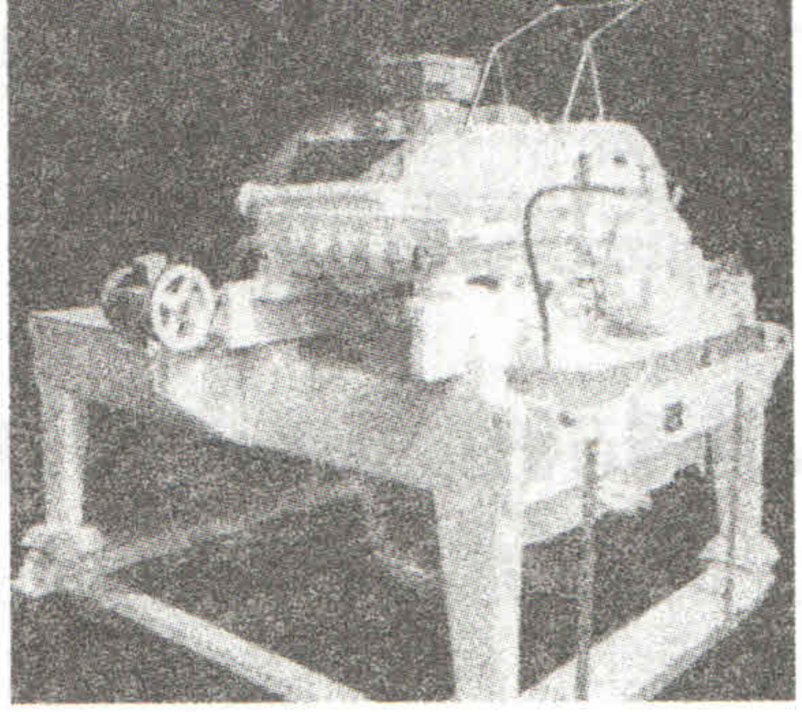


ภาพที่ 4.3 เครื่องพัลเวอร์ไรเซอร์

4.3 ทฤษฎีการบด

การลดขนาดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดของแข็งเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของขนาดและรูปร่าง เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉพาะสมบัติทางภายภาพของวัตถุดิบ โดยอนุภาคของวัตถุดิบอาหารสัตว์จะถูกทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงด้วยแรงบีดอัด (compression) แรงตี (impact) และแรงเฉือน (shear) แรงทั้ง 3 ชนิดที่เกิดขึ้นในระหว่างการบดจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน รุ่งนภา (2544) กล่าวว่า แรงบีบอัดเป็นการลดขนาดของแข็งที่จะได้อนุภาคหยาบและเกิดมีอนุภาคที่ละเอียดน้อยมาก แรงตีจะทำให้ได้อนุภาคของแข็งที่ผ่านการบดที่มีขนาดทั้งหยาบ ปานกลาง และละเอียด ส่วนแรงเฉือนเป็นการบดที่จะให้อนุภาคที่มีขนาดละเอียดมาก ซึ่งในการลดขนาดวัตถุดิบจากเครื่องบดแต่ละชนิดจะต้องใช้แรงทั้งสามแรงผสมผสานในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แต่จะมีแรงหนึ่งที่เด่นกว่าแรงอีกสองชนิดที่เหลือ การทำให้อนุภาควัตถุดิบมีขนาดอนุภาคเล็กลงประกอบด้วยกลไกการแตกของอนุภาควัตถุดิบหลัก 2 ชนิด คือ กลไกการแตกละเอียด (shattering) เป็นกลไกที่ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง 2 - 5 เท่าของขนาดอนุภาคเริ่มต้น และกลไกการขัดถู (abrasion) เป็นกลไกที่ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงมากกว่า 10 เท่าของขนาดอนุภาคเริ่มต้น ในระหว่างการบดนั้นจะต้องใส่พลังงานกลที่เกิดจากการหมุนของหัวค้อนในเครื่องแฮมเมอร์มิลล์หรือการหมุนของลูกกลิ้งในเครื่องโรลเลอร์มิลล์ ให้กับวัตถุดิบที่ต้องการบด จนถึงค่าของจุดวิกฤตที่วัตถุดิบไม่สามารถทนต่อพลังงานหรือแรงที่ให้กับวัตถุดิบ จะทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบเกิดการเสียรูปร่าง (deformation) และแตกออกจากอนุภาคเดิมตามแนวเส้นที่เปราะและแตกง่ายของวัตถุดิบ ขนาด ของวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กลง จะมีแนวเส้นที่แตกง่ายลดลง หรือไม่มีแนวเส้นที่แตกง่ายเหลือ ดังนั้นจะต้องสร้างแนวเส้นที่แตกง่าย ซึ่งจะต้องใช้พลังงานอย่างมาก ถ้าต้องการลดขนาดวัตถุดิบให้ได้อนุภาคที่ขนาดละเอียกมากขึ้น นอกจากนี้การให้พลังงานระหว่างการบดแก่วัตถุดิบนั้นมีเพียง 1% เท่านั้นที่ใช้ในการลดขนาดของวัตถุดิบ ส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงและพลังงานความร้อน ทำให้วัตถุดิบที่ผ่านการบดมาแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ในที่นี้จะได้กล่าวถึงหลักการบดและการทำงานของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์และเครื่องบดโรลเลอร์มิลล์ที่มีใช้กันมากในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ และในส่วนของเครื่องพัลเวอร์ไรเซอร์จะมีหลักการที่คล้ายคลึงกับของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์

