บทที่ 2
ทฤษฎี

ในกระบวนการสันดาปหรือการเผาไหม้(combustion) จะก่อให้เกิดมลสารต่างๆ ซึ่งมลสารบางชนิดถ้าปนออกมาในปริมาณมาก ก็จะเป็นผลให้ส่วนประกอบและสภาวะของอากาศเปลี่ยนแปลงไป อันจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม สำหรับการกำจัดขยะหรือมูลฝอยต่างๆ ด้วยวิธีการเผาในเตาเผามูลฝอย นอกจากจะได้แก๊สเสียต่างๆ แล้ว สิ่งที่ปะปนออกมาด้วยในปริมาณมากก็คืออนุภาค (particles) ซึ่งหมายถึงมวลของแข็งหรือของเหลวที่เป็นชิ้นเล็กๆ ได้แก่ อนุภาคที่ยังเผาไหม้ได้อีก, ขี้เถ้าลอย (fly ash), เขม่าและควัน ปัจจุบันจึงมีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการทำความสะอาดแก๊ส (air cleaning devices) ให้เหมาะสมกับการลักษณะของงาน โดยทั่วไปแล้ว จะสามารถแบ่งอุปกรณ์เหล่านี้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค (dry scrubber) เช่น ไซโคลน (cyclone), เครื่องตกตะกอน (settling chamber) และประเภทที่ใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค (wet scrubber) เช่น เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี (venturi scrubber), หอสเปรย์ (spray tower) เป็นต้น

การควบคุมและบำบัดมลพิษโดยใช้เครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก เป็นการกำจัดมลพิษทั้งในลักษณะอนุภาคของแข็งและมลพิษที่เป็นแก๊สหรือไอ โดยที่อนุภาคของแข็งจะถูกกำจัดออกโดยหยดของของเหลว ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำในการดักอนุภาค (trapping) อนุภาคเล็กๆ จะรวมตัวใหญ่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำและจะถูกกักไว้ในชั้นฟิล์มของของเหลว (liquid film) ส่วนในสภาวะแก๊ส แก๊สเสียบางส่วนจะถูกละลายในของเหลวหรือน้ำที่ถูกฉีดเข้ามาเป็นผลให้ความเข้มข้นและอุณหภูมิของแก๊สเสียที่ออกจากระบบลดลง

2.1 <u>กลไกการดักเก็บอนุภาคที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กันในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก</u> มีดังนี้

2.1.1 <u>การกระทบด้วยแรงเฉื่อย</u> (Inertial impaction) เกิดขึ้นเมื่อกระแสแก๊สเข้าไปใกล้หยดของเหลวที่ระยะทางหนึ่งก่อนที่จะถึงหยดน้ำ กระแสแก๊สจะเริ่มไหลเบี่ยงเบนออกไป ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงเฉื่อย (inertia force) มากจะไม่เคลื่อนที่ไปตามกระแสแก๊สที่ไหลเบี่ยงเบนออกไปแต่จะเริ่มเคลื่อนที่ตรงไปกระทบกับหยดของของเหลว (droplet) และถูกหยดของของเหลวจับไว้ในที่สุด

2.1.2 การสะกัดกั้นโดยตรง (Direct interception) แม้ว่าอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ตามกระแสแก๊สที่ไหลเบี่ยงเบนไปรอบๆ หยดของของเหลว อนุภาคของแข็งขนาดเล็กเหล่านี้ก็มีโอกาสเข้าสัมผัสและเกาะติดกับหยดน้ำได้ด้วยกลไกของการสะกัดกั้นโดยตรง หากว่าจุดศูนย์กลางของอนุภาคของแข็งซึ่งเคลื่อนที่ไปกับกระแสแก๊สอยู่ห่างจากผิวของหยดของของเหลวเป็นระยะทางน้อยกว่ารัศมีของอนุภาคของแข็งนั้น

2.1.3 การแพร่ (Diffusion or Brownian movement) เป็นการแพร่แบบบราวเนียน กล่าวคือ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมากๆ เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (submicron particles) และแขวนลอยอยู่ในกระแสแก๊ส จะมีการเคลื่อนที่แบบซิกแซ็กที่เรียกว่า Brownian movement เนื่องจากถูกชนโดยโมเลกุลของแก๊สที่อยู่รอบๆ การเคลื่อนที่แบบซิกแซ็กนี้เองที่ทำให้อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กเหล่านี้เคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกจากกระแสแก๊สที่กำลังไหลผ่านไปรอบๆ หยดของเหลวและสัมผัสกับหยดของเหลวได้

