# บทที่ 2
# หลักการ และทฤษฎี

**การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการเพาะปลูกข้าว** เพราะการได้เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกที่ดีและมีคุณภาพจะส่งผลถึงปริมาณผลผลิตหลังจากการเก็บเกี่ยว คณะผู้จัดทำจึงคิดค้น เครื่องเก็บและคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกให้ดีกว่าแบบเดิม ซึ่งใช้ระยะเวลานานและแรงงานคนที่มาก ในการผลิตเครื่องเก็บและคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกนั้น ต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีหลายอย่าง เพื่อช่วยสนับสนุนให้ได้เครื่องเก็บและคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกที่มีคุณภาพ อาทิเช่น หลักการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ความรู้ทางด้าน เครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น

## 2.1 ทฤษฎีเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก

เมล็ดข้าวปลูก คือ เมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการคัดแยกเอาวัสดุหรือสิ่งสกปรก เช่น แกลบ เศษฟางออก โดยเมล็ดข้าวเปลือกที่เหลือจะมีขนาดและน้ำหนักที่เหมาะสมแก่การการเพาะปลูก จึงเรียกเมล็ดข้าวเปลือกเหล่านั้นว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก

โดยส่วนใหญ่ข้าวเจ้าที่นิยมเพาะปลูกภายในประเทศไทยจะเป็น เมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1

### 2.1.1 ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก

ในการศึกษาเรื่องของขนาดเมล็ดข้าวเปลือก ได้มีการวัดขนาดทางพฤกษศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยเป็นข้อมูลดังต่อไปนี้

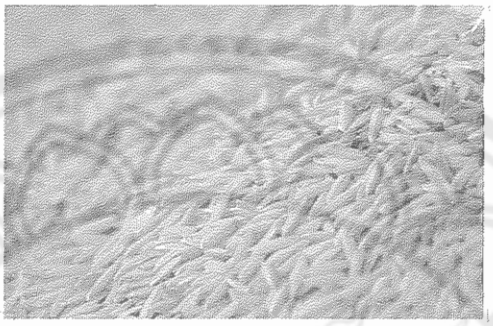
**ตารางที่ 2.1 ขนาดทางพฤกษศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด**

| พันธุ์ข้าว | ขนาดทางพฤกษศาสตร์ (มิลลิเมตร) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | หนา | ยาว | กว้าง | น้ำหนัก (กรัม) /1000 เมล็ด |
| **ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1** | 1.77 | 10.43 | 2.30 | 29.24 |

**(ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547)**

### 2.1.2 สัดส่วนของโครงสร้างเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ แกลบ และข้าวกล้อง เมื่อเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวจากน้ำหนักเมล็ดข้าว(ข้าวเปลือก) 100% จะเป็นส่วนที่เป็นแกลบประมาณ 20 % และข้าวกล้อง 80% [1]



**รูปที่ 2.1 รูปข้าวเปลือก**

( ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547 )

## 2.2 ทฤษฎีการขนถ่ายแบบสกรู

สกรูขนถ่าย เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อการขนส่ง ซึ่งสามารถลำเลียงวัสดุได้มากมายหลายประเภท มีความสามารถในการไหลดี การทำงานของสกรูขนถ่ายเป็นแบบสกรูเกลียว (Screw Helix) ที่ติดตั้งอยู่กับเพลาหรือท่อตรงกลาง หมุนอยู่ภายในรางหรือท่อที่อยู่กับที่ ผลักดันวัสดุไปตามส่วนล่างและด้านข้างเฉือนวัสดุในช่องว่างแนวรัศมีระหว่างเกลียวกับราง การนำสกรูขนถ่ายไปใช้งานต่าง ๆ ต้องศึกษาปัจจัย 2 ประการคือ

1. คุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย
2. การใช้งานในลักษณะพิเศษ ถ้าใช้สกรูขนถ่ายจะได้เปรียบกว่า

### 2.2.1 ประเภทของใบเกลียวสกรู (Types of screw flights)

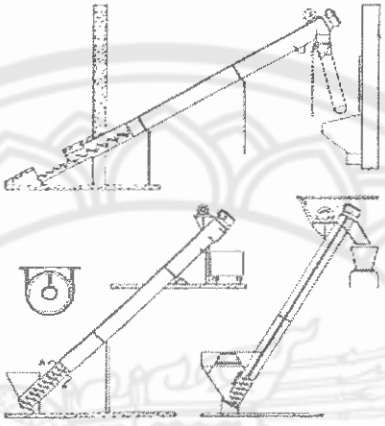
ใบเกลียวของสกรูขนถ่ายมี 2 แบบ คือ

1. แบบขดเกลียว (Helicoid Flights) ใบสกรูทำเป็นแท่งแบนขดอย่างต่อเนื่องซึ่งขอบนอกของใบสกรูจะบางกว่าขอบใน

2. แบบท่อน (Sectional Flights) ใบสกรูทำจากแผ่น Disc แบนและความหนาของใบสกรูสม่ำเสมอกัน แต่ละแผ่นจะมีความยาวมากกว่า 1 ระยะ Pitch เล็กน้อย นำมาต่อกันบนท่อท่อนหนึ่งแล้วเชื่อมต่อกันโดยไม่ทาบ (Butt Welding)

2.2.2 **การขนถ่ายของสกรูขนถ่ายมุมชันขึ้น**

การขนถ่ายขึ้นมุมชันนั้นเป็นการส่งถ่ายขึ้นที่สูงกว่าแนวระดับ ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ลดลงไป เช่น อัตราการขนถ่ายสูงสุดจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มมุมขึ้น



**รูปที่ 2.2 การออกแบบสกรูขนถ่ายมุมชันขึ้นแบบต่าง ๆ**
**( ที่มา** : ผ.ศ.พรชัย จงจิตรไพศาล, เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ)

2.2.3 **การพิจารณาในการออกแบบ**

การออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย และหลักการทำงานของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุชนิดต่างๆ ข้อสำคัญในการออกแบบของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุใดๆ ก็คือ ความรู้ความเข้าใจถึงทิศทางที่วัสดุจะไหลผ่านและผลกระทบอื่นๆ ต่อการไหลของวัสดุ

การออกแบบควรกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุขณะขนถ่าย ดังนั้นการกำหนดอัตราขนถ่ายวัสดุสูงสุดควรกำหนดจากความหนาแน่นของวัสดุในขณะขนถ่าย

