

การดักจับฝุ่นแป้งจากเครื่องพิมพ์ในโรงงานผลิตกล่องกระดาษและนำกลับมาใช้ใหม่

เอกมล หวันแสง¹⁾ สุวิชาญ ศักดิ์รัตน¹⁾ พีระพงศ์ ทิมสกุล²⁾

ชื่อผู้วิจัย¹⁾ และ ชื่อหัวหน้าโครงการ²⁾

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*Email: perapong@ratree.psu.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องพิมพ์กล่องกระดาษในโรงงานโดยทั่วไปจะใช้ผงแป้งฝุ่นพ่นระหว่างแผ่นกระดาษหลังจากพิมพ์หมึกแล้ว เพื่อป้องกันการติดกันของแผ่นกระดาษ ทำให้เกิดมลภาวะของฝุ่นที่ฟุ้งในโรงงาน โครงการนี้ได้ศึกษาวิธีการดักอนุภาคฝุ่นแป้งไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายโดยในช่วงแรกได้ใช้วิธีกระแสไฟฟ้าสถิตในการบังคับให้ฝุ่นแป้งเกาะยึดกับกระดาษมากขึ้นซึ่งยังได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจเนื่องจากเกิดการฟุ้งกลับของฝุ่นหลังจากที่ฝุ่นเกาะติดกระดาษแล้ว ซึ่งเกิดจากการใช้พัดลมเป่ากดให้กระดาษที่พ่นเคลือบแล้วเคลื่อนที่ลงไปยังกองอย่างเป็นระเบียบในพาเลท จึงได้ติดตั้งระบบดูดอากาศและใช้ไซโคลนในการดักอนุภาค พบว่าสามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศได้เป็นที่น่าพอใจ ระบบดักฝุ่นนี้สามารถติดตั้งกับเครื่องพิมพ์ที่เหลือทั้งหมดเพื่อลดปริมาณของฝุ่นแป้งที่ฟุ้งในโรงงาน ส่งผลให้คุณภาพชีวิตของพนักงานดีขึ้นและยังสามารถนำฝุ่นแป้งที่ดักได้กลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตด้วย

คำสำคัญ การดักจับฝุ่น ฝุ่นแป้ง ไซโคลน ฝุ่นโรงงาน มลภาวะอากาศ

Keywords Dust collection, Starch powder, Cyclone, Industrial dust, Air pollution

1. บทนำ

ในโรงพิมพ์กล่องกระดาษโดยทั่วไปมักจะใช้ผงแป้งฝุ่นพิเศษ (anti set-off powder) พ่นระหว่างแผ่นกระดาษหลังจากพิมพ์หมึกแล้ว เพื่อป้องกันการยึดติดของแผ่นกระดาษเนื่องจากหมึกที่พิมพ์ยังไม่แห้ง ถึงแม้จะมีการให้ความร้อนแล้วก็ตาม หากเครื่องพิมพ์ที่ใช้ไม่มีระบบดักฝุ่นที่ดี ฝุ่นผงที่พ่นก็จะฟุ้งทำให้เกิดมลภาวะของฝุ่นภายในโรงงาน และทำให้เกิดความสกปรกต่อเครื่องโดยไปเกาะตามชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น ไซซ์ ขับ เป็นต้น จึงต้องทำความสะอาดบ่อยและทำให้การบำรุงรักษาทำได้ยากขึ้น

บริษัท เอส แพล็ค แอนด์ พรินท์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ ณ เลขที่ 119 หมู่ 1 ถ.กาญจนวนิช ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เริ่มดำเนินการเมื่อปี พ.ศ.2537

