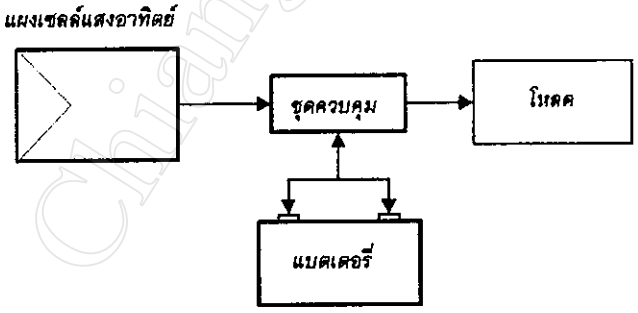
บทที่ 4
โปรแกรมการวิเคราะห์ขนาดระบบโฟโตโวลตาอิก

4.1 บทนำ

ในบทนี้แสดงการประยุกต์การใช้ทฤษฎีวิเคราะห์หาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดของแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคการจำลองแบบรายชั่วโมงซึ่งโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ในขั้นตอนที่ 1 เป็นการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากข้อมูลสถิติชั่วโมงความยาวนานแสงแดด เป็นพลังงานด้านเข้าของระบบ ขั้นตอนที่ 2 จำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ เพื่อวิเคราะห์หาพลังงานด้านเข้าและด้านออกและในขั้นตอนที่ 3 จะนำข้อมูลพลังงานที่ระบบผลิตได้จากการจำลองการทำงานในขั้นตอนที่ 2 ไปวิเคราะห์หาขนาดของระบบที่สัมพันธ์กับโหลดและระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ

4.2 แผนผังของโปรแกรมการวิเคราะห์ขนาดระบบโฟโตโวลตาอิก

ส่วนประกอบของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบแยกอิสระขนาดเล็กที่ทำการวิเคราะห์แสดงได้ตามรูปที่ 4-1 เป้าหมายของการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดระหว่างปริมาณโหลด ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดความจุของแบตเตอรี่ โดยมีความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4-1 ระบบโฟโตโวลตาอิก

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้เทคนิคการจำลองการทำงานแบบรายชั่วโมงที่อาศัยการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่ระบบผลิตได้กับปริมาณความต้องการโหลด ดังนั้นการที่จะวิเคราะห์หาพลังงานด้านเข้าและด้านออกของอุปกรณ์ตามรูปที่ 4-1 ต้องสามารถคาดการณ์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับและปริมาณความต้องการโหลดในแต่ละชั่วโมงได้ ซึ่งข้อมูลด้านเข้าและด้านออกแต่ละส่วนที่โปรแกรมทำการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4-2 ในตอนเริ่มต้นโปรแกรมจะกำหนดขนาดของระบบเพื่อทำการวิเคราะห์หาพลังงานที่ได้รับ จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้รับมาสร้างเป็นเงื่อนไขเพื่อที่จะวิเคราะห์หาขนาดของระบบที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของโปรแกรม

การวิเคราะห์ของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 โปรแกรมการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก. การคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นราบ

ข. การคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นเอียง

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมการจำลองการทำงานของระบบโฟโตโวลตาอิก