2.2.4 **การแบ่งประเภทของวัสดุ**

**ประเภทที่ 1 วัสดุเบา ไหลได้ดี ไม่มีความคม เช่นเมล็ดข้าวสาลี ฝักข้าวโพด รหัสวัสดุของ CEMA คือ** A15, A25, B15, B25, C15, C25

**ประเภทที่ 2 วัสดุที่ไม่มีความคม คุณสมบัติการไหลน้อยกว่าประเภท 1 เช่น แป้ง อบขนมปัง ถ่านหินบดละเอียด รหัสวัสดุ** A35, A45, B35, B45, C35, C45, D25, D35, D45, E15, E25, E35, E45

**ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีความคมของวัสดุมากกว่า ต้องการความเร็วรอบของสกรูต่ำ เช่น ขี้เถ้าแห้ง ปูนซีเมนต์ เกลือ ถ่านไม้ รหัสวัสดุคือ A16, A26, A36, A46, B26, B46, B36, C16, C26, C36, C46, D16, D26, D36, D46, E16, A36, A46**

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคม และคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น เถ้าถ่านหิน กากถ่านหิน รหัสวัสดุ คือ A17, A27, A37, A47, B17, B27, B37, B47, C17, C27, C37, C47, D17, D27, D37, D47, E17

**2.2.5 ข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของวัสดุ**

ขนาดของสกรูขนถ่ายไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับ อัตราขนถ่ายที่ต้องการ แต่ยังขึ้นอยู่กับขนาด และขนาดที่สัมพันธ์กันของวัสดุที่จะขนถ่าย ขนาดของก้อนวัสดุจะสัมพันธ์กับขนาดมิติสูงสุดของอนุภาค

คุณสมบัติของก้อนวัสดุก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย วัสดุบางชนิดมีก้อนแข็งไม่แยกตัวขณะขนถ่ายผ่านสกรูขนถ่าย ในกรณีพิเศษเหล่านั้น ต้องกำหนดขนาดเป็นพิเศษเพื่อขนถ่ายวัสดุก้อนนี้ วัสดุอื่น ๆ เป็นก้อนที่แตกตัวได้ง่ายในสกรูขนถ่ายไม่ต้องมีข้อจำกัดเรื่องขนาดก้อนวัสดุ ขนาดก้อนวัสดุ แบ่งสามารถเป็น 3 ช่วงดังนี้

1. วัสดุก้อนผสมกับวัสดุละเอียด มีวัสดุก้อนใหญ่สุดถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 10% และ 90% เป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดใหญ่สุด (เรียกว่า 10% lump)

2. วัสดุก้อนผสมกับวัสดุละเอียด มีวัสดุก้อนใหญ่สุด ถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 25% และ 75% เป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดใหญ่สุด (เรียกว่า 25 % lump)

3. วัสดุก้อนผสมอย่างเดียว ซึ่งมีวัสดุขนาดใหญ่สุด ถึงขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 95% และ 5% หรือน้อยกว่าเป็นวัสดุก้อนเล็กกว่าหนึ่งในสิบของขนาดใหญ่สุด (เรียกว่า 95 % lump)

**อัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุหรือสกรูป้อนวัสดุ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้**

1. **รูปทรงของใบสกรู**
2. **ความเร็วของสกรู**
3. **มุมลาดเอียงในราง**
4. **รูปร่างของราง**

5. คุณสมบัติของวัสดุในการขนถ่าย

6. ความเสียดทานระหว่างใบสกรูกับราง

สกรูขนถ่ายวัสดุส่วนใหญ่จะวัดปริมาณวัสดุจากอุปกรณ์ที่จ่ายวัสดุให้สกรูขนถ่ายวัสดุ ปริมาณวัสดุในรางสกรูจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งจะถูกจำกัดไว้ไม่ให้เกิน 45% ของพื้นที่หน้าตัดราง เพื่อป้องกันวัสดุเข้าไปทำความเสียหายกับแบริ่ง และปริมาณวัสดุบนพื้นที่หน้าตัดจะลดลงอีกถ้าวัสดุมีความคมมากขึ้น

2.2.6 **การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ**

การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถหาได้จากรูปแบบการขนถ่ายวัสดุในการหมุนในราง จะทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องในรางของสกรูขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วรอบของสกรูที่กำลังหมุนอยู่ในหนึ่งรอบการเคลื่อนที่ของสกรูจะเคลื่อนที่ไปได้หนึ่งเท่าของระยะพิตช์ ทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุและความเร็วรอบของสกรูเป็นดังนี้ [2]

$$V = PN \tag{2.1}$$

โดย V = ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ

P = ระยะพิตช์สกรู

N = ความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ

ดังนั้นอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร จะสามารถคำนวณได้จาก

$$m_s = P = \frac{(p_f + p_m + p_v)F_o}{\eta}\eta = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2)kpN}{4} \tag{2.2}$$

โดย D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

$\rho_b$ = ความหนาแน่นของวัสดุ

K = แฟคเตอร์ความเต็มราง

โดยค่าแฟคเตอร์ความเต็มรางนำไปใช้กับชนิดของวัสดุดังนี้

ประเภทที่ 1 แฟคเตอร์ความเต็มราง (K) = 0.45

ประเภทที่ 2 แฟคเตอร์ความเต็มราง (K) = 0.30

ประเภทที่ 3 แฟคเตอร์ความเต็มราง (K) = 0.30

ประเภทที่ 4 แฟคเตอร์ความเต็มราง (K) = 0.15

กำลังขับของสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งเป็นสามส่วนดังนี้

1. กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างๆของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่

2. กำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ

3. กำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวดิ่ง

$$P_f = 75.7LND^{1.7} \tag{2.3}$$

โดย $P_f$ = กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Watt)

L = ความยาวสกรูขนถ่ายวัสดุ (m)

N = ควาเร็วรอบของเพลาสกรู (Hz)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนกลางใบสกรู (m)

$$P_m = F_f F_p F_m m_s g L \tag{2.4}$$

โดย $P_m$ = กำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ (watt)

$F_f$ = แฟกเตอร์ใบสกรู

$F_p$ = แฟกเตอร์ใบพัด

$F_m$ = แฟกเตอร์วัสดุ

$$P_v = m_s g H \tag{2.5}$$

โดย $P_v$ = กำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวดิ่ง (Watt)