2.1.4 แรงโน้มถ่วง (Gravitational force) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูง (โดยปกติใหญ่กว่า 40 ไมครอน) ซึ่งเคลื่อนที่ไปได้ช้าในอากาศจะค่อยๆ ตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและจะถูกแยกออกจากกระแสแก๊สไปในที่สุด

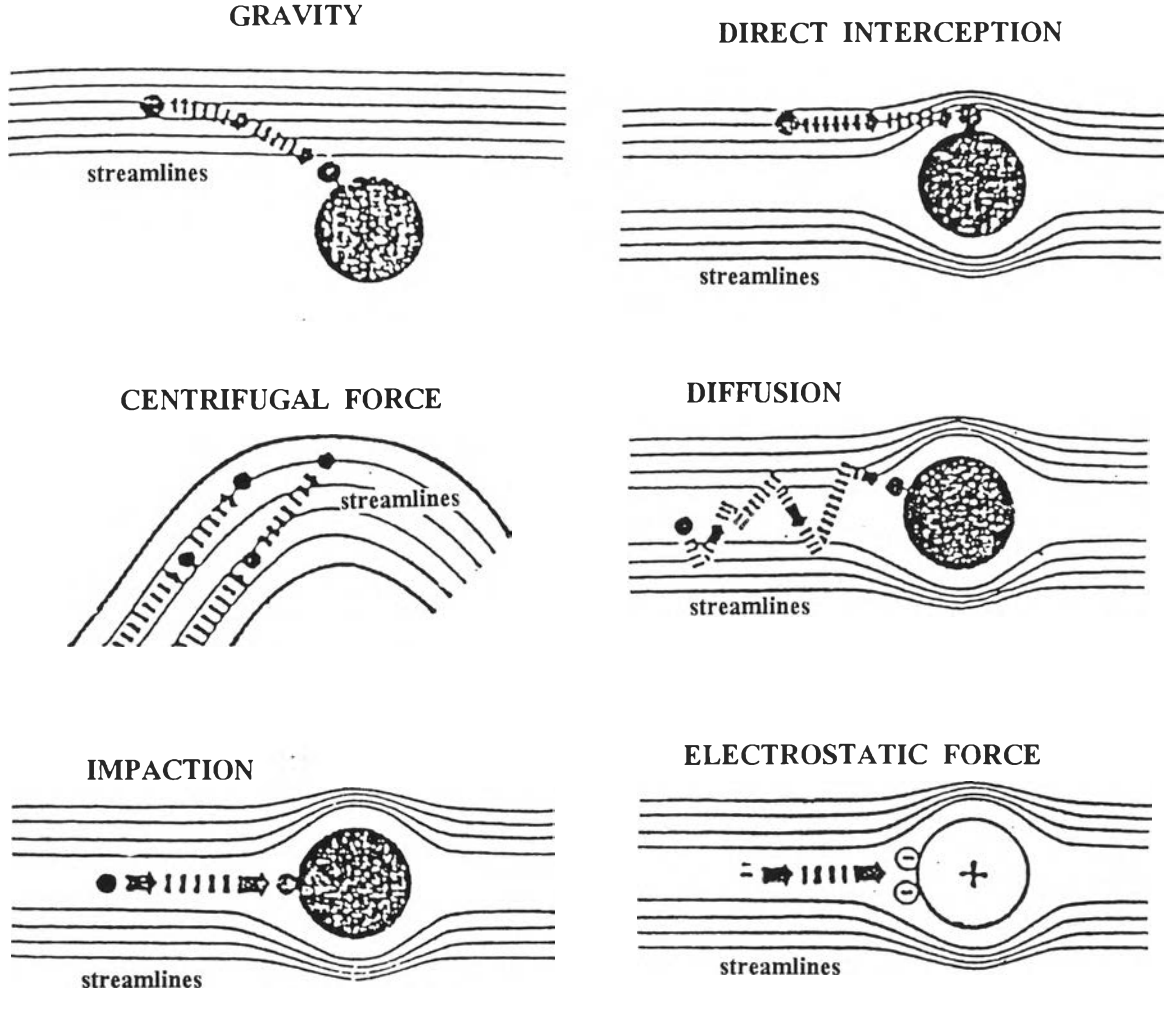
2.1.5 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสแก๊สเกิดการไหลหมุนวน (vortex flow) ในตัวเครื่องสครับเบอร์ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคของแข็งมีวิถีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนและแยกออกจากกระแสแก๊ส โดยอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะมีโมเมนตัมมากและเบี่ยงเบนออกจากกระแสแก๊สได้มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

