



## สภาวะการใช้งานที่เหมาะสมในการทำความสะอาดผ้ากรองอนุภาคฝุ่นด้วยอิมพัลส์เจ็ท OPTIMAL CONDITION FOR FABRIC FILTER CLEANING WITH IMPULSE JET

พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี<sup>1\*</sup>, ณัฐ จันท์ครบ<sup>2</sup>

Phonnipha Boriboonsuksri<sup>1\*</sup>, Natth Jun-Krob<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Bangkok, Thailand

\*Corresponding Author, Email: phonniphab@sau.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง สร้างชุดทำความสะอาดถุงกรองชนิดพัลส์เจ็ท ที่ใช้กับเครื่องกรองอนุภาคเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดฝุ่นละอองออกจากถุงกรองโดยใช้ผ้าโพลีเอสเตอร์และผ้าลินิน ทำการทดสอบโดยป้อนฝุ่นซีลื้อเข้าไปในเครื่องกรองอนุภาคในแต่ละครั้ง ครั้งละ 20 กิโลกรัม จากนั้นทดสอบการทำความสะอาดในช่วงระดับความดัน 60 – 100 Psi แล้วตรวจวัดค่าความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับบริเวณทางเข้าและทางออกของเครื่องกรองอนุภาค ผลการทดสอบความสามารถในการทำความสะอาดถุงกรองของเครื่องพัลส์เจ็ทพบว่า การทำความสะอาดผ้าโพลีเอสเตอร์ ควรใช้ระดับความดันที่ 70 Psi ส่วนผ้าลินิน ควรใช้ระดับความดันที่ 70 Psi เช่นกัน โดยสามารถลดค่าความดันสูญเสียได้สูงที่สุดคือ 3.9 mmH<sub>2</sub>O (-0.415dB) และ 5.35 mmH<sub>2</sub>O (-0.5659dB) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของผ้ากับความสามารถในการทำความสะอาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดพัลส์เจ็ทที่สร้างขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำความสะอาดถุงกรองของเครื่องพัลส์เจ็ทได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** เครื่องกรองอนุภาค / อิมพัลส์เจ็ท / ผ้ากรอง

### Abstract

The research presents the experimental study on a created pulsejet cleaning bag intended for a fabric filter in order to compare its efficiency to a polyester filter and a linen filter. The tests were conducted by filling 20 kilograms of sawdust particles into the fabric filter which were washed using varying pressures ranging from 60-100 Psi and the pressure drops of the fabric filter at the inlet and outlet were measured and compared. The results of the experiment revealed that the cleaning efficiency of the pulsejet fabric filter with a polyester bag should apply at the pressure level of 70 Psi and the one with a linen bag should apply at the same pressure level (70 Psi). This impulse pressure was the result when the pressures dropped to minimums of 3.9 mmH<sub>2</sub>O (-0.415dB) and 5.35 mmH<sub>2</sub>O (-0.5659dB), respectively. It was also found that the cloth-type filter had cleaning efficiency as the pulsejet type with no significant difference (p-value>0.05). Overall results concluded that the pulsejet performed effectively and was suitable for industrial use.

**Keyword:** Fabric filter / Impulse jet / Fabric filter

### บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศที่คุกคามสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ก่อตัวเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นตามกิจกรรมทางอุตสาหกรรมที่มนุษย์ดำเนินการอยู่ เทคโนโลยีและวิทยาการที่ต่างๆได้ถูกออกแบบมาใช้เพื่อลดการก่อกำเนิดฝุ่นละอองที่อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ซึ่งเครื่องจักรแต่ละประเภทจึงมีกลไกการทำงานที่สามารถ

ก่อให้เกิดฝุ่นละอองได้แตกต่างกันออกไป กลุ่มเครื่องจักรอุตสาหกรรมที่มีกลไกการขีด การเจียร การตกแตงผิวชิ้นงานต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น เหล่านี้ย่อมหลีกเลี่ยงการก่อเกิดอนุภาคฝุ่นละอองจนกลายเป็นมลพิษทางอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งฝุ่นที่พบในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีอนุภาคที่แตกต่างกัน เมื่อผู้ปฏิบัติงานหายใจเอาอนุภาคฝุ่นละอองเข้าไปในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบ

ทางเดินหายใจทำให้สุขภาพทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทรุดโทรมลง<sup>(1-3)</sup> การกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล่านี้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการนำเศษอนุภาคฝุ่นละอองกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่หรือเพื่อจำหน่ายนิยมใช้การกรองอนุภาคฝุ่นละอองด้วยผ้ากรองที่เป็นเส้นใย (Fabric filter) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองที่ดีที่สุดและใช้ต้นทุนต่ำ สามารถหาวัสดุอุปกรณ์ได้ง่าย แต่ข้อเสียคือเมื่อใช้ไปในระยะหนึ่งอนุภาคฝุ่นละอองจะเกาะสะสมในผ้ากรองและจะหนาตัวขึ้นส่งผลให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศและส่งผลให้ค่าความดันสูญเสีย (Pressure drop) ของระบบการกรองมีค่าสูงขึ้น<sup>(4-5)</sup> การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการหาวิธีในการทำความสะอาดเส้นใยผ้ากรองที่ติดตั้งไว้อยู่ในระบบให้อนุภาคฝุ่นละอองที่เกาะติดค้างอยู่บนผ้ากรองหลุดออกไปให้ได้โดยไม่ต้องถอดผ้ากรองออก ที่ผ่านมามีการออกแบบการทำความสะอาดผ้ากรองลักษณะนี้อยู่หลากหลายแบบ อาทิเช่น ใช้กลไกการสั่นสะเทือน ใช้ระบบดันอากาศย้อนกลับ (กลับทิศทางการไหล) ใช้ระบบอากาศอัด ใช้การทำงานร่วมกันของหลายระบบ รวมถึงการใช้การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก<sup>(6)</sup> ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับ (1) ปัจจัยด้านคุณลักษณะเฉพาะตัวของฝุ่นละอองที่เกิด (2) โครงสร้างที่เข้ากันได้เหมาะสมของระบบที่มีอยู่ และ (3) ต้นทุนของระบบการบำรุงรักษา และความสะดวกในการควบคุมดูแล ซึ่งการทำความสะอาดโดยใช้ระบบอัดอากาศจึงมักเป็นระบบที่วิศวกรนิยมนำมาใช้งาน ทั้งนี้ด้วยเหตุที่มีข้อดีหลายประการและใช้ได้กับอนุภาคฝุ่นละอองแทบทุกประเภทของอุตสาหกรรม โดยที่ผ่านมามีการศึกษาออกแบบระบบอัดอากาศด้วยอิมพัลส์ (Impulse) หรือพัลส์เจ็ต (Pulse jet) ในหลากหลายโครงสร้างและหลากหลายปัจจัยพิจารณา อาทิ การจำลองแบบสภาพการสถานการณ์ความดันสูญเสียเมื่อพ่นลมผ่านผ้ากรอง<sup>(7-8)</sup> รูปแบบเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของถุงกรองใยโลหะเพื่อพ่นอากาศจากอนุภาคฝุ่นละออง<sup>(9)</sup> การทำความสะอาดไส้กรองเซรามิกด้วยพัลส์เจ็ต<sup>(10)</sup> และการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์บางประการ อาทิ ขนาดท่อเป่า เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ความดันถังเริ่มต้นและระยะเวลาต่อความสามารถในการทำความสะอาดถุงกรอง<sup>(11)</sup> เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เลือกที่จะศึกษาความเหมาะสมในการเลือกใช้ความดันพัลส์เจ็ตที่เหมาะสมในการขับเพื่อทำความสะอาดผ้ากรองที่ใช้วัสดุที่เป็นผ้ากรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์กับผ้ากรองชนิดผ้าลินิน ซึ่งหาได้ง่ายเป็นการทั่วไปและมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ค่อนข้าง

