

## บทที่ 2

### งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

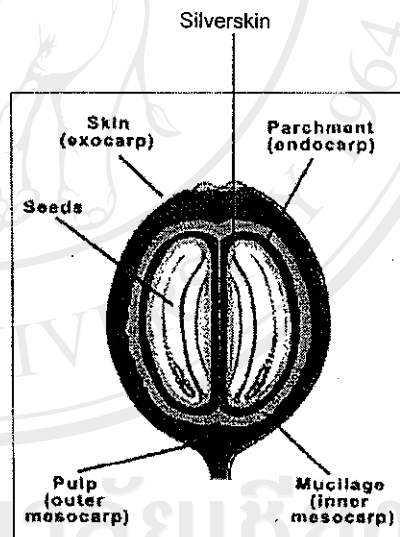
#### 2.1งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1งานวิจัยเกี่ยวกับกาแฟอาราบิก้า

กาแฟจัดเป็นพืชที่มีโครงสร้างซับซ้อนพืชหนึ่ง ส่วนประกอบของกาแฟมีหลายชั้นที่หุ้มเมล็ดอยู่ เมื่อผลกาแฟสุกแก่เปลือกนอกสุดจะมีสีแดงบางครั้งอาจเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลเรียกว่า "Exocarp" หรือ "Outer Skin" ดังรูปที่ 2.1 ส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นส่วนของเนื้อผลกาแฟเรียกว่า "Pulp" หรือ "Outer mesocarp" ถัดไปเป็นเมือกที่หุ้มกาแฟกะลาซึ่งเป็นลักษณะเจลใสไม่ละลายน้ำเรียกว่า "Mucilage" หรือ "Mesocarp" ถัดไปเป็นชั้นบางหุ้มรอบกาแฟเรียกว่า "Parchment" หรือ "endocarp" ซึ่งกาแฟในชั้นนี้รวมเรียกว่ากาแฟกะลา ถัดไปเป็นเยื่อชั้นในสุดซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ หุ้มรอบเมล็ดกาแฟเรียกว่า "Silverskin" และชั้นสุดท้ายเป็นส่วนของเมล็ดกาแฟมีลักษณะสีเขียวใสเรียกว่า "Green" หรือ "bean" ดังรูปที่ 2.2 เมล็ดกาแฟที่ถูกปล่อยให้ไว้นาน สีของเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาลได้ (เพิ่มพูน, 2531; FAO, 2001)



รูปที่ 2.1 ผลกาแฟอาราบิก้าสุกแก่พร้อมทำการเก็บเกี่ยว



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกาแฟอาราบิก้า

พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต (2542) รายงานว่าการผลิตสารกาแฟสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีแห้ง (Dry Method or Natural Method) เป็นวิธีการทำสารกาแฟที่ง่าย มีขั้นตอนน้อย ประหยัดแรงงานและไม่ต้องการเครื่องมือที่ซับซ้อน โดยการนำผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวได้มาตากแดดประมาณ 15-20 วัน จนกาแฟแห้ง หลังจากนั้นจึงนำผลกาแฟเข้าเครื่องสีกระเทาะเมล็ด

(huller) ก็จะได้สารกาแฟที่ต้องการ วิธีนี้มีข้อเสียคืออาจเกิดกลิ่นจากการหมักที่เกิดจากเมือกหุ้ม รอบกะลา (mucilage) ได้เปลือกกาแฟซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ทำให้รสชาติและกลิ่นของ สารกาแฟที่ได้ผิดไปจากปกติ สารกาแฟที่ได้จึงมีคุณภาพต่ำและผลกาแฟตากแห้งไม่สามารถเก็บ ไว้ได้นานต้องรีบกะเทาะเปลือกทันทีก่อนที่จะเกิดจากการหมัก วิธีดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ ชาติน้ำ ปริมาณกาแฟมากและผู้ผลิตขาดความรู้ความชำนาญในการทำสารกาแฟโดยวิธีเปียก

2. วิธีเปียก (Wet Method or Parchment Method) เป็นวิธีที่นิยมในการผลิตสารกาแฟ อาราบิก้า เพราะสามารถผลิตสารกาแฟที่มีกลิ่นและรสชาติดีกว่าวิธีแห้งแต่ต้องการแรงงานมาก กว่า มีขั้นตอนมากกว่า และต้องมีน้ำในการทำความสะดวกอย่างพอเพียง ขั้นตอนการผลิตสาร กาแฟโดยวิธีเปียกมีดังนี้

2.1 นำผลกาแฟสุกที่เก็บเกี่ยวได้แช่น้ำ เพื่อแยกผลกาแฟที่ฝ่อลอยน้ำออกจากผลกาแฟที่ดี

2.2 การปอกเปลือกผลกาแฟ (pulping) ทำได้โดยใช้เครื่องปอกเปลือกบีบให้เปลือกนอก ของผลหลุดออกมา วิธีนี้มีความต้องการเครื่องมือในการปอกเปลือก ถ้าไม่มีอาจใช้วิธีตำในครกไม้ เบาๆ ผลกาแฟควรจะได้รับ การปอกเปลือกทันทีหลังจากเก็บมาจากต้นกาแฟแล้วแต่ถ้ายังไม่ สามารถนำไปปอกเปลือกได้ทันทีอาจเก็บไว้ได้แต่ไม่ควรเกิน 36 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการหมักของเปลือก (fermentation) อันจะทำให้เกิดกลิ่นไม่เหมาะแก่สารกาแฟ

2.3 การกำจัดเมือก (demucilaging) กาแฟที่ปอกเปลือกแล้วจะยังมีเมือกห่อหุ้มเมล็ด กาแฟ ซึ่งจำเป็นต้องลอกออกมิฉะนั้นจะเกิดการหมักได้

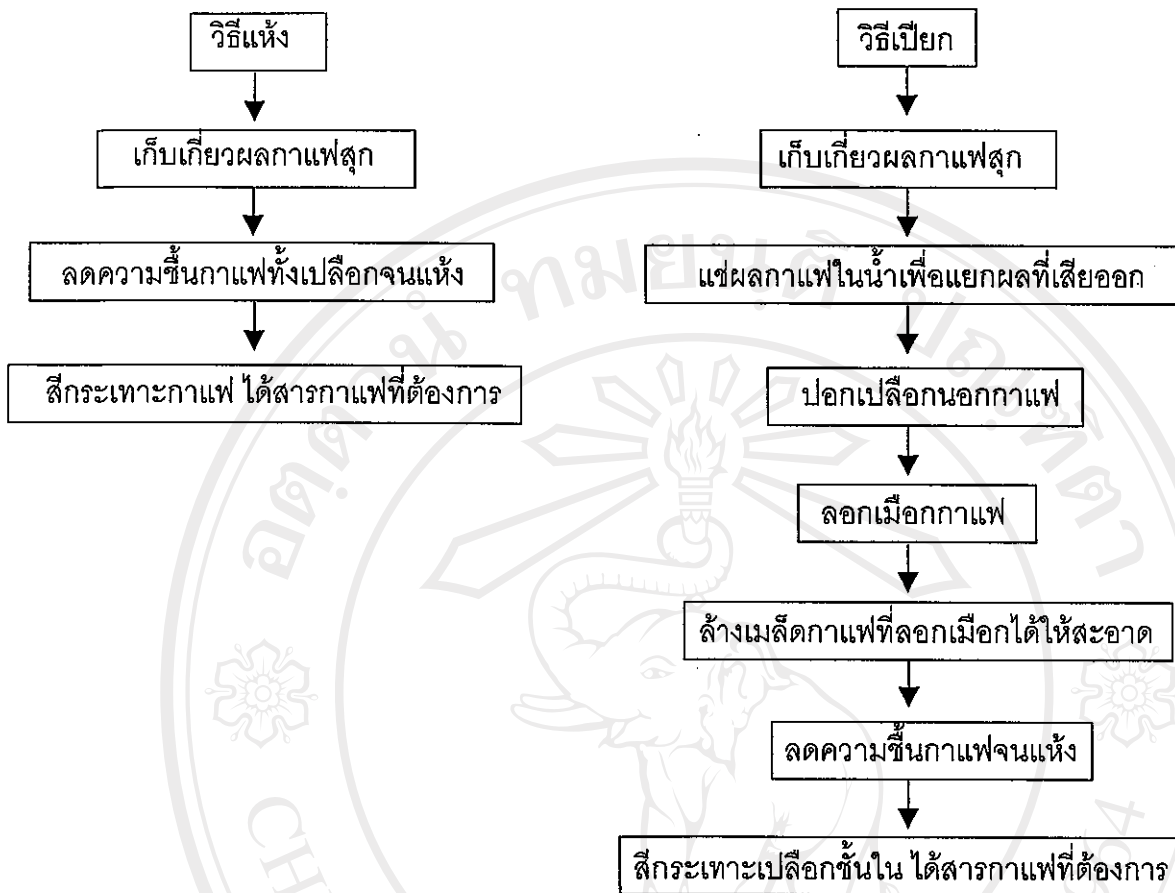
2.4 การล้างเมล็ดกาแฟ (washing) กาแฟกะลาที่ผ่านการหมักแล้วควรล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปตากแดดให้แห้ง การใช้น้ำเย็นจะล้างเมือกออกได้ช้ากว่าและใช้น้ำมากกว่าน้ำอุ่น (น้ำ อุ่นหมายถึงน้ำที่มีอุณหภูมิพอจะจุ่มมือลงไปได้สักครู่)

2.5 การแช่เมล็ดกาแฟในน้ำ (water soaking) ในพื้นที่ที่มีน้ำอย่างเพียงพอและมีถึงขนาด ใหญ่อยู่แล้ว จะทำการแช่กาแฟกะลาที่ล้างเมือกออกแล้วในน้ำอีกประมาณ 12 ชั่วโมง ก่อนการนำ ออกตากแดด วิธีดังกล่าวนี้สามารถทำให้เมล็ดกาแฟมีสีสวยและมีรสชาติดี

2.6 การทำให้แห้ง (drying) ส่วนมากใช้การตากแดดให้ความชื้นลดลงพอเหมาะกับการ นำไปเก็บเพื่อนำส่งขายหรือนำไปคั่วต่อไป วิธีการทำให้แห้งที่เหมาะสมจะทำให้สารกาแฟมีสีสวย และคุณภาพดี การทำให้แห้งจนสารกาแฟแห้งมากเกินไปหรือแห้งไม่พอย่อมจะทำให้สารกาแฟที่ ได้มีคุณภาพต่ำ

2.7 การสีกาแฟกะลา เป็นการนำเอากาแฟกะลาไปสีเพื่อกำจัดกะลาออกไปโดยใช้เครื่องสี (huller) หรือถ้าไม่มีอาจใช้วิธีตำด้วยครกก็ได้ การสีต้องให้กาแฟแห้งจริงๆ มิฉะนั้นเมล็ดจะแตก หรือแบน เกรดหรือขนาดสารกาแฟจะตกต่ำลง ลักษณะของสารกาแฟที่ดี เมล็ดต้องสมบูรณ์มีสี เขียวอมฟ้าและมีความชื้นประมาณ 11 – 12 เปอร์เซ็นต์

## ขั้นตอนการผลิตสารกาแพ



FAO (2001) รายงานว่าเมือกกาแพคือส่วนประกอบหนึ่งของผลกาแพที่มีลักษณะเป็นเจลใสไม่ละลายน้ำ เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อยและมีลักษณะเป็นยางเหนียว มีความหนาประมาณ 0.5-2 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับชนิดและความสุกแก่ของผลกาแพ ด้วยความเหนียวตามธรรมชาติทำให้ต้องประยุกต์ใช้แรงกดเฉือนเพิ่มเข้าไปอย่างเพียงพอเพื่อให้เมือกหลุดออกจากเมล็ด เมล็ดกาแพที่ลอกเปลือกและเมือกออกแล้ว จะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 45% ของน้ำหนักทั้งหมดที่ความชื้นของเมล็ด 50% หลังจากทำการลอกเมือกออกแล้วด้วยวิธีใช้การหมักธรรมชาติ ใช้สารเคมี หรือใช้เครื่องจักรกล เมล็ดกาแพที่ได้จะถูกนำมาล้างทำความสะอาดเพื่อทำการลดความชื้นในลำดับต่อไป (Braham and Bressani ,1979)