โดยมีผลิตภัณฑ์ คือ กล่องบรรจุภัณฑ์ ใช้วัตถุดิบ คือ กระดาษคราฟท์ กระดาษ กล่อง แป้ง และหมึกพิมพ์ เครื่องจักรหลักที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ เครื่องพิมพ์ OFFSET มีอายุการใช้งาน 10 ปี เครื่องพิมพ์ CORRUGATED มีอายุการใช้งาน 6 ปี ทางบริษัทมีเครื่องพิมพ์ OFFSET ยี่ห้อ HEIDELBERG จำนวน 3 เครื่อง คือ รุ่น 102 VP รุ่น 102 F และรุ่น 102 F + L รุ่นละ 1 เครื่อง มีการทำงานที่เหมือนกัน ทั้ง 3 เครื่อง ข้างต้น จะใช้วัสดุสิ้นเปลืองชนิดหมึกพิมพ์ และวานิช (vanish) โดยมีส่วนผสมของน้ำมัน ทำให้ขั้นตอนการพิมพ์หมึกและวานิชไม่ซับซ้อน (แห้ง) ในทันที แม้จะให้ความร้อนจากหลอด IR (infrared ray) ขนาด 20 kV แล้วก็ตามจึงต้องใช้ฝุ่นแป้งพ่นบนผิวหน้ากระดาษ เพื่อป้องกันงานพิมพ์เสียหายจากการขีดข่วน เพราะ

ขั้นตอนเก็บกระดาษหรือแผ่นพิมพ์ในพาเลท (pallet) จะมีจำนวน ประมาณ 1,500 – 1,700 แผ่นพิมพ์ต่อหนึ่งพาเลท ทำให้แผ่นล่างของแต่ละพาเลทมีความเสี่ยงต่อการเสียหายจากการซ้อนทับ

ฝุ่นแป้งที่ใช้เป็นฝุ่นแป้งผงจากพืชเคลือบพิเศษ ผลิตโดยบริษัท Varn International ประเทศอังกฤษ ในแต่ละเครื่องจะมีหัวพ่นแป้งฝุ่น 6 หัว เรียงในแนวเดียวกัน เครื่องทั้ง 3 ไม่มีระบบดักฝุ่น ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงานอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนงานในระยะยาวได้ เนื่องจากอนุภาคขนาดนี้ถึงแม้ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าถึงปอดได้ แต่ก็สามารถเคลื่อนที่เข้าถึงโพรงจมูก คอ และหลอดลม ก่อให้เกิดความระคายเคืองและอาจทำให้เกิดอาการแพ้ในบางคน ส่งผลต่อสุขภาพระยะยาว (Hines และคณะ, 1993) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียในเชิงเศรษฐศาสตร์เนื่องจากฝุ่นที่ใช้แล้วนี้ไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีความเป็นไปได้หากมีระบบดักจับที่มีประสิทธิภาพ ฝุ่นจากการพ่นสามารถฟุ้งกระจายออกจากเครื่องได้ 2 ทางคือจากด้านบนผ่านตระแกรงที่มีไว้เพื่อระบายความร้อน และด้านหน้าบริเวณที่กระดาษที่พิมพ์เสร็จแล้วมาวางกองไว้

โครงการนี้จะเสนอแนวทางแก้ปัญหาโดยการป้องกันไม่ให้อนุภาคฟุ้งออกจากบริเวณเครื่องพิมพ์ โดยออกแบบระบบดักฝุ่นที่มีความเหมาะสมเพื่อนำอนุภาคฝุ่นแป้งเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่

