การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองอากาศ

วิทยานิพนธ์

ของ

กมลชัย ยงประพัฒน์

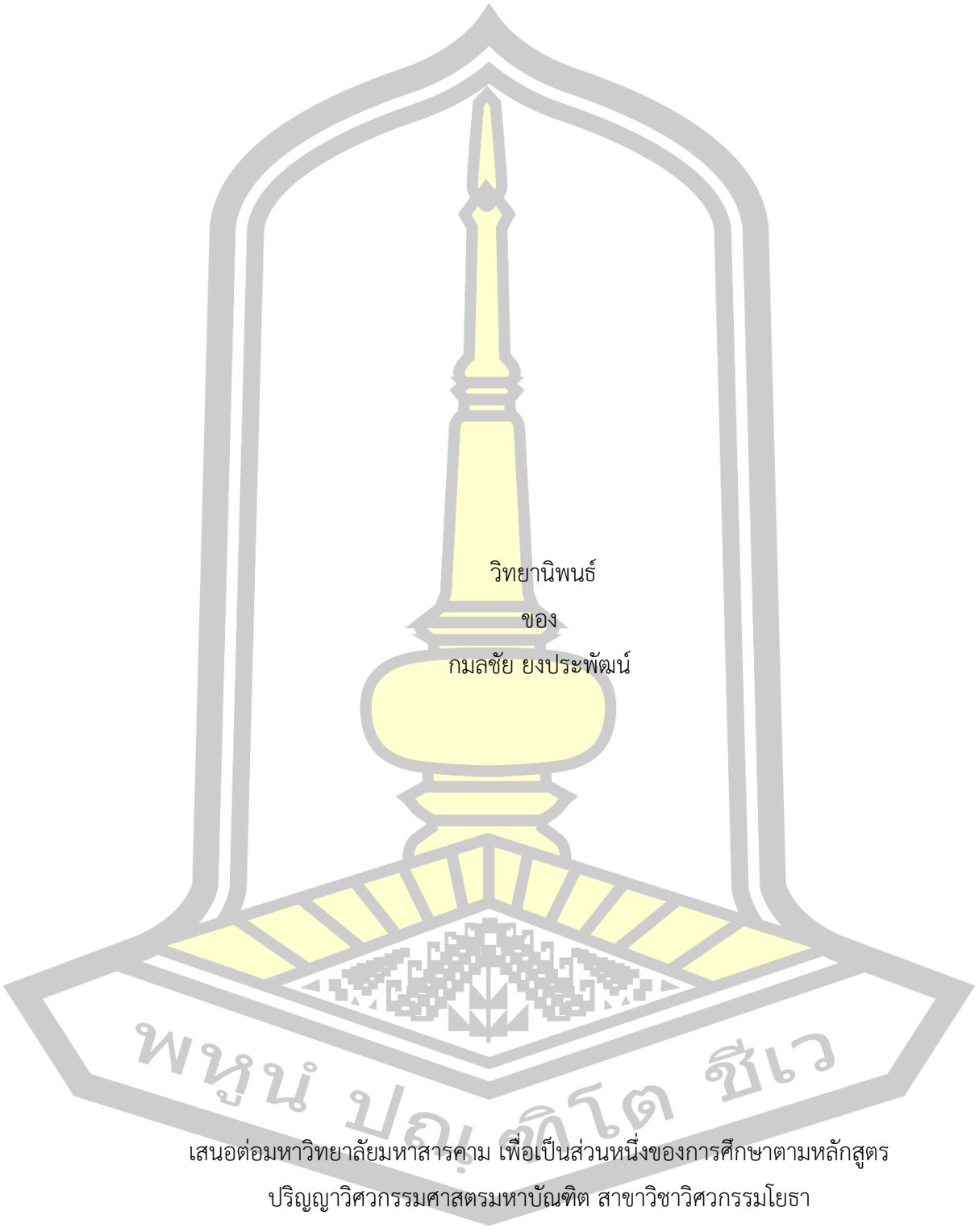
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มกราคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองอากาศ



วิทยานิพนธ์

ของ

กมลชัย ยงประพัฒน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มกราคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Utilization of Insulation Waste of PU Foam as Air Purifier Filter

Kamonchai Yongprapat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Civil Engineering)

January 2021

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายกมลชัย ยงประพัฒน์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. ปาจรีย์ ทองสนิท)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. นิดา ชัยมูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รศ. ดร. มณีรัตน์ องค์วรรณดี)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. สหลาภ หอมวุฒิวงศ์)

.....กรรมการ
(อ. ดร. วจัสกร กาญจนะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหุน์ ปณฺฑิโต ชีเว

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองอากาศ

ผู้วิจัย กมลชัย ยงประพัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิดา ชัยมูล
รองศาสตราจารย์ ดร มณีรัตน์ องค์วรรณดี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2564

บทคัดย่อ

ประเทศไทยผลิตขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงถึง 0.4 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้เป็นตู้เย็นที่หมดสภาพโดยมีการคัดแยกชิ้นส่วนที่มูลค่าไปจำหน่าย ในขณะที่ฉนวนกันความร้อนโฟมพียูปริมาณกว่า 20,000 ลบ.ม. ถูกทิ้งในบ่อขยะของชุมชนหรือถูกลักลอบเผาทิ้ง งานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มมูลค่าขยะโฟมพียูด้วยการใช้เป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ โดยออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูจากฉนวนกันความร้อนเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โครงของเครื่องฟอกอากาศทำจากอะลูมิเนียมขนาด 36x36x78 ลบ.ซม. หุ้มด้วยแผ่นเหล็กเรียบ ติดตั้งพัดลมหอยโข่ง ขนาด 220 วัตต์ มี กริลเลอร์เพื่อกระจายลม ส่วนไส้กรองทำจากเฟรมอะลูมิเนียมขนาด 31x5x44 ลบ.ซม. ทดสอบโฟมพียู 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบเส้น แบบลูกเต๋า และแบบก้อน แบ่งเป็น 3 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 วัดสมรรถนะของเครื่องฟอกด้วยค่าอัตราการส่งอากาศที่ถูกฟอกต่อหน่วยเวลา (CADR) สำหรับกำจัดฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยจุดธูปในห้องทดสอบ 8 ลบ.ม. ให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 250 มคก./ลบ.ม. คำนวณค่า CADR จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เป็นเวลา 1.5 ชม. ด้วยสมการสมดุลมวลของฝุ่นในห้องทดสอบและใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น การทดลองที่ 2 วัดสมรรถนะของเครื่องฟอกด้วยค่า CADR สำหรับกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ โดยการนำไส้กรองรูปแบบโฟมพียูที่ให้ค่า CADR สูงสุดมาใช้ในการทดลองใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 1 พีพีเอ็ม คำนวณค่า CADR การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์เช่นเดียวกับของการกำจัดฝุ่น $PM_{2.5}$ และการทดลองที่ 3 ประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู โดยทดสอบกับเครื่องฟอกอากาศจำลองที่ใส่โฟมพียู 9 กรัม และจุดธูปให้เกิดฝุ่นอย่างต่อเนื่องแล้ววัดความเข้มข้นฝุ่นขาออก ผลการทดสอบพบว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาทดสอบ 1.5 ชม. เครื่องฟอกอากาศมีประสิทธิภาพกำจัด $PM_{2.5}$ ดังนี้ ไส้กรองโฟมพียูรูปแบบเส้น 79, แบบลูกเต๋า 89 และแบบก้อน 92 เปอร์เซ็นต์ และ

เครื่องฟอกอากาศมีค่า CADR ดังนี้ ไส้กรองโฟมพียูรูปแบบเส้น 14.3, แบบลูกเต๋า 18.6 และแบบก้อน 21.3 ลบ.ม./ชม. โดยไส้กรองแบบก้อนให้ค่า CADR ใกล้เคียงเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์บางรุ่นที่ใช้ไส้กรอง HEPA กำลังไฟ 35 วัตต์ เมื่อเสริมไส้กรองโฟมพียูด้วยแผ่นกรองหยาบสามารถเพิ่ม CADR ของเครื่องฟอกได้ 50-90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ เครื่องฟอกอากาศมีค่า CADR เท่ากับ 0.24 ลบ.ม./ชม. การประเมินอายุการใช้งานเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่มีไส้กรองโฟมพียูจำนวน 100 กรัม จะสามารถดักฝุ่นได้ประมาณ 277,000 มก. เมื่อจำลองสถานการณ์ที่มีความเข้มข้นฝุ่นในสิ่งแวดล้อมต่างกันคือ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ลบ.ม. และเปิดเครื่องฟอกอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าอายุการใช้งานไส้รองกรองโฟมพียูเท่ากับ 44, 22, 11 และ 7 เดือน ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกประมาณ 5,000 บาท ทั้งนี้โฟมพียูที่หมดความสามารถในการดักจับฝุ่นแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นสุดท้าย เช่น การผสมผลิตอิฐมวลเบา

คำสำคัญ : โฟมพียู, เครื่องฟอกอากาศ, ค่าซีเอดีอาร์, ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน, ฟอร์มัลดีไฮด์

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

TITLE Utilization of Insulation Waste of PU Foam as Air Purifier Filter

AUTHOR Kamonchai Yongprapat

ADVISORS Assistant Professor Nida Chaimoon , Ph.D.

Associate Professor Maneerat Ongwandee , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2021

ABSTRACT

Thailand's electronic waste production reached 0.4 million which included refrigerator waste. Refrigerators that are no longer required are sorted and separated to recycle valued parts, while over 20,000 m^3 of rigid polyurethane (PU) insulating foam is discarded in community dumping sites or illegally burned. This research aimed to add value to the PU foam waste by adopting it as an air purifier. Thus, we designed and constructed a prototype of a portable air purifier embedding a filter to trap $PM_{2.5}$ made from PU foam. Our designed 36x36x78-cm^3 air purifier was made from aluminum and covered with galvanized iron flat sheet. It was equipped with a 220-W centrifugal fan and griller tower to distribute dirty air evenly. An air filter cartridge was a 31x5x44-cm^3 aluminum frame filling with three individual PU foam shapes, including stripe, cubic and ball. The experiments were divided into 3 parts as follows. Experiment 1 - the air purifier performance was evaluated in terms of a clean air delivery rate (CADR) for removal of $PM_{2.5}$. Test particles were generated by burning an incense stick in an 8-m^3 test chamber to achieve an initial concentration of 250 µg/m^3. CADRs were determined by fitting 1.5-h concentration profiles to mass balance models, using nonlinear regression. Experiment 2 - the air purifier performance was evaluated in terms of CADR for removal of formaldehyde using the PU foam shape that exhibited the highest CADR for $PM_{2.5}$ removal. The initial concentration was 1 ppm. The CADR was determined with the similar fashion as the

$PM_{2.5}$ CADR. Experiment 3- a service life of the PU foam filter was evaluated from conducting an air purifier model containing 9 g of PU foam. Test particles were generated by burning incense sticks continuously and monitoring the output $PM_{2.5}$ concentration. Results show that the air purifier had the $PM_{2.5}$ removal efficiency of 79% for the stripe shape, 89% for the cubic shape and 92% the ball shape. The CADRs for $PM_{2.5}$ removal were 14.3 m^3/h for the stripe shape, 18.6 m^3/h for the cubic shape and 21.3 m^3/h for the ball shapes. The ball-shape filter exhibited the similar CADR to the 35-Watt HEPA commercial air purifier. An additional prefilter sheet helped to increase the CADRs for all PU foam filter shapes by 50-90%. The CADR for formaldehyde removal was 0.24 m^3/h. The 100-g PU foam filter was estimated to trap $PM_{2.5}$ up to 277,000 mg. The service life of the air purifier was estimated using a simulation of the indoor environment with three different $PM_{2.5}$ levels, i.e. 0.05, 0.1, 0.2 and 0.3 mg/m^3, and 8-h/day operation period, The service life was 44, 22, 11 and 7 months, respectively. The production cost is 5,000 baht. It is noteworthy that the expired PU foam air filter can be ultimately used such as an aggregate as lightweight concrete.

Keyword : PU foam, air purifier, CADR, PM2.5, Formaldehyde

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ดร. มณีรัตน์ องค์วรรณดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิดา ชัยมูล ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือสนับสนุนและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการจัดทำวิจัยและวิทยานิพนธ์ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาจรีย์ ทองสนิท รองศาสตราจารย์ ดร.สหลาภ หอมวุฒิวงศ์ และอาจารย์ ดร. วจัสกร กาญจนะ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบ และให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) สำหรับทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 กรอบวิจัยท้าท้ายไทย เรื่องการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และของเสียอันตรายชุมชน และขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้านสถานที่ดำเนินการวิจัย และศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้านเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอก โท และตรี สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสาขาวิศวกรรมโยธา ทุกท่านที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญุตา แด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

กมลชัย ยงประพัฒน์

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 มลพิษทางอากาศ 4

2.1.1 ประเภทมลพิษากาศภายในอาคาร 4

2.1.2 แหล่งกำเนิดมลพิษ 7

2.1.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 8

2.2 ขยะอิเล็กทรอนิกส์ 9

2.2.1 ประเภทของขยะอิเล็กทรอนิกส์ 10

2.3 ฉนวนกันความร้อนพียูโฟม (Polyurethane: PU) 11

2.3.1 คุณสมบัติพียูโฟม 11

2.3.2 แหล่งกำเนิดโฟมพียู 11

2.4 หลักการควบคุมมลพิษอากาศภายในอาคาร 11
2.4.1 การควบคุมที่แหล่งกำเนิด 11
2.4.2 การระบายอากาศ 12
2.4.3 การทำความสะอาดอากาศ 12
2.5 การกรองอากาศด้วยตัวกลาง 14
2.5.1 หลักการทำงาน 14
2.5.2 ชนิดของไส้กรอง 16
2.5.3 ชนิดและโครงสร้างของไส้กรองอากาศ 20
2.5.4 การออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกลางทางกล 21
2.6 การดูดติดผิวหรือการดูดซับ 21
2.6.1 ลักษณะการดูดซับ 22
2.6.2 ไอโซเทอมของการดูดซับ 22
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร 25
2.7.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely mixed flow reactors : CMFR) 25
2.7.2 การคำนวณอัตราการทำความสะอาดอากาศ 26
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 32
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของโฟมพียู 32
3.1.1 ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ (Visual appearance) 32
3.1.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) 33
3.1.3 โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) 35
3.1.4 หมู่ฟังก์ชันนอลพื้นผิว (Functional surface) 35
3.1.5 ความเป็นรูพรุนของวัสดุโฟมพียู 36

3.2 การทดสอบเบื้องต้นในการใช้โฟมพียูดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 37
3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 40
3.3.1 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู 40
3.3.2 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู 42
3.3.3 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม 46
3.3.4 แบบวิศวกรรม 47
3.3.5 ชนิดไส้กรองโฟมพียู 47
3.4 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูสำหรับดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ 49
3.4.1 การทดสอบการรั่วซึมของเครื่องฟอกอากาศ 49
3.4.2 การหาอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ในการดักจับฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศด้วยห้องทดสอบ 49
3.5 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ 56
3.5.1 ห้องทดสอบ อุปกรณ์ และเครื่องมือตรวจวัด 56
3.5.2 ขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 57
3.6 การประเมินอายุการใช้งานของไส้กรองโฟมพียูของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ดักจับฝุ่น 60
บทที่ 4 ผลการทดลอง 64
4.1 การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ 64
4.2 การตรวจสอบการทำงานเครื่องฟอกอากาศและค่าการออกแบบ 66
4.2.1 การรั่วไหลของอากาศของเครื่องฟอกอากาศตามขอบและรอยเชื่อมต่างๆ (Leakage) 66
4.2.2 การตรวจสอบความเร็วลมผิวหน้าไส้กรอง 67
4.3 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองหาค่า CADR 69
4.4. ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 71
4.5 การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 73
4.6 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ 75

4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู 77
บทที่ 5 บทสรุป 79
5.1 สรุปและอภิปรายผล 79
5.1.1 การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม 79
5.1.2 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 79
5.1.3 การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 80
5.1.4 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ 80
5.1.5 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู 80
5.2 ข้อเสนอแนะ 81
5.2.1 การพัฒนาเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ 81
5.2.2 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ 81
บรรณานุกรม 82
ประวัติผู้เขียน 86

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 กลุ่มและตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5
ตาราง 2 ประเภทและแหล่งที่มาของมลพิษอากาศภายในอาคาร 7
ตาราง 3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร 9
ตาราง 4 พื้นที่รูพรุนและขนาดรูพรุนของโฟมพียู 37
ตาราง 5 ผลการทดสอบเบื้องต้นในการดักจับฝุ่น 39
ตาราง 6 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู 40
ตาราง 7 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู 44
ตาราง 8 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู 46
ตาราง 9 ความเร็วลมที่ผิวหน้าเฟรมไส้กรองบรรจุโฟมพียู 3 รูปแบบ 68
ตาราง 10 สรุปค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้โฟมพียูแต่ละรูปร่าง 71
ตาราง 11 สรุปอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม 74
ตาราง 12 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศ 77

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ผลกระทบของอนุภาคขนาดเล็ก 8

ภาพประกอบ 2 โฟมพียูหลังจากคัดแยกในบ่อขยะ 10

ภาพประกอบ 3 การระบายอากาศแบบเจือจาง (ก) และการระบายอากาศแบบแทนที่ (ข) 12

ภาพประกอบ 4 กระบวนการ Straining (Robinson, Ouellet; 1999) 14

ภาพประกอบ 5 กระบวนการ Impingement (Robinson, Ouellet; 1999) 15

ภาพประกอบ 6 กระบวนการ Interception (Robinson, Ouellet; 1999) 15

ภาพประกอบ 7 กระบวนการ Diffusion (Robinson, Ouellet; 1999) 16

ภาพประกอบ 8 แผ่นกรองอากาศแบบแห้ง Dry-type panel filters (Godish; 1989) 16

ภาพประกอบ 9 แผ่นกรองอากาศแบบ Extended surface (Godish; 1989) 17

ภาพประกอบ 10 ความเร็วที่หน้าแผ่นกรองเปรียบเทียบกับความเร็วที่เนื้อกรอง 17

ภาพประกอบ 11 ลักษณะเนื้อกรองชนิดสองความหนาแน่น 18

ภาพประกอบ 12 แสดงการทำงานของแผ่นกรองอากาศแบบอัดประจุไฟฟ้า 20

ภาพประกอบ 13 ถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์สมบูรณ์ (CMFR) 25

ภาพประกอบ 14 วิธีการแยกโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น 32

ภาพประกอบ 15 ลักษณะกายภาพเชิงประจักษ์ของ (ก) โฟมพียูที่จัดเก็บไม่ถูกแดด และ (ข) โฟมพียูที่ถูกแดดลม 33

ภาพประกอบ 17 การทดสอบการดูดซึมน้ำของโฟมพียู 34

ภาพประกอบ 18 การชั่งน้ำหนักโฟมพียูก่อนและหลังแช่น้ำ 34

ภาพประกอบ 16 ภาพถ่ายโฟมพียูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า ของ (ก) โฟมที่เก็บในที่ร่ม และ(ข) โฟมที่ถูกแดดลม 35

ภาพประกอบ 19 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรดของโฟมพียู 36

ภาพประกอบ 20 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม 38

ภาพประกอบ 21 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดเป็นแผ่นบาง 38
ภาพประกอบ 22 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบไส้กรองดักจับฝุ่น (ก) รูปแบบที่ 1 โฟมตัดชิ้นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปแบบที่ 2 โฟมตัดแผ่นบาง 39
ภาพประกอบ 23 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นพียู 41
ภาพประกอบ 24 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียู 42
ภาพประกอบ 25 แบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู 43
ภาพประกอบ 26 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในกระบอกไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า และ (ค) แบบก้อน 43
ภาพประกอบ 27 เครื่องต้นแบบก่อนการสร้างเครื่องฟอกอากาศจริง 44
ภาพประกอบ 28 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู 45
ภาพประกอบ 29 แบบวิศวกรรมของเครื่องฟอกอากาศ 47
ภาพประกอบ 30 โฟมพียูหลังจากแยกออกมาจาตู้เย็น 48
ภาพประกอบ 31 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในเฟรมไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า (ค) แบบก้อน 48
ภาพประกอบ 32 ห้องทดสอบที่ใช้ทดลองมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร 50
ภาพประกอบ 33 เครื่องตรวจวัดฝุ่น DUSTTRAKTM II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA) 50
ภาพประกอบ 34 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Model SD800,Extech InstrumentsCorp., USA) 51
ภาพประกอบ 35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับหาอัตราการรั่วซึมของห้องทดสอบ 53
ภาพประกอบ 36 กราฟสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น 55
ภาพประกอบ 37 เครื่องวัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde Gas Detector ModelFP-30, RKI Instruments Inc., USA) 57
ภาพประกอบ 38 กราฟสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ 59
ภาพประกอบ 39 แบบจำลองของเครื่องฟอกอากาศฟิวเจอร์บอร์ด 61

ภาพประกอบ 40 ส่วนประกอบเครื่องฟอกอากาศ (ก) โครงเครื่องฟอกอากาศ (ข) กริลเลอร์ (ค) ขาเหล็กติดตั้งล้อ (ง) เฟรมไส้กรอง (จ) พัดลมหอยโข่ง (ฉ) ฝาบานพับเปิดปิดและกลอนล็อคประตู 65

ภาพประกอบ 41 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม 66

ภาพประกอบ 42 บริเวณที่เกิดการรั่วของอากาศ 67

ภาพประกอบ 43 บริเวณที่ตรวจวัดความเร็วลมมีที่ผิวหน้าไส้กรอง 68

ภาพประกอบ 44 การเรียงตัวของโฟมพียูแต่ละรูปร่างในเฟรมไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า และ (ค) แบบก้อน 69

ภาพประกอบ 45 ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ในห้องทดสอบที่ใช้เครื่องฟอกอากาศบรรจุไส้กรองแต่ละแบบและใช้/ไม่ใช้แผ่นกรองหยาบ 70

ภาพประกอบ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นเข้าสะสมและประสิทธิภาพดักจับฝุ่น 73

ภาพประกอบ 47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CH_2O ในห้องทดสอบที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูแบบก้อน 76

ภาพประกอบ 48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CH_2O ในห้องทดสอบที่มีและไม่มีเครื่องฟอกอากาศ 76

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความสำคัญและมีบทบาทสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทำให้มีการพัฒนาของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยมีประมาณ 400,000 ตัน สามารถแบ่งแยกประเภทของขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้ดังนี้ โทรทัศน์ 106,335 ตัน คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ เครื่องปรับอากาศ 74,799 ตัน คิดเป็น 19 เปอร์เซ็นต์ ตู้เย็น 65,765 ตัน คิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ เครื่องซักผ้า 60,492 ตัน คิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ คอมพิวเตอร์ 57,058 ตัน คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็นโทรศัพท์ และกล้องถ่ายรูปดิจิตอล คิดเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ (สายใจ วิทยาอนุมาส, 2560)

ขยะอิเล็กทรอนิกส์คือ ของเก่าที่พ่อค้ารับซื้อจากบ้านเรือนก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศเกือบ 100 แห่งในพื้นที่ 17 จังหวัด โดยจังหวัดที่มีชุมชนประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด ได้แก่ กาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี สำหรับแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยอยู่ในพื้นที่อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ รองลงมาได้แก่ พื้นที่อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ และอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

ในปัจจุบันขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหลือจากการคัดแยกเนื่องจากปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งเป็นขยะพิษอันตราย โดยเฉพาะเศษแก้ว โฟม และกากยางรถ ถูกนำมาทิ้งกองไว้บ่อขยะ และเกิดการเผาขยะอย่างไม่ถูกวิธี ขยะอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้เป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติจำเป็นต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธี หากจะทำการกำจัดอย่างถูกวิธีจะต้องขนย้ายไปที่โรงงานกำจัดขยะที่ได้มาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้โฟมพียูจากฉนวนกันความร้อนที่เหลือจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มาใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับโฟมพียูจากฉนวนกันความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์

1) ออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูจากฉนวนกันความร้อน

2) วัดความสามารถของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูรูปร่างต่างๆ เพื่อดักจับอนุภาคฝุ่นและดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) วัตถุดิบที่ใช้ในการทำไส้กรอง คือ โฟมพียูจากฉนวนกันความร้อนของตู้เย็น ได้จากแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ และอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

2) รูปแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู ออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายได้ ทำความสะอาดอากาศในพื้นที่ไม่เกิน 10 ตารางเมตร

3) รูปทรงของไส้กรองโฟมพียูสำหรับติดตั้งในเครื่องฟอกอากาศ โดยจะทำการทดสอบความสามารถในการกำจัดมลพิษอากาศของไส้กรองโฟมพียู 3 รูปแบบ ได้แก่

3.1 แบบเส้นยาว 22x0.5x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 แบบลูกเต๋า ขนาดประมาณ 1.8x1.8x1.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 แบบบก้อน ขนาดประมาณ 2x2x3 เซนติเมตร ที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนในการผลิตอิฐบล็อกมวลเบา

4) ใช้น้ำหนักไส้กรองเท่ากับ 100 กรัม

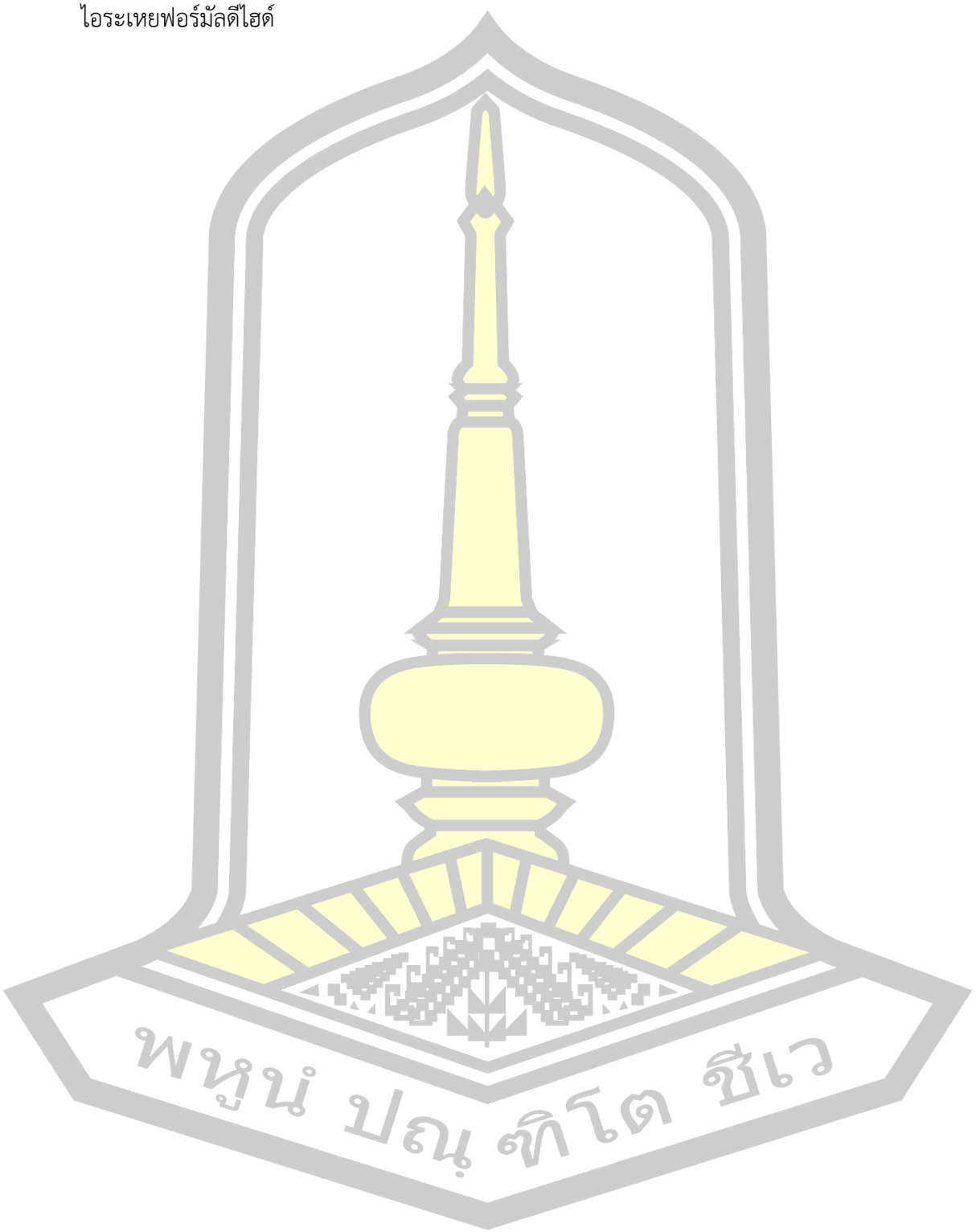
5) การหาค่าสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบโดยหลักการสมดุลมวลสาร (Mass balance) ในการหาอัตราการทำความสะอาดอากาศหรือ Clean air delivery rate (CADR) ด้วยการวิเคราะห์แบบถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear regression) โดยทำการทดลองด้วยห้องทดสอบขนาด 2x2x2 ลูกบาศก์เมตร