Silvetz and Desrosier (1979) ได้ศึกษาพบว่าเมือกกาแพประกอบด้วยน้ำประมาณ 85% และของแข็งประมาณ 15% ในรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำเป็น Colloidal hydrogel ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อผลกาแพใกล้สุก ส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วยกรด Pectinic 80% (12% ของเมือกกาแพ) และน้ำตาล 20%(3% ของเมือกกาแพ) กรด Pectinic มีโครงสร้างเป็นห่วงโซ่ linear polymerized โดยส่วนใหญ่มาจากน้ำตาล Hexose hydroxyl และส่วนย่อยจากน้ำตาล Galactose และน้ำตาลอื่นๆ

กรด Pectinic สามารถแบ่งได้ตามน้ำหนักของโมเลกุลเป็น กรด Protopectins, กรด Pectin และ กรด Pectic ตามลำดับ ในระหว่างการเจริญเติบโตของผลกาแฟ กรด Pectinic น้ำตาลและ เอนไซม์ต่างๆเช่น Protopectinase, Pectinase, Pectinesterase และ Pectase จะถูกสร้างขึ้นใน เปลือกและเมือกกาแฟ ถ้าผลกาแฟไม่ได้ถูกเก็บเกี่ยวเมื่อสุก มันจะร่วงหล่นลงบนพื้นและแห้งในที่ สูด เอนไซม์เหล่านี้จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหมักของเมือกกาแฟ จนกระทั่งเมือกกาแฟเกิดการ แตกออกและเปลี่ยนสภาพจาก Hydrogel เป็น Hydrosol ซึ่งต่อมาเมือกที่ถูกย่อยแล้วจะกลายเป็น อาหารสำหรับขบวนการเผาผลาญสารอาหารของเมล็ดต่อไป

Silvetz and Desrosier (1979) รายงานว่ากาแฟอาราบิก้ามีความแตกต่างจากกาแฟโร บัสต้าหลายด้านเช่น

- ด้านสภาพพื้นที่ปลูก กาแฟอาราบิก้าต้องปลูกในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 800 เมตรขึ้นไป ส่วนกาแฟโรบัสต้าสามารถปลูกได้ในสภาพพื้นที่ต่ำกว่านี้ได้
- ด้านสภาพภูมิอากาศ กาแฟโรบัสต้าสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดี ที่อุณหภูมิ ระหว่าง 25-32 °C ในขณะที่กาแฟอาราบิก้าต้องปลูกในพื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า
- ด้านปริมาณคาเฟอีน กาแฟโรบัสต้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณ 2-4.5 % โดยน้ำ หนัก สูงกว่ากาแฟอาราบิก้าซึ่งมีประมาณ 1.1-1.7 % โดยน้ำหนัก
- ด้านคุณภาพสารกาแฟ กาแฟโรบัสต้าจะมีขนาดเมล็ดเล็กกว่ากาแฟอาราบิก้า และเมื่อ ผลิตเป็นสารกาแฟแล้ว จะมีคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติดีด้อยกว่ากาแฟอาราบิก้า

### 2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการลอกเมือกกาแฟอาราบิก้า

สมศักดิ์ (2540) ได้รายงานว่าการหมักธรรมชาติเพื่อเอาเมือกออกสำหรับกาแฟแต่ละชนิด จะใช้เวลาไม่เท่ากัน กาแฟอาราบิก้าจะใช้เวลาประมาณ 24-36 ชั่วโมง ส่วนกาแฟโรบัสต้าจะมี เมือกหนาและเหนียวกว่าจะใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง สุขน และพงษ์ศักดิ์ (2543) รายงานเพิ่ม เต็มว่าการหมักกาแฟจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเอนไซม์และจุลินทรีย์ 4 ขั้นตอนได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 เอนไซม์ทำให้เกิดการสลายตัวของเมือกกาแฟในระยะเวลาการหมัก
- ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากยีสต์จะเกิดขึ้นในช่วงนี้
- ขั้นตอนที่ 3 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเชื้อรา
- ขั้นตอนที่ 4 บัคเตเรียจะเกิดขึ้นในช่วงนี้ อันเป็นช่วงที่มีการหมักนานเกินไปซึ่งทำให้สารกาแฟ เสื่อมคุณภาพใช้ไม่ได้

Clifford and Willson (1985) รายงานว่าในระหว่างกระบวนการหมักค่า pH ของกาแฟจะ เปลี่ยนไป ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ ทำให้มีความเป็นกรดมากขึ้น

โดยค่า pH ของกาแฟในช่วงเริ่มต้นการหมักคือ 6.7-6.8 และจะลดลงเหลือ 4.2-4.5 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อกาแฟสามารถกำจัดออกได้หลายวิธีดังนี้

1. วิธีหมักธรรมชาติ เป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยนำกาแฟที่ปอกเปลือกออกแล้วใส่ในบ่อซีเมนต์หรือถังพลาสติกซึ่งมีทางระบายน้ำด้านล่าง ใส่ผลกาแฟประมาณ  $\frac{3}{4}$  ของถัง ใส่น้ำพอท่วมเพื่อแช่เมล็ดกาแฟ คลุมถังด้วยผ้าพลาสติกหรือผ้าใบ เอนไซม์ภายในผลกาแฟและจุลินทรีย์ภายนอกจะช่วยย่อยเมือกหุ้มเมล็ดกาแฟออกภายในเวลา 36-72 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะของเมล็ดกาแฟ การหมักนี้ควรระวังไม่ให้ระยะเวลาานเกินควรเพราะจะทำให้คุณภาพของกาแฟเสียไป เมล็ดกาแฟที่ได้รับการหมักอย่างถูกต้องแล้วเมือกที่หุ้มจะหลุดออกโดยง่าย เมื่อเมือกที่หุ้มเมล็ดกาแฟหลุดออกจากเมล็ดแล้วควรจะทำกรล้างและขัดเมือกด้วยมือในน้ำทันทีโดยใช้น้ำล้าง 3-4 ครั้ง ก่อนนำออกตากแดดต่อไป (พงษ์ศักดิ์และบัณฑิต, 2542)

2. วิธีใช้โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH) การกำจัดเมือกที่หุ้มเมล็ดกาแฟโดยการใส่สารละลายนี้จะใช้เวลาเพียง 1 ถึง 2 ชั่วโมง ทำได้โดยนำเมล็ดกาแฟมาใส่ลงในถังขนาดใหญ่ แล้วคราดเกลี่ยหรือกวนด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า "gorumanes" ซึ่งมีลักษณะคล้ายทัพพีทำด้วยไม้ นำสารละลายที่มีส่วนผสมของโซดาไฟ 10% ใส่ลงไปในขณะที่ทำการกวนเมล็ดกาแฟ เมือกที่หุ้มรอบเมล็ดกาแฟจะถูกกำจัดโดยการสัมผัสหรือเกิดปฏิกิริยากับสารละลายนี้ การกวนหรือเหยียบย่ำจะทำให้เมือกหลุดออกในที่สุดภายในเวลาครึ่งชั่วโมง เมื่อเมล็ดกาแฟไม่มีเมือกเหนียวและมีเสียงเสียดสีกันเนื่องจากความสากของกะลา ควรล้างด้วยน้ำสะอาด 3 - 4 ครั้ง (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต, 2542) อย่างไรก็ตาม Silvetz and Desrosier (1979) ได้รายงานว่า การใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการลอกเมือกกาแฟนั้นอาจทำให้คุณภาพของสารกาแฟที่ได้ต่ำลงแม้จะมีการล้างกาแฟด้วยน้ำสะอาดแล้วก็ตาม และได้เสนอให้เพิ่มกระบวนการในขั้นที่สองคือ การแช่เมล็ดกาแฟที่ลอกเมือกแล้วในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปลดความชื้นเพื่อให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ดีขึ้น

3. วิธีใช้แรงเสียดทาน เครื่องปอกเปลือกกาแฟแบบใช้น้ำที่เรียกว่า Aquapulper สามารถปอกเปลือกและกำจัดเมือกของเมล็ดกาแฟในเวลาเดียวกัน เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับการปอกเปลือกและกำจัดเมือกกาแฟโรบัสต้า ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นคืออาจทำให้กะลาชั้นในเสียหายหรือทำให้เกิดแผลบนสารกาแฟได้ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต, 2542)

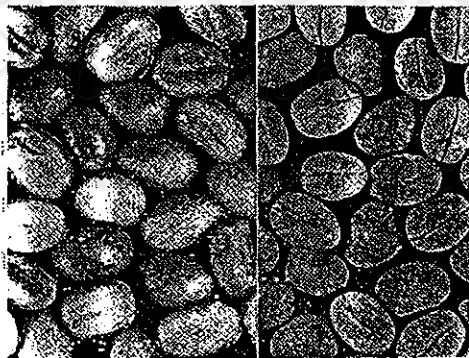
4. วิธีเพิ่มเอนไซม์ เป็นวิธีการเร่งในการย่อยสลายเมือกกาแฟโดยใช้ Pectic enzymes ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ Pectase, Protopectinase, Pectinase และ Pectinesterase การเพิ่มเอนไซม์ลงในบ่อหมัก เมื่อใช้ปริมาณมากๆ จะสามารถย่อยสลายเมือกกาแฟได้ในเวลาที่รวดเร็ว

เร็ว แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของค่าใช้จ่ายแล้ว ควรจะใช้เอนไซม์ในปริมาณน้อยๆ ที่อุณหภูมิอากาศปกติ ซึ่งสามารถย่อยเมือกกาแฟได้ในเวลา 5 – 8 ชั่วโมง (Silvetz and Desrosier, 1979)

5. วิธีใช้น้ำอุ่น การใช้น้ำอุ่นเป็นวิธีการลอกเมือกกาแฟที่เร็วและง่าย โดยการให้ความร้อนแก่น้ำที่หมักกาแฟที่อุณหภูมิ  $122^{\circ}\text{F}$  ( $50^{\circ}\text{C}$ )  $\pm$   $37.4^{\circ}\text{F}$  ( $3^{\circ}\text{C}$ ) น้ำอุ่นสามารถทำลายโครงสร้างของเมือกกาแฟได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มในด้านเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่น้ำ และถ้าให้ความร้อนมากเกินไปจะมีผลทำให้เอนไซม์ต่างๆ ที่ทำการย่อยสลายเมือกถูกทำลายได้ (Silvetz and Desrosier, 1979; Frederick, 1961)

เมล็ดกาแฟที่ลอกเมือกแล้วเปรียบเทียบกับเมล็ดกาแฟที่มีเมือกหุ้มอยู่แสดงไว้ในรูป 2.3 Silvetz and Desrosier (1979) ได้ศึกษาพบว่าการหมักโดยใช้เวลาที่สั้นลงจะสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของสารกาแฟได้ (การหมักแบบธรรมชาติจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก 2 – 5 % ของน้ำหนักแห้งใน 48 ชั่วโมง) ซึ่งจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่ลดลงอย่างมากในขบวนการผลิตสารกาแฟขั้นพิเศษ

