



## การปรับปรุงและการทดสอบภาคสนามต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต

กัญจน์เอก ตินตะชาติ และ วรพรรณ หน่อแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และ พานิช อินต๊ะ\*

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-9755-1985 อีเมล: panich\_intra@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.005

รับเมื่อ 6 พฤษภาคม 2558 ตอรับเมื่อ 25 กันยายน 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 1 กุมภาพันธ์ 2559

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้คือเพื่อออกแบบ พัฒนา และทดสอบสมรรถนะต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต โดยต้นแบบประกอบด้วย ตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต แผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ต แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง และระบบควบคุมการไหลของอากาศ ซึ่งการทำงานของเครื่องต้นแบบทำงานโดยใช้พัดลมระบายอากาศจะติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคเพื่อดึงอากาศจากด้านล่างขึ้นข้างบนผ่านเข้าตัวเก็บรวบรวมอนุภาคและผ่านแผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ตก่อนปล่อยออกสู่อาคาร ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในสนามไฟฟ้าและบนแผ่นกรองอากาศด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* ที่มีความเข้มข้น  $10^8$  CFU/ml พบว่าประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจะอยู่ในช่วง 18.75–98.69% ที่ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในช่วง 1–10 นาที และแผ่นกรองที่พันเส้นใยผสมสารสกัดมังคุดมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้มากกว่า 90% และในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบด้วยแหล่งกำเนิดอนุภาคที่มีความเข้มข้นประมาณ  $10^{13}$  particles/m<sup>3</sup> ภายในห้องจำลองขนาดมิติ  $2 \times 2 \times 2$  m ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าเครื่องบำบัดอากาศ ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะให้ประสิทธิภาพในตกตะกอนหรือการกำจัดฝุ่นละอองเชิงมวลได้สูงถึง 96.4% ที่แรงดันที่ดิสชาร์จจิลิกโทรด 10 kV อุณหภูมิแก๊ส 25°C ความดันแก๊ส 1 bar ความเร็วของแก๊ส 0.1 m/s และเวลาในการบำบัดอากาศ 6.6 นาที

**คำสำคัญ:** อนุภาค, ฝุ่น, แบคทีเรีย, ไฟฟ้าสถิต, เครื่องบำบัดอากาศ

การอ้างอิงบทความ: กัญจน์เอก ตินตะชาติ, วรพรรณ หน่อแก้ว, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ, และ พานิช อินต๊ะ, “การปรับปรุงและการทดสอบภาคสนามต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, หน้า 31–46, ม.ค.-เม.ย. 2560



## Modification and Field Testing of an Indoor Electrostatic Air Purifier

Kananake Tintachart and Worrapun Norkaew

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

Artit Yawootti and Panich Intra\*

College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 08-9755-1985, E-mail: panich\_intra@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.005

Received 6 May 2015; Accepted 25 September 2015; Published online: 1 February 2016

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

The aim of this research project is to design, develop and test a prototype of an indoor electrostatic air purifier towards commercialization. The prototype of the electrostatic air purifier consists of an electrostatic particle collector, a germguard air filter, a high voltage power supply, and a flow control system. In operation, the fan draws the air into the system through the 2-state electrostatic particle collector to collect particulates and then passes the air through the air filter to improve the air quality. For this study, the treatment efficiency of the electric field and the air filter was tested with gram-positive bacteria (*S. aureus*) at the concentration of  $10^8$  CFU/ml. It was found that the treatment efficiency was in the range of 18.75–98.69% for the treatment time of 1–10 minutes. The air filter coated with mangosteen skin's extract had the efficiency of over 90%. The prototype was also tested by a particle generator with the concentration of  $10^{13}$  particles/m<sup>3</sup> in a  $2 \times 2 \times 2$  m chamber. It was shown that the prototype could remove particulates up to 96.4 % at the discharge electrode voltage of 10 kV, and 25°C of 1-bar gas pressure with 0.1 m/s for 6.6 minutes.

**Keywords:** Particle, Dust, Bacteria, Electrostatic, Air Cleaner

## 1. บทนำ

เครื่องบำบัดอากาศและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Purifier) มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับสำนักงาน โรงพยาบาลโดยเฉพาะห้องปลอดความ เป็นพิษ และที่พักอาศัย โดยเครื่องบำบัดอากาศภายในอาคารจะช่วยในการขจัดปัญหาเรื่องเชื้อโรค โดยเฉพาะ เชื้อแบคทีเรีย ควันบุหรี่ ฝุ่นและกลิ่นต่างๆ สามารถกำจัด อนุภาคที่มีขนาดเล็ก 0.01 ไมครอน ที่ปะปนอยู่ในอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคปอด อักเสบ และโรคทางเดินหายใจอื่นๆ เช่น โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด เป็นต้น [1]-[4] จากการสำรวจและสอบถาม เบื้องต้นจากผู้ที่เกี่ยวข้องและหน่วยงานของภาครัฐและ เอกชนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของเครื่องบำบัดอากาศ ภายในอาคารสำนักงานและที่พักอาศัย พบว่าเครื่องบำบัด อากาศภายในอาคารที่มีจำหน่ายในประเทศยังมีราคา ค่อนข้างสูงอยู่ในหลักหลายหมื่นบาท และต้องเสียค่าใช้จ่าย ในการบำรุงรักษาและบริการจากตัวแทนจำหน่ายในราคา ค่อนข้างสูง จึงทำให้มีการใช้งานในจำนวนที่จำกัดทำให้ ไม่สามารถขยายให้มีการใช้งานในส่วนสำนักงานพื้นที่งาน หรือที่พักอาศัยได้มากขึ้น

ในปัจจุบันวิธีการทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Method) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับบำบัดอากาศในอากาศที่มี ขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร ไปจนถึง 100 ไมโครเมตร อย่างกว้างขวาง เพราะให้ประสิทธิภาพการตกตะกอน สำหรับอนุภาคสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อดีของวิธีการ ทางไฟฟ้าสถิตคือมีความดันสูญเสียของแก๊สต่ำ ปกติ แล้วจะน้อยกว่า 1000 Pa เนื่องจากแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) จะกระทำต่อตัวอนุภาคเพียงอย่างเดียว จึงไม่มีผลกระทบต่อการไหลของแก๊ส และสามารถ ทำงานที่อุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส และข้อดี ที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนี้ ก็คือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ [5]-[7] ในการศึกษาวิจัย และพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องตกตะกอน เชิงไฟฟ้าสถิตทั้งภาคทฤษฎีและการทดลองในปัจจุบัน มีอยู่ค่อนข้างแพร่หลาย ซึ่งมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

