

บทที่ 3

กำหนดปัญหา

3.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)

คือ การควบคุมและจัดสรรกำลังการผลิตเพื่อให้ได้ผลรวมค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Saadat, 1999) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าเชื้อเพลิงที่ใช้กับกำลังการผลิตจะมีลักษณะที่เป็นฟังก์ชันพหุนามกำลังสอง (Polynomial) ดังภาพที่ 3.1 และทำให้ได้สมการแทนความสัมพันธ์ ดังนี้

$$F_i(P_i) = a_i + b_i * P_i + c_i * P_i^2 \quad (3.1)$$

โดย

$F_i(P_i)$ คือ ความสัมพันธ์ของการจ่ายกำลัง P_i (MW) ที่ต้องใช้ค่าใช้จ่าย F_i (\$)

a_i, b_i, c_i คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายโหลด

P_i คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

จากสมการ (3.1) เมื่อต้องการปรับปรุงการจ่ายโหลดทั้งระบบ ก็ทำการรวมค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบเพื่อให้ได้สมการวัตถุประสงค์ ดังนี้ อ้างอิงสมการที่ (3.1-3.5) จาก (Liu, 2007)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m F_i \quad (3.2)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^m P_i = P_D + P_L \quad (3.3)$$

$$P_i^{g(\min)} \leq P_i \leq P_i^{g(\max)}, P_i(t) - P_i(t-1) \leq D_r, P_i(t+1) - P_i(t) \leq U_r, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.4)$$

โดย

F_i คือ ค่าใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (\$)

m คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของทั้งระบบ

P_i คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

U_r คือ ขีดจำกัดในการเพิ่มกำลัง (Ramp rate limit ; Upper bound)

D_r คือ ขีดจำกัดในการลดกำลัง (Ramp rate limit ; lower bound)

P_L คือ กำลังสูญเสียในการจำหน่ายไฟฟ้าของทั้งระบบ (MW)

$P_i^{g(\min)}$ คือ ขอบเขตต่ำสุดในการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

$P_i^{g(max)}$ คือ ขอบเขตสูงสุดในการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

P_D คือ ความต้องใช้ไฟฟ้า หรือ โหลด (MW)

$P_i(t)$ คือ กำลังการผลิต ณ เวลา (t)

$P_i(t-1)$ คือ กำลังการผลิต ณ เวลา ($t-1$)

$P_i(t+1)$ คือ กำลังการผลิต ณ เวลา ($t+1$)

ในการปรับปรุงการจ่ายโหลดนั้นดังสมการที่ (3.5) เมื่อพิจารณาถึงการเปิดและปิดวาล์วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Valve point effect) รวมถึงขอบเขตในการเพิ่มลดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Ramp rate limit) (Dale, 1980) ซึ่งจะทำให้ได้สมการปรับปรุงใหม่ ดังนี้

$$F_i(P_i) = a_i + b_i * P_i + c_i * P_i^2 + |e_i * \sin(f_i * P_i^{min} - P_i)| \quad (3.5)$$

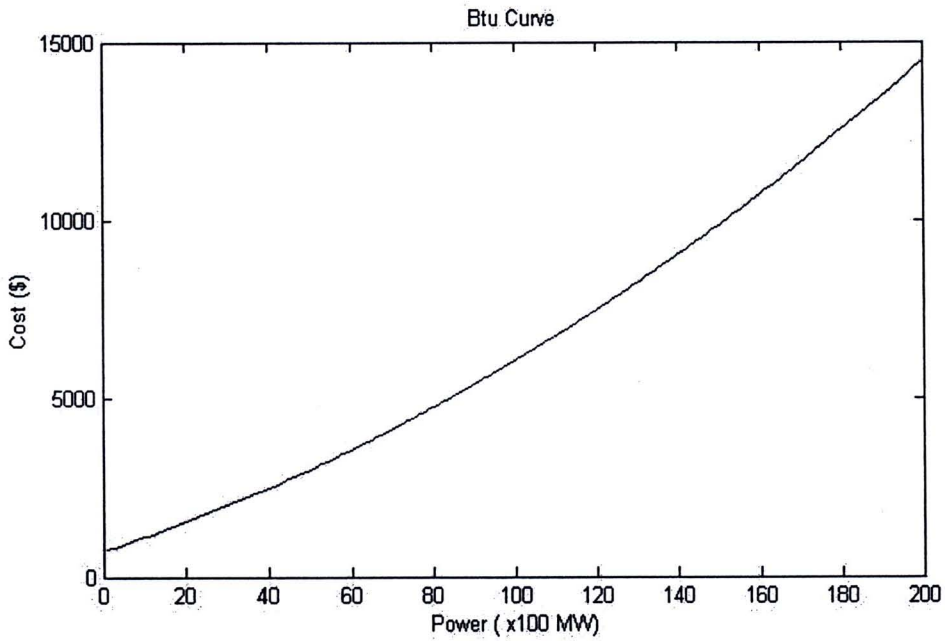
โดย

e_i, f_i คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายโหลดในสภาวะที่พิจารณาผลของการเปิดปิดวาล์ว

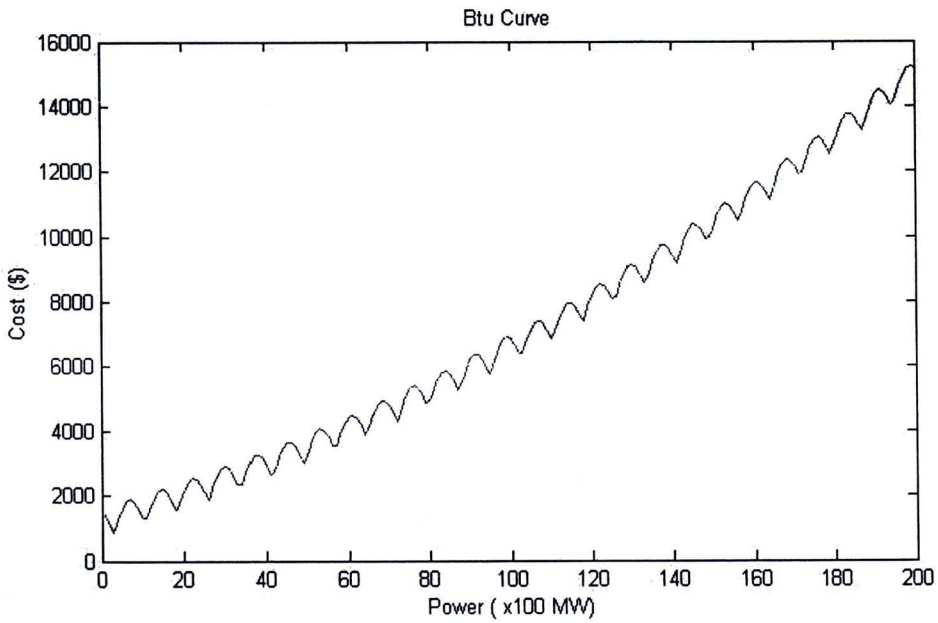
P_i^{min} คือ ขอบเขตต่ำสุดในการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

P_i คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW)

สมการที่ (3.1), (3.5) นั้น ได้มาจากการประมาณค่าจากกราฟที่พล็อตระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้กับเชื้อเพลิงใช้ไป จากนั้นทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ให้ใกล้เคียงกับกันซึ่งความแตกต่างระหว่างสมการที่ (3.1) และ (3.5) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2



ภาพที่ 3.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้โดยไม่พิจารณาผลจากการเปิดปิดวาล์ว



ภาพที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้โดยพิจารณาผลจากการเปิดปิดวาล์ว

3.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load flow methods)

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าคือ การคำนวณเพื่อประเมินสถานการณ์ หรือการคำนวณสถานะของระบบไฟฟ้า ณ ระยะเวลาหนึ่ง โดยอาศัยข้อมูลที่บัสต่าง ๆ (Saadat, 1999) ได้แก่

- ขนาดของแรงดัน (Voltage magnitude)
- มุมของแรงดันไฟฟ้า (Phase angle)
- กำลังจริง (Real power)
- กำลังรีแอคทีฟ (Reactive power)

การศึกษาการไหลของกำลังนั้น สามารถใช้เพื่อตรวจสอบสถานการณ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าได้ เช่น ตรวจสอบการเกิดข้อผิดพลาดในระบบ ตรวจสอบสถานะแรงดันเกินที่บัสต่าง ๆ การคำนวณเพื่อติดตั้งเครื่องป้องกันในระบบ ฯลฯ แต่ในงานวิจัยนี้ได้เน้นการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังสูญเสียในระบบ เพื่อนำมาวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัดในสมการที่ 3.3 ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณการไหลของโหลดแบ่งได้ 2 วิธี ได้แก่

- วิธีการคำนวณแบบเกาส์ (Gauss-Seidel power flow solution)
- วิธีการคำนวณแบบนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson power flow solution)

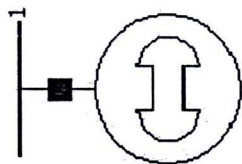
โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธี นิวตัน-ราฟสัน ในการคำนวณซึ่งวิธีการคำนวณแบบนิวตัน - ราฟสัน มีรายละเอียดการคำนวณ ดังต่อไปนี้

การคำนวณการไหลของโหลด ทำได้โดยการสร้างสมการเชิงเส้นขึ้นจากข้อมูลของแรงดันและขนาดของกำลังที่บัสต่าง ๆ ในระบบ 3 เฟสสมดุล คำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้โดยพิจารณาจากรสมูลเป็นเฟสเดียว ซึ่งในการคำนวณต้องทราบข้อมูลในแต่ละบัสอย่างน้อย 2 ข้อมูลจาก 4 ข้อมูลซึ่ง ได้แก่ ขนาดของแรงดัน มุมของแรงดันไฟฟ้า กำลังจริง กำลังรีแอคทีฟ จึงจะสามารถคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหลือได้ ซึ่งจากหลักการดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทของบัสในระบบออกเป็น 3 แบบ ดังนี้



ตารางที่ 3.1 ประเภทของบัสในระบบ

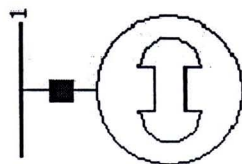
ชนิดของบัส	คำอธิบาย
บัสสวิง (Swing หรือ Slack bus)	บัสอ้างอิงในระบบ มักกำหนดให้ค่าแรงดันและมุมเฟสเป็น $1 \angle 0$
บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator bus หรือ Voltage controlled bus)	บัสที่ทราบข้อมูลของกำลังจริงขาออก P_g และขนาดของแรงดันที่บัส V เพื่อใช้คำนวณหาค่ากำลังรีแอคทีฟ Q และมุมเฟส
บัสโหลด (Load bus)	บัสที่ทราบข้อมูลของกำลังจริง และกำลังรีแอคทีฟ ของโหลด เพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงดันและมุมเฟส



$V = 1 \angle 0$

$P = 100$
 $Q = ???$

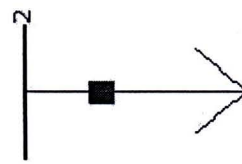
ภาพที่ 3.3 แสลกบัส



$V = 1.06 \angle 60$

$P = 100$
 $Q = ???$

ภาพที่ 3.4 บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



$V = ?? \angle ??$

$P = 100$
 $Q = 50$

ภาพที่ 3.5 โหลดบัส

ในการคำนวณการไหลของโหลดด้วยวิธีแบบนิวตัน-กราฟสัน จะคำนวณแบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar form) ซึ่งมีรายละเอียดดังสมการที่ (3.6-3.53) (Saadat, 1999) ดังนี้

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (3.6)$$

โดย

I_i	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบที่ i
Y_{ij}	คือ บัสแอมิตแดนเมตริกระหว่างบัส i, j
V_j	คือ แรงดันบัสที่ j
i	คือ ดัชนีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ส่ง)
j	คือ ดัชนีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (รับ)
n	คือ จำนวนบัสในระบบ

เขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของ พิกัดเชิงขั้ว

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (3.7)$$

โดย

θ_{ij}	คือ มุมเฟสของ Y_{ij}
δ_j	คือ มุมเฟส V_j

พิจารณากำลังเชิงซ้อน ของบัสที่ i

$$P_i - Q_i = V_i^* I_i \quad (3.8)$$

โดย

P_i	คือ กำลังจริง
Q_i	คือ กำลังรีแอคทีฟ
V_i^*	คือ คอนจูเกตของแรงที่บัส i

แทนค่าสมการที่ (3.7) ลงสมการที่ (3.8) จะได้

$$P_i - Q_i = (V_i \angle -\delta_i) (\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j) \quad (3.9)$$



เปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปส่วนจริงและจินตภาพ

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.10)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.11)$$

การคำนวณการไหลของโหลดด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันนั้น จะใช้ การประมาณค่าด้วยอนุกรม เทลเลอร์อันดับที่หนึ่งเพื่อใช้ในการหาคำตอบ โดยการสร้างสมการอนุพันธ์ จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.10 และ 3.11 ในการคำนวณหา ΔP และ ΔQ ดังนี้

$$\Delta P_i^k = P_i^{sch} - P_i^k \quad (3.12)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i^{sch} - Q_i^k \quad (3.13)$$

$$\delta_i^{k+1} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \quad (3.14)$$

$$|V_i^{k+1}| = |V_i^k| + \Delta |V_i^k| \quad (3.15)$$

โดย

P_i^{sch} คือ กำลังจริงของบัสโหลดที่มีค่าคงที่

Q_i^{sch} คือ กำลังจินตภาพของบัสโหลดที่มีค่าคงที่

k คือ รอบการคำนวณ

δ_i^k คือ มุมเฟสของแรงดัน V_i^k

$|V_i^k|$ คือ ค่าแอมพลิจูดของแรงดัน V_i^k

หลังจากนั้นทดสอบเงื่อนไขการหยุดคำนวณจากสมการ

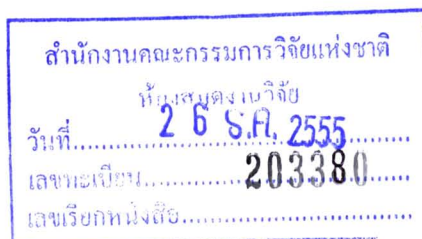
$$|\Delta P_i^k| \leq \varepsilon \quad (3.16)$$

$$|\Delta Q_i^k| \leq \varepsilon \quad (3.17)$$

โดย

ε คือ ค่าตรวจสอบการหยุดคำนวณ

โดย เพื่อคำนวณค่า $\Delta \delta$ และ $\Delta |V|$ จะใช้วิธีการหาค่าจาโคเบียนเมตริกของระบบ ด้วยการหาอนุพันธ์เทียบกับมุมเฟสและแรงดัน ตามสมการต่อไปนี้



การหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้สมการ J_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.19)$$

การหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้สมการ J_2

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.21)$$

การหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้สมการ J_3

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.23)$$

การหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้สมการ J_4

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3.25)$$

เมตริกที่ได้จากการหาอนุพันธ์มีลักษณะดังต่อไปนี้

$$J_1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}^k \quad (3.26)$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix}^k \quad (3.27)$$

$$J_3 = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}^k \quad (3.28)$$

$$J_4 = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix}^k \quad (3.29)$$

โดย

$J_1 - J_4$ คือ จาโคเบียนเมตริก

k คือ ดัชนีรอบการคำนวณ

n คือ ดัชนีจำนวนบัสในระบบ

หลังจากคำนวณค่าของ ΔP และ ΔQ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา $\Delta \delta$ และ $\Delta |V|$ ในรอบตามสมการที่

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย แสดงได้ดังนี้
สมการการสูญเสีย

$$P_L = I_{bus}^T R_{bus} I_{bus}^* \quad (3.31)$$

โดย

I_{bus} คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านในแต่ละบัส

R_{bus} คือ ค่าความต้านทานของระบบ หรือ ส่วนจริงในระบบ Z_{bus}

I_{bus}^* คือ ค่าคอนจูเกตของกระแสที่ไหลผ่านในแต่ละบัส

และกำหนดให้กระแสในแต่ละสายส่งรวมกันมีค่าเท่ากับค่ากระแสโหลดรวม I_D

$$I_{L1} + I_{L2} + \dots + I_{Lm} = I_D \quad (3.32)$$

โดย

I_{Lm} คือ ค่ากระแสที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น

m คือ จำนวนบัสที่มีการจ่ายกำลัง

ในพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นสัดส่วนกันระหว่างค่ากระแสในแต่ละสายส่งกับค่ากระแสโหลดรวม

$$I_{Lk} = \ell_k I_D \quad (3.33)$$

$$\ell_k = \frac{I_{Lk}}{I_D} \quad k=1,2,\dots, m \quad (3.34)$$

และกำหนดให้

$$T = \sum_{k=1}^m \ell_k Z_{1k} \quad (3.35)$$

โดย

Z_{1k} คือ ค่าความต้านทานเชิงซ้อนที่ขยายออกจากบัสที่ 1

และกำหนดให้

$$p = - \frac{\ell_k}{T} \quad (3.36)$$

จากนั้นจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$I_{Lk} = p_k \sum_{i=1}^m Z_{1i} + p_k Z_{11} I_0 \quad (3.37)$$

โดย

i คือ เลขดัชนีของบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

k คือ เลขดัชนีของบัสโหลด

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในระบบสมการ

$$\begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gn_g} \\ I_{L1} \\ I_{L2} \\ \vdots \\ I_{Ln_d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ p_1 Z_{11} & p_1 Z_{12} & \cdots & p_1 Z_{1n_g} & p_1 Z_{11} \\ p_2 Z_{11} & p_2 Z_{12} & \cdots & p_2 Z_{1n_g} & p_2 Z_{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_k Z_{11} & p_k Z_{12} & \cdots & p_k Z_{1n_g} & p_k Z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gm} \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

ซึ่งในการคำนวณในขั้นต่อไป กำหนดให้ระบบสมการ เขียนให้อยู่ในรูป

$$I_{bus} = C * I_{new} \quad (3.39)$$

เพื่อคำนวณหาค่ากระแสจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ซึ่งสามารถเขียนไปสมการได้ดังนี้

$$I_{gi} = \varphi_i P_{gi} \quad (3.40)$$

$$\varphi_i = \frac{1 \frac{jQ_{gi}}{P_{gi}}}{V_i^*} \quad (3.41)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปเมตริก

$$\begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gn_g} \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \varphi_{n_g} & 0 \\ 0 & p_1 Z_{12} & \cdots & 0 & I_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gm} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

หรือนั่นก็คือ

$$I_{new} = \Psi P_{G1} \quad (3.43)$$

โดย

$$P_{G1} = \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gn_g} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

จากนั้นทำการจัดรูปเพื่อให้ได้สมการชุดใหม่ดังนี้

จาก

$$P_L = I_{new}^T C^T R_{bus} C^* I_{new}^* \quad (3.45)$$

เป็น

$$P_L = P_{G1}^T \Psi^T C^T R_{bus} C^* \Psi^* P_{G1}^* \quad (3.46)$$

หรือ

$$P_L = P_{G1}^T R[H] P_{G1}^* \quad (3.47)$$

โดย

$$R[H] = \frac{H+H^*}{2} \quad (3.48)$$

และ

$$H = \Psi^T C^T R_{bus} C^* \Psi^* \quad (3.49)$$

กำหนดองค์ประกอบในเมตริก $R[H]$ มีค่าต่าง ๆ ดังนี้ ทำให้

$$R[H] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1m} & B_{01}/2 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2m} & B_{02}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{m1} & B_{m2} & \cdots & B_{nm} & B_{0m}/2 \\ B_{01}/2 & B_{02}/2 & \cdots & B_{0m}/2 & B_{00} \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

ทำให้สามารถเขียนสมการในการคำนวณกำลังการสูญเสียใหม่เป็น

$$P_L = [P_{g1} \ P_{g2} \ \cdots \ P_{gm} \ 1] \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1m} & B_{01}/2 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2m} & B_{02}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{m1} & B_{m2} & \cdots & B_{nm} & B_{0m}/2 \\ B_{01}/2 & B_{02}/2 & \cdots & B_{0m}/2 & B_{00} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gm} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

หรือ

$$P_L = [P_{g1} \ P_{g2} \ \cdots \ P_{gm}] \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1m} & \frac{B_{01}}{2} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2m} & \frac{B_{02}}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{m1} & B_{m2} & \cdots & B_{nm} & \frac{B_{0m}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gm} \end{bmatrix} + [P_{g1} \ P_{g2} \ \cdots \ P_{gm}] \begin{bmatrix} B_{01} \\ B_{02} \\ B_{0m} \end{bmatrix} + B_{00} \quad (3.52)$$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$P_L = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n P_{gi} B_{ij} P_{gj} + \sum_{i=1}^K B_{i0} P_{gi} + B_{00} \quad (3.53)$$

โดย

B_{ij}, B_{i0}, B_{i0} คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบ

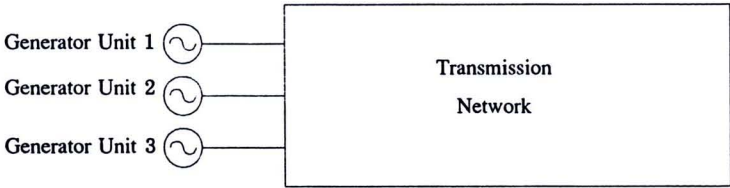
P_{gi} คือ กำลังการผลิตที่บัส i

P_{gj} คือ กำลังการผลิตที่บัส j

3.3 การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดกับระบบทดสอบ

เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาค่าการโหลดจึงได้ วิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ระเบียบวิธีแบบจุดภายใน ระเบียบวิธีทางพันธุกรรมและระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบฮามอนี่ มาแก้ปัญหากับระบบไฟฟ้า 3 ซึ่งได้แก่

- ระบบที่ 1 มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่องโดยไม่มีการพิจารณาการเปิดปิดวาล์วและกำลังสูญเสียดังภาพที่ 3.6 และมีรายละเอียดของระบบตามตารางที่ 3.2

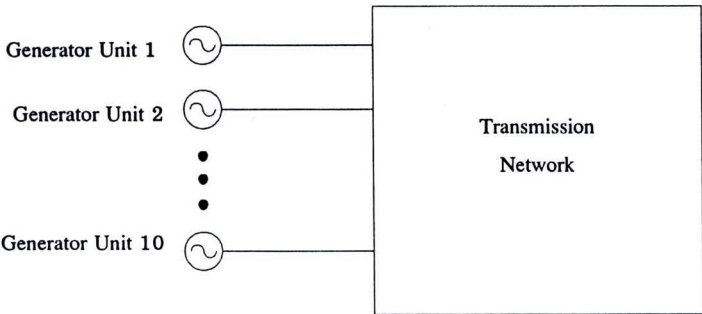


ภาพที่ 3.6 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 1

ตารางที่ 3.2 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 1

I	a	b	c	Pmin (MW)	Pmax(MW)
1	560	7.21	0.001142	100	600
2	310	7.85	0.00192	100	400
3	80	7.97	0.004821	50	200
กำลังการผลิต					1200

- ระบบที่ 2 มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง พิจารณาผลของการเปิดปิดวาล์ว แต่ไม่พิจารณาผลของกำลังสูญเสีย ดังภาพที่ 3.7 และมีรายละเอียดระบบดังตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.7 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 2

