

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

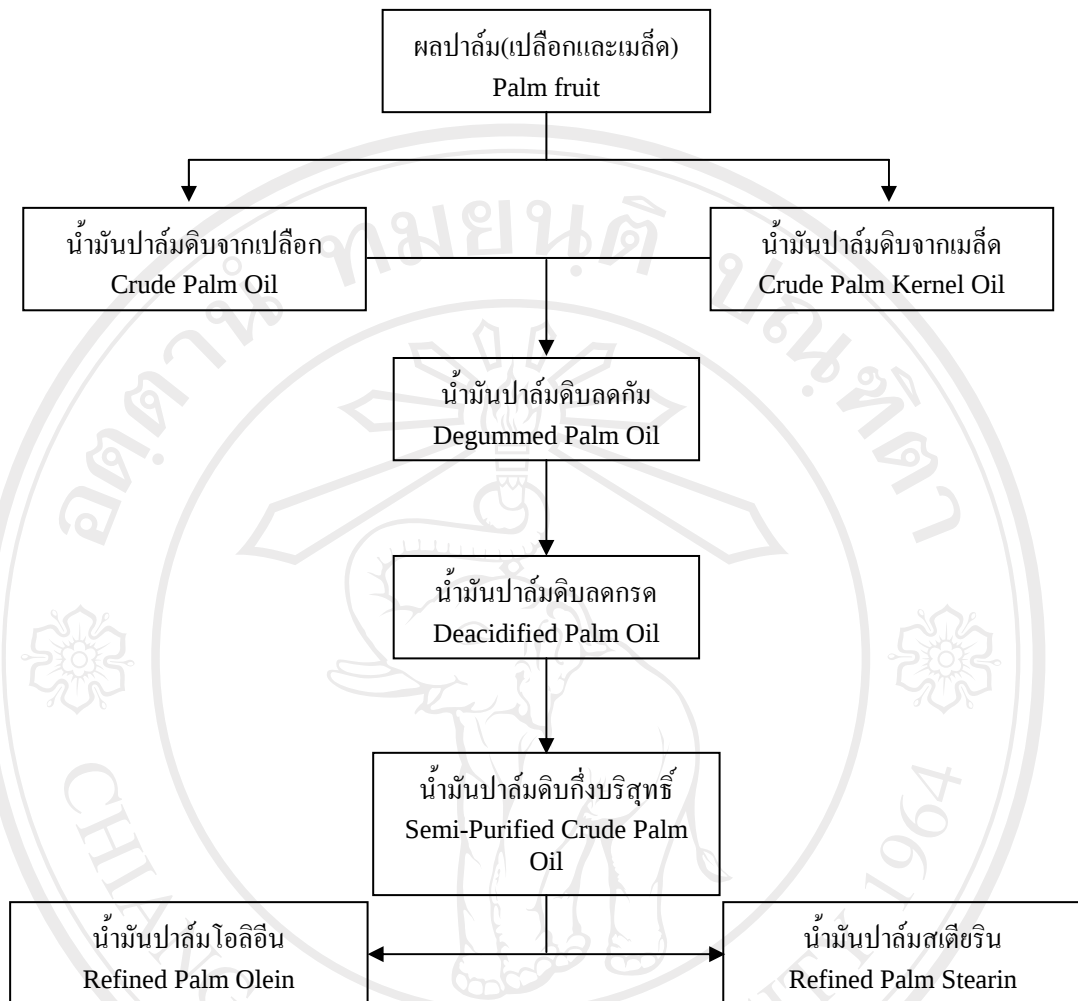
2.1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ

การนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้กับเครื่องยนต์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดสารประกอบที่ไม่ใช่น้ำมันและส่วนที่มีผลต่อเครื่องยนต์ เพื่อให้ น้ำมันปาล์มดิบมีคุณภาพเหมาะสมกับการนำมาใช้งานและสมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล 3 อย่างคือ

1) กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ นำมาเดินเครื่องยนต์จะทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ถังเก็บน้ำมัน หัวฉีด ห้องเผาไหม้ แหวน ลูกสูบและ ปะเก็น การลดปริมาณกรดไขมันอิสระทำได้โดยการวัดความเป็นกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม หาได้จากการไทเทรตน้ำมันปาล์ม โดยค่าที่ได้จะนำมาหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จากนั้นนำน้ำมันปาล์มที่ลดขางเหนียวแล้วมาอุ่นที่อุณหภูมิ 70 °C ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำมันปาล์มแล้วกวนเป็นเวลา 15 นาที จะทำให้เกิดสบู่ขึ้น ซึ่งจะเติมน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C ประมาณ 10 % ลงในน้ำมันเพื่อล้างสบู่ตก

