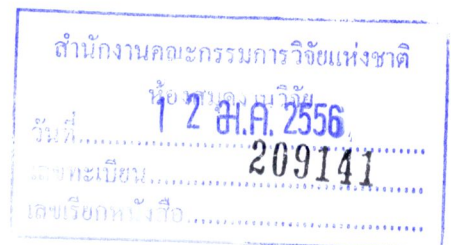
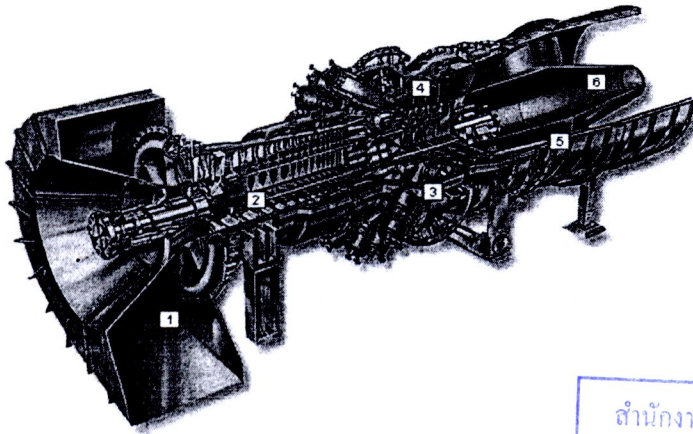




บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้ได้นำความรู้ในงานวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ประโยชน์จริง อีกทั้งยังได้อาศัยความรู้ด้านคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์มาช่วยอีกด้วยดังนี้

3.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกังหันก๊าซ (Gas turbine)



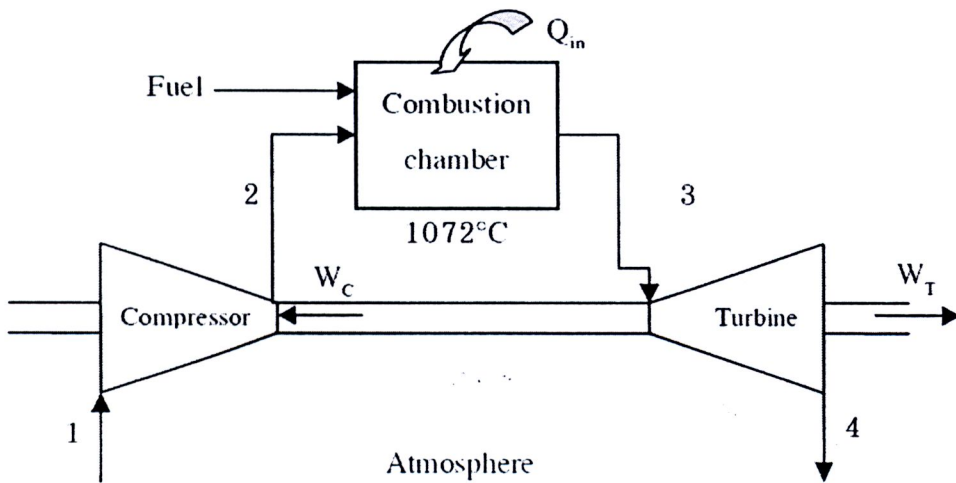
ภาพที่ 3.1 เครื่องกังหันก๊าซ

เครื่องกังหันก๊าซ (Gas turbine) ดังภาพที่ 3.1 จัดเป็นเครื่องยนต์ความร้อน (Heat engine) ประเภทเครื่องสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) โดยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้งานโดยตรงไม่ผ่านตัวกลาง หรืออาจกล่าวได้ว่าแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะทำหน้าที่เป็นสารทำงาน (Working fluid) นำพลังงานความร้อนไปถ่ายเทให้แก่ชุดใบพัดของเครื่องกังหันก๊าซ เพื่อเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลในรูปของการหมุนเพลา อุปกรณ์หลักของเครื่องกังหันก๊าซ (Gas turbine) จะประกอบไปด้วย

เครื่องคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดอากาศจากบรรยากาศ แล้วอัดเพื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น โดยอาศัยชุดใบพัดของคอมเพรสเซอร์ (Compressor blades) ในขณะที่เพิ่มความดันอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) เป็นส่วนที่เกิดการเผาไหม้ของอากาศที่ได้รับจากคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ผสมกับเชื้อเพลิง ผลจากการเผาไหม้ในส่วนนี้จะได้ก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อส่งไปยังชุดใบพัดของเครื่องกังหัน (Turbine blades) ต่อไป

