

การพัฒนาเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ของวิทยาลัยเทคนิคเชียงราย  
Development of a dust filter PM2.5 version 4 of Chiangrai Technical College

เกรียงศักดิ์ ดอนชัย\*  
Kriangsak Donchai\*

\*สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 จังหวัดเชียงราย 57000

\*Field of Electrical Technology, Chiangrai Technical College, Institute of Vocational education : Northern Region 2.  
Chiangrai 57000

Received : 2022-10-17 Revised : 2022-11-14 Accepted : 2022-11-14

### บทคัดย่อ

ในทุกปีระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ภาคเหนือของประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของประชาชนในพื้นที่ทำให้เกิดการพัฒนาเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ของวิทยาลัยเทคนิคเชียงรายนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อพัฒนาเครื่องกรองฝุ่น เวอร์ชัน 4 ที่สามารถปรับความเร็วให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่น และเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ที่สามารถปรับความเร็วให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่น โดยพัฒนาจากเวอร์ชัน 3 ดังนี้ ความเร็วลมในการระบายอากาศ มากกว่าร้อยละ 28.1 ราคาต้นทุนลดลง ร้อยละ 10 ใช้ทดลองกับห้องเรียนปรับอากาศขนาด 64 ม<sup>2</sup> จุ้นักเรียนนักศึกษาจำนวน 20 คน ทำการทดลองในวันที่ 29 เมษายน 2565 พบว่าเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 จำนวน 2 เครื่อง สามารถลดฝุ่น PM2.5 ลงจาก 85 µg/m<sup>3</sup> ลงเหลือ 50 µg/m<sup>3</sup> ในเวลา 1 ชั่วโมง

**คำสำคัญ :** เครื่องกรองฝุ่น, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก, 2.5 ไมครอน, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก, หมอกควัน

### Abstract

Every year between January and June, Northern Thailand faces the problem of air pollution from fine dust, PM2.5, which is harmful to the respiratory system of people in the area. This led to the development of this PM2.5 dust filter, version 4 of Chiangrai Technical College, intending to develop a dust filter version 4 that can adjust the speed to suit the amount of dust and to find out the efficiency of the PM2.5 dust filter version 4, which can adjust the speed to suit the amount of dust. It was developed from version 3 as follows: increase in ventilation of more than 28.1%; cost saving of 10%. An experiment with an air-conditioned classroom of 64 m<sup>2</sup> with a capacity of 20 students was carried out on April 29th, 2022. It was found that 2 of the PM2.5 dust filters, version 4, can reduce dust, PM2.5, from 85 µg/m<sup>3</sup> to 50 µg/m<sup>3</sup> in 1 hour.

**Keywords :** Dust Filter, PM2.5, Dust Particles, Smog

### 1. บทนำ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอความเป็นมาและแนวคิดในการพัฒนาเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 จนถึงเวอร์ชันที่ 4 ดังนี้

\*เกรียงศักดิ์ ดอนชัย

E-mail : s5400201@gmail.com

### 1.1 ความเป็นมา

ในระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาหมอกพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นมานานกว่า 10-15 ปี ทำให้เมื่อปี 2550 รัฐบาลไทยได้ประกาศให้ปัญหาหมอกควันและฝุ่นละอองบริเวณภาคเหนือเป็นวาระแห่งชาติ และในปี 2562 นี้ก็ได้มีประกาศให้การแก้ปัญหาฝุ่นพิษนี้เป็นวาระแห่งชาติอีกครั้ง เนื่องจากหมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิดขึ้นอย่างมากจนอยู่ในขั้นวิกฤติ จากข้อมูลของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษรายงานว่า คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ต.เวียง อ.เมือง จ.เชียงราย ปี 2563 ระหว่างเดือน มกราคมถึงเดือนเมษายน ค่าเฉลี่ย PM2.5 อยู่ที่ 28, 50, 108 และ 65 ตามลำดับ โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