6) มลพิษอากาศที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู ได้แก่ อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1) เพิ่มทางเลือกในการใช้ประโยชน์ของโฟมพียูซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการนำมาทดแทนไส้กรองอากาศ

2) ได้ทราบถึงความสามารถของไส้กรองโฟมพียู ในการดักจับอนุภาคฝุ่น และการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางอากาศ

2.1.1 ประเภทมลพิษากาศภายในอาคาร

2.1.1.1 มลพิษจากการเผาไหม้ (Combustion products) ได้แก่ การจุดธูปเทียน และการสูบบุหรี่ในควันบุหรี่ประกอบด้วยสารเคมีมากกว่า 3,800 ชนิด สารเคมีที่พบมาก และเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide) อนุภาคแขวนลอยและสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น นิโคติน (Nicotine) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เบนซีน (Benzene) ไนโตรซามีน (Nitrosamine) และโพลีไซคลิกอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon) ทั้งหมดนี้ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่างๆ เช่น แสบตา แสบจมูก ไอ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ มะเร็งปอด แท้ง และคลอดบุตรก่อกำหนด ในเด็กทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น เช่น ปอดอักเสบ หลอดลมอักเสบ โรคหืด และการเจริญเติบโตของปอดช้าลง

2.1.1.2 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย กระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิ และความดันปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสาร ได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 2 ถึง 12 อะตอม สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศเกิดจากการเผาไหม้ ของน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งเกิดจากการปลดปล่อยออกมาจากการประกอบกิจการของภาคอุตสาหกรรม การผลิตตัวทำละลายที่มีสาร VOCs เป็นองค์ประกอบ การขนถ่าย และการจัดเก็บการขับขี่ยานพาหนะ แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสาร VOCs คือ รถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำจัดขยะ ดังนั้นสาร VOCs จึงมีมากตามเมืองใหญ่ๆ ตัวอย่าง เช่น เบนซีน โทลูอีน ไซลีน สไตรีน ฟอร์มัลดีไฮด์ เปอร์คลอโรเอทธิลีน เป็นต้น นอกจากนี้สาร VOCs ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสี ตาราง 1 แสดงกลุ่ม และตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่

กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated VOCs) และกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated VOCs)

ตาราง 1 กลุ่มและตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย
1. กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated VOCs) ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล	- กลุ่มสาร Aliphatic Hydrocarbons เช่น Fuel oils, Industrial Solvents, Propane, 1,3–Butadiene, Gasoline, Hexane - กลุ่มสาร Alcohols, Aldehyde, Ketone เช่น Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol, Formaldehyde - กลุ่มสาร Aromatic Hydrocarbons เช่น Toluene, Xylene, Benzene, Naphthalene, Styrene, Phenol
2. กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated VOCs) ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรม สาร Chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่า และเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก	- Bromoform - Bromomethane - Carbon tetrachloride - Chlorodibromomethane - Chloroethane - Chloroform - Chloromethane - Chloropropane - Cis-1, 2-dichloroethylene - Cis-1, 3-dichloropropane - Dibromochloropropane - Dibromomethane - Dichlorobromomethane - Dichloromethane (DCM) - Ethylene dibromide - Fluorotrichloromethane (Freon 11) - Glycerol trichlorohydrin

ที่มา : (เผื่อนพิภพ และคณะ, 2558)

สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ

1) เบนซีน (Benzene) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจาก ผงซักฟอก พลาสติก ยาฆ่าแมลง สีย้อมผ้า และหมึกพิมพ์ เป็นต้น อันตรายจากการได้รับเบนซีนจะมีอาการง่วงเหงาหาวนอน ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และทำให้หมดสติได้ การสัมผัสของเหลวหรือไอเบนซีที่ความเข้มข้นต่ำจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาหรือผิวหนัง มีอาการหายใจติดขัด เป็นผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน มีอาการบวมพอง ผิวหนังแห้ง และตกสะเก็ด การสูดดมที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจอย่างรุนแรง หายใจติดขัด ระบบหายใจล้มเหลว และเสียชีวิตได้

2) โทลูอีน (Toluene) หรือ ฟีนิลมีเทน เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจาก น้ำหอม เครื่องสำอาง ยาฆ่าแมลง สีทาบ้าน สีสเปรย์ และน้ำมันขัดเงา เป็นต้น อันตรายจากการได้รับโทลูอีนในความเข้มข้น 50-100 ppm จะไม่สังเกตเห็นความผิดปกติหลังการสัมผัสแต่ในบางรายอาจเกิดอาการเหนื่อยล้าอ่อนเพลียได้ง่าย ความเข้มข้น 200 ppm ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดอาการเหนื่อยล้า และความคิดสับสน ความเข้มข้น 300 - 400 ppm ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง เกิดอาการเหนื่อยล้า เกิดการชาที่ผิวหนัง นอนไม่หลับ กระวนกระวาย ความเข้มข้น 600 ppm ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง เกิดอาการเช่นเดียวกับความเข้มข้น 300 ppm ระยะแสดงอาการสับสนนานขึ้น ตั้งแต่ความเข้มข้น 800 ppm ในระยะเวลาอันสั้น มีอาการมึนงง สับสน เหนื่อยล้า เวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน บางรายอาจหมดสติ

3) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจากกาววิทยาศาสตร์ ฝ้าเพดานสำเร็จรูป ผ้าใยสังเคราะห์ เตาแก๊สหุงต้ม สีทาบ้าน น้ำยาเคลือบเงาไม้ และวัสดุบนผิวเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น หากสูดดมไอระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์เกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการเฉียบพลัน คือ แสบตา และระคายเคืองในทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการอักเสบ มีอาการไอ แน่นหน้าอก และหอบคล้ายเป็นหืด อาจถึงขั้นเป็นปอดอักเสบหรือปอดบวมน้ำเฉียบพลัน ถ้ามีการสูดดมไอระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้นสูงมาก ตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไป อาจทำให้ตายได้ หากมีการสัมผัสถูกสารละลายโดยตรงทางผิวหนังจะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบเกิดอาการคันทันที เมื่อมีการสูดดมไอระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เช่น โรคมะเร็งโพรงจมูก

4) เปอร์คลอโรเอทธิลีน (Perchloroethylene) เป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาจากน้ำยาซักแห้ง น้ำยาล้างคราบ หมึกพิมพ์ กาว และน้ำยาล้างสี เป็นต้น อันตรายจากการได้รับเปอร์คลอโรเอทธิลีนหากสูดหายใจหรือกินเข้าไป ในระยะแรกจะทำให้เกิดอาการเคลิ้มสุข คลื่นไส้ วิงเวียน ต่อมาจะเกิดอาการปวดศีรษะ สับสน ชัก โคม่า และอาจเกิดการหยุดหายใจได้ การสูดหายใจเข้าไปมากๆ จะทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ ไอ หายใจเร็ว แน่นหน้าอก หลอดลมตีบ (เผื่อนพิภพ และคณะ, 2558)

2.1.2 แหล่งกำเนิดมลพิษ

ประเภทและแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ สภาวะการที่อากาศภายในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมภายในบริเวณนั้น เช่น สิ่งมีชีวิต (Biological) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) ก๊าซ (Gases) โลหะ (Metals) และแร่ธาตุ (Minerals) ดังตาราง 2 ประเภทและแหล่งที่มาของมลพิษอากาศในอาคาร

ตาราง 2 ประเภทและแหล่งที่มาของมลพิษอากาศภายในอาคาร

ประเภท	แหล่งกำเนิด
1. ก๊าซอนินทรีย์จากการเผาไหม้ (Combustion-generated inorganic gases) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจนต่างๆ (NO_x) ที่สำคัญคือ ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	การหุงต้ม, การผิงไฟ, การจุดตะเกียง, การจุดธูป, การสูบบุหรี่
2. อนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matter) โดยทั่วไปกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิก (Aerodynamic diameter) เล็กกว่า 10 ไมครอน และขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ลักษณะของจุดกำเนิด ได้แก่ อนุภาคปฐมภูมิ (Primary particles) และอนุภาคทุติยภูมิ (Secondary particles)	เตาประกอบอาหาร โดยเฉพาะเตาที่ใช้เชื้อเพลิงของแข็ง, การสูบบุหรี่, การจุดเทียน, ไอเสียยานพาหนะ
3. ควันบุหรี่จากสิ่งแวดล้อม (Environmental tobacco smoke, ETS) ได้แก่ ควันบุหรี่กระแสหลัก (Mainstream cigarette smoke) และควันบุหรี่กระแสรอง (Sidestream cigarette smoke)	การสูบบุหรี่
4. โอโซนและมลพิษที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับโอโซน (Ozone and ozone initiated pollutants)	เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต, เครื่องฟอกอากาศแบบสร้างอิออน, เครื่องผลิตก๊าซโอโซน

ที่มา : (มณีรัตน์, 2556.)

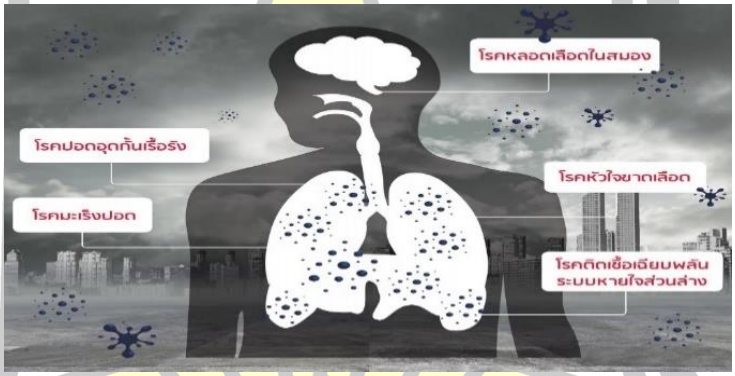
2.1.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล บุหรี่ การเผาเศษวัชพืช ขยะ และปฏิกิริยาเคมีในอากาศ โดยฝุ่นละอองแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ

2) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อ สุขภาพมากกว่า เนื่องจากสามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้

3) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM_1) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเนื่องจาก มีความเร็วในการตกตัวต่ำ มักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก หากมีองค์ประกอบอื่นๆ การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม มาเกี่ยวข้อง จะทำให้ฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 0.5 ไมครอน อาจแขวนอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี



ภาพประกอบ 1 ผลกระทบของอนุภาคขนาดเล็ก

การกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน หรือ TSP ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน หรือ PM_{10} และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ $PM_{2.5}$ ซึ่งจะมีมาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ 1 ปี สำหรับ TSP มีค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร PM_{10} มีค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ $PM_{2.5}$ มีค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (เผื่อนพิภพ และคณะ, 2558)

ตาราง 3 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร

คุณภาพอากาศ	ค่าแนะนำ	หน่วย
ภาวะความสบายเชิงความร้อน		
อุณหภูมิ (Temperature)	20 - 26	℃
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	50 - 65	%
การเคลื่อนที่ของอากาศ (Air movement)	0.1 - 0.3	m/s
การระบายอากาศ (Ventilation)	2 - 10	m^3 /hr./m^2
มลภาวะอากาศภายในอาคาร		
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)	ไม่เกิน 1,000	ppm
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide)	ไม่เกิน 9	ppm
อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)	ไม่เกิน 35	µg/m^3
อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)	ไม่เกิน 50	µg/m^3
โอโซน (Ozone)	ไม่เกิน 0.1	ppm
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 0.1	ppm
	ไม่เกิน 120	µg/m^3
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	ไม่เกิน 3	ppm
เชื้อราและแบคทีเรีย	ไม่เกิน 500	จำนวนโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตร (CFU/m^3)

ที่มา : (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย, 2559)

2.2 ขยะอิเล็กทรอนิกส์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic waste หรือ E-Waste) หรือเรียกอย่างเป็นทางการว่า “ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste from electrical and electronic equipment’s: WEEE)” หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ หมดอายุการใช้งานหรือไม่ต้องการใช้งานอีกต่อไป โดยอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ต้องการแล้วเหล่านี้จะกลายมาเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพประกอบ 2

ภาพประกอบ 2 โฟมพียูหลังจากคัดแยกในบ่อขยะ

2.2.1 ประเภทของขยะอิเล็กทรอนิกส์

ประเภทของขยะอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็น 10 ประเภท ดังนี้

1. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็น เครื่องทำความเย็น เครื่องซักผ้า เครื่องล้างจาน

2. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดเล็ก เช่น เครื่องดูดฝุ่น เตารีด เครื่องปิ้งขนมปัง มีดโกนไฟฟ้า

3. อุปกรณ์เพื่อการติดต่อสื่อสาร เช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุค เครื่องสแกนภาพ เครื่องโทรสาร โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ

4. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค เช่น วิทยุ โทรทัศน์ กล้อง และ เครื่องบันทึกวีดีโอ เครื่องดนตรีที่ใช้ไฟฟ้า

5. อุปกรณ์ให้แสงสว่าง เช่น หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หลอดโซเดียม ฯลฯ

6. อุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์

7. เครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องจับควัน เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ฯลฯ

8. ของเล่นที่ใช้ไฟฟ้า หรือของเล่นอิเล็กทรอนิกส์

9. เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สว่าน เลื่อยไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์

10. เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เช่น เครื่องจำหน่ายเครื่องดื่มอัตโนมัติ (บูรณสิงห์, 2561)

2.3 ฉนวนกันความร้อนพียูโฟม (Polyurethane: PU)

โพลียูรีเทน ผลิตจากปฏิกิริยาของโพลีออลกับไอโซไซยาเนต โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โพลียูรีเทนส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซ็ต คือ ไม่สามารถหลอมเหลว และขึ้นรูปใหม่ได้ ซึ่งผลิตออกมาหลายรูปแบบ เช่น โฟมยืดหยุ่น โฟมแข็ง กาว สารผนึก และอีลาสโตเมอร์ ฉนวนกันความร้อนมีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่ายๆ ฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทนโฟม เป็นทางออกในการแก้ปัญหาลดความร้อน ช่วยลดภาระค่าไฟฟ้า ช่วยให้ลดเรื่องค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการลดความสูญเสียพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้คุ้มค่ามากที่สุด ป้องกันพลังงานความร้อนที่ไหลผ่าน และความเย็นที่ไหลผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ไม่เกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อนความเย็น ทนทานการใช้งานในอุณหภูมิที่ -70 ถึง 100 องศาเซลเซียส และมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยไม่ต้องบำรุงรักษา

2.3.1 คุณสมบัติพียูโฟม

โพลียูริเทน มีคุณสมบัติ ยึดติดแน่น ใช้สำหรับอุดช่องว่าง รอยแตก รอยแยกต่างๆ และยังเป็นฉนวนกันความร้อน และเสียงได้ มีความคงทน และไม่ยุบตัว มีส่วนผสมของตัวทำละลายเล็กน้อย เช่น กรดไนตริคเข้มข้น หรือ กรดซัลฟิวริค ทำให้สามารถกันน้ำ และสารเคมีได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติกันความร้อนที่ดีเยี่ยม สามารถใช้ได้กับวัสดุหลากหลายประเภท เช่น คอนกรีต หรือ แผ่นโลหะ

2.3.2 แหล่งกำเนิดโฟมพียู

โฟมพียู เป็นส่วนประกอบของตู้เย็น เป็นหนึ่งในขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือหมดอายุการใช้งานจากการใช้งาน ของชุมชนและอุตสาหกรรม โฟมพียูที่เหลือทิ้งจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และที่จังหวัดอุบลราชธานี มีปริมาณโฟมพียู 62 ชิ้นต่อเดือน และมีโฟมพียูตกค้าง 2000 ลูกบาศก์เมตร ที่รอการจัดการในบ่อพักขยะเทศบาลจังหวัดอุบลราชธานี

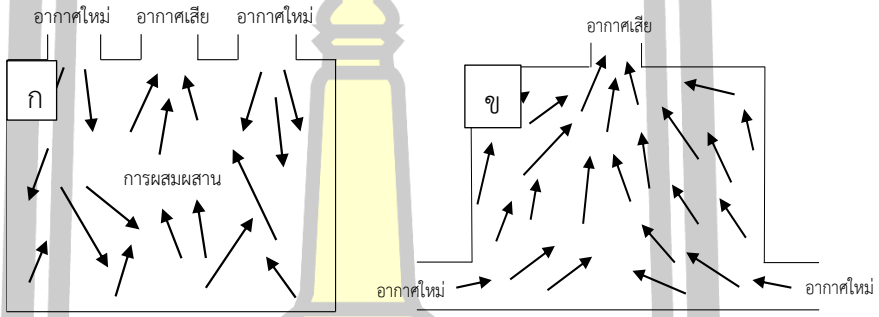
2.4 หลักการควบคุมมลพิษอากาศภายในอาคาร

2.4.1 การควบคุมที่แหล่งกำเนิด

การควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิดเป็นวิธีที่ประสิทธิภาพในการป้องกันการสัมผัสมลพิษของผู้ที่อยู่ในอาคาร เนื่องจากเป็นการกำจัดหรือลดปริมาณมลพิษก่อนที่จะปล่อยมลพิษสู่อากาศ ซึ่งวิธีการควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิด ได้แก่ การกำจัดแหล่งกำเนิดมลพิษ การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้เหมาะสม และการทดแทนด้วยสิ่งอื่นที่มีการปล่อยมลพิษที่น้อยกว่า

2.4.2 การระบายอากาศ

การระบายอากาศสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ การระบายอากาศแบบเจือจาง (Dilution ventilation) เป็นการนำอากาศที่สะอาดกว่าจากภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศเดินหลังจากนั้นอากาศที่ผสมกันจะไหลออกไปจากห้องของทางเข้า - ออกของอากาศ ดังภาพประกอบ 3 (ก) ส่วนการระบายอากาศแบบแทนที่ (Displacement ventilation) อากาศจากภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศเดิมจากทางด้านล่างและดันอากาศเดิมที่อยู่ในห้องให้ไหลออกทางด้านบน ลักษณะการระบายจะมีลักษณะ ดังภาพประกอบ 3 (ข) โดยลักษณะการระบายอากาศแบบนี้มักใช้กับอากาศที่สะอาดซ



ภาพประกอบ 3 การระบายอากาศแบบเจือจาง (ก) และการระบายอากาศแบบแทนที่ (ข)

2.4.3 การทำความสะอาดอากาศ

2.4.3.1 ประเภทของเครื่องฟอกอากาศ

1) เครื่องฟอกอากาศแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถที่จะกรองมลพิษ ต้านเชื้อแบคทีเรีย กรองควันบุหรี่ และช่วยกรองกลิ่นเหม็นต่างๆ ไม่สามารถที่จะฆ่าเชื้อโรคหรือกำจัดสารเคมีบางอย่างออกไปได้ แต่จะสร้างอากาศที่สะอาดเพียงพอที่จะหมุนเวียนไปทั่วห้อง ใช้ตัวกรองอิเล็กทรอนิกส์เมื่อแผ่นกรองเต็มจะต้องทิ้งและเปลี่ยนอันใหม่ใส่ เหมาะสำหรับบ้านที่เริ่มลองใช้งานเครื่องฟอกอากาศหรือบ้านที่ต้องการอากาศสะอาดแบบมาตรฐาน

2) เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการกรองทำความสะอาดโดยรอบ สามารถติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศได้ จะทำงานโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจับอนุภาคของฝุ่นและดึงพวกมันไปที่แผ่นกรองภายใน และตัวกรองก็มีระบบทำความสะอาดตัวเองจึงเป็นการทำงานที่ซับซ้อน ดังนั้นจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านไฟฟ้ามาติดตั้ง เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิตนี้เหมาะสำหรับการกรองมลพิษ กลิ่น เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อจุลินทรีย์

3) เครื่องดักจับฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกรองทางกล เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้ได้รับความนิยมมากที่สุด หลักการทำงานประยุกต์มาจากเครื่องดักอนุภาคฝุ่นในไอเสียของโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งที่แตกต่างคือความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นในไอเสียอุตสาหกรรมมีค่าสูงถึง 200-40,000 มิลลิกรัมต่อลูกบากศ์เมตร ขณะที่ในบ้านเรือนโดยทั่วไปตรวจพบที่ระดับไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Godish, 1989) เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ตัวกลางที่ผลิตจากเส้นใย (Fibers) ขนาดเล็กมาก

4) เครื่องฟอกอากาศไส้กรอง HEPA filters มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการกรองอากาศให้สะอาด นิยมใช้กันแพร่หลายในบ้าน และอาคารพาณิชย์ มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ จากมลพิษทั้งหมดในอากาศ เช่น กรองฝุ่น เชื้อรา แบคทีเรีย เกสร ฝุ่นละอองของสัตว์ และควันบุหรี่ เครื่องฟอกอากาศชนิดนี้จึงเหมาะสมสำหรับบ้านที่มีผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดหรือภูมิแพ้

5) เครื่องฟอกอากาศแบบไอโอนิค การทำงานคล้ายกับเครื่องฟอกอากศแบบไฟฟ้าสถิต แต่จะสามารถกำจัดมลพิษออกจากอากาศได้ เครื่องฟอกอากาศประเภทนี้จึงใช้ได้ดีสำหรับการดึงเอาฝุ่นละออง และมลพิษอื่นๆ ออกจากอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถกรองเอากลิ่นเหม็นออกได้ทั้งควันบุหรี่ เกสรดอกไม้ หรือเชื้อไวรัส ด้วยเหตุนี้หลายคนจึงตัดสินใจเลือกเอาเครื่องฟอกอากาศประเภทนี้มาใช้ภายในบ้านเพราะไม่เพียงแต่ให้อากาศที่สดชื่นแล้วยังป้องกันกลิ่นได้ด้วย

2.4.3.2 การใช้ต้นไม้กำจัดมลพิษ

1) ว่านหางจระเข้ นอกจากจะเป็นพืชที่คนนิยมนำมารักษาแผล บำรุงผิวและผมแล้วยังมีคุณสมบัติช่วยดูดซับสารพิษจำพวกฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการระคายเคืองต่อผิวหนังและดวงตา ปวดศีรษะ และโรคหอบหืด

2) ลิ้นมังกร เป็นไม้ประดับมงคลยอดนิยม ซึ่งคนไทยนิยมปลูกกันมาก พืชชนิดนี้ปลูกง่าย ทนทาน ไม่ต้องการน้ำมาก ขยายพันธุ์โดยการตอนกิ่งหรือปักชำ และยังช่วยดูดสารพิษเบนซินในอากาศช่วยฟอกอากาศได้ดีอีกด้วย

3) บอสตันเฟิร์น เป็นพืชที่ต้องการน้ำมากอยู่ในที่แสงแดดไม่จัดมาก นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับทั้งในและนอกอาคาร สามารถดูดสารพิษได้มากโดยเฉพาะสารจำพวกฟอร์มาดีไฮด์ และยังช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นในอากาศภายในอาคารได้เป็นอย่างดี

4) เบญจมาศ พืชชนิดนี้เติบโตได้ดีในที่แดดจัด หรือกึ่งแดดจึงควรวางไว้ริมหน้าต่างริมระเบียง เป็นพืชที่ต้องการน้ำมาก และมีคุณสมบัติดูดสารพิษจำพวก ฟอร์มัลดีไฮด์ เบนซีน และแอมโมเนีย

5) กุหลาบพันปี เป็นไม้ต้นขนาดเล็กกึ่งพุ่ม มีลักษณะลำต้นและกิ่งคดงอ ใบหนารูปหอกกลับ มีเกล็ด และมีขนปกคลุมอยู่บริเวณด้านหลังใบ ส่วนดอกออกเป็นช่อสีเหลืองแดง กุหลาบ

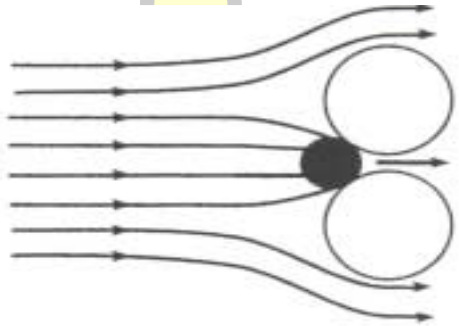
พันปีมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นต่างๆ ภายในบ้านได้ เช่น กลิ่นเหม็นจากเฟอร์นิเจอร์ไม้อัด ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟม และพลาสติก

2.5 การกรองอากาศด้วยตัวกลาง

2.5.1 หลักการทำงาน

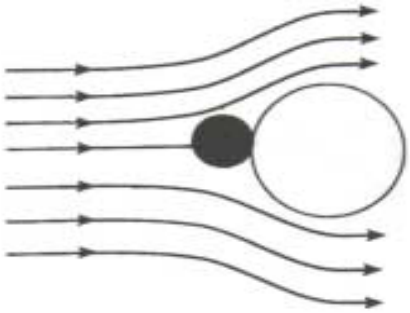
ลักษณะการจับยึดอนุภาคของกรองอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของสิ่งปนเปื้อนและชนิดวัสดุของตัวกรองอากาศ ซึ่งมีอยู่ 4 ลักษณะ ดังนี้คือ

1) Straining กระบวนการนี้จะเกิดขึ้น เมื่ออนุภาคที่เคลื่อนที่มากับกระแสอากาศมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยกรองอากาศ อนุภาคจึงติดอยู่ที่ช่องว่างระหว่างเส้นใย ดังภาพประกอบ 4 วิธีนี้จะใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ



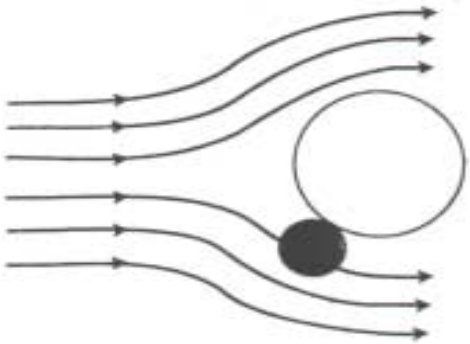
ภาพประกอบ 4 กระบวนการ Straining (Robinson, Ouellet; 1999)

2) Impingement กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ และมีความหนาแน่นสูงไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามกระแสของอากาศจึงไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่หลบเส้นใยกรองอากาศได้ อนุภาคจึงเคลื่อนที่ชนกับเส้นใยกรองอากาศ และถูกจับยึดไว้ ในบางครั้งเส้นใยกรองอากาศประเภทนี้จะเคลือบด้วยสารที่มีความเหนียว (Adhesive) เช่น น้ำมันเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับยึดอนุภาค ดังภาพประกอบ 5



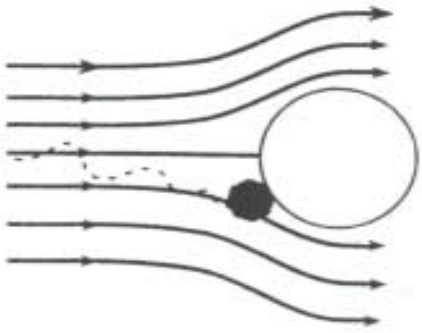
ภาพประกอบ 5 กระบวนการ Impingement (Robinson, Ouellet; 1999)