กรมวิชาการเกษตร (2544) ได้รายงานผลการศึกษามีการทดลองโดยการหมักแบบไม่ใส่น้ำ, ใส่น้ำ 400 มล./กก. Pulped coffee, ใช้สารเคมี NaOH 10% ที่ปริมาณต่างๆ และใช้ Pectinase enzymes ที่ความเข้มข้นและปริมาณต่างๆ ในการหมักกาแฟโรบัสต้า พบว่าการหมักด้วย Pectinase enzymes ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm 250 มล./กก. Pulped coffee ใช้เวลาน้อยที่สุด แต่มีต้นทุนสูงสุด ส่วนการหมักแบบไม่ใส่น้ำและแบบใส่น้ำ 400 มล./กก. Pulped coffee นั้นใช้เวลาในการหมักนานที่สุดถึง 24 ชั่วโมง ในขณะที่คุณภาพและรสชาติของทุกการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษาของพงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต (2542) ที่ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของสารกาแฟที่ผ่านการกำจัดเมือกด้วยวิธีหมักธรรมชาติและวิธีการย่นระยะเวลาการหมักเมล็ดกาแฟแบบต่างๆ นั้น พบว่าเมื่อทดลองชิมกาแฟแล้วไม่มีความแตกต่างกันในรสชาติและคุณภาพของกาแฟ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าวิธีการย่นระยะเวลาการหมักให้สั้นลง เมล็ดกาแฟจะแห้งเร็วกว่าวิธีการในแบบหมักธรรมชาติ

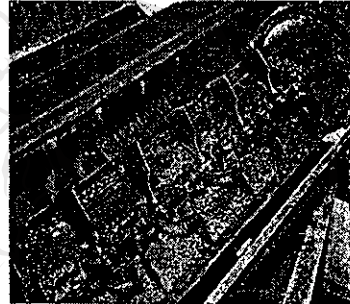
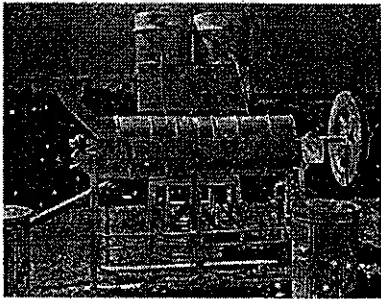


รูปที่ 2.3 กาแฟอาราบิก้าที่มีเมือกหุ้มอยู่และกาแฟอาราบิก้าที่ทำการลอกเมือกแล้ว

### 2.1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องลอกเมือกกาแฟ

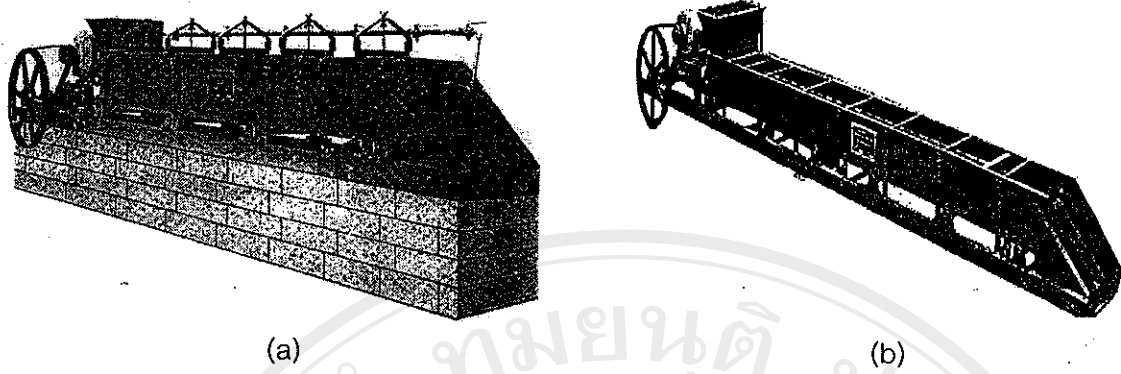
Silvezt and Desrosier (1979) ได้รายงานว่ามีการพัฒนาเครื่องจักรกลนำมาใช้ในขบวนการผลิตสารกาแฟเพื่อประหยัดเวลาและแรงงาน รวมทั้งควบคุมคุณภาพในการผลิตสารกาแฟ

- Cafepro เป็นเครื่องที่ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1953 วิธีการทำงานคือป้อนกาแฟที่ปอกเปลือกแล้วเข้าเครื่องโดยผสมกับสารเคมีที่ป้อนเข้าไปจากถังพัก ภายในเครื่องจะมีใบสกรูทำหน้าที่คลุกเคล้าเมล็ดกาแฟและสารเคมีเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการย่อยสลายเมือกและทำหน้าที่ลำเลียงเมล็ดกาแฟออกจากเครื่อง ที่ปลายทางออกจะมีน้ำฉีดล้างทำความสะอาดเมล็ดกาแฟก่อนออกจากเครื่อง ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 สารเคมีที่ใช้คือ Calcium hydroxide หรือ Sodium carbonate หรือส่วนผสมระหว่าง Sodium และ Potassium hydroxide



รูปที่ 2.4 เครื่องลอกเมือกกาแฟแบบ Cafepro

- Hess Washer เป็นเครื่องอีกแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้ความดันและต้นกำลังต่ำ ทำงานด้วยหลักการให้เมล็ดเกิดการขัดสีกัน ลักษณะของเครื่องเป็นรางยาวขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางฟุต ยาว 10 ฟุต กาแฟเคลื่อนที่ได้โดยการสั่นของรางทำให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และมีแผ่นครีบกั้นอยู่เพื่อให้เมล็ดเกิดการขัดสี พื้นของรางเป็นตะแกรงสำหรับให้น้ำและเมือกกาแฟไหลออกไป เมล็ดกาแฟที่ลอกเมือกแล้วจะถูกพาออกที่ปลายเครื่อง อีกลักษณะหนึ่งคือแบบ Twin screw conveyors ซึ่งประยุกต์นำมาแทนแผ่นครีบทำหน้าที่คลุกเคล้าเมล็ดกาแฟ กาแฟจะเคลื่อนที่โดยสกรูใบที่หนึ่งและเคลื่อนที่กลับทิศทางโดยสกรูใบที่สอง ทำให้เกิดการขัดสีก่อนจะออกจากเครื่องที่ปลายทางออก เครื่องลอกเมือกกาแฟ Hess Washer ทั้งสองชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

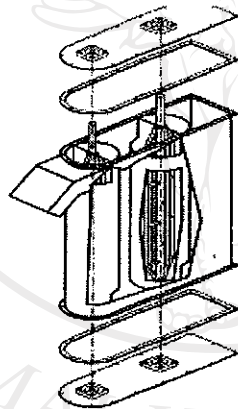


(a)

(b)

รูปที่ 2.5 เครื่องลอกเมือกกาแฟ Hess Washer ชนิด Standard type (a)  
และ Twin screw type (b)

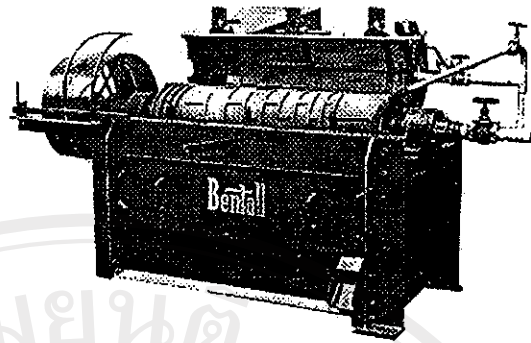
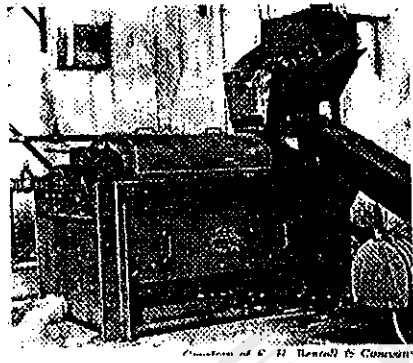
- Haes Washer เป็นเครื่องอีกแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ประกอบด้วยห้องมีรูปร่างทรงกระบอก 2 ห้อง เมล็ดจะถูกป้อนเข้าเครื่องพร้อมน้ำ และน้ำเป็นตัวพาให้เมล็ดกาแฟเคลื่อนที่จนกระทั่งออกจากเครื่องไป แต่ละห้องมีเพลลาติดครีบบอยู่ทำหน้าที่กวนน้ำให้หมุนเพื่อให้เมล็ดกาแฟเกิดการขัดสีกันดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องลอกเมือกกาแฟแบบ Haes Washer

Haarer (1962) ได้รายงานที่ Aquapulper เป็นเครื่องที่สามารถสีเปลือกและเมือกได้ในเวลาเดียวกันโดยใช้หลักการให้เกิดความเสียดทาน ภายในเครื่องมีแกนทรงกระบอกหมุนอยู่ทำหน้าที่คลุกเคล้าเมล็ดกาแฟที่ป้อนเข้ามาและมีน้ำสำหรับหล่อลื่น โดยเมล็ดที่สีเปลือกและเมือกจะถูกลำเลียงออกอีกด้านหนึ่งของเครื่อง ที่ผนังของเครื่องจะเป็นแผ่นตะแกรงเพื่อปล่อยให้เศษเปลือกและเมือกรวมทั้งน้ำไหลออกทางด้านล่าง เครื่องแบบนี้เหมาะใช้สำหรับกาแฟที่ไม่ต้องการคุณภาพสูงมากนักเช่น กาแฟโรบัสต้า ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องแบบนี้คือ กะลาชั้นในอาจเสียหายหรือเกิดบาดแผลบนสารกาแฟ ซึ่งแก้ไขได้โดยการปรับระยะห่างระหว่างกาแฟกับผนังและมีการแบ่งขนาดของผลกาแฟก่อนเข้าเครื่อง (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต, 2542) แสดงไว้ในรูปที่ 2.7





รูปที่ 2.7 เครื่องลอกเปลือกกาแฟแบบ Aquapulper

Avallone and Guiraud (2000) รายงานว่าได้ทำการทดลองนำเปลือกกาแฟจากการใช้มีด ปลายแหลมลอกออกเปรียบเทียบกับเปลือกกาแฟที่ได้จากเครื่องจักรกล และนำไปเปรียบเทียบในห้องทดลองสิ่งแวดล้อมเดียวกัน พบว่าเปลือกกาแฟที่ได้จากทั้ง 2 ชุดการทดลองมีคุณสมบัติและ ส่วนประกอบต่างๆของเมือกไม่แตกต่างกัน

#### 2.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเมือกกาแฟไปใช้ประโยชน์

Webber and Auth (1998) รายงานว่า Polysaccharides คือส่วนประกอบทางชีววิทยาที่มีโมเลกุลเชิงซ้อนเกิดจากการต่ออนุของน้ำตาล Monomers ซึ่งสามารถสกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ ทั้งบนบกและในน้ำ หรือเกิดจากขบวนการเผาผลาญสารอาหารภายนอกของแบคทีเรียบางชนิด Polysaccharides ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปร่างเหนียวหรือเมือก ซึ่งมีส่วนสำคัญในขบวนการเผาผลาญสารอาหารของพืช อีกหน้าที่หนึ่งคือมันจะรวมตัวกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงในฤดูหนาวและแห้งแล้ง โดยใช้คุณสมบัติการดูดซึมน้ำ Polysaccharides สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น ทางอุตสาหกรรมด้านโพลีเมอร์ เม็ดพลาสติก อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ทางวิทยาศาสตร์และทางการแพทย์ เป็นต้น เนื่องจาก Polysaccharides มีโครงสร้างเชิงซ้อนที่สร้างมาจากน้ำตาล ดังนั้นจึงให้รสหวานออกมาและยังให้คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความหนืด (viscosity) ซึ่งสามารถนำไปใช้ งานอื่นๆได้อีกเช่น เพิ่มแรงตึงผิวในหน้าขนมปัง เพิ่มความหวานในน้ำเชื่อม เป็นต้น Polysaccharides มีหลายรูปแบบและมีส่วนผสมไม่เหมือนกัน บางชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 80-95% พบในผลไม้ประเภทหัวหอม, แอปเปิ้ล, ส้ม, แดงโม, แดงกวา เป็นต้น บางชนิดประกอบด้วยน้ำ ในสัดส่วนที่น้อยลงพบในผลไม้ประเภทที่มีเนื้อเป็นเจลหรือวุ้น (Fruit jelly) ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบเพียง 35-50% แต่ Polysaccharides ไม่ได้ให้ประโยชน์กับมนุษย์เสมอไป ใน Carrageenans ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอาจทำให้เกิดสารพิษได้ หรือในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล การ

