



การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองระบบปิด ที่มีแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องด้วยโอโซน

Treatment of Gaseous Formaldehyde with Continuous Source in a Closed Modeling Room Using Ozonation

Wipada Dechapanya* and Sanpawoot Nontula**

วิภาดา เดชะปัญญา* และ สรรพาวุธ นนท์ตุลา**

*ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

**สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*E-mail : wipadadechapanya@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองแบบปิดที่มีการปลดปล่อยของแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องโดยใช้โอโซน และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ โดยก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกเตรียมขึ้นจากฟอร์มาลีน เกรดงานวิเคราะห์ ในห้องเตรียมสารทำจากกระจก ขนาด $1.15 \times 1.15 \times 1.15$ ลูกบาศก์เมตร ต่อตรงไปยังห้องจำลองทำจากกระจกแบบปิด ขนาด $1.2 \times 1.2 \times 1.8$ ลูกบาศก์เมตร และภายในติดตั้งถังปฏิกรณ์ทำจากกระจกขนาด $25 \times 40 \times 15$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์และอัตราการพ่นโอโซน โดยแปรผันค่าความเข้มข้นเริ่มต้นและอัตราการพ่นโอโซนที่ 5, 7.5, 10 และ 15 พีพีเอ็ม และ 300 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยใช้อัตราการไหลของอากาศประมาณ 5 ลิตรต่อนาที เวลาในการบำบัดประมาณ 170 นาที ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ แสดงให้เห็นว่า อัตราการพ่นโอโซนที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด 100% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 5 พีพีเอ็ม และจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์

คำสำคัญ : ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์; โอโซน; ห้องจำลองแบบปิด; แหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่อง

Abstract

This research aims to study the treatment of gaseous formaldehyde in a closed modeling room with continuous source using ozonation. The kinetics study of formaldehyde treatment was also included in this work. Gaseous formaldehyde was prepared from analytical grade formalin in a glass preparation room with the dimension of $1.15 \times 1.15 \times 1.15 \text{ m}^3$ which is directly connected to the glass modeling room with the dimension of $1.2 \times 1.2 \times 1.8 \text{ m}^3$. The glass reactor with the dimension of $25 \times 40 \times 15 \text{ cm}^3$ was installed in the modeling room. Factors affecting the treatment of gaseous formaldehyde studied included initial concentration of formaldehyde and dosage of ozone. The initial concentrations and ozone dosages were varied as 5, 7.5, 10 and 15 ppm and 300 and 1,000 mg/hr, respectively. The air flow rate was set at about 5 L/min and the treatment time was around 170 min. Results from treatment efficiency of formaldehyde revealed that at 5 ppm formaldehyde initial concentration and ozone dosage of 1,000 mg/hr yielded the highest efficiency of 100%. The kinetics of formaldehyde treatment follows the zero order reaction.

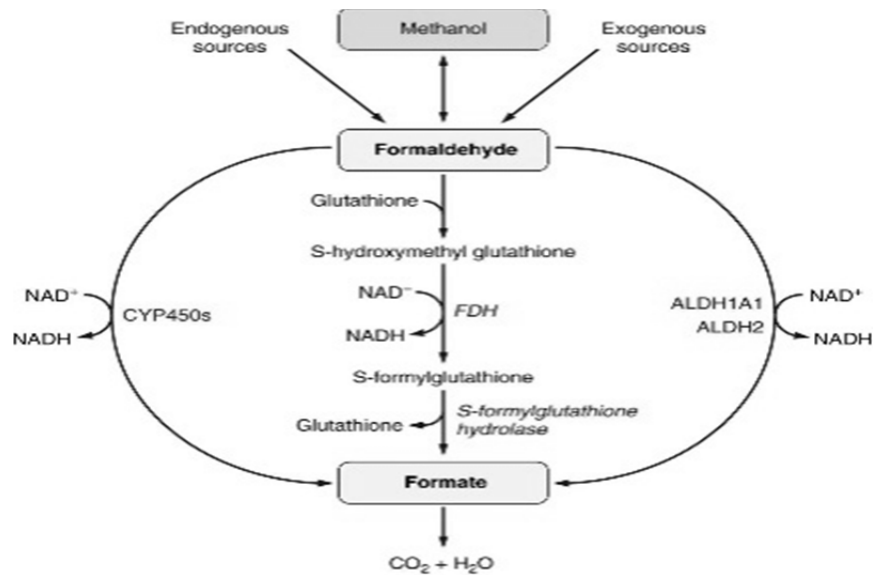
Keywords : gaseous formaldehyde; ozone; closed modeling room; continuous source

บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (CH_2O) จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดหนึ่ง (Volatile Organic Compound) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปก๊าซเนื่องจากเป็นสารที่ระเหยง่ายจึงเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลีน [1] ปัจจุบันถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรม รวมถึงด้านการแพทย์ที่ใช้สำหรับรักษาหรือชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์เนื้อเยื่อต่างๆ ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง พบว่า ปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจากการระเหยของสารฟอร์มาลีนมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐาน TWA ของ OSHA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.75 พีพีเอ็ม ถึง 20 เท่า [2] จึงเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญทำให้ผู้ที่ต้องทำงานสัมผัสโดยตรงกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้รับเข้าไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อสารฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายจะออกซิไดซ์ไปเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) หากได้รับเข้าสู่ร่างกายจำนวนมากจะทำให้เกิดภาวะกรดในร่างกายน (Metabolic acidosis) และกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ นอกจากนั้นจะถูก

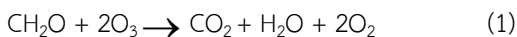
ขับออกทางลมหายใจในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจ ฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นฟอร์เมทและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสามารถเข้าไปรวมกับสารประกอบชีวโมเลกุลภายในร่างกายโดยผ่านทางกรดเตตระไฮโดรโฟลิก (Tetrahydrofolic acid) เพื่อไปรวมกับคาร์บอนในสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งกระบวนการเมแทบอลิซึมของฟอร์มาลดีไฮด์ในร่างกายมนุษย์แสดงดังรูปที่ 1 หากร่างกายได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้รับ อีกทั้งยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ [3]

เทคโนโลยีการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่แต่เดิม อาทิ เทคโนโลยีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เทคโนโลยีการดักด้วยละอองสารเคมี (Chemical Scrubbing) เทคโนโลยีเทอร์มอลออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) และเทคโนโลยีไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) [4] บางเทคโนโลยีมีราคาสูงและบางเทคโนโลยียังมีข้อจำกัดที่ต้องนำมาฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ก่อนการบำบัดครั้งต่อไป



รูปที่ 1 กระบวนการเมแทบอลิซึมของฟอร์มัลดีไฮด์ [3]

ดังนั้นการบำบัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีโอโซนเนชัน (Ozonation) จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ และตัวโอโซนเองมีแนวโน้มที่จะสลายตัวกลับเป็นออกซิเจนได้ง่าย มีครึ่งชีวิตเพียง 12 ชั่วโมงในบรรยากาศ [5] และยังเป็นตัวออกซิไดซ์รุนแรงโดยจะทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์อย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้าย (Final products) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำดังแสดงในสมการที่ 1 [6]



ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อีกทั้งยังเป็นการทำลายสารพิษโดยไม่หลงเหลือสารตกค้าง ซึ่งทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ และมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายหลักได้แก่ ค่าเครื่องผลิตโอโซนและค่าไฟฟ้า โดยราคาของเครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ไฟฟ้า 220 VAC กำลังไฟ 90 วัตต์ และมีอัตราการผลิตโอโซน 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง อยู่ที่ประมาณ 12,000 บาท โดยเครื่องผลิตโอโซนใช้ไฟฟ้า 0.09 หน่วยต่อชั่วโมง ซึ่งการคำนวณค่าไฟฟ้าจะอิงตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (Time of Use Rate : TOU) สำหรับเครื่องผลิตโอโซน ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 0.09 หน่วยต่อชั่วโมง โดยค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6246 บาท (Peak) [7] ดังนั้นคิดเป็นค่าไฟฟ้าต่อชั่วโมงประมาณ 0.33 บาท เมื่อ

