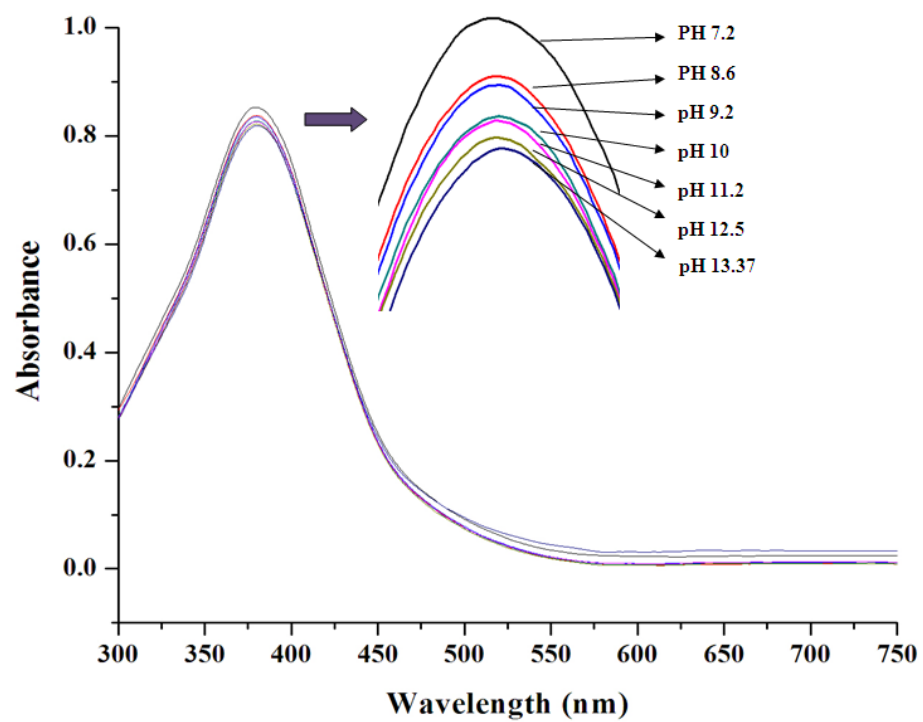
ทำการศึกษาการดูดกลืนของแสงจากเครื่อง วิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์ ได้ผลการทดลอง การวัดแบบกะ ดังรูปที่ 4.7 และการวัดแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนด้วยวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์แบบกะ



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบฟิเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนในสภาวะปกติและเกิดตะกอนขาว



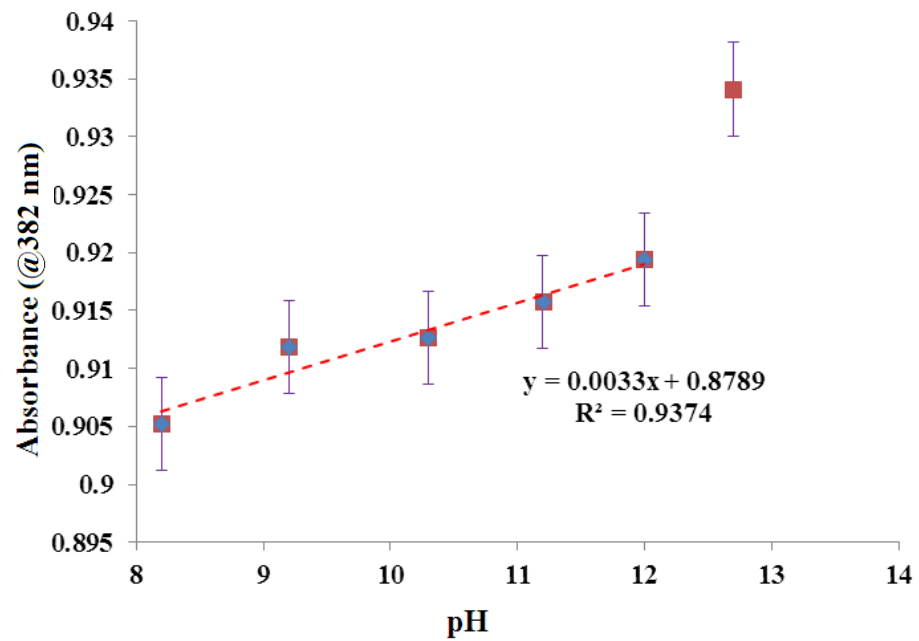
รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ ฟิเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนด้วยวิธีบิลสเปกโตรมิเตอร์แบบต่อเนื่อง

จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรูปที่ 4.7 พบว่าแผ่นฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรน มีช่วงการดูดกลืนแสงเพียงฟิเคเดียวเท่านั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกราฟการเปลี่ยนแปลงในสารละลายซึ่งมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน แต่ในรูปของแผ่นเมมเบรนไม่มีการเปลี่ยนสี ยังคงมีฟิเคการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 382 nm (สีม่วง) แสดงว่าฟิล์มยังคงสีเหลืองแต่สีของฟิล์มมีความเข้มเปลี่ยนไป แสดงว่าเมื่อนำ อะลิซาริน เยลโล อาร์ อินดิเคเตอร์มาตริ่ง บนเมมเบรนทำให้คุณสมบัติการเปลี่ยนสีของอะลิซาริน เยลโล อาร์ หายไปจากการสังเกตพบว่าที่ค่า ฟิ โอะของสารละลายมีค่าสูงขึ้นค่าการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวสูงขึ้นด้วยซึ่งระหว่างค่า ฟิ โอะ 7.9-12 การดูดกลืนแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับค่าฟิโอะ และที่ค่าฟิโอะมากกว่า 12 การเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงกับค่าฟิโอะไม่เป็นเชิงเส้นเดียวกัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ ฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรนดังกล่าว อาจ มีผลมาจากการทำให้ฟิโอะเซนเซอร์แห้งก่อนทำการวัด การดูดกลืนแสง ซึ่งอาจ จะมีสารที่เหลือจากการ ระเหยของน้ำออกไป ซึ่งอาจอธิบายด้วยรูปที่ 4.8

