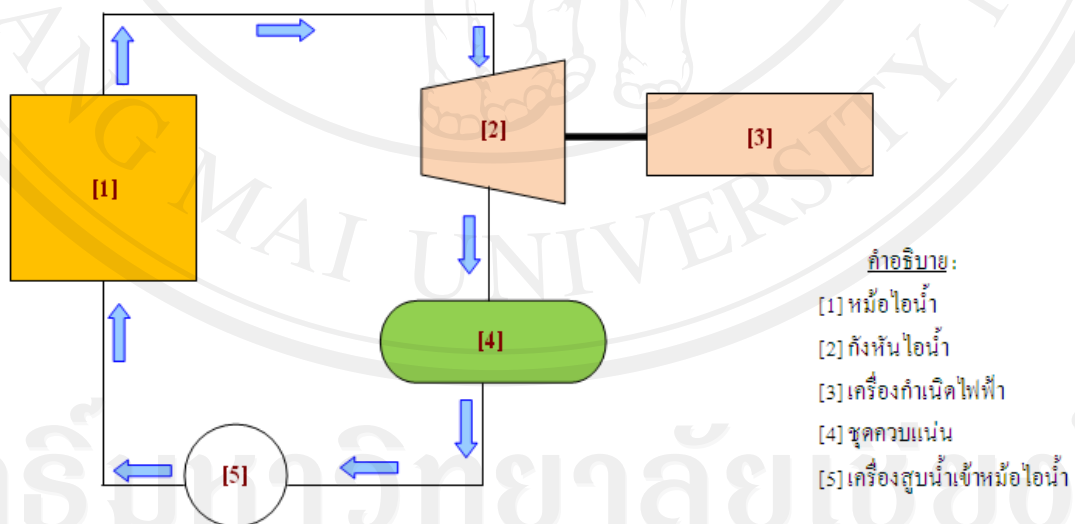


บทที่ 2

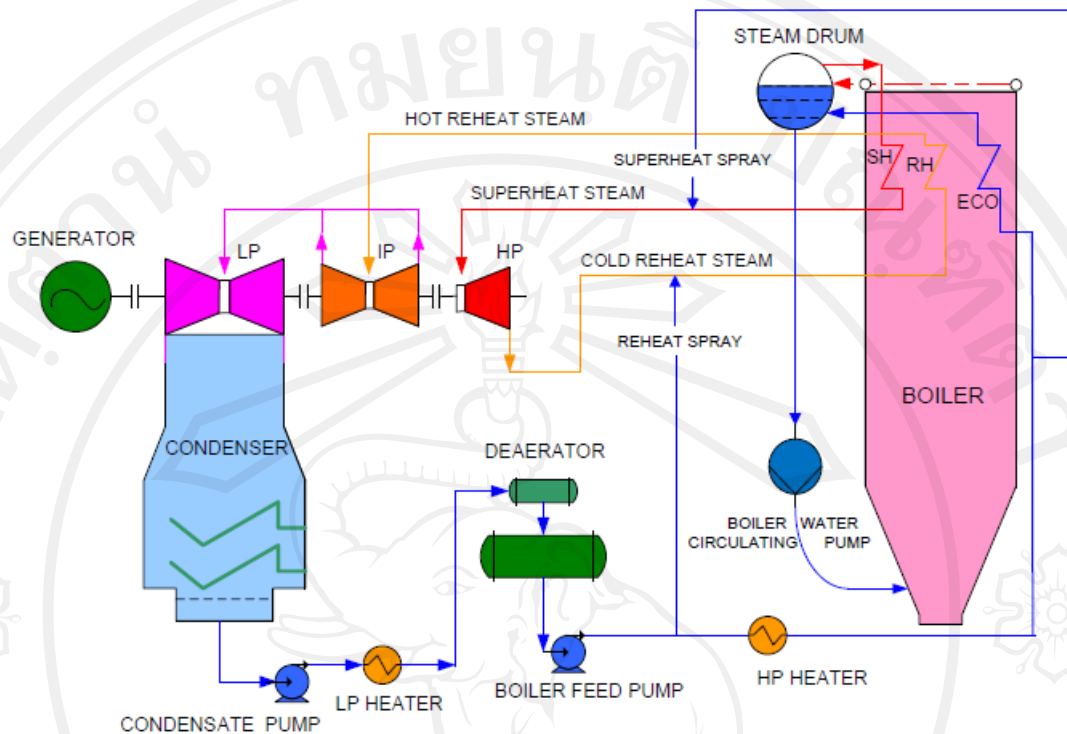
หลักการและทฤษฎี

2.1 ระบบการผลิตของโรงไฟฟ้าและคุณสมบัติอุปกรณ์หลักในระบบผลิต

กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ เป็นกระบวนการแปรรูปพลังงาน โดยอาศัยอุปกรณ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การทำงานของระบบนี้เริ่มตั้งแต่การที่เผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหินเพื่อนำความร้อนมาป้อนให้กับน้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อของ Boiler จนกระทั่งน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง จากนั้นไอน้ำจะเคลื่อนที่ต่อไปยัง Steam Turbine (ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ High Pressure Turbine หรือ HP, Intermediate Pressure Turbine หรือ IP และ Low Pressure Turbine หรือ LP ตามรูปที่ 2.2) เพื่อขับเคลื่อนกังหันเกิดเป็นพลังงานกลสำหรับขับโรเตอร์ของ Generator ในการผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นไอน้ำที่ออกจากกังหันจะไหลต่อไปยัง Condenser ซึ่งที่อุปกรณ์นี้ไอน้ำจะควบแน่นเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว และถูกสูบกลับไปยังหม้อไอน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำ (Boiler Feed Pump) เพื่อให้ระบบทำงานวนเป็นวัฏจักร



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนถ่านหินแม่เมาะ



รูปที่ 2.2 แผนผังละเอียดกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนถ่านหินแม่เมาะ

2.1.1 คุณสมบัติอุปกรณ์ Boiler

Type:

Pulverized Coal Fire Boiler

Controlled Circulation Radiant Reheater

Tangential Fire Furnace

Width×Depth×Height (metre): 15.31×13.83×67.97

Design Pressure: 188.2 Bar(g)

Superheat Steam Flow: 265 kg./SEC. (Design), 250 kg./SEC. (Operating)

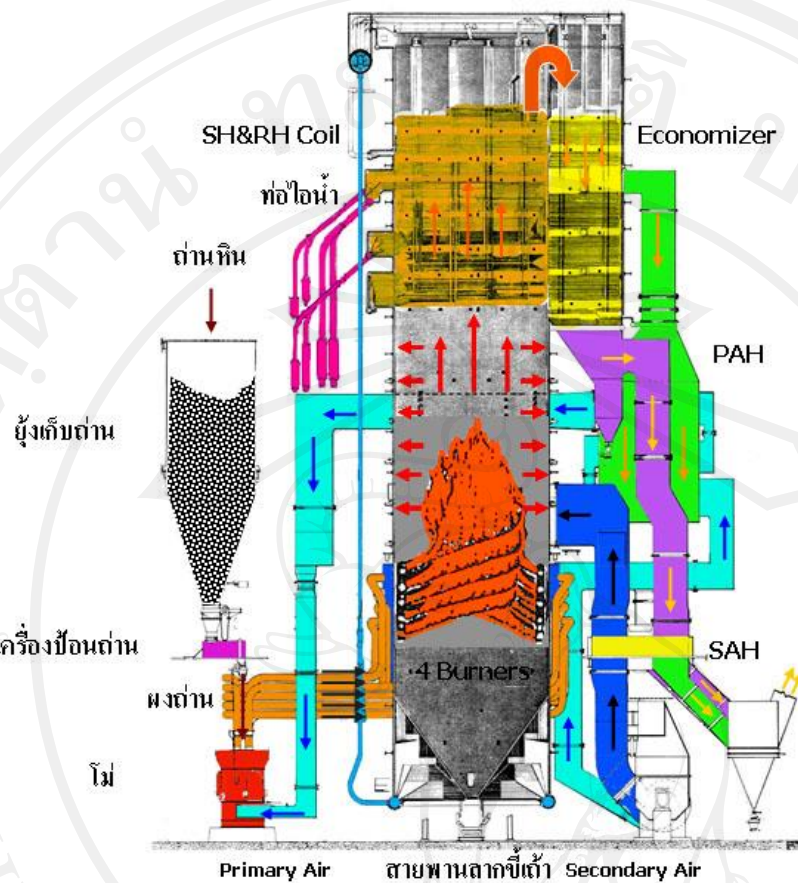
Superheat Steam Pressure: 188 Bar(g) (Design), 160 Bar(g) (Operating)