$H$ = ระยะทางในแนวดิ่ง (m)

ดังนั้นกำลังขับรวมสำหรับสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากการรวมกำลังขับทั้งสามประเภทเข้าด้วยกัน และคูณด้วยแฟกเตอร์กำลังขับ (Overload factor , $F_o$) และประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ (h)

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v)F_o}{\eta} \qquad (2.6)$$

โดย $P$ = กำลังขับรวม (Watt)

$F_o$ = แฟกเตอร์กำลังขับ ถ้า $P_f + P_m$ มีค่ามากกว่า 4 kw ให้ใช้ค่า $F_o$ = 1.0

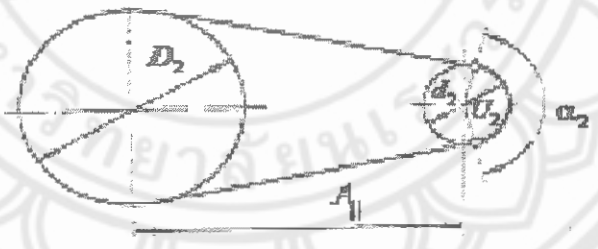
$\eta$ = ประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ (โดยทั่วไปมีค่า 0.85-0.95)

## 2.3 ทฤษฎีสายพาน

สายพาน เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลประเภทฉุดดึง สายพานจะทำหน้าที่ส่งถ่ายโมเมนต์หมุนการเคลื่อนที่ระหว่างเพลาตั้งแต่ 2 เพลาขึ้นไป ด้วยความเร็วรอบและระยะห่างที่ต่างกันได้ สายพานและพูลเล่ย์แบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

### 2.3.1 สายพานลักษณะส่งกำลังด้วยแรง

จะส่งถ่ายโมเมนต์ด้วยความเสียดทาน (Friction) ระหว่างล้อสายพานและสายพาน ส่วนการทำให้สายพานตึงนั้นจะได้จากการ กำหนดให้มีความยาวสายพานที่ถูกต้อง ด้วยการขยายระยะห่างระหว่างแกนเพลา เช่นให้มอเตอร์ขับยึดอยู่ในรางเลื่อนได้หรือบนแท่นเอียงปรับขึ้นลงหรือใช้ลูกกลิ้งกดสายพานด้านหย่อน (ขณะส่งกำลัง) ให้อยู่ใกล้ด้านล้อพูลเล่ย์ (Pulley) ที่มีขนาดเล็กกว่า เพื่อให้มีการโอบของสายพานเพิ่มมากขึ้น ยิ่งทำให้การส่งกำลังได้มากขึ้น




**รูปที่ 2.3 แสดงมุมโอบ $a_2$ ที่ล้อพูลเล่ย์เล็ก**

**(ที่มา** : มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และคณะ, ชิ้นส่วนเครื่องกล, 2540)

### 2.3.2 สายพานแบน (Flat belt)

**ใช้สำหรับถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลาผิวเกลี้ยงได้ระหว่าง** 0.1 กิโลวัตต์ ถึง 4,000 กิโลวัตต์ **ความเร็วรอบของล้อได้สูงถึง** 200,000 **รอบต่อนาที และความเร็วของสายพานได้ถึง** 100 เมตรต่อนาที โครงสร้างของสายพานแบนที่ใช้กันทั่วไปมี 3 แบบ คือ

1. **สายพานแบบหุ้มตัว** (Fold edge) **ใช้เส้นใยทอเป็นแถบห่อแผ่นยางสลับกันโดยใช้กาวยึดติดสายพานเมื่อใช้งานต้องต่อปลายทั้ง** 2 **ข้างเข้าด้วยกัน ตัวสายพานถูกห่อไว้โดยรอบตัว**

เพื่อป้องกันความเปลี่ยนแปลงของความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิแวดล้อม และช่วยลดความสึกหรอเนื่องจากการเสียดสีระหว่างสายพานกับผิวล้อพูลเลย์

2. สายพานแบบชั้น (Cord) เป็นสายพานที่นำเส้นเชือกที่มีขนาดต่างกันแต่ละชนิดขดเป็นวงเดียวกันและยึดติดกันและต่อกันเป็นกันด้วยยาง แล้วนำแต่ละวงมาผนึกกันเป็นชั้นๆ ด้วยกาวยาง สายพานแบบนี้สร้างเป็นวงสำเร็จไม่มีรูปไม่มีรอยต่อ จะมีขนาดความยาวระบุจากโรงงานผลิต เนื่องจากใช้กาวยางผนึกติดกันเป็นชิ้นๆ การใช้งานจึงไม่สมควรใช้กับพูลเลย์ซึ่งมีวงกลมเล็กและล้อขึงสายพาน

3. สายพานแบบหล่อ (Row edge) เป็นสายพานที่วิวัฒนาการของกรรมวิธีการผลิตสำเร็จรูปเส้นเชือกแต่ละชนิดและขนาดถูกนำมาทอเป็นแถบและวงวางซ้อนสลับกับยางโดยไม่มีรอยต่อ แล้วนำมาหล่อติดกันเป็นชั้นเดียวโดยการใช้การใช้ความร้อน สายพานแบบหล่อนี้จะโค้งตัวดีเหมาะสำหรับใช้กับพูลเลย์ล้อเล็กๆ ได้และสามารถรับแรงดึงได้สูง

2.3.3 **สายพานลิ่ม** (V-BELT)

สายพานลิ่มที่ลักษณะคล้ายกับสายพานแบน คือ ใช้เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์วงแหวนเป็นแกนแรง และห่อหุ้มด้วยยางหรือวัสดุเดียวกับแกน สายพานลิ่มมีรูปหน้าที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านข้างหน้าทั้งสองเอียงสอบเข้าหากันทำมุม 38 ถึง 44 องศา สายพานลิ่มส่งถ่ายกำลังด้วยพูลเลย์ ผิวเกลี้ยงเป็นร่อง สายพานลิ่มยังแบ่งชนิดออกไปตามลักษณะงาน