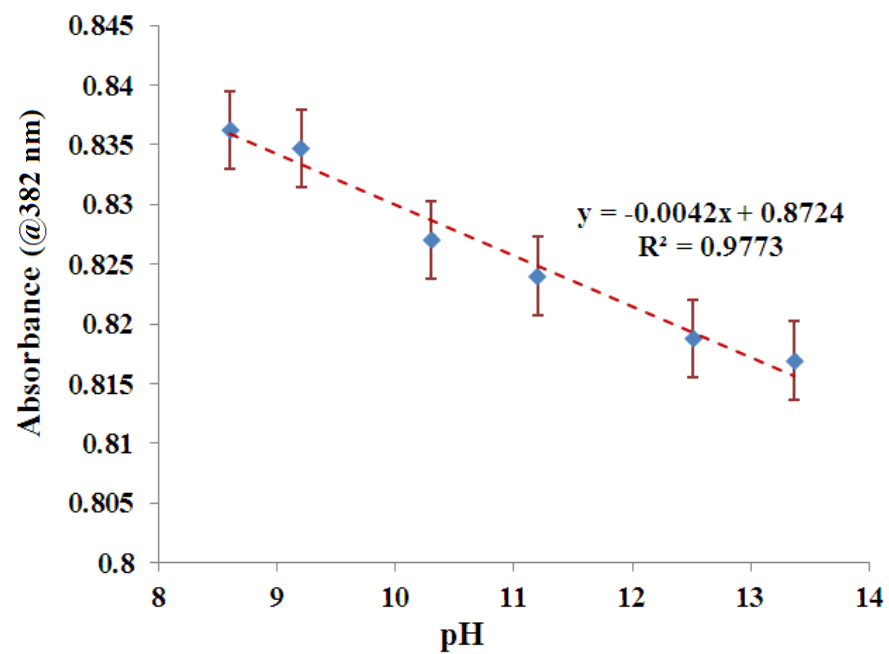
จากรูปที่ 4.8 เป็นแสดงการเปรียบเทียบของ ฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรน ที่ค่าฟิโอะ 11.14 และ ฟิโอะ 12.7 ซึ่งพบว่าที่ค่าฟิโอะ 11.17 ฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรนมีสภาพปกติ แต่ที่ค่าฟิโอะ 12.7 พบว่ามีตะกอนสีขาวมาเกาะที่แผ่นฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรนตะกอนที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดมาจากคราบของเบสที่เข้มข้นมาก เมื่อทดสอบกับค่าฟิโอะสูงๆผลของคราบตะกอนขาวทำให้ ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้ แต่ฟิโอะเซนเซอร์สามารถนำกลับมาทำงานได้อีกครั้งโดยการ ปรับสภาพในสารละลายที่เป็นกรด

จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรูปที่ 4.9 พบว่าแผ่นฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรน ที่ทำการวัดในระบบเปียก มีช่วงการดูดกลืนแสง สูงสุดเพียงฟิเคเดียวที่ความยาวคลื่น 382 nm (ฟิล์มสีเหลืองอมเขียว) เช่นเดียวกับการทำการ วัดในระบบแห้ง แต่การดูดกลืนแสง กลับลดลงที่ความยาวคลื่น 382 nm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าฟิโอะของสารละลายสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับในรูปสารละลาย ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.6 จากการศึกษาพบว่าที่ค่า ฟิโอะของสารละลายมากกว่า 12 ไม่มีตะกอนขาวเกาะ ที่ฟิโอะเซนเซอร์เมมเบรน สามารถทำการวัดค่าการดูดกลืน ได้ตามปกติ มีความแตกต่างจากการวัดในระบบแห้งที่ไม่สามารถทำการวัดได้เมื่อค่าฟิโอะของสารละลายมากกว่า 12

จากผลการทดลองทั้งสองระบบทำให้ รู้ช่วงความยาวคลื่นการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสง 382 nm ในการเลือกใช้หลอดแอลอีดี และได้หลอดแอลอีดีที่ช่วงความยาวคลื่น 380-420 nm (สีม่วง) มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการตรวจวัดความเข้มแสงผ่านเครื่องออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่า pH=8.2 ถึง pH=12.7
แบบกะ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่า pH=8.6 ถึง pH=13.4
แบบต่อเนื่อง

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับฟิโอะในระบบการวัดแบบ
 แห้ง พบว่าเมื่อฟิโอะ เพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น จากกราฟได้สมการเชิงเส้น
 $y = 0.0033x + 0.08789$ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง $R^2 = 0.9374$ เมื่อค่าฟิโอะ 8.2 ถึงฟิโอะ 12.0 แต่
 เมื่อค่าฟิโอะ เพิ่มขึ้นจาก ฟิโอะ 12.0 เป็นฟิโอะ 12.7 ที่ความยาวคลื่น 382 nm ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น
 อย่างรวดเร็ว