ยาวนาน ได้มีการประยุกต์ใช้สำหรับการกำจัดอนุภาคจาก เตาเผาใหม่แบบต่างๆ และไอเสียของเครื่องยนต์ ยังได้ มีการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเสริมประสิทธิภาพ การตกตะกอนสำหรับอนุภาคในระดับนาโนเมตร และ สำหรับการกำจัดน้ำมันดินหรือทาร์อย่างต่อเนื่อง [8]-[19] สำหรับการศึกษาวินิจฉัยเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าสถิต สำหรับกำจัดอนุภาคและความเป็นพิษยังมีอยู่ค่อนข้าง จำกัดไม่แพร่หลาย จากการสืบค้นและตรวจสอบทรัพย์สิน ทางปัญญา ที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์เครื่องวิเคราะห์ ขนาดฝุ่นละอองในบรรยากาศ มีรายการดังต่อไปนี้ ได้แก่ สิทธิบัตร US 3,665,679 สิทธิบัตร US 3,778,970 สิทธิบัตร US 3,812,370 สิทธิบัตร US 3,798,879 สิทธิบัตร US 3,985,525 สิทธิบัตร US 3,988,131 สิทธิบัตร US 4,231,766 สิทธิบัตร US 4,351,648 สิทธิบัตร US 4,317,661 สิทธิบัตร US 4,569,684 สิทธิบัตร US 5,055,115 สิทธิบัตร US 5,334,238 สิทธิบัตร US 5,669,963 สำหรับในงานวิจัยที่ผ่านมา โดย Intra *et al.* [19] ได้ออกแบบ พัฒนา และทดสอบ สมรรถนะต้นแบบเครื่องบำบัดอากาศภายในอาคาร สำหรับห้องปลอดความ เป็นพิษโดยการผสมผสาน เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิตและการกรอง ประกอบด้วย พัดลม ดูดอากาศ (Fan) ชุดอัดประจุไฟฟ้าอนุภาค (Particulate Charger) ชุดตกตะกอนอนุภาค (Particulate Collector) และชุดสร้างไอออน (Ionizer) ซึ่งการทำงานของเครื่อง ต้นแบบฯ จะใช้พัดลมดูดอากาศเข้าภายในระบบโดย ผ่านชุดอัดประจุไฟฟ้าอนุภาค (Particles Charger) แบบ เส้นลวด-แผ่น (Wire-to-plate Charger) เพื่ออัดประจุไฟฟ้า ให้กับอนุภาคจะทำให้อนุภาคฝุ่น

ละอองเกิดประจุไฟฟ้า (Charged Particles) หลังจากนั้น ฝุ่นละอองและอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าสถิตเหล่านี้จะถูก นำเข้าไปยังชุดตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบหลายท่อ (Multiple-tube Type) ที่ประกอบด้วยท่อตกตะกอนและ ขั้วดิสชาร์จจิลิกโทรด์ โดยดิสชาร์จจิลิกโทรด์จะถูกจ่าย ไฟฟ้าแรงดันสูงให้ในขณะที่ท่อตกตะกอนมีศักย์เป็น กราวด์จะทำให้เกิดสนามโคโรนาดิสชาร์จขึ้นบริเวณรอบๆ

ดิสชาร์จอิเล็กโทรด เมื่ออนุภาคฝุ่นละอองที่ถูกอัดประจุเข้ามาในชุดตกตะกอนนี้จะตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) ที่ผนังด้านในของท่อตกตะกอน (Collection Tube) และอากาศที่สะอาดผ่านออกมาผ่านชุดดิสชาร์จ (Discharger) เพื่อดิสชาร์จให้อากาศมีความเป็นกลางของประจุไฟฟ้า (Neutral) เพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศที่กรองออกมาให้บริสุทธิ์เป็นธรรมชาติ ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้สามารถปรับความเร็วของอากาศได้ และตั้งเวลาการทำงานได้ 24 ชั่วโมง และสามารถถอดล้างทำความสะอาดชุดอัดประจุไฟฟ้าอนุภาค ชุดตกตะกอน อนุภาค และชุดสร้างไอออน ได้ตลอดอายุการใช้งาน โดยต้นแบบที่พัฒนาขึ้นให้ประสิทธิภาพในตกตะกอนหรือการกำจัดฝุ่นละอองได้สูงถึง 99% ที่แรงดันที่ดิสชาร์จอิเล็กโทรด 10 kV อุณหภูมิแก๊ส 25°C ความดันแก๊ส 1 bar ความเร็วของแก๊ส 0.1 m/s และเวลาในการบำบัดอากาศ 70 นาที

อย่างไรก็ตาม เมื่อได้นำเครื่องต้นแบบฯ นี้ไปทดสอบใช้งานจริงรวมถึงการผลนำเสนอในที่ประชุมวิชาการและการจัดแสดงผลงานสิ่งประดิษฐ์คิดค้น ได้มีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องต้นแบบเพื่อให้สามารถบำบัดหรือปรับสภาพอากาศภายในอาคาร โรงพยาบาล ห้องทำงาน ห้องนอน และช่วยในการขจัดปัญหาเรื่องเชื้อโรค โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย คิวบิกหรือ ฝุ่น และกลิ่นต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การปรับปรุงขนาดและมิติของเครื่องต้นแบบให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย การบำรุงรักษาต่ำ ประหยัดพลังงาน การทดสอบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคแต่ละชนิดที่แขวนลอยในอากาศ เช่น เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aures*) และแกรมลบ (*E.coli*) และเชื้อแบคทีเรียก่อโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น เชื้อก่อโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ เชื้อก่อโรคปอดบวม เป็นต้น การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดเทียบกับเครื่องบำบัดอากาศฯ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

ดังนั้น จึงจำเป็นที่ต้องมีการปรับปรุง การประเมินสมรรถนะ การทดสอบภาคสนาม และสำรวจความต้องการ

ของผู้ใช้งานรวมถึงการศึกษาทั้งภาคทฤษฎี (Theoretical) และการทดลอง (Experimenttal) เกี่ยวกับการกำจัดเชื้อโรคต่างๆ ในอากาศเพิ่มเติมดังกล่าว โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและการทดสอบภาคสนาม เครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิตสูงเชิงพาณิชย์ โดยใช้ เครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ ที่สามารถพัฒนาและหาได้ภายในประเทศ ทดแทนชิ้นส่วนจากต่างประเทศ และเพื่อให้ได้เงื่อนไขของระบบบำบัดอากาศภายในอาคารสำนักงานและห้องปลอดเชื้อที่เหมาะสมต่อการทำงาน ราคา และการยอมรับของผู้ใช้เชิงพาณิชย์

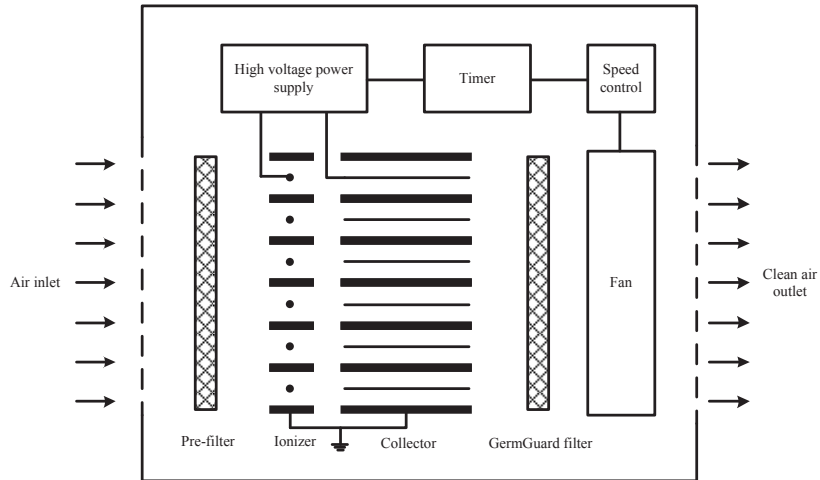
## 2. การออกแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต

### 2.1 วัตถุประสงค์และเป้าหมายในการออกแบบ

จากการสำรวจความต้องการจากผู้ใช้งานและผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานและจำหน่ายเครื่องบำบัดอากาศฯ สามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดฝุ่นละอองในอากาศควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- จะต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย สวยงามเหมาะกับการใช้งานในอาคารและห้องพัก
- มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำและประหยัดพลังงาน
- ให้ประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อโรค โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย คิวบิกหรือ ฝุ่นและกลิ่นต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคปอดอักเสบ และโรคทางเดินหายใจอื่นๆ เช่น โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด
- มีการป้องกันหรือความปลอดภัยจากอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงด้วยฉนวนไฟฟ้าและวงจรป้องกันกระแสรั่ว
- ต้องมีราคาถูกและทนทาน

