

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะของอากาศ ที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากและเป็นระยะเวลานานเพียงพอ ที่ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช วัสดุต่าง ๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ หรืออาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษทางอากาศหลักที่สำคัญคือ ฝุ่นละออง (PM) ตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซโอโซน (O₃) (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

ประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ (Sources of Air Pollutants)

นพภาพร พานิช และคณะ, (2547) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources)
2. แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-Made Sources) แบ่งออกได้

เป็น 2 ประเภท คือ

- 2.1 แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Sources) ได้แก่ รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น
- 2.2 แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารมลพิษทางอากาศเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงและเกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และฝุ่นละออง เป็นต้น

โรงสีข้าว (Rice Mill)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดให้โรงสีข้าวเป็นโรงงานลำดับที่ 9 (1) ซึ่งประกอบกิจการสี ผัด หรือขัดข้าว แบ่งได้เป็น 3 จำพวก คือ (“กรมโรงงานอุตสาหกรรม,” ออนไลน์, 2548)

1. โรงงานจำพวกที่ 1 โรงงานที่มีเครื่องจักรไม่เกิน 20 แรงม้า ซึ่งไม่มีหม้อไอน้ำ
2. โรงงานจำพวกที่ 2 โรงงานที่มีเครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้า ซึ่งไม่มีหม้อไอน้ำและไม่จัดอยู่ใน จำพวกที่ 1
3. โรงงานจำพวกที่ 3 โรงงานที่มีเครื่องจักรเกิน 50 แรงม้า หรือโรงงานทุกขนาดที่มีหม้อไอน้ำ

จำนวนโรงสีข้าวในประเทศไทย

จากฐานข้อมูลโรงสีข้าวที่จดทะเบียน และได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าจำนวนโรงสีข้าวทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2547 มี 41,748 โรงงาน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

จำนวนโรงสีข้าวในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2547

ปี	โรงงาน			
	จำพวกที่ 1	จำพวกที่ 2	จำพวกที่ 3	รวม
2542	36,771	3,152	3,222	43,145
2543	33,960	2,887	3,312	40,159
2544	33,121	2,752	3,080	38,953
2545	35,381	2,515	2,909	40,805
2546	33,556	1,430	2,513	37,499
2547	38,683	1,004	2,061	41,748

ที่มา : “กรมโรงงานอุตสาหกรรม”, ออนไลน์ (2548)

กระบวนการสีข้าว

การสีข้าว (Rice Milling) เป็นการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรวิธีหนึ่ง โดยการกะเทาะข้าวเปลือก การขัดข้าวกลั่น และการแยกข้าวสารเต็มเมล็ดและข้าวหักออกจากกัน ซึ่งกระบวนการสีข้าวประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 8 ขั้นตอน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547) ดังนี้

1. การอบแห้งข้าวเปลือก คือ กระบวนการลดความชื้นข้าวให้เหมาะสมสำหรับการสี วิธีการอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีธรรมชาติ อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยการตากลาน และวิธีการทางกล ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้หลายรูปแบบตามประเภทของเครื่องอบแห้งส่วนประกอบของเครื่องอบโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 ส่วน คือ หีบอบแห้ง (มีทั้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่และแบบเมล็ดพืชเคลื่อนที่) แหล่งกำเนิดความร้อน และ พัดลมซึ่งมีหน้าที่ดูดหรือส่งอากาศร้อน โดยหลักการในการอบเมล็ดพืชนั้นจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของเมล็ดพืชแต่ละชนิด
2. การทำความสะอาด ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 14-16 เปอร์เซ็นต์ จะถูกนำมาทำความสะอาดเพื่อกำจัด ฟาง กรวด หิน ดินทราย หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกจากข้าวเปลือก
3. การกะเทาะเปลือก ข้าวเปลือกที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดจะถูกลำเลียงมายังเครื่องกะเทาะข้าวเปลือก สิ่งที่ได้จากขั้นตอนกะเทาะ คือ ข้าวกลั่น รำหยาบ และแกลบ (ประมาณ 20-24 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก) นอกจากนี้ยังมีข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการกะเทาะ และข้าวหักที่ผ่านการกะเทาะปนมาด้วย
4. การแยกแกลบ ข้าวเปลือกที่ผ่านการกะเทาะจะถูกลำเลียงมายังเครื่องแยกแกลบ เพื่อแยกแกลบและรำหยาบออกจากข้าวโดยอาศัยแรงลม บางครั้งจะมีตะแกรงเหวี่ยงซึ่งมีหลายชั้นและขนาดของรูตะแกรงแต่ละชั้นแตกต่างกัน ทำหน้าที่คัดแยกข้าวเปลือก ข้าวกลั่นและข้าวหักออกจากกันเพื่อให้ง่ายต่อการแยกแกลบ
5. การคัดแยกข้าวเปลือกออกจากข้าวกลั่น ข้าวเปลือกที่หลงเหลือจากขั้นตอนกะเทาะและผ่านการแยกแกลบออกแล้ว จะไหลรวมกับข้าวกลั่นและผ่านเข้าสู่เครื่องแยก โดย

อาศัยความแตกต่างของลักษณะจำเพาะระหว่างข้าวกล้องและข้าวเปลือก เช่น ขนาดความยาว ความหนา ความถ่วงจำเพาะ และข้าวเปลือกมีการลอยตัวมากกว่าข้าวกล้อง

6. การขัดขาว แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะขัดข้าวกล้องเพียงเล็กน้อย เรียกว่า หินขัดข้าวกล้อง ขั้นต่อมาจะขัดข้าวให้มีความขาวตามความต้องการ ซึ่งการทำงานแบบ 2 ขั้นตอนนี้จะทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักน้อยกว่าการขัดขาวเพียงขั้นตอนเดียว

