

หน่วยที่ 5 อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาค

กลไกในการดักจับอนุภาค

อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคทุกประเภทจำเป็นต้องอาศัยกลไกในการดักจับหรือเก็บกักอนุภาค ไว้ในอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งกลไกหรือแรงที่กระทำต่ออนุภาคเพื่อแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ (gas stream) หรือกระแสอากาศ มีกลไกหรือแรงที่ใช้ในการดักจับอนุภาคที่สำคัญอยู่ 6 ชนิด คือ

1. **การตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก** เป็นกลไกที่ง่ายที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคขนาดใหญ่เคลื่อนที่เข้ามาพร้อมกระแสอากาศที่มีความเร็วต่ำเพียงพอให้อนุภาคขนาดใหญ่ดังกล่าวสามารถแยกตัวจากกระแสอากาศหรือตกลงโดยแรงโน้มถ่วงของโลก
2. **การตกโดยแรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง** เป็นกลไกที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้อากาศเคลื่อนที่ในอุปกรณ์ที่มีรูปร่างโค้ง ทำให้กระแสของอากาศเกิดการไหลหมุนวนภายในอุปกรณ์ดังกล่าว อนุภาคจะถูกแรงเหวี่ยงไปยังผนังของอุปกรณ์ และตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก
3. **การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย** เป็นกลไกที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคขนาดใหญ่และมีมวลมาก ซึ่งเคลื่อนที่มาพร้อมกระแสของอากาศ ถูกสกัดกั้นด้วยวัตถุเป้าหมาย (target) เช่น เส้นใย (fiber) หรือหยดน้ำ (water droplet) กระแสอากาศสามารถเคลื่อนที่ไหลอ้อมวัตถุเป้าหมายได้ แต่อนุภาคไม่สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นกระแสอากาศดังกล่าวได้ เนื่องจากอนุภาคมีความเฉื่อยทำให้อนุภาคชนกับวัตถุเป้าหมาย
4. **การสกัดกั้นโดยตรง** เป็นกลไกที่เกิดขึ้นคล้ายกับการกระทบเนื่องจากความเฉื่อย อนุภาคที่ถูกสกัดกั้นด้วยวัตถุเป้าหมาย ทำให้วัตถุเป้าหมายสามารถดักจับอนุภาคได้
5. **การแพร่** กลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมโครเมตร และจะเกิดได้ดีเป็นพิเศษเมื่ออนุภาคมีขนาดระหว่าง 0.01 ถึง 0.1 ไมโครเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้เกิดการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง ที่เรียกว่า การแพร่แบบบราวเนียน (Brownian diffusion) ทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการชนกับ โมเลกุลของก๊าซในกระแสก๊าซ และเกิดการแพร่ผ่านกระแสก๊าซไปกระทบกับวัตถุเป้าหมาย
6. **การดึงดูดโดยแรงไฟฟ้าสถิต** กลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านวัตถุเป้าหมายที่มีประจุไฟฟ้าชนิดตรงกันข้าม ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุเป้าหมายและถูกดักจับไว้

ค่าประสิทธิภาพการเก็บกักรวม และค่าการผ่านของอนุภาค

ประสิทธิภาพการเก็บกัก ของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคประเภทต่างๆ สามารถคำนวณได้โดยการตรวจวัดหรือเก็บตัวอย่างอนุภาคทั้งหมด (ทุกขนาด) ในอากาศก่อนเข้า (input) อุปกรณ์ควบคุมมลพิษและในอากาศที่ออก (output) จากอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ

(ตัวอย่างคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บกักรวม หน้า 5-14)

ห้องตกอนุภาค ห้องตกอนุภาค เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคอย่างง่าย และเป็นรูปแบบแรกๆ โดยใช้หลักทางกลศาสตร์อาศัยกลไกการตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก สมรรถนะของห้องตกอนุภาคพิจารณาได้จากประสิทธิภาพในการเก็บกักของห้องตกอนุภาค

แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ห้องตกอนุภาคแบบไหลตามแนวนอน และห้องตกอนุภาคแบบลาดหลายชั้น การประยุกต์ใช้โดยทั่วไปมักใช้ห้องตกอนุภาคเป็นอุปกรณ์บำบัดเบื้องต้น สำหรับดักจับอนุภาคขนาดใหญ่เพื่อลดภาระบรรทุกของอนุภาคลงก่อนเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมมลพิษที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

(ตัวอย่างคำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บกักอนุภาค หน้า 5-22)

1 ห้องตกอนุภาคแบบไหลตามแนวนอน (horizontal flow gravity settling chamber) เป็นห้องตกอนุภาคที่มีรูปแบบโดยทั่วไป (typical type) มีลักษณะเป็นห้องยาวตามแนวนอน มีท่ออากาศไหลเข้าด้านหัวและท่ออากาศไหลออกด้านท้ายห้อง รวมทั้งมีถังพักสำหรับเก็บอนุภาค (hopper) ที่ด้านล่างของห้องตกอนุภาค สำหรับ ห้องตกอนุภาคประเภทนี้จะมีค่าความดันสูญเสีย (pressure drop or head loss) ต่ำ โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 0.5 เซนติเมตรของน้ำ

2 ห้องตกอนุภาคแบบถาดหลายชั้น (multiple tray settling chamber) มีลักษณะเป็นห้องเหมือนกับห้องตกอนุภาคแบบไหลตามแนวนอน แต่มีการเพิ่มเติมถาดเป็นชั้นๆ เข้าไปในห้องตกอนุภาค ทั้งนี้ เพื่อลดระยะตกของอนุภาค หรือเป็นเสมือนการลดความสูง (H) ของห้องตกอนุภาค ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (ประมาณ 15 ไมโครเมตร) ได้ ในถาดแต่ละชั้นสามารถรองรับอนุภาคที่ตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น ระยะทางในแนวดิ่งซึ่งอนุภาคตกและถูกเก็บกักจะมีระยะทางน้อยลงทำให้ห้องตกอนุภาคแบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบไหลตามแนวนอน

ห้องตกอนุภาคมักใช้เป็นอุปกรณ์บำบัดเบื้องต้น (pretreatment) สำหรับดักจับอนุภาคขนาดใหญ่ เพื่อลดภาระบรรทุกของอนุภาคบางส่วน รวมทั้งบางกรณีอาจใช้เป็นอุปกรณ์บำบัดหลัง (posttreatment) เพื่อดักจับอนุภาคที่อาจฟุ้งกลับขึ้นมา

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - ค่าลงทุน (capital cost) และค่าเดินเครื่อง (operating costs) ต่ำ - ไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์ฯ ที่ต้องเคลื่อนที่ ทำให้ปัญหาในการบำรุงรักษาน้อย - ความดันสูญเสียที่ผ่านอุปกรณ์ฯ ต่ำ - ข้อจำกัดเกี่ยวกับอุณหภูมิและความดันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอุปกรณ์ฯ เท่านั้น - เป็นอุปกรณ์ฯ ที่รวบรวมและกำจัดอนุภาคแบบแห้ง 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพในการเก็บกักรวมค่อนข้างต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 20 ถึง 60%) - ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก - ไม่สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีลักษณะเหนียวเหนียว

การเดินเครื่องและบำรุงรักษาสิ่งที่ต้องคอยตรวจสอบ คือ

1 อัตราการไหลของก๊าซหรืออากาศที่เข้าห้องตกอนุภาค ต้องหมั่นตรวจสอบ ควบคุมให้อัตราการไหลเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป

2 ค่าความดันสูญเสียของห้องตกอนุภาค เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญซึ่งต้องคอยควบคุมให้อยู่ตามเกณฑ์ที่ออกแบบไว้

3 การสะสมของอนุภาคที่ถังพักอนุภาค (hopper) เมื่อเกิดการสะสมถึงระดับหนึ่งต้องหมั่นตรวจตราและระบายออกไปกำจัด มิเช่นนั้นอนุภาคที่สะสมอยู่อาจเกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคขึ้นในห้องตกอนุภาค ส่งผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฯ ได้

ไซโคลน เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้หลักการทางกลศาสตร์ โดยอาศัยกลไกหลักคือ กลไกการตกโดยแรงหนีศูนย์กลาง

ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. **ท่อทางเข้า** เป็นอุปกรณ์แรกที่ทำให้กระแสของก๊าซซึ่งไหลผ่านเข้ามาเกิดการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากไหลตรง มาเป็นการไหลเป็นวงกลมหมุนวน

2. **ตัวไซโคลน** จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก (cylinder) และส่วนที่เป็นรูปโคน (cone) โดยประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวไซโคลน

3. **ระบบระบายอนุภาค**

4. **ท่อทางออก**

สมรรถนะของไซโคลน พิจารณาได้จากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์ คือ

1. ขนาดตัดของอนุภาค
2. ประสิทธิภาพในการเก็บกักรวม
3. ค่าความดันสูญเสีย

(คำนวณหาประสิทธิภาพการเก็บกักรวมและค่าความดันสูญเสีย หน้า 5-39)

ไซโคลนแบ่งตามวิธีการที่อากาศเข้าสู่ตัวไซโคลนได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวสัมผัส
2. ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกน

การประยุกต์ใช้โดยทั่วไปนิยมใช้ไซโคลนเป็นอุปกรณ์บำบัดเบื้องต้นเพื่อลดภาระบรรทุกของอนุภาคลงเช่นเดียวกับห้องตกอนุภาค

1. มัลติไซโคลนใช้ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกนขนาดเล็ก นำมาต่อขนานกันหลายๆ ตัว
2. ข้อดีและข้อจำกัดของไซโคลน ดังนี้

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - ค่าลงทุนและค่าเดินเครื่องต่ำ - ไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์ที่ต้องเคลื่อนที่ทำให้ปัญหาในการบำรุงรักษา - ค่าความดันสูญเสียค่อนข้างต่ำ - เป็นอุปกรณ์ที่รวบรวมและกำจัดอนุภาคแบบแห้ง - การก่อสร้างค่อนข้างใช้พื้นที่น้อย - สามารถออกแบบให้เหมาะสมกับช่วงขนาดของอนุภาคได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพในการเก็บกักสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ชัก่อนข้างต่ำ - ไม่สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีลักษณะเหนียว - อาจมีปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อน

การเดินเครื่องและบำรุงรักษาไซโคลน มีหลักการเช่นเดียวกับการเดินเครื่องและบำรุงรักษาห้องตกอนุภาค เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทางกลศาสตร์เหมือนกัน ดังนั้น สิ่งที่ต้องการคอยตรวจสอบ มีดังนี้

1. อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลน
2. ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากไซโคลน
3. การระบายอนุภาคออกจากถังพัก

ถุงกรอง เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคที่มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูง โดยมีกลไกหลักคือ การสกัดกั้นโดยตรง การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย และการแพร่ รวมทั้งกลไกการลอดผ่านด้วย สำหรับสมรรถนะของถุงกรอง พิจารณาได้จากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 พารามิเตอร์ คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อพื้นที่ผ้ากรอง และค่าความดันสูญเสีย

ถุงกรองแบ่งตามวิธีการทำความสะอาดได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1. ถุงกรองแบบทำความสะอาดโดยเขย่าถุง
2. ถุงกรองแบบทำความสะอาดโดยใช้อากาศไหลย้อน
3. ถุงกรองแบบทำความสะอาดโดยใช้การฉีดพ่นอากาศแรงดันสูง

ถุงกรองถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอนุภาคอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเก็บกักสูงประมาณ 99 ถึง 99.9% ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอนุภาค การออกแบบ และการบำรุงรักษา

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูง ทั้งอนุภาคขนาดใหญ่และเล็ก - คุณภาพของอากาศที่ผ่านถุงกรองมีคุณภาพดี สามารถนำอากาศกลับมาใช้หมุนเวียนในโรงงานได้เพื่อช่วยอนุรักษ์พลังงาน - อนุภาคที่เก็บกักได้แห้ง สามารถนำไปกำจัดหรือเข้าสู่กระบวนการใหม่ได้ - การเดินเครื่องหรือควบคุมการทำงานค่อนข้างง่าย - ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตและสครับเบอร์ - สามารถเลือกใช้ผ้ากรองได้หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดในเรื่องอุณหภูมิของก๊าซ โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิของก๊าซที่เข้าถุงกรองเกิน 550° F จำเป็นต้องเลือกใช้ผ้ากรองชนิดพิเศษซึ่งจะมีราคาแพง - ต้องการการบำรุงรักษามาก เช่น การเปลี่ยนถุงกรองเป็นประจำ - อายุการใช้งานของถุงกรองอาจสั้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือสภาพความเป็นกรดต่าง - ใช้กับอนุภาคที่เปียกชื้นหรือเหนียวไม่ได้ เพราะจะทำให้ถุงกรองอุดตันและทำความสะอาดยาก - อาจเกิดไฟไหม้ถุงกรองได้ถ้าเก็บกักอนุภาคที่สามารถติดไฟได้และได้รับประกายไฟขึ้น - จำเป็นต้องจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เช่น หน้ากากกรองอนุภาคให้กับบุคลากรเมื่อทำการเปลี่ยนถุงกรอง - ความดันสูญเสียอยู่ในระดับปานกลางคือประมาณ 10 ถึง 25 เซนติเมตรของน้ำ

ถุงกรองที่ขณะทำการกรองเกิดการสะสมของชั้นอนุภาคที่ด้านในของถุงกรอง คือ

- ถุงกรองแบบทำความสะอาดโดยการเขย่าถุง
- ถุงกรองแบบทำความสะอาดโดยใช้อากาศไหลย้อน

สาเหตุที่ทำให้ถุงกรองมีความดันสูญเสียสูงผิดปกติ คือ

- อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถุงกรองสูงเกินไป
- การทำความสะอาดถุงของไม่เหมาะสม
- ทางเข้าของถุงกรองอุดตัน

สครับเบอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคซึ่งใช้ของเหลวในการดักจับอนุภาค โดยอาศัยกลไกในการดักจับคือการกระทบเนื่องจากความเฉื่อย การสกัดกั้นโดยตรง และการแพร่

สครับเบอร์มีขั้นตอนการดักจับอนุภาคที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

1. การให้อนุภาคสัมผัสและถูกดักจับด้วยหยดน้ำ
2. การแยกหยดน้ำออกจากกระแสของอากาศ
3. การบำบัดน้ำที่แยกออกมา

สำหรับสมรรถนะของสกรับเบอร์พิจารณาได้จากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 พารามิเตอร์ คือ ประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาค และค่าความดันสูญเสีย

สกรับเบอร์ที่สำคัญซึ่งนิยมใช้ในการดักจับอนุภาคแบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. สกรับเบอร์แบบสเปรย์ เป็นสกรับเบอร์ประเภทที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โครงสร้างจะมีรูปทรงกระบอกแนวตั้งหรือเป็นหอ และถูกออกแบบให้อากาศไหลขึ้นจากด้านล่างสวนทางกับการฉีดพ่นละอองน้ำที่ไหลจากบนลงล่าง ในการฉีดพ่นละอองน้ำ โดยทั่วไปจะใช้หัวฉีด (nozzle) ฉีดด้วยแรงดันประมาณ 35 ถึง 50 psi สกรับเบอร์แบบสเปรย์นี้มีค่าความดันสูญเสียต่ำ ดังนั้นจึงเป็นสกรับเบอร์แบบใช้พลังงานต่ำ อนุภาคจะถูกหยดน้ำหรือละอองดักจับ

2. สกรับเบอร์แบบไซโคลอน โดยอาศัยหลักการของไซโคลอนเข้าร่วมกับหลักการของสกรับเบอร์ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคที่มีขนาดเล็กเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความดันสูญเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยทั่วไป สกรับเบอร์ประเภทนี้จะมีค่าความดันสูญเสียอยู่ประมาณ 4 ถึง 8 นิ้วของน้ำจัดเป็นสกรับเบอร์แบบใช้พลังงานต่ำถึงปานกลาง

3. สกรับเบอร์แบบถาดหรือเพลท ตัวโครงสร้างจะเป็นหอหรือรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ภายในจะมีถาดหรือเพลทที่มีรูวางพาดในแนวระดับ น้ำจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านเพลทจากข้างบนลงข้างล่าง ขณะเดียวกันกับที่ปล่อยให้อากาศเสียไหลสวนขึ้นจากล่างขึ้นบน อากาศจะไหลผ่านรูของถาดขึ้นไปสัมผัสกับชั้นของน้ำ เป็นสกรับเบอร์แบบใช้พลังงานปานกลางถึงสูง เหมาะสำหรับการดักจับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตรขึ้นไป

4. สกรับเบอร์แบบโอริฟิซ สกรับเบอร์แบบชักน้ำสเปรย์ขึ้นเอง ออกแบบให้กระแสของอากาศไหลเข้าไปสัมผัสกับผิวของน้ำในทางแคบ (orifice) เพื่อเร่งให้อากาศมีความเร็วสูงขึ้น โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 50 ฟุตต่อวินาที ทำให้เกิดการกระทบกับผิวน้ำด้วยความแรงเกิดการแตกตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำเพื่อเกิดการดักจับอนุภาคก่อนที่จะไปกระทบกับแผ่นกัน จัดเป็นสกรับเบอร์แบบใช้พลังงานปานกลางถึงสูง

5. สกรับเบอร์แบบเวนทูรี เป็นสกรับเบอร์ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กสูงมาก โดยสามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรกระแสของอากาศเสียจะถูกบังคับให้ไหลผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเวนทูรี ซึ่งเป็นอุปกรณ์นี้ที่ถูกออกแบบมาให้มีคอที่แคบลง ทำให้กระแสของอากาศไหลผ่านด้วยความเร็วสูงหรือถูกเร่งความเร็ว โดยจะมีการฉีดพ่นน้ำที่บริเวณคอหรือบริเวณก่อนที่จะถึงบริเวณคอ และจากการไหลของกระแสของอากาศด้วยความเร็วสูงทำให้น้ำเกิดการแตกตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำเล็กๆ ที่มีความเร็วสูง ส่งผลให้สามารถดักจับอนุภาค จัดเป็นสกรับเบอร์แบบใช้พลังงานสูง

สกรับเบอร์เป็นทางเลือกหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาค โดยทั่วไปจะใช้กับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรลงไป

สกรับเบอร์แบบสเปรย์	สกรับเบอร์ประเภทรูปแบบง่ายที่สุด
สกรับเบอร์แบบไซโคลอน	สกรับเบอร์แบบใช้พลังงานต่ำถึงปานกลาง
สกรับเบอร์แบบถาด	สกรับเบอร์แบบใช้พลังงานปานกลางถึงสูง
สกรับเบอร์แบบโอริฟิซ	สกรับเบอร์แบบชักน้ำสเปรย์ขึ้นเอง
สกรับเบอร์แบบเวนทูรี	Gas Atomized Spray Scrubbers

ข้อดีและข้อจำกัดของสกรับเบอร์ มีดังนี้

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - มีประสิทธิภาพในการเก็บกับอนุภาคสูงทั้งขนาดใหญ่และเล็ก - สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเสี่ยงในการติดไฟและระเบิด - สามารถใช้ได้กับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นระบบเปียก ทำให้ของเสียที่ได้ (น้ำกับอนุภาค) เปียก ส่งผลให้ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ - ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ มิเช่นนั้นอาจเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ <p>ข้อจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - มีความเสี่ยงสูงต่อปัญหาการผุกร่อน เนื่องจากเป็นระบบเปียก
<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีลักษณะเหนียวได้ - เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมมลพิษอากาศได้ทั้งชนิดอนุภาค ก๊าซและไอพร้อมกัน ถ้ามีความจำเป็น 	<ul style="list-style-type: none"> - มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง - อากาศที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมจะมีความชื้นสูง

เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศที่ใช้แรงไฟฟ้าในการแยกอนุภาคออกจากกระแสอากาศ ดังนั้นกลไกในการดักจับคือ กลไกการดึงดูดโดยแรงไฟฟ้าสถิต