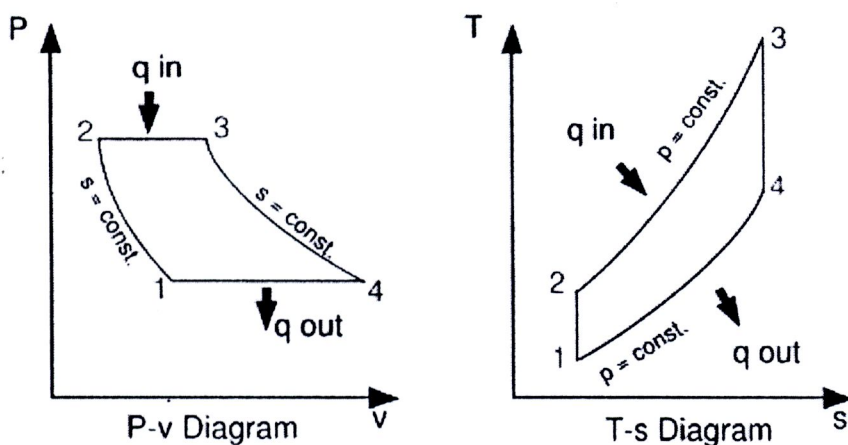
เครื่องกังหัน (Turbine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ให้เป็นพลังงานกลโดยอาศัยชุดใบพัดของเครื่องกังหัน (Turbine blades) เป็นตัวเปลี่ยนพลังงาน



ภาพที่ 3.2 หลักการทำงานของเครื่องกังหันก๊าซ

การทำงานของเครื่องกังหันก๊าซอธิบายได้ด้วยวัฏจักรเบรตัน (Brayton Cycle) ที่มีกระบวนการอุดมคติดังนี้

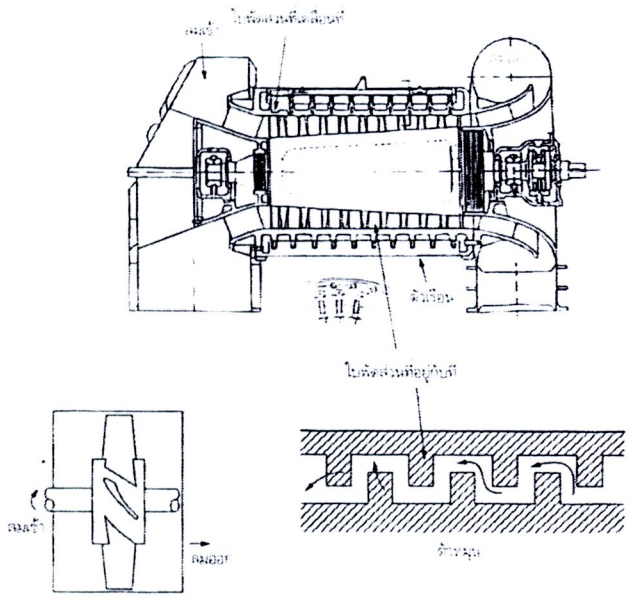
1. กระบวนการอัดแบบ Isentropic (ที่ Compressor)
2. กระบวนการรับความร้อนแบบความดันคงที่
3. กระบวนการขยายตัวแบบ Isentropic (ที่ Turbine)



ภาพที่ 3.3 แสดง P-V และ T-S diagram ของเครื่องกังหันก๊าซ

3.2 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

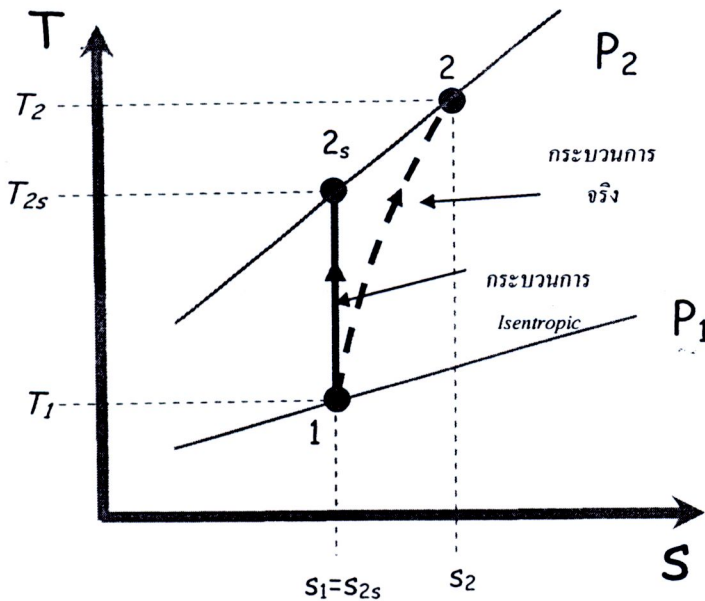
โดยปกติแล้วระบบเครื่องกังหันก๊าซจะใช้คอมเพรสเซอร์แบบอัดในแนวแกน (Axial compressor) ซึ่งมีลักษณะคล้ายตัวกังหัน (Turbine) ประกอบด้วยใบพัดที่ติดอยู่บนเพลาเป็นแถวๆ ระหว่างแถวของใบพัดจะมีใบพัดติดอยู่ที่ตัวเรือนสลับกันเป็นแถวๆ เช่นเดียวกัน เมื่ออากาศถูกดูดพร้อมกับอัดผ่านแต่ละแถวของใบพัดที่อยู่กับที่ และใช้ใบพัดหมุนที่ประกอบติดอยู่บนเพลาแล้ว ปริมาตรของอากาศจะลดลง ดังนั้นขนาดและความยาวของใบพัดก็จะลดลงตามทิศทางการไหลของอากาศเป็นสัดส่วนเรื่อยไป ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบกังหันชนิดอัดในแนวแกน (Axial – Flow Compressor)

