การศึกษาสมรรถนะของไซโคลนชนิด Free Vortex และ Forced Vortex

A Study in the Performance of Free Vortex and Forced Vortex Cyclone

ธวัชชัย นาคพิพัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 0-23264197 ต่อ 5037 โทรสาร 0-23264198 E-mail: kntawatc@kmitl.ac.th

Tawatchai Nakpipat
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd, Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand
Tel. 0-23264197 Ext. 5037 Fax 0-23264198 E-mail: kntawatc@kmitl.ac.t

บทคัดย่อ

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเพื่อใช้เก็บฝุ่นในงานทั่วไปและงานอุตสาหกรรม ไซโคลนที่ใช้กันโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากความเร็วที่ต่ำเกินไป การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของไซโคลนชนิด Free Vortex และ Forced Vortex โดยมีการเปลี่ยนแปลงองศาใบพัด, อัตราการไหลของอากาศ, และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกของอากาศ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของไซโคลน จากการศึกษาจึงได้นำเอาทางเข้าแบบโอบรอบและแบบแนวแกนมาผสมผสานกันและทำการออกแบบใช้ใบพัดเพื่อให้ไซโคลนมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น ผลของการทดลองทำให้ได้ประสิทธิภาพของการทำงานที่ดีขึ้นสามารถใช้งานได้ดีกว่าเดิม

Abstract

Cyclone is important equipment for used in general and industry. Normal cyclones have low effective by too low gas velocity. This research is mainly studied the effect to cyclone efficiency in free and forced vortex cyclone by varying vane angle, air flow rate and outlet diameter. The target was achieved by an experiment cyclone which combines with a wrap-around entry and an axial entry and used optimum of blade angle control system.

บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้มีจำนวนเพิ่มขึ้นมาก ทำให้เกิดมลพิษจากฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง เราจึงได้ทำการศึกษาไซโคลนและค่าต่างๆที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถออกแบบไซโคลนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อทำการศึกษาถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างไซโคลนชนิด Free Vortex และ Forced Vortex

2) เพื่อทำการศึกษาถึงผลขององศาใบพัด, อัตราการไหลของอากาศ และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกของอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของไซโคลน

3) เพื่อทำการพัฒนาและออกแบบไซโคลนให้มีประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นมากยิ่งขึ้น

4) เพื่อทำการออกแบบกลไกควบคุมมุมของใบพัดที่สภาวะอัตราการไหลและและที่ท่อทางออกต่างๆ

ทฤษฎี

ไซโคลน คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บฝุ่นละอองที่มากับอากาศ โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนของอากาศ เพื่อให้ฝุ่นละอองนั้นถูกเหวี่ยงออกมาชนกับผนังของไซโคลน และค่อยเลื่อนลงที่เก็บฝุ่นด้านล่าง ส่วนอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วก็จะหมุนด้วยทวนทิศทางกับอากาศที่เข้ามาสู่ด้านบนของไซโคลนและระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก

รูปที่ 1 ภาพแสดงชุดทดลองไซโคลนชนิด Forced Vortex

ชนิดของไซโคลนที่ใช้ในการทดลอง

1) ไซโคลนชนิด Forced Vortex ใช้หลักการของ Forced Draft คือการใช้ Blower ซึ่งติดอยู่ที่ทางเข้าของอากาศอัดอากาศเข้าไปในไซโคลน

2) ไซโคลนชนิด Free Vortex ใช้หลักการของ Induced Draft คือการใช้ Blower ซึ่งติดอยู่ที่ทางออกของอากาศดูดอากาศเข้าไปในไซโคลน

รูปที่ 2 ภาพแสดงชุดทดลองไซโคลนชนิด Free Vortex

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1) ประสิทธิภาพของไซโคลน [1][2]

$$\eta = 1 - \exp\left[- \frac{\rho_p Q d^2 \theta_1}{36 \mu W \left(r_2 - \sqrt{r_1 r_2}\right)\left(r_2 - r_1\right)} \right] \quad [1]$$

