

ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ส่วนที่ 1: อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง

The Particles Collection Efficiency of an Electrostatic Precipitator

Part I: Soot and Talcum Powder Particles

วชร กาลาสี¹ นฤบดี ศรีสังข์² ภัทร สุพัตกุล³ และ พีระพงษ์ ทิมสกุล⁴

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ³สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (วิทยาเขตชุมพร) อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160 โทรศัพท์ 0-7750-6434 โทรสาร 0-7750-6434 Email: kwachar@kmitl.ac.th¹

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ 0-7428-7035 โทรสาร 0-7421-2893 Email: perapong.t@psu.ac.th⁴

W. Kalasee¹, N. Srisang², P. Suppatkul³ and P. Tekasakul⁴

^{1,2}Department of Mechanical Engineering, ³Department of Food Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon Campus, Chumco, Pathiu, Chumphon 86160 Tel: 0-7750-6434 Fax: 0-7750-6434 Email: kwachar@kmitl.ac.th¹

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkla 90112
Tel: 0-7428-7035 Fax: 0-7421-2893 Email: perapong.t@psu.ac.th⁴

บทคัดย่อ :

อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศและปัญหาสุขภาพของมนุษย์ บทความนี้จึงได้ทำการศึกษาดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งที่เจือปนในอากาศที่มีอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียวที่มีท่อนลวดทำหน้าที่เป็นขั้วเก็บอนุภาคและมีลวดทองแดงที่อยู่กลางท่อทำหน้าที่เป็นขั้วโคโรนาจ่ายประจุให้กับอนุภาค จากผลการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้มีค่าประมาณ 50% และ 35% ตามลำดับ

คำหลัก เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต, อนุภาคเขม่าควัน

Abstract:

Soot and talcum powder particles are causes of the air pollution and the health problems. This paper presents the efficiency of an Electrostatic Precipitator (ESP) for collection of soot and talcum powder particles.

Soot and talcum powder particles were flowed in the air at the rate flow of 20 l/min for 5 hours. The single state wire-cylinder ESP with used stainless steel for a collection electrode and used wire copper for a discharge electrode. The results show that the approximately of efficiency of the ESP design for collection soot and talcum powder particles is 50% and 35%, respectively.

Keyword: Electrostatic precipitator, soot particles

1. บทนำ

อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งจัดเป็นอนุภาคนาโนขนาดเล็กหรือ Aerosol เนื่องจากอนุภาคทั้งสองชนิดมีขนาดเล็กกว่า 200 ไมครอน [1] และเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดมลภาวะทางอากาศและปัญหาทางสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ

อนุภาคเขม่าควันเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงทั้งวัสดุตามธรรมชาติ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น และในวัสดุสังเคราะห์ เช่น ยางสังเคราะห์และพลาสติก เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาเฉพาะปัญหาอนุภาคที่เกิด

จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่โรงงานผลิตยางในช่วงน้อยกว่า 0.47 ไมครอน ถึง 4.7 ไมครอน [2] ซึ่งได้สร้างปัญหามลภาวะอนุภาคเขม่าควันฟุ้งกระจายในโรงงานผลิตยางแผ่นรมควันและสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกันกับอนุภาคฝุ่นแป้ง (Talcum powder particle) ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 20 ไมครอน ถึง 35 ไมครอน [3] และได้สร้างปัญหามลภาวะในโรงงานผลิตกล่องกระดาษด้วยเช่นกัน โดยการฟุ้งกระจายของอนุภาคฝุ่นแป้งในโรงงานผลิตกล่องกระดาษจะเกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์กล่องกระดาษ ซึ่งทางโรงงานจะใช้ผงแป้งฝุ่นพ่นระหว่างผิวกระดาษหลังจากการพิมพ์หมึกแล้ว เพื่อป้องกันการติดกันของแผ่นกระดาษ [4]

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Aerosol) ซึ่งถูกปล่อยออกไปมาจากหม้อไอน้ำและในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียวที่มีท่อหรือแผ่นราบ (Plate) ทำหน้าที่เป็นขั้วเก็บอนุภาคและมีหลอดทองแดงที่อยู่กลางท่อหรือแผ่นราบทำหน้าที่เป็นขั้วโคโรนา ถ่ายประจุให้กับอนุภาค โดยปฏิกิริยาโคโรนาจะทำให้เกิดครีมีเรื่องไฟฟ้าตามแนวเส้นลวดและเกิดสนามไฟฟ้าสถิตที่ช่องว่างระหว่างขั้วเก็บอนุภาคและขั้วโคโรนา

ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายประการ เช่น ขนาดอนุภาค คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาค ความแรงของสนามไฟฟ้าสถิต ความเร็วในการไหลของอนุภาค เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง ซึ่งมีความแตกต่างกันของขนาดและลักษณะทางกายภาพ ซึ่งเจือปนในอากาศที่มีอัตราการไหลค่าเดียวกัน โดยใช้เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียวที่มีท่อ สแตนเลสทำหน้าที่เป็นขั้วเก็บอนุภาคและมีหลอดทองแดงที่อยู่กลางท่อทำหน้าที่เป็นขั้วโคโรนาถ่ายประจุให้กับอนุภาค เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปแก้ปัญหามลภาวะฟุ้งกระจายของอนุภาคทั้งสองในโรงงานอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

2. ทฤษฎี

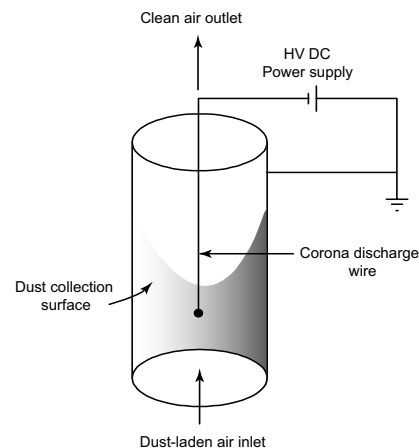
วิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation process) เป็นการกำจัดฝุ่นออกจากกระแสแก๊ส โดยอาศัยแรงที่เกิดขึ้นกับประจุไฟฟ้าสถิตภายในสนามไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย [5,6]

1. การเติมประจุให้อนุภาค

2. การเก็บประจุที่มีประจุไฟฟ้าบนผิวที่มีศักย์ (Potential)

3. การแยกอนุภาคที่ทับถมบนผิวเก็บ

ในรูปที่ 1 ได้แสดงการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบชั้นเดียว ซึ่งใช้เส้นลวดและท่อที่มีแนวกลางร่วมกันเป็นขั้วไฟฟ้า ไฟฟ้าแรงสูงที่ใส่ให้กับขั้วเส้นลวด (ขั้วโคโรนา) จะก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าแรงสูงและโคโรนาขึ้นรอบเส้นลวด โคโรนาที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้โมเลกุลของแก๊สรอบๆ แตกตัวเป็นไอออนบวกและลบจำนวนมาก ไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับขั้วเส้นลวดจะถูกดึงดูดเข้าหาขั้วเส้นลวดและถูกทำให้เป็นกลางอย่างรวดเร็ว ส่วนไอออนที่มีประจุเหมือนกับขั้วเส้นลวดจะถูกขับไล่ให้วิ่งผ่านกระแสแก๊สไปยังขั้วตรงข้าม ในขณะที่วิ่งผ่านไอออนเหล่านี้จะชนกันกับอนุภาคฝุ่น ทำให้อนุภาคเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น [7,8] โดยสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองจะสร้างแรงดึงดูดบีบให้อนุภาคที่มีประจุ และชักนำอนุภาคให้วิ่งไปยังขั้วเก็บอนุภาค



รูปที่ 1 การทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียว

3. การทดสอบ

ขั้นตอนในการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิและส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

3.1 ส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ สามารถทำได้โดย

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือและต่อวงจรดังรูปที่ 2
2. ปรับค่าความต่างศักย์เริ่มต้นโดยเพิ่มครั้งละ 20 โวลต์ พร้อมทำการวัดค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ และค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

3.2 ส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต สามารถทำได้โดย

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือดังรูป (รูปที่ 3 ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควัน ส่วนรูปที่ 4 ใช้สำหรับการดักจับอนุภาคของฝุ่นแป้ง)

2. ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มสุญญากาศ โดยตั้งอัตราการไหลที่ 20 ลิตรต่อนาที

3. เดินเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ค่าความต่างศักย์เริ่มต้น (Onset) ที่ 8.6 kVDC ซึ่งได้จากการทดสอบในช่วงแรก

4. เมื่อครบ 30 นาที ทำการปิดปั๊มสุญญากาศและนำกระดาศกรองออกจาก Filter holder และเก็บกระดาศกรองในกล่องปิดสนิทที่มีวัสดุดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้นออกจากกระดาศกรองทั้ง 2 ชุด ซึ่งชุดแรก คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควัน (หรือฝุ่นแป้ง) ทั้งหมด ส่วนชุดหลัง คือชุดสำหรับหาปริมาณของอนุภาคเขม่าควัน (หรือฝุ่นแป้ง) หลังจากถูกดักจับด้วยเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