3) Interception กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อกรองอากาศตามกระแสการไหลของอากาศ และเกิดเคลื่อนเข้าสัมผัสกับเส้นใยกรองอากาศ ทำให้อนุภาคถูกจับยึดกับเส้นใยกรองอากาศด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เรียกว่า (Van der waals force) ลักษณะการจับยึดอนุภาคแบบนี้จะใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพปานกลาง ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 กระบวนการ Interception (Robinson, Ouellet; 1999)

4) Diffusion กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กมาก การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดการเบียดกับโมเลกุลของอากาศ ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคมีทิศทางไม่แน่นอน หรือที่เรียกว่า (Brownian motion) เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปชนกับเส้นใยกรองอากาศ จะถูกจับติดไว้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเช่นเดียวกับกระบวนการ (Interception) การจับยึดอนุภาคด้วยวิธีนี้จะใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 กระบวนการ Diffusion (Robinson, Ouellet; 1999)

2.5.2 ชนิดของไส้กรอง

1) แผ่นกรองอากาศแบบแห้ง (Dry-type panel filters) มีลักษณะเป็นรูสูง และมีประสิทธิภาพต่ำ แผ่นกรองอากาศแบบแห้งนี้จะทำการเก็บกักอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ โดยอนุภาคเคลื่อนที่ชนกับเส้นใยกรองอากาศและถูกจับยึดไว้ และการที่อนุภาคเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับเส้นใยกรองอากาศ ทำให้อนุภาคถูกจับยึดกับเส้นใยกรองอากาศด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ความเร็วของอากาศโดยทั่วไป จะมีค่าอยู่ในช่วง 200-700 ฟุตต่อนาที หรือ 61-213 เมตรต่อนาที ความต้านทานการไหลอากาศต่ำ จะมีค่าอยู่ใช่วง 0.05-0.25 นิ้วน้ำ หรือ 12-62 ปาสคาล ดังภาพประกอบ 8

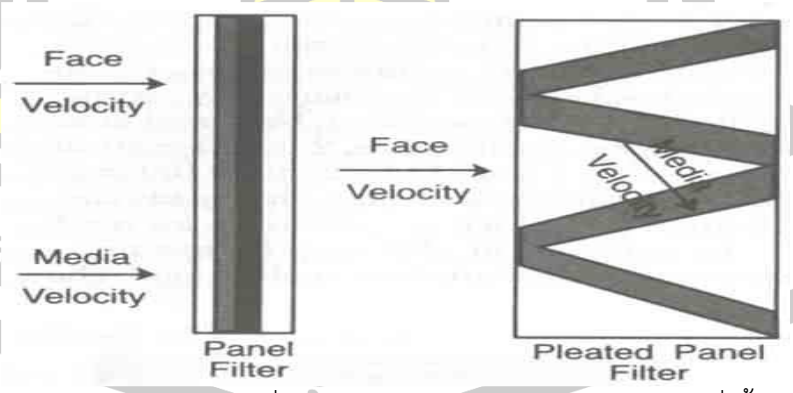
ภาพประกอบ 8 แผ่นกรองอากาศแบบแห้ง Dry-type panel filters (Godish; 1989)

2) แผ่นกรองอากาศแบบเปียก (Viscous media panel filters) แผ่นกรองชนิดนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยที่หยาบ และเคลือบด้วยน้ำมัน ซึ่งเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ชนกับเส้นใยกรองอากาศและถูกจับยึดไว้ และเกิดเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับเส้นใยกรองอากาศ ทำให้อนุภาคถูกจับยึดกับเส้นใยกรองอากาศด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบนเส้นใยขนาดกลาง คล้ายกับแผ่นกรองแบบแห้ง แผ่นกรองนี้จะมีรูพรุนมาก และมีความต้านทานการไหลของอากาศต่ำ อนุภาคขนาดทั่วไปจนถึงขนาด

อนุภาคภายในอาคารนั้น แผ่นกรองนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำ ความเร็วในการทำงานโดยทั่วไปประมาณ 300-600 ฟุตต่อนาที หรือ 91-182 เมตรต่อนาที และเมื่อความต้านทานการไหลอากาศถึง 0.5 นิ้วน้ำ (124 ปาสคาล) จะต้องทำการเปลี่ยนแผ่นกรอง

3) แผ่นกรองอากาศแบบ (Extended surface) แผ่นกรองชนิดที่มีพื้นที่เนื้อกรอง (Media area) มากกว่าพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกรอง (Face area) แผ่นกรองชนิดนี้มีความเร็วเนื้อกรอง (Media velocity) น้อยกว่าความเร็วที่หน้าแผ่นกรอง (Face velocity) โดยที่ความเร็วที่เนื้อกรอง (Media velocity) คือความเร็วของอากาศขณะที่เคลื่อนผ่านเนื้อกรองของแผ่นกรอง ส่วนความเร็วที่หน้าแผ่นกรอง (Face velocity) คือความเร็วของอากาศขณะเคลื่อนที่เข้าสู่ด้านหน้าของแผ่นกรอง ดังภาพประกอบ 9 และ 10

ภาพประกอบ 9 แผ่นกรองอากาศแบบ Extended surface (Godish; 1989)



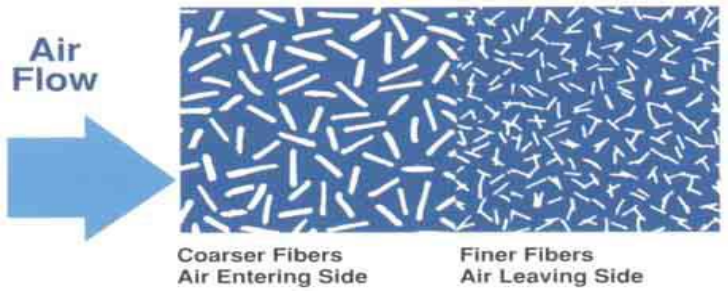
ภาพประกอบ 10 ความเร็วที่หน้าแผ่นกรองเปรียบเทียบกับความเร็วที่เนื้อกรอง (นิรัญ ชยางศุ; 2546)

โดยส่วนใหญ่แล้ว การเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองของแผ่นกรองชนิดนี้ สามารถทำได้โดยการพับเนื้อกรองให้มีลักษณะเป็นลอนหรือจีบ ซึ่งจะทำให้เนื้อกรองมีพื้นที่มากขึ้นโดยพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกรองยังคงเท่าเดิม ความลึกของแผ่นกรองจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของลอนที่พับขึ้น สาเหตุที่ต้องมีการเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองในแผ่นกรองชนิดนี้คือ

1) เนื้อกรองจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากลดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเนื้อกรองลง ซึ่งจะเป็นจริงกับแผ่นกรองที่อาศัยหลัก Interception และ Diffusion ในการดักจับฝุ่นละออง เนื่องจากการดักจับฝุ่นละอองตามหลัก Interception และ Diffusion จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อความเร็วผ่านเนื้อกรองมีค่าต่ำ ๆ

2) ความต้านทานต่อการไหลของอากาศของเนื้อกรองอาจมีค่าสูงหากใช้งานที่ความเร็วที่หน้าแผ่นกรอง โดยเฉพาะเนื้อกรองที่มีประสิทธิภาพในการกรองสูง หากมีการเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองขึ้นก็จะทำให้ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเนื้อกรองลดลง ซึ่งจะทำให้ความต้านทานต่อการไหลของอากาศลดลงมากด้วย

3) เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแผ่นกรอง คือยิ่งเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองมากขึ้นเท่าใด ก็จะทำให้แผ่นกรองมีพื้นที่ในการดักจับฝุ่นละอองมากขึ้น และอายุการใช้งานก็จะนานขึ้นด้วย กรณีนี้จะเป็นจริงเฉพาะเนื้อกรองเป็นชนิดเดียวกันเท่านั้น หากเนื้อกรองเป็นคนละชนิดกัน เช่น เนื้อกรองชนิดความหนาแน่นเดี่ยว (Single density media) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อกรองชนิดสองความหนาแน่น (Dual density media) ดังภาพประกอบ 11 จะพบว่าแผ่นกรองชนิดเนื้อกรองความหนาแน่นเดี่ยว ที่มีพื้นที่เนื้อกรองมากกว่าแผ่นกรองชนิดเนื้อกรองสองความหนาแน่น ก็ไม่ได้หมายความว่าแผ่นกรองชนิดความหนาแน่นเดี่ยวที่มีเนื้อกรองน้อยกว่า จะมีอายุการใช้งานที่น้อยกว่าแผ่นกรองที่ผลิตขึ้นจากเนื้อกรองชนิดสองความหนาแน่น เช่น ฟองน้ำที่มีขนาดก้อนเท่ากัน ก็ไม่ได้หมายความว่าจะอุ้มน้ำได้เท่ากัน หากฟองน้ำผลิตขึ้นจากเนื้อฟองน้ำต่างกัน



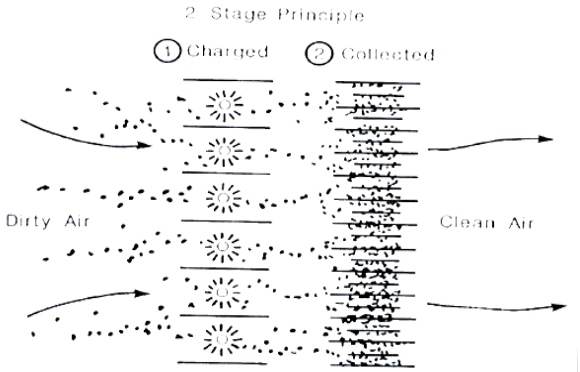
ภาพประกอบ 11 ลักษณะเนื้อกรองชนิดสองความหนาแน่น

(นิรัญ ชยางศุ; 2546)

4) แผ่นกรองอากาศแบบอัดประจุไฟฟ้า (Charged media filters) แผ่นกรองอากาศแบบอัดประจุไฟฟ้าจะกำจัดอนุภาคโดยใช้แรงไฟฟ้าสถิตคล้ายกับแรงไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมบำบัดก๊าซ แผ่นกรองที่มีประจุ (Ionizing plate type)

ในการกรองแบบอัดประจุไฟฟ้ามักจะพูดถึงประเภทแผ่นกรองที่มีประจุ ในการทำงานของการกรองแบบอัดประจุไฟฟ้านี้จะอยู่บนหลักการการกำจัดอนุภาคในอากาศที่มีประจุซึ่งสามารถถูกกักเก็บไว้ได้บนแผ่นกรองที่มีประจุตรงข้าม เครื่องฟอกอากาศแบบอัดประจุไฟฟ้าจะดึงอนุภาคในอากาศผ่านเส้นลวดที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งจะสร้างประจุบวกขึ้นมา อากาศที่ผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างชุดอนุกรมของแผ่นกรองประจุลบจะดูดอนุภาคที่มีประจุบวกไว้

เครื่องฟอกอากาศแบบ 2 ขั้นตอนแสดงได้ดังภาพประกอบ 12 ในส่วนแรกจะเป็นการสร้างแรงไฟฟ้าสูง (12,000 โวลต์) ให้กับเส้นลวดทังสเตนบางๆ ผูกขึงไว้ในแนวขวางกับกระแสของอากาศ อิเล็กตรอนในอากาศที่เกิดจากลวดทังสเตนจะถูกเร่งความเร็วตรงไปยังขดลวดที่เป็นประจุบวก อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งจะปะทะกับโมเลกุลของอากาศ แล้วสร้างอิออนบวกขึ้นมาพร้อมกับเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนในอากาศอีก ซึ่งกระบวนการนี้สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ โคโรน่าดิสชาร์จ (Corona discharge) บริเวณใกล้กับเส้นลวดที่มีประจุ (โอโซนจะถูกสร้างขึ้นเนื่องจากมีพลังงานมาเกี่ยวข้องสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการสร้างโอโซนขึ้น เครื่องฟอกอากาศแบบมีประจุไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่มักใช้หลักการโคโรน่าดิสชาร์จที่เป็นประจุบวกแทน) อิออนบวกที่ถูกสร้างขึ้นมาจะปะทะกับอนุภาคในอากาศ ทำให้อนุภาคมีประไฟฟ้าเป็นบวก ขนาดของประจุไฟฟ้าบนอนุภาคจะขึ้นกับจำนวนของอิออนบวกที่ในสนามไฟฟ้าที่อนุภาคจะปะทะด้วย โดยทั่วไปแล้วอนุภาคที่ขนาดใหญ่จะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าได้ง่ายกว่า ซึ่งทำให้สามารถกำจัดออกจากกระแสของอากาศได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคที่มีประจุจะไหลไปกับทิศการไหลของอากาศเข้าสู่ส่วนของการเก็บกักของชุดอนุกรมของแผ่นโลหะบาง ซึ่งเป็นแผ่นที่มีประจุไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (6000 โวลต์) อนุภาคที่เป็นประจุบวกจะปะทะกับแผ่นที่เป็นประจุลบ ขนาดของแรงไฟฟ้าสถิตที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุจะขึ้นอยู่กับขนาดของประจุของอนุภาค ระยะทางระหว่างแผ่น และความต่างศักย์



ภาพประกอบ 12 แสดงการทำงานของแผ่นกรองอากาศแบบอัดประจุไฟฟ้า

Charged media filters (Godish; 1989)

การผลิตโอโซนใช้หลักของพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักที่เรียกกันทั่วไปว่า โอโซนเจเนเตอร์ คือ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถผลิต และควบคุมระดับของก๊าซโอโซน ได้หลักการทั่วไปคือ อะตอมของออกซิเจน จะได้รับการถ่ายพลังงานจนทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่เร่งสภาพหรือมีพลังงานสูง และในที่สุดก็เกิดการรวมเป็นโมเลกุลของโอโซนโดยอาศัยทฤษฎีของการทำ Corona discharge หรือ การเร่งประจุไฟฟ้าให้ออกมาเป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นประกายในบรรยากาศซึ่งจะเป็น ตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา และเร่งปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจน ดังนั้นทฤษฎีของโคโรน่า จึงใช้เป็นบรรทัดฐานในการผลิตอุปกรณ์โอโซน มีประสิทธิภาพดีกว่าการผลิตโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต เพราะแสงยูวีไม่สามารถควบคุมปริมาณรายละเอียดได้ และผลิตได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ

2.5.3 ชนิดและโครงสร้างของไส้กรองอากาศ

การจับอนุภาคของกรองอากาศมี 4 ลักษณะ สามารถแบ่งการกรองอากาศตามประสิทธิภาพการใช้งานได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1) กรองอากาศประเภทที่มีประสิทธิภาพต่ำ จะมีลักษณะเป็นแผ่น (Pad or Panel) ซึ่งมีประสิทธิภาพ (Average ASHRAE efficiency) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติจะใช้กรองอากาศในชั้นแรก (Pre filter) ใช้ในการกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 10 ไมครอน หรือใหญ่กว่า

2) กรองอากาศที่มีประสิทธิภาพปานกลาง อาจจะเป็นแบบถุงหรือแบบกล่อง จะมีประสิทธิภาพ (Average ASHRAE efficiency) ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ จะใช้กรองอากาศในชั้นที่สอง ซึ่งจะกรองอนุภาคที่มีขนาดประมาณ 3 ถึง 10 ไมครอน การกรองในระดับนี้จะช่วยในการยืดอายุการใช้งานของกรองอากาศขั้นสุดท้ายที่มีประสิทธิภาพสูง กรองอากาศประสิทธิภาพปานกลางนี้จะมีโครงสร้างหลายแบบทำให้มีประสิทธิภาพ และราคาที่แตกต่างกันออกไป ต้นทุนโดยส่วนใหญ่ของกรองอากาศชนิดนี้อยู่ที่เนื้อของกรองอากาศ (Media) แต่ตัวกรอบ และวัสดุประคองเนื้อกรองอากาศ

ก็ส่งผลถึงต้นทุนด้วยเหมือนกัน วัสดุที่ใช้ประคองเนื้อกรองอากาศที่เป็นเส้นลวด (Welded wire) จะมีราคาสูงกว่าวัสดุที่เป็นโลหะยืด (Expanded metal) แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ประโยชน์ที่มากกว่าด้วย วัสดุประคองที่เป็นเส้นลวดจะทำ ให้การพับเนื้อแผ่นกรองโค้งมนแทนที่จะเป็นรอยแหลมรูปตัว V ซึ่งจะทำให้พื้นที่สัมผัสอากาศมากกว่า ตัวกรอบของกรองอากาศที่เป็น Beverage board จะมีราคาแพงกว่าที่เป็น Card board หรือ Kraft board ซึ่ง Beverage board จะทนต่อความชื้นได้ดีกว่า

3) กรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงอาจจะเป็นแบบถุงหรือแบบกล่อง ซึ่งมีประสิทธิภาพ (average ASHRAE efficiency) ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เป็นกรองอากาศขั้นสุดท้ายในระบบ HVAC แผ่นกรองอากาศนี้ มีความสามารถที่จะกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.3 ไมครอน หรือใหญ่กว่าได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

4) กรองอากาศแบบประสิทธิภาพในการกรองสูง (High efficiency particle arresting : HEPA) เป็นระบบกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและดีที่สุด สามารถกรองอากาศได้บริสุทธิ์ถึง 99.97 เปอร์เซ็นต์ เพราะใช้ไส้กรองแบบเดียวกันกับที่ใช้ในห้อง Clean room ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์บางประเภท หรือใช้สำหรับห้องผ่าตัดในโรงพยาบาลรวมทั้งในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ ที่ต้องการอากาศที่สะอาดมาก ไส้กรองเป็นแบบชนิดที่ทำจากใยแก้วละเอียดซึ่งมีอายุการใช้งานระหว่าง 2 ถึง 4 ปี และมีประสิทธิภาพในการกรองสูงแต่ไม่สามารถดูดซับกลิ่นและควันได้

2.5.4 การออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กแบบใช้ตัวกลางทางกล

การออกแบบและคำนวณอุปกรณ์ควบคุมฝุ่นแต่ละชนิด จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพที่ต้องการ และ มาตรฐานการปล่อยมลพิษ

2) ลักษณะของกระบวนการและมลพิษที่ปล่อยออก

3) สมรรถนะของอุปกรณ์และข้อจำกัด

4) ค่าลงทุนและค่าเดินระบบ

2.6 การดูดติดผิวหรือการดูดซับ

การดูดซับคือการที่สารประเภทหนึ่งออกมาจากสารประเภทหนึ่งมาเกาะติดที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการ สารที่มาเกาะติดกับพื้นผิววัสดุจะเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนวัสดุที่ถูกเกาะติดบริเวณพื้นผิวเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่จากเข้าไปอยู่ในโพรงของตัวดูดซับมีเพียงส่วนน้อยที่จะเกาะติดอยู่บริเวณพื้นผิวภายนอก กระบวนดูดซับจะดำเนินไปเรื่อยๆจนเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยเริ่มต้นตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวดูดซับเรียกว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ในขณะที่ตัวถูกดูดจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวดูดซับก็จะมีตัวถูกดูดซับบางส่วนหลุดออกไป

เรียกว่า การคายการดูดซับ (Desorption) เมื่อเวลาผ่านไปพื้นผิวของตัวดูดซับเต็มการดูดซับและการคายการดูดซับจะเท่ากัน

2.6.1 ลักษณะการดูดซับ

ลักษณะของการดูดซับ จะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ เรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

1) การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย ซึ่งต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย ด้วยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม โดยมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นเท่าให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น

2.6.2 ไอโซเทอมของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวของแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

2.6.2.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)

2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน

3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากัน และคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้กัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ

4) โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้ สมการแลงเมียร์เป็นแบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์ และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งานคือ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้ จะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น การดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังสมการ 1

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{(1+bC_e)} \quad (1)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล ($\mu g/m^3$)

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับโทลูอีนของโฟมพียู ($\mu g/m^2{}_{PU\ Foam}$)

K_F คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ

n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

จากสมการที่ 1 สามารถจัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง ดังสมการ 2 คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงสามารถหาค่า q_m และ b ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน (Intercept)

2.6.2.2 ไอโซเทอมแบบฟรุนดริช (Freundlich isotherm)

สมการของฟรุนดริช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิว และพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลังใช้ทั้ง การดูดซับทางเคมี และการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (Heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer)

$$q_e = K_f C_e^n \quad (3)$$

$$log(q_e) = n \times log(C_e) + log(K_f) \quad (4)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (µg/g)

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับโทลูอีนของโฟมพียู (µg/g $_{PU\ Foam}$)

K_F คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ

n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $log(q_e)$กับ $log(C_e)$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ n และมีจุด ตัดแกนเท่ากับ $log(K_f)$ ถ้าค่า n มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ดี และถ้าค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี

2.6.2.3 การวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับ

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Nonlinear regression (NLREG) ซึ่งเป็นโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear regression method) มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ทำกาวิเคราะห์โดยสมการที่ใช้คือ

$$q_e = K_f C_e^n \quad (5)$$

โดย C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (ug/g)

q_e คือ ความสามารถในการดูดซับของโฟมพียู (ug/g $_{PU\ Foam}$)

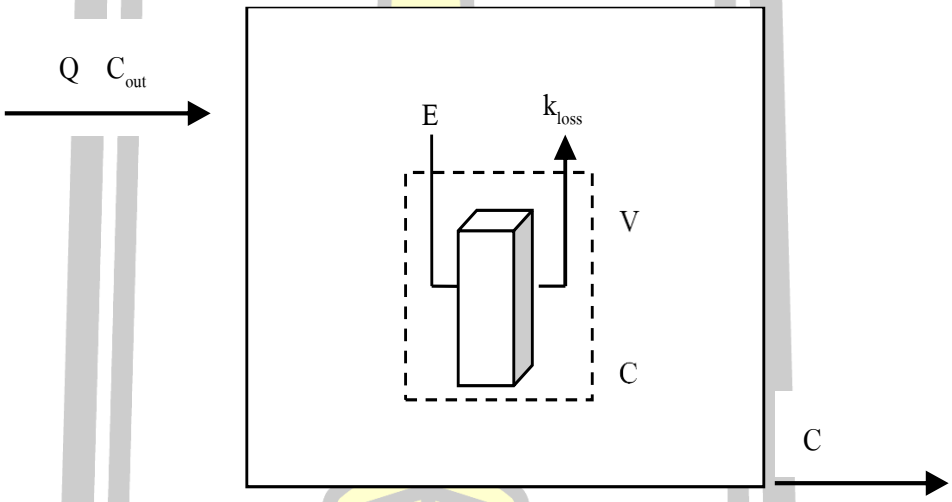
K_f คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ

n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร

2.7.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely mixed flow reactors : CMFR)

ปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบ เพื่อใช้ทำนายพลศาสตร์ของคุณภาพอากาศภายในอาคาร หรือทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมลพิษในอากาศที่แปรผันตามเวลา หรือสภาวะแวดล้อม แบบจำลองเหล่านี้พัฒนาขึ้นบนหลักการของถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely mixed flow reactors : CMFR) แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมอย่างสมบูรณ์สมบูรณ์ (CMFR)

ถังปฏิกิริยาแบบนี้จะมีการกวนผสมภายถังปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้ลักษณะของอากาศภายในถังปฏิกิริยาเหมือนกันทุกจุด (Homogeneous) โดยในการวิเคราะห์ถังปฏิกิริยาแบบนี้จะใช้หลักการของสมดุลมวล (Mass balance) ของสสารหรือของเสียที่ปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมภายในระบบที่พิจารณา คือ ผลรวมทั้งหมดในรูปของอัตราการไหลของมวลของสสารที่เข้าสู่ระบบ และผลรวมของมวลทั้งหมดของสสารที่ออกจากระบบ มีค่าเท่ากัน สามารถแสดงได้ดังสมการ (6)

$$V\frac{dc}{dt} = QC_{out} - QC + E - k_{loss} \quad (6)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลของอากาศผ่านของห้อง (m^3/min)

C_{out} = ความเข้มข้นของสารมลพิษภายนอกห้อง ($\mu g/m^3$)

C = ความเข้มข้นของสารมลพิษภายในห้อง ($\mu g/m^3$)

E = อัตราการปล่อยสารมลพิษภายในห้อง ($\mu g/h$)

k_{loss} = อัตราการสูญหายสารมลพิษภายในห้อง ($\mu g/h$)

t = เวลา (h)

2.7.2 การคำนวณอัตราการทำความสะอาดอากาศ

อัตราการทำความสะอาดอากาศต่อหน่วยเวลา (Clean air delivery rate : CADR) เป็นค่ามาตรฐานสำหรับใช้วัดประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องฟอกอากาศ สมาคมผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนของประเทศสหรัฐอเมริกา (Association of home appliance manufacturers, AHAM) (AHAM, 2006) ให้คำจัดกัดความของ CADR คือ ปริมาตรอัตราการไหลผ่านเครื่องฟอกอากาศ x ประสิทธิภาพในการกำจัดของเครื่องฟอกอากาศ ในสภาวะที่ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะที่สมดุล (Unsteady state condition) อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของมลพิษในอากาศภายในห้องขณะที่เครื่องฟอกอากาศกำลังทำงาน สามารถแสดงได้ดังสมการ (7)

$$V\frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC - Q_{device}\eta C + E - L \quad (7)$$

โดยที่ Q_{device} = อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องฟอกอากาศ (m^3)

η = ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นขนาดเล็กของเครื่องฟอกอากาศ

$$CADR = Q_{device}\eta \quad (8)$$

ในการวัด CADR นั้นทำได้โดยนำอุปกรณ์วางไว้ในห้องทดสอบที่ปิดสนิทและสังเกตความเข้มข้นของสารมลพิษที่ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป จากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษในอากาศจะสามารถพยากรณ์ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนากร รัตนพันธุ์ (2559) งานวิจัยนี้วัดความสามารถของต้นไม้ประดับในอาคารในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ต้นไม้ประดับบ่งชี้ฟอร์มัลดีไฮด์ภายในอาคารจากการเปลี่ยนแปลงของสีใบ โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การดักจับ อนุภาคขนาดเล็ก ใช้ต้นไม้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มต้นไม้ประดิษฐ์ ประกอบด้วย ต้นเฟิร์น และต้นสาวน้อยประ แป้ง กลุ่มต้นไม้จริงประกอบด้วย ต้นพลูด่าง ต้นฤาษีผสม และต้นเข็มสามสี ทำการทดลองในห้อง ทดสอบแบบปิดขนาด 8 ลบ.ม. เผาไหม้ธูปเพื่อให้ได้ความเข้มข้น PM2.5 เริ่มต้นในช่วง 240-250 มคก./ ลบ.ม. วัดความเข้มข้น PM2.5 ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พยากรณ์สัมประสิทธิ์การสูญหายของ PM2.5 จากการตกทับถมบนพื้นผิวใบ (k_{loss}) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิง เส้นตรง การทดลองที่ 2 การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ใช้ต้นไม้ ได้แก่ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์ ต้นซุ้มกระต่าย ต้น ว่านหางจระเข้ และต้นพลูด่าง ทำการทดลองในห้องทดสอบแบบปิดขนาด 0.21 ลบ.ม. ใช้สารละลาย ฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อสร้างไอระเหยความเข้มข้นเริ่มต้น 0.47, 4.7 และ 47 ppm ให้ต้นไม้สัมผัสกับฟอร์มัลดีไฮด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นที่เหลือเพื่อคำนวณอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของต้นไม้ และ การทดลองที่ 3 การใช้ต้นไม้บ่งชี้มลพิษฟอร์มัลดีไฮด์ ใช้ต้นไม้ คือ ต้นเพชรน้ำหนึ่ง ทำการทดลองแบบ เดียวกับการทดลองที่ 2 แต่ใช้ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ เริ่มต้น 0.47 ppm วัดการเปลี่ยนแปลงสีของใบ หลังจากสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ทุก ๆ 22 ชั่วโมง และพักฟื้นต้นไม้ 2 ชม. ติดต่อกัน 96 ชั่วโมง ด้วยการวิเคราะห์การประมวลภาพถ่ายเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกราฟแจกแจงความถี่ของสี (hue histogram) ของระบบสี HSV ผลการทดลองที่ 1 พบว่า k_{loss} มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับพื้นที่ใบของ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.919 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และลักษณะผิวใบที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการดักจับอนุภาคขนาดเล็กดังนี้ ค่า k_{loss} (ต่อชั่วโมง) ต้นเฟิร์นประดิษฐ์เท่ากับ 0.07 ต้นสาวน้อยประแป้ง 0.06 ต้นพลูด่าง 0.06 ต้นฤาษีผสม 0.04 ต่อชั่วโมง และต้นเข็มสามสี 0.05 และพบว่าอนุภาคส่วนใหญ่ติดอยู่บริเวณเส้นกลางใบและเส้นใบ ผลการทดลองที่ 2 พบว่าอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์เฉลี่ยของต้นไม้ภายในระยะเวลา 2 ชม. (มคก./ชม.-ตร.ม.) มีค่า ดังนี้ ต้นเฟิร์นประดิษฐ์ 71 ต้นซุ้มกระต่าย 46 ต้นว่านหางจระเข้ 184 และต้นพลูด่าง 84 และเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้นเริ่มต้นในอากาศมีผลให้อัตราการดูดซับของใบเพิ่มขึ้น และผลการทดลองที่ 3 พบว่า ต้นเพชรน้ำหนึ่งมีองศาของสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นหลังจากสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งอาจเป็นเพราะต้นเพชรน้ำหนึ่งมีความสามารถฟื้นตัวได้ดีที่ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ ดังนั้นต้นเพชรน้ำหนึ่งจึงไม่เหมาะที่จะใช้บ่งชี้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับต่ำในอาคารทั่วไป