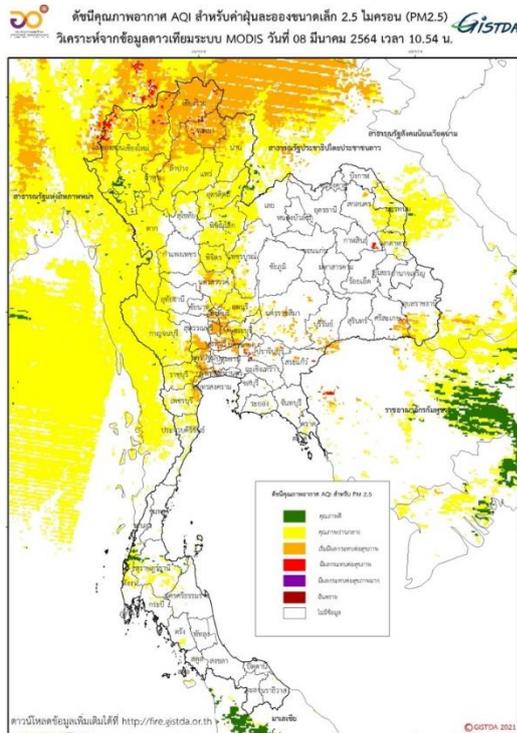
สาเหตุเนื่องด้วยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน ของทุกปีซึ่งมีสภาวะอากาศแห้งและนิ่งมักพบการเพิ่มสูงขึ้นของฝุ่นละอองในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือ สาเหตุนี้เกิดจากหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยสำคัญมีอยู่ 3 เรื่อง ได้แก่ สภาพภูมิประเทศทางเหนือประกอบด้วยพื้นที่ราบที่มีภูเขาล้อมรอบทำให้มีลักษณะคล้ายแอ่งกระทะ สภาพอากาศในช่วงปลายฤดูหนาวก่อนเข้าฤดูแล้งจะมีสภาพอากาศที่นิ่งและแห้งไม่มีลมพัด และความกดอากาศสูงจึงส่งผลให้เกิดไฟป่าได้ง่ายทั้งในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน (เมียนมาร์ และลาว) ทำให้ฝุ่นละอองต่าง ๆ ลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานไม่ตกลงสู่พื้นดิน ก่อให้เกิดการสะสมมลพิษในบรรยากาศขึ้นได้ และการเผาในที่โล่ง ซึ่งพบได้หลายรูปแบบ เช่น การเผาขยะ การเผาไร่ หรือการเผาวัชพืชเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการทำการเกษตรในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้การเผาในที่โล่งจะเกิดขึ้นมากที่สุดในเดือนมีนาคม จากการศึกษาและวิจัยของสมพร จันทระ (2561) ได้พบว่าการเผาชีวมวล 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว ต้นข้าวโพดแห้ง เศษใบไม้จากป่าเต็งรัง และเศษใบไม้จากป่าเบญจพรรณ จะทำให้มีการปล่อยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน หรือที่รู้จักในชื่อ PM2.5 โดยที่การเผาฟาง

ข้าวและใบไม้จากป่าจะทำให้เกิด PM2.5 มากกว่าการเผาต้นข้าวโพดแห้ง โดยการเผาฟางข้าวและข้าวโพดรวมเศษไม้ เศษใบไม้ น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะทำให้เกิด PM2.5 จำนวนถึง 2.15-4.38 กรัม [10]

ปัญหาหมอกควันข้ามแดนที่ส่งผลกระทบต่อจังหวัดเชียงราย คือพื้นที่ของอนุภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขง (Greater Mekong Subregion : GMS) หรือ อนุภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขง 6 ประเทศ ประกอบไปด้วย ไทย เมียนมาร์ ลาว กัมพูชา เวียดนาม และจีนตอนใต้ โดยจะเกิดปัญหาช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งพบการเพิ่มสูงขึ้นของฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยบริเวณชายแดนไทย เนื่องจากเป็นช่วงหน้าแล้งที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดไฟป่าได้ง่ายและลุกลามอย่างรวดเร็ว รวมทั้งเกษตรกรของแต่ละประเทศจะทำการเผาเศษวัสดุการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเกษตรในช่วงฤดูฝน ประกอบกับสภาวะอากาศที่แห้งและไม่มีลมพัดผ่าน ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน

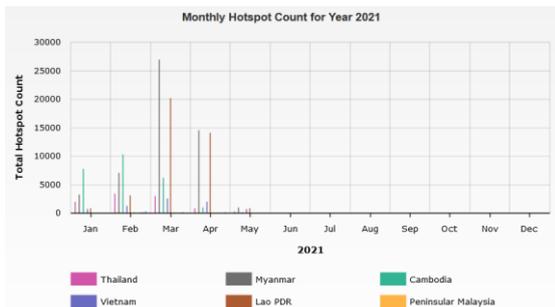
ส่วนในปี 2564 ค่าสูงสุดของ PM2.5 เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2564 ที่ จ.เชียงใหม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) อยู่ที่ 251 และค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM2.5 อยู่ที่ 201  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเวลา 11.29 น.

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของ ASEAN Specialised Meteorological Centre (ASMC) พบว่าในเดือนมีนาคม 2564 มีจำนวนจุดความร้อนสูงสุด โดยเฉพาะในสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ สูงมากกว่า 25,000 จุด รองลงมาเป็นสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จำนวนกว่า 20,000 จุด ซึ่งทั้ง 2 ประเทศมีพื้นที่ที่อยู่ติดกับจังหวัดเชียงราย ทำให้จังหวัดเชียงรายได้รับผลกระทบจากปัญหาหมอกควันข้ามแดน



รูปที่ 1 ดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับค่าฝุ่นละอองขนาด PM2.5

ที่มา : ส่วนมลพิษทางอากาศข้ามแดน กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 2 รายงานจุดความร้อนระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2564 ของ ASEAN Specialised Meteorological Centre (ASMC)

ที่มา : <http://asmc.asean.org/asmc-haze-hotspot-monthly-new/#>

ในส่วนของหลักการกรองหรือฟอกอากาศ จากการศึกษาเอกสารของ พานิช อินต๊ะ (2564) พบว่า เครื่องกรองอากาศหรือฟอกอากาศที่มีการใช้งานใน