3.3 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก (Compressor Isentropic Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก (Compressor Isentropic Efficiency) คือค่าประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ที่ทำงานจริงเทียบกับกระบวนการในอุดมคติ (การอัดอากาศแบบ Isentropic)



ภาพที่ 3.5 กระบวนการที่เกิดขึ้นบน Compressor (T-s diagram) [9]

นั่นคือจะเท่ากับงานที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เมื่อมีการอัดอากาศแบบ Isentropic ส่วนด้วยงานที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์จริง ดังภาพที่ 3.5 โดยสามารถเขียนออกมาในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\eta_{\text{comp}} = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (3.1)$$

เมื่อ

η_{comp}	คือ ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก (Compressor Isentropic Efficiency)
w_s	คือ งานที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในกรณีที่เป็นกระบวนการ Isentropic process
w_a	คือ งานที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริง
h_1	คือ Enthalpy ของอากาศที่ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์
h_{2s}	คือ Enthalpy ของอากาศที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ในกรณีที่เป็นกระบวนการ Isentropic
h_{2a}	คือ Enthalpy ของอากาศที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริง

โดยที่

$$\begin{aligned} h_2 - h_1 &= c_p (T_2 - T_1) \\ h_{2s} - h_1 &= c_p (T_{2s} - T_1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

สามารถหาค่า T_{2s} จาก

$$\begin{aligned} T_{ds} &= gh - vdp \\ dh &= C_{p0} dT \\ \frac{v}{T} &= \frac{R}{P} \\ ds &= C_{p0} \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P} \\ s_2 - s_1 &= \int_1^2 \frac{C_{p0}}{T} dT - R \ln \frac{P_2}{P_1} \end{aligned} \quad (3.3)$$

เมื่อ

- C_{p0} คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่
 v คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของก๊าซ
 T คือ อุณหภูมิของก๊าซ
 R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ
 P คือ ความดันของก๊าซ
 S คือ ค่าเอนโทรปี (Entropy) ของอากาศ

เนื่องจากเป็นกระบวนการ Isentropic

$$s_2 - s_1 = 0$$

$$\int \frac{C_{p0}}{T} dT = R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$C_{p0} = a + bT + cT^2 + dT^3$$

$$\int_1^2 \frac{C_{p0}}{T} dT = \int_1^2 \frac{1}{T} (a + bT + cT^2 + dT^3) dT$$

$$\int_1^2 \frac{C_{p0}}{T} dT = \left[a \ln \frac{T_{2s}}{T_1} + b(T_{2s} - T_1) + c \frac{T_{2s}^2 - T_1^2}{2} + \frac{T_{2s}^3 - T_1^3}{3} \right] \quad (3.4)$$

เมื่อ a, b, c, d แทนค่าคงที่สำหรับค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของก๊าซ ดังนั้น

$$\left[a \ln \frac{T_{2s}}{T_1} + b(T_{2s} - T_1) + c \frac{T_{2s}^2 - T_1^2}{2} + \frac{T_{2s}^3 - T_1^3}{3} \right] = R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\left[a \ln \frac{T_{2s}}{T_1} + b(T_{2s} - T_1) + c \frac{T_{2s}^2 - T_1^2}{2} + \frac{T_{2s}^3 - T_1^3}{3} \right] - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0 \quad (3.5)$$

ใช้วิธี Trial & error หาค่า T_{2s} ได้สามารถหาค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกได้โดยการนำ T_{2s} ไปแทนสมการที่ 3.2