เมื่อ ρ_p = ความหนาแน่นของฝุ่น $\frac{kg}{m^3}$

Q = อัตราการไหลของอากาศ $\frac{m^3}{s}$

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่น m

θ_1 = มุมที่ทำให้เกิดไซโคลนพอดี rad

μ = ค่าความหนืดสมบูรณ์ของอากาศ $\frac{N.s}{m^2}$

W = ระยะพิตช์ของไซโคลน m

r_2 = รัศมีภายนอกของไซโคลน m

r_1 = รัศมีภายในของไซโคลน m

2) มุมที่ทางออกของอากาศที่ใบพัด

$$\alpha_2 = \beta_2 - \delta_2 \quad [2]$$

เมื่อ α_2 = มุมทางออกของอากาศที่ใบพัด

β_2 = มุมทางออกของใบพัด

δ_2 = มุมเบี่ยงเบนของอากาศที่ใบพัด

ระยะพิตช์ของไซโคลน

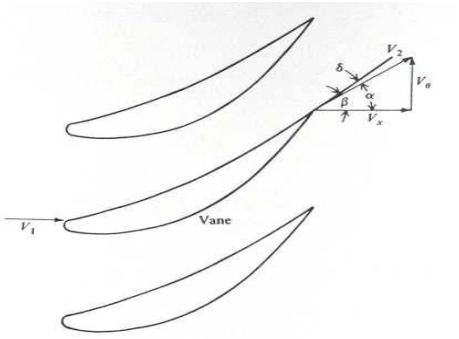
$$W = 2\pi r_2 \cot \alpha_2 \quad [3]$$

3) ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่น

$$\eta = \frac{m_o}{m_i} x \ 100 \ \% \quad [4]$$

เมื่อ m_o = มวลของฝุ่นที่เก็บได้ g

m_i = มวลของฝุ่นที่ใส่เข้าไป g



รูปที่ 3 ภาพแสดงลักษณะใบพัดและมุมต่างๆของใบพัด

4) อัตราการไหลโดยมวล

$$\dot{m}_a = \alpha A \sqrt{2 g \gamma h} \quad [5]$$

เมื่อ $\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศ $\frac{kg}{s}$

α = ค่างที่ของการไหล = 0.75

A = พื้นที่รูของออริฟิส m^2

g = ความเร่ง $\frac{m}{s^2}$

γ = น้ำหนักจำเพาะของอากาศ $\frac{kg}{m^3}$

h = ความแตกต่างของความดันที่ออริฟิซ mmH_2O

ส่วนประกอบชุดทดลอง

1. เครื่องอัดอากาศ ขนาด 7.5 hp
2. ชุดท่อทางดูด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm
3. orifice ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 cm
4. ชุดท่อทางเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 cm
5. ใบพัดและปลอกใบพัด
6. ไซโคลน ขนาดตามรูปที่ 5
7. ฝุ่นขนาดต่างๆ
   - 7.1 ฝุ่นหยาบ ขนาดใหญ่กว่า 300 μm
   - 7.2 ฝุ่นกลาง ขนาด 150 ถึง 300 μm
   - 7.3 ฝุ่นละเอียด ขนาดเล็กกว่า 300 μm
   - 7.4 ฝุ่นธรรมดาผสมทั้งสามขนาดในอัตราส่วนที่เท่ากัน

อุปกรณ์การวัด

ประกอบด้วยมิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น บารอ มิเตอร์ ตัววัดองศาใบพัด เครื่องชั่งน้ำหนักฝุ่น มานอมิเตอร์ และตะแกรงคัดแยกขนาดฝุ่น

ขั้นตอนการทดลอง

ในโครงงานนี้ทำการทดลองกับไซโคลนขนาดเล็ก ที่มีการไหลแบบ Forced vortex และ Free vortex โดยแต่ละชนิดของการไหลจะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหล และมุมใบพัดที่ออกแบบไว้ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1)ปรับมุมใบพัดที่ 10 องศา แล้วประกอบชุดทดลอง