ประเทศส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคในการกรองฝุ่นอยู่ 2 วิธีก็คือ 1. การกรองฝุ่นด้วยแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (high-efficiency particulate air, HEPA filter) ซึ่งมีประสิทธิภาพการกรองฝุ่นที่สูงถึง 99.97 % ที่อนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน และ 2. เครื่องฟอกอากาศที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิต (electrostatic air cleaner) ให้ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคสูงเทียบเท่าแผ่นกรองแบบ HEPA สามารถกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียด้วยสนามไฟฟ้าสถิต[9]

1.2 แนวคิดในการพัฒนา

จากที่ผู้วิจัยได้พัฒนานวัตกรรมลดปริมาณฝุ่น PM2.5 ที่ผ่านมาจำนวน 3 เวอร์ชันมีรายละเอียดที่จะเปรียบเทียบกันดังนี้ เวอร์ชัน 1 ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และเดินสายโดยการบัดกรีทำให้เกิดการผิดพลาด มีเสียงดัง และมีโครงสร้างมากทำให้ราคาต้นทุนประมาณ 3,000 บาท



รูปที่ 3 เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 1

เวอร์ชัน 2 เปลี่ยนมาใช้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino NANO วางบนแผ่น PCB ลดความผิดพลาดในการต่อสายลง ประกอบได้รวดเร็วขึ้น ราคาต้นทุนประมาณ 2,800 บาท



รูปที่ 4 เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 2



รูปที่ 5 เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 3

## 2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้ จะนำเสนอานิยาม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฝุ่น PM2.5 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ และอันตรายของฝุ่น PM2.5

### 2.1 นิยาม

ฝุ่นละออง หมายถึงอนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ

อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ บางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจางมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอน ลงมา และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม กำหนดค่าฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) PM10 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางจากการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน PM2.5 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐ

อเมริกาพบว่าผู้ที่ได้รับฝุ่น PM10 ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบหืด (Asthma) และฝุ่น PM2.5 ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอดที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉิน เพิ่มอาการของโรคทางเดินหายใจ ลดประสิทธิภาพการทำงานของปอด และเกี่ยวข้องกับ การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหอบหืด และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติ

ในประเทศไทยได้มีการให้ความหมายของค่าฝุ่นละออง หมายถึง ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate : TSP) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอน ลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก (PM10) หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอน ลงมา ฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในเขตกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควรถึง 4,000-5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็กและจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าถ้าสามารถลดปริมาณ PM10 ในบรรยากาศลงได้ 10 ไมครอน จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000-88,000 ล้านบาทต่อปี [6]

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบกับระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย (ตารางที่ 1) โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทาง

อากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้น จะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้
0 - 25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า
26 - 50	คุณภาพอากาศดี	เขียว
51 - 100	ปานกลาง	เหลือง
101 - 200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง

ที่มา : กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ

ผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10 และ PM2.5) ฝุ่นขนาดเล็ก หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) (เทียบเท่าได้กับหนึ่งในหกของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผม) เพราะเล็กพอที่สามารถเข้าไปได้ลึกถึงถุงลม ดังนั้นอันตรายต่อสุขภาพจึงขึ้นกับขนาดและองค์ประกอบของฝุ่น ฝุ่นขนาดเล็กอาจเกิดได้จากกระบวนการทางเคมี เช่น ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นน้ำมัน ถ่านหิน ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ยานพาหนะ หรือการเผาป่า เผาพื้นที่ทำการเกษตรและกระบวนการทางกลศาสตร์ เช่น การระเบิดบดย่อยหิน ในโรงโม่หิน หรือการก่อสร้าง ไม่ว่าจะกรณีใดย่อมก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่อได้รับสัมผัสสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้หลายระบบ เช่น ระบบทางเดินหายใจ (อาการไอและอาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง) ระบบหัวใจและหลอดเลือด (กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด หัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอ หัวใจวาย) ระบบตา ระบบผิวหนัง ฝุ่นขนาดเล็กยังเพิ่มความเสี่ยงของอัตราการตายจากภาวะเส้นเลือดอุดตันในสมอง และทำให้น้ำหนักของทารกในครรภ์ลดลงอีกด้วย ทำให้อัตราป่วยและอัตราการตายด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด

เพิ่มขึ้น และอัตราดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ ฝุ่นขนาดเล็กบางชนิด เช่น ฝุ่นทรายทำให้เกิดซิลิโคซิส (Silicosis) ฝุ่นถ่านหินทำให้เกิดโรคปอดจากฝุ่นถ่านหิน (Coal Workers' Pneumoconiosis) สำหรับกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ ผู้ป่วยหอบหืดและปอดอุดกั้นเรื้อรัง [8]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการศึกษาทั่วโลกพบว่า หากฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐาน จะส่งผลให้การตายด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 7%-20% การป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.5% การตายด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 2%-5% การป่วยด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 5.3% ผู้สูงอายุป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 17% ผู้สูงอายุป่วยด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่ม 7.6% และยังทำให้สภาพปอดในเด็กแย่งลง [8] นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยในประเทศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่สนับสนุนว่า PM10 มีผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น

1. ผลกระทบของ PM10 ต่ออุบัติการณ์ของกล้ามเนื้อหัวใจตาย ในการทบทวนวรรณกรรมเชิงระบบของ Bhaskaran et al. พบ 3 ใน 5 การศึกษาที่ทบทวนแสดงให้เห็นว่า พบว่าทุก ๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ของ PM10 ที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราตายทุกสาเหตุ อัตราตายด้วยโรกระบบหัวใจและระบบทางเดินหายใจและอัตราตายด้วยโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4, 6 และ 8 ตามลำดับ [2]

2. การศึกษาของ Schwartz and Morris (1995) ซึ่งใช้วิธีการศึกษาแบบอนุกรมเวลาเชิงนิเวศ (Ecologic time-series design) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง PM10 กับการเข้ารับรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดในประชากรที่มีอายุมากกว่า 65 ปีในเมือง Detroit โดยใช้เวลาการศึกษา 4 ปีพบมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ [4]

3. การศึกษาของ Ostro et al. ที่ติดตามเด็กแอฟริกันและอเมริกัน อายุ 7-12 ปี จำนวน 87 คน ที่ยืนยันว่าเป็นโรคหอบหืดมาแล้วไม่น้อยกว่า 6

สัปดาห์ แต่อยู่ตลอดการศึกษาเพียง 83 คน ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ใจกลางเมืองลอสแอนเจลิสและค่อนข้างได้การวิเคราะห์ใช้รายงานรายวันของอาการระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ไอ หายใจขัด หายใจมีเสียงหวีดเป็นตัวแปรตาม และระดับของสารมลพิษ ได้แก่ TSP, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> และ PM10 เป็นตัวแปรอิสระ ผลการศึกษาพบว่า PM10 ที่ได้จาก 3 เมืองในนครลอสแอนเจลิสมีค่าเฉลี่ย 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ช่วง 19 ถึง 101  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) จากการวิเคราะห์ด้วย General logistic regression with generalized estimating equation (GEE) พบว่าการหายใจขัดมีความสัมพันธ์กับระดับ PM10 และโอโซนอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถประมาณได้ว่า ทุก ๆ 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ของ PM10 ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อาการหายใจขัดเพิ่มขึ้น 9% สำหรับอาการอื่น ๆ ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ [3]

4. การศึกษาของ Peters et al. ที่ติดตามเด็กหอบหืด อายุ 6-14 ปี จำนวน 89 คน ในเมืองโซโคลอฟ สาธารณรัฐเชค โดยกลุ่มตัวอย่างมีการบันทึกค่า Peak flow ทุกวันเป็นเวลา 7 เดือน ในระหว่างฤดูหนาวปี ค.ศ.1991-1992 ร่วมกับการวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ PM10, SO<sub>2</sub>, TSP, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> และอนุภาคที่มีความเป็นกรดสูงพบว่าค่าเฉลี่ยของ PM10 คือ 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  สูงสุด 171  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ผลการวิเคราะห์โดยสถิติ Linear regression สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถภาพปอดและ Logistic regression พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างระดับอนุภาคฝุ่นกับสมรรถภาพปอดหรืออาการทางระบบทางเดินหายใจ [1]

นอกจากนี้ การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในกรุงเทพมหานครจากการศึกษาพบว่า การสัมผัสระยะสั้น PM10 ในกทม. มีความสัมพันธ์กับการตายก่อนเวลาอันควรถึง 4,000-5,500 รายในแต่ละปี (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) และในแต่ละวันที่ระดับ PM10 สูงขึ้น 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  อัตราการตายจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-20 มีการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรกระบบหายใจและโรกระบบหลอดเลือดหัวใจที่สูงขึ้นร้อยละ 5-17 เมื่อระดับของ PM10

สูงขึ้น 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  สำหรับในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของ PM10 รายวันมาก ๆ (ประมาณ 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) เช่น ในช่วงฤดูหนาว ทำให้ผู้ใหญ่ที่อยู่ในบริเวณที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ เมื่อสัมผัสกับฝุ่นละอองที่มีระดับสูง มีโอกาสที่จะมีอาการเฉียบพลันทางระบบหายใจสูงขึ้นเป็น 2 เท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีระดับฝุ่นต่ำในวันเดียวกัน และเมื่อระดับของ PM10 ในแต่ละวันสูงขึ้น 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  จะส่งผลให้มีอาการทางระบบหายใจสูงขึ้นร้อยละ 5-26 อย่างไรก็ตาม การลดระดับเฉลี่ยต่อปีของ PM10 ลง 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพจากอาการทางระบบหายใจได้เป็นตัวเงินจะมีค่าประมาณ 65,000-175,000 ล้านบาท [7]

### 3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่พัฒนาเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดราคาต้นทุนมาอย่างต่อเนื่อง โดยเวอร์ชันนี้เป็นเวอร์ชันที่ 4 มีวัตถุประสงค์ดังนี้

3.1 เพื่อสร้างนวัตกรรมที่สามารถลดปริมาณฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ที่สามารถปรับความเร็วให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่น

3.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมที่สามารถลดปริมาณฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ที่สามารถปรับความเร็วให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่น