ตกผลึกที่มีประสิทธิภาพต่ำและการเกิดกลิ่นเน่าเหม็นของชั้นกรองอาจเป็นปัญหาที่เกิดจาก Dextran

มีรายงานจากสมาคมพฤกษชาติแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (2519) ว่าเปลือกและเมือกของกาแฟรวมทั้งเปลือกแข็งที่เหลือจากการสีกาแฟจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยนำไปผลิตเป็นปุ๋ยพืชสดคลุมโคนต้นกาแฟ เปลือกและเมือกกาแฟยังคงมีปริมาณคาเฟอีนอยู่บ้างอาจนำมาตากแห้งและคั่วบด สามารถนำมาชงรับประทานแทนกาแฟในยามขาดแคลนได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์เช่น สัตว์เคี้ยวเอื้อง, สัตว์ปีก, หมู, ปลา เป็นต้น รวมทั้งมีนักวิจัยพยายามสกัด Pectic enzymes จากเมือกกาแฟมาใช้ประโยชน์ โดยนำเมือกกาแฟมาสกัดด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ได้ Pectic enzymes ที่บริสุทธิ์ และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำได้ Pectic enzymes ประมาณ 17 กรัมต่อเมือกกาแฟ 100 กรัม และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อไป (Braham and Bressani, 1979)

#### 2.1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพสารกาแฟด้วยวิธีการชิม (cup test)

พงษ์ศักดิ์ และบุญชูชัย (2542) รายงานว่าการทดสอบคุณภาพกาแฟโดยการชิม เป็นวิธีการที่ใช้ตรวจสอบหรือประเมินคุณภาพกาแฟที่มีการตี๋มในด้าน ความกลมกล่อม กลิ่นหอม ความขม ฯลฯ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกาแฟที่ผลิตได้ การประเมินคุณภาพของกาแฟด้วยวิธีการชิมนี้ มักจะกระทำโดยกลุ่มนักชิมผู้ซึ่งมีประสบการณ์ ผู้ที่จะเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพกาแฟนั้น จะต้องเป็นผู้ที่ได้รับการฝึกฝนจะกระทำทั้งมีความชำนาญสามารถบอกความแตกต่างของกลิ่นและรสชาติของกาแฟชนิดต่างๆ ได้ ปัจจุบันในวงการค้ำกาแฟอาราบิก้าของประเทศไทย นอกจากจะพิจารณาคุณภาพสารกาแฟจากลักษณะภายนอกแล้ว (สีของสารกาแฟ ขนาดของสารกาแฟ ร้อยละของความชื้นและสิ่งเจือปน) ยังได้ให้ความสนใจต่อคุณภาพภายในของสารกาแฟเป็นสำคัญด้วย ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการพัฒนาการผลิตกาแฟอาราบิก้าของไทยให้มีคุณภาพ อาจทำให้ต้องมีการกำหนดหรือเลือกพื้นที่ในการผลิต การดูแลรักษา การให้น้ำ ปุ๋ยและสารเคมี ตลอดจนพัฒนาขบวนการในการทำสารกาแฟ เพื่อให้ได้กาแฟที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดผู้บริโภค การเตรียมวิเคราะห์คุณภาพสารกาแฟด้วยวิธีการชิมแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 โดยมีขั้นตอนคร่าว ๆ ดังนี้

1. ใช้กาแฟคั่วและบด ชนิดละประมาณ 2 ช้อนโต๊ะ (10-15 กรัม) ใส่ในถ้วย เพื่อผลที่ถูกต้องในการเปรียบเทียบ ควรทำการทดสอบโดยใช้กาแฟอย่างน้อย 3 ชนิดขึ้นไป
2. ใช้น้ำที่มีอุณหภูมิห้อง 25°C นำมาต้มให้เดือด 100°C ปล่อยให้เย็นให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 95°C
3. นำน้ำร้อนมาชงกับกาแฟในถ้วย (200-250 มิลลิลิตร)

4. สูดกลิ่นไอของกาแฟทางจมูก แล้วบันทึกความแตกต่างของกาแฟชนิดต่างๆ ไว้
5. ปลดปล่อยให้กาแฟเย็นลงสักครู่หนึ่งพอที่จะชิมได้
6. ใช้ช้อนตักกาแฟในถ้วย แล้วสูดเข้าปากพร้อมๆ กับการสูดกลิ่นกาแฟเข้าทางจมูกด้วย
7. กลั้วกาแฟให้กระจายไปทั่วปาก เพื่อให้กาแฟได้สัมผัสกับทุกส่วนภายในปาก เนื่องจากบริเวณต่างๆ ของลิ้นจะรับรสชาติได้ต่างกัน เช่น ด้านโคนลิ้นจะรับความขม ด้านปลายลิ้นจะรับความเปรี้ยวของกาแฟ การวิเคราะห์รสชาติที่ชัดเจนจะเป็นการสูดกาแฟครั้งที่ 2 เนื่องจากครั้งแรกนั้นเป็นการทำให้พื้นที่ต่างๆ ในปากได้สัมผัสกับกาแฟเสียก่อน
8. บ้วนกาแฟทิ้งหลังจากการกลั้วกาแฟในปากเรียบร้อยแล้ว
9. บันทึกความแตกต่างของรสชาติกาแฟตามความรู้สึก
10. การชิมกาแฟควรทำในช่วงที่ว่างจากการบริโภคอาหาร เช่น ในตอนเช้าประมาณ 10.00 น. เพราะความสามารถในการรับรสชาติจะชัดเจนกว่าภายหลังจากที่บริโภคอาหาร ซึ่งอาจมีรสชาติที่เข้มข้นจากสารประกอบเครื่องเทศ เครื่องปรุงอาหารต่าง ๆ



รูปที่ 2.8 การเตรียมวิเคราะห์คุณภาพสารกาแฟด้วยวิธีการชิม (cup test)

#### 2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม

Coffee Research Institute (2001) รายงานว่าการผลิตสารกาแฟแบบวิธีเปียก (Wet method) เป็นวิธีการผลิตสารกาแฟที่ดีทำให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพและราคาสูงกว่าวิธีแห้ง (Dry method) แต่การผลิตแบบวิธีนี้มีขั้นตอนมากกว่า ต้องมีน้ำใช้ในกระบวนการผลิตและการทำความสะอาดอย่างเพียงพอ รวมทั้งมีความต้องการใช้อุปกรณ์เฉพาะในกระบวนการผลิตด้วย EDE Consulting for Coffee (2001) รายงานว่าแม้การผลิตสารกาแฟวิธีนี้เป็นวิธีที่ดีแต่หากไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อันเนื่องมาจากน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง ดังนั้นในฤดูกาลผลิตจำเป็นต้องมีการวัดคุณภาพน้ำทิ้งจากขบวนการ

ผลิต รวมทั้งน้ำจากการล้างเมล็ดกาแฟหลังจากปอกเปลือกและเมื่อกาแฟแล้ว ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมเกิดจากหลายสาเหตุดังนี้

- น้ำทิ้งจากขั้นตอนการขนส่งเศษเปลือกและเมื่อกาแฟจากบ่อหมัก รวมทั้งผลกาแฟดิบและเสีย ซึ่งเป็นผลให้คุณภาพของน้ำลดลงจากเศษวัสดุที่แขวนลอยอยู่และที่ละลายในน้ำ
- กระบวนการผลิตมีการใช้น้ำมาก เมื่อปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองจะทำให้เกิดน้ำเสียในวงกว้าง
- การตกค้างของเศษเปลือกและเมื่อกในบริเวณที่ผลิตสารกาแฟทำให้เกิดการเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็นรบกวน

พิมล และชัยวัฒน์ (2539) รายงานว่าคุณภาพน้ำ (water quality) มีความหมายที่กว้างขวางมากและใช้แตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของความต้องการใช้น้ำอีกด้วยว่าใช้ในการอุปโภคบริโภค การเกษตรหรือการอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามเราอาจกล่าวโดยทั่วไปถึงลักษณะที่สำคัญของน้ำซึ่งใช้ในการพิจารณาคุณภาพของน้ำ โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการตรวจวิเคราะห์น้ำที่จะใช้ในการอุปโภคบริโภคหรือใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม ลักษณะที่สำคัญของน้ำจำแนกออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

### 1. ลักษณะทางกายภาพ

1.1 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเคมี มีผลต่อการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และมีผลต่อกลิ่นและรสของน้ำ

1.2 กลิ่นและรส (Odor and Tastes) ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งปฏิกูลที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยมากเป็นสารอินทรีย์ เช่น ฟีนอลและคลอโรฟีนอล

1.3 สี (Color) สีของน้ำที่แท้จริงเกิดจากสารที่ละลายอยู่หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำ

1.4 ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำมักเกิดจากโคลนตม น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำที่มีแบคทีเรียอยู่เป็นปริมาณมาก

1.5 ของแข็ง (Solids) ของแข็งที่ปนอยู่อาจอยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือสารละลายก็ได้ ซึ่งเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ สิทธิชัย (2541) ได้รายงานสรุปว่าสิ่งที่อยู่ในน้ำอาจจำแนกออกเป็นของแข็งรูปต่างๆได้ดังนี้

1.5.1 Suspended Solids (SS) หมายถึงตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งสามารถมองเห็นได้ ในทางปฏิบัติหมายถึงของแข็งที่ติดค้างอยู่บนกระดาษกรองที่มีรูขนาด 0.45 ไมครอน

1.5.2 Total Dissolved Solids (TDS) หมายถึงของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในทางปฏิบัติหมายถึงของแข็งที่สามารถทะลุผ่านกระดาษกรองที่มีรูขนาดประมาณ 0.45-1.2 ไมครอน แต่ TDS จะไม่รวมถึงก๊าซชนิดต่าง ๆ

1.5.3 Total Solids (TS) หมายถึงสารทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็น เมื่อระเหยน้ำออกจากถ้วย สิ่งที่ยังเหลืออยู่คือของแข็งทั้งหมด นั่นคือ TS เป็นผลรวมของ SS และ TDS

1.5.4 Total Volatile Solids (TVS) หมายถึงของแข็งทั้งหมดที่กลายเป็นไอได้ เมื่อนำของแข็งทั้งหมด (หลังจากระเหยน้ำออกหมดแล้ว) มาเผาที่อุณหภูมิ  $550^{\circ}\text{C}$

1.5.5 Dissolved Volatile Solids (DVS) หมายถึง TDS ที่ระเหยกลายเป็นไอได้

1.5.6 Volatile Suspended Solids (VSS) หมายถึง SS ที่ระเหยกลายเป็นไอได้

1.6 การนำไฟฟ้า (Conductivity) การนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้นอยู่กับปริมาณสารอนินทรีย์ เช่น เกลือแร่ต่างๆที่ละลายอยู่ โดยการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับ TDS

## 2. ลักษณะทางเคมี

2.1 ค่า pH ของน้ำที่มีความเป็นกรดหรือเบสสูงมักใช้ประโยชน์ได้น้อย ช่วง pH ของน้ำที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6-8 (น้ำดื่มควรมีช่วง pH ระหว่าง 6.8-7.3)

2.2 สภาพเบส (Alkalinity) น้ำที่มีสภาพเบสสูงมีประโยชน์ต่อน้ำธรรมชาติและน้ำทิ้ง เพราะทำหน้าที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH สภาพเบสแบ่งออกเป็น total alkalinity เมื่อ pH มากกว่า 4.5 และ caustic alkalinity เมื่อ pH มากกว่า 8.2

2.3 สภาพกรด (Acidity) น้ำธรรมชาติและน้ำทิ้งจากชุมชน ส่วนใหญ่มักมีสภาพเป็นกรดอันเนื่องมาจาก  $\text{CO}_2$  ที่ละลายในน้ำ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5

2.4 ความกระด้าง (Hardness) เป็นสภาพที่น้ำไม่เกิดฟองสบู่และทำให้เกิดตะกอนเมื่อต้มน้ำ ความกระด้างเกิดจากอิออนของโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพและเกิดข้อเสียในแง่ของเศรษฐกิจ เช่น ต้องใช้สบู่ในการชำระล้างมากขึ้นและต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงมากขึ้นในการต้มน้ำ