สมศักดิ์ ศิริวนารังสรรค์ (2558) งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพอากาศในอาคารสถานบริการแต่งผม- เสริมสวย ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดสมุทรสาคร และกรุงเทพมหานคร จำนวน 28 แห่ง ศึกษาสถานการณ์ปัญหาสุขภาพและความปลอดภัย และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ จากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในสถานบริการแต่งผม-เสริมสวย โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็น ผู้ปฏิบัติงานหรือช่างแต่งผม-เสริมสวย จำนวน 101 คน คุณภาพอากาศในสถานบริการแต่งผม-เสริมสวย ในพื้นที่ที่ศึกษาของจังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดสมุทรสาครและกรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่าย รวม (TVOCs) เท่ากับ 847.00, 198.86, 476.43, และ 999.86 ppb ตามลำดับ ปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.00,18.86,23.43 และ 14.57 มคก./ลบ.ม ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) พบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.71, 6.57, 12.86, และ 7.43 มคก./ลบ.ม ตามลำ ดับ ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบมีสถานบริการแต่งผม - เสริมสวย ร้อยละ 39.29 มีความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงกว่า 1,000 ppm เป็น ดัชนีที่บ่งบอกถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ นอกจากนี้ ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศการทำ งานตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในอากาศ จำนวน 20 ชนิด ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH (TLVs-TWA) โดยสารอินทรีย์ ระเหยง่ายส่วนใหญ่ที่ตรวจพบ ได้แก่ toluene, xylene, styrene, butanol, dichloromethane, chloroform และ isopropanol (IPA)

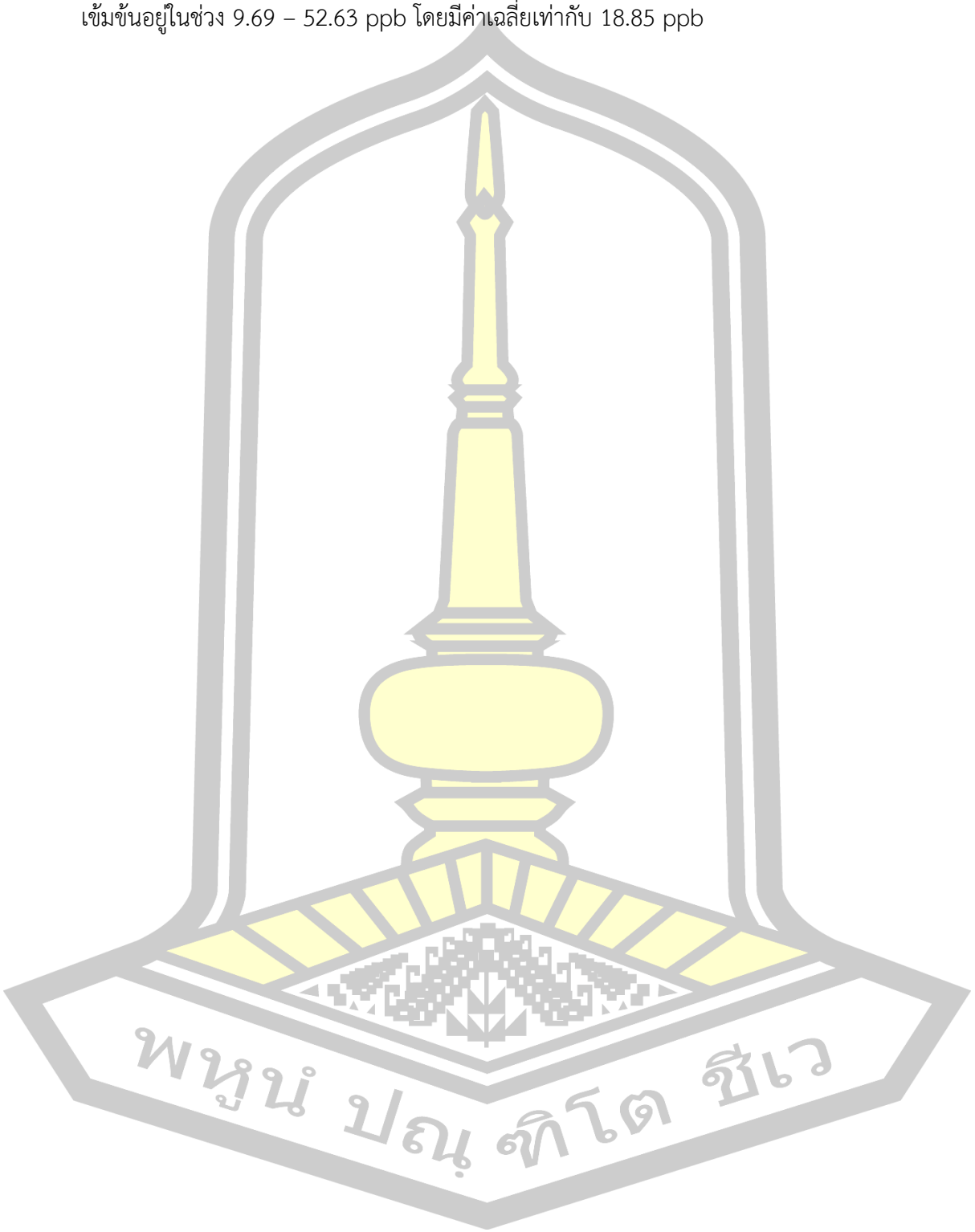
อาติยา เครือวรรณ (2553) งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศในเทอมของค่า Clean Air Delivery Rate (CADR) ในการกำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก, วัดอัตราการปล่อยก๊าซโอโซนที่ผลิตโดยเครื่องฟอกอากาศ และตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยจากการใช้เครื่องฟอกอากาศร่วมกับน้ำหอมปรับอากาศ โดยทำการทดสอบเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ที่นิยมใช้ตามบ้านเรือนและในรถยนต์ ได้แก่ (1) เครื่องฟอกอากาศแบบใช้ตัวกลางกรอง (HEPA1), (2) เครื่องฟอกอากาศแบบใช้ตัวกลางกรองและสร้างประจุ (HEPA2 On-Off), (3) เครื่องฟอกอากาศที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตย์ (ESP), (4) เครื่องฟอกอากาศระบบโอโซน (OZ), (5) เครื่องฟอกอากาศในรถยนต์ใช้การสร้างประจุและการผลิตโอโซน (IG1) และ (6) เครื่องฟอกอากาศในรถยนต์ใช้การสร้างประจุ (IG2) ซึ่งเครื่องที่จะใช้ทดสอบเหล่านี้เป็นเครื่องที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปในประเทศ ทำการทดลองในห้องทดสอบขนาด 2x2x2 ลบ.ม พื้นผิวห้องภายในเป็นอลูมิเนียม แหล่งกำเนิดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้จากการเผาไหม้ธูปซึ่งให้ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นอยู่ในช่วง 400 – 900 มค.ก./ลบ.ม. ในการศึกษานี้ทำการวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดอนุภาคที่เล็กกว่า 2.5 ไมครอน และอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอน และคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซโอโซนด้วยแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ของสมการสมดุลมวลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมลพิษอากาศภายในห้องทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง จากผลการทดลอง ค่า CADR ในการกำจัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 มค.ม. พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.3 – 66.2 ลบ.ม./ชม. โดยเครื่องฟอกอากาศ HEPA 1 มีค่า CADR ที่สูงใกล้เคียงกับ ESP ส่วน IG 2 มีค่า CADR ต่ำที่สุด ในขณะที่เครื่องฟอกอากาศ OZ ไม่พบว่า มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 มค.ม. ได้เลย สำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นที่เล็กกว่า 10 ไมครอน พบว่ามีแนวโน้มค่า CADR คล้ายคลึงกับค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 มค.ม. ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.2 – 66.0 ลบ.ม./ชม. เมื่อพิจารณาอัตราการปล่อยก๊าซโอโซนของเครื่องฟอกอากาศ พบว่า ESP, OZ และ IG 1 มีอัตราการปล่อยก๊าซโอโซนในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.09±0.05, 6.73±1.01 และ 1.01±0.91 มก./ชม. ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบอัตราการปล่อยก๊าซโอโซนในเครื่องฟอกอากาศชนิดที่เหลือ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มของอัลดีไฮด์และคีโตนจากการใช้เครื่องฟอกอากาศในรถยนต์ IG 1 ร่วมกับน้ำหอมปรับอากาศ 4 ชนิด, การบูรบรรจุถุง และใบเตย พบว่า เมื่อใช้เครื่องฟอกอากาศ IG 1 ร่วมกับน้ำหอมกลิ่นมะนาวทั้งแบบก้อนและแบบของเหลวทำให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบเพิ่มขึ้น 3 เท่า, อะซีทัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น 1 เท่า และอะซีโตนเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อเทียบกับการทดลองที่ภายในห้องทดสอบมีเพียงน้ำหอมปรับอากาศ

เชิดศิริ นิลผาย (2560) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีผลต่อโรคการเจ็บป่วยจากอาคารของ ผู้ปฏิบัติงานถ่ายเอกสาร เก็บกลุ่มตัวอย่างรอบเขตรัศมี 500 เมตร จากมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มศึกษา จำนวน 32 คน และกลุ่มเปรียบเทียบ 57 คน เกณฑ์การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ ฝุ่นที่มีขนาด 2.5 และ 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลม และ สอบถามอาการกลุ่มอาการของโรคการเจ็บป่วยจากอาคาร เพื่อทำการเปรียบเทียบอาการและอัตราการเกิดโรคการเจ็บป่วยจาก อาคารของกลุ่มศึกษาและกลุ่มเปรียบเทียบ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ร้อยละ, Chi - squares test, The Mann - Whitney U - Test และ Odd Ratio ผลการศึกษา พบว่า การปฏิบัติงานถ่ายเอกสารของกลุ่มศึกษา มีค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ฝุ่นที่มีขนาด 2.5 และ 10 ไมครอน ภายในอาคารสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีค่าเฉลี่ยที่ 854 ppm, 0.16 ppm, 92 μg/m3 และ 100 μg/m3 ตาม ลำดับ กลุ่มศึกษามีโอกาสเกิดอาการของโรคการเจ็บป่วยจากอาคาร ถึง 12.10 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มเปรียบเทียบ และคุณภาพ อากาศภายในอาคาร สัมพันธ์กับการเป็นโรคการเจ็บป่วยจากอาคาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ (2553) การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศในบรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ด้วยวิธีการแบบพาสสีพ เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศโดยวิธีการแบบพาสสีพ ทำการตรวจวัดเทียบกับการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง กรุงเทพมหานคร และทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศ บริเวณ แยกในกรุงเทพมหานคร ผลการออกแบบอุปกรณ์ดังนี้ มีส่วนประกอบคือตัวท่อพีวีซี (PVC) ชิ้นที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วเป็นตัวที่จะใช้ประกอบกับท่อพีวีซีชิ้นที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วเพื่อให้เมมเบรนยึดติดตัวท่อพีวิซี ชิ้นที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นตัวยึดเมมเบรนเข้าไว้กึ่งกลาง เพื่อรอประกอบกับท่อ PVC ชิ้นที่ 1 เมมเบรนหรือกระดาษกรองที่ใส่ไว้ในท่อพีวีซีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใส่สารดูดซับในการนำมาตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ เชือก เป็นตัวยึดเกาะระหว่างเมมเบรนในการนำไปแขวนในจุดต่างๆ ที่นำการตรวจวัด ถ้วยกระดาษที่ใช้บังลมและแสงอาทิตย์โดยพัฒนาปรับปรุงจากงานวิจัย ผลการศึกษาหากระดาษหรือตัวกลางและสารละลายดูดซับที่เหมาะสมพบว่าการตรวจวัด ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้เมมเบรนเป็นกระดาษสาบางที่เคลือบด้วยสารละลายผสมระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมอาร์ซีไนต์การตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใช้เมมเบรนเป็นกระดาษสาหนาที่เคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียม เตตร้าคลอโรซัลไฟโตเมอคิวเรท และการตรวจวัดก๊าซก๊าซโอโซนใช้เมมเบรนเป็นกกระดาษลอกลายที่เคลือบด้วยสารละลายผสมระหว่างสารโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เมื่อได้กระดาษหรือตัวกลางและสารละลายดูดซับที่เหมาะสมแล้วทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดโดยวิธีการพาสสีพที่ได้พัฒนากับวิธีการมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีดินแดง กรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดพร้อมกันในระหว่างวันที่ 8–11 สิงหาคม พ.ศ. 2553 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีการแบบพาสสีพที่ได้พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์กับผลการตรวจวัดโดยวิธีการมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษในระดับสูง(r=0.818) ส่วนความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีการแบบพาสสีพที่ได้พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์กับผลการตรวจวัดโดยวิธีการมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษในระดับปานกลางค่อนไปทางสูง (r=0.818 และ 0.767 ตามลำดับ) การดำเนินการวิจัยหลังจากที่ได้เปรียบเทียบผลการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศกับผลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษแล้วก็ดำเนินการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศที่ตำแหน่งแยกต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร จำนวน 91 แยกในระหว่างวันที่ 5-13 ตุลาคม 2553 ผลการตรวจวัดสรุปได้ดังตารางที่ 4.15 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.00 – 0.28 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ppb ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.42 –

39.46 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.24 ppb และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9.69 – 52.63 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.85 ppb



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองอากาศประกอบด้วย การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของโฟมพียู การทดสอบเบื้องต้นในการใช้โฟมพียูดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก การออกแบบ และสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ การทดสอบเครื่องฟอกอากาศสำหรับดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ และการทดสอบเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ รายละเอียด และวิธีการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของโฟมพียู

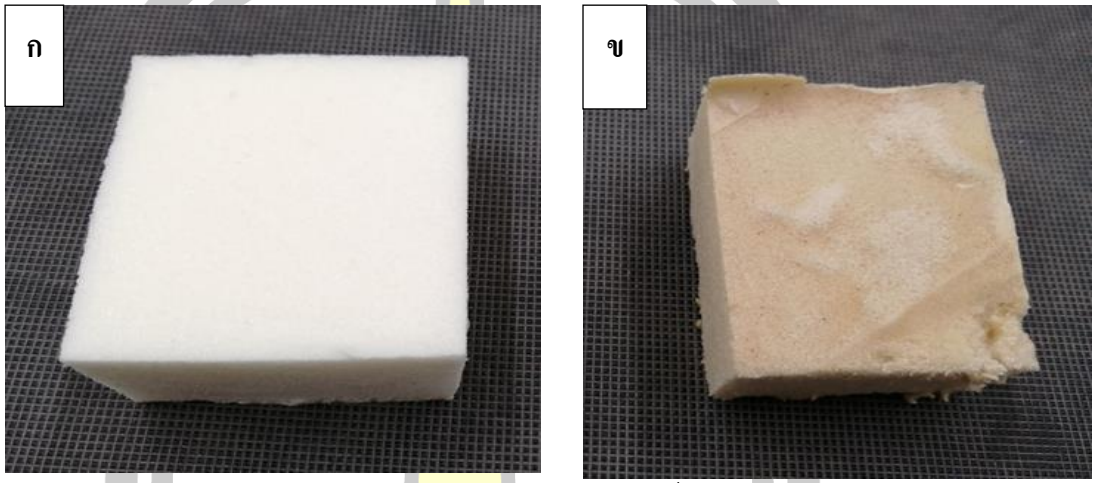
โฟมพียูที่ใช้ในการทดลองสำหรับผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศในโครงการวิจัยนี้ ได้จากฉนวนกันความร้อนของตู้เย็นที่นำมาแยกชิ้นส่วนต่างๆ โดยปกติฉนวนกันความร้อนหลังถูกแยกออกจากโครงตู้เย็นแล้ว ผู้คัดแยกจะนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะ การวิจัยนี้นำโฟมพียูมาจาก ตำบลบ้านแดงใหญ่ อำเภอไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ และบางส่วนได้จากอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี มาใช้ในงานวิจัยนี้ สมบัติของโฟมพียูทางกายภาพและเคมีแสดงดังต่อไปนี้

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ (Visual appearance)

ภาพประกอบ 14 แสดงวิธีการแยกฉนวนโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น ซึ่งโครงตู้ที่เป็นพลาสติกแข็งสามารถนำไปขายเพื่อรีไซเคิลได้ ในขณะที่โฟมพียูจะถูกนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบขยะของชุมชน โฟมพียูนี้มีความหนาประมาณ 50 มิลลิเมตร ลักษณะทางกายภาพเชิงประจักษ์ขึ้นกับสภาพที่โฟมพียูหรือโครงตู้เย็นถูกจัดเก็บไว้ในบริเวณที่ทำการคัดแยกขยะ

ภาพประกอบ 14 วิธีการแยกโฟมพียูออกจากโครงตู้เย็น

โฟมพียูที่จัดเก็บในที่ร่มมีสภาพใกล้เคียงโฟมพียูใหม่ มีสีขาวนวล เมื่อสัมผัสผิวโฟมมีลักษณะราบลื่น ไม่เป็นขุย ดังภาพประกอบ 15 (ก) ในขณะที่โฟมพียูซึ่งถูกวางในที่โล่ง ถูกแดด ลม (Weathered) พบว่ามีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ผิวสัมผัสเป็นขุย ผง ความแข็งแรงจากการกดสัมผัสลดลง ดังภาพประกอบ 15 (ข)



ภาพประกอบ 15 ลักษณะกายภาพเชิงประจักษ์ของ (ก) โฟมพียูที่จัดเก็บไม่ถูกแดด และ (ข) โฟมพียูที่ถูกแดดลม

จากการนำโฟมพียูที่ถูกจัดเก็บในร่ม และโฟมพียูที่ไม่ได้ถูกจัดเก็บไว้ในร่ม มาทดลองตัดให้ได้รูปร่างโฟมพียูที่ต้องการเพื่อใช้ในการทดสอบพบว่า โฟมพียูที่ไม่ได้ถูกจักเก็บไว้ในร่ม มีปัญหาในการตัดโฟมพียูให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ เนื่องจากเนื้อของโฟมพียูที่ไม่ได้ถูกจัดเก็บไว้ในร่มนั้นมีความแข็งแรงน้อยกว่าจึงตัดได้ยากกว่า และเกิดขุยมากกว่าโฟมพียูที่ถูกจัดเก็บไว้ในร่ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้โฟมพียูที่ถูกจัดเก็บไว้ในร่มมาใช้ในการทดสอบหาความสามารถในการดักจับฝุ่น และดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์

3.1.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของโฟมพียูใช้การชั่งน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักอิ่มตัว ตามมาตรฐานวิธีทดสอบของ มอก. 2398 เล่ม 3 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2553) ทำการทดสอบซ้ำ 2 ตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 16 และ 17 ทำการทดสอบโดยการนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปชั่งน้ำหนัก (m_1) จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นงานที่เย็นแล้วไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาเช็ดผิวด้วยผ้าชามัวร์ แล้วชั่งน้ำหนักทันที (m_2) สามารถการคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้ตามสมการ (9)

$$\text{การดูดซึมน้ำ(เปอร์เซ็นต์)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right) x100 \quad (9)$$

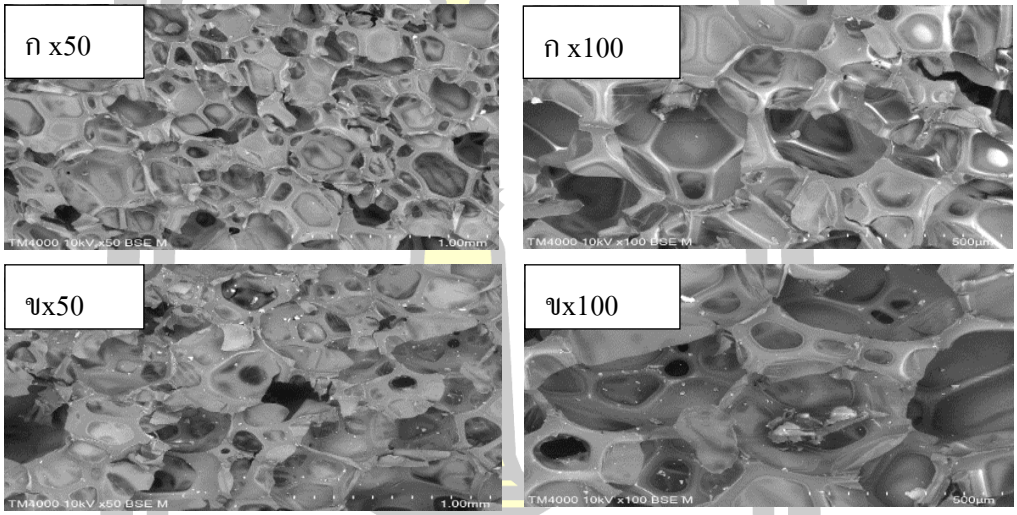
ภาพประกอบ 16 การทดสอบการดูดซึมน้ำของโฟมพียู

ภาพประกอบ 17 การชั่งน้ำหนักโฟมพียูก่อนและหลังแช่น้ำ

ผลการวัดการดูดซึมน้ำของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่มมีค่าเท่ากับ 35±1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โฟมพียูที่ถูกแดดลมมีค่าเท่ากับ 65±4 เปอร์เซ็นต์ ชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างของโฟมที่เสื่อมสภาพลงมีผลต่อการเพิ่มการดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจไม่เหมาะต่อการนำไปผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กเพราะโฟมอาจดูดซึมหรือดูดซับความชื้นในอากาศไว้ทำให้ลักษณะพื้นผิวโฟมเปลี่ยนแปลงได้ อย่างไรก็ดีโฟมพียูที่เสื่อมสภาพนี้อาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำสำหรับปลูกต้นไม้ประดับ

3.1.3 โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure)

ทำการวิเคราะห์โฟมพียูด้วยภาพถ่ายกำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (TM4000Plus, Hitachi, Japan) ภาพประกอบ 18 แสดงภาพถ่ายโฟมพียู (SEM images) เปรียบเทียบระหว่างโฟมที่เก็บในที่ร่ม และโฟมที่ถูกแดดลม ด้วยกำลังขยาย 50 และ 100 เท่า

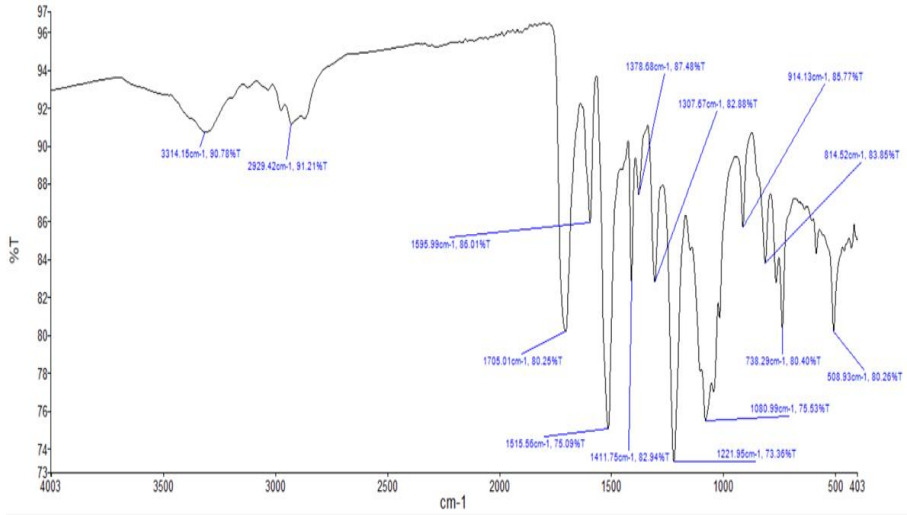


ภาพประกอบ 18 ภาพถ่ายโฟมพียูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด กำลังขยาย 50 และ 100 เท่า ของ (ก) โฟมที่เก็บในที่ร่ม และ(ข) โฟมที่ถูกแดดลม

จากภาพถ่าย SEM ของโฟมพียูแสดงลักษณะโครงสร้างที่เป็นช่องเปิด (Opening space) ที่เชื่อมโยงกันเป็นชั้นๆ ช่องเปิดมีขนาด 20 – 50 ไมครอน โฟมพียูที่ผ่านสภาพอากาศถูกแดดลมพบว่ามีชิ้นส่วนโฟมขนาดเล็กๆ จำนวนมากปรากฏที่พื้นผิว โครงสร้างช่องเปิดแตกหักมากกว่าโฟมที่จัดเก็บในที่ร่ม ดังนั้นผิวสัมผัสจึงเป็นผง ร่อนติดมือได้ ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นไส้กรองของเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

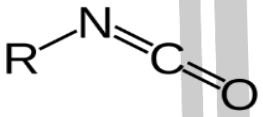
3.1.4 หมู่ฟังก์ชันนอลพื้นผิว (Functional surface)

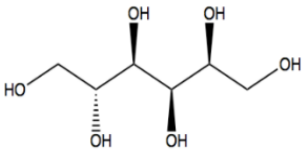
ทำการวิเคราะห์พื้นผิวทางเคมีของโฟมพียูด้วยเครื่อง Attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) (Spotlight200i, PerkinElmer, USA) ภาพประกอบ 19 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสง (Spectral transmittance, %T) อินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรด (Infrared and near-infrared) ในช่วงความยาวคลื่น 4000 - 400 ซม.$^{-1}$ของโฟมพียูที่จัดเก็บในร่ม ซึ่งแสดงถึงการสั่นพันธะของ O-H stretch, H-bonded, C=O stretch, C-O stretch, C-N stretch และ C-H ในช่วง 1800 - 500 ซม.$^{-1}$



ภาพประกอบ 19 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรดของโฟมพียู

โฟมพียูหรือโพลียูรีเทนโฟมสังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ di- หรือ tri-poly-isocyanate กับ polyol โดยมี carbamate เป็นตัวเชื่อม ดังนั้นจึงแสดงฟังก์ชันนอล 2 หรือมากกว่า 2 กลุ่มบนโมเลกุลของยูรีเทน จึงทำให้ตรวจพบการสั่นของพันธะดังกล่าวข้างต้น

โมโนเมอร์ isocyanate มีโครงสร้าง 

โมโนเมอร์ polyol มีโครงสร้าง 

3.1.5 ความเป็นรูพรุนของวัสดุโฟมพียู

ทำการวัดพื้นที่รูพรุนและขนาดรูพรุนของโฟมพียูด้วยเครื่องวัดความเป็นรูพรุนของวัสดุโดยการแทนที่ด้วยปรอท (mercury intrusion porosimeter, MIP, MicroActiveAutoPore V