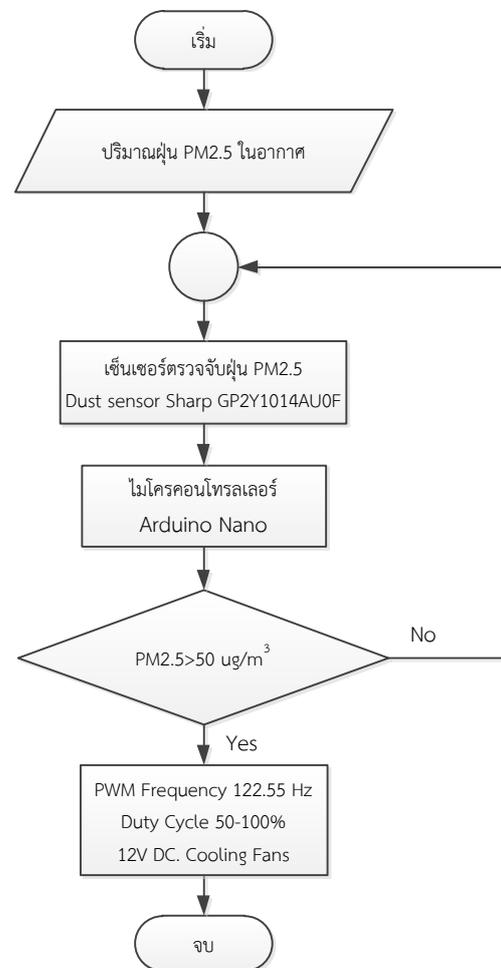
### 4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอแนวคิดในการพัฒนา การทดลองหาสมรรถนะ และการทดลองหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมที่สามารถลดปริมาณฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ดังนี้

#### 4.1 แนวคิดในการพัฒนา

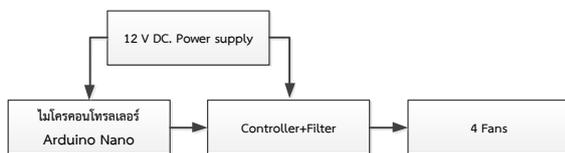
งานวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนารูปแบบนวัตกรรม และวิธีการต่าง ๆ ในการที่จะทำให้ห้องเรียนมีปริมาณฝุ่น PM2.5 อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ตั้งค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) ไว้ที่ไม่เกิน 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในเวอร์ชันที่ 4 นี้จะปรับ

เปลี่ยนจากพัดลมดูดอากาศที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่สามารถปรับจำนวนรอบได้ และทำงานในแบบ ON-OFF ของเวอร์ชันที่ 3 มาเป็นพัดลมระบายอากาศขนาดเล็กใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 12V จำนวน 4 ตัวต่ออนุกรมกัน ซึ่งราคาถูกกว่าและสามารถปรับความเร็วในการหมุนได้ โดยใช้หลักการปรับค่า Duty Cycle ของรูปคลื่น PWM ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างขึ้นจากค่าปริมาณฝุ่น ซึ่งจะทำให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านไส้กรองอากาศมีมากขึ้นส่งผลให้ลดระยะเวลาในการกรองฝุ่น PM2.5 ให้เร็วขึ้น และรักษาค่า AQI ให้อยู่ในระดับ 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  อยู่ตลอดเวลาโดยการหมุนที่ช้าลง คล้ายกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์



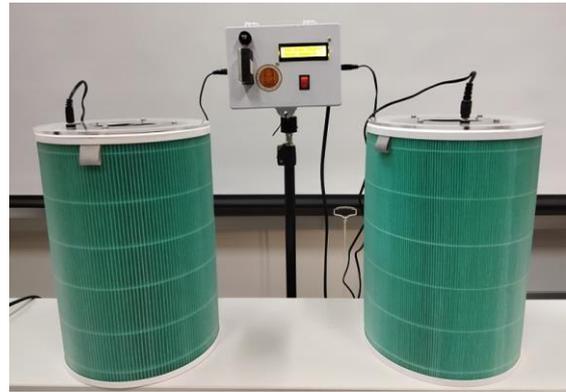
รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4

จากข้อมูลของ ASEAN Specialised Meteorological Centre (ASMC) ในรูปที่ 2 พบว่าปริมาณฝุ่น PM2.5 จะมีปริมาณสูงขึ้นเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม สูงสุดช่วงเดือนมีนาคม และเริ่มลดลงในเดือนเมษายน ดังนั้นจะมีการใช้เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 ตั้งแต่เดือนมกราคมเป็นต้นไป ในรูปที่ 6 การทำงานเริ่มจากฝุ่น PM2.5 จะถูกตรวจจับโดยเซนเซอร์ Sharp GP2Y1014AU0F ซึ่งจะมีความแม่นยำมากกว่ารุ่น Sharp GP2Y1010AU0F ถึง  $\pm 15\%$  ส่งข้อมูลไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano เนื่องจากงานวิจัยใช้ Input/Output จำนวนไม่มาก และราคาจะถูกกว่า Arduino Uno R3 ที่เคยใช้ในเวอร์ชันก่อน ๆ อยู่ถึงประมาณ 40-60% เลือกการปรับตั้งให้เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เริ่มการทำงานที่ปริมาณฝุ่น  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ระดับคุณภาพอากาศดี ตามเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย เลือกใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12V 2W ขนาด 3.5 นิ้ว ต่ออนุกรมกัน 4 ตัว ราคาถูกกว่าพัดลมระบายอากาศแบบ AC ขนาด 8 นิ้ว 23W ที่ 20% สุดท้ายในส่วนองไส้กรองยังคงใช้แบบ สีเขียว รุ่นพิเศษเคลือบสารฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde/Enhanced Version) ส่วนระบบไฟฟ้าส่วนควบคุมแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระบบไฟฟ้าส่วนควบคุม

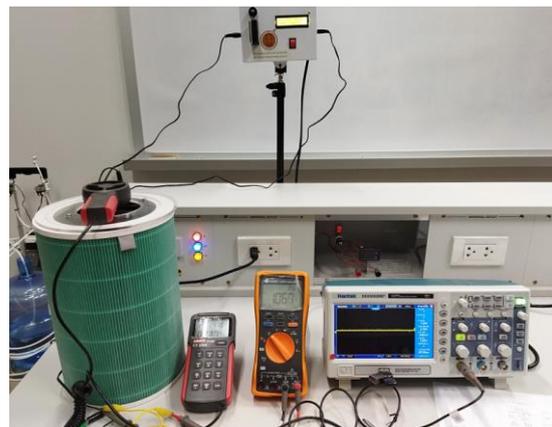
ในส่วนนี้ ประกอบด้วย Adapter 12V 3A ทำหน้าที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าโดยลดให้เหลือ 5V ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano ผ่าน IC Voltage Regulator 7805 เพื่อให้สร้างสัญญาณ PWM ที่ความถี่ 122.55 Hz ให้มีค่า Duty Cycle 50-100% ส่งไปยังทรานซิสเตอร์เพื่อขับโหลดพัดลมระบายความร้อนให้หมุนช้าและเร็วตามค่าปริมาณฝุ่นที่ตรวจจับได้



รูปที่ 8 เครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 ที่เสร็จสมบูรณ์

#### 4.2 การทดลองหาสมรรถนะของเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4

การทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องมือประกอบด้วย ดิจิตอลออสซิลโลสโคป Hantek DSO5062BMT มัลติมิเตอร์ KEYSIGHT U1242C และเครื่องวัดความเร็วลม UNI-T UT362



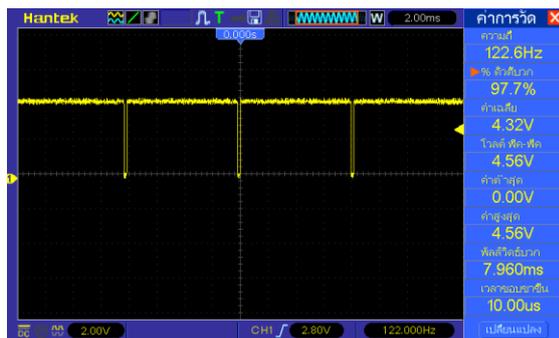
รูปที่ 9 การทดลองสมรรถนะของเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4



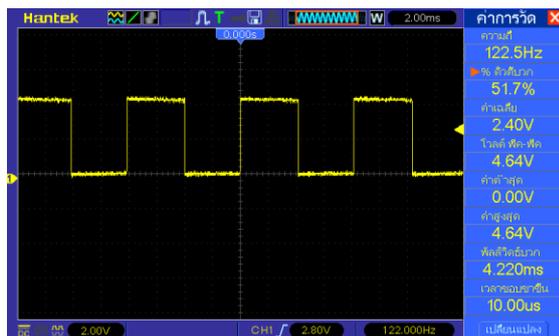
รูปที่ 10 การทดสอบวัดความเร็วลมในการระบายอากาศ

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง

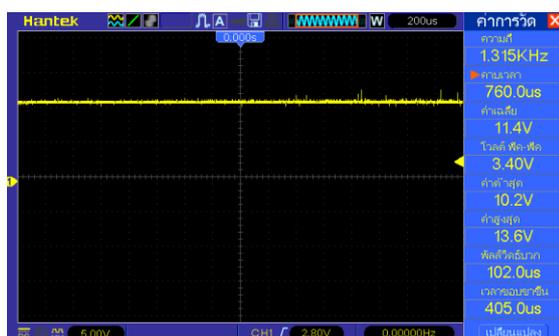
PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	แรงดัน Output (V)	ความเร็วลม (m/s)
50-54.9	4.3	1.17
55-59.9	7.0	1.38
60-64.9	7.8	1.40
65-69.9	8.28	1.53
70-74.9	10.77	1.65
>75	11.4	1.96



รูปที่ 11 สัญญาณควบคุมที่ Duty cycle 97.7%



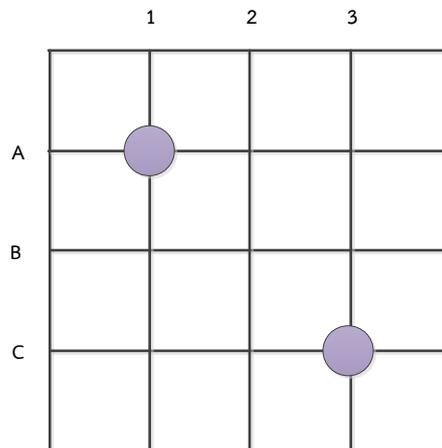
รูปที่ 12 สัญญาณควบคุมที่ Duty cycle 51.7%