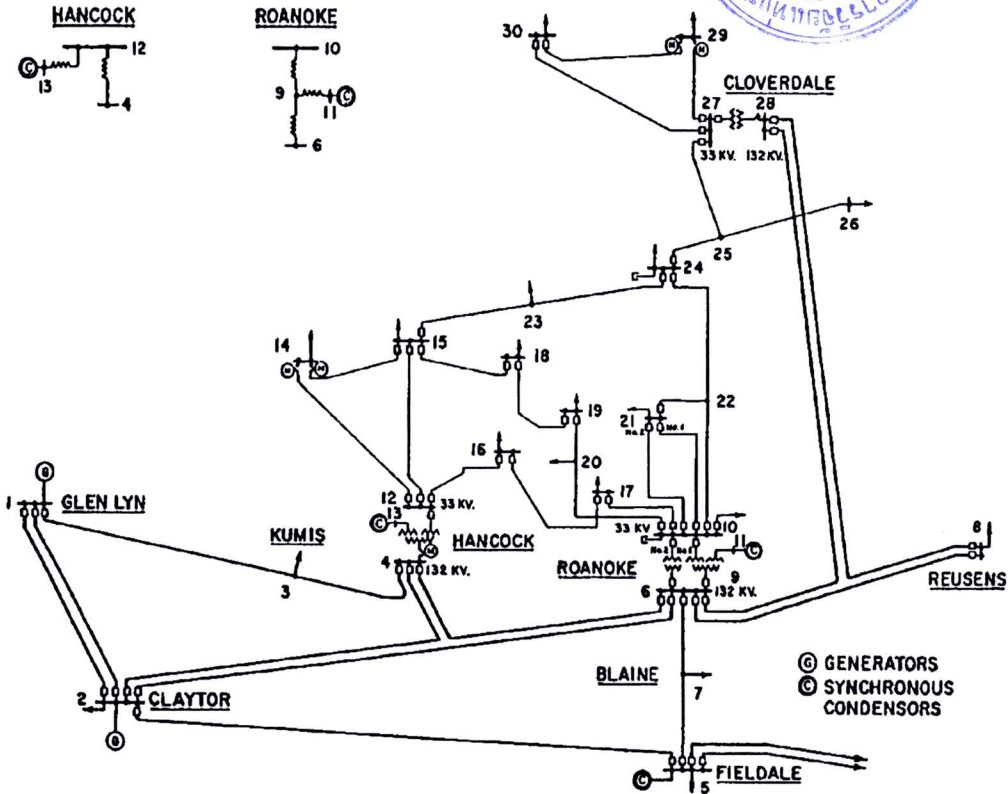
ตารางที่ 3.3 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 2

i	a	b	c	e	f	Pmin	Pmax
1	960	9.6	0.0064	450	0.041	150	470
2	310	8.21	0.0005	600	0.036	135	460
3	310	8.21	0.0005	320	0.028	73	340
4	240	7.75	0.0045	260	0.052	60	300
5	240	7.75	0.0014	280	0.063	73	243
6	240	5.35	0.0045	310	0.048	57	160
7	220	2.34	0.0069	300	0.086	20	130
8	220	7.78	0.0014	340	0.082	47	120
9	220	6.23	0.0078	270	0.098	20	80
10	125	8.89	0.0028	380	0.094	55	55
กำลังการผลิต							2358

- ระบบที่ 3 มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 เครื่อง ไม่พิจารณาการเปิดปิดวาล์ว แต่พิจารณา กำลังสูญเสียในสายส่ง (IEEE 30) ซึ่งรูปร่างระบบดังภาพที่ 3.8 และมีรายละเอียดของระบบตาม ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของระบบเพิ่มเติมดูภาคผนวก ก ในตารางที่ ก.1 และ ตารางที่ ก.2



THREE WINDING TRANSFORMER EQUIVALENTS



ภาพที่ 3.8 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 3

ตารางที่ 3.4 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 3

i	a	b	c	Pmin	Pmax
1	240	7.0	0.007	20	500
2	200	10.0	0.0095	10	400
3	220	8.5	0.0090	80	300
4	200	11.0	0.0090	50	200
5	220	10.5	0.0080	20	150
6	190	12.0	0.0075	10	120
กำลังการผลิต					1,670

การคำนวณกระทำโดยพิจารณาการจ่ายกำลังที่ 400 MW และ 700 MW ในระบบทดสอบที่ 1 การจ่ายกำลังที่ 800 MW และ 1,500 MW กับระบบทดสอบที่ 2 จ่ายกำลังที่ 553.4 MW กับระบบทดสอบที่ 3 โดยพิจารณาจากเงื่อนไขการหยุดคำนวณ ดังนี้

- ผลต่างของคำตอบในแต่ละรอบต่างกันน้อยกว่าที่กำหนด (10^{-6})
- ล้นสุรอบการคำนวณ (100,000 รอบ)
- ล้นสุดเวลาในการคำนวณที่กำหนด (30 นาที)

ซึ่งการกำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่ระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรม และระเบียบวิธีแบบฮามอนี้เป็นไปตามตารางที่ 3.5 ส่วนระเบียบวิธีแบบจุดภายในนั้นสามารถคำนวณได้โดยไม่ต้องกำหนดค่าเริ่มต้น

ตารางที่ 3.5 การกำหนดค่าเริ่มต้นแก่ HS และ GA

HS		GA	
Parameter	Values	Parameter	Values
HMS	10	Number of populations	50
HMCR	0.8	Number of generations	10,000
PAR	0.1	Mutation factor	Uniformly, $p=0.01$
Number of iteration	10,000	Crossover factor	0.4

จากการทดสอบเปรียบเทียบการจ่ายโหลดทั้ง 3 ระบบ ผลที่ได้พบว่าการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีแบบฮามอนี้ในผลการคำนวณดีกว่าสองวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ตามตารางที่ 3.6-3.8 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้คำนวณตามสมการ (3.54), (3.55) ซึ่งได้ผลดังนี้

- ระบบที่ 1 HS ให้คำตอบที่ดีกว่า GA 0.01 % แต่ให้คำตอบที่เท่ากับ ITP
- ระบบที่ 2 HS ให้คำตอบที่ดีกว่า GA 11.5 % แต่ให้คำตอบที่ดีกว่า ITP = 4.95 %
- ระบบที่ 3 HS ให้คำตอบที่ดีกว่า GA 1 % แต่ให้คำตอบที่ดีกว่า ITP = 0.99 %

$$ANS1\% = \frac{|HS-GA|}{HS} * 100 \quad (3.54)$$

$$ANS2\% = \frac{|HS-ITP|}{HS} * 100 \quad (3.55)$$

โดย

ANS1% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์คำตอบที่ได้

ANS2% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์คำตอบที่ได้

HS คือ ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีแบบฮามอนี้

GA คือ ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบทางพันธุกรรม

ITP คือ ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบแบบจุดภายใน

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 1

Algorithm	GA		ITP		HS	
Load	400	700	400	700	400	700
Pg1	242.12	450.04	250	513.06	300	513.06
Pg2	100.28	199.41	100	136.93	50	136.93
Pg3	57.56	50.53	50	50	50	50
Cost	4,044	6,483	4,038	6,471	4,023	6,417

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2

Algorithm	GA		ITP		HS	
Load	800	1,500	800	1,500	800	1,500
Pg1	156	191.36	150	286.62	150	303.24
Pg2	135	190.71	135	222.26	135	222.26
Pg3	73	192.18	73	224.18	73.08	297.39
Pg4	64.41	189.21	104.54	180.83	60.12	60
Pg5	73	191.51	73	172.73	73.05	172.73
Pg6	62.07	160	122.45	159.98	57.121	122.44
Pg7	63.1	130	20	93.06	129.50	129.59
Pg8	61.71	120	47	85.31	47.019	85.31
Pg9	62.4	80	20	80	20	52.05
Pg10	55	55	55	55	55	55
Cost	10,121	16,618	9,645	15,594	9,052	14,900

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 3

Algorithm	GA	ITP	HS
Load	553.4	553.4	553.4
Pg1	294.65	294.65	253.29
Pg2	59.17	59.1	22.45
Pg3	145.79	145.8	154.89
Pg4	50	50	58.76
Pg5	39.03	39.02	49.88
Pg6	10	10	47.62
Cost	7,112.57	7,112.58	7,042.66

ผลการทดสอบเพิ่มเติม ดูภาคผนวก ก

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิต

เนื่องจากการเคลื่อนที่อันไม่แน่นอนของลม ทำให้ยากต่อการทำนายความเร็วและทิศทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการศึกษาในปัจจุบันสามารถทราบได้เพียงความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นเท่านั้น โดยพฤติกรรมของลม จากการศึกษาข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าจะเป็นไปตามการกระจายตัวของข้อมูลแบบไวบูล (Weibull distribution) (Chun, 2008) (3.54) ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ถ้าความเร็วลมค่าใดสามารถคำนวณความน่าจะเป็นได้มากที่สุดจะถูกนำไปใช้เป็นความเร็วลม ณ ขณะนั้น วิธีดังกล่าวถูกใช้ในการพยากรณ์ความเร็วลมเพื่อทำนายสภาพอากาศ ซึ่งปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายความเร็วลมได้ เช่น HOMER (HOMER, 2000) ซึ่งเมื่อป้อนข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลทางสถิติให้กับโปรแกรม จะสามารถทำให้ทำนายความเร็ว ณ ช่วงเวลาที่สนใจได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการวางแผนการผลิตให้ได้อย่างเหมาะสม เพราะกระแสลมเมื่อผ่านกังหันลมผลิตไฟฟ้าแล้วนั้นจะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ตามสมการ (3.57)–(3.59) อ้างอิงสมการที่ (3.56–3.59) (Chun, 2008) ซึ่งรายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การวัดการกระจายตัวของข้อมูลแบบวิบูล (Weibull distribution)

$$f_v = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{(k-1)} e^{-(v/c)^k} \quad (3.56)$$

โดย

v คือ ความเร็วลม

c คือ ค่าสเกลแฟคเตอร์ (Scale factor at a given location)

k คือ ค่าชาร์ปแฟคเตอร์ (Shape factor at a given location)

จากสมการตัวแปร c และ k นั้นเป็นตัวแปรที่ผ่านการเก็บข้อมูลทางสถิติซึ่งจะแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ เมื่อแทนค่าความเร็วลม v ลงในสมการจะได้ f_v ซึ่งก็คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลม v

3.4.2 กำลังที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Power Output)

$$P_\omega = 0; v < v_i, v > v_o \quad (3.57)$$

$$P_\omega = P_r \frac{(v-v_i)}{(v_r-v_i)}; v_i \leq v \leq v_r \quad (3.58)$$

$$P_\omega = P_r; v_r \leq v \leq v_o \quad (3.59)$$

โดย

P_r คือ ขอบเขตของกำลังสูงสุดที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ของกังหันลม

v คือ ความเร็วลม

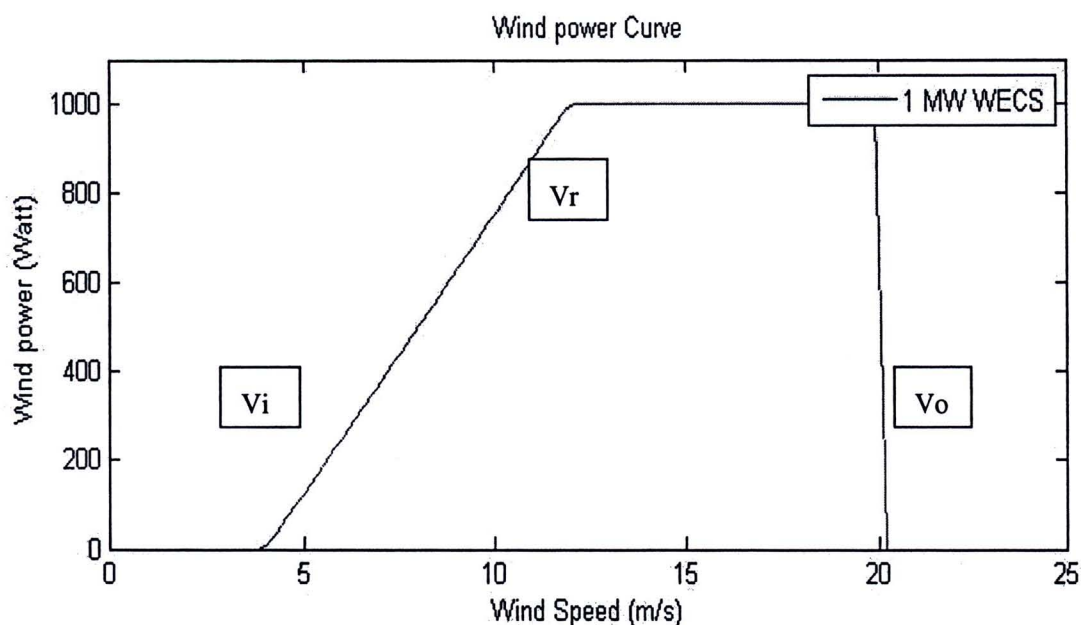
v_i คือ ความเร็วคัตอิน (Cut in speed)

v_r คือ ขอบเขตของความเร็วสูงสุด

v_o คือ ความเร็วคัตเอาท์ (Cut out speed)