4.4 หลักการทำงานของเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

การบดลดขนาดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์เป็นการใช้แรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างหัวค้อนกับวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบที่ต้องการบดจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดและตกลงด้วยแรงโน้มถ่วง จากนั้นวัตถุดิบจะถูกหัวค้อนตีให้มีขนาดเล็กลงและผลักพาเข้าสู่บริเวณเพิ่มความเร่ง (acceleration zone) จนกระทั่งความเร็วของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วรอบ (tip speed) ของหัวค้อนภายในห้องบด สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.1)

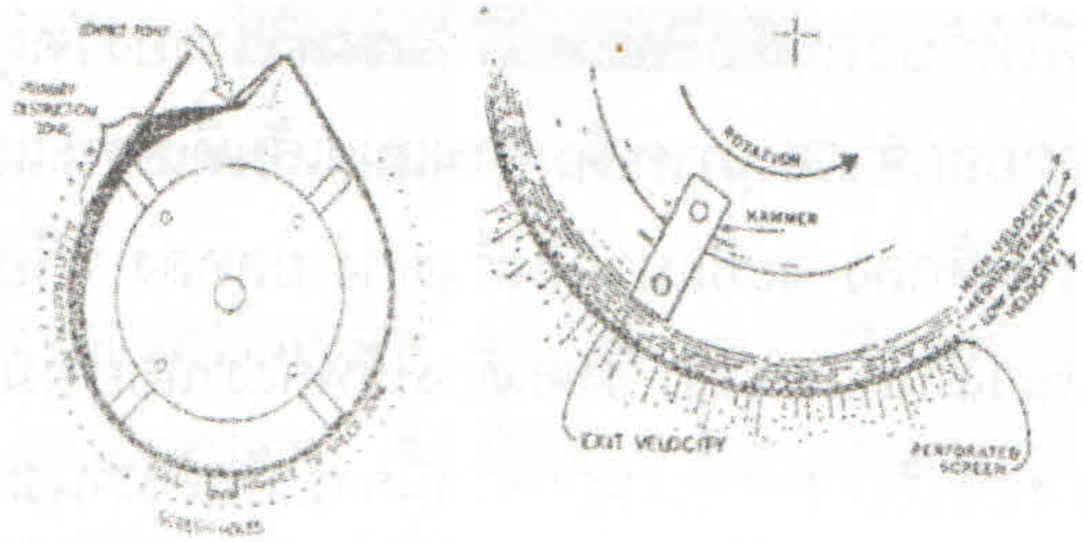
$$\text{ความเร็วรอบ (เมตรต่อนาที)} = \pi D \times \text{rpm} \qquad (4.1)$$