ก. การจำลองอุณหภูมิแวดล้อม

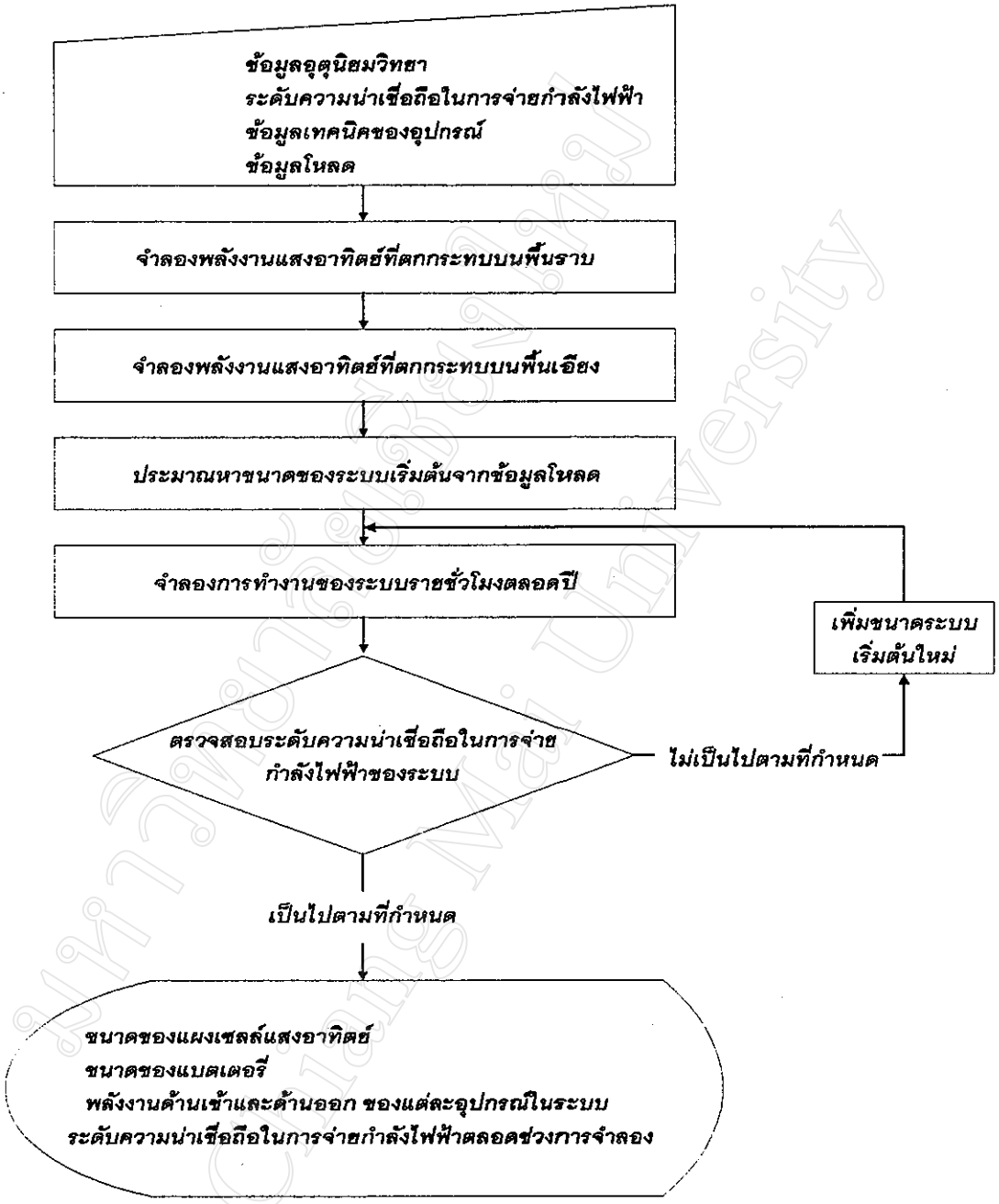
ข. การจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค. การจำลองการทำงานของชุดควบคุม