2) ยางเหนียว (Gums) เป็นสารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสโฟไทด์ และสารอื่นๆที่มีลักษณะเป็นเมือก สารเหล่านี้อาจอยู่ในรูปทั้งสารละลายและไม่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจะมียอยู่ในปริมาณร้อยละ 0.03 ถึง 3 สารเหล่านี้มักจับตัวกับโลหะ เช่น เหล็กทองแดง และแมกนีเซียม ซึ่งทำให้น้ำมันที่ฉีดออกมากระจายเป็นฝอยลดลงและทำให้เกิดการสึกหรอภายในห้องเผาไหม้ ยางเหนียวแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ ยางเหนียวที่ละลายในน้ำและยางเหนียวละลายในกรด การลดปริมาณยางเหนียวสามารถทำได้ โดยการเทน้ำมันปาล์มดิบลงในถังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C แล้วเติมน้ำปริมาณ 4 % โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มแล้วกวนเป็นเวลา 30 นาทีหลังจากนั้นเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 % ปริมาณ 10 % โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มแล้วกวนน้ำมันในถังอีกเป็นเวลา 30 นาที ยางเหนียวจะรวมตัวกันตกอยู่ข้างล่างถึงบรรจุน้ำมันปาล์ม

3) ความชื้น (Humidity) ในน้ำมันควรมีความชื้นต่ำ หากมีความชื้นมากในน้ำมันจะทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อเกิดการเผาไหม้และทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพลดลงอีกด้วย การลดปริมาณความชื้นสามารถทำได้โดยนำเอาน้ำมันปาล์มไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 90 - 100 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น้ำระเหยออกจากน้ำมันปาล์ม หลังจากนั้นจึงนำน้ำมันมาตั้งทิ้งไว้จนเย็นลงแล้วจึงนำมาทดสอบเดินเครื่องยนต์



รูป 2.1 กระบวนการแปรรูปน้ำมันปาล์มดิบ

2.2 การนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

การนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล มีอยู่ 3 แนวทาง คือ

1) **น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)** เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์กับกรดหรือด่าง ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันจะได้น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งอยู่ในรูปของเมทิลทเอสเทอร์และกลีเซอริน น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถนำไปเติมเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมในน้ำมันดีเซล

2) **น้ำมันพืชผสม (Veggie/Kero Mix)** เป็นวิธีการนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าด เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

3) การใช้น้ำมันพืชโดยตรง (Straight Vegetable Oil) เป็นวิธีการนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันพืชที่ใช้งานแล้วมาเดินเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการเติมแต่งเพียงแต่มีการกรองหรือปรับสภาพน้ำมันให้เหมาะสมกับการใช้งานเท่านั้น

2.3 การวัดคุณสมบัติน้ำมัน

1) ความหนืด (Viscosity) การวัดค่าความหนืด สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดค่าความหนืดแบบ Saybolt Universal Viscosity ซึ่งทำได้โดยนำน้ำมันที่ทำการทดสอบเทลงในช่องทดสอบ จากนั้นให้ความร้อน เมื่อถึงอุณหภูมิทดสอบ แล้วปล่อยน้ำมันที่ทำการทดสอบลงในขวดที่วัดปริมาตรและจับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อระดับน้ำมันถึงขีดบอกระดับ โดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D445 สามารถคำนวณค่าความหนืดได้จากสมการ

$$\nu = Ct \quad (2.1)$$

โดยที่ ν = ค่าความหนืดแบบกินเมติก (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็น cSt (Centistokes หรือ Millimeters Square per Second; mm²/s)

C = ค่าคงที่ของ Viscometer มีหน่วยเป็น cSt/s

t = Flow time ที่ได้จากการจับเวลา มีหน่วยเป็น s วินาที

2) ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของน้ำมันคือ อัตราส่วนระหว่างมวลของน้ำมันต่อหน่วยปริมาตรของน้ำมัน ถ้าค่าความหนาแน่นสูง แสดงว่าเป็นน้ำมันหนัก แต่ถ้าความหนาแน่นต่ำก็แสดงว่าเป็นน้ำมันเบา สามารถคำนวณค่าความหนืดได้จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

โดยที่ m=มวลของน้ำมัน มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

v=ปริมาตรของน้ำมัน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m³)

3) จุดขุ่นตัว (Cloud point) การหาจุดขุ่นตัวทำได้โดยใส่น้ำมันลงในหลอดทดลอง ปิดด้วยจุกคอร์กที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ตรงกลาง นำหลอดทดลองใส่ไว้ในบีกเกอร์ที่มีน้ำแข็งผสมเกลือค่อยๆ ทำให้เย็นลงช้าๆ ยกหลอดออกมาตรวจดูการขุ่นตัวทุกช่วงอุณหภูมิที่ลดลงโดยไม่ต้องคนโดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2500

4) จุดเทตัว (Pour point) เมื่อทำให้เชื้อเพลิงเย็นตัวลงเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิหนึ่งจะเริ่มแข็งตัว และถ้าทำให้เย็นตัวต่อไปอีกจะจับตัวเป็นก้อน และหยุดไหลจุดเทตัวคืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวได้ จุดเทตัวของน้ำมันปิโตรเลียมจะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ยังคงสามารถนำไปใช้งานได้ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D97