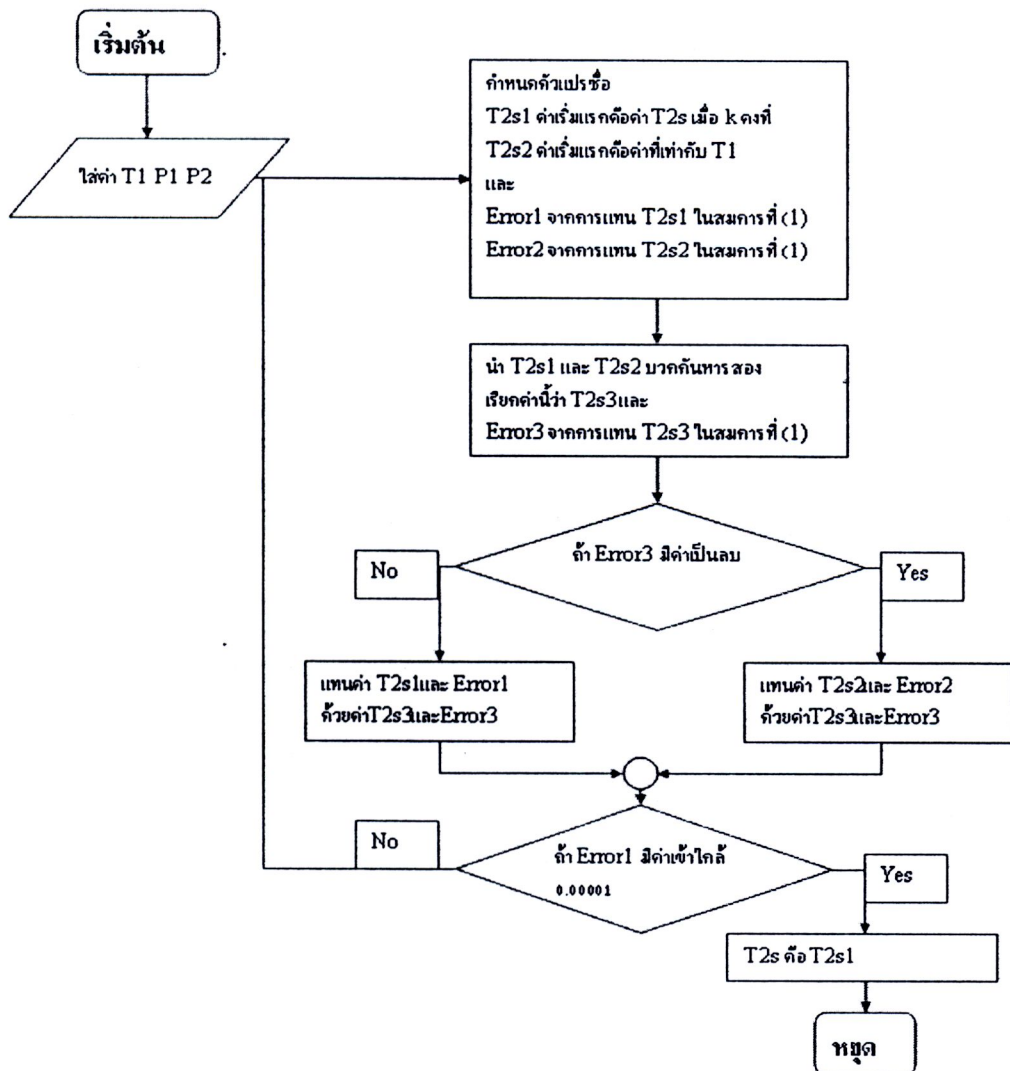
$$h_{2s} - h_1 = \left[aT_2 + \frac{bT_{2s}^2}{2} + \frac{bT_{2s}^3}{3} + \frac{bT_{2s}^4}{4} \right] - \left[aT_1 + \frac{bT_1^2}{2} + \frac{bT_1^3}{3} + \frac{bT_1^4}{4} \right] \quad (3.6)$$

$$h_2 - h_1 = \left[aT_2 + \frac{bT_2^2}{2} + \frac{bT_2^3}{3} + \frac{bT_2^4}{4} \right] - \left[aT_1 + \frac{bT_1^2}{2} + \frac{bT_1^3}{3} + \frac{bT_1^4}{4} \right]$$

ถ้าเรากำหนดให้

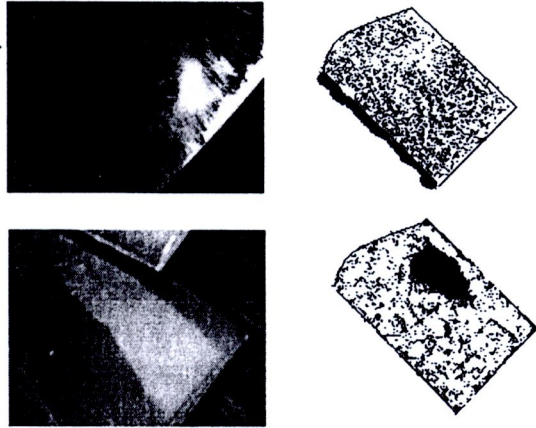
$$\left[a \ln \frac{T_{2s}}{T_1} + b(T_{2s} - T_1) + c \frac{T_{2s}^2 - T_1^2}{2} + \frac{T_{2s}^3 - T_1^3}{3} \right] - R \ln \frac{P_2}{P_1} = \text{error}$$

ใช้วิธีแบ่งครึ่งช่วงให้ค่า Error เข้าใกล้ศูนย์ (เข้าใกล้ 1×10^{-5} ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้) จะสามารถเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณค่า T_{2s} ดังกล่าวได้ ถ้าให้สมการดังกล่าวข้างต้นคือสมการที่ 3.8 Flow chart ของโปรแกรม คือ



ภาพที่ 3.6 แผนผังโปรแกรมคำนวณหาค่า T_{2s}

3.4 ความสกปรกในคอมเพรสเซอร์



ภาพที่ 3.7 แสดงความสกปรกที่เกิดขึ้นบนใบพัดคอมเพรสเซอร์

ความสกปรกที่เกิดขึ้นบนใบพัดของคอมเพรสเซอร์เกิดจากโมเลกุลที่มีอยู่ในอากาศเช่น ฝุ่น ละออง กรดเกลือในอากาศ ที่หลุดผ่านระบบการกรองเข้ามา มลภาวะจากอุตสาหกรรม เช่น น้ำมันหล่อลื่นที่มีอยู่ในระบบของเครื่องกังหันก๊าซ สิ่งเหล่านี้จะเกาะติดที่ใบพัดของคอมเพรสเซอร์ ดังภาพที่ 3.7 ส่งผลให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังส่งผลให้อายุการใช้งานของใบพัดสั้นลง ความสกปรกที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ใบพัดเกิดการผิดรูปขึ้นส่งผลให้มุมการไหลของอากาศเกิดความเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการอัดอากาศลดลง ค่าอัตราการไหล (Flow Capacity) ลดลง โดยความสกปรกที่เกิดขึ้นบนใบพัดของคอมเพรสเซอร์เป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งการเสื่อมสภาพของคอมเพรสเซอร์คิดเป็น 70-85% ของการเสื่อมสภาพในเครื่องกังหันก๊าซ ซึ่งจากการทดลองในเครื่องกังหันก๊าซความดันต่ำใน 100 ชั่วโมงการทำงานพบว่าความสกปรกบนใบพัดของคอมเพรสเซอร์ทำให้ค่าอัตราส่วนความดันลดลง 3-4% ในขณะที่ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกลดลง 2 – 4% ส่วนเครื่องกังหันความดันสูงทดลองที่ระยะเวลาเท่ากันพบว่าอัตราส่วนความดันลดลง 10% ในขณะประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกลดลง 6-7% โดยการลดลงของประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกจะลดลงจนกระทั่งถึง 90% ของประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกเดิมจากนั้นจะคงที่ ปัจจัยที่มีผลต่อความสกปรกบนใบพัดของคอมเพรสเซอร์ได้แก่ ค่าการออกแบบเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์ สถานที่ตั้ง การบำรุงรักษา และสภาพของบรรยากาศโดยรอบ

3.5 การทำความสะอาดใบพัดคอมเพรสเซอร์

การทำความสะอาดใบพัดของคอมเพรสเซอร์ (Blade cleaning) จะทำให้ประสิทธิภาพสูงกลับคืนได้ระดับหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นกับวิธีการและความถี่ของการทำความสะอาด ดังนั้นจึงได้มีการบวกรวมในการทำความสะอาดใบพัดเพื่อลดความสกปรกที่เกิดขึ้น โดยหลัก ๆ มีอยู่สามวิธี คือ

1. การทำความสะอาดด้วยวิธีทางกล ในระหว่างการซ่อมใหญ่ (Major Overhaul) ซึ่งจะเป็นการล้างโดยการหยุดเดินเครื่องกังหันก๊าซ (Shut down) แล้วนำใบพัดของคอมเพรสเซอร์ออกมาถอดล้างที่ละใบ

2. การทำความสะอาดแบบออฟไลน์ (Offline compressor cleaning) ซึ่งจะต้องทำการหยุดเดินเครื่องกังหันก๊าซ เพื่อลดอุณหภูมิภายในคอมเพรสเซอร์ หลังจากนั้นจะใช้มอเตอร์ (Starting Motor) ขับคอมเพรสเซอร์ให้มีความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที แล้วทำการฉีดสารทำความสะอาดเข้าไปล้าง

3. การทำความสะอาดแบบออนไลน์ (On-line compressor cleaning) ซึ่งจะทำให้การฉีดสารทำความสะอาดเข้าไปล้างในขณะที่มีการเดินเครื่องปกติ

โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียต่างกันคือ การทำความสะอาดด้วยวิธีทางกลมีข้อดีคือสามารถฟื้นฟูสภาพของคอมเพรสเซอร์ได้ดีที่สุดประมาณ 2 - 5% แต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายและค่าเสียโอกาสในการเดินเครื่องที่สูง ส่วนวิธีการทำความสะอาดแบบออฟไลน์มีข้อดีคือสามารถฟื้นฟูสภาพของคอมเพรสเซอร์ได้ค่อนข้างดี โดยทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นประมาณ 1-1.7% และไม่ต้องทำการหยุดเครื่องนานเหมือนกับการทำความสะอาดด้วยวิธีทางกลแต่ยังมีค่าเสียโอกาสเนื่องจากต้องมีการหยุดเดินเครื่องประมาณ 2 วัน ส่วนการทำความสะอาดแบบออนไลน์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการล้างน้อยที่สุดแต่ผลของการล้างนั้นไม่เด่นชัด [10] จะเห็นได้ว่าในการล้างแต่ละวิธีมีผลต่อการฟื้นฟูประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ได้ไม่เท่ากันและมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน

3.6 การวิเคราะห์ความแตกต่างของชุดข้อมูลเป็นคู่ (Paired t-test)

การวิเคราะห์ Two-Sample t-Test (t-Test สองตัวอย่าง) จะทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยประชากรที่เป็นฐานของแต่ละตัวอย่าง การวิเคราะห์ทั้งสามจะใช้สมมติฐานที่ต่างกันคือ ความแปรปรวนประชากรมีค่าเท่ากัน ความแปรปรวนประชากรมีค่าไม่เท่ากัน และทั้งสองตัวอย่างแสดงการสังเกตก่อนและหลังการทดลองในเรื่องเดียวกัน

สำหรับการวิเคราะห์ t-Test ทั้งสามต่อไปนี้ 't-Statistic value' หรือ 't' จะถูกคำนวณและแสดงเป็น 't Stat' ในตารางผลลัพธ์ ค่า t นี้อาจเป็นค่าลบหรือไม่ใช่ค่าลบก็ได้ขึ้นอยู่กับข้อมูลภายใต้สมมติฐานของค่าเฉลี่ยที่มีฐานประชากรเท่ากัน ถ้า $t < 0$ แล้ว " $P(T \leq t)$ one-tail" จะให้

ความน่าจะเป็นที่ t-Statistic จะถูกสังเกตได้ว่ามีค่าลบมากกว่า t และถ้า $t \geq 0$ แล้ว "P(T ≤ t) one-tail" จะให้ความน่าจะเป็นที่ t-Statistic จะถูกสังเกตได้ว่ามีค่าบวกมากกว่า t ส่วน "t Critical one-tail" จะให้ค่าตัด เพื่อให้ความน่าจะเป็นในการสังเกตค่าสถิติ t ที่มากกว่าหรือเท่ากับ "t Critical one-tail" เป็น Alpha

"P(T ≤ t) two-tail" จะให้ความน่าจะเป็นที่ค่าสถิติ t จะถูกสังเกตว่ามีค่าสัมบูรณ์มากกว่า t หรือไม่ ส่วน "P Critical two-tail" จะให้ค่าตัด เพื่อให้ความน่าจะเป็นของ t-Statistic ที่สังเกตที่มีค่าสัมบูรณ์มากกว่าค่าสัมบูรณ์ของ "P Critical two-tail" เป็น Alpha

3.6.1 t-Test: Paired Two Sample For Means

การทดสอบแบบจับคู่เมื่อมีการจับคู่ค่าสังเกตตามธรรมชาติในตัวอย่างต่างๆ เช่น เมื่อมีการทดสอบกลุ่มตัวอย่างสองครั้ง คือก่อนและหลังการทดลอง เครื่องมือวิเคราะห์นี้และสูตรของการวิเคราะห์จะทำ t-Test แบบจับคู่สองตัวอย่างของนักเรียน เพื่อระบุว่าการสังเกตที่ทำก่อนการทดลองและการสังเกตที่ทำหลังการทดลอง น่าจะมาจากการแจกแจงที่มีค่าเฉลี่ยประชากรที่เท่ากันหรือไม่ รูปแบบ t-Test นี้ไม่ได้ตั้งสมมติฐานว่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองมีค่าเท่ากัน

ในบรรดาผลลัพธ์ที่สร้างโดยเครื่องมือนี้คือค่าความแปรปรวนรวม ซึ่งเป็นการวัดสะสมของข้อมูลที่กระจายค่าอยู่รอบค่าเฉลี่ย และสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$S^2 = \frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3.9)$$

3.6.2 t-Test : Two-Sample Assuming Equal Variances

การวิเคราะห์นี้จะทำ T-test สองตัวอย่าง รูปแบบ t-Test นี้จะตั้งสมมติฐานว่าชุดข้อมูลทั้งสองชุดมาจากการแจกแจงที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน หรือที่เรียกว่า Homoscedastic t-Test สามารถใช้ T-test นี้ เพื่อกำหนดว่าทั้งสองตัวอย่างน่าจะมาจากการแจกแจงที่มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากันหรือไม่

3.6.3 t-Test : Two-Sample Assuming Unequal Variances

การวิเคราะห์นี้จะทำ t-Test สองตัวอย่าง รูปแบบ t-Test นี้จะตั้งสมมติฐานว่าชุดข้อมูลสองชุดมาจากการแจกแจงที่มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่า Heteroscedastic t-Test เช่นเดียวกับในกรณี Equal Variances ก่อนหน้านี้ สามารถใช้ t-Test นี้เพื่อกำหนดว่าทั้งสองตัวอย่างน่าจะมาจากการแจกแจงที่มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากันหรือไม่ ใช้การทดสอบนี้เมื่อทั้ง

สองตัวอย่างมีเรื่องที่แยกจากกัน และใช้การทดสอบแบบคู่ที่อธิบายในตัวอย่างต่อไป เมื่อมีเรื่องชุดเดียวและทั้งสองตัวอย่างแสดงการวัดสำหรับแต่ละเรื่องก่อนและหลังทำการทดลองสูตรต่อไปนี้ใช้กำหนดค่าสถิติ t

$$t' = \frac{\bar{x} - \bar{y} - \Delta_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{m} + \frac{S_2^2}{n}}} \quad (3.10)$$

สูตรต่อไปนี้ใช้เพื่อคำนวณองศาความเป็นอิสระ (Degrees of Freedom, df) เนื่องจากผลลัพธ์ในการคำนวณมักจะไม่เป็นจำนวนเต็ม ค่า df จึงถูกปัดเศษเป็นจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุดเพื่อให้ได้ค่าวิกฤตจากตาราง t (โดยฟังก์ชันแผ่นงาน t-Test ของ Excel จะใช้ค่า df จากการคำนวณโดยไม่ปัดเศษ เนื่องจากเป็นไปได้ที่จะคำนวณค่า t-Test โดยใช้ค่า df ที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม และเพราะความแตกต่างในการกำหนดค่าองศาความเป็นอิสระนี้ ผลลัพธ์ของ t-Test และเครื่องมือ t-Test นี้จะแตกต่างกันกรณี Unequal Variances)

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{m} + \frac{S_2^2}{n} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{m} \right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n} \right)^2}{n-1}} \quad (3.11)$$

3.7 โครงสร้างภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับ Visual Basic Applications บนโปรแกรม Microsoft Excel

Visual Basic Applications (VBA) นั้นเป็นโปรแกรมที่ใช้โครงสร้างภาษาเบสิก (Basic language) ในการศึกษาครั้งนี้มีการเขียนโปรแกรมที่ใช้ VBA บน Microsoft Excel โดยมีลักษณะเบื้องต้นดังนี้ (โครงสร้างของโปรแกรมโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวก)

3.7.1 คำสั่งที่ใช้ตรวจสอบเงื่อนไข (Conditional Statement)

ประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข (Condition) ใน VBA มีให้เลือกใช้ 2 คำสั่ง ดังนี้

3.7.1.1 คำสั่ง If...Then...Else

รูปแบบคำสั่งใช้ในการตรวจสอบหลายเงื่อนไข โดยเขียนเงื่อนไขได้หลายบรรทัด มี Elseif มี Else หรือไม่มีก็ได้ แต่ต้องมี End If อยู่บรรทัดสุดท้ายของประโยคคำสั่ง มีรูปแบบดังนี้

```
If เงื่อนไข then
    ประโยคคำสั่ง
Elseif เงื่อนไข then
    ประโยคคำสั่ง
Else
    ประโยคคำสั่ง
End If
```

3.7.1.2 คำสั่ง Select Case

สำหรับคำสั่ง Select Case นี้ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขว่าตัวแปรหรือนิพจน์ (Expression) เป็นค่าใดค่าหนึ่งที่ที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเป็นค่านี้แล้วให้ทำอะไร ถ้าเป็นค่านั้นแล้วให้ทำอะไร สังเกตได้ว่าคำสั่ง Select Case นั้นใช้สำหรับตรวจสอบตัวแปรหรือนิพจน์เดียวเท่านั้นสำหรับรูปแบบ (Syntax) ประโยคคำสั่ง มีดังนี้

```
Select Case ตัวแปรหรือนิพจน์
    Case ค่าที่ต้องการตรวจสอบ
        ประโยคคำสั่ง
    Case Else
        ประโยคคำสั่ง
End Select
```

3.7.2 คำสั่งที่ใช้ในการวนลูป (Looping Statement)

สำหรับประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการวนลูปใน VBA มี 4 คำสั่งดังนี้

