อิทธิพลของอากาศทุติยภูมิต่อพฤติกรรมการดักฝุ่นในไซโคลนหลายขั้น
Effect of The Secondary Air on Collection Behaviors of A Multiple Dust Cyclone

วิศิษฐ์ ลีลาผาติกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163
โทร. 0-2457-0068, โทรสาร 0-2457-3982, E-mail: wisitle17@yahoo.com, wisit.l@siam.edu

Wisit Lelaphatikul
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University
235 Petkasam Road, Phasicharoen, Bangkok 10163
Tel. 0-2457-0068, Fax 0-2457-3982, E-mail: wisitle17@yahoo.com, wisit.l@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิต่อการดักฝุ่นในถังไซโคลนหลายขั้น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังไซโคลน (D) มีขนาดเท่ากับ 282 mm ความสูงของถังไซโคลนเท่ากับ 1,200 mm กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังไซโคลนสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ขนาด คือ 211.5 mm (0.75D) และ 282 mm (1.0D) ตามต้องการ ซึ่งมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบๆ ผนังไซโคลน เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวน ของอากาศภายใน โดยแต่ละการทดลองกำหนดอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้า (λ) เท่ากับ 0.0, 0.25 และ 0.35 ซึ่งในการทดลองจะใช้ฝุ่นทั้งสิ้น 6 ชนิดด้วยกัน คือ แกลบ, แกลบเผา, กากมะพร้าว, กากมะพร้าวเผา, กระดาษเผา และทรายละเอียด โดยจากการทดลองพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 1.0D และ λ เท่ากับ 0.35 จะให้ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นของไซโคลนหลายขั้นสูงสุด เท่ากับ 96 %

คำสำคัญ: ไซโคลน, การไหลหมุนวนอากาศ

Abstract

This paper presents the experimental study of the secondary air on collection behaviors of a multiple dust cyclone. The cyclone diameter (D) is 0.282 m (D) and 1.2 m height. The diameter of cyclone is designed to be adjustable for two sizes 211.5 mm (0.75D) and 282 mm (1.0D) as desired with a set of air nozzles placing circumferentially on the cyclone to produce inside air-swirl flow. The ratio of the secondary air to the inlet air (λ) was set to be 0.0, 0.25 and 0.35 for each case. Six types of dust were employed in the experiments, namely; rice husk, rice husk soot, coconut-shell, coconut-shell soot, paper soot and fine sand. The experiment shows the greatest efficiency of a multiple dust cyclone is 96 % when for the combination of cyclone size 282 mm (1.0D) and λ = 0.35.

Keyword: cyclone, air-swirl flow

1. บทนำ

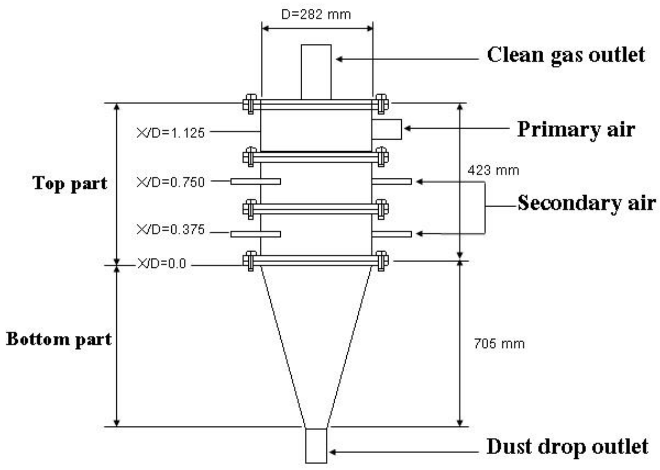
ในปัจจุบันนี้ มลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้บรรยากาศมีทั้งก๊าซพิษและฝุ่นละอองต่างๆมากมาย อันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ อนุภาคที่ปล่อยออกมามีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปะปนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันและบำบัดอากาศก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยปัจจุบันทั่วไปแล้วมีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ เช่น เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน(Centrifugal Separator or Cyclone) [1], เครื่องตกตะกอนอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิติ (Electrostatic Precipitator) [2], เครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet Scrubber) [3] และ เครื่องกรองอนุภาคด้วยเส้นใย (Fabric Filter) [3] เป็นต้น ซึ่งเครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลนมีความสามารถในการเก็บอนุภาคขนาดกลางได้ดี ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ ซ่อมแซมง่าย และมีความดันสูญเสียปานกลาง สามารถทำงานในกรณีที่มีฝุ่นจำนวนมากและก๊าซได้หลายชนิด ซึ่งสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิและความดันสูง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเพิ่มอากาศทุติยภูมิในไซโคลนหลายขั้น เพื่อให้เกิด Strong swirl flow [4] ในขณะเกิดการหมุนวนของอนุภาคฝุ่นชนิดต่างๆ ภายในไซโคลน ซึ่งจะช่วยทำให้อนุภาคฝุ่นเกิดความเร็วสัมผัสในแนวรัศมี (tangential velocity) สูงขึ้น อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่าก็จะถูกดึงลงมาสู่ด้านล่างของไซโคลน ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่าก็จะลอยออกสู่ด้านบนของไซโคลน ซึ่งจากการทดลอง จะพิจารณาถึงประสิทธิภาพการทำงานของถังไซโคลน ในการเก็บอนุภาคฝุ่นที่ดีที่สุด