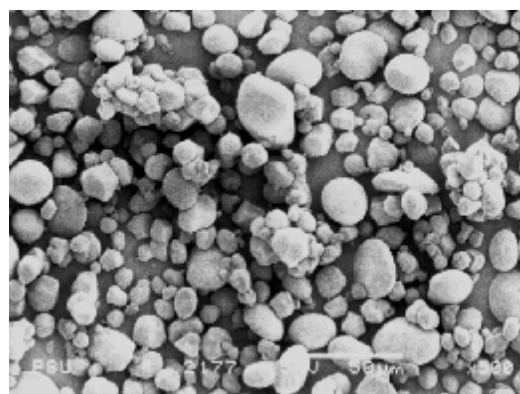
2. ฝุ่นแป้งและปริมาณการใช้

2.1 ค่าความชื้นของฝุ่นแป้ง

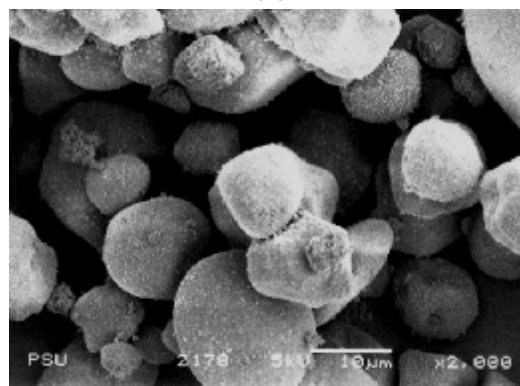
ในการวัดค่าความชื้นของฝุ่นแป้ง ได้ทำการอบแห้งตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างหนักประมาณ 2 g ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบโดยใช้เครื่องชั่งชนิดวิเคราะห์ (analytical balance) ยี่ห้อ Mettler ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.1 mg จากนั้นทำการอบในเตาอบ Memmert ที่อุณหภูมิ 80°C จนกระทั่งตัวอย่างแห้งสนิท แล้วทำการชั่งตัวอย่างในเครื่องชั่งเดิมอีกครั้งหนึ่ง พบว่าฝุ่นแป้งใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งานมีความชื้นประมาณ 11.7% ฐานแห้ง

2.2 ขนาดของฝุ่นแป้ง

จากข้อมูลของผู้ผลิตได้ระบุว่าขนาดของอนุภาคฝุ่นแป้งอยู่ในช่วง 40 ถึง 45 ไมครอน แต่จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ถ่ายภาพพบว่าอนุภาคมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 50 ไมครอน โดยมีการจับก้อนของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 1 ข้อมูลขนาดของอนุภาคนี้จะใช้ในการออกแบบตัวดักจับต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ลักษณะของผงฝุ่นแป้งจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 2000 เท่า

2.3 ปริมาณการใช้ฝุ่นแป้งในการพ่นเคลือบ

ในการพ่นเคลือบกระดาษนั้น ปริมาณฝุ่นแป้งที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหรือปริมาณของสีที่พิมพ์ลงบนกระดาษ โดยที่ความเข้มข้นของสีมีหลากหลายขึ้นอยู่กับแบบในการพิมพ์ ยิ่งสีมีความเข้มข้นมากก็จำเป็นต้องพ่นฝุ่นแป้งเคลือบมากเช่นกัน พนักงานจะทำการปรับ

อัตราการฟุ้งกระจายโดยใช้ประสบการณ์ โดยมีการแบ่งตามความเข้มข้นของสี 10 ระดับ ใช้หมายเลขตั้งแต่ 0.0 – 0.9 เพิ่มขึ้นระดับละ 0.1 โดยหมายเลข 0.0 มีการใช้ปริมาณแบ่งน้อยที่สุด ส่วนหมายเลข 0.9 มีการใช้ปริมาณแบ่งมากที่สุด ในการใช้งานจริงปริมาณการใช้สูงสุดจะอยู่ที่ระดับ 0.7

ปริมาณการใช้ผงแบ่งต่อกระดาษ 1 แผ่น และอัตราการฉีดผงแบ่งรวมทั้ง 6 หัวฉีด แสดงให้เห็นในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้ฝุ่นแบ่งจะสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสีดังที่ได้คาดการณ์ไว้

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้ฝุ่นแบ่ง

ปริมาณการ ป้อนฝุ่น	ผงแบ่งที่ใช้ (mg/แผ่น)	อัตราฉีดผงแบ่ง (mg/sec)
ต่ำ (0.1)	22	61
ปานกลาง (0.3)	59	164
สูง (0.7)	81	225