ง. การจำลองการทำงานของแบตเตอรี่

จ. การจำลองโหลด

4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมการวิเคราะห์ขนาดของระบบ



รูปที่ 4-2 แผนผังการวิเคราะห์ของโปรแกรม

4.4 โปรแกรมการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นราบ ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ความเข้มรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ มุมระหว่างรังสีอาทิตย์แบบโดยตรงกับพื้นราบและปริมาณความหนาแน่นของไอน้ำในชั้นบรรยากาศ[4] โปรแกรมจะคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมจากสมการที่ (2-5) และความเข้มรังสีอาทิตย์แบบโดยตรงจากสมการที่ (2-6) และความเข้มรังสีอาทิตย์แบบกระจายได้จากสมการที่ (2-14) การลดทอนความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆจะประมาณการจากค่าตัวประกอบความกระจ่าง $(\mathbf{k_d})$ จากสมการที่ (2-26) สามารถที่ประยุกต์หาค่าตัวประกอบความกระจ่างได้ โดยใช้ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยของอังสตรอมดังสมการที่ (4-1) ซึ่งค่าชั่วโมงความยาวนานแสงแดด $(\mathbf{s})$ ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลสถิติความยาวนานแสงแดดสูงสุดบริเวณที่ติดตั้งระบบ จำนวน 5 ปี ดังนั้นสามารถที่จะคำนวณหาค่าองค์ประกอบของรังสีอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\mathbf{k_d} = \mathbf{a_0} + \mathbf{b_0}\left(\frac{\mathbf{s}}{\mathbf{s_m}}\right) \tag{4-1}$$

$$\mathbf{s} = \sum_{n=1}^{5} \frac{\mathbf{s_n}}{\mathbf{n}} \tag{4-2}$$

ซึ่งค่าเฉลี่ยชั่วโมงความยาวนานแสงแดดสามารถที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงตลอดปี ต้องนำไปลบด้วย 0.4 ชั่วโมง ก่อนนำไปหาค่าเฉลี่ยตามสมการที่ (4-3) และ (4-4) เนื่องจากสภาพบรรยากาศในตอนเช้าบริเวณผิวโลกจะมีปริมาณไอน้ำเป็นจำนวนมากทำให้ค่าที่คำนวณได้อาจคลาดเคลื่อน

$$\mathbf{s_i} = \frac{2}{15}\cos^{-1}\left(-\tan\mathbf{L}\tan\delta\right) \tag{4-3}$$

$$\mathbf{i} = 1, 2, 3, \ldots$$

และ

$$\mathbf{s_m} = \sum_{i=1}^{m} \frac{\mathbf{s_i}}{\mathbf{m}} \tag{4-4}$$

$$\mathbf{m} = 1, 2, 3, \ldots$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $\mathbf{a_0}, \mathbf{b_0}$ จะแปรเปลี่ยนตามละติจูดของสถานที่ติดตั้งระบบกรณีนี้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ $\mathbf{a_0}, \mathbf{b_0}$ ตามตารางในภาคผนวก ก. จะเป็นค่าของ

จังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร กรณีที่ละติจูดสถานที่ติดตั้งระบบมากกว่าหรือเท่ากับจังหวัดเชียงใหม่ (18 °N) จะใช้ค่าตามตารางที่ ก-3 ในภาคผนวก ก. และกรณีที่ละติจูดสถานที่ติดตั้งระบบต่ำกว่าหรือเท่ากับละติจูดที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร (13°N) ใช้ค่าตามตารางที่ ก-4 และละติจูดในช่วงระหว่างจังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ได้โดยวิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ได้ตามสมการที่ (4-5) และ (4-6)

$$a_{0(new)} = a_{0(bk)} - \left(\frac{a_{0(bk)} - a_{0(cm)}}{L_{(bk)} - L_{(cm)}}\right)\left(L_{(bk)} - L_{(new)}\right) \qquad (4\text{-}5)$$

$$b_{0(new)} = b_{0(bk)} - \left(\frac{b_{0(bk)} - b_{0(cm)}}{L_{(bk)} - L_{(cm)}}\right)\left(L_{(bk)} - L_{(new)}\right) \qquad (4\text{-}6)$$

โดยที่ $a_{0(new)}, b_{0(new)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตามละติจูดที่ต้องการ

$a_{0(cm)}, a_{0(bk)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ในตารางที่ ก-3 และ ก-4

$b_{0(cm)}, b_{0(bk)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ b_0 ในตารางที่ ก-3 และ ก-4

$L_{(cm)}, L_{(bk)}$ คือ ละติจูดที่ตั้งของจังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพ

เมื่อโปรแกรมคำนวณหาค่าตัวประกอบความกระจ่างได้ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าองค์ประกอบของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นราบในแต่ละวันได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ในสมการที่ (4-7) และ (4-8) [5] และนำไปแทนค่าหาองค์ประกอบของรังสีอาทิตย์ในสภาพที่ท้องฟ้ามีเมฆในบทที่ 2 ได้จากสมการที่ (2-21) และ (2-22)

$$r_d = \frac{D_D}{G_D} \qquad (4\text{-}7)$$

$$r_d = 1 - \left(0.733 k_d^2 + 0.267 k_d^4\right)\left(1 - \frac{D_c}{G_c}\right) \qquad (4\text{-}8)$$

เมื่อ r_d คือ อัตราส่วนรังสีอาทิตย์แบบกระจายกับรังสีอาทิตย์รวม

D_D คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์แบบกระจายที่ตกกระทบบนพื้นราบในสภาพท้องฟ้ามีเมฆ

I_D คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์แบบโดยตรงที่ตกกระทบบนพื้นราบในสภาพท้องฟ้ามีเมฆ

G_D คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนพื้นราบในสภาพที่ท้องฟ้ามีเมฆ

a_0 , b_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (ภาคผนวก ก. ตารางที่ 3ก. และ 4ก.)

s คือ ชั่วโมงความยาวนานแสงแดด

s_m คือ ค่าเฉลี่ยชั่วโมงความยาวนานแสงแดด

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โปรแกรมจะนำค่าองค์ประกอบของรังสีอาทิตย์จากขั้นตอนที่ 1 มาคำนวณหารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นเอียง ภายใต้สมมุติฐานที่กำหนดให้เมฆมีการกระจายทั่วไป [6] ตามสมการที่ (2-23) ในบทที่ 2 และพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์คำนวณได้จากสมการที่ (2-25)

4.5 โปรแกรมการจำลองการทำงานของระบบโฟโตโวลตาอิก

โปรแกรมจะทำการจำลองการทำงานของระบบแบบรายชั่วโมงตลอดปีเพื่อวิเคราะห์หาพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้และปริมาณพลังงานที่ระบบสามารถสะสมได้ โดยขนาดเริ่มต้นของระบบจะประมาณค่าจากปริมาณโหลด ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 4-3 ซึ่งขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\mathbf{PV-Module\ \ size} = \frac{\left(\dfrac{\sum_{i=1}^{366} W_{L_{daily_i}}}{366}\right)}{\left(\dfrac{\sum_{i=1}^{366} W_{m_{daily_i}}}{366}\right)} (V_{ref}\ I_{ref}) \qquad (4\text{-}9)$$

และขนาดของแบตเตอรี่เริ่มต้นจะประมาณได้จากปริมาณโหลดในช่วงเวลากลางคืน โดยกำหนดขนาดแบตเตอรี่ (C_{10}) เริ่มต้นให้กับโปรแกรมก่อน และโปรแกรมจะประมาณหาขนาดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับโหลด ดังนี้คือ

$$N_B = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^{366} W_{L_{night_i}}}{366} \right)}{C_{10}\ 12} \qquad (4\text{-}10)$$

$$\textbf{Battery size} = N_B C_{10} \qquad (4\text{-}11)$$

เมื่อ $W_{L_{daily}}$ คือ ปริมาณโหลดในแต่ละวัน

$W_{L_{night}}$ คือ ปริมาณโหลดในช่วงเวลากลางคืน (18.00 – 06.00 น.)