เพื่อแก้ปัญหาในเครื่องมือวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศได้กล่าวมาในข้างต้น เครื่องมือวัดที่จะทำการพัฒนาขึ้นนี้จะทำการประยุกต์ใช้องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยอาศัยการทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Technique) ทำงานร่วมเทคโนโลยีจิร์มการ์ด (GermGuard



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้น

Technology) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยหน่วยวิจัยAIPMของวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [20] เทคโนโลยีเจอร์มการ์ดเป็นเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อโรคด้วยสารสกัดจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคสูงสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aures*) และแกรมลบ (*E.coli*) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามมาตรฐาน JIS Z 2801:2000 และสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรกระบบทางเดินหายใจ เช่น เชื้อก่อโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ เชื้อก่อโรคปอดบวม โดยเฉพาะเชื้อวัณโรคชนิดดื้อยาจะถูกฆ่าตาย

ทันทีเมื่อสัมผัสกับแผ่นกรอง ฤทธิ์ในการต้านเชื้อไวรัส H5N1 ซึ่งทดสอบโดย BIOTEC Thailand [20] รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้น โดยได้ทำการปรับปรุงต้นแบบเดิมตามข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้ได้เงื่อนไขของการทำงานในโรงพยาบาล ห้องนอน คริวเรือน สำนักงานทั่วไป โรงเรียนที่เหมาะสมต่อการทำงาน ราคา และการยอมรับของผู้ใช้เชิงพาณิชย์ ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้น

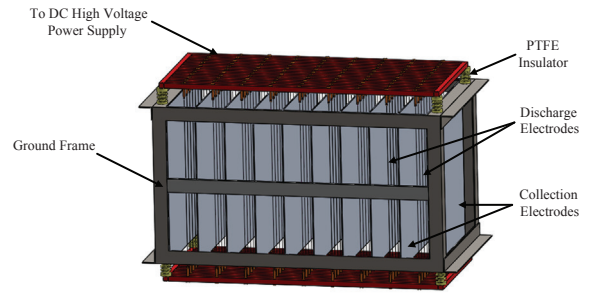
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับผลงานที่ผ่านมา โดย Intra *et al.* [19]

คุณสมบัติ	Intra <i>et al.</i> [19]	งานนี้
วิธีการบำบัด	ไฟฟ้าสถิต	ไฟฟ้าสถิตร่วมกับเทคโนโลยีเจอร์มการ์ด
จำนวนชั้นตัวกรองอากาศ	3 ชั้น	4 ชั้น
การกำจัดอนุภาคฝุ่น	สามารถกำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า PM2.5	สามารถกำจัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า PM2.5
ขนาดห้องที่เหมาะสม	50 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
ฆ่าเชื้อโรค	มี	มี
ตัวตั้งเวลาการใช้งาน	มี	มี
ตัวปรับความเร็วของพัดลม	มี	มี
การใช้พลังงาน	220 VAC 50 Hz ไม่เกิน 100 W	220 VAC 50 Hz ไม่เกิน 100 W
ขนาดมิติ	30 cm × 30 cm × 80 cm	50 cm × 40 cm × 50 cm
ราคา	40,000 บาท	น้อย 40,000 บาท

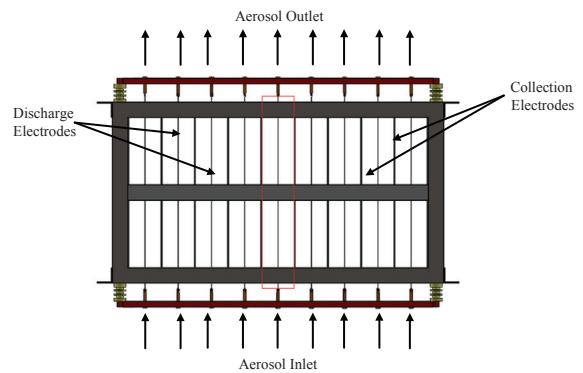
## 2.2 ตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต

หลักการดำเนินงานพื้นฐานของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตคือเป็นวิธีการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองออกจากอากาศ โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) ที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ขั้วดิสชาร์จ (Discharge Electrode) และขั้วเก็บรวบรวม (Collection Electrode) เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จและให้ขั้วเก็บรวบรวมเป็นกราวด์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) ขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ ไอออน (Ions) และอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electrons) จะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดโคโรนา และทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออน (Ionic Current) ผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วเก็บรวบรวม เมื่อมีอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้ จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน (Ion to Particle Collisions) ไอออนจะเกาะติดกับอนุภาคเหล่านั้นเป็นผลทำให้อนุภาคได้รับประจุ (Particle Charging) และอนุภาคที่มีประจุ (Charged Particle) ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตกสะสมตัวอยู่บนขั้วเก็บรวบรวมด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต โดยอนุภาคเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากขั้วเก็บรวบรวมโดยการเคาะที่ขั้วเก็บรวบรวม

ความต้องการพื้นฐานของการออกแบบตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตในการศึกษาคือตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตจะต้องมีประสิทธิภาพการเก็บรวบรวม (Collection Efficiency) ที่สูงโดยไม่มี การสูญเสียของความดันอากาศ (Pressure Drop) ภายใน และสามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้นได้ ตัวตักตะกอนที่จะสร้างขึ้นนี้จะต้องมีการป้องกันหรือความปลอดภัยจากอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง ด้วยการฉนวนไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงและจุดที่มีการเชื่อมต่อกัน การแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใดๆ ออกจากกัน และการใช้วัสดุฉนวนที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพียงพอ เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟฟ้าและการลัดวงจรไฟฟ้า รูปที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บรวบรวมอนุภาค



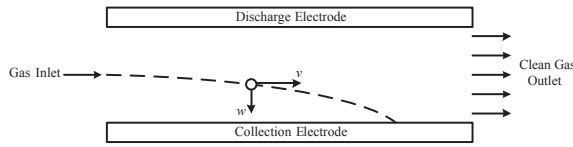
(ก) การจัดวางขั้วดิสชาร์จและขั้วเก็บรวบรวม



(ข) ทางเข้าและออกของอนุภาค

รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต

แบบไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้น โดยตัวเก็บรวบรวมอนุภาคประกอบด้วยขั้วดิสชาร์จ แผ่นเก็บรวบรวมอนุภาค ฉนวนไฟฟ้าและโครงกราวด์ติดตั้งแสดงในรูปที่ 2 (ก) เส้นลวดขั้วดิสชาร์จทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm ยาว 420 mm แผ่นเก็บรวบรวมอนุภาคทำจากแผ่นอะลูมิเนียมหนา 2 mm สูง 298 mm กว้าง 295 mm ฉนวนไฟฟ้าทำจาก PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ยาว 30 mm โดยโครงกราวด์ทำจากเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว เพื่อเป็นโครงสร้างในการจับยึดแผ่นเก็บรวบรวมอนุภาคจำนวน 10 แผ่น โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเก็บรวบรวมเท่ากับ 53 mm การยึดเส้นลวดขั้วดิสชาร์จจะทำการยึดบนรางเหล็กยึดเส้นลวดที่มีระยะห่างระหว่างเส้นลวดเท่ากับ 15 mm โดยรางเหล็กยึดเส้นลวดจะอยู่ในตำแหน่งบนและล่างของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคและถูกแยกออกจากกัน



รูปที่ 3 ลักษณะการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาค [1]

ทางไฟฟ้าระหว่างโคจรกราวนด์และรางเหล็กยึดเส้นลวด ด้วยฉนวนไฟฟ้า PTFE ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยแต่ละเส้นลวดจะสามารถปรับความตึงของเส้นลวดด้วยน็อตปรับที่หัวท้ายของเส้นลวดได้

การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาคในสนามไฟฟ้าจำเป็นต้องรู้สมมูลของแรงทั้งหมดที่กระทำบนอนุภาคดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยแรงโมเมนตัม (Momentum Force)  $F_g$  แรงไฟฟ้า (Electrical Force)  $F_e$  และแรงต้าน (Drag Force)  $F_d$  โดยผลรวมของแรงที่กระทำบนอนุภาคทั้งหมดจะเท่ากับ 0 ดังสมการที่ (1)

$$F_g + F_e + F_d = 0 \quad (1)$$

จากกฎของนิวตัน (Newton's Law) ของอนุภาคจะได้สมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคคือ [5]

$$m_p \frac{dw}{dt} = n_p e E + \frac{1}{C_c} 3\pi\mu d_p w + m_p \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho} \quad (2)$$

เมื่อ  $m_p$  คือมวลของอนุภาค  $n_p$  คือจำนวนประจุของอนุภาค  $e$  คือค่าประจุของอิเล็กตรอน  $E$  คือความเข้มสนามไฟฟ้า  $\mu$  คือความหนืดของของไหลมีค่าเท่ากับ  $1.846 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$   $d_p$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค  $w$  คือความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังคอลเล็กชันอิเล็กโทรด  $C_c$  คือตัวประกอบการปรับแก้สลีปคินนิงแฮม (Cunningham, 1910)  $g$  คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $\rho_p$  คือความหนาแน่นของอนุภาค  $\rho$  คือความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ  $1.1614 \text{ kg/m}^3$  และ  $t$  คือเวลา

ในการเคลื่อนที่ โดยพิจารณาให้มวลของอนุภาคและผลของแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลของสนามไฟฟ้า ( $F_g \ll F_e$ ) ดังนั้นจะได้ความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังคอลเล็กชันอิเล็กโทรดคือ [6]

$$w = \frac{n_p e E C_c}{3\pi\mu d_p} \quad (3)$$

การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าสามารถเขียนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ดังนี้คือ

$$\frac{dr}{dt} = \frac{n_p e C_c E(r)}{3\pi\mu d_p} \quad (4)$$

$$\frac{dz}{dt} = v(r) \quad (5)$$

เมื่อ  $r$  คือระยะในแนวรัศมี  $z$  คือระยะในแนวแกน และ  $v(r)$  คือความเร็วของของไหล ทำการรวมสมการที่ (4) และ (5) ได้ดังนี้

$$\frac{dr}{dz} = \frac{\frac{dr}{dt}}{\frac{dz}{dt}} = \frac{n_p e E_i(r) C_c}{3\pi\mu d_p v(r)} \quad (6)$$

ทำการหาปริพันธ์สมการที่ (6) จะได้ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าคือ

$$z = \frac{3\pi\mu d_p}{n_p e C_c} \int_{r_1}^r \frac{v(r)}{E(r)} dr \quad (7)$$

ถ้ากำหนดให้สนามไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดภายในสนามไฟฟ้า โดยความเข้มสนามไฟฟ้าแบบเส้นลวดกับแผ่นราบคือ [5]

$$E = \frac{V}{r_o \ln(d/r_o)} \quad (8)$$

เมื่อ  $V$  คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับดิสชาร์จอิเล็กโทรด  $r_o$  คือรัศมีของดิสชาร์จอิเล็กโทรดและ  $d$  คือรัศมีทรงกระบอกสมมูล (Equivalent Cylindrical Radius) ( $d = 4s/\pi$  สำหรับ

$s/c \leq 0.6$ ) และสมมุติให้ความเร็วของการไหลในแนวรัศมี สำหรับการไหลแบบราบเรียบมีค่าเท่ากับศูนย์ ( $v_r = 0$ ) และความเร็วของของไหลในแนวแกนมีค่าเท่ากับ  $v(r) = v_r$  ดังนั้นจะได้ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันรวมคือ

$$z = \frac{3\pi\mu d_p v \ln(r_2/r_1)(r_2^2 - r_1^2)}{2n_p e C_c V} \quad (9)$$

และระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าแบบเส้นลวดกับแผ่นราบคือ

$$z = \frac{3\pi\mu d_p v \ln(d/r_1)(d^2 - d_i^2)}{2n_p e C_c V} \quad (10)$$

ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคยังสามารถคำนวณเชิงทฤษฎีได้จากสมการของ Deutsch คือ [6]–[8]

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{w(d_p)L}{vs}\right) \quad (11)$$

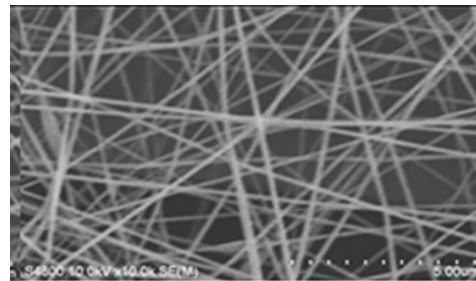
เมื่อ  $L$  คือความยาวของคอลเล็กชันอิเล็กโทรด  $v$  คือความเร็วของของไหล  $s$  คือระยะห่างระหว่างคอลเล็กชันอิเล็กโทรด  $R$  คือระยะรัศมีของตัวเก็บรวบรวมอนุภาค และ  $A$  คือพื้นที่ของตัวเก็บรวบรวมอนุภาค ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคที่มีการกระจายขนาด (Particle Size Distribution) อยู่ในช่วง  $0.01-10 \mu\text{m}$  ด้วยโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB

### 2.3 แผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ด

ในการศึกษานี้ได้ใช้แผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ดในการกรองอนุภาคเข้าและออกจากเครื่องต้นแบบเพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบดียิ่งขึ้น รูปที่ 4 (ก) แผ่นกรองอากาศชนิดสับบอนด์มีลักษณะเป็นแผ่นบางมีความหนาประมาณ  $0.101 \text{ mm}$  และภาพถ่ายจากเทคนิค SEM แสดงถึงลักษณะของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปั่นเส้นใยไฟฟ้าสถิตย์แสดงในรูปที่ 4 (ข)



(ก) รูปถ่ายแผ่นกรอง



(ข) รูปถ่าย SEM ของเส้นใยแผ่นกรอง  
รูปที่ 4 แผ่นกรองอากาศชนิดสับบอนด์

### 2.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

ความต้องการพื้นฐานของชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงคือสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงภายในตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดการโคโรนาดิสชาร์จ ซึ่งการเกิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพราะเป็นกระบวนการที่สร้างไอออน (Ionization) ที่ทำให้อนุภาคได้รับประจุโดยสนามไฟฟ้าภายในตัวตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วดิสชาร์จและลักษณะของรูปทรง (Geometry) ของตัวตกตะกอน ซึ่งสนามไฟฟ้าภายในตัวเก็บรวบรวมอนุภาคจะถูกจำกัดโดยแรงดันเบรกดาวนซ์ของแก๊ส (Gas Breakdown Voltage) ปกติแล้วแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนซ์ของแก๊สที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 1 บาร์ เท่ากับ 3,000 โวลต์