7. การขัดมัน มีจุดประสงค์เพื่อขจัดรำที่ผิวข้าวออก ทำให้ผิวข้าวมีความเรียบมัน และเพื่อไม่ให้รำไปอุดตันตะแกรงร่อนแยกคัดขนาดข้าวซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องแยกคัดขนาดต่ำลง นอกจากนี้ยังเป็นผลดีในการเก็บรักษาข้าวสารได้นานขึ้นด้วย เพราะถ้ามีรำปนอยู่ จะเป็นอาหารของแมลง และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในข้าวสารที่เก็บนาน

8. การคัดขนาด โดยการแยกข้าวหักออกจากข้าวต้น แล้วจึงนำส่วนหักไปแยกขนาดของข้าวหักอีกครั้ง เป็นข้าวหักและปลายข้าว โดยการแบ่งข้าวออกเป็น 8 ส่วน ตามวิธีการทั่วไป หรือ 10 ส่วน ตามมาตรฐานข้าวไทย

มลพิษทางอากาศจากกระบวนการสีข้าว

มลพิษทางอากาศจากกระบวนการสีข้าว แบ่งออกเป็น ฝุ่นละอองที่เกิดในกระบวนการสีข้าว ฝุ่นละอองจากลานตากและการขนถ่าย มลพิษทางอากาศที่เกิดจากหม้อไอน้ำ และจากเตาเผาอากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบข้าว (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

ฝุ่นละอองที่เกิดในกระบวนการสีข้าว

1. ฝุ่นละอองจากเครื่องทำความสะอาด ซึ่งจะแยกฝุ่นละอองและเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ออก และมักจะมีภาชนะรับหรือกักเก็บในบริเวณนั้น และมีการขนถ่ายสู่ถังเก็บเมื่อภาชนะเต็ม ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับทำให้ความสำคัญกับการปล่อยฝุ่นละอองในบริเวณนี้

2. ฝุ่นละอองจากตู้สีฟัด แยกแกลบ/รำหยาบ ในกระบวนการผลิตจะแยกรำหยาบและแกลบออกจากข้าว โดยปกติในระบบแยกจะมีปัญหาของฝุ่นละอองมากน้อยแล้วแต่การให้

ความเข้าใจในการซ่อมบำรุง ปัญหาที่เกิดขึ้นมักเป็นปัญหาในช่วงการลำเลียงเกลบและร่าหยาบไปสู่
ยั้งเก็บหรือบริเวณกองเก็บ การลำเลียงส่วนใหญ่ใช้ลมลำเลียงไปตามท่อ ในบางกรณีใช้กระพ้อ
และสายพาน

3. ฝุ่นละอองจากเครื่องขัดขาว/ขัดมัน ฝุ่นละอองในส่วนนี้จะถูกแยกออกจากข้าว
โดยใช้ลักษณะที่ฝุ่นละอองจะเบาว่าเมล็ดข้าว จึงใช้แรงลมเป่าแยกฝุ่นละอองส่วนนี้ออก คือ ร่า
หยาบซึ่งเมื่อเทียบขนาดกับฝุ่นละอองจากระบวนการสีข้าวอื่น ๆ จะพบว่าเป็นฝุ่นละอองขนาด
เล็กและขึ้นที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำมันรำ ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาในช่วงการลำเลียง
เกลบและร่าหยาบไปสู่ยั้งเก็บหรือบริเวณกองเก็บ

ฝุ่นละอองจากลานตากและการขนถ่าย

ในกรณีที่ใช้ลานตากในการลดความชื้นในข้าวเปลือก จะใช้ลานตากซึ่งเป็นลาน
คอนกรีตโล่ง เรียบ ใช้แสงแดดเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ใช้รถตักในการพลิกกลับและขนย้าย
ข้าวเปลือกจากยั้งสู่ลานตากและจากลานตากสู่ยั้ง ในขั้นตอนการเก็บกวาดขั้นสุดท้ายมักมีรถ
กวาดเก็บข้าวเปลือกที่ตกค้างบนลานตาก โดยใช้หลักการคล้ายเครื่องดูดฝุ่น แล้วแยกข้าวเปลือก
ออกโดยใช้บัลลูนขนาดเล็กที่ติดตั้งบนรถกวาด ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ ขึ้นกับปัจจัย
หลายอย่าง เช่น ลม ลักษณะการขับรถตักของผู้ขับรถตัก ตำแหน่งของลานตาก เป็นต้น

มลพิษทางอากาศที่เกิดจากหม้อไอน้ำ และจากเตาเผาอากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบข้าว

โรงสีที่ใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำสำหรับเครื่องจักรไอน้ำเพื่อขับเคลื่อน
เพลาราวของร่อนสี และโรงสีที่ใช้ความร้อนในการอบข้าวจากการใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่ง
ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ คือ ฝุ่นละอองในรูปเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ระบายนอกจาก
ปล่องระบายอากาศ ซึ่งฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกลบ มีค่าความหนาแน่นประมาณ
1.04 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (Nguyen Khac, 2005) คุณสมบัติและองค์ประกอบของเกลบ
แสดงดังตารางที่ 2.2

บริษัทคอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2546) อ้างถึง บริษัทไฟฟ้าชนบท (2545)
การกระจายขนาดของฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกลบ (Particle Size Distribution)
แสดงตารางที่ 2.3 และภาพที่ 2.3

ตารางที่ 2.2
คุณสมบัติ และองค์ประกอบของแกลบ

ส่วนประกอบ	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
ความชื้น	ร้อยละน้ำหนัก	11.00
ขี้เถ้า	ร้อยละน้ำหนัก	17.64
คาร์บอน	ร้อยละน้ำหนัก	37.8
ไฮโดรเจน	ร้อยละน้ำหนัก	5.20
ไนโตรเจน	ร้อยละน้ำหนัก	0.31
ออกซิเจน	ร้อยละน้ำหนัก	39.0
ซัลเฟอร์	ร้อยละน้ำหนัก	0.05

ที่มา : Janvijitsakul.K and Vladimir I.K. (2006)