แตกต่างกัน คือผ้าโพลีเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ จะมีคุณลักษณะยืดหยุ่น เรียบ อ่อนนุ่ม เหนอะหนะและไม่ยับ ส่วนผ้าลินินซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ จะมีคุณลักษณะ ไม่ยืดหยุ่น กระด้าง แข็ง และยับง่าย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้หากนำมาใช้เป็นผ้ากรอง ก็ล้วนย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเมื่อเป่าด้วยความดันลมพัลส์เจ็ต โดยวิธีการศึกษาจะสร้างชุดกำเนิดพัลส์เจ็ตในการทำความสะอาดถุงกรองติดตั้งเข้ากับเครื่องกรองอนุภาคฝุ่นละอองด้วยเส้นใย (Fabric filter) แล้วทดสอบหาค่าความดันลมกำเนิดพัลส์เจ็ตที่เหมาะสมที่ทำให้มีความต้านทานการไหลของลมในระบบเกิดขึ้นลดลงให้เหลือความดันสูญเสียในระบบให้น้อยที่สุด ซึ่งจะหมายถึงได้ระบบการกรองที่มีถุงกรองที่สะอาดอยู่เสมอ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

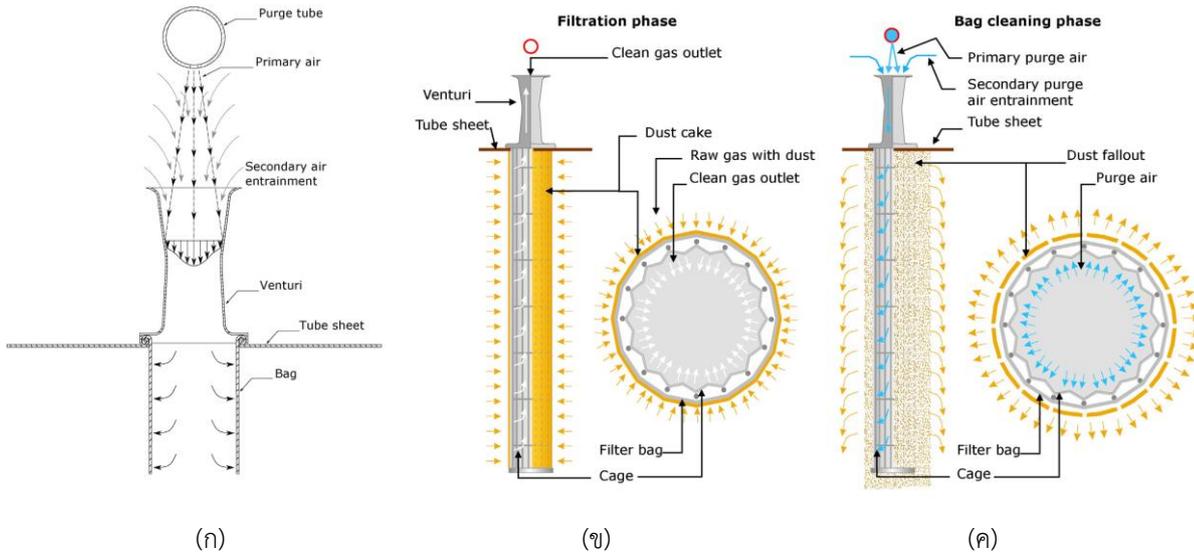
1. เพื่อออกแบบระบบทำความสะอาดผ้ากรองโดยใช้วิธียิงความดันลมแบบพัลส์เจ็ต
2. เพื่อหาความดันลมที่เหมาะสมในการสร้างอิมพัลส์ที่ดีที่สุดในการทำความสะอาดผ้ากรองชนิดชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์กับผ้ากรองชนิดผ้าลินิน

### หลักการของระบบ

สัญญาณอิมพัลส์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในทางวิศวกรรม โดยรูปแบบของสัญญาณอิมพัลส์ในทางคณิตศาสตร์นิยามไว้ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & ; t = 0 \\ 0 & ; t \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

ด้านวิศวกรรมศาสตร์ อิมพัลส์ หมายถึงสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงเฉียบพลันและเกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ ในทางวิศวกรรมเครื่องกลมักใช้ทดสอบการตอบสนองทางกลของระบบและยังมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ด้านอื่นๆ เช่น เครื่องมือยิงตะปู, ประแจลม ตลอดจนการทำความสะอาดถุงกรองอนุภาคฝุ่นละออง เป็นต้น โดยการศึกษาสัญญาณอิมพัลส์ถูกนำมาออกแบบเป็นระบบยิงเป่าเพื่อทำความสะอาดถุงกรองของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมักเรียกว่า พัลส์เจ็ต (Pulse jet) โดยเมื่อความดันพัลส์เจ็ตนี้ถูกขับออกไปกระทบภายในถุงผ้ากรองจะทำให้ฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวเส้นใยผ้าหลุดออกมา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) การไหลของกระแสลมหลัก (Primary air) ของพัลส์เจ็ทที่ดันออกจากหัว nozzle และกระแสลมรองที่โหม่งเข้ามาตามมาจากโดยรอบแล้วเข้ากระแทกถุงกรอง (ข) แสดงการเกิดชั้นฝุ่นเกาะผนังเส้นใยผ้ากรองระหว่างการกรองในสภาพปกติ (ค) การหลุดร่อนของฝุ่นระหว่างการทำความสะอาดด้วยพัลส์เจ็ท<sup>(5)</sup>

ถุงกรองที่ทำจากผ้าที่มีเส้นใยสานอยู่ เมื่อต้นอากาศที่ปนเปื้อนอนุภาคฝุ่นละอองผ่านออกมาจะเกิดมีการต้านการไหลของอากาศทำให้ความดันอากาศที่ผ่านออกไปมีค่าลดลง เรียกว่าเกิดความดันสูญเสีย (Pressure drop) โดยความดันสูญเสียนี้จะสัมพันธ์กับรูปทรงของผ้ากรอง ชนิดของผ้ากรอง และลักษณะของแผ่นอนุภาคฝุ่นละอองที่เกาะผ้ากรอง โดยเป็นไปตามสมการ (2)

$$\frac{\Delta p_m}{\Delta L} = 64(1 - \epsilon)^{15} \left[ 1 + 56(1 - \epsilon)^3 \right] \frac{\eta v}{D_F^2} \quad (2)$$

โดยที่

$\Delta p_m$  = ความดันสูญเสียที่เกิดคร่อมถุงกรอง (pressure drop over the fibre fabric)

$\Delta L$  = ความหนาของถุงกรอง (thickness of the fibre fabric)

$\epsilon$  = ลักษณะความพรุนของตัวกลางที่ทำถุงกรอง (porosity of the filter medium)

$\eta$  = ความหนืดพลวัต (dynamic viscosity)

$v$  = ภาระของการกรอง (filter load)

$D_F$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของถุงกรองที่ใช้ (fibre diameter)

ในระหว่างกระบวนการกักเก็บอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในระบบ ฝุ่นละอองที่เริ่มเกาะตัวบนผิวเส้นใยผ้ากรองมากขึ้น จะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศที่เพิ่มมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ตามสมการ (3) และ (4)

$$\Delta p_s = K_s \eta W(t) v \quad (3)$$

และ  
โดยที่

$$W(t) = E \cdot c \cdot v \cdot t \quad (4)$$

$K_s$  = ความต้านทานการไหลของอากาศอันเนื่องมาจากฝุ่นที่เกาะเส้นใยผ้ากรอง (dust-cake resistance)

$\eta$  = ความหนืดพลวัต (dynamic viscosity)

$v$  = ภาระของการกรอง (filter load)

$W$  = มวลของฝุ่นที่แยกออกจากพื้นผิวของตัวกรอง (the mass of separated dust on the filter surface)

$t$  = เวลา (time)

$c$  = ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น (dust concentration)

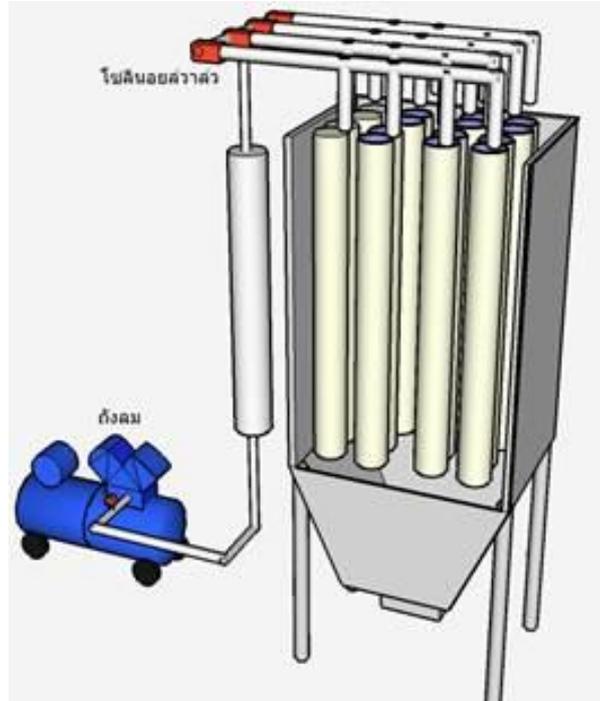
$E$  = ความสามารถในการแยกเกรด (grade separation)

การพยายามหาค่าความต้านทานการไหลของอากาศอันเนื่องมาจากอนุภาคฝุ่นละอองที่เกาะเส้นใยผ้ากรอง  $K_s$  นี้เป็นเรื่องที่ลำบาก ซึ่งการหาค่าความต้านทานนี้โดยเฉลี่ย ทำได้ด้วยวิธีการทดลองหรือจำลองแบบโดยใช้สมการเหล่านี้ข้างต้นเป็นตัวกำกับ และทำการจัดบันทึกค่าความดันแต่ละช่วงๆการทดลองมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อประเมินผล

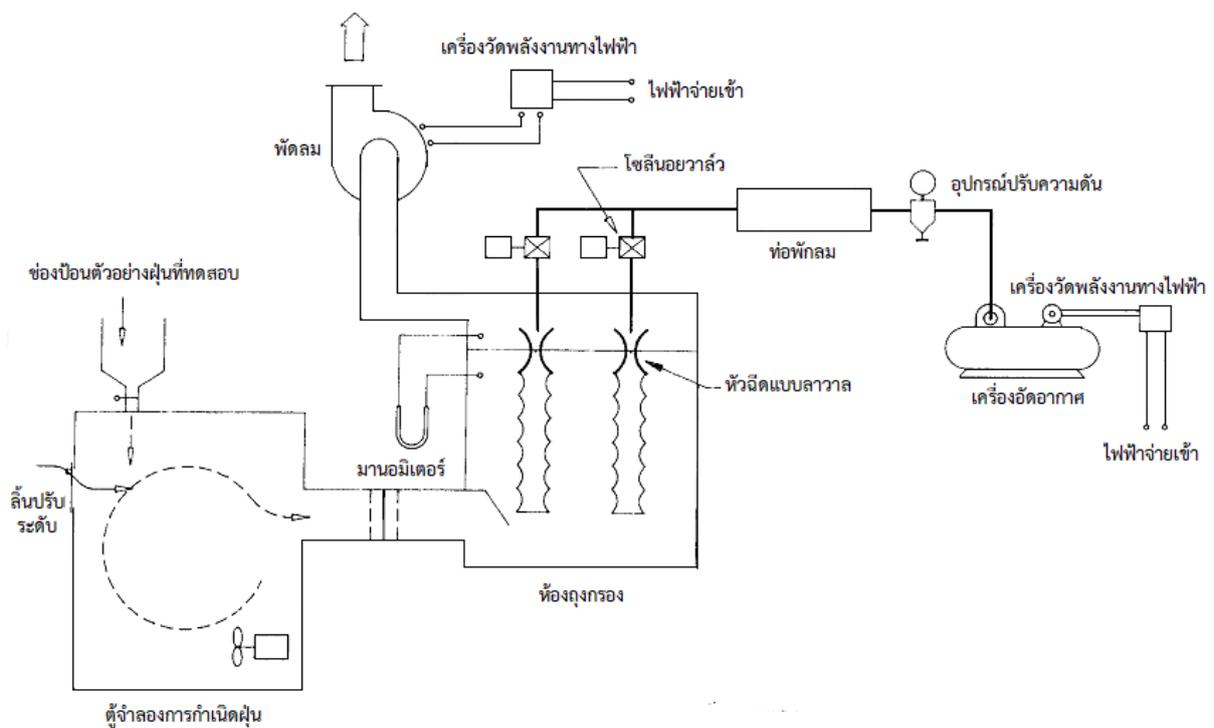
### อุปกรณ์สร้างอิมพัลส์

การสร้างอิมพัลส์ในระบบควบคุมฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยปั๊มลม, อุปกรณ์ปรับตั้งความดัน และวาล์วเปิดปิดความดันลม ที่ใช้สร้างอิมพัลส์ ซึ่งเรียกว่า “พัลส์เจ็ท” สำหรับพ่นลมความดันสูงเฉียบพลันเพื่อทำความสะอาดถุงกรองในเครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง ส่วนการทดสอบและตรวจวัดผลจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดสำหรับชั่งน้ำหนักฝุ่น

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า โดยใช้ตัวอย่างฝุ่นซีลีอีย ในการทดสอบ  
ซึ่งโครงสร้างรายละเอียดแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบ



รูปที่ 3 ระบบทดสอบการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยอิมพัลส์

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ

ใช้อุปกรณ์วัดความดันแตกต่างกัน (Manometer) และ เครื่องวัดความเร็วลม (Air velocity meter) ในการตรวจวัด ความดันลมภายในท่อ ช่วงถูกรอง เพื่อตรวจวัดการอุดตันของ ถูกรองที่ทำให้ความดันทางขาออกมีค่าลดลง

### การคำนวณออกแบบขนาดความดันพัลส์เจ็ท

เพื่อใช้เปรียบเทียบและตรวจสอบผลของความดันพัลส์ เจ็ท จากการทดลองไหลไอเซนทรอปิกในหัวฉีดชนิดลู่เข้า-ลู่ออก การไหลในสภาวะออกแบบ การไหลจะเป็นแบบซับโซนิคที่ส่วน คอคคอตและเป็นแบบซูเปอร์โซนิคในช่องลู่ออกสู่ภายนอก (Converging-diverging nozzles) โดยตลอดการไหลจะเป็น กระบวนการไอเซนทรอปิกทั้งสิ้น โดยรูปที่ 4 จะแสดงโครงสร้าง หัวฉีดแบบลาवालที่ออกแบบใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้การไหลใน ลักษณะดังกล่าวข้างต้นจึงกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของปากท่อขาเข้า ( $A_o$ ) เท่ากับ 7.66 cm. บริเวณพื้นที่คอคคอต ( $A^*$ ) เท่ากับ 6.1 cm. และปากทางขาออก ( $A_e$ ) เท่ากับปากทาง ขาเข้าคือ 7.66 cm. ทำให้ได้พื้นที่หน้าตัดในแต่ละโซนดังนี้

$$A_o = A_e = \frac{\pi(7.66)^2}{4} = 46.08 \text{ cm}^2$$

$$A^* = \frac{\pi(6.1)^2}{4} = 29.22 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_o}{A^*} = \frac{46.08}{29.22} = 1.57$$