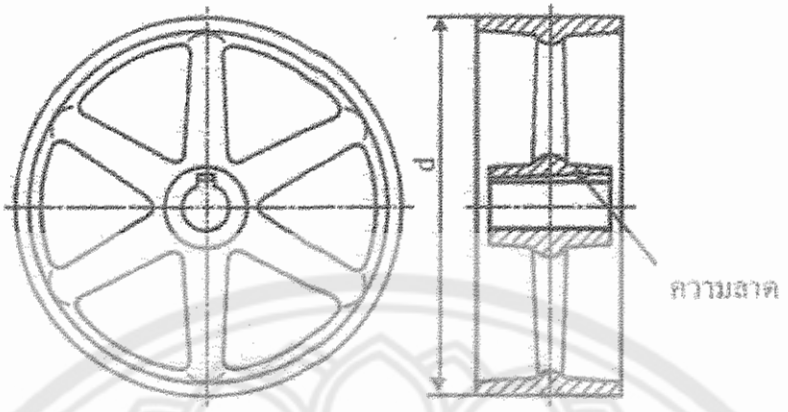
1. สายพานลิ่มปกติ เป็นสายพานที่ใช้งานกันโดยทั่วไปกับเครื่องจักรกลธรรมดา ที่ใช้ความเร็วรอบไม่มากนัก ทำด้วยแผ่นยางสลับกับผ้าใบเป็นชั้นๆ

2. สายพานลิ่มร่วม เป็นสายพานที่สร้างลิ่มหลายลิ่มมารวมกันในเส้นเดียว ปัจจุบันนิยมใช้มาก สายพานแบบนี้จะมีแผ่นปิดยางสังเคราะห์ จึงเหมาะสมกับงานที่มีงานถ่ายเทโมเมนต์หมุนที่ไม่สม่ำเสมอ และระยะห่างระหว่างแกนเพลามากๆ

3. สายพานลิ่มแหลม เป็นสายพานลิ่มเช่นกันแต่ละลิ่มจะแหลม สามารถกระจายแรงตามแนวรัศมีไปยังแผ่นปิดด้านบนสายพานอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้าง จึงเหมาะใช้กับแกนเพลาที่มีระยะห่างมากๆ และรับแรงสูง

**2.3.4 พูลเลย์สายพานแบน**

**พูลเลย์สายพานแบน เป็นพูลเลย์ที่ใช้คู่กับสายพานแบนทำจากเหล็กหล่อ เหล็กกล้า โลหะเบา พลาสติก หรือไม้ บนผิวล้อที่สัมผัสกับสายพานจะต้องลื่นมิเช่นนั้นจะทำให้สายพานสึกหรอเร็วมาก โดยให้มีความหยาบของผิวอยู่ระหว่าง 4 ถึง 10 Um พูลเลย์แบบรูปโค้งและพูลเลย์แบบถอดแยกได้เป็น 2 ชิ้นได้ ดังรูป**




**รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของพูลเลย์สายพานแบน**
(**ที่มา** : มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และคณะ, ชิ้นส่วนเครื่องกล, 2540)

### 2.3.5 พูลเลย์สายพานลิ่ม

ตามมาตรฐานของ DIN 2217 พูลเลย์ สายพานที่ลิ่มจะแบบร่องเดียวหรือหลายร่อง มุมรวมของร่องล้อพูลเลย์สายพานลิ่มเท่ากับ 32 องศา 34 ลิปดาและ 38 องศา โดยล้อพูลเลย์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า จะมีมุมร่องล้อพูลเลย์ที่โตกว่า ร่องล้อพูลเลย์จะมีการผลิตให้สายพานที่สวมประกอบแล้วไม่เลยพ้นจากขอบร่องล้อ และจะต้องไม่จมอยู่ในร่องล้อ

**การบำรุงรักษาสายพาน**

สายพานที่ทำจากหนังเมื่อใช้งานไปนาน ๆ ผิวสัมผัสจะเกิดเป็นมัน ซึ่งอาจเกิดจากการตึงสายพานไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการลื่นไถลนั้น ห้ามนำมาทาเรซินเด็ดขาด เพราะเรซินทุกชนิดจะทำให้สายพานเสียหาย สายพานหนังที่มีผิวสัมผัสมัน จะนิยมใช้น้ำสบู่พออุ่นและแปรงขัดออก (ห้ามใช้แปรงลวดที่แข็งและคม) หลังจากปล่อยให้แห้งแล้วนำมาทาด้วยน้ำมันสัตว์หรือน้ำมันพืชหรือจาระบี ปล่อยทิ้งไว้ให้ซึมเข้าไปในสายพาน (ทำให้สายพานอ่อนตัว) หลังจาก 2 ชั่วโมง หากยังมีเศษน้ำมันหรือจาระบีที่สายพานไม่สามารถดูดซึมต่อไปแล้วให้ใช้ผ้าเช็ดออกให้แห้ง [3]

## 2.4 ทฤษฎีการคัดแยก

การคัดแยก (Sorting) หมายถึง การคัดเอาวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะเหมือนกันออกจากวัสดุที่มีคุณลักษณะต่างกัน ตัวอย่างเช่น เมล็ดข้าวเปลือกซึ่งจะทำการแยกจากวัสดุสิ่งเจือปน เช่น เศษฟางออกจากข้าวเปลือกวัสดุพวกเศษฟางนี้เรียกว่าสิ่งเจือปน (Contaminations) ในขณะที่ข้าวเปลือกหรือวัสดุส่วนใหญ่ เรียกว่า ส่วนบริสุทธิ์ (Purity)

**คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดและการคัดแยกเมล็ดข้าว ได้แก่**

1. **ขนาด** (Size)

2. **รูปร่างหรือลักษณะทางเรขาคณิตของผลผลิต** (Shape or geometry of product)

3. **ความหนาแน่น** (Density)

4. ลักษณะของผิวสัมผัส (Surface texture)

5. คุณสมบัติทางกลของวัสดุ (Mechanical properties)

6. คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวัสดุ (Electrical properties)

7. คุณลักษณะอื่น ๆ เช่น น้ำหนัก สี สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เป็นต้น (Other miscellaneous items, such as weight, color, coefficient of friction)

**2.4.1 ประสิทธิผลของการคัดแยก ( Effectiveness of separation)**

ประสิทธิผลของการคัดแยก ( Effectiveness of separation) สำหรับการวิเคราะห์และประเมิน การทำงานของระบบคัดแยกวัสดุสิ่งเจือปนออกจากวัสดุที่ต้องการ ซึ่งระบบก่อนทำการคัดแยก จะประกอบด้วยวัสดุ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วน Q1 และ Q2 คุณภาพของระบบการคัดแยกจะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของวัสดุในแต่ละส่วนเมื่อ

$W_T$ = น้ำหนักรวมของส่วนผสมทั้งหมด

$W_1$ = น้ำหนักของวัสดุที่แยกส่วน 1

$W_2$ = น้ำหนักของวัสดุที่แยกส่วน 2

$q_1$ = น้ำหนักของวัสดุ $Q_1$ ที่เหลืออยู่ในวัสดุที่แยกส่วน 2

$q_2$ = น้ำหนักของวัสดุ $Q_1$ ที่เหลืออยู่ในวัสดุที่แยกส่วน 1

$Q_1$ = น้ำหนักของข้าวที่อยู่ในส่วนช่องคัดแยกสิ่งเจือปน

$Q_2$ = น้ำหนักของข้าวที่อยู่ในส่วนช่องเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังผ่านการคัดแยก

ในกรณีนี้ ความบริสุทธิ์ ประสิทธิภาพการแยก และคุณภาพการคัดแยกในแต่ละส่วนสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$P_{11} = \frac{W_1 - q_2}{W_1} = 1 - \frac{q_2}{W_2} \qquad (2.7)$$

$$P_{22} = \frac{W_2 - q_1}{W2} = 1 - \frac{q_1}{W_2} \qquad (2.8)$$

โดย $P_{11}$ = ความบริสุทธิ์ของวัสดุที่แยกส่วน 1

$P_{22}$ = ความบริสุทธิ์ของวัสดุที่แยกส่วน 2

$$Fr_1 = \frac{W_1}{W_T} \quad (2.9)$$

$$Fr_2 = \frac{W_2}{W_T} \quad (2.10)$$

โดย $Fr_1$ = ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วน 1

$Fr_2$ = ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วน 2

$$Ex_{11} = \frac{W_1 - q_2}{Q_1} = \frac{P_{11}W_1}{Q_1} = P11\frac{W_1}{Q_1} = P11\frac{\frac{W_1}{W_T}}{\frac{Q_1}{W_T}} = P11\frac{Fr_1}{a_1} \quad (2.11)$$

$$Ex_{22} = \frac{W_2 - q_1}{Q_1} = \frac{P_{22}Fr_2}{a_2} \quad (2.12)$$

โดย $Ex_{11}$ = คุณภาพการคัดแยกในส่วน 1

$Ex_{22}$ = คุณภาพการคัดแยกในส่วน 2

$$a_1 = \frac{Q_1}{W_T} \quad (2.13)$$

$$a_2 = \frac{Q_2}{W_T} \quad (2.14)$$

ประสิทธิผลในการคัดแยก (Overall effectiveness, $\eta$ ) สามารถหาได้จากสมการ

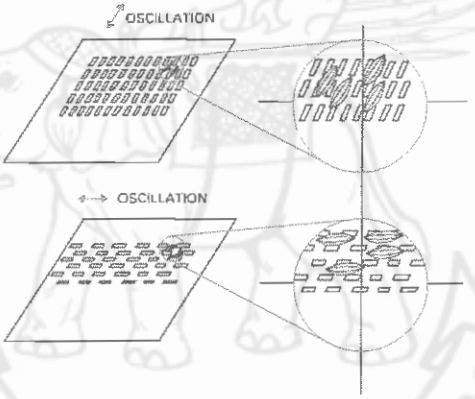
$$\eta = \left( Fr_1 \frac{P_{11} - a_1}{1 - a_1} + Fr_2 \frac{P_{22} - a_2}{1 - a_2} \right) x100(\%) \quad (2.15)$$

**ในกรณีที่วัสดุผสมกันอยู่ n ส่วน สามารถหาได้จากสมการ**

$$\eta = \sum_{i=1}^{n} Fr_i \frac{P_{ii} - a_i}{1 - a_i} \quad (2.16)$$

## 2.5 ตะแกรงคัดแยกเมล็ดข้าว

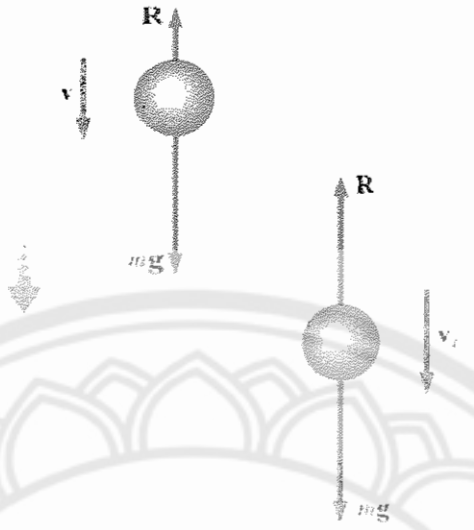
ตะแกรงคัดแยกเมล็ดข้าวจะมีลักษณะโยกไปมา เพื่อทำให้ข้าวเปลือกสั่นและกระจายตัวไหลลงสู่ตะแกรง สิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง เช่น เศษฟาง หญ้า หิน และอื่นๆก็จะค้างอยู่บนตะแกรงชั้นนั้น ส่วนเมล็ดข้าวและสิ่งที่เล็กกว่าก็จะตกลงไปสู่ตะแกรงอีกชั้นหนึ่งที่มีรูตะแกรงที่มีขนาดเล็กกว่าเมล็ดข้าวเปลือกก็จะทำให้ข้าวเปลือกค้างอยู่บนตะแกรงชั้นนี้ส่วนสิ่งสกปรกที่เล็กกว่าเมล็ดข้าวก็จะถูกส่งออกไปสู่ด้านนอก ในขณะที่วัสดุเจือปนที่มีขนาดเท่ากับเมล็ดข้าวเปลือกแต่น้ำหนักมากกว่าจะคัดแยกโดย ใช้วิธีการแยกด้วยความโน้มถ่วง (Specific gravity separator) โดยตะแกรงที่มีรูขนาดเล็ก สิ่งเจือปนที่มีน้ำหนักมากกว่า จะเคลื่อนตัวลงล่างในขณะที่ข้าวเปลือกที่มีน้ำหนักน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนตามแนวเอียงของตะแกรง ดังนั้นสิ่งเจือปนจึงถูกแยกออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ [4]




**รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของข้าวเปลือกบนตะแกรงโยก**
(ที่มา : http://courseware.rmutl.ac.th)

## 2.6 การคัดแยกโดยใช้ลม

การคัดแยกทำความสะอาดแบบนี้ เป็นการนำเอาสิ่งสกปรกออกโดยใช้ลมเป่าสิ่งเจือปนที่เบากว่าเมล็ดพืชให้ลอยออกไป เช่น แกลบ เศษฝุ่นออกจากเมล็ดพืช ซึ่งใช้คุณสมบัติด้านน้ำหนักจำเพาะ และพื้นที่ภาพฉายของสิ่งสกปรกที่มีน้ำหนักเบากว่าเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งส่งผลให้ความเร็วในการตกช้ากว่าความเร็วของพัดลม จะถูกลมพัดพาแยกไป และเมล็ดพืชที่มีน้ำหนักมากกว่าจะมีความเร็วในการตกมากกว่าความเร็วของพัดลมจึงไม่ถูกพัดออกไป




**รูปที่ 2.6 แสดงการตกของวัตถุภายใต้แรงอิสระ**
**(ที่มา : www.rmutphysics.com)**

โดย สมมุติว่าวัตถุ m ถูกปล่อยจากจุดหยุดนิ่ง ดังรูป แรงภายนอกที่กระทำกับวัตถุมี 2แรงคือ แรงโน้มถ่วงที่มีทิศทางพุ่งลงและแรงต้านอากาศที่มีทิศทางพุ่งขึ้น ซึ่งความเร็วสุดท้ายในการตกของวัตถุภายใต้แรงอิสระจะมีค่าเท่ากับ [6]

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{D\rho A}} \tag{2.17}$$

โดย $v_t$ คือ ความเร็วสุดท้ายในการตกของวัตถุภายใต้แรงอิสระ

$m$ คือ มวลวัตถุ

$g$ คือ ความเร่งตามแรงโน้มถ่วง

$D$ คือ สัมประสิทธิ์ของแรงฉุด ( $D$ >2 สำหรับวัตถุที่มีรูปร่างไม่เป็นไปตามรูปทรงเรขาคณิต)

$\rho$ คือ ความหนาแน่นอากาศ

$A$ คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่

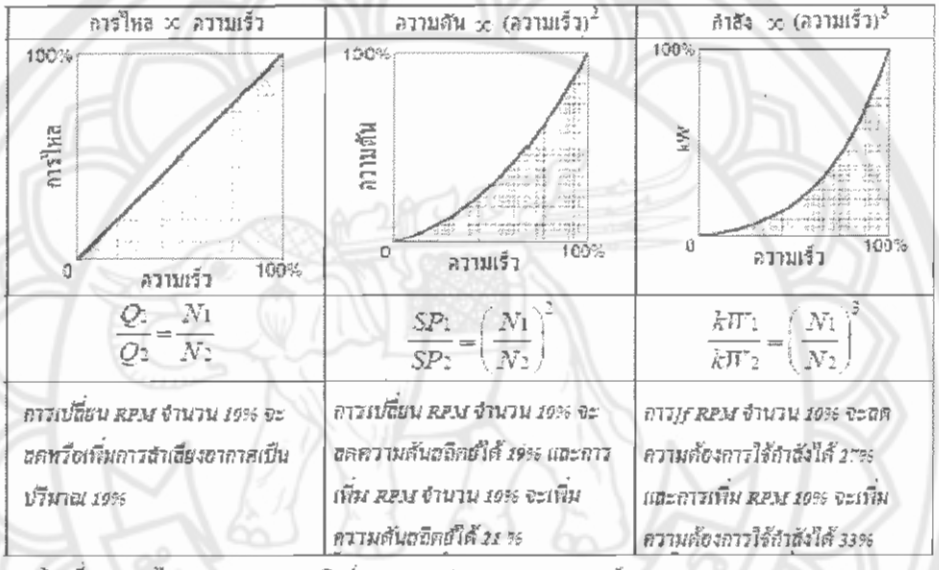
## 2.7 ทฤษฎีพัดลม

พัดลม เครื่องเป่าลม และเครื่องอัดอากาศจะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันโดยวิธีการเคลื่อนที่อากาศโดยแรงดันที่ใช้ในระบบ สมาคมวิศวกรเครื่องกลอเมริกัน (ASME) ได้ใช้ค่า

อัตราส่วนเฉพาะ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของแรงดันปล่อยต่อแรงดันดูดเข้า เพื่อจำแนกพัดลม เครื่องเป่าลม และเครื่องอัดอากาศ

### 2.7.1 กฎของพัดลม

พัดลมจะทำงานตามกฎซึ่งสามารถทำนายได้ โดยจะคำนึงถึงความเร็ว กำลัง และแรงดัน การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (รอบต่อนาที หรือ RPM) ของพัดลมใดก็ตาม จะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันและกำลังที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการทำงานด้วยความเร็วรอบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 [5]




โดยที่ Q - การไหล, SP - ความดันสถิตย์, kW - กำลัง และ N - ความเร็ว (RPM)

**รูปที่ 2.7 ความเร็ว แรงดัน และกำลังของพัดลม**

(**ที่มา** : Bureau of Energy Efficiency (BEE), Government of India. Energy Efficiency Guide Book,chapter 5, p 93-112. 2004)

### 2.7.2 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมระบายอากาศสามารถสร้างแรงลมที่ไม่มากจนเกินไปสามารถระบายความร้อนและสิ่งสกปรกต่างจากภายในห้องสู่ด้านนอก โดยจะดึงให้อากาศเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของพัดลม พัดลมแบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพราะว่ามีราคาไม่แพง มีขนาดกระทัดรัดและมีน้ำหนักเบา รูปแบบหลักๆ ของพัดลมแบบแนวแกน (ใบพัดขับเคลื่อนธรรมดา, แบบหัวเพลาใหญ่ และแบบครีบ)

รูปที่ 2.8 พัดลมระบายอากาศ
(ที่มา : www.tkkcorporation.com)

2.7.3 การคำนวณปริมาตรของการไหล

$$Q = \frac{v}{A} \tag{2.18}$$

โดย $Q$ คือ ปริมาตรของการไหล ,ลูกบาตรเมตร./วินาที

$v$ คือ ความเร็วลม ,เมตร/วินาที

$A$ คือ พื้นที่หน้าตัดของพัดลม , ตารางเมตร

2.8 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Analysis)

ส่วนประกอบในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของค่าใช้จ่าย (Total Cost , TC)