9600Version 1.03) โดยส่งตรวจวิเคราะห์ที่สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

ตาราง 4 พื้นที่รูพรุนและขนาดรูพรุนของโฟมพียู

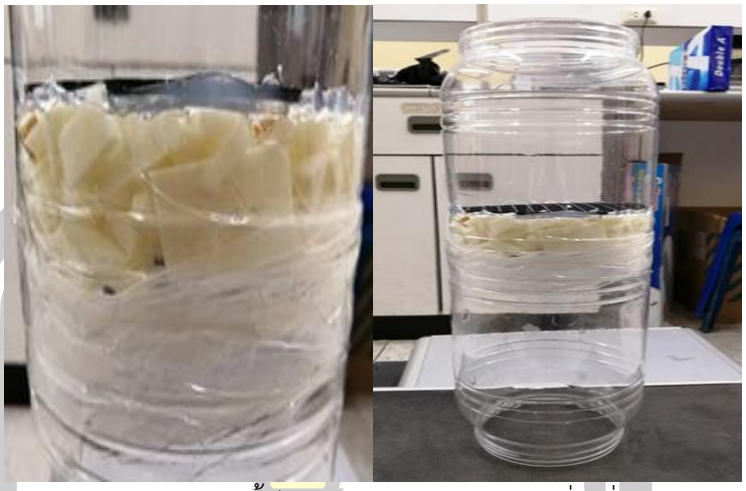
Total intrusion volume	24	มก./ก.
Total pore area	35.72	ตร.ม./ก.
Average pore diameter	2.689	ไมครอน
Bulk density at 10.07 psia	0.0366	ก./มล.
Apparent (skeletal) density at 59,965 psia	0.2998	ก./มล.
Porosity	73.50	เปอร์เซ็นต์

โฟมพียูที่ได้จากฉนวนกันความร้อนตู้เย็นแบบที่ไม่โดนแดด โดนลม มีค่าพรุน (Porosity) เท่ากับ 73 เปอร์เซ็นต์ และมีพื้นที่ผิวรูพรุนเท่ากับ 35.7 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับถ่านชาร์ไม้กระถินยักษ์จากกระบวนการไพโรไลซีส มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.75 ตารางเมตรต่อกรัม (มณีรัตน์ และคณะ, 2562) ดังนั้นความพรุนและพื้นที่ผิวรูพรุนที่สูงทำให้โฟมพียูมีคุณสมบัติเหมาะนำมาใช้เป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และใช้ดูดซับก๊าซหรือไอระเหยมลพิษอากาศได้

3.2 การทดสอบเบื้องต้นในการใช้โฟมพียูดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

งานวิจัยนี้เน้นการผลิตไส้กรองเครื่องฟอกอากาศเพื่อดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) เนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่สร้างผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เป็นหลัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) แหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการเผาไหม้ธูป โดยอ้างอิงระเบียบวิธีวิจัยของ Ongwandee and Kruewan (2012) การทดลองเบื้องต้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบไส้กรองเครื่องฟอกอากาศที่ผลิตจากโฟมพียูสำหรับใช้ดักจับ $PM_{2.5}$ โดยทำการทดสอบไส้กรองโฟมพียู 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ชั้นไส้กรองที่บรรจุชิ้นส่วนโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 10x20x5 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของชั้นไส้กรองประมาณ 4 เซนติเมตร โดยใช้ตะแกรงกั้นยึดติดกับคอลัมน์ แสดงดังภาพประกอบ 20

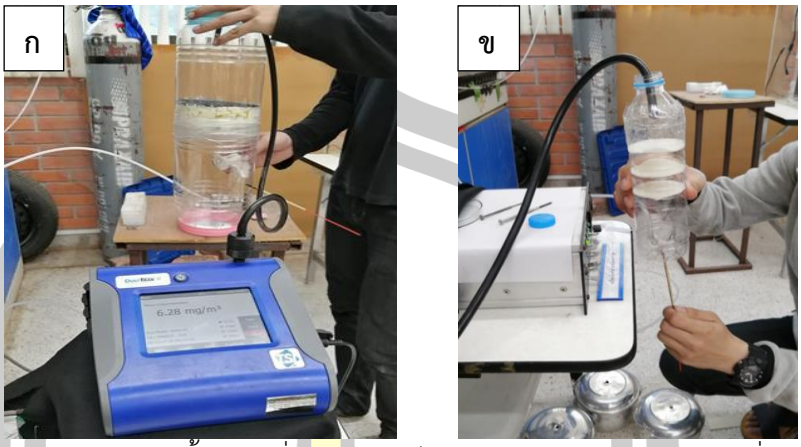


ภาพประกอบ 20 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม

รูปแบบที่ 2 ชั้นไส้กรองที่บรรจุแผ่นโฟมพียูความหนา 2-3 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชั้นระยะห่างแต่ละชั้น 3 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 21

ภาพประกอบ 21 ชั้นไส้กรองโฟมพียูตัดเป็นแผ่นบาง

ขั้นตอนการทดสอบรูปแบบไส้กรองดักจับ $PM_{2.5}$ โดยการบรรจุไส้กรองในคอลัมน์ที่ทำจากขวดน้ำพลาสติกใสขนาด 0.5 – 2 ลิตร จุดธูปให้เกิดควันด้านล่างของคอลัมน์ (ขาเข้า) พร้อมทั้งปล่อยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เพื่อพาฝุ่นให้ไหลด้วยอัตรา 2 ลิตร/นาที วัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ขาเข้า และขาออกคอลัมน์ด้วยเครื่อง DUSTTRAKTM II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA) ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหารูปแบบไส้กรองดักจับฝุ่น (ก) รูปแบบที่ 1 โฟมตัดชิ้นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปแบบที่ 2 โฟมตัดแผ่นบาง

ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ไส้กรองรูปแบบที่ 1 ไม่สามารถลดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ได้ เนื่องจากชิ้นโฟมที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่ออัดซ้อนกันยังคงมีช่องว่างระหว่างชิ้นโฟมพียู ทำให้อากาศสกปรกสามารถลอดผ่านออกไปได้ ชั้นกรองจึงไม่มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น ส่วนรูปแบบที่ 2 สามารถดักจับ $PM_{2.5}$ จากการทดสอบ 2 ครั้งที่ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ขาเข้าต่างกันได้ดังนี้

ตาราง 5 ผลการทดสอบเบื้องต้นในการดักจับฝุ่น

ความเข้มข้นขาเข้า (มก./ลบ.ม.)	ความเข้มข้นขาออก (มก./ลบ.ม.)	ประสิทธิภาพดักจับ (%)
100-115	40-50	50-65
1.8	0.7	60

จากผลการทดสอบพบว่า ไส้กรองโฟมพียูแบบแผ่นบางสามารถดักจับ $PM_{2.5}$ ได้ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นการออกแบบเครื่องฟอกอากาศเครื่องต้นแบบจึงเลือกใช้รูปแบบไส้กรองโฟมพียูที่ตัดเป็นแผ่นบาง ความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร โดยจัดเรียงชั้นไส้กรองทั้งหมด 3 ชั้น

3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องฟอกอากาศในอาคารเพื่อดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

3.3.1 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

จากผลการทดสอบเบื้องต้นผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูรูปแบบแผ่นบางมีความหนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังตาราง 6

ตาราง 6 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นโฟมพียู

	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 40x40x40 ลบ.ซม.
พื้นที่แผ่นกรอง (A_{filter})	860 ตร.ซม. (130 ตร.นิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	0.5 ม./วินาที (100 ฟุต/นาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุต/นาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโฟมพียู (Head)	2 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง (r)	10 รอบต่อ ชม.
ความสูงของพื้นที่ที่ต้องการฟอกอากาศ (H)	3 ม.

คำนวณอัตราการดูดอากาศที่ต้องการทำความสะอาดผ่านเครื่องฟอก (Q_{device}) ได้ดังสมการ

$$Q_{device} = A_{filter} \times V \quad (10)$$

จากข้อมูลในตาราง 5 จะได้ค่า Q_{device} เท่ากับ 146 ลูกบาศก์ติเมตรต่อชั่วโมง สามารถคำนวณพื้นที่สำหรับการฟอกอากาศ (A) ได้ดังสมการ

$$A = \frac{Q_{device}}{(r \times H)} \quad (11)$$

จากข้อมูลในตาราง 5 จะได้ค่า A = 5 ตารางเมตร

คำนวณกำลังไฟของพัดลมดูดอากาศของเครื่องฟอกได้ดังสมการ

$$P = \rho \times g \times Q_{device} \times Head \times SF \quad (12)$$

โดย P คือ กำลังของพัดลม (วัตต์)

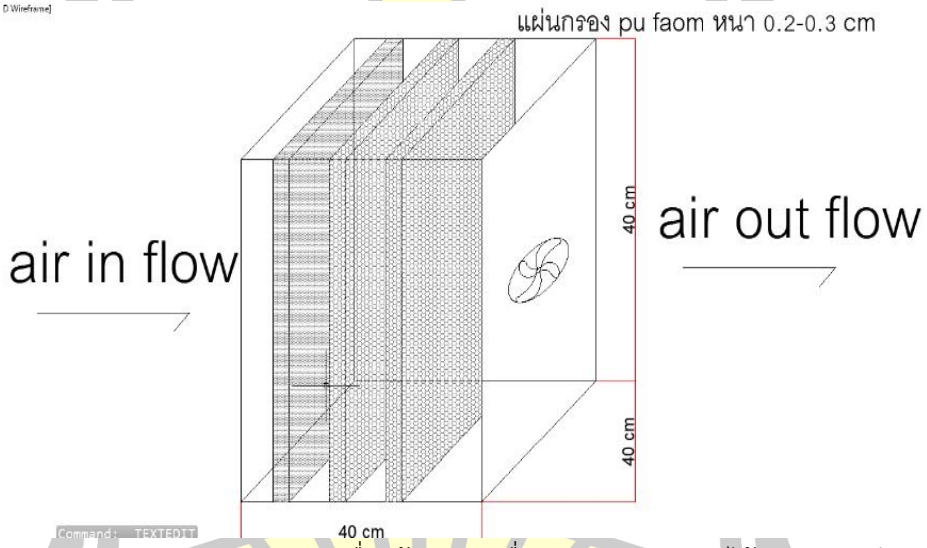
ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ เท่ากับ 1.2 กก./ลบ.ม

g คือ ความโน้มถ่วง เท่ากับ 9.8 เมตร/วินาที^{2}

SF คือ ค่าตัวคูณ safety factor กำหนดเท่ากับ 1.2

จะได้ค่ากำลังของพัดลมเท่ากับ 23 วัตต์ ดังนั้นเลือกพัดลมดูดอากาศที่มีขายในท้องตลาด ขนาด 45 วัตต์

แบบร่างเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูแสดงดังภาพประกอบ 23 โดยในตอนแรกออกแบบให้สามารถใส่แผ่นกรองโฟมพียูได้จำนวน 3 ชั้น



ภาพประกอบ 23 ภาพร่างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นพียู

การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแผ่นพียู ผู้วิจัยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นหลัก ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 6 ส่วน ดังนี้ และภาพประกอบ 24 แสดงเครื่องต้นแบบหลังจากสร้างและประกอบเสร็จสิ้น

1) โครงตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 40x40x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร

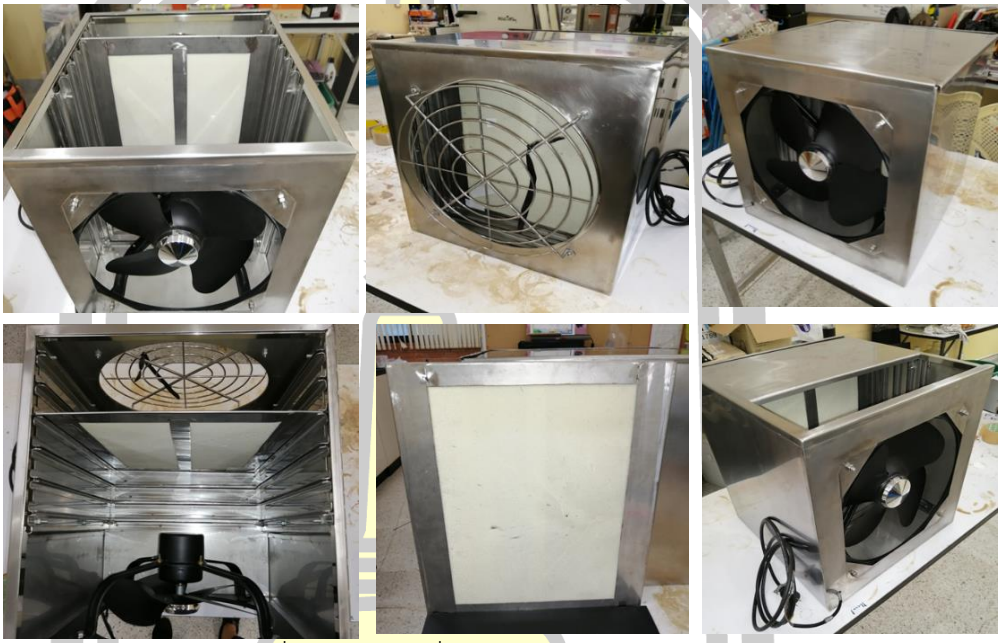
2) ฐานร่องติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดจับกรอบแผ่นกรองโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถใส่แผ่นกรองได้จำนวน 6 แผ่น (โดยได้เพิ่มเติมจากเดิมที่ออกแบบไว้ใส่ 3 แผ่น)

3) พัดลมดูดใบพัดทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 45 วัตต์

4) กรอบสำหรับยึดขึงแผ่นโฟมพียูทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 6 กรอบ

5) ฝาปิดด้านบนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม จำนวน 2 ชั้น

6) แผ่นโฟมพียู หนาประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 860 ตารางเซนติเมตร



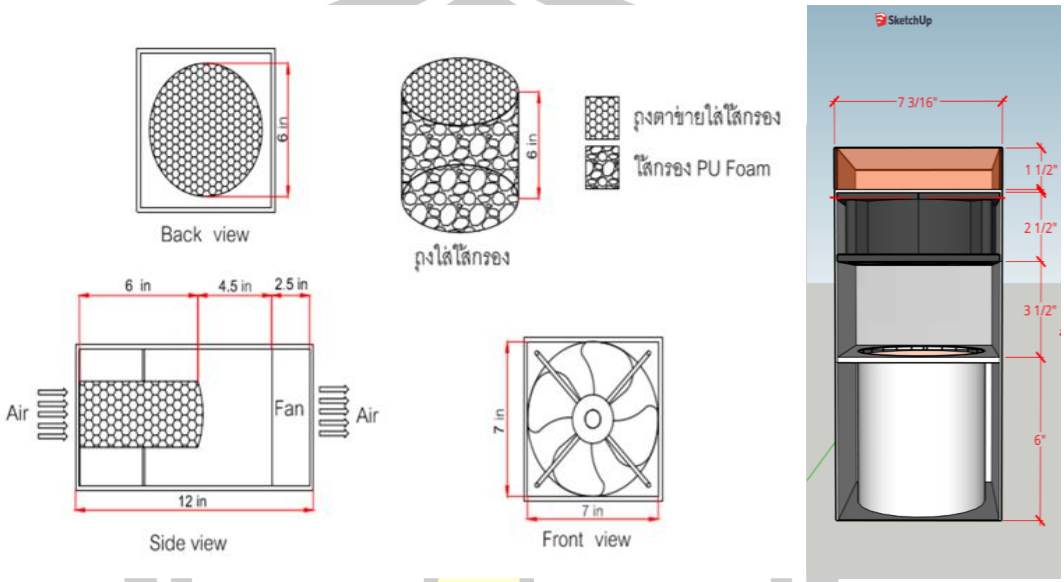
ภาพประกอบ 24 เครื่องต้นแบบเครื่องฟอกอากาศแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียู

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบไส้กรองแผ่นโฟมพียูในการดักจับ $PM_{2.5}$ พบว่าอัตราการผลิตอากาศสะอาดที่ฟอกแล้ว (CADR) มีค่าต่ำกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (วิธีการทดสอบเครื่องฟอกแสดงในหัวข้อถัดไป) ซึ่งสาเหตุมาจากพัดลมดูดอากาศที่เลือกใช้ไม่สามารถสร้างความดันสถิต (static pressure) ได้มากพอที่จะดูดอากาศสกปรกผ่านแผ่นกรองโฟมพียูจึงทำให้อากาศสกปรกไหลวนบริเวณด้านหน้าแผ่นกรองและไหลย้อนกลับทางด้านดูดของพัดลมแทน นอกจากนี้คาดว่าความดันลดของโฟมพียูที่ทำเป็นไส้กรองในรูปแบบที่เป็นแผ่นอาจจะสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ในการคำนวณออกแบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบใหม่

3.3.2 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

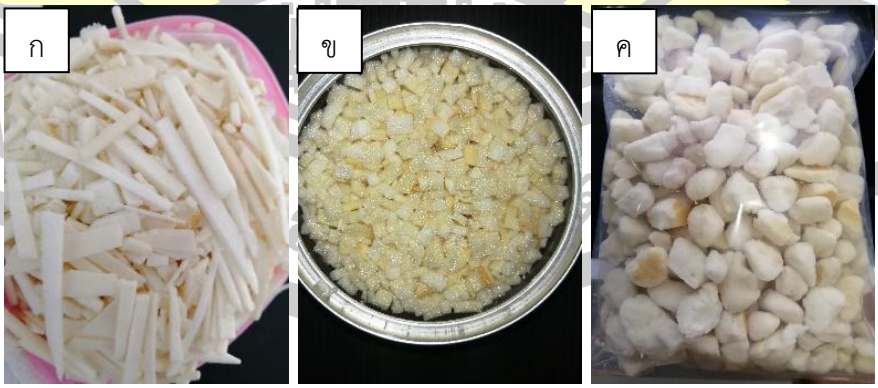
เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนมีขนาด 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ออกแบบเป็นลักษณะกระบอกภายในบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู ดังแสดงในภาพประกอบ 25 วัสดุที่ใช้ทำไส้กรองทรงกระบอกต้องสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ที่จะนำเครื่องฟอกอากาศไปใช้งาน และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงเลือกถุงตาข่ายไนล่อนซักผ้าที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปราคาต่อชิ้นไม่เกิน 20 บาท มีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของถุงตาข่ายซักผ้าที่ขายในท้องตลาด



ภาพประกอบ 25 แบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

รูปร่างของโฟมพียูที่จะบรรจุในกระบอกไส้กรองได้ออกแบบไว้ 3 ลักษณะ คือ (1) แบบเส้น โฟมยาว 2-5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-1 เซนติเมตร หนา 0.2-0.4 เซนติเมตร (2) แบบลูกเต๋า ขนาดประมาณ 0.5x0.5x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ (3) ก้อนโฟมพียู ขนาดประมาณ 2x2x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งได้จากการเตรียมโฟมเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนผลิตอิฐบล็อกมวลเบาจากอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ดังแสดงในภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในกระบอกไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า และ (ค) แบบก้อน

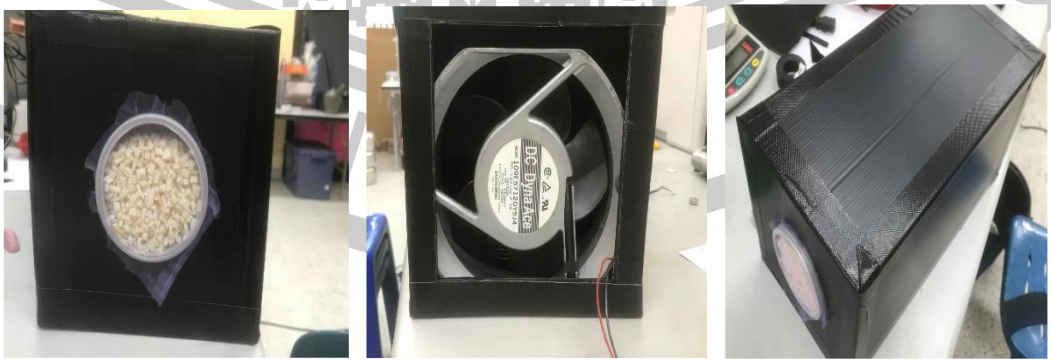
ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโฟมพียูดังกล่าวข้างต้น โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังตาราง 7

ตาราง 7 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

ข้อมูลสำหรับการออกแบบ	
ขนาดของเครื่องฟอกอากาศ	รูปทรงสี่เหลี่ยม 18x18x30 ลบ.ซม. (7x7x12 ลบ.นิ้ว)
ขนาดกระบอกไส้กรอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 ซม. สูง 18 ซม. พื้นที่หน้าตัด 18x18 ตร.ซม. (7x7 ตร.นิ้ว)
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	1.5 เมตร/วินาที (300 ฟุต/นาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุต/นาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโฟมพียู (Head)	1 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง (r)	10 รอบต่อ ชม.
ความสูงของพื้นที่ที่ต้องการฟอกอากาศ (H)	3 เมตร

จากข้อมูลในตาราง 6 คำนวณค่า Q_{device} เท่ากับ 165 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พื้นที่สำหรับการฟอกอากาศ (A) ได้เท่ากับ 5.5 ตารางเมตร คำนวณกำลังไฟของพัดลมดูดอากาศของเครื่องฟอกได้เท่ากับ 26 วัตต์ เลือกชนิดของพัดลมดูดอากาศใหม่ที่สามารถสร้างความดันสถิตได้มากกว่าพัดลมแบบ Propeller fan ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบแรก ดังนั้นจึงเลือกพัดลมแบบ Vane-axial fan

การสร้างเครื่องต้นแบบในเบื้องต้นใช้ฟิวเจอร์บอร์ดในการสร้างเครื่องฟอกอากาศแบบจำลองขึ้นเพื่อทดสอบว่าอากาศสามารถไหลผ่านวัสดุกรองได้ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 เครื่องต้นแบบก่อนการสร้างเครื่องฟอกอากาศจริง

จากภาพประกอบ 27 การทดสอบเบื้องต้นอากาศสามารถไหลผ่านวัสดุกรองได้การสร้างเครื่องต้นแบบ จึงเลือกใช้วัสดุสังกะสีเป็นหลักเนื่องจากง่ายในการตัด พับ เชื่อม และราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าวัสดุ ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้ (เครื่องฟอกอากาศดังภาพประกอบ 28)

1) โครงตัวเครื่องทำจากสังกะสี ขนาด 18x18x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2) โครงกระบอกติดตั้งที่โครงตัวเครื่องสำหรับยึดถุงไส้กรองทำจากสังกะสี ด้านล่างโครงกระบอกรองรับด้วยตะแกรงลวด โดยสามารถรองด้วยแผ่นคาร์บอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นและการดูดซับก๊าซมลพิษและไอระเหยได้

3) พัดลมแบบ Vane-axial fan ขนาด 65 วัตต์

4) ฐานรองเจาะช่องเปิดให้อากาศที่ฟอกแล้วไหลออกทำจากสังกะสี

ภาพประกอบ 28 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

ผลการทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียูในการดักจับ $PM_{2.5}$ พบว่าอัตราการผลิตอากาศสะอาดที่ฟอกแล้ว (CADR) มีค่าประมาณ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุมาจากพัดลมดูดอากาศที่เลือกใช้นั้นยังมีแรงในการดูดอากาศไม่มากพอ ทำให้อากาศสกปรกไหลผ่านไส้กรองได้น้อย จึงทำให้มีอัตราการผลิตอากาศสะอาดมีค่าต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบใหม่

3.3.3 การออกแบบเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม

การออกแบบเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม ไส้กรองอากาศยังคงใช้รูปร่างชิ้นส่วนโฟมพียูตามหัวข้อ 3.3.2 แต่ชิ้นส่วนโฟมพียูถูกบรรจุในเฟรมสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 31x5x44 ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดในการกรองอากาศมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องฟอกอากาศตามลักษณะของไส้กรองโฟมพียูดังกล่าวข้างต้น โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังตาราง 8

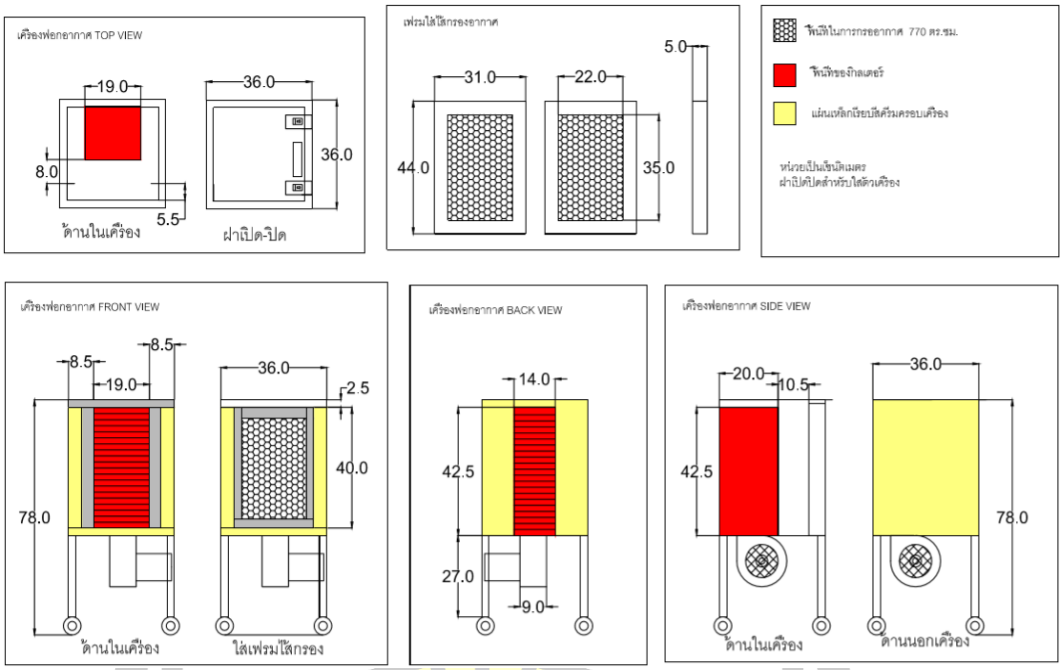
ตาราง 8 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองแบบถุงบรรจุชิ้นส่วนโฟมพียู

	ข้อมูลสำหรับการออกแบบ
ขนาดของเครื่องฟอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม 36x36x78 ลบ.ซม.
ขนาดเฟรมบรรจุไส้กรอง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 31x5x44 ลบ.ซม. พื้นที่หน้าตัด 770 ตร.ซม.
ความเร็วลมผิวหน้าแผ่นกรอง (v)	1.5 เมตร/วินาที (300 ฟุต/นาที) ความเร็วสูงสุด 300 ฟุต/นาที สำหรับไส้กรองชนิดใช้แล้วทิ้ง (Godish, 1989)
ความดันลดของแผ่นกรองโฟมพียู (Head)	2 นิ้วของน้ำ
อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านเครื่องกรอง (r)	10 รอบต่อ ชม.
ความสูงของพื้นที่ที่ต้องการฟอกอากาศ (H)	3 เมตร

จากข้อมูลในตาราง 8 คำนวณค่า Q_{device} เท่ากับ 416 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พื้นที่สำหรับการฟอกอากาศ (A) ได้เท่ากับ 14 ตารางเมตร สามารถคำนวณกำลังไฟพัดลมดูดอากาศของเครื่องฟอกอากาศได้เท่ากับ 65 วัตต์ เลือกชนิดของพัดลมดูดอากาศใหม่ที่สามารถสร้างความดันสถิตได้มากกว่าพัดลมแบบ Vane-axial fan ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบสอง ดังนั้นจึงเลือกพัดลมแบบ Centrifugal blower ขนาด 220 วัตต์