2.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมักมี DO อยู่ประมาณ 5-7 ppm ออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนจะละลายได้ลดลง

2.6 ความต้องการออกซิเจน (Oxygen demand) สารอินทรีย์ในน้ำมักไม่เสถียร เพราะอาจถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียหรือทางเคมีไปเป็นสารหรืออิออนที่เสถียรกว่า น้ำธรรมชาติหรือน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่น้อยเพียงไร้มักใช้ค่าความต้องการออกซิเจนนี้เป็นดัชนีวัด ความต้องการออกซิเจนแบ่งออกได้ดังนี้

2.6.1 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical oxygen demand,

BOD) เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจน ซึ่งใช้โดยแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ พระราชบัญญัติน้ำทิ้งอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่น้ำลำคลองต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 ppm

### 2.6.2 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand, COD)

เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำโดยการออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในสารละลายของกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ )

### 2.6.3 ค่าเปอร์แมงกาเนต (Permanganate value, PV) เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณ

สารอินทรีย์ที่มีในน้ำ โดยการออกซิไดซ์ด้วยวิธีใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) ตามปกติ

ค่าความต้องการออกซิเจน (DO) จะเรียงลำดับ จากน้อยไปมากดังนี้

$$PV < BOD < COD$$

### สารมลพิษทางน้ำ (Water Pollutants)

สารมลพิษทางน้ำ อาจแบ่งได้กว้างๆ เป็น 3 ประเภท คือ สารมลพิษทางเคมี ทางชีววิทยา และทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสารมลพิษทางน้ำ

<u>สารมลพิษทางเคมี</u>	<u>สารมลพิษทางชีววิทยา</u>	<u>สารมลพิษทางกายภาพ</u>
กรด	แบคทีเรีย	ความร้อน
เบส	ไวรัส	สี
เกลือ	เชื้อโรคต่างๆ	กลิ่น
ยาฆ่าแมลง	สาหร่าย	สารกัมมันตรังสี
ผงซักฟอก	อุจจาระ - ปัสสาวะ	สารแขวนลอย
อ็อกซิเจนของโลหะหนัก	ลิกนิน	กรวด - ทูร่า
ฟีนอล		
สารอินทรีย์		

รายละเอียดเกี่ยวกับสารมลพิษในน้ำอาจพิจารณาได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. สิ่งที่ทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บ ได้แก่ ไวรัสและเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งปะปนอยู่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล รวมทั้งน้ำที่ออกมาจากท่อระบายน้ำ แหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

2. สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ ยาฆ่าแมลง สารเคมีที่ใช้ตามโรงงานต่างๆ ผงซักฟอก และสารอินทรีย์อื่นๆ ที่เป็นพิษภัยต่อคน สัตว์และพืช

3. สารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ เกลือของโลหะต่างๆ กรดและเบส แร่ธาตุต่าง ๆ ที่ปล่อยทิ้งออกจากเหมืองแร่ สารเคมีที่ออกมาจากโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตปิโตรเคมีคัล และที่เกี่ยวกับเกษตรกรรม เช่น ยากำจัดวัชพืชที่มีสารหนู ปรอท และตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

4. อาหารหลักของพืช ได้แก่ไนโตรเจนและฟอสเฟต เมื่อปะปนอยู่ในน้ำทิ้ง น้ำเสีย ที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือการชะล้างกิจกรรมทางเกษตร จะทำให้เกิดความไม่สมดุลในระบบนิเวศของพืชในน้ำ

5. ความร้อน น้ำร้อนที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในสิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิของน้ำธรรมชาติสูงขึ้น มีผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ความร้อนจึงก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้

6. กากเสียที่ต้องการออกซิเจน ได้แก่สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ยูเรีย ฯลฯ ซึ่งถูกย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียในน้ำ และต้องการใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำทำให้เกิดน้ำเน่ามีกลิ่นเหม็น กากของเสียเหล่านี้มักได้จากโรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ โรงงานสุราและเบียร์ รวมทั้งเศษอาหารและสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน

7. สารกัมมันตรังสี ได้แก่สารมลพิษที่ให้กัมมันตภาพรังสีออกมา ส่วนมากได้จากเหมืองแร่เชื้อเพลิงปรมาณู โรงงานไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

Mark (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่าแหล่งเกิดมลพิษทางน้ำที่สำคัญอาจกำหนดอย่างกว้าง ๆ ได้ 4 แหล่งดังนี้

1. มลพิษทางน้ำตามแหล่งชุมชนและแหล่งธุรกิจการค้า ได้แก่ น้ำทิ้งหรือน้ำที่ใช้แล้ว รวมทั้งสิ่งปฏิกูลและของเสียอื่นๆ จากแหล่งข้างต้น สามารถรวบรวมน้ำทิ้งเหล่านี้ไปยังจุดเดียวกัน เพื่อผ่านกระบวนการการแก้ไขหรือจำกัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่น้ำลำคลองหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ

2. มลพิษทางน้ำจากอุตสาหกรรม แนวโน้มการเกิดมักเป็นที่ที่มีอุตสาหกรรมมากหรือตามนิคมอุตสาหกรรม น้ำทิ้งส่วนใหญ่อยู่เฉพาะแห่งทำให้สะดวกต่อการรวบรวม กำจัดหรือแก้ไข

3. มลพิษทางน้ำในการเกษตร มีสาเหตุจากการใช้ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช ตลอดจนซากพืช ซากสัตว์และมูลสัตว์ ซึ่งกระจายออกไปบริเวณที่กว้างมากไม่สะดวกต่อการรวบรวม การป้องกันและการกำจัดจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยากกว่า 2 กรณีแรก

4. มลพิษทางน้ำจากการคมนาคมทางเรือ สารมลพิษที่สำคัญได้แก่ น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรกลเรือ การเกิดอุบัติเหตุของเรือขนส่งน้ำมันขนาดใหญ่ และกากของเสียจากคนที่อยู่บนเรือเหล่านั้น

สมทิพย์ และคณะ (2541) รายงานว่าผลกระทบของปัญหามลพิษทางน้ำมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน โดยสามารถจำแนกเป็น

1. ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์ ได้แก่การเกิดโรคต่างๆและผลต่อสุขภาพจิต เมื่อลำนํ้ามีคุณภาพเสื่อมโทรมลง มนุษย์ผู้ซึ่งใช้ประโยชน์จากลำนํ้านั้นอาจมีโอกาสเป็นโรคที่เกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น โรคบิด โรคอหิวาตกโรคและโรคผิวหนัง เป็นต้น รวมทั้งพืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำจะสะสมสารพิษไว้ เมื่อมนุษย์บริโภคพืชและสัตว์เหล่านี้เข้าไป ก็ทำให้ได้รับอันตรายได้ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของประชากรที่เสื่อมลง เพราะความเครียดอันเกิดจากกลิ่นและสภาพของลำนํ้าที่เสื่อมโทรม

2. ผลกระทบต่อระบบนิเวศชายฝั่งและทะเล การปล่อยน้ำเสียเป็นปริมาณมากๆ ลงสู่ทะเลชายฝั่งอย่างต่อเนื่องโดยไม่ควบคุมดูแลจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เพราะหากน้ำเสียเหล่านั้นมีสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะทำให้เกิดภาวะการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็วและรุนแรง ในบางครั้งอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Red Tides) ซึ่งเกิดขึ้นจากแพลงก์ตอนพวก Dinoflagellates เช่น *Pyrodinium bahamense* ที่มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว แพลงก์ตอนประเภทนี้เป็นพิษ เมื่อสิ่งมีชีวิตกินแพลงก์ตอนนี้เป็นอาหาร ก็ทำให้เป็นอันตรายต่อชีวิตได้ หรืออาจสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตและส่งผลร้ายต่อมนุษย์ โดยทำให้เกิดอาการท้องร่วง เป็นอัมพาตหรือถึงแก่ชีวิตได้ นอกจากนี้สาหร่ายที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จะทำการแย่งออกซิเจนและยับยั้งการหายใจของประการังทำให้ประการังตายได้

3. ผลกระทบต่อทรัพยากรอาหาร จากการศึกษาคุณภาพของน้ำเสื่อมโทรมลง มีผลทำให้สัตว์น้ำและพืชน้ำบางชนิดอาจมีการสูญพันธุ์ไปได้ โดยเฉพาะกุ้ง หอย ปู ปลา ซึ่งเป็นอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ทำให้มนุษย์ขาดแคลนแหล่งอาหารที่สำคัญในการยังชีพ

4. ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ ปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมสามารถส่งผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจได้หลายรูปแบบ เช่น ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการผลิตน้ำประปาเพื่ออุปโภคบริโภค ราคาที่สูงขึ้นของสัตว์น้ำ ผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยวทำให้รายได้ของประเทศลดลง

5. ผลกระทบด้านเกษตรกรรม น้ำที่สกปรกมากๆ ย่อมมีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกหรือเลี้ยงสัตว์ เพราะทำให้พืชผักและสัตว์ต้องสัมผัสกับน้ำสกปรกทำให้เกิดโรคได้

ธงชัย (2525) รายงานว่าการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.การวิเคราะห์ทางกายภาพ (Physical methods) ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่น สี กลิ่น

เป็นต้น

2.การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical methods) ได้แก่ ค่า พีเอช ซีโอดี บีโอดี เป็นต้น

3.การวิเคราะห์ทางชีวภาพ (Biological methods) ได้แก่การตรวจหาโคลิฟอร์ม การนับ

จากจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count) เป็นต้น



การตรวจวิเคราะห์ค่าต่างๆเหล่านี้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการที่แตกต่างกันออกไป บางค่าสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี การเลือกใช้วิธีไหนควรคำนึงถึงหลักการต่อไปนี้

1. ต้องเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ค่าที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรงและถูกต้อง ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแทรกสอด (interferences) ที่มักเจือปนอยู่ในตัวอย่างน้ำทิ้ง
2. ขบวนการของวิธีการหา ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้วิเคราะห์และเครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการด้านน้ำทิ้งทั่วไป
3. วิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้ ควรเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ตามห้องปฏิบัติการต่างๆในปัจจุบัน หรือได้ทำการทดสอบจนเป็นที่เชื่อถือได้แน่นอน
4. ควรเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้เร็ว เหมาะสำหรับตัวอย่างจำนวนมากๆ ที่จะต้องวิเคราะห์เป็นประจำ

การตรวจลักษณะน้ำทิ้งทางเคมี

1. ค่าพีเอช (pH) เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน  $[H^+]$  ในน้ำโดยคำนวณได้จากสูตร

$$pH = -\text{Log} [H^+]$$

เมื่อ  $[H^+] =$  ความเข้มข้นของ  $H^+$  มีหน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ในทางปฏิบัติ ค่าพีเอช แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรด จะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นต้นจะมีค่าพีเอชมากกว่า 7 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีความสำคัญในการกำจัดด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยา ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้

ความเป็นกรด คือความสามารถของสารละลายนั้นในการแตกตัวให้โปรตอน กรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดแทนนิก สารละลายเกลือที่แตกตัวด้วยน้ำ เช่น เกลือเหล็ก (II) ซัลเฟต กรดอลูมิเนียมซัลเฟตหรือในสารละลายใดๆ ที่มีกรดแร่ (mineral acid) เจือปนอยู่ จะวัดความเป็นกรดได้ค่าพีเอชต่ำกว่า 4

ความเป็นด่าง คือความสามารถของสารละลายนั้นในการรับโปรตอน ความเป็นด่างของน้ำธรรมชาติหรือน้ำที่ผ่านการกำจัดแล้วเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต คาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ หาปริมาณได้โดยวิธีการติเตรทกับกรดแร่ที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออน  $[H^+]$  สูง เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เป็นต้น เมื่อถึงจุดสมมูลย์ (equivalent point) จะสังเกตได้จากสีของอินดิเคเตอร์ที่จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแสดงว่าความเป็นด่างในน้ำนั้นทำปฏิกิริยาได้หมดพอดีกับกรดที่ใช้ติเตรท