2)ปรับอัตราการไหลของอากาศไปที่ค่ามากที่สุด โดยการเปิด damper ให้กว้างสุด

3)ทำการอ่านค่าอุณหภูมิและความดันจากมานอมิเตอร์

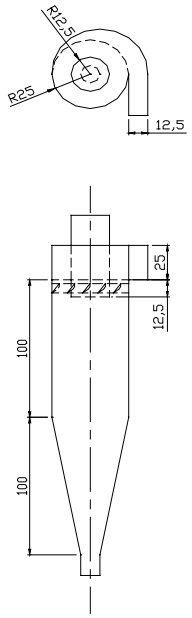
4)ชั่งฝุ่นที่จะทำการทดลอง โดยเริ่มจากฝุ่นธรรมดา

5)ใส่ฝุ่นเข้าไซโคลน รอจนเก็บฝุ่นหมด จึงนำฝุ่นที่เก็บจากไซโคลนไปชั่งตรวจสอบ

6)ทดลองตามข้อ 3 – 5 โดยเปลี่ยนขนาดฝุ่นเป็น หยาบ กลาง ละเอียด และผสม ตามลำดับ

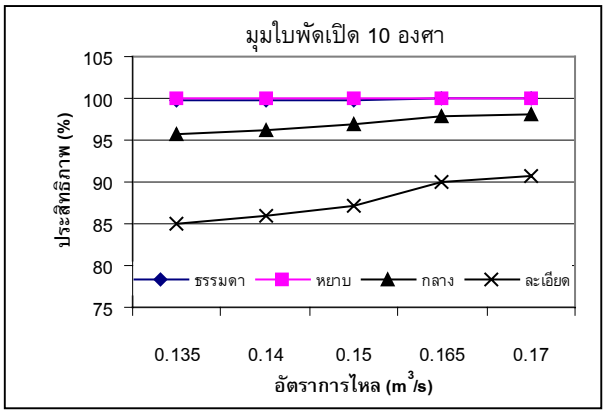
7)ทดลองตามข้อ 3 – 6 โดยปรับลดอัตราการไหลของลมลง ปรับให้ pressure drop ที่ orifice ที่อ่านค่าได้จากมานอมิเตอร์เป็น 28 mm.H_2O และเมื่อทำครบแล้วให้ปรับลดลงมาที่ 26 , 24 และ 22 mm.H_2O ตามลำดับ

8)เปลี่ยนมุมใบพัดเป็น 20 องศา ทำการทดลองตามข้อ 2 – 7 และเมื่อทำครบแล้วให้ปรับเพิ่มมุมใบพัดครั้งละ 10 องศาแล้วทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 4 ภาพแสดงรูปร่างและขนาดของไซโคลนที่ใช้ทำการทดลอง

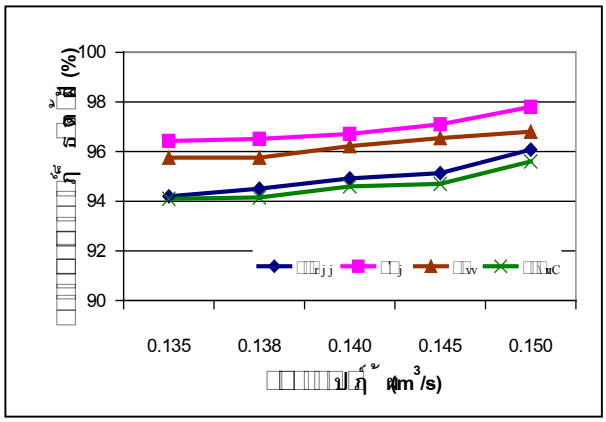
จากผลการคำนวณในตอนแรก เมื่อใช้ใบพัดปรับองศาการไหลของอากาศแบบเดิม ซึ่งมีลักษณะเป็นใบเรียบบางโค้ง และได้ทำการดัดแปลงองศาของใบให้ปรับได้ จากการทดลองไซโคลนดังกล่าวสามารถให้ประสิทธิภาพได้ตามรูปที่ 5 โดยการกรองฝุ่นจะทำได้ดีเมื่อเป็นฝุ่นหยาบ และเมื่อฝุ่นมีความละเอียดมากขึ้นความสามารถในการเก็บจะลดลง เป็นอย่างนี้ในทุกขนาดของมุมที่ปรับ แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการเก็บฝุ่นจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์และทิศทางการไหลของอากาศนั่นเอง



รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพของไซโคลนจากการคำนวณ เมื่อใช้ใบพัดแบบธรรมดา

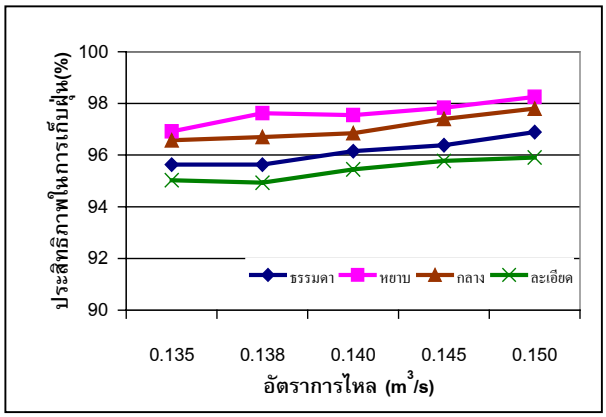
ผลการทดลอง

ผลการทดลองต่อไปนี้ได้มาจากการทดลองหาประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลน ด้วยการใช้ฝุ่นขนาดต่าง ๆและฝุ่นผสมเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างการไหลแบบ Free Vortex ตามรูปที่ 6-9 และ Forced Vortex ตามรูปที่ 10-13

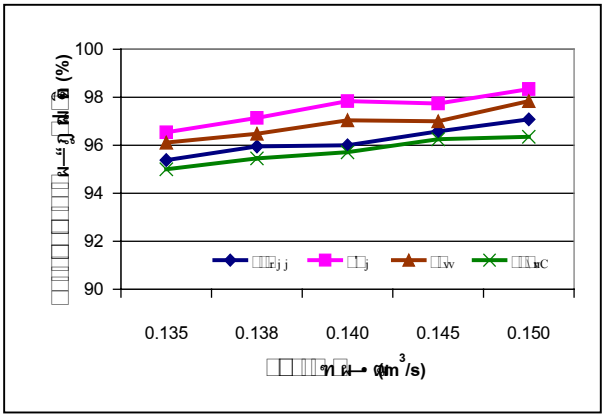


รูปที่ 6 การเก็บฝุ่นแบบ Free vortex ที่มุมใบพัด 10 องศา

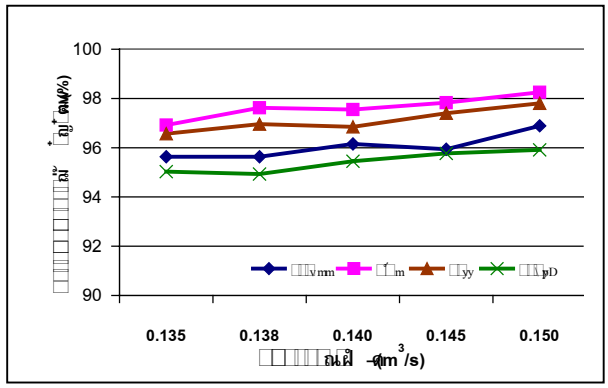
จากกราฟในรูปที่ 6 ที่มุมใบพัดเอียง10 องศา ประสิทธิภาพของการเก็บฝุ่นขนาดกลางและละเอียดดีมากกว่าการใช้ใบพัดตามทฤษฎีด้วยใบธรรมดา ส่วนฝุ่นหยาบจะให้ประสิทธิภาพของการเก็บได้น้อยกว่า โดยภาพรวมจะเห็นว่าประสิทธิภาพมีค่าไม่กระจายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 การเก็บฝุ่นแบบ Free vortex ที่มุมใบพัด 20 องศา



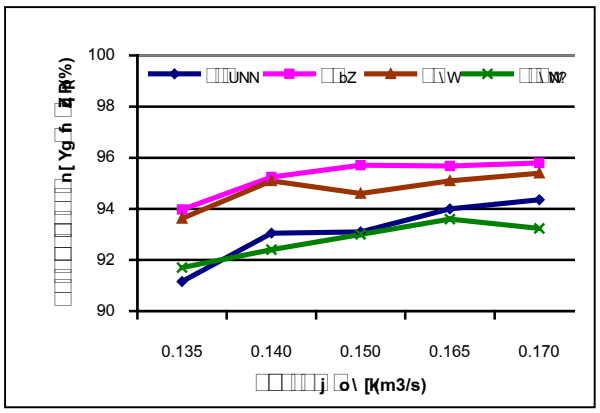
รูปที่ 8 การเก็บฝุ่นแบบ Free vortex ที่มุมใบพัด 40 องศา



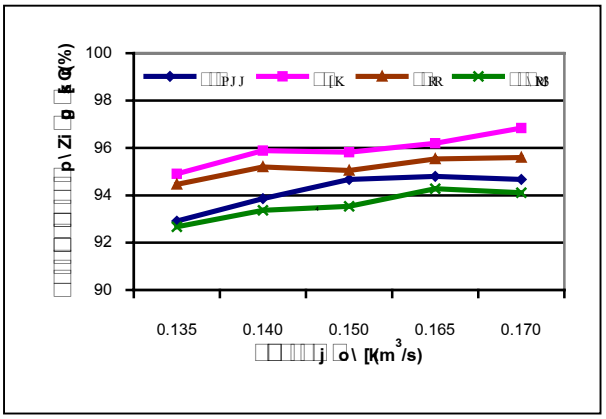
รูปที่ 9 การเก็บฝุ่นแบบ Free vortex ที่มุมใบพัด 60 องศา

จากรูปที่ 6-9 ทำให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าใบพัดที่ออกแบบมาใช้งาน สามารถเก็บฝุ่นที่มีขนาดละเอียดได้ดีกว่าทางทฤษฎีเมื่อใช้ใบพัดแบบธรรมดาและดีมากขึ้นตามการเพิ่มองศาของใบพัด ส่วนฝุ่นหยาบก็มีการเก็บที่ดีขึ้นตามองศาการเปิดที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่เท่ากับทางทฤษฎีของการใช้ใบพัดแบบเดิม และจากการเปรียบ เทียบประสิทธิภาพของการเก็บฝุ่นที่ได้จากการทดลองทั้งหมด มุมการเปิดของใบพัดที่ดีที่สุดอยู่ที่ 50 องศา

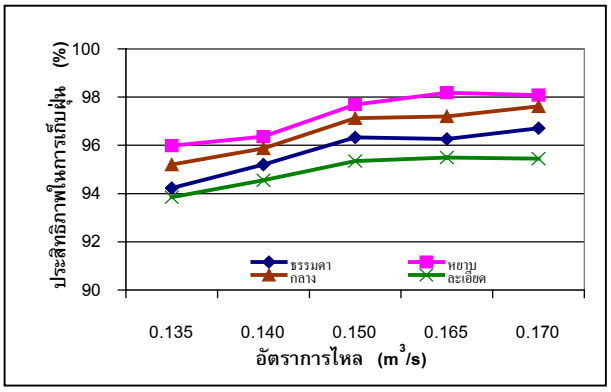
สำหรับการทดลองแบบ Forced vortex นั้น จะได้ผลของการทดลองเมื่อมีการเปิดมุมใบพัดเช่นเดียวกับการไหลแบบ Free vortex เป็นไปตามรูปที่ 10-13 สังเกตได้อย่างชัดเจนว่าไซโคลนที่มีการไหลแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพของการเก็บฝุ่นในทุกขนาดต่ำกว่าการไหลแบบ Free vortex โดยตลอด



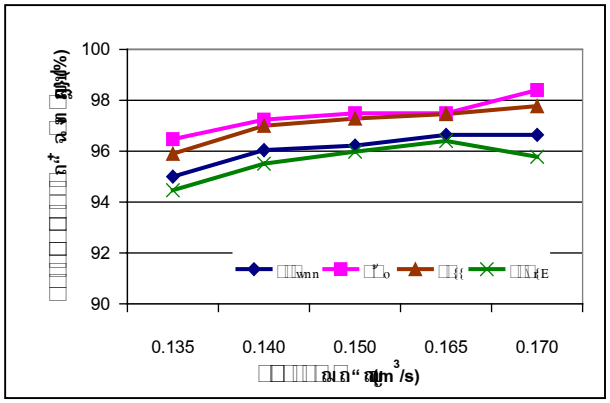
รูปที่ 10 การเก็บฝุ่นแบบ Forced vortex ที่มุมใบพัด 10 องศา



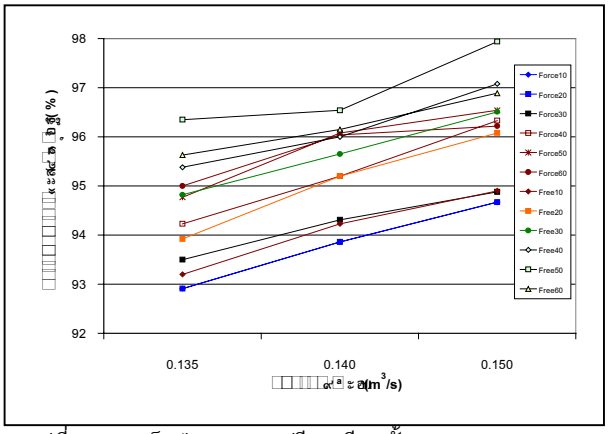
รูปที่ 11 การเก็บฝุ่นแบบ Forced vortex ที่มุมใบพัด 20 องศา



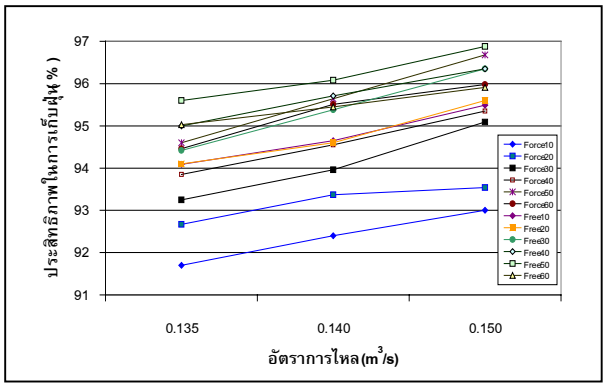
รูปที่ 12 การเก็บฝุ่นแบบ Forced vortex ที่มุมใบพัด 40 องศา



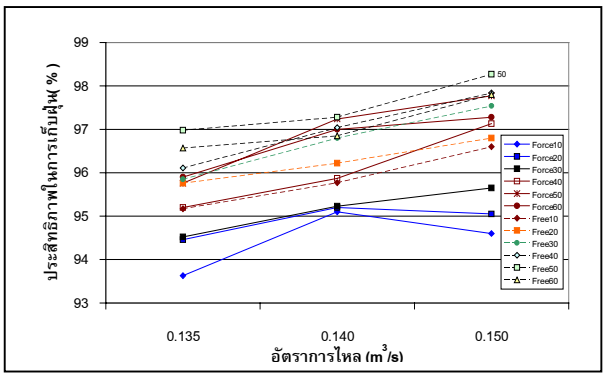
รูปที่ 13 การเก็บฝุ่นแบบ Forced vortex ที่มุมใบพัด 60 องศา



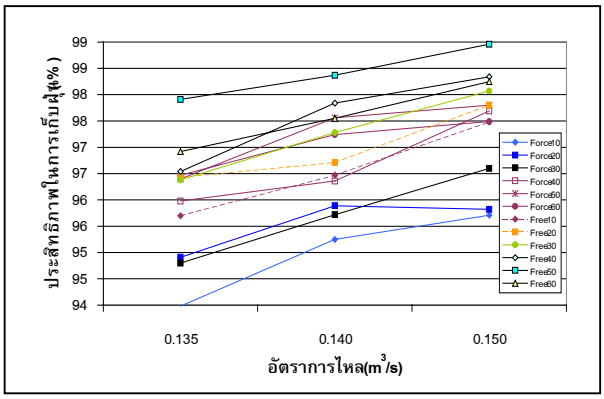
รูปที่ 14 การเก็บฝุ่นธรรมดาเปรียบเทียบทั้งแบบ Forced vortex และแบบ Free vortex