ขั้นตอนการทำงานที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

1. การใส่ประจุให้กับอนุภาค ทำได้โดยการใช้ขั้วปล่อยประจุหรือขั้วไฟฟ้า กระแสตรงที่มีค่าความต่างศักย์สูงๆ ทำให้โมเลกุลของกระแสอากาศที่อยู่รอบๆ เกิดการแตกตัวเป็นไอออน และถูกอิเล็กตรอนหรือประจุลบที่ปล่อยออกจากขั้วไฟฟ้าไปกระทบหรือชนทำให้โมเลกุลของอากาศกลายเป็นไอออนลบ บริเวณขั้วปล่อยประจุนี้จะเกิดปรากฏการณ์เห็นเป็นแสงสีน้ำเงินส่องสว่างบริเวณรอบๆ ที่เรียกว่า โคโรนา (Corona) เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาสนามไฟฟ้าจะถูกไอออนลบของโมเลกุลของอากาศจำนวนมากชน ทำให้อนุภาคมีประจุเป็นลบ

2. การเก็บอนุภาคที่มีประจุโดยใช้แรงไฟฟ้าสถิตจากสนามไฟฟ้า เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากอนุภาคมีประจุเป็นลบ แล้วเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในสนามไฟฟ้า จะถูกเหนี่ยวนำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วเก็บที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และเกาะติดอยู่กับขั้วเก็บ ความเร็วที่อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาขั้วเก็บนี้เราเรียกว่า migration velocity ซึ่งขึ้นกับแรงไฟฟ้าที่กระทำต่ออนุภาคและแรงลาก (drag force) ที่เกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปยังขั้วเก็บ นอกจากนี้ เมื่ออนุภาคเกาะติดกับขั้วเก็บแล้วจะค่อยๆ ถ่างเทพระจุลบสู่ขั้วเก็บ ทำให้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคกับขั้วเก็บลดลง

3. การแยกอนุภาคออกจากผิวของขั้วเก็บ ภายหลังจากเกิดการสะสมของอนุภาคที่ขั้วเก็บ อนุภาคจะถูกทำให้หลุดออกจากขั้วเก็บโดยวิธีการเคาะ (rap) หรือการสั่น (vibration) ขั้วเก็บ ทำให้อนุภาคหลุดออกและตกลงโดยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่ถังพัก อนุภาคด้านล่างก่อนถูกนำไปกำจัดต่อไป โดยจะเรียก ESP ซึ่งมีระบบการแยกอนุภาคแบบนี้ว่า ESP แบบแห้ง (dry ESP) นอกจากนี้ ในการทำให้อนุภาคหลุดจากขั้วเก็บอาจใช้น้ำในการชะล้าง ซึ่งจะเรียก ESP ที่มีระบบการแยกอนุภาคแบบนี้ว่า ESP แบบเปียก (wet ESP)

สำหรับสมรรถนะของเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต พิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาค ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความสูงขั้วเก็บ และสภาพความต้านทานไฟฟ้าของอนุภาค

ประเภทของเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต สามารถจำแนก ESP ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- **ESP แบบตอนเดียว (single stage ESP)** เป็น ESP ที่มีขั้นตอนของการใส่ประจุให้กับอนุภาค และขั้นตอนการเก็บอนุภาคที่มีประจุอยู่ในบริเวณเดียวกันหรืออยู่ในหน่วยเดียวกัน
- **ESP แบบสองตอน (two stage ESP)** เป็น ESP ที่มีการแยกขั้นตอนของการใส่ประจุให้กับอนุภาค และขั้นตอนของการเก็บอนุภาคที่มีประจุออกจากกันหรืออยู่กันคนละส่วน

หากใช้ระบบในการแยกอนุภาคจากผิวของขั้วเก็บเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งประเภทของ ESP ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- ESP แบบแห้ง (dry ESP) เป็น ESP ซึ่งทำให้อนุภาคหลุดจากขั้วเก็บโดยวิธีการเคาะหรือสั่น
- ESP แบบเปียก (wet ESP) เป็น ESP ซึ่งทำให้อนุภาคหลุดจากขั้วเก็บโดยการให้น้ำชะล้าง

หากใช้ลักษณะหรือรูปร่างของขั้วเก็บเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่ง ESP ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- ESP แบบแผ่น (plate ESP) เป็น ESP ที่มีขั้วเก็บเป็นแผ่น
- ESP แบบท่อ (pipe ESP or tabular ESP) เป็น ESP ที่มีขั้วเก็บเป็นท่อ

เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคที่เป็นของแข็งคือเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบตอนเดียว

แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบแห้ง ขั้วปล่อยเป็นลวด และขั้วเก็บเป็นแผ่น เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบแห้ง ขั้วปล่อยเป็นลวด และขั้วเก็บเป็นท่อ เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบเปียก ขั้วปล่อยเป็นลวด และขั้วเก็บเป็นแผ่น เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบเปียก ขั้วปล่อยเป็นลวด และขั้วเก็บเป็นท่อ อย่างไรก็ตาม เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแบบแห้ง ขั้วปล่อยเป็นลวด และขั้วเก็บเป็นแผ่นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มีประสิทธิภาพในการเก็บกักสูงประมาณ 99 ถึง 99% เหมาะสำหรับเก็บกักอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรลงไป

เครื่อง ESP แบบแห้งขั้วปล่อยเป็นลวดและขั้วเก็บเป็นแผ่นประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ดังนี้

1. **ขั้วปล่อยประจุ (discharge electrodes)** เส้นลวด ส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน
2. **ขั้วเก็บ (collection electrodes)** มีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่น ส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) หรือเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรือเหล็กผสมประเภทอื่นๆ
3. **โครงสร้างของเครื่อง (shells)** เป็นส่วนโครงสร้างที่ปกคลุมและป้องกันขั้วปล่อยประจุและขั้วเก็บภายในตัวเครื่อง และหมายรวมถึงส่วนที่เป็นถังพักอนุภาคที่อยู่ด้านใต้เครื่องด้วย
4. **เครื่องแยกอนุภาค (rappers)** เป็นเครื่องมือที่ทำให้อนุภาคแยกออกจากขั้วเก็บโดยการสั่นหรือเขย่า เครื่องแยกอนุภาคมีหลายประเภท อาจใช้เป็นประเภทเครื่องกล ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งอยู่ด้านข้างของเครื่อง ESP หรืออาจใช้เป็นประเภทการสั่นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic impulse) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านบนของเครื่อง ESP
5. **หม้อแปลงไฟฟ้า (transformers-rectifiers Sets) ไฟฟ้า (Transformers-Rectifiers Sets; T-R Sets)** T-R Sets เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการควบคุมสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วปล่อยประจุและขั้วเก็บ โดย T-R Sets จะประกอบด้วย Transformer และ Rectifier ซึ่งจะแปลงศักย์ไฟฟ้าจาก 400-480 โวลต์ เป็นประมาณ 50,000 โวลต์ รวมทั้งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อส่งไปยัง precipitator field โดยทั่วไป T-R Sets จะถูกติดตั้งไว้ด้านบนของเครื่อง ESP

ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่อง ESP มีดังนี้

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูง รวมทั้งอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก - สามารถใช้ได้กับประมาณหรืออัตราการไหลของอากาศสูง - มีค่าความดันสูญเสียต่ำมาก (ประมาณ 1.3 ซม. หรือ 0.5 นิ้ว ของน้ำ) - ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องค่อนข้างต่ำ - สามารถออกแบบให้ใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิของอากาศกว้างและสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 700°C - สามารถเลือกระบบการแยกอนุภาคได้ทั้งแบบแห้งและแบบเปียกตามความเหมาะสม 	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูง - เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นน้อย ไม่สามารถใช้ได้กับกระบวนการซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสูง (เช่น อัตราการไหล อุณหภูมิ หรือคุณลักษณะของอนุภาค เป็นต้น) - ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก - อาจเกิดอันตรายจากการระเบิดเมื่อใช้กับก๊าซหรืออนุภาคที่ลุกไหม้ได้ - ในขณะที่ทำให้อากาศเกิดการแตกตัวจะเกิดก๊าซไอโซนขึ้น - ใช้ได้กับอนุภาคที่มีสภาพความต้านทานไฟฟ้าของอนุภาคที่เหมาะสม - บุคลากรที่บำรุงรักษาต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากต้องทำงานกับกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง - ต้องการบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญสูงในการเดินเครื่องและบำรุงรักษา - สำหรับ ESP แบบแห้งไม่สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่เปียกชื้นหรือมีลักษณะเหนียวได้