3. ความเข้มข้นของฝุ่นแบ่งในบรรยากาศ

3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

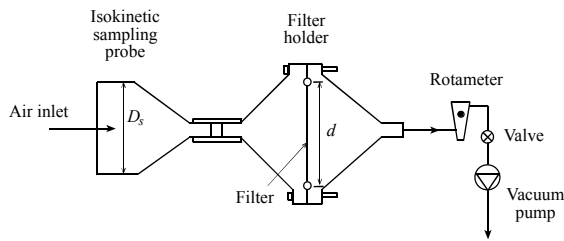
เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการกำจัดอนุภาค จึงได้มีการเก็บตัวอย่างอนุภาคทั้งหมดที่ฟุ้งกระจายในอากาศบริเวณใกล้เครื่องพิมพ์ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องทำการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (isokinetic sampling) นั่นคือความเร็วของอากาศข้างนอก และในหัวเก็บตัวอย่างจะต้องเท่ากัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในโรงงานไม่แน่นอนและมีความเร็วค่อนข้างต่ำ ดังนั้นสามารถใช้เงื่อนไขของเดวิส (Davies criteria) สำหรับอากาศนิ่งได้ (Hinds, 1999) ในการเก็บตัวอย่างจะวางหัวเก็บตัวอย่างขนานกับพื้นดินเพื่อขจัดความผิดพลาดเนื่องจากการตกตะกอน (gravitational settling) ดังนั้น ณ สภาวะอากาศมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเก็บตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

$$D_s \geq 4.05 Q^{1/3} d_a^{2/3} \quad (1)$$

โดยที่ D_s คือเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเก็บตัวอย่างมีหน่วยเป็น mm ส่วน Q เป็นอัตราการไหลมีหน่วยเป็น m^3/hr และ d_a เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคมีหน่วยเป็น μm สมมติว่าเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคมีค่าเท่ากับ $50 \mu m$ อัตราการไหลสูงสุดใช้ที่ 12 lpm หรือ $0.72 m^3/hr$ ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเก็บตัวอย่างจะต้องมีค่าน้อยเท่ากับ 49.3 mm เราเลือกใช้ค่า $D_s = 50 \text{ mm}$ และทำการออกแบบให้หัวเก็บตัวอย่างมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนแผ่นกรองที่ใช้ดักอนุภาคเป็นแผ่นกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (high efficiency particulate air filter; HEPA filter) ชนิดใยแก้ว (glass fiber) ผลิตโดยบริษัท Cambridge Filter ประเทศญี่ปุ่น ตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm โดยที่ก่อนทำการเก็บตัวอย่าง จะทำการกำจัดความชื้นจากแผ่นกรอง โดยเก็บแผ่นกรองในภาชนะกำจัดความชื้น (desiccator) เป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งกับเครื่องชั่งชนิดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Mettler ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.1 mg เมื่อทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำมาอบในตัวกำจัดความชื้นอีกครั้งหนึ่ง เป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งกับเครื่องชั่งเดิมเพื่อหาน้ำหนักของอนุภาคที่ดักเก็บได้ ในการทดลองนี้จะทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 จุดคือ บริเวณด้านล่างและด้านบนของเครื่องพิมพ์ ทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 60 นาที ใช้ปั๊มสุญญากาศในการดึงอากาศให้ไหลเข้าสู่หัวเก็บตัวอย่าง อัตราการไหลปรับโดยใช้ needle valve และอ่านค่าโดยใช้ rotameter ความเข้มข้นของฝุ่นโดยรวมในอากาศสามารถคำนวณได้จาก

$$c = \frac{m}{Qt} \quad (2)$$

โดยที่ m คือมวลของอนุภาคที่ดักได้ Q คืออัตราการไหล และ t คือช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2 ชุดเก็บตัวอย่างอากาศในโรงงาน

3.2 ความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ

ผลของการเก็บตัวอย่างสำหรับงานพิมพ์ความเข้มปานกลาง (0.3) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าบริเวณด้านบนของเครื่องจะมีความเข้มข้นสูงกว่าด้านล่าง ทั้งนี้เนื่องจากการฟุ้งของฝุ่นเกิดขึ้นบริเวณด้านบนของเครื่องซึ่งมีตะแกรงระบายความร้อน

ตารางที่ 2 ผลการเก็บตัวอย่างฝุ่นในโรงงาน

ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง	ด้านล่าง เครื่องพิมพ์	ด้านบน เครื่องพิมพ์
ความเข้มข้นของฝุ่น (mg/m^3)	6.67	10.56