ต่อเซนติเมตร [5] สำหรับในการศึกษาที่ตัวเก็บรวบรวมอนุภาคจะมีลักษณะเป็นแบบเส้นลวดดิสชาร์จกับแผ่นราบตกตะกอน (Discharge Wire-to-collection Plate-field) โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วดิสชาร์จจะต้องเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจะต้องสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนา (Corona Onset Voltage) และจะต้องไม่เกินค่าแรงดันจะสร้างประกายโคโรนา (Spark-over Corona Voltage) สำหรับขั้วของแรงดันสามารถใช้ได้ทั้งบวก (Positive) และลบ (Negative) ปกติแล้วขั้วลบนิยมนำไปใช้งานมากเพราะว่าแรงดันการเกิดโคโรนาที่สูงกว่าจะให้ช่วงของแรงดันทำงานมากกว่าสำหรับการนำไปใช้งานภายในอาคารแล้ว จะนิยมใช้โคโรนาขั้วบวกเพราะขั้วบวกจะสร้างโอโซนต่ำกว่าขั้วลบ ในการศึกษาที่ใช้โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงของบริษัท Spellman รุ่น Bertan โมเดล 602C-100P จำนวน 2 โมดูล ซึ่งสามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ในช่วง 10 kV ที่กระแสไหลสูงสุด 1 mA และมีค่าความพลิวของแรงดัน (Ripple Voltage) ประมาณ 200 mV (Vp-p) โดยสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยสัญญาณอนาล็อกอินพุต 0-5 V

## 2.5 ระบบควบคุมการไหลของอากาศ

จากรูปที่ 1 ระบบการไหลของอากาศภายในเครื่องบำบัดอากาศ จะใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilating Fan) ในการดูดเอาอากาศที่ต้องการบำบัดเข้าไปในเครื่องบำบัดฯ โดยพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการศึกษานี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 195 mm กว้าง 200 mm และยาว 200 mm ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220/240 VAC ความถี่ 50/60 Hz กระแสไฟฟ้า 0.45 A และมีความเร็วรอบประมาณ 2,500 rpm จากความต้องการในการออกแบบต้นแบบในหัวข้อข้างต้น ความเร็วรอบของพัดลมระบายอากาศจำเป็นต้องมีตัวควบคุมความเร็ว (Speed Controller) เพื่อที่จะสามารถควบคุมความเร็วของการไหลอากาศได้ตามต้องการ ในการศึกษานี้จะใช้วงจรหรี่ไฟขนาด 1000 W สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์พัดลม

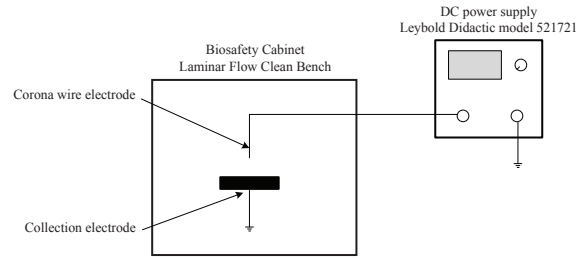


รูปที่ 5 ภาพถ่ายเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต

## 2.6 ต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต

รูปที่ 5 แสดงรูปถ่ายต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิตที่ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ รวมกันเสร็จสมบูรณ์โดยโครงสร้างของต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิตนี้ทำจากโครงสร้างเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว โดยโครงสร้างของต้นแบบมีขนาดมิติ (กว้าง × หนา × สูง) เท่ากับ 660 × 500 × 1600 mm รูปที่ 5 แสดงการแยกส่วนประกอบย่อยต่างๆ เครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต ด้านหน้าของเครื่องต้นแบบจะประกอบด้วยช่องทางออกอากาศสะอาด (Clean Air Outlet) สวิตช์เปิด/ปิดการทำงาน (on/off Switch) ตัวปรับความเร็วอากาศ (Air Speed Controller) และช่องทางเข้าอากาศ (Air Inlet) การติดตั้งตัวเก็บรวบรวมอนุภาคจำนวน 2 ชั้นและพัดลมระบายอากาศจะติดตั้งภายในเครื่องต้นแบบ โดยพัดลม

ระบายนภาจะติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคเพื่อดึงอากาศจากด้านล่างขึ้นข้างบนผ่านเข้าตัวเก็บรวบรวมอนุภาคและผ่านแผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มิการ์ดก่อนปล่อยออกสู่อากาศ โดยตัวเก็บรวบรวมอนุภาคทั้ง 2 ตัวสามารถถอดประกอบเพื่อทำความสะอาดได้ง่าย จะทำการเชื่อมต่อกับตัวถังหมดลงกราวด์ที่โครงสร้างเหล็กเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 6 การทดสอบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus*

### 3. วิธีการทดลอง

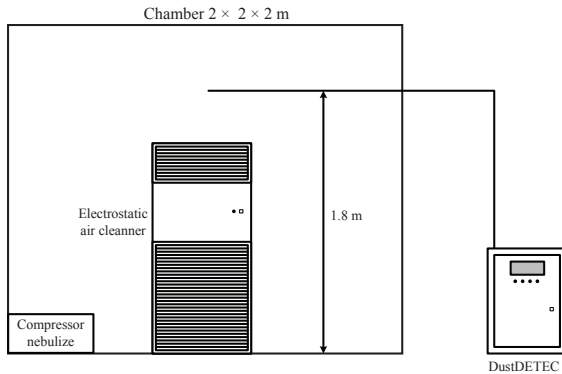
#### 3.1 การศึกษาการฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยสนามไฟฟ้า

ในการศึกษาการฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยสนามไฟฟ้านี้ จะทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* เนื่องจากเป็นแบคทีเรียชนิด Facultative Anaerobic แกรมบวก รูปร่าง เป็นส่วนหนึ่งของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อประจำถิ่นในผิวหนังและโพรงจมูก เป็นแบคทีเรียก่อโรคชนิดหนึ่ง โดยอาการของโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจาก *S. aureus* คือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้องจากสารพิษ อาการมักเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลัน ส่วนมากไม่มีไข้ในรายรุนแรงอาจช็อคได้ รูปที่ 6 แสดงไดอะแกรมการทดสอบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบในตู้ปลอดเชื้อ Biosafety Cabinet หรือ Laminar Flow Clean Bench เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและแพร่กระจายเชื้อสู่ภายนอก อุปกรณ์ในการทดลองจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง อิเล็กโทรดเข็มโครนา และอิเล็กโทรดรวบรวมตั้งแสดงในรูปที่ 6 โดยจะทำการหยดสารละลายเชื้อ *S. aureus* ที่มีความเข้มข้น  $10^8$  CFU/ml ในสารละลาย Alkaline peptone/ Tween 20 ปริมาตร 20 ไมโครมิลลิตร ลงบนผิวอิเล็กโทรดรวบรวม จากนั้นทิ้งไว้ระยะเวลา 5 นาทีเพื่อให้หยดน้ำแห้งเป็นลักษณะฟิล์มเคลือบผิวอย่างทั่วถึงบนอิเล็กโทรดรวบรวม จากนั้นทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับอิเล็กโทรดเข็มโครนาด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบปรับค่าได้ของบริษัท Leybold Didactic โมเดล 521721 ในช่วง 5 และ 10 kV เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที หลังจากนั้นทำการเพาะเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy Agar