P_ω คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนรูปพลังงาน

กังหันลมจะเริ่มทำงานเมื่อความเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านกังหันมีความเร็วลมเริ่มต้น v_i และเมื่อความเร็วลมมีค่าเท่ากับ v_r กังหันลมจะทำงานโดยให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและเมื่อความเร็วลมมากเกินไปซึ่งอาจส่งผลให้เกียร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสียหายได้ ซึ่งทางผู้ผลิตกังหันลมนั้นจะระบุความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและพลังงานที่ผลิตได้ (Wind power curve) มาพร้อมกับเอกสารทางเทคนิค ดังเช่นที่แสดงไว้ในภาพที่ 3.9



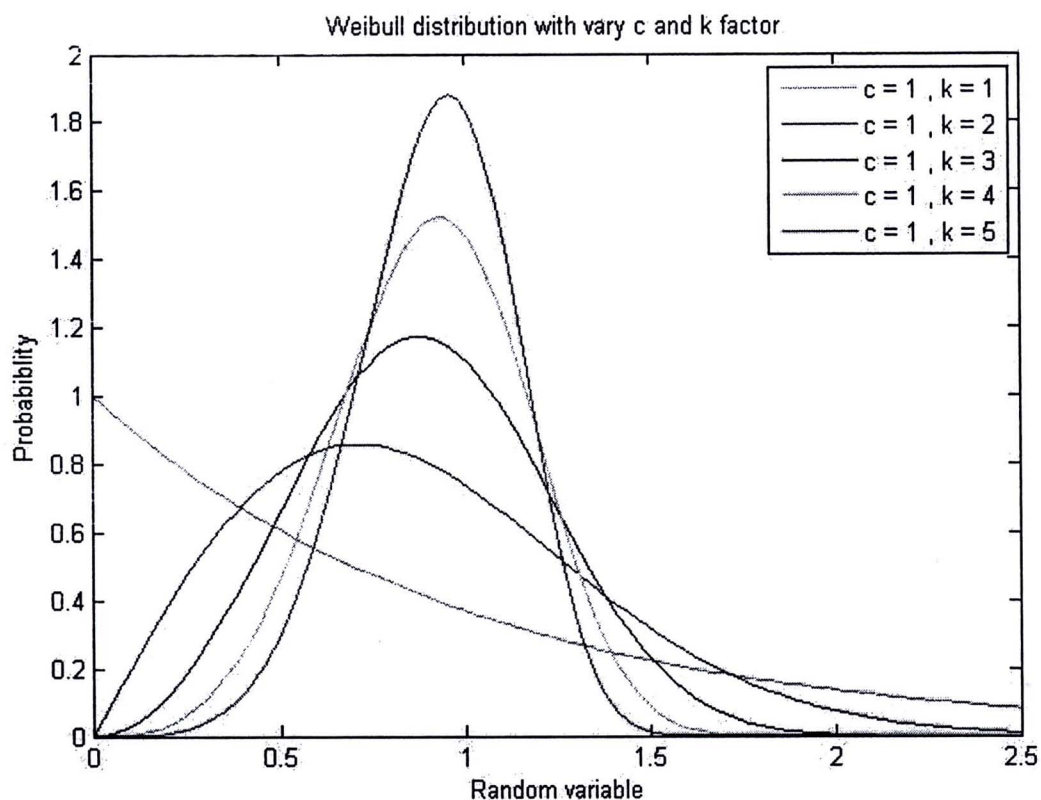
ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิต

สมการที่ (3.57)–(3.59) เป็นสมการที่ใช้แปลงความเร็วลมที่ผ่านกังหันให้เป็นพลังงานซึ่งข้อมูลพื้นฐาน P_r , v_i , v_r , v_o จะทราบได้จากข้อมูลของกังหันลมที่มีการติดตั้งใช้งาน อ้างอิงข้อมูลตาราง 3.9 จาก (Windspeed 1 MW data, 2010), (Windspeed 1.5 MW data, 2010), (Windspeed 2.5 MW data, 2010)

ตาราง 3.9 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมที่ทำการศึกษา

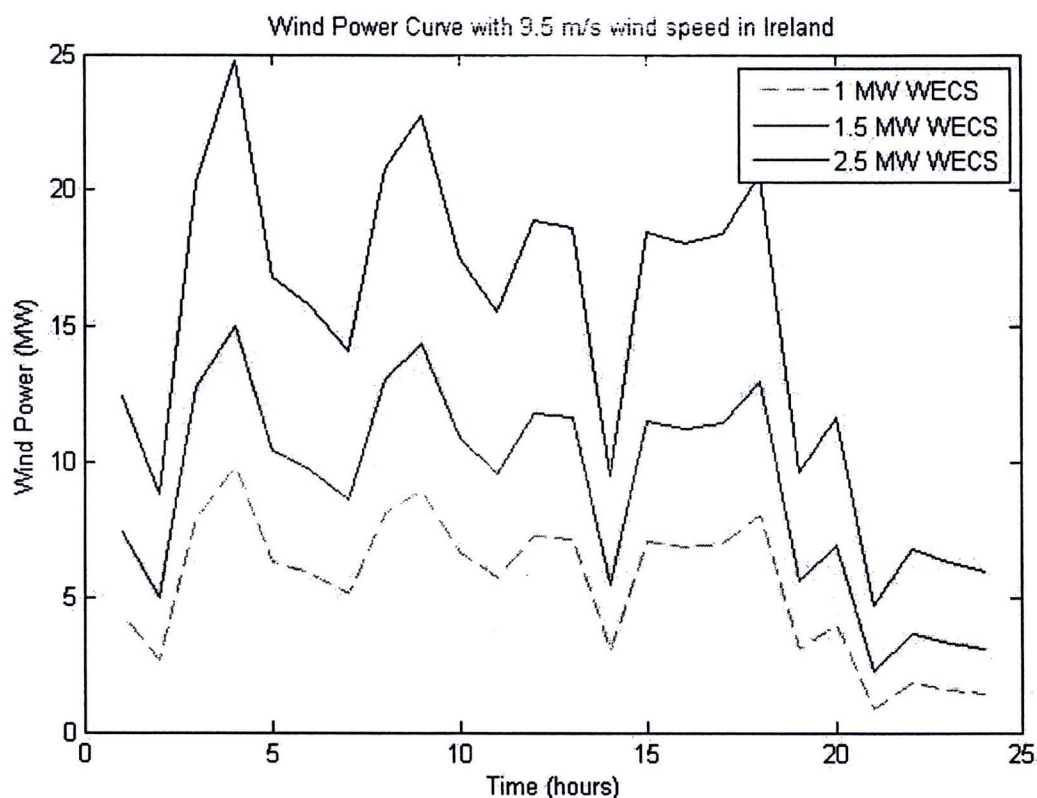
Size	1 MW	1.5 MW	2.5 MW
Cut-in speed	4 m/s	3.5 m/s	3 m/s
Cut-out speed	20 m/s	20 m/s	25 m/s
Rated speed	12 m/s	11.5 m/s	12 m/s
Rated power	1,000 kw	1,500 kw	2,500 kw

การกระจายตัวของความเร็วลมจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมที่ส่งให้ค่า c และ k แพลตฟอร์มค่าเปลี่ยนแปลง การเลือกใช้การกระจายตัวที่เหมาะสมจะทำให้การพิจารณาที่ความถูกต้องมากขึ้น ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การกระจายตัวแบบวิบูล

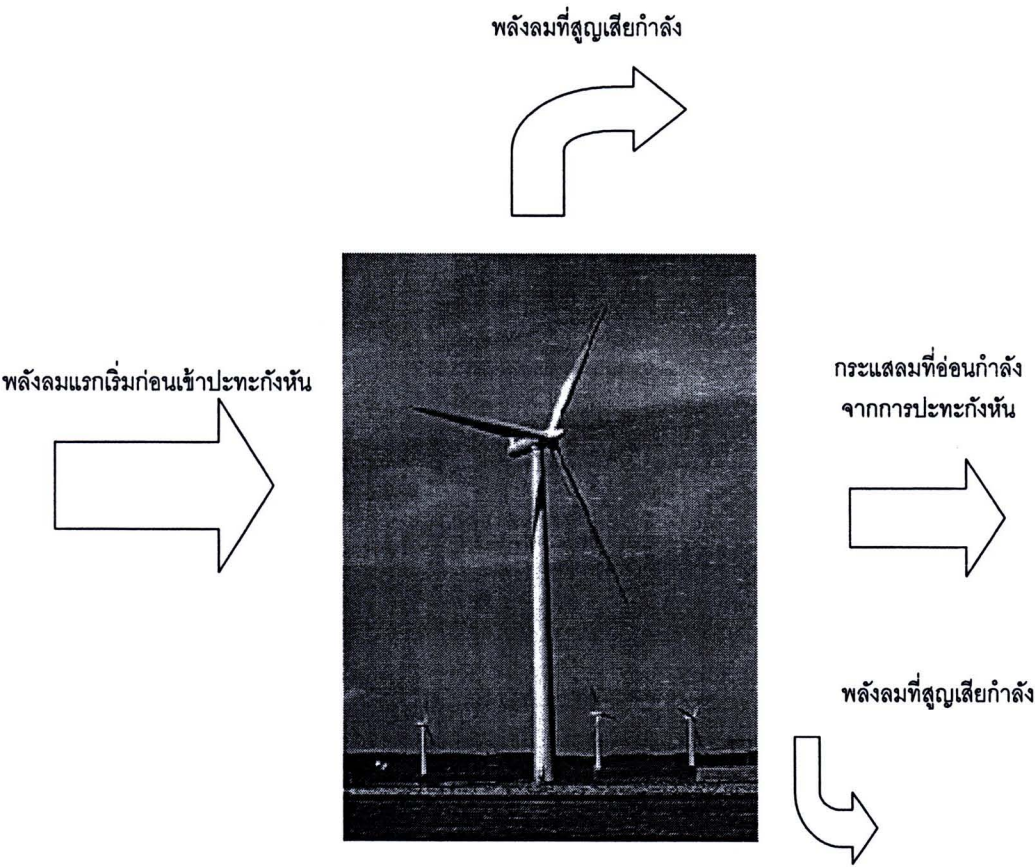
และจากความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันแต่ละให้ถ้าพิจารณาให้
ความเร็วที่สนใจมีขนาดคงที่ จะทำให้กังหันแต่ละแบบให้ค่าพลังงานที่ต่างกัน ดังรูป 3.11