5) จุดวาบไฟ (Flash point) เป็นจุดที่อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถจะให้ไอ และติดวาบไฟขึ้นได้ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D93

6) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะคือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ โดยทั่วไปกำหนดให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีความถ่วงจำเพาะที่ 15.6°C (60°F) สามารถคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะได้จากสมการดังนี้

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (2.3)$$

โดยที่ SG = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ρ = ความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็น kg/m^3

ρ_{H_2O} = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 15.6°C มีหน่วยเป็น kg/m^3

นอกจากนี้ยังมีวิธีวัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงอีกหนึ่งหน่วยที่สถาบันการปิโตรเลียมของอเมริกา (American Petroleum Institute ; API) คือ ความถ่วง เอ พี ไอ (API Gravity) ซึ่งเป็นตัวเลขแสดงค่าความหนัก-เบาของน้ำมันปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์น้ำมันชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 15.6°C (60°F) โดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1298 ถ้าน้ำมันหนักจะมีค่าความถ่วง เอ พี ไอ ต่ำ แต่ถ้าเป็นน้ำมันเบาจะมีค่าความถ่วง เอ พี ไอ สูง และค่านี้ยังมีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และความหนาแน่น (Density) อีกด้วย ซึ่งหากทราบค่าใดค่าหนึ่งจากสามค่านี้ก็จะทราบอีกสองค่าที่เหลือได้จากสมการดังนี้

$$API\ Gravity = \left(\frac{141.5}{SG} \right) - 131.5 \quad (2.4)$$

โดยที่ SG = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่อุณหภูมิ 15.6°C

7) ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้หลังการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง เนื่องจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ขึ้นกับความร้อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นกำลัง ดังนั้นค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีผลโดยตรงต่อกำลัง ที่ออกจากเครื่องยนต์ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter

8) ค่าของซีเทน (Cetane Number) ในน้ำมันเชื้อเพลิง ได้จากการวัดคุณภาพของน้ำมันดีเซล (Measure of The Quality of a Diesel Fuel) โดยตัวเลขแสดงค่านี้ เป็นการแสดงว่ามีปริมาณ Cetane ที่เป็นส่วนหนึ่งในของผสม (Blend) ในน้ำมันดีเซล ที่เป็นของผสมระหว่าง Cetane กับสารผสมอื่นที่เป็นส่วนน้อยที่มีคุณสมบัติในการเผาไหม้เท่าเทียมกันของน้ำมันดีเซลจะเป็น

ค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมัน ค่าซีเทนของน้ำมันยิ่งสูงจะยิ่งจุดระเบิดได้ง่าย เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดได้ง่ายในอุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์หมุนรอบได้เร็วโดยไม่สะดุด และไม่เกิดควันดำ แต่ถ้าค่าซีเทนของน้ำมันต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเกิดควันดำได้ ตามมาตรฐานของไทยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วต้องมีค่าซีเทนอย่างต่ำมากกว่า 47 และสำหรับดีเซลหมุนช้ามากกว่า 45 ขึ้นไป

2.4 คุณสมบัติของไนโตรพาราฟินส์ (Nitroparaffins)

ไนโตรพาราฟินส์ (Nitroparaffins) เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีรูปแบบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_2) เป็นองค์ประกอบ เช่น

ไนโตรมีเทน (Nitromethane ; CH_3NO_2)

ไนโตรอีเทน (Nitroethane ; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NO}_2$)

โมโนไนโตรโพรเพน (1-Nitropropanes ; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NO}_2$)

ไดไนโตรโพรเพน (2-Nitropropanes ; $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NO}_2)\text{CH}_3$)

คุณสมบัติของไนโตรพาราฟินส์ คือ ความสามารถในการทำละลายหลากหลายและกว้างกว่าสารละลายอื่นๆ ค่าความเป็นฉนวนคงที่สูง ความสามารถให้ของเหลวผสมที่จุดเดือดสูงสุด ความสามารถในการเป็นตัวกลางพื้นฐานเพื่อสังเคราะห์สารเคมี

ประโยชน์ของไนโตรพาราฟินส์ คือ ใช้เป็นตัวทำละลายส่วนผสมในอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเป็นตัวกลางของปฏิกิริยาโพลิเมอร์ เป็นตัวกลางพื้นฐานเพื่อสังเคราะห์สารเคมีในอุตสาหกรรมผลิตยา และเป็นส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉพาะไนโตรมีเทน (Nitromethane) ถูกใช้ผสมเมทานอล (Methanol) เป็นเชื้อเพลิงพิเศษในเครื่องยนต์ที่ใช้ในการแข่งขัน ซึ่งทำให้เพิ่มกำลังเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงนี้ เพราะว่าไนโตรมีเทน (Nitromethane) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติจะให้ออกซิเจนในช่วงจุดระเบิด ทำให้มีออกซิเจนในช่วงจุดระเบิดมากขึ้นและจำนวนละอองของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น เครื่องยนต์ก็จะมีกำลังมากขึ้น ส่วนการใช้ไนโตรพาราฟินส์ผสมในเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล ไนโตรมีเทน (Nitromethane) ช่วยให้การจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เครื่องยนต์ทำงานในรอบต่ำได้ดี ผลลัพธ์ทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และลดควันจากการเผาไหม้ที่ปล่อยจากท่อไอเสีย วิธีการผสมไนโตรพาราฟินส์ (Nitroparaffins) สามารถผสมได้โดยตรงที่เชื้อเพลิง และสามารถผสมสูงสุดจนถึงขีดจำกัดของความสามารถในการถูกละลาย เช่น ไนโตรมีเทน (Nitromethane) สามารถเติมได้ถึง 2% โดยน้ำหนัก และไนโตรอีเทน (Nitroethane) สามารถเติมได้ถึง 18 % โดยน้ำหนัก เป็นต้น

2.5 หลักการของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซล เป็นเครื่องยนต์ ที่ได้รับการออกแบบ เพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical Energy) ของเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) เชื้อเพลิงถูกจุดให้ลุกไหม้ด้วยความร้อนของอากาศ ซึ่งถูกอัดตัวให้มีกำลังดันสูงโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่สำคัญๆ เพื่ออัดอากาศคั่นน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อผลิตกำลังงานชิ้นส่วนดังกล่าวคือกระบอกสูบ (Cylinder) และลูกสูบ (Piston) ซึ่งเลื่อนขึ้นลงในกระบอกสูบ ลูกสูบจะต่อกับกลไกที่ควบคุมการเลื่อนขึ้นลงซึ่งเรียกว่า ก้านสูบ (Connecting Rod) โดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งของก้านสูบจะต่อกับข้อเหวี่ยง (Crankpin) ของเพลาคือข้อเหวี่ยง (Crank shaft) ที่ปลายทั้งสองด้านของก้านสูบ จะมีเบร็กรองรับข้อเหวี่ยง ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบเป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวของเพลาคือข้อเหวี่ยง กำลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตขึ้นจะถูกส่งผ่านเพลาคือข้อเหวี่ยงนี้

เครื่องยนต์ดีเซล แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่

1) เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (The 4-Cycle Engine)

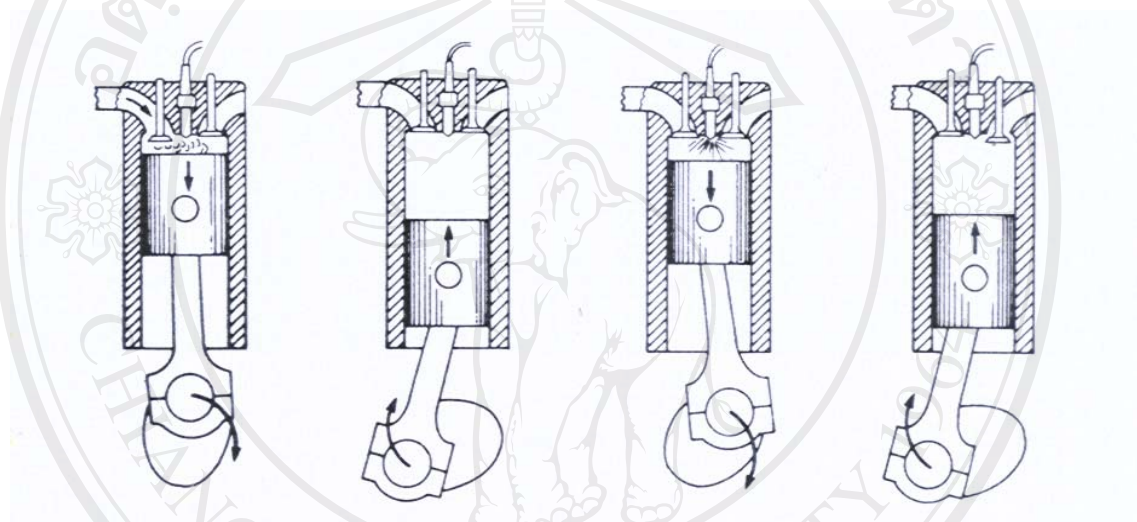
การทำงานของเครื่องยนต์ โดยเพลาคือข้อเหวี่ยงหมุนครบรอบ 2 รอบ หรือเป็นมุมรวม 720 องศา และให้กำลังงาน 1 ครั้ง โดยลูกสูบเลื่อนขึ้น 2 ครั้ง เลื่อนลง 2 ครั้ง ถือเป็นการทำงานครบ 1 วัฏจักรการทำงานครบ 1 วัฏจักร ประกอบด้วยจังหวะการทำงานดังต่อไปนี้

จังหวะดูด (Suction Stroke) เมื่อลูกสูบอยู่จุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center ; T.D.C) คือจุดที่ลูกสูบเลื่อนขึ้นสูงสุด (เมื่อเพลาคือข้อเหวี่ยงหมุนต่อไป ลูกสูบเลื่อนลง) ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิดเพลาคือข้อเหวี่ยงหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจุดลูกสูบเลื่อนลงอากาศภายนอกถูกดูดเข้าบรรจุในกระบอกสูบทางลิ้นไอดี จนกระทั่งลูกสูบถึงจุดศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center ; B.D.C) คือจุดที่ลูกสูบเลื่อนต่ำสุด (เมื่อเพลาคือข้อเหวี่ยงหมุนต่อไป ลูกสูบจะเลื่อนขึ้น) ลิ้นไอดีปิด

จังหวะอัด (Compression Stroke) ลูกสูบเลื่อนขึ้นจากจุดศูนย์ตายล่าง อัดอากาศที่เรียกว่า ไอดี จังหวะนี้ลิ้นไอดีและไอเสียปิดสนิท อากาศจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลงประมาณ 1/16 ของปริมาตรเดิม เมื่อลูกสูบอยู่ที่จุดศูนย์ตายบน และมีกำลังดันจากการอัด อุณหภูมิของอากาศที่ถูกอัดตัวจะสูงขึ้นมาก ซึ่งพอที่จะจุดฟอยละของเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ได้

จังหวะกำลังหรือจังหวะระเบิด (Power Stroke or Expansion Stroke) ณ ตำแหน่งอัดสุดที่จุดศูนย์ตายบนนี้ หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงเป็นฟอยละของเข้าไปในกระบอกสูบ ความร้อนของอากาศที่ถูกอัดจะจุดฟอยละของเชื้อเพลิง และเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ทำให้ก๊าซเกิดการขยายตัว ผลักดันลูกสูบให้เลื่อนลงอย่างรุนแรงจากจุดศูนย์ตายบนสู่จุดศูนย์ตายล่าง ส่งกำลังที่ได้รับผ่านสลักลูกสูบและก้านสูบไปหมุนเพลาคือข้อเหวี่ยง

จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ลิ้นไอเสียเปิด ก่อนลูกสูบเลื่อนลงถึงจุดศูนย์ตายล่าง เล็กน้อย ก๊าซไอเสียจะดันออกจากกระบอกสูบ เพลาข้อเหวี่ยงยังคงหมุนต่อไป และดันลูกสูบเลื่อนขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน ผลักดันไอเสียออกจากกระบอกสูบ ลูกสูบยังคงเลื่อนขึ้นจนถึงจุดศูนย์ตายบน ลิ้นไอดีเปิดโดยที่ลิ้นไอเสียปิดอยู่ ณ ตำแหน่งนี้ ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิดพร้อมกัน (Over Lap) ไอดีมีแรงดันสูงกว่าจะช่วยขับไล่ไอเสียออกไปจากกระบอกสูบ ลิ้นไอเสียเปิดเมื่อลูกสูบเลื่อนลงจากจุดศูนย์ตายบนเล็กน้อยและลูกสูบยังคงเคลื่อนลงเรื่อยๆ เพื่อดูดอากาศบริสุทธิ์เข้ากระบอกสูบแล้วเริ่มทำงานต่อไป ในจังหวะ ดูด อัด ระเบิด และคาย ต่อเนื่องกัน เป็นวัฏจักรจนกว่าเครื่องยนต์จะดับ



(ก) จังหวะดูด

(ข) จังหวะอัด

(ค) จังหวะระเบิด

(ง) จังหวะคาย

รูป 2.2 ลำดับการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (ปราโมทย์, 2538)

2.6 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์

1) กำลังเพลา (Brake Power)

การทดสอบเครื่องยนต์นิยมใช้ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งมีขีดการวัดแรงบิดได้กว้างสามารถวัดแรงบิดที่เกิดขึ้น โดยการหมุนเครื่องยนต์ แรงบิดที่เพิ่มขึ้นจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กระหว่างขดลวดอาเมเจอร์ (Armature) และสเตเตอร์ (Stator) จะเท่ากับแรงบิดของเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบ โดยวัดกำลังของไดนาโมมิเตอร์ ดังสมการ

$$BP = \frac{2\pi nT}{(60)(1000)} \quad (2.5)$$

เมื่อ BP = กำลังเพลาเบรคของเครื่องยนต์ (kW)

n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

T = แรงบิด (Nm)

สำหรับไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถหาได้จาก ค่ากระแส (I) และค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ที่จ่ายออกมาโดยเจนเนอเรเตอร์ เราสามารถนำมาประมาณการหาค่ากำลังเพลลาของเครื่องยนต์ ได้ ดังสมการ

$$BP = \frac{\sqrt{3}VICos\phi}{1000} \quad (2.6)$$

เมื่อ

V = ค่าแรงดันไฟฟ้า (Volt)

I = ค่ากระแสไฟฟ้า (Amp)

$Cos\phi = PF$ = แฟคเตอร์กำลัง (Power Factor)

2) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption)

สามารถหาได้โดยการวัดปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานภายใต้โหลดและความเร็วต่างๆ ต่อเวลา ดังสมการ

$$m_f = \frac{3600 \times V_f \times SG}{1000t} \quad (2.7)$$

เมื่อ

m_f = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/h)

V_f = ปริมาตรของน้ำมัน (mm^3)

SG = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง

t = เวลา (Sec)

3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะคือ การหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงให้เป็นงานที่ทำได้

$$SFC = \frac{m_f}{BP} (kg / kW - hr) \quad (2.8)$$

เมื่อ

m_f = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/h)

BP = กำลังเพลลาเบรคของเครื่องยนต์ (kW)

4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ส่งออก กับพลังงานที่เกิดจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิง

$$\eta_{bth} = \frac{BP \times 3600 \times 100}{m_f \times Q_h \times 1000} \quad (2.9)$$

เมื่อ

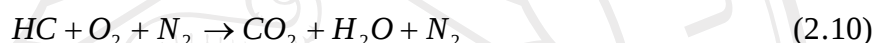
 η_{bth} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน Q_h = ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (MJ/kg)

BP = กำลังเพลابرคของเครื่องยนต์ (kW)

2.7 การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แบ่งออกได้ดังนี้คือ

1) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

น้ำมันเชื้อเพลิง+อากาศ (ออกซิเจนและไนโตรเจน) → คาร์บอนไดออกไซด์+น้ำ+ไนโตรเจน



2) การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

น้ำมันเชื้อเพลิง+อากาศ (ออกซิเจนและไนโตรเจน) → คาร์บอนมอนอกไซด์+คาร์บอนไดออกไซด์+น้ำ



2.8 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีประสิทธิภาพมากที่สุดและเพื่อจะได้สงวนทรัพยากรธรรมชาติไว้ใช้ประโยชน์อย่างเดียวกันหรือในลักษณะอื่นที่ให้ประโยชน์มากขึ้น การวิเคราะห์ดังกล่าวจึงเป็นการวิเคราะห์หาผลประโยชน์และต้นทุน (ค่าใช้จ่าย) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับโครงการ

การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์ จะเริ่มด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการระบุต้นทุนและผลตอบแทนทั้งสิ้นที่เกิดจากการมีโครงการ จากนั้นก็ตีค่าต้นทุนและผลตอบแทนให้ถูกต้อง เพื่อทราบมูลค่าของทรัพยากรทั้งหมดที่โครงการจะใช้และมูลค่าของสินค้าและบริการที่โครงการผลิตได้ในแต่ละปี

เมื่อทราบมูลค่าของต้นทุนและผลตอบแทนแล้ว ก็นำต้นทุนและผลตอบแทนมาเปรียบเทียบกัน เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ โดยใช้หลักเกณฑ์การประเมินความคุ้มค่าของโครงการ จากนั้นก็วิเคราะห์การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงเพื่อทดสอบว่าสถานการณ์เปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบต่อต้นทุน ผลตอบแทน หรือต้นทุนเหล่านี้ถึงแม้จะดีค่าเป็นเงินไม่ได้แต่ก็มีความสำคัญต่อการตัดสินใจว่าจะรับหรือปฏิเสธโครงการเช่นกัน โครงการที่มีค่า IRR

ต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของการลงทุน อาจยอมรับได้ถ้าโครงการนั้นมีผลตอบแทนที่วัดเป็นเงินไม่ได้ สูง หรือมีนัยสำคัญต่อประเทศ

การระบุด้านทุนและผลตอบแทนด้านทุนประกอบด้วยค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและดำเนินงานโครงการ ได้แก่ ที่ดิน แรงงาน เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์การผลิต และวัตถุดิบ ส่วนผลตอบแทนจะได้แก่สินค้าและบริการที่ผลิตได้จากโครงการนอกจากนั้น ผลตอบแทนยังอาจปรากฏในรูปของการประหยัดต้นทุน และการหลีกเลี่ยงและลดความเสี่ยง

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ด้านทุนและผลตอบแทนดังกล่าวจะต้องไม่รวมรายการ ด้านทุนและผลตอบแทนที่ไม่ใช่ต้นทุน และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อาจพิจารณาจากหลักเกณฑ์ ดังนี้