3.3.4 แบบวิศวกรรม

ออกแบบเครื่องฟอกอากาศเป็นลักษณะทรงตู้สี่เหลี่ยมมีขนาด 36x36x78 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้วัสดุในการสร้างเป็นโครงอะลูมิเนียมหุ้มด้วยแผ่นเหล็กเรียบสีครีม ติดตั้งพัดลมหอยโข่งขนาด 220 วัตต์ที่มีขายในท้องตลาด มีกริลเลอร์ (Griller) ส่วนวัสดุใส่ไส้กรองโฟมทำจากเฟรมอะลูมิเนียมขนาด 31x5x44 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีพื้นที่ผิวระนาบเท่ากับ 770 ตารางเซนติเมตร ใช้โปรแกรมเขียนแบบวิศวกรรม AutodeskAutoCAD version 2014 ในการเขียนแบบวิศวกรรมแสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 แบบวิศวกรรมของเครื่องฟอกอากาศ

3.3.5 ชนิดไส้กรองโฟมพียู

ภาพประกอบ 30 แสดงโฟมพียูหลังจากแยกส่วนออกมาจากตู้เย็นที่ได้มาจากแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของอำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ และอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานีเป็นส่วนเหลือทิ้งของตู้เย็น โดยรูปร่างของโฟมพียูที่ใช้เป็นไส้กรองอากาศในเครื่องฟอกต้นแบบนี้ได้ออกแบบไว้ 3 ลักษณะ คือ (1) โฟมพียูแบบเส้นโฟมยาวขนาด 22x0.5x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (2) โฟมพียูแบบลูกเต๋า ขนาด 1.8x1.8x1.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ (3) โฟมพียูแบบก้อน 2x2x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้จากการเตรียมโฟมเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนผลิตอิฐบล็อกมวลเบา แสดงดังภาพประกอบ 31

ภาพประกอบ 30 โฟมพียูหลังจากแยกออกมาจาตู้เย็น

ภาพประกอบ 31 รูปร่างโฟมพียูที่บรรจุในเฟรมไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า (ค) แบบก้อน

จากภาพประกอบ 31 เมื่อตัดโฟมพียูได้ตามรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการแล้ว โดยจะนำมาบรรจุในเฟรมไส้กรองกรองโฟมพียูโดยควบคุมน้ำหนักโฟมพียูให้อยู่ที่ 100 กรัม โดยโฟมพียูแบบลูกเต๋า และแบบก้อน สามารถบรรจุได้ 100 กรัม แต่โฟมพียูแบบเส้นสามารถบรรจุลงในเฟรมไส้กรองได้เพียง 65 กรัม เนื่องจากโฟมพียูแบบเส้นมีขนาดที่สม่ำเสมอกัน และมีการเรียงตัวอัดแน่นในเฟรมไส้กรอง ทำให้โฟมพียูแบบเส้นไม่สามารถแทรกเข้าไปยังที่ว่างเล็กๆได้ โดยสามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของโฟมพียู (Geometric surface area) ในการดักจับฝุ่นได้ดังนี้ โดยรูปร่างโฟมพียูที่มีพื้นที่

ผิวสัมผัสมากที่สุด คือ แบบก้อน เท่ากับ 11,200 ตารางเซนติเมตร แบบลูกเต๋า เท่ากับ 4,800 ตารางเซนติเมตร และแบบเส้น เท่ากับ 4,500 ตารางเซนติเมตร

3.4 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูสำหรับดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$

การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูสำหรับดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ แบ่งการทดสอบเป็น 2 การทดสอบคือ การทดสอบการรั่วของอากาศของเครื่องฟอกอากาศ และการหาอัตราการทำความสะอาดอากาศ (Clean Air Delivery Rate, CADR) ของเครื่องฟอกอากาศด้วยห้องทดสอบ

3.4.1 การทดสอบการรั่วซึมของเครื่องฟอกอากาศ

การทดสอบการรั่วซึมของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู ทดสอบโดยการนำถูสบู่ไปในบริเวณมุมหรือขอบของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูที่มีรอยต่อ หลังจากนั้นสังเกตดูว่า มุมหรือขอบของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูบริเวณที่มีการถูด้วยสบู่ การเกิดฟองสบู่หรือไม่มีเกิดฟองสบู่ขึ้นมาหรือไม่

3.4.2 การหาอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ในการดักจับฝุ่นของเครื่องฟอกอากาศด้วยห้องทดสอบ

ในงานวิจัยนี้การหาอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กในห้องทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.2.1 ห้องทดสอบ อุปกรณ์ และเครื่องมือตรวจวัด

ห้องทดสอบที่ใช้ทดลองมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ดังภาพประกอบ 32 โดยวัสดุภายในของผนังห้องทดสอบเป็นอะลูมิเนียม และมีพัดลมใช้สำหรับการกวนผสมให้ความเข้มข้นมลพิษอากาศภายในห้องทดสอบเท่ากันทุกจุด และเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้คือ เครื่องตรวจวัดฝุ่น DUSTTRAKTM II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA) ดังภาพประกอบ 33 และเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Model SD800, ExtechInstrument Crop., USA) ดังภาพประกอบ 34

ภาพประกอบ 32 ห้องทดสอบที่ใช้ทดลองมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร

ภาพประกอบ 33 เครื่องตรวจวัดฝุ่น DUSTTRAKTM II aerosol monitor (Model 8530, TSI Inc., USA)

ภาพประกอบ 34 เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Model SD800,Extech InstrumentsCorp., USA)

3.4.2.2 ขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูสำหรับดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ มีขั้นตอนในการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

3.4.2.2.1 การวัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบ (λ)

ขั้นตอนการวัดอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรใช้ก๊าซ CO_2 เป็นก๊าซทำรอยตาม ASTM E741 tracer gas decay method (ASTM, 2009) เพื่อให้ทราบถึงอัตราการสูญหายของฝุ่นจากการรั่วไหลอากาศของห้องทดสอบ มีรายละเอียดการวัดดังนี้

1) เตรียมห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการเช็ดทำความสะอาดห้องทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัด CO_2

2) เพิ่มความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นของ CO_2 ด้วยการจุดธูปเข้าไปในห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรที่เตรียมไว้ให้ถึง 1000 ppm

3) เปิดเครื่องตรวจวัด CO_2 และเก็บข้อมูลการทดลองทุก 1 นาที

4) นำผลการทดลองของ CO_2 มาวิเคราะห์ในโปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลของ CO_2 ดังนี้

$$V\frac{dC}{dt} = QC_{out} - QC_t \quad (13)$$

เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกห้องตามปกติมีค่าน้อยมากจึงกำหนดให้เป็นศูนย์ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (13) ใหม่ได้

$$V\frac{dC}{dt} = -QC_t \quad (14)$$

แก้สมการ (14) จะได้

$$C_t = C_0 e^{-(\lambda t)} \quad (15)$$

สมการการหาอัตราการไหลของอากาศ (λ)

$$C_t = C_0 e^{-(\lambda t)} + C_{out}(1 - e^{-(\lambda t)}) \quad (16)$$

โดยที่ C_t คือ ความเข้มข้น CO_2 ณ เวลาใดๆ (ppm)

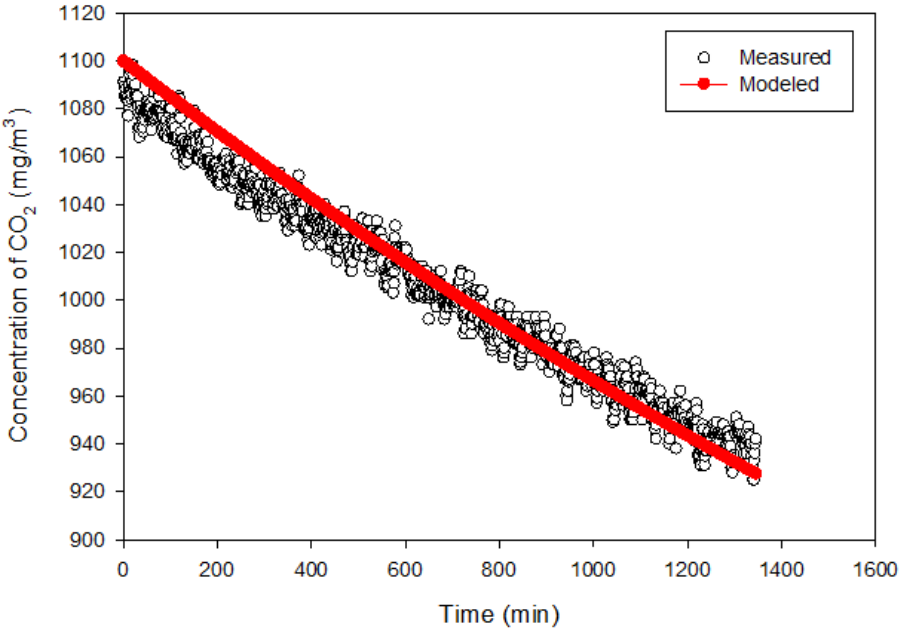
C_0 คือ ความเข้มข้น CO_2ณ ที่เวลาเริ่มต้น (ppm)

C_{out} คือ ความเข้มข้น CO_2นอกห้องทดสอบ (ppm)

λ คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้องทดลอง (ลบ.ม./ชม.)

t คือ เวลา (ชม.)

ผลการทดสอบการหาอัตราการรั่วซึมอากาศ (λ) ในการหาค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบนั้น อยู่ในรูปของหน่วยต่อเวลา (ต่อชม.) โดยการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงตามสมการ (16) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting version 6.3 (Phillip H. Sherwood, USA) สามารถคำนวณอัตราการไหลของอากาศ (λ) ได้เท่ากับ 0.015 ± 0.001 ต่อชั่วโมง และได้กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับหาอัตราการรั่วซึมของห้องทดสอบ

3.4.2.2.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น (k_{PM})

ขั้นตอนการวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่นเนื่องจากกลไกการตกทับถมตามธรรมชาติ (Natural deposition) บนพื้นผิวของห้องทดสอบ มีการทดลองดังนี้

1) เตรียมห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการเช็ดทำความสะอาดผนังภายในห้องทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ที่ยังไม่ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศที่ทดสอบ

2) เพิ่มความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นของ $PM_{2.5}$ ให้ถึง 250-260 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยการจุดธูปเข้าไปในห้องทอสอบที่เตรียมไว้

3) เปิดเครื่องตรวจวัดฝุ่น และเก็บข้อมูลการทดลองทุก 1 นาที

4) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ในโปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลดังนี้

$$V\frac{dC_t}{dt} = QC_{out} - QC_t - k_{PM}C_tV \quad (17)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กภายนอกห้องน้อยมากเมื่อเทียบกับภายในห้องทดสอบ จึงสมมติให้ C_{out} = 0

$$V\frac{dC_t}{dt} = -QC_t - k_{PM}C_tV \quad (18)$$

สมการหา k_{PM}

$$C_t = (C_0 - C_b)e^{-(\lambda + k_{PM})t} + C_b \quad (19)$$

โดยที่ Ct คือ ความเข้มข้นของฝุ่น ณ เวลาใดๆ (มคก./ลบ.ม.)

C_0 คือ ความเข้มข้นของฝุ่น ณ ที่เวลาเริ่มต้น (มคก./ลบ.ม.)

C_b คือ ความเข้มข้นของฝุ่น ภูมิหลัง ณ สภาวะสมดุล (มคก./ลบ.ม.)

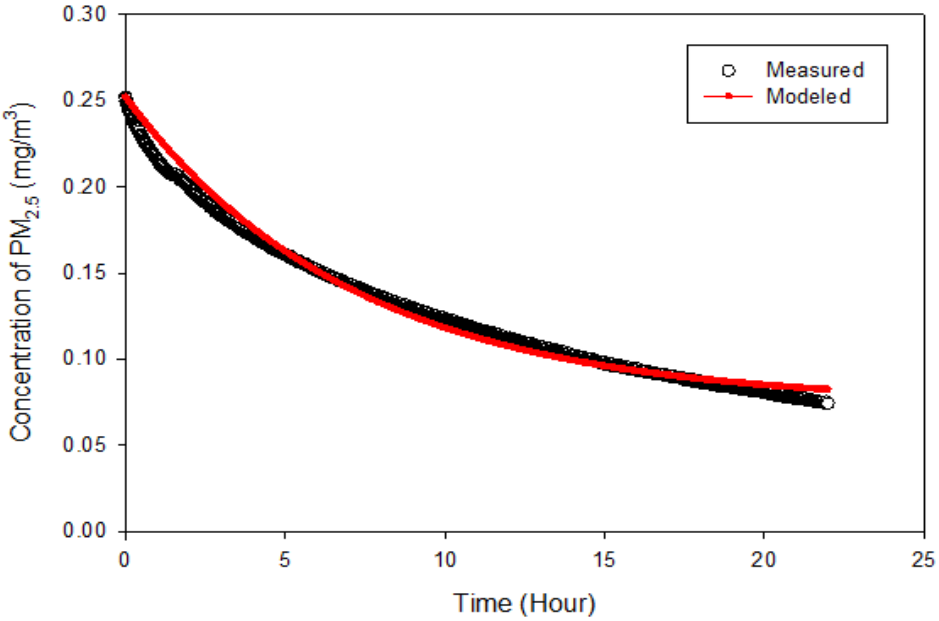
λ คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดสอบเท่ากับ (0.015 ต่อชม.) ได้จาก ข้อ 3.4.2.2.1

k_{PM} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น(ต่อชม.)

t คือ เวลา (ชม.)

ผลการทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น (k_{PM}) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายฝุ่นของห้องทดสอบนั้น อยู่ในรูปของหน่วยต่อเวลา (ต่อชั่วโมง) โดยการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง ตามสมการ (19) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting version 6.3 (Phillip H. Sherwood, USA) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น (k_{PM}) ได้เท่ากับ 0.102 ± 0.0008 ต่อชั่วโมง และได้กราฟสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น ดังภาพประกอบ 36

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 36 กราฟสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น

3.4.2.2.3 การวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่น

ขั้นตอนการวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ มีดังนี้

1) เตรียมห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการเช็ดทำความสะอาดห้องทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และเครื่องฟอกอากาศสำหรับการทดสอบซึ่งมีรูปแบบของไส้กรองอากาศอยู่ 3 แบบ คือ ไส้กรองรูปแบบเส้น ไส้กรองรูปแบบลูกเต๋า และไส้กรองรูปแบบก้อน

2) เพิ่มความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นของ $PM_{2.5}$ ให้ถึง 250-260 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ด้วยการจุดธูปเข้าไปในห้องทดสอบที่เตรียมไว้

3) เปิดเครื่องตรวจวัด $PM_{2.5}$ และบันทึกค่าความเข้มข้นเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าความเข้มข้นทุก 1 นาที

4) นำผลการวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Nonlinear regression and curve fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ดังนี้

$$\frac{dC}{dt} = \lambda C_{out} - \lambda C - Q_p C - \frac{Q_{device}\eta}{V} C - k_{PM} C \qquad (20)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กภายนอกห้องน้อยมากเมื่อเทียบกับภายในห้องทดสอบ จึงสมมติให้ C_{out} = 0

$$C = C_0 e^{\left(-\left(\lambda + Q_p + k_{PM} + \frac{CADR_{PM}}{V}\right)t\right)} \quad (21)$$

สามารถหาค่า $CADR_{PM}$ ด้วยสมการ

$$C_t = (C_0 - C_b)e^{-\left(\lambda + Q_p + k_{PM} + \left(\frac{CADR_{PM}}{V}\right)\right)t} + C_b \quad (22)$$

โดยที่ $CADR_{PM}$ คือ อัตราการสร้างอากาศบริสุทธิ์หลังกำจัดฝุ่น (ลบ.ม./ชม)

C_t คือ ความเข้มข้นของฝุ่น ณ เวลาใด ๆ (มคก./ลบ.ม.)

C_0 คือ ความเข้มข้นของฝุ่น ณ ที่เวลาเริ่มต้น (มคก./ลบ.ม.)

C_b คือ ความเข้มข้นของฝุ่นภูมิหลัง ณ สภาวะสมดุล (มคก./ลบ.ม.)

λ คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดลอง (0.015 ต่อชม.) ได้จากข้อ 3.4.2.2.1

Q_p คือ อัตราการสูญหายของจากการดูดของเครื่องวัดฝุ่น (ต่อชม.)

k_{PM} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฝุ่น (0.102 ต่อชม.) ได้จากข้อ 3.4.2.2.2

t คือ เวลา (ชม.)

3.5 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

ในงานวิจัยนี้การหาอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยห้องทดสอบซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการทดสอบเครื่องฟอกในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

3.5.1 ห้องทดสอบ อุปกรณ์ และเครื่องมือตรวจวัด

ห้องทดสอบที่ใช้ทดลองมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรดังภาพประกอบ 32 เครื่องฟอกอากาศที่ใช้สำหรับการทดสอบตามที่ออกแบบ ดังภาพประกอบ 29 และเครื่องมือวัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde Gas Detector Model FP-30, RKI Instruments Inc., USA) แสดงดังภาพประกอบ 37 โดยมีค่าต่ำสุดที่เครื่องวัดได้เท่ากับ 0.001

ภาพประกอบ 37 เครื่องวัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde Gas Detector ModelFP-30, RKI Instruments Inc., USA)

3.5.2 ขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดสอบเครื่องฟอกอากาศสำหรับกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ มีขั้นตอนการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

3.5.2.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์

ขั้นตอนการทดลองการวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์เนื่องจากการดูดซับที่พื้นผิวห้องทดสอบมีการทดลองดังนี้

1) เตรียมห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการเช็ดทำความสะอาดห้องทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ แต่ยังไม่ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศที่จะทดสอบ

2) เพิ่มความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ถึง 1 ppm ด้วยการฉีดสารละลายฟอร์มาลีนความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำ (ACS reagent grade, Sigma-Aldrich Co., Singapore) ปริมาณ 18 ไมโครลิตร ลงบนจานเพาะเชื้อ (Petri dish) แล้วตั้งทิ้งไว้ภายในห้องทดสอบปล่อยให้ระเหยกลายเป็นไอ

3) เปิดเครื่องตรวจวัดค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบโดยวัดค่าที่เวลา 3 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุก 3 ชั่วโมง

4) นำผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์มาวิเคราะห์ในโปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลฟอร์มัลดีไฮด์ดังนี้

$$V\frac{dC_t}{dt} = QC_{out} - QC_t - k_{\mathrm{HCHO}}C_tV \quad (23)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายนอกห้องน้อยมากเมื่อเทียบกับภายในห้องทดลอง จึงสมมติให้ C_{out} = 0

$$V\frac{dC_t}{dt} = -QC_t - k_{\mathrm{HCHO}}C_tV \quad (24)$$

สมการหา k_{HCHO}

$$C_t = (C_0 - C_b)e^{-(\lambda + k_{\mathrm{HCHO}})t} + C_b \quad (25)$$

โดยที่ Ct คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ณ t ใด ๆ (มคก./ลบ.ม.)

C_0 คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ณ ที่เวลาเริ่มต้น (มคก./ลบ.ม.)

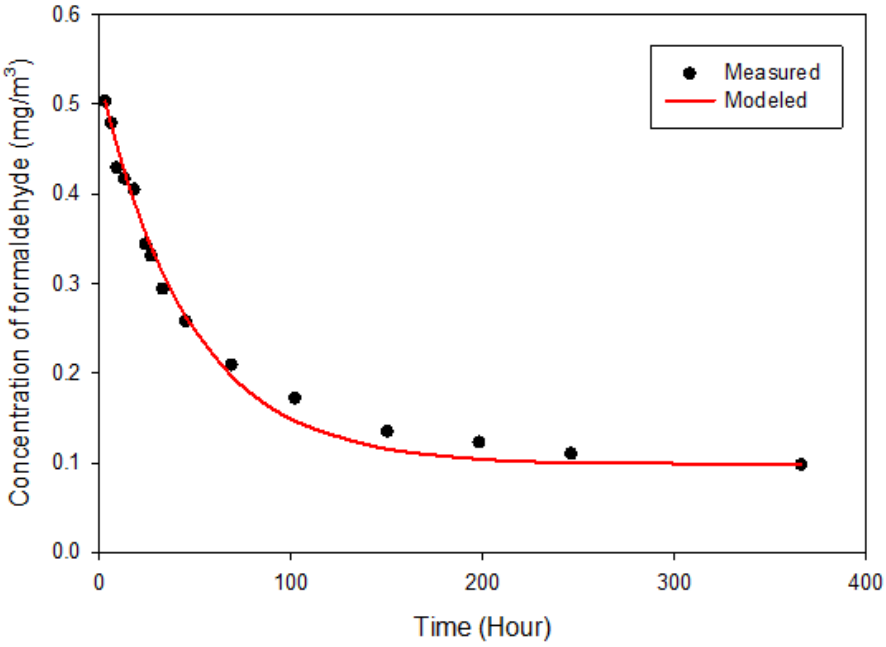
C_b คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภูมิหลัง ณ สภาวะสมดุล (มคก./ลบ.ม.)

λ คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดลอง (0.015 ต่อชม.) ได้จาก 3.4.2.2.1

k_{HCHO} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ (ต่อชม.)

t คือ เวลา (ชม.)

ผลการทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ (k_{HCHO}) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายฟอร์มัลดีไฮด์ของห้องทดสอบนั้น อยู่ในรูปของหน่วยต่อเวลา ต่อชั่วโมง โดยการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง ตามสมการ (19) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting version 6.3 (Phillip H. Sherwood, USA) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ (k_{HCHO}) ได้เท่ากับ 0.006 ± 0.002 ต่อชั่วโมง และได้กราฟสัมประสิทธิ์การสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ ดังภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 กราฟสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์

3.5.2.2 การวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์

ขั้นตอนการทดลองการวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศมีการทดลองดังนี้

1) เตรียมห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการเช็ดทำความสะอาดห้องทดสอบ ติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ และเครื่องฟอกอากาศสำหรับการทดสอบโดยเลือกทดสอบรูปแบบไส้กรองที่สามารถกำจัดฝุ่น ได้มากที่สุด ในที่นี้คือไส้กรองโฟมพียูแบบก้อน

2) เพิ่มความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นของฟอร์มัลดีไฮด์ให้ถึง 1 ppm ด้วยการฉีดสารละลายฟอร์มาลีนลงบนจานเพาะเชื้อแล้วตั้งทิ้งไว้ในห้องทดสอบปล่อยให้ระเหยเป็นไอ

3) เปิดเครื่องตรวจวัดค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบโดยวัดค่าที่เวลา 3 ชั่วโมง

4) นำผลการวัดค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Nonlinear Regression and Curve Fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลฟอร์มัลดีไฮด์ดังนี้

$$\frac{dC}{dt} = \lambda C_{out} - \lambda C - \frac{Q_{device}\eta}{V} C - k_{\mathrm{HCHO}} C \qquad (26)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายนอกห้องน้อยมากเมื่อเทียบกับภายในห้องทดลอง จึงสมมติให้ C_{out} = 0

$$C = C_0 e^{\left(-\left(\lambda + k_{\mathrm{HCHO}} + \frac{CADR_{\mathrm{HCHO}}}{V}\right)t\right)} \quad (27)$$

สมการหา $CADR_{HCHO}$

$$C_t = (C_0 - C_b)e^{-\left(\lambda + k_{\mathrm{HCHO}} + \left(\frac{CADR_{\mathrm{HCHO}}}{V}\right)\right)t} + C_b \quad (28)$$

โดยที่ $CADR_{HCHO}$ คือ อัตราการสร้างอากาศบริสุทธิ์หลังกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ (มคก./ลบ.ม.)

C_t คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ณ t ใด ๆ (มคก./ลบ.ม.)

C_0 คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ณ ที่เวลาเริ่มต้น (มคก./ลบ.ม.)

C_b คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภูมิหลัง ณ สภาวะสมดุล (มคก./ลบ.ม.)

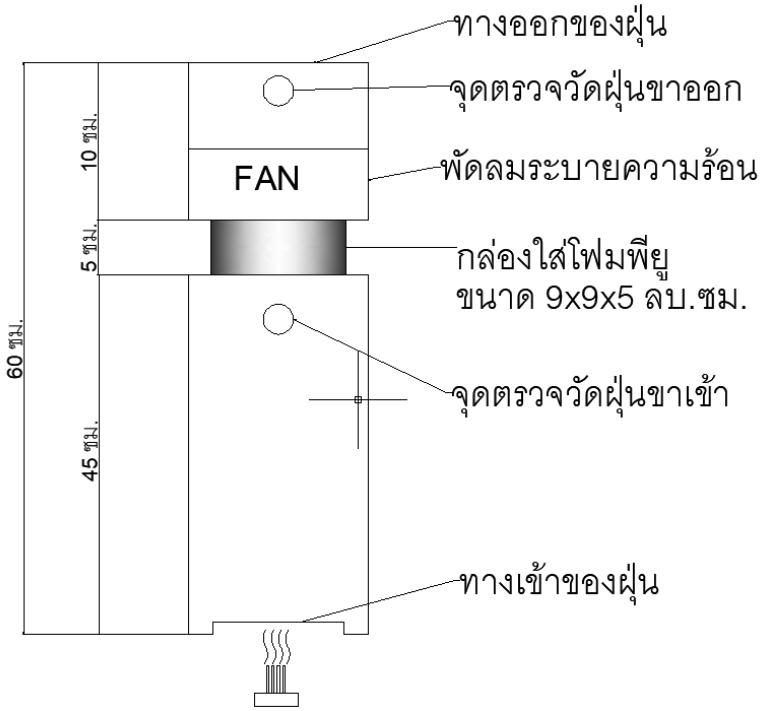
λ คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของห้องทดลองเท่ากับ (0.015 ต่อชม.) ได้จากข้อ 3.4.2.2.1

k_{HCHO} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ (0.006 ต่อชม.) ได้จาก 3.5.2.1

t คือ เวลา (ชม.)

3.6 การประเมินอายุการใช้งานของไส้กรองโฟมพียูของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ดักจับฝุ่น

การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู ในการฟอกอากาศโดยใช้ไส้กรองโฟมพียูเป็นวิธีดูดฝุ่นละอองขนาดเล็กให้ติดที่ผิวของไส้กรองโฟมพียู และเครื่องฟอกอากาศขนาดจริงนั้นมีการใช้จำนวนไส้กรองโฟมพียูที่มาก ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการทดลองจึงจำลองเครื่องฟอกอากาศโดยใช้วัสดุในการสร้างคือ ฟิวเจอร์บอร์ด โดยสร้างให้มีขนาดเล็กลง และใช้พัดลมระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ติดบริเวณด้านบนของกล่องใส่ไส้กรองโฟมพียู เพื่อดูดอากาศจากด้านล่างไหลผ่านโฟมพียูขึ้นด้านบน โดยกล่องไส้กรองโฟมพียูมีขนาด 9x9x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 39 ทำให้ใช้ไส้กรองโฟมพียูในปริมาณที่น้อยลง โดยใช้ปริมาณโฟมพียู 9 กรัม ในการประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู



ภาพประกอบ 39 แบบจำลองของเครื่องฟอกอากาศฟิวเจอร์บอร์ด

ขั้นตอนการทดลองหาอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูมีดังต่อไปนี้

1. สร้างเครื่องฟอกอากาศโดยใช้ฟิวเจอร์บอร์ด และติดตั้งเครื่องฟอกอากาศฟิวเจอร์บอร์ด

2. จุดธูปให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก แล้วเปิดพัดลมระบายความร้อนคอมพิวเตอร์ในการดูดอากาศให้ไหลผ่านโฟมพียูจากล่างขึ้นบน

3. เปิดเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้ว ทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กก่อน และหลัง ที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กไหลผ่านไส้กรองโฟมพียู โดยเก็บข้อมูลทุก 1 นาที

4. นำผลการทดลองมาหาเปอร์เซ็นต์การทะลุของฝุ่นละอองขนาดเล็กออกจากโฟมพียู โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

สมการหาปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียู (V_{air})

$$V_{air} = v \times A \times t \quad (29)$$

โดยที่ V_{air} คือ ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียู (ลบ.ม.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของโฟมพียู (0.0081 ตร.ม.)

v คือ ความเร็วลมของพัดลม (1.5 ม./วินาที)

t คือ เวลา (ชม.)

สมการหามวลของฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าและออก (mass)

$$mass_{in} = V_{air} \times C_{in} \quad (30)$$

$$mass_{out} = V_{air} \times C_{out} \quad (31)$$

โดยที่ $mass_{in}$ คือ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้า (มก.)

