“อุปกรณ์กำจัดฝุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม”

มลพิษอากาศ (Air pollution) ได้แก่ ฝุ่นละออง และแก๊สต่างๆ ที่ลอยอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

มลพิษอากาศมีแหล่งกำเนิด ดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (Natural sources) เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Human sources) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1 แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ สามารถระบุถึงจุดเกิดที่แน่นอนได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมลพิษส่วนใหญ่มักเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตต่างๆ เป็นต้น

2.2 แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่มีการเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น

มลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. ฝุ่นละออง (Particular matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งและละอองของเหลว (ไม่รวมถึงหยดน้ำและแก๊ส) ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศทั้งที่มองเห็นและไม่เห็นด้วยตาเปล่า แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) โรงงานอุตสาหกรรม เช่น ปูนซีเมนต์ เหล็กและเหล็กกล้า ถลุงแร่ และเยื่อกระดาษ 2) ยานพาหนะ โดยเฉพาะรถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซล 3) โรงไฟฟ้า โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ และ 4) การเผาไหม้ทั้งจากการเผาขยะและการเผาป่า โดยทั่วไปฝุ่นละอองในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม บดบังทัศนวิสัยในการจราจร รวมทั้งเกิดความเสียหายต่อเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ภายในโรงงานด้วย ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ได้กำหนดมาตรฐานของฝุ่นละอองไว้ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และ 300 mg/m^3 สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ฝุ่นละอองที่ขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนในได้ลึกกว่า ดังนั้น US.EPA. (United State Environmental Protection Agency) จึงให้ความสนใจกับในละอองที่มีขนาดเล็ก โดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ

1.1 PM 10 หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 2.5-10 ไมครอน เช่น ฝุ่นที่เกิดจากถนนที่ไม่ได้ลาดยาง โรงงานบด-ย่อยหิน เป็นต้น เป็นสาเหตุของโรคหอบหืด (Asthma)

และโรคทางเดินหายใจบางชนิด ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ได้กำหนดค่าเฉลี่ยมาตรฐานความเข้มข้นในช่วง 24 ชั่วโมงของ PM 10 ในบรรยากาศทั่วไปไว้ ไม่เกิน 0.12 mg/m^3

1.2 PM 2.5 หมายถึง ฝุ่นที่อนุภาคมีขนาดเล็กว่า 2.5 ไมครอน เช่น ฝุ่นจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตสารเคมี เป็นต้น PM 2.5 มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดโรคหัวใจและโ รคปอด US.EPA. ได้กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นในช่วง 24 ชั่วโมงของ PM 2.5 ในบรรยากาศทั่วไปไว้ ไม่เกิน 0.065 mg/m3อย่างไรก็ตาม กฎหมายในเรื่องมลพิษทางอากาศของประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของ PM 2.5

2. แก๊สและไอ (Gas and Vapor) เมื่อกล่าวถึงแก๊สและไอที่พบอยู่ ทั่วไปในชีวิตประจำวันก็มักจะนึกถึง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไอน้ำ เป็นต้น แต่ในทางสิ่งแวดล้อม มลพิษอากาศจะกล่าวถึงเฉพาะสารที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม 5 ชนิด ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โอโซน (O_3) และตะกั่ว (Pb)

การบำบัดและกำจัดมลพิษทางอากาศทั้งสองประเภทนี้ มีความแตกต่างกันทั้งในด้านกลไกการบำบัด และลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ ในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ทั้งในส่วนของหลักการ กลไก การออกแบบ และการควบคุมการทำงานเบื้องต้น ซึ่งในประเทศไทยมีหนังสือที่กล่าวถึงการออกแบบและควบคุมประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดักจับฝุ่นจากแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ไม่มากนัก

อุปกรณ์ดักจับฝุ่นละออง

ระบบที่ใช้ในการดักจับฝุ่นละอองจะใช้ได้กับเฉพาะแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ โดยเน้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ในการเลือกอุปกรณ์นั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของฝุ่น ที่สำคัญคือ ขนาดของฝุ่นที่ต้องการบำบัด จากนั้นจึงพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการดักจับ ข้อจำกัดของอุปกรณ์ การควบคุมดูแล และค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับฝุ่นมี 5 ระบบ ดังนี้

1. ระบบคัดแยกโดยการตกเนื่องจากน้ำหนักฝุ่น (Gravity Settling Chambers)

เป็นอุปกรณ์ที่ในการแยกฝุ่นละอองออกจากอากาศ โดยอาศัยน้ำหนักที่มากกว่าของฝุ่นทำให้ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง อากาศจะถูกดูดผ่านท่อที่มีพื้นที่ขนาดเล็กเข้ามาสู่ห้อง (chamber) ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้อนุภาคฝุ่นมีความเร็วลดลงและตกลงสู่ด้านล่าง ระบบคัดแยกโดยการตกเนื่องจากน้ำหนักฝุ่นใช้ในการดักฝุ่นที่มีขนาดประมาณ 40 – 60 ไมครอน มีข้อดี

คือ ค่าติดตั้งและค่าดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานต่ำมาก และมีความทนทาน แต่มีข้อเสียคือ มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพต่ำ และใช้ได้เฉพาะกับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่

2. ระบบไซโคลน (Cyclone Separator)

อาศัยหลักการหนีศูนย์กลางในการแยกฝุ่นออกจากอากาศ ฝุ่นและอากาศจะถูกดูดเข้าไปในไซโคลนที่มีกระแสวนหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนัง กระแสวนจะพาอนุภาคฝุ่นเคลื่อนตัวลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายโคน ในขณะที่อากาศที่ไม่มีฝุ่นจะถูกหมุนกลับขึ้นไปยังส่วนบนออกไปที่ท่อออก ระบบไซโคลนใช้ในการดักฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน มีข้อดีคือ ราคาค่าติดตั้งและดำเนินการไม่สูง และสามารถใช้ได้กับฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนข้อเสียคือ ความดันลดสูง และใช้ไม่ได้กับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน การออกแบบระบบไซโคลน จะเลือกจากระยะมาตรฐานซึ่งมีอยู่หลายแบบ เช่น Shepherd & Lapple, Peterson & Whitby อย่างไรก็ตาม ระยะมาตรฐานของไซโคลนที่นิยมใช้จะมี 2 แบบ คือ Stairmand และ Swift

3. เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ (Wet Collector)

เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ หรือที่ทั่วไปรู้จักในชื่อ Wet Scrubber อาศัยหลักในการใช้ของเหลวดักจับฝุ่น สามารถดักฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมากได้ การใช้งานโดยมากอยู่ในรูปของหอ (tower) โดยทำการพ่นของเหลวที่มีขนาดเล็กจากด้านบน เพื่อให้เกิดการจับกับมวลแก๊สและฝุ่นที่ลอยมาจากด้านล่าง กลไกในการดักฝุ่น คือ การกระทบจากความเฉื่อย ซึ่งเป็นกลไกหลัก การสกัดกั้น และการแพร่ เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำมีหลายชนิด เช่น Spray tower, Venturi scrubber ซึ่งเป็นอุปกรณ์บำบัดฝุ่นชนิดเดียวที่สามารถบำบัดแก๊ส (ที่ละลายน้ำ) และไอเสียได้ด้วย ส่วนประกอบชิ้นสำคัญที่จะขาดไม่ได้ของ wet scrubber คือ Demister (บางครั้งเรียกว่า Mist eliminator) ซึ่งอยู่ด้านบนสุดของระบบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับฝุ่นบางส่วนที่อาจถูกละอองของเหลวพาให้ลอยออกไปด้านบน

เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำสามารถดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน มีข้อดีคือ สามารถกำจัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กได้ และหากใส่ตัวกลาง (media) จะสามารถดักไอแก๊สได้อย่างดี และยังเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิของแก๊สด้วย ส่วนข้อเสียคือ มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนสูง และต้องการระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำดักฝุ่น

ในการควบคุมระบบจำเป็นต้องคำนึงถึงการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องดักจับด้วยหยดน้ำสามารถควบคุมจาก

- ปริมาณของของเหลว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกระจายการหยดของของเหลวให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของหอ จัดได้ว่าเป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพของระบบ โดยทั่วไปต้องให้อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของของเหลวต่ออัตราการไหลของแก๊ส (Liquid/Gas ratio) มากกว่า 2 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร

- ขนาดหยดของเหลว โดยหยดของเหลวที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นดีกว่าหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจุดสำคัญคือ การลดขนาดของหยดของเหลวที่โปรยลงมา เช่น การเพิ่มความสูงของหอ เป็นต้น และประสิทธิภาพในการจับฝุ่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลวที่ใช้ นั่นหมายถึงสามารถเลือกใช้ของเหลวชนิดใดก็ได้ในการจับฝุ่น แต่มีข้อควรระวังคือ หากใช้ของเหลวที่มีตะกอนอาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวพ่นน้ำ (Nozzle) ได้ นอกจากนี้ หอที่ใช้ในการดักจับฝุ่นจะต่างกับหลักการใช้ wet scrubber ในการจับแก๊สและไอ คือ การดักฝุ่นไม่จำเป็นต้องใส่ตัวกลาง (media)

4. ถุงกรอง (Baghouse Filter)

กลไกที่สำคัญในการกรองฝุ่นด้วยถุงกรอง คือ การชน (Impaction) แพร่ (Diffusion) และยึด (Interception) ระหว่างฝุ่นกับถุงกรอง ซึ่งกลไกหลักที่สำคัญที่สุดคือ การชน ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในถุงกรองมากกว่า 20 ครั้ง ระบบถุงกรองสามารถบำบัดฝุ่นขนาดเล็กถึง 0.1 ไมครอนได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547) มีข้อดีคือ ประสิทธิภาพสูงในการดักฝุ่นขนาดเล็ก ฝุ่นที่ดักได้จะเป็นฝุ่นแห้ง เช่น ฝุ่นในอุตสาหกรรมผลิตยา สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ พลังงานที่ใช้และความดันลดไม่มาก และไม่เกิดน้ำเสีย ส่วนข้อเสียคือ มักมีขนาดใหญ่ ต้องการการบำรุงรักษามาก มีข้อจำกัดกับฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูง และหากฝุ่นมีความชื้นจะทำให้เกิดการอุดตันภายในถุงกรอง

ในการออกแบบถุงกรองจะคิดประสิทธิภาพเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าถุงกรองจะมีขนาดพื้นที่เท่าใด แต่หากถุงกรองมีพื้นที่น้อยก็จะทำให้ความดันลด (Pressure drop) มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังทำให้ฝุ่นมีความเร็วในการพุ่งชนถุงกรองสูง ฝุ่นจะเกาะในเนื้อผ้ากรองแน่นกว่าถุงกรองที่มีพื้นที่มาก ทำให้การทำความสะอาดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการออกแบบถุงกรองก็คือ การหาขนาดของถุงกรองที่เหมาะสมนั่นเอง โดยสามารถคิดได้จากอัตราส่วนปริมาณอากาศที่ใช้ต่อพื้นที่ถุงกรอง (Air-to-Cloth ratio: A/C ratio หรือ Gas-to-Cloth ratio: G/O ratio) มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อตารางฟุต ($ft^3/min\text{-}ft^2$) A/C ratio ขึ้นอยู่กับระบบทำความสะอาดถุงกรอง ซึ่งมีด้วยกัน 3 ระบบ ได้แก่

1) ระบบ Reverse Air: ในการทำความสะอาดจะเป่าอากาศไหลย้อน (Reverse) ในทิศตรงข้ามกับการกรอง ผ้ากรองที่นำมาใช้ทำจากผ้าทอ (Woven fabrics) ค่า A/C ratio ที่ใช้จะอยู่ในช่วงประมาณ 1 – 3 $ft^3/min\text{-}ft^2$ เป็นระบบการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ในการใช้งานจึงต้องการพื้นที่ถุงกรองมากที่สุด แต่มีข้อดีคือ สามารถใช้ดักฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูงได้