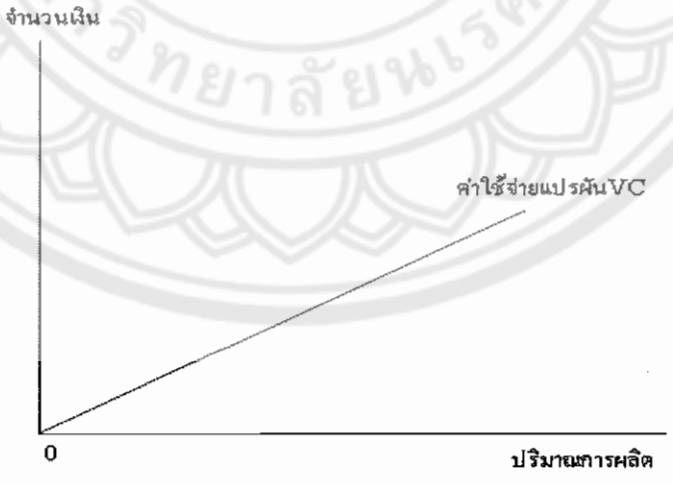
1.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost , FC) คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าที่ดิน ค่าเช่า เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายรายปี เป็นต้น

**รูปที่ 2.9 ค่าใช้จ่ายคงที่รวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ**

(**ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะทำการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าไร ค่าใช้จ่ายก็ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต

1.2 ค่าใช้จ่ายแปรผัน(Variable Cost , VC ) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ค่ากระดาษในร้านถ่ายเอกสาร ถ้าถ่ายเอกสารมากก็จะใช้กระดาษมาก ค่ากระดาษก็จะเพิ่มขึ้นตาม หรือค่าแรงต่อหน่วย เป็นต้น

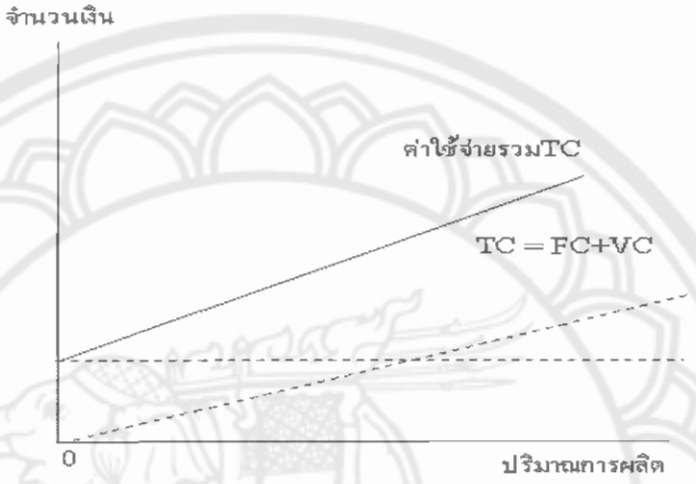



**รูปที่ 2.10 ค่าใช้จ่ายแปรผันรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ**

(**ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ากราฟเริ่มที่จุด 0 หมายความว่า เมื่อยังไม่มีการผลิตเกิดขึ้น ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็ยังไม่มี และเมื่อเพิ่มปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายก็จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้น ดังนั้นที่รูป 2.14

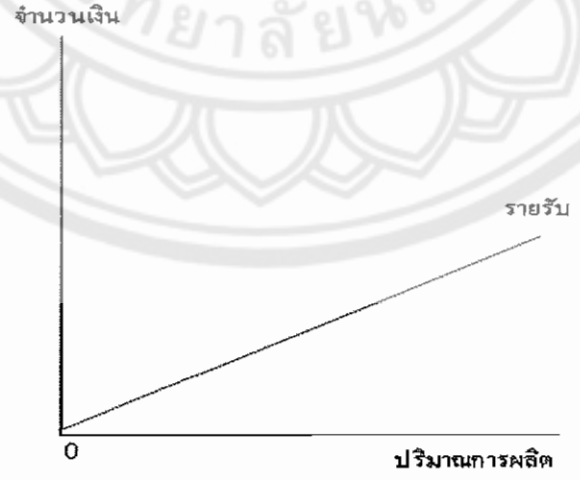
| สมการค่าใช้จ่าย TC = FC+VC | (2.19) |
|---|---|




**รูปที่ 2.11 ค่าใช้จ่ายแปรผันรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ**

(**ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

2. ส่วนของรายได้ (Revenue ; R ) หมายถึง ส่วนที่เป็นรายรับหรือรายได้จากการขายจะได้จากราคาขายคูณปริมาณการผลิต



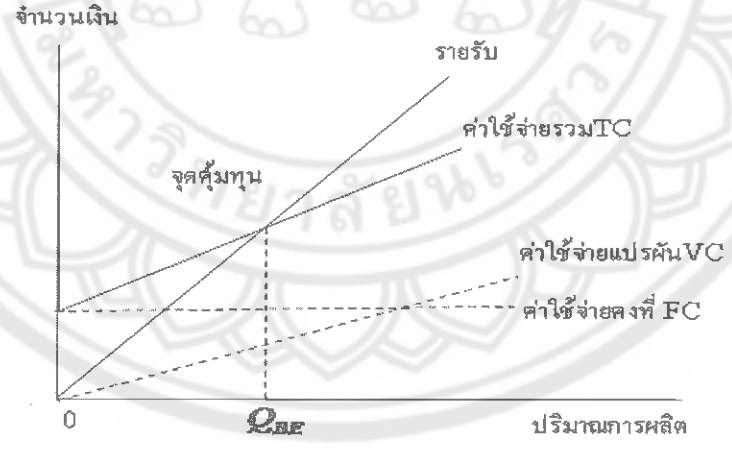

**รูปที่ 2.12 รายรับรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ**

(**ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า กราฟเริ่มที่จุด 0 หมายความว่า เมื่อยังไม่มีการผลิตเกิดขึ้น ก็ยังไม่มีการขายสินค้า เมื่อปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นก็มีการขายสินค้าตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้น