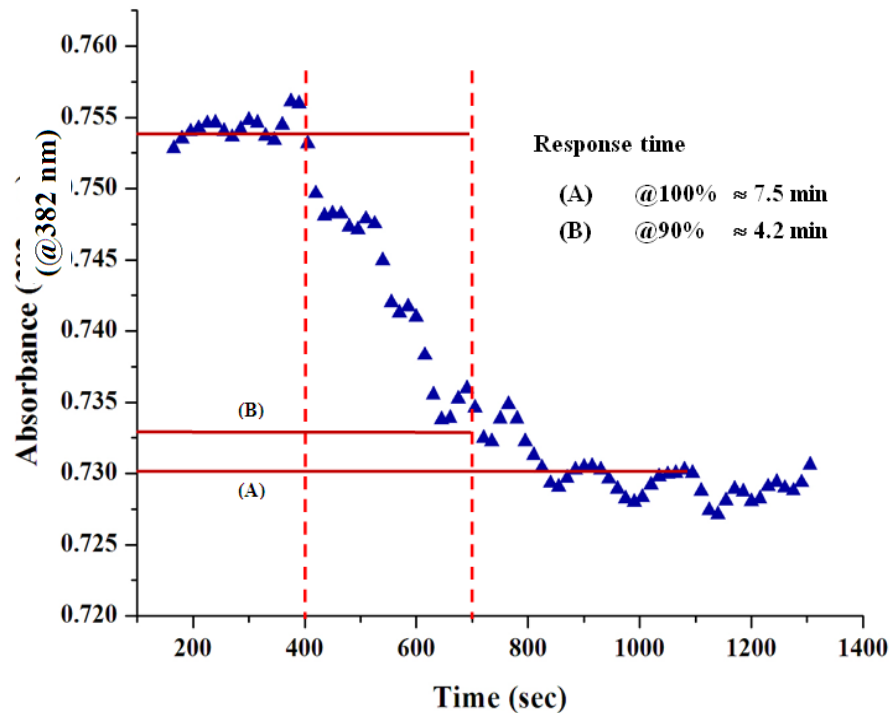
จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับฟิโอะ ที่ระบบการวัดแบบ
 เปียก พบว่าเมื่อฟิโอะ เพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลง เป็นเชิงเส้น จาก กราฟได้สมการเชิงเส้น
 $y = -0.0042x + 0.8724$ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง $R^2 = 0.9773$ ที่ค่าฟิโอะ 8.6 ถึงฟิโอะ 13.4 ที่
 ความยาวคลื่น 382 nm

จากข้อมูลข้างต้นของกราฟดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบหาความเหมาะสมในการเลือกใช้ฟิโอะ
 เซ็นเซอร์เมมเบรน ระหว่างระบบเปียกและระบบแห้ง พบว่าระบบเปียกมีค่า $R^2 = 0.9773$ และระบบ
 แห้ง $R^2 = 0.9374$ และความไวต่อการตอบสนอง (sensitivity) ของระบบเปียกดีกว่าระบบแห้ง โดย
 สังเกตจากความชันของกราฟ นอกจากนี้การวัดค่าการดูดกลืนแสงในระบบเปียก ในแบบต่อเนื่องเป็น
 การวัดที่ไม่ต้องไปสัมผัสหรือแตะสัมผัสเคลื่อนย้าย ฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนซึ่งต่างกับการวัดแบบกะ
 ที่ต้องนำฟิโอะเซ็นเซอร์ เมมเบรน มาทำให้แห้งก่อนทำการวัดทุกครั้งทำให้ผลอาจเกิดค ความ
 คลาดเคลื่อนได้มากกว่าแบบต่อเนื่อง และการวัดแบบต่อเนื่องยังสามารถแก้ปัญหาการเกิดตะกอนขาว
 ที่แผ่นฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรน จึงทำให้ การวัดแบบต่อเนื่อง สามารถขยายช่วง การวัดค่าฟิโอะได้
 มากกว่าแบบกะ

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการวัดแบบต่อเนื่องมาใช้ในการวัดทุกระบบ แต่ใน การทดลองยังทำการศึกษา
 ควบคู่กันเพราะจะใช้เป็นข้อเปรียบเทียบในการทำการวัดในสองระบบ

4.6 ผลการทดสอบเวลาในการตอบสนองของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนทดสอบกับค่า พีเอช 7 ทำการวัดการดูดกลืนแสงอย่างต่อเนื่อง ทุกๆ 15 วินาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วดูดสารละลาย พีเอช 7 ออกแล้วเติมสารละลายพีเอช 12 ทำการวัดการดูดกลืนเช่นเดียวกับ พีเอช 7 ด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ โดยทำการวัดแบบต่อเนื่อง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12

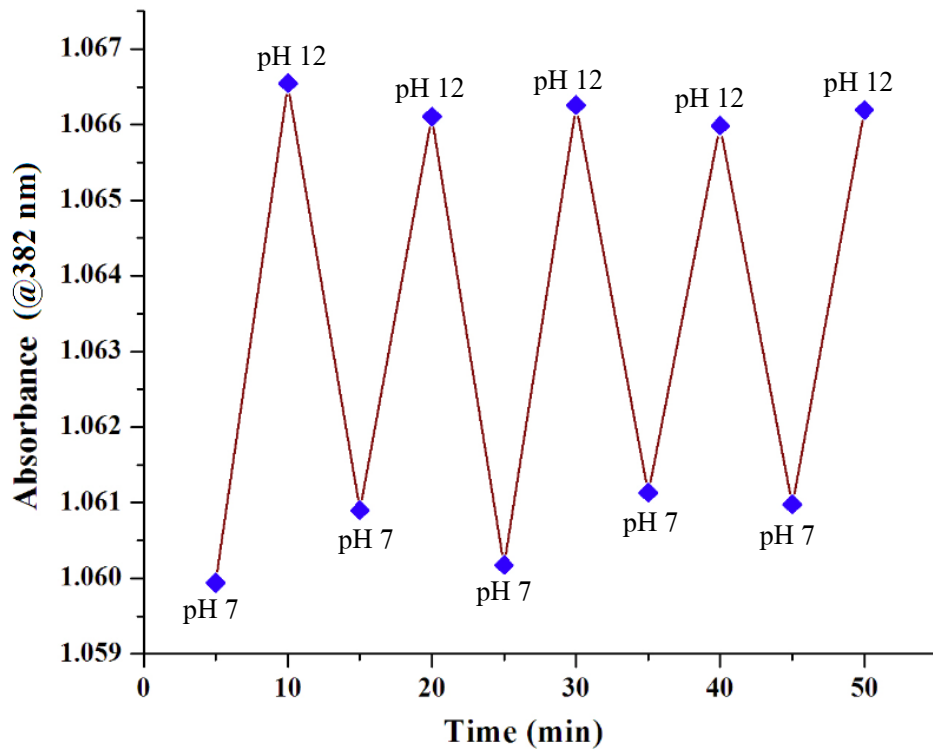


รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบเวลาในการตอบสนอง (Response time) ระหว่าง pH=7 และ pH=12

จากกราฟรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเวลา ของแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน ทำการทดสอบ วัดการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลาย ข้อมูลจากกราฟใช้หาค่าเวลาในการตอบสนอง พบว่าค่าการตอบสนองคิดเป็น 100% เวลาในการตอบสนอง ประมาณ 7.5 นาที และที่ค่าการตอบสนองคิดเป็น 90% เวลาในการตอบสนอง ประมาณ ได้เวลา 4.2 นาที ซึ่งค่าเวลาในการตอบสนอง ดังกล่าวจะ ข้อมูลนำไปใช้ในการแช่พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนในสารละลายพีเอชต่างๆ ก่อนทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง การคำนวณเวลาในการตอบสนองดังกล่าวทำการศึกษาที่ความยาวคลื่น 382 nm

4.7 ผลการทดสอบการทำซ้ำของ พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนแบบกะแลแบบต่อเนื่อง

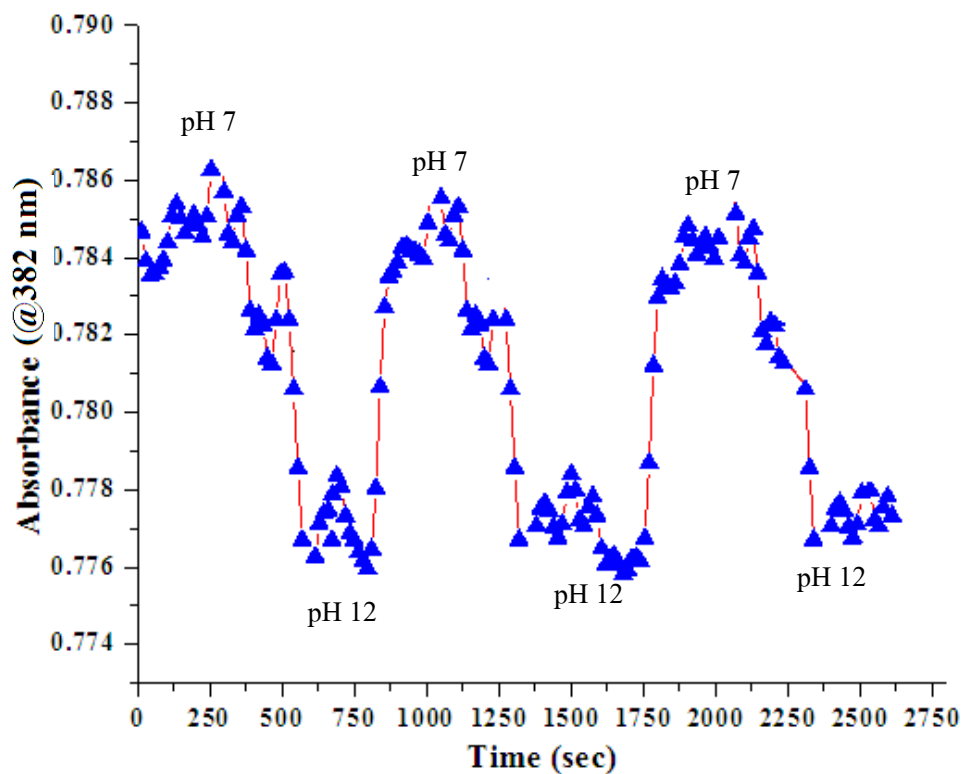
นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนมาทำการทดสอบกับสารละลาย พีเอช 7 และพีเอช 10.2 กลับไปมา จำนวน 5 รอบ โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง วิสibelสเปกโตรมิเตอร์ โดยทำการวัดแบบกะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการทดสอบการทำซ้ำของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนแบบกะ

จากกราฟรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงการทดสอบการทำซ้ำของ พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน ที่ความยาวคลื่น 382 nm พบว่า เมื่อทำการวัดการดูดกลืนแสงของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน ที่ค่าพีเอช 7 และพีเอช 10.2 สลับกัน 5 รอบ เริ่มต้นที่ค่าพีเอช 7 การทดสอบแต่ละค่า พีเอชใช้เวลา 7.5 นาที ในการแช่สารละลายพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน เนื่องจากเป็นเวลาที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สมดุล เมื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงครบ 1 รอบ ให้นำพีเอชเซ็นเซอร์ไปปรับสภาพที่พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นเวลาเท่ากับการแช่ในสารละลายพีเอช 7 และพีเอช 12 จากการทดลองพบว่ากราฟมีสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้และค่าการดูดกลืนแสงของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนสามารถนำมาทำการทดลองซ้ำได้

นำแผ่นฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนมาทำการทดสอบกับสารละลาย pH=7 และเปลี่ยนเป็น pH=12 โดยทำการวัดแบบต่อเนื่องทุก 15 วินาที กลับไปมาจำนวน 3 รอบ โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์โดยทำการวัดแบบต่อเนื่อง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.14