$mass_{out}$ คือ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กออก (มก.)

C_{in} คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้า (มก./ลบ.ม.)

C_{out} คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กออก (มก./ลบ.ม.)

สมการหาปริมาณฝุ่นที่ถูกดักจับที่ไส้กรองโฟมพียู (Mass trapped)

$$Masstrapped = (mass_{in} - mass_{out}) \quad (32)$$

สมการหาปริมาณฝุ่นที่ทะลุผ่านโฟมพียู (Penetration)

$$Penetration = \frac{mass_{in}}{mass_{out}} \times 100 \quad (33)$$

โดยที่ $mass_{in}$ คือ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้า (มก.)

$mass_{out}$ คือ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กออก (มก.)

Mass trapped คือ ปริมาณฝุ่นที่ถูกดักจับ (มก.)

Penetration คือ ปริมาณฝุ่นที่ทะลุผ่านโฟม (เปอร์เซ็นต์)

พหุน ปณฺฑิต ธีโร

สมการหาประสิทธิภาพดักจับฝุ่น

$$\text{ประสิทธิภาพดักจับฝุ่น} = \frac{MassTrapped}{mass_{in}} \times 100 \quad (34)$$

จากสมการที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการประเมินอายุการใช้งานของโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยใช้สมการ (29) หาปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียู (V_{air}) เพื่อให้ทราบถึงปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียูตลอดการทดลอง จากนั้นนำปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียูมาใช้คำนวณในสมการ (30) และ (31) เพื่อหามวลของฝุ่นละออง ก่อนไหลผ่านไส้กรองโฟมพียู ($mass_{in}$) และหลังจากไหลผ่านไส้กรองโฟมพียู ($mass_{out}$) หลังจากนั้นนำ $mass_{in}$ และ $mass_{out}$ มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณฝุ่นที่ถูกดักจับที่ไส้กรองโฟมพียู (Mass Trapped) โดยใช้สมการ (32) ยังสามารถใช้ในการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองที่ทะลุผ่านโฟมพียู (Penetration) ด้วยสมการ (33) และประสิทธิภาพดักจับฝุ่นด้วยสมการ (34) หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ตามสมการออกมาแล้ว จะนำค่าของ $mass_{in}$ และ Mass trapped มาเปรียบเทียบกัน โดยเมื่อเวลาผ่านไปไส้กรองโฟมพียูจะดักจับฝุ่นละอองมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพดักจับฝุ่นลดลงตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณอายุการใช้งานโฟมพียู จากการกรองฝุ่นละอองจนกระทั่งฝุ่นละอองทะลุผ่านโฟมพียูเกิน 70 เปอร์เซ็นต์ จะถือว่าไส้กรองโฟมพียูหมดอายุการใช้งานแล้ว ซึ่งค่าปริมาณฝุ่นที่ดักจับได้ทั้งหมดของน้ำหนักโฟมพียู 9 กรัม นำมาเทียบกับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมที่ใช้น้ำหนักโฟม 100 กรัม จะนำมาหาอายุการใช้งานโฟมียู

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองในการใช้ฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งเป็นไส้กรองเครื่องฟอกอากาศแบ่งออกเป็น 1) การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ 2) การตรวจสอบการทำงานเครื่องฟอกอากาศและค่าการออกแบบ 3) การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองหาค่า CADR 4) ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 5) การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 6) ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ และ 7) ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูโดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

4.1 การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ

การสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยมเลือกใช้วัสดุอะลูมิเนียมเป็นหลักในการสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่าย และยังง่ายต่อการตัด พับ และเชื่อมติดกันด้วยซิลิโคน ส่วนประกอบของเครื่องฟอกอากาศสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) โครงของตัวเครื่องฟอกอากาศทำจากอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมขนาด 36x36x78 ลูกบาศก์เซนติเมตร หุ้มด้วยแผ่นเหล็กเรียบสรรไทสีครีม เชื่อมติดรอยต่อให้สนิทด้วยขอบยาง และกาวซิลิโคน ดังภาพประกอบ 40 (ก-ค) ในส่วนของฐานของเครื่องฟอกอากาศ ทำจากเหล็กแผ่นเพื่อรองรับน้ำหนักและขาตั้งทำจากแผ่นเหล็กฉากเนื่องจากฐานของเครื่องฟอกอากาศใช้เป็นแผ่นเหล็กทำให้มีน้ำหนักมากทำให้การเคลื่อนย้ายไม่สะดวก ดังนั้นจึงติดตั้งล้อเพื่อให้เครื่องฟอกอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก ดังภาพประกอบ 40 (ก-ค)

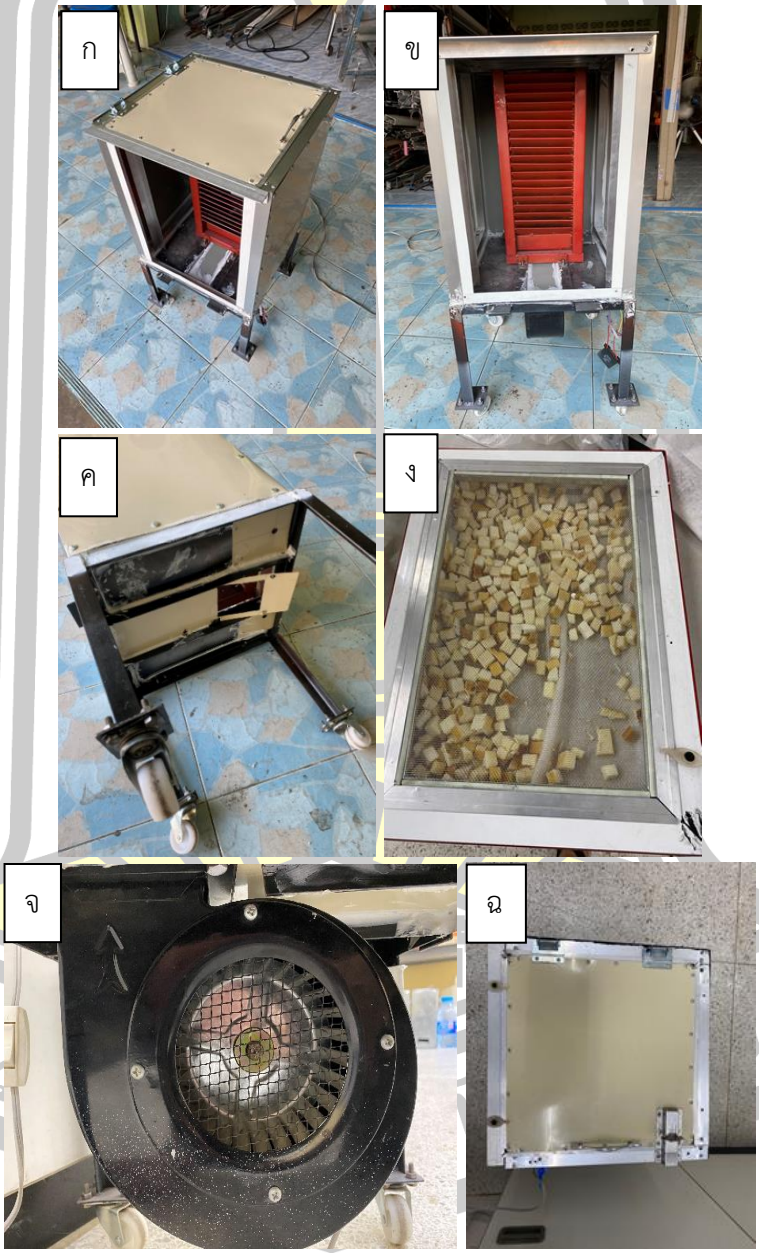
2) พัดลมแบบหอยโข่ง (Centrifugal blower) ขนาด 220 วัตต์ ใช้กับไฟบ้าน 220 โวลต์ ติดตั้งที่บริเวณด้านล่างของฐานเครื่องฟอกอากาศเพื่อดูดอากาศที่ต้องการฟอกเป่าผ่านกริลเลอร์ที่ต่อกับพัดลมหอยโข่ง ดังภาพประกอบ 40 (จ)

3) กริลเลอร์ (Griller) ลักษณะเป็นหอทรงสี่เหลี่ยมติดครีบทำหน้าที่กระจายลมที่ดูดเข้าจากด้านล่าง (ต่อจากปั๊มหอยโข่ง)เพื่อส่งไปด้านหน้าเครื่องฟอกอากาศที่ติดตั้งเฟรมไส้กรองโฟมพียูดังภาพประกอบ 40 (ก-ค)

4) เฟรมไส้กรองโฟมพียูทำจากอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมขนาด 31x5x44 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัดกรองอากาศ 770 ตารางเซ็นติเมตร ด้านหน้า และด้านหลังเฟรมไส้กรองโฟมพียู

ประกบติดกับตะแกรงลวดเพื่อใช้บรรจุไส้กรองโฟมพียู โดยตะแกรงลวดด้านหลังสามารถเปิด-ปิดเพื่อที่เปลี่ยนไส้กรองโฟมพียูได้ ดังภาพประกอบ 40 (ง)

5) ฝาด้านบนของเครื่องฟอกอากาศติดบานพับเพื่อทำให้สามารถเปิด-ปิดได้ และเพื่อถอดเฟรมไส้กรองโฟมพียูมาเปลี่ยนไส้กรองโฟมพียูได้ และติดกลอนประตูสำหรับล็อคฝาบานพับขณะเปิดเครื่องใช้งาน ดังภาพประกอบ 40 (ฉ)



ภาพประกอบ 40 ส่วนประกอบเครื่องฟอกอากาศ (ก) โครงเครื่องฟอกอากาศ (ข) กริลเลอร์ (ค) ขาเหล็กติดตั้งล้อ (ง) เฟรมไส้กรอง (จ) พัดลมหอยโข่ง (ฉ) ฝาบานพับเปิดปิดและกลอนล็อคประตู

การสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม โดยโครงของเครื่องฟอกอากาศสร้างจากวัสดุอะลูมิเนียมหุ้มด้วยแผ่นเหล็กเรียบสรรไทสีครีม เชื่อมติดรอยต่อให้สนิทด้วยขอบยาง และกาวซิลิโคน ติดตั้งพัดลมหอยโข่งบริเวณด้านล่างของเครื่องฟอกอากาศ เพื่อดูดอากาศจากด้านล่างส่งผ่านไปยังส่วนของกริลเลอร์ เพื่อกระจายลมไปยังด้านหน้าเครื่องฟอกอากาศที่ใส่เฟรมไส้กรองโฟมพียู โดยด้านหลังของกริลเลอร์ติดแผ่นโฟมกันกระแทก และกาวซิลิโคนเพื่อกันไม่ให้ลมออก ส่วนเฟรมไส้กรองโฟมพียูมีการติดเทปกาวโฟมตามขอบของเฟรมไส้กรองเพื่อไม่ให้มีช่องว่างระหว่างเฟรมกับร่องที่ใส่ และสามารถถอดเฟรมไส้กรองออกจากตัวเครื่องได้ โดยการเปิดฝาบานพับบริเวณด้านบน เมื่อใส่เฟรมไส้กรองเข้าในเครื่องฟอกอากาศแล้วปิดฝาบานพับจะมีกลอนล็อคฝาบานพับ เพื่อไม่ให้อากาศดันฝาเปิดขณะใช้งาน

ภาพประกอบ 41 เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม

4.2 การตรวจสอบการทำงานเครื่องฟอกอากาศและค่าการออกแบบ

เมื่อสร้างเครื่องต้นแบบเสร็จแล้ว จึงทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่องฟอกอากาศดังนี้

4.2.1 การรั่วไหลของอากาศของเครื่องฟอกอากาศตามขอบและรอยเชื่อมต่างๆ (Leakage)

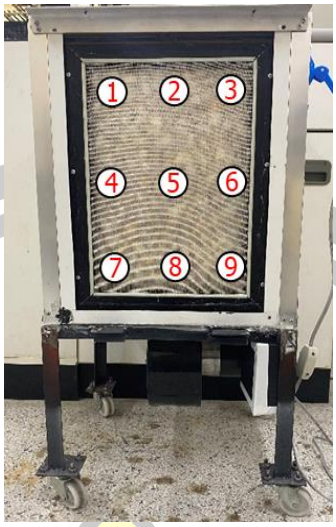
การรั่วของอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องในการทำความสะอาดอากาศสกปรกที่ไหลเข้าเนื่องจากอากาศบางส่วนอาจไม่ไหลผ่านเฟรมไส้กรองโฟม จึงต้องทำการตรวจสอบบริเวณของและ

รอยเชื่อมว่ามีอากาศไหลออกมาหรือไม่โดยใช้มืออังและใช้ฟองสบู่ทดสอบ กรณีมีอากาศรั่วออกตามบริเวณรอยต่อของเครื่องฟอกอากาศ แก้ไขโดยทากาวซิลิโคนบริเวณรอยต่อที่มีการรั่วดังกล่าว โดยบริเวณที่มีอากาศรั่วออกมากคือรอยต่อระหว่างเฟรมไส้กรองโฟมที่ถูกติดตั้งเข้ากับช่องรางของตัวโครงเครื่อง ซึ่งแก้ไขด้วยการติดยางเส้นตามขอบของเฟรมไส้กรองโฟมพียูที่ต้องสัมผัสแนบให้สนิทกับช่องรางของตัวโครงดังภาพประกอบ 42

ภาพประกอบ 42 บริเวณที่เกิดการรั่วของอากาศ

4.2.2 การตรวจสอบความเร็วลมผิวหน้าไส้กรอง

ทำการวัดความเร็วลมที่ผิวหน้าเฟรมไส้กรองที่ใส่วัสดุกรองโฟมพียูแต่ละรูปร่างที่ทดสอบ 3 รูปแบบ คือ แบบเส้น แบบลูกเต๋า และแบบก้อน วัดความเร็วลมขณะเปิดเครื่องใช้งานด้วยความแรงพัดลมดูดสูงสุดด้วยเครื่องวัดความเร็วลม โดยแบ่งจุดวัดออกเป็น 9 จุด ดังภาพประกอบ 43 วัดจุดละ 5 นาที แล้วหาค่าเฉลี่ยแต่ละจุด สามารถสรุปค่าความเร็วลมที่วัดตามตำแหน่งต่างๆได้ ดังตาราง 9



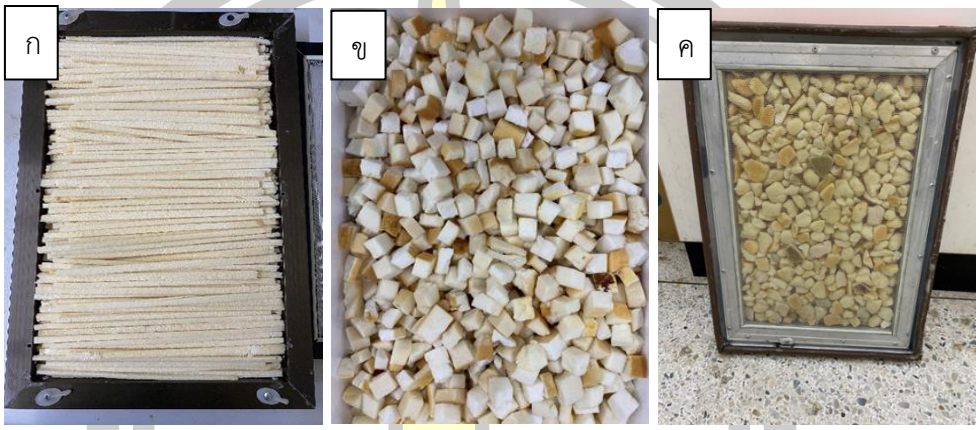
ภาพประกอบ 43 บริเวณที่ตรวจวัดความเร็วลมมีที่ผิวหน้าไส้กรอง

ตาราง 9 ความเร็วลมที่ผิวหน้าเฟรมไส้กรองบรรจุโฟมพียู 3 รูปแบบ

จุดที่วัด	ความเร็วลมผิวหน้า (เมตร/วินาที)		
	แบบเส้น	แบบลูกเต๋า	แบบก้อน
จุด 1	1.3	2	2
จุด 2	1	2	2
จุด 3	1.6	2.1	2
จุด 4	1.1	2	2.1
จุด 5	1.3	2	1.9
จุด 6	1.5	1.7	1.9
จุด 7	1.4	2	2
จุด 8	1.4	1.9	1.9
จุด 9	1.9	1.5	1.9
เฉลี่ย 9 จุด	1.5±0.4	1.9±0.2	2±0.1

จากตาราง 9 ค่าความเร็วลมผิวหน้าเฉลี่ยของไส้กรองโฟมพียูแบบก้อนและแบบลูกเต๋ามีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 1.9-2.0 เมตรต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงค่าความเร็วลมที่ออกแบบไว้ คือ 2 เมตรต่อวินาที (ตาราง 7 ข้อมูลการออกแบบเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม) ส่วนโฟมพียูแบบเส้นมีความเร็วลมผิวหน้าเฉลี่ย 1.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งต่ำกว่าไส้กรองโฟมแบบก้อนและแบบลูกเต๋าเนื่องจาก

โฟมแบบเส้นเมื่อใส่ในเฟรมแล้วมีการเรียงตัวค่อนข้างแน่นชิดกันทำให้มีช่องเปิดระหว่างชิ้นโฟมที่น้อยกว่าแบบก้อน และแบบลูกเต๋าถึงแม้ว่าโฟมสองแบบหลังถูกใส่ในเฟรมด้วยปริมาณ (น้ำหนัก) ที่มากกว่าก็ตาม ดังภาพประกอบ 44

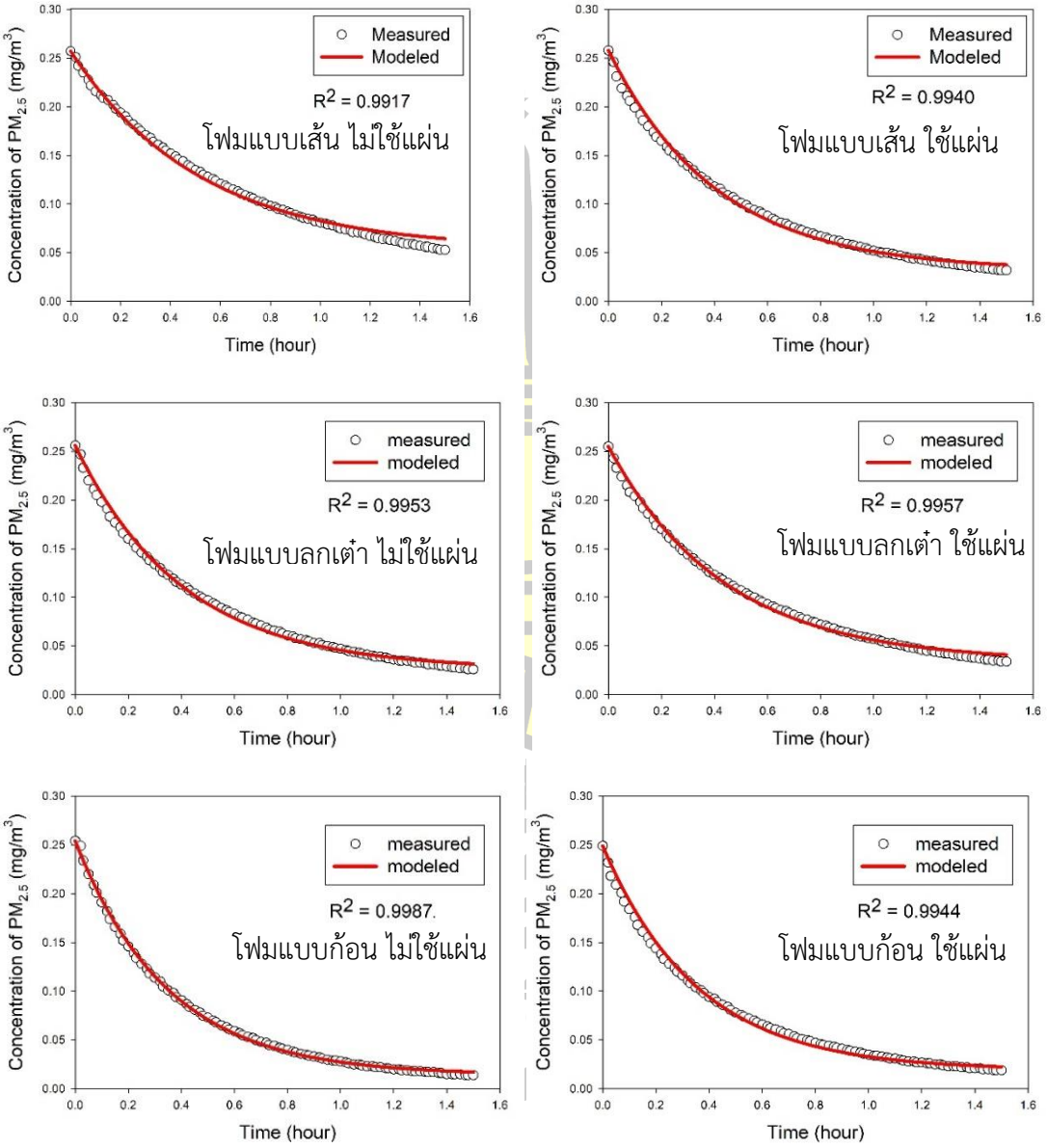


ภาพประกอบ 44 การเรียงตัวของโฟมพียูแต่ละรูปร่างในเฟรมไส้กรอง (ก) แบบเส้น (ข) แบบลูกเต๋า และ (ค) แบบก้อน

4.3 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองหาค่า CADR

ทำการวัดอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ของเครื่องฟอกต้นแบบทรงตู้สี่เหลี่ยมในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วยห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ใช้การจุดธูปเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นด้วยความเข้มข้นเริ่มต้นในห้องทดสอบประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภาพประกอบ 42 แสดงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่วัดในห้องทดสอบที่ใช้เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยทดสอบไส้กรองทีละรูปแบบ ได้แก่ แบบเส้น แบบลูกเต๋า และแบบก้อน รวมทั้งการวัดค่า CADR ของไส้กรองที่ใช้และไม่ใช้แผ่นกรองหยาบรองรับชิ้นโฟมพียู หมายเหตุ จุดวงกลมสีขาวคือค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่วัดได้จริง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ 1.5 ชั่วโมง ไส้กรองโฟมแบบลูกเต๋า และแบบก้อนสามารถลดฝุ่นได้ 94 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้แผ่นกรองหยาบสามารถลดฝุ่นได้ 98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไส้กรองโฟมแบบเส้นลดฝุ่นได้ 87 และ 96 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้และไม่ใช้แผ่นกรองหยาบ ตามลำดับ แผ่นกรองหยาบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแผ่นกรองคุณภาพระดับ MERV 11 (Minimum efficiency reporting value) ซึ่งมีความสามารถในการดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ดักจับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.2 ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้ไม่มากนัก

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองสมการ (22) คือเส้นสีแดงในภาพประกอบ 45 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองของโฟมทั้งสามรูปแบบมีเส้นกราฟความเข้มข้นฝุ่นแนบสนิทกับเส้นกราฟที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองโดยมีค่า R^2 (Proportion of variance explained) ที่ได้ทุกการทดลองของไส้กรองทั้งสามแบบอยู่ระหว่าง 0.97–0.99 และมีค่า Prob(t) (Probability value) เท่ากับ 0.00001 บ่งชี้ว่ามีโอกาสเพียง 1 ใน 100,000 ที่พารามิเตอร์ที่ทำนายคือ CADR จะเป็นศูนย์



ภาพประกอบ 45 ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ในห้องทดสอบที่ใช้เครื่องฟอกอากาศบรรจุไส้กรองแต่ละแบบและใช้/ไม่ใช้แผ่นกรองหยาบ

4.4. ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การหาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยใช้ห้องทดสอบและวิเคราะห์ในโปรแกรม Nonlinear regression and curve fitting โดยใช้สมการสมดุลมวลดังสมการ (22) หาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูรูปร่างทั้ง 3 แบบ ที่มีการใช้และไม่ใช้แผ่นกรองหยาบ สามารถสรุปค่า CADR ที่ทดลองในระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง ได้ดังตาราง 10 หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และค่าบวกลบแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 10 สรุปค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้โฟมพียูแต่ละรูปร่าง

ไส้กรองโฟมพียูไม่มีแผ่นกรองหยาบ							
รูปร่างโฟมพียู	การทดลองครั้งที่ 1			การทดลองครั้งที่ 2			CADR เฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)
	CADR (ลบ.ม./ชม.)	R^2	removal efficiency (%)	CADR (ลบ.ม./ชม.)	R^2	removal efficiency (%)	
แบบเส้น	14	0.9917	79	18	0.994	87	16 ± 2
แบบลูกเต๋า	18	0.9953	89	17	0.9957	86	17 ± 1
แบบก้อน	21	0.9944	92	22	0.9987	94	21 ± 1
ไส้กรองโฟมพียูมีแผ่นกรองหยาบ							
รูปร่างโฟมพียู	การทดลองครั้งที่ 1			การทดลองครั้งที่ 2			CADR เฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)
	CADR (ลบ.ม./ชม.)	R^2	removal efficiency (%)	CADR (ลบ.ม./ชม.)	R^2	removal efficiency (%)	
แบบเส้น	27	0.9974	96	25	0.9988	96	26 ± 1
แบบลูกเต๋า	34	0.9991	98	30	0.9992	97	32 ± 2
แบบก้อน	33	0.9994	98	32	0.9979	98	32 ± 1

จากตาราง 10 พบว่ารูปร่างไส้กรองโฟมพียูส่งผลต่อค่า CADR และประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยรูปร่างโฟมพียูแบบก้อนมีค่า CADR และประสิทธิภาพดักจับฝุ่น มากที่สุด

รูปร่างโฟมพียูแบบก้อนนั้นมีขนาดที่ไม่เท่ากัน มีทั้งขนาดเล็ก และใหญ่ ไม่สม่ำเสมอกัน ซึ่งโฟมพียูก้อนขนาดเล็กจะช่วยเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างโฟมพียูก้อนใหญ่ ทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของโฟมพียูแบบลูกเต๋า จะมีการเรียงตัวที่คล้ายกับโฟมพียูแบบก้อน แต่ขนาดของโฟมพียูแบบลูกเต๋าส่วนใหญ่มีขนาดที่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้มีโฟมพียูแบบลูกเต๋าเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างโฟมพียูเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสได้น้อยกว่าโฟมพียูแบบก้อน ทำให้โฟมพียูแบบลูกเต๋ามีค่า CADR และประสิทธิภาพดักจับฝุ่นน้อยกว่าโฟมพียูแบบก้อน ส่วนของโฟมพียูแบบเส้นนั้น มีค่า CADR และประสิทธิภาพดักจับฝุ่น มีค่าน้อยสุด ทั้งนี้รูปร่างแบบเส้นมีการเรียงตัวในแนวเดียวกันดังภาพประกอบ 44 ทำให้ไส้กรองเกิดความดันสูญเสียมากกว่าแบบอื่น เนื่องจากช่องเปิดระหว่างชิ้นโฟมน้อย ดังนั้นอัตราการส่งผ่านของลมออกจากไส้กรองจึงต่ำไปด้วยซึ่งยืนยันได้จากค่าความเร็วลมที่ผิวหน้าไส้กรองต่ำที่สุดเช่นกัน (ตาราง 9) เมื่อไส้กรองโฟมพียูสัมผัสกับแรงลมที่ไหลผ่าน ทำให้เกิดเศษผงที่ผิวโฟมหลุดออกมาได้ ดังนั้นจึงได้ติดแผ่นกรองหยาบที่เฟรมเพื่อรองรับชิ้นโฟม และกรองฝุ่นโฟมขนาดใหญ่ ผลการทดลองพบว่าการติดแผ่นกรองหยาบ ยังช่วยเพิ่มค่า CADR ในการดักจับฝุ่นละลองขนาดเล็กได้ด้วย โดยไส้กรองแบบก้อนเพิ่มขึ้น 57 เปอร์เซ็นต์ แบบลูกเต๋าเพิ่มขึ้น 76 เปอร์เซ็นต์ และแบบเส้นเพิ่มขึ้น 62 เปอร์เซ็นต์ แผ่นกรองหยาบยี่ห้อ 3M ที่ใช้มีความสามารถในการกรองฝุ่นในอากาศที่เรียกว่าค่า Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) อยู่ที่ระดับ 11 โดยสมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อน ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศของอเมริกา (American society of heating, refrigeration and air conditioner engineers : ASHRAE) โดยมีคะแนนตั้งแต่ MERV 1-20 ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.1 และ 52.2