(TSA) ในจานเพาะเชื้อด้วยวิธีการ Spread Plate นำไปบ่มที่  $37^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์โดยการเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการวัดค่า OD (Optical Density) A620 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase soy agar (TSA) ปริมาณ 3 mL และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectro-photometer เพื่อวัดค่า OD A620

#### 3.2 การศึกษาเบื้องต้นประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบ

ในการศึกษานี้ได้วางเครื่องต้นแบบฯ ภายในห้องจำลองขนาดมิติ  $2 \times 2 \times 2$  m (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง) รูปที่ 7 แสดงไดอะแกรมการทดสอบเบื้องต้นประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบฯ โดยบริเวณมุมห้องมีการพ่นอนุภาคเกลือด้วยเครื่อง Compressor Nebulizer ของบริษัทอมรอน รุ่น NE-C28 โดยแหล่งจ่ายอนุภาคฯ นี้สามารถจ่ายอนุภาคเกลือได้ในช่วงขนาดน้อยกว่า 0.3 ถึงมากกว่า  $5 \mu\text{m}$  และมีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยมวล (Mass Median Diameter) เท่ากับ  $5 \mu\text{m}$  โดยห้องจำลองนี้จะสร้างจากโครงสร้างท่อ PVC และคลุมด้วยพลาสติกใสเพื่อให้มีการมองเห็นควันอนุภาคได้ง่าย ซึ่งระหว่างที่มีการพ่นอนุภาคตัวอย่างได้มีการตรวจหาและเก็บตัวอย่างละอองลอยที่มีความสูงประมาณ 1.8 m ด้วยระบบเก็บตัวอย่างละอองลอยและเครื่อง DustDETEC [21] ที่อัตราการไหล  $5 \text{ L/min}$  โดยจะการตรวจหาและเก็บตัวอย่างละอองลอยทุก 1 วินาทีเป็นเวลา 60 นาที โดยไม่มีการเปิดเครื่องบำบัดอากาศฯ



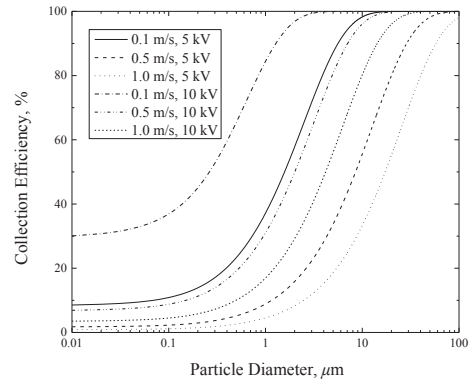
(ก) แผนภาพการทดสอบ



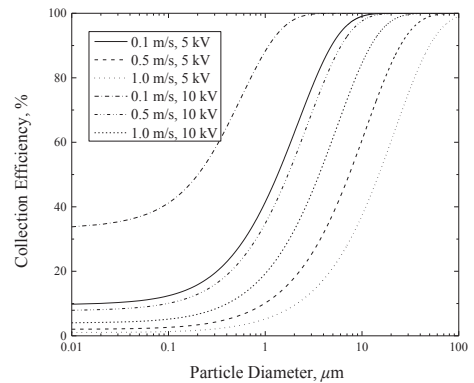
(ข) ภาพถ่ายการทดสอบ

รูปที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบฯ

ต้นแบบ เพื่อตรวจหาและเก็บตัวอย่างละอองลอยขณะที่ ยังไม่มีการบำบัดอากาศ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองใหม่โดยพ่นอนุภาคตัวอย่าง แต่ครั้งนี้จะทำการเปิดเครื่องบำบัดต้นแบบฯ และทำการตรวจหาและเก็บตัวอย่างละอองลอยทุก 1 วินาทีเป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นจะนำข้อมูลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคเชิงมวลและจำนวนที่ได้จากการวัดในขณะที่เครื่องต้นแบบปิดและเปิดหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดหรือการกำจัดอนุภาคของเครื่องต้นแบบเทียบกับเวลาการบำบัด โดยในการศึกษานี้ จะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 การทดลอง



(ก) โครโนบวก



(ข) โครโนบาลบ

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคที่แรงดันไฟฟ้าที่ดิสชาร์จจิลิกโทรดและความเร็วของแก๊สแตกต่างกัน

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

##### 4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาค

ตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมของตัวเก็บรวบรวมอนุภาค รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่แรงดันไฟฟ้าและความเร็วของของไหลแตกต่างกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 0.01–10 μm แรงดันที่ดิสชาร์จจิลิกโทรดอยู่ในช่วง 5 และ 10 kV

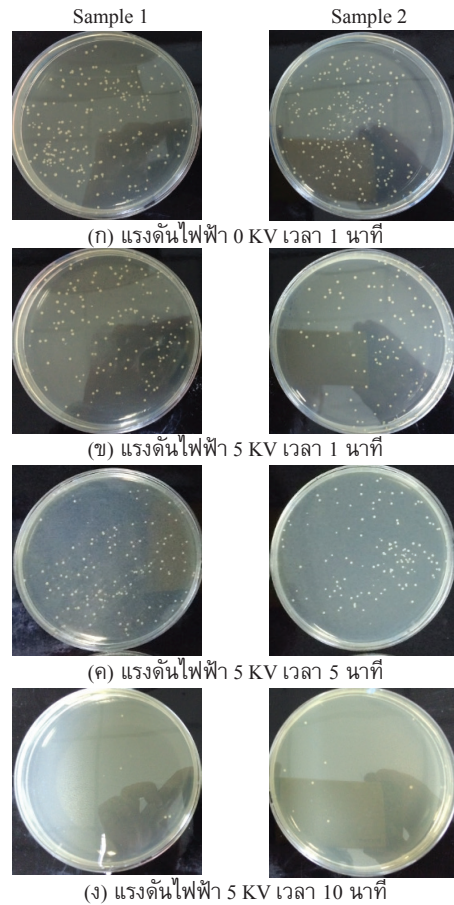
ความเร็วของของไหลอยู่ในช่วง 0.1–1.0 m/s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดิสชาร์จิลึกโทรด 0.5 mm และระยะห่างระหว่างดิสชาร์จิลึกโทรด 25 mm จากรูปจะสามารถสรุปได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นและความเร็วของแก๊สต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคสูง และเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดิสชาร์จิลึกโทรดให้โตขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคสูงขึ้นตาม โดยโคโรนาลจะช่วยให้ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคสูงกว่าโคโรนาบวกเฉลี่ยประมาณ 1.066% เนื่องจากไอออนลบมีค่าความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้าสูงกว่าไอออนบวกดังแสดงไว้ในรูปที่ 8

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาค

ตัวแปร	ช่วงการคำนวณ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดิสชาร์จิลึกโทรด ( $2r_0$ )	0.5 mm
ระยะห่างระหว่างดิสชาร์จิลึกโทรด ( $2c$ )	25 mm
ระยะห่างระหว่างดิสชาร์จิลึกโทรดกับคอลเลกชันอิเล็กโทรด ( $s$ )	25 mm
ความยาวของเครื่องตกตะกอน ( $L$ )	295 mm
ความสูงของคอลเลกชันอิเล็กโทรด ( $h$ )	295 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค ( $d_p$ )	10 nm–10 $\mu$ m
แรงดันที่ดิสชาร์จิลึกโทรด ( $V$ )	5 และ 10 kV
อุณหภูมิแก๊ส ( $T$ )	25°C
ความดันแก๊ส ( $P$ )	1 bar
ความเร็วของแก๊ส ( $v$ )	0.1, 0.5 และ 1 m/s

