เทคโนโลยีการผลิตผงละเอียดสารฝนหลวง

ภารกิจการปฏิบัติการฝนหลวง มีความจำเป็นต้องใช้สารฝนหลวงเป็นปัจจัยสำคัญ เพื่อทำหน้าที่ดัดแปรสภาพอากาศ ในการเกิดการสะสมตัวของเม็ดน้ำ เกิดเมฆและเจริญเติบโตจนกลายเป็นหยาดฝนตกลงสู่ดิน ซึ่งหมายความว่า สารฝนหลวงดังกล่าว ต้องมีประสิทธิภาพที่สูงและเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน และสิ่งสำคัญในการเตรียมความพร้อมสารฝนหลวงก่อนจะนำไปใช้งาน คือ ขั้นตอนการบดให้เป็นผงละเอียด

เทคโนโลยีการผลิตผงละเอียดสารฝนหลวง แบ่งเป็น ๓ หัวข้อหลัก คือ

๑. การบดละเอียดสารฝนหลวงในปัจจุบัน

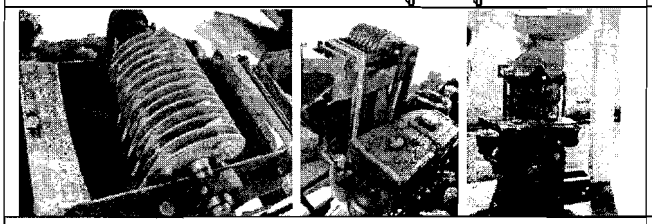
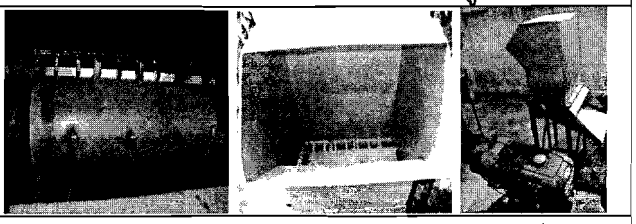
๒. เทคโนโลยีการผลิตผงละเอียด

๓. เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการบดละเอียดสารฝนหลวง

๑. การบดละเอียดสารฝนหลวงในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน การบดสารฝนหลวง จะใช้เครื่องบดสาร ๒ แบบ คือ เครื่องบดที่ใช้กับสารยูเรีย และเครื่องบดที่ใช้กับน้ำแข็งแห้ง ลักษณะเด่นของเครื่องบดดังกล่าว คือ การทำงานที่ไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และมีประสิทธิภาพในการบดในระดับหนึ่ง ดังนั้น การพัฒนาเครื่องบดสารฝนหลวง เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และการใช้งานที่สะดวกและปลอดภัย จึงเป็นงานสำคัญที่จะมีส่วนช่วยทำให้การทำฝนหลวงดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อม ๆ กับมาตรฐานที่ดี

๑.๑ ลักษณะเครื่องบดสารฝนหลวงที่ใช้ในปัจจุบัน

<u>เครื่องบดแบบที่ ๑</u> ใช้กับสารยูเรีย (สูตร ๔)	<u>เครื่องบดแบบที่ ๒</u> ใช้กับน้ำแข็งแห้ง (สูตร ๓)
	
เพลาแกนหมุนมีแขนสำหรับตีสาร หมุนด้วยความเร็วของเครื่องยนต์ต้นกำลัง แขนตีมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กหลาย ๆ แผ่น สามารถกางเข้าออกอิสระ โดยจะเกิดการเหวี่ยงแขนกางออกมาตามแรงหนีศูนย์กลาง เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน แขนตีจึงหมุนตีกระแทกสารให้ละเอียดในห้องทรงกระบอก จนสารเป็นผง ที่สามารถผ่านตะแกรงที่กรุอยู่ด้านล่างได้	เพลาแกนหมุนมีแขนสำหรับตีสาร หมุนด้วยความเร็วของเครื่องยนต์ต้นกำลัง แขนตีมีลักษณะยืดติดแบบตายตัว ไม่เป็นอิสระ โดยที่การตีกระแทกสารจะเป็นลักษณะตีอัดกับห้องทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งมีแขนยึดติดกับผนังห้อง สารจะถูกตีอัดโดยแขนตีทั้งสองส่วนจนแตกเป็นผง และตกลงด้านล่าง