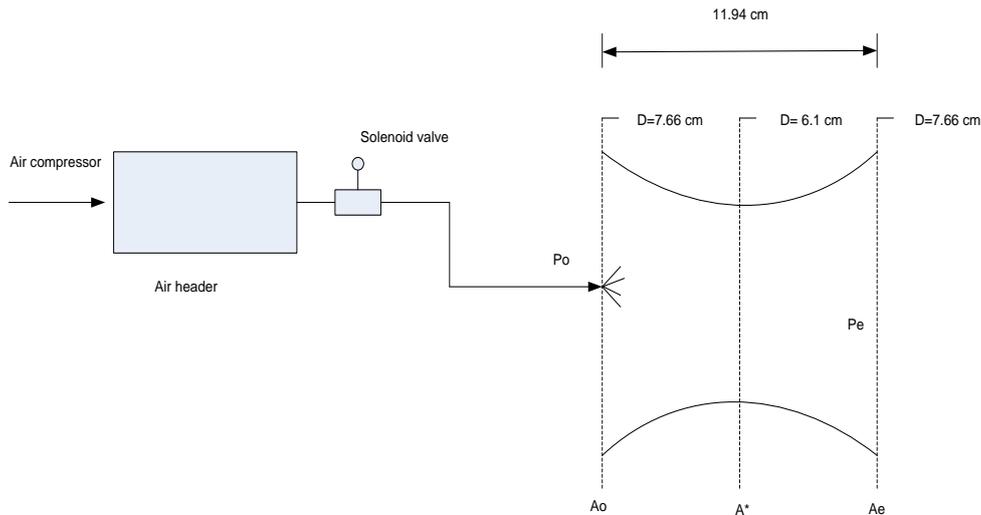
โดยที่  $\frac{A}{A^*} = 1.57$  จะได้  $M = 1.92$

และ  $\frac{P}{P_o} = 0.1447$

แต่  $P = P_e = 1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa}$  ดังนั้น

$$p_o = \frac{P}{0.1447} = \frac{101.3}{0.1447} = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ atm}$$

$$\therefore P_o = 102.9 \text{ Psi}$$



รูปที่ 4 ลักษณะหัวฉีดที่ใช้ในเครื่องกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองทดลอง

### ระเบียบวิธีการวิจัย

คำนวณและออกแบบสร้างระบบการทดสอบที่เหมาะสม ขึ้น แล้วทำการทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมในการสร้างอิมพัลส์ที่ดีที่สุดในการทำความสะอาดผ้ากรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์ กับผ้ากรองชนิดผ้าลินิน โดยเจาะจงเลือกกลุ่มตัวอย่างการสร้างความดันอิมพัลส์ที่เหมาะสมจำนวน 5 ตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูล ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผ้ากรองทั้งสองชนิด ได้แก่ 60 70 80 90 และ 100 Psi แล้วทำการทดสอบผลตามลำดับ ขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องมือวัดความดันสูญเสีย บริเวณจุดทดสอบก่อนและหลังถูกรอง เพื่อการคำนวณหาความดันลดที่ดีที่สุดจากการยิงอิมพัลส์ทำความสะอาดถูกรอง
2. ติดตั้งผ้ากรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์เข้าในระบบ เปิดเครื่องอัดอากาศ และปรับความดันเริ่มต้นที่ค่า 60 Psi แล้วสั่งเปิดโซลีนอยด์วาล์ว ให้เกิดอิมพัลส์ปล่อยยิงเข้าในถูกรอง แล้วตรวจวัดความดันที่ลดลงที่เกิดขึ้นระหว่างด้านหน้าและด้านหลัง ถูกรอง (ความดันสูญเสีย ในหน่วย mmH<sub>2</sub>O) บันทึกผลลง ตารางที่ 1



3. ปรับเพิ่มความดันที่สร้างอิมพัลส์เป็น 70 Psi แล้ว  
 สั่งเปิดโซลีนอยวาล์ว ให้เกิดอิมพัลส์ปล่อยยิงพ่นลมอัดเข้าใน  
 ถังกรอง ตรวจวัดความดันที่ลดลงได้ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านหน้าและ  
 ด้านหลังถังกรอง บันทึกผล แล้วเปลี่ยนเป็น 80 90 และ 100  
 Psi ตามลำดับ แล้วทดสอบเหมือนเดิม บันทึกผลในตารางที่ 1

4. คำนวณหาความดันสูญเสียที่เป็นค่าความดัน  
 ต่างระหว่างด้านหน้าและด้านหลังถังกรองโดยเฉลี่ย ( $\Delta P$ )  
 ในหน่วยตามเครื่องมือวัด (mmH<sub>2</sub>O) บันทึกผลลงตารางที่ 2

5. เปลี่ยนผ้ากรองเป็นผ้าลินิน เข้าในระบบ แล้วทำ  
 การทดสอบ เช่นเดียวกันกับผ้าโพลีเอสเตอร์ แล้วบันทึกผล

6. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด  
 ระหว่างความดันอิมพัลส์ กับ ความดันที่ลดลงได้ ณ ที่จุดผ้า  
 กรองทั้งชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์และชนิดผ้าลินิน

7. วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของผลการ  
 ทดสอบที่เกิดขึ้นด้วยสถิติ ANOVA

8. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดัน  
 ของการยิงพัลส์เจ็ทกับค่าความดันสูญเสีย ( $\Delta P$ ) ของผ้ากรองทั้ง  
 โพลีเอสเตอร์ และชนิดผ้าลินินโดยใช้ทฤษฎี Pearson  
 Correlation

9. วิเคราะห์ความแตกต่างในความสามารถในการลด  
 ความดันสูญเสียของผ้ากรองระหว่างทั้งสองชนิดนี้ด้วยสถิติ T-  
 test

## ผลการวิจัย

### ผลการทดลองฝุ่นซีลเกี่ยวกับถุงกรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์

เมื่อทำการทดสอบโดยป้อนฝุ่นซีลซึ่งเป็นตัวแทน  
 อนุภาคฝุ่นละอองอุตสาหกรรมที่พบบ่อยจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์  
 ไม้อัดในสภาพอุณหภูมิ และความชื้นที่แวดล้อมด้วยบรรยากาศ  
 ปกติ จำนวนปริมาณ 20 กิโลกรัมต่อรอบการทดสอบ และทำ  
 การทดสอบ 5 รอบ โดยแต่ละรอบจะป้อนลมความดันสูงหรือ  
 พัลส์เจ็ทยิงพ่นไปภายในถังกรองผ่านหัวฉีด เกิดคลื่นช็อคเคลื่อน  
 ตัวลงมาตามถังกรองทำให้เกิดการปลดปล่อย (Dust  
 release behavior) สลัดฝุ่นออกจากถังกรองได้ ทำการนี้จำนวน  
 5 ครั้ง โดยใช้ความดันพัลส์เจ็ทค่า 60, 70, 80, 90, 100 Psi  
 ตามลำดับขั้นของการทดสอบ ผลที่ได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 5  
 โดยเมื่อนำผลที่ได้มาทำการถดถอยหาสมการด้วยวิธีแบบเชิงเส้น  
 (Linear regression) จะพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงบนความ  
 ดันสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อจัดให้ความดันพัลส์เจ็ทให้เป็น 70 Psi จะ  
 ให้ค่าลดได้สูงที่สุดคือ 0.776 mmH<sub>2</sub>O ต่อครั้งที่ปล่อยอิมพัลส์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการทำความสะอาดถุงกรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ความดันพัลส์เจ็ทค่าต่างๆ

