



การเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมงกานีสไดออกไซด์เพื่อประยุกต์ใช้  
ในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์

Preparation of the Cotton Fiber Coated with  $MnO_2$  Catalyst for  
Formaldehyde Removal Application

อัศวินท์ อินทรคุปต์<sup>1</sup>, พัชรินทร์ แนมจันทร์<sup>2</sup>, วีรณัฐ แก้ววิเศษ<sup>3</sup>, และ กิตติศักดิ์ชัย แนมจันทร์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

<sup>3</sup> โครงการจัดตั้งภาควิชาฟิสิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการเตรียมเส้นใยคอตตอน (cotton fiber) ที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide;  $MnO_2$ ) เพื่อกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ โดยนำเส้นใยคอตตอนที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติมาจุ่มในสารละลายละลายผสมของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate;  $KMnO_4$ ) และแอมโมเนียมออกซาลेट (ammonium oxalate;  $(NH_4)_2C_2O_4$ ) ที่ระยะเวลาแตกต่างกันเพื่อเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  บนเส้นใยคอตตอน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า  $MnO_2$  สามารถเตรียมได้จากสารละลายผสม ซึ่งการยึดติดของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเวลาในการจุ่มสารละลาย หลังจากนั้นทำการทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  โดยทดสอบที่แก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นที่ 5 ppm ในระบบปิด ซึ่งพฤติกรรมการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  มีลักษณะที่ลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลในช่วงระยะเวลา 0 ถึง 90 นาที นอกจากนี้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  มีมากกว่าร้อยละ 90

คำสำคัญ: การกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์, แมงกานีสไดออกไซด์, ตัวเร่งปฏิกิริยา, เส้นใยคอตตอน, การตกตะกอนทางเคมี

ABSTRACT

This research aim was to prepare cotton fiber coated with a manganese dioxide ( $MnO_2$ ) catalyst for formaldehyde removal. The cotton fiber obtained from the natural fiber was soaked with a mixing solution of potassium permanganate and ammonium oxalate at the different soaking times to prepare the cotton fiber coated with  $MnO_2$  catalyst. The crystal structure, chemical composition, and adhesion of  $MnO_2$  catalysts on cotton fiber were investigated. The results show that the pure phase of  $MnO_2$  can be prepared from the mixing solution. The adhesion of  $MnO_2$  catalyst on cotton fiber increased with increasing the soaking time. The cotton fiber coated with



MnO<sub>2</sub> catalyst was tested the formaldehyde removal with initial formaldehyde concentration at 5 ppm in the closed chamber. The behavior of formaldehyde removal was exponential decay in the range of 0 to 90 mins. In addition, the formaldehyde removal efficiency of cotton fiber coated with MnO<sub>2</sub> catalyst was higher than 90%