Superheat Steam Temperature: 540 °C

Reheat Steam Temperature: 540 °C

Total Air Flow: 371.6 kg./SEC. (Design), 350 kg./SEC. (Operating)

Total Coal Flow: 277.6 Ton/HR. (Design), 260 Ton/HR. (Operating)



รูปที่ 2.3 แผนผังระบบการทำงานของหม้อไอน้ำ (พิริยะ, 2550)

2.1.2 คุณสมบัติอุปกรณ์ Steam Turbine

Type:	Tandem compound 3-casing double-flow exhaust, reaction, reheat, condensing type
Output:	300,000 kW (100% Guarantee Turbine/Generator Capacity หรือ 100% GTC)
Rated speed:	3,000 rpm
Direction of rotation:	Clockwise (View from generator side)
Superheat steam pressure:	161 Bar(a)
Superheat steam temperature:	538 °C
Reheat steam pressure:	37.94 Bar(a)
Reheat steam temperature:	538 °C
Extraction steam pressure:	(At the turbine outlet flange at 100% GTC)

No.7 Extraction pressure	41.74 Bar(a)
No.6 Extraction pressure	17.64 Bar(a)
No.5 Extraction pressure	10.77 Bar(a)
No.4 Extraction pressure	5.361 Bar(a)
No.3 Extraction pressure	2.595 Bar(a)
No.2 Extraction pressure	1.146 Bar(a)
No.1 Extraction pressure	0.2215 Bar(a)
Exhaust pressure:	0.0771 Bar(a) (At the turbine outlet flange)
Number of blading stage:	HP part - Reaction stage: 22 IP part - Reaction stage: 18 × double flow LP part - Reaction stage: 7 × double flow

2.1.3 คุณสมบัติอุปกรณ์ Generator

Type designation:	Fuji Turbo-Generator H ₂ cooled
Nominal Continuous power output:	333.333 MVA
Rated power factor, over-excited:	0.9
Rated voltage between lines:	18,000 V
Current system:	Three-phase A.C.
Connection of armature winding:	Star
Rated frequency:	50 Hz
Rated current:	10,692 A
Rated speed:	3,000 rpm
Maximum overspeed:	3,600 rpm
Direction of rotation:	Counterclockwise (View from steam turbine side)
Rated hydrogen cooling data:	Casing pressure-3 Bar(g), Hydrogen purity-98%

2.1.4 คุณสมบัติอุปกรณ์ Condenser

Type:	Surface
Cooling surface:	19,295 m ²
Steam flow:	162.406 kg./SEC.

Art of cooling water:	Cooling tower water
Cooling tower inlet temperature:	28.0 °C
Cooling water flow:	8.5 m ³ /SEC.
Vacuum:	0.0771 Bar(a)
Cooling tubes:	
Outer diameter	23 mm.
Wall thick	0.889 mm.
Number	26,704
Material	70-30 Cu-Ni
Effective tube length:	10,000 mm.
Number of water passes:	2
Design pressure:	
Shell side	Full Vacuum – 1.034 Bar(g)
Tube side	5.5 Bar(g)

2.2 วิธีคำนวณประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลักในระบบผลิต

2.2.1 อุปกรณ์ Boiler (พิริยะ, 2550)

ในการคำนวณสมรรถนะของ Boiler สามารถทำได้หลายวิธี โดยมีวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือ Input-Output Method สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (2.1)

$$Boiler Efficiency [\%] = \frac{Boiler Output Energy[kW]}{Boiler Input Energy[kW]} \times 100 \quad (2.1)$$

โดย

$$Boiler Output Energy [kW] = [\dot{m}_{MS} \times (h_{MS} - h_{FW-in})] + [\dot{m}_{RH} \times (h_{RH} - h_{Cold-RH})] \\ + [\dot{m}_{RH-Spray} \times (h_{RH} - h_{RH-Spray})]$$

$$Boiler Input Energy [kW] = \dot{m}_{Coal} \times (HHV + B)$$

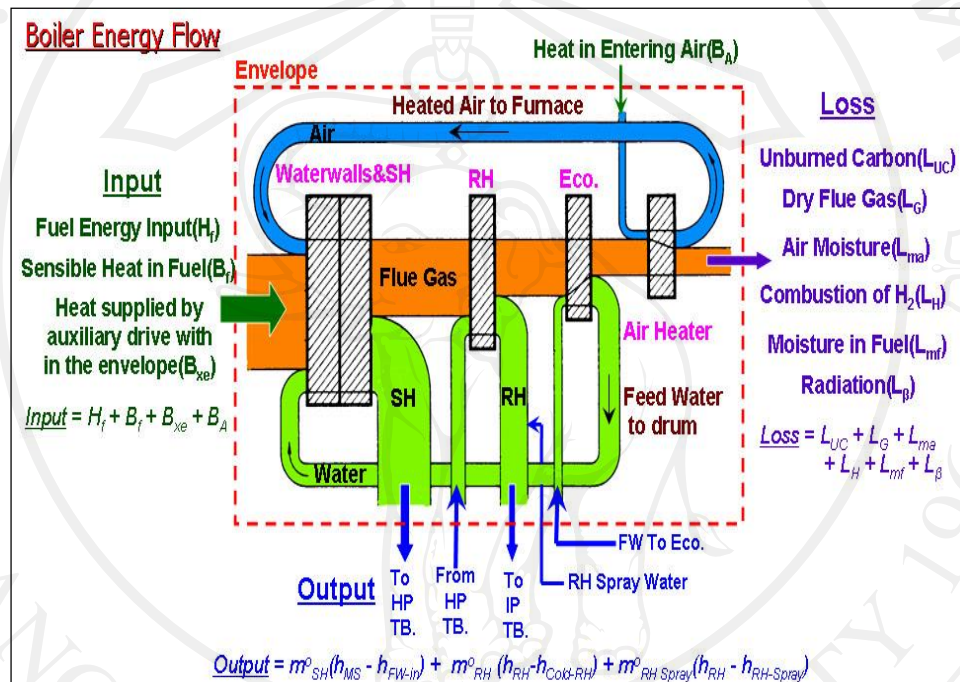
โดยที่

$\dot{m}_{Coal}$ = อัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่านหิน [kg/s]

HHV = ความร้อนขั้นสูงของถ่านหิน [kJ/kg]

B = พลังงานความร้อนโดยประมาณที่เพิ่มให้กับ Boiler [kJ/kg]

พลังงานความร้อนที่เพิ่มเข้าไปให้กับ Boiler จะมาจาก 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ Sensible Heat -in Fuel, Heat in Entering Air และ Heat Supplied by Auxiliary Drive



รูปที่ 2.4 คุณพลังงานภายใน Boiler (พิริยะ, 2550)

2.2.2 อุปกรณ์ Steam Turbine ควบกับอุปกรณ์ Generator (แผนประสิทธิภาพ2 กองการผลิต โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549)

ในการคำนวณสมรรถนะของ Steam turbine ที่พิจารณาควบคู่กับสมรรถนะของ Generator (Steam turbine – Generator) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.2)

$$\begin{aligned} \text{Steam Turbine – Generator Heat Rate} & \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \right] \\ &= \frac{\text{Heat Input to Steam Turbine [kJ]}}{\text{Corrected Generator Output [kW]} \times \text{Time [h]}} \quad (2.2) \end{aligned}$$

โดยที่

Steam Turbine-Generator Heat Rate = อัตราการป้อนพลังงานความร้อนเข้าสู่ Steam - turbine เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน Generator ให้ทำการผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่งหน่วย [kJ/kWh]

Heat Input to Steam Turbine = พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ Steam turbine [kJ] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.3)

Corrected Generator Output = กำลังไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าสามารถผลิตได้ [kW] โดยปรับแก้ตามวิธีคำนวณใน STEP Factor สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (2.4)