ความดันที่สร้างพัลส์เจ็ท(Psi) (ผ้ากรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์)	ความดันสูญเสีย( $\Delta P$ )ที่พบ,mmH <sub>2</sub> O						เฉลี่ย
	initial	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	
60 PSI	81.5	80.76	80.06	79.94	80.16	79.14	80.26
70 PSI	83.6	82.7	81.54	80.72	80.42	79.7	81.016
80 PSI	81.3	80.9	80.38	79.64	79.46	79.72	80.02
90 PSI	79.6	79.16	77.96	78.54	78.96	78.46	78.616
100 PSI	78.5	78.4	78.4	78.06	77.9	77.84	78.12

ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความ  
 ต่างทางสถิติของระดับความดันอิมพัลส์ที่ใช้ในการทำความสะอาด  
 สะอาดถุงกรอง กรณีถุงกรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์ ด้วยวิธี  
 ANOVA ได้ผลดังตารางที่ 2

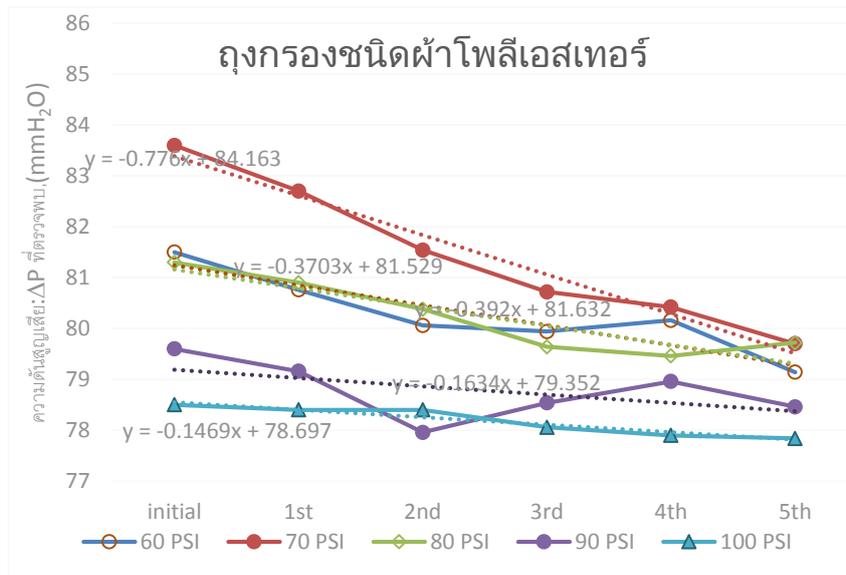
ซึ่งจากตารางที่ 2 นี้จะเห็นว่าในการทำความสะอาด  
 ถุงกรองที่สร้างจากผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ความดัน 60 ถึง 100 Psi

พบว่ามีค่า F=8.281 และ ค่า P-value ที่ได้มีค่าต่ำมาก  
 (>0.001) แสดงว่าที่ความดันอิมพัลส์ ทั้ง 5 ครั้งทดสอบ ผลที่  
 ได้มีความแตกต่างกันชัดเจนในทางสถิติไม่ครั้งใดก็ครั้งหนึ่งหรือ  
 ทุกครั้งแน่นอน เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญไว้ที่ 0.05



ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบถุงกรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ความดันพัลส์เจ็ท 60 ถึง 100 Psi (N=5)

	SS	df	Mean Square	F	P
Between Groups	20.532	4	5.133	8.281	<.001
Within Groups	12.397	20	.620		
Total	32.929	24			



รูปที่ 5 ค่าความดันสูญเสียหลังปล่อยพัลส์เจ็ทที่ความดันต่างๆ ของถุงกรองชนิดผ้าโพลีเอสเตอร์

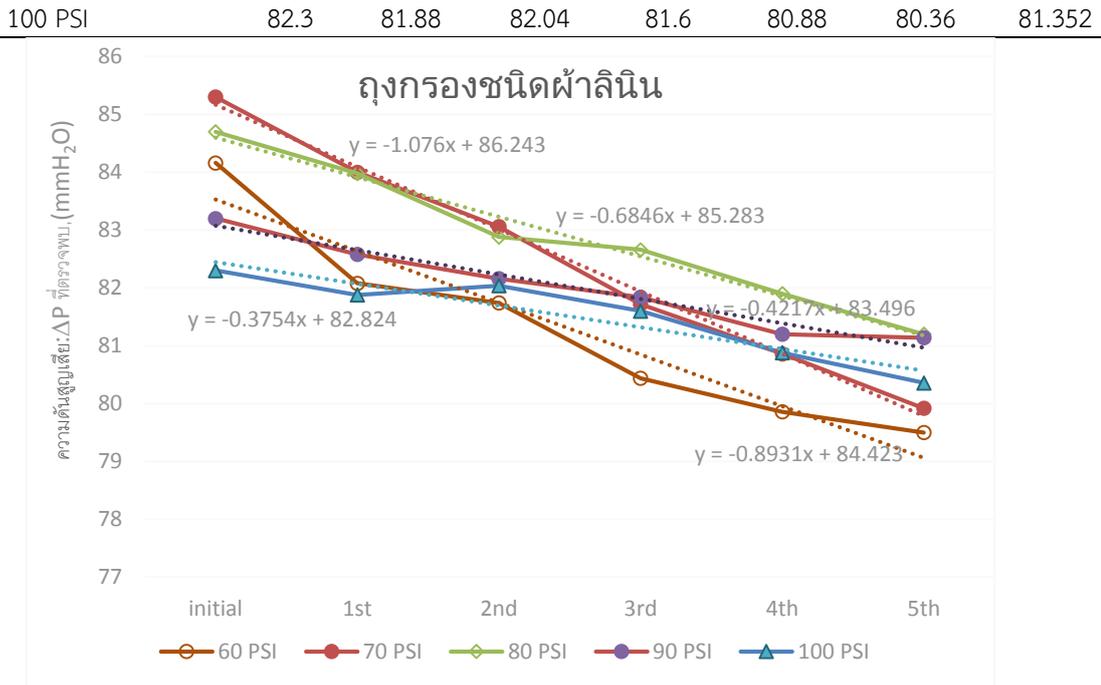
### ผลการทดลองฝุ่นซีลี้อยู่กับถุงกรองชนิดผ้าลินิน

จากการทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขเดียวกันข้างต้น ด้วยถุงกรองชนิดผ้าลินิน ทดสอบป้อนลมความดันสูงเป่าพ่นภายในถุงกรองโดยพ่นผ่านหัวฉีดให้เกิดคลื่นช็อคเคลื่อนตัวลงมาตามถุงกรองสลัดฝุ่นจำนวน 5 ครั้ง/รอบ ใช้ขนาดความดันพัลส์

เจ็ทที่ 60, 70, 80, 90, 100 Psi เช่นเดิมผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 6 โดยเมื่อนำผลที่ได้มาทำการถดถอยหาสมการด้วยวิธีแบบเชิงเส้น (Linear regression) จะพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงบนความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อจัดให้ความดันพัลส์เจ็ทให้เป็น 70 Psi จะให้ค่าลดได้สูงที่สุดเช่นกันคือ 1.076 mmH<sub>2</sub>O ต่อครั้งที่ปล่อยอิมพัลส์

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทำความสะอาดถุงกรองชนิดผ้าลินินที่ความดันพัลส์เจ็ทค่าต่างๆ