**Keywords:** Formaldehyde removal, Manganese dioxide, Catalyst, Cotton fiber, Chemical precipitation

## 1. บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde :HCHO) เป็นไอระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน (urea-formaldehyde resin) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานอยู่ในวัสดุตกแต่งรวมทั้ง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า แม้กระทั่ง สีทาอาคารบ้านเรือน โดยปัจจัยที่ทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ถูกปล่อยออกจากวัสดุตกแต่งต่าง ๆ คือ อุณหภูมิที่สูงและการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ (ธนาวุฒิ สุราษฎร์มณี, 2560) ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ได้ถึงแม้ว่าจะได้รับในปริมาณเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้เชื้อบูในโพรงจมูกเกิดการระคายเคือง และหากได้รับเป็นระยะเวลานานอาจนำไปสู่โรคระบบทางเดินหายใจได้ (Sekine, 2002) สถาบันวิจัยมะเร็งนานาชาติ (The international agency for research on cancer; IARC) ภายใต้งานกำกับดูแลขององค์การอนามัยโลก (The world health organization; WHO) ได้จัดฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ประเภทหนึ่ง (WHO, 2006) ด้วยเหตุนี้ทำให้ในแต่ละประเทศตระหนักถึงอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ ส่งผลให้มีมาตรการเพื่อลดการปลดปล่อย ตลอดจนกำจัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ให้หมดไปหรืออยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งวิธีการกำจัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์มีหลายวิธี เช่น การดูดซับ การกำจัดด้วยไฟฟ้าเคมี รวมทั้งการทำให้เจือจางและปล่อยให้สลายตัวตามธรรมชาติในบรรยากาศ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ส่งผลให้เกิดปัญหาทางมลพิษโดยการจับกับแก๊สอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศก่อให้เกิดปัญหาฝุ่น PM2.5 ตามมา (Jonathan, 2018) ซึ่งการสลายตัวตามธรรมชาติของแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์นี้สามารถกระตุ้นให้สลายตัวได้เร็วขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะออกไซด์ (Ramesh et al, 2008) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแมงกานีสไดออกไซด์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ต้องอาศัยแสงในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา (Shengnan et al, 2018) อีกทั้งยังสามารถสังเคราะห์ด้วยวิธีการที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> จะสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้สูงนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> จะต้องได้สัมผัสแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นจึงต้องมีวัสดุรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> เพื่อเพิ่มโอกาสในการทำปฏิกิริยา โดยวัสดุรองรับจะต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูง หาได้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งสมบัติดังกล่าวสามารถพบได้ในวัสดุจำพวกเส้นใย (Jimlong et al, 2015) สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในการผลิตเส้นใยธรรมชาติในปริมาณมาก เส้นใยคอตตอนเป็นหนึ่งในเส้นใยที่ผลิตได้ปริมาณมากและนิยมนำไปพัฒนาเป็นเครื่องนุ่งห่มตลอดจนเครื่องใช้ต่าง ๆ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้สนใจนำเส้นใยคอตตอนมาเป็นวัสดุรองรับในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> เพื่อทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ โดยศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) การศึกษาเวลาในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา MnO<sub>2</sub> บนเส้นใยคอตตอน ตลอดจนนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์



## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์สูง

## 3. ระเบียบวิธีการวิจัย

**การเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  สำหรับการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์**

**การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$**

ตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ถูกเตรียมโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารละลาย  $KMnO_4$  และ  $(NH_4)_2C_2O_4$  โดยเริ่มจากการนำผง  $KMnO_4$  ปริมาณ 1.58 g และ  $(NH_4)_2C_2O_4$  ปริมาณ 2.56 g มาละลายในน้ำกลั่น (DI water) ปริมาตร 200 และ 60 ml ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายทั้งสองผสมกันด้วยเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิ  $90^\circ C$  จนเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์

**การเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$**

นำเส้นใยคอตตอนมาแช่ในสารละลายผสมที่เตรียมไว้จากสารละลาย  $KMnO_4$  และ  $(NH_4)_2C_2O_4$  เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 ชั่วโมง โดยในขณะที่แช่อยู่ในสารละลายผสมจะทำการกวนด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็วในการหมุนเป็น 150 rpm ที่อุณหภูมิ  $90^\circ C$  จากนั้นนำเส้นใยคอตตอนมาล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิกโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวกลาง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $90^\circ C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เป็นเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$

**การศึกษาลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$**

โครงสร้างผลึกของแมงกานีสไดออกไซด์ถูกศึกษาด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ รุ่น Bruker D8 HRXRD ที่มุม 2 Theta ตั้งแต่  $10^\circ$  ถึง  $70^\circ$  ความต่างศักย์ 30 kV และ กระแสไฟฟ้า 30 mA ความเร็วในการนับวัด  $0.04^\circ/\text{min}$  และศึกษาองค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ รุ่น XRAY XUV-773 Vac ความต่างศักย์ 20 kV ระบบภายในสุญญากาศ จำนวนครั้งในการนับเฉลี่ยข้อมูล 9 ครั้ง ระยะห่างระหว่างหัววัดและตัวอย่าง 0.02 mm

**การทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์**

วิธีการทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  จะทดสอบในระบบปิดที่มีขนาด กว้าง 6 ยาว 8 และสูง 6 นิ้ว โดยในระบบจะมีเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์รุ่น Gravity: HCHO Sensor SKU: SEN0231 ติดตั้งอยู่ โดยในการทดสอบจะเริ่มจากทำให้ในระบบมีปริมาณความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ 5 ppm แล้วนำเส้นใยคอตตอนที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ใส่เข้าไปในระบบและปล่อยให้ตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่อยู่บนเส้นใยคอตตอนทำปฏิกิริยากับแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตรวจวัดปริมาณแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ลดลงแล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ลดลงจาก 5 ppm กับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อคำนวณค่าคงที่ของการกำจัด (t) ในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังสมการที่ 1 เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ (r) ในช่วงเวลาดังกล่าวตามสมการที่ 2 หลังจากนั้นเพื่อ



แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์ (n) ของเส้นใยคอตตอนที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ในระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 90 นาที ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ 3

$$y = C_{\text{initial}} e^{-x/t} + C_{\text{final}} \quad (1)$$

$$r = 1 - e^{-1/t} \quad (2)$$

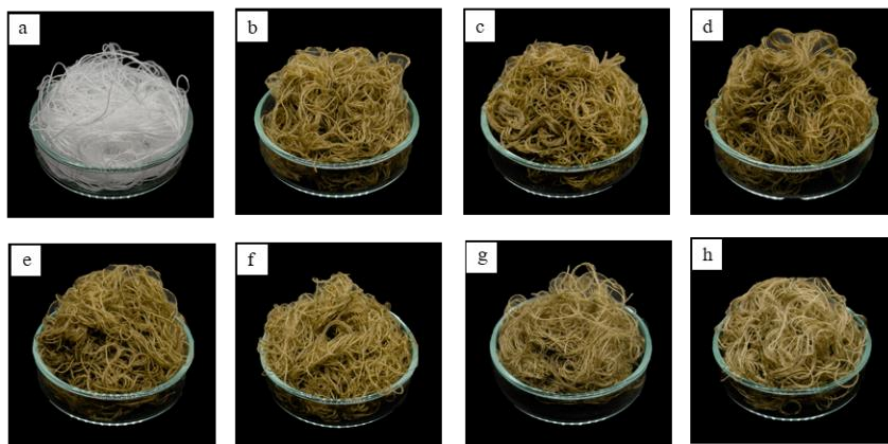
$$n = \left( \frac{C_{\text{initial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{initial}}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ	y	คือ	ความเข้มข้นของแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์ (ppm)
	x	คือ	เวลาที่ทำปฏิกิริยา
	$C_{\text{initial}}$	คือ	ความเข้มข้นของแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์เริ่มต้น (ppm)
	$C_{\text{final}}$	คือ	ความเข้มข้นของแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์สุดท้าย (ppm)
	r	คือ	อัตราการกำจัดแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์ (ppm/min)
	t	คือ	ค่าคงที่ของการกำจัด
	n	คือ	ประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอรั่มลดีไฮด์ (%)

#### 4. ผลและอภิปรายผล

##### ลักษณะเฉพาะของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา $MnO_2$

เส้นใยคอตตอนถูกนำมาเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  โดยเส้นใยคอตตอนทั้งก่อนและหลังการเคลือบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะของเส้นใยคอตตอนแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (a) เส้นใยคอตตอนก่อนการเคลือบ และ (b) หลังการเคลือบที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