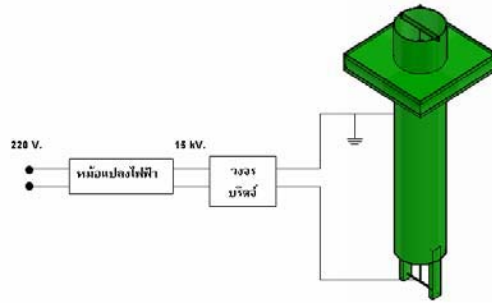
5. ทำการทดสอบต่อไปจนครบ 5 ชั่วโมง

6. นำผลที่ได้มาหาประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจากสมการ

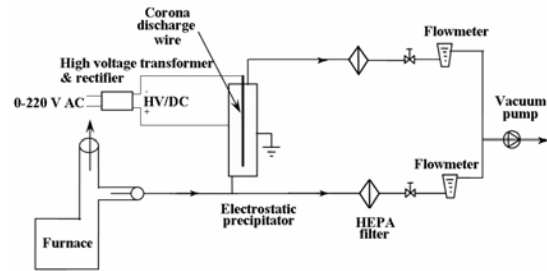
$$Efficiency = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \quad (1)$$

เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควัน (หรือฝุ่นแป้ง) จากกระดาศกรองชุดที่ไม่ผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

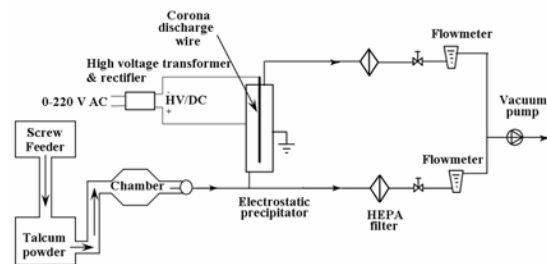
m_2 คือ น้ำหนักของอนุภาคเขม่าควัน (หรือฝุ่นแป้ง) จากกระดาศกรองชุดที่ผ่านเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 2 วงจรไฟฟ้าของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 3 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (อนุภาคเขม่าควัน)



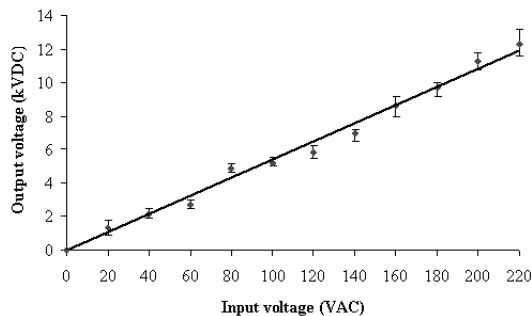
รูปที่ 4 ชุดการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (แป้งฝุ่น)

4. ผลทดสอบและการวิเคราะห์ผล

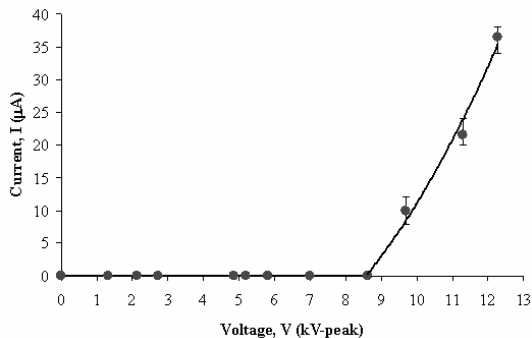
เนื่องจากการใช้งานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงความต่างศักย์เริ่มต้นจาก 0-220 V เป็น 0-15 V ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบค่าความต่างศักย์สูงเริ่มต้นการใช้งาน (High voltage onset) ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตก่อน โดยความสัมพันธ์

ระหว่างค่าความต่างศักย์เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิจะมีแนวโน้มเป็นแบบเส้นตรง ดังรูปที่ 5

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าค่าความต่างศักย์สูงเริ่มต้นการใช้งาน (High voltage onset) ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียว ซึ่งมีขั้วโคโรนา (เส้นลวดทองแดง) ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ปล่อยกระแสโคโรนาลบ (Negative corona) นั้นมีค่า 8.6 kVDC จึงทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้ คือค่าความต่างศักย์ที่ 8.6 kVDC หรือจุด Onset นั้นเอง



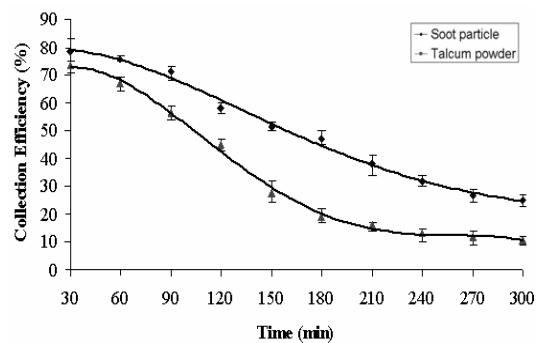
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์เริ่มต้นกับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าโคโรนา กับค่าความต่างศักย์ทุติยภูมิ

ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตพบว่า การดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะมีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 50% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการดักจับอนุภาคฝุ่นแป้งที่มีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 35% และหากพิจารณาในแต่ละช่วงการทดสอบก็พบว่า ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค

เขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นแป้งในทุกช่วงการทดสอบ เนื่องจากอนุภาคเขม่าควันมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของฝุ่นแป้งมาก ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายได้มากกว่า จึงมีโอกาสดักจับได้มากกว่า เพราะอนุภาคเขม่าควันนั้นจะใช้เวลาในการดึงดูดของสนามไฟฟ้าสถิตน้อยกว่าอนุภาคฝุ่นแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า และในกรณีที่ความแรงของสนามไฟฟ้าสถิตเท่ากัน โอกาสที่อนุภาคเขม่าควันจะสามารถหลุดรอดจากการถูกดึงดูดไปเก็บที่ขั้วเก็บอนุภาค จึงมีความเป็นไปได้น้อยกว่าอนุภาคฝุ่นแป้ง



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

จากรูปที่ 7 เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในช่วง 30 นาทีแรกจะมีค่าประมาณ 80% และ 70% ตามลำดับ ก่อนที่จะมีค่าลดลงอย่างมากคือประมาณ 30-40% หลังจากการทดสอบผ่านไปเป็นเวลา 90-180 นาที เพราะในเวลานี้เป็นช่วงที่แรงไฟฟ้าบวกของพื้นที่ผิวเก็บ (ทอสมันเลส) ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเริ่มมีค่าลดลง เนื่องจากการเกาะติดของอนุภาคเขม่าควันหรืออนุภาคฝุ่นแป้ง แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าสถิตยังคงมีค่าสูงอยู่ จึงทำให้ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคในช่วงนี้เริ่มมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดพื้นผิวเก็บอนุภาคหลังจากผ่านช่วงนี้เป็นต้นไป ถ้าหากต้องการนำเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้ไปใช้งานที่จำเป็นต้องควบคุมประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคให้มีค่าค่อนข้างคงที่

5. บทสรุป

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดชั้นเดียวที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีทอสมันเลสทำหน้าที่เป็นขั้วเก็บอนุภาคและมี

ลวดทองแดงที่อยู่กลางท่อทำหน้าที่เป็นขั้วโคโรนาจ่ายประจุให้กับอนุภาคนั้นสามารถนำมาใช้ในการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งได้ โดยในช่วง 30 นาทีแรกของการทดสอบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้จะมีค่าสูงถึงประมาณ 80% และ 70% ก่อนที่จะมีค่าลดลงเหลือเพียงประมาณ 25% และ 15% ตามลำดับ หลังจากระยะเวลาการทดสอบผ่านไป 300 นาที และเมื่อพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคโดยรวมพบว่า เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ออกแบบไว้จะมีประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้งประมาณ 50% และ 35% ตามลำดับ

6. เอกสารอ้างอิง

1. Hinds, W.C. 1999. "Aerosol technology", New York: John Wiley & Sons, 2nd ed.
2. Kalasee, W; Tekasakul, S; Otani, Y; and Tekasakul, P. 2003. "Characteristics of Soot Particles Produced from Rubberwood Combustion", The 2nd Asian Particle Technology Symposium (APT 2003), Volume II, December 17-19, 2003., Penang, Malaysia.
3. Jirsaraei, N.M; Mothagh, B.G; Baradarean, S; Shekarian, E. and Rouhani, S. 2004. "Fractal behaviour of flow of inhomogeneous fluids over smooth inclined surfaces", Journal of physics: Condensed Matter 16, 2497-2505.
4. เอกมล หวังแสง, สุวิชาญ ศักดิ์รัตน, พิระพงษ์ ทิมสกุล. 2547. "การดักจับฝุ่นแป้งจากเครื่องพิมพ์ในโรงงานผลิตกล่องกระดาษและนำกลับมาใช้ใหม่", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, 18-20 ตุลาคม 2547, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
5. นฤบดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วชร กาลาสี. 2549. "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคผงขอล็กของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต", นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2, 28-29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
6. Chang, Jen-Shih; Lawless, Phil A. and Yamamoto, T. 1991. "Corona discharge processes", IEEE Transactions on plasma science, Volume 19, Issue 6, pp. 1152-1166.
7. ชิดาโอะ คานาโอกะ และ วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. 2528. "มลภาวะทางอากาศ", กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
8. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอต. 2529. "มลภาวะทางอากาศ", กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย