

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยเรื่องการสร้างเครื่องย่อยพลาสติกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะภายในชุมชนเทศบาลเมืองขลุง จังหวัดจันทบุรี ได้ศึกษาจากวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโครงการวิจัยของเครื่องย่อยพลาสติก มีวัตถุประสงค์เพื่อนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับเข้ามาสู่กระบวนการย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะส่งต่อไป ซึ่งเป็นการลดปริมาณของพลาสติกที่มีอยู่และเป็นการนำวัสดุที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผู้จัดทำวิจัยได้ค้นคว้าจากเอกสารและทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ขยะมูลฝอย
2. การลดขนาด
3. การแยก
4. พลาสติก
5. ทฤษฎีคมมีดตัดเฉือน, ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ, ทฤษฎีแรงเสียดทาน, ทฤษฎีความเค้นและความเครียด
6. เครื่องย่อยพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีใช้งานในปัจจุบัน
7. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ขยะมูลฝอย

##### นิยามและความหมาย

มูลฝอย หมายความว่า เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า กุ้งพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น (พระราชบัญญัติการสาธารณสุข. ออนไลน์. 2535)

ขยะมูลฝอย (Waste) หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภค ซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (Solid Waste) มีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจ เนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้เกิดมลพิษและทัศนียภาพ

มลพิษที่เกิดจากขยะมูลฝอย (Waste Pollution) หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอันเนื่องมาจากขยะมูลฝอย เช่น การทิ้งขยะลงในแหล่งน้ำและการเกิดกลิ่นเหม็นจากกองขยะ

## ประเภทของขยะมูลฝอย

ได้มีการแบ่งประเภทหรือชนิดของขยะมูลฝอยไว้หลายอย่าง ดังนี้

### 1. จำแนกตามพิษภัยที่เกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มี 2 ประเภท คือ

1.1 ขยะทั่วไป (General Waste) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่มีอันตรายน้อย ได้แก่ พวกเศษอาหาร เศษกระดาษ เศษผ้า พลาสติก เศษหญ้าและใบไม้ ฯลฯ

1.2 ขยะอันตราย (Hazardous Waste) เป็นขยะที่มีภัยต่อคนและสิ่งแวดล้อม อาจมีสารพิษ ติดไฟหรือระเบิดง่าย ปนเปื้อนเชื้อโรค เช่น ไฟแช็กแก๊ส กระจบองสเปรย์ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หรืออาจเป็นพวกสารเคมีและผ้าพันแผลจากสถานพยาบาลที่มีเชื้อโรค

### 2. จำแนกตามลักษณะของขยะ

2.1 ขยะเปียกหรือขยะสด (Garbage) มีความชื้นปนอยู่มากกว่าร้อยละ 50 จึงติดไฟได้ยาก ส่วนใหญ่ ได้แก่ เศษอาหาร เศษเนื้อ เศษผัก และผักผลไม้จากบ้านเรือน ร้านอาหาร และตลาดสด รวมทั้งซากพืชและสัตว์ที่ยังไม่เน่าเปื่อย ขยะประเภทนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากแบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สาร นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค โดยติดไปกับแมลง หนู และสัตว์อื่นที่มากินหรือกินเป็นอาหาร

2.2 ขยะแห้ง (Rubbish) คือ สิ่งเหลือใช้ที่มีความชื้นอยู่น้อยจึงไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น จำแนกได้ 2 ชนิด คือ

2.2.1 ขยะที่เป็นเชื้อเพลิง เป็นพวกที่ติดไฟได้ เช่น เศษผ้า เศษกระดาษ หญ้า ใบไม้ กิ่งไม้แห้ง

2.2.2 ขยะที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษโลหะ เศษแก้ว และเศษก้อนอิฐ

2.3 ขี้เถ้า (Ashes) หมายถึง สารตกค้างที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงต่าง ๆ โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน ฯลฯ มูลฝอยดังกล่าวนี้ มีความเฉื่อยสูง คือ ไม่เกิดการย่อยสลายอีกต่อไป มีแหล่งกำเนิดมูลฝอยเช่นเดียวกับมูลฝอยแห้ง

2.4 มูลฝอยจากการกวาดถนน (Street Refuse) หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากการกวาดถนน หรือสถานที่สาธารณะต่าง ๆ เช่น เศษใบไม้ เศษหญ้า กิ่งไม้ ฟันละออง ฯลฯ

2.5 มูลฝอยขนาดใหญ่ (Bulky Waste) หมายถึง มูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ หรือมีชิ้นโต ส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่เสียหรือเสื่อมสภาพใช้การไม่ได้แล้ว หรือไม่สามารรถซ่อมแซมเพื่อใช้งานต่อไปได้อีกแล้ว เช่น พัดลม ตู้เย็น โทรศัพท เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ

2.6 ซากรถยนต์หรือยานพาหนะต่าง ๆ (Abandoned Vehicles) หมายถึง ยานพาหนะต่าง ๆ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เครื่องจักรกล เรือล้อเลื่อน ฯลฯ และชิ้นส่วนของยานพาหนะ หรือเครื่องจักรกลที่เสียหรือเสื่อมสภาพ ไม่สามารถซ่อมแซมเพื่อใช้งานได้อีกแล้ว

มักถูกนำไปจุดทิ้งในที่สาธารณะหรือสถานที่ทำการต่าง ๆ ได้มีการศึกษาว่าน้ำหนักของรถยนต์ที่หนักประมาณ 3,574 ปอนด์ ประกอบด้วย เหล็กกล้า 2,531 ปอนด์ เหล็กหล่อ 511 ปอนด์ ทองแดง 31 ปอนด์ สังกะสี 54 ปอนด์ อลูมิเนียม 50 ปอนด์ ตะกั่ว 20 ปอนด์ ยาง 145 ปอนด์ แก้ว 87 ปอนด์ สารอื่น ๆ ที่ติดไฟได้ 127 ปอนด์ สาร อื่น ๆ ที่ไม่ติดไฟ 15 ปอนด์

2.7 มูลฝอยสิ่งก่อสร้างและรื้อถอน (Construction and Demolition Wastes) หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากการก่อสร้าง และรื้อถอนบ้าน อาคารสำนักงาน โรงเรียน โรงงานอุตสาหกรรม ถนนหนทาง หรือเขื่อน มูลฝอยที่เกิดขึ้นมักเป็นพวกเศษไม้ เศษหินกรวดหรือทราย เศษกระดาด เศษกระเบื้อง เศษอิฐ เศษปูน เศษคอนกรีต ลวด สายไฟ เครื่องไฟฟ้าต่าง ๆ เศษแก้ว เศษภาชนะบรรจุสิ่งของต่าง ๆ ฯลฯ

2.8 มูลฝอยอุตสาหกรรม (Industrial Solid Wastes) หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากการประกอบอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของการประกอบอุตสาหกรรม

2.9 มูลฝอยเกษตรกรรมและสัตว์เลี้ยง (Animal and Agricultural Wastes) หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากการกิจกรรมทางการเกษตร ได้แก่ การทำนา ทำไร่ ทำสวน การประมง การป่าไม้ หรือการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น มูลฝอยที่เกิดจากการเกษตรกรรม ส่วนใหญ่ได้แก่ มูลสัตว์ เศษหญ้า ใบไม้ กิ่งไม้ เศษอาหารสัตว์ ซากภาชนะบรรจุสารปราบศัตรูพืชหรือปุ๋ยหรือฮอร์โมน สารตกค้างของสารปราบศัตรูพืชหรือปุ๋ยหรือฮอร์โมน เป็นต้น

2.10 มูลฝอยจากการบำบัดน้ำเสีย (Sewage Treatment Residues) หมายถึง ส่วนที่เหลือเศษตกค้างจากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น มูลฝอยจากที่ติดอยู่บนตะแกรงก่อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด กากตะกอนจากถังตกตะกอน เศษกรวดทราย หรือโลหะจากรางคัดกรวดทราย ฯลฯ มูลฝอยเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยที่มีความชื้นสูง

2.11 ซากสัตว์ (Dead Animals) มูลฝอยที่เป็นซากสัตว์ หมายถึง ซากสัตว์ที่ตายด้วยสาเหตุต่าง ๆ อาจตายโดยธรรมชาติ หรือตายโดยเจ็บป่วยเป็นโรค หรือตายด้วยอุบัติเหตุต่าง ๆ ซึ่งอาจถูกปล่อยทิ้งไว้ตามถนนหนทาง หรือที่สาธารณะ หรือในฟาร์ม หรือในอาคารที่พักอาศัย เป็นมูลฝอยที่เน่าสลายได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อเน่าสลายแล้วจะส่งกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจและยังอยู่ในสภาพไม่น่าดู จึงจำเป็นต้องรีบเก็บรวบรวมและนำไปกำจัดในทันทีทันใด

2.12 มูลฝอยพิเศษ (Special Wastes) หมายถึง มูลฝอยที่จะต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ เพราะมีเช่นนั้นจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม บางครั้งอาจถูกจัดไว้เป็นมูลฝอยอันตราย (Hazardous Waste) ได้แก่ มูลฝอยที่ระเบิดได้ มูลฝอยไวไฟ มูลฝอยมีพิษ มูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยกัมมันตรังสี มูลฝอยที่มีฤทธิ์

ในการคัดกรองน เป็นต้น แหล่งกำเนิดของมูลฝอยพิเศษ อาจมาจากที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล สถานที่ทำการต่าง ๆ

### องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ในประเทศไทยตัวอย่างมูลฝอยที่สุ่มออกมา จะนำมาแยกองค์ประกอบเป็นประเภทต่าง ๆ 10 ประเภท ดังตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

| Combustible Wastes    | Non - Combustible Wastes |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. ผัก ผลไม้ เศษอาหาร | 7. แก้ว                  |
| 2. กระดาษ             | 8. โลหะ                  |
| 3. พลาสติก            | 9. หิน กระเบื้อง         |
| 4. ผ้า                | 10. อื่น ๆ               |
| 5. ไม้                |                          |
| 6. ขางและหนัง         |                          |

1. ผัก ผลไม้และเศษอาหาร หมายถึง เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียม การปรุง และการบริโภค (ยกเว้น เปลือกหอย กระจุก ก้างปลา ชังข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ

2. กระดาษ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ ตัวอย่างเช่น กระดาษ หนังสือพิมพ์ แมกกาซีน หนังสือต่าง ๆ ใบปลิว การ์ด ถุงกระดาษ กลองกระดาษ กระดาษอัด ฯลฯ

3. พลาสติก หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ตัวอย่างเช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ

4. ผ้า หมายถึง สิ่งทอต่าง ๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้าย ลินิน ผ้าไนลอน ตัวอย่างเช่น ด้าย เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ฯลฯ

5. ไม้ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้

6. ขางและหนัง หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ฯลฯ

7. แก้ว หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น กระจก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว ฯลฯ

8. โลหะ หมายถึง วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น กระจกป้องกันโลหะ สายไฟ Foil ภาชนะต่าง ๆ ตะปู ฯลฯ

9. หิน กระเบื้อง กระดุกสัตว์และเปลือกหอย หมายถึง เศษหิน เศษกระดุกสัตว์ เปลือกหอย ตัวอย่างเช่น Ceramics เปลือกหอย กุ้ง ปู กระดุกสัตว์ ก้างปลา ฯลฯ

10. อื่น ๆ หมายถึง วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่าง ๆ ข้างต้น รวมถึง ฟุนทราย เถ้า

### ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดมูลฝอย

ปริมาณมูลฝอยที่เกิดจากการดำรงชีพ หรือมูลฝอยชุมชนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์
2. ฤดูกาล
3. ลักษณะอุปนิสัยของประชาชนในท้องถิ่น
4. สถานการดำรงชีพของประชาชน
5. ความถี่ของการบริการเก็บรวบรวมมูลฝอย
6. กฎหมายหรือระเบียบข้อบังคับ

### การแปรสภาพและการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอย

การนำวัสดุเหลือใช้จากขยะมูลฝอยกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ จะช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องกำจัด ในขณะเดียวกันก็เป็นการสงวนทรัพยากรธรรมชาติไว้ได้อีกส่วนหนึ่งด้วยการใช้ประโยชน์จากสิ่งเหลือใช้ อาจใช้วิธีหมุนเวียนวัสดุหรือแปรสภาพขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน

1. การแปรสภาพขยะมูลฝอยเป็นพลังงาน เราอาจแปรสภาพขยะมูลฝอยเป็นพลังงานได้ดังนี้

พลังงานความร้อน ได้จากการนำเอาขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำไอน้ำร้อน แล้วส่งไปให้ความอบอุ่นตามอาคารบ้านเรือน เช่น ที่ทำอยู่ในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น

พลังงานไฟฟ้า ได้จากการนำขยะมูลฝอยไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าบริการแก่ประชาชน ตัวอย่างเช่น การแปรสภาพและการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยในบางรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีขยะมูลฝอยจำนวนมาก และเป็นชนิดที่เผาไหม้ได้เป็นส่วนมาก

2. การคัดแยกวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ วัสดุหลายอย่างในขยะมูลฝอยที่อาจนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น กระดาษ แก้ว ขวด พลาสติก เหล็กและโลหะอื่น ๆ การคัดเลือกวัสดุต่าง ๆ ที่รวมอยู่ในขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้อีก นับได้ว่ามีการปฏิบัติกันมาช้านาน

จะเห็นได้ว่าตามกองขยะมูลฝอยทุกแห่งมีบุคคลกลุ่มหนึ่ง ไปคอยคุ้ยเขี่ยเก็บวัสดุจากกองขยะมูลฝอย ตลอดเวลาเพื่อหารายได้