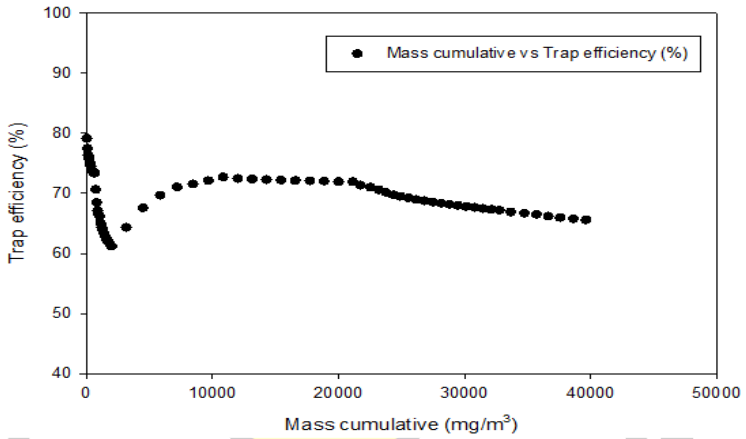
งานวิจัยของ (Noh & Yook, 2016) หาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศ ในห้องขนาด 6.5x7.0x2.7 ลูกบาศก์เมตร ในการทดลองมีการใช้งานเครื่องฟอกอากาศในห้อง 2 เครื่องพร้อมกัน โดยผลการทดลองพบว่า มีค่า CADR เฉลี่ยเท่ากับ 188 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และงานวิจัยของนวิจัยของ อาติยา และมณีรัตน์ (2555) ทดสอบเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ที่ใช้แผ่นกรองแบบ True HEPA (High Efficiency Particulate Air Filters) โดยทำการวัดค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศ ในห้องทดสอบเดียวกันกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สร้างอนุภาคขนาดเล็กโดยการเผาไหม้ธูปเช่นเดียวกัน โดยมีระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เริ่มต้นประมาณ 400 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ค่า CADR เท่ากับ 66.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบค่า CADR กับงานวิจัยที่ได้กล่าวมาเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม มีค่า CADR ที่ต่ำกว่า เนื่องจากการใช้ไส้กรองอากาศที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยของ Kwang-Chul Noh และ Se-Jin Yook มีการใช้งานเครื่องฟอกอากาศในการทดลองที่มากกว่า และยังมีการใช้ไส้กรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง (HEPA) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ อาติยา และมณีรัตน์ (2555) ซึ่งไส้กรองอากาศแบบ HEPA มีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 0.3 ไมโครเมตร

โดยมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 99.97 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของไส้กรองโฟมพียู จากผลการทดลองมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กอยู่ที่ 85 – 90 เปอร์เซ็นต์

4.5 การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ผลการประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาทีต่อการจุดธูป 1 ครั้ง ซึ่งในการจุดธูปแต่ละครั้งให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง (Conc in) ไม่เท่ากัน โดยที่ความเข้มเข้มฝุ่นละอองคงที่อยู่ที่ 53±2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลของฝุ่นละอองสะสมที่ไหลเข้าเครื่องฟอกอากาศฟิวเจอร์บอร์ด ($Mass_{in}$) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านโฟมพียู (V_{air}) ในการหาปริมาณฝุ่นที่ทะลุผ่านโฟมพียู (Penetration) ใช้สมการ (33) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นเข้าสะสมและประสิทธิภาพดักจับฝุ่น

จากภาพประกอบ 46 พบว่าในช่วงแรกของการทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นมีค่าลดลง เนื่องจากในการทดสอบใช้ธูปในการจุด 1 ดอก ไม่ได้มีการกระจายไปทั่วทุกพื้นที่ผิวของโฟมพียูทั้งหมด ทำให้ฝุ่นไหลผ่านไส้กรองได้ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของโฟมพียูเท่านั้น พื้นที่ผิวของโฟมพียูในการดักจับฝุ่นของโฟมพียูมีน้อย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นมีค่าลดลง หลังจากนั้นได้มีการเพิ่มธูปในการทดสอบปริมาณฝุ่นจึงเพิ่มสูงขึ้น และฝุ่นสามารถไหลผ่านไส้กรองโฟมพียูได้ทั่วทุกพื้นที่ผิวโฟมพียู ดังนั้นประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นจึงเพิ่มขึ้น เมื่อประสิทธิภาพในการดับจับฝุ่นเพิ่มขึ้นในระยะหนึ่ง ประสิทธิภาพในการดับจับฝุ่นเริ่มมีค่าคงที่ ในช่วงปริมาณฝุ่นสะสม 10,000 - 20,000 มิลลิกรัมต่อลูบาศก์เมตร หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นได้ได้เริ่มมีค่าลดลงอีกครั้ง ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าปริมาณฝุ่นที่ไหลผ่านโฟมพียูจะเกาติดพื้นที่ผิวของไส้กรองโฟมพียู จนเกือบจะเต็ม

ความสามารถที่โฟมพียูจะดักจับฝุ่นได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นลดลง ดังนั้นจึงใช้ปริมาณฝุ่นขาเข้าสะสม 40,000 มิลลิกรัม เพื่อกำหนดอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู ซึ่งสามารถดักฝุ่นได้ 25,000 มิลลิกรัม

การทดลองนี้ใช้โฟมพียูจำนวน 9 กรัม ซึ่งสามารถดักฝุ่นได้ประมาณ 25,000 มิลลิกรัม เมื่อนำมาเทียบกับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตูสี่เหลี่ยมที่ใช้ ปริมาณโฟมพียู 100 กรัม จะสามารถดักจับฝุ่นได้ประมาณ 277,000 มิลลิกรัม ในการหาอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างสถาณการณ์ในการใช้งานเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมที่ต่างกัน โดยสมมติสถานการณ์ที่มีความเข้มข้นฝุ่นในพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.2, และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเวลาในการเปิดใช้งานเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นสามารถคำนวนอายุการใช้งานได้เท่ากับ 44, 22, 11, และ 7 เดือน ตามลำดับ ถ้าเปิดใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน มีอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูเท่ากับ 30, 15, 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ และเมื่อเปิดใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน มีอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูเท่ากับ 15, 7, 4 และ 2 เดือน ตามลำดับ โดยแสดงสรุปอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยมได้ดังตาราง 11

ตาราง 11 สรุปอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม

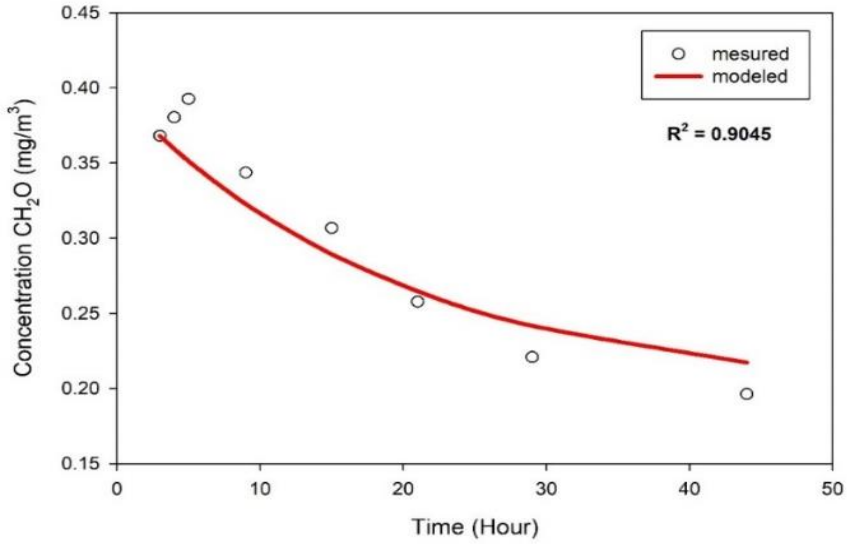
เวลา (ชม.)	ความเข้มข้นฝุ่น (มก./ลบ.ม.)	อายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู (เดือน)
8	0.05	49
	0.1	25
	0.2	12
	0.3	8
12	0.05	33
	0.1	16
	0.2	8
	0.3	5
24	0.05	16
	0.1	8
	0.2	4
	0.3	3

โดยเครื่องฟอกอากาศไส้กรองอากาศแบบ HEPA ที่มีขายตามท้องตลาดจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 2 ปี แต่เมื่อมีการการใช้งานไส้กรองอากาศแบบ HEPA ไปเรื่อยๆ จะทำให้ไส้กรองอากาศแบบ HEPA เกิดการอุดตันบริเวณไส้กรองทำให้เครื่องฟอกอากาศที่ใช้ไส้กรองแบบ HEPA เกิดความดันตกคร่อม (Pressure drop) เมื่อเกิดความดันตกคร่อมสูงเครื่องฟอกอากาศจะกินกำลังไฟมากขึ้น (ธวัชชัย, 2551) จึงมีคำแนะนำให้ควรเปลี่ยนไส้กรอง HEPA ไม่เกิน 1 ปี ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อม และการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมที่ใช้งานในความเข้มข้นของฝุ่น 0.1 มิลลิกรัมต่อลูบาศก์เมตร โดยเปิดเครื่องฟอกอากาศโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีอายุการใช้งานของไส้กรองโฟมพียู 2 ปี มีอายุการใช้งานนานกว่าไส้กรองแบบ HEPA ซึ่งเครื่องฟอกอากาศโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมจะไม่เกิดความดันตกคร่อม (Pressure drop) เนื่องจากไส้กรองโฟมพียูมีช่องว่างที่สามารถให้อากาศไหลผ่านได้

4.6 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

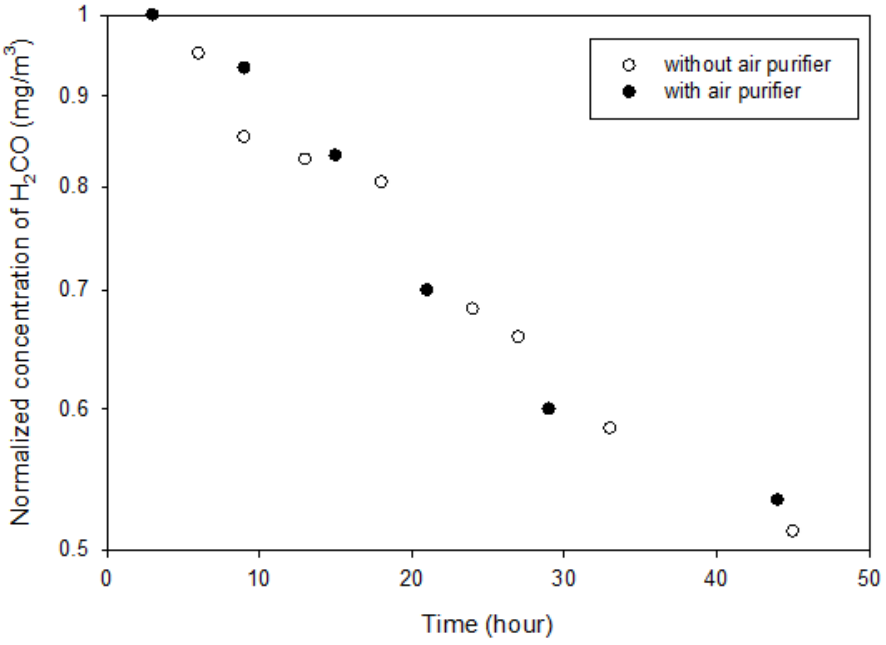
ได้ทำการวัดอัตราการทำความสะอาดอากาศ (CADR) ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ ด้วยห้องทดสอบขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการใช้สารละลายฟอร์มาลีนความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำ ปริมาณ 18 ไมโครลิตร ภาพประกอบ 47 แสดงความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ที่วัดในห้องทดสอบที่ใช้เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูเป็นเวลา 44 ชั่วโมง โดยทดสอบไส้กรองแบบก้อนที่สามารถดักจับฝุ่นละอองได้มากที่สุด หมายเหตุ จุดวงกลมสีขาวคือค่าความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่วัดได้จริง เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วัดได้จริง (วงกลมสีขาว) กับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองสมการ (28) คือ เส้นสีแดง ในภาพประกอบ 44 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ค่อยแนบสนิทกับเส้นกราฟที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองโดยมีค่า R^2 (Proportion of variance explained) ที่ได้ 0.9045 และมีค่า Prob(t) (Probability value) เท่ากับ 0.01 บ่งชี้ว่ามีโอกาสเพียง 1 ใน 100 ที่พารามิเตอร์ที่ทำนายคือ CADR จะเป็นศูนย์

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CH_2O ในห้องทดสอบที่ใช้ไส้กรองโฟมพียูแบบก้อน

จากภาพประกอบ 47 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะในโปรแกรมทางสถิติ Nonlinear regression and curve fitting ได้ค่า CADR มีค่าเท่ากับ 0.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าน้อยมากจนสามารถมองว่าโฟมพียูไม่สามารถกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้ และเมื่อเทียบกับผลการทดลองในห้องทดสอบโดยไม่มีเครื่องฟอกอากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญหายของฟอร์มัลดีไฮด์ (K_{HCHO}) เท่ากับ 0.006 ต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกันได้ดังภาพประกอบ 48



ภาพประกอบ 48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CH_2O ในห้องทดสอบที่มีและไม่มีเครื่องฟอกอากาศ

จากภาพประกอบ 48 แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่มีเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู และไม่มีเครื่องฟอกอากาศในห้องทดสอบนั้น ผลการทดลองมีความใกล้เคียงกัน แสดงว่าเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูนั้นไม่มีความสามารถในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากโฟมพียูมีพื้นที่รูพรุนที่ใช้ดูดซับโมเลกุลก๊าซเพียง 36 ตารางเมตรต่อกรัม (ตาราง 4) ซึ่งน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ดูดซับ 667 ตารางเมตรต่อกรัม (Chang และคณะ, 2020) จึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีความสามารถในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ

4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศ โครงอะลูมิเนียม แผ่นเหล็กเรียบ และเฟรมบรรจุไส้กรองโฟมพียู ในงานวิจัยงบประมาณในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูประมาณ 5,000 บาท ไม่ได้รวมต้นทุนเของโฟมพียูเนื่องจากโฟมพียูเป็นของเหลือทิ้งหลังจากคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่มีราคา แสดงดังตาราง 12 ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้คิดจากค่าวัสดุที่เป็นของใหม่ทั้งหมด ถ้าใช้ส่วนประกอบที่เป็นของมือสอง เช่น พัดลมดูดอากาศ จะสามารถลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้ รวมทั้งค่าจ้างเหมาสร้างเครื่องขึ้นแปรเปลี่ยนตามค่าแรงของแต่ละพื้นที่

ตาราง 12 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศ

จ้างเหมาผลิตเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				ราคาหน่วยละ	จำนวนเงิน (บาท)
1	**โครงของเครื่องฟอกอากาศ ขนาด 36x36x78 ลูกบาศก์เซนติเมตร**				
	อะลูมิเนียมแป๊ปเหลี่ยม 1x1 นิ้ว	4	เส้น	200	800
	อะลูมิเนียมฉาก 1x1 นิ้ว	1	เส้น	200	200
	ฐานและขาเหล็กฉาก	2			

ที่มา : (ร้านรับจ้างเหมาสร้างเครื่องฟอกอากาศ จ.มหาสารคาม)

ตาราง 12 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศ(ต่อ)

2	**แผ่นเล็กเรียบสรรไท สีครีม หุ้มโครงเครื่อง** กว้าง 90 เซนติเมตร	3	ม.	150	450
3	**เฟรมบรรจุไส้กรองโฟมพียู** **ขนาด 31x5x44 ลูกบาศก์เซนติเมตร** อะลูมิเนียมแป๊ปเหลี่ยม 1x2 นิ้ว	2	เส้น	300	600
4	พัดลมดูดอากาศหอยโข่ง ขนาด 220 วัตต์	1	เครื่อง	1,700	1,700
5	ค่าจ้างเหมาในการสร้างเครื่องฟอกอากาศ	1	เครื่อง	1,000	1,000
6	อื่นๆ เช่น กาวซิลิโคน, แถบยางติดประตู	1	-	250	250
	รวม				**5,000**

ที่มา : (ร้านรับจ้างเหมาสร้างเครื่องฟอกอากาศ จ.มหาสารคาม)

เมื่อนำราคาของในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม เทียบกับการซื้อเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ในราคาเดียวกันที่ขายตามท้องตลาด พบว่าเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม มีข้อด้อยกว่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ เช่น ขนาด รูปร่าง และความสวยงาม เสียงรบกวน และความสามารถในการทำความสะอาดอากาศ แม้จะมีข้อด้อยกว่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ แต่เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูเป็นเครื่องต้นแบบแรกในการสร้าง และยังสามารถพัฒนาให้มีความสามารถในการทำงานทัดเทียมหรือเทียบเท่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ ซึ่งในการพัฒนาเครื่องฟองอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม ควรปรับปรุงรอยรั่วของอากาศตามบริเวณขอบของเครื่องฟอกอากาศ เลือกใช้พัดลมที่ไม่ทำให้เกิดเสียงดังโดยที่กำลังของพัดลมไม่ลดลง ออกแบบเครื่องฟอกอากาศให้รูปร่างมีความสวยงาม และมีขนาดที่เหมาะสม

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปและอภิปรายผล

การใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองอากาศ โดยมีการทดลองมีดังนี้ 1) การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม 2) ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 3) การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 4) ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ 5) ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูโดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังต่อไปนี้ ได้ผลสรุปดังนี้

5.1.1 การสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม

เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม มีขนาด 36x36x78 ลูกบาศก์เซนติเมตร การสร้างเครื่องฟอกอากาศทรงตู้สี่เหลี่ยม เลือกใช้วัสดุอะลูมิเนียมเป็นหลักในการสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่าย และยังง่ายต่อการตัด พับ และเชื่อมติดกันด้วยซิลิโคน โดยตัวเครื่องสามารถถอดเฟรมไส้กรองโฟมพียูออกมาเพื่อเปลี่ยนโฟมพียูเมื่อโฟมพียูหมดอายุการใช้งาน ในส่วนของขาตั้งใช้เป็นแผ่นเหล็กฉากเพื่อรองรับน้ำหนักของเครื่องฟอกอากาศ และพัดลมหอยโข่งขนาด 220 วัตต์

5.1.2 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

1) ในการหาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก ทั้ง 3 รูปแบบ คือ แบบเส้น แบบลูกเต๋า และแบบก้อน โดยไม่มีผ่านกรองหยาบยี้ห้อ 3M (MERV 11) พบว่า โฟมพียูแบบก้อน มีความสามารถในการผลิตอากาศสะอาด (CADR) ได้มากที่สุด รองลงมาคือ โฟมพียูแบบลูกเต๋า และตามด้วยโฟมพียูแบบเส้น โดยมีค่า CADR เฉลี่ยเท่ากับ 21±1, 17±1 และ 16±1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อติดแผ่นกรองหยาบยี้ห้อ 3M (MERV 11) โฟมพียูที่มีค่า CADR มากที่สุดคือ โฟมพียูแบบก้อน รองลงมาคือ โฟมพียูแบบลูกเต๋า และตามด้วยโฟมพียูแบบเส้น เหมือนไม่ติดแผ่นกรองหยาบ แต่ส่งผลให้ค่า CADR เพิ่มขึ้น โดยมีค่า CADR เฉลี่ยดังนี้ 34±1, 34±2 และ 26±1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กของไส้กรองโฟมพียู ทั้ง 3 รูปแบบ คือ แบบเส้น แบบลูกเต๋า และแบบก้อน โดยไม่มีแผ่นกรองหยาบ (MERV 11) ในระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง พบว่า โฟมพียูแบบก้อน มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นได้มากที่สุด รองลงมาคือ โฟมพียูแบบลูกเต๋า และตามด้วยโฟมพียูแบบเส้น โดยมีประสิทธิภาพการในการดักจับฝุ่น เท่ากับเฉลี่ยเท่ากับ 93±1, 88±1 และ 83±4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.1.3 การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การประเมินอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูจาการทดลอง พบว่าเมื่อปริมาณฝุ่นที่ไหลผ่านโฟมพียูมากขึ้นจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นลดลง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้โฟมพียูจำนวน 9 กรัม สามารถดักฝุ่นได้ประมาณ 25,000 มิลลิกรัม โดยเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตูสี่เหลี่ยมใช้ปริมาณโฟมพียู 100 กรัม จะสามารถดักจับฝุ่นได้ประมาณ 277,000 มิลลิกรัม จากการจำลองสถาณการณ์ในการใช้งานเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยมที่ต่างกัน มีอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูสูงสุด 44 เดือน เมื่อใช้งานเครื่องฟอกอากาศ 8 ชั่วโมง ณ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 0.05 มิลลิกรัม และอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียูน้อยสุด 2 เดือน เมื่อใช้งานเครื่องฟอกอากาศ 24 ชั่วโมง ณ ความเข้มข้นฝุ่นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 0.3 มิลลิกรัม

5.1.4 ค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์

ในการหาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ เลือกใช้รูปร่างโฟมพียูที่สามารถกำจัดฝุ่นได้มากที่สุดโดยไม่มีผ่านกรองหยาบ ซึ่งก็คือ โฟมพียูแบบก้อน พบว่าเครื่องฟอกไส้กรองโฟมพียูแบบก้อนไม่สามารถกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ได้เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้เครื่องฟอก โดยเครื่องมีความสามารถในการผลิตอากาศสะอาดจากการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์เพียง 0.24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

5.1.5 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู

ราคาของในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม เทียบกับการซื้อเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ที่ขายตามท้องตลาด เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูทรงตู้สี่เหลี่ยม มีข้อด้อยกว่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ เช่น ขนาด รูปร่าง และความสวยงาม เสียงรบกวน และ

ความสามารถในการทำความสะอาดอากาศ แต่เครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูเป็นเครื่องต้นแบบแรกในการสร้าง และยังสามารถพัฒนาให้มีความสามารถในการทำงานทัดเทียมหรือเทียบเท่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ได้ โดยที่ราคาในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูถูกกว่าเครื่องฟอกอากาศเชิงพาณิชย์ที่ขายตามท้องตลาด ด้วยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การพัฒนาเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ

1) ในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูควรตรวจสอบรอยรั่วซึมอากาศของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียู

2) เลือกวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูที่มีราคาถูก เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเครื่องฟอกอากาศ

3) เฟรมไส้กรองโฟมพียูควรออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนไส้กรองโฟมพียูให้ง่ายขึ้น

5.2.2 การทดสอบเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูต้นแบบ

1) เพิ่มการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฟอกอากาศไส้กรองโฟมพียูการใช้งานในพื้นที่ใช้งานจริงนอกเหนือในห้องปฏิบัติการ

2) เพิ่มระยะเวลาในการทดลอง และรูปร่างของโฟมพียูแต่ละรูปแบบในการหาอายุการใช้งานไส้กรองโฟมพียู

3) เพิ่มระดับความเข้มข้นมลพิษเริ่มต้นให้สูงขึ้น

4) เพิ่มการทดสอบโฟมพียูหลังจากทิ้งจาการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่จะนำมาใช้ในการทดลองที่มีอายุแตกต่างกัน 1-2 ปี

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. คู่มือเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศสำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิว. http://www2.diw.go.th/PIC/documents.html สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2547.

กรมอนามัย. (2559). *คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับเจ้าหน้าที่*. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม

เชิดศิริ นิลผาย, กานต์พิชชา เกียรติกิจโรจน์ และ สุวรรณี จามจุรี. (2560) การศึกษาปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีผลต่อโรคการเจ็บป่วยจากอาคารของผู้ปฏิบัติงานถ่ายเอกสาร. วารสารมหาวิทยาลัยนราธวาสราชนครินทร์. ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 (กันยายน - ธันวาคม 2560), 106-120.

ธนากร รัตนพันธุ์. การประเมินความสามารถของต้นไม้ในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กและบ่งชี้มลพิษอากาศในอาคาร [วิทยานิพนธ์]. มหาสารคาม, มหาวิทยาลัย, 2560.

มณีรัตน์ องค์วรรณดี. การจัดการคุณภาพอากาศในอาคาร, สำนักพิมมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2556.

มณีรัตน์ องค์วรรณดี, ทับทิม ชาติสุวรรณ์, อดิศักดิ์ ปัตติยะ. 2562. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการใช้ถ่านชาร์จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วเป็นสารดูดซับมลพิษอากาศในอาคาร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญญบุรี. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2562), 91-102.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2553). *การการพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษทางอากาศด้วยวิธีการแบบพาสสีพ*. http://ssruir.ssru.ac.th/bitstream/ssruir/877/1/003_53.pdf

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องเซรามิก. มอก. 2398-2553.

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 2545. มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้. คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

สมศักดิ์ ศิริวนารังสรรค์. การศึกษาคุณภาพอากาศและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในสถานบริการแต่งผม-เสริมสวย. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม – ธันวาคม 2558), 47-59.

บูรณสิงห์, ณ. (2561). *ขยะอิเล็กทรอนิกส์ ขยะพิษมหันตภัยร้ายจากเทคโนโลยี*.

https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2561/aug2561-2.pdf

ทิพยา เผื่อนพิภพ, เจริญ หาญปัญจกิจ, และ วิโรจน์ วัชระเกียรติศักย์. (2558). *มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ*. http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER17/DRAWER002/GENERAL/DATA0000/00000195.PDF

สายใจ วิทยาอนุมาส. (2560). การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย. *TDRI*. https://tdri.or.th/wp-content/uploads/2018/04/wb133.pdf

AHAM. (2006). *Method for Measuring the Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners*. *2006*(January).

ASTM. (2009). Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a. *American society for testing and materials International*, 1–17.

Chang, S. M., Hu, S. C., Shiue, A., Lee, P. Y., & Leggett, G. (2020). Adsorption of silver nano-particles modified activated carbon filter media for indoor formaldehyde removal. *Chemical Physics Letters*, *757*(July), 137864. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.137864

Godish, T. (1989). Indoor Air pollution control. ใน *Lewis Publisher, Inc., Chelsea, MI* (ปี 9, ฉบับที่ 3). https://doi.org/10.1243/pime_proc_1990_204_231_02

Jonas, L. A., & Sansone, E. B. (1981). *An hypothesis concerning the relationship between the adsorption kinetics and the structure of activated carbons*. *19*(3), 231–232. https://doi.org/10.4309/jgi.2002.7.6

Noh, K., & Yook, S. (2016). Evaluation of Clean Air Delivery Rates and Operating Cost Effectiveness for Room Air Cleaner and Ventilation System in a Small Lecture Room. *Energy & Buildings*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.027

Ongwandee M, Moonrinta R, Panyametheekul S, Tangbanluekal C, Morrison G. Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: concentrations, sources, and occupant symptoms. Building and Environment. 2011. 46: 1512-1522.

Kruewan A, Ongwandee M. Evaluation of portable household and in-car air cleaners for air cleaning potential and ozone-initiated pollutants. Indoor and Built Environment. 2012. 22: 659–668.

Weber, W., & Digiano, F.A. (1996). Process Dynamics in Environmental Systems. https://doi.org/10.5860/choice.34-0333

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	กมลชัย ยงประพัฒน์
วันเกิด	21 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	202/7 ถ.เทศบาล 23 ต.กาฬสินธุ์ อ.เมืองกาฬสินธุ์ จ.กาฬสินธุ์
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นิสิตปริญญาโท
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 มัธยมตอนต้นโรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
	พ.ศ. 2556 มัธยมตอนปลายโรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
	พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	พ.ศ. 2563 ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	-
ผลงานวิจัย	-

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว