

การสร้างเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการกรองอากาศและความต่างแรงดัน
ของแผ่นกรองอากาศเส้นใยโพลีโพรพิลีนแบบไม่ถักทอ
Construction of an instrument to measure air filtration efficiency and
pressure drop of non-woven polypropylene fiber air filters

สุธีพร คิตกลาง (Suteeporn Kidtang)* ดร.วิรัตน์ เจริญบุญ (Dr.Wirat Jarernboon)**

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของการกรองอากาศและวัดค่าความต่างแรงดันอากาศระหว่างแผ่นกรองอากาศที่ทำจากเส้นใยโพลีโพรพิลีนแบบไม่ถักทอซึ่งเตรียมได้จากเครื่องเมลต์โบลวน์ แผ่นกรองอากาศที่ใช้ทดสอบเตรียมโดยใช้เวลาการพ่นเส้นใยแตกต่างกันเป็น 5 10 และ 15 นาที ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศพบว่ามีค่าเป็น $84.12 \pm 7.13\%$ $94.23 \pm 1.33\%$ และ $91.61 \pm 6.15\%$ ตามลำดับ การทดสอบค่าความแตกต่างแรงดันอากาศของแผ่นกรองโพลีโพรพิลีน (PP) แบบไม่ถักทอพบว่าค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการพ่นเส้นใยโดยมีค่าเป็น 3.24 ± 2.07 8.70 ± 3.12 และ 18.39 ± 5.36 mmH₂O ตามลำดับ ประสิทธิภาพของการกรองอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นใยและช่องว่างระหว่างเส้นใย ส่วนค่าความต่างความดันจะขึ้นกับความหนาแน่นของเส้นใย เส้นใยที่มีความหนาแน่นมากอากาศจะผ่านได้ยากกว่าเส้นใยที่มีความหนาแน่นน้อย

ABSTRACT

In this study, an air filtration efficiency tester was built and the air pressure difference (ΔP) was measured between air filters made of non-woven polypropylene (PP) fibers prepared from a melt blow machine. The air filters used for the test were prepared using different fiber spraying times of 5, 10, and 15 minutes. The results of the air filtration efficiency test were $84.12 \pm 7.13\%$, $94.23 \pm 1.33\%$, and $91.61 \pm 6.15\%$, respectively. The air pressure difference test of the non-woven polypropylene filter samples with difference spraying time, i.e. 5, 10, and 15 minutes, are found to be 3.24 ± 2.07 , 8.70 ± 3.12 , and 18.39 ± 5.36 mmH₂O, respectively. The efficiency of air filtration depends on the fiber size and the gap between the fibers, while the pressure difference depends on the fiber density. The denser fibers, is the higher blockage of the air flow.

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการกรองอากาศ เส้นใยโพลีโพรพิลีน ความต่างแรงดันอากาศของแผ่นกรอง

Keywords: Filtration efficiency, Polypropylene, Pressure drop of air filter

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

แผ่นนอนวูฟเวนเกิดจากการหลอมเหลว PP แล้วปั่นออกเป็นเส้นใยไปประสานกันที่ระบบเก็บเส้นใยแบบสุ่มจนเป็นแผ่นคล้ายกระดาษ ซึ่งสร้างขึ้นจากเครื่องผลิตโบลวนต์ด้วยลักษณะของการประสานกันแบบสุ่มนี้ทำให้แผ่นนอนวูฟเวนมีคุณสมบัติที่กันฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ดี (Haifeng et al., 2018) จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นแผ่นกรองสำหรับทำหน้ากากอนามัย ซึ่งการหาแผ่นนอนวูฟเวนที่มีความสม่ำเสมอและหนาแน่นสูงจำเป็นต้องทดลองปรับตัวแปรควบคุมของเครื่องผลิตโบลวนต์เพื่อให้ได้แผ่นนอนวูฟเวนที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่มอก. 2424-2562 กำหนดไว้ กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกรองต้องมากกว่า 95% ขึ้นไป ค่าความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 mmH₂O (พานิช, 2564) ฉะนั้นในการทดลองปั่นแผ่นเส้นใยต้องทดสอบหลายเงื่อนไข อย่างไรก็ตามการตรวจสอบที่สถาบันตรวจสอบที่มีเครื่องมือมาตรฐานนั้นมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงมากต่อ 1 ตัวอย่าง หากมีเครื่องมือที่สามารถช่วยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งขึ้นตัวอย่างไปทดสอบกับเครื่องมือมาตรฐานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการลดค่าใช้จ่ายลง การสร้างเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการกรองและความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองที่สร้างขึ้นตามวิธีการทดสอบมาตรฐานของ มอก. 2424-2562 ที่ความสามารถกรองอนุภาคฝุ่นละอองและความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกหน้ากาก (พานิช, 2564) จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งยังจะช่วยตรวจสอบประสิทธิภาพแผ่นกรองก่อนการใช้งานเบื้องต้นได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

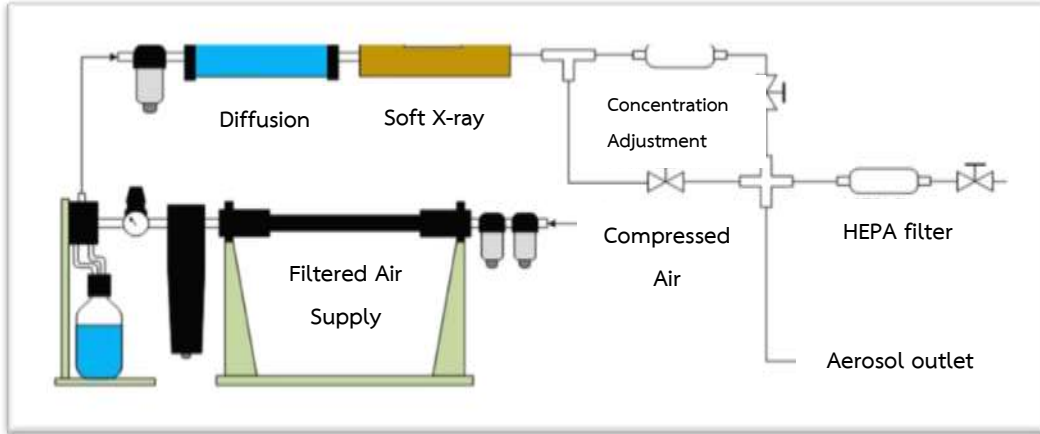
งานวิจัยนี้ต้องการที่จะสร้างเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการกรองและความต่างของแรงดันภายในและภายนอกแผ่นกรองเพื่อใช้คัดเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมแก่การส่งตรวจสอบด้วยเครื่องมือมาตรฐาน และใช้สำหรับตรวจสอบแผ่นกรองก่อนการใช้งานในชีวิตประจำวัน

วิธีการวิจัย

หลักการที่ใช้สำหรับการออกแบบเครื่องมือ

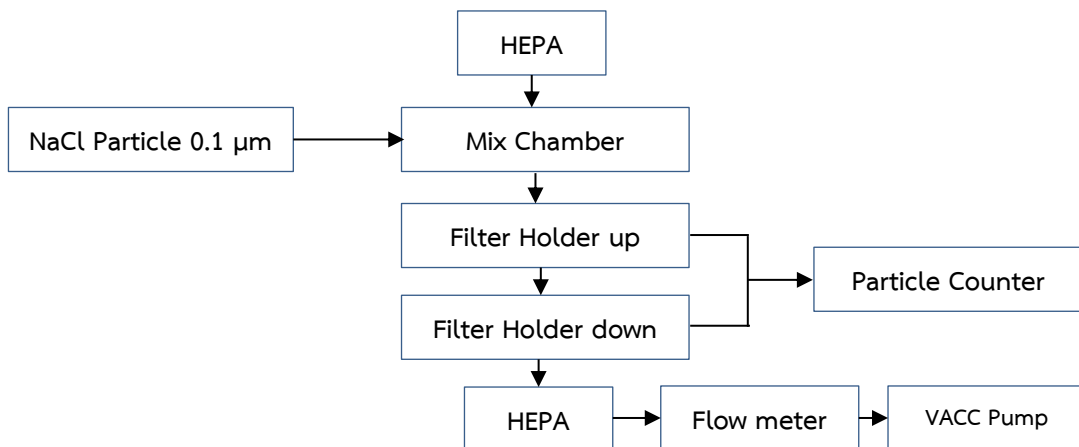
การออกแบบเครื่องมือจะออกแบบจากวิธีการทดสอบและลักษณะของเครื่องมือตามมาตรฐาน มอก. 2424-2562 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ การวัดประสิทธิภาพการกรองจะสร้างอนุภาคขนาดเล็ก 0.1 μm จากเครื่องผลิตอนุภาคละอองลอย (Atomizer Aerosol Generator) จากนั้นปล่อยอนุภาคผ่านแผ่นกรอง อนุภาคที่สามารถทะลุผ่านไปได้จะถูกตรวจจับด้วยเครื่องตรวจจับอนุภาค (Particle Counter) แล้วนำผลมาคำนวณประสิทธิภาพของการกรองโดยพิจารณาจากค่าร้อยละของอนุภาคเข้าและออกซึ่งตัวสร้างละอองลอยจะประกอบไปด้วยตัวสร้างละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (Aerosol Atomizer) จากบริษัท TSI โมเดล 3076 แหล่งจ่ายอากาศ (Filtered air supply) จากบริษัท TSI โมเดล 3074B เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ตัวไล่ความชื้นแบบแพร่ (Diffusion Dryer) จากบริษัท TSI โมเดล 3062 และตัวทำละอองลอยเป็นกลาง (Aerosol Neutralizer) จากบริษัท TSI โมเดล 3088 ซึ่งมีหลักการทำงานดังรูปที่ 1 จากรูปใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ถูกทดสอบเทียบขนาดและความเข้มข้นเรียบร้อยแล้วเคลื่อนที่ผ่านเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Electrostatic Classifier) โดยใช้หลักการกระจายขนาดของอนุภาคเชิงจำนวน (number-weighted size distribution) ด้วยหลักการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrical mobility) ร่วมกับเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น (Condensation Particle Counter หรือ CPC) ใช้สำหรับนับจำนวนอนุภาคใส่เข้าไปในเครื่องสร้างละอองลอย เมื่อได้ค่าตามมาตรฐานแล้ว สารละลายโซเดียมคลอไรด์ถูกใส่เข้าไปในตัวสร้างละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ อากาศที่ถูกอัดมาจาก Air Compressor ผ่านตัวกรองอากาศเพื่อสกัดกันฝุ่นจากภายนอกเมื่ออากาศผ่านตัวกรองเข้ามาจะเสออากาศจะนำละอองอนุภาคของเกลือไปยัง Diffusion Dryer เพื่อดึงความชื้นออกจากอนุภาคจะเสออากาศจะส่งอนุภาคต่อไปยัง Soft

X-ray Aerosol Neutralizer เพื่อทำให้อนุภาคเป็นกลางทางไฟฟ้าและผ่านแผ่นกรองเพื่อกรองอนุภาคที่ไม่ต้องการออกสุดท้ายจะได้อนุภาคพร้อมที่จะใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2 (พานิช, 2564)



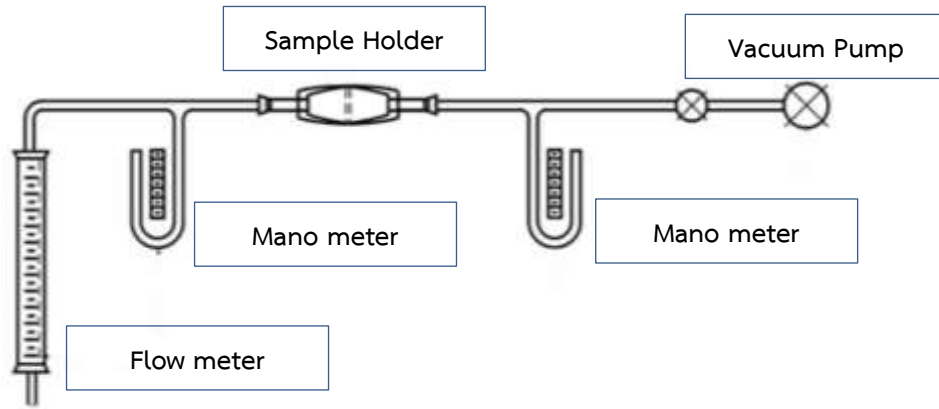
รูปที่ 1 กระบวนการสร้างอนุภาคสำหรับใช้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองของแผ่นกรอง (พานิช, 2564)

อนุภาคสามารถเคลื่อนที่ด้วยกระแสลมโดยมีกระบวนการทำงานดังนี้ อนุภาคจะถูกส่งต่อเข้ามายัง Mix Chamber แล้วถูกดูดเข้ามาด้วยอัตราการไหลของอากาศ 8 L/min เมื่ออนุภาคถูกดูดผ่านแผ่นกรองจะถูกวัดจำนวนอนุภาคขาเข้าและออกจากเครื่องนับอนุภาค (Particle Counter) ซึ่งจะนับจำนวนอนุภาคที่มีขนาด 0.1 μm ตามมาตรฐาน ค่าการนับจำนวนอนุภาคขาเข้าและออกแผ่นกรองถูกนำมาคิดเป็นค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศ ในรูปที่ 2 แสดงแผนผังการทดลองวัดค่าประสิทธิภาพการกรองของแผ่นกรองอากาศ (พานิช, 2564)



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศ (พานิช, 2564)

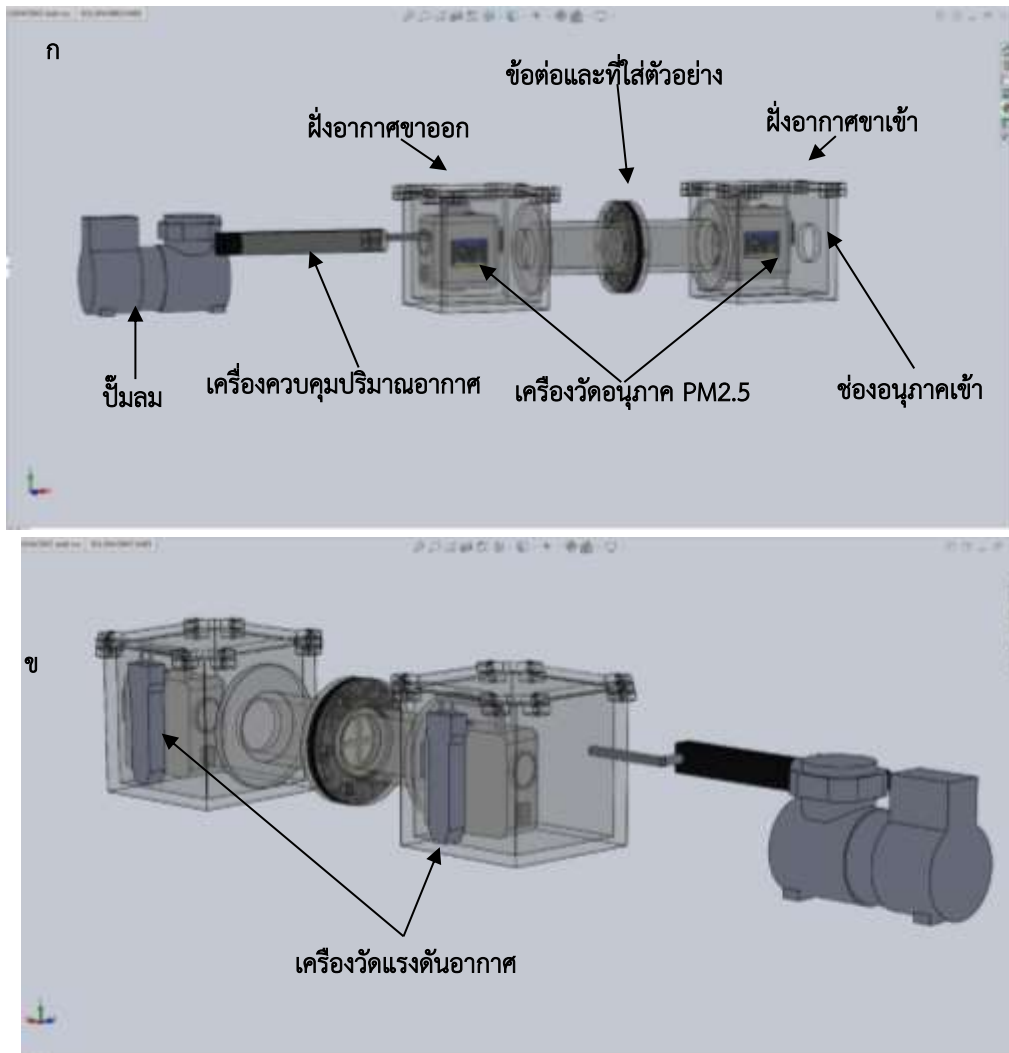
การทดสอบความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองตามมาตรฐาน มอก. 2424-2562 นั้น จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ $5 \text{ mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$ ซึ่งมีกระบวนการทดสอบดังรูปที่ 3 จากรูปแสดงส่วนประกอบและ หลักการทำงานของระบบทดสอบความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอก โดยปั๊มลมระบบสุญญากาศจะทำการดูดอากาศเข้ามาในระบบโดยวาวหรีจะเป็นอุปกรณ์ในการปรับปริมาณการไหลของอากาศตามมาตรฐานในการทดสอบ โดยจะกำหนดไว้ที่ $8 \text{ L}/\text{min}$ และมีขนาดพื้นที่สำหรับการใส่ตัวอย่างประมาณ 4.9 cm^2 แล้วทำการอ่านค่าและบันทึกที่ได้ จาก manometer (พานิช, 2564)



รูปที่ 3 กระบวนการทดสอบความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองอากาศ (พานิช, 2564)

การออกแบบเครื่องมือ

ในการออกแบบเครื่องมือจะอิงตามหลักมาตรฐาน มอก2424-2562 โดยเริ่มจากการเขียนแบบในโปรแกรม solid work ออกแบบเครื่องมือแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4ก โดยประกอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมขนาด $17 \times 17 \text{ cm}^2$ มีขนาดความหนา 10 mm เชื่อมติดกับทรงกระบอกที่มีความหนา 6 mm ยาว 28 cm ที่ส่วนปลายของกระบอกเชื่อมติดกับฐานยึดแผ่นรูปวงกลมที่มีรูสำหรับยึดสกรูร้อยประกบกันสองฝั่งระหว่างฝั่งอากาศเข้าและออก ตำแหน่งระหว่างข้อต่อจะมีแผ่นรองสำหรับป้องกันการรั่วไหลของอากาศซึ่งแผ่นนี้สามารถถอดเปลี่ยนได้สองขนาดคือขนาดสำหรับใส่ตัวอย่างทดสอบประสิทธิภาพการกรองขนาด 17.80 cm^2 และทดสอบความต่างของแรงดันซึ่งมีขนาด 4.90 cm^2 ทั้งสองฝั่งของเครื่องจะถูกติดตั้งด้วยเครื่องวัดอนุภาค PM 2.5 อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมและส่วนของอุปกรณ์วัดแรงดันอากาศจะถูกติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังของเครื่อง ดังรูปที่ 4ข ที่ฝั่งอากาศออกจะเชื่อมติดกับท่อลมซึ่งท่อลมจะเชื่อมต่อเข้ากับ Flow meter ใช้สำหรับปรับปริมาตรของอากาศไหลเข้ามาในเครื่องตามค่ามาตรฐานโดยปั๊มลมจะเป็นอุปกรณ์ที่ดูดอากาศเข้าระบบ

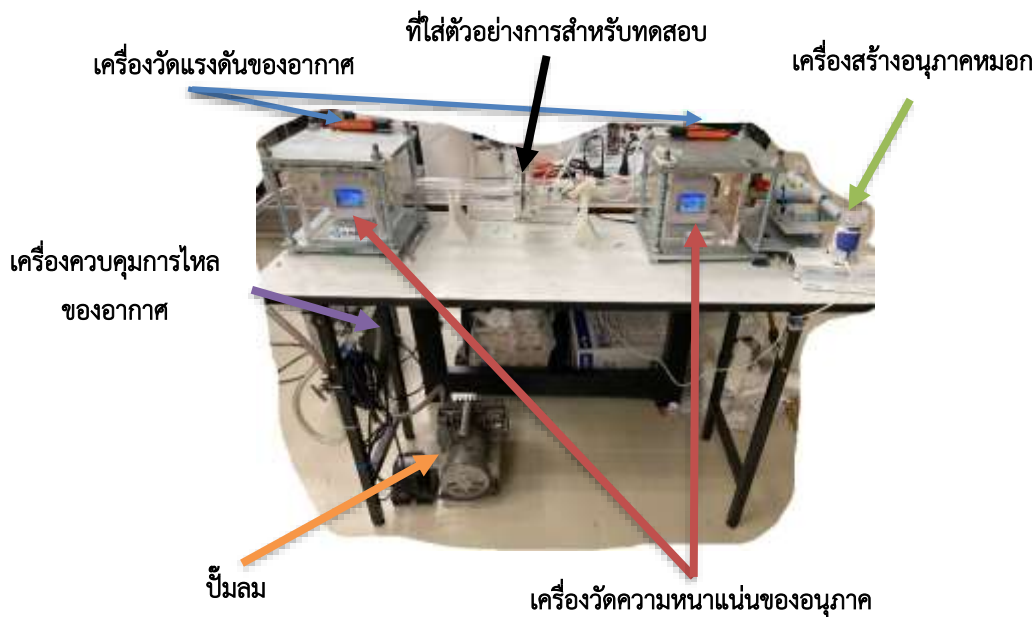


รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องวัดประสิทธิภาพการกรองและแรงดันระหว่างภายในและนอกแผ่นกรอง รูป 4ก) แสดงรูปด้านหน้าของตัวเครื่อง 4ข).แสดงรูปด้านหลังของตัวเครื่อง

หลักการการทำงานของเครื่องมือ

จากรูปที่ 5 แสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการกรองอากาศและวัดค่าความแตกต่างแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองที่สร้างเสร็จแล้ว ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่นของบริษัท NanoGen (Dust Sensor) เครื่องวัดแรงดันอากาศของบริษัท Testo รุ่น 510i (Differential Pressure) เครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Flow Meter) และปั๊มลม (Air Pump) ตัวเครื่องใช้แผ่นอะคริลิกใสที่มีความหนา 10 mm สำหรับรองรับแรงดูดจากปั๊มลมและความแข็งแรงของตัวเครื่อง เครื่องจะสามารถวัดได้ทั้งประสิทธิภาพการกรองของอากาศและวัดความต่างของแรงดันภายในและภายนอกแผ่นกรองซึ่งการทดสอบทั้งสองต่างกันตรงที่การกำหนดอัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ใส่ตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่ตามมาตราฐาน มอก2424-2562 (พานิช, 2564) กระบวนการวัดประสิทธิภาพการกรองอากาศแสดงลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ เปิดปั๊มลมเพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศด้วย Flow meter ตามค่าที่ได้ตั้งไว้ จากนั้นละอองที่ถูกสร้างขึ้นจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1M ด้วยเครื่องพ่นละอองหมอกจะ

ถูกพัดพาด้วยกระแสอากาศเข้าสู่ระบบผ่านแผ่นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ (พานิช, 2564) อนุภาคที่เข้ามาจะถูกวัดความหนาแน่นของอนุภาคด้วยเครื่องวัดความหนาแน่นของอนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 μm และกระแสอากาศจะนำพาอนุภาคผ่านแผ่นกรองที่ถูกติดตั้งอยู่ระหว่างข้อต่อของฝั่งลมเข้าและออก อนุภาคที่หลุดออกมาจากแผ่นกรองเข้ามายังฝั่งขาออกและจะถูกนับวัดความหนาแน่นของอนุภาคอีกครั้งก่อนจะถูกดูดออกจากระบบด้วยปั๊มลม ความหนาแน่นอนุภาคที่เข้าและออกจะถูกนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการกรองอากาศ ในกระบวนการการวัดแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรอง เริ่มจากการเปลี่ยนแผ่นกรองสำหรับใช้ทดสอบแรงดันระหว่างแผ่นกรองแล้วปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีความเร็วอากาศ 10.60 cm/s ซึ่งจะเกิดความแตกต่างของแรงดันขึ้นระหว่าง 2 ฝั่งที่มีแผ่นตัวอย่างกันอยู่แล้วอ่านค่าความต่างของแรงดันที่ได้จากเครื่องวัดแรงดันอากาศขาเข้าและขาออกแล้วนำมาคำนวณเป็นค่าแรงดันต่อพื้นที่ (พานิช, 2564)



รูปที่ 5 เครื่องวัดประสิทธิภาพการกรองอากาศและความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรอง

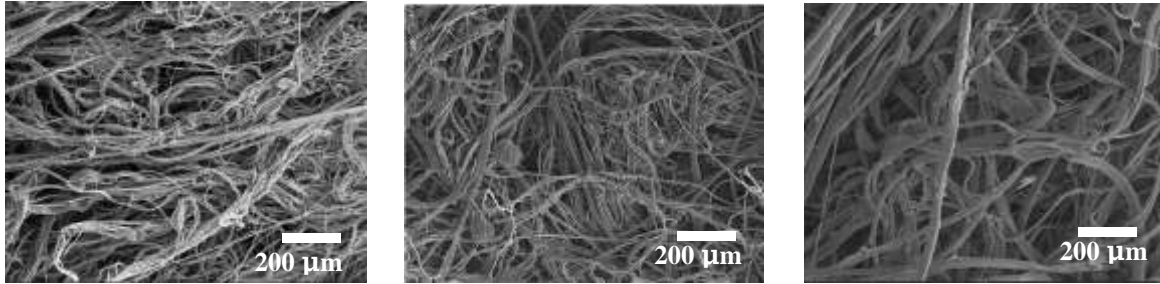
แผ่นนอนวูฟเวน

แผ่นนอนวูฟเวนถูกเตรียมขึ้นด้วยการหลอมเหลวเม็ด PP ที่อุณหภูมิหัวพ่น 190°C แล้วดึงเป็นเส้นออกด้วยแรงลมที่มีอุณหภูมิ 250°C ใช้เวลาในการปั่นที่ 5 10 และ 15 นาที ตามลำดับ เส้นใยที่ถูกปั่นจะประสานทับกันไปมา แบบสุ่มที่ระบบเก็บแผ่นเส้นใยจนกลายเป็นแผ่น ซึ่งความหนาแน่นของเส้นใย ขนาดเส้นใยและช่องว่างระหว่างเส้นใยแตกต่างกัน จะทำให้ค่าความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกของตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมานี้มีค่าแตกต่างกันไปด้วย รูปที่ 6 แสดงภาพ SEM ของเส้นใย PP ที่ถูกเตรียมในเวลาการปั่นเส้นใยที่ต่างกันเป็น 5 10 และ 15 นาทีตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาในการปั่น 5 นาทีเส้นใยขนาดเล็กเรียงตัวชิดติดกันสม่ำเสมอเวลาในการปั่นเส้นใยสูงขึ้นไปจะเริ่มเห็นว่าแผ่นเส้นใยมีความลึกลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งแสดงถึงความหนาที่มากขึ้นเมื่อเปลี่ยนระยะเวลาในการปั่นเส้นใยมากขึ้น (Kansal, 2016; Hassan, 2013; Ullah, 2020)