เมื่อ Tip speed = ความเร็วของหัวค้อน เมตรต่อนาที

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ เมตร

rpm = รอบต่อนาทีของเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ รอบต่อนาที

ขณะที่วัตถุดิบถูกพาไปตามการเหวี่ยงของหัวค้อนจะถูกทำให้เล็กลง เนื่องจากการเสียดสีกันระหว่างวัตถุดิบกับวัตถุดิบ และการกระแทกระหว่างวัตถุดิบกับหัวค้อน โดยการลดขนาดจะเกิดขึ้นในช่วงแรกบนตะแกรงโม่มากที่สุด และเรียกช่วงดังกล่าวว่า บริเวณการลดขนาดขั้นแรก (primary destruction zone) เมื่อวัตถุดิบถูกแรงตีและแรงเสียดสีในระหว่างที่หมุนเหวี่ยงภายในห้องบดจนมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ เมื่อขนาดของวัตถุดิบที่เท่ากับหรือเล็กกว่าขนาดของรูตะแกรง สามารถลอดผ่านออกรูตะแกรงโม่ออกไปได้ (ภาพที่ 4.4) ซึ่งในระหว่างการลอดผ่านรูตะแกรง จะเกิดการขัดสีระหว่างวัตถุดิบและรูตะแกรงด้วยแรงเสียดสี ทำให้รูปร่างของวัตถุดิบที่ลอดผ่านรูตะแกรงมีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเรียบ

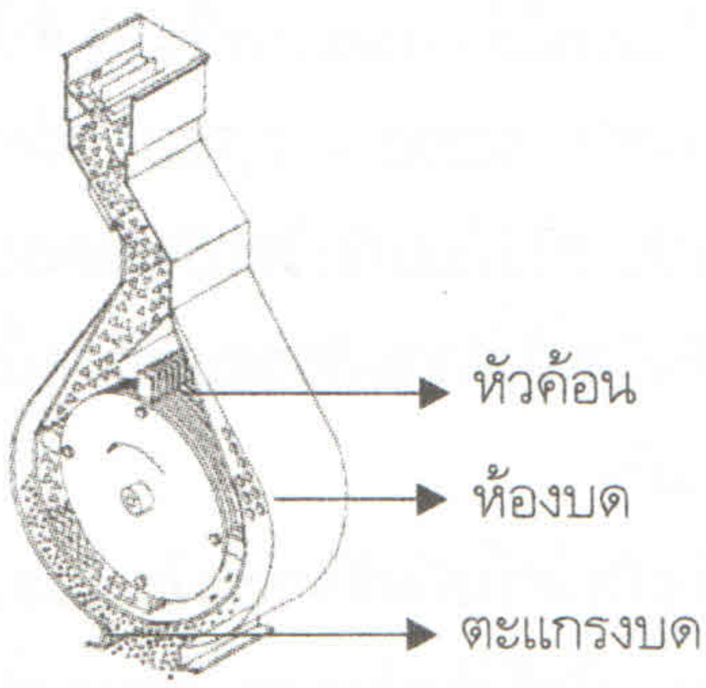


ภาพที่ 4.4 ลักษณะหัวค้อนและบริเวณการบดในเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์
ที่มา : Owens and Heimann, 1994

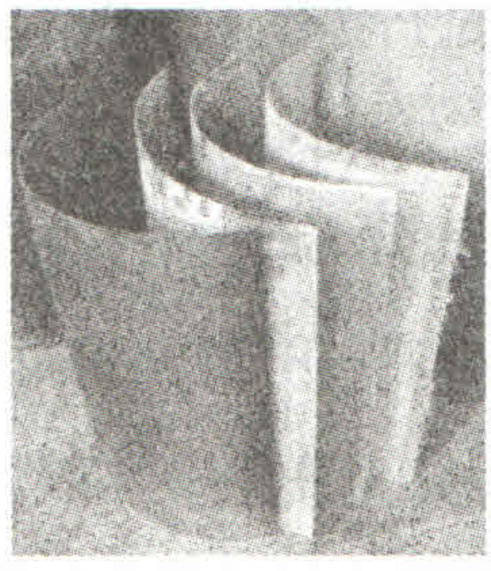
4.5 ส่วนประกอบของเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

เครื่องแฮมเมอร์มิลล์ที่ใช้สำหรับการลดขนาดของวัตถุดิบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

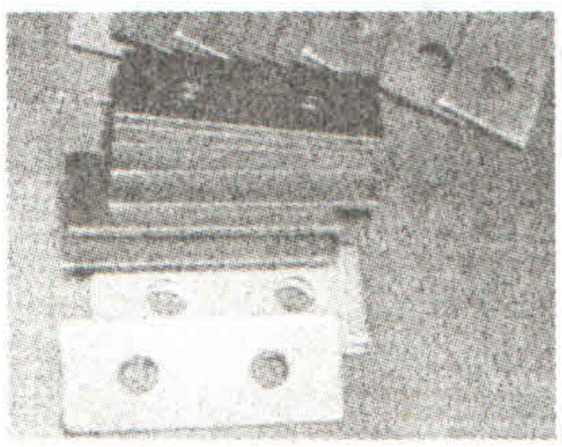
1. ห้องบด (grinding chamber)
2. ตะแกรงบดที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางระดับต่างๆ
3. หัวค้อนที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กที่ต่ออยู่กับแกนกลางที่เชื่อมอยู่กับแกนหมุน ซึ่งความเร็วของหัวค้อนที่วิ่งภายในห้องบดขึ้นกับความเร็วรอบของมอเตอร์
4. มอเตอร์ แกนหมุน ลูกปืน และแม่เหล็กดักจับเศษเหล็ก



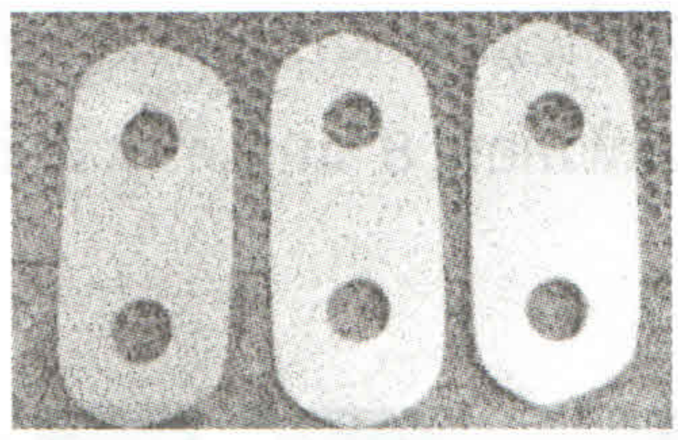
ภาพที่ 4.5 เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์
ที่มา : Kim, 1996



ภาพที่ 4.6 ตะแกรงบดแฮมเมอร์



(ก) หัวค้อนแฮมเมอร์ที่ยังไม่ผ่านการบด



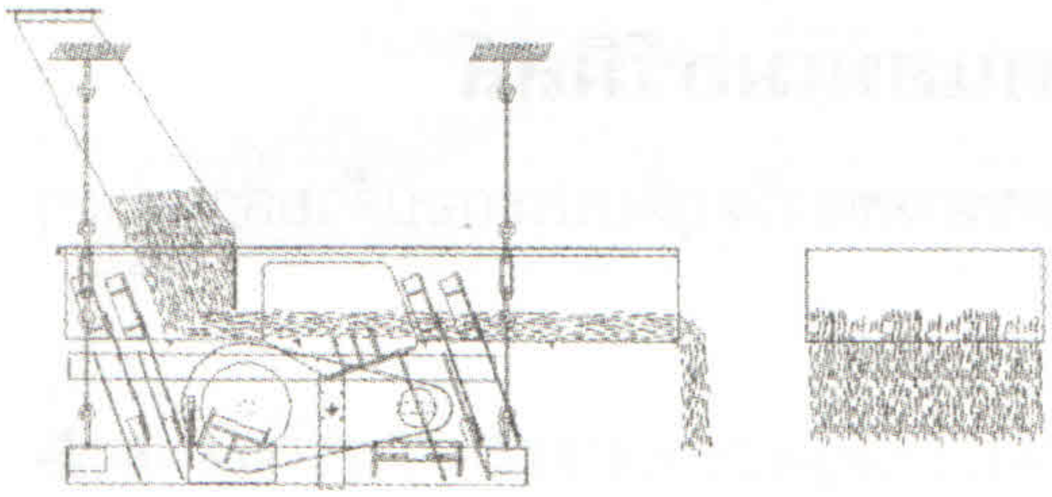
(ข) หัวค้อนแฮมเมอร์ที่ผ่านการบด

ภาพที่ 4.7 หัวค้อนสำหรับเครื่องแฮมเมอร์มิลล์

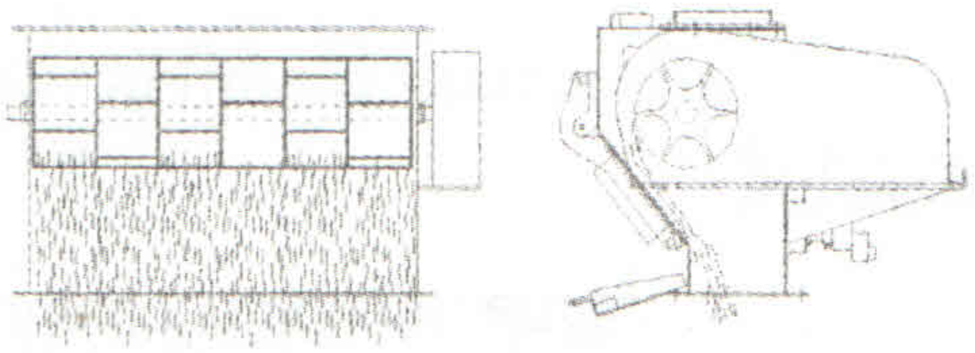
4.6 ประสิทธิภาพของการบดด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

ประสิทธิภาพการบดด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ขึ้นกับปัจจัยสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. อัตราป้อนวัตถุดิบ ควรที่จะต้องมีอัตราป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ห้องบดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการควบคุมอัตราการป้อนลำเลียงวัตถุดิบ ได้แก่ ระบบลำเลียงชนิดสั่น (vibratory feeder; ภาพที่ 4.8) ระบบลำเลียงชนิดปล่องหมุน (rotary feeder; ภาพที่ 4.9)



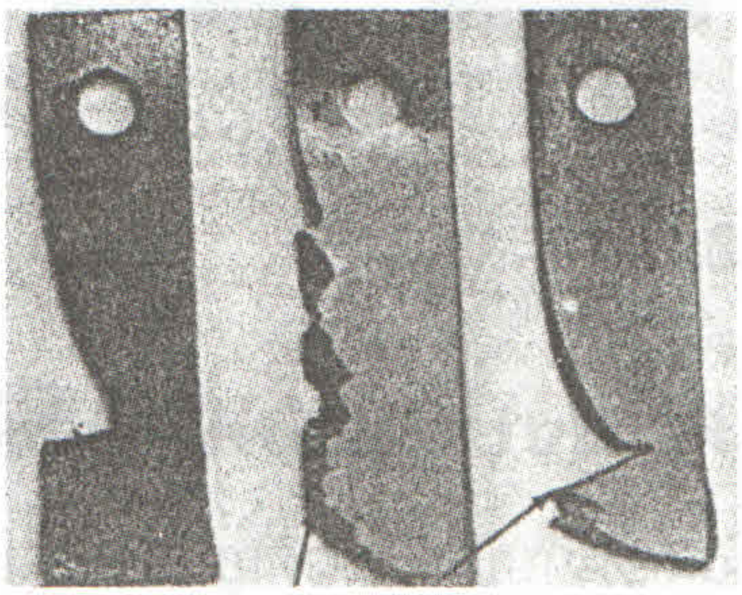
ภาพที่ 4.8 ระบบลำเลียงแบบสั่น
ที่มา : Bliss, 2005



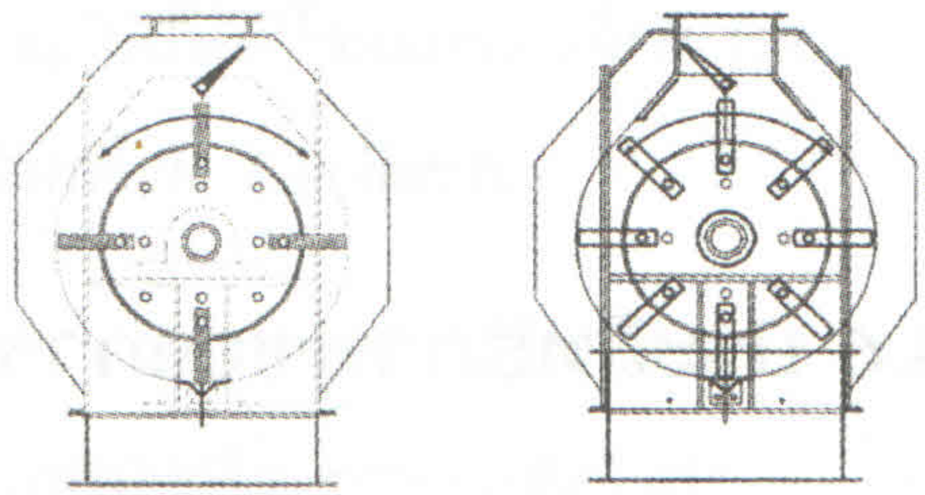
ภาพที่ 4.9 ระบบลำเลียงแบบปล่องหมุน
ที่มา : Bliss, 2005

2. ความเร็วรอบของเครื่องบด สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.1) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วความเร็วรอบของเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์อยู่ในช่วง 5,300 - 7,700 เมตรต่อนาที ถ้าความเร็ว รอบช้าเกินไป เป็นผลให้การกระแทกระหว่างหัวค้อนกับวัตถุดิบลดลง ส่งผลทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพการบดที่ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าความเร็วรอบเร็วเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องบดโดยไม่จำเป็น

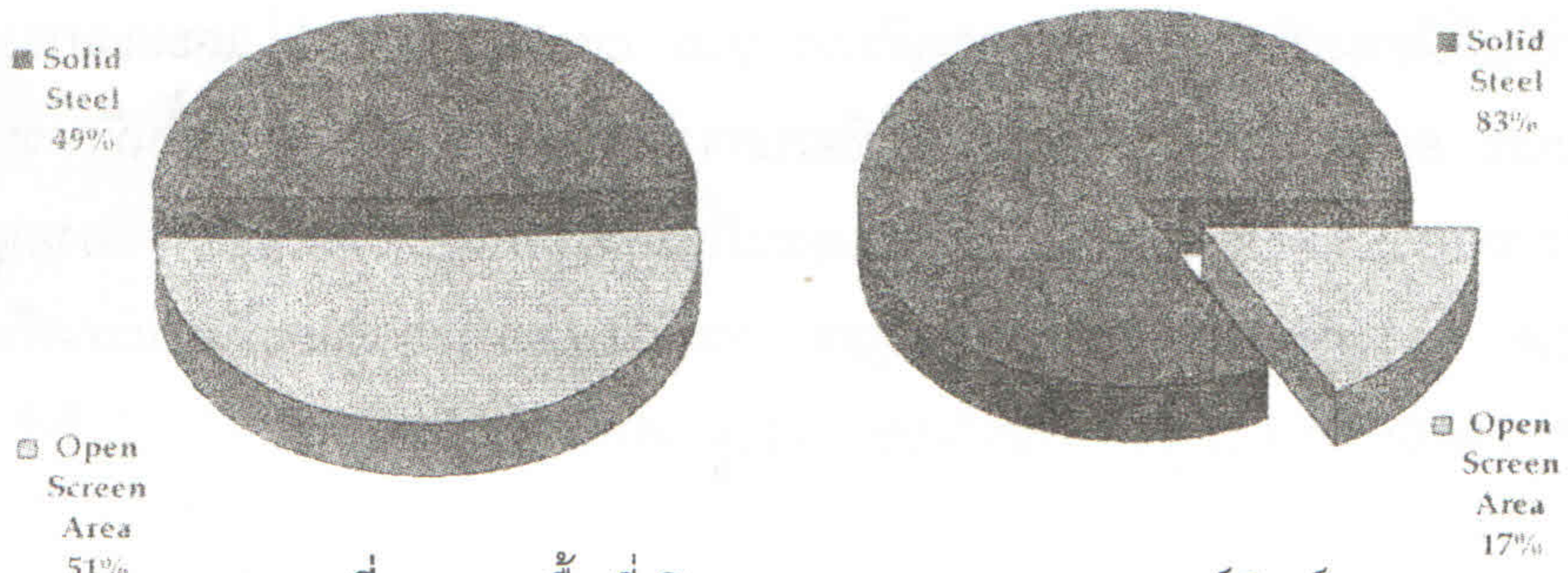
3. จำนวนและลักษณะของหัวค้อน ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างแรงดันและแรงกระแทกระหว่างวัตถุดิบกับวัตถุดิบ หรือวัตถุดิบกับหัวค้อน ซึ่งถ้าหัวค้อนถูกใช้งานนานๆ จะแหว่งหรือบิ่น (ภาพที่ 4.10) มีผลต่อแรงดันหรือแรงกระแทกลดลง หากเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ใดมีจำนวนหัวค้อนมาก จะเพิ่มพื้นที่ให้วัตถุดิบตีกระแทกกับหัวค้อนมากขึ้น ประสิทธิภาพการบดเพิ่มขึ้น และสามารถบดวัตถุดิบได้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 4.11 แฮมเมอร์มิลล์ที่มีจำนวนหัวค้อน 8 แถวให้ประสิทธิภาพการบดดีกว่าแฮมเมอร์มิลล์ที่หัวค้อนเพียง 4 แถว



ภาพที่ 4.10 ลักษณะหัวค้อนที่แหว่งและบิ่น
ที่มา : Owens และ Heiman, 1994



ภาพที่ 4.11 จำนวนหัวค้อน 4 และ 8 แถว
ที่มา : Bliss, 2005



ภาพที่ 4.12 พื้นที่เปิดของตะแกรงบดแฮมเมอร์มิลล์
ที่มา : Bliss, 2005

6. สมบัติของวัตถุดิบ สมบัติสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบด คือความชื้นและความหนาแน่นในวัตถุดิบก่อนการบด เมล็ดวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง จะเป็นผลให้เมล็ดมีความเหนียว การบดเพื่อลดขนาดของวัตถุดิบจะต้องใช้แรงมากขึ้น และวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำ จะทำให้การกระแทกระหว่างหัวค้อนและวัตถุดิบยากขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำจะเบา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการบดลดลง

7. ระบบดูดอากาศ เป็นระบบที่ช่วยดึงให้อนุภาคลอดผ่านตะแกรงบด เพื่อป้องกันการเกิดชั้นของอนุภาควัตถุดิบเกาะบนรูเปิดของตะแกรงบด (fluidized layer of material) การเกิดชั้นดังกล่าวจะขัดขวางการลอดผ่านรูเปิดของอนุภาค ทำให้วัตถุดิบสะสมค้างอยู่บนตะแกรง และเป็นผลให้มอเตอร์ทำงานหนัก โดยการหมุนเหวี่ยงหัวค้อนให้เร็วขึ้น เพื่อดันให้อนุภาคที่ขวางอยู่ลอดผ่านรูตะแกรงออกไปได้ จะเป็นสาเหตุของการเกิดความร้อนในเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ นอกจากนี้อนุภาคชั้นที่ขวางบนตะแกรง ยังทำให้เกิดการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบลงไปเรื่อยๆ เนื่องจากวัตถุดิบมีการขัดสีกันตลอดเวลา ทำให้เกิดเป็นฝุ่นที่ไม่ต้องการ และหากมีการสะสมของฝุ่นมากเกินไปสามารถทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ดังนั้นระบบดูดอากาศจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการลดขนาดอนุภาคโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้เครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

4.7 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์

ข้อดี คือ

1. สะดวกในการใช้งาน โดยขนาดของอนุภาคที่บดได้ขึ้นขนาดของรูตะแกรงที่ใช้
2. บำรุงดูแลรักษาง่ายกว่าเครื่องบดโรลเลอร์มิลล์

ข้อเสีย คือ

1. มีเสียงดังในระหว่างการบดเนื่องจากเดินเครื่องที่ความเร็วรอบสูงและแรงม้าสูง
2. เกิดฝุ่นมาก ฝุ่นทำให้ประสิทธิภาพการบดต่ำ ที่รวมถึงการสูญเสียของน้ำหนักการระเบิด และสุขภาพของคนงาน จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบดูดฝุ่น
3. ลักษณะของอนุภาคที่ได้จากเครื่องบดแฮมเมอร์มิลล์ มีลักษณะเป็นทรงกลม ทำให้เกิดการอัดตัวได้ง่ายและเคลื่อนไหลไม่ดี

4.8 หลักการทำงานของเครื่องบดโรลเลอร์มิลล์

การลดขนาดของวัตถุดิบด้วยเครื่องบดโรลเลอร์มิลล์ เป็นผลจากแรงบีบอัดและแรงเฉือน ของลูกกลิ้งเหล็กสองลูกที่หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วรอบต่างกันสามารถแสดงเป็นสัดส่วน 1 : 1 หมายถึงลูกกลิ้งสองลูกหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน เช่น ลูกกลิ้งละ 300 rpm ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการลดขนาดออกเป็นชิ้น แต่จะทำให้วัตถุดิบที่ลอดผ่านรีดแบนเท่านั้น หรือในกรณีที่ลูกกลิ้งหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เช่น 600 rpm และ 300 rpm ทำให้มีสัดส่วนความเร็ว รอบเป็น 2 : 1 หรือความเร็วรอบ 450 rpm และ 300 rpm สัดส่วนความเร็วรอบเป็น 1.5 : 1 ซึ่งการหมุนด้วยความเร็วรอบที่แตกต่างกัน จะเกิดทั้งแรงบีบอัดและแรงเฉือนที่จะบดและตัดวัตถุดิบออกเป็นชิ้น นอกจากนี้บนผิวของลูกกลิ้งจะถูกบากให้เป็นร่อง เพื่อช่วยให้เกิดแรงเฉือนในการฉีกและตัดวัตถุดิบออกเป็นชิ้น ลักษณะของร่องบากบนผิวลูกกลิ้ง ดังเช่นที่แสดงในภาพที่ 4.13 เป็นลักษณะของรอยบากชนิดต่างๆ บนผิวลูกกลิ้ง โดยร่องบากชนิด round bottom V เป็นลักษณะร่องบากที่ได้รับความนิยมเนื่องจากทำความสะอาดได้ง่ายและไม่มีมุมหรือจุดบอดของการสะสมของวัตถุดิบ และในเครื่องบดโรลเลอร์มิลล์สามารถประกอบด้วยชุดลูกกลิ้ง 2 - 3 คู่ โดยชุดลูกกลิ้งคู่แรกที่ถัดจากระบบลำเลียงจะเป็นคู่บดหยาบ ที่พื้นผิวของลูกกลิ้งจะมีรอยบากและช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกว้าง ได้เป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคหยาบ ก่อนจะลอดผ่านไปยังชุดลูกกลิ้งคู่ที่สองซึ่งเป็นคู่บดละเอียดที่มีรอยบากและช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งที่แคบกว่า เพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคบดตามที่ต้องการ และถ้าเครื่องบดโรลเลอร์มีชุดลูกกลิ้ง 3 คู่ ชุดลูกกลิ้งคู่ล่างสุดจะเป็นคู่ที่บดละเอียดให้ได้ขนาดอนุภาคตามที่ต้องการ แต่ส่วนใหญ่เครื่องบดโรลเลอร์มิลล์ที่ใช้ในโรงงานอาหารสัตว์ จะประกอบด้วยชุดลูกกลิ้ง 2 คู่ ที่สามารถบดอนุภาคได้ขนาดเฉลี่ยตั้งแต่ 600 μm เป็นต้นไป