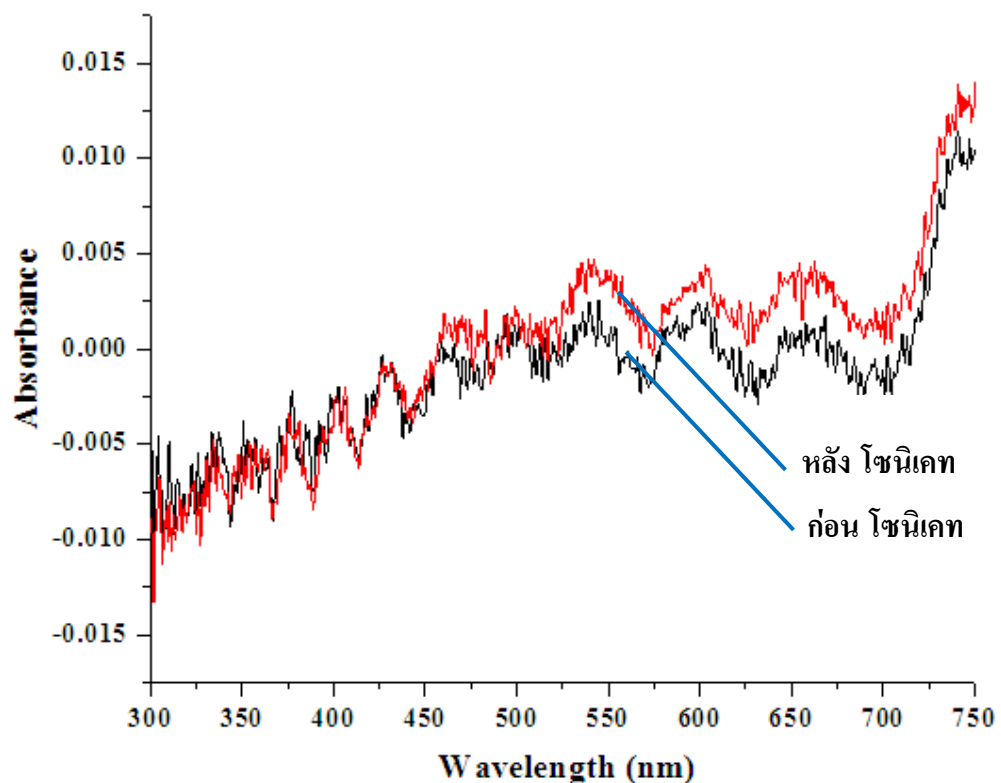


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการทดสอบการทำซ้ำของฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนแบบต่อเนื่อง

จากกราฟรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงการทดสอบการทำซ้ำของ ฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรน ที่ความยาวคลื่น 382 nm พบว่าการดูดกลืนแสงของ ฟิโอะเซ็นเซอร์ ที่ค่าพีเอช 7 และพีเอช 12 ดูดกลืนแสงลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น และมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลงโดยทำการทดสอบสลับไปมา 3 รอบเริ่มต้นที่ค่าพีเอช 7 การทดสอบแต่ละค่าพีเอชใช้เวลา ประมาณ 8 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่ค่า การดูดกลืนแสงเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงที่สมดุล ให้นำฟิโอะเซ็นเซอร์ไปปรับสภาพที่พีเอช 5 เป็นเวลา 16 นาที ซึ่งเป็นเวลาเท่ากับการแช่ในสารละลายพีเอช 7 และพีเอช 12 และกราฟสามารถเปลี่ยนกลับไปได้และค่าการดูดกลืนแสงของฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนสามารถนำมาทำการทดลองซ้ำได้

4.8 ผลการทดสอบความคงทน พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน ด้วยวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนจำนวน 1 แผ่นทำการทดสอบกับเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและ ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ของน้ำที่ใช้ทำโซนิเคตด้วยวิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15