เวลาในการปั่นเส้นใย 5 นาที

เวลาในการปั่นเส้นใย 10 นาที

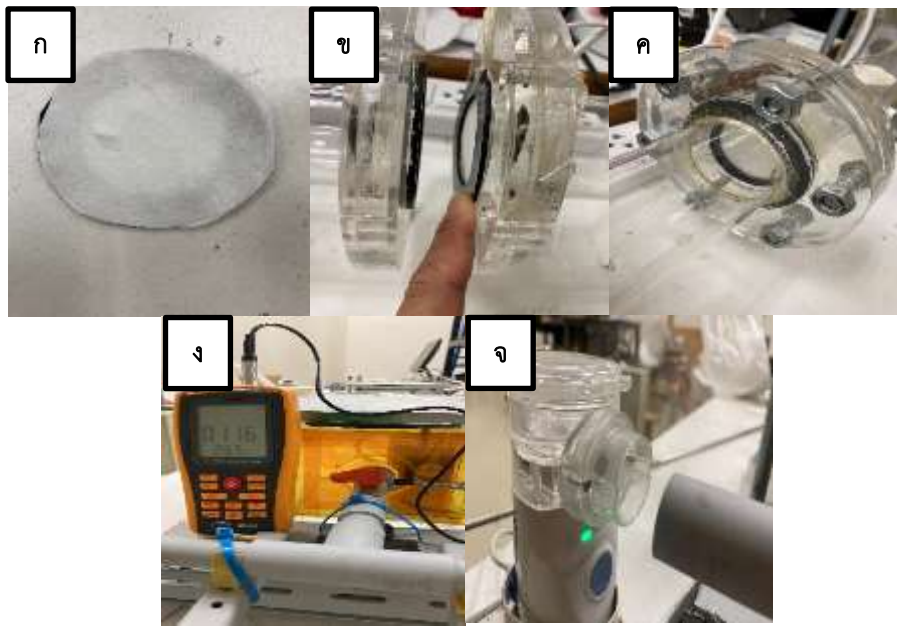
เวลาในการปั่นเส้นใย 15 นาที



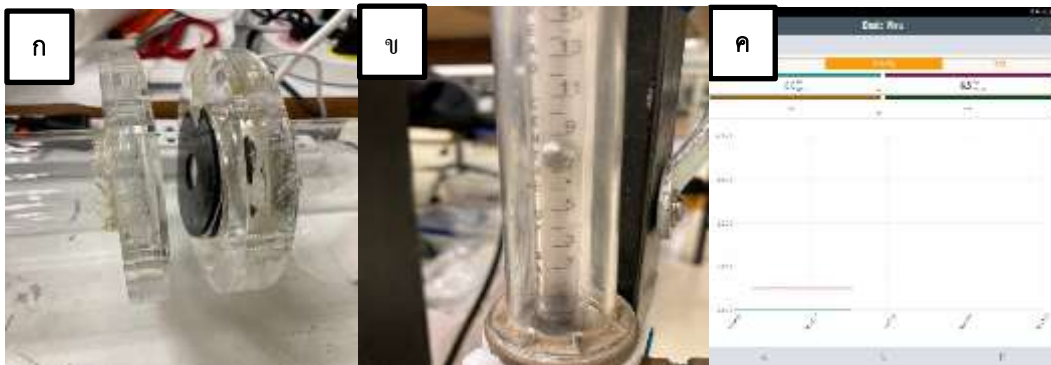
รูปที่ 6 เครื่องวัดประสิทธิภาพการกรองอากาศและความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรอง

การทดลอง

ในการทดลองจะใช้แผ่นนอนวูฟเวนที่เตรียมไว้ ทั้งหมด 3 เส้นใยมา ทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศ โดยตัดแผ่นนอนวูฟเวนของ PP เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm แล้วเลือกยางรองพื้นที่ 17.80 cm² แสดงให้เห็นดังรูปที่ 7 ก ต่อจากนั้นนำแผ่นรองพร้อมแผ่นตัวอย่างใส่ในลิ้นชักระหว่างข้อต่อระหว่างฝักอากาศขาเข้าและขาออกดังรูปที่ 7ข เมื่อใส่ตัวอย่างแล้วให้ยึดสกรูจนครบทุกตัวดังรูปที่ 7ค จากนั้นปรับอัตราการไหลของอากาศโดยใช้มิเตอร์วัดความเร็วลมให้มีความเร็ว 10.6 cm/s หรือ 0.11 m/s ดังรูปที่ 7ง จากนั้นใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1M ลงในเครื่องสร้างละอองหมอกดังรูปที่ 6จ ทำการคำนวณประสิทธิภาพของการกรองอากาศทุก 30 วินาที จนครบเวลา 10 นาที แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยใช้สมการที่ 1 (Tcharkhtchi et al., 2021) การทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศจะทดสอบเงื่อนไขละ 5 ตัวอย่าง สำหรับการทดสอบค่าความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นทำดังนี้ เตรียมตัวอย่าง และเลือกใช้แผ่นรองขนาดขนาด 4.9 cm² ดังรูป 8ก แล้วปรับอัตราการไหลของอากาศจาก Flow meter เป็น 8 L/min ดังรูป 8ข จากนั้นทำการอ่านค่าแรงดันขาเข้าและขาออกตามรูปที่ 8ค แล้วนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของแรงภายในและภายนอกของแผ่นนอนวูฟเวนดังสมการที่ 2 (พานิช, 2564) ในการคำนวณจะทดสอบทั้งหมด 100 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 7 แสดงวิธีการทดสอบวัดประสิทธิภาพของการกรองอากาศ ก) การเตรียมแผ่นนอนวูฟเวนใส่แผ่นรอง ข) นำแผ่นตัวอย่างเข้าสู่ระบบทดสอบ ค) ยึดตัวอย่างเข้าระหว่างอากาศขาเข้าและออก ง) ปรับความเร็วอากาศจาก Flow meter ให้ได้ค่าตามมาตรฐาน และ จ) ใส่สารละลาย NaCl 0.1M เข้าไปในเครื่องสร้างละอองหมอก



รูปที่ 8 แสดงวิธีการเตรียมการทดสอบวัดความต่างของแรงดันภายในและนอกของแผ่นนอนวูฟเวน ก) การเตรียมแผ่นตัวอย่างใส่แผ่นรองสำหรับวัดแรงดันเข้าสู่ระบบ ข) ปรับอัตราการไหลของอากาศ ที่ 8 L/min ค) การอ่านค่าจากเครื่องมือวัดความต่างของแรงดันระหว่างภายในภายนอกแผ่นตัวอย่าง

$$F(\%) = \frac{N_i - N_o}{N_i} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

- $F(\%)$ คือ ประสิทธิภาพการกรองของอากาศ (%)
- N_i คือ ความหนาแน่นของอนุภาคขาเข้า ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- N_o คือ ความหนาแน่นของอนุภาคขาออก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$A \left(\frac{\text{mmH}_2\text{O}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{A_o - A_i}{4.90} \quad (2)$$

เมื่อ

- A คือ ความต่างของแรงดันอากาศภายในและนอกแผ่นนอนวูฟเวน ($\text{mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$)
- A_i คือ แรงอากาศเข้า (mmH_2O)
- A_o คือ แรงดันอากาศออก (mmH_2O)
- 4.90 คือ พื้นที่ของตัวอย่างสำหรับวัดความต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรอง

ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองและความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นนอนวูฟเวน PP ที่สร้างขึ้นเทียบกับผลที่วัดได้จากหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ (RUUE-RMUTL) ด้วยเครื่องมือทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งทดสอบแผ่นนอนวูฟเวน PP ในเงื่อนไขเดียวกันกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น จากตารางที่ 1 แสดงผลประสิทธิภาพการกรองของตัวอย่างแผ่นนอนวูฟเวนที่เงื่อนไขเวลาการปั่นเส้นใยที่ 5 10 และ 15 นาที จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีค่า 84.12 ± 7.13 94.23 ± 1.33 และ $91.61 \pm 6.15\%$ ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบจากเครื่องมือมาตรฐานได้แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าเป็น 86.08 ± 0.23 99.25 ± 0.12 และ 98.29 ± 0.21 ตามลำดับ จากรูปที่ 8 กราฟแสดงถึงเส้นแนวโน้มของกราฟมีทิศทางที่คล้ายกันแต่มีค่าประสิทธิภาพการกรองที่น้อยกว่า ในขณะที่ผลการทดสอบจากเครื่องมือมาตรฐานมีค่าที่มากกว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นเล็กน้อย สำหรับการทดสอบค่าความต่างของแรงดันระหว่างภายในและนอกแผ่นกรองแสดงดังรูปที่ 9 แสดงให้เห็นค่าความแตกต่างของแรงดันอากาศระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองโดยผลจากการทดสอบด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีค่า 3.24 ± 2.07 8.70 ± 3.12 และ 18.39 ± 5.36 $\text{mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$ ซึ่งขณะที่ผลที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน 1.04 8.29 และ 15.55 $\text{mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$ แสดงให้เห็นดังตารางที่ 3 ค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีค่าที่มากกว่าเครื่องมือมาตรฐานแต่แนวโน้มของเส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จากรูปที่ 11 บ่งบอกได้ว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลของค่าความหนาของแผ่นนอนวูฟเวนคือ เมื่อความหนาของแผ่นนอนวูฟเวนหนามากขึ้นค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศสูงขึ้นตามไปด้วยแต่ที่เวลาการปั่นเส้นใย 15 นาทีค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศมีค่าลดลงแต่ความหนาเพิ่มขึ้นเหตุนี้ก็เป็นเพราะว่าหากปั่นเส้นใยที่เวลานานจนเกินไปเส้นใยจะเกิดเป็นชั้นซ้อนกันจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นซึ่งเป็นเหตุให้ค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศลดต่ำลง

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพการกรองอากาศที่วัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น

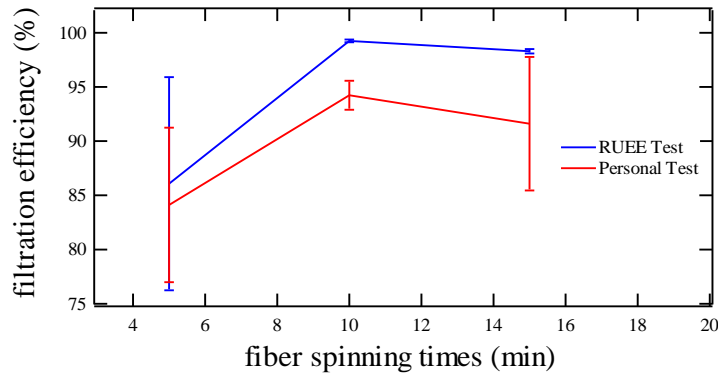
เวลาปั่นเส้นใย (นาที)	อนุภาคเข้า ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อนุภาคออก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ประสิทธิภาพการกรอง (%)
5	225.10 ± 52.81	191.20 ± 8.50	84.12 ± 7.13
10	268.05 ± 85.65	19.00 ± 7.27	94.23 ± 1.33
15	408.30 ± 53.42	81.45 ± 16.70	91.61 ± 6.15

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพการกรองอากาศที่วัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานจากหน่วยวิจัย RUEE

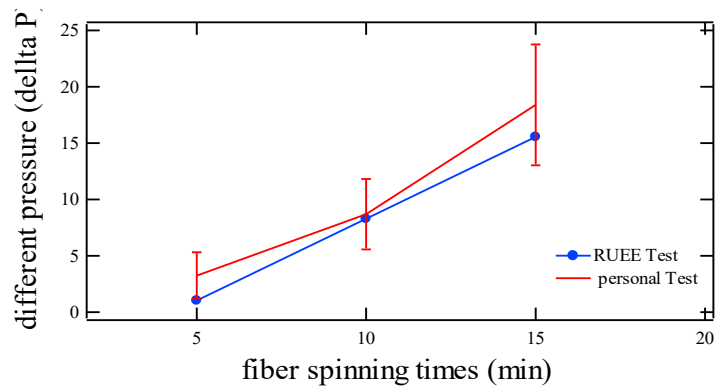
เวลาปั่นเส้นใย (นาที)	อนุภาคขาเข้า (ตัว)	อนุภาคขาออก (ตัว)	ประสิทธิภาพการกรอง(%)
5	3,546±33.62	493.80±9.83	86.08±0.23
10	3,542±37.01	26.72±4.14	99.25±0.12
15	3,556±20.74	60.70±7.29	98.29±0.21

ตารางที่ 3 ค่าความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นนอนวูฟเวนที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นและจากเครื่องมือมาตรฐาน RUEE

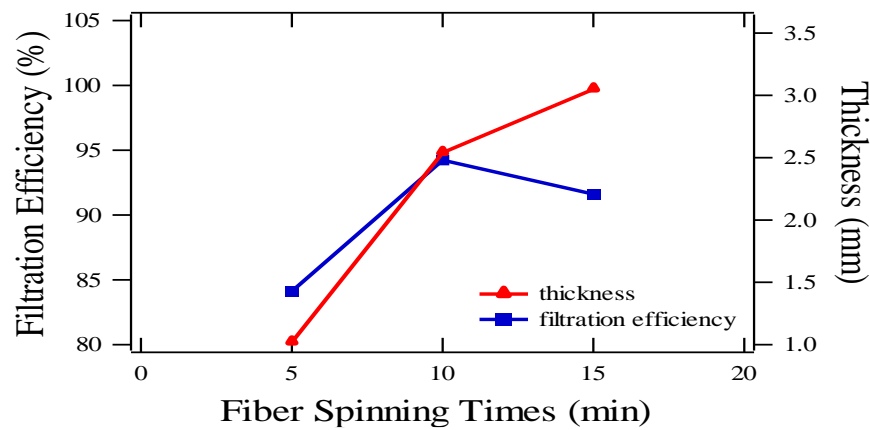
เวลาปั่นเส้นใย (นาที)	ความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น	ความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองจากเครื่องมือที่ทดสอบโดยหน่วยวิจัย RUEE
5	3.24±2.07	1.04
10	8.70±3.12	8.29
15	18.39±5.36	15.55