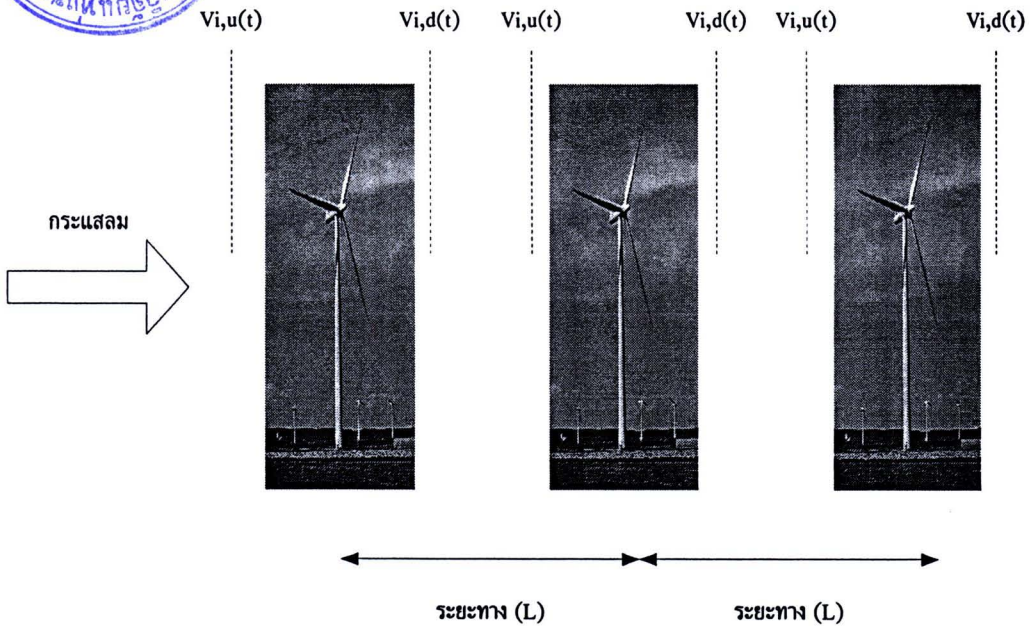
ภาพที่ 3.11 กำลังที่ได้จากการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันที่มีขนาดแตกต่างกัน

3.4.3 พลังงานที่ได้จากกังหันลมขนาดใหญ่ (Output power model of a large scale wind farm)

ในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมจำนวนมาก (Large scale wind farm) ความเร็วลมที่ทำนายได้ในพื้นที่บริเวณนั้นกับกระแสลมที่พัดผ่าน กังหันลมแต่ละเครื่องจะมีค่าไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากการประทะของกระแสลมกับ WECS ทำให้ลมเกิดการอ่อนกำลังส่งผลให้กระแสมีความเร็วที่ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการคำนวณความเร็วลมนั้นสูญเสียไป (Nengcheng, 2007) ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ทำให้สามารถคำนวณความเร็วที่ผ่านกังหันได้โดยสมการที่ (3.60) โดยภาพที่ 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.18, 3.19, 3.21, 3.22 นำมาจาก (Nengcheng, 2007)



ภาพที่ 3.12 กำลังได้จากการกระแสลมผ่านกังหันลม (Nengcheng, 2007)



ภาพที่ 3.13 ความเร็วลมที่ผ่านกังหันลมหลาย ๆ ตัว (Nengcheng, 2007)

โดย

$v_{i,u}(t)$ คือ ความเร็วลมก่อนเข้าปะทะกังหัน

$v_{i,d}(t)$ คือ ความเร็วลมหลังปะทะกังหันแล้ว

t คือ เวลา ณ ขณะหนึ่ง

จากผลที่เกิดขึ้นสามารถใช้สมการในการหาความเร็วที่ลดลงเนื่องจากผลดังกล่าว
ดังนี้ (Nengcheng, 2007)

$$v_{i+1,u} = \sqrt[3]{\alpha_{i+1}} * v_{i,u} \quad (3.60)$$

โดย

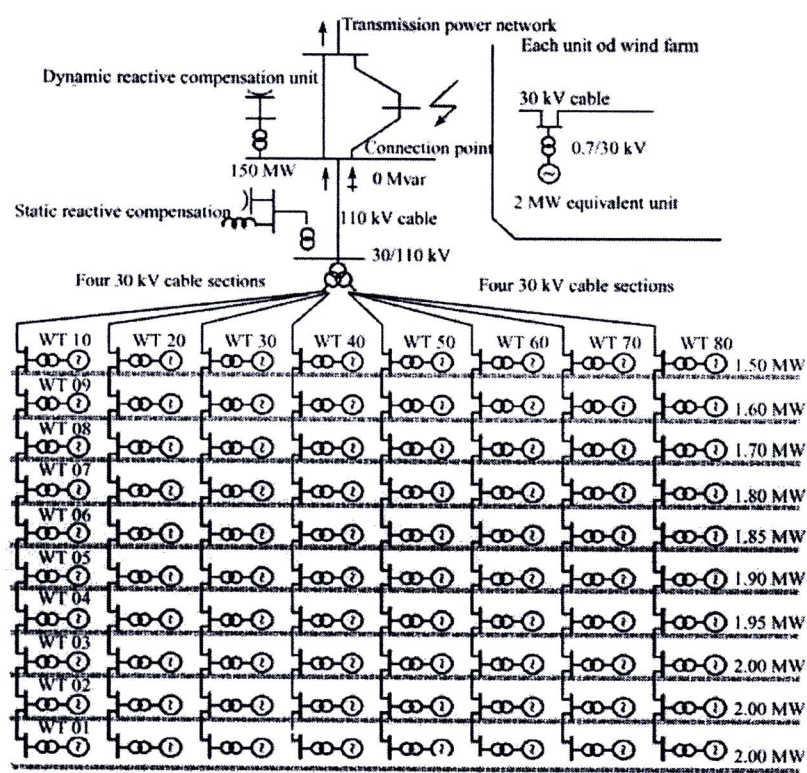
$v_{i+1,u}$ คือ ความเร็วลมของกังหันลำดับที่ $i + 1$

$v_{i,u}$ คือ ความเร็วที่กระทบกังหันลำดับที่ i

α_{i+1} คือ ค่า Integrated influence factor

ซึ่งค่าของตัวแปร α_{i+1} ได้มาจากการเก็บข้อมูลในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งกังหัน ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามโครงสร้างด้านภูมิประเทศและลักษณะของการติดตั้งกังหันลม การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาแบบของ (Nengcheng, 2007) ซึ่งระบบกังหันลมขนาด 80 ยูนิท วางเรียง

กันเป็นกริดซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติม ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ระบบกังหันลมขนาด 80 หน่วย (Nengcheng, 2007)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการเกิด เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) พบว่าทิศทางลมนั้นส่งผลต่อการพิจารณาด้วย ดังนั้นจึงได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

- กรณีที่ 1. เมื่อทิศทางลมเคลื่อนเข้าสู่บริเวณที่มีการติดตั้งกังหันลม ทางทิศตะวันออก
- กรณีที่ 2. เมื่อทิศทางลมเคลื่อนเข้าสู่บริเวณที่มีการติดตั้งกังหันลม ทางทิศใต้
- กรณีที่ 3. เมื่อทิศทางลมเคลื่อนเข้าสู่บริเวณที่มีการติดตั้งกังหันลม ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

ในการพิจารณาจะพิจารณาแถวของกังหันลมที่ไม่ได้รับของ เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) รวมเป็นวงจรสมมูลด้วยกังหันลมเพียง 1 เครื่อง ดังรูปที่ 3.4, 3.7, 3.10 ทำให้ได้ผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) แบ่งตามกรณีต่างได้ดังนี้

ตารางที่ 3.10 แสดงสัมประสิทธิ์ α ในแต่ละแถว

แถวที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α กรณี 1	1	1	1	0.95	0.9474	0.9444	0.9412	0.9375	-	-
α กรณี 2	1	1	1	0.9916	0.9914	0.9911	0.9909	0.9811	0.9799	0.9787
α กรณี 3	1	1	1	0.983	0.982	0.9811	1.02	1.021	-	-

(Nengcheng, 2007)

ส่วนในการพิจารณากำลังการผลิต ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

- ระบบขนาดเล็กที่ทำการติดตั้งกังหัน 10 เครื่อง ไม่คิดผลของเวกเอฟเฟกต์

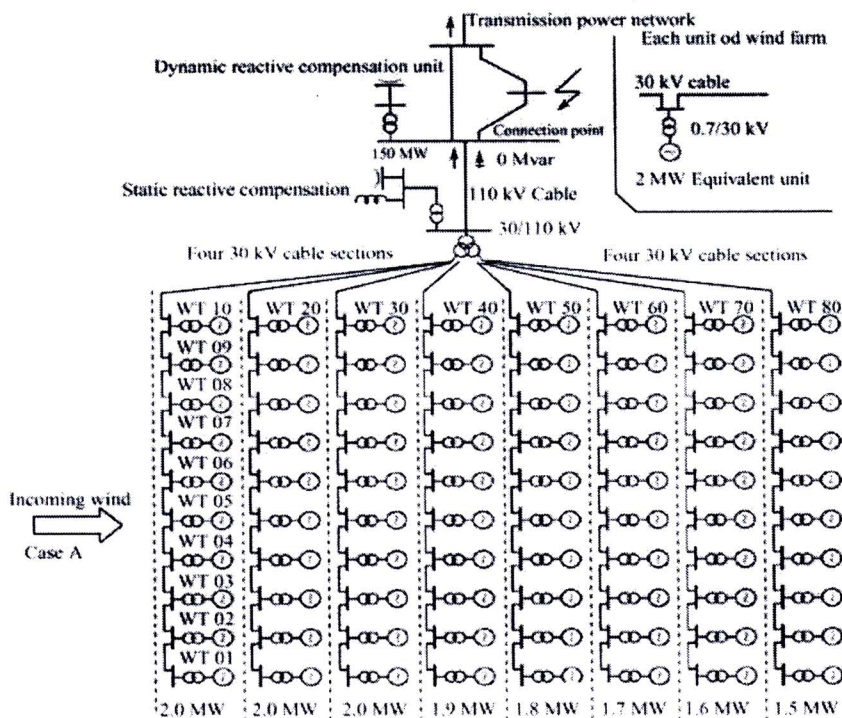
(Wake effect) เพราะเป็นระบบขนาดเล็ก

- ระบบขนาดใหญ่ที่ทำการติดตั้งกังหัน 80 เครื่อง ที่คิดผลของเวกเอฟเฟกต์

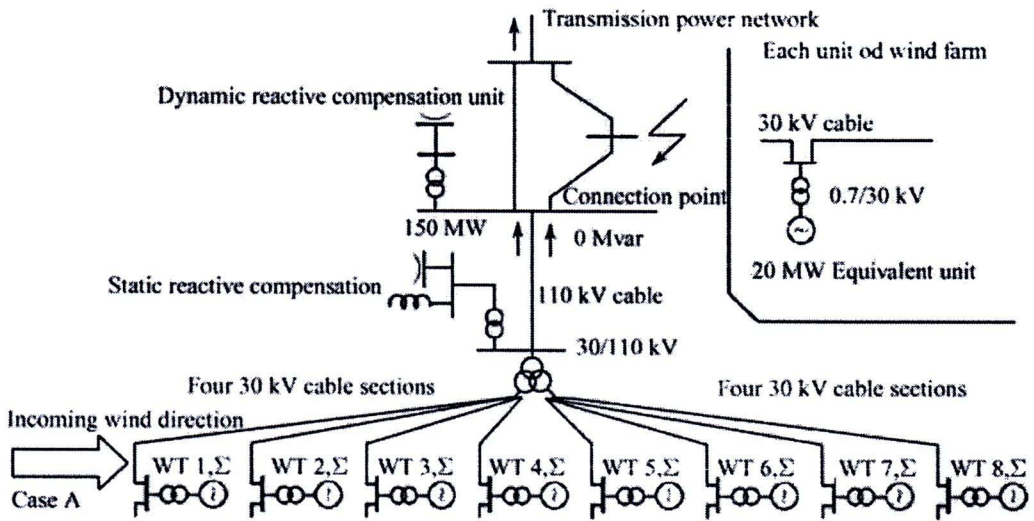
(Wake effect)