โรงไฟฟ้า อกริเลคตริก (Agrilectric Power) ใช้แกลบ 100% เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า พบว่าฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ มากกว่า 99.5% ของปริมาณที่ใช้ทั้งหมดมีขนาดใหญ่กว่า 25 ไมโครเมตร และมีเพียง 0.5% เท่านั้น ที่มีขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร (บริษัท คลีน เทคโนโลยี จำกัด, 2546)

กรมควบคุมมลพิษ (2546) ได้ทำการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากปล่องโรงสีข้าว ที่ใช้เครื่องจักรกำลังไอน้ำ จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ฟืน รวมทั้งน้ำมันดีเซล ซึ่งใช้ระบบสเปรย์น้ำ โดยใช้วิธีการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของควันจากปล่อง (Ringlemann Method) ซึ่งเป็นการอ่านค่าความทึบแสงเปรียบ เทียบกับแผ่นความทึบแสงมาตรฐาน (Ringlemann Chart) อย่างต่อเนื่อง 30 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยความทึบแสงของเขม่าควันของโรงสีข้าวจำนวน 21 แห่ง อยู่ในช่วงร้อยละ 0-65

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี (2546) ได้ทำการศึกษาโรงสีข้าวไทยมาพรณ จังหวัดลพบุรี ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงสีข้าว พบว่า ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ระบายออกจากปล่องโรงสีข้าว ฝุ่นละออง (TSP) มีค่า 350 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่า 100 พีพีเอ็ม และก๊าซไนโตรเจนมีค่า 225 พีพีเอ็ม

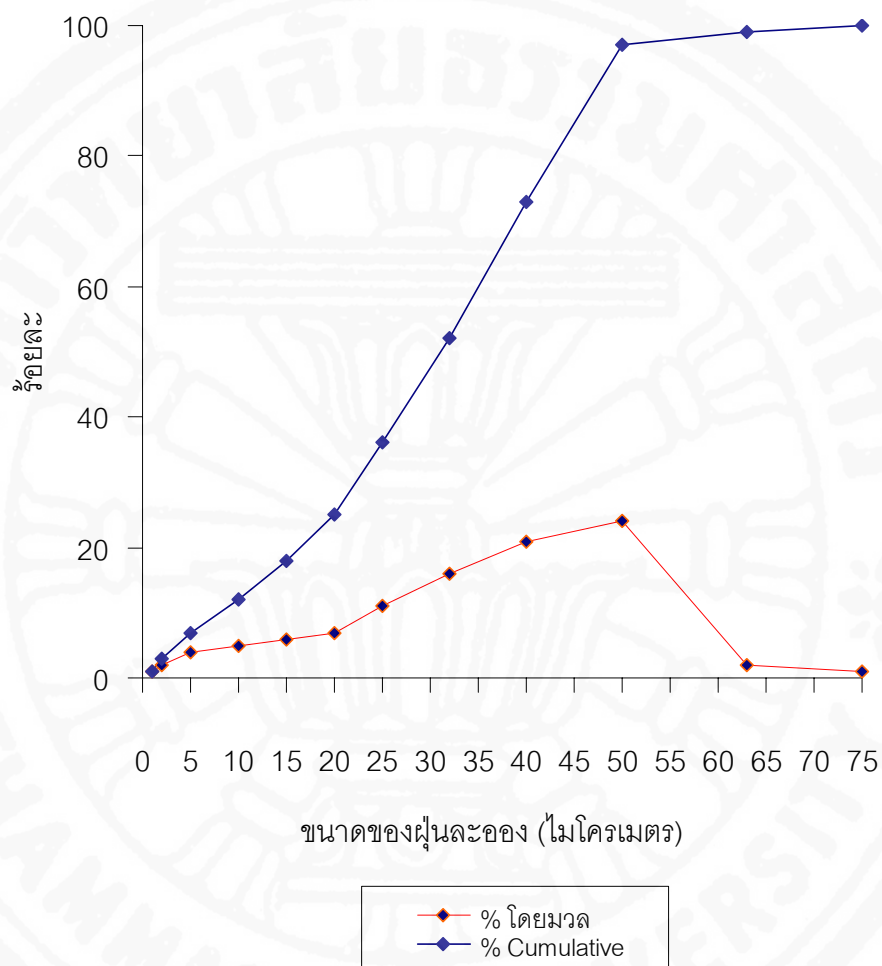
ตารางที่ 2.3
การกระจายขนาดของฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ

ขนาดของฝุ่นละออง (ไมโครเมตร)	% โดยมวล	Cumulative
< 2	1	1
≥ 2	2	3
5	4	7
10	5	12
15	6	18
20	7	25
25	11	36
32	16	52
40	21	73
50	24	97
63	2	99
75	1	100

ที่มา : บริษัทคอนสตรัคชั่น เทคโนโลยี จำกัด (2546) อ้างถึง บริษัท ไฟฟ้าชนบท จำกัด
(2545)

ภาพที่ 2.1

การกระจายขนาดของฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ



ที่มา : บริษัทคอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2546) อ้างถึง บริษัท ไฟฟ้าชนบท จำกัด (2545)

ทีมงานตรวจประเมินของบริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ได้ทำการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควัน และค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากปล่องโรงสีข้าว ในกรณีที่ไม่มีการสเปรย์น้ำ ผลการตรวจวัด พบว่า ค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากปล่องโรงสีข้าว มีค่าเท่ากับร้อยละ 29 และ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากปล่องโรงสีข้าว มีค่าเท่ากับ 712.20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากปล่องโรงสีข้าวสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 320 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากโรงสีข้าว

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2543) ได้ทำการศึกษามลพิษทางอากาศที่เกิดจากโรงสีข้าวที่มีหม้อไอน้ำโดยใช้น้ำมันเตาหรือแกลบเป็นเชื้อเพลิง ไอน้ำที่ผลิตได้นำไปใช้ในการเดินเครื่องจักร เชื้อเพลิงดังกล่าว เมื่อเผาไหม้จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นต้น ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ในโรงสีข้าวคือ ปัญหาฝุ่นละออง ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนในการสีข้าว

กรมควบคุมมลพิษ (2546) ได้ทำการสำรวจปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญ ของสถานประกอบการประเภทการสีข้าวด้วยเครื่องจักร ในปี 2538-2540 พบว่า ปัญหาที่ร้องทุกข์ส่วนใหญ่ ได้แก่ กลิ่น ฝุ่นละออง และเสียงดัง ซึ่งมลพิษเหล่านี้จะฟุ้งกระจายออกสู่บรรยากาศนอกสถานประกอบการ ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อนรำคาญจนเป็นอันตรายแก่สุขภาพได้

การควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศจากปากปล่อง

ประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศเกี่ยวกับการทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำโรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ประกาศ ณ วันที่ 31 ตุลาคม 2549 คือ ค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ไม่เกินร้อยละ 20 ในกรณีที่ตรวจวัดก่อนวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2550 และ ไม่เกินร้อยละ 10 ในกรณีที่ตรวจวัดตั้งแต่วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2550 เป็นต้นไป โดยวิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ และ ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 เรื่อง กำหนดค่าปริมาณ

ของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่ม 122 ตอน พิเศษ 37ง วันที่ 9 พฤษภาคม 2548 ซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 320 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

บริษัทคอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2546) ได้ทำการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล ขนาด 18 เมกะวัตต์ อำเภอท่าม่วง จังหวัดลพบุรี ที่มีการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งประเภทของสารมลพิษหลักที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ โดยสารมลพิษหลักคือ ฝุ่นละออง (TSP) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งทางโครงการได้เลือกการติดตั้งระบบบำบัดมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด ในการผลิตไอน้ำ โดยติดตั้ง ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอากาศภายในระบบ ซึ่งฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะวิ่งกระทบผนังไซโคลน และใบพัดด้านใน และตกลงสู่ด้านล่าง ส่วนอากาศที่ผ่านการบำบัดจะระบายสู่ระบบดักฝุ่นแบบถุงกรอง เพื่อบำบัดก่อนระบายออกทางปล่องอากาศ

บริษัท คลีน เทคโนโลยี จำกัด (2546) ได้ทำการศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าจากแกลบของบริษัท เอ.ที. ไบโอพาวเวอร์ จำกัด จังหวัดพิจิตร และโรงไฟฟ้าอกริเลคตริก (Agrilectric Power) ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ได้เลือกใช้การบำบัดมลพิษทางอากาศแบบไฟฟ้าสถิตย์ เพื่อดักจับฝุ่นละอองก่อนที่จะระบายออกจากปล่อง

การเลือกใช้อุปกรณ์บำบัดฝุ่นละออง

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอต (2540) กล่าวว่าในการเลือกพิจารณาระบบควบคุมฝุ่นละอองทั้งแบบแห้งและแบบเปียก ต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายด้าน เพื่อให้การบำบัดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างเหมาะสม ซึ่งการเลือกอุปกรณ์บำบัดฝุ่นละอองโดยทั่วไปจะขึ้นกับองค์ประกอบได้แก่ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่จุดปล่อย, การกระจายขนาดของฝุ่นละออง และอัตราการไหลของอากาศ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาเปรียบเทียบค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบต่างๆ ที่คิดไว้ แล้วเลือกระบบที่ประหยัดที่สุด ซึ่งองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องได้แก่ ความดันที่หายไปบนเครื่องหรือความดันลด กำลังงานที่ต้องการและปริมาณของเหลวที่ต้องการ เป็นต้น

การดักจับฝุ่นละอองด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ (Wet Collection or Scrubber)

วรารุณ เสือดี (2544) กล่าวว่าหลักการทำงานของสครับเบอร์ คือการใช้ของเหลว (โดยปกติคือน้ำ) จับฝุ่นหรือเพื่อทำให้ขนาดของฝุ่นใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ขจัดฝุ่นออกจากกระแสอากาศได้ง่าย ซึ่งโดยปกติขนาดของฝุ่น ตั้งแต่ 0.1–20 ไมครอน จะสามารถถูกจับโดยสครับเบอร์ หลักในการออกแบบ สครับเบอร์คือ พยายามให้ของเหลวกระจายไปจับกับฝุ่นเพื่อให้มีการสัมผัสกันได้ดีที่สุด ระหว่างฝุ่นกับของเหลว ซึ่งได้แบ่ง สครับเบอร์ เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ

1. สครับเบอร์แบบหอสเปรย์ (Spray Tower Scrubbers)

เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายและพบบ่อยที่สุด กระแสอากาศจะไหลเข้าทางด้านล่างของหอรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงกลม โดยมีของเหลวหรือน้ำฉีดเป็นฝอยทางด้านหอ ถ้ากระแสอากาศไม่สูงเกินไปหยดน้ำ หรือของเหลวจะตกลงด้านล่าง โดยน้ำหนัก ส่วนบนของหอนี้มักจะติดตั้งหอแผ่นปะทะ (Mist Eliminator) เพื่อจะขจัดทั้งของเหลวที่สะอาดที่เหลือ และหยดน้ำที่จับฝุ่นแล้ว ซึ่งบางทีจะเล็กมากจนกระทั่งจะลอยตามออกไปกับกระแสอากาศ

2. ไซโคลนสครับเบอร์ (Cyclonic Scrubbers)

เป็นการติดตั้งหัวฉีดน้ำ หรือของเหลว เป็นรูปวงกลมตรงแกนกลางของไซโคลนเดิม ฉีดน้ำในแนวรัศมี ตัดกระแสอากาศหมุนวนจากด้านล่างสู่ด้านบน อาจจะมีการติดตั้งแผ่นปะทะ เพื่อป้องกันหยดของเหลวที่จะตามกระแสอากาศไปด้วย อัตราการใช้น้ำ 1-8 แกลลอนต่อ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต/นาที ของกระแสอากาศ ความดันลด ประมาณ 1-4 นิ้วน้ำ ไซโคลนสครับเบอร์ มีประสิทธิภาพ 100% สำหรับ 100 ไมโครเมตร และประมาณ 99% สำหรับ 50-100 ไมโครเมตร ไซโคลนสครับเบอร์ มักติดตั้งร่วมกับ Venturi Scrubber

3. เวนตูรีสครับเบอร์ (Venturi Scrubber)

เป็นหอทรงสี่เหลี่ยม หรือทรงกลมที่จะทำให้ทางเดินของอากาศแคบลง แล้วขยายกลับไปขนาดเดิม ที่ตำแหน่งคอขวดความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึง 160-600 ฟุตต่อ นาที โดยปกติพื้นที่จะลดลงราว ๆ 4 : 1 โดยมุมการลดลงของพื้นที่จะประมาณ 5 ถึง 7 องศา การ

ขจัดฝุ่นกระทำได้โดยผ่านน้ำไปที่ตำแหน่งคอคอด ความเร็วของอากาศจะทำให้น้ำแตกเป็นฝอย ซึ่งจะทำให้มีการสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับฝุ่น เมื่อพื้นที่ถูกขยายออกจะทำให้กระแสอากาศมีความเร็วต่ำลงจนกระทั่งตกลงและถูกวนกลับไปใช้อีก เพราะว่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศเพิ่ม ดังนั้นความเร็วอากาศจึงเป็นปัจจัยสำคัญในระบบนี้ อัตราการใช้น้ำจะอยู่ในช่วง 2-12 แกลลอนต่อ 1,000 ลูกบาศก์ฟุต แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือ ความดันลม ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ตั้งแต่ 3-100 นิ้วน้ำ (ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพที่ต้องการ) โดยถ้าต้องการประสิทธิภาพสูงก็ต้องการกำลังมาก ประสิทธิภาพอาจจะถึง 99% สำหรับฝุ่นขนาดต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร และได้ถึง 99.5% สำหรับ 5 ไมโครเมตร

กลไกของการดักจับฝุ่นละอองด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์

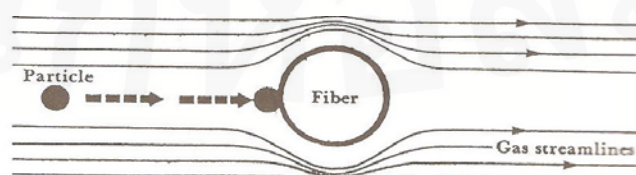
นพภาพร พานิช และคณะ (2547) กล่าวว่า กลไกที่สำคัญในการดักจับฝุ่นละอองด้วยหยดน้ำ มี 3 อย่าง คือ การชน (Impaction) การสกัดกั้น (Interception) และ การแพร่ (Diffusion)

1. การชน (Impaction)

เกิดขึ้นในกรณีฝุ่นมีมวลมาก ไม่สามารถเคลื่อนที่ตามกระแสอากาศที่ไหลอ้อมวัตถุเป้าหมาย เนื่องจากความเฉื่อยของฝุ่น ดังนั้นฝุ่นจะชนวัตถุ ซึ่งฝุ่นยังมีขนาดใหญ่หรือมวลมากย่อมถูกจับได้ง่ายขึ้น วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และ ชิดาโอะ คานาโอกะ (2528) กล่าวเพิ่มเติมว่า ถ้าฝุ่นมีขนาดใหญ่ ความหนาแน่นยิ่งมาก และความเร็วสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับหยดของเหลวยิ่งสูง ประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคฝุ่น โดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะมีค่ายิ่งมากแสดงดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2

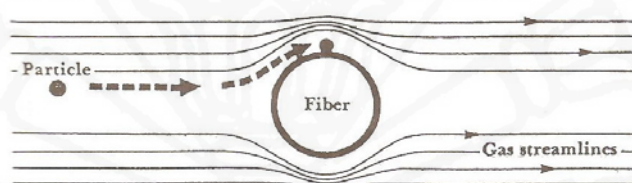
การชน



2. การสกัดกั้น (Interception)

กลไกของการสกัดกั้น โดยฝุ่นขนาดเล็กที่มีการเคลื่อนที่ตามกระแสอากาศซึ่งไหลล้อมวัตถุเป้าหมาย อาจสัมผัสกับวัตถุได้ หากจุดกลางของฝุ่นอยู่ห่างจากวัตถุเป้าหมายในระยะน้อยกว่ารัศมีของฝุ่น แสดงดังภาพที่ 2.3

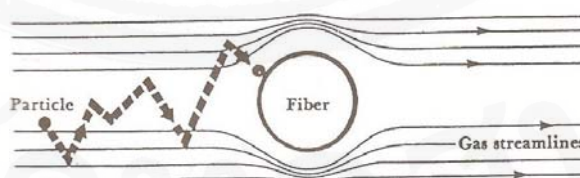
ภาพที่ 2.3
การสกัดกั้น



3. การแพร่ (Diffusion)

ฝุ่นที่มีขนาดเล็กมากมีเส้นทางการเคลื่อนที่ไม่เป็นทิศเป็นทาง (Brownian Motion) ดังนั้นอนุภาคอาจชนวัตถุเป้าหมาย เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบ Random กลไกนี้เรียกว่าการแพร่ มีความสำคัญมากสำหรับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน แสดงดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4
การแพร่



Noil (1999) กล่าวว่า การดักจับฝุ่นละอองทำโดยการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด ทิศทางการไหลของอากาศจะเป็นแบบแนวตั้ง, แนวราบ, กระแสอากาศไหลในแนวตั้งฉากกับของเหลว (Cross-Flow) หรือแบบไหลสวนทางกัน (Counter Current) ก็ได้

ซึ่งประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างฝุ่นละอองกับหยดน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อหยดน้ำมีขนาดเล็กลง

ซึ่งตัวแปรเบื้องต้นในการออกแบบสครับเบอร์ ประกอบด้วย ความดันลด (Pressure Drop), ความเร็วของอากาศ, อัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G) และ ขนาดของหยดน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพจะมากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ตารางที่ 2.4 แสดงค่าในการออกแบบสครับเบอร์ประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 2.4
แสดงค่าในการออกแบบสครับเบอร์ประเภทต่างๆ

ประเภทของ สครับเบอร์	ความดันลด (ΔP) นิ้วน้ำ	อัตราการไหลของน้ำ ต่ออากาศ (L/G) gpm/1000 acfm	ความดัน หัวฉีด (psig)	ขนาดของ อนุภาค (d_{pc}), μm	ประโยชน์ อุตสาหกรรม
บัพเฟิล (Baffle Spray)	1-3	1	<15	10	เหมืองแร่ กระบวนการทางเคมี
หอสเปรย์ (Spray Tower)	1/2-3	0.5-20 (0.07-2.67 l/m ³)	10-400	2-8	เหมืองแร่ กระบวนการทางเคมี หม้อไอน้ำ
ไซโคลน	1.5-10	2-10	40-400	2-3	เหมืองแร่ การหล่อ ปุ๋ย ลาดยาง
เวนทูรีเจ็ต	1/2-5	50-100	15-120	1	เยื่อกระดาษ กระบวนการทางเคมี
เวนทูรี	5-100	3-20	< 1-15	0.2	เยื่อกระดาษ หม้อไอน้ำ โรงงานกรด

1 l/m³ = 7.48 gal/1000 ft³ (~7.5 gal/1000 ft³)

ที่มา : Noll (1999)

ความดันลด (Pressure Drop)

วรารุณ เลือดี (2544) ได้ให้ความหมายของความดันลดว่า หมายถึง ความดันสูญเสียในระหว่างส่วนที่เข้าและออกจากอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่มีความดันลดสูงต้องการพัดลมที่มีขนาดใหญ่ (และต้องการกำลังไฟฟ้ามาก) เมื่อตั้งหรือผลักให้อากาศระบายออกจากระบบควบคุม (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่า ค่าความดันสูญเสียในเครื่องสครับเบอร์เกิดจากแรงเสียดทานขณะที่กระแสอากาศเคลื่อนที่ผ่านท่อและสครับเบอร์ พลังงานที่ต้องการเร่งกระแสอากาศ และพลังงานที่ต้องใช้เร่งของเหลวและทำให้ของเหลวแตกเป็นละออง ซึ่งค่าความดันลดจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วอากาศ

$$\Delta P \propto V^2$$

Noil (1999) ได้สร้างสมการประมาณค่าความดันลด (Pressure Drop) สำหรับกรณีที่กระแสอากาศไหลในแนวตั้งฉากกับของเหลว และ แบบไหลตามกัน ซึ่งสามารถประมาณความดันลดเมื่อแรงของการเคลื่อนที่ (Momentum) ของของเหลวเพิ่มขึ้นจากศูนย์เป็นความเร็วของอากาศดังนี้

$$\Delta P = \rho_G \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right)^2 v_G^2$$

เมื่อ ΔP = ความดันลด

$$\frac{Q_L}{Q_G} = \text{อัตราไหลของน้ำต่ออัตราไหลของอากาศ}$$

$$v_G = \text{ความเร็วของอากาศ}$$

$$\rho_G = \text{ความหนาแน่นของอากาศ}$$

ขนาดของหยดน้ำ (Water Drop Size)

Nukiyama และ Tanasawa (1983) ได้ทำการทดลองหาขนาดของหยดน้ำในการออกแบบ สกรับเบอร์แบบหอสเปรย์ และเวนทูรีสกรับเบอร์ โดยศึกษาหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2–1 มิลลิเมตร สำหรับของเหลว และ 1–5 มิลลิเมตรสำหรับอากาศ อัตราความเร็วสัมผัส ตั้งแต่ 260 ฟุต ต่อ วินาที ถึง ความเร็วเสียง (Sonic) และอัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศ 0.85 ต่อ 15 แกลลอน ต่อ 1000 ลูกบาศก์ฟุต โดยของเหลวที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำมันเบนซิน (Gasoline), น้ำ, แอลกอฮอล์ และน้ำมัน (Heavy Oil) ได้สมการดังนี้

$$D_D = \frac{585}{V_R} \left(\frac{\sigma_L}{\rho_L} \right)^{0.5} + 597 \left(\frac{\mu_L}{\sqrt{\sigma_L \rho_L}} \right)^{0.45} \left(1,000 \frac{Q_L}{Q_G} \right)^{1.5}$$

เมื่อ	D_D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ, ไมโครเมตร
	V_R	=	ความเร็วสัมผัสของอากาศและของเหลว, เมตร/วินาที
	σ_L	=	แรงดึงที่พื้นผิวของเหลว, ไดนา/เซนติเมตร
	ρ_L	=	ความหนาแน่นของของเหลว, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	μ_L	=	ความหนืดของของเหลว, กรัม/เซนติเมตร.วินาที
	Q_L	=	อัตราการไหลของของเหลว, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
	Q_G	=	อัตราการไหลของอากาศ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ในกรณี อากาศ และน้ำ สามารถลดรูปสมการได้ดังนี้

$$D_D = \frac{5 \times 10^5}{V_R} + 29.6 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right)^{1.5}$$

เมื่อ	D_D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ, ไมโครเมตร
	V_R	=	ความเร็วของอากาศ, เซนติเมตร/วินาที
	$\frac{Q_L}{Q_G}$	=	อัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศ, ลิตร/ลูกบาศก์เมตร

ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง (Collection Efficiency)

ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง หมายถึง อัตราส่วนของฝุ่นละอองที่สามารถดักจับได้ต่อฝุ่นละอองทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในระบบเครื่องจับฝุ่นละอองโดยตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองได้แก่การกระจายขนาดของฝุ่นละออง, ขนาดของหยดน้ำ, แรงดันลด (ซึ่งสามารถแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ) เป็นต้น

ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง (Collection Efficiency) (วรารุณ เสือดี, 2544)

$$\eta = \frac{\text{ความเข้มข้นฝุ่นละอองขาเข้า} - \text{ความเข้มข้นฝุ่นละอองขาออก}}{\text{ความเข้มข้นฝุ่นละอองขาเข้า}} \times 100\%$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง

Johnstone (1954) ได้สร้างสมการสำหรับหาประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองด้วยหยดน้ำ โดยตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ การกระจายขนาดของฝุ่นละออง, ความเร็วของอากาศ, อุณหภูมิของอากาศ, ขนาดของหยดน้ำ เป็นต้น ได้สมการดังนี้

$$\eta_i = 1 - e^{-k L_i \sqrt{\Psi}}$$

เมื่อ η_i = ประสิทธิภาพย่อยในการดักจับฝุ่นที่ช่วงขนาดฝุ่น d_p

k = empirical constant = 200 ft³/gal
(0.2 ft³/gal เมื่อ $Q_L/Q_G = \text{gal}/\text{ft}^3$)

L_i = L/G, gal/1000 ft³

Ψ = Stokes' s number = $\frac{C_c \rho_p d_p^2 V_g}{18 \mu D_0}$

เมื่อ	D_D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ, ไมโครเมตร
	V_g	=	ความเร็วของอากาศ, เมตร/วินาที
	C_C	=	Cunningham Correction Factor; ไม่มีหน่วย
	C_C	=	1 (ถ้าฝุ่นละอองมีขนาด > 1 ไมโครเมตร)
	μ	=	ความหนืดของอากาศ, กรัม/เซนติเมตร.วินาที
	d_p	=	ขนาดของฝุ่นละออง, ไมโครเมตร
	ρ_p	=	ความหนาแน่นของฝุ่นละออง, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

Calvert (1977) ได้สร้างสมการวิเคราะห์การหลุดลอดของฝุ่นละออง (Penetration) โดยพิจารณาขนาดของหยดน้ำ, การกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (Inertial Impaction Parameter) ความดันลด เป็นต้น ดังสมการ

$$P_t = \exp \left[\frac{Q_L V_G \rho_L d_d}{55 Q_G \mu_G} F(K_{po}, f) \right]$$

$$F(K_{po}, f) = \left[-0.7 - K_{po} f + 1.4 \ln \left(\frac{K_{po} f + 0.7}{0.7} \right) + \frac{0.49}{0.7 + K_{po} f} \right] \frac{1}{K_{po}}$$

$$K_{po} = \frac{\rho_p d_p^2 V_g}{9 \mu D_D} = 2\Psi$$

$$P_t = 1 - \eta$$

เมื่อ	K_{po}	=	parameter แรงเฉื่อยสำหรับความเร็วของอากาศ
	P_t	=	ส่วนที่เล็ดลอดจากระบบบำบัด
	D_D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ, ไมโครเมตร
	V_g	=	ความเร็วของอากาศ, เมตร/วินาที
	μ	=	ความหนืดของอากาศ, กรัม/เซนติเมตร.วินาที

d_p = ขนาดของฝุ่นละออง, ไมโครเมตร

$\frac{Q_L}{Q_G}$ = อัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศ,
ลิตร/ลูกบาศก์เมตร

ρ_p = ความหนาแน่นของฝุ่นละออง, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

f = สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองซึ่ง $f = 0.25$ ในกรณีที่ฝุ่น
ละอองละลายน้ำได้; $f = 0.4$ ถึง 0.5 สำหรับฝุ่นละอองที่
ละลายน้ำได้บ้าง และ $f = 0.5$ ในกรณีฝุ่นละอองไม่เปียก

ประสิทธิภาพทั้งหมด (Overall Efficiency)

$\eta = \sum \eta_i m_i$

เมื่อ η_i = ประสิทธิภาพในการดักจับสำหรับช่วงฝุ่นละอองขนาด i

m_i = เปอร์เซ็นต์โดยมวลของฝุ่นละอองในช่วงฝุ่นละอองขนาด i

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hesketh (1974) ได้ศึกษากลไกการดักจับฝุ่นด้วยหยดของเหลวภายในหอสเปร์ย์ทั้งแบบที่อากาศ และหยดของเหลวไหลสวนทางกัน (Counter Current) และไหลทางเดียวกัน (Cocurrent) พบว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเมื่อการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ได้แก่ ขนาดของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ ความสูงของหอสเปร์ย์ และความเร็วอากาศตามลำดับ ส่วนการไหลแบบทางเดียวกัน พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ ได้แก่ ขนาดของฝุ่น ความเร็วของอากาศที่เข้าหอสเปร์ย์ ขนาดของของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ และความสูงของหอสเปร์ย์ ส่วนขนาดเฉลี่ยของของเหลวจะขึ้นกับ ความเร็วอากาศ คือ เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ขนาดของของเหลวจะมีค่าเล็กลง นอกจากนี้ได้เสนอสมการการคำนวณหาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นในหอสเปร์ย์ โดยกลไกการเก็บฝุ่นสำคัญที่พิจารณาได้แก่ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย และพบว่าเมื่อการไหลเป็นแบบสวนทางกัน หยดละอองน้ำขนาดเล็กจะจับฝุ่นได้ดีกว่า แต่อาจจะเกิดปัญหา คือ ถ้าหยดละอองน้ำมีขนาดเล็กเกินไปจนถึงค่าวิกฤต (Critical Small Size) หยดละอองน้ำจะไม่

ตกลงมา และถ้าต้องการให้หยดของเหลวตกลงมาที่ระยะมากกว่า 4.5 ฟุต จากหัวฉีด และหยดของเหลวทุกขนาดสามารถกำจัดฝุ่นได้ หยดของเหลวต้องมีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร

ทรงวุฒิ ศรีสว่าง (2540) ทำการศึกษาเครื่องสครับเบอร์แบบหมุนวน ซึ่งพัฒนาเพื่อใช้กำจัดฝุ่นละอองในไอเสียจากระบบเตาเผาไหม้ เมื่อสครับเบอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.245 เมตร สูง 0.903 เมตร และฝุ่นที่ใช้ศึกษาคือเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสครับเบอร์นี้คือ อัตราส่วนการไหลของน้ำต่ออากาศ (L/G) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะบนแผ่นกระจายน้ำ และอัตราการป้อนเถ้าลอยในกระแสน้ำอากาศเข้าเครื่องสครับเบอร์ โดยค่า L/G ที่ใช้คือ 4, 6, 8 และ 10 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร โดยหัวกระจายน้ำมี 3 ขนาด คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร และอัตราการป้อนคือ 2, 8, 10.0, 15.0 และ 20.0 กรัม/วินาที โดยอากาศที่มีเถ้าลอยจะถูกปล่อยให้ผ่านขึ้นไปในคอลัมน์สครับเบอร์ด้วยลักษณะแบบไซโคลน และทำการฉีดในแนวตั้งสวนกับกระแสน้ำอากาศที่มีเถ้าลอยผสมอยู่ ซึ่งน้ำจะปะทะกับอนุภาคเถ้าลอยในอากาศ และทำการชะล้างออกมาทางด้านล่างของเครื่องสครับเบอร์ ส่วนอากาศที่บำบัดแล้วออกทางด้านบน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเถ้าลอยของเครื่องสครับเบอร์สูงถึง 97.2% ที่ L/G เท่ากับ 10 อัตราการป้อนเถ้าลอยเท่ากับ 2.8 กรัม/วินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวกระจายน้ำเล็กลง (0.5 มิลลิเมตร)

นิรุต ปัญญาสิทธิ์ (2543) ได้ศึกษาการออกแบบ ทดสอบ และปรับปรุงเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกชนิดหอแผ่นปะทะสำหรับหม้อไอน้ำ ซึ่งจากการศึกษา พบว่าประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียกหอปะทะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่ออากาศเพิ่มขึ้น และ พบว่าความดันลดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของเหลวกับอากาศเพิ่มขึ้น แสดงว่า ปริมาณน้ำที่ฉีดพ่น และปริมาณอากาศเสียที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้น

สามารถ พรเจริญ (2546) ทำการศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นต้นแบบชนิดไซโคลนสครับเบอร์ โดยคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 เซนติเมตร สูง 1 เมตร ทางเข้าไซโคลนสครับเบอร์ กว้าง 15 เซนติเมตร สูง 4.7 เซนติเมตร ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่น ได้แก่ จำนวน (8, 16) และตำแหน่งของหัวฉีด (ติดตรงกลาง, สลับฟันปลา, บน-ล่าง) L/G (2.8, 3.4, 4.4 ลิตรน้ำต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ) ความเข้มข้นฝุ่นทางเข้า 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยฝุ่นที่ทดลองคือ อนุภาคเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ. ลำปาง จากการทดลองพบว่าค่า L/G เท่ากับ 4.4 ที่ 16 หัวฉีด ความเข้มข้นทางเข้า 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดอนุภาคฝุ่นเถ้าลอยมากกว่า 1.2 ไมครอนจะมีประสิทธิภาพการจับฝุ่น 99 %

และที่ 16 หัวฉีดจะมีประสิทธิภาพการจับฝุ่นสูงกว่า 8 หัวฉีดอยู่เพียง 1.84% ส่วนตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดแบบสลับฟันปลาจะให้ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นดีที่สุด

สมเกียรติ สมชัยกุลทรัพย์ (2541) ศึกษาและออกแบบเครื่องเก็บอนุภาคชนิดเวนทูลี เพื่อลดปริมาณฝุ่นในอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทกระดาษ โดยศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความดันลดของอากาศที่ไหลผ่านคอคอด และประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของระบบเครื่องเก็บอนุภาค เครื่องเก็บอนุภาคนี้นี้ มีการติดตั้งหัวฉีดน้ำจำนวน 2 หัว ซึ่งออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนได้ที่บริเวณคอคอดของระบบ หัวฉีดแต่ละหัวมีระยะห่างกัน 7 นิ้ว ตามความสูงของคอคอดที่มีพื้นที่หน้าตัด 4.5×10 ตารางนิ้ว และความสูง 21 นิ้ว ในการออกแบบการทดลองนี้ ก็เพื่อที่จะศึกษาตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเข้มข้นของฝุ่นที่ไหลเข้าระบบ อัตราส่วนของของเหลวต่ออากาศ และหยดของเหลวที่สเปรย์ออกจากหัวฉีด ที่มีผลต่อความดันลดที่คอคอดและประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บฝุ่น ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ 1. ความดันลดของอากาศที่คอคอดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่ออากาศมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับการหยดของของเหลว 2. ประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บฝุ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของของเหลวต่ออากาศมีค่าเพิ่มขึ้นและ/หรือ หยดน้ำมีขนาดเล็กลง 3. ผลการเปรียบเทียบระหว่างความดันลดของอากาศ ที่คอคอดจากการทดลองและผลที่ได้จากสมการของ S.Calvert พบว่า มีค่าแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 30.81% 4. ผลการเปรียบเทียบ ระหว่างประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคจากการทดลองและจากสมการที่เสนอโดย H.F.Johnstone จะได้ค่าคงที่ของระบบ เมื่อใช้อัตราส่วนของของเหลวต่ออากาศในช่วง 0.4-0.8 ลิตร.น้ำ/ลูกบาศก์เมตร สำหรับหัวฉีดน้ำที่มีขนาดรูออร์ฟิท 1.5 และ 1.6 มิลลิเมตร ค่าคงที่ของระบบอยู่ในช่วง 0.64-2.20 และ 0.21-0.79 (แกลลอน/1,000 ลูกบาศก์ฟุต) ตามลำดับ ค่าความแตกต่างสูงสุดของประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บฝุ่น มีค่าเท่ากับ 6.20%