รูปที่ 9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการกรองอากาศระหว่างเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือจากหน่วยวิจัย RUEE



รูปที่ 10 ผลการค่าความต่างของแรงดันอากาศภายในและภายนอกแผ่นนอนวูฟเวนระหว่างเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือจากหน่วยวิจัย RUEE



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบความหนาของแผ่นนอนวูฟเวนกับค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศที่ถูกวัดได้

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการสร้างเครื่องมือในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศพบว่าผลการทดสอบมีที่ใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานแต่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงอันเนื่องมาจากเครื่องมือสร้างละอองหมอกยังไม่สามารถกำหนดขนาดอนุภาคได้ ยังคงเป็นการพ่นขนาดของอนุภาคที่ขนาดที่หลากหลายปะปนกัน ในการทดสอบได้เป็นเพียงแต่ตรวจสอบความหนาแน่นของอนุภาคที่มีค่าไม่เกิน 2.5 μm เคลื่อนที่เข้าและออกจากแผ่นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทำให้ค่าที่ใช้ทดสอบมีความแตกต่างกันมากเพราะไม่สามารถคุมปริมาณอนุภาคที่เข้าไปในเครื่องทดสอบได้ ต่างจากเครื่องมาตรฐานที่สามารถเลือกขนาดของอนุภาคขนาด 0.1 μm และถูกทำให้อนุภาคเป็นกลางทางไฟฟ้าเพราะจะต้องวัดประสิทธิภาพของการกรองอากาศโดยตรงโดยไม่รวมการดักจับแบบมีประจุไฟฟ้าก่อนเข้าไปสู่ระบบทดสอบและยังมีเครื่องนับจำนวนอนุภาคได้อย่างถูกต้องแม่นยำสูงมากด้วยเหตุนี้จึงทำจำนวนอนุภาคมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามจากกราฟในรูปที่ 8 สามารถบอกแนวโน้มของผลการทดสอบที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดสอบจากเครื่องมือมาตรฐาน สำหรับผลการวัดค่าความต่างของแรงดันภายในและนอกแผ่นกรองจากรูปที่ 9 ยืนยันได้ว่าค่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่เล็กน้อยเนื่องจากวัสดุอุปกรณ์ในการทำตัวเครื่องมือมีความต่างกันมากในเรื่องของการป้องกันการรั่วไหลของอากาศออกนอกระบบซึ่งเป็นอีกสาเหตุให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้น เครื่องมือที่สร้างขึ้นยังไม่สามารถที่จะป้องกันการรั่วไหลของอากาศได้ 100% จึงทำให้มีผลคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่โดยรวมแล้วเครื่องวัดประสิทธิภาพการกรองและค่าความต่างของแรงดันนี้ยังมีประโยชน์ต่อการคัดเลือกเงื่อนไขแผ่นนอนวูฟเวน PP ที่เหมาะสมแก่การทำให้เป็นแผ่นกรองอากาศ เห็นได้จากรูปที่ 11 กราฟแสดงถึงค่าประสิทธิภาพของการกรองอากาศเทียบกับความหนาของแผ่นเส้นใยซึ่งสามารถบอกได้ว่าการเตรียมแผ่นนอนวูฟเวนที่เงื่อนไขเวลาในการปั่นเส้นใยที่ 10 นาทีมีความเหมาะสมเนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพการกรองได้สูงสุดและค่าความแตกต่างของแรงดันอากาศระหว่างภายในและภายนอกแผ่นกรองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานของหน่วยวิจัย RUEE ก่อนที่จะส่งไปตรวจสอบจากสถาบันมาตรฐานเพื่อขอการรับรองมาตรฐาน เครื่องมือนี้จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการส่งตัวอย่างตรวจสอบได้จริง หากเครื่องมือนี้ได้รับการปรับปรุงเรื่องของเครื่องสร้างอนุภาคสำหรับตรวจสอบ เช่น เซอร์ตรวจนับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นก็จะสามารถทำให้เครื่องวัดได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและนวัตกรรมวัสดุนาโนเพื่อพลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยบางส่วน

เอกสารอ้างอิง

- พานิช อินต๊ะ. มาตรฐานและทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของหน้ากาก N95 และหน้ากากอนามัยแบบผ้า [ไม่ได้ตีพิมพ์]. เอกสารประกอบการบรรยาย วันที่ 20 พฤษภาคม 2564. หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม (RUEE): มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2564
- Haifeng Z, Jinxin L, Xing Z, Chen H, Xiangyu J. Design of electret polypropylene melt blown air filtration material Material containing nucleating agent for effective PM2.5 capture. RSC Adv 2018; 8: 7932-7941.
- Hassan MA, Yeom BY, Wilkie A, Pourdeyhimi B, Khan SA. Fabrication of Nanofiber Melt-Blown Membranes and Their Filtration Properties. Journal of Membrane 2013; 427: 336-344.
- Kansal H. Experimental Investigation of Properties of Polypropylene and Non- Woven Spunbond Fabric. IOSR Journal of polymer and Textile Engineering (IOSR- JPTE) 2016; 3: 8-14.
- Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Zarbini Seydani M, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the mask: Mechanisms of the aerosols penetration. Bioactive Material 2021; 1(6): 106-122.
- Ullah S, Ullah A, Lee J, Jeong Y, Hashimi M, Zhu C, Joo KI, Cha HJ, Kim IS. Reusability Comparison of Melt-Blown vs Nanofiber Face Mask Filters for Use in the Coronavirus Pandemic. ACS Appl. Nano Mater 2020; 3: 7231-7241.