การแปรสภาพขยะมูลฝอย ในการจัดการขยะมูลฝอย

อาจจัดให้มีระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการแปรสภาพขยะมูลฝอย คือ การเปลี่ยนแปลง สภาพลักษณะทางกายภาพเพื่อลดปริมาณเปลี่ยนรูปร่าง โดยวิธีคัดแยกเอาวัสดุที่สามารถหมุนเวียน ใช้ประโยชน์ได้ออกมา วิธีการบดให้มีขนาดเล็กลง และวิธีอัดเป็นก้อนเพื่อลดปริมาตรของขยะมูลฝอย ได้ร้อยละ 20-75 ของปริมาตรเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องมือและลักษณะของขยะมูลฝอย ตลอดจนใช้วิธีการห่อหุ้มหรือการผูกมัดก้อนขยะมูลฝอยให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ผลที่ได้รับจากการแปรสภาพมูลฝอยนี้ จะช่วยให้การเก็บรวบรวม ขนถ่าย และขนส่ง ได้สะดวกขึ้น สามารถลดจำนวน เทียบของการขนส่ง ช่วยให้ไม่ปลิวหล่นจากรถบรรทุก และช่วยรีดเอาน้ำออกจากขยะมูลฝอย ทำให้ ไม่มีน้ำชะมูลฝอยรั่วไหลในขณะขนส่ง ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบ โดยสามารถจัดวางซ้อนได้อย่างเป็นระเบียบจึงทำให้ประหยัดเวลาและค่าวัสดุในการกลบทับ และ ช่วยยืดอายุการใช้งานของบ่อฝังกลบได้อีกทางหนึ่งด้วย

การพิจารณาเครื่องมือแปรสภาพขยะมูลฝอยสามารถเลือกใช้ได้ตามองค์ประกอบและ ลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอย ประเภทของแหล่งกำเนิด สถานที่ตั้งระบบใดมีปัจจัยที่ควรพิจารณาดังนี้

1. ความสามารถในการทำงาน : เครื่องมือจะช่วยทำงานอะไรบ้างให้ได้งานที่ดีขึ้นกว่าเดิม
2. ความเชื่อถือได้ : ต้องการบำรุงรักษามากน้อยเพียงไร
3. การบริการ : การตรวจเช็คและซ่อมแซม สามารถทำได้เอง และผู้ขายมีบริการ

หลังการขาย

4. ความปลอดภัย : เครื่องมือมีระบบป้องกันอันตรายแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งอาจเกิดการเดินเลื้อย หรือขาดความรู้ความเข้าใจ

5. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม : ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังกลิ่นรบกวน หรือมลพิษอื่น
6. ความสวยงาม : เครื่องมือไม่ดูเทอะทะ ก่อความรำคาญให้กับสายตา
7. ค่าใช้จ่าย : ต้องคำนึงถึงเงินลงทุนและค่าบำรุงรักษารายปีอยู่ในระดับราคาที่ยอมรับได้

**ระบบกระบวนการ**

ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนรูป (Transformation) ของขยะ ซึ่งได้แก่ การหมักทำปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน (Composting) การเผาแล้วได้พลังงานกลับคืน (Incineration with energy recovery) การเผาโดยไม่ได้พลังงานกลับคืน (Incineration with no energy recovery) ส่วนการฝังกลบขยะ (Land filling) มักจะจัดไว้ในวิธีการกำจัดขยะ (Waste disposal) กระบวนการเตรียมขยะเพื่อความเหมาะสม ของกิจกรรมนั้นๆ รวมเรียกว่าระบบกระบวนการ

ระบบกระบวนการมีจุดประสงค์เพื่อเตรียมขยะ กากของเสีย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือใช้ในกระบวนการชีวภาพ เช่น การหมักทำปุ๋ยและวัสดุปรับปรุงดิน ขั้นตอนของกระบวนการ ได้แก่ การทำให้ขยะกากของเสียที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แยกเอาโลหะที่มีเหล็กนำไปใช้ใหม่ การแยกเอาส่วนที่มีส่วนประกอบอินทรีย์ที่เหมาะสมในกระบวนการที่ใช้ความร้อน หรือกระบวนการทางชีวภาพ

### การลดขนาด (Size Reduction)

การลดขนาดแบ่งออกเป็นเครื่องบด เครื่องบด และเครื่องบดละเอียด เครื่องบด Crusher ทำงานหนักลดขนาดวัสดุขนาดใหญ่ให้เล็กลง มาจากทุกขนาดหน้าเหมืองให้เหลือขนาด 150 - 250 มิลลิเมตร (6-10 นิ้ว) และเครื่องบดระดับรองลงมาจะทำงานต่อบดให้เหลือขนาดประมาณ 6 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และเครื่องบดจะบดต่อให้เป็นผง (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553)

อุปกรณ์ลดขนาดที่ใช้อยู่ ได้แก่

#### 1. เครื่องอัดหรือบด (Crusher) หยาบหรือละเอียด

- 1.1 Jaw crushers
- 1.2 Gyratory crushers
- 1.3 Crushing rolls

#### 2. เครื่องบด (Grinders-intermediate and fine)

- 2.1 Hammer Mills
- 2.2 Rolling Compression Mills
- 2.3 Ball Mills
- 2.4 Roller Mills
- 2.5 Attrition Mills
- 2.6 Tumbling Mills
- 2.7 Rod Mills
- 2.8 Ball Mills
- 2.9 Tube Mills ; Compartment Mills

#### 3. เครื่องบดละเอียด (Ultra fine grinder)

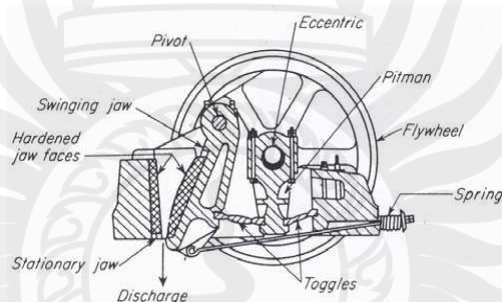
- 3.1 Hammer Mills with internal Classification
- 3.2 Fluid-energy Mills

### 3.3 Agitate Mill

### 3.4 Cutting machines

## 1. เครื่องบด/อัด (Crusher)

เป็นเครื่องย่นต์ความเร็วต่ำสำหรับลดขนาดของแข็งปริมาณมาก ๆ เครื่องบดก็มีหลายแบบ เช่น Jaw crusher, Gyratory crushers, Smooth roll crushers และ Tooth-roll crusher สามแบบแรกทำงานโดยการบดอัด และสามารถรับภาระการบดอัดปริมาณมาก ๆ ได้ จึงใช้เป็นเครื่องลดขนาดขั้นต้นสำหรับหินหรือสินแร่ Tooth roll crusher นึกตัวอย่างพร้อม ๆ กับบดอัดเหมาะกับสารป้อนที่อ่อนกว่า เช่น พวกลำหิน กระจุก หรือเปลือกหอย



ภาพประกอบ 1 Blake Crusher

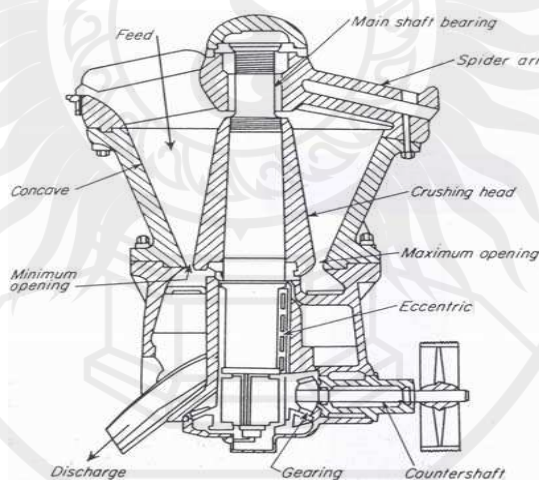
ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**1.1 Jaw crusher** ใน jaw crusher วัสดุดิบจะถูกป้อนเข้าระหว่าง Jaw สองอัน ซึ่งประกอบเป็นรูปตัว V ทำมุม 20-30° ขา jaw ตัวหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ ขณะที่อีกขาหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวราบเข้าหาตัวที่ยึดอยู่กับที่ โดยถูกบีบเคลื่อนด้วยชุด eccentric ทำให้เกิดแรงบีบมหาศาลต่อวัสดุดิบที่ถูกยึดไว้ระหว่าง Jaw ทั้งสอง ผิวหน้าของ Jaw มักเรียบ วัสดุก้อนใหญ่ ซึ่งถูกยึดอยู่ด้านบนของ Jaw จะถูกบีบจนแตกตกลงมาในช่วงล่างลงไป และถูกบีบอัดเมื่อ Jaw บีบเข้าหากันทางด้านล่าง เมื่อขนาดลดลงจนเพียงพอที่จะถูกปล่อยออกทางด้านล่าง Jaw จะเปิด - ปิด 250 - 500 ครั้งต่อนาที

Jaw crusher สามัญทั่วไป เรียกว่า Blake Crusher ตามภาพประกอบ 1 ในเครื่องนี้ ชุดeccentric ขับเคลื่อน Pitman ซึ่งต่อกับแผ่น toggle plate ซึ่งตัวหนึ่งขันติดกับกรอบ อีกตัวหนึ่งขันติดกับ Swinging jaw จุดหมุนอยู่ด้านบนของ jaw เคลื่อนที่ได้ จุดหมุนอยู่ด้านบนของ jaw ที่ fixed อยู่ด้านบนของ Swinging jaw หรืออยู่บน jaw ตรงแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของเขี้ยว jaw ทั้งสอง การเคลื่อนที่มากที่สุดอยู่ทางด้านล่างของตัว V ซึ่งหมายความว่าเครื่องบด crusher แบบนี้มีโอกาสที่จะ choke น้อยมาก บางครั้งเครื่อง crusher ขนาดปาก 1.8 x 2.4 เมตร (72-96 นิ้ว) สามารถรับวัสดุดิบ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร และบิบบจะให้เป็นขนาด 250 มิลลิเมตร (10 นิ้ว) ด้วยภาระขนาด 1200 ตัน/วัน เครื่อง crusher ตัวเล็กกว่าจะบิบบต่อ เพื่อลดขนาดให้เล็กถึง 1/4 -2 นิ้ว

**1.2 Gyratory Crusher** มีลักษณะคล้าย Jaw crusher ซึ่งมี jaw เป็นวงกลม หัวบิบบรูปโคนหมุนอยู่ในกล่องรูปกรวย เปิดทางด้านบน ตามภาพประกอบ 2 หัว crusher head ควบคุมการหมุนอยู่โดย Shaft และ eccentric ด้านล่าง ซึ่งควบคุมการเคลื่อนของ jaw ด้านในให้เคลื่อนที่บิบบวัตถุติดกับกรอบซึ่งอยู่กับที่ ของแข็งจะถูกจับไว้ใน V-shape ระหว่างหัว crusher และกับกล่อง เมื่อถูกบิบบจากด้านบนลงด้านล่างก็จะถูกบิบบซ้ำ เมื่อหัวบิบบเคลื่อนเข้าออกขณะที่หมุนไปช้า ๆ ความเร็วของการหมุนรอบตัวของหัวอัดอยู่ระหว่าง 125 - 425 รอบต่อนาที เนื่องจากหัวอัดบางส่วนทำงานตลอดเวลา ผลผลิตจากเครื่องออกตลอดเวลาแทนที่จะออกเป็นช่วง ๆ เหมือน jaw crusher ทำให้ load ของ motor ค่อนข้างคงที่ และต้องการการบำรุงรักษาน้อย ค่าพลังงานที่ต้องใช้ต่อตันของผลผลิตค่อนข้างต่ำ เครื่อง Gyratory crusher ที่เคยมี ทำงานหนักถึง 4500 ตันต่อชั่วโมง ค่าความจุของ Gyratory crusher เปลี่ยนแปลงตามค่าการติดตั้งที่ jaw และค่า impact strength ของวัสดุบิบบ ค่าความจุแทบจะไม่ขึ้นกับค่า compressive strength ของวัสดุบิบบ

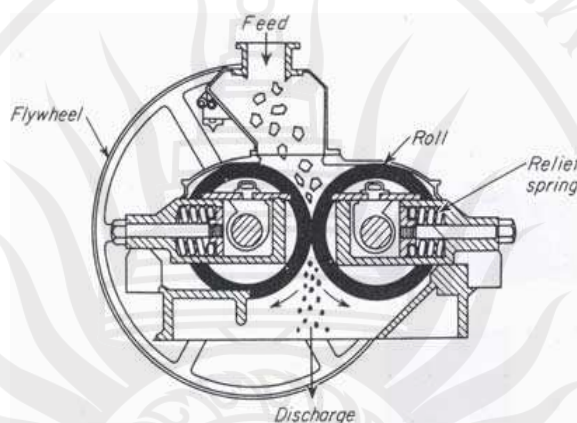


ภาพประกอบ 2 Gyratory Crusher

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**1.3 Smooth Roll Crusher** เครื่องบิบบลูกกลิ้งเรียบ ประกอบด้วย ลูกกลิ้งผิวเรียบ ทำจากโลหะหมุนรอบแกนนอนตามภาพประกอบ 3 สารบิบบระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองจะถูกบิบบและปล่อยให้ร่วงลงด้านล่าง ลูกกลิ้งทั้งสองลูกหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วเท่ากัน มักมีหน้าแคบ ขณะที่มีความเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ เพื่อให้สามารถ “จับ” ก้อนวัตถุค่อนข้างใหญ่ได้ ตัวอย่างลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร (24 นิ้ว) หน้ากว้าง 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) ถึงขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลาง 2000 มิลลิเมตร (78 นิ้ว) หน้ากว้าง 914 มิลลิเมตร (36 นิ้ว) ความเร็วลูกกลิ้งอยู่ในช่วง 50 ถึง 300 รอบต่อนาที เครื่องบดลูกกลิ้งเรียงจัดเป็นเครื่องบดลำดับสอง วัสดุป้อนมีขนาดตั้งแต่ 12 ถึง 75 มิลลิเมตร (1/2 ถึง 3 นิ้ว) และให้ผลผลิตขนาด 12 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ถึง 1 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 3 Smooth Roll Crusher

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

## 2. เครื่องบด Grinder

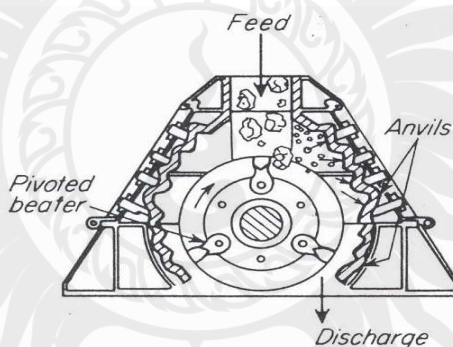
คำว่า เครื่องบด บ่งถึงเครื่องลดขนาดระดับกลาง รับผิดชอบรับผลผลิตจากเครื่องบดมาบดต่อจนเป็นผง เครื่องบดทางการค้า ได้แก่ Hammer mill impactors, Rolling compression machine, Attrition mill และ Tumbling mills

**2.1 Hammer mill and impactors** ประกอบด้วย ตัวหมุนความเร็วสูงหมุนอยู่ในห้องทรงกระบอกแกนหมุนอยู่ในแนวนอน วัสดุป้อนทางด้านบนเมื่อถูกทุบแตกแล้วตกลงด้านล่าง ใน hammer mill วัสดุป้อนจะถูกทุบด้วยก้อนที่ติดอยู่กับจานหมุน อนุภาคที่ป้อนเข้าเครื่องบดจะหนีไปไหนไม่ได้ จึงถูกตีแตกเป็นชิ้น ๆ เมื่อกระเด็นไปถึงแป้นรับ (anvil) ในกล่อง ก้อนที่หมุนมาจะอัดวัตถุเหล่านี้ให้เป็นผงรูดตะแกรงที่กรูดอยู่ด้านทางออก จากหมุนหลายตัวขนาด 150 - 450 มิลลิเมตร (6 - 8 นิ้ว) ซึ่งมีก้อนติดอยู่ 4 - 8 อัน มักติดตั้งอยู่บนเพลลาเดียวกัน ก้อนอาจเป็นแท่งโลหะตรง ๆ หรือมีปลายบานออก หรือมีปลายคมแบบใบมีดตัด hammer mill ขนาดกลางให้ผลผลิต 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ถึง 20 มิลลิเมตร ใน hammer mill สำหรับงานละเอียด ความเร็วรอบที่ขอบ hammer อาจถึง 110 m/s (360 ft/s) ทำงาน 0.1 ถึง 15 ตันต่อชั่วโมง ด้วยผลผลิตละเอียดกว่า 200 เมช hammer mill บดของได้เกือบทุกชนิด ตั้งแต่เส้นใยเหนียวอย่างเปลือกไม้หรือหนัง steel turning,

soft wet paste, โคลนเหนียว, หินแข็ง สำหรับงานละเอียดควรจะทำกับวัสดุที่อ่อน soft wet paste, โคลนเหนียว, หินแข็ง สำหรับงานละเอียดควรจะทำกับวัสดุที่อ่อน

ความจุและกำลังที่ใช้ใน hammer mill เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างขึ้นอยู่กับวัสดุป้อน ไม่สามารถคำนวณทางทฤษฎี มักประเมินได้ใกล้เคียงโดยข้อมูลของผู้ผลิต หรือทดสอบจริง ๆ โดยใช้เครื่องขนาดเล็กกับวัสดุป้อนที่จะใช้บดโดยตรง เครื่องบดทางการค้าอาจบดได้ถึง 60 ถึง 240 กิโลกรัม ของแข็งต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ของพลังงาน

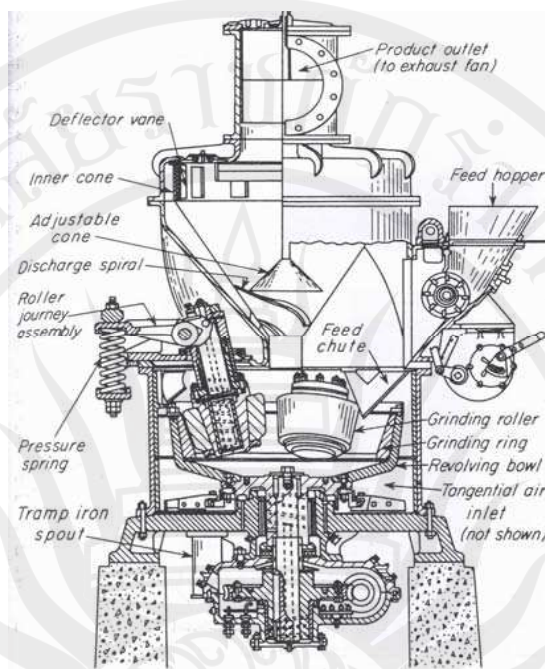
เครื่อง impactor คล้ายกับเครื่อง hammer mill ต่างกันเพียงแต่ไม่มีเครื่องร่อนหรือตะแกรง อนุภาคแตกโดยแรงกระแทกเพียงอย่างเดียวไม่ใช้การขัดสีเหมือน hammer mill ใช้กับหินและแร่ ทำงานได้ถึง 600 ตันต่อชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกันและค่อนข้างเป็นก้อนมากกว่าเป็นแผ่น ซึ่งเป็นลักษณะส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์จาก jaw crusher ตัวหมุนใน impactor และ hammer mill จะสามารถหมุนในทิศทางใด ๆ ก็ได้ เพื่อช่วยยืดอายุของมัน



ภาพประกอบ 4 Impactor

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**2.2 Rolling Compression Machines** เครื่องบดแบบนี้จะจับวัสดุไว้ระหว่างลูกหมุนและหน้าวงแหวนหมุนดังตัวอย่าง ภาพประกอบ 5 ลูกหมุนที่ตั้งในแนวตั้งจะออกแรงกดวัตถุเข้ากับเป็นวงแหวนที่อยู่กับที่หรือหมุนด้านนอก ซึ่งถูกขับเคลื่อนให้หมุนด้วยความเร็วปานกลาง อุปกรณ์ช่วยยกวัตถุคืบจากด้านล่างเข้าช่องระหว่างวงแหวน และตัวหมุนผลผลิตจะถูกกวาดออกไปโดยใช้ลมเป่า ในขณะที่วัตถุขนาดใหญ่ที่กำหนดจะถูกบดอีกครั้งจนกว่าจะได้ขนาดที่ลมเป่าออกได้ เทคนิคควบคุมการหมุนของลูกหมุน และวงแหวน หรือหม้อหมุนมีหลากหลาย เครื่องบดแบบ rolling compression mill นี้ ใช้ในอุตสาหกรรมบดหินปูน ซีเมนต์ ถ่านหิน กำลังผลิตสูงถึง 50 ตันต่อชั่วโมง และถ้าใช้กับการแยกขนาดด้วย อาจทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เล็กขนาด 200 เมช

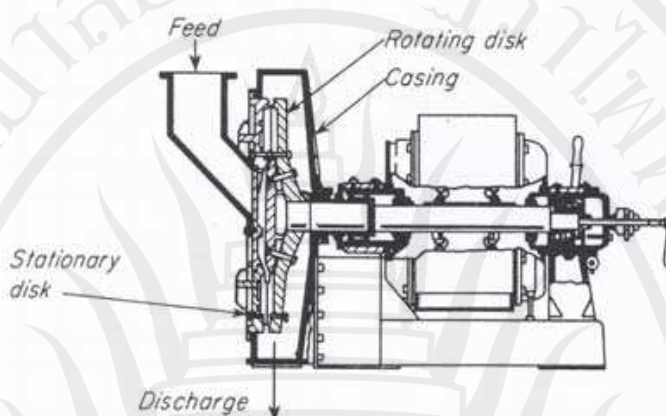


ภาพประกอบ 5 Rolling Compression Machines

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**2.3 Attrition Mill (เครื่องโม่)** ในเครื่องบดแบบนี้วัสดุเนื้ออ่อนจะถูกขัดถูกับหน้าแปลนที่เซาะเป็นร่องของแผ่นจานหมุนกลม แกนของแผ่นหมุนมักอยู่ในแนวนอน แต่บางครั้งอาจอยู่ในแนวตั้งในเครื่องชนิด Single runner แผ่นหมุนตัวหนึ่งจะหมุนขณะที่อีกตัวอีกกับที่ แต่ใน double runner แผ่นหมุนทั้งสองตัวที่ประกบวัตถุจะหมุนไปพร้อมกัน สารป้อนเข้าตรงคุมของแผ่นหมุนตัวที่หนึ่งแล้วถูกบังคับให้วิ่งออกด้านนอกในร่องแคบระหว่างแผ่นหมุน ผลิตภัณฑ์ออกทางขอบนอกของแผ่นหมุน ความกว้างของช่องระหว่างแผ่นนี้ปรับได้ เพื่อความปลอดภัยของตัวเครื่องเอง แผ่นหมุนนี้ต้องตั้งสปริงไว้ เพื่อมีวัสดุที่แข็งเกินกำลังของเครื่อง เครื่องบดประเภทเดียวกันที่ออกแบบของร่องแตกต่างกัน หรือมีซี่ฟันบนแผ่นหมุนทำงานแตกต่างกัน เช่น เป็นเครื่องบด เครื่องตีแตก เครื่องปั่นเม็ด เครื่องผสม หรือแม่แต่มีวน (feather curling) ภาพประกอบ 6 เครื่อง single runner จาก Behr stone ใช้บดดินเหนียวหรือแป้งหรือเปลี่ยนตัวบดเป็น โลหะ เมื่อวัสดุป้อนเป็น ไม้แป้ง ยาม่าแมลง ไซ ตัวบดโลหะมักทำจากเหล็กขาว ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นสารกัดกร่อนอาจต้องใช้ Stainless steel ใน Double runner โดยทั่วไปจะบดจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นฝุ่นละเอียดมากกว่า Single runner แต่มักจะใช้กับวัสดุเนื้ออ่อนกว่า วิธีการอาจใช้ลมเป็นตัวดึงผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่อง และ

อาจต้องใช้น้ำ หรือน้ำเกลือสำหรับทำความสะอาดเป็นตัวระบายความร้อนที่เกิดขณะบด ซึ่งอาจเป็นเรื่องจำเป็นสำหรับการบดของที่ไวต่อการสูญเสียคุณสมบัติ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสูง เช่น ยาง

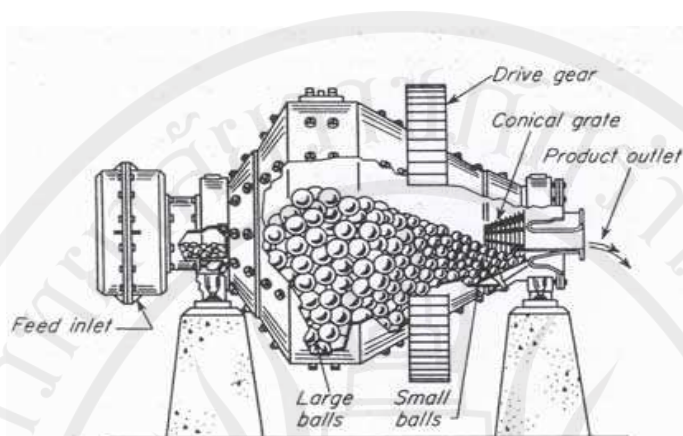


ภาพประกอบ 6 Attrition Mill

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**2.4 Tumbling Mill** ภาพประกอบ 7 คือตัวอย่าง tumbling Mill ประกอบด้วยตัวถังหมุนช้า ๆ รอบแกนนอนภายในบรรจุลูกบดไว้ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรตัวเอง ตัวถังมักทำด้วยเหล็กกรุด้วยแผ่นเหล็ก-คาร์บอนสูง หรือเซรามิกส์ หรือยาง ลูกบดที่ใช้มักใช้เป็นชื่อของเครื่องบด เช่น rod mill ใช้ลูกบดเป็นแท่งโลหะ (metal rod) หรือโซ่ของลูกบดโลหะ ball mill ใช้ลูกบดกลมทำจากโลหะ ไม้ หรือ pebble mill ใช้ลูกบดประเภทลูกหิน ทำจาก zircon หรือ เซรามิกส์

Tumbling mill จะแตกต่างจากเครื่องบดอื่น ๆ ตรงที่อาจจะเป็นแบบทำงานต่อเนื่อง หรือแบบแบช (batch) ซึ่งในแบบแบชนี้วัสดุที่จะบดจะถูกใส่ในเครื่องปริมาณหนึ่ง ปิดฝาแล้วให้เครื่องหมุนไประยะหนึ่ง ซึ่งอาจหลายชั่วโมงแล้วจึงหยุดเครื่องแล้วแยกผลิตภัณฑ์ออก ในขณะที่เครื่องแบบต่อเนื่องวัสดุป้อนจะเข้าด้านปลายหนึ่งแล้วออกทางอีกปลายหนึ่ง ใน tumbling mill ทุกชนิด ลูกบดจะถูกพาสูงขึ้น ด้านในของตัวถัง แล้วก็จะตกลงมากระทบวัสดุที่จะบดที่อยู่ข้างใต้ พลังงานที่ใช้ในการยกตัวบดจะได้คืนมาโดยการบดวัสดุ ใน tumbling mill ชนิด rod mill การลดขนาดส่วนใหญ่ได้จากการอัดบดขณะหมุน และการไม่ขณะที่เกิดการเลื่อนไหลไปบนตัวบดตัวอื่น ๆ แท่งบดดังกล่าวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 25 - 125 มิลลิเมตร (1 - 10 นิ้ว) โดยใช้หลายขนาด คละกัน แท่งบดนี้มีอยู่ตลอดความยาวของเครื่องบด บางครั้งจะใช้ตัวถังบดรูปกรวยเพื่อป้องกันการบิดออกนอกแนวทาง rod mill เป็นเครื่องบดขนาดกลาง ทำงานในช่วง 20 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ได้ผลิตภัณฑ์ประมาณ 10 เมช ส่วนใหญ่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์ให้กับ ball mill ได้รับตัวป้อนจากเครื่องบด



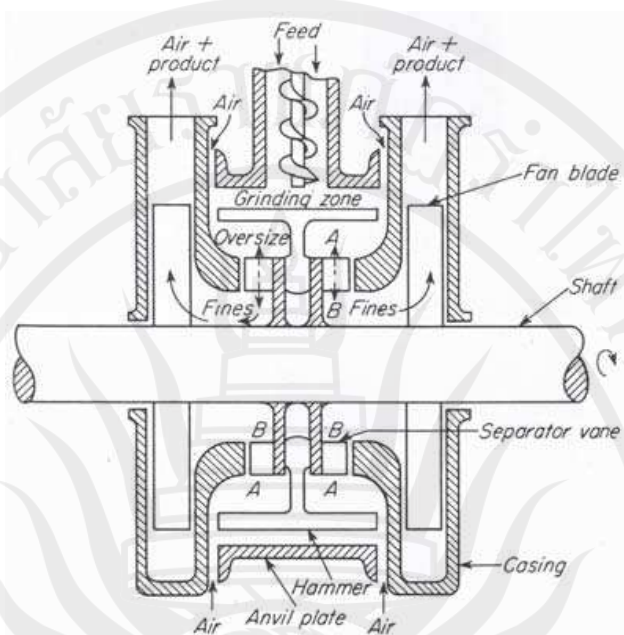
ภาพประกอบ 7 Tumbling Mill

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

### 3. Ultra fine grinder (เครื่องบดละเอียด)

ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องมีขนาดเป็นผงละเอียด 1-20  $\mu\text{m}$  ซึ่งผ่านตะแกรงขนาด 350 เมช ซึ่งมีรูขนาด 44  $\mu\text{m}$  เครื่องบดที่ให้ผงขนาดนี้ เรียก Ultra fine grinder เครื่องบดแบบนี้ ได้แก่ high speed hammer mill มีระบบคัดแยก fluid-energy jet mill และ agitated mill

**3.1 Classifying Hammer Mills** เป็นเครื่องบด hammer mill ที่มีระบบคัดขนาดตามรูป เรียกว่า เป็น Micro-atomizer เครื่องบดมีค้อน หรือ hammer ติดอยู่บนจานหมุนคล้ายเครื่องบด hammer mill ปกติ แต่จะมีพัดลมติดอยู่บนแกนเพลลาเพื่อดึงอากาศเข้าห้องบด และออกทางด้านทางออก บนแผ่นหมุนมีใบพัดสั้น ๆ สำหรับแยกอนุภาคใหญ่กว่ากำหนด ในขณะที่บดภายในห้องบดวัตถุ จะอยู่ภายใต้แรงเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง เม็ดใหญ่จะถูกเหวี่ยงออกไปอยู่ด้านนอกด้านติดผนังของห้องบด ลมจะพัดอนุภาคเล็กเข้าสู่แกนเพลลาใบพัดแยกอนุภาคจะช่วยเหวี่ยงอนุภาคออกจากเพลลาไปสู่ค้อนบด ขนาดของอนุภาคเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนขนาดความเร็วของตัวหมุน และจำนวนใบพัดบนใบแยก เครื่องบดประเภทนี้ทำงานได้ 1 - 2 ตันต่อชั่วโมง ด้วยขนาดผลิตภัณฑ์ 1 - 20  $\mu\text{m}$  ด้วยค่าพลังงาน 40 กิโลวัตต์ต่อตัน (50 แรงม้า - ชั่วโมงต่อตัน)

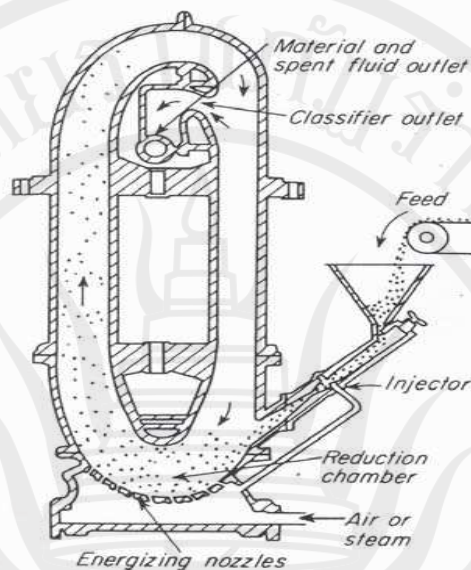


### ภาพประกอบ 8 Micro-atomizer

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**3.2 Fluid Energy Mill (jet mill)** ในเครื่องบดแบบนี้อนุภาคจะแขวนลอยในกระแสลมในการออกแบบบางอย่าง แก๊สหรือลมมีเส้นทางแบบรูปโค้ง (elliptical path) มีเจ็ทอยู่ตรงข้ามทำให้ของไหลถูกกวาดอย่างรุนแรง บางแบบอนุภาคลดขนาดโดยการขัดสีกับผนังหรือห้องแคบ ๆ ซึ่งเป็นทางวิ่ง แต่เชื่อกันว่าการลดขนาดเกิดจากการที่อนุภาคกระทบกันเองและแตกออก ระบบการคัดขนาด ภายในจะช่วยให้อนุภาคขนาดใหญ่คงอยู่ในเครื่องบดจนกว่าจะมีขนาดเท่าที่ต้องการ

แก๊สหรือของไหลซึ่งเป็นส่วนที่อนุภาคแขวนลอยอยู่เข้าสู่เครื่องด้วยความดัน 7 atm (100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ด้วย nozzle เครื่องบดในภาพประกอบ 9 เป็นห้องบดรูปไข่ทำด้วยท่อ 25 - 200 มิลลิเมตร (1 - 8 นิ้ว) ยาว/สูง 1.2 - 2.4 เมตร (4 - 8 ฟุต) สารป้อนเข้าด้านล่างผ่าน ventury injector การแยกอนุภาคที่บดแล้วเกิดด้านบนของช่วงโค้ง ขณะที่ก๊าซไหลด้วยความเร็วสูงถึงช่วงส่วนโค้งนี้อนุภาคใหญ่จะถูกเหวี่ยงออกปะทะกับผนังด้านนอกขณะที่อนุภาคละเอียดตกลงทางโค้งด้านใน ทางออกซึ่งอยู่ทางโค้งในที่ตำแหน่งนี้ จึงทำหน้าที่เหมือนเครื่องแยกไซโคลอน มีถุงคอยรองรับผลิตภัณฑ์ การแยกจะได้รับการช่วยจากรูปแบบการหมุนที่เกิดขึ้นในสายลมที่ตำแหน่งโค้งบนของท่อนี้ fluid energy mill รับสารป้อนขนาดใหญ่สุด 12 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) แต่จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออนุภาคไม่เกิน 100 - 120 สามารถทำงานได้ 1 ตันต่อชั่วโมง เมื่อสารป้อนไม่เหนียวติด

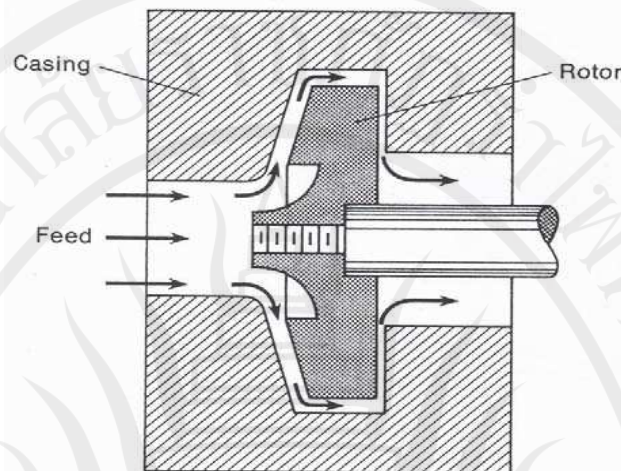


ภาพประกอบ 9 Fluid Energy Mill (jet mill)

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

**3.3 Agitated mill** เครื่องบดแบบมีใบกวน ในเครื่องบดละเอียดประเภทนี้ทำงานเป็นแบบขเล็ก ๆ ตัวถังไม่มีการหมุน มีตัวบดและใบกวนทำงานร่วมกัน ตัวบดอาจเป็นลูกบอลเม็ดแบน หรือเม็ดทราย ถังวางตั้งตรงขนาด 6 - 1200 ลิตร (1 - 300 แกลลอน) มีของเหลวที่มีตัวบดแขวนลอยอยู่ ในการออกแบบบางอย่าง สารป้อนจะถูกควบคุมด้วยใบกวนหลายใบพัด การกวนของใบพัดทำให้ลูกบดปะทะเสียดสีกับสารบดที่อยู่ระหว่างลูกบดจะถูกบดให้เล็กลงได้ สารมักถูกป้อนเข้าด้านบนและถูกปล่อยออกด้านล่างพร้อมของเหลว อาจมีขนาด  $1\ \mu\text{m}$  หรือเล็กกว่า

**3.4 Colloid Mill** เป็นอุปกรณ์ช่วยในการทำให้เกิดการกระจายตัว เป็น Colloid หรือ emulsion อย่างถาวร ในของเหลวมากกว่าการทำกรลดขนาด ทั้งนี้อาศัยแรงเฉื่อยในของไหลที่ไหลด้วยความเร็วสูงผ่านช่องทางไหลเล็ก ๆ ตามภาพประกอบ 10 ของไหลถูกบีบผ่านใบพัดที่มีความเร็วสูง เช่น 50 เมตรต่อวินาที หรือมากกว่า ตามรูปนี้ของเหลวถูกบังคับให้ไหลผ่านช่องระหว่างใบพัดและห้องเครื่อง clearance อาจเล็กถึง  $25\ \mu\text{m}$  ความฝืดมาก จึงต้องมีการระบายความร้อนอนุภาคของ emulsion อาจเล็กกว่า  $5\ \mu\text{m}$



ภาพประกอบ 10 Colloid Mill

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ออนไลน์. 2553

### การแยก (Separation) แบ่งแยกออกเป็น

#### การแยกตามขนาด (Size separation)

บางครั้งเรียกการแยกตามขนาดว่า Screening ใช้แยกวัสดุออกจากขยะผสมเป็น 2 ส่วน หรือมากกว่า โดยใช้ชั้นตะแกรง 1 ชั้น หรือมากกว่า การแยกนี้ทำได้ทั้งในสภาพเปียกและแห้ง แต่นิยมใช้สภาพแห้งมากกว่า มักใช้ก่อนหรือหลัง Shredding ใช้หลังจากกระบวนการ Air classification ของการทำเชื้อเพลิงขยะอนุพันธ์ (Refuse-Derived Fuel ; RDF) เพื่อใช้เป็นวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก และวัสดุคลุมดินที่มีขนาดและรูปร่างคงที่ เทโฮบา โนกลอส และคณะ (Tchobanoglous and et al. 1993 : 79)

#### 1. เครื่องมือแยกขนาด

1.1 Vibrating screen (Reciprocating screen) ใช้มากที่สุดในการแยกวัสดุแห้ง เช่น แก้ว และโลหะ ใช้แยก เศษไม้ออกจากปุ๋ยหมัก (เศษไม้ใช้เป็น bulking agent ในการทำปุ๋ยหมัก ที่ทำจากกากตะกอน) และยังใช้แยกเศษแตกหักของซีเมนต์ออกจากเศษสิ่งก่อสร้าง

1.2 Trommel screens (Rotary drum screen) เป็นเครื่องมือที่นิยมแพร่หลายในการแยกขนาดขยะ โดยเอาตะแกรงมาหมุนเป็นรูปทรงกระบอกให้หมุนตามแนวราบ ใช้ในแยกขยะ ที่ขนาดใหญ่เกินไป ก่อนเข้า Shredder ในการผลิต RDF ซึ่งเป็นการรักษา Shredder ได้อีกแนวทางหนึ่ง และยังใช้แยกการ์ดบอร์ดและกระดาษ ใน MRFs

1.3 Disc screens เป็นเครื่องมือที่เป็นทางเลือก นอกเหนือจากการใช้ Reciprocating screens ประกอบด้วย จานหมุน (Disc) วางขนานกัน วัสดุที่แยกได้ตกไปตามช่องว่างของ Disc ข้อดีของ Disc screens เมื่อเทียบกับ Reciprocating screen คือ สามารถทำความสะอาดเองได้ (Self-Cleaning) และสามารถปรับขนาดของช่องว่างระหว่าง Disc ได้

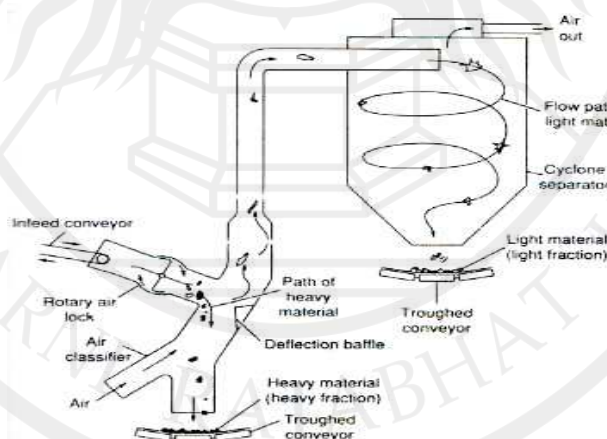
#### การแยกตามความหนาแน่นและความเฉื่อย (Density and Inertia separation)

เป็นเทคนิคใช้แยกวัสดุออกจากกัน โดยใช้หลักการของความแตกต่างของความหนาแน่น (Density) และคุณลักษณะของการเคลื่อนที่ในอากาศ (Aerodynamic characteristics) การแยกนี้จะแยกวัสดุออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เบา (Light fraction) ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และสารอินทรีย์
2. ส่วนที่หนัก (Heavy fraction) ได้แก่ โลหะ ไม้ และวัสดุอนินทรีย์ที่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก

#### 1. เครื่องมือใช้แยกโดยใช้ความหนาแน่นและความเฉื่อย

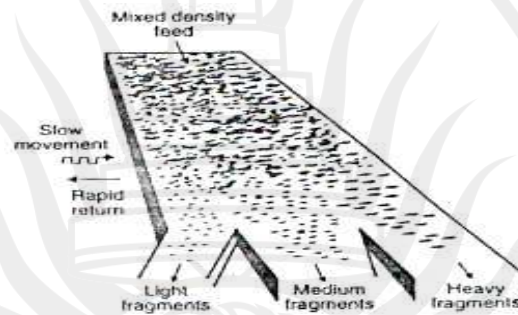
1.1 Air classifiers นิยมใช้มากที่สุดในการแยกขยะ ขยะที่ถูกลดขนาด (Shredded solid wastes) มาแล้วจะตกลงสู่ท่อแนวตั้ง (Vertical chute) ลมเคลื่อนที่จากส่วนล่างของ Chute ขึ้นสู่ข้างบน พาเอาวัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่าตามขึ้นไปสู่ส่วนบนของ Chute เนื่องจากแรงลมนี้ไม่สามารถจะพาวัสดุที่มีน้ำหนักมากขึ้นไปจึงตกลงสู่ส่วนล่างของ Chute ควบคุมสัดส่วนระหว่างวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและหนัก โดยการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนขยะ (Waste loading rate), อัตราการไหลของอากาศ และพื้นที่หน้าตัดของ Chute



ภาพประกอบ 11 ระบบ Air classifier

ที่มา : เทโอบาโนกลอส และคณะ (Tchobanoglous and et al). 1993 : 79

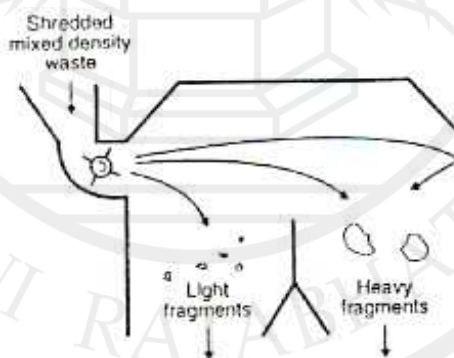
1.2 Stoners or Vibrating table ใช้แยกก้อนหินหรือวัตถุที่มีน้ำหนักมากออกจากขยะเดิมทำขึ้นเพื่อใช้ในกิจการเหมืองแร่ ประกอบด้วย โตะแคบ ขาววางระดับเอียง ให้ความสั่นสะเทือนในทิศทางตัดขวางของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ขยะจะถูกแยกตามความหนาแน่น ส่วนที่เบาจะอยู่ในด้านที่มีความสั่นสะเทือนมากกว่า เรียงไปตามลำดับ ต่อการได้มีการพัฒนารูปแบบของเครื่องมือให้มีการสั่นสะเทือนเป็น Reciprocating motion ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 โตะสั่น (Vibrating table)

ที่มา : ไรเนอร์ และคณะ (Rhyner and et al). 1995 : 92

1.3 Ballistic separator เป็นเครื่องมือที่ใช้ใบพัด (Rotor) พัดเอาขยะเข้าไปในกระแสมวลที่มีความหนาแน่นมากซึ่งจะมีความถี่สูงด้วยจะถูกพัดไปได้ไกลกว่า วัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยซึ่งจะมีความถี่ต่ำ จึงแยกขยะออกได้ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 Ballistic separator

ที่มา : ไรเนอร์ และคณะ (Rhyner and et al). 1995 : 92

1.4 Liquid floatation : ใช้แยกวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า (ส่วนที่ลอย) ของเหลวที่นำมาใช้ออกจากวัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่า (ส่วนที่จม) ของเหลวที่นำมาใช้ นิยมนำ Liquid floatation มาใช้แยกขวดพลาสติก

แยกโดยอาศัยคุณสมบัติการเป็นแม่เหล็ก (Magnetic and Electric field separation, Electrostatic charge and Magnetic permeability) อาศัยคุณสมบัติของแรงดึงดูดแม่เหล็กของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของขยะ

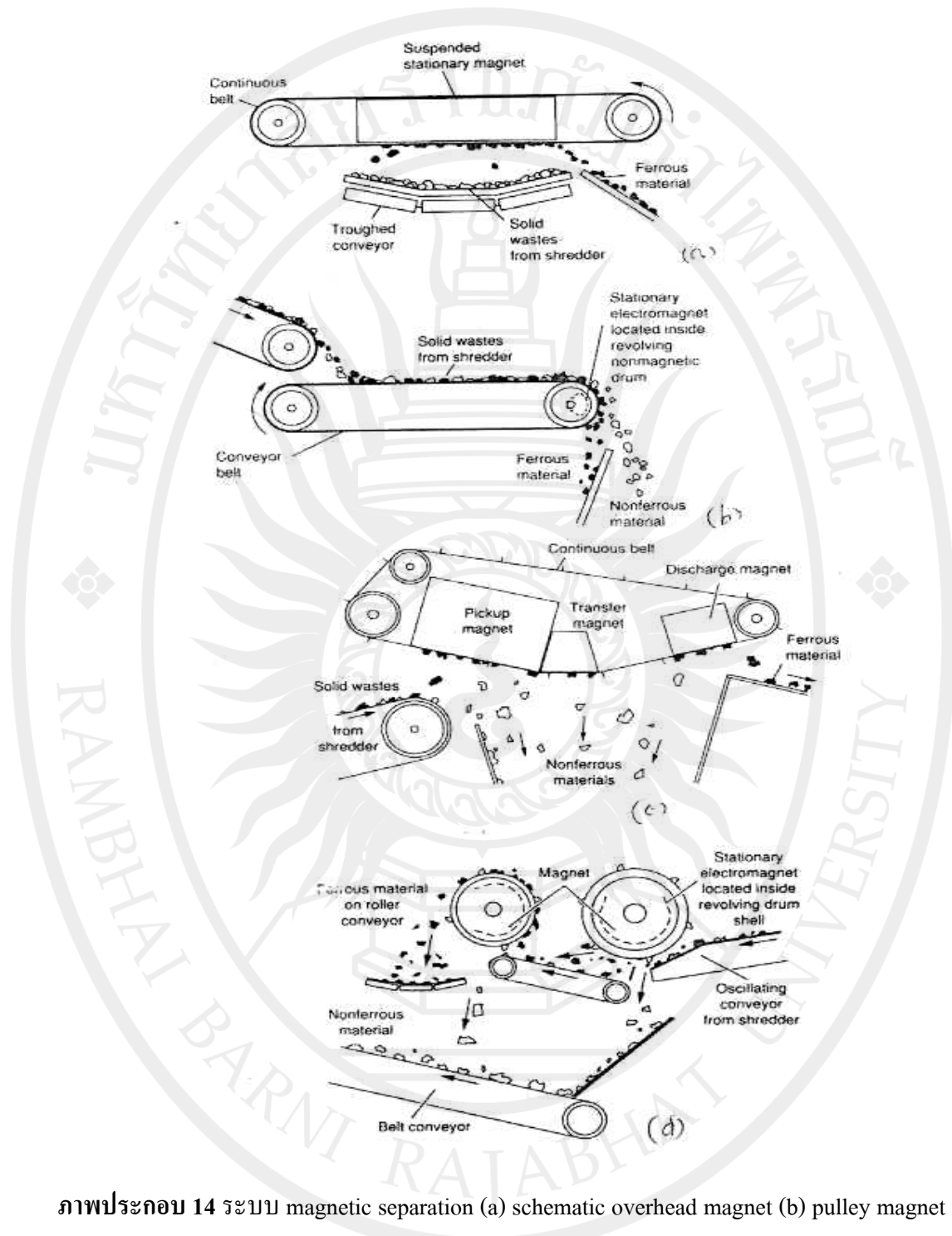
1. Magnetic separation : เป็นเทคนิคที่นิยมมากในการนำมาแยก ferrous ออกจาก nonferrous metals.
2. Electrostatic separation ใช้แยกพลาสติก กระดาษ โดยอาศัยลักษณะความแตกต่างประจุที่ผิวของวัสดุ
3. Eddy current separation เป็นเทคนิคที่ใช้การปรับเปลี่ยนสนามแม่เหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิด eddy currents ใน nonferrous metals such as aluminum ผลที่ได้เรียกว่า an “aluminum magnet”

#### 1. ชนิดของเครื่องมือ

1.1 Magnetic separation สามารถแยกได้ทั้งประเภทแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า (Permanents or Electromagnets)

1.2 Electrostatic separation ใช้ High-Voltage electrostatic fields ในการแยกวัสดุประเภท nonconductors of Electricity เช่น แก้ว พลาสติก และกระดาษ ออกจากวัสดุประเภท Conductors เช่น โลหะ และยังใช้แยกวัสดุที่เป็น Nonconductors ด้วยกัน แต่มีความแตกต่างในคุณสมบัติด้าน Electrical permittivity ( $\epsilon$ ) หรือความสามารถในการรักษาประจุไฟฟ้า ซึ่งนำมาใช้แยกกระดาษจากพลาสติก ทั้งนี้ยังสามารถแยกพลาสติกต่างชนิดออกจากกันได้ด้วย

1.3 Eddy current separation สามารถแยก Nonferrous metals ออกจาก โลหะ โดยเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะด้วย Alternating magnetic field เรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า Eddy currents ซึ่งจะให้สนามแม่เหล็กในทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่ให้ Eddy currents จะไม่ดูดกับโลหะ จึงเกิดการแยกชนิดขึ้น



ภาพประกอบ 14 ระบบ magnetic separation (a) schematic overhead magnet (b) pulley magnet (c)

belt-type magnetic separator and (d) two-drum magnetic separator

ที่มา : เทโฮบานอกลอส และคณะ (Tchobanoglous and et al). 1993 : 80

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

### แยกโดยอาศัย Optical/infrared/X-ray sorting

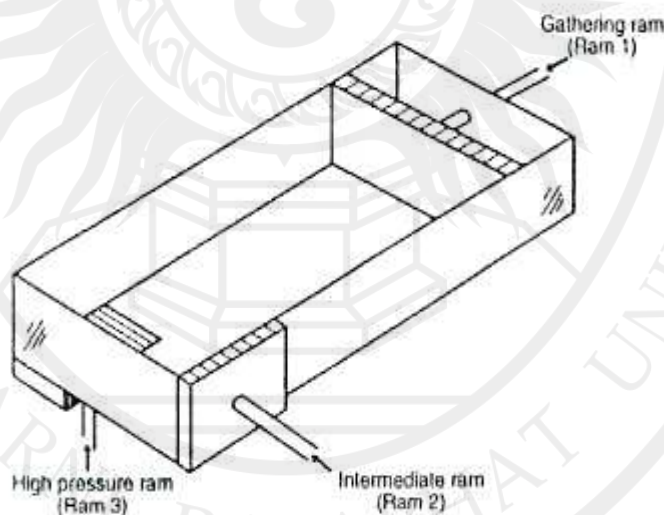
ใช้เทคนิคด้าน spectroscopic ร่วมกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ แยกแก้วโดยสี และแยกพลาสติกโดยสี และชนิดของเรซินที่ใช้ทำพลาสติกอาศัยคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่ต่างกันของสีของวัตถุที่นำมาทำแก้ว ส่วนของพลาสติกใช้แสง near IR หรือ x-ray radiation เพื่อแยกชนิดของเรซิน และใช้ visible light ในการแยกสีของพลาสติก

**การอัดแน่นขยะ (densification, compaction)** เป็นหน่วยปฏิบัติการในการเพิ่มความหนาแน่นของขยะ กากของเสียเพื่อให้การเก็บกักและการขนย้ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการลดการเก็บกักเครื่องมือที่ใช้ในการนำกลับมาใช้ใหม่ ลดปริมาตรของการขนย้ายและเป็นการเตรียมการสำหรับการทำ densified refused-derived fuels (dRDF).

#### 1. ชนิดของเครื่องมือ

##### 1.1 baling equipment

เป็นเครื่องอัดแท่งขยะเพื่อนำไปใช้กับหลุมฝังกลบขยะ ประเภท balefill landfill แท่งขยะที่อัดเป็นก้อนนี้สะดวกต่อการขนย้ายด้วยรถ standard forklifts และประหยัดในการขนส่งเนื่องจากมีความหนาแน่นทั้งก้อน (bulk density) สูง

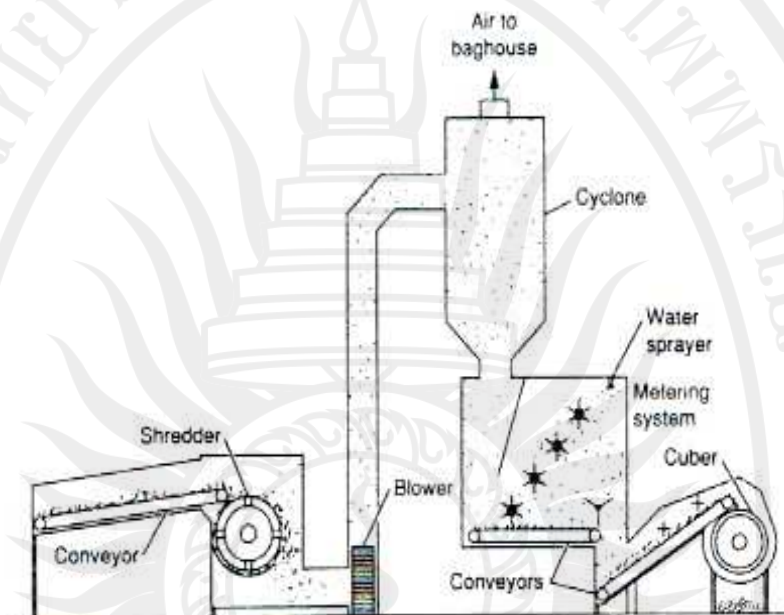


ภาพประกอบ 15 เครื่องอัดแท่ง (baler)

ที่มา : ไรเนอร์ และคณะ (Rhyner and et al). 1995 : 93

## 1.2 cubing and pelleting equipment

เป็นเทคนิคที่ใช้ทำ densified refused-derived fuels (dRDF) สำหรับเป็นเชื้อเพลิงใน incineration, gasification, or pyrolysis systems system)



ภาพประกอบ 16 แผนภาพของระบบการทำ cubing ที่สมบูรณ์สำหรับขยะเทศบาล  
ที่มา : เทโอบาโนกลอส และคณะ (Tchobanoglous and et al). 1993 : 81

พลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่งและมีแนวโน้มที่จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบาและมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง

ปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง และมีแนวโน้มที่จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น โดยการนำมาใช้แทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่างไม่ว่าจะเป็นไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบา และมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง เนื่องจากเราสามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้โดยขึ้นอยู่กับการใช้วัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย และยังสามารถปรุงแต่งคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (modifier) สารเสริม (filler) สารคงสภาพ (stabilizer) สารยับยั้งปฏิกริยา (inhibitor) สารหล่อลื่น (lubricant) และผงสี (pigment) เป็นต้น

## พลาสติก (Plastics)

พลาสติก (Plastic) มาจากรากศัพท์ภาษากรีกว่า “plastikos” หมายความว่า หล่อหรือหลอม เป็นรูปร่างได้ง่าย พลาสติกเป็น โพลีเมอร์ประเภทหนึ่งที่ใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น

(Synthetic polymer) แต่ก็มีพลาสติกที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติเช่นกัน เช่น ชะลัดัก พลาสติก เป็นสารอินทรีย์ เป็นไฮโดรคาร์บอน มีไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก พลาสติก เป็นโพลีเมอร์ที่สามารถนำมาหล่อเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามแบบ โดยใช้ความร้อนและแรงอัดเพียงเล็กน้อย มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 80 - 350 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกด้วย

ปัจจุบันพลาสติก (plastic) มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เครื่องมือเครื่องใช้ และวัสดุก่อสร้างหลายชนิดทำด้วยพลาสติก เช่น เครื่องใช้ในครัวเรือนจำพวกจานชาม ขวดโหล ต่าง ๆ ของเล่นเด็ก วัสดุก่อสร้าง สีทาบ้าน กาวติดไม้และติดโลหะ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และ วิทยาศาสตร์การแพทย์ เป็นต้น เหตุที่พลาสติกเป็นที่นิยมเพราะมีราคาถูก มีน้ำหนักเบา ทนความชื้น ได้ดี ไม่เป็นสนิม ทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการได้ง่ายกว่าโลหะ เป็นฉนวนไฟฟ้า มีทั้งชนิด โปร่งใสและมีสีต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้พลาสติกจึงใช้แทนโลหะหรือวัสดุบางชนิด เช่น แก้ว ได้เป็นอย่างดี แต่พลาสติกก็มีข้อเสียหลายอย่างด้วยกัน คือ ไม่แข็งแรง (รับแรงดึง แรงบิดและแรงเฉือนได้ต่ำมาก) ไม่ทนความร้อน (มีจุด หลอมเหลวต่ำ ติดไฟง่าย และไม่คงรูป จึงทำให้ขอบเขตการใช้งานของพลาสติกยังไม่กว้างเท่าที่ควร พลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ได้จากปฏิกิริยาสังเคราะห์ ทางเคมี ส่วนพลาสติกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (เทปนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์ และวิหาร์ คีปัญญา. 2539 : 54)

**ชนิดของพลาสติก** พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เทอร์โมเซตติง (thermosetting)
2. เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic)

**1.1 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)** พลาสติกประเภทนี้จะมีรูปทรงที่ถาวร เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต โดยให้ความร้อน ความดันหรือตัวเร่งปฏิกิริยา การขึ้นรูปทำได้ยากและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนการผลิตสูง รวมทั้งการใช้งานค่อนข้างจำกัด ทำให้ในปัจจุบันมีใช้ในอุตสาหกรรมไม่กี่ประเภท ได้แก่ เมลามีน ฟีนอลิก ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ โพลีเอสเตอร์ที่ไม่อ้อมตัว เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ผลิตเครื่องครัว ชิ้นส่วนปลั๊กไฟ ชิ้นส่วนรถยนต์ และชิ้นส่วนในเครื่องบิน เป็นต้น

**1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)** พลาสติกประเภทนี้เมื่อได้รับความร้อนหรือความดันระหว่างกระบวนการขึ้นรูป จะเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพ กล่าวคือ เมื่อได้รับความร้อน จะอ่อนนุ่ม และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวโดยที่โครงสร้างทางเคมีจะไม่เปลี่ยนแปลงทำให้

พลาสติกประเภทนี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการผลิตซ้ำ ๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายด้วยต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และมีหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทของเด็กเล่น ดอกไม้ประดิษฐ์บรรจุภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ และผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ พลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE), โพลีโพรพิลีน (PP), โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC), โพลิสไตรีน (PS), โพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET) เป็นต้น

ในประเทศไทยนิยมใช้พลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกกันมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้งานได้หลายประเภท โดยเฉพาะด้านบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีการผลิตในรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น

1.2.1 โพลีเอทิลีน (PE) ผลิตเป็นถุงพลาสติกทั้งร้อนและเย็น ขวด, ถัง และฟิล์มพลาสติกประเภทอ่อนนุ่ม กระจกพลาสติก เป็นต้น

1.2.2 โพลีโพรพิลีน (PP) นิยมผลิตเป็นถุงบรรจุอาหาร และเสื้อผ้าสำเร็จรูป กระจกพลาสติก เป็นต้น

1.2.3 โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และ โพลิสไตรีน (PS) นิยมผลิตเป็นถัง กระจกบรรจุผักสด ผลไม้ และเนื้อสัตว์บางชนิด เป็นต้น

โพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (Polyethylene Terephthalate : PETE ) หมายถึง พลาสติกที่ส่วนใหญ่มีความใส มองทะลุได้ มีความแข็งแรง ทนทานและเหนียว ป้องกันการผ่านของก๊าซได้ดี มีจุดหลอมเหลว 250 - 260 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.39 นิยมนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำเปล่า ขวดน้ำมัน

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) หมายถึง พลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ มีสีขาวขุ่นและมีความนิ่มกว่า HDPE มีความเหนียว ยืดตัวได้ในระดับหนึ่ง ส่วนใหญ่ใสมองเห็นได้ จุดหลอมเหลว 110 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.92 - 0.94 นิยมนำมาใช้ทำแผ่นฟิล์มห่ออาหารและห่อของ

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) หมายถึง พลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง มีสีขาวขุ่นและมีความแข็งกว่า LDPE มีความเหนียว ยืดตัวได้ในระดับหนึ่ง ส่วนใหญ่ใสมองเห็นได้ จุดหลอมเหลว 130 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.92 - 0.96 นิยมนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขวดแชมพู ขวดนม

จากการเพิ่มจำนวนบรรจุภัณฑ์พลาสติกปัจจุบัน ซึ่งมีแนวโน้มความต้องการจะขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในอนาคตนั้นก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกที่ใช้แล้วตามมา ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งการกำจัดขยะพลาสติกในปัจจุบันยังมีอุปสรรคอีกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ไม่สามารถกำจัดพลาสติกบางชนิดได้ เนื่องจากยังไม่สามารถหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก จึงได้มีนักวิจัยค้นคว้าที่จะนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือที่เรียกว่า Recycle โดยนำพลาสติกที่ใช้แล้วตามบ้านเรือน หรือตามกองขยะมาป้อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปพลาสติก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือการทำลายพลาสติกในระยะสั้น ซึ่งนอกจากเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยให้เกิดการขยายตัวของธุรกิจอย่างต่อเนื่องด้วย

อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่นั้น ประเด็นสำคัญอยู่ที่การแยกประเภทของพลาสติกก่อนที่จะนำไปรีไซเคิล และการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป โดยปกติแล้วพลาสติกผสมเกือบทุกประเภทจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เนื่องจากพอลิเมอร์ที่แม้จะมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมือนกัน แต่ไม่สามารถเข้ากันได้เสมอไป (incompatible) ตัวอย่างเช่น โพลีเอสเตอร์ที่ใช้ทำขวดพลาสติก จะเป็นโพลีเอ-สเตอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า เมื่อเทียบกับโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใย (fiber)

นอกจากนี้ ยังมีสารเติมแต่งอีกประเภท ได้แก่ พวก Compatibilizer ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการรีไซเคิลของพลาสติก สารเติมแต่งนี้จะช่วยให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างพอลิเมอร์ 2 ประเภทที่เข้ากันไม่ได้ ดังนั้น Compatibilizer จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรีไซเคิล ตัวอย่างเช่น การใช้ Chlorinated PE สำหรับพลาสติกผสม PE/PVC

#### การระบุรหัสสำหรับพลาสติก (ID Code) และคุณสมบัติของขวดพลาสติก

พลาสติกได้ถูกแบ่งเป็น 7 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีการระบุรหัสของพลาสติก (identification code) ถึงแม้ว่าพลาสติกหลายประเภทจะสามารถรีไซเคิลได้ ในปัจจุบันได้นำเฉพาะพลาสติกที่ใช้ในครัวเรือนมารีไซเคิลกัน ดังนั้นขวดพลาสติกแต่ละชนิดจึงมีวิธีการรีไซเคิลที่แตกต่างกันไป

ตาราง 2 การระบุรหัสสำหรับพลาสติก (ID Code) และคุณสมบัติของขวดพลาสติก

|                                  | โพลีเอทิลีน<br>เทเรพทาเลต<br>(PET)  | โพลีเอทิลีน<br>ความ<br>หนาแน่นสูง<br>(HDPE)   | โพลีไวนิล<br>คลอไรด์<br>(PVC)  | โพลีเอทิลีน<br>ความ<br>หนาแน่นต่ำ<br>(LDPE)   | โพลี<br>โพรพิลีน<br>(PP)  | โพลีส<br>ไตรีน<br>(PS)  |
|----------------------------------|---|---|--|---|---|---|
| รหัสของ<br>พลาสติก<br>( ID Code) | <br>PETE | <br>HDPE | <br>V | <br>LDPE | <br>PP | <br>PS |
| ความใส                           | ใส  | ขุ่น  | ใส   | ขุ่น  | ขุ่น  | ใส  |
| การป้องกัน<br>ความชื้น           | พอใช้ถึงดี  | ดีถึงดีมาก  | พอใช้  | ดี  | ดีถึงดีมาก  | ไม่ดี<br>ถึงพอใช้   |
| การป้องกัน<br>ออกซิเจน           | ดี  | ดี  | ดี   | ไม่ดี   | ไม่ดี   | พอใช้   |
| อุณหภูมิสูงสุด (°F)              | 120   | 145   | 140  | 120   | 165   | 150   |
| ความแข็ง                         | ปานกลาง<br>ถึงสูง   | ปานกลาง   | ปานกลาง<br>ถึงสูง  | ต่ำ   | ปานกลาง<br>ถึงสูง   | ปานกลาง<br>ถึงสูง   |
| ความทนทาน<br>ต่อการกระแทก        | ดีถึงดีมาก  | ดีถึงดีมาก  | พอใช้ถึงดี   | ดีมาก   | พอใช้ถึงดี  | พอใช้ถึงดี  |
| ความทนทาน<br>ต่อความร้อน         | ไม่ดี<br>ถึงพอใช้   | ดี  | ไม่ดี<br>ถึงพอใช้  | พอใช้   | ดี  | พอใช้   |
| ความทนทาน<br>ต่อความเย็น         | ดี  | ดีมาก   | พอใช้  | ดีมาก   | ไม่ดี<br>ถึงพอใช้   | ไม่ดี   |
| ความทนทาน<br>ต่อแสงแดด           | ดี  | พอใช้   | พอใช้ถึงดี   | พอใช้   | พอใช้   | ไม่ดี<br>ถึงพอใช้   |



หมายเหตุ

OTHER

หมายถึง พลาสติกนอกเหนือจาก 6 ประเภท ที่กล่าวมานี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

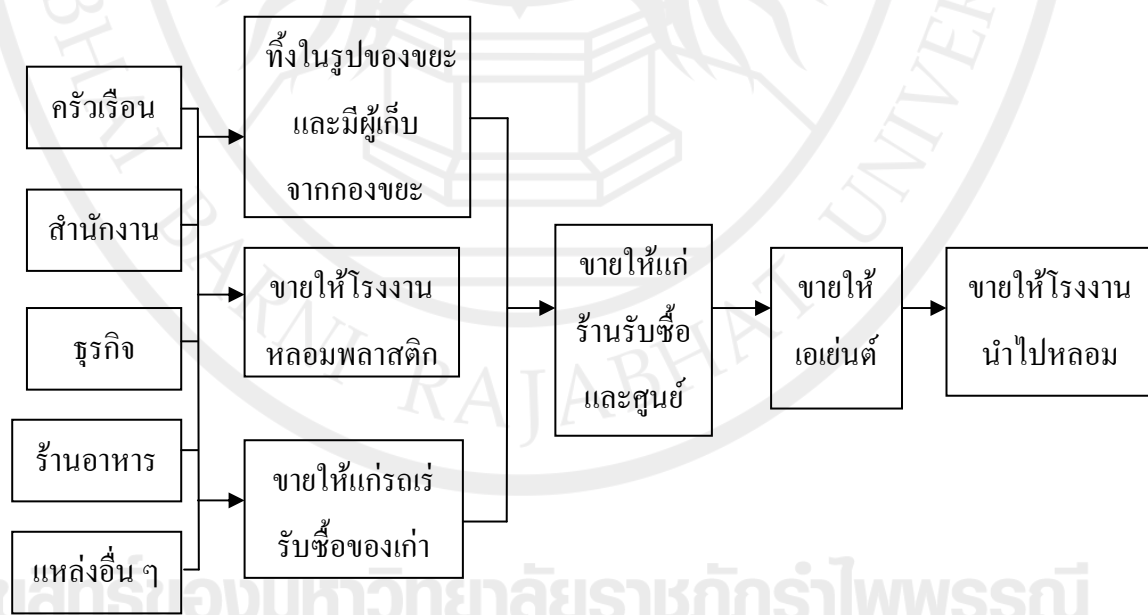
การนำเอาบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้ว มากลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่  
โดยการรวบรวมพลาสติกที่ใช้แล้วตามบ้านเรือน และกองขยะเพื่อนำมาแปรสภาพพลาสติก

ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลนั้น ไม่นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์เพื่อบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากเนื้อพลาสติกจะมีคุณสมบัติคือย่อยลง และเมื่อได้รับความร้อน สารเคมีและสีบางชนิดที่ใช้ผสม ในระหว่างกระบวนการรีไซเคิลอาจมาปะปนกับอาหารหรือเครื่องดื่มที่บรรจุ ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ ในทางปฏิบัติแล้วพบว่า ปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกที่ถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตอีกครั้งมีสัดส่วนน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั้งหมด

เมื่อพิจารณาจากปริมาณขยะทุกประเภท ซึ่งมีเพียงร้อยละ 2 เท่านั้นที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ และที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ เนื่องจากรูปแบบการทิ้งขยะของประชาชนไม่เอื้ออำนวย เนื่องจากไม่ได้มีการแยกประเภทชัดเจน ทำให้ยากลำบากต่อการคัดแยกขยะพลาสติกออกจากกองขยะ จึงนับได้ว่าเป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งของการจัดขยะพลาสติก และส่งผลให้การผลิตพลาสติกที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลมีต้นทุนสูงกว่าที่ควรจะเป็น

**ขั้นตอนการนำพลาสติกกลับมารีไซเคิล**

ปัจจุบันมีการบริโภคพลาสติกกันมากทั้งในรูปของภาชนะพลาสติก บรรจุภัณฑ์ เครื่องครัว เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ อีกมากมาย ผู้ใช้พลาสติกมีทั้งในครัวเรือน สำนักงาน ร้านค้า ร้านอาหาร และอื่น ๆ และเมื่อมีการบริโภคเสร็จ พลาสติกบางส่วนก็จะถูกทิ้งในรูปแบบขยะ จะถูกเก็บโดยคนคู่ขยะและรถเก็บขยะ แล้วนำมาขายให้แก่ร้านรับซื้อของเก่า จากนั้นจะขายให้กับศูนย์รับซื้อของเก่าและเอเยนต์ ซึ่งจะนำมาขายต่อโรงงานหลอมพลาสติก อีกทอดหนึ่งเพื่อหลอมออกมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการนำพลาสติกกลับมารีไซเคิล

### ทฤษฎีคมมีดตัดเฉือน

ลักษณะของคมมีดตัดที่ใช้ในการตัดเฉือน โดยทั่วไปแล้วจะมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับประเภท หรือลักษณะการใช้งาน จะตัดเฉือนวัสดุที่มีความแข็งมากหรือน้อยเพียงใด เป็นโลหะหรือไม่ใช่โลหะ แต่สำหรับมีดที่จะนำมาใช้สำหรับการตัดเฉือนพลาสติก ซึ่งไม่มีความแข็งแรงเหมือนกับโลหะ แต่มีความเหนียว จึงสามารถเลือกที่จะใช้วัสดุคมมีดตัดที่เป็นลักษณะคมมีดแผ่นบาง ๆ เหมือนกับฟันเลื่อย แต่สำหรับวัสดุที่จะนำมาทำใบมีดตัดเฉือนควรเป็นวัสดุบางและมีคมมีความแข็งแรง สึกหรือได้อย่างไม่เป็นสนิม ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนได้ดีความจริงแล้วเหล็กกล้าไร้สนิม มีมากมายหลายประเภท โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมและขึ้นอยู่กับโครงสร้างในที่นี้เราจะแยกประเภทเหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม โดยอาศัยลักษณะแตกต่างของโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. เหล็กเฟอร์ริติก สแตนเลส เป็นเหล็กที่มีโครงสร้างแบบเฟอร์ไรท์ สามารถทนต่อการเป็นสนิมได้ดีในบรรยากาศทั่วไป ยกเว้นในทะเลและในบรรยากาศอุตสาหกรรมบางประเภท โดยเฉพาะที่เป็นกรด การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำพวกอ่างน้ำในห้องครัว ทำมีด ซ้อนส้อมและชิ้นงานประเภทตกแต่ง
2. เหล็กมาร์เทนซิติก สแตนเลส มีโครงสร้างแบบมาร์เทนไซต์ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งทนต่อการกัดกร่อน การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำพวกอุปกรณ์ผ่าตัดในโรงพยาบาลและมีดตัดทั่ว ๆ ไป ในอุตสาหกรรมทั่วไป ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
3. เหล็กออสเทนซิติก สแตนเลส เป็นเหล็กผสมชนิดเดียวที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศทั่ว ๆ ไปได้ดี แม้บรรยากาศอยู่ใกล้ทะเล การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำพวกอ่างและภาชนะต่าง ๆ

### ความเร็วตัด (Cutting Speeds) ความเร็วรอบ (Speeds) และอัตราป้อน (Feeds)

ความเร็วตัดเป็นมาตรฐานที่กำหนดมาให้ตามลักษณะของมีดตัด ชนิดของวัสดุ ความลึกในการป้อนกินวัสดุทำมีดตัดและวิธีการหล่อเย็นที่เหมาะสม

1. ความเร็วตัด หมายถึง ความเร็วที่คมมีดตัดปาดผิวงานออก เมื่อชิ้นงานหรือมีดตัดหมุนไปครบ 1 รอบ มีหน่วยวัดเป็นเมตรต่อนาที (เมตร/นาที่ : m/pm) หรือ ฟุตต่อนาที (ฟุต/นาที่ : f/pm) ความเร็วตัดที่มีใบมีดตัดอยู่ในแนวเส้นรอบวงของตัวตัด จะขึ้นอยู่กับขนาดของความยาวเส้นรอบวงและความเร็วในการหมุน

ความเร็วตัดหาได้จากสูตร

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

เมื่อ  $V_c$  = ความเร็วตัด (m/min) (หาร 1,000 เพื่อแปลงหน่วยให้เป็นเมตร)

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของคัตเตอร์ (mm)}$$

$$n = \text{ความเร็วรอบในการหมุนตัด (min-1)}$$

$$\pi = \text{ค่าไพ (3.14)}$$

2. ความเร็วรอบ หมายถึง ความเร็วที่ชิ้นงานหรือมีดตัดหมุนรอบต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยวัดเป็นรอบต่อนาที (RPM = Revolutions Per Minute)

ความเร็วรอบหาได้จากสูตร

$$N_2 = \frac{D_1}{D_2 \times N_1}$$

เมื่อ  $D_1$  = พูลเลย์ขับ

$D_2$  = พูลเลย์ตาม

$N_1$  = ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบ/นาที)

3. อัตราป้อน หมายถึง ระยะการป้อนชิ้นงานหรือมีดตัดเข้าหาชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานหรือมีดตัดหมุนครบหนึ่งรอบ มีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร/รอบ หรือ ฟุต/รอบ

เมื่อ

$V_c$  = ความเร็วตัด (m/min) (หาร 1,000 เพื่อแปลงหน่วยให้เป็นเมตร)

$d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของคัตเตอร์ (mm)

$n$  = ความเร็วรอบในการหมุนตัด (min-1)

$\pi$  = ค่าไพ (3.14)

ประสิทธิภาพในการตัด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. แรงที่ใช้ในการตัด
2. ความกว้างของตัวตัด
3. ความเร็วในการตัด
4. เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวตัด
5. จำนวนคมตัด
6. อัตราการป้อนงาน
7. ความหนาของงานที่จะเกิด

### ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ

**ความแข็งแรง (Strength)** ของวัสดุ เป็นการบ่งบอกถึงความคงทนต่อการผิดรูปของวัสดุ ที่มีผลของแรง มากระทำต่อวัสดุนั้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดก็จะมี ความแข็งแรงที่แตกต่างกันออกไป เช่น โลหะมีความแข็งแรงมากกว่าพลาสติก และวัสดุประเภทไม้ ในขณะที่พลาสติกกลับมีความยืดหยุ่นที่สูงกว่า (บรรเลง ศรีนิล และสมนึก วัฒนศรียกุล. 2553 : 40)

**ความยืดหยุ่น (Elasticity)** เป็นความสามารถของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ จะเกิดการยืดตัว แล้วกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อนำแรงที่มากระทำออก หรือสามารถเรียกได้ว่า สภาพการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น

**ความอ่อนเหนียว (Ductility)** หรือสภาพยืดดึงได้ เป็นสมบัติของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำจนเปลี่ยนรูปถาวร กล่าวคือ ช่วงในการเปลี่ยนรูปร่างถาวรนั้น วัสดุสามารถยืดตัวหรือเปลี่ยนรูปได้มากน้อยระดับใดขึ้นอยู่กับความอ่อนเหนียวของวัสดุนั้น ๆ ความอ่อนเหนียวตรงกันข้ามกับความเปราะ ถ้านำวัสดุนั้นมาทดสอบการดึง ขึ้นทดสอบยาว 50 มิลลิเมตร เมื่อดึงแล้วยืดได้มากกว่า 5% จะจัดให้เป็นวัสดุเหนียว แต่ถ้ายืดแล้วได้น้อยกว่า 5% จะเป็นวัสดุเปราะ (บรรเลง ศรีนิล และสมนึก วัฒนศรียกุล. 2553 : 42)

### ทฤษฎีแรงเสียดทาน (Friction)

แรงเสียดทาน (Friction) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งพยายามเคลื่อนที่หรือกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวของอีกวัตถุ เนื่องจากมีแรงมากระทำ มีลักษณะที่สำคัญดังนี้

1. เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ
2. มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่ หรือตรงข้ามทิศทางของแรงที่พยายาม

ทำให้วัตถุเคลื่อนที่

เมื่อวัตถุถูกแรงกระทำ จะเกิดความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ขึ้นในเนื้อวัสดุ แรงกระทำกับวัสดุนั้นอาจเป็นแรงกระทำจากภายนอก แรงกระทำจากวัตถุข้างเคียง หรือแรงเนื่องจากน้ำหนัก ในการออกแบบชิ้นงานทางวิศวกรรมจำนวนมากนั้น ชิ้นงานจะรับภาระกรรมหลายอย่างพร้อมกัน เช่น ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน ซึ่งเรียกว่า ความเค้นผสม (Combined stress) และเป็นแบบสามมิติ จึงมีผู้พยายามตั้งทฤษฎีขึ้นมาใช้อธิบายถึงความเสียหายของชิ้นงาน โดยการเทียบกับสิ่งที่สามารถตรวจสอบด้วยการทดลองได้ เช่น Yield tensile strength, Ultimate tensile strength หรือ strain ซึ่งค่าทั้งหมดได้จากการทดลองดึงขึ้นทดสอบในแนวแกน หรือแบบมิติเดียว ทฤษฎีเหล่านี้เรียกว่า ทฤษฎีความเสียหาย (Failure Criterion Theorem) และเนื่องจากวัสดุเหนียว (Ductile Material) และเปราะ (Brittle Material) เกิดความเสียหายที่แตกต่างกัน

โดยวัสดุเหนียวจะเกิดความเสียหายเมื่อค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุถึง Yield point ซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ เพราะเมื่อความเค้นเกินค่านี้ไปแล้ว วัสดุจะไม่สามารถคืนรูปกลับสู่สภาพเริ่มต้นได้ ดังนั้นเมื่อก้าวถึงความเสียหาย (Failure) ของวัสดุเหนียวก็ต้องพุดถึง Yield stress ซึ่งก็คือค่าความเค้น ณ Yield point ส่วนวัสดุเปราะจะไม่มี Yield point ความเสียหายจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวัสดุรับความเค้นจนเกิดการแตกหรือแยกของเนื้อวัสดุ ดังนั้นเมื่อก้าวถึงความเสียหาย (Failure) ของวัสดุเปราะ ก็จะต้องพุดถึง Ultimate stress ซึ่งก็คือค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก

#### การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง ๆ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานต่อแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหาได้จากสูตร

$$\mu = \frac{\bar{F}_f}{\bar{N}}$$

กำหนดให้  $\bar{F}$  = แรงลากวัตถุ

$\bar{F}_f$  = แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส

$\bar{N}$  = แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส

$\mu$  = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

(บรรเลง ศรีนิต และสมนึก วัฒนศรียกุล. 2553 : 38)

#### ทฤษฎีความเค้นและความเครียด

##### ความเค้น

ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความเค้นแบ่งออกเป็น

ความเค้นดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ความเค้นกด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำ ตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

ความเค้นเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์  $\tau$  เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A}$$

กำหนดให้  $F$  = แรงกระทำ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

$A$  = พื้นที่รับแรง มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร ( $\text{mm}^2$ ), ตารางเมตร ( $\text{m}^2$ )

หน่วยความเค้นจึงเป็น  $\text{N/mm}^2$  หรือ  $\text{N/m}^2$  (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1 \text{ N/mm}^2$$

ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน

### ความเครียด

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) จะมีการยืดหรือหด การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ว วัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม อัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดหรือหดของวัสดุกับความยาวเดิม เรียกว่า ความเครียด

หาได้จากสูตร

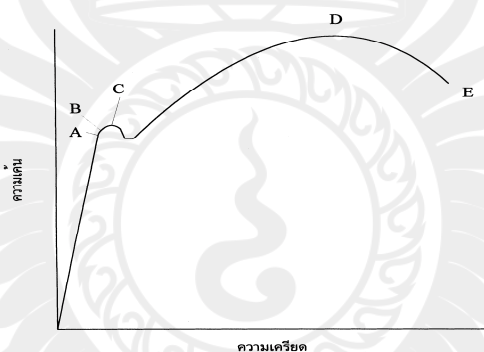
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

เมื่อ  $\delta$  = ส่วนที่ยืดหรือหด (mm)

L = ความยาวเดิม (mm)

**ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด**

เมื่อออกแรงดึงกระทำกับวัตถุ วัตถุจะมีความเค้นและความเครียด เมื่อนำความเค้นและความเครียดมาพล็อตกราฟจะได้ดังภาพ



**ภาพประกอบ 18** เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)

พิจารณาที่กราฟจะได้

1. OA เป็นเส้นตรง
2. C เป็นเส้นโค้ง
3. C เป็นความต้านทานแรงดึงคราก (Yield strength)
4. ช่วง OC เป็นช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น วัสดุจะถูกยืดและหดกลับสู่ขนาดเดิมได้อีก (บรรเลง ศรีนิล และสมนึก วัฒนศรียกุล, 2553 : 40)

