



# อิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่มีต่อ

## ประสิทธิภาพของไซโคลนดักฝุ่นละออง

### The Influence of Vortex Finder Diameter on Performance of Dust Cyclone

สุทิน พลบูรณ์

Suthin Pholboorn

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี อ.เมือง จ.อุตรธานี 41000

โทร. 042-211-040 - 425, 095-789-1183

Department of Mechanical Technology, Faculty of Technology,  
Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani 41000, Thailand

E-mail: suthin\_27@hotmail.com, Telephone 042-211-040 - 425, 095-789-1183

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนดักฝุ่นละอองด้วยการทดลอง การทดลองนี้ใช้เกล็ดเผาแทนฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนวัดอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคและอัตราการไหลของอากาศทางเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยขนาด 30, 50 และ 60 มิลลิเมตร ความเร็วของอากาศทางเข้ามีค่าเท่ากับ 6.61, 7.50 และ 7.93 เมตรต่อวินาที ขนาดอนุภาคของฝุ่นละอองที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ค่า ประกอบด้วย 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศและขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสำหรับทุกค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศ เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความเร็วทางเข้าของอากาศเท่ากับ 7.93 เมตรต่อวินาที ขนาดของอนุภาคเท่ากับ 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุดของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 97.20%, 97.91%, 98.71% และ 99.13% ตามลำดับ

#### ABSTRACT

The objective of this research is to study of the influence of vortex finder diameter on performance of dust cyclone by experiment. Husk ash was used to the dust particles from the factory. The collection efficiency was measured in from of the dust particle size and air flow rate. The vortex finder diameters in this investigation were included of 30, 50 and 60 mm, inlet velocity composed of 6.61, 7.50 and 7.93 m/s and dust particles in this experiment were included of 0-150, 150-250, 250-500 and 500-850 micrometers. The results indicate that the inlet velocity and the dust particle size were increased, the collection efficiency was increased for all of vortex finder diameters of cyclone. For vortex finder diameter of 50 mm, inlet velocity of 7.93 m/s and the dust particles size of 0-150, 150-250, 250-500 and 500-850 micrometers, the maximum collection efficiencies were showed 97.20%, 97.91%, 98.71% and 99.13%, respectively.

**Keywords:** Vortex finder diameter, dust particle, cyclone

## 1. บทนำ

การพัฒนาของประเทศไทยในช่วงหลายศตวรรษที่ผ่านมาส่งผลให้หลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมน้ำตาล เป็นต้น มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งการผลิตของอุตสาหกรรมเหล่านี้ในบางกระบวนการจะมีสิ่งปนเปื้อนเป็นสารแขวนลอยที่ปะปนอยู่ในอากาศก่อนที่อุตสาหกรรมเหล่านั้นจะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก ได้มีการใช้อุปกรณ์หลายชนิดทำหน้าที่ในการลดขนาดหรือปริมาณสารปนเปื้อนก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก ได้แก่ กรองอากาศ ไซโคลน เพื่อรักษาสีและกลิ่นและเพื่อการอยู่ร่วมกันอย่างมีความสุขระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

ไซโคลนจึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการแยกอนุภาคของสารปนเปื้อนออกจากอากาศก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก เนื่องจากไซโคลนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ราคาต่ำและง่ายต่อการบำรุงรักษาและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงโดยเฉพาะเมื่ออนุภาคมีขนาดมากกว่า 10 ไมโครเมตร [1-2] ไซโคลนอาศัยหลักการทำงานด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เมื่ออนุภาคของสารปนเปื้อนและอากาศถูกปล่อยเข้าไปในไซโคลนแรงหนีศูนย์กลางจะผลักอนุภาคของสารปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากไปปะทะกับผนังของไซโคลนแล้วอนุภาคเหล่านั้นจะตกลงสู่ด้านล่างของไซโคลนไปยังภาชนะรองรับ ส่วนอากาศที่มีความหนาแน่นและน้ำหนักน้อยกว่าสารปนเปื้อนจะถูกผลักให้ไหลย้อนกลับขึ้นไปที่ด้านบนที่ทางออกของอากาศแล้วถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก [3]

ได้มีความพยายามในการปรับปรุงประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าในบางชิ้นส่วนของไซโคลนโดยเริ่มจากการให้ช่องทางเข้าของอากาศมีรูปร่างเป็นวงกลม [4] แทนช่องทางเข้าที่เป็นแบบสี่เหลี่ยมทั่วไป พบว่าส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเพิ่มขึ้น ได้มีการเพิ่มช่องทางเข้าของอากาศแบบสี่เหลี่ยม

เป็นสองช่องทาง [5] พบว่าสมรรถนะการคัดแยกมีค่ามากกว่าไซโคลนที่มีช่องทางเข้าทางเดียวเป็น 5 ถึง 10% การทำให้ช่องทางเข้าของอากาศทำมุมเอียงขึ้นเมื่อวัดกับแนวระดับก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกมีแนวโน้มดีขึ้น โดยพบว่ามุมที่มีค่าเหมาะสมคือมุม  $45^\circ$  [6] ไซโคลนที่มีช่องทางเข้าวนเป็นวงแบบก้นหอยให้สมรรถนะการคัดแยกมากกว่าไซโคลนที่มีช่องทางเข้าในแนวสัมผัส  $5\%$  ถึง  $20\%$  [7]

การเพิ่มความยาวช่วงทรงกระบอกของไซโคลนมากถึง 5.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลนส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกมีค่ามากถึง  $9.5\%$  ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มความยาวช่วงที่เป็นกรวยของไซโคลนเป็น 6.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลนทำให้ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุดประมาณ  $11\%$  [8] การทดลองหาสมรรถนะการคัดแยกของไซโคลนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวช่องทางออกของอากาศจาก 125 ถึง 210 มิลลิเมตร สมรรถนะการคัดแยกมากที่สุดเท่ากับ  $99.7\%$  เมื่อระยะช่องทางออกเท่ากับ 193 มิลลิเมตร [9] พื้นผิวภายนอกช่องทางออกของอากาศได้มีการติดตั้งใบกังหัน (Vane) เพื่อให้กระแสการไหลเข้ามีการจัดเรียงตัวที่แน่นอน ซึ่งช่วยลดความดันตกคร่อมและเพิ่มสมรรถนะการคัดแยกโดยพบว่าสมรรถนะการคัดแยกของไซโคลนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 ถึง  $3\%$  และความดันตกคร่อมลดลงถึง  $30\%$  [10] การติดตั้งแหวนที่ช่องทางออกของอากาศด้านนอก [11] โดยแหวนเป็นแบบเรียว (Taper) ที่อัตราส่วนด้านบนต่อด้านล่างวัดจากผิวด้านในของแหวนมีค่าเท่ากับ 1.47 ให้สมรรถนะการคัดแยกของไซโคลนดีที่สุด

การใช้รูปร่างของช่องทางออกของอากาศที่แตกต่างกันโดยให้ช่องทางออกของอากาศมีรูปร่างทรงกระบอกและกรวย [12] แบบทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15, 11 และ 7 มิลลิเมตร และแบบกรวยมีความยาวเท่ากับ 10, 25 และ 45 มิลลิเมตร โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของกรวยทั้งสองด้านเป็น 7 และ 15 มิลลิเมตรตามลำดับ พบว่าไซโคลนที่มีช่องทางออกของอากาศแบบ