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างเทคโนโลยีโอโซนกับเทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ทั่วไป เช่น การดูดซับ โดยตัวดูดซับที่ใช้เช่นถ่านกัมมันต์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด มีราคาอยู่ที่ประมาณ 40-60 บาทต่อกิโลกรัม [8] แต่เมื่อใช้ไประยะหนึ่งจะต้องนำไปฟื้นฟูสภาพหรือนำไปกำจัด ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของจิตติ พละกุล [9] พบว่าค่า Adsorption capacity ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากแกลบโดยวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH เพื่อใช้ในการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ มีค่าประมาณ 394.25 ± 3.94 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าต่ำสุดของความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องจำลองระบบปิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ที่ 5 พีพีเอ็ม เมื่อคำนวณเป็นมวลของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องจำลองจะมีค่าประมาณ 900 กรัม ซึ่งต้องใช้ตัวดูดซับค่อนข้างมาก และต้องเปลี่ยนตัวดูดซับใหม่เมื่อตัวดูดซับอิ่มตัวแล้ว ดังนั้นแล้วเทคโนโลยีโอโซนจึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก ในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศด้วยโอโซน

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมีที่ใช้

สารเคมีที่ใช้ คือ สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (CH_2O) ความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก เกรดงานวิเคราะห์

การเตรียมความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

ภายในห้องเตรียมสารเคมี (A) ที่ทำจากกระจก ขนาด $1.15 \times 1.15 \times 1.15$ ลูกบาศก์เมตร ประกอบไปด้วย ถ้วยกระเบื้องใส่สารเคมี และพัดลมกวนผสมโดยทำการ ปิเปตสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ลงในถ้วยกระเบื้อง (1) แล้ว นำไปวางไว้ในห้องเตรียมสารเคมี พร้อมเปิดการทำงานของ พัดลม (2) โดยความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้มีค่าเท่ากับ 35 รอบต่อวินาที (เมื่อนำไปคำนวณหาค่า Reynolds number of mixing พบว่ามีค่าประมาณ 141,432.25 ซึ่งมี รูปแบบการไหลเป็นแบบปั่นป่วน) เพื่อให้เกิดการผสมของ อากาศภายในห้องอย่างสมบูรณ์ หลังจากสารละลายระเหย จนหมด ทำการเปิดปั๊มดูดอากาศจากห้องเตรียมสารเข้าสู่ ห้องจำลองแบบปิด (B) แสดงดังรูปที่ 2

ขั้นตอนการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโอโซน

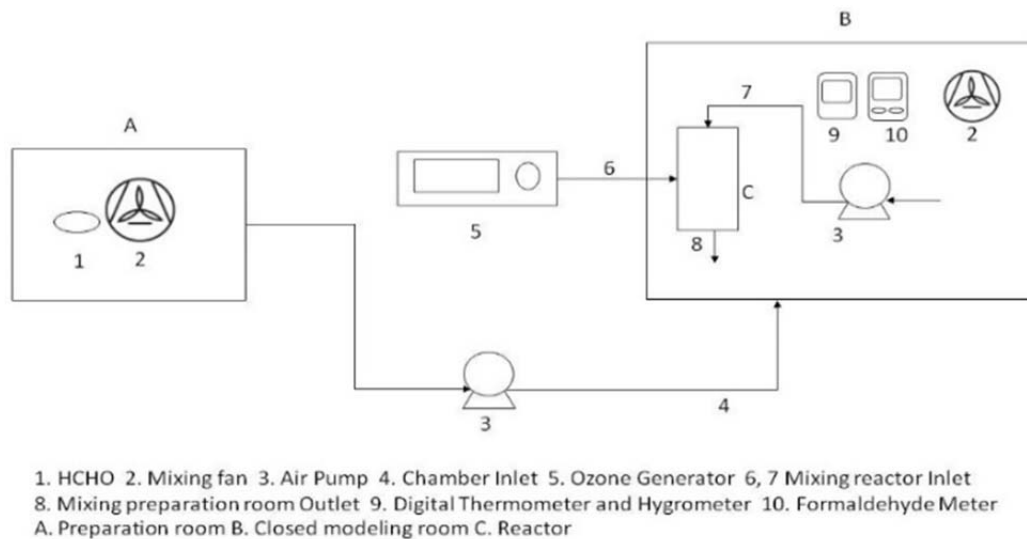
ภายในห้องจำลองแบบปิดทำจากกระจก ขนาด $1.2 \times 1.2 \times 1.8$ ลูกบาศก์เมตร ประกอบไปด้วย ถังปฏิริยา (C) ทำจากกระจก ขนาด $25 \times 40 \times 15$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เครื่องมือวัดความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เครื่องมือวัด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล และพัดลม หลังจากเปิดปั๊มดูดอากาศจากห้องเตรียมสารเข้าสู่ห้อง จำลองอย่างต่อเนื่อง เริ่มวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ ฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลอง และรอจนได้ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ ได้แก่ 5, 7.5, 10 และ 15 พีพีเอ็ม จึงเปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (5) ซึ่งต่อตรงไปยังถัง ปฏิริยา และเปิดปั๊มดูดอากาศ เพื่อดูดอากาศจากห้อง จำลองเข้าไปถังปฏิริยาทำให้เกิดการบำบัด โดยวิธี

โอโซนเนชั่น โดยใช้เวลาทั้งหมด 300 นาที และควบคุม อัตราการไหลอยู่ที่ 5 ลิตรต่อนาที ตลอดเวลาทำการบำบัด มีการตรวจวัดค่าความเข้มข้น ความชื้นสัมพัทธ์ และ อุณหภูมิ เพื่อหาประสิทธิภาพ และจลนพลศาสตร์ ของการ บำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ดังแสดงในรูปที่ 2

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องจำลอง ระบบปิด

ตารางที่ 1 สรุปค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซ ฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ รวมถึงอุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศในห้องจำลองระบบปิด สำหรับชุด ทดลองบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เครื่องผลิตโอโซนที่ อัตราการผลิต 300 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องจำลองมีค่าประมาณ 28.89 ± 1.66 และ 69.5 ± 7.76 ตามลำดับ ซึ่งการทดลอง ชุดนี้ทำในช่วงฤดูฝนทำให้อุณหภูมิไม่สูงมากนักและมีค่า ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศค่อนข้างสูง สำหรับ ชุดทดลองบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เครื่องผลิตโอโซน ที่อัตราการผลิต 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ค่าเฉลี่ย อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศในห้อง จำลองมีค่าประมาณ 32.00 ± 1.58 และ 58.75 ± 5.36 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลองนี้ทำในช่วงปลายฤดูร้อนซึ่ง เป็นช่วงที่ยังไม่มีฝนตก ดังนั้นอุณหภูมิจึงสูงกว่าในอีกชุด ทดลองหนึ่ง ส่งผลให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ต่ำกว่า



รูปที่ 2 แผนผังรวมของระบบบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโอโซน

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจำลองแบบปิด

อัตราการพ่นไอโซน (มก./ชม.)	300				1,000			
ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (พีพีเอ็ม)	5	7.5	10	15	5	7.5	10	15
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29	31.2	28.8	26.5	30	34	31	33
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	70	57	73	78	64	55	64	52

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยใช้อัตราการพ่นไอโซน 300 มก./ชม.

ในชุดการทดลองนี้ใช้อัตราการพ่นไอโซนที่ 300 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง มีความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ที่ 5, 7.5, 10 และ 15 พีพีเอ็ม อัตราการไหลของอากาศในห้องจำลองเท่ากับ 5 ลิตรต่อวินาที โดยทำการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในห้องจำลองตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา พบว่า มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในช่วงร้อยละ 57 ถึง 78 และ 26.5 ถึง 31.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเริ่มดูดอากาศจากห้องเตรียมสารเข้าสู่ห้องจำลองระบบปิด พบว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองเพิ่มขึ้นและเข้าสู่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาประมาณ 130 นาที จากนั้นเมื่อเริ่มบำบัด พบว่าความเข้มข้นลดลงโดยประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ $33.82 \pm 0.38\%$ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 พีพีเอ็ม เวลาที่ใช้ในการบำบัดประมาณ 170 นาที โดยประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไอโซนที่ใช้มีค่าค่อนข้างต่ำทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3