ความดันที่สร้างพัลส์เจ็ท (Psi)	ความดันสูญเสีย (ΔP) ที่พบ (mmH <sub>2</sub> O)						Average
	Initial	1st	2nd	3rd	4th	5th	
(ผ้ากรองชนิดผ้าลินิน)							
60 PSI	84.16	82.08	81.74	80.44	79.86	79.5	81.29667
70 PSI	85.3	84	83.06	81.72	80.86	79.92	81.912
80 PSI	84.7	83.98	82.88	82.66	81.9	81.2	82.524
90 PSI	83.2	82.58	82.16	81.84	81.2	81.14	81.784



รูปที่ 6 ค่าความดันสูญเสียหลังปล่อยพัลส์เจ็ทที่ความดันต่างๆ ของถุงกรองชนิดผ้าลินิน

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติวิเคราะห์หาความแตกต่างของระดับความดันในการทำความสะอาดถุงกรองชนิดผ้าลินินด้วยวิธี ANOVA ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบถุงกรองชนิดผ้าลินินที่ความดันพัลส์เจ็ท 60 ถึง 100 Psi

	SS	df	Mean Square	F	P
Between Groups	8.955	4	2.239	.972	.445
Within Groups	46.061	20	2.303		
Total	55.017	24			

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าจำนวนครั้งในการทำความสะอาดถุงกรองที่สร้างจากผ้าลินินที่ความดัน 60 ถึง 100 Psi จำนวน N=5 พบว่ามีค่า F=0.972 และ ค่า P-value ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.445

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์สอดคล้องกันของความดันพัลส์เจ็ทกับค่าความดันสูญเสีย ( $\Delta P$ ) ในระบบ กรณีผ้ากรองชนิดโพลีเอสเตอร์ ด้วยวิธีการทำ Correlation พบว่า มีความสัมพันธ์กันในทางลบ นั่นคือการเพิ่มความดันพัลส์เจ็ทที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความดันสูญเสียในระบบยิ่งน้อยลงหรืออากาศไหลผ่านระบบได้

ดีขึ้นนั่นเอง โดยพบระดับความสัมพันธ์อยู่ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.707 และมีค่า P-value=0.001 ดังแสดงในตารางที่ 5 และจากตารางที่ 5 นี้จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของระดับความดันพัลส์เจ็ทกับค่าความดันสูญเสีย ( $\Delta P$ ) กรณีผ้ากรองชนิดผ้าลินินมีความสัมพันธ์กันในทางลบเช่นกัน คือ ยิ่งเพิ่มความดันก็ยิ่งทำให้ถุงกรองสะอาดมากขึ้นหรืออากาศไหลผ่านได้สะดวกยิ่งขึ้น เป็นไปเช่นเดียวกันผ้าโพลีเอสเตอร์นั่นเอง

**ตารางที่ 5** การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันพัลส์เจ็ทกับค่าความดันสูญเสีย ( $\Delta P$ )ของผ้าโพลีเอสเตอร์และ ผ้าลินินโดยใช้หลักการหาสัมประสิทธิ์ Correlation

ชนิดของผ้ากรอง	ระดับความดันพัลส์เจ็ท	Mean	S.D.	r	P
ผ้าโพลีเอสเตอร์	60-100 Psi	1.219	0.902	-0.707	0.001
ผ้าลินิน	60-100 Psi	1.219	0.902	-0.707	0.001

**ตารางที่ 6** การวิเคราะห์ความแตกต่างของผ้ากรองระหว่างผ้าโพลีเอสเตอร์กับผ้าลินินโดยใช้สถิติ T-test

ชนิดผ้า	N	Mean	S.D.	Std. Mean	T	df	P
ผ้าลินิน	5	2.272	1.129	.505	1.644	8	0.139
ผ้าโพลีเอสเตอร์	5	1.228	.863	.386			

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าผลจากการทดสอบค่าความแตกต่างของความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยวิธี T-test ระหว่างผ้ากรองชนิดโพลีเอสเตอร์กับกรองชนิดผ้าลินิน พบว่าผลลัพธ์ T-test ที่ได้มีค่า  $T=1.644$  แสดงว่าผ้ากรองทั้งสองชนิดได้ประสิทธิผลจากการล้างทำความสะอาดด้วยอิมพัลส์เจ็ทที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อกันในทางสถิติที่ระดับ  $P\text{-value}=0.139$

### อภิปรายผล

Mitsuhiko Hata และคณะ<sup>(10)</sup> ได้แสดงกลไกและพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับการปลดปล่อยแยกให้อนุภาคฝุ่นละอองหลุดออกจากผ้ากรองนั้นสามารถอธิบายในรูปสมมูลของสามตัวแปร ประกอบด้วย (1) ความเครียดในแนวตั้งฉากที่เป็นผลจากความต่างของความดันทั้งสองด้านของเกล็ดฝุ่น (Normal stress resulted from pressure difference between both sides of the dust flake) (2) ความเค้นดึงระหว่างแผ่นเกล็ดฝุ่น (Tensile stress between the dust flake) และ (3) ความเค้นเฉือนที่เกิดรอบขอบของสะเก็ดฝุ่นที่ปลดปล่อยออกมา (Shear stress work around the periphery of the released flake) ซึ่งในการในตรวจสอบการปลดปล่อยสะเก็ดฝุ่นให้หลุดออกไปได้นั้น สามารถพิจารณาสมมูลความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ของโมเมนตัม ตามสมการ

$$\rho_d \cdot S \cdot t_d \cdot u_d = \int_0^t \Delta p_d \cdot S \cdot dt - F \cdot \Delta t \quad (5)$$

โดยที่  $P_d$  คือ ความหนาแน่นปรากฏของอนุภาคฝุ่นละอองที่ถูกเก็บสะสมในผ้ากรอง

$S$  คือ พื้นที่ projection ของเกล็ดอนุภาคฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยหลุดออกมา

$t_d$  คือ ความหนาของชั้นอนุภาคฝุ่นละออง

$u_d$  คือ ความเร็วปลดปล่อยของเกล็ดอนุภาคฝุ่นละออง

$\Delta p_d$  คือความแตกต่างของความดันระหว่างแผ่นอนุภาคฝุ่นละอองทั้งสองด้าน

$\Delta t$  คือ เวลาทำงานสำหรับการปลดปล่อยเกล็ดอนุภาคฝุ่นละออง

$F$  คือ แรงต้านทานต่อการปลดปล่อย และอาจเขียนได้เป็น  $F = \sigma \cdot S + \tau \cdot t_d \cdot l$

โดยที่  $\sigma$  คือความเค้นดึง  $\tau$  คือความเค้นเฉือน และ  $l$  คือความยาวรอบนอกของเกล็ดอนุภาคฝุ่นละออง

และในสมการ (5) นี้ เทอมด้านซ้ายมือ ( $\rho_d \cdot S \cdot u_d \cdot t_d$ ) แสดงถึงโมเมนตัมของสะเก็ดเกล็ดอนุภาคฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยหลุดออกมาได้ ส่วนทางด้านขวามือของสมการ เทอมแรก ( $\int_0^t \Delta p_d \cdot S \cdot dt$ ) เป็นแรงอิมพัลส์จากความเค้นแนวตั้งฉากอันเนื่องมาจากพัลส์เจ็ท และเทอมที่สอง ( $F \cdot \Delta t$ ) ก็เป็นแรงอิมพัลส์ที่เป็นผลอันเนื่องมาจากแรงยึดเกาะกันของอนุภาคฝุ่นละออง

