

การบำบัดก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ในห้องเรียนกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน

FORMALDEHYDE TREATMENT WITH OZONE IN ANATOMY CLASSROOM

ธิดาพร ศรีไทย¹ ปาริชาติ จันเสน¹ สร้อยทอง พาลพล¹ ปวีณา ลิ้มปิที่ปการ^{2*} และวิภาดา เดชะปัญญา³
Thidaporn Srithai¹, Parichat Jansen¹, Soitong Panpon¹, Pawena Limpiteeprakan^{2*} and Wipada Dechpanya³

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Corresponding author, Email: pawena.l@ubu.ac.th

Received: 19 June 2021

Revised: 18 November 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

การเรียนการสอนของอาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานที่ตึกกายวิภาคศาสตร์ มักจะได้รับผลกระทบจากการได้รับสัมผัสก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเปิดผ่าร่างอาจารย์ใหญ่ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ในระหว่างเรียน ส่งผลให้ก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ระเหยและแพร่กระจายไปสู่ห้องอื่น ๆ ที่อยู่ในตึกกายวิภาคศาสตร์ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำโอโซนมาทดลองใช้ในการบำบัดก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ในห้องเรียน โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และศึกษาประสิทธิภาพของการใช้โอโซนในการบำบัดก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย ชุดเครื่องฟอกอากาศ เครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์แบบพกพา Formaldehyde Monitor รุ่น HFX 205 และเครื่องวัดความเร็วลม Hotwire Anemometer ทำการตรวจวัดแบบพื้นที่ (Area Sampling) เป็นค่าพื้นฐานก่อนทำการบำบัด โดยใช้ออกซิเจนในการผลิตโอโซนจากถังออกซิเจนบริสุทธิ์ ทำการตรวจวัดและบำบัดในวันที่มีการเปิดร่างอาจารย์ใหญ่ ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ ปริมาตรห้อง และอัตราการฟุ้งโอโซนที่แตกต่างกัน ผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์ในห้องเรียนด้วยโอโซน คือ อัตราการฟุ้งโอโซนที่ 1,100 mg/hr ความเร็วพัดลม 2.11 m/s ที่รัศมีการดูดอากาศ 7 เมตร ใช้เวลาในการบำบัดอย่างน้อย 25 min ถึงจะทำให้ความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ 89.8%

คำสำคัญ: ก๊าซฟอรั่มลดีไฮด์, การบำบัดด้วยโอโซน, ประสิทธิภาพการบำบัด, ตึกกายวิภาคศาสตร์

ABSTRACT

The teaching and learning of professors, students, and staff working in anatomy buildings are often affected by formaldehyde exposure. The dissection of the cadaver in the anatomy laboratory during the study was the main source of formaldehyde emission resulting in the evaporation and dispersion of formaldehyde to other rooms in the building. For this reason, ozone was used for treatment of gaseous formaldehyde in the classrooms. This study aims to investigate the appropriate conditions and the effectiveness of ozone for treatment of gaseous formaldehyde

in classrooms located in the anatomy building of one university. The instruments included the air cleaner, portable formaldehyde monitor, HFX 205 model, and Hotwire Anemometer. Area sampling was performed as a baseline before treatment. Pure oxygen was utilized to produce ozone. Measurements and treatment were performed on the day of the corpse's body opening. The variables that were modified were room volume and the ozone dosage rate. The results showed that the optimum conditions for the treatment of gaseous formaldehyde in the classrooms using ozonation were the ozone dosing rate of 1,100 mg/hr at a fan speed of 1.80 m/s with a suction radius of 7 m. It takes at least 25 minutes to bring the concentration below the standard, with the highest treatment efficiency of 89.8%.

Keywords: Formaldehyde, Ozonation, Treatment efficiency, Anatomy building

1. บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารประกอบอินทรีย์ กลุ่มอัลดีไฮด์ มีสูตรเคมี คือ CH_2O หรือ HCHO ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความดันปกติจะมีสถานะเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ติดไฟได้ ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อรวมตัวกับอากาศ และออกซิเจนสามารถเกิดการระเบิดได้ มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ ในทางการค้านิยมใช้อยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลิน (Formalin) ซึ่งก็คือสารละลายที่ประกอบด้วยก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ประมาณ 37- 40 % ในน้ำ และมีการเติมสารละลายเมทานอลประมาณ 10-15 % เพื่อป้องกันการเกิดโพลิเมอร์พาราฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่า [1] ในปัจจุบันฟอร์มาลินถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรม รวมถึงด้านการแพทย์ที่ใช้สำหรับรักษาหรือชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง พบว่าปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกิดจากการระเหยจากร่างอาจารย์ใหญ่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานขีดจำกัดปริมาณการรับสัมผัสตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง (Time weight average in 8 hr work; TWA) ของหน่วยงาน The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.75 ppm [2] จึงเป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมผัสโดยตรงกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เพราะเมื่อร่างกายรับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปก๊าซหรือไอ จะทำให้เกิดการระคายเคืองของเนื้อเยื่อทางเดินหายใจ หากสัมผัสโดนผิวหนังเฉพาะที่จะทำให้การระคายเคืองหรืออักเสบ หากรับประทานในรูปของเหลวจะทำให้มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง บัสสาวะเป็นเลือด บัสสาวะน้อย เกิดภาวะเลือดเป็นกรด (Metabolic acidosis) อีกทั้งยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ [3] จากการสอบถามนักศึกษาแพทย์และอาจารย์ผู้สอนระหว่างการเรียนปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง อาการที่พบมากที่สุดคือ เมื่อมีกลิ่น คิดเป็น 82.7-87.8% รองลงมาคือ แสบตา คิดเป็น 66.2-85.0% และแพ้ไหม้จมูก คิดเป็น 62.5-81.1% [4]

ในมหาวิทยาลัยหลาย ๆ แห่งที่มีการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ เช่น แพทย์ เภสัช และพยาบาล จะมีห้องเรียนกายวิภาคศาสตร์ที่ใช้ในการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งบุคคลกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการได้รับสัมผัสก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มาจากการผ่าร่างอาจารย์ใหญ่ในระหว่างเรียน ซึ่งเกิดจากส่วนผสมฟอร์มาลินที่ใช้ในการรักษาสภาพโดยทำการแช่โลงศพให้ทั่วร่างกายของร่างอาจารย์ใหญ่ สงกรานต์ ปันตะภา ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการมหากายวิภาคศาสตร์ ตึกกายวิภาคศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งขณะที่มีการเรียนการสอน จำนวน 10 จุด พบว่า ในห้องเรียนขณะที่มีการเรียนการสอนนั้น มีค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในช่วง 0.09 - 3.19 ppm โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 ppm [5] ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ทุกจุดตามมาตรฐาน Time weight average in 8 hr. Work (TWA) ของหน่วยงาน National Institute for Occupational Safety and Health ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.016 ppm [6] หากความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 0.155 ppm จะพบความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงอายุ (78ปี) เท่ากับ 2.16×10^{-7} [7]

ที่ผ่านมาเทคโนโลยีการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อยู่หลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การดักด้วยละอองสารเคมี (Chemical Scrubbing) เทอร์มอลออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) และไบโอฟิลเตอร์ (Bio filter) บางเทคโนโลยีมีราคาสูงและบางเทคโนโลยีมีข้อจำกัดที่ต้องนำสารมาฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ก่อนการบำบัดครั้งต่อไป แต่สำหรับการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีโอโซนเนชั่น (Ozonation) เป็นวิธีการที่ใช้โอโซนในการทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้าย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เพราะโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลืน สี ทำให้สามารถบำบัดกลิ่นให้กับน้ำและอากาศที่มีสิ่งเจือปนได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่น ๆ เพราะมีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชัน (Oxidation potential) สูงกว่าสารเคมีชนิดอื่น ๆ โดยคุณสมบัติเฉพาะตัวแล้ว โอโซนเป็นก๊าซพิษ มีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันสูงถึง 2.07 V มีการทำปฏิกิริยาที่รุนแรงกว่าสารชนิดอื่น ๆ มีผลกระทบต่อเกิดการระคายเคืองผิวหนัง ตา จมูก และจะทำลายเนื้อเยื่อปอด เกิดความระคายเคืองเมื่อหายใจเข้าไป ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เสียชีวิตได้ [8] แต่โอโซนมีช่วงเวลาสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาก่อนข้างเร็ว เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวได้ง่าย มีครึ่งชีวิตเพียง 12 hr. ในบรรยากาศ [9] จึงเป็นข้อได้เปรียบในด้านของการไม่มีสารตกค้าง และเมื่อสลายตัวจะกลายเป็นก๊าซออกซิเจน ที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และยังมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ทั่วไป

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน โดยใช้ชุดเครื่องฟอกอากาศที่นำมาจากการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ วิภาดา เตชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนท์ตุลา [2] เนื่องจากวิธีการบำบัดแบบโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อย่างรวดเร็ว เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับสัมผัสและผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นรูปแบบการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนก่อนการจัดการเรียนการสอนได้ ทั้งนี้ก็เพื่อความปลอดภัยของทั้งผู้สอนและผู้เรียน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับชุดเครื่องฟอกอากาศ ในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) เพื่อบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโอโซนจากชุดเครื่องฟอกอากาศ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัดในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อให้ได้สภาวะการบำบัดที่เหมาะสม

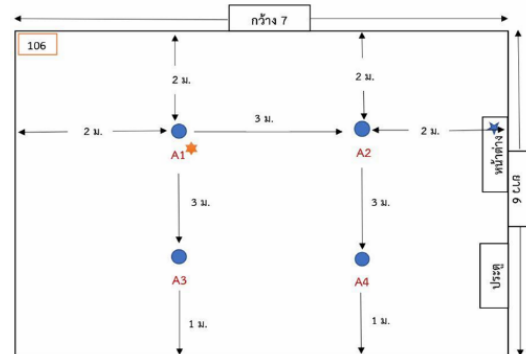
พื้นที่วิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่จริงในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์จำนวน 3 ห้อง ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1

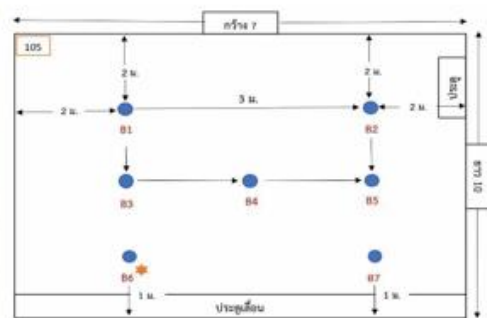
1) ห้องที่ 1 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึกกายวิภาคศาสตร์ซึ่งอยู่ติดกับห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีลักษณะเป็นห้องทึบ ไม่มีการระบายอากาศ ไม่มีหน้าต่าง ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 7 m ความยาว 6 m และมีความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 126 m³ (รูปที่ 1a)

2) ห้องที่ 2 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึกกายวิภาคศาสตร์ฝั่งทางทิศตะวันออกติดกับห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีลักษณะเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทตลอดเวลา มีแสงอาทิตย์เข้ามาภายในห้อง เนื่องจากบริเวณด้านหลังของห้องมีประตูกระจกใสบานเลื่อนยาวถึงพื้น และสามารถที่จะเปิดปิดได้ตลอดเวลา ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 7 m ความยาว 10 m และมีความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 210 m³ (รูปที่ 1b)

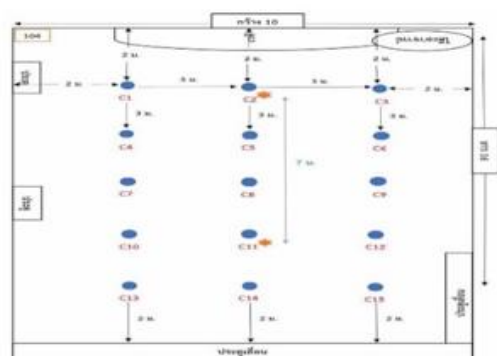
3) ห้องที่ 3 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึก มีลักษณะเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทตลอดเวลา มีแสงอาทิตย์เข้ามาภายในห้อง เนื่องจากบริเวณด้านข้างและด้านหลังของห้อง มีประตูกระจกใสบานเลื่อนยาวถึงพื้น และสามารถที่จะเปิดปิดได้ตลอดเวลา ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 10 m ความยาว 16 m และความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 480 m^3 (รูปที่ 1c)



รูปที่ 1a แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 1



รูปที่ 1b แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 2



รูปที่ 1c แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 3

หมายเหตุ : ● จุดตรวจวัดความเข้มข้น ★ จุดที่เลือกสำหรับการบำบัด

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ชุดเครื่องฟอกอากาศ เป็นเครื่องมือที่ต่อยอดมาจากการงานวิจัย วิภาดา เตชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนท์ตุลา [2] ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เครื่องกำเนิดโอโซน เป็นเครื่องที่ใช้ในการผลิตโอโซน สามารถปรับอัตราการฟุ้งโอโซนได้ 3 ค่า ซึ่งมีอัตราการฟุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 700, 1,100 และ 1,500 mg/hr โดยผลิตโอโซนจากก๊าซออกซิเจน

บริษัท ส่วนที่ 2 ถึงอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในรูปเครื่องฟอกอากาศ ภายในติดตั้งแผ่นกันเพื่อให้การไหลของอากาศเป็นแบบ plug flow ช่วยให้มีระยะเวลาสัมผัสและทำปฏิกิริยากับโอโซนนานขึ้น โดยความยาวของโซนในการทำปฏิกิริยามีระยะทางประมาณ 4.7 m และในเครื่องฟอกอากาศได้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศไว้ที่ด้านล่างของตัวเครื่อง ซึ่งสามารถปรับความเร็วพัดลมดูดอากาศเข้าสู่ชุดเครื่องฟอกอากาศได้หลายระดับ (รูปที่ 2a)

2. เครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แบบพกพา Formaldehyde Meter/Monitor ยี่ห้อ Hal Technology รุ่น HFX 205 (รูปที่ 2b)

3. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer Air Velocity Meter) รุ่น VT-100S (รูปที่ 2c)



a. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัด



b. เครื่องวัดปริมาณก๊าซ
รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



c. เครื่องวัดความเร็วลม

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของตึกกายวิภาคศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง
2. จัดทำหนังสือเพื่อขออนุมัติและทำการติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. เตรียมการเก็บข้อมูลและออกแบบการทดลอง ดังนี้
 - ศึกษาลักษณะภายในห้องเรียนแต่ละห้อง ได้แก่ ขนาดของห้อง ลักษณะทิศทางการไหลของอากาศในห้อง ช่องระบายอากาศ และการดูดอากาศ เพื่อกำหนดจุดที่จะตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ
 - ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ได้แก่ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ระยะเวลาการดูดอากาศของเครื่องฟอกอากาศ ความเร็วพัดลมในการดูดอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบำบัด โดยได้มีการจัดรูปเพื่อสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของควันรูป และวัดระยะรัศมีการดูดอากาศเข้าไปในชุดเครื่องฟอกอากาศ
 - กำหนดระยะเวลาตรวจวัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์พื้นฐานของแต่ละห้อง เพื่อจะได้เลือกตำแหน่งที่จะทำการตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ โดยเลือกจุดที่มีปริมาณการตรวจวัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด โดยตำแหน่งในการตรวจวัดมีระดับความสูงจากพื้น 75 cm เพราะเป็นตำแหน่งที่อยู่ในระดับเดียวกันกับการนั่งในชั้นเรียนของนักศึกษา และอยู่ในระดับการหายใจ (Breathing zone) ของผู้เรียน
 - ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์แบบพื้นที่ (Area sampling) เพื่อเตรียมการบำบัด หลักการทำงานของชุดเครื่องฟอกอากาศมีดังนี้ เครื่องจะผลิตโอโซนจากหลอดผลิตโอโซนโดยให้ออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อทำให้ออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว จากนั้นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวจะจับตัวกับก๊าซออกซิเจนอีกครั้งทำให้ได้ก๊าซโอโซนออกมา ในการบำบัดโอโซนจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งเมื่อทำการเปิดพัดลมดูดอากาศ อากาศใน

ห้องเรียนที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนอยู่จะถูกดูดเข้าไปในเครื่องฟอกอากาศ จากนั้นจะเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidize) สารดังกล่าวด้วยโอโซน ทั้งนี้โอโซนเองเป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing Agent) เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วอากาศที่ผ่านการบำบัดและโอโซนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกปล่อยออกมาที่ด้านบนของเครื่องฟอกอากาศ

4. เริ่มการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์ ดังนี้

- ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ แบบพื้นที่ (Area Sampling) โดยเครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แบบพกพา เป็นระยะเวลา 8 hr ของทั้ง 3 ห้องเรียน จำนวน 2 ซ้ำ และนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นค่าพื้นฐานก่อนการบำบัด เน้นการตรวจวัดในวันที่มีการฝึกปฏิบัติการและมีการเปิดร่างอาจารย์ใหญ่เพื่อทำการศึกษา

- ทดสอบอัตราการฟอนโอโซน (Ozone dosage rate) จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 700, 1,100 และ 1,500 mg/hr เพื่อหาอัตราการฟอนโอโซนที่สามารถบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีที่สุดในระยะเวลาที่เท่ากัน โดยจะทำบำบัด 60 min และตรวจวัดทุก ๆ 5 min โดยเลือกใช้ห้องเรียนที่ 3 เป็นตัวแทนซึ่งเป็นห้องที่มีขนาดเล็ก

- ทำการติดตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ โดยวางเครื่องในจุดที่พบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด และทำการกำหนดจุดตรวจวัดของห้องเรียนดังแสดงในตารางที่ 1 จุดตรวจวัดนี้กำหนดโดยให้เป็นจุดที่ตรงกับช่องปล่อยลมเย็นของเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะเป็นแบบฝังเพดาน มีระยะห่างจากกำแพง 2 m ระยะห่างระหว่างการวัดแต่ละจุดเท่ากับ 3 m หลังการตรวจวัดผู้วิจัยจะทำการเลือกจุดที่มีค่าผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุดของแต่ละพื้นที่ เพื่อเป็นจุดตัวแทนในการติดตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าจุดตรวจวัดและจุดที่เป็นตัวแทนในการบำบัดของห้องเรียน

ห้องเรียน	วันที่ตรวจวัด	เวลาที่ตรวจวัด	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ตำแหน่งที่เลือกสำหรับบำบัด
1	13/8/2563	09.00-12.00 น.	4	A ₁
2	15/8/2563	09.00-10.00 น.	7	B ₆
3	16/8/2563	09.00-10.00 น.	15	C ₂ , C ₁₁

- รวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัด ทั้งนี้ผั่งขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน จะนำไปเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยใช้ค่ามาตรฐานที่กำหนดตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดของความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 hr (TWA; Time Weighted Average) ไว้เท่ากับ 0.75 ppm และค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL; Short Term Exposure Limit) 15 min เท่ากับ 2 ppm

ข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ก่อนและหลังการบำบัดที่ใช้ในการศึกษา คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ หน่วยเป็นร้อยละ ดังสูตร

$$RE (\%) = [(A-B) \times 100]/A$$

เมื่อ RE = ประสิทธิภาพของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

A = ค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนการบำบัด

B = ค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลังการบำบัด

หมายเหตุ : โดยประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี ควรมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80

4. ผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโอโซนด้วยชุดเครื่องฟอกอากาศ

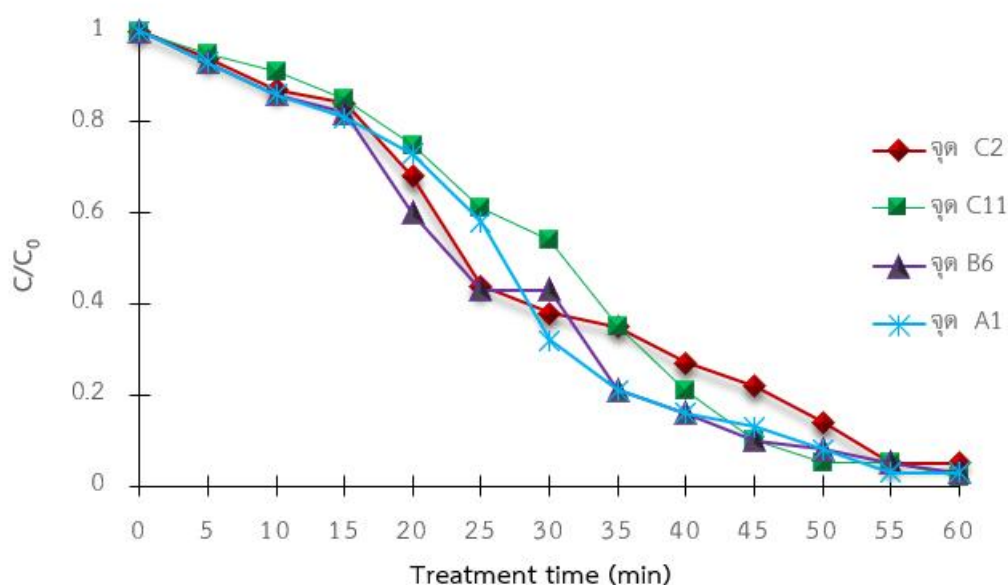
จากการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัด พบว่า อัตราการฟนโอโซนที่ 1,500 mg/hr และ 1,100 mg/hr สามารถบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากกว่า 80% เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่อัตราการฟนโอโซน 1,100 mg/hr สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกอัตราการฟนโอโซนที่ 1,100 mg/hr ในการทดลองบำบัดในชั้นตอนถัดไป ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดอากาศของชุดเครื่องฟอกอากาศ พบว่า ชุดเครื่องฟอกอากาศสามารถดูดอากาศภายในห้องเรียนได้ระยะรัศมีสูงสุดถึง 7 m ซึ่งสามารถดูดอากาศได้ทั้งหมด 3 ทิศทาง ได้แก่ ฝั่งด้านหน้า ฝั่งด้านข้างขวา และฝั่งด้านข้างซ้าย โดยใช้ความเร็วพัดลมดูดอากาศ ที่ 2.11 m/s

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน

ตารางที่ 2 แสดงผลการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนแต่ละห้อง

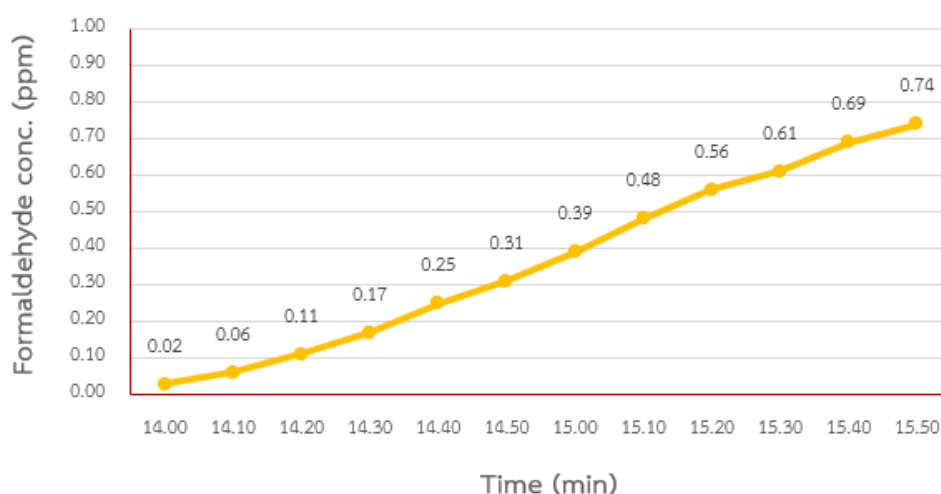
ห้องเรียน	ค่าความเข้มข้นของ FA (ppm)		เวลาที่บำบัด	วันที่ทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
	ก่อน	หลัง			
ห้องที่ 1 (จุด A ₁)	0.92±0.00	0.03±0.00	13.00-14.00 น.	15/9/63	88.7±0.00
ห้องที่ 2 (จุด B ₆)	0.92±0.00	0.02±0.00	13.00-14.00 น.	16/9/63	89.8±0.00
ห้องที่ 3 (จุด C ₂)	0.90±0.00	0.05±0.01	12.00-13.00 น.	17/9/63	84.4±0.54
ห้องที่ 3 (จุด C ₁₁)	0.91±0.01	0.02±0.00	13.00-14.00 น.	17/9/63	88.8±0.01

จากตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัดทั้ง 3 ห้อง ใช้เวลาในการบำบัด จุดละ 60 min และช่วงเวลาที่ใช้ในการบำบัดอยู่ระหว่างช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. ผลการทดลองพบว่า หลังทำการบำบัดด้วยโอโซน ทั้ง 3 ห้อง มีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนดทุกห้อง และเมื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 84.4 - 89.8% รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ณ เวลาใด ๆ ต่อ ความเข้มข้น ณ เวลาเริ่มต้น (C/C₀) ของทั้ง 3 ห้องเรียน 4 จุดตรวจวัด



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ณ เวลาใด ๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละจุดตรวจวัด

ในห้องเรียนที่ 3 จุด C₁₁ ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ หลังหยุดการบำบัด เพื่อตรวจสอบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องหลังการบำบัดจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างไร โดยเริ่มวัดค่าความเข้มข้นต่อตั้งแต่เวลา 14.00-16.00 น. ผลการตรวจวัด พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลังจากที่หยุดการบำบัดไปแล้วเป็นเวลา 2 hr โดยมีค่าเท่ากับ 0.74 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4 สำหรับในห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 ทางผู้วิจัยไม่ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้นหลังจากที่หยุดการบำบัด เนื่องจากห้องเรียนทั้งสองห้องเป็นห้องเรียนขนาดเล็ก จุดคนได้จำนวนไม่มากจึงยังไม่ได้มีการใช้ในการเรียนการสอนเป็นหลัก อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนที่ 1 และ 2 น่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับห้องเรียนที่ 3 เนื่องจากทั้งสามห้องเรียน มีแหล่งกำเนิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากที่เดียวกันและมีระบบปรับอากาศและระบายอากาศที่เหมือนกัน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลังหยุดการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนที่ 3

ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัด

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนทั้งสามห้อง พบว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบำบัดและเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลาการบำบัด 55 min ทั้ง 4 จุดตรวจวัด และปฏิกิริยาการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ทุกจุดตรวจวัด โดยมีค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ใกล้เคียงกัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

จุดตรวจวัด	อันดับปฏิกิริยา	ค่า k (ppm/min)	ค่า R^2
จุด C2	0	0.0157	0.9645
จุด C11	0	0.0174	0.9681
จุด B6	0	0.0168	0.950
จุด A1	0	0.0172	0.946

5. อภิปรายผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยชุดเครื่องฟอกอากาศในห้องเรียนทั้ง 3 ห้อง คืออัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละห้องมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการฟอกโอโซนที่อัตรานี้ทำให้มีปริมาณโอโซนเพียงพอต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า 80% ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่แสดงในตารางที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.01% แสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ (Repeatability) โดยผลวิจัยจากงานนี้สอดคล้องกับการศึกษาของวิภาดา เดชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนทบุรี [2] ซึ่งพบว่าอัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดที่ 100% แสดงให้เห็นว่าการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยชุดเครื่องฟอกอากาศด้วยอัตราการฟอกโอโซนขั้นต่ำที่เหมาะสม จะให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน (Reproducibility) นอกจากนี้จากงานวิจัยนี้พบว่าที่อัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ประสิทธิภาพสูง สำหรับห้องที่มีปริมาตรไม่เกิน 500 m³ และความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศไม่เกิน 1 ppm

ผลจากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดพบว่าค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 จุดตรวจวัด แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกันและมีอันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับศูนย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น โดยจะพบในกรณีที่สารตั้งต้นมีปริมาณที่มากเกินไปในการเข้าทำปฏิกิริยา ทั้งนี้ผลวิจัยที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของวิภาดา เดชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนทบุรี [2]

ความเร็วพัดลมที่ระดับ 2.11 m/s เป็นความเร็วที่เหมาะสมกับความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีค่าน้อยกว่า 1 ppm เนื่องจากหากทำการปรับความเร็วลมมากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์กับโอโซนเพื่อที่จะให้เกิดความสมดุลของปฏิกิริยามีเวลาน้อยลง ในส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 25 min ในการบำบัด เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และเป็นการประหยัดก๊าซออกซิเจนที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโอโซนด้วย ช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงจะอยู่ในช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 11.00 – 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกอาคารสูง ความกดอากาศต่ำ มีโอกาสที่ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะระเหยและแพร่กระจายไปยังห้องอื่น ๆ ในอาคาร ทำให้มีค่าความเข้มข้นที่สูงในช่วงเวลาดังกล่าวเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ควรเริ่มทำการบำบัดในช่วงก่อนที่จะทำการ

เรียนการสอน หรือสลับบำบัดในช่วงพักเบรก เนื่องจากเวลาเรียนจะเริ่มประมาณ 9.00 น. หรือ 13.00 น. เพื่อที่จะไม่ให้มีกลิ่นรบกวนจากโอโซนที่ตกค้างระหว่างการบำบัด โดยก่อนบำบัดควรมีการระบายอากาศภายในห้องเรียนควบคู่ไปด้วยเพื่อลดความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น การเปิดประตูเลื่อน ใช้พัดลมเป่าอากาศออกนอกพื้นที่ห้องเรียน ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายก่อนมีการเรียนการสอน เพราะช่วยลดปริมาณความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของกลุ่มอาจารย์และนักศึกษาได้ เพราะการรับสัมผัสก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิสิตแพทย์ระหว่างเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคอาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงต่อระบบทางเดินหายใจได้ [10]

เมื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อนักศึกษา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการและผู้ที่มาใช้บริการ จะเห็นว่า ค่าพื้นฐานก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของห้องเรียนทั้ง 3 ห้อง จาก 4 จุดตรวจวัด ในวันปกติมีค่าอยู่ในช่วง 0.91-0.96 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด โดยแหล่งกำเนิดของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มาจากห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 2.05 ppm เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดและค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน พบว่า อากาศที่มีการปนเปื้อนก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดสามารถแพร่กระจายไปยังทั้ง 3 ห้องเรียน หากไม่มีการบำบัดก่อนเรียนอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อาทิ เช่น การสูดดมไอของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปหรือสัมผัสทางผิวหนังและดวงตาทำให้แสดงอาการ แสบตา แสบคอ แสบจมูก ระคายเคืองในปอด แน่นหน้าอก ไอ ปวดศีรษะ และอาจเสียชีวิตได้หากสูดดมเข้าไปปริมาณมาก ในกรณีที่มีการสัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะทำให้ผิวหนังอักเสบ ฟอง เป็นตุ่มคัน หรือเป็นแผลไหม้ [11] ดังนั้นเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและผู้ที่ได้รับผิดชอบภายในอาคาร รวมถึงบุคลากรที่ทำงานอยู่ภายในตึกกายวิภาคศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยแห่งนี้ ควรมีมาตรการควบคุมและป้องกันการได้รับสัมผัสของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในระยะเวลาสั้น หรือ พิจารณาการใช้สารเคมีตัวอื่นที่มีอันตรายน้อยกว่ามาทดแทน รวมถึงการจัดให้มีการระบายอากาศสม่ำเสมอ หรือกำหนดชั่วโมงในการทำงานในห้องที่มีสารฟอร์มาลดีไฮด์สูง เพราะถึงแม้ว่าความเข้มข้นหลังจากการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานแต่เมื่อหยุดทำการบำบัด อากาศที่มีการปนเปื้อนก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะค่อย ๆ มีความเข้มข้นที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกินกว่าระดับมาตรฐานในระยะเวลาเพียงแค่ 2 hr ซึ่งหากต้องการทำการบำบัดซ้ำอีกครั้งในวันเวลาเดียวกันอาจสามารถบำบัดได้ในช่วงพักเบรกตอนเที่ยง ร่วมกับการเปิดประตูระบายอากาศ อย่างไรก็ตามชุดเครื่องฟอกอากาศนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องเสียงการทำงานค่อนข้างดังและกลิ่นของโอโซนที่ตกค้างในช่วงที่ดำเนินการบำบัดซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อบุคคลที่มีการแพ้กลิ่นโอโซน อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง หายใจไม่ออก ฯลฯ ดังนั้นการใช้ชุดเครื่องฟอกอากาศนี้จึงไม่ควรใช้บำบัดในขณะที่มีการเรียนการสอนในห้องเรียน

6. สรุปผลการศึกษา

การนำชุดเครื่องฟอกอากาศนี้ไปใช้ประโยชน์ ควรกำหนดอัตราการปล่อยโอโซนที่ 1,100 mg/hr ความเร็วพัดลม 2.11 m/s ที่รัศมีการดูดอากาศ 7 m ใช้เวลาในการบำบัดอย่างน้อย 25 min ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 89.8% โดยเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานหรือหน่วยงานที่สนใจสามารถนำสภาวะการบำบัดจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์หรือใช้เป็นแนวทางในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจากการกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน หรือกิจกรรมอื่น ๆ ในโรงงานหรือสถานประกอบการได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรินทร์ อยู่ยง. (2563, เมษายน 10). ฟอร์มาลีน-ฟอร์มาลดีไฮด์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/32>
- [2] วิภาดา เดชะปัญญา, และสรรพาวุธ นนทบุรี. "การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองระบบปิดที่มีแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องด้วยโอโซน". *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 31(1), 2560, หน้า 37-43.
- [3] บังอร ฉางทรัพย์. "ฟอร์มาลดีไฮด์ / ฟอร์มาลีน ภัยร้ายใกล้ตัว". *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 1(1), 2558, หน้า 97-109.

- [4] ขจร ลักษณะชยปรกรณ์, และเพ็ญศรี วัจนละญาณ. “การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ของนักศึกษาแพทย์และอาจารย์และอาการทางคลินิกในห้องปฏิบัติการกายวิภาคมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์”. *วารสารสมาคมแพทย์แห่งประเทศไทย*, 93(7), 2553, หน้า 92-98.
- [5] สงกรานต์ ปัทมะกา, “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงทางด้านสุขภาพจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ของอาจารย์ นักศึกษาแพทยศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการมหากายวิภาคศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”. *ปัญหาพิเศษทางสาธารณสุข*, 2561.
- [6] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2021, April. 5). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, [Online] Available: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>
- [7] ทัดดาว พาหาทรัพย์อนันต์, ชุรินทร์ เจ๊ะสือแม, ชูราญา สามแม, ชัลวานา ยูโซ๊ะ, และอิลฮัม บินดาแม. “การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง”. *วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*, 7(1), 2563, หน้า 61-68.
- [8] M. Jerrett, R.T. Burnett, and C.D. Pope,. Long-term ozone exposure and mortality. *The New ENGLAND Journal of Medicine*, 360(11), 2009, pp. 1085-95.
- [9] M. Horvath, L. Bilitzky. and J. Huttner, *Ozone*, Elsevier, Budapest, 1985.
- [10] กมลวรรณ พรหมเทศ, อรวรรณ แก้วบุญชู, กิตติพงษ์ หาญเจริญ และฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล. “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิสิตแพทย์ระหว่างเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาค”. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 29(1-2), 2557, หน้า 8-22.
- [11] ศิริพร วันพั่น. (2563, เมษายน 30). รู้จักฟอร์มาลดีไฮด์ สารอันตรายใกล้ตัว, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19310