รูปที่ 15 การเก็บฝุ่นละเอียดเปรียบเทียบทั้งแบบ Forced vortex และแบบ Free vortex



รูปที่ 16 การเก็บฝุ่นปานกลางเปรียบเทียบทั้งแบบ Forced vortex และแบบ Free vortex



รูปที่ 17 การเก็บฝุ่นหยาบเปรียบเทียบทั้งแบบ Forced vortex และแบบ Free vortex

จากผลของการทดลองตามรูปที่ 14-17 โดยใช้ฝุ่นขนาดต่างๆ กัน เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเก็บฝุ่นระหว่างแบบ Forced vortex และแบบ Free vortex โดยที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากัน แต่ความสามารถในการเก็บฝุ่นแบบ Free vortex จะทำได้มากกว่าแบบ Forced vortex และเมื่อใช้ใบพัดที่ออกแบบไว้ซึ่งเป็นใบพัดที่มีลักษณะของหัวฉีดแบบ Convergent-divergent มีการไหลแบบตามแนวแกน จึงมีลักษณะทางพลศาสตร์ที่ดีกว่าของเดิม อย่างไรก็ตามการไหลทั้งสองรูปแบบ สามารถเก็บฝุ่นละเอียดได้มากกว่าความสามารถทางทฤษฎีเมื่อใช้ใบพัดแบบเดิม ซึ่งเป็นแผ่นโค้งธรรมดา ในทุกช่วงปริมาณอากาศที่ไหล

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปผลของไซโคลนตามสภาวะต่างๆได้ดังนี้

1.ใบพัดแบบใหม่ให้ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นละเอียดจริงได้มากกว่าประสิทธิภาพทฤษฎีของใบพัดแบบเดิม

2.ปริมาณของลมมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพ ทำให้ประสิทธิภาพของการเก็บฝุ่นเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นในทุกๆมุมของใบพัดที่เปิด แต่ต้องไม่มากเกินไปจนทำให้ความดันภายในไซโคลนสูงเกินไป

3.ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลนที่ใส่ใบพัดชุดใหม่จะมีค่าที่สูงกว่าประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลนที่ใส่ใบพัดชุดเดิม สูงขึ้นประมาณ 0-20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับมุมของใบพัดและขนาดของฝุ่นที่ใช้ทำการทดลอง เนื่องจากไซโคลนที่ใส่ใบพัดชุดใหม่สามารถทำความเร็วของลมได้สูงกว่า ขณะที่ปรับมุมใบพัดอยู่ที่องศาเดียวกัน

4.ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลน จะเพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมของใบพัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมุมเกลียวของอากาศที่ออกจากใบพัดมีค่าสูงขึ้น และสูงสุดเมื่อใบทำมุม ที่ 50 องศา ทั้ง Free vortex cyclone และ Forced vortex cyclone

5.ที่อัตราการไหลเดียวกัน Free vortex cyclone จะให้ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นที่สูงกว่า Forced vortex cyclone ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Wark Kenneth, “*Air Pollution: its origin and control* ”, 3rd edition, Menio Park, CA : Addison Wesley, 1998, pp.259-294

[2] Crawford Martin, “ *Air Pollution Control Theory* ”, New York : McGraw-Hill , pp.225-232

[3] H Cohen,GFC Rogers, HIH Saravanamuttoo, “*Gas Turbine Theory* ”, 4th edition, Longman , pp.293-298

[4] การเก็บรวบรวมฝุ่น, มลภาวะอากาศ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพ, ดร.ชิคาโอะ คานาโอกะ

[5] ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ , “*เอกสารประกอบการทดลอง Air Flow Demonstration Apparatus (Air Experiment Machine)* ”