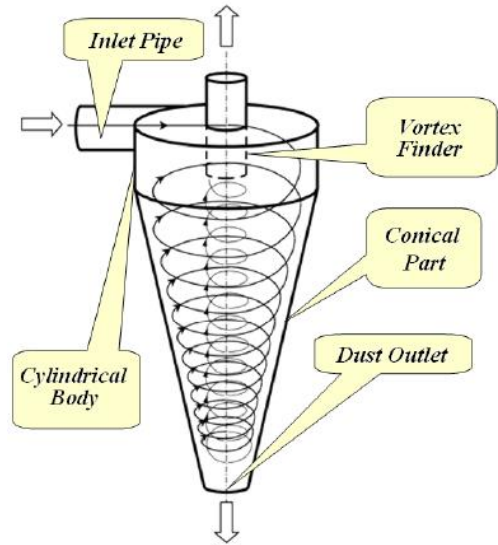
กรวยให้สมรรถนะการคัดแยกไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับไซโคลนที่มีช่องทางออกของอากาศแบบทรงกระบอก การสอดใส่อุปกรณ์บางชนิดเข้าไปข้างในไซโคลนโดยการสอดใส่กรวยปลายแหลมที่ทางออกของกรวยและการสอดใส่แท่งเหล็ก การสอดใส่แท่งเหล็กและกรวยปลายแหลมไปด้วยกันที่ทางออกของกรวย [13] ก็มีการศึกษาเชิงทดลองพบว่าการสอดใส่กรวยปลายแหลมให้สมรรถนะการคัดแยกได้ดีที่สุด การออกแบบช่องทางออกของอนุภาคให้เป็นแบบทรงกระบอกแทนแบบกรวยพร้อมให้มีแท่งปรับระยะการหมุนวน (Vortex limited) ที่ตอนท้ายของทรงกระบอกพบว่าสมรรถนะการคัดแยกของไซโคลนสูงสุดเมื่ออัตราการใช้ลมมีค่ามากที่สุดและที่การปรับระยะการหมุนวนเท่ากับ 800 มิลลิเมตร ส่วนที่การปรับระยะการหมุนวนเท่ากับ 320 มิลลิเมตรให้สมรรถนะการคัดแยกต่ำสุด [14]

งานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนด้วยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศไว้อย่างชัดเจน ดังนั้น งานวิจัยนี้สนใจในการหาประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนด้วยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศโดยทำการศึกษาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศเท่ากับ 30, 50 และ 60 มิลลิเมตร และขนาดของอนุภาคเท่ากับ 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร

## 2. ทฤษฎีเกี่ยวกับไซโคลน

### 2.1 หลักการทำงานของไซโคลน

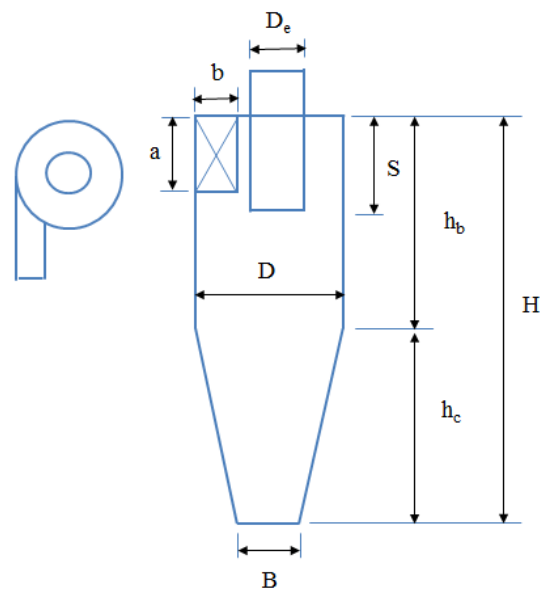
เมื่ออากาศและอนุภาคของฝุ่นละอองถูกส่งผ่านเข้าไปในไซโคลนตรงช่องทางเข้า อนุภาคของฝุ่นละอองที่มีน้ำหนักมากกว่าอากาศจะถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางผลักให้ไปชนกับผนังของไซโคลนและตกลงสู่ด้านล่างตรงกรวยทางออกของไซโคลนและถูกดักเก็บไว้ ส่วนอากาศซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าอนุภาคจะถูกดันย้อนกลับขึ้นไปด้านบนตรงช่องทางออกของอากาศและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของไซโคลน [15]

### 2.2 ส่วนประกอบของไซโคลน

ไซโคลนมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้  $D$  เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน  $D_e$  เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศ  $S$  ความสูงช่องทางออกของอากาศ  $B$  เส้นผ่านศูนย์กลางกรวยทางออก  $h_b$  ความสูงทรงกระบอกของไซโคลน  $h_c$  ความสูงกรวยของไซโคลน  $H$  ความสูงรวมของไซโคลน  $a$  ความสูงทางเข้าของอากาศ และ  $b$  ความกว้างทางเข้าของอากาศ รายละเอียดแต่ละส่วนประกอบของไซโคลนแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของไซโคลน

### 2.3 การหาประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลน

ประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดฝุ่นละอองของไซโคลน [13] สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

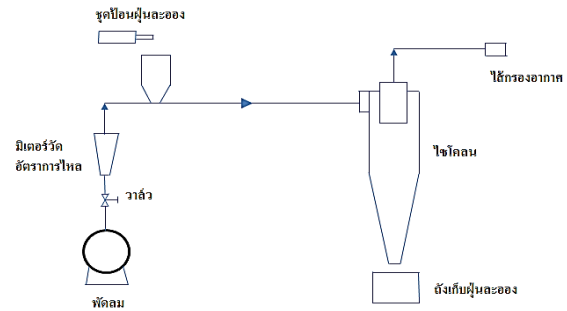
$$\eta = \frac{m_c}{m} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลน  
 $m_c$  คือ มวลของอนุภาคหลังการคัดแยก, กรัม  
 $m$  คือ มวลของอนุภาคก่อนการคัดแยก, กรัม

## 3. วิธีการทดลอง

### 3.1 แผนผังชุดทดลอง

การคัดแยกฝุ่นละอองด้วยไซโคลนสามารถดำเนินการได้จากการเปิดสวิตช์พัดลม (Blower) ลมจะถูกเป่าผ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหลที่ชื่อ Blue Point ที่มีช่วงวัดอัตราการไหล 90 ถึง 120 ลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ด้วยการปรับวาล์วได้ตามความเร็วที่ต้องการ หลังจากนั้นลมจะถูกส่งผ่านไปยังชุดป้อนฝุ่นละออง โดยที่ชุดป้อนฝุ่นละอองนี้สามารถป้อนฝุ่นละอองเข้าไปได้ด้วยอัตราการป้อนฝุ่นที่ได้ออกแบบไว้ หลังจากนั้นอากาศที่ผสมกับฝุ่นละอองก็จะถูกส่งเข้าไปข้างในไซโคลนเพื่อไปทำการคัดแยกฝุ่นละอองตามหลักการทำงานของไซโคลนต่อไป เมื่อฝุ่นละอองที่ผ่านการคัดแยกด้วยไซโคลนจะตกลงไปยังถังเก็บฝุ่นละอองด้านล่างเพื่อทำการกำจัดต่อไป ส่วนอากาศที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าฝุ่นละอองก็จะถูกผลักดันย้อนกลับขึ้นไปด้านบนตรงช่องทางออกของอากาศผ่านไส้กรองอากาศละเอียดก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอกต่อไป รายละเอียดแผนผังชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของชุดทดลอง

### 3.2 เงื่อนไขของไซโคลนในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้ไซโคลนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศแตกต่างกัน 3 ค่า รายละเอียดของไซโคลนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของไซโคลนในการทดลอง

ส่วนประกอบของไซโคลน	ไซโคลน 1 (mm)	ไซโคลน 2 (mm)	ไซโคลน 3 (mm)
$D$	100	100	100
$D_c$	30	50	60
$S$	50	50	50
$B$	37.5	37.5	37.5
$h_b$	150	150	150
$H$	400	400	400
$a$	50	50	50
$b$	20	20	20

### 3.3 วิธีการทดลอง

1. เปิดสวิตช์พัดลมเพื่อให้อากาศผ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหลโดยปรับวาล์วให้มีความเร็วอากาศเท่ากับ 6.61 เมตรต่อวินาที

2. ป้อนฝุ่นละอองแต่ละขนาดจาก 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร ที่ได้จากเครื่องวัดขนาดดังรูปที่ 4 โดยแต่ละขนาดให้มวลเท่ากับ 100 กรัม เข้าไปยังช่องป้อนฝุ่นละออง

3. ร่อนกระทั่งฝุ่นละอองผ่านการคัดแยกด้วยไซโคลนจนหมดปริมาณที่ป้อนเข้าไปโดยสังเกตจากไม่มีฝุ่นละอองไหลออกจากทางออกของกรวย