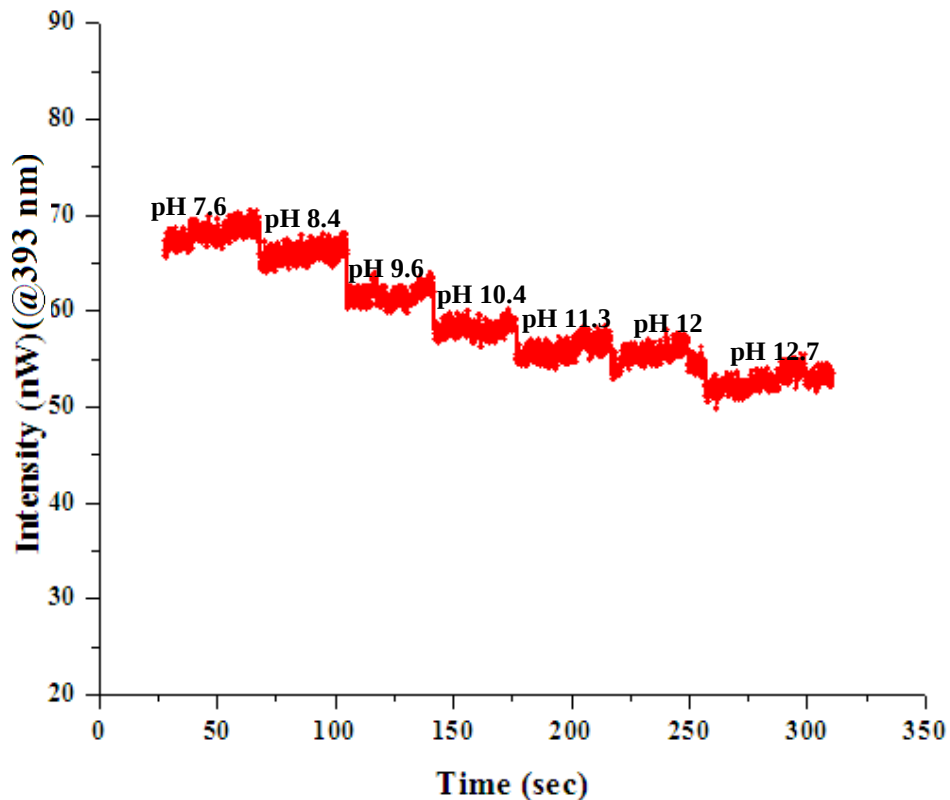


รูปที่ 4.15 กราฟสเปกตรัมแสดงผลการทดสอบความคงทนในการดัดสี

จากกราฟสเปกตรัมรูปที่ 4.15 การดูดกลืนแสงของน้ำก่อนและหลังการทำโซนิเคต พบว่าการดูดกลืนของแสงของน้ำที่ความยาวคลื่นระหว่าง 300-500 nm ค่าการดูดกลืนแสงไม่เปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ความยาวคลื่นมากกว่า 500 nm ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นและการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 0.000-0.002 แสดงว่าแสงส่องผ่าน น้ำได้เกือบทั้งหมดสาเหตุที่การดูดกลืนแสงต่ำกว่าศูนย์นั้นมาจากคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วที่ใช้เป็นคิวเวท ดังนั้นที่ความยาวคลื่นในช่วงการศึกษาที่ 382 nm คาดว่าการดัดสีของเซลล์โลสอะซิเตดเมมเบรนมีความคงทนต่อการใช้งานสีคงทนไม่ละลายหลุดลอกออกมา

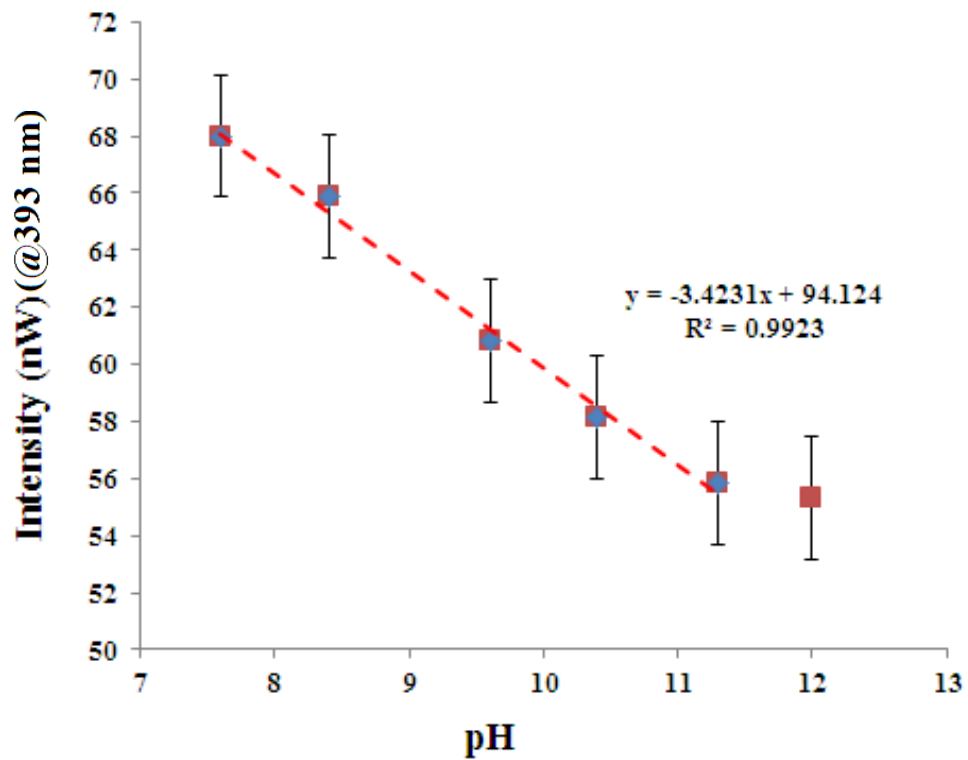
4.9 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนด้วยออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์แบบกะและแบบต่อเนื่อง

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนทดสอบกับค่า $\text{pH} = 7$ ถึง $\text{pH} = 14$ ซึ่งทำการวัดแบบกะ โดยใช้หลอดแอลอีดีความยาวคลื่น 393 nm เป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้ออปติคัลเพาเวอร์มิเตอร์อินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการวัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มแสงกับเวลาในการวัดแบบกะ