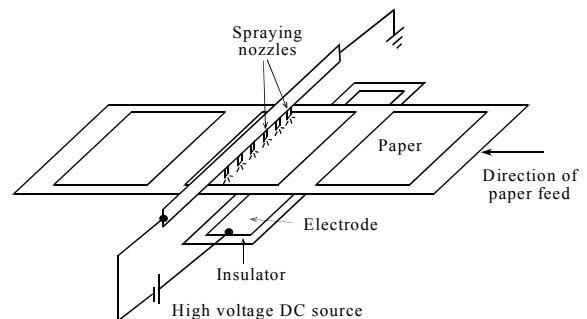
นอกจากนี้จากข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวม (total dust) ของศูนย์ความปลอดภัยในการทำงานพื้นที่ 12 โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้เป็นแบบติดตัวบุคคล (personal sampling pump) ยี่ห้อ Mine Safety Appliances (MSA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อเข้ากับตลับเก็บตัวอย่างอากาศ ใช้กระดาษกรองชนิด PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร รูปพรุน 5 ไมครอน เป็นตัวดักจับ อัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณฝุ่นทุกขนาดเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานของพนักงานมีค่าเท่ากับ $7.76 \text{ mg}/\text{m}^3$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้

4. การใช้ไฟฟ้าสถิตในการลดการฟุ้งของฝุ่นแป้ง

4.1 การออกแบบระบบ

จากการที่อนุภาคเกิดการเสียดสีในหัวฉีดทำให้อนุภาคมีประจุทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีโอกาสในการบังคับอนุภาคให้เคลื่อนที่ไปสู่แผ่นกระดาษและลดการฟุ้ง ด้วยการสร้างสนามไฟฟ้าแล้วบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้า

หาหัวตรงข้าม ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งชุดสร้างสนามไฟฟ้าอย่างง่ายเพื่อติดตั้งบริเวณใต้หัวฉีดพ่นฝุ่นแป้ง (nozzles) ดังแสดงในรูปที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าความดันสูงขนาด 15 kV วงจร Wheatstone bridge สำหรับแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง แผ่นขั้วอิเล็กโทรดใช้แผ่นสแตนเลสบางวางบนแผ่นฉนวน Bakelite เมื่อกระดาษวิ่งเข้ามาในสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นจังหวะเดียวกันกับหัวฉีดผงแป้งฉีดพ่นไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันที่หัวฉีดและจากสนามไฟฟ้า จะถูกแรงดึงดูดทางไฟฟ้าบังคับให้วิ่งเข้าหาหัวเก็บนั่นก็คือ แผ่นสแตนเลสแต่ช่องว่างระหว่างหัวฉีดกับหัวเก็บจะมีกระดาษวิ่งผ่านจึงทำให้อนุภาคฝุ่นแป้งเกาะติดหน้ากระดาษแทนที่จะฟุ้งกระจาย



รูปที่ 3 ชุดดักเก็บอนุภาคด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

4.2 ผลการทดลอง

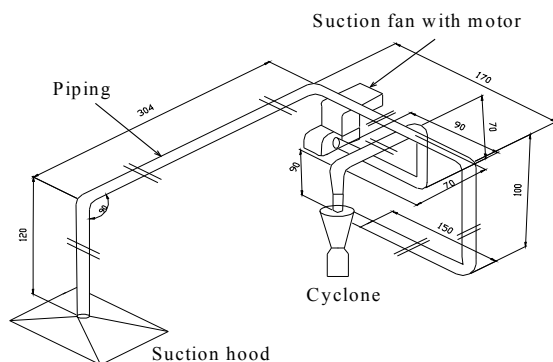
ผลการทดลองโดยใช้ชุดดักเก็บอนุภาคด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณด้านบนของเครื่องสำหรับระดับความเข้มปานกลางลดลงจาก $8.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ (กรณีไม่ได้ใช้ชุดดักเก็บอนุภาคด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต) เหลือ $6.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ ซึ่งลดลงประมาณ 18% ซึ่งยังไม่เป็นที่น่าพอใจทั้งนี้เนื่องจากเกิดการฟุ้งกลับของฝุ่นหลังจากที่ฝุ่นเกาะติดกระดาษแล้ว เนื่องจากการใช้พัดลมเป่ากดให้กระดาษที่พ่นเคลือบแล้วให้เคลื่อนที่ลงไปยังกองในพาเลท ดังนั้นจึงต้องมีระบบดูดอากาศที่ฟุ้งกระจายและมีอุปกรณ์ในการดักอนุภาคในอากาศเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

5. การดักฝุ่นแบ่งด้วยไซโคลน

5.1 การออกแบบระบบ

สำหรับการดักจับแบ่งฝุ่นจากเครื่องพิมพ์ของโครงการนี้จะเลือกใช้เครื่องดักจับชนิดไซโคลน เนื่องจากอนุภาคมีขนาดโตกว่า 10 ไมครอน ดังนั้นการใช้ไซโคลนโดยการออกแบบให้เหมาะสม จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างต่ำ และการใช้พลังงานจะต่ำกว่าการใช้ถุงกรอง (วงศ์พันธ์และคณะ, 2538; ศิริกัลยา และคณะ, 2542; Nevers, 1995)

ระบบโดยรวมแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 ฝุ่นแบ่งจะถูกดูดผ่านปล่องดูด (hood) ที่อยู่เหนือช่องระบายอากาศด้านบน จากนั้นจะต่อเข้ากับเครื่องดักอนุภาคแบบไซโคลนโดยใช้แรงดูดจากพัดลมดูด ซึ่งขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า และสามารถปรับรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ การปรับรอบของมอเตอร์ทำให้สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศที่ดูดเข้าได้ ทั้งนี้อัตราการไหลจะต้องเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ถ้าอัตราการไหลต่ำไปอาจไม่สามารถดูดฝุ่นได้ดี แต่หากอัตราการไหลสูงเกินไป ฝุ่นอาจจะถูกดูดเข้าปล่องดูดโดยไม่สัมผัสกับชั้นกระดาดที่ต้องการเคลือบ ส่วนอากาศที่สะอาดจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอกอาคาร ฝุ่นที่ถูกดักจะสะสมด้านล่างของไซโคลนซึ่งออกแบบเป็นภาชนะทรงกระบอกสามารถถอดออกได้ ดังนั้นฝุ่นนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

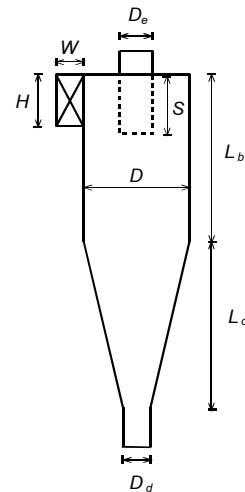


รูปที่ 4 ระบบดักจับฝุ่นแบ่งด้วยไซโคลน

ในการออกแบบไซโคลน กำหนดขนาดตัดของอนุภาคที่ 10 ไมครอน และกำหนดให้ความเร็วทางเข้า

ไซโคลนมีค่าเท่ากับ 15 m/sec ขนาดต่าง ๆ ของไซโคลนซึ่งมีหน่วยเป็น cm มีค่าดังนี้ โดยดูรูปที่ 5 ประกอบ (ศิริกัลยา และคณะ, 2542)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทางออก (D_o)	9
ความกว้างปากทางเข้าของก๊าซ (W)	3.6
ความสูงของปากทางเข้าของก๊าซ (H)	10.8
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวไซโคลน (D)	18
ความยาวช่วงทรงกระบอก (L_b)	18
ความยาวช่วงรูปกรวย (L_c)	36
ความกว้างทางออกฝุ่นเก็บ (D_d)	6.3
ความยาวของทรงกระบอกทางออก (S)	15.3



รูปที่ 5 ขนาดต่าง ๆ ของไซโคลน

ส่วนความดันสูญเสียในไซโคลนสามารถคำนวณได้จาก (ศิริกัลยา และคณะ, 2542)

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho V^2 \left(\frac{30\sqrt{D}}{L_b + L_c} \right) \left(\frac{HW}{D_o^2} \right) \quad (3)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของอากาศ V คือความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าไซโคลน จากการคำนวณพบว่าความดันสูญเสียในไซโคลนมีค่าประมาณ 1,150 Pa ส่วนความดันสูญเสียในระบบท่อและข้อต่อทั้งหมดมีค่าประมาณ 9.0 Pa ดังนั้นความดันสูญเสียรวมในระบบมีค่าประมาณ 1,159 Pa หรือ 118 mmH₂O เราเลือกใช้พัดลมดูดชนิดใบพัดโค้งไปด้านหลัง

(backward-curved blades) ซึ่งขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า มีความดันสถิตย 155 mmH₂O (Artith Ventilator รุ่น AV-B112) และใช้อินเวอร์เตอร์ (Primus รุ่น PI-02-220) ขนาด 2 แรงม้า สำหรับปรับความเร็วรอบ

5.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองเก็บตัวอย่างอากาศ ณ ตำแหน่งใกล้เครื่องพิมพ์ซึ่งใช้ระบบดักฝุ่นด้วยไซโคลนและไม่ใช้ระบบไฟฟ้าสถิต เมื่อใช้กำลังมอเตอร์เต็มทีในการดูดสำหรับงานพิมพ์ความเข้มปานกลาง (0.3) พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นในโรงงานบริเวณใกล้จุดฟุ้งกระจายของฝุ่นมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ระบบดักฝุ่น ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยสามารถลดความเข้มข้นได้ถึง 54% ซึ่งในการคำนวณได้นำความเข้มข้นของฝุ่นที่ฟุ้งจากเครื่องอื่น (background) มาหักลบออก อย่างไรก็ตามขณะนี้ยังอยู่ระหว่างการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นที่ดักได้ด้วยไซโคลนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของฝุ่นเมื่อใช้ระบบดักฝุ่นเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ระบบดักฝุ่น

ความเข้มข้นของฝุ่น (mg/m ³)		
ไม่ใช้ระบบดักฝุ่น	ใช้ระบบดักฝุ่น	Background
17.25	9.75	3.25

6. สรุปผล

จากการทดลองพบว่าการใช้ไฟฟ้าสถิต พบว่าสามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณใกล้จุดฟุ้งกระจายของฝุ่นได้ประมาณ 18% ซึ่งยังไม่เป็นที่น่าพอใจทั้งนี้เนื่องจากเกิดการฟุ้งกลับของฝุ่นหลังจากที่ฝุ่นเกาะติดกระดาษแล้ว อันเนื่องมาจากการใช้พัดลมเป่ากดีให้กระดาษที่พื้นเคลือบแล้วเคลื่อนที่ลงปอกลงอย่างเป็นระเบียบในพาเลท จึงได้ติดตั้งระบบดูดอากาศที่ฟุ้งกระจายและใช้ไซโคลนในการดักอนุภาคในอากาศ ซึ่งจากผลการเก็บตัวอย่างพบว่าสามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณใกล้จุดฟุ้งกระจายของฝุ่นได้ถึง 54% ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามหาก

ต้องการเพิ่มสมรรถนะในการดูดสามารถทำได้โดยการใช้พัดลมดูดและมอเตอร์ที่ใหญ่ขึ้น ระบบดักฝุ่นนี้สามารถติดตั้งกับเครื่องพิมพ์ที่เหลืทั้งหมดเพื่อลดปริมาณของฝุ่นแบ่งที่ฟุ้งในโรงงาน ส่งผลให้คุณภาพชีวิตของพนักงานดีขึ้นและยังสามารถนำฝุ่นแบ่งที่ดักได้กลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาดรี ประจำปี 2546 นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานบริษัท เอส แพ็ค แอนด์ พรินท์ จำกัด (มหาชน) ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีตลอดโครงการ และขอขอบคุณ ดร.ประการ คุณหงษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิต

เอกสารอ้างอิง

- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต
มลภาวะอากาศ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 216-263 พ.ศ.2538.
ศิริกัลยา สุวจิตตนนท์ วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ชิดา โอะ คานาโอกะ และจุฑามาศ เกตุทัต มลภาวะอากาศ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 170-263 พ.ศ.2542.
W. C. Hinds, *Aerosol Technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 2nd ed., Wiley, N.Y., 1999.
L. Hines, T. K. Ghosh, S. K. Loyalka, and R. C. Warder, Jr., *Indoor air quality & control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 116-118., 1993.
N. D. Nevers, *Air pollution control engineering*, McGraw-Hill, Singapore, pp. 166-263, 1995.