ต้นทุนทางเศรษฐกิจได้แก่ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรแท้จริง เช่น ที่ดิน แรงงาน ทุน และวัตถุดิบ ทรัพยากรเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในทางเลือกอื่นเพื่อผลิตเป็นผลผลิตให้กับประเทศได้ ดังนั้นรายการที่ไม่เป็นต้นทุนทางเศรษฐกิจ จึงได้แก่รายการที่ไม่ใช้ทรัพยากร ไม่มีทางเลือกอื่นใช้ และไม่สามารถผลิตผลตอบแทนให้แก่ประเทศได้ รายการเหล่านี้โดยทั่วไปจะได้แก่ รายการ ประเภทเงินจ่ายโอน (Transfer Payments) เช่น ค่าภาษี ค่าดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคา

ส่วนรายการที่ไม่ใช่ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจะได้แก่ รายการที่ไม่มีอิทธิพลต่อระดับการผลิต หรือผลตอบแทนของโครงการ เช่น รายได้จากดอกเบี้ยและเงินอุดหนุน ซึ่งเป็นประเภทเงินจ่ายโอน เช่นกัน เมื่อหักรายการต่างๆที่ไม่ใช่เงินต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจออกแล้ว ผลที่ได้ก็คือ รายการต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโครงการ

โครงการที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดอาจกล่าวได้ว่ายังไม่ใช่โครงการที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงต้อง มีการพิจารณาถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการนั้นๆ และจะต้องคำนึงถึงเป้าหมาย และนโยบายของโครงการนั้นด้วย ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ โครงการในเชิงเศรษฐศาสตร์และรายละเอียดอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ ผลตอบแทนหรือประสิทธิภาพ การผลิตหรือความสามารถทำกำไรของโครงการ ที่มีต่อชุมชนหรือระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของ ชุมชน โดยการวิเคราะห์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด หลักการประเมินโครงการนั้น แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.8.1 เกณฑ์การประเมินแบบไม่ต้องปรับค่าเวลา

1) การตรวจสอบอย่างง่าย (Ranking Inspection) เป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ง่ายและ ช่วยการตัดสินใจได้ในบางกรณี ทั้งนี้ผู้วิเคราะห์โครงการเพียงทราบการลงทุนและผลตอบแทนก็สามารถบอกได้ทันทีว่าโครงการใดดีกว่า

2) ความจำเป็นเร่งด่วน (Urgency) ตามหลักการนี้ โครงการใดมีความจำเป็นเร่งด่วนมาก ก็จะมีค่าสำคัญสูงกว่าโครงการที่มีความเร่งด่วนน้อยกว่า ความจำเป็นเร่งด่วนดังกล่าวเป็นความจำเป็นเร่งด่วน เมื่อไม่ดำเนินการแล้วอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกิจการหรือต่อประเทศชาติ

3) ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้คือ จะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นได้ ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น (Simple Payback Period) เป็นวิธีที่คิดแบบง่ายๆ และเป็นที่ยอมรับใช้แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้ว และไม่พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลาซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

สำหรับในกรณีผลตอบแทน และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \quad (2.12)$$

โดยที่ กระแสเงินสดสุทธิต่อปี = กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี – กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี

4) การให้คะแนน (Scoring) เกณฑ์การประเมินมักเน้นการตัดสินใจที่หลักเกณฑ์ใดหลักเกณฑ์หนึ่ง เช่น กำไรทางการเงิน ดังนั้นเพื่อการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเกณฑ์การประเมินแบบให้คะแนนที่ใช้หลายๆหลักเกณฑ์มาประเมินโครงการ กล่าวคือ ตามหลักเกณฑ์นี้จะมีการกำหนดเงื่อนไข หรือปัจจัยขึ้นมาจำนวนหนึ่ง เพื่อใช้ในการพิจารณาตัดสินใจว่าจะรับ หรือปฏิเสธโครงการเช่น

- ความสอดคล้องกับนโยบายหรือแผนพัฒนา
- สร้างโอกาสการสร้างงาน
- ช่วยกระจายรายได้
- ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้ด้อยโอกาส
- ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- มีผลตอบแทนคุ้มค่าทางการเงินและเศรษฐกิจ

จากนั้นก็พิจารณาให้คะแนนแต่ละเงื่อนไข หรือปัจจัยในการให้คะแนนอาจให้คะแนนแบบถ่วงน้ำหนักหรือไม่ถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญ โดยการเปรียบเทียบของแต่ละปัจจัยผลรวมของคะแนนที่ได้ก็นำมาใช้ในการพิจารณาเป็นต้น

2.8.2 เกณฑ์การประเมินแบบปรับค่าเวลา

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV) คือ ผลรวมของผลประโยชน์สุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วของโครงการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อาจจะมีค่าเป็นบวก เป็นลบหรือเป็นศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของมูลค่าปัจจุบันของรายได้รวม (Present Value Benefit ; PVB) หักลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost ; PVC) ของโครงการซึ่งมุ่งวัดว่าโครงการที่พิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ โดยสามารถคำนวณหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \end{aligned} \quad (2.13)$$