Time = ระยะเวลาที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าหรือจ่าย Load [h]

โดยการคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ Steam turbine (Heat Input to Steam Turbine) จะคำนวณจากอัตราการไหลจริงที่วัดได้ (Measurement Value) ของสารทำงาน และเอนทัลปี (Enthalpy) ของๆไหล ณ ตำแหน่งทางเข้าและออกต่างๆของอุปกรณ์ ดังสมการที่ (2.3)

$$\begin{aligned} \text{Heat Input to Steam Turbine [kJ]} \\ = [\dot{m}_{MS} \times (h_{MS} - h_{FW-in})] + [\dot{m}_{RH} \times (h_{RH} - h_{Cold-RH})] \\ + [\dot{m}_{RH-Spray} \times (h_{RH} - h_{RH-Spray})] \end{aligned} \quad (2.3)$$

โดยที่

$\dot{m}_{MS}$ = อัตราการไหลของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [kg/s]

h_{MS} = เอนทัลปีของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [kJ/kg]

h_{FW-in} = เอนทัลปีของน้ำที่ป้อนเข้าสู่ Boiler [kJ/kg]

$\dot{m}_{RH}$ = อัตราการไหลของไอน้ำหลังให้ความร้อนซ้ำ [kg/s]

h_{RH} = เอนทัลปีของไอน้ำหลังให้ความร้อนซ้ำ [kJ/kg]

$h_{Cold-RH}$ = เอนทัลปีของไอน้ำก่อนให้ความร้อนซ้ำ [kJ/kg]

$\dot{m}_{RH-Spray}$ = อัตราการไหลของน้ำสำหรับลดอุณหภูมิไอน้ำก่อนให้ความร้อนซ้ำ [kg/s]

$h_{RH-Spray}$ = เอนทัลปีของน้ำสำหรับลดอุณหภูมิไอน้ำก่อนให้ความร้อนซ้ำ [kJ/kg]

$\dot{m}_{FW-in}$ = อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าสู่ Boiler [kg/s]

และในการคำนวณค่า Corrected Generator Output จะคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

Corrected Generator Output [kW] =

$$(M) \times \left(1 + \frac{Corr_1}{100}\right) \times \left(1 + \frac{Corr_2}{100}\right) \times \left(1 + \frac{Corr_3}{100}\right) \times \dots \times \left(1 + \frac{Corr_{11}}{100}\right) \quad (2.4)$$

โดยที่

M = ค่า Generator Output ที่วัดได้ [kW]

$Corr_1$ = ค่าความดันของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [Bar a.]

$Corr_2$ = ค่าอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [$^{\circ}\text{C}$]

$Corr_3$ = ค่าร้อยละของความดันของไอน้ำหลังให้ความร้อนซ้ำที่ลดลง [%]

$Corr_4$ = ค่าอุณหภูมิของไอน้ำหลังให้ความร้อนซ้ำ [$^{\circ}\text{C}$]

$Corr_5$ = ค่าความดันใน Condenser [Bar a.]

$Corr_6$ = ค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นหรือ cooling water [m^3/s]

$Corr_7$ = ค่าอัตราการไหลของน้ำสำหรับลดอุณหภูมิไอน้ำหลังให้ความร้อนซ้ำ [kg/s]

$Corr_8$ = ค่า Power Factor (ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า)

$Corr_9$ = ค่าความดันก๊าซไฮโดรเจนภายใน Generator [Bar g.]

$Corr_{10}$ = ค่าความบริสุทธิ์ของก๊าซไฮโดรเจนภายใน Generator [%]

$Corr_{11}$ = ค่า Unknown Loss [%]

ทั้งนี้ตัวอย่างค่า Correction Factor ดังแสดงในรูปที่ 2.5

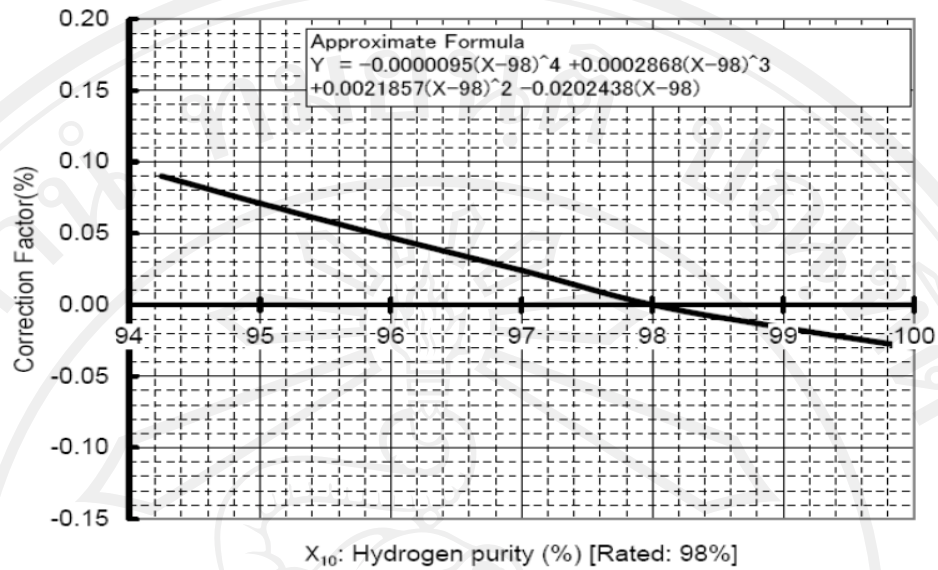
สำหรับ Corrected Steam turbine – Generator Heat Rate จะคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$HR_{corrected} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \right] =$$

$$HR_{Measurement} \times \left(1 - \frac{Corr_1}{100}\right) \times \left(1 - \frac{Corr_2}{100}\right) \times \left(1 - \frac{Corr_3}{100}\right) \times \dots \times \left(1 - \frac{Corr_{11}}{100}\right) \quad (2.5)$$

โดยที่

$HR_{Measurement}$ = ค่า Steam turbine – Generator Heat Rate คำนวณจากข้อมูลค่าที่วัดได้
[kJ/kWh]



รูปที่ 2.5 กราฟ Correction Factor ของค่าความบริสุทธิ์ของก๊าซไฮโดรเจนภายใน Generator

2.2.3 อุปกรณ์ Condenser (แผนกประสิทธิภาพ2 กองการผลิต2 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549)

ในการประเมินสมรรถนะของ Condenser สามารถพิจารณาจากค่า Condenser Pressure หรือ Turbine Exhaust Pressure ที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์วัดโดยตรง หรือในทางปฏิบัติจะคำนวณให้ได้ค่า Turbine Exhaust Temperature บนเงื่อนไขสภาวะอิ่มตัว (Saturation Temperature) ก่อนโดยใช้สมการที่ (2.6) ในการคำนวณ จากนั้นจะต้องแปลงค่าอุณหภูมิ (Temperature) ดังกล่าวให้เป็นค่าความดัน (Pressure) โดยใช้สมการคำนวณที่ (2.11) ซึ่งอยู่ในรูปลอการิทึมฐาน 10

$$T_{sat} [^{\circ}C] = T_a + \left[\frac{K_L \times \Delta T_c}{1 - e^{\left(\frac{\Delta T_c}{LMTD}\right)}} \right] \quad (2.6)$$

โดยที่

T_{Sat} = อุณหภูมิไอน้ำขาออก LP Turbine ที่ Saturation Temperature [$^{\circ}C$]

T_a = อุณหภูมิ cooling water ขาเข้า Condenser [$^{\circ}C$]

K_L = ค่าคงที่ ตามตารางที่ 2.2

ΔT_c = อุณหภูมิ cooling water ที่เพิ่มขึ้น [$^{\circ}C$]

$LMTD$ = ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึม (Logarithmic Mean Temperature Difference)

ตารางที่ 2.1 ค่า K_L ที่ใช้คำนวณในสมการที่ (2.6)

ค่าร้อยละของการจ่าย Load เทียบกับค่าความสามารถสูงสุด ในการจ่าย Load ได้ต่อเนื่อง (300 MW)	ค่าคงที่ K_L
110 *	1.086
100	1.000
90	0.917
80	0.841
70	0.771
60	0.707
50	0.648
40	0.596
30	0.549