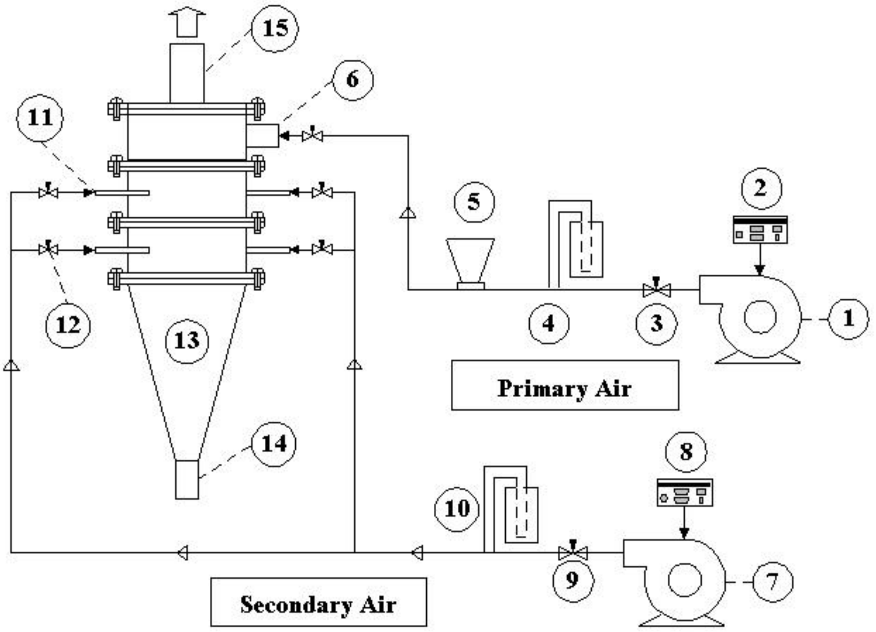
2. อุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบถังไซโคลนที่ใช้ในการทดลองนั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 0.75D และ 1.0D (โดยค่า D มีค่าเท่ากับ 282 mm) เพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดในการดักฝุ่น ซึ่งลักษณะของไซโคลนมีลักษณะดังรูปที่ 1

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบตัวถังไซโคลนแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน โดยอากาศที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอากาศ 2 ส่วน คือ อากาศส่วนปฐมภูมิ (Primary Air) เป็นอากาศที่เข้าทาง inlet air(6) และ อากาศส่วนทุติยภูมิ (Secondary Air) เป็นอากาศที่ฉีดเข้าทางท่อลม (Secondary Air Nozzle)(11) บริเวณส่วนบนของถังไซโคลน โดยอากาศทั้ง 2 ส่วนจะได้จากแหล่งต้นกำลัง คือ Blower 3 HP จำนวน 2 ชุด(1 และ 7) และมีชุด Power Supply (2 และ 8) ใช้ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของชุดมอเตอร์ขับของ Blower (1) ในส่วนของอากาศในท่อ Primary Air จะผ่านชุด Needle Valve (3) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate และManometer(4) ส่วน Secondary Air จะผ่านเข้าสู่ท่อลมโดยมีชุด Needle Valve(9) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลและวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate และ Manometer (10) และจะแบ่งอากาศส่วนนี้ออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยจะจ่ายลมเข้าทางผนังบริเวณกึ่งกลางถังไซโคลนส่วนบน ซึ่งท่อลมจะติดตั้งสัมผัสผนังด้านในของไซโคลนและ ตั้งฉากกับรัศมีภายในทุก ๆ 90 องศา การฉีดอากาศส่วนทุติยภูมิจะฉีดที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.375 และ 0.750 ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย X/D คือ อัตราส่วนระหว่างความสูงส่วนบน(Top part)ต่อรัศมีภายในของถังไซโคลน)