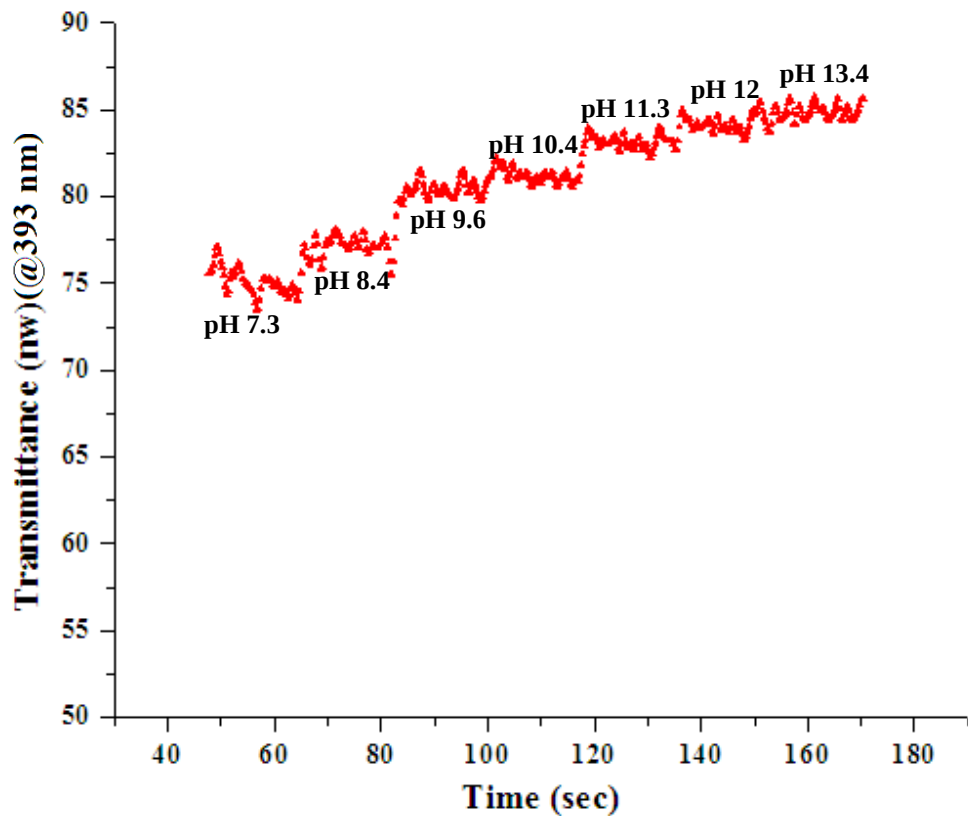
จากกราฟรูปที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับเวลาที่ค่าพีเอช 7.6, 8.4, 9.6, 10.4, 11.3, 12 และ 12.7 เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นความเข้มแสงลดลง ซึ่งเมื่อนำกราฟรูปที่ 4.16 มาเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.7 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันเพราะค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มของแสงลดลง โดยแหล่งกำเนิดแสงให้แสงที่มีความยาวคลื่น 393 nm ความละเอียดของการเก็บข้อมูล 1/1000 วินาที



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มแสงกับค่าพีเอชในการวัดแบบกะ

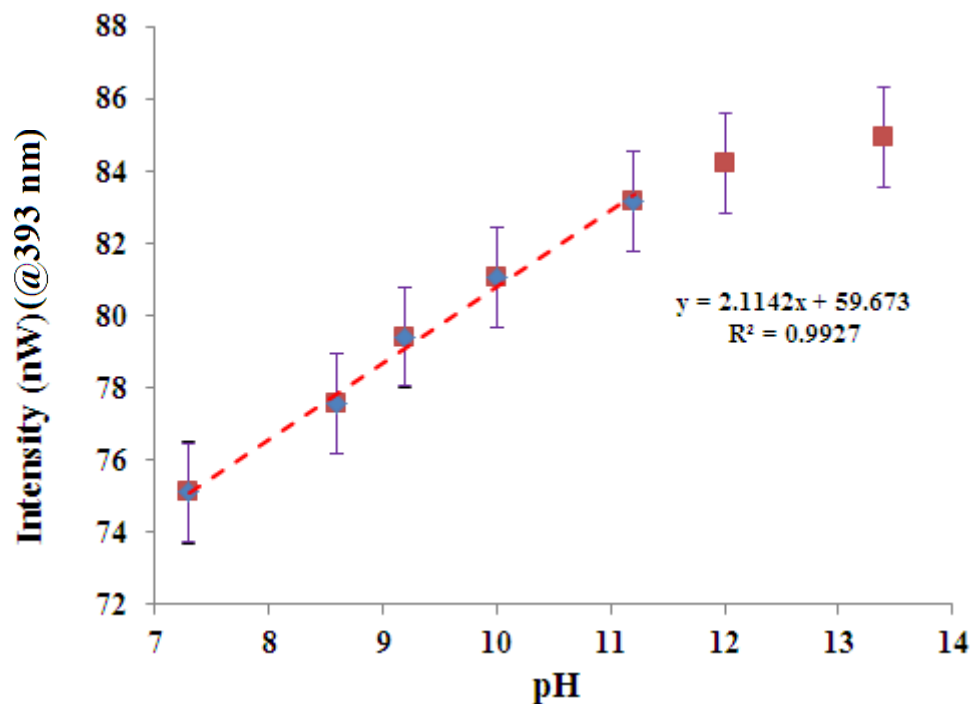
จากกราฟรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับค่าพีเอชที่แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น 393 nm พบว่าที่ค่าพีเอชมากขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสงลดลง เมื่อนำค่าความเข้มแสงมาเขียนกับค่าพีเอชที่พีเอช 7.6-11.3 ได้สมการเชิงเส้น $y = -3.4231x + 94.124$ และค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง $R^2 = 0.9923$ และที่พีเอช 12 ข้อมูลเริ่มไม่เป็นเชิงเส้นสอดคล้องกับรูปที่ 4.10

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนทดสอบกับค่า pH = 7 ถึง pH = 13.4 ซึ่งทำการวัดในแบบต่อเนื่องโดยใช้ แอลอีดี ความยาวคลื่น 393 nm เป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้ออปติคัลฟาเวอร์มิเตอร์อินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการวัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มแสงกับเวลาในการวัดแบบต่อเนื่อง

จากกราฟรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับเวลาที่ค่าพีเอช 7.6, 8.4, 9.6, 10.4, 11.3, 12 และ 13.4 เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นความเข้มแสงสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำกราฟรูปที่ 4.18 ทำการเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.9 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันเพราะค่าการดูดกลืนแสงลดลง จะทำให้ค่าความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น โดยแหล่งกำเนิดแสงให้แสงที่มีความยาวคลื่น 393 nm ความละเอียดของการเก็บข้อมูล 1/1000 วินาที นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อพีเอชมากกว่า 11 การเปลี่ยนของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนเริ่มเบนออกไม่เป็นเชิงเส้นกับข้อมูลก่อนหน้านี้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มแสงกับค่าพีเอชในการวัดแบบต่อเนื่อง