* โรงไฟฟ้าจ่าย Load มากกว่า 300 MW แต่ไม่เกินค่ากำลังผลิตติดตั้ง (Install Capacity) ซึ่งมีค่า 360 MW

ค่าอุณหภูมิ cooling water ที่เพิ่มขึ้น สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta T_c = \frac{H_S - (3.6 \times K_1 \times L_S)}{K_2 \times G_S} \times 10^3 \quad (2.7)$$

โดยที่

H_S = พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ Steam turbine ที่ Corrected Generator Output [kJ]

K_1 = ค่าคงที่ที่ใช้ปรับแก้ค่าผลรวมของ Loss ต่างๆ ในด้านไฟฟ้า (Electrical Loss), ด้านเครื่องกล (Mechanical Loss) และการแผ่รังสี (Radiation Loss) มีค่าตามตารางที่ 2.2

L_S = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Steam turbine [kJ]

K_2 = ค่าคงที่ที่แสดงคุณสมบัติของ cooling water โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งกรณีน้ำจืดจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $15,050 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \times ^\circ\text{C}} \right]$

G_S = อัตราการไหลของ cooling water ต่อหน่วยเวลา [m^3/s]

ตารางที่ 2.2 ค่า K_1 ที่ใช้คำนวณในสมการที่ (2.7)

Load [MW]	ค่าคงที่ K_1
> 350	1.017
201 - 350	1.018
121 - 200	1.020
61 - 120	1.022
31 - 60	1.025
< 31	1.035

* โรงไฟฟ้าจ่าย Load มากกว่า 300 MW แต่ไม่เกินค่ากำลังผลิตติดตั้ง (Install Capacity) ซึ่งมีค่า 360 MW

ค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึม สามารถคำนวณได้จาก

$$LMTD = \frac{K_3 \times G_S \times \Delta T_c}{U_t \times S} \quad (2.8)$$

โดยที่

K_3 = ค่าคงที่ที่แสดงคุณสมบัติของน้ำอุณหภูมิ 25 °C โดยพิจารณาจากความหนาแน่นและ

ความจุความร้อนจำเพาะ จะมีค่าเท่ากับ $4,186.8 \left[\frac{kJ}{m^3 \times ^\circ C} \right]$

U_t = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ Condenser $\left[\frac{kJ}{m^2 \times s \times ^\circ C} \right]$

S = พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของ Condenser [m^2]

ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ Condenser สามารถคำนวณได้จาก

$$U_t = U_b \times F_a \times F_m \times F_c \quad (2.9)$$

โดยที่

U_b = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนตามค่าการออกแบบ Condenser

ซึ่งมีค่าเท่ากับ $3.433 \left[\frac{kJ}{m^2 \times s \times ^\circ C} \right]$

F_a = ค่าปรับแก้อุณหภูมิ cooling water

F_m = ค่าปรับแก้ตามคุณสมบัติเนื้อวัสดุและความหนาของท่อภายใน Condenser โดยกรณีที่ทำมาจากวัสดุโลหะผสมระหว่างทองแดง - นิกเกิล สัดส่วน 70 : 30 และมีความหนา 0.889 mm จะได้ค่าปรับแก้เท่ากับ 0.904 อ้างอิงตามข้อมูลในตารางที่ 2.3-2.5

F_c = ค่า Performance Factor ของ Condenser หรืออาจใช้ค่า Cleanliness Factor จากการออกแบบ Condenser ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.85

และค่าปรับแก้อุณหภูมิ cooling water จะคำนวณจาก

$$F_a = 0.7586 + [(0.0135) \times (T_a + \frac{\Delta T_c}{2})] - [(0.0001) \times (T_a + \frac{\Delta T_c}{2})^2] \quad (2.10)$$

ตารางที่ 2.3 Reference Code

Code	Tube Material	Typical Composition
1	Brass	70 Cu 30 Zn
	Admiralty Brass	70 Cu 29 Zn 1 Sn
	Yorcalbro (Al. Brass)	70 Cu 22 Zn 2 Al
	Arsenical Copper	Cu with approx. 0.5 As
	Kingston Brass	
2	Aluminium Brass (60/40)	Approx. 60 Cu 40 Zn 2 Al
	Munts Metal	60 Cu 40 Zn
3	Aluminium Brass	90-95 Cu 10-5 Al
	90-10 Copper Nickel	
4	70-30 Copper Nickel	
	Yorcoron	66 Cu 30 Ni 2 Fe 2 Mn
	ICI Copper-Nickel	68 Cu 30 Ni 1 Fe 1 Mn
5	Titanium	

ตารางที่ 2.4 ค่าความหนาของท่อตามมาตรฐาน หรือค่า SWG.

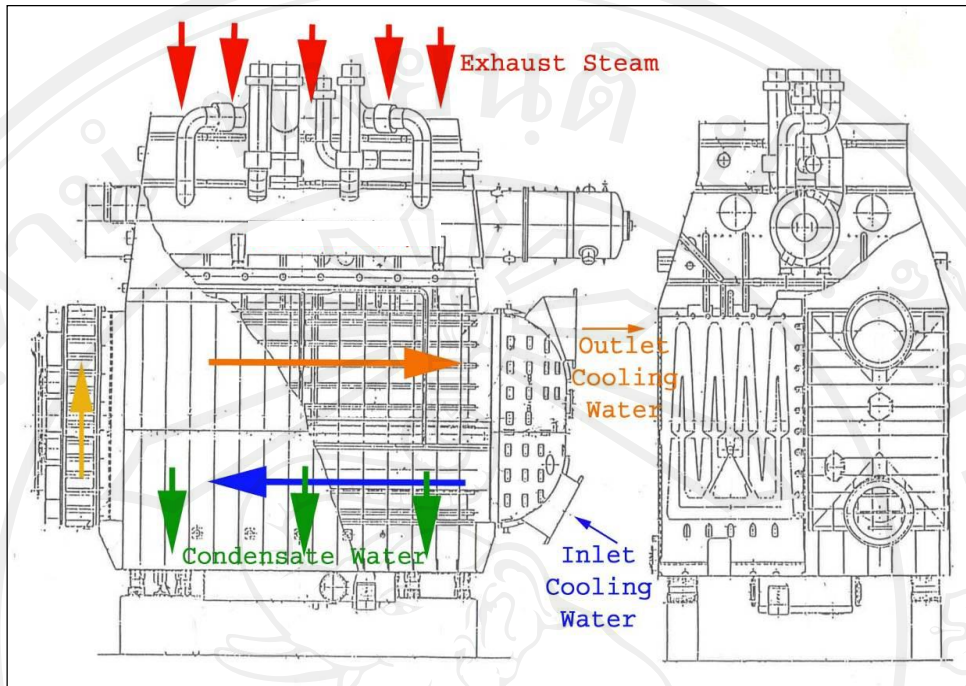
ความหนา (mm)	2.032	1.829	1.626	1.422	1.219	1.016	0.914	0.813	0.711
SWG	14	15	16	17	18	19	20	21	22

ตารางที่ 2.5 ค่าปรับแก้ตามเงื่อนไขคุณสมบัติเนื้อวัสดุและความหนาภายในท่อของ Condenser โรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8 - 13

Code	SWG.								
	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.040	1.060	1.080
2	0.856	0.883	0.910	0.936	0.963	0.990	1.016	1.043	1.070
3	0.780	0.810	0.840	0.870	0.900	0.930	0.960	0.990	1.020
4	0.688	0.724	0.760	0.796	0.832	0.868	0.904	0.940	0.976
5	0.630	0.665	0.700	0.735	0.770	0.805	0.840	0.875	0.910

และขั้นตอนสุดท้ายของการคำนวณคือแปลงค่า T_{Sat} ให้เป็นค่า Pressure ดังสมการที่ (2.11) นี้ หรือจะปรับเปลี่ยนไปสู่ค่า Steam Turbine Exhaust Pressure โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันสมบูรณ์ของไอน้ำ (Steam Table)

$$\begin{aligned} \log P = 28.59051 - [8.2 \log(273.15 + T_{\text{sat}})] + [0.0024804 \times (273.15 + T_{\text{sat}})] \\ - [3142.31 \times (273.15 + T_{\text{sat}})] \quad (2.11) \end{aligned}$$