การวัดค่าพีเอชทำได้หลายวิธีคือ

-ใช้กระดาษพีเอชซึ่งจะมีสีเปลี่ยนไปตามค่าพีเอชของน้ำทิ้ง เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจะได้ค่าพีเอชโดยประมาณ

-ใช้เทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอช โดยการเติมอินดิเคเตอร์ (indicator) ปริมาณเท่าๆกัน วิธีนี้จะวัดค่าพีเอชได้ละเอียดกว่าการใช้กระดาษและสีจะคงทนอยู่นานกว่า แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีสี

-ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ซึ่งมีหลายแบบขึ้นอยู่กับความละเอียดของค่าพีเอชที่ต้องการ

2. ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids) หมายถึงปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้วมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีวิธีการวิเคราะห์คือ ทำการอบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิเกตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยและทำการกรองน้ำทิ้งตัวอย่าง หลังจากนั้นใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (petri dish) กระจกนาฬิกา (watch glass) หรือถ้วยอลูมิเนียม (aluminium cup) และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องในเดสิเกตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

$$\text{ปริมาณสารแขวนลอย (มก./ลบ.ดม.)} = \frac{\text{น้ำหนักสารแขวนลอย (มก.)}}{\text{ปริมาตรของน้ำทิ้งตัวอย่าง (ลบ.ซม.)}} \times 1000$$

3. ปริมาณสารละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids) หมายถึงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและไหลผ่านกระดาษกรองมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีวิธีการวิเคราะห์คือ ชั่งจานระเหยที่อบแห้งอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำทิ้งมากรองตะกอนออกและใส่ลงในจานระเหย จากนั้นนำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำให้น้ำระเหยจนแห้ง นำจานระเหยที่แห้งไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องในเดสิเกตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

$$\text{ปริมาณสารละลายทั้งหมด (มก./ลบ.ดม.)} = \frac{\text{น้ำหนักสารละลาย (มก.)}}{\text{ปริมาตรของน้ำทิ้งตัวอย่าง (ลบ.ซม.)}} \times 1000$$

4. ค่า Biochemical Oxygen Demand (BOD) การวิเคราะห์ค่าบีโอดี เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้ง โดยทั่วไปเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

### 2.2.1 สกรูลำเลียง

Archimedes' Screw Sources (2001) รายงานว่าสกรูลำเลียงเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่เก่าแก่และง่ายสำหรับการขนถ่ายวัสดุ โดยวัสดุจะถูกขนถ่ายไปตามความยาวของรางโดยการหมุนของสกรู สกรูลำเลียงมีขนาดกระทัดรัดและง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน สามารถใช้งานในแนวนอน แนวเอียงและแนวตั้งได้รวมทั้งมีความสะดวกในการติดตั้ง โดยสกรูอาจหมุนไปทางซ้ายหรือทางขวามือขึ้นอยู่กับการใช้งาน นอกจากนี้สกรูลำเลียงสามารถป้องกันฝุ่นละออง ใคควัน สิ่งสกปรกต่างๆได้ด้วยการสวมฝาครอบและสามารถป้องกันวัสดุจากความร้อนหรือการถูกกัดกร่อนในการอบ และในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ (Link-Belt, 1980)

Handerson and Perry (1976) รายงานว่าเกลียวลำเลียง (screw conveyors) ถูกใช้ในการขนส่งวัสดุที่เป็นผงเปียกเหนียว มีความหนืดสูง ดูดซึมความร้อนจากผลของปฏิกิริยาเคมี และขนส่งวัสดุที่เป็นเม็ดทุกชนิด สามารถใช้ลำเลียงหรือผสมวัสดุโดยให้การลำเลียงมีอัตราเร็วคงที่ได้และใช้เวลาที่รวดเร็ว แม้ว่าเกลียวลำเลียงจะสร้างง่ายและมีราคาไม่แพงแต่ต้องการต้นกำลังสูงและมีขีดจำกัดด้านความยาวของเกลียว โดยมาตรฐานระยะพิตช์ของใบสกรูจะประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว ซึ่งใช้เป็นส่วนใหญ่ในแนวนอนหรือการเอียงไม่เกิน 20 องศา การลดระยะพิตช์ลงอาจใช้กับเกลียวลำเลียงที่เอียงมากขึ้น ชนิดของเกลียวลำเลียงแบ่งเป็น

1. เกลียวลำเลียงแนวนอน (Horizontal screw) ปกติจะถูกใช้กับรางรูปตัว U อาจมีหรือไม่มีฝาครอบขึ้นอยู่กับชนิดของงานและคุณสมบัติของวัสดุที่ทำการลำเลียง การลำเลียงโดยสกรูมีความเหมาะสมในการขนส่งเศษวัสดุหรือปรับทิศทางเคลื่อนที่ของเศษวัสดุ มีสูตรใช้ในการคำนวณความสามารถในการลำเลียงเต็มสกรูจากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

ความสามารถในการลำเลียงทางทฤษฎี (ลบ.ม. / ชม.) =  $(D^2 - d^2) \times P \times \text{rpm} \times 47.12$

เมื่อ

$D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู (เมตร)

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (เมตร)

$P$  = ระยะพิตช์ใบสกรู (เมตร)

$\text{rpm}$  = ความเร็วรอบของเพลลา (รอบ / นาที)

ความสามารถในการลำเลียงทางปฏิบัติจะน้อยกว่าทางทฤษฎี เพราะเกิดการสูญเสียจากช่องระยะห่างระหว่างใบสกรูกับตัวเรือนสกรู, คุณสมบัติการไหลของวัสดุ, ความยาวของชุดสกรูลำเลียง, มุมยกในการลำเลียง เป็นต้น ดังนั้นความสามารถในการลำเลียงทางปฏิบัติจะมีค่าประมาณ 30–50% ของทางทฤษฎี

กำลังขับที่สกรูลำเลียงเป็นอีกค่าหนึ่งที่ต้องออกแบบให้เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความยาวของสกรู, มุมยก, ชนิดของ hanger brackets, ชนิดของใบสกรู, ความหนืดและแรงต้านภายในของวัสดุ, สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุกับใบสกรูและตัวเรือนสกรู, น้ำหนักของวัสดุ เป็นต้น การออกแบบต้องทำการเพิ่มกำลังในช่วงเริ่มขับสกรู, ช่วงที่สกรูติดขัดเนื่องจากลำเลียงของเหลวหนืด

และช่วงที่ของเหลวหนืดตันตัวออกด้านข้าง โดยกำลังขับสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{กำลังขับ (แรงแม้)} = C \times L \times W \times F \times 2.07$$

โดยที่  $C$  = ความสามารถในการลำเลียงทางปฏิบัติ (ลบ.ม./ ชม.)

$L$  = ความยาวของสกรูลำเลียง (เมตร)

$W$  = ค่า Bulk density ของวัสดุ (ก.ก. / ลบ.ม.)

$F$  = ค่าแฟคเตอร์ของวัสดุ (ตารางที่ 2.2)

กำลังขับแรงแม้ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1 ให้เพิ่มเป็น 2 เท่า, กำลังขับอยู่ในช่วง 1-2 แรงแม้ให้คุณด้วย 1.5, กำลังขับอยู่ในช่วง 2-4 ให้คูณด้วย 1.25, กำลังขับอยู่ในช่วง 4-5 ให้คูณด้วย 1.1 และถ้ากำลังขับมากกว่า 5 แรงแม้ สามารถใช้ค่าที่คำนวณได้

ตารางที่ 2.2 Material Classification and Indices for Screw Conveyors

Material	Bulk density, ก.ก./ลบ.ม.	Material Number	Horsepower Material factor, F
Barley	608.72	I	0.4
Beans	768.91	I	0.4
Beans, castor	576.68	II	0.5
Beans, soy	720.85 – 800.95	III	0.5
Bran	256.30	II	0.4
Clover seed	768.91	I	0.4
Corn, shelled	720.85	I	0.4
Cornmeal	640.76	II	0.4
Cotton seed (dry)	400.47	II	0.9
Cotton seed hulls	192.23	II	0.9
Lime, ground	961.14	III	0.6
Milk, dried	576.68	II	1.0
Oats	416.49	I	0.4
Peanuts, unshelled	240.28 – 320.38	II	0.7
Rice, rough	576.68	II	0.4
Rye	704.83	I	0.4

Timothy seed	576.68	II	0.7
Wheat	768.91	I	0.4

2.เกลียวลำเลียงแนวเอียง (Inclined screw) การทำงานจะมีประสิทธิภาพและความสามารถในการลำเลียงน้อยกว่าเกลียวลำเลียงแนวนอน อย่างไรก็ตามเกลียวลำเลียงแบบนี้ถูกนำมาใช้มากกว่าในทางการเกษตร เพราะมีความสะดวกและเหมาะสมกับงาน มีการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานของการใช้งานสกรูลำเลียงแนวเอียงและพัฒนาเป็นกรณีศึกษาหลายแบบเช่น กรณีศึกษาของ Regan and Henderson (1959) ซึ่งได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลการลำเลียงวัสดุด้วยสกรูลำเลียง จนได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของต้นกำลังเข้ากับความเร็วรอบที่ใช้ในการทำงานที่ความเอียงระดับต่างๆ ของสกรูลำเลียง และนำมาสร้างกราฟ ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.3

### 2.2.2 การคำนวณแรง

ลูระเชษฐ (2536) รายงานว่า ความเค้น (Stress) คือแรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดวัสดุนั้นหรือคือค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความเค้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

ความเค้นดึง (tensile stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึงต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้น

$$\text{ความเค้นดึง} = \text{แรงดึงที่กระทำกับวัตถุ} / \text{พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ตั้งฉากกับแรง}$$

ความเค้นอัด (compressive stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัด โดยแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น

$$\text{ความเค้นอัด} = \text{แรงอัดที่กระทำกับวัตถุ} / \text{พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ตั้งฉากกับแรง}$$

ความเค้นเฉือน (shear stress) คือแรงภายนอกที่มากระทำกับวัสดุนั้น โดยพยายามทำให้วัตถุเกิดการฉีกขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น

$$\text{ความเค้นเฉือน} = \text{แรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ} / \text{พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง}$$

ความเครียด (Strain) คือขนาดที่เปลี่ยนไปต่อขนาดเดิม แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

ความเครียดดึง (tensile strain) เมื่อท่อนวัตถุถูกกระทำด้วยแรงดึงตามแนวแกน และเพิ่มแรงดึงขึ้นอย่างช้าๆ ท่อนวัสดุนั้นจะเกิดการยืดออกทีละน้อยตามขนาดของแรงดึงที่เพิ่มขึ้น

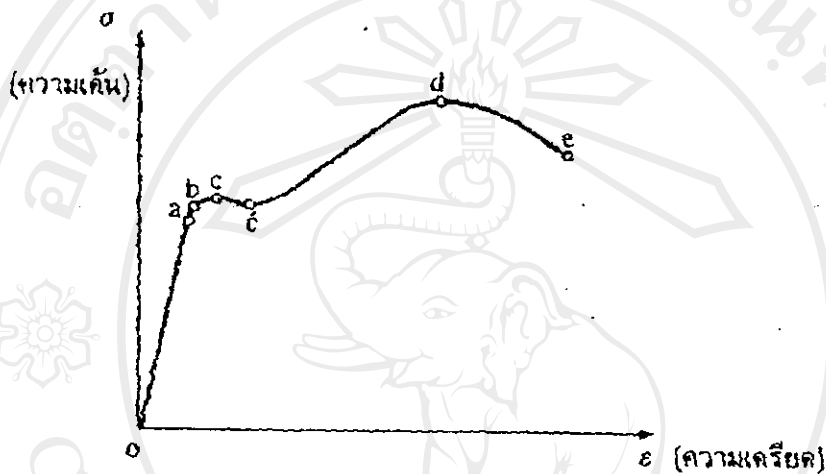
$$\text{ความเครียดดึง} = \text{ส่วนที่ยืดออก} / \text{ความยาวเดิมของวัสดุนั้น}$$