#### 4.2 การฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยสนามไฟฟ้า

ตารางที่ 3 แสดงการลดลงของเชื้อ *S. aureus* ที่แรงดันไฟฟ้า 5 kV ระยะเวลา 1, 5 และ 10 นาที ตามลำดับในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของการทดลอง ซึ่งจากตารางพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นมีผลทำให้เชื้อ *S. aureus* ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้เชื้อ *S. aureus* เริ่มต้นเท่ากับ  $3.9 \times 10^7$  CFU/ml และ  $3.7 \times 10^7$  CFU/ml สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้น



รูปที่ 9 รูปถ่ายเชื้อ *S. aureus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy Aga

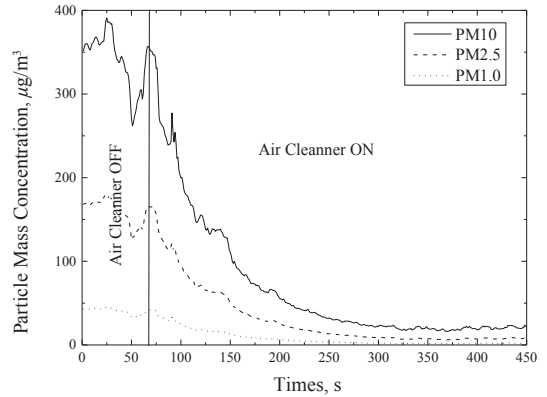
เป็น 5 kV เป็นเวลา 1 นาที พบว่าเชื้อ *S. aureus* ลดลงเหลือ  $3.0 \times 10^7$  CFU/ml และ  $3.2 \times 10^7$  CFU/ml สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 5 นาที พบว่าเชื้อ *S. aureus* ลดลงเหลือ  $2.8 \times 10^7$  CFU/ml และ  $2.6 \times 10^7$  CFU/ml สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และที่เวลา 10 นาที พบว่าเชื้อ *S. aureus* ลดลงเหลือ  $4.0 \times 10^5$  CFU/ml และ  $6.0 \times 10^5$  CFU/ml สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รูปที่ 9 แสดงรูปถ่ายเชื้อ *S. aureus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy Aga จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจะอยู่ในช่วง 18.75–98.69% ที่ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในช่วง 1–10 นาที

**ตารางที่ 3** การลดลงของเชื้อ *S. aureus* ที่แรงดันไฟฟ้า 5 kV ระยะเวลา 1, 5 และ 10 นาที

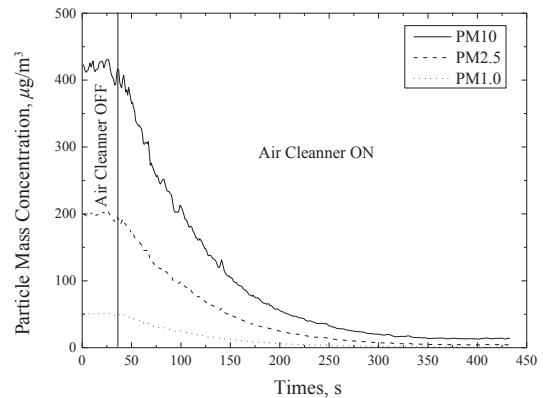
No.	Testing Conditions		Numbers of Colony Counts		% Bacterial Reduction
	Voltage (kV)	Contact Time (min)	Sample 1	Sample 2	
1	0	1	$3.9 \times 10^7$	$3.7 \times 10^7$	0%
2	5	1	$3.0 \times 10^7$	$3.2 \times 10^7$	18.75±2.9%
3	5	5	$2.8 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$	29.8±3.4%
4	5	10	$4.0 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	98.69±0.4%

**4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบ**

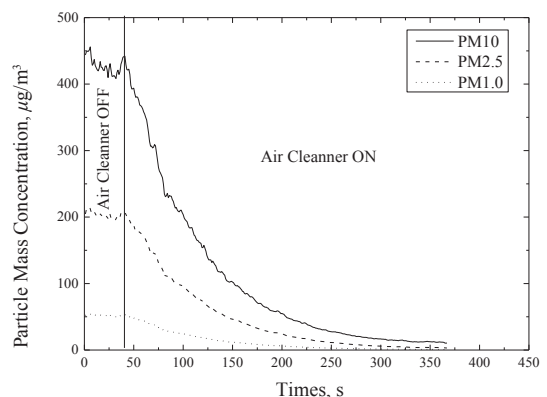
รูปที่ 10 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคฝุ่นควันภายในห้องจำลองและรูปที่ 10 แสดงการลดลงของปริมาณอนุภาคภายในห้องทดสอบ  $2 \times 2 \times 2$  m ในช่วงเวลา 0–450 วินาที จำนวน 3 ตัวอย่าง จากรูปแสดงให้เห็นว่าปริมาณอนุภาคภายในห้องทดสอบลดลงเมื่อเปิดเครื่องบำบัดเป็นเวลาประมาณ 400 วินาที หรือ 6.6 นาที โดยค่าประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบในแต่ละตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 4 ซึ่งค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคจะหาได้จากสัดส่วนระหว่างมวลของอนุภาคตัวอย่างในขณะปิดและเปิดเครื่องบำบัดอากาศ ที่เวลาต่างๆ จากรูปพบว่าค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องบำบัดอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ 1 ปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดปิดเฉลี่ย  $360.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดเปิดเฉลี่ย  $17.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จะได้ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเฉลี่ย 95.14% ตัวอย่างที่ 2 ปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดปิดเฉลี่ย  $421.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดเปิดเฉลี่ย  $13.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จะได้ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเฉลี่ย 96.72% ตัวอย่างที่ 3 ปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดปิดเฉลี่ย  $431.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และปริมาณอนุภาคขณะเครื่องบำบัดเปิดเฉลี่ย  $11.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จะได้ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศเฉลี่ย 97.34% โดยจะได้ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย ทั้ง 3 ตัวอย่างประมาณ 96.4 ที่เวลาประมาณ 400 วินาที



(ก) ตัวอย่างที่ 1

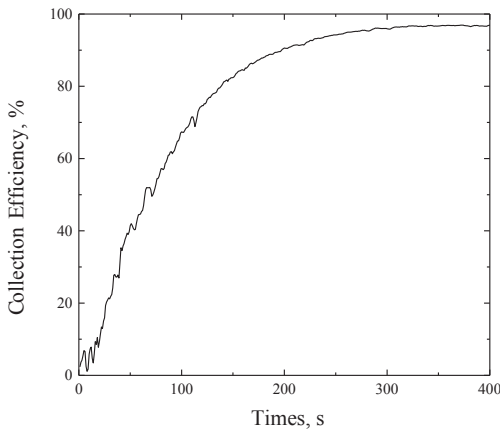


(ข) ตัวอย่างที่ 2

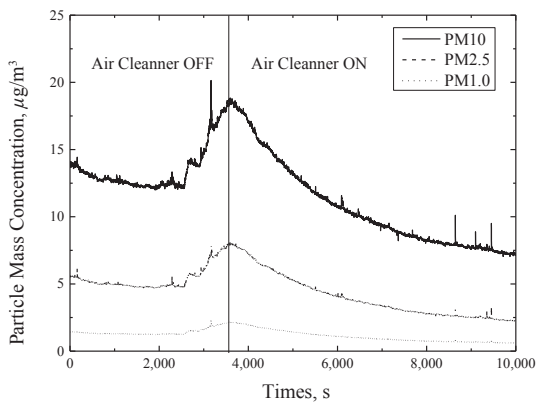


(ค) ตัวอย่างที่ 3

**รูปที่ 10** การลดลงของปริมาณอนุภาคภายในห้องทดสอบ  $2 \times 2 \times 2$  m



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบในห้องทดสอบ  $2 \times 2 \times 2$  m