4. นำฝุ่นละอองที่คัดแยกได้ของแต่ละขนาดไปทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลดังรูปที่ 5 บันทึกผลการทดลอง

5. คำนวณหาประสิทธิภาพการคัดแยกของฝุ่นละอองแต่ละขนาดด้วยสมการ (1) บันทึกผลการทดลอง

6. ทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนความเร็วของอากาศเป็น 7.50 และ 7.93 เมตรต่อวินาที แต่ละความเร็วทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการคัดแยก

7. เขียนกราฟแสดงประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนโดยการเปรียบเทียบกับความเร็วของอากาศและขนาดช่องทางออกของอากาศ



รูปที่ 4 เครื่องวัดขนาดอนุภาคฝุ่นละออง



รูปที่ 5 เครื่องชั่งดิจิตอล

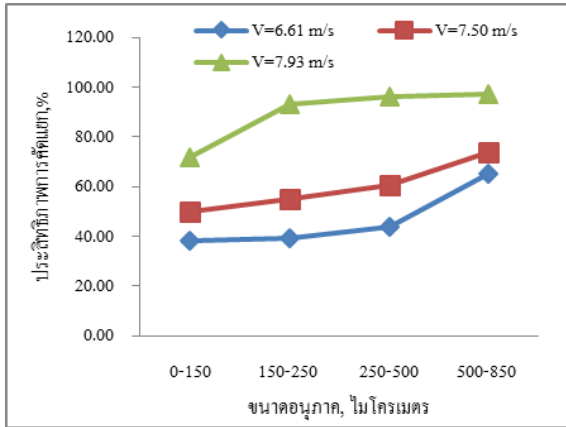
#### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

##### 4.1 ผลของความเร็วทางเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

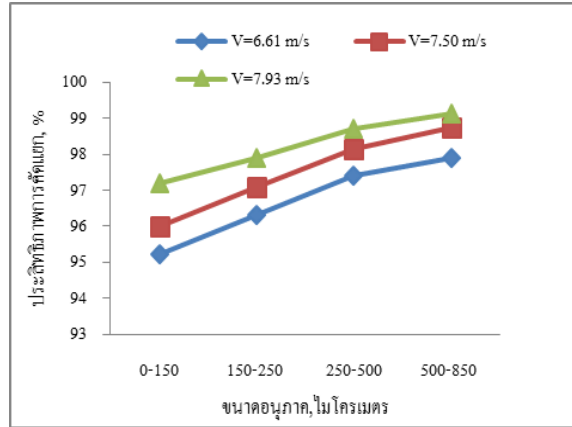
รูปที่ 6 แสดงถึงประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนเมื่อความเร็วทางเข้าของอากาศแตกต่างกันที่แต่ละค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศของไซโคลน จากรูปพบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นหรือความเร็วของอากาศทางเข้าไซโคลนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของไซโคลนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศทั้ง 3 ขนาด โดยประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 99.13% ของไซโคลนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

##### 4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

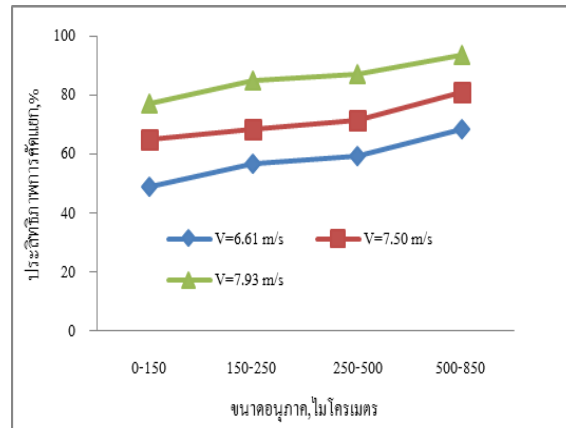
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศแตกต่างกันที่แต่ละค่าความเร็วของอากาศทางเข้า 3 ค่า จากรูปพบว่า เมื่อความเร็วของอากาศทางเข้าเท่ากัน ไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุดทุกขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง โดยไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางออกของอากาศเท่ากับ 50 มิลลิเมตรความเร็วทางเข้าของอากาศเท่ากับ 7.93 เมตรต่อวินาที ขนาดของอนุภาคเท่ากับ 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุดของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 97.20%, 97.91%, 98.71% และ 99.13% ตามลำดับ