รูปที่ 2.6 แบบจำลองอย่างง่ายของ Condenser

2.3 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโรงไฟฟ้า

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของโรงไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์ได้จากดัชนีชี้วัดต่างๆ อันได้แก่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) และค่าอัตราการใช้ความร้อนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) ซึ่งรายละเอียดดัชนีชี้วัดแต่ละค่าเป็นดังนี้

2.3.1 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของโรงไฟฟ้า (Sonntag และคณะ, 1998)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency: η_{th}) ของกระบวนการหรือวัฏจักรใดๆ คือค่าที่คำนวณเปรียบเทียบระหว่างงานสุทธิของระบบ (Net Work : W_{net}) กับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Heat Input : Q_H) ดังสมการที่ (2.12)

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} \quad (2.12)$$

โดยที่ W_{net} = งานสุทธิที่ระบบสามารถผลิตได้ [kW]

Q_H = ปริมาณความร้อนที่ป้อนให้กับ Boiler [kW]

2.3.2 ค่าอัตราการใช้ความร้อนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate)

ค่าอัตราพลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าหนึ่งหน่วยไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า มีหน่วย kcal/kWh คือค่าอัตราส่วนระหว่างผลรวมปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิง ได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์ และน้ำมันดีเซล ที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นพลังงานที่เข้าสู่ระบบ (Input) มีหน่วย kcal กับ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จำนวนหนึ่งหน่วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานที่ออกจากระบบ (Output) มีหน่วย kWh ดังสมการที่ (2.13)

$$\text{Heat Rate} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\left(\text{ปริมาณลิกไนต์} [\text{kg}] \times \text{ค่าความร้อนลิกไนต์} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right] \right) + \left(\text{ปริมาณน้ำมันดีเซล} [\text{Liters}] \times \text{ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{Liter}} \right] \right)}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} [\text{kWh}]} \quad (2.13)$$

แต่ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าอัตราการใช้ความร้อนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า ก็ยังไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าโรงไฟฟ้างัดกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วหรือไม่ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมีการใช้ค่าดัชนีชี้วัดอีกค่าหนึ่งที่เรียกว่า Station Thermal Efficiency Performance Factor หรือ STEP Factor

2.3.3 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะในการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้า (แผนกประสิทธิภาพ2 กองการผลิต2 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549)

ดัชนีที่บ่งบอกถึงสมรรถนะในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตไฟฟ้าหรือ Station Thermal Efficiency Performance Factor (STEP Factor) คำนวณได้โดยการเปรียบเทียบค่า อัตราความร้อนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง 1 หน่วยไฟฟ้า หรือค่า Heat Rate ระหว่างค่า เป้าหมายที่กำหนดไว้ (Target Heat Rate) กับค่าที่เกิดขึ้นจริง (Actual Heat Rate) และนำมาแสดงใน รูปอัตราส่วนร้อยละ ดังสมการที่ (2.14)

$$\text{STEP Factor} [\%] = \frac{\text{Target Heat Rate} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Actual Heat Rate} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right]} \times 100 \quad (2.14)$$

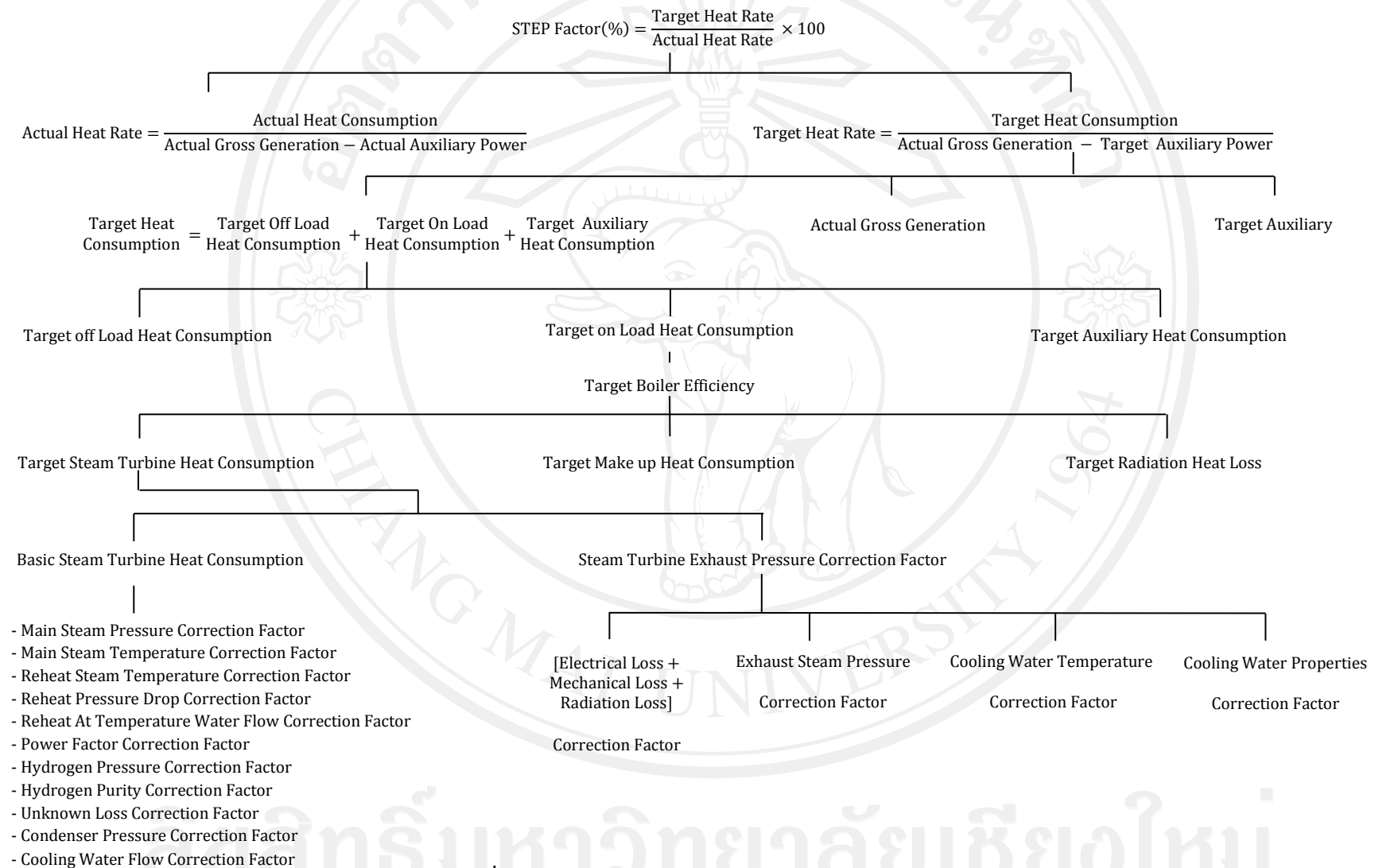
ค่า STEP Factor ที่คำนวณได้นี้หากมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 (ค่า Actual Heat Rate เท่ากับค่า Target Heat Rate) แสดงว่าการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าขณะนั้นอยู่ในภาวะที่เหมาะสม, หาก

STEP Factor มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 100 (ค่า Actual Heat Rate มากกว่าค่า Target Heat Rate) แสดงว่าสถานะการเดินเครื่องขณะนั้นอาจเกิดความเสี่ยงขึ้นในกระบวนการผลิต และหาก STEP Factor มีค่ามากกว่าร้อยละ 100 (ค่า Actual Heat Rate น้อยกว่าค่า Target Heat Rate) แสดงว่าสถานะการเดินเครื่องขณะนั้นดีกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ หรือจะถือว่าดัชนีชี้วัดนี้ไม่สามารถนำมาใช้ติดตามความเสี่ยงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การแปลผลลัพธ์ค่า STEP Factor จากการคำนวณ

ค่า STEP Factor	ความหมาย	รายละเอียด	ดำเนินการ
น้อยกว่า 100	ประสิทธิภาพต่ำกว่าเป้าหมาย	Loss ในกระบวนการผลิต สูงกว่าเป้าหมาย	เร่งค้นหาสาเหตุ และปรับปรุงแก้ไข
เท่ากับ 100	ประสิทธิภาพเป็นไปตามเป้าหมาย	Loss ในกระบวนการผลิต เท่ากับเป้าหมาย	-
มากกว่า 100	ประสิทธิภาพสูงกว่าเป้าหมาย	Loss ในกระบวนการผลิต ต่ำกว่าเป้าหมาย	-

ทั้งนี้หลักการคำนวณค่า STEP Factor ดังแสดงแผนผังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงแนวทาง/หลักการคำนวณ STEP Factor

โดยที่

- Actual Heat Rate คือค่าอัตราความร้อนที่ใช้จริงในการผลิตไฟฟ้าหนึ่งหน่วยไฟฟ้า โดยคำนวณในรูปพลังงานความร้อนทั้งหมดจากปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินและน้ำมันดีเซลที่ป้อนเข้าสู่ระบบจริงในหนึ่งหน่วยเวลาที่พิจารณาหรือค่า Actual Heat Consumption เทียบกับกำลังผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ Actual Gross Generation หักลบด้วยพลังไฟฟ้าส่วนที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นจริง

- Target Heat Rate คือค่าเป้าหมายอัตราความร้อนที่จะต้องใช้ในการผลิตไฟฟ้าหนึ่งหน่วยไฟฟ้า ในสถานะที่โรงไฟฟ้ามีการเดินเครื่องจ่าย Load

- Actual Gross Generation คือค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตได้

- Actual Auxiliary Power คือค่าพลังไฟฟ้าจริงที่โรงไฟฟ้าจะต้องใช้ในกระบวนการผลิต

- Target Heat Consumption คือค่าผลรวมของเป้าหมายพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องป้อนให้แก่อุปกรณ์หม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้า

- Target On-Load Heat Consumption คือค่าเป้าหมายพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องป้อนเข้าสู่อุปกรณ์หม้อไอน้ำ ในสถานะที่โรงไฟฟ้ามีการเดินเครื่องจ่าย Load

- Target Auxiliary Heat Consumption คือค่าเป้าหมายพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนเสริมเข้าไปในกระบวนการผลิต เพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะของโรงไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะไม่มีระบบ Auxiliary Heat Consumption นี้

- Target Off-Load Heat Consumption คือค่าเป้าหมายพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องป้อนเข้าสู่อุปกรณ์หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ ในสถานะที่โรงไฟฟ้ายังไม่มีภาระจ่าย Load เช่น Starting, Stand By และอยู่ระหว่างดำเนินการทดสอบโรงไฟฟ้าหลังจากซ่อมบำรุง เป็นต้น

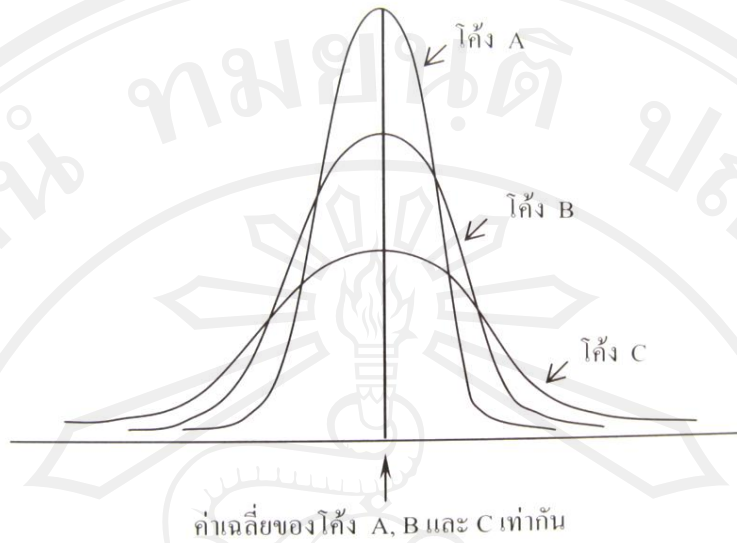
- Target Auxiliary Power คือค่าเป้าหมายพลังไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าจะต้องใช้ในกระบวนการผลิต โดยแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ On-Load Auxiliary Power ซึ่งเป็นพลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้แก่อุปกรณ์ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการผลิต เช่น Electrostatic Precipitator (เครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์) และเครื่องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำ เป็นต้น และ Station Service เป็นพลังไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์ทั่วไป เช่น Air Conditioning (ระบบปรับอากาศ) และระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร เป็นต้น

- Target Boiler Efficiency คือค่าเป้าหมายของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ซึ่งนำมาใช้คำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องป้อนเข้าสู่อุปกรณ์หม้อไอน้ำ

- Target Steam Turbine Heat Consumption คือค่าเป้าหมายพลังงานความร้อนที่จะต้องป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำที่สภาวะการจ่าย Load ค่าใดๆ
- Target Make-up Heat Consumption คือค่าเป้าหมายอัตราพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มมากขึ้นเพื่อชดเชย Loss ต่างๆ ได้แก่ Steam Soot Blowing ในการใช้ทำความสะอาดผิวท่อภายในของ Boiler, ความร้อนจากการรั่วไหลของน้ำหรือไอน้ำที่ออกนอกระบบ และความร้อนทิ้งจากการ Blow Down Steam เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำของ Boiler เป็นต้น
- Target Radiation Heat Loss คือค่าเป้าหมายความสูญเสียพลังงานความร้อนในระหว่างการส่งผ่านของของไหลทำงาน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวท่อสู่บรรยากาศ ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของค่าอัตราสูญเสียพลังงานความร้อนของท่อกับระยะเวลาการเดินเครื่องจ่าย Load
- Basic Steam Turbine Heat Consumption คือผลการคำนวณค่าอัตราพลังงานความร้อนที่จะต้องป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือจ่าย Load ออกมาในหนึ่งหน่วยเวลาที่พิจารณา
- Steam Turbine Exhaust Pressure Correction Factor คือ ค่าแก้ไขของ Basic Steam Turbine Heat Consumption เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับระบบของ Cooling Tower (หอผึ่งเย็น) และชุดควบแน่น ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์กังหันไอน้ำ

2.4 การวัดการกระจาย (Measure of Dispersion) (ยูทช, 2553)

ค่ากลาง ทางสถิตินี้เป็นเพียงค่าเดียวที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของชุดข้อมูล บางครั้งข้อมูลที่มีค่ากลางเท่ากัน อาจมีลักษณะของข้อมูลไม่เหมือนกันหรือมีการกระจายของข้อมูลแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของข้อมูล 3 ชุดที่แตกต่างกันแต่ค่ากลางเท่ากัน

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าค่ากลางที่เป็นค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลมีค่าเท่ากัน แต่ลักษณะของข้อมูลแตกต่างกัน โค้ง A มีการกระจายของข้อมูลน้อย หรือความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะของโค้งจึงสูงกว่าโค้ง B และโค้ง C และปลายโค้งที่อยู่ใกล้กัน

ส่วนโค้ง C ลักษณะการกระจายของข้อมูลกระจายมาก นั่นคือความคิดเห็นของผู้ตอบต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งมีความคิดเห็นแตกต่างกันมากหรือห่างกันมาก ความสูงของโค้งจะต่ำและปลายโค้งทั้งสองข้างจะห่างกันมาก ส่วนโค้ง B จะแสดงให้เห็นว่าลักษณะของชุดข้อมูลกระจายมากกว่าข้อมูลชุด A แต่จะกระจายน้อยกว่าข้อมูลชุด C

จากรูปที่ 2.10 สรุปได้ว่า ข้อมูล 3 ชุดคือ A, B และ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่การกระจายข้อมูลแตกต่างกัน โดยที่ข้อมูลชุด A กระจายน้อยกว่าข้อมูลชุด B และ C ข้อมูลชุด A จึงเป็นข้อมูลที่ดีที่สุด ลำดับรองลงไปคือ ข้อมูลชุด B และ C ตามลำดับ

ในการพิจารณาว่าข้อมูลชุดใดดีไม่ใช่อะไร นอกจากผู้วิเคราะห์จะพิจารณาค่ากลางที่เป็นค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน หรือค่าฐานนิยม แล้วจะต้องพิจารณาค่าการกระจายข้อมูลควบคู่กันไปด้วยว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายเป็นอย่างไ

ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์การวัดการกระจาย โดยทั่วไปมีดังนี้

1. พิสัย (range: R)
2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)
3. ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation: Q.D.)
4. สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation: C.V.)