### 2.8.1 แผนภูมิจุดคุ้มทุน

แผนภูมิของจุดคุ้มทุน เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรายรับและค่าใช้จ่ายกับปริมาณการผลิต โดยมีแกนในแนวนอนแทนปริมาณการผลิต ส่วนแกนในแนวตั้งแทนค่าใช้จ่ายและรายได้ โดยในส่วนของค่าใช้จ่ายจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่และส่วนของต้นทุนแปรผัน ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่จะเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต หมายความว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายที่คงที่ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยเพียงใด ในแผนภูมิส่วนของต้นทุนคงที่นี้จะเป็นเส้นตรงในแนวนอนเหนือแกนนอนขึ้นมาตามจำนวนเงินต้นทุน ส่วนค่าใช้จ่ายแปรผันจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงตามปริมาณการผลิต และจะเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณที่มากขึ้นในแนวนอน ส่วนเส้นรายได้จะแปรผันตามสัดส่วนปริมาณการขายโดยจะเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น และจุดตัดระหว่างเส้นตรงของรายได้และเส้นตรงของค่าใช้จ่ายรวมจะเรียกว่า "จุดคุ้มทุน" ( Breakeven Point ; $Q_{BE}$ )




**รูป2.13 แสดงจุดคุ้มทุนเชิงเส้นตรง**

**(ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

จากรูปที่ 2.13 จุดที่เส้นรายรับรวม (R) ตัดกับเส้นค่าใช้จ่ายรวม (TC) คือ จุดคุ้มทุน หมายความว่า ถ้าปริมาณการผลิตต่ำกว่าจุดคุ้มทุน ($Q_{BE}$) จะเกิดการขาดทุน (เส้นรายรับรวม R

ต่ำ กว่าเส้นค่าใช้จ่ายรวม TC ) และถ้าปริมาณการผลิตสูงกว่าจุดคุ้มทุน($Q_{BE}$) จะเกิดกำไร (เส้นรายรับรวม R สูงกว่าเส้นค่าใช้จ่ายรวม TC )

**2.8.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนกรณี 2 ทางเลือก**

กรณี 2 ทางเลือกจุดคุ้มทุนจะได้จากจุดตัดระหว่างเส้นค่าใช้จ่ายรวมของทางเลือกที่ 1 ตัดกับเส้นค่าใช้จ่ายรวมของทางเลือกที่ 2

**หลักการการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนกรณี 2 ทางเลือก**

1. กำหนดตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดให้จุดคุ้มทุนเป็นตัวแปร $Q_{BE}$
2. หาค่าใช้จ่ายรวมของทางเลือกที่ 1 โดยจัดให้อยู่ในรูป AW ซึ่งจะได้

$$TC_1 = FC_1 + VC_1 = -P_1(A/P,i\%,n) - AOC_1 + SV_1(A/F,i\%,n) - VC_1$$

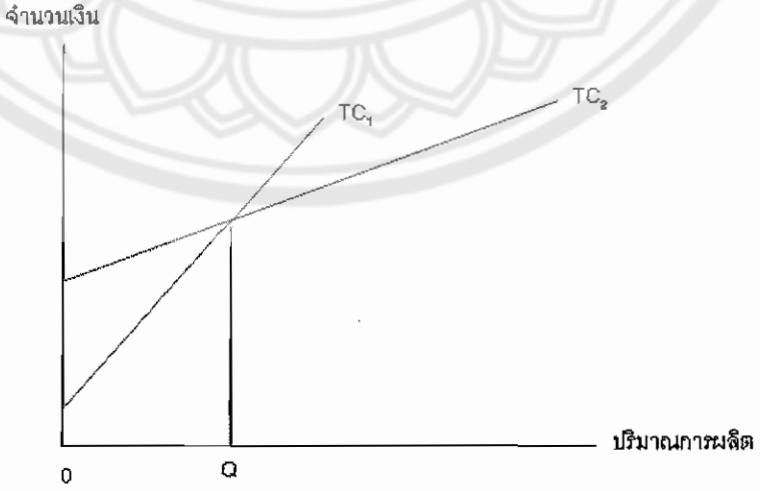
3. หาค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวมของทางเลือกที่ 2 โดยจัดให้อยู่ในรูป AW ซึ่งจะได้

$$TC_2 = FC_2 + VC_2 = -P_2(A/P,i\%,n) - AOC_2 + SV_2(A/F,i\%,n) - VC_2$$

4. นำค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวมของแต่ละทางเลือกมาเข้าสมการโดยจับให้เท่ากัน นั้นคือ

$$TC_1 = TC_2$$

5. แก้สมการหาจุดคุ้มทุน ( หา $Q_{BE}$ )
6. เขียนกราฟแสดงจุดคุ้มทุนแล้ววิเคราะห์ผลโดยสรุปจากจุดคุ้มทุนที่หาได้




**รูป2.14 แสดงจุดคุ้มทุนกรณี 2 ทางเลือก**

**(ที่มา** : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง , เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม , 2549 )

**2.8.3 คำอธิบายเพิ่มเติม**

**1. จุดคุ้มทุน** (Breakeven Point ; $Q_{BE}$) **หมายถึง จุดที่รายรับมูลค่าเท่ากับรายจ่ายหรือหมายถึงจุดที่ไม่ก่อให้เกิดกำไร และไม่ขาดทุน ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ของสถานะต่างๆ ในระยะสั้น และข้อมูลจะถูกต้อง** ค่อนข้างแน่นอน เพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้องอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พึงพอใจ (Minimum Attractive Rate of Return ; MARR%)

2. อัตราผลตอบแทนต่ำที่สุดที่พึงพอใจ หมายถึงอัตราผลตอบแทนที่ต่ำที่สุดที่เราพอใจ ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่ประเมินขึ้นหรือตั้งขึ้นมา ทั้งนี้จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับนโยบายของแต่ละโครงการว่าหวังผลตอบแทนจากโครงการว่าหวังผลตอบแทนจากโครงการมากน้อยแค่ไหน

3. มูลค่าเทียบเท่า ณ ช่วงเวลาต่างๆ

1. มูลค่าเทียบเท่าปีปัจจุบัน ( Present Worth ; PW ) หมายถึงมูลค่าเทียบเท่าของเงินทั้งระบบ ณ ปีที่ 0

2. มูลค่าเทียบเท่าอนาคต (Future Worth ; FW ) หมายถึงมูลค่าเทียบเท่าของเงินทั้งระบบ ณ ปีที่ n (ปีสุดท้ายของแผนผังการไหลของเงิน)

3. มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual Worth ;AW) หมายถึงมูลค่าเทียบเท่าของเงินทั้งระบบกระจกไปในปีต่างๆ ด้วยจำนวนที่เท่าๆกัน ในแผนผังกระแสเงินสด ตั้งแต่ปีที่1 ถึงปีที่ n [7]