จากผลของการคำนวณการเปลี่ยนรูปพลัง แยกตามกรณีที่ 1-3 แสดงได้ดังรูป

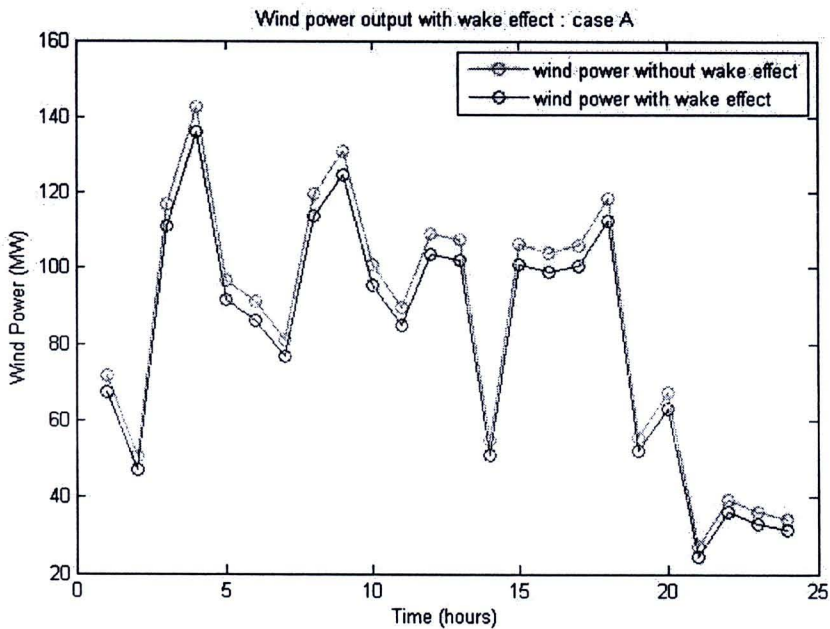
ที่ 3.15, 3.18, 3.21 ตามลำดับ



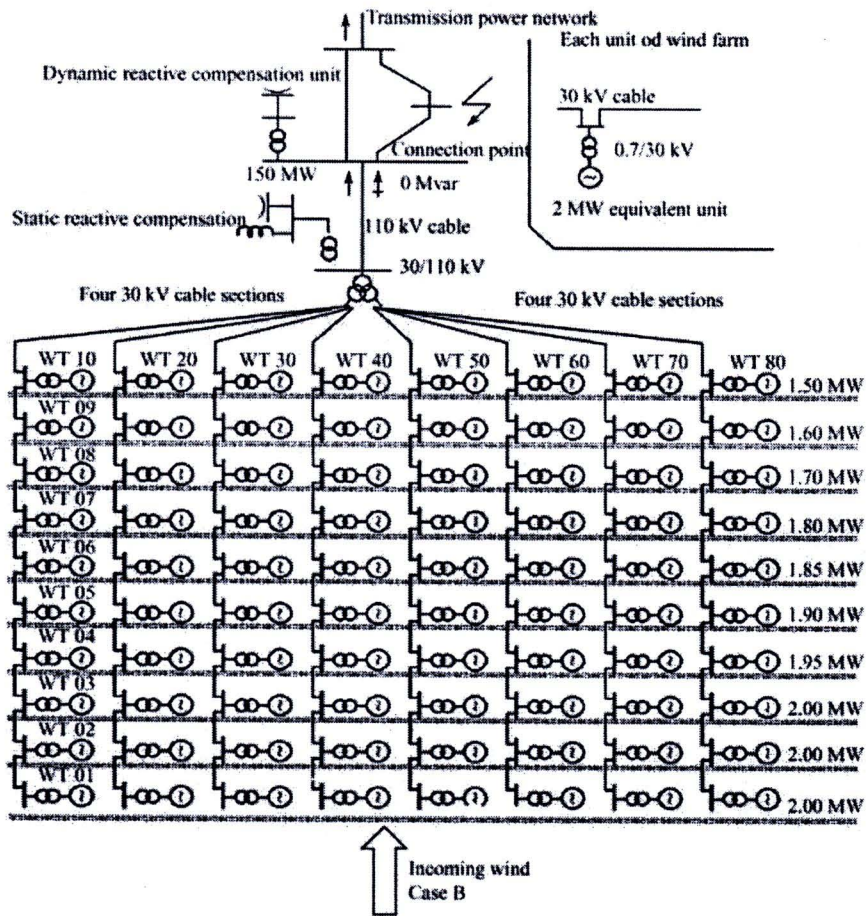
ภาพที่ 3.15 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 1 (Nengcheng, 2007)



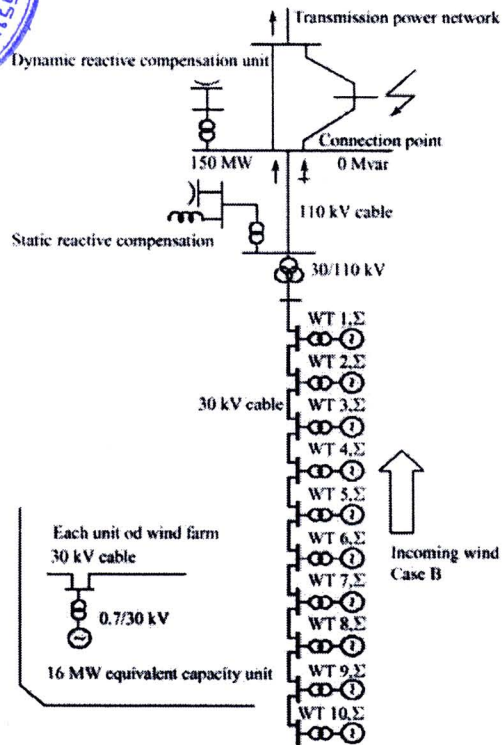
ภาพที่ 3.16 วงจรสมมูลวินฟาร์ม (Wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกัน กรณีศึกษาที่ 1 (Nengcheng, 2007)



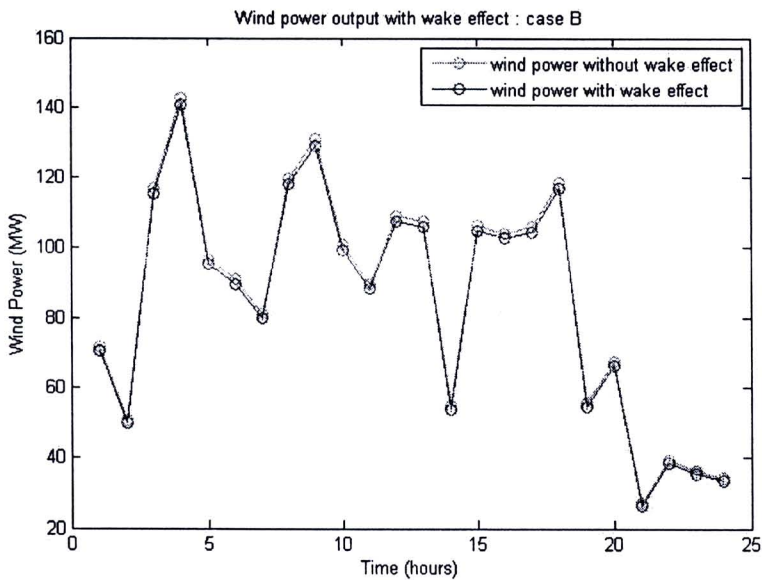
ภาพที่ 3.17 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 ยูนิต โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 1



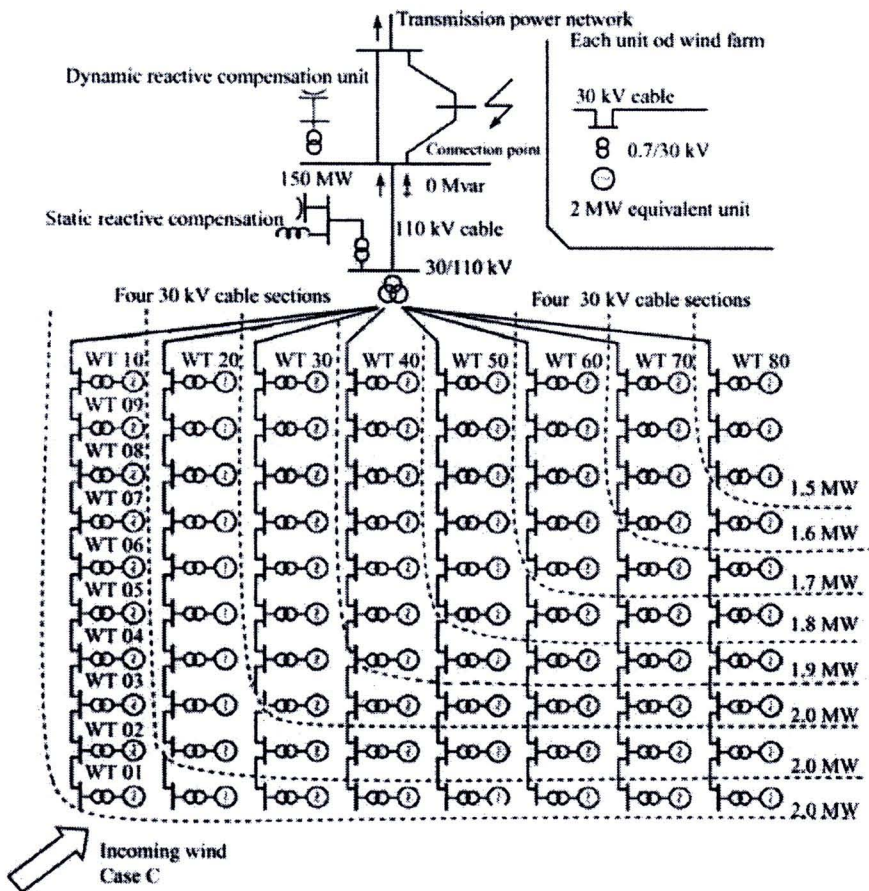
ภาพที่ 3.18 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 2 (Nengcheng, 2007)



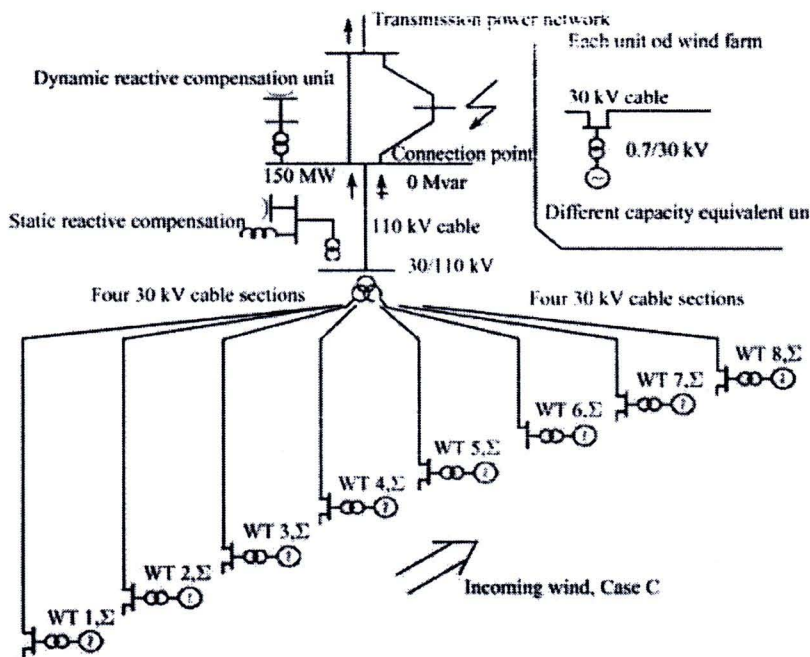
ภาพที่ 3.19 วงจรสมมูลของวินฟาร์ม (wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกันกรณีศึกษาที่ 2 (Nengcheng, 2007)