$W_{m_{daily}}$ คือ ปริมาณพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ในแต่ละวัน

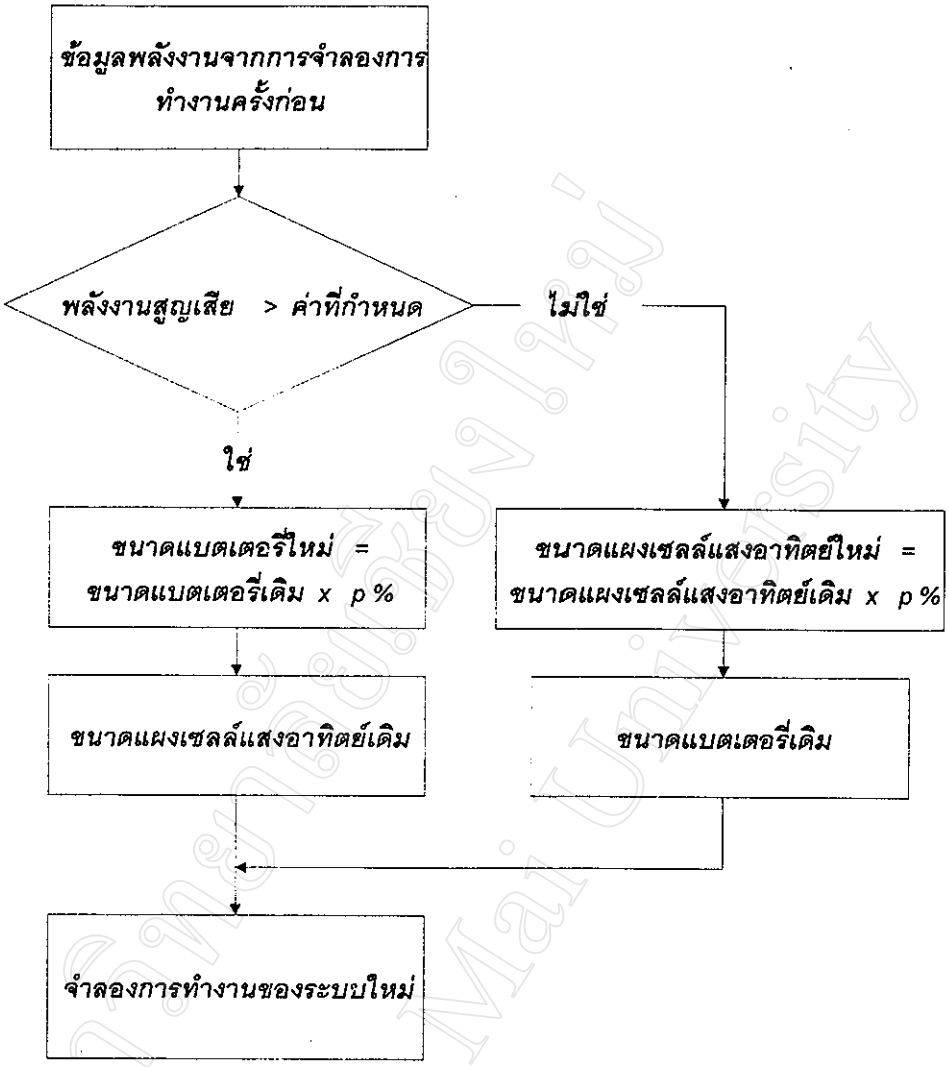
C_{10} คือ ความจุของแบตเตอรี่ที่ 10 ชั่วโมง

N_B คือ จำนวนแบตเตอรี่

V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I_{ref} คือ กระแสอ้างอิงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขนาดของระบบเริ่มต้นจะนำไปจำลองการทำงาน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้และปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถสะสมได้ ค่าพลังงานนี้จะถูกนำไปสร้างเป็นเงื่อนไขและใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นวิเคราะห์หาขนาดของระบบที่เหมาะสมกับโหลดและระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่กำหนด ขนาดของระบบที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้จะนำไปจำลองการทำงานรายชั่วโมงตลอดปี เพื่อคำนวณหาระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบว่าเป็นไปตามค่าที่ต้องการหรือไม่ หากระดับความน่าเชื่อถือที่คำนวณได้ไม่เป็นไปตามที่กำหนดโปรแกรมจะกำหนดขนาดเริ่มต้นใหม่ โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองการทำงานของระบบที่ผ่านมาเป็นฐานในการปรับขนาดระบบ ซึ่งจะทำการตรวจสอบค่าพลังงานสูญเสียในระบบก่อน หากพลังงานสูญเสียมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ก็จะไปเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ ในทางกลับกันหากไม่มีพลังงานสูญเสีย ก็จะไปเพิ่มขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดที่เพิ่มจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ให้กับโปรแกรม หลังจากนั้นนำขนาดระบบที่ได้ไปจำลองการทำงานตามขั้นตอนแรก และกระทำเป็นวงรอบจนกว่าระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบจะได้ตามค่าที่ต้องการ