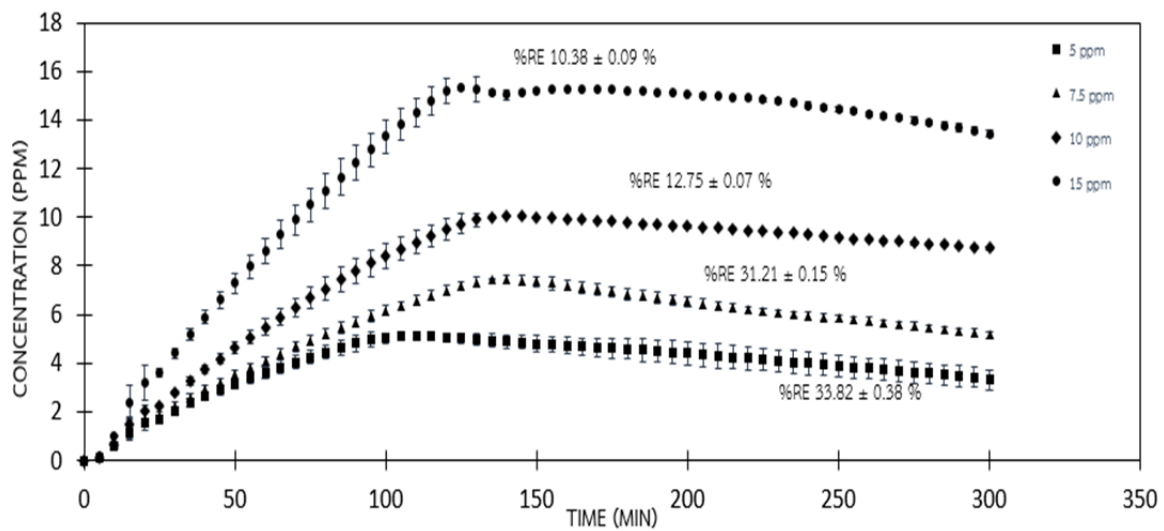
ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยใช้อัตราการพ่นไอโซน 1,000 มก./ชม.

ในชุดการทดลองนี้ใช้อัตราการพ่นไอโซนที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่าเดิม ผล

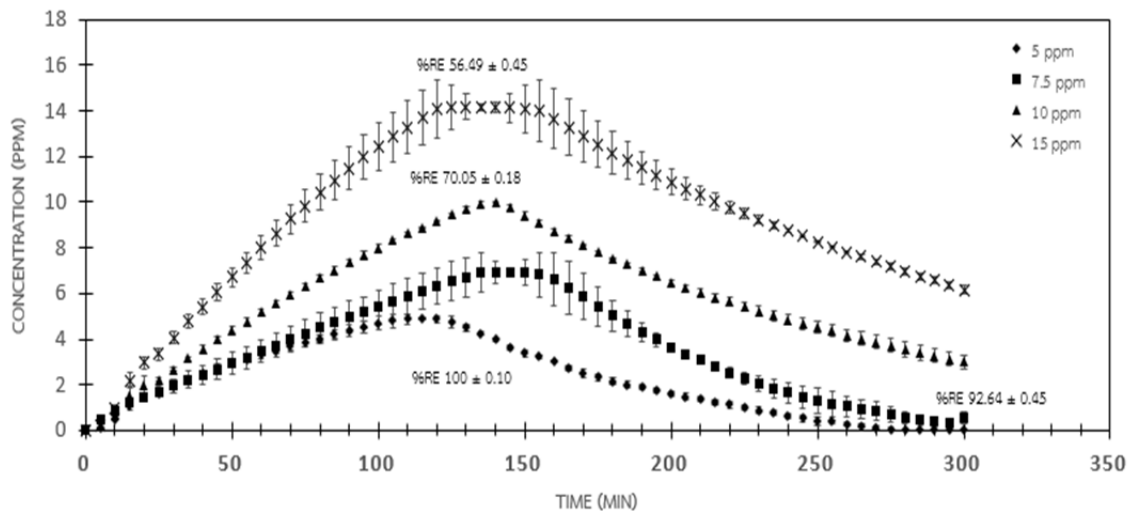
การตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในห้องจำลองพบว่า มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในช่วงร้อยละ 52 ถึง 64 และ 30 ถึง 34 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเริ่มดูดอากาศจากห้องเตรียมสารเข้าสู่ห้องจำลองระบบปิด พบว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองเพิ่มขึ้นและเข้าสู่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาประมาณ 120 นาที จากนั้นเมื่อเริ่มบำบัด พบว่าความเข้มข้นลดลงโดยประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ $100 \pm 0.1\%$ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 พีพีเอ็ม เวลาที่ใช้ในการบำบัดประมาณ 160 นาที โดยประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ดังแสดงในรูปที่ 4

จลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ไอโซน

ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองระบบปิด โดยใช้อัตราการพ่นไอโซนที่ 300 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และ 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง สำหรับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ 5, 7.5, 10 และ 15 พีพีเอ็ม ดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า จลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้อัตราการพ่นไอโซนที่ 300 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่า k ของปฏิกิริยาการบำบัดที่อัตราการพ่นไอโซน 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง สูงกว่าที่อัตราการพ่นไอโซน 300 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 3 การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่อัตราการฟลักซ์ 300 มก./ชม.



รูปที่ 4 การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่อัตราการฟลักซ์ 1,000 มก./ชม.

ตารางที่ 2 จลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโอโซน

อัตราการฟลักซ์ (มก./ชม.)	300				1,000			
ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (พีพีเอ็ม)	5	7.5	10	15	5	7.5	10	15
อันดับปฏิกิริยา	ปฏิกิริยาอันดับศูนย์							
k (โมลต่อลิตร-นาท)	0.0080	0.0163	0.0075	0.0073	0.0454	0.0657	0.0577	0.0610
r^2	0.9958	0.9964	0.9952	0.9608	0.9921	0.9879	0.9962	0.9819

สรุปผลการศึกษา

การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองแบบปิดที่มีแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการพ่นไอโซนที่ 300 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดเพียงเล็กน้อย หากเพิ่มอัตราการพ่นไอโซนขึ้นเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น และจลนพลศาสตร์ของการบำบัดเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่โดยไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นในปฏิกิริยา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่วิจัย ตลอดจนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Industrial Works. 2010. Manual: Disposal of Highly Toxic Chemical; Formaldehyde. (in Thai)
- [2] Jatuporn Sakulteiw and Oranut Tangyotwilai. 2012. Quantity of Gaseous Formaldehyde in the Gross Anatomy Laboratory, Ubon Ratchathani University. (in Thai)
- [3] Adul Bandhukul (Author). Wilawan Juengprasert and Surajit Suntorntham (Editors). 1999. Occupational Medicine, Toxicology; Formaldehyde, Bangkok: Cyber press, 145-150. (in Thai)
- [4] Bureau of Environmental Health, Department of Health, Ministry of Public Health. 2012. Academic Manual: Volatile Organic Compounds in Atmosphere, 1st edition, Bangkok: WVO Office of Printing Mill, The War Veterans Organization of Thailand under Royal Patronage of His majesty the King. (in Thai)
- [5] Horvath, M., Bilitzky, L. and Huttner, J. 1985. Ozone. Budapest : Elsevier.
- [6] Jia Wei Li, Kuan Lun Pan, Sheng Jen Yu, Shaw Yi Yan and Moo Been Chang. 2014. Removal of formaldehyde over $Mn_xCe_{1-x}O_2$ catalysts: Thermal catalytic oxidation versus ozone catalytic oxidation. J. Environ. Sci. 2003-2010.
- [7] Provincial Electricity Authority (PEA), accessed in December 2016. <http://www2.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#6>
- [8] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, accessed in December 2016. http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_oxidation.htm
- [9] Jittree Palakun. 2009. Adsorption of Formaldehyde Vapor on Activated Carbon Derived from Rice Husk, Chulalongkorn University. (in Thai)