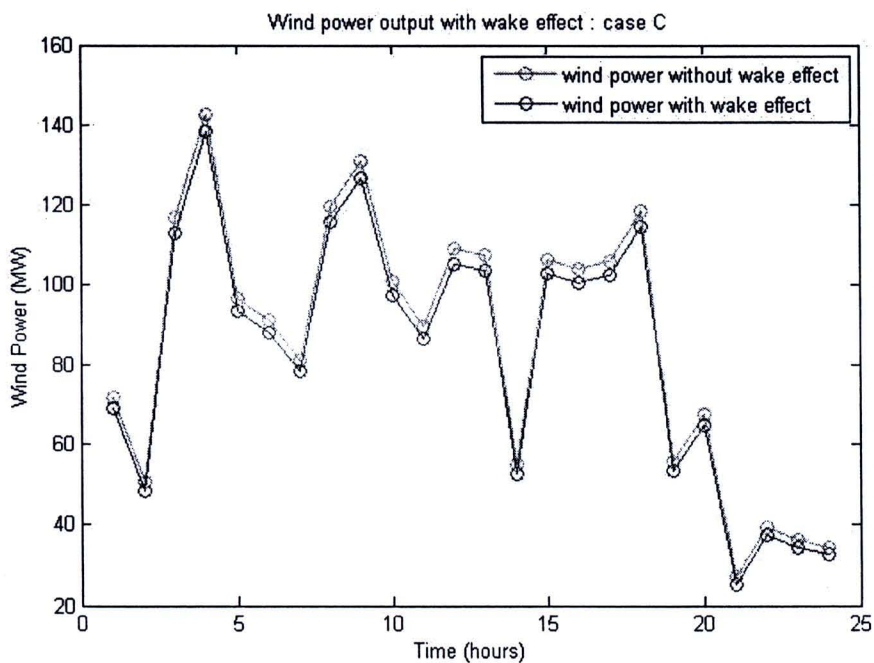
ภาพที่ 3.20 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 ยูนิต โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 2



ภาพที่ 3.21 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 3 (Nengcheng, 2007)



ภาพที่ 3.22 วงจรสมมูลของวินฟาร์ม (Wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกันกรณีศึกษาที่ 3 (Nengcheng, 2007)



ภาพที่ 3.23 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 หน่วย โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 3

สรุปผลที่ได้จากการศึกษา

ในระบบที่จะมีการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้ในปริมาณมาก ๆ ในความเป็นจริงผลที่ได้อาจไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่คาดหวัง เนื่องจากผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) ที่เกิดจากการเคลื่อนของลมที่อ่อนกำลังลงเรื่อย ๆ หลังจากที่กระแสลมพัดผ่านหน่วยย่อยของกังหันที่วางในลักษณะติดกันเป็นแถว ๆ ทำให้กระแสที่เคลื่อนด้วยความเร็วที่ไม่คงที่และมีแนวที่ความเร็วจะลดลงเรื่อย ๆ จากผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) ในตาราง ความเร็วที่ไม่คงที่นี้เองทำประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่มีค่าน้อยลง เพราะฉะนั้นการพิจารณา หรือการวางแผนเกี่ยวกับระบบกังหันลมที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากขึ้นในอนาคต การพิจารณาถึงผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) จึงเป็นสิ่งต้องคำนึงถึงในการพิจารณาด้วย

3.5 ความต้องการใช้พลังงาน (Load)

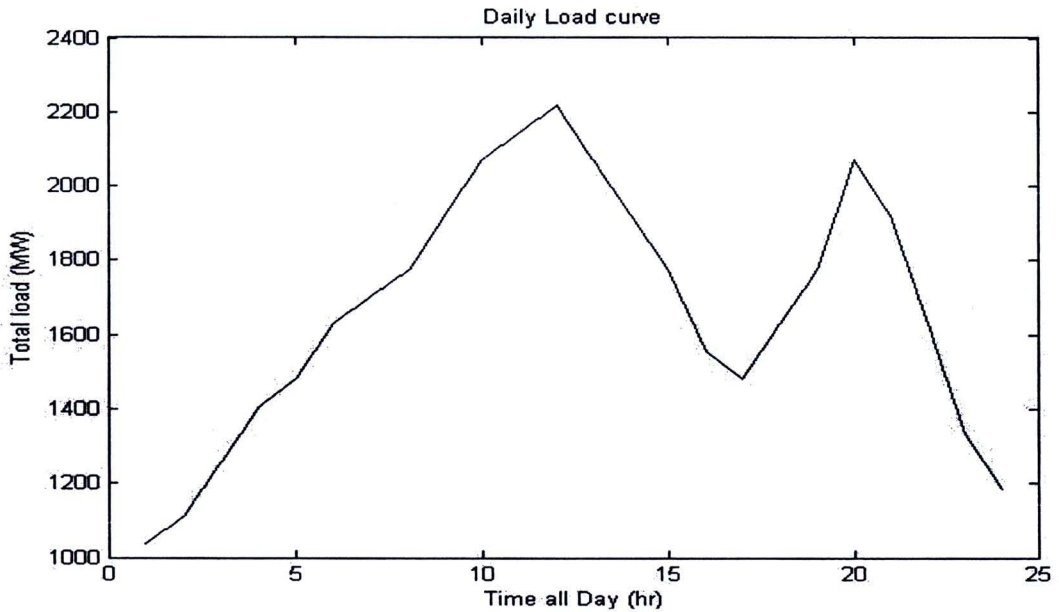
ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าคือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมหรือครัวเรือน ซึ่งมีส่วนที่สำคัญต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคอย่างมาก เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าที่ต้นนั้นต้องผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าบางชนิดได้ และหากมีการผลิตไฟฟ้ามากเกินไปเกินความต้องการไหลตมมากจนเกินไป ก็จะทำให้ผู้ผลิตประสบภาวะขาดทุนได้ ดังนั้นการผลิตอย่างถูกต้องควรผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการและยังควรรักษาความมีเสถียรภาพของระบบไว้ได้โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าด้วย

ค่าความต้องใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันจะได้จากการเก็บข้อมูลในปีที่ผ่านมา ๆ มาเพราะแนวโน้มความต้องการในแต่ละปีนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างน้อย ดังนั้นสามารถทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้าได้จากข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ได้ ซึ่งหากเป็นระบบเดิมที่ใช้น้ำมันในการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ค่าความต้องการไฟฟ้าที่ทำนายได้ต้องเป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องผลิตกำลังให้เพียงพอต่อความต้องการเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่หากในระบบได้มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในระบบด้วยแล้วภาระการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากภาระการจ่ายโหลดส่วนหนึ่งได้ถูกแบ่งมายังกังหันลมผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.23 ดังนั้นจึงทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลง

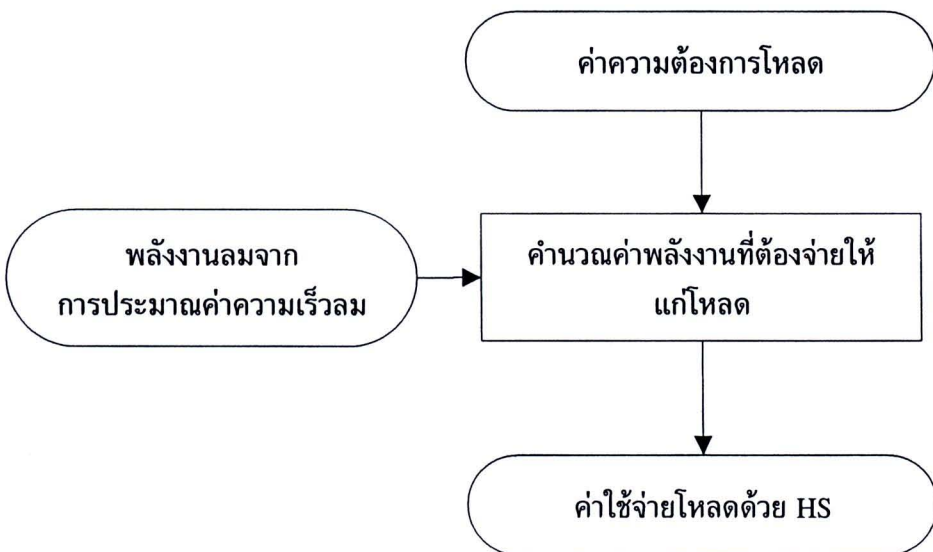
ข้อมูลทางสถิติที่นำมาทำวิจัยในครั้งนี้ เป็นค่าความต้องการโหลดของครัวเรือนซึ่งได้มาจากแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 3.24 โดยพิจารณาความต้องการโหลดในหนึ่งวัน หรือ 24 ชั่วโมง เท่านั้น และข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วลมได้มาจาก (Liu, 2007) คูภาคผนวก ข ซึ่งเป็นข้อมูลทางสถิติเพื่อนำมาทำนายความเร็วลม ณ วันเวลาอื่นที่ต้องการจะทราบข้อมูล โดยในการทำวิจัยการทำนายความต้องการโหลดและความเร็วลมจะได้อาจมาจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า HOMER (HOMER, 2000) โดยการใช้งานโปรแกรมทำได้โดย



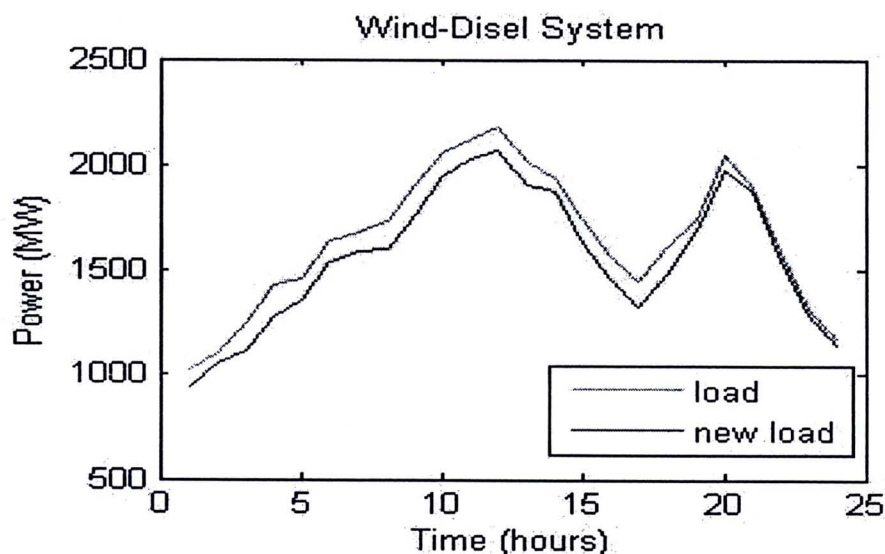
ป้อนข้อมูลทางสถิติให้แก่โปรแกรม หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณข้อมูลชุดใหม่ให้ตามวันและเวลาที่ต้องการทราบ โดยความเร็วลมที่ทำนายได้นั้น จะถูกนำไปคำนวณการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลมเป็นไฟฟ้า หลังจากนั้นพลังงานที่คำนวณได้จะถูกนำไปคำนวณค่าความต้องการโหลดสุทธิเพื่อนำไปคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าในขั้นตอนสุดท้าย ดังภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.24 ค่าความต้องการโหลดประเภทครัวเรือน



ภาพที่ 3.25 แผนภาพการปรับปรุงการจ่ายโหลดที่น่าเสนอ



ภาพที่ 3.26 ภาระการจ่ายโหลดที่ลดลง

เมื่อติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเข้ามาในระบบ จะทำให้ภาระการจ่ายโหลดของระบบนั้นมีค่าลดลง ดังภาพที่ 3.26 แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมมีค่าไม่แน่นอนตามความเร็วลมแปรผันอยู่ตลอดเวลาทำให้ยากต่อการวางแผนงาน ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อให้สามารถวางแผนการผลิตไฟฟ้าในระยะเวลาหนึ่งวันหรือ 24 ชั่วโมงเท่านั้น และความเร็วลมได้นำมาจากข้อมูลที่มีการบันทึกไว้แล้วล่วงหน้า ดังนั้นจากแนวคิดดังกล่าวทำให้สมการวัตถุประสงค์มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

$$\sum_i^m P_i = P'_D + P_L \quad (3.61)$$

$$P'_D = P_D - P_w \quad (3.62)$$

โดย

P'_D คือ ภาระการจ่ายโหลดที่ลดลงเนื่องจากการนำพลังงานลมมาทดแทน

จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ได้สมการวัตถุประสงค์ใหม่ดังนี้

$$\text{Minimize } F_T = \sum_{i=1}^m F_i \text{ where } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.63)$$

$$\text{Subject to } \sum_i^m P_i = P'_D + P_L \quad (3.64)$$

$$P_i^{g(\min)} \leq P_i \leq P_i^{g(\max)} \quad (3.65)$$

$$P_i(t) - P_i(t-1) \leq D_r \quad (3.66)$$

$$P_i(t+1) - P_i(t) \leq U_r \quad (3.67)$$

โดย

U_r	คือ ขีดจำกัดการเพิ่มกำลัง (Upper ramp rate limit) (MW)
D_r	คือ ขีดจำกัดการลดกำลัง (Lower ramp rate limit) (MW)
$P_i(t)$	คือ กำลังในการผลิต ณ เวลา (t)
$P_i(t-1)$	คือ กำลังในการผลิต ณ เวลา ($t-1$)
$P_i(t+1)$	คือ กำลังในการผลิต ณ เวลา ($t+1$)