2) ระบบ Shaking: เป็นการใช้การสั่นของถุงกรองเพื่อให้ฝุ่นที่ติดอยู่หลุดออกมา ระบบนี้ต้องการขนาดพื้นที่ในถุงกรองน้อยกว่าระบบ Reverse Air และราคาถูกกว่าระบบ Pulse Jet ค่า A/C ratio ที่ใช้มีค่าประมาณ 2 - 6 $ft^3/min\text{-}ft^2$

3) ระบบ Pulse Jet: เป็นการใช้ก้อนอากาศ (Bubble) อัดเป็นจังหวะ (Pulse) เพื่อทำความสะอาดถุงกรอง มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ทำให้ความต้องการพื้นที่ในการกรองต่ำสุด ผ้ากรองที่ใช้ทำจากผ้าสักหลาด (Felted fabrics) ค่า A/C ratio ที่ใช้จะอยู่ในช่วงประมาณ 5 - 15 $ft^3/min\text{-}ft^2$ ข้อเสียคือ มีราคาสูงมาก และใช้กับฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูงไม่ได้

5. เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator)

เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (ESP) อาศัยแรงทางไฟฟ้าในการแยกฝุ่นออกจากอากาศ การทำงานประกอบด้วยแผ่นที่ให้ประจุกับอนุภาคฝุ่น หรือ แผ่น Corona ทำหน้าที่ในการชาร์ตประจุลบให้กับฝุ่น และแผ่นเก็บฝุ่น หรือ Collecting plate ซึ่งมีประจุบวกทำหน้าที่จับและเก็บฝุ่นไว้ โดยฝุ่นที่ได้รับประจุลบจากแผ่น Corona จะเคลื่อนที่ไปยังแผ่น Collecting plate ที่มีขั้วบวกตามแรงทางประจุไฟฟ้า

ระบบนี้มีข้อดี คือ ประสิทธิภาพในการบำบัดฝุ่นสูง เกิดความดันลดต่ำ จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงหลอมโลหะ โรงปูนซีเมนต์ โรงจักรไฟฟ้า และโรงงานผลิตสารเคมี เป็นต้น เนื่องจากสามารถดักฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนได้ แต่มีข้อเสียคือ ต้องเสียค่าไฟฟ้าสูง ไม่สามารถใช้กับฝุ่นที่มีสมบัติติดไฟหรือระเบิดง่าย และการใช้งานจะผลิตแก๊สโอโซนซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนออกมา

สรุป

เมื่อพิจารณาจากขนาดของฝุ่นละออง พบว่าจากอุปกรณ์ทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวมา อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นมากที่สุด คือ ถุงกรองซึ่งสามารถใช้ได้กับฝุ่นที่มีขนาดเล็กถึง 0.1 ไมครอน รองลงมาคือ เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์และเครื่องดักจับด้วยหยดน้ำที่จับฝุ่นขนาด 1 ไมครอนได้ ส่วนระบบไซโคลนจะจับฝุ่นขนาดเล็กสุดที่ 10 ไมครอน และระบบคัดแยกโดยการตกเนื่องจากน้ำหนักฝุ่นมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด สามารถดักจับได้เฉพาะฝุ่นขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างนอกจากประสิทธิภาพ ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ เช่น พื้นที่ติดตั้ง งบประมาณ ประสบการณ์และความชำนาญของบุคลากร เป็นต้น ทั้งนี้ในการบำบัดฝุ่นอาจประยุกต์โดยการใช้หลายๆ ระบบต่อเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับ ซึ่งอาจช่วยลดค่าใช้จ่ายด้วย ตัวอย่างเช่น การใช้ไซโคลนต่อกับถุงกรอง เป็นต้น

ที่มา:

http://www.academic.hcu.ac.th/forum/board_posts.asp?FID=350&UID