(c) 4 ชั่วโมง

(d) 6 ชั่วโมง

(e) 8 ชั่วโมง

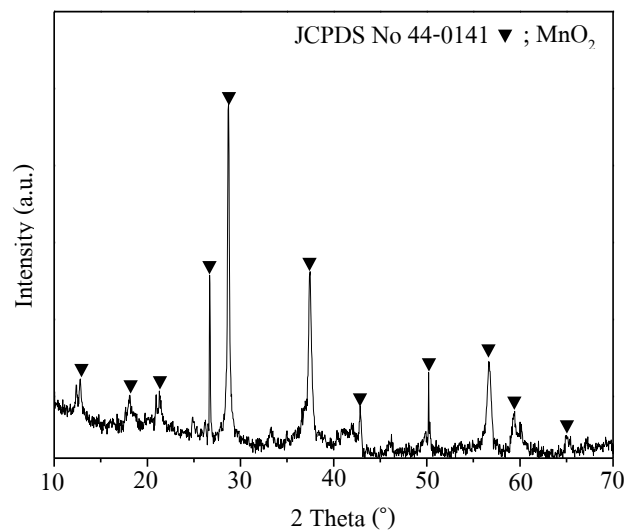
(f) 10 ชั่วโมง

(g) 12 ชั่วโมง

(h) 15 ชั่วโมง



จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะและสีของเส้นใยจะมีความแตกต่างกัน เส้นใยคอตตอนก่อนการเคลือบ มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยคอตตอนที่มิสีขาว เมื่อนำเส้นใยคอตตอนไปเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะพบว่าเส้นใยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล แสดงให้เห็นถึงการเคลือบของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  บนเส้นใยคอตตอน โดยขนาดของเส้นใยไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการเคลือบเส้นใยที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าสีของเส้นใยยังคงเหมือนเดิมแต่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับการเคลือบที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งขนาดที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยจะเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 4 ชั่วโมง ถึง 10 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาการเคลือบที่ระยะเวลา 12 และ 15 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเส้นใยมีขนาดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเคลือบเส้นใยที่ระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากดิจิทัลไมโครมิเตอร์ของเส้นใยคอตตอนก่อนการเคลือบมีค่าเท่ากับ 0.018 mm ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยคอตตอนหลังการเคลือบที่ระยะเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 15 ชั่วโมง เป็น 0.018, 0.020, 0.027, 0.029, 0.034, 0.025 และ 0.022 mm ตามลำดับ จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  สามารถเคลือบบนเส้นใยคอตตอนได้อย่างรวดเร็วและการเปลี่ยนแปลงของขนาดของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการคลายตัวของเส้นใยขนาดเล็กที่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย เนื่องจากความร้อนระหว่างการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อระยะเวลาในการเคลือบมากขึ้นเส้นใยบางส่วนจะเปื่อยและขาดมากขึ้นเป็นผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง อีกทั้งส่งผลให้การยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ได้จากกระบวนการเคลือบมาศึกษา โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2



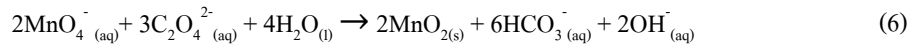
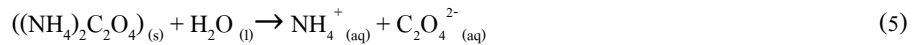
รูปที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  มีมุมการเลี้ยวเบนที่มุม  $12.760^\circ$ ,  $18.127^\circ$ ,  $21.440^\circ$ ,  $26.686^\circ$ ,  $28.880^\circ$ ,  $37.400^\circ$ ,  $42.880^\circ$ ,  $56.654^\circ$ ,  $59.521^\circ$  และ  $65.642^\circ$  ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิง (joint committee on powder diffraction standard; JCPDS) หมายเลข 44-0141 ที่เป็นผลึกของแมงกานีสไดออกไซด์ ชนิดแอลฟา(alpha-manganese;  $\alpha-MnO_2$ ) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นทรงแปดหน้า (octahedral) ที่เกิดจากสารตั้งต้น  $KMnO_4$  แตกตัวเป็นไอออนเปอร์แมงกานेट (ion permanganate;  $MnO_4^-$ ) ในขณะที่  $(NH_4)_2C_2O_4$  แตกตัว





เป็นไอออนออกซาเลต (ion oxalate;  $C_2O_4^{2-}$ ) เมื่อไอออนทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) กันส่งผลให้เกิดเป็นผลึกของ  $MnO_2$  (สุชานันท์ นุตวงศ์, 2560) ซึ่งสามารถเขียนปฏิกิริยาได้ตามสมการที่ 4 ถึง 6