รูปที่ 1 ลักษณะและตำแหน่งท่ออากาศของไซโคลน



1. Primary Blower 2. Power Supply 3. Needle Valve 4. Manometer 5. Hopper 6. Inlet air
7. Secondary Blower 8. Power Supply 9. Needle Valve 10. Manometer 11. Secondary Air Nozzle
12. Needle Valve 13. Cyclone 14. Stack 15. Dust Drop Tube

รูปที่ 2 องค์ประกอบของอุปกรณ์การทดลองไซโคลน

ในการศึกษาสมรรถนะของไซโคลน ทำการคำนวณและออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบของ Stairmand [5] โดยทำการทดลองหาจากประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนในการดักเก็บอนุภาคฝุ่น ซึ่งสามารถหาได้ จากสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคของไซโคลน}(\eta_c) = \frac{m_c}{m_i}$$

โดย m_c = มวลของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้

m_i = มวลของอนุภาคที่ทางเข้าไซโคลน

3. การทดลอง

1. ทำการติดตั้งชุดไซโคลนพร้อมอุปกรณ์การทดลอง โดยขนาดของไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 1.0D ดังรูปที่ 2

2. กำหนดอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้า (λ) เท่ากับ 0.0

3. เตรียมฝุ่นที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ แกลบ, แกลบเผา, กากมะพร้าว, กากมะพร้าวเผา, กระดาษเผา และ ทรายละเอียด มาชั่งน้ำหนักในปริมาณ 500 กรัม ซึ่งในการทดลองครั้งแรกจะใช้ ฝุ่นจากแกลบทดลอง

4. นำฝุ่นแกลบใส่ผ่านลง Hopper ซึ่งจะทำให้ฝุ่นจะถูกเป่าเข้าไปในไซโคลนที่ช่องทาง inlet air

5. ทำการจับเวลาขณะชุดทดลองเริ่มทำงานเป็นเวลา 5 นาที แล้วปิดสวิตซ์ หยุดการทำงานของเครื่อง

6. ปลดถุงเก็บฝุ่นจากไซโคลน มาชั่งน้ำหนักฝุ่นที่ได้จากการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

7 เปลี่ยนอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้า จาก λ เท่ากับ 0.0 เป็น 0.25 และ 0.35 ตามลำดับ โดยฉีดอากาศเข้าที่ไซโคลนส่วนบนที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.375 (ดังรูปที่ 1) แล้วทดลองซ้ำข้อที่ 4-6

8. เปลี่ยนตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิจาก X/D เท่ากับ 0.375 เป็น X/D เท่ากับ 0.75 และทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4-7

9. จากข้อที่ 4 เปลี่ยนจากฝุ่นแกลบ เป็นชนิดฝุ่นตามข้อที่ 3 ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4-8

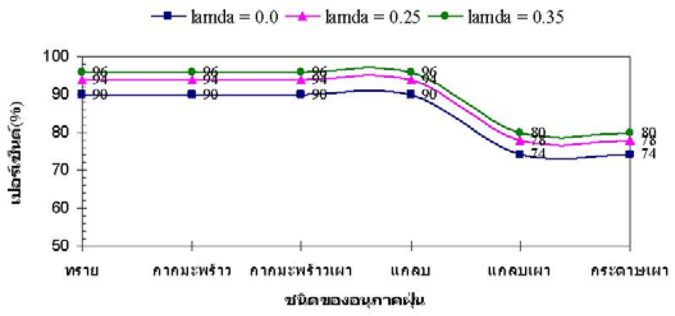
10. เปลี่ยนขนาดของไซโคลนส่วนบนจาก 1.0D เป็น 0.75D และทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2-9

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการดักอนุภาคฝุ่นด้วยไซโคลนหลายขั้น โดยการวัดปริมาณอนุภาคฝุ่นที่ไซโคลนสามารถดักเก็บได้ ซึ่งการทดลองได้ทำการหาตัวแปรที่มีผลต่อการดักอนุภาคฝุ่น ได้แก่ ความเร็วของอากาศทุติยภูมิ, ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนบนของไซโคลน และ ชนิดของอนุภาคฝุ่น ดังนี้

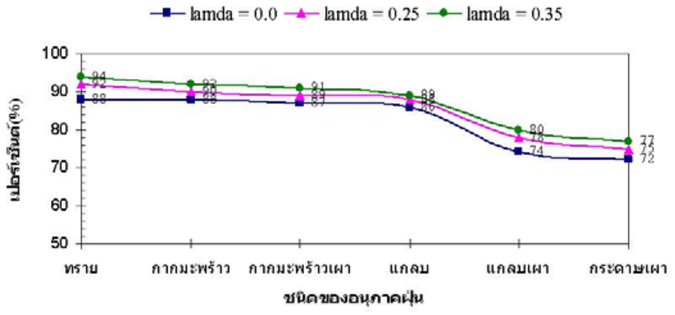
4.1 อิทธิพลของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้า

จากการทดลอง การหาประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นของไซโคลนนั้น สังเกตจากรูปที่ 3, 4 และ 5 พบว่า ในขณะทำการทดลองการดักอนุภาคฝุ่นทุกชนิดของไซโคลน ในขณะที่ไม่มีอากาศทุติยภูมิ (λ = 0.0) จะให้ประสิทธิภาพการดักฝุ่นต่ำกว่า การให้อากาศทุติยภูมิแก่ไซโคลนในขณะดักฝุ่น เนื่องด้วยการให้อากาศทุติยภูมิกับไซโคลนนั้นเป็นการช่วยเพิ่มความเร็วแนวสัมผัสให้กับอนุภาคฝุ่นมากขึ้น อนุภาคบางส่วนจะเกิดการแยกออกจากกัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจะถูกดึงลงสู่ส่วนล่างของไซโคลน (Dust drop outlet) จึงเหลือเพียงแต่อนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้นถึงจะหลุดออกสู่ส่วนบนของไซโคลน (Clean gas outlet) จึงทำให้อนุภาคฝุ่นที่หลุดออกจากไซโคลนลดลง ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นจึงสูงขึ้นตามกราฟ ซึ่งที่ λ เท่ากับ 0.35 จะให้ประสิทธิภาพการอนุภาคดักฝุ่นดีกว่าที่ λ เท่ากับ 0.25 เนื่องจากอากาศทุติยภูมิที่ λ เท่ากับ 0.35 จะมีความเร็วมากกว่าที่ λ เท่ากับ 0.25 จึงส่งผลต่อการแยกอนุภาคฝุ่นได้ดีกว่า ดังสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นชนิดต่าง ๆ เมื่อ ขนาดของไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 1.0D ที่ x/D = 0.75

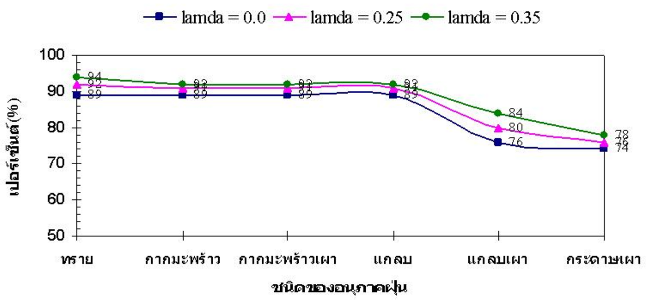
4.2 อิทธิพลของขนาดส่วนบนไซโคลน และ ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นชนิดต่าง ๆ เมื่อ ขนาดของไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 0.75D ที่ X/D = 0.75

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าขนาดของไซโคลนส่วนบนที่ 0.75D ให้ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นใกล้เคียงกับรูปที่ 3 (ขนาดของไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 1.0D) และแนวโน้มของการดักอนุภาคฝุ่นทุกประเภทมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ส่วนการทดลองโดยเปลี่ยนตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมินั้น ซึ่งจากการทดลองในรูปที่ 4 และ 5 พบว่า การ

ฉีดอากาศเข้าที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.375 (ดังรูปที่ 1) จะให้ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นดีกว่า ที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.75



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นชนิดต่าง ๆ เมื่อ ขนาดของไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 0.75D ที่ X/D = 0.375

4.3 อิทธิพลของขนาดอนุภาคฝุ่น

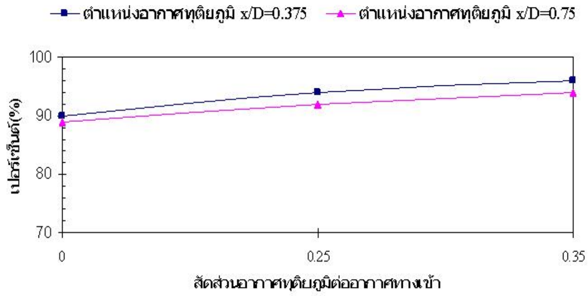
จากผลการทดลอง ดังรูปที่ 3, 4 และ 5 พบว่า ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นทรายละเอียด, กากมะพร้าว, กากมะพร้าวเผา และ แกลบมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากขนาดของอนุภาคฝุ่นดังกล่าวมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่อนุภาคฝุ่น แกลบเผา และกระดาษเผา จะได้ประสิทธิภาพต่ำกว่า เนื่องจากแกลบ และ กระดาษที่เผาแล้ว น้ำหนักของอนุภาคจะเบา ขนาดเล็ก โดยหลังจากที่ผ่านเข้าไปทาง inlet air แล้วอนุภาคส่วนใหญ่จะแตกตัวออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ จึงทำให้ไซโคลนดักฝุ่นได้ ในปริมาณน้อยลง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นของไซโคลน ได้แก่ อากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้าไซโคลน, ขนาดของไซโคลนส่วนบน และ ตำแหน่งฉีดอากาศทุติยภูมิ โดยพิจารณาได้ดังนี้

1. อากาศทุติยภูมิมีส่วนช่วยทำให้เกิดการหมุนวนแบบปั่นป่วนภายในไซโคลนมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการกระจายแตกตัวของอนุภาค ซึ่งอนุภาคส่วนหนึ่งจะถูกดูดลงสู่ส่วนล่างของไซโคลน ด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จาก tangential velocity ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่า ก็จะลอยออกสู่ส่วนบนที่ทางออกของไซโคลน ซึ่งจะให้ผลของการดักอนุภาคฝุ่นได้ดีกว่า การที่ไม่มีอากาศทุติยภูมิ (λ = 0.0)

2. ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิ มีผลต่อประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นของไซโคลน เนื่องจากการฉีดอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.375 นั้น จะทำให้เกิดช่องว่างอากาศภายในไซโคลนระหว่างตำแหน่งท่ออากาศทางเข้า (inlet air) และท่ออากาศทุติยภูมิ (secondary air) มีลักษณะเป็นชั้นอากาศหมุนวนด้วยความเร็วแนวสัมผัส 2 ชั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการหมุนวนของอนุภาคฝุ่นภายในไซโคลนปั่นป่วนมากยิ่งขึ้น ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นจึงดีกว่า การฉีดอากาศเข้าที่ตำแหน่ง X/D เท่ากับ 0.75 เพราะที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นท่ออากาศทุติยภูมิจะอยู่ใกล้กับท่อ inlet air มากเกินไป ทำให้การหมุนวนของอนุภาคฝุ่นภายในไซโคลนจะเกิดการหมุนด้วยความเร็วแนวสัมผัสชั้นเดียว ทำให้ประสิทธิภาพการดักฝุ่นจึงต่ำกว่า ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการดักฝุ่นของไซโคลนหลายขั้น ณ ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ

3. ความแตกต่างของขนาดส่วนบนไซโคลน คือ ที่ขนาด 1.0D และ 0.75D มีผลต่อประสิทธิภาพการดักฝุ่นไม่มากนัก

4. ประสิทธิภาพการดักฝุ่นของไซโคลน จะให้ประสิทธิภาพได้ดีกับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดประมาณ 150 ไมครอนขึ้นไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสยาม ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยของคณาอาจารย์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Crawford Martin (1976):”Air Pollution Control Theory”, McGraw-Hill, New York, 1976, pp. 259- 294
[2] Theodore Louis, Buonicore Aanthony J. (1976):”Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates”, CRC Press, Cleveland, 1976, pp. 91-137
[3] Dullien F.A.L. (1989): “Introduction to Industrial Gas Cleaning”, Academic Press, San Diego, 1989, pp. 55-90
[4] David G. Sloan, Philip J. Smith and L. Douglas Smooth“ Modeling of Swirl in Turbulent Flow Systems” Energy Combustion Sci, 1986, Vol. 12, pp. 163-250.
[5] H. F. Meier and M. Mori, 2004: “Drop in Cyclones Using Computational Fluid Dynamics Techniques” Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 21, No.01, pp. 93-101.