3.6 การคำนวณความเร็วลมและความต้องการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม HOMER

3.6.1 การคำนวณความเร็วลม

การคำนวณความเร็วลมด้วยโปรแกรม HOMER ใช้หลักการคำนวณทางสถิติผนวกกับความน่าจะเป็น โดยมีขั้นตอนการคำนวณทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง อ้างอิงสมการที่ (3.68-3.73) จาก (HOMER, 2000) รวมถึงตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

3.6.1.1 การสังการด้วยตัวแปร ประกอบไปด้วย

- Altitude คือ ความสูงกึ่งหันลมวัดจากระดับน้ำทะเล
- Anemometers คือ ความสูงของตำแหน่งที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลม
- Weibull k factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวแบบไวบูล
- Autocorrelations factor คือ ค่าความสัมพันธ์ตัวคลาดเคลื่อน
- Diurnal pattern strength คือ ความสามารถในการรักษาสภาวะคงที่ของกระแสลม
- Hour of peak wind คือ เวลาที่เกิดความเร็วลมสูงสุด
- ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายปีในแต่ละเดือน

3.6.1.2 การคำนวณความเร็วลมด้วย HOMER อาศัยทฤษฎีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- แบบจำลอง Autoregressive

คือ แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ในระยะสั้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการจำลอง ดังสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$x_t = \mu + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.68)$$

โดย

- μ คือ ค่าคงที่
- φ_i คือ พารามิเตอร์ตัวที่ j
- ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t
- p คือ ลำดับของแบบจำลองออโตรีเรกเรสซีฟ

แต่ทว่าในกรณีการคำนวณด้วยโปรแกรม HOMER

จะใช้แบบจำลองอันดับที่หนึ่งซึ่งมีลักษณะสมการดังนี้

$$x_t = \mu + \varphi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \tag{3.69}$$

- ความสัมพันธ์ตัวคลาดเคลื่อน (Autocorrelations)

ความสัมพันธ์ตัวคลาดเคลื่อน ใช้เพื่อวัดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ณ เวลา t และข้อมูลในช่วงเวลาที่ผ่านมา $t - k$ ดังสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$r_k = \frac{\sum_{i=k+1}^n (x_i - \bar{x})(x_{i-k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{3.70}$$

เมื่อ

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) \text{ และ } k = 1, 2, 3, \dots \tag{3.71}$$

โดย

- r_k คือ ค่าความสัมพันธ์ตัวคลาดเคลื่อน
- i คือ ค่าตรรกะ
- k คือ ค่าตรรกะ
- n คือ จำนวนของข้อมูล

- การกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution)

เป็นการกระจายตัวของข้อมูลที่พบมากในธรรมชาติ มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ ซึ่งหมายถึง มีการกระจุกตัวของข้อมูลรอบ ๆ ค่ากลางของข้อมูลมากกว่าจุดอื่น ๆ และเมื่อวิเคราะห์ถึงค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density function, pdf) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$pdf = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{(2\sigma^2)}} \tag{3.72}$$

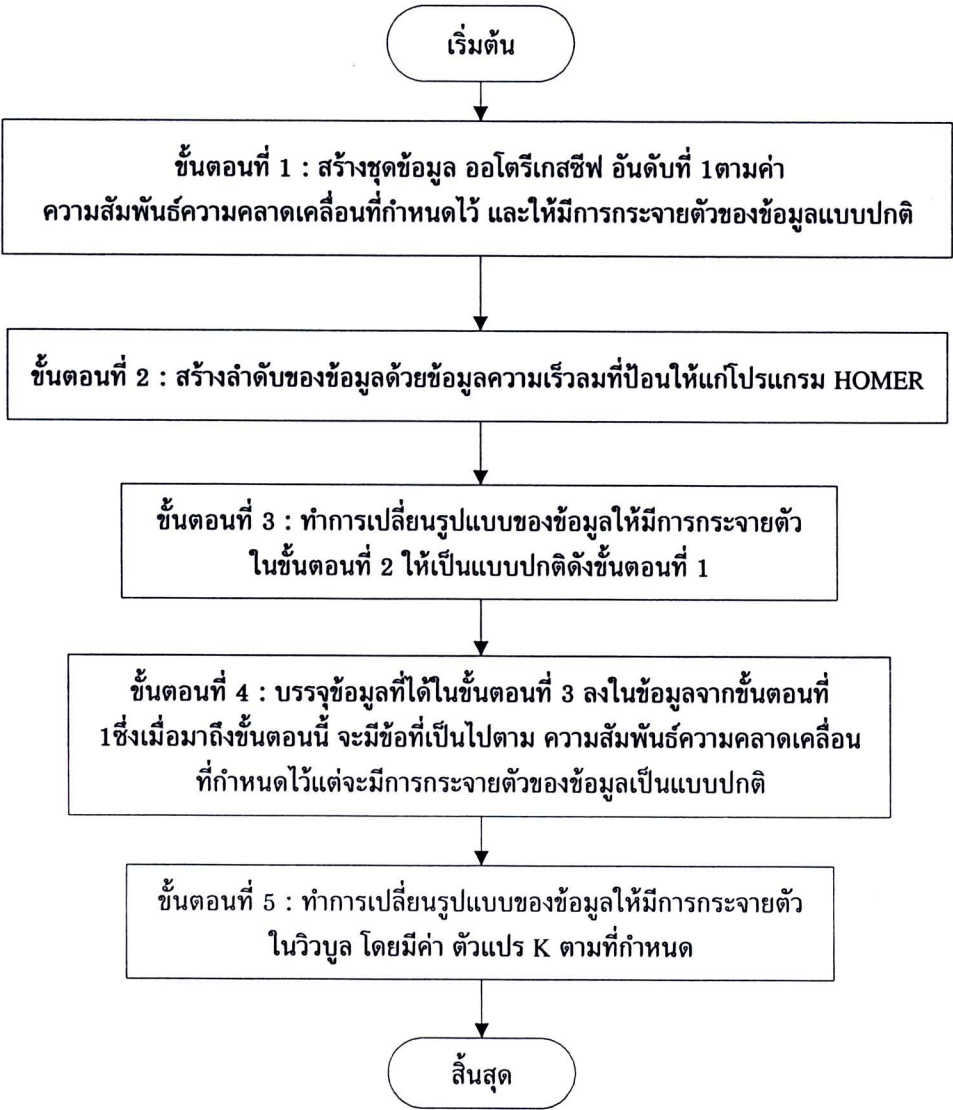
โดย

σ คือ สัมประสิทธิ์การแปรผัน

μ คือ สัมประสิทธิ์ใด ค่ามัธยฐาน ฐานนิยม ค่ากลาง

ซึ่งมีค่าเท่ากันในการแจกแจงแบบปกติ

3.6.1.3 ขั้นตอนการคำนวณความเร็วลมด้วยโปรแกรม HOMER



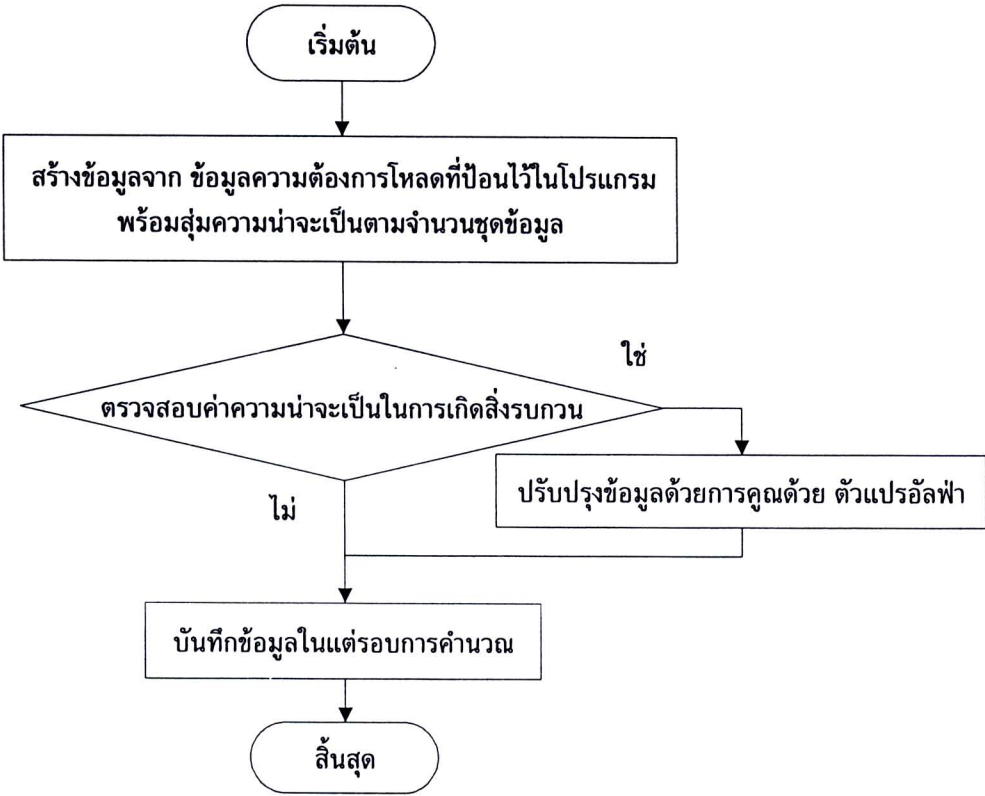
ภาพที่ 3.27 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณความเร็วลมด้วยโปรแกรม HOMER

3.6.2 การคำนวณความต้องการพลังงาน

3.6.2.1 ค่าตัวแปรที่ต้องกำหนด

- Daily perturbation factor คือ ความน่าจะเป็นที่การเกิดสิ่งรบกวนในชุดข้อมูลรายวัน
- Hourly perturbation factor คือ ความน่าจะเป็นที่การเกิดสิ่งรบกวนในชุดข้อมูลรายชั่วโมง

การคำนวณความต้องการโหลดเริ่มต้นจากสร้างชุดข้อมูลจากข้อมูลโหลดรายวันที่กำหนดป้อนให้แก่โปรแกรม หลังจากนั้นตรวจสอบการเกิดสิ่งรบกวนจาก Daily perturbation factor และ Hourly perturbation factor ที่กำหนดไว้ โดยสามารถเขียนเป็นขั้นตอน ดังแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3.28 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณความต้องการใช้พลังงาน HOMER

3.6.2.2 การคำนวณค่าตัวแปรอัลฟา

การปรับปรุงข้อมูลเมื่อผ่านเงื่อนไขการเพิ่มสิ่งรบกวนในข้อมูล

$$\alpha = 1 + \delta_d + \delta_h \quad (3.73)$$

โดย

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสิ่งรบกวน

δ_d คือ ที่สร้างขึ้นแบบสุ่มเพื่อใช้เป็นสิ่งรบกวนข้อมูลโหลด

δ_h คือ ที่สร้างขึ้นแบบสุ่มเพื่อใช้เป็นสิ่งรบกวนข้อมูลโหลด

รายวัน

รายชั่วโมง