2.1.6 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) อนุภาคของแข็งบางชนิดมีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัวโดยธรรมชาติหรืออาจจะได้รับการเติมประจุไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออนุภาคของแข็งที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าสำหรับดักอนุภาคของแข็ง แรงไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้อนุภาคของของแข็งเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นดักฝุ่นซึ่งมีประจุตรงกันข้าม

2.1.7 การควบแน่น (Condensation) การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่อแก๊สร้อนหรืออากาศมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วต่ำกว่าอุณหภูมิหยดน้ำค้าง (dewpoint) ของตัวมันเอง เมื่อความชื้นกลั่นตัวออกจากกระแสแก๊สจะทำให้เกิดกลุ่มหมอกของละอองไอน้ำขึ้น (mist) อนุภาคของแข็งจะถูกพาเข้าไปสู่ใจกลางของการควบแน่นทำให้อนุภาคเหล่านี้มีขนาดใหญ่ขึ้นอันเป็นผลมาจากการควบแน่นของของเหลวซึ่งจะทำให้โอกาสของการกระทบโดยตรงเพิ่มสูงขึ้น อนุภาคของแข็งก็จะถูกดักได้มากขึ้น

2.1.8 ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal gradient) ผลกระทบที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดแรงกระทบต่ออนุภาคของแข็งซึ่งจะพาอนุภาคให้เคลื่อนที่จากบริเวณที่มี

อุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลที่เกิดจากพลังงานการชนกันของโมเลกุล (Molecular collision energy) ที่มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านที่ร้อนและด้านที่เย็นของอนุภาคซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.1 แสดงกลไกของการดักเก็บอนุภาคในเครื่องเก็บอนุภาคแบบเปียก[1]

2.2 เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี

เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี (Venturi scrubber) จะมีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ดีใกล้เคียงกับเครื่องตกตะกอนอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตย์(Electro-Statics Precipitator) และเครื่องกรองอนุภาคด้วยเส้นใย (Fabric filter) ซึ่งมีความสามารถในการดักเก็บอนุภาคที่ละเอียดมากได้ดีและมีประสิทธิภาพสูง ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทและคุณสมบัติ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ทำความสะอาดแก๊สประเภทต่างๆ[2]

เครื่องทำความสะอาดแก๊สประเภทต่างๆ	อนุภาคเล็กสุดที่ดักเก็บได้ (micron)	ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาค (%)	ข้อดี	ข้อดี
แบบแรงโน้มถ่วงโลก	> 50	< 50	ความดันสูญเสียต่ำ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและบำรุงรักษาง่าย	ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคต่ำ
แบบแรงเหวี่ยงหรือไซโคลน	5-25	50-90	มีโครงสร้างและการบำรุงรักษาง่าย ต้องการพื้นที่ติดตั้งน้อย ความดันสูญเสียไม่สูง เหมาะสำหรับใช้ในการดักเก็บอนุภาคที่หยาบและความเข้มข้นของอนุภาคสูง มีผลกระทบน้อยจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเสีย	จำเป็นต้องมีห้องทางเข้าของกระแสแก๊สหลายห้อง มีประสิทธิภาพต่ำในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคและอัตราการไหลของแก๊สเสีย
แบบเวนทูรีหรือเวนทูรีสครับเบอร์	> 0.5	< 99	สามารถดูดกลืนแก๊สและเก็บอนุภาคได้ในขั้นตอนเดียวกัน เหมาะสำหรับทำความสะอาดแก๊สที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง แก๊สเสียที่ออกจากระบบจะมีอุณหภูมิลดลง เหมาะกับการกำจัดและทำให้เป็นกลางของแก๊สที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและมีอันตรายน้อยจากการระเบิดของฝุ่น สามารถปรับเปลี่ยนค่าประสิทธิภาพการทำงานได้	มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ในระดับ submicron ต่ำ มีปัญหาในด้านการผุกร่อนและการสึกหรอ รวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำทิ้งและการฟื้นฟูสภาพ มีปัญหาเกี่ยวกับการแข็งตัวของของเหลวในสภาพอากาศที่เย็น
แบบไฟฟ้าสถิตย์	< 1	95-99	มีประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคมากกว่า 99% สามารถดักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1ไมครอน ได้ดี ใช้ได้ทั้งการดักเก็บอนุภาคแบบแห้งและแบบเปียก ความดันสูญเสียน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องเก็บอนุภาคประสิทธิภาพสูงประเภทอื่นๆ	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคและอัตราการไหลต้องมีวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูง ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ เมื่อใช้งานไปนานๆ
แบบถุงกรอง	< 1	> 99	เป็นอุปกรณ์ในดักเก็บอนุภาคแบบแห้ง สามารถสังเกตได้ง่ายเมื่อประสิทธิภาพการทำงานลดลง มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μm	ความเร็ว,ความชื้นและส่วนประกอบทางเคมีของแก๊สเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกรองของถุงกรอง อันตรายสำหรับแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง

ในการออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี โดยทั่วไปจะต้องการให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคเล็กๆ ที่มากับกระแสแก๊สและหยดของของเหลวให้ได้มากที่สุด โดยของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดผ่านรูของหัวฉีดน้ำเข้ามาที่บริเวณคอคอด (venturi throat) ของระบบทำให้เกิดการแตกตัว (atomized) กลายเป็นหยดน้ำที่มีขนาดเล็กๆ (atomized droplets) จำนวนมาก อีกทั้งความเร็วของกระแสแก๊สที่มีค่าสูงขึ้นจากการบีบพื้นที่ให้เล็กลงของคอคอดยังช่วยในการแตกตัวของหยดน้ำที่ถูกฉีดเข้ามาได้อีก เป็นผลให้ที่บริเวณคอคอดนี้จะเป็นส่วนที่น้ำและกระแสแก๊สเกิดการสัมผัสและเกิดการถ่ายเทพลังงานกันได้มากที่สุด ด้วยกลไกต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 อนุภาคก็จะถูกดักเก็บได้ในที่สุดโดยทั่วไประบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนที่เกิดการสัมผัส (contacting zone) เป็นส่วนของระบบเครื่องเก็บอนุภาคที่เกิดการสัมผัสกันขึ้นระหว่างแก๊สเสียกับหยดน้ำ ในส่วนนี้อนุภาคจะถูกดักเก็บพร้อมกับการละลายและดูดกลืน (apsorption) บางส่วนในน้ำ ส่วนประกอบของเครื่องเก็บอนุภาคในส่วนนี้จะประกอบด้วยส่วนของท่อลู่เข้าและบานออก (converging-diverging section), ส่วนของคอคอด (venturi throat) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

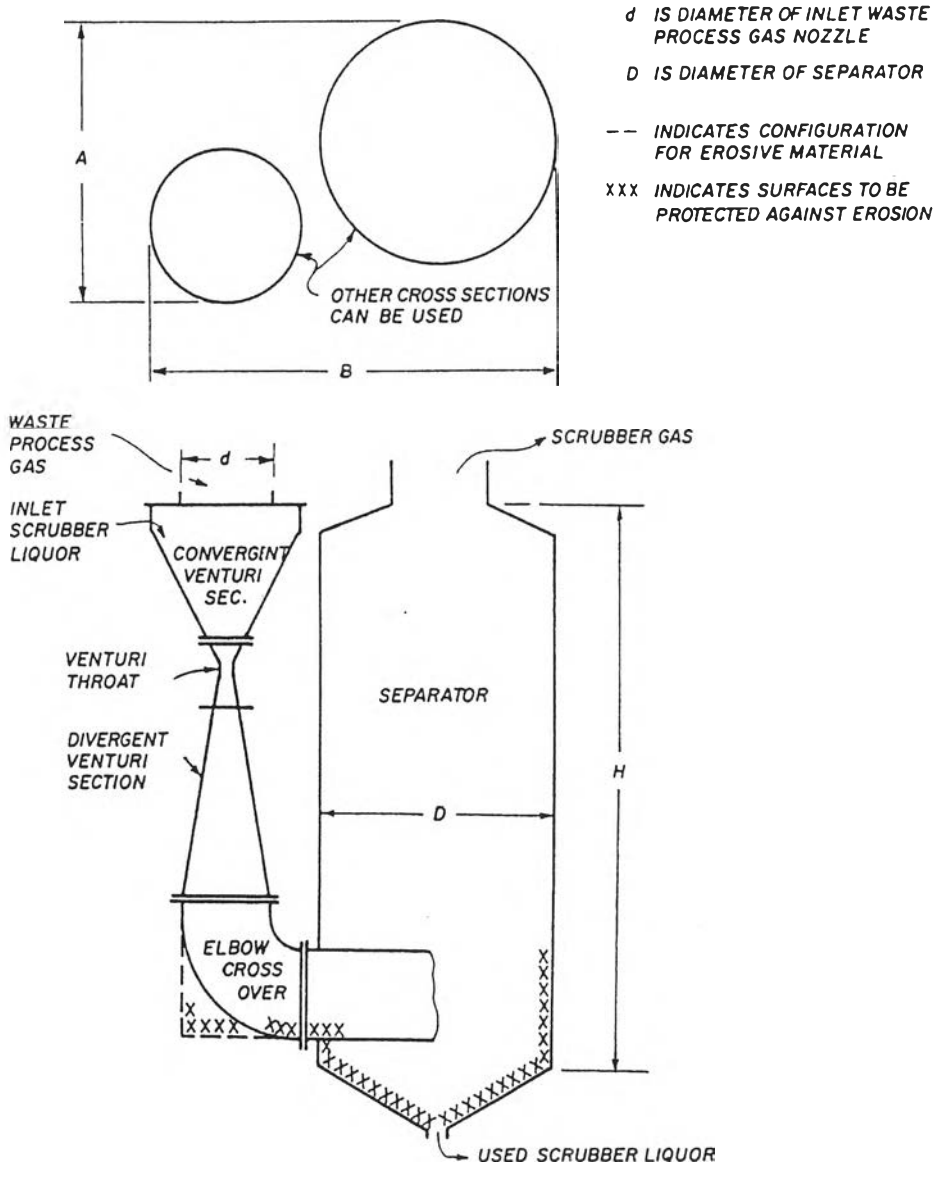
2. ส่วนที่ใช้แยกกระแสแก๊สกับน้ำ (separation zone) เป็นส่วนที่ใช้แยกแก๊สเสียที่ถูกบำบัดให้ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการใช้ในการชะล้างแก๊ส (liquid slurry) มาแล้ว รวมถึงการกำจัดหมอก (mist) และละอองไอ (aerosol) ที่ฟุ้งกระจายอยู่ในระบบก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.2.1 ขนาดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี

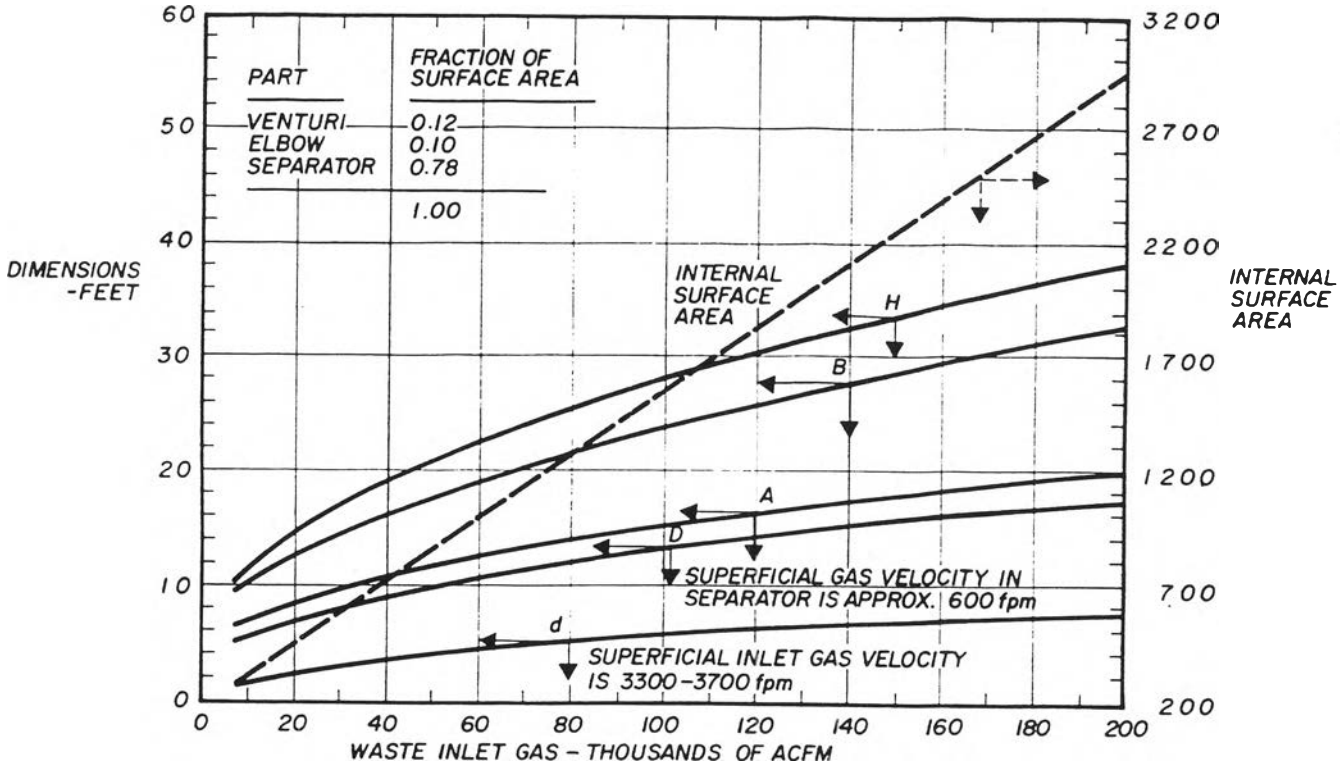
เครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีนั้นมีรูปแบบในการออกแบบได้หลากหลายรูปแบบและมีขนาดที่แตกต่างกันออกไประหว่างผู้ผลิตแต่ละราย ในทางปฏิบัติขนาดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคจะถูกกำหนดขึ้นโดยคำนึงถึงความเร็วของแก๊สที่ต้องการภายในชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบ ตัวอย่างเช่น ในระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีแบบพลังงานสูง[3] ความเร็วของแก๊สเสียที่เข้าระบบจะอยู่ระหว่าง 3,300 ถึง 3,700 ฟุต/นาที และความเร็วของแก๊สที่เข้าถังดักละอองและหมอกประมาณ 600 ฟุต/นาที (10 ฟุต/วินาที) ซึ่งมีอัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถังดักละอองและหมอก (H/D) ประมาณ 2:1 ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 จะแสดงความสัมพันธ์ของขนาดต่างๆ ในระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยขนาดต่างๆ ของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีชนิดพลังงานสูงนี้จะเป็น

ฟังก์ชันของอัตราการไหลของแก๊สเสียที่เข้าระบบในหน่วย 1,000 เท่าของ ft^3/min (1,000 of acfm) ตัวอย่างเช่น ที่อัตราการไหลของแก๊สเสียที่เข้าระบบเท่ากับ 95,000 acfm. จะทำให้ได้ขนาดต่างๆ ดังนี้: d =6 ft, D =13.2 ft, A =15.2 ft, B =27.2 ft และมีพื้นที่ผิวด้านในของระบบเท่ากับ 1,480 ft^2 โดยมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวในส่วนของคอคอด (venturi throat), ข้องอ 90° (elbow) และถังดักละอองและหมอก (separator) เป็น 0.12 : 0.10 : 0.78. ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี[3]



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดต่างๆ ของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีกับอัตราการไหลของแก๊สเสีย[3]

2.2.2 <u>ความดันสูญเสียในเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี</u>

(venturi throat pressure drop)

ความดันลด (pressure drop) สำหรับการไหลของแก๊สผ่านเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีเกิดจากสาเหตุใหญ่ๆ 2 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุแรกเกิดจากแรงเสียดทานอันเนื่องจากผิวของผนังวัสดุและลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนไป (frictional effect) ของระบบ สาเหตุที่สองเกิดจากการสูญเสียความดันอันเนื่องจากผลของการเร่งความเร็วของหยดน้ำในคอคอดของระบบ(liquid-acceleration effect) สำหรับแรงเสียดทานอันเนื่องจากผิวของผนังวัสดุจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและวัสดุที่ใช้ในการทำระบบเครื่องเก็บอนุภาค แต่ในเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีความดันลดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากการสูญเสียความดันเพื่อใช้ในการเร่งความเร็วของหยดน้ำในคอคอด

S. Calvert ได้ประมาณค่าความดันลด (pressure drop) ของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอดของระบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรีว่าขึ้นอยู่กับค่าความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด (throat gas velocity; V_g) และอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่ออัตราการไหลของแก๊ส (liquid to gas ratio; R) โดยสมมุติว่า พลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการเร่งความเร็วของหยดน้ำ (droplets) ให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด ดังนี้[4]

$$\Delta P = (5x10^{-5})(V_g)^2(R) \qquad (2.1)$$

เมื่อ ΔP = ความดันลดที่คอคอด; inch.H_2O

V_g = ความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด; ft/s

R = อัตราส่วนอัตราการไหลของน้ำต่อแก๊สเสียที่เข้าระบบ; gal.H_2O/1,000ft^3.gas

2.2.3 <u>ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี</u>
(efficiency of venturi scrubber)

ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาค (Collection efficiency) หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่สามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในระบบเครื่องเก็บอนุภาค โดยตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาค ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาค, ความเร็วของกระแสแก๊สที่ไหลผ่านคอคอด, อุณหภูมิของแก๊ส, ขนาดของหยดน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ เป็นต้น สำหรับสมการที่นิยมใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูรี คือ สมการของ H.F. Johnstone โดยสมการจะอยู่ในรูป[4]

$$\eta_i = 1 - e^{-kR\sqrt{\psi}} \qquad (2.2)$$

โดยที่ ψ = Inertial impaction parameter; ไม่มีหน่วย

$$\psi = \frac{C \rho_p V_g d_p^2}{18 d_o \mu} \qquad (2.3)$$

C = Cunningham correction factor; ไม่มีหน่วย

$$C = 1 + \frac{(2x10^{-9})T}{d_p} \qquad (2.4)$$

เมื่อ η_i = ประสิทธิภาพย่อยในการดักเก็บอนุภาคที่ช่วงขนาดอนุภาค d_p ; ไม่มีหน่วย

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค; Lb/ft^3

d_p = ขนาดของอนุภาค; ft

d_o = ขนาดของหยดน้ำ; ft

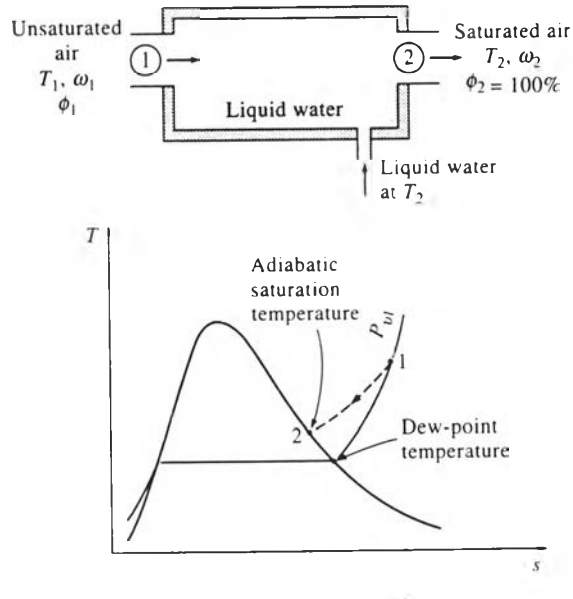
T = อุณหภูมิสมบูรณ์ของแก๊ส; K

μ = ความหนืดของแก๊ส; Lb/(ft)(sec)

k = ค่าคงที่ของระบบ ที่ได้จากการทดลอง ; $(gal.H_2O/1{,}000ft^3.gas)^{-1}$

2.3 <u>กระบวนการทำให้แก๊สอิ่มตัวแบบแอเดียแบติก</u> (adiabatic saturation process)

พิจารณากระบวนการทำให้แก๊สร้อนอิ่มตัวแบบแอเดียแบติก โดยให้แก๊สร้อนมีความชื้นและไม่อิ่มตัวซึ่งมีอัตราส่วนความชื้น (humidity ratio) ω_1ไม่ทราบค่าและมีอุณหภูมิ T_1 ไหลผ่านปริมาตรควบคุมที่มีน้ำขังอยู่ซึ่งถูกหุ้มฉนวนโดยรอบ ตังแสดงในรูปที่ 2.4 ขณะที่แก๊สร้อนไหลผ่านปริมาตรควบคุม น้ำบางส่วนเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยขึ้นไปรวมกับแก๊สร้อนที่ไหลผ่านทำให้แก๊สร้อนมีความชื้นเพิ่มมากขึ้นและอุณหภูมิลดลง ถ้าสมมุติว่าปริมาตรควบคุมนี้มีความยาวมากพอ แก๊สที่ออกจากปริมาตรควบคุมนี้ก็จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) 100% ที่อุณหภูมิ T_2 ซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิแอเดียแบติกอิ่มตัว (adiabatic satulation temperature)



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการแอเดียแบติกอิ่มตัวและแผนภูมิ T-s

กำหนดให้น้ำที่ถูกป้อนเข้าปริมาตรควบคุมเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ T_2 กระบวนการทำให้แก๊สอิ่มตัวแบบแอเดียแบติกนี้จะถูกสมมติให้เป็นกระบวนการไหลคงที่(steady flow process) โดยปราศจากงานและความร้อนไหลผ่านปริมาตรควบคุม ถ้าไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ จากกฎการอนุรักษ์มวลและพลังงานจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{w_1} + \dot{m}_{a_1}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{w_2} + \dot{m}_{a_2}$$

โดยที่ $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

$$\dot{m}_{w_1} + \dot{m}_f = \dot{m}_{w_2}$$

หรือ $\omega_1 \dot{m}_a + \dot{m}_f = \omega_2 \dot{m}_a$

ดังนั้น $$\dot{m}_f = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) \qquad (2.5)$$

$$\omega_1 = \frac{\dot{m}_{w_1}}{\dot{m}_a} = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg_2}}{h_{g_1} - h_{f_2}} \qquad (2.6)$$

$$\omega_2 = \frac{\dot{m}_{w_2}}{\dot{m}_a} = \frac{0.622 P_{g_2}}{P_2 - P_{g_2}} \quad \text{เมื่อ} \quad P_{g_2} = P_{sat@T_2} \qquad (2.7)$$

เมื่อ $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$ = อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สชื้นที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ; kg/s

$\dot{m}_{w_1}$, $\dot{m}_{w_2}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ (water vapor) ในแก๊สชื้นที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ; kg/s

$\dot{m}_{a_1}$, $\dot{m}_{a_2}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สแห้ง ในแก๊สชื้นที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ; kg/s

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ (water vapor) ที่ระเหยมาจากน้ำในปริมาตรควบคุม ; kg/s

ω_1 , ω_2 = อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio) ของแก๊สชื้นที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ; ไม่มีหน่วย

h_{g_1} , h_{g_2} = เอนทาลปี (enthalpy) ในสภาวะไออิ่มตัว (saturated vapor) ของแก๊สชื้นที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ; kJ/kg

h_{f_2} = เอนทาลปีในสภาวะของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) ของแก๊สชื้นที่ไหลออกปริมาตรควบคุม ; kJ/kg

h_{fg_2} = เอนทาลปีในสภาวะของผสมอิ่มตัว (saturated mixture) ของแก๊สชื้นที่ไหลออกปริมาตรควบคุม ; kJ/kg

P_2 = ความดันรวมของแก๊สชื้น (total pressure) ที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุม ณ อุณหภูมิ T_2 ; kPa

P_{g_2} = ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุม ณ อุณหภูมิ T_2 ; kPa

2.4 <u>ปริมาณของน้ำที่ต้องการสำหรับใช้ในระบบเครื่องเก็บอนุภาค</u>

ปริมาณของน้ำที่ต้องการใช้ในเครื่องเก็บอนุภาคจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของอนุภาคที่ไหลมากับแก๊สเสีย (inlet dust loading or concentration), อุณหภูมิและความชื้นของแก๊สเสียที่ไหลเข้าระบบเครื่องเก็บอนุภาค ซึ่งปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องการใช้ (Total make-up water) จะประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำให้แก๊สเสียที่เข้ามาอิ่มตัว (Saturate the gas) และปริมาณน้ำสำหรับใช้ในการดักเก็บอนุภาค (Collecting dust) นั่นคือ

Total make-up water = water required to saturate the income gas stream
+ water required to collect dust

รายละเอียดในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบเครื่องเก็บอนุภาค จะได้แสดงต่อไปในบทที่ 3 เรื่องการออกแบบและการคำนวณ