● การวัดการกระจายข้อมูลด้วยค่าพิสัย

ค่าพิสัย (range : R) เป็นค่าวัดการกระจายที่ได้จากผลต่างของค่าสูงกับค่าต่ำสุดของข้อมูลชุดนั้นๆ การพิจารณาการกระจายของข้อมูล จึงพิจารณาแบบหยาบๆ ว่าข้อมูลมีการกระจายอย่างไร เช่น จากแบบสอบถามงานวิจัยที่เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่าที่มีระดับการวัด 5 ระดับ คือ 5, 4, 3, 2 และ 1 ถ้าวัดผลของการวัดออกมาเป็น 4 พิสัยเท่ากับ 4 อาจกล่าวได้ว่า ระดับมาตราส่วน 5 และ 1 มีคนเลือกตอบแน่นอน ส่วนระดับ 2, 3 และ 4 นั้นอาจจะมีผู้ตอบเลือกตอบหรือไม่ก็ได้ ในขณะเดียวกันนั้น หากพิสัยมีค่าเป็น 1 แสดงว่าข้อมูลนั้นๆ ผู้ตอบเลือกตอบ 2 ระดับเท่านั้น เช่น อาจเลือกตอบระดับ 3 กับ 4 ระดับอื่นไม่มีเลือกเลย หรืออาจจะเลือกตอบระดับ 1 กับ 2 เท่านั้น ระดับอื่นๆ ไม่เลือกเลย ค่าพิสัยหาได้จาก ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด หรือ

$$\text{พิสัย} = \text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด} \quad (2.15)$$

การวัดการกระจายด้วยค่าพิสัย จะคู่กับการหาค่ากลางสถิติค่าฐานนิยม นั่นคือ เมื่อเสนอค่าฐานนิยมจะต้องเสนอค่าพิสัยเพื่อดูการกระจายของข้อมูล

● การวัดการกระจายข้อมูลด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าที่หาได้จาก “การนำเอาส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูลจากค่าเฉลี่ย $|x - \bar{x}|$ แต่ละค่ามายกกำลัง แล้วหาผลรวมของกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนนั้น หาคด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดแล้วถอดรากที่สอง ค่าที่ได้จะเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)”

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)” ถือว่าเป็นการวัดการกระจายที่ดีที่สุด ทั้งนี้ เพราะการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลทุกค่าไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในการวัดการกระจายของข้อมูล ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อยหรือมีความแตกต่างกันน้อย และถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันมาก

อย่างไรก็ตาม ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังบอกลักษณะของข้อมูลได้ ดังนี้

1. ค่า $S=0$ หมายความว่า ข้อมูลชุดนี้ไม่มีการกระจายของข้อมูล
2. ค่า $S=1$ หมายความว่า ข้อมูลมีลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นโค้งปกติ
3. ค่า S เข้าใกล้ 0 หมายความว่า ข้อมูลมีการกระจายน้อย ถ้าเป็นความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง แสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นใกล้เคียงกันมาก
4. ค่า S เข้าใกล้ 1 หมายความว่า การกระจายของข้อมูลใกล้เคียงโค้งปกติ

5. ค่า $S > 1$ หมายความว่า การนำเสนอข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย จะไม่เหมาะสมถ้าใช้แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ค่า S ที่มากกว่า ($>$) 1 ไม่ตรงกับความเป็นจริงควรนำเสนอค่ากลางสถิติตัวอื่น

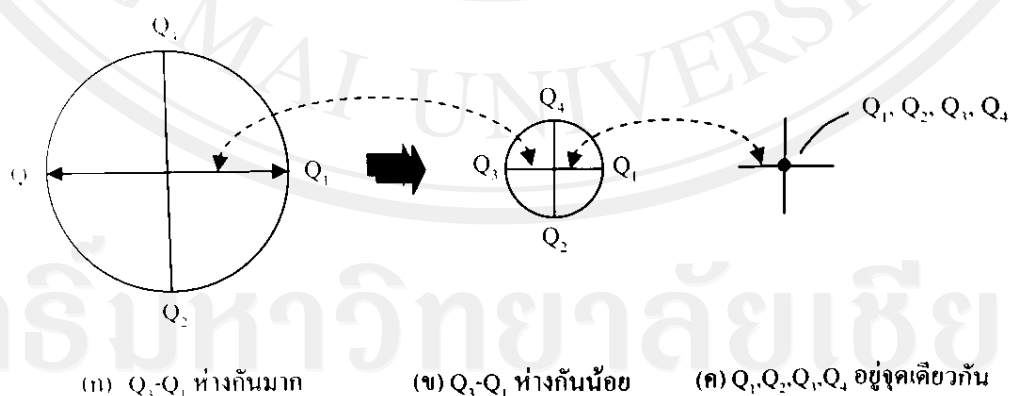
• การวัดการกระจายข้อมูลด้วยส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์

ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (quartile deviation : Q.D.) คือ ครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างคะแนนที่อยู่ ณ ตำแหน่ง $1/4$ และตำแหน่ง $3/4$ หรือครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างควอร์ไทล์ที่ 1 (Q_1) และควอร์ไทล์ที่ 3 (Q_3) ฉะนั้นส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Q.D.) จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “semi-interquartile range” ส่วนระยะระหว่าง $Q_1 - Q_3$ เรียกว่า พิสัยควอร์ไทล์ (interquartile range) ถ้าหากนำเสนอค่าสถิติค่ากลางด้วยมัธยฐาน (Mdn) แล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องนำการกระจายข้อมูลด้วยส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Q.D.) หรือพิสัยควอร์ไทล์ (I.Q.R.) มัลลิกา บุญนาค (2548 : 50) เสนอไว้ว่า ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมามีค่าผิดปกติ หรือมีการกระจายไม่เป็นแบบสมมาตร การวัดการกระจายด้วยพิสัยควอร์ไทล์ถือว่าใช้ได้ดีมาก ทั้งนี้การวัดการกระจายดังกล่าวใช้ข้อมูลช่วงกลางของข้อมูลชุดนั้น

$$\text{สูตร} \quad \text{I.Q.R.} = Q_3 - Q_1 \quad (2.16)$$

$$\text{Q.D.} = \frac{Q_3 - Q_1}{2} \quad (2.17)$$

ถ้า Q_3 และ Q_1 อยู่ห่างกันมาก ข้อมูลชุดนี้มีการกระจายมาก และถ้า Q_3 และ Q_1 อยู่ห่างกันน้อย ข้อมูลจะมีการกระจายน้อย



รูปที่ 2.9 แสดงระยะห่างของ Q_1 และ Q_3

จากรูปที่ 2.11 (ก) Q_3 และ Q_1 อยู่ห่างกันมากกว่ารูป (ข) และรูป (ค) Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 อยู่ในตำแหน่งเดียวกันแสดงว่าคิดเหมือนกัน

$$\left. \begin{array}{l} \text{ตำแหน่ง } Q_1 \text{ หาได้จาก } N \times \frac{1}{4} \\ \text{และหาตำแหน่ง } Q_3 \text{ หาได้จาก } N \times \frac{3}{4} \end{array} \right\} \text{เมื่อนำข้อมูลเรียงจากน้อยไปหามาก}$$

- การวัดการกระจายข้อมูลด้วยสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation: C.V.) เป็นค่าการวัดการกระจายค่าหนึ่งเหมือนกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่คิดในรูปการกระจายสัมพัทธ์ (Relative variation) คำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันคำนวณโดยการเอาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยคูณด้วย 100 จะได้ค่าของ C.V. เป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสูตรต่อไปนี้

$$C.V. = \frac{S.D.}{\bar{x}} \times 100 \quad (2.18)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันไม่มีหน่วย ทั้งนี้เพราะคำนวณโดยใช้ข้อมูลของ S.D. และค่า $\bar{x}$ ในชุดข้อมูลนั้นๆ คำนวณง่าย ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ การวัดการกระจายแบบนี้จึงเป็นที่นิยมนำมาเปรียบเทียบการวัดการกระจายของข้อมูล 2 ชุด หรือมากกว่า 2 ชุด ที่มีหน่วยไม่เหมือนกัน

2.5 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) (ผศ.ดร.กริช, 2554)

2.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

การวิเคราะห์การถดถอยที่ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถกำหนดได้ในลักษณะสมการทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น (Linear Model) โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) คือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ประกอบด้วยตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) ที่มีเพียง 1 ตัว ลักษณะของสมการเชิงเส้น คือ

$$Y = a + bX + e \quad (2.19)$$

โดยที่

- ค่า Y คือ ค่าพยากรณ์ (ตัวแปรตาม)
- ค่า a คือ ค่าคงที่
- ค่า X คือ ค่าตัวแปรอิสระ
- ค่า b คือ ค่าความชัน
- ค่า e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์

- **การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ**

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) ที่มีมากกว่า 1 ตัว ลักษณะของสมการเชิงเส้น คือ

$$Y_i = a + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{3i} + e_i \quad (2.20)$$

โดยที่

- ค่า Y_i คือ ค่าพยากรณ์ (ตัวแปรตาม)
- ค่า a คือ ค่าคงที่
- ค่า X_{1i} คือ ค่าตัวแปรอิสระ เมื่อ i เป็นหมายเลขลำดับของตัวแปรอิสระ (X_1 , X_2 และ X_3)
- ค่า b_1 ถึง b_3 คือ ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดน้ำหนักของตัวแปรอิสระ (Population parameter)
- ค่า e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์

- **ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ในโปรแกรม SPSS (ยูทูป, 2553)**

1. เลือกตัวแปร และพิจารณาตัวแปรว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรสาเหตุ แต่ถ้าตัวแปรสาเหตุมีระดับเชิงกลุ่ม ให้แปลว่าเป็นตัวแปรหุ่น (dummy variable) ให้มีรหัส 0 กับ 1 เท่านั้น โดยใช้คำสั่ง recode กับตัวแปรเชิงกลุ่มในคำสั่งย่อย recode into same variable

2. ตรวจสอบข้อมูลตัวแปรผล (y) ว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์การถดถอยมีข้อตกลงเบื้องต้น คือตัวแปรตาม หรือตัวแปรผล (y) ต้องมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยคำสั่ง explore

3. พิจารณาว่าตัวแปร x และตัวแปร y มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยใช้คำสั่ง scatter

4. พิจารณาว่าการวิเคราะห์การถดถอยเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะใด เช่น simple regression หรือ multiple regression

ในโปรแกรม SPSS การใช้คำสั่ง linear ถ้าเป็นการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย ผู้วิเคราะห์ไม่ต้องระบุ model ทั้งนี้เพราะตัวแปรเป็นแบบ 1:1 ถ้าเป็นการวิเคราะห์เชิงเส้นต้องระบุ model นอกจากนี้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ หรือเชิงซ้อน หรือ พหุคูณ ผู้วิเคราะห์ใช้คำสั่ง covariance matrix และคำสั่ง collinearity diagnostics ซึ่งทั้งสองคำสั่งเป็นคำสั่งให้แสดงค่า correlation และค่า covariance ระหว่างตัวแปรเหตุต่างๆ ส่วนคำสั่ง collinearity diagnostics เป็นคำสั่งทดสอบตัวแปรเหตุแต่ละตัวต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่กำหนดตัวแปรเหตุ (x) ทุกตัวต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายไม่ต้องใช้คำสั่งดังกล่าว

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ จะต้องทดสอบการถดถอยว่า สมการถดถอยใช้ได้หรือไม่ด้วยคำสั่ง model fit ผลลัพธ์จากโปรแกรมจะแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาว่า มีตัวแปรเหตุ (x) อย่างน้อย 1 ตัว มีความสัมพันธ์กับตัวแปรผล (y) ถ้าผลการทดสอบแล้วพบว่า มีค่า $F > 0.05$ จะยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่า $F < 0.05$ จะยอมรับ H_1 นั่นคือมีตัวแปรเหตุ (x) อย่างน้อย 1 ตัว มีความสัมพันธ์กับตัวแปรผล (y) แสดงว่าสมการนั้นใช้ได้ เพ็ญแข ศิริวรรณ (2546 : 13-20) ได้แนะนำว่าการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุ (R) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ประกอบเพื่อดูว่าตัวแปรเหตุ (x) ทั้งหมดในสมการนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรผล (y) มากน้อยเพียงใด และสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรผลได้ร้อยละ (%) เท่าไร

6. จากข้อ (5) เมื่อพบว่า $F < 0.05$ แล้วต่อไปให้ทดสอบว่า ตัวแปรเหตุ (x) ตัวใดที่มีค่าความสัมพันธ์กับตัวแปรผล (y) โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบ ผลจากการทดสอบด้วย t-test หากพบว่า $\text{sig} < 0.05$ แสดงว่าตัวแปรเหตุ (x) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรผล (y) ผู้วิเคราะห์จึงนำตัวแปรเหตุ (x) ตัวนั้นเข้าสมการถดถอยเชิงเส้นต่อไป

7. จากข้อ (5) ถ้าพบ $F < 0.05$ ที่ทดสอบ t-test ในข้อ (6) แล้ว จะต้องปรากฏว่ามี $\text{sig} < 0.05$ ด้วย แต่ถ้าหากพบว่า ค่า t ที่วิเคราะห์เป็น $\text{sig} > 0.05$ แสดงว่าเกิดปัญหาแบบ multicollinearity ขึ้นแล้วให้แก้ไขโดยตัดตัวแปรเหตุ (x) ตัวที่มีค่าความสัมพันธ์สูงออกไป หรือนำตัวแปร (x) ตัวอื่นมาแทน (พิจารณาจากข้อ beta ในตาราง coefficients)

2.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถกำหนดได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น

โดยวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อเป็นการทำนายตัวแปรตามที่มีอิทธิพลมาจากตัวแปรอิสระ และนอกจากนั้นยังเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

2.5.3 แนวทางการวิเคราะห์การถดถอย

ในการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ว่าโมเดลที่กำหนดนั้นเป็น โมเดลที่ดีหรือไม่ในการการทำนายผล สามารถพิจารณาจากค่าสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 พิจารณาแนวทางการวิเคราะห์การถดถอยจากค่าสถิติ

ลำดับ	ค่าสถิติ	เกณฑ์การพิจารณา
1	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : r)	เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่พยากรณ์ กับค่าที่เกิดขึ้นจริง หากมีค่า r เข้าใกล้ค่าเต็ม 1 เป็นค่าที่ดีที่สุด
2	ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R Square) และค่า Adjusted R Square	เป็นค่าชี้วัดความเหมาะสม (Goodness of Fit) ของสมการโมเดลนั้นๆ หากค่า R Square เข้าใกล้ค่าเต็ม 1 เป็นค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะหมายถึงว่าสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรทั้งหมดได้
3	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Std. Error of the Estimate : SEE)	เป็นค่าที่แสดงถึงความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเศษ (Residuals) ที่มาจากสมการถดถอยกับค่าที่เกิดจากการวัด ค่าที่ต่ำดีที่สุด
4	ค่า T-statistics ในตาราง Coefficients	เป็น “การทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระของสมการถดถอย” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาตัวแปรที่เหมาะสมในโมเดลนี้ ● ถ้าตัวแปรใดมีค่า p-value หรือ sig. > 0.05 จะเป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในโมเดล ควรลบตัวแปรนั้นออกจากโมเดล ● ถ้าตัวแปรใดมีค่า p-value หรือ sig. < 0.05 จะเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติในโมเดล ควรเก็บตัวแปรนั้นในโมเดล ซึ่งหมายถึงการประมาณของกลุ่มตัวอย่างจะให้ผลใกล้เคียงกับประชากร

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าสถิติ	เกณฑ์การพิจารณา
5	ค่า F-statistics ในตาราง ANOVA	เป็น “การทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการว่าเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรในตัวอย่างหรือไม่” หากค่า p-value ในตาราง ANOVA มีค่าเข้าใกล้ 0 จะหมายถึง การมีนัยสำคัญที่โมเดลของกลุ่มตัวอย่างให้ผลใกล้เคียงกับประชากร