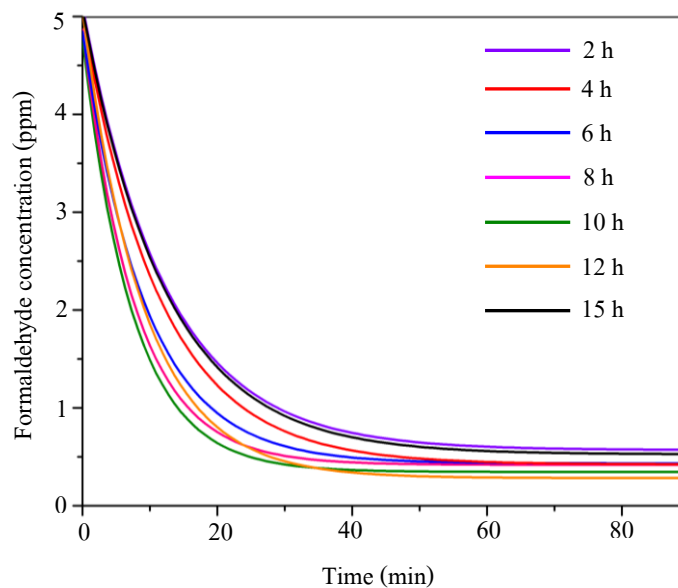
จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ได้จากกระบวนการเคลือบมาศึกษาหาองค์ประกอบด้วยเครื่องการเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งหาองค์ประกอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  จะมีธาตุองค์ประกอบหลักเป็นแมงกานีส (manganese; Mn) ที่มีมากถึงร้อยละ 96.12 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบธาตุองค์ประกอบของโพแทสเซียม (potassium; K) เพียงเล็กน้อยที่เป็นธาตุปนเปื้อนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์

ตารางที่ 1 แสดงธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่เตรียมได้

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Mn	96.12
K	3.88

### การทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา $MnO_2$

เมื่อนำเส้นใยคอตตอนที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน มาทดสอบการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น 5 ppm ในระบบปิดระยะเวลาการกำจัด 90 นาที ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์กับเวลาในการกำจัดแสดงดังรูปที่ 3

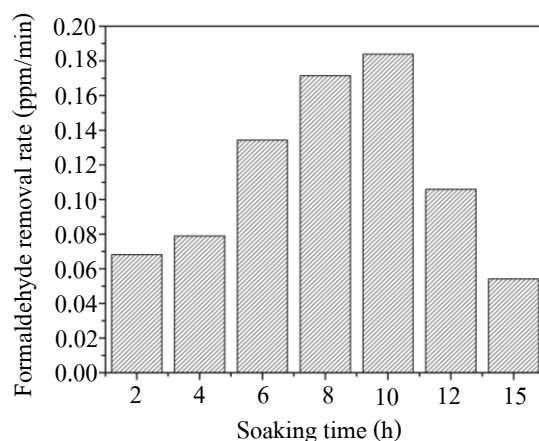


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์กับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน



จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่เวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ถึง 15 ชั่วโมงนั้นจะมีพฤติกรรมในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ การกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ppm จะมีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในช่วงระยะเวลา 0 ถึง 40 นาทีของการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์พบว่า ความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ 5 ppm มีการลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเหลือน้อยกว่า 0.79 ppm หลังจากนั้น จะลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าน้อยกว่า 0.50 ppm ในช่วงระยะเวลาในการกำจัด จาก 40 ถึง 90 นาที ซึ่งการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเป็นผลมาจากในระบบปิด มีความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์สูงส่งผลให้มีโอกาสในการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี แต่เมื่อ ความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำลงส่งผลให้โอกาสในการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยลงด้วย

จากข้อมูลในรูปที่ 3 สามารถหาสมการการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลในช่วงเวลา 0 ถึง 40 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เข้าสู่ภาวะคงที่ เพื่อคำนวณหาอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่เวลาแตกต่างกันตามสมการที่ 2 โดยอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่คำนวณได้ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  แสดงดังรูปที่ 4