p คือ เปอร์เซ็นต์ที่กำหนด

รูปที่ 4-3 แผนผังการปรับขนาดของระบบ

การจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบประกอบไปด้วย ดังนี้

ก. การจำลองอุณหภูมิแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลสถิติอุณหภูมิบริเวณสถานที่ติดตั้งระบบจำนวน 5 ปี นำมาวิเคราะห์ตามหัวข้อ 2.10 ในบทที่ 2 สำหรับใช้ร่วมในการจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่

ข. การจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการวิเคราะห์หาพลังงานที่ผลิตได้ตามขั้นตอนในสมการที่ (2-38) ถึง (2-44)

ค. การจำลองการทำงานของชุดควบคุม ในโปรแกรมกำหนดเป็นประสิทธิภาพของชุดควบคุม ($\eta_{control}$) ดังนั้นพลังงานด้านออกจะหาได้จากสมการที่ (4-12)

$$W_{output} = W_{input} \frac{\eta_{control}}{100} \quad (4\text{-}12)$$

ง. การจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ จะใช้ข้อมูลทางเทคนิคของแบตเตอรี่ในการจำลองสภาวะการประจุและคายประจุตามสมการที่ (2-47) ถึง (2-57) ในบทที่ 2

จ. การจำลองโหลด การจำลองรูปแบบโหลดที่ป้อนให้กับโปรแกรมเป็นการกำหนดปริมาณโหลดรายชั่วโมงตลอดปีมีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมง โดยทำการจำลองลักษณะของโหลดตามหัวข้อ 2.9 ในบทที่ 2 การป้อนโหลดให้กับโปรแกรมจะอ่านข้อมูลโหลด ที่เป็นไฟล์ข้อมูล(Text File) ขนาดมิติของข้อมูลโหลดต้องมีอย่างน้อยที่สุด 7 วัน (7 แถว , 24 หลัก) และมากที่สุด 28 วัน และโปรแกรมจะจัดโหลดให้มีลักษณะซ้ำกันไปตลอดปี ซึ่งสามารถแสดงเป็นมิติของไฟล์ข้อมูลโหลดตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 รูปแบบไฟล์ข้อมูลโหลด

วันที่ / เวลา	*0.00*	*01.00*	*02.00*	. . .	*23.00*	*24.00*
1	$W_{L_1\,1}$	$W_{L_1\,2}$	$W_{L_1\,3}$	. . .	$W_{L_1\,23}$	$W_{L_1\,24}$
2	$W_{L_2\,1}$	$W_{L_2\,2}$	$W_{L_2\,3}$	. . .	$W_{L_2\,23}$	$W_{L_2\,24}$
3	$W_{L_3\,1}$	$W_{L_3\,2}$	$W_{L_3\,3}$	. . .	$W_{L_3\,23}$	$W_{L_3\,24}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	$W_{L_{28}\,1}$	$W_{L_{28}\,2}$	$W_{L_{28}\,3}$	. . .	$W_{L_{28}\,23}$	$W_{L_{28}\,24}$

เมื่อ W_L คือ ข้อมูลปริมาณความต้องการพลังงานของโหลด

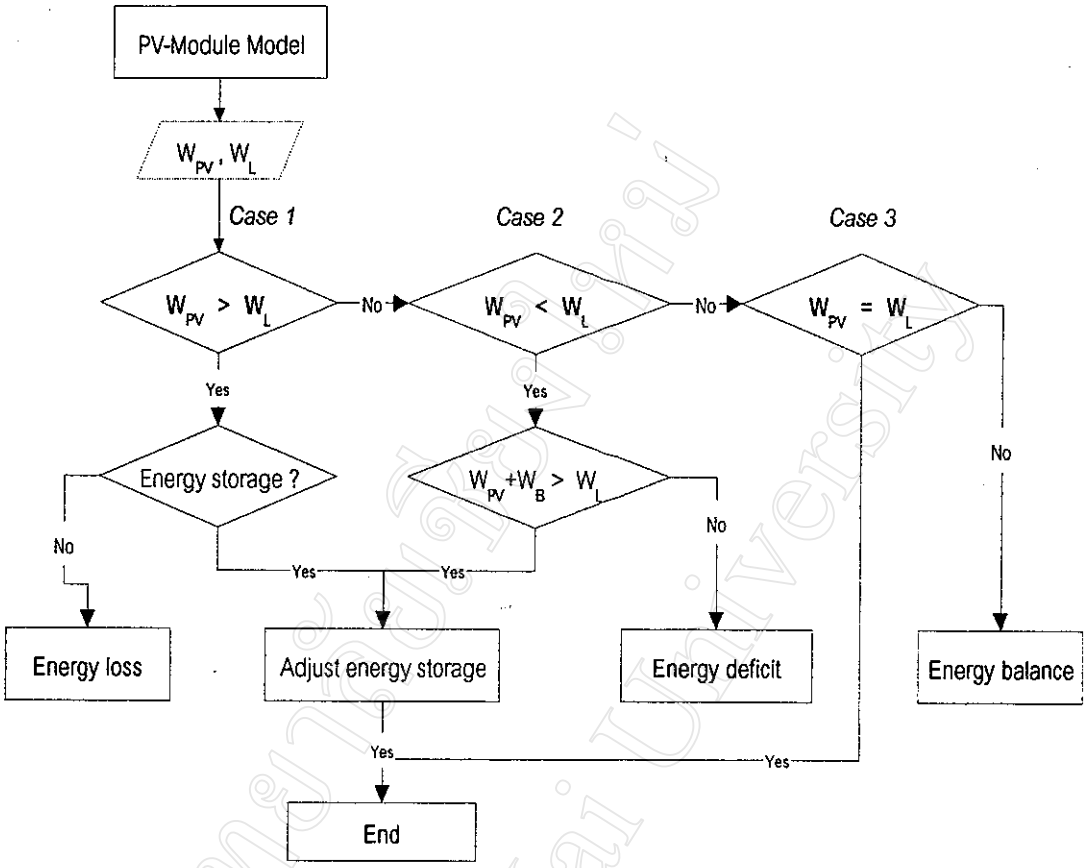
4.6 การวิเคราะห์ขนาดของระบบ

การจำลองการทำงานของระบบตลอดทั้งปีจะแบ่งออกเป็น 8 ช่วง ตามระยะเวลาในตารางที่ 4-2 ซึ่งแต่ละช่วงจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบพลังงานที่ระบบผลิตได้กับปริมาณความต้องการพลังงานของโหลดเป็นรายชั่วโมง โดยมีแผนผังการวิเคราะห์พลังงานของโปรแกรมตามในรูปที่ 4-4

ตารางที่ 4-2 ช่วงระยะเวลาการวิเคราะห์ของโปรแกรม

ช่วงที่	ระยะเวลา
1	14 ม.ค. - 26 ก.พ.
2	27 ก.พ. - 12 เม.ย.
3	13 เม.ย - 28 พ.ค.
4	29 พ.ค. - 15 ก.ค.
5	16 ก.ค. - 31 ส.ค.
6	1 ก.ย. - 15 ต.ค.
7	16 ต.ค. - 29 พ.ย.
8	30 พ.ย. - 13 