รูปที่ 13 สัญญาณแรงดัน Output ที่ค่า PM2.5 >75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

4.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมที่สามารถลดปริมาณฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4

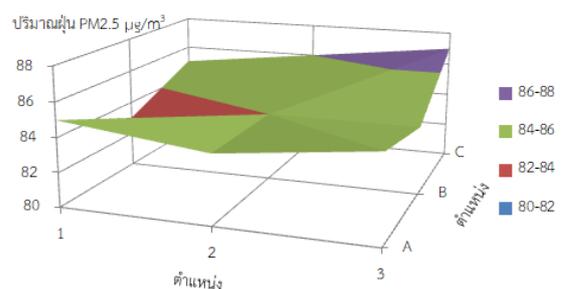
การออกแบบการเก็บข้อมูลจะใช้ห้องเรียนปรับอากาศขนาด 8x8 ม. ที่มีนักเรียนนักศึกษาใช้ห้องเรียนจำนวน 40 คน โดยใช้อุปกรณ์วัดค่าฝุ่น PM2.5 Smartmi วัดตามตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องในทุก 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 14 การจัดวางตำแหน่งของเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชัน 4 และตำแหน่งการวัด

ตารางที่ 3 ผลการวัดปริมาณฝุ่น PM2.5 ก่อนเริ่มการทดลอง

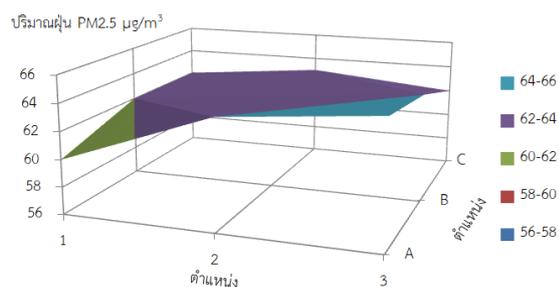
ตำแหน่ง	1	2	3
A	85	84	85
B	83	84	84
C	85	86	87
ค่าเฉลี่ย	84.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		



รูปที่ 15 แผนภูมิพื้นผิวปริมาณฝุ่น PM2.5 ก่อนเริ่มการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลการวัดปริมาณฝุ่น PM2.5 ณ.เวลา 30 นาที

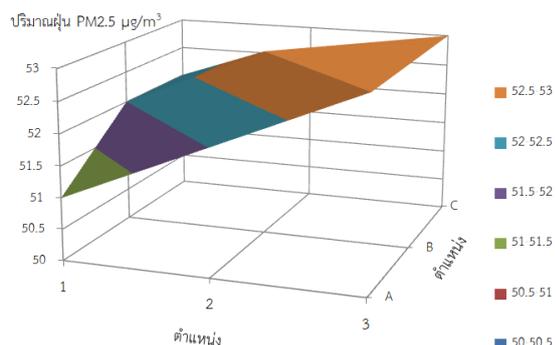
ตำแหน่ง	1	2	3
A	60	64	65
B	62	63	64
C	62	63	62
ค่าเฉลี่ย	62.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		



รูปที่ 16 แผนภูมิพื้นผิวปริมาณฝุ่น PM2.5 ณ.เวลา 30 นาที

ตารางที่ 5 ผลการวัดปริมาณฝุ่น PM2.5 ณ.เวลา 60 นาที

ตำแหน่ง	1	2	3
A	51	52	53
B	52	53	53
C	52	52	53
ค่าเฉลี่ย	52.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		



รูปที่ 17 แผนภูมิพื้นผิวปริมาณฝุ่น PM2.5 ณ.เวลา 60 นาที



รูปที่ 18 บรรยากาศขณะทำการทดลองด้านหน้าห้อง



รูปที่ 19 บรรยากาศขณะทำการทดลองด้านหลังห้อง

## 5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ในหัวข้อนี้นำเสนอสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 เวอร์ชันที่ 4 ดังนี้

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยพัฒนาต่อเนื่องกันมาเป็นเวอร์ชันที่ 4 แล้ว เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตไปด้วยกัน โดยที่ประสิทธิภาพการทำงานต้องเท่าเดิมหรือดีกว่า ดังนี้ ความเร็วลมในการระบายอากาศเวอร์ชัน 3 ที่ 1.53 m/s เวอร์ชัน 4 ที่ 1.96 m/s มากกว่าร้อยละ 28.1 ราคาต้นทุนเวอร์ชัน 3 ที่ 2,200 บาท ราคาต้นทุนเวอร์ชัน 4 ที่ 1,980 บาท ลดลงร้อยละ 10

### 5.2 การอภิปรายผล

ในส่วนตัวเครื่องกรองฝุ่น PM2.5 สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบโดยเริ่มทำการกรองฝุ่นได้ ตั้งแต่ค่าฝุ่น PM2.5 ที่ค่า 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เป็นต้นไป โดยการปรับความเร็วรอบแบบอัตโนมัติตามปริมาณฝุ่นที่ตรวจจับได้ และจำนวนความเร็วรอบสูงสุดตั้งแต่ค่า