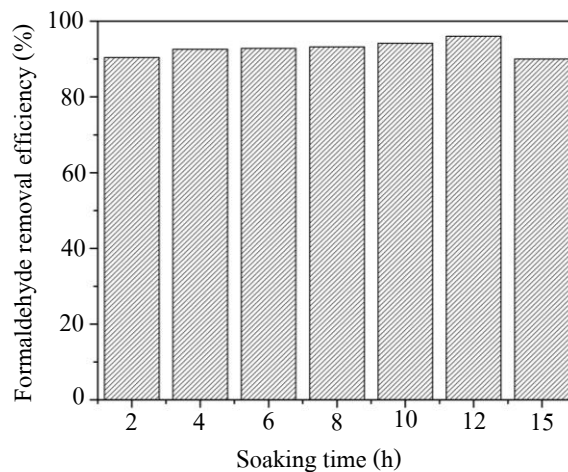


รูปที่ 4 อัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ใช้เวลาในการเคลือบแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  จาก 2 ถึง 10 ชั่วโมงนั้น อัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลาการเคลือบ 10 ชั่วโมงนั้น มีอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 0.1840 ppm/min ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเคลือบที่ 12 และ 15 ชั่วโมงนั้น อัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเป็น 0.1059 และ 0.0541 ppm/min ตามลำดับ โดยอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการสังเคราะห์ที่ระยะเวลานานช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  สามารถยึดเกาะบนเส้นใยคอตตอนได้มากขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เส้นใยคอตตอนได้รับความเสียหายส่งผลให้การยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ลดลง ซึ่งเห็นได้ชัดในเส้นใยคอตตอนผ่านการเคลือบที่เวลา 12 และ 15 ชั่วโมง



อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลา 10 ชั่วโมงจะมีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 40 นาที เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่เวลาในการเคลือบต่างกันจึงได้ทำการทดลองการกำจัดตลอดระยะเวลา 90 นาที แล้วคำนวณค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ตามสมการที่ 3 พบว่าค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเคลือบตั้งแต่ 2 ถึง 12 ชั่วโมงพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 90.40 เป็นร้อยละ 96.00 ในขณะที่การเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลา 15 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดมีการลดลงเหลือร้อยละ 90.00 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ของเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ใช้เวลาในการเคลือบแตกต่างกัน

##### 5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  เพื่อกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  สามารถสังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี และสามารถเคลือบลงบนเส้นใยคอตตอนได้ โดยระยะเวลาในการเคลือบที่มากขึ้น ส่งผลให้การยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  และอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาในการกำจัด 40 นาทีนั้นเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  เป็นเวลา 10 ชั่วโมงมีอัตราการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์สูงสุด อย่างไรก็ตามการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระยะเวลา 90 นาทีนั้นเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ที่ระยะเวลา 2 ถึง 15 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้งานเส้นใยคอตตอนที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  ในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ขึ้นอยู่กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของระบบที่นำไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณของเส้นใยและตัวเร่งปฏิกิริยา  $MnO_2$  เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง





### เอกสารอ้างอิง

- ธนาวุฒิ สุราษฎร์มณี. (2561). อันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์ในสำนักงานและที่พักอาศัย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, 2(12), 130-136.
- สุชานันท์ นุตวงษ์. (2560). การสังเคราะห์  $MnO_2$  ที่เคลือบลงบนไฮดรอกซีอะพาไทต์สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- Jinlong, W., Rizwangul, Y., Jinge, L., Peilin, L., Pengyi, Z. and Jeonghyun, K. (2015). In situ Synthesis of Manganese Oxides on Polyester Fiber for Formaldehyde Decomposition at Room Temperature. *Applied Surface Science*, 357(1), 787-794. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.109>
- Jonathan, M., Eleni, D., Loretta, J., Frank, N., Yuan, C., Daniel, J., Jingkun, J., Meng, L., William, M., Xiaohui, Q. and Qiang, Z. (2018). Contribution of Hydroxymethane Sulfonate to Ambient Particulate Matter: A Potential Explanation for High Particulate Sulfur During Severe Winter Haze in Beijing. *Advancing Earth and Space science*, 45(21), 11969-11979. <https://doi.org/10.1029/2018GL079309>
- Ramesh, T., Saravanamuthu, V. and Shik, M. (2008). A Review on UV/TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Oxidation Process. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(1), 64-72. Retrieved form <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-008-0011-8>
- Sekine, Y. (2002). Oxidative Decomposition of Formaldehyde by Metal Oxides at Room Temperature. *Atmospheric Environment*, 36(35), 5543-5547. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00670-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00670-2)
- Shengnan, G., Wenzhi, L., Jianru, M., Yanyan, L., Yuanshuai, Z., Qifu, H. and Xiaomeng, D. (2018). A Review of the Preparation and Applications of MnO<sub>2</sub> Composites in Formaldehyde Oxidation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 66(1), 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.05.023>
- World Health Organization. (2006). *The World Health Report 2006: Working Together for Help*. France: WHO Press.