พารามิเตอร์แต่ละตัว เมื่อถูกนำมาประเมินในแต่ละส่วนย่อย สำหรับประมาณการระดับค่าอิมพัลส์ที่จำต้องใช้สำหรับการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละออง โดยพิจารณาจากผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งด้วยคุณลักษณะของอนุภาคฝุ่นละอองไมที่นำมาทดสอบนั้นเกาะยึดกันแบบแรงยึดบางเบา ขนาดของเกล็ดอนุภาคฝุ่นละอองมีขนาดเล็ก แต่ละครึ่งของการทดสอบกำหนดให้อยู่บนพื้นฐานหลักการว่า เทอมของโมเมนตัมของสะเก็ดเกล็ดอนุภาคฝุ่นละออง ( $\rho_d \cdot S \cdot u_d \cdot t_d$ ) มีค่าคงที่ ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาดถูกรองจึงเป็นของเทอมด้านขวามือของสมการคือ เทอมของแรงอิมพัลส์จากความเค้นแนวตั้งฉากอันเนื่องมาจากพัลส์เจ็ท ( $\int_0^t \Delta p_d \cdot S \cdot dt$ ) กับเทอมของ ( $F \cdot \Delta t$ )

การเปลี่ยนแปลงความดันลมอิมพัลส์ที่จ่ายออกมาแต่  
ผลการทดลองจึงเป็นการสร้างความเปลี่ยนแปลง ให้กับเทอม  
ของแรงอิมพัลส์จากความเค้นแนวตั้งฉากอันเนื่องจากพัลส์เจ็ท

$$\left(\int_0^t \Delta p_d \cdot S \cdot dt\right)$$

เป็นสำคัญ ขณะที่การสร้างอำนาจ

ยึดเกาะของอนุภาคฝุ่นละอองนั้นเป็นอิทธิพลของ (F·Δt)

การที่ถูกรองที่ใช้วัสดุที่เป็นผ้า ซึ่งยังผลให้

มีความยืดหยุ่นตัวเองได้เมื่อถูกรองแตกด้วยอิมพัลส์เจ็ท

ยังผลให้พารามิเตอร์  $\Delta p_d$  ที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างจากไส้กรองฝุ่น

ละอองที่ใช้เป็นวัสดุเกร็งประเภทเซรามิก เช่นในงานของ

Mitsuhiko Hata และคณะ<sup>(10)</sup> ขณะเดียวกันความยืดหยุ่นตัวเอง

ได้ของวัสดุประเภทผ้านี้ ทำให้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นรอบขอบของ

สะเก็ดฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยออกมามีค่ามากขึ้นซึ่งจะทรง

อิทธิพลให้อำนาจยึดเกาะของอนุภาคฝุ่นละออง (F·Δt)

มีระดับลดลง จึงทำให้สามารถใช้ความดันอิมพัลส์ที่ต่ำลงได้ใน

การกระทบแกว่งค้อนอนุภาคฝุ่นละอองให้หลุดออกมา

ด้วยคุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผ้ากรองที่

นำมาทดสอบทั้งสอง มีความแตกต่างกัน คือผ้าโพลีเอสเตอร์มี

คุณลักษณะ ยืดหยุ่น เรียบ อ่อนนุ่ม เหนอะหนะ ไม่ยับ และผ้า

ลินินมีคุณลักษณะ ไม่ยืดหยุ่น กระจ่าง แข็งและยับง่าย เหล่านี้

ทำให้พารามิเตอร์  $\Delta p_d$  กับ (F·Δt) มีค่าแตกต่างกันตามไปด้วย

ดังนั้น ผลการทดสอบที่ได้ผลตามปรากฏในรูปที่ 5 เปรียบเทียบ

รูปที่ 6 จะสะท้อนถึงผลลัพธ์ที่เกิดจากความแตกต่างดังที่กล่าวนี้

โดยผลในรูปที่ 5 อธิบายได้ว่า สมรรถนะการปลดปล่อยสลัด

อนุภาคฝุ่นละอองออกของผ้าโพลีเอสเตอร์ มีความไวต่อการ

เปลี่ยนแปลงของระดับความดันอิมพัลส์ โดยมีความสัมพันธ์เป็น

ลักษณะเชิงบวกกล่าวคือยิ่งใช้ระดับความดันอิมพัลส์สูงยิ่งมี

สมรรถนะในการปลดปล่อยสลัดอนุภาคฝุ่นละอองออกสูงตาม

ส่วนในรูปที่ 6 อธิบายได้ว่า สมรรถนะการปลดปล่อยสลัด

อนุภาคฝุ่นละอองออกของผ้าลินิน ความไวในการทำให้ผ้า

สะอาดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันอิมพัลส์มีค่าต่ำ

กว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ สังเกตได้จาก เกือบทุกค่าระดับความดันอิม

พัลส์ที่ทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงของ  $\Delta P$  ของผ้าลินิน จะค่อย

ลดลงตามจำนวนครั้ง ในอัตราที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักของ

ทุกระดับความดันอิมพัลส์ ด้วยข้อค้นพบที่ได้นี้ ทำให้สามารถ

เลือกได้ว่า หากเลือกใช้ผ้าโพลีเอสเตอร์เป็นผ้ากรอง วิศวกร

สามารถกำหนดระดับความดันอิมพัลส์ที่สูงพอเหมาะสมค่าหนึ่ง

แล้วจะสามารถควบคุมการจ่ายอิมพัลส์เพื่อทำความสะอาดรอบ

ละครั้งก็เพียงพอ แต่กรณีเลือกใช้ผ้าลินินเป็นผ้ากรอง นอกจาก

จะเลือกกำหนดระดับความดันอิมพัลส์ที่สูงพอเหมาะสมแล้ว

การทำความสะอาดแต่ละรอบต้องใช้การจ่ายอิมพัลส์เจ็ท

หลายครั้งจึงได้ความสะอาดที่เทียบเท่ากับผ้าโพลีเอสเตอร์ได้

### การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาด

การประเมินประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผ้า

กรองในแต่ละเงื่อนไข สามารถพิจารณาจากค่าความดันสูญเสีย

ในท่อที่ลดลงจากเดิม โดยกำหนดเป็นสัดส่วนที่สามารถลดลงได้

เมื่อเทียบกับความดันเดิมในตอนแรก โดยใช้หน่วยเดซิเบล ตาม

สมการ (6)

$$\text{ศักยภาพในการทำความสะอาด (dB)} = 20 \text{Log} \left( \frac{P_o}{P_{ref}} \right) \quad (6)$$

ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่า ผ้ากรองแบบ

โพลีเอสเตอร์ การทำความสะอาดที่มีศักยภาพสูงสุดที่ความดัน

70 Psi ทั้งในแง่พิจารณาจากค่าเฉลี่ย และพิจารณาจากค่า

เบ็ดเสร็จจากการทำความสะอาดติดกัน 5 ครั้งต่อรอบ ส่วน

ตารางที่ 8 แสดงผลของผ้ากรองลินินซึ่งมีศักยภาพที่ความ

ดัน 60 Psi ในแง่การพิจารณาจากค่าเฉลี่ย และถ้าพิจารณาจาก

ค่าเบ็ดเสร็จที่ทำความสะอาดติดกัน 5 ครั้งต่อรอบแล้ว ค่าที่ดีที่สุด

อยู่ที่ค่าความดัน 70 Psi เช่นเดียวกันกับผ้ากรองชนิดโพลีเอ

สเตอร์

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการทำความสะอาดผ้ากรองโพลีเอสเตอร์ตามสัดส่วนในหน่วยเดซิเบล

ความดัน (Psi)	ผ้าโพลีเอสเตอร์			dB (เฉลี่ย 5 ครั้ง)	dB ครั้งที่ 5
	ΔP เริ่มต้น	ΔP เฉลี่ย 5 ครั้ง	ครั้งที่ 5		
60	81.5	80.01	79.14	-0.1603	-0.2552
70	83.6	81.01	79.7	-0.2734	-0.4150
80	81.3	80.62	79.72	-0.0730	-0.1705
90	79.6	78.62	78.46	-0.1076	-0.1253
100	78.5	78.12	77.84	-0.0421	-0.0733



ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการทำความสะอาดฝักรองลินินตามสัดส่วนในหน่วยเดซิเบล

ความดัน (Psi)	ฝักรองลินิน			dB (เฉลี่ย 5 ครั้ง)	dB ครั้งที่ 5
	$\Delta P$ เริ่มต้น	$\Delta P$ เฉลี่ย 5 ครั้ง	ครั้งที่ 5		
60	84.16	80.72	79.5	-0.3625	-0.4948
70	85.3	81.92	79.92	-0.3512	-0.5659
80	84.7	82.52	81.2	-0.2265	-0.3665
90	83.2	81.78	81.14	-0.1495	-0.2178
100	82.3	81.36	80.36	-0.0998	-0.2072

## สรุป

ความดันลมที่กำเนิดพัลส์เจ็ทแต่ละระดับที่ใช้ทำความสะอาดฝักรองชนิดโพลีเอสเตอร์ ให้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระดับค่าความดันในท่อลดลงได้ต่ำที่สุดเมื่อใช้ความดันลมที่กำเนิดพัลส์เจ็ทที่ระดับ 70 Psi ค่าความดันในท่อ หลังปล่อยพัลส์เจ็ททำความสะอาดมีค่าลดได้สูงมากที่สุด 0.2734 dB เมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น และเมื่อพิจารณาใน 1 รอบการทำความสะอาด ซึ่งปล่อยอิมพัลส์มาจำนวน 5 ครั้ง ที่ระดับความดันพัลส์เจ็ท 70 Psi จะให้ค่าผลลัพท์การลดลงของความดันในท่อได้ต่ำสุดเช่นเดียวกันคือสามารถลดลงได้ถึง -0.415 dB เมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น และผลการลดค่าความดันในระบบต่อครั้งที่ได้ ณ ที่ความดันพัลส์เจ็ท 70 Psi จะให้ที่ต่ำคือ 0.776 mmH<sub>2</sub>O ต่อครั้ง ซึ่งทำได้ดีกว่าระดับความดันพัลส์เจ็ทค่าอื่น ดังนั้นความดันลมที่เหมาะสมสำหรับใช้กำเนิดพัลส์เจ็ทสำหรับทำความสะอาดฝักรองที่เป็นชนิดโพลีเอสเตอร์ คือ 70 Psi

ส่วนฝักรองชนิดฝักรองลินิน ความดันลมที่กำเนิดพัลส์เจ็ทแต่ละระดับให้ผลลัพธ์ที่มีความไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ=0.05 ระดับความดันที่ให้ในท่อเกิดความดันต่ำสุดจากการเฉลี่ย 5 ครั้งทดสอบคือระดับความดัน 60 Psi โดยลดลงจากค่าเริ่มต้นได้ 0.3625 dB ขณะที่ความดันพัลส์เจ็ทระดับ 70 Psi จะให้ความสามารถรองลงมาคือ 0.3512 dB เมื่อพิจารณาในหนึ่งรอบการทำงานที่ปล่อยพัลส์ออกมา 5 ครั้งติดๆกัน ระดับความดันลมที่สร้างพัลส์เจ็ทที่สามารถลดความดันในท่อได้มากที่สุดคือระดับ 70 Psi โดยลดความดันในท่อได้ลดลงถึง 0.5659 dB ขณะที่ระดับ 60 Psi ได้ค่าผลลดลงเป็นรองถัดมาคือ 0.4948 dB และผลการลดค่าความดันในระบบต่อครั้งที่ทำได้ พบว่าดีที่สุดในที่ความดันพัลส์เจ็ท 70 Psi โดยทำได้ 1.076 mmH<sub>2</sub>O ต่อครั้ง ซึ่งทำได้ดีกว่าระดับความดันพัลส์เจ็ทค่าอื่น ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรอบด้านแล้ว ระดับความดันลมที่กำเนิดอิมพัลส์ที่ดีที่สุดสำหรับการใช้ทำความสะอาดฝักรองแบบชนิดฝักรองลินินคือระดับ 70 Psi เช่นเดียวกันกับฝักรองชนิดโพลีเอสเตอร์

ผลการทดสอบฝักรองทั้งสองชนิดจะเห็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นว่าฝักรองทั้งสองสามารถเป่าด้วยพัลส์เจ็ทให้สะอาดมากขึ้นได้เมื่อใช้ความดันสร้างอิมพัลส์ในระดับต่ำเพียง 70 Psi ได้ การเพิ่มที่สูงขึ้นกว่านี้ก็จะดีขึ้นอีกด้วยสัมประสิทธิ์ Correlation ระหว่างกันอยู่ที่ 0.707 แต่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการอัดอากาศมากเกินไป และเมื่อการเปรียบเทียบความสามารถที่ดีขึ้นจากการทำความสะอาดด้วยพัลส์เจ็ทระหว่างฝักรองชนิดโพลีเอสเตอร์กับชนิดฝักรองลินินทดสอบด้วยสถิติ T-test พบว่า ทั้งสองชนิดสามารถระบุว่ามี ความแตกต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมี p-value = 0.139

## เอกสารอ้างอิง

- (1) Lee W, Lee JG, Yoon JH, Lee JH (2020) Relationship between occupational dust exposure levels and mental health symptoms among Korean workers. PLOS ONE 15(2): e0228853. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228853>
- (2) He W, Jin N, Deng H, Zhao Q, Yuan F, Chen F, et al. Workers' Occupational Dust Exposure and Pulmonary Function Assessment: Cross-Sectional Study in China. International Journal of Environmental Research and Public Health [Internet] 2022;19(17):11065. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph191711065>
- (3) Duarte J, Castelo Branco J, Rodrigues F, Vaz M, Santos Baptista J. Occupational Exposure to Mineral Dust in Mining and Earthmoving Works: A Scoping Review. Safety [Internet] 2022;8(1):9. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/safety8010009>



- ( 4) Phanprasit W. Industrial Hygiene; Strategy, Evaluation, Controlling and Management. 2<sup>nd</sup> Ed. Bangkok: Best graphic interprint; 2017.
- ( 5) Kenneth C. Air Pollution Control Equipment Selection Guide. New York: Lewis Publishers; 2002.
- (6) EMIS. Fabric filter [internet]. [Cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/fabric-filter>
- (7) Jun Ju, Min-Sen Chiu & Chi Tien. A Model for Pulse Jet Fabric Filters. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000; Vol.50;4, 600-612. DOI: 10.1080/10473289.2000.10464030
- (8) Andersen BO., Nielsen NF., Walther JH.. Numerical and experimental study of pulse-jet cleaning in fabric filters. Powder Technology, 2016; Vol. 291, 284–298
- (9) Zhang M, Qin W, Ma X, Liu A, Yan C, Li P, et al. An Environmentally Friendly Technology of Metal Fiber Bag Filter to Purify Dust-Laden Airflow. Atmosphere [Internet] 2022;13(3):485. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13030485>
- (10) H. Mitsuhiro, C. Kanaoka, M. Furuuchi, T. Inagaki, Analysis of Pulse-jet Cleaning of Dust Cake from Ceramic Filter Element. 5th Int. Symp. on Gas Cleaning at High Temperatures; Sep 19, 2002. National Energy Technology Laboratory, South Park Township, PA, USA. 2002
- (11) Kim E, Byun Y, Bak H-S, Koh D-J. Experimental Study on the Operating Parameters of a Pulse-Jet Filter Bag Cleaning System. Sustainability [Internet] 2022;14(12):7276. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/su14127276>
- (12) C. Wassgren. Flow through Converging-Diverging Nozzles. In: Ch.13 of Notes on Thermodynamics, Fluid Mechanics and Gas Dynamics; 2021. p.1361-1404.