ฝุ่น PM<sub>2.5</sub>>75 µg/m<sup>3</sup> ในส่วนการหาประสิทธิภาพจากการทดลองเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2565 ในห้องเรียนปรับอากาศขนาด 64 ม<sup>2</sup> ที่ใช้ทดลองในช่วงระหว่างการเรียนภาคฤดูร้อน วัดค่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ได้ที่ 85 µg/m<sup>3</sup> เนื่องจากช่วงปี 2565 ปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีฝนตกบ่อย มีนักศึกษาอยู่ในห้องเรียนอยู่ 20 คน มีการเข้า-ออก ตามปกติ และมีการเปิดเครื่องปรับอากาศจากการทดลองพบว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงค่าที่อยู่ในระดับคุณภาพอากาศดีตามเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย AQI 26-50 µg/m<sup>3</sup> สัญลักษณ์สีเขียว ในเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นในการใช้ควรที่จะเปิดเครื่องก่อนล่วงหน้าเป็นเวลา 0.5-1 ชั่วโมง ก็จะทำให้ปริมาณฝุ่นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้ที่จะมาใช้ห้องเรียน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนข้อเสนอแนะจากที่ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกรองฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มาเป็นเวลาพอสมควรจึงขอแนะนำดังนี้ หากมีการใช้เครื่องกรองฝุ่นมาแล้วระยะเวลาหนึ่งค่าที่ได้จากเครื่องวัดจะมีค่าสูงขึ้นกว่าความเป็นจริงอันเนื่องมาจากมีฝุ่นไปเกาะที่จานรับฝุ่นของตัวเซนเซอร์ Sharp GP2Y1014AU0F ดังนั้นจึงต้องมีการทำความสะอาดโดยการใช้สำลีเช็ดอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อหยุดใช้งานในช่วงที่ไม่มีฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ควรเอาเทปปิดที่ช่องรับฝุ่นทั้ง 2 ด้าน เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นไปเกาะที่จานรับฝุ่น ต่อมาคือการเพิ่มพิกัดกระแสไฟฟ้าของแหล่งป้อนแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องกรองฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ได้หลายเครื่องมากขึ้น โดยมีอุปกรณ์ควบคุมเพียงตัวเดียว และควรมีการเพิ่มให้สามารถรับแหล่งป้อนแรงดันไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อที่จะนำไปใช้ในรถยนต์ได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบคุณผู้ เกี่ยวข้องทุกท่านของสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง และ

วิทยาลัยเทคนิคเชียงรายที่ได้กรุณาให้ทุนสนับสนุนในครั้งนี้ คุณประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ขอยกให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมไปถึงบุคคลที่เกี่ยวข้องและรวมทั้งที่มีได้กล่าวถึง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] A Peters, DW Dockery, J Heinrich, HE Wichmann, "Short-term effects of particulate air pollution on respiratory morbidity in asthmatic children", *European Respiratory Journal* 1997, pp. 872-879.
- [2] Bhaskaran K, Hajat S, Haines A, Herrett E, Wilkinson P, Smeeth L. "Effects of air pollution on the incidence of myocardial infarction". *Heart* 2009 Nov;95(21): pp. 1746-59.
- [3] Ostro BD, Lipsett MJ, Mann JK, Braxton-Owens H, White MC. "Air pollution and asthma exacerbations among African-American children in Los Angeles". *Inhal Toxicol.* 1995;7: pp. 711-722.
- [4] Schwartz, J. and Morris, R. "Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular Disease in Detroit", Michigan. *American Journal of Epidemiology*, (1995) 142, pp. 23-35.
- [5] กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค. (2558). "แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก". เอกสารเผยแพร่, พ.ศ.2558, หน้า 3-8.
- [6] นภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำรา ระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2550. หน้า 2-35.

- [7] นันทวรรณ วิจิตรวาทการ และคณะ. การสำรวจสภาพปัญหาฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในกรุงเทพมหานคร และแนวโน้มเชิงนโยบาย. วิทยาลัยการสาธารณสุข จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2538. หน้า 8-19.
- [8] พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. โครงการระดับรายวันของฝุ่นในอากาศ และผลกระทบต่อสุขภาพในผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่:เชียงใหม่. พ.ศ.2555. หน้า 7-22.
- [9] พานิช อินต๊ะ และคณะ. (2564). "การพัฒนาและการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศหลักการไฟฟ้าสถิตสำหรับกำจัดฝุ่นละอองและไบโอเอโรซอลจากอากาศภายในอาคาร". วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ววท.) ปีที่ 29 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2564. หน้า 1073-1086.
- [10] สมพร จันทระ และคณะ. การติดตามตรวจสอบการเผาในที่โล่งในภาคเหนือของประเทศไทย สำหรับการประเมินการปล่อยและการเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศเพื่อการวางแผนการจัดการปัญหาหมอกควัน. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พ.ศ.2561. หน้า 14-28.