รูปที่ 12 ตัวอย่างผลการทดสอบภาคสนามกับห้องสำนักงานขนาด 200 ตารางเมตร

หรือ 6.6 นาทีที่แสดงไว้ในรูปที่ 11 นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังได้ทำการทดสอบภาคสนามเครื่องต้นแบบภายในห้องสำนักงานขนาด 200 ตารางเมตร รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบภาคสนามกับห้องสำนักงานขนาด 200 ตารางเมตร ในช่วงเป็นประมาณ 165 นาทีจากรูปแสดงให้ความแตกต่างระหว่างการปิดและเปิดเครื่องบำบัดอากาศซึ่งเมื่อเปิดเครื่องบำบัดอากาศจะเห็นค่าปริมาณฝุ่น PM10, 2.5 และ 1 มีการลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งหมายความว่าเครื่องบำบัดอากาศสามารถลดความเข้มข้นของอนุภาคควันภายในห้องจำลองลงได้

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบในห้องทดสอบ  $2 \times 2 \times 2$  m

Sample	Air Cleaner OFF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Air Cleaner ON ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Collection Efficiency (%)
1	360.01	17.70	95.14
2	421.71	13.80	96.72
3	431.42	11.47	97.34

## 5. สรุป

ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงและการทดสอบภาคสนามเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต โดยต้นแบบประกอบด้วยตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต แผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ด แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง และระบบควบคุมการไหลของอากาศที่มีขนาดมิติเท่ากับ  $660 \times 500 \times 1600$  mm การทำงานของเครื่องต้นแบบทำงานโดยใช้พัดลมระบายอากาศจะติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคเพื่อดึงอากาศจากด้านล่างขึ้นข้างบนผ่านเข้าตัวเก็บรวบรวมอนุภาคและผ่านแผ่นกรองอากาศเทคโนโลยีเจอร์มการ์ดก่อนปล่อยออกสู่อาคาร โดยตัวเก็บรวบรวมอนุภาคสามารถถอดประกอบเพื่อทำความสะอาดได้ง่าย ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยสนามไฟฟ้านี้จะทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* ที่มีความเข้มข้น  $10^8$  CFU/ml พบว่าประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจะอยู่ในช่วง 18.75–98.69% ที่ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในช่วง 1–10 นาที และแผ่นกรองที่พ่นเส้นใยผสมสารสกัดมังคุดมีประสิทธิภาพในการนฆ่าเชื้อโรคได้มากกว่า 90% และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดอากาศของเครื่องต้นแบบภายในห้องจำลองขนาดมิติ  $2 \times 2 \times 2$  m ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าเครื่องบำบัดอากาศ ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะให้ประสิทธิภาพในตกตะกอนหรือการกำจัดฝุ่นละอองได้สูงถึง 96.4% ที่แรงดันที่ดิสชาร์จอิเล็กโทรด 10 kV อุณหภูมิแก๊ส  $25^\circ\text{C}$  ความดันแก๊ส 1 bar ความเร็วของแก๊ส 0.1 m/s และเวลาในการบำบัดอากาศ 6.6 นาที



## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาท้องถิ่นของ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เครือข่ายภาคเหนือ ประจำปีงบประมาณ 2556 และโครงการส่งเสริมการผลิตงานวิจัยมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (รหัสโครงการ HRL-026) ขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในงาน ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Intra, *Electrostatic Aerosol Measurement and Control Technology*. Chula Press, 2013, in press (in Thai).
- [2] P. Intra, *Electrostatic System for Clean Air*. NSTDA Northern Network, Chiang Mai, 2010 (in Thai).
- [3] W. C. Hinds, *Aerosol Technology*. New York, USA: John Wiley & Sons, 1999.
- [4] USEPA, PM 2.5 general information, 1998.
- [5] K. R. Parker, *Applied Electrostatic Precipitation*. New York: Blackie Academic & Professional, 1997.
- [6] J. Chang, A. J. Kelly, and J. M. Crowley, *Handbook of Electrostatic Processes*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc., 1995.
- [7] H. J. White, *Industrial Electrostatic Precipitation*. Reading Massachusetts: Addison-Wesley, 1963.
- [8] P. Haslerm and T.H. Nussbaumer, "Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification," *Biomass & Bioenergy*, vol. 16, pp. 385–395, 1999.
- [9] A. Jaworek, A. Krupa, and T. Czech, "Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning A brief review," *Journal of Electrostatics*, vol. 65, pp. 133–155, 2006.
- [10] S. H. Kim and K. W. Lee, "Experimental study of electrostatic precipitator performance and comparison with existing theoretical prediction," *Journal of Electrostatics*, vol. 48, pp. 3–25, 1999.
- [11] A. Mizuno, "Electrostatic precipitation," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 7, no. 5, pp. 615–624, 2000.
- [12] S. W. Nóbrega, S. Arnosti Jr, and J. R. Coury, "Evaluation of the performance of a wire-plate electrostatic precipitator," *Journal of Electrostatics*, vol. 55, pp. 3–25, 2001.
- [13] J. Podlinska, J. Dekowska, J. Mizeraczyka, D. Brociclob, and J.-S. Chang, "Electrohydrodynamic gas flow in a positive polarity wire-plate electrostatic precipitator and the related dust particle collection efficiency," *Journal of Electrostatics*, vol. 64, pp. 259–262, 2006.
- [14] P. Saiyasitpanic, T. Keener, S. Khang, and M. Lu, "Removal of diesel particulate matter (DPM) in a tubular wet electrostatic precipitator," *Journal of Electrostatics*, vol. 90, pp. 1–7, 2007.
- [15] H. J. Schmid, "On the modelling of the particle dynamics in electro-hydrodynamic flow fields: II. influences of inhomogeneities on electrostatic precipitation," *Powder Technology*, vol. 135–136, pp. 136–149, 2003.
- [16] G. Skodras and D. Sofialidis, "Particulate removal via electrostatic precipitators-CFD simulation," *Fuel Processing Technology*, vol. 87, pp. 623–631, 2007.
- [17] P. Intra, P. Limueadphai, and N. Tippayawong, "Particulate emission reduction from biomass



- Burning in small combustion systems with a multiple tubular electrostatic precipitator,” *Particulate Science and Technology*, vol. 28, pp. 547–565, 2010.
- [18] N. Tippayawong and J. Kunanoppadon, “Application of electrostatic technique to diesel particulate aftertreatment,” in *PSU-UNS International Conference “Energy and the Environment”* Hat-Yai, Songkhla, 11–12 December, 2003 (in Thai).
- [19] P. Intra, A. Yawootti, V. Asanavijit, and U. Vinitketkumnuen, “Development of an indoor air cleaner for a non toxic room by electrostatic technique,” *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 35, no. 3, pp. 361–382, 2012 (in Thai).
- [20] P. Supaphol, S. Suksamrarh, S. Rengpipat, P. Hongmanee, and P. Ekabutr, “Innovation of high efficiency air nano filter for air conditioner and air purifier containing mangosteen extracts for antituberculosis and infection of respiratory system,” Final Report for National Research Council of Thailand (NRCT), 2012.
- [21] P. Intra, A. Yawootti, and N. Tippayawong, “An electrostatic sensor for continuous monitoring of particulate air pollution,” *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 30, no. 12, pp. 2205–2212, 2013.