๑.๒. ลักษณะที่จะปรับปรุงเพื่อพัฒนาต่อไป

จุดที่ควรปรับปรุงพัฒนา

๑) เพิ่มความละเอียดและความสม่ำเสมอของสารที่บด

๒) ลดการฟุ้งกระจายของสาร

๓) ลดเสียงจากเครื่องยนต์และกระบวนการบด

๔) ลดไอเสียที่มีผลต่อการทำงาน

๕) เพิ่มอัตราเร็วในการบด

๖) อำนวยความสะดวกในการบดและการบรรจุสาร

7) เพิ่มระดับความปลอดภัยในการใช้เครื่องบด

<u>รูปตัวอย่าง</u> **การบดสารที่เกิดการฟุ้งกระจาย**

๒. เทคโนโลยีการผลิตผงละเอียด

หากจะมองในการผลิตผงละเอียดในมุมมองกว้าง ๆ อาจกล่าวได้ว่า มีกระบวนการ ๒ กระบวนการ ที่จะแบ่งขอบเขตของการผลิต คือ ๑) การลดขนาดของสารตั้งต้น และ ๒) การผลิตใหม่จากสารเหลวและการเปลี่ยนสถานะ

๒.๑ การลดขนาดของสารตั้งต้น

๒.๑.๑. วัตถุประสงค์ของการลดขนาดของแข็ง

(๑) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตามต้องการ
(๒) เพื่อสกัดองค์ประกอบที่ต้องการออกมา
(๓) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของของแข็ง ทำให้อัตราของกระบวนการต่าง ๆ เร็วขึ้น
(๔) เพื่อให้การผสม (mixing) เกิดได้ดีขึ้น

๒.๑.๒. กระบวนการที่ใช้ในการลดขนาด

ของแข็งอาจถูกทำให้มีขนาดเล็กลงโดยกระบวนการ
(๑) การอัดหรือบีบ (Compression)
(๒) การทุบหรือกระแทก (Impact)
(๓) การโม่หรือขัด (Attrition or rubbing)
(๔) การตัด (Cutting)

๒.๑.๓. เทคโนโลยีการลดขนาดอนุภาค

อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่นิยมใช้ลดขนาดมีอยู่หลากหลาย มีการประยุกต์ใช้ ทั้งอย่างง่ายและแบบซับซ้อน แต่ในที่นี้จะยกมาในรูปแบบหลัก ๆ ได้แก่

(๑) <u>เครื่องอัดหรือบีบ</u> (Crusher) มักจะใช้ในการลดขนาดขั้นต้นกับวัตถุชิ้นใหญ่ จึงจัดเป็นการลดขนาดแบบหยาบ

(๒) <u>เครื่องบด</u> (Grinder) มักใช้ในการลดขนาดวัตถุขนาดเล็ก จัดเป็นการลดขนาดแบบละเอียด

(๓) <u>Ultra fine grinder</u> มักใช้ลดขนาดวัตถุในระดับที่ละเอียดมากตั้งแต่ ๔๔ ไมครอนลงไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงละเอียดในขนาดที่เล็กลง

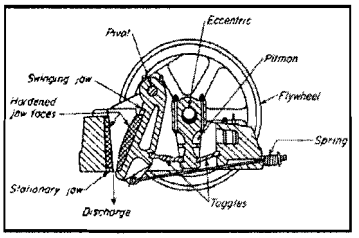
(๔) <u>เครื่องตัด</u> (Cutting machines) มักใช้กับวัตถุขนาดใหญ่เช่นเดียวกับเครื่องอัด แต่ต่างตรงที่สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความเหนียว ซึ่งไม่เหมาะต่อการบีบอัด

รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ลดขนาดอนุภาค

(๑) <u>เครื่องอัดหรือบีบ (Crusher)</u>

(๑.๑) Jaw crusher

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

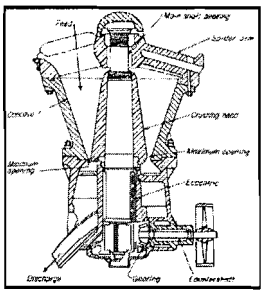


วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าระหว่าง Jaw สองอัน ซึ่งประกอบเป็นรูปตัว V ขา jaw ตัวหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ ขณะที่อีกขาหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวราบเข้าหาตัวที่ยึดอยู่กับที่ ทำให้เกิดแรงบีบมหาศาลต่อวัตถุดิบที่ถูกยึดไว้ ระหว่าง Jaw ทั้งสอง

ตัวอย่างวัตถุดิบ : หิน สินแร่

(๑.๒) Gyratory Crusher

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

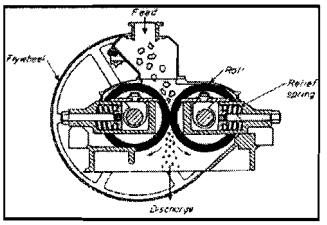


คล้าย Jaw crusher ซึ่งมี jaw เป็นวงกลม หัวบีบรูปโคนหมุนอยู่ในกล่องรูปกรวย เปิดทางด้านบนตามรูป หัว crusher head ควบคุมการหมุนอยู่โดย jaw ด้านใน เคลื่อนที่บีบวัตถุดิบกับกรอบซึ่งอยู่กับที่ ของแข็งจะถูกจับไว้ใน V-shape ระหว่างหัว crusher และกับกล่องเมื่อถูกบีบจากด้านบนร่วงลงด้านล่างก็จะถูกบีบซ้ำโดยหัวบีบที่เคลื่อนเข้าออกขณะที่หมุนไปข้า ๆ

ตัวอย่างวัตถุดิบ : หิน สินแร่

(๑.๓) Smooth Roll Crusher

<u>ลักษณะการทำงาน</u>



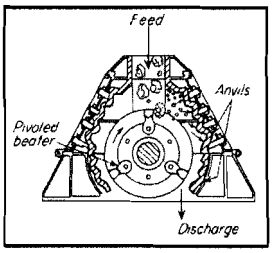
ลูกกลิ้งผิวเรียบทำจากโลหะ หมุนรอบแกนนอนตามรูป จะบีบและปล่อยสารที่ป้อนระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองให้ร่วงลงด้านล่าง ลูกกลิ้งทั้งสองลูกหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วเท่ากัน มักมีหน้าแคบ แต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ เพื่อให้สามารถ “จับ” ก้อนวัตถุค่อนข้างใหญ่ได้

ตัวอย่างวัตถุดิบ : หิน สินแร่

(๒) <u>เครื่องบด (Grinder) /แบบละเอียด</u>

(๒.๑) Hammer mill and impactors

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

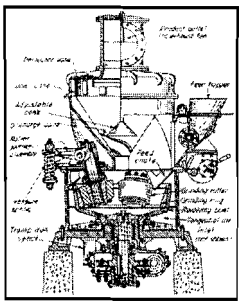


จานหมุนที่มีค้อนติดหมุนด้วยความเร็วสูงในห้องทรงกระบอกจะทำการทุบวัสดุที่ป้อนทางด้านบนให้แตก และตกลงด้านล่าง อนุภาคจะหนีไปไหนไม่ได้ จึงถูกตีแตกเป็นชิ้น ๆ หลายรอบโดยค้อน และแป้นรับในกล่อง ค้อนที่หมุนมาจะอัดวัตถุเหล่านี้ให้เป็นผง จนสามารถลอดตะแกรงที่กรุอยู่ด้านทางออก

ตัวอย่างวัตถุดิบ : เกือบทุกชนิด เช่น เปลือกไม้ หนัง หิน

(๒.๒) Rolling Compression Machines

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

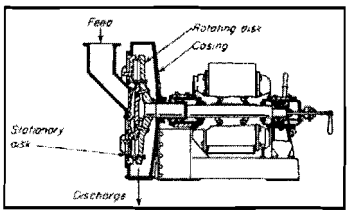


ลูกหมุนที่ตั้งในแนวดิ่งจะออกแรงกดวัตถุเข้ากับแป้นวงแหวนที่อยู่กับที่หรือหมุนซึ่งถูกขับเคลื่อนให้หมุนด้วยความเร็วปานกลาง มีอุปกรณ์ช่วยยกวัตถุดิบจากด้านล่างเข้าช่องระหว่างวงแหวนและตัวหมุน ผลผลิตจะถูกกวาดออกไปโดยใช้ลมเป่าในขณะที่วัตถุขนาดใหญ่กว่ากำหนดจะถูกบดอีกครั้งจนกว่าจะได้ขนาดที่ลมเป่าออกได้

ตัวอย่างวัตถุดิบ : หินปูน ซีเมนต์ ถ่านหิน

(๒.๓) Attrition Mill

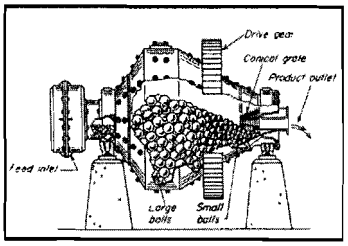
<u>ลักษณะการทำงาน</u>



สารป้อนเข้าตรงดุมของแผ่นหมุนตัวที่หนึ่งแล้วถูกบังคับให้วิ่งออกด้านนอกในร่องแคบระหว่างแผ่นหมุน วัตถุเนื้ออ่อนจะถูกขัดถูกับหน้าแปลนที่เซาะเป็นร่องของแผ่นจานหมุนกลม และอาจต้องใช้น้ำ หรือน้ำเกลือสำหรับทำความเย็นเป็นตัวระบายความร้อนที่เกิดขณะบด ซึ่งจำเป็นสำหรับการบดของที่ไวต่อการสูญเสียคุณสมบัติ เมื่ออุณหภูมิขึ้นสูง

ตัวอย่างวัตถุดิบ : นิยมใช้กับวัตถุเนื้ออ่อน

(๒.๔) Tumbling Mill



ประกอบด้วยตัวถังหมุนรอบแกนนอน ภายในบรรจุลูกบดไว้และมักใช้เป็นชื่อของเครื่องบด เช่น rod mill ใช้ลูกบดเป็นแท่งโลหะ (metal rod) หรือโซ่ของลูกบดโลหะ ball mill ใช้ลูกบดกลมทำจากโลหะ, ไม้ หรือ pebble mill ใช้ลูกบดประเภทลูกหิน ทำจาก zircon หรือ เซรามิก

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

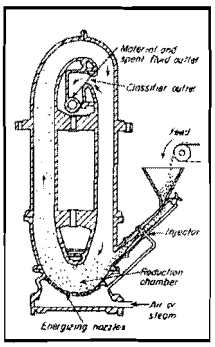
ลูกบดจะถูกพาสูงขึ้น ด้านในของตัวถัง แล้วก็จะตกลงมากระทบวัสดุที่จะบดที่อยู่ข้างใต้ การลดขนาดส่วนใหญ่ได้จากการอัดบดขณะหมุน และการโม่ ขณะที่เกิดการเลื่อนไหลไปบนตัวบดตัวอื่น ๆ

ตัวอย่างวัตถุดิบ : บดได้หลายหลายทั้งแบบเปียก และแห้ง

(๓) <u>Ultra fine grinder /แบบละเอียดมาก</u>

(๓.๑) Fluid Energy Mill (jet mill)

<u>ลักษณะการทำงาน</u>



อนุภาคจะแขวนลอยในกระแสลม มี Jet อยู่ตรงข้าม ทำให้ของไหลถูกกวนอย่างรุนแรงในเส้นทางรูปโค้ง อนุภาคจะลดขนาดโดยการขัดสีกับผนังหรือห้องแคบ ๆ ซึ่งเป็นทางวิ่งและเกิดจากการที่อนุภาคกระทบกันเองและแตกออก ระบบการคัดขนาดภายในจะช่วยให้อนุภาคขนาดใหญ่คงยังอยู่ในเครื่องบดจนกว่าจะมีขนาดเท่าที่ต้องการ

ตัวอย่างวัตถุดิบ : วัตถุขนาดเล็ก ไม่เกิน ๑๒ มิลลิเมตร

(๓.๒) Agitated mill

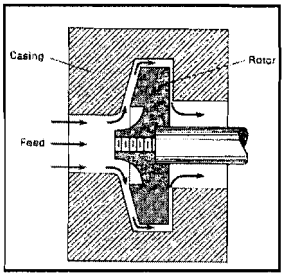
<u>ลักษณะการทำงาน</u>

เครื่องบดแบบมีใบกวน ในเครื่องบดละเอียดตัวถังไม่มีการหมุน มีตัวบดและใบกวนทำงานร่วมกัน ตัวบดอาจเป็นลูกบอล เม็ดแบน หรือเม็ดทราย ถังวางตั้งตรง มีของเหลวที่มีตัวบดแขวนลอยอยู่ สารป้อนจะถูกควบคุมด้วยใบกวนหลายใบพัด การกวนของใบพัดทำให้ลูกบดปะทะเสียดสีกับสารบดที่อยู่ระหว่างลูกบดจะถูกบดให้เล็กลงได้

ตัวอย่างวัตถุดิบ : แร่ขนาดเล็ก

(๓.๓) Colloid Mill

<u>ลักษณะการทำงาน</u>



เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยแรงเฉือยในของไหลที่ไหลด้วยความเร็วสูงผ่านช่องทางไหลเล็ก ๆ โดยของไหลถูกปั๊มผ่านใบพัดที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดการกระจายตัวเป็น Colloid หรือ emulsion อย่างถาวรในของเหลวมากกว่าจะเป็นการลดขนาด

ตัวอย่างวัตถุดิบ : อนุภาคขนาดเล็ก ดิน ครีม ช็อคโกแลต

(๔) เครื่องตัด (Cutting machines)/ Milling cutter

<u>ลักษณะการทำงาน</u>

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กระบวนวิธีการลดขนาดโดยอาศัยแรงเฉือน (shredding, shear) เป็นหลัก มีอยู่หลายชนิดเรียกชื่อตามความแตกต่างกันของอุปกรณ์ตัด หรือเฉือน มีทั้งแบบหัวเจาะ ใบมีดตัด หินเจียร นิยมใช้ตัดหรือ แต่งรูปวัตถุที่มีขนาดใหญ่ให้ได้รูปร่างตามต้องการ

ตัวอย่างวัตถุดิบ : ส่วนใหญ่เป็นวัตถุขนาดใหญ่

ตัวอย่างผลผลิต : วัตถุที่มีรูปแบบหรือรูปร่างตามต้องการ

๒.๒. การผลิตใหม่จากสารเหลว และการเปลี่ยนสถานะ

การผลิตใหม่ ใช้หลักการ ๓ วิธี ดังนี้

(๑) การทำให้เป็นสารละลายแล้วพ่นผ่านความร้อน เพื่อแยกตัวทำละลายให้ระเหยออกไป เหลือแต่สารที่ต้องการกระบวนการนี้เหมาะกับสารที่ละลายในตัว-ทำละลายแล้ว คุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง

(๒) การหลอมให้กลายสถานะเป็นของเหลว แล้วพ่นเป็นฝอย จะเกิดการแข็งตัวตามขนาดของตัวพ่นฝอย มักจะใช้ในการทำโลหะผง

(๓) การเผาจนระเหยเป็นไอ แล้วเกิดการกลั่นตัว เป็นผงในสถานะของแข็งอีกครั้ง เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง จึงสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเครื่องลดขนาด

โดยทั่วไป ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เครื่องลดขนาด คือ

๑. ความแข็งของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่มีความแข็งมาก จะต้องการกำลังในการลดขนาดสูง และใช้เวลานาน ซึ่งอาจแก้ไขโดยการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องอย่างช้าๆ และใช้เครื่องลดขนาดที่มีความจุสูงขึ้น และทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง

๒. โครงสร้างของวัตถุดิบ

โครงสร้างของวัตถุดิบจะสามารถบอกถึงคุณสมบัติในการแตกหัก หรือกะเทาะ ซึ่งหากทราบในจุดนี้ ก็จะสามารถหาวิธีที่เหมาะสมในการลดขนาด โดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

๓. ความชื้น

ความชื้นมีทั้งผลดีและผลเสียต่อการลดขนาดวัตถุดิบที่มีความชื้น อาจจะจับกันเป็นก้อนภายในเครื่องลดขนาด ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่อง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาต่ำกว่าความเป็นจริง แต่ถ้าวัตถุดิบมีความชื้นต่ำมาก จะเกิดฝุ่นขึ้นระหว่างการลดขนาด ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบการหายใจ ดังนั้น การมีความชื้นในอาหาร เป็นที่ยอมรับได้ ก็ควรใช้การพ่นน้ำ เพื่อลดการเกิดฝุ่น หรือทำ wet milling.

๔. การไวต่อความร้อนของวัตถุดิบ

ในขณะที่ทำการลดขนาด จะมีความร้อนเกิดขึ้น เนื่องจาก แรงเสียดสีระหว่างอนุภาค ถ้าเป็นวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน อาจต้องใช้อุปกรณ์เสริม เพื่อลดความร้อนจากระบบ เช่น coil เย็น

การคัดขนาด

การคัดขนาดที่นิยมกัน และง่ายต่อการใช้งาน มักจะเป็นจำพวกตะแกรงร่อนในรูปแบบต่าง ๆ แล้วแต่การออกแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เครื่องมือที่ใช้บด รวมถึง วัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งมักจะกำหนดขนาดในหน่วยของ mesh (จำนวนรูเปิด ต่อ ๑ ตารางนิ้ว)

นอกจากนี้ ยังมีการคัดขนาดแบบอื่น ซึ่งมักใช้เฉพาะกับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ หรือ ให้เหมาะสมกับกระบวนการ เช่น การคัดขนาดจากการตกตามแรงโน้มถ่วง หรือ แรงเหวี่ยง การคัดขนาดโดยผ่านสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้า เป็นต้น

๓. เทคโนโลยีที่เหมาะสม กับการบดละเอียดสารฝนหลวง

ปัจจัยที่ใช้พิจารณาในการหาเทคโนโลยี ให้เหมาะสมนั้น ต้องคำนึงถึงสารฝนหลวง พื้นที่ใช้สอย ลักษณะการใช้งาน เวลาที่จำกัด เครื่องยนต์ต้นกำลัง และแรงงานที่ต้องใช้ รวมถึงผลกระทบในการใช้งาน

ปัจจัย	ลักษณะการใช้งาน
พื้นที่ในการจัดวาง	พื้นที่โล่งในร่ม ปูพื้นซีเมนต์
ระยะเวลาการบด	บดต่อเนื่องไม่เกิน ๑ ตัน ต่อรอบ ใช้เวลาไม่เกิน ๑ ชั่วโมง
เครื่องยนต์ต้นกำลัง	ขนย้ายสะดวก ดูแลรักษาได้ง่าย
แรงงานที่ใช้	ใช้แรงงานเพื่อติดเครื่องยนต์ ๑ คน และใช้แรงงานเพื่อป้อนสารฝนหลวง อย่างน้อย ๓ คน

ในปัจจุบันสารฝนหลวง ที่จำเป็นต้องผ่านการบด มีจำนวน ๒ ชนิด คือ สารยูเรีย และน้ำแข็งแห้ง ซึ่งสารดังกล่าว มีคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญ คือ

- **ยูเรีย :** เป็นเม็ดกลมแข็ง เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่เกิน ๕ มิลลิเมตร

- **น้ำแข็งแห้ง :** เป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลักษณะแข็ง เปราะ เย็นจัด ไวต่อความชื้น (ระเหิดเป็นควันขาว เมื่อสัมผัสน้ำ)

สารที่ได้จากการบด มีความละเอียด ง่ายต่อการฟุ้งกระจาย ประกอบกับความชื้น ทำให้สารจับตัวกันเป็นก้อน และลดประสิทธิภาพของสารลง ดังนั้น **<u>เครื่องบดที่เหมาะสมในการบดยูเรีย</u>** ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ จึงไม่จำเป็นต้องใช้กำลังเครื่องยนต์สูง แต่ต้องการการตีกระทบที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มโอกาสในการแตกละเอียด ดังนั้น อุปกรณ์ที่เหมาะสม **<u>ควรจะเป็นเครื่องบด แบบ Hammer ซึ่งมีแขนตีจำนวนมาก</u>** ซึ่งอาจจะวางในรูปแบบไล่ระดับเป็นเกลียวรอบแกนหมุน เพื่อสามารถคลุกเคล้าสารไปในตัว ความหนาของแขนตี ควรมีขนาดเล็กกว่าเม็ดสารยูเรีย ด้วย เหตุนี้ จึงไม่สามารถยึดติดกับที่ได้ เพราะอาจเกิดการหักงอ จึงต้องให้เคลื่อนที่ได้ คล้ายเครื่องลดขนาดของสารฝนหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

<u>สำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลัง การใช้มอเตอร์ไฟฟ้า</u> น่าจะเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก ใช้กำลังเครื่องสูง แต่ต้องการเพิ่มรอบของการหมุน รวมถึง สามารถควบคุมการหมุนได้ (การลดหรือเพิ่มความเร็ว การบดกลับด้าน เพื่อให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น) อีกทั้งลดภาระในการบำรุงรักษา ลดเสียงรบกวน แต่อาจจะมีต้นทุนในการจัดซื้อที่สูงขึ้น

สิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้ คือ ตะแกรงคัดกรองที่ต้องรองรับสารจำนวนมากได้ เพื่อประสิทธิภาพในการร่อนที่ดีและรวดเร็ว และในส่วนของการออกแบบห้องบดสาร ที่รับกับแขนตี การวางตำแหน่งของตะแกรงร่อนอาจจะต้องเลื่อนมาอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

เครื่องบดที่เหมาะสมในการบดน้ำแข็งแห้ง

น้ำแข็งแห้งมีลักษณะเป็นก้อนใหญ่ จำเป็นต้องใช้แรงอัดกระแทกสูง ดังนั้น เครื่องยนต์ต้นกำลัง จึงน่าจะใช้แบบเดิม คือ เครื่องยนต์ดีเซล หมุนไปทางเดียว และเครื่องบดสาร (น้ำแข็งแห้ง) **<u>ควรเป็นชนิด Hammer ซึ่งมีแขนขนาดใหญ่เหมือนแบบเดิม</u>** ถือว่าค่อนข้างดีแล้ว หากต้องการความละเอียดสูงขึ้น อาจจะเพิ่มห้องบดละเอียดขึ้นมาอีกหนึ่งห้อง เพื่อบดซ้ำอีกครั้ง หลังการบดครั้งแรก

บทสรุป

เทคโนโลยีที่กล่าวมานี้ เป็นกระบวนการหลัก ๆ ซึ่งอาจจะแตกแขนงไปอีกหลายประเภท ชื่อเรียกอาจต่างกันออกไป แต่หลักการการทำงานโดยรวม จะคล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกัน ก็ที่การออกแบบ และส่วนประกอบเสริมที่เพิ่มขึ้น เทคโนโลยีที่กล่าวมาเหล่านี้ มักจะถูกนำมาประยุกต์ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น สามารถรองรับวัตถุดิบ และให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการ

การบดสารฝนหลวงนั้น นอกจากจะเลือกเทคนิคการบดที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงการออกแบบเครื่องบดสารฝนหลวง อุปกรณ์คัดขนาด ลักษณะการบด รวมถึง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต เช่น ความชื้น ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าจะทำการพัฒนาต่อไปในอนาคตอันใกล้ และเพื่อให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด ในทุก ๆ ด้าน จำเป็นจะต้องพิจารณาระหว่างข้อดี และข้อเสียของปัจจัยเกี่ยวข้องในหลาย ๆ ด้าน ที่อาจเกิดผลกระทบตามมา เช่น การใช้เทคโนโลยีที่สูงมากก็สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย อนุภาคของสารละเอียดมากเกินไป ก็เกาะกันแน่นเป็นก้อนเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน และการเกิดการฟุ้งกระจายของสารที่มีความละเอียดสูง เป็นต้น

****

เอกสารอ้างอิง :

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. **การย่อย หรือการลดขนาด (Size Reduction)**. (Online). www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit%๒๐๒/size%๒๐reduction.pdf. ๒๐ ตุลาคม ๒๕๕๔.

ดร. คชินท์ สายอินทวงศ์. **การบดละเอียด (Grinding or Milling)**. (Online). www.thaiceramicsociety.com/pc_pre_grindmore.php. ๒๑ ตุลาคม ๒๕๕๔

Kaps Engineers. (Online). kapsengineers.tradeindia.com. ๒๐ ตุลาคม ๒๕๕๔

Liming Heavy Industry (Shanghai). (Online). www.shanghai-crusher.com. ๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

Minning and Construction Machinery Energetic and Harmonious SBM. (Online). www.millexpert.com. ๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

Nisshin Engineering. (Online). www.nisshineng.com/eng/index.html. ๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

Wasan Kanthamoon. **คุณสมบัติของอนุภาคของแข็งและการลดขนาด**. (Online). ๒๐๒.๔๔.๔๗.๗๗/tam/SubjectsbyWASAN/๖๗๓๓๕๑FoodProcessingI/solid%๒๐properties%๒๐and%๒๐size%๒๐reduction.pdf. ๒๑ ตุลาคม ๒๕๕๔