3.7.2.1 For...Next

คำสั่งวนลูปแบบ For...Next นั้นปกติใช้ในการรู้จำนวนรอบที่แน่นอนว่าต้องการจะให้วนลูปกี่รอบ โดยจะมีการตั้งค่าตัวแปรสำหรับตัวนับรอบ (Counter) ไว้ กำหนดให้เริ่มนับรอบตั้งแต่ค่าไหนไปถึงค่าไหน สำหรับรูปแบบประโยคคำสั่งเขียนดังนี้

```
For ตัวแปร = ค่าเริ่มต้น To ค่าสุดท้าย [Step ระบุค่า +/-]
    ประโยคคำสั่ง
```

[Exit For]

 ประโยคคำสั่ง

Next ตัวแปร

3.7.2.2 For Each...Next

คำสั่ง For Each...Next นั้นใช้งานเหมือนกับ For...Next เพียงแต่ต่างกันตรงที่คำสั่งนี้ใช้กับอาร์เรย์ (Array) และออบเจกต์ (Object) เท่านั้น สำหรับรูปแบบประโยคเขียนได้ดังนี้

For Each สมาชิก In กลุ่ม

 ประโยคคำสั่ง

[Exit For]

 ประโยคคำสั่ง

Next สมาชิก

3.7.2.3 Do...Loop

คำสั่งให้วนรูปแบบ Do...Loop นั้นเป็นคำสั่งให้วนรูปแบบเงื่อนไขที่เป็นจริงหรือเท็จอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปมักไม่รู้จำนวนรอบที่แน่นอนก่อนล่วงหน้าว่าจะวนลูปรอบ ประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการวนรูปแบบ Do...Loop มีดังนี้

Do While/Until เงื่อนไข

 ประโยคคำสั่ง

[Exit Do]

 . ประโยคคำสั่ง

Loop

3.7.2.4 While...Wend

คำสั่ง While...Wend นั้นใช้งานเหมือนกับ Do While...Loop คือ วนรูปแบบเงื่อนไขเป็นจริง แต่ While...Wend นั้นมีทางออกจากลูปทางเดียว กล่าวคือไม่ Exit do เพื่อให้ออกจากลูปเหมือน Do...Loop สำหรับประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการวนรูปแบบ While...Wend มีดังนี้

While เงื่อนไข

 ประโยคคำสั่ง

Wend

3.7.3 โพรซีเจอร์ (Procedure)

โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมในแต่ละโมดูลหรือแต่ละโปรเจกต์นั้นจะประกอบไปด้วยชุดคำสั่งหลายๆ ชุดมารวมกัน โดยที่แต่ละชุดคำสั่งดังกล่าว ก็คือ การเขียนขั้นตอนการทำงานหรือประโยคคำสั่งแยกออกเป็นชุด ๆ เรียกว่า โพรซีเจอร์ (Procedure) สำหรับ VBA นั้นแยกโพรซีเจอร์ออกเป็น 2 ประเภทคือ

3.7.3.1 ซับ (Sub)

สำหรับ Sub นั้นเป็นชุดคำสั่งที่สร้างไว้สำหรับเขียนขั้นตอนการทำงานหรือประโยคคำสั่งต่าง ๆ เมื่อมีการเรียกใช้งานก็จะทำงานตั้งแต่คำสั่งแรกเรียงลงไปจนถึงคำสั่งสุดท้ายภายใน Sub นั้นตามลำดับเมื่อจบการทำงานแล้วก็จะกลับไปทำงานต่อไปในบรรทัดถัดไปถัดจากคำสั่งที่เรียกใช้งาน โดยจะไม่มีคำสั่งคืนกลับ การออกจาก Sub สามารถกำหนดเงื่อนไขการออกจาก Sub ขณะที่ยังทำงานได้ การสร้าง Sub นั้นอาจมีการรับค่าพารามิเตอร์เข้ามาใช้งานด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับรูปแบบประโยคคำสั่งเขียนได้ดังนี้

Sub ชื่อ[พารามิเตอร์]

ประโยคคำสั่ง

[Exit Sub]

ประโยคคำสั่ง

End Sub

3.7.3.2 ฟังก์ชัน (Function)

สำหรับ Function นั้นเหมือน Sub แต่ส่งค่าคืนกลับได้ รูปแบบประโยคคำสั่งเขียนได้ดังนี้

Function ชื่อ[พารามิเตอร์][As ชนิดของค่าที่ส่งคืน]

ประโยคคำสั่ง

[Exit Function]

ประโยคคำสั่ง

[ชื่อ = นิพจน์]

End Function

3.8 วิธีการจัดหมู่ (Combination)

จำนวนวิธีของการจัดหมู่สิ่งของคราวละ r สิ่ง จากสิ่งของ n สิ่งที่แตกต่างกัน เขียนแทนด้วย $C_{n,r}$ จะได้ว่า

$$C_{n,r} = \frac{n!}{(n-r)!r!} \quad (3.12)$$