ความเครียดอัด (compressive strain) ท่อนวัตถุถูกแรงกระทำด้วยแรงตามแนวนอน และเพิ่มแรงกดอย่างช้าๆ จนทำให้ท่อนวัตถุนั้นหดตัวลง

$$\text{ความเครียดอัด} = \frac{\text{ส่วนที่หดตัวลง}}{\text{ความยาวเดิมของวัตถุนั้น}}$$

ความเครียดเฉือน (shear strain) เมื่อมีแรงเฉือนมากกระทำ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือเกิดความเครียดขึ้นเรียกว่า ความเครียดเฉือน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ทุกระยะได้ดังรูป



จากกราฟมีจุดต่างๆที่สำคัญดังนี้

จาก 0 ถึง a กราฟเป็นเส้นตรง ความเค้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียด

จุด a เป็นจุดสูงสุดของเส้นตรงเรียกว่า ชีดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) หลังจากจุดนี้แล้ว ความเค้นจะไม่เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียด

จุด b เรียกว่าชีดจำกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) เป็นจุดสุดท้ายของวัตถุที่ถูกยืดออก และจะกลับมาที่ตำแหน่งเดิมได้อีกเมื่อเอาภาระออก

จาก c ถึง c' เป็นช่วงการคราก (Yielding) วัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวร ซึ่งช่วงนี้จะมีความเค้นครากคงที่ จาก c' ถึง d เป็นช่วง Strain Hardening เมื่อใส่ภาระเพิ่มขึ้นเข้าไปในวัตถุที่เกิดการคราก ความเค้นจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุด d ซึ่งคือจุดความเค้นสูงสุด (Ultimate Stress) ที่จุดนี้พื้นที่หน้าตัดของวัตถุจะลดลง

จาก d ถึง e เป็นช่วง Necking ความเค้นสูงสุดลดลงและพื้นที่หน้าตัดลดลง จนกระทั่งถึงจุด e ซึ่งคือจุดแตกหัก (Rupture point or Breaking point) แรงจะกระทำจนวัสดุขาด

กฎของฮุก (Hook's law) กล่าวว่าในช่วง Elastic ความเค้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียด มีความสัมพันธ์คือ

ค่าคงที่ (E) = ความเค้น / ความเครียด

ค่าคงที่เรียกว่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) หรือโมดูลัสของยัง (Young's modulus) ในทำนองเดียวกันจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับความเครียดเฉือนในช่วง Elastic ดังนี้

ค่าคงที่ (G) = ความเค้นเฉือน / ความเครียดเฉือน

ค่าคงที่เรียกว่า โมดูลัสความเฉือน (Modulus of rigidity)

Roth et al. (1975) รายงานว่ามีสูตรพื้นฐานทั่วไปที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร ซึ่งได้จากตัวแปรต่างๆ เช่น แรง, ระยะทาง, เวลา เป็นต้น

งาน (Work) คือ ระยะทางที่แรงผ่าน (D)  $\times$  แรงที่กระทำ (F)

กำลัง (Power) คือ งาน (W) / เวลา (t)

แรงบิด (Torque) คือแรงหรือโมเมนต์ที่พยายามบิดส่วนของโครงสร้างไปจากตำแหน่งเดิม กำลังที่ทำการขับเคลื่อนเรียกว่า Brake horsepower (BHP) หรือ Shaft horsepower

คือ แรงบิด  $\times$  ความเร็วรอบเพลลา (รอบ/นาที)

บรจวบ (2541) รายงานว่าจากกฎของฮุก ถ้าวัสดุเป็น Linear-Elastic จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเค้นเฉือนที่หน้าตัดของวัสดุได้ ซึ่งความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่ผิวนอกสุดของเพลลาสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau (\max) = Tr / J$$

โดยที่  $\tau (\max)$  หมายถึง ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลลา

T ,, ผลลัพธ์ของแรงบิดภายในที่กระทำต่อหน้าตัดวัสดุ

r ,, รัศมีของเพลลา

J ,, ค่า Polar Moment of Inertia ของพื้นที่หน้าตัด

ถ้าต้องการหาค่าความเค้นเฉือน ( $\tau$ ) ที่ตำแหน่งรัศมี ( $\rho$ )ใดๆ สามารถหาได้จาก

$$\tau = T\rho / J = (\tau \max \times \rho) / r$$

ค่า Polar Moment of Inertia สำหรับเพลลาตันและเพลลากลวงหาได้ดังนี้

เพลลาตัน,  $J = (\pi \times D^4) / 32$

เพลลากลวง,  $J = [\pi \times (D^4 - d^4)] / 32$

โดยที่ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลลา

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลา

สุระเชษฐ (2536) ได้รายงานเพิ่มเติมว่าเพลลาใช้ในงานการส่งกำลังจากส่วนหนึ่งไปอีกส่วนหนึ่ง ความสัมพันธ์ของกำลังที่เกิดจากแรงบิดหรือโมเมนต์บิดคือ

$$P = T\omega$$

โดยที่	P คือกำลังที่ส่งมีหน่วยเป็น วัตต์
	$\omega$ คือความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็น เรเดียน / วินาที
เพราะเหตุว่า	$\omega = (2\pi N) / 60$
ดังนั้น	$P = (2\pi NT) / 60$
โดยที่	N คือความเร็วรอบของเพลลา (รอบ / นาที)
	T คือโมเมนต์บิดหรือแรงบิดที่เกิดขึ้น (นิวตัน × เมตร)

### 2.2.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

#### การวิเคราะห์ต้นทุนและค่าใช้จ่าย

วันชัย และช่อม (2539) รายงานว่า การวิเคราะห์แยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่สามารถประเมินเป็นค่าตัวเลขได้ เช่น ต้นทุน ค่าใช้จ่าย รายได้และรายรับต่างๆ และอีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถประเมินเป็นตัวเลขได้ สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการทางวิศวกรรมจะมุ่งวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่างๆ และรายได้โดยประเมินตัวเลข ในขณะที่เดียวกันก็ใช้ความพยายามประเมินผลดีและผลเสียซึ่งไม่สามารถคำนวณเป็นตัวเลขได้ นำผลการประเมินมาประกอบเพื่อการวิเคราะห์โครงการนั้น ต้นทุนและค่าใช้จ่ายจึงเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ต้นทุน (Cost) และค่าใช้จ่าย (Expense) เป็นค่าที่มีความหมายใกล้เคียงกันมาก และส่วนใหญ่จะใช้ในความหมายเดียวกัน หมายถึง การใช้เงินหรือสิ่งแลกเปลี่ยนอย่างอื่นเพื่อได้มาซึ่งทรัพย์สินและบริการใดๆ หรือจำนวนเงินที่จ่ายไปในการใช้บริการหรือดำเนินงาน ต้นทุนสำหรับการวิเคราะห์โครงการมีรูปแบบและลักษณะการประเมินต่างกัน ต้นทุนชนิดหนึ่งใช้ได้กับงานลักษณะหนึ่งแต่จะใช้กับงานอีกลักษณะหนึ่งไม่ได้ ดังนั้นในการประเมินต้นทุน ถ้าใช้ชนิดของต้นทุนไม่ถูกต้องหรือใช้วิธีที่ไม่เหมาะสมจะทำให้การวิเคราะห์โครงการบิดเบือนไป นอกจากนี้ต้นทุนเมื่อเวลาต่างกันก็จะมีค่าแรงต่างกัน เนื่องจากความสัมพันธ์กับเวลาของเงิน การประเมินค่าใช้จ่าย ณ จุดเวลาที่ต่างกัน โดยไม่นำเอาอัตราดอกเบี้ยมาคิดด้วย ก็อาจทำให้การวิเคราะห์ผิดไป

#### ชนิดต้นทุน

ต้นทุนอนาคต (Future Cost) ใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับอนาคต เช่น การจัดซื้อเครื่องจักรใช้ในปีหน้า การประเมินค่าใช้จ่ายจึงเป็นการประเมินต้นทุนสำหรับอนาคต

ต้นทุนเสียโอกาส (Oppontunity cost) การเสียโอกาสหรือเสียผลประโยชน์ที่พึงได้จะถือเป็นต้นทุนลักษณะขาดทุนกำไรที่ควรจะได้ โดยมากต้นทุนชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการจำกัดของทรัพยากร เช่น เงินทุน เป็นต้น



ต้นทุนตามบัญชี (Book Cost) คือ ต้นทุนเครื่องจักรเมื่อหักค่าเสื่อมราคาไปแล้ว ต้นทุนตามบัญชีเป็นเพียงตัวเลขที่บันทึกไว้เท่านั้น ต้นทุนจริงอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้

ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน (Fixed and Variable Cost) ต้นทุนคงที่คือ ต้นทุนที่คิดสำหรับทรัพย์สินที่ให้บริการหรือผลิตได้ โดยต้นทุนไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนหน่วยที่ให้บริการหรือที่ผลิตได้ เช่น ต้นทุนเครื่องจักร ส่วนต้นทุนแปรผันคือ ต้นทุนที่เปลี่ยนไปตามจำนวนหน่วยผลิตที่เกิดขึ้น เช่น ค่าวัสดุ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ เป็นต้น

ต้นทุนโดยตรงและต้นทุนทางอ้อม (Direct and Indirect Cost) ต้นทุนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิตจะถือเป็นต้นทุนโดยตรง เช่น ค่าแรงงาน ค่าวัสดุ เป็นต้น ส่วนต้นทุนที่ใช้สำหรับเป็นส่วนช่วยให้เกิดการผลิตถือเป็นต้นทุนทางอ้อม เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายบริหาร เป็นต้น

### การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break – even Analysis)

วันชัย และชอุ่ม (2539) รายงานว่า จุดคุ้มทุนหรือจุดเท่าทุน คือ จุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากันซึ่งหมายถึง จุดที่กำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน (Cost) รายได้ (Revenue) และผลกำไร (Profit) ซึ่งผันแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต (Volume) ผลของการวิเคราะห์จะใช้ได้เมื่อเงื่อนไขและสภาพการณ์ต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน สรุปได้ดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ เพื่อเข้าใจถึงความสัมพันธ์ที่แปรผันไปตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง การวิเคราะห์นี้ทำให้เกิดความจำเป็นในการแยกชนิดของต้นทุนเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)
2. ศึกษารายได้ (Revenue) ที่เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณการขาย ถ้าจำนวนที่ผลิตได้ทั้งหมดสามารถจัดขายเป็นรายได้ทั้งหมด รายได้ก็จะผันแปรโดยตรงกับปริมาณการผลิต เช่นกัน

$$R \propto N$$

$$R = P \times N$$

โดยที่

R = รายได้ (Revenue)

N = ปริมาณการผลิต (Volume)

P = ราคาของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย (Price)

3. เมื่อได้รายละเอียดของค่าใช้จ่ายและรายได้ ทำผลมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อคำนวณหาผลกำไรจากรายได้ลบค่าใช้จ่าย

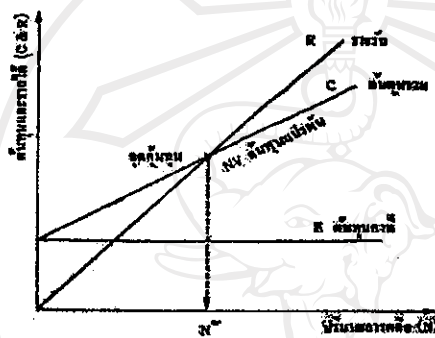
$$P = R - C$$

โดยที่  $P =$  ผลกำไร (Profit)  
 $R =$  รายรับ (Revenue)  
 $C =$  ต้นทุน (Cost)