กำหนดให้
 B_t = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1,2,3,...,n
 C_t = ค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1,2,3,...,n
 r = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด (ร้อยละ) ที่เหมาะสม
 t = อายุของโครงการ ปีที่ 1,2,3,...,n
 n = อายุสิ้นสุดของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจความคุ้มค่าของโครงการ

ถ้า $\text{NPV} > 0$ คือ การลงทุนที่คุ้มค่าเพราะว่าผลประโยชน์ของโครงการมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายของโครงการ โครงการนี้สมควรลงทุน

ถ้า $\text{NPV} = 0$ คือ ผลประโยชน์ของโครงการและค่าใช้จ่ายของโครงการที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากัน ดังนั้นการตัดสินใจลงทุนหรือไม่นั้น ย่อมได้ผลเดียวกัน

ถ้า $\text{NPV} < 0$ คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการมากกว่าผลประโยชน์ของโครงการที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว ดังนั้น โครงการนี้ไม่ควรลงทุน

2) อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (Benefit Cost Ratio ; B/C Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่าง มูลค่าปัจจุบันของรายได้รวม (PVB) หักลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVC) ของโครงการ โดยอัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายนั้นคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{B/C} = \text{PVB/PVC}$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (2.14)$$

กำหนดให้ B_t = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1,2,3,.....n
 C_t = ค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1,2,3,.....n
 r = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด
 t = อายุของโครงการ ปีที่ 1,2,3,.....n
 n = อายุสิ้นสุดของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจความคุ้มค่าของโครงการ

ถ้า B/C Ratio > 1 คือ โครงการนี้สมควรลงทุน

ถ้า B/C Ratio = 0 คือ โครงการนี้ลงทุนหรือไม่นั้น ย่อมได้ผลเดียวกัน

ถ้า B/C Ratio < 1 คือ โครงการนี้ไม่สมควรลงทุน

3) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return ; IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคิดลดกับขนาดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นดังนี้ ถ้าอัตราคิดลดระดับหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการคิดลดแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก อัตราคิดลดระดับใหม่ที่สูงกว่าจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลง และลดลงต่อไปตราบเท่าที่อัตราคิดลดยังคงเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในท้ายที่สุดจะมีอัตราคิดลดระดับหนึ่งที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์พอดี ซึ่งก็คืออัตราผลตอบแทนภายในโครงการ เมื่อกำหนด r คือ IRR แล้วสามารถหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการได้ โดยวิธี Trial and Error ดังสมการ

$$\text{IRR คือค่า } r \text{ (อัตราคิดลด) ที่ทำให้ } \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0 \quad (2.15)$$

ค่า IRR ที่ได้คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการตลอดอายุของโครงการ ซึ่งโดยปกติแล้วค่า IRR ที่มากกว่าหรือเท่ากับอัตราดอกเบี้ย จะถือว่าโครงการนั้นเป็นโครงการที่น่าสนใจลงทุน

2.8.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการ เป็นการวิเคราะห์ว่าระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C Ratio) จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อสถานการณ์เดิมของโครงการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ต้นทุนของปัจจัยการผลิตผลตอบแทนเปลี่ยนแปลงไป ราคาของผลผลิต อัตราคิดลด และอายุของโครงการ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis) เป็นวิธีที่ง่ายและแพร่หลายมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน เพื่อดูว่าเมื่อข้อสมมติ และเหตุการณ์ต่างๆที่กำหนดไว้เดิมเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลอย่างไรกับตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ในการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงโดย

ทดสอบค่าความแปรเปลี่ยน (Switching Value Test ; SVT) วิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงในรูปร้อยละ ของปัจจัยที่เชื่อว่ามีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ของโครงการซึ่งทำให้โครงการอยู่ ณ เกณฑ์การตัดสินใจขั้นต่ำสุดที่จะยอมรับได้ หรือที่ทำให้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นศูนย์ โดยทดสอบค่าความแปรเปลี่ยน (SVT) แยกได้ 2 วิธีคือ

1) การทดสอบค่าความแปรเปลี่ยนทางด้านต้นทุน (SVT_c) หมายความว่าต้นทุนของโครงการสามารถเพิ่มขึ้นได้ร้อยละเท่าใด ก่อนที่จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นศูนย์ดังสมการ

$$SVT_c = \frac{NPV \times 100}{PVC} \quad (2.16)$$

เมื่อ PVC คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost ; PVC)

2) การทดสอบค่าความแปรเปลี่ยนทางด้านรายได้ (SVT_B) หมายความว่ารายได้ของโครงการสามารถลดลงได้ร้อยละเท่าใด ก่อนที่จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นศูนย์ดังสมการ

$$SVT_B = \frac{NPV \times 100}{PVB} \quad (2.17)$$

เมื่อ PVB คือ มูลค่าปัจจุบันของรายได้รวม (Present Value Benefit ; PVB)