(ก)



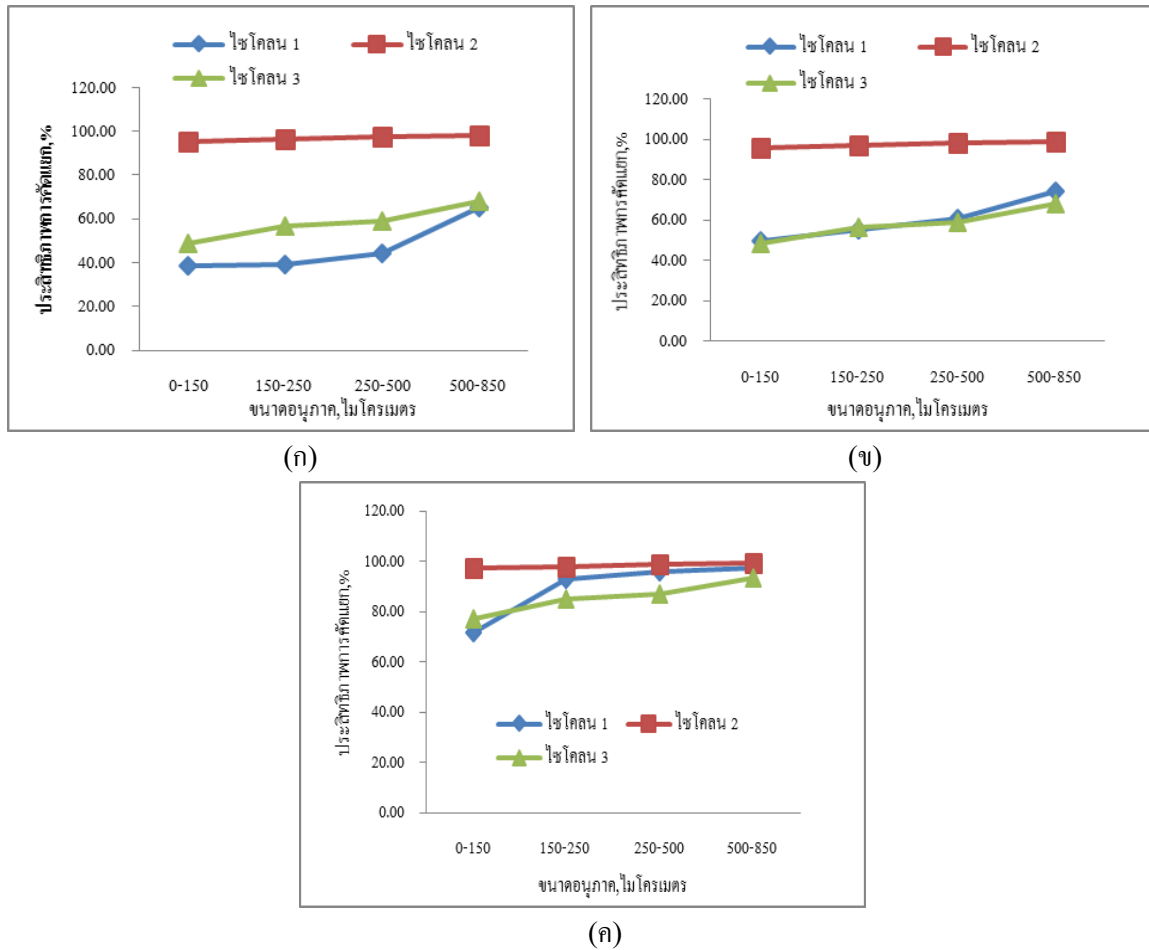
(ข)



(ค)

รูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนที่ความเร็วทางเข้าของอากาศแตกต่างกัน

(ก)  $D_e = 30 \text{ mm}$  (ข)  $D_e = 50 \text{ mm}$  และ (ค)  $D_e = 60 \text{ mm}$



รูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดของไซโคลนเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศแตกต่างกัน (ก) ความเร็ว = 6.61 m/s (ข) ความเร็ว = 7.50 m/s และ (ค) ความเร็ว = 7.93 m/s

### 5. สรุปผลการทดลอง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่ต่างกันได้ทำการศึกษาเชิงทดลองในการวิจัยนี้ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยขนาด 30, 50 และ 60 มิลลิเมตร ความเร็วของอากาศขาเข้ามีค่าเท่ากับ 6.61, 7.50 และ 7.93 เมตรต่อวินาที การทดลองนี้ใช้ซี่แฉกแทนฝุ่นละอองที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีขนาดของฝุ่นละอองประกอบด้วย 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศและขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยกของ

ไซโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสำหรับทุกค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศ เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความเร็วทางเข้าของอากาศเท่ากับ 7.93 เมตรต่อวินาที ขนาดของอนุภาคเท่ากับ 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ไมโครเมตร ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุดของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 97.20%, 97.91%, 98.71% และ 99.13%, ตามลำดับ

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนโครงการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีงบประมาณประจำปี 2557

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Jianyi, C. and Mingxian, S. A universal model to calculate cyclone pressure drop. *Powder Technology*, 2007; 171: 184-191.
- [2] Arkadiusz, K. Division of outlet flow in a cyclone vortex finder - The CFD calculations. *Separation and Purification Technology*, 2010; 75: 127-131.
- [3] Handol, L. and Se-Jin, Y. Cyclone performance on removing fibrous particles generated from terry-towels and cotton clothes. *Powder Technology*, 2014; 262: 36-41.
- [4] Sakura, and Andrew, G.B. and Leung, Y.T. Experimental study of particle collection efficiency of cylindrical inlet type cyclone separator. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2015; 6(3); 160-164.
- [5] Lim, K.S., Kwon, S.B. and Lee, K.W. Characteristics of the collection efficiency for a double inlet cyclone with clean air. *Journal of Aerosol Science*, 2003; 34: 1085-1095.
- [6] Fuping, Q. and Yanpeng, W. Effects of the inlet section angle on the separation performance of a cyclone. *Chemical Engineering Research and Design*, 2009; 87: 1567-1572.
- [7] Zhao. B.T. Effects of flow parameters and inlet geometry on cyclone efficiency. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2006; 6(2): 178-180.
- [8] Lakhbir, S.B., Sharma, R.P. and Khairy, E. The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high efficiency cyclone. *Powder Technology*, 2015; 286: 668-677.
- [9] Jeongseong, O., Sangil, C., Jeongeun, K., Sangho, L. and Gyoungtae, J. Particle separation with the concept of uniflow cyclone. *Powder Technology*, 2014; 254: 500-507.
- [10] Qiang, L., Weiwei. X., Jianjun, W. and Youhai, J. Performance evaluation of a new cyclone separator - Part I experimental results. *Separation and Purification Technology*, 2015; 141: 53-58.
- [11] Yuki, W., Tsuyoshi, M., Kunihiro, F. and Hideto, Y. Effect of ring shape attached on upper pipe on fine particle classification of gas - cyclone. *Separation and Purification Technology*, 2015; 141: 84-93.
- [12] Lim, K.S., Kim, H.S. and Lee, K.W. Characteristics of the collection efficiency for a cyclone with different vortex finder shapes. *Journal of Aerosol Science*, 2004; 35: 743-754.
- [13] Yuhei, K., Takayuki, H., Yoshinari, Y. and Keishi, T. Investigation on dust collection and particle classification performance of cyclone by airflow control for design of cyclones. *Powder Technology*, 2015; 277: 22-35.
- [14] Irfan, K., Atakan, A., Ali, S. and Omer, S. Design and performance evaluation of a new cyclone separator. *Journal of Aerosol Science*, 2013; 59: 57-64.
- [15] Pishbin, S.I. and Moghiman, M. Optimization of cyclone separators using genetic algorithm. *International Review of Chemical Engineering*, 2010; 2(6): 683-691.