จุดคุ้มทุนคือจุดที่กำไรเป็นศูนย์นั่นคือ  $R = C$

#### แผนภูมิของจุดคุ้มทุน (Break-even Chart)

ในการเขียนแผนภูมิจุดคุ้มทุน ใช้แกนในแนวนอนแทนปริมาณการผลิตและแกนในแนวตั้งแทนต้นทุนรวมและรายได้ ส่วนที่เป็นต้นทุนรวมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน จุดคุ้มทุนคือจุดตัดของรายได้และต้นทุนรวม  $N^*$  คือปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน แผนภูมิจุดคุ้มทุนแสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ปริมาณการผลิตที่มากกว่าค่า  $N^*$  ในแผนภูมิเป็นส่วนของผลกำไร ( $R > C$ ) และปริมาณการผลิตที่น้อยกว่า  $N^*$  ในแผนภูมิเป็นส่วนของการขาดทุน ( $R < C$ )

#### การเปรียบเทียบโดยคิดค่าเทียบเท่าเงินจ่ายเท่ากันรายปี (Equivalent uniform annual cash flow)

การเปรียบเทียบเครื่องจักรหรือโครงการทางวิศวกรรม วิธีนี้เป็นการคิดคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายเป็นค่าเทียบเท่าเงินจ่ายเท่ากันรายปี (Annual Cost) ของแต่ละเครื่องจักรหรือโครงการและนำค่าตัวเลขมาเปรียบเทียบกัน เครื่องจักรหรือโครงการใดที่มีค่าเทียบเท่าเงินจ่ายเท่ากันรายปีน้อยกว่าจะถือว่ามีความเหมาะสมในการตัดสินใจเลือก ในการเปรียบเทียบโดยวิธีนี้จะอยู่ภายใต้ขอบเขตและเงื่อนไขบางประการ คือค่าต่างๆที่ประเมินได้เป็นเรื่องของอนาคต การตัดสินใจเลือกได้อย่างถูกต้องขึ้นอยู่กับความถูกต้องของตัวเลขที่ใช้ และอัตราดอกเบี้ยถือเป็นค่าคงที่ตลอดเวลาของการเปรียบเทียบ รวมทั้งราคาและค่าใช้จ่ายต่างๆมีค่าคงที่ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้การคิดค่าเปรียบเทียบเครื่องจักรหรือโครงการต่างๆ ที่มีอายุการใช้เท่ากันและไม่เท่ากันได้ทันที โดยไม่ต้องคำนวณระยะเวลาที่จะทำการเปรียบเทียบ เช่นวิธีคิดเป็นค่าเทียบเท่าเงินต้นที่ปีปัจจุบัน นอกจากนี้จะมีความสอดคล้องกับระบบบัญชีที่ทำงานดุลเป็นรายปี สามารถทำความเข้าใจและเห็นข้อแตกต่างได้ชัดเจนมีความสะดวกและรวดเร็ว

### อัตราผลตอบแทน (Rate of Return)

อัตราผลตอบแทน คือผลได้จากการลงทุนเป็นอัตราร้อยละเมื่อเทียบกับเวลาหนึ่งการลงทุนไปซึ่งก็คืออัตราดอกเบี้ยนั่นเอง อัตราผลตอบแทนในกิจกรรมต่างๆไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของกิจกรรมนั้น การหาอัตราผลตอบแทนของโครงการต่างๆ เป็นวิธีที่ช่วยในการตัดสินใจการลงทุนและสามารถใช้เป็นส่วนเปรียบเทียบโครงการได้

$$\text{อัตราผลตอบแทน} = \frac{\text{ผลที่ได้จากการลงทุน}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100$$

### ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

วันชัย และชอุ่ม (2539) รายงานว่า ค่าเสื่อมราคาคือการลดมูลค่าของทรัพย์สินตามกาลเวลาที่ผ่านไปหรือผ่านการใช้งาน การเสื่อมราคาแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. การเสื่อมราคาทางกายภาพ (Physical Depreciation) เป็นการเสื่อมราคาเนื่องจากการสึกหรอ ชำรุด แตกหักเพราะการใช้งานหรืออาจเกิดสนิมจากปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดการกร่อนซึ่งทำให้ทรัพย์สินนั้นเสื่อมคุณค่าได้ การเสื่อมราคาเนื่องจากลักษณะการใช้งาน (Functional Depreciation) เป็นการเสื่อมราคาอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งาน เหตุที่ต้องเปลี่ยนเป็นผลมาจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการทำให้เกิดการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ซึ่งมีสมรรถนะสูงและราคาถูกมีผลทำให้ทรัพย์สินที่มีอยู่เดิมหมดคุณค่าไปได้

2. การเสื่อมราคาจากอุบัติเหตุ (Accidents Depreciation) เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว ทำให้ทรัพย์สินเสียหาย โดยทั่วไปจะทำให้หมดสภาพการใช้งานทันที การคิดค่าเสื่อมราคานอกจากจะเป็นการลดมูลค่าทรัพย์สินแล้ว ยังหมายถึงการคิดค่าชดเชยการลงทุนในทรัพย์สินเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆด้วย โดยการจัดสรรเป็นค่าใช้จ่ายตามระบบบัญชีค่าเสื่อมราคาหักสะสมไว้แต่ละปี เป็นการถอนทุนเงินลงทุนภายในช่วงระยะเวลาดำเนินงานหรือการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งจะกำหนดให้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงการหรือกิจกรรมนั้น ค่าเสื่อมราคามีค่าเท่ากับเงินทุนครั้งแรกลบด้วยราคาตามบัญชี (book value) ของทรัพย์สิน ขณะสิ้นสุดอายุการใช้งาน หากมูลค่าของทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งานเป็นศูนย์ ค่าเสื่อมราคาจะมีค่าเท่ากับเงินที่ได้ลงทุนไปนั่นเอง

### วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาคิดได้ 3 แบบ คือ

1. การจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะแรกของการใช้งาน
2. การจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้เท่าๆ กันตลอดอายุการใช้งาน
3. การจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะหลังๆ ของการใช้งาน

ความเหมาะสมของแต่ละระบบขึ้นอยู่กับลักษณะของทรัพย์สินแต่ละชนิด เครื่องจักรที่ทำงานอยู่สม่ำเสมอตลอดอายุการใช้งาน จะมีความเหมาะสมในการคิดเสื่อมราคาในลักษณะเท่าๆกันตลอด เป็นต้น การคิดค่าเสื่อมราคาแบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนี้

1. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight - Line Depreciation) เป็นระบบที่มีการคิดค่าเสื่อมราคาไว้เท่าๆกัน ตลอดอายุการใช้งานซึ่งเป็นแบบที่นิยมกันโดยทั่วไป เพราะง่ายในการคิดคำนวณและการทำความเข้าใจ ค่าเสื่อมราคาคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\text{ค่าเสื่อมราคา/ปี} = (P - L)/N$$

โดยที่ P หมายถึง ราคาต้นทุนทรัพย์สิน

L หมายถึง ราคาขายทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน

N หมายถึง จำนวนปีของอายุการใช้งาน

ดังนั้นมูลค่าเป็นราคาตามบัญชีของทรัพย์สินเมื่อสิ้นปี  $\times$  คำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\text{ราคาตามบัญชีของทรัพย์สินเมื่อสิ้นปีที่ } x = P - [(P - L)/N] (x)$$

2. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วน (Declining - Balance Depreciation) การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นระบบการจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะแรกของการใช้งานเหมาะสมกับทรัพย์สินซึ่งใช้เป็นเครื่องสำรอง (Stand - By) หรือทรัพย์สินที่ใช้ได้ดีในระยะแรกและบกพร่องมากในระยะหลังๆ หรือทรัพย์สินที่ให้ผลผลิตหรือผลกำไรได้มากกว่าในระยะแรกของการใช้งาน การคิดค่าเสื่อมราคาคำนวณได้ด้วยการใช้ค่าอัตราคงที่ (f) คูณเข้ากับราคาทรัพย์สินตามบัญชีของแต่ละปี ซึ่งวิธีนี้ราคาทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งานต้องไม่เป็นศูนย์ ในการคำนวณค่าเสื่อมราคาโดยวิธีนี้ ค่าอัตราคงที่คำนวณได้สองวิธีคือ

1. กำหนดหรือคาดคะเนราคาทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งานเสียก่อน จึงหาค่าอัตราคงที่ (f) โดยใช้สูตร  $f = 1 - \sqrt[N]{L/P}$

2. กำหนดค่าอัตราคงที่ตามความเหมาะสม เช่นกำหนดให้ราคาของเครื่องจักรนั้นลดลง 20% ทุกๆปีของการใช้งาน ค่าอัตราคงที่ที่จะเท่ากับ 0.2 เป็นต้น แล้วจึงคำนวณคาดคะเนราคาทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน โดยใช้สูตร  $L = P(1-f)^N$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาในปีที่ } x \text{ คำนวณได้จากสูตร } P \cdot f (1-f)^{x-1}$$

$$\text{ราคาตามบัญชีของทรัพย์สินเมื่อสิ้นปีที่ } x = P(1-f)^x$$

โดยที่ P หมายถึง ราคาต้นทุนทรัพย์สิน

L หมายถึง ราคาขายทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน

N หมายถึง จำนวนปีของอายุการใช้งาน

3. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบผลบวกตัวเลข (Sum - of Digits Depreciation) การคิดค่าเสื่อมราคาแบบนี้เป็นระบบที่ใช้งานเช่นเดียวกับแบบลดส่วน คือจัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากใน

ระยะแรกของการใช้งาน แต่ต่างกันตรงเมื่อทรัพย์สินหมดอายุการใช้งานจะไม่มีข้อจำกัดว่าราคาของทรัพย์สินต้องไม่เท่ากับศูนย์ การคำนวณอัตราค่าเสื่อมราคาจะใช้ตัวเลข 1,2.....N ของอายุการใช้งานเป็นตัวเลขของอัตราการคิดค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาในปีที่  $x$  คำนวณได้จากสูตร  $(P-L) [(N-x+1)/N(N+1)/2]$

ราคาตามบัญชีของทรัพย์สินเมื่อสิ้นปีที่  $x = P - (P-L) \{ \sum_{n=1}^x (N-n+1) / (N(N+1)/2) \}$

โดยที่  $P$  หมายถึง ราคาต้นทุนทรัพย์สิน

$L$  หมายถึง ราคาขายทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน

$N$  หมายถึง จำนวนปีของอายุการใช้งาน

4. การคิดค่าเสื่อมราคาแบบทุนจม (Sinking Fund Depreciation) เป็นระบบที่จัดสรรค่าเสื่อมราคาไว้มากในระยะเวลาหลังของการใช้งาน เป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้กันเพราะไม่ตรงกับสภาพแท้จริงของการเสื่อมของทรัพย์สิน วิธีนี้จะคิดค่าเสื่อมราคาในอัตราที่เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน

ค่าเสื่อมราคาในปีที่  $x = (P-L) \{ i / (1+i)^N - 1 \} (1+i)^{x-1}$

ราคาตามบัญชีของทรัพย์สินเมื่อสิ้นปีที่  $x = P - (P-L) [ i / \{ (1+i)^N - 1 \} ] [ \{ (1+i)^x - 1 \} / i ]$

โดยที่  $P$  หมายถึง ราคาต้นทุนทรัพย์สิน

$L$  หมายถึง ราคาขายทรัพย์สินเมื่อหมดอายุการใช้งาน

$N$  หมายถึง จำนวนปีของอายุการใช้งาน

$i$  หมายถึง อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (วัน, เดือน, ปี)

การคิดค่าเสื่อมราคาในทางเศรษฐศาสตร์วิเคราะห์มุ่งหมายให้คิดเป็นค่าใช้จ่ายการลงทุนสำหรับทรัพย์สินหรือเป็นการคิดค่าเสื่อมราคาไว้เป็นส่วนของการถนอมทุนนั่นเอง โดยในการวิเคราะห์โครงการต่างๆที่มีการลงทุน นิยมเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการลงทุนกับค่าใช้จ่ายที่ลงทุน โดยรวบรวมรายการต่างๆและปรับเข้าเป็นค่าของปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การลงทุนว่าเป็นอย่างไร