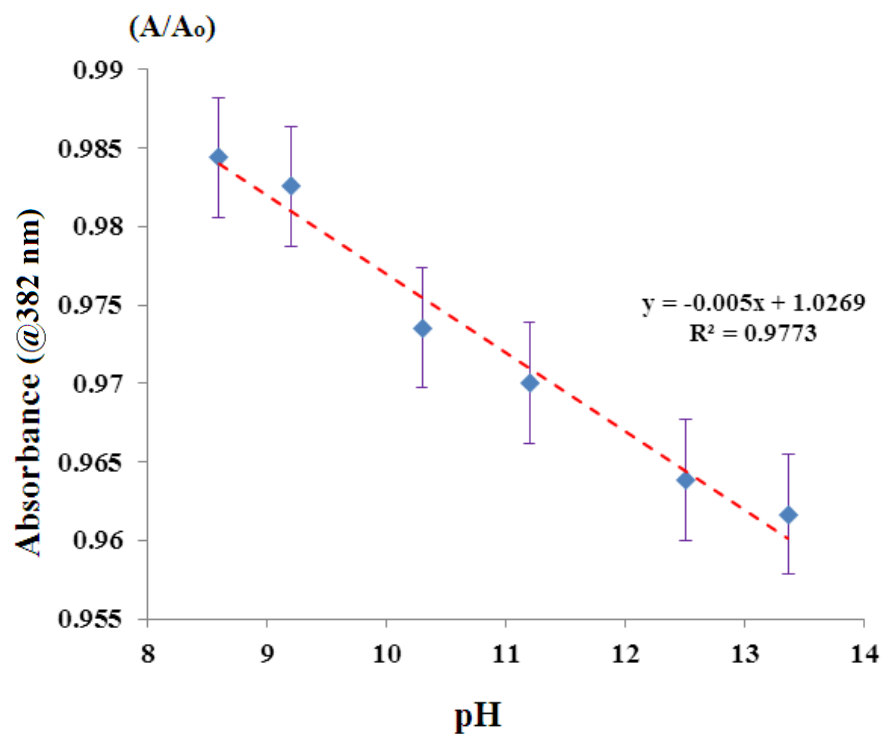
จากกราฟรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับค่าพีเอชที่แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น 393 nm พบว่าที่ค่าพีเอชมากขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าความเข้มแสงมาเขียน กับค่าพีเอชที่พีเอช 7.2-11.3 ได้สมการเชิงเส้น $y = 2.1142x + 59.673$ และค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง $R^2 = 0.9927$ ซึ่งพบว่ากราฟเป็นเส้นตรง

จากผลการทดลองในตอนที 4.9 ประสบปัญหาของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีผลต่อการวัดค่าความเข้มแสงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ การวัดระบบเป็ยก วัดแบบต่อเนื่องมาใช้ในการ ตรวจ วัดค่าพีเอชโดยใช้วิธีเบิลสเปกโตรมิเตอร์เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำมาคำนวณหาค่าพีเอชที่ไม่ทราบค่า

4.10 ผลการทำ Normalized จากข้อมูลการดูดกลืนแสงแผ่นฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนในการวัดแบบต่อเนื่อง

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสง จากรูปที่ 4.11 มาทำการ Normalized โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิโอะเซ็นเซอร์เมมเบรนในแต่ละค่าพีเอช หาค่าด้วยการดูดกลืนแสงที่ค่าพีเอช 7 จะได้กราฟดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มแสงกับค่าพีเอชที่ Normalized

จากกราฟรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าพีเอช ที่ทำการ normalized ได้สมการเชิงเส้น $y = -0.005x + 1.0269$ และค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรง $R^2 = 0.9773$ ซึ่งพบว่าข้อมูลทุกข้อมูลอยู่ใน Error Bars สมการเส้นตรงดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาค่า พีเอชของสารละลายได้หากทราบค่าการดูดกลืนแสง

4.11 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการนำไปใช้วัดค่าพีเอชของสารละลายตัวอย่าง ค่าต่างๆ

นำแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรนจำนวน 4 แผ่นมาทดสอบกับสารละลายพีเอชแล้วทำการตรวจวัดหาค่า การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาค่า พีเอชโดย การแทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการ $y = -0.005x + 1.0269$ ซึ่งได้ผลการตรวจวัดและการคำนวณหาค่า พีเอชได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการหาค่าพีเอชและความคลาดเคลื่อนของพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน

แผ่นที่	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ค่าการ ดูดกลืนแสง (A/A ₀)	ค่าพีเอชที่วัดได้ พีเอชเซ็นเซอร์เมม เบรน	ค่าพีเอชจาก pH meter	เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน(%)
1	0.6199	0.9749	10.40	10.80	3.7
2	0.6227	0.9805	9.28	9.60	3.3
3	0.6153	0.9688	11.62	12.10	3.9
4	0.6228	0.9826	8.86	9.20	3.4

จากการคำนวณหาค่าพีเอชจากแผ่นพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน ที่ทำการตรวจวัดโดยใช้ค่า การดูดกลืนแสงเริ่มต้น A₀ ของแต่ละแผ่นทำการ normalized และใช้เครื่องตรวจวัดค่าพีเอชจาก pH meter พบว่า ค่าความแตกต่างของค่า พีเอชโดยการตรวจวัดมีค่าความแตกต่างกัน ไม่ถึง 1 พีเอช และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ พีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน 3.7, 3.3, 3.9, 3.4 ซึ่งจะมีค่าความคลาด เคลื่อนของแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันน้อยกว่า 4% ความคลาดเคลื่อนข้างต้นอาจมีสาเหตุมาจาก กระบวนการวัดค่าการดูดกลืนแสง กระบวนการเตรียมพีเอชเซ็นเซอร์เมมเบรน เป็นต้น