**ความเค้นผสม**

ชิ้นงานที่รับภาระส่วนมากอาจได้รับทั้งความเค้นดึงหรือกด และความเค้นเฉือนผสมกัน เช่น เพลลาที่ถ่ายทอดกำลังด้วยล้อยาวพานหรือเฟือง เพลลาจะถูกกระทำด้วยความเค้น เนื่องจากการตัดและความเค้นเนื่องจากทอร์ค ทฤษฎีที่ใช้มีหลายวิธีแต่ให้ค่าที่คำนวณใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีที่มักนิยมกันคือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\frac{1}{N} = \left[ \left( \frac{\tau}{\tau_y} \right)^2 + \left( \frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

โดยที่  $\tau_y = \frac{\sigma_y}{2} = 0.5\sigma_y$

N = ค่าความปลอดภัย

(บรรเลง ศรีนิล และสมนึก วัฒนศรียศกุล, 2553 : 41)

### ความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress theory : Tresca's Yield Theory)

ทฤษฎีนี้เกิดขึ้นก่อน Maximum distortion energy theory ทฤษฎีนี้เป็นผลจากการสังเกตว่า วัสดุเหนียวเกิดการเลื่อนไถลของ Plane ในเนื้อวัสดุขณะเกิดการ Yield และตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเลื่อนไถลก็คือ ความเค้นเฉือน จึงได้เกิดการตั้งสมมติฐานว่า การ Yield ของวัสดุเหนียวขึ้นอยู่กับความเค้นเฉือน เท่านั้น และเมื่อชิ้นงานเกิดความเค้นเฉือนสูงสุดถึงค่าความเค้นเฉือนวิกฤต (ค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุเหนียวแล้ว ชิ้นงานก็จะเกิดการ Yield ส่วนค่าความเค้นเฉือนวิกฤต) ของวัสดุแต่ละชนิดหาได้จากความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมาตรฐานที่นำไปทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุด Yield ในการทดสอบแรงดึงมีทั้งความเค้นฉากและความเค้นเฉือนเกิดขึ้นในชิ้นงาน โดยที่ความเค้นเฉือนจะเกิดขึ้นบนทุก ๆ Plane ที่ไม่ได้ขนานหรือตั้งฉากกับแนวแรงดึง และความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นบนทุก ๆ Plane ที่ทำมุม 45 องศา กับแนวแรงดึงและมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเค้นฉากในแนวแรง ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ด้วยการแตกแรงธรรมดา จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ทฤษฎีนี้มองว่าความเค้นเฉือนคือตัวการสำคัญที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการ Yield ฉะนั้น เช่นเดียวกันกับการทดสอบแรงดึง ถึงแม้จะเป็นการทดสอบแรงดึงแต่สิ่งที่ทำให้เกิดการ Yield คือความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานต่างหาก ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเค้นดึง ณ Yield point (Yield Tensile Stress) ดังนั้นชิ้นงานจะอยู่ในย่านที่ปลอดภัยเมื่อ

$$\tau_{max} < \tau_a = \frac{\sigma_m}{2}$$

เมื่อ  $\tau_{max}$  = ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน

$\tau_a$  = ความเค้นเฉือนวิกฤตเป็นคุณสมบัติของวัสดุ

$\sigma_m$  = ความเค้นดึง ณ Yield point เป็นคุณสมบัติของวัสดุได้จาก

การทดสอบแรงดึง สำหรับ Isotropic material มีค่าคงที่ทุกทิศทาง

จาก Mohr's Circle ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจะมีขนาดเท่ากับรัศมีของวงกลม สามารถหาได้จาก  $\left| \frac{1}{2} \times (\sigma_1 - \sigma_2) \right|$

เมื่อ  $\sigma_1, \sigma_2$  คือ ความเค้นฉากหลัก (Principle normal stress) ที่มีค่าต่างกันมากที่สุด โดย ค่าบวก หมายถึง ความเค้นดึง ค่าลบ หมายถึง ความเค้นกด ดังนั้น ชิ้นงานที่รับความเค้นผสมในสามมิติจะอยู่ในย่านที่ปลอดภัยต่อเมื่อ

$$\left| \frac{1}{2} \times (\sigma_1 - \sigma_2) \right| < \frac{\sigma_m}{2} \text{ และ } |\sigma_1|, |\sigma_2| < \sigma_m$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$-1 < \frac{\sigma_1}{\sigma_m} - \frac{\sigma_2}{\sigma_m} < 1 \text{ และ } -\sigma_m < \sigma_1 < \sigma_m$$

ถ้าภาวะความเค้นอยู่ในรูปหกเหลี่ยม แสดงว่าชิ้นงานมีความปลอดภัยไม่เกิดการ Yield แต่ถ้าอยู่บนขอบของรูปหกเหลี่ยมหรือข้างนอก แสดงว่า เกิดการ Yield ทฤษฎีนี้ศึกษาและทดสอบอย่างจริงจัง โดย Tresca วิศวกรชาวฝรั่งเศส บางครั้งจึงเรียกทฤษฎีนี้ว่า Tresca's Yield Theory (บรรเลง ศรีนิล และสมนึก วัฒนศรียกุล. 2553 : 44)

### เครื่องย่อยขวดพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีใช้งานในปัจจุบัน

ในปัจจุบันเครื่องย่อยขวดพลาสติกมีใช้กันอยู่จะเป็นเครื่องขนาดใหญ่ ใช้ในงานอุตสาหกรรมย่อยขวดพลาสติกจำนวนมาก ๆ ซึ่งมีบริษัทที่สร้างเครื่องย่อยขวดน้ำพลาสติกหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องโม่พลาสติก มีหลายบริษัทด้วยกัน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ขนาดของเศษพลาสติกที่ได้จากเครื่องย่อยขวดน้ำพลาสติก มีขนาดประมาณความกว้าง ขาว 1 นิ้ว



ภาพประกอบ 19 แสดงเครื่องย่อยพลาสติกที่ใช้ในปัจจุบัน

**การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ในการประเมินค่าใช้จ่ายของการสร้างเครื่องย่อยพลาสติกเป็นดังนี้ (คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือสร้าง)

1. **ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost)** ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร เป็นต้น

2. **ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating cost)** ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไป เพื่อให้เกิดผลผลิต แบ่งเป็น

2.1 **ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (Fixed Cost)** คือ ค่าใช้จ่ายที่คงที่ ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องสี่ขา

2.2 **ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)** คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามการผลิต

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการย่อยขวดพลาสติก หาได้จาก

$$AC = FC + VC \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ

AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการย่อยขวดพลาสติก (บาท/ปี)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องย่อยพลาสติก (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

$$D = \frac{(P - S)}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = \frac{(P + S)}{2} \times i \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ

P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องย่อยขวดพลาสติก (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องย่อยขวดพลาสติก (สี่หรือน้อย) = 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = 0.1 P (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท/ปี)

- R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (บาท/ปี)  
 i = อัตราดอกเบี้ย 5.75% ต่อปี (เมื่อเดือนสิงหาคม 2553)

จุดคุ้มทุน (Break even point, BEP) ในการหาจุดคุ้มทุนในครั้งนี้ ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$BEP_s = FC / (SU_u - VC_u) \dots\dots\dots (2.4)$$

เมื่อ

- BEP<sub>s</sub> = จุดคุ้มทุน (หน่วย)  
 FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)  
 SU<sub>u</sub> = ราคาขายต่อหน่วย (บาท/หน่วย)  
 VC<sub>u</sub> = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

ระยะเวลาในการคืนทุน

$$PBP = MC/P \dots\dots\dots (2.5)$$

เมื่อ

- PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)  
 MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)  
 P = กำไร (บาท/ปี)

ในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีสมมุติฐานของการลงทุน

1. ราคาผลิตภัณฑ์คงที่ เพราะฉะนั้น รายได้จากการวิเคราะห์จะเป็นเส้นตรง
2. ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้หมดไม่ว่าจะผลิตเท่าไร
3. อัตราดอกเบี้ยคงที่
4. ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันแยกออกจากกันได้ชัดเจน
5. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไม่มีผลต่อราคาผลิตภัณฑ์
6. นโยบายระดับบริหาร วิทยาการ และประสิทธิภาพของการดำเนินงานไม่เปลี่ยนแปลงไป

(วันชัย วิจิรวนิช และช่อม พลอยมีค่า. 2538 : 75-76)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัฒนา ไชยวาน (2541 : 64) กล่าวว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการย่อยพลาสติกโดยศึกษาพฤติกรรม การตัดเฉือนผลที่พบว่า สัดส่วนของช่องคายเศษเก็บความลึกใบมีดที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 2-3 มม. หลังใบมีดที่มากขึ้น ช่วยลดการติดขัดการย่อยให้น้อยลง อัตราการแปรผันตามความเร็วรอบของใบมีด ชนิดของแผ่นฟิล์มพลาสติกมีผลต่อการย่อย และอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ความกว้างเท่ากับความหนา ของใบมีด ส่วนความยาวของเศษเท่ากับระยะห่างระหว่างฟันของใบมีด โดยเครื่องย่อยที่พัฒนาขึ้นนี้

สามารถย่อยฟิล์ม ที่มีความหนารวมกันมากกว่า 6 มิลลิเมตร ได้อัตราย่อย 30 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขนาดเศษที่ข่อยมีขนาดเท่ากับ 10 x 10 มิลลิเมตร

ชุตินา กิรมย์ภักดี และโชติวุฒิ อรุณประเสริฐ (2548 : 73) ได้พัฒนาเครื่องย่อยขวดพลาสติก โดยเป็นการผลิตเครื่องต้นแบบ โดยการผลิตเครื่องที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเครื่องที่ขายในท้องตลาด เมื่อทำการผลิตเสร็จแล้วจึงทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่อง โดยการย่อยขวดพลาสติก ประเภทชุ่น ประเภทใส และฝาขวดพลาสติก โดยทำการทดลองโดยการปรับใบมีดต่าง ๆ เปลี่ยนขนาดรูตะแกรงกรอง ปรับรูปแบบของปล่องใส่ขวดพลาสติก โดยการทดลองดังกล่าว ทำให้สามารถทราบถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องที่มีในท้องตลาด รวมทั้งเครื่องที่ได้ทำการผลิต สามารถผลิตเครื่องที่มีราคาถูกกว่าท้องตลาดมากกว่า 50,000 บาท ในอัตรากำลังการผลิตที่ใกล้เคียงกับท้องตลาด

วิลาส นิตวิฒนานนท์ (2549 : 58) กล่าวว่า ความพยายามในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอย ในอดีตมุ่งเน้นไปที่การให้บริการด้านการเก็บรวบรวม การเก็บขน ตลอดจนการก่อสร้างสถานที่กำจัดขยะเพื่อรองรับปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามการพัฒนาเมืองทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และสังคม ปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นและลักษณะมูลฝอยที่หลากหลายในปัจจุบันทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้พยายามหาแนวทางในการจัดการปัญหาขยะที่เหมาะสม ทั้งในส่วนบุคคล และทรัพยากรบุคคลที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งปัจจุบันความพยายามในการนำหลักการ 3Rs ได้แก่ การลดปริมาณการเกิดมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด (reducing) การนำวัสดุใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ (re-using) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการแก้ปัญหาการจัดการมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นถึงการรวบรวมและวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน

คุณทล ทองศรี (2550 : 82) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยพลาสติกนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยขวดพลาสติกและศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกับการย่อยขวดพลาสติก โดยได้สร้างเครื่องย่อยขวดพลาสติกที่มีขนาดกว้าง 700 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร และสูง 1350 มิลลิเมตร โรเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร มีโรเตอร์ 5 ตัว เครื่องย่อยขวดพลาสติกที่สร้างขึ้น มีชุดใบมีดย่อยขวดพลาสติกที่ประกอบขึ้นโดยใช้ใบมีดตัดทั้งหมด 15 ใบ และใบมีดรับ 2 ใบ ในการทดสอบได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 4 แรงม้า 1 เฟส เป็นเครื่องต้นกำลัง จากการทดสอบพบว่า เครื่องย่อยขวดพลาสติกมีความสามารถในการทำงาน และเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ดีที่สุด โดยที่พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE) เท่ากับ 4.91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate : PET) เท่ากับ 3.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ขนาดรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร

พรเทพ พุ่มไม้ และวิฑวัส สกุนนอก (2552 : 67) ได้ออกแบบเครื่องย่อยพลาสติก ทดสอบการทำงานของเครื่องโดยการทดสอบ 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่ขวดพลาสติก 1 กิโลกรัม ได้พลาสติกที่ย่อยออกมาจำนวน 8 ซีด คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ครั้งที่ 2 ใส่ขวดพลาสติก 1 กิโลกรัม ได้พลาสติกที่ย่อยออกมา 9 ซีด คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ครั้งที่ 3 ใส่ขวดพลาสติก 1 กิโลกรัม ได้พลาสติกที่ย่อยออกมาจำนวน 1 กิโลกรัม คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ จากการหาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 90 หรือ 90 เปอร์เซ็นต์

หวังฮุย และคณะ (WANG Hui and et al. 2005 : abstract) ได้ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องย่อยพลาสติก บอร์ดวงจรไฟฟ้าในเครื่องย่อยหลายแบบ ทำให้พบว่าบอร์ดวงจรไฟฟ้าต้องใช้เครื่องย่อยที่แตกต่างจากแบบอื่น ประสิทธิภาพการย่อยของบอร์ดวงจรไฟฟ้าขึ้นอยู่กับใบมีดและการหมุนของใบมีดลักษณะของใบมีดจะเป็นแบบที่ยึดติดกับแบบใบมีดหมุนตัด เศษของบอร์ดวงจรไฟฟ้าที่ได้มีลักษณะที่หลากหลายจะถูกนำไปรีไซเคิล โดยแบ่งเป็นเศษเหล็ก 47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีทองแดง 19.67 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 11.47 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่ว 3.93 เปอร์เซ็นต์ ทอง 300 g/t เงิน 5-10 g/t และมีพลาสติกอยู่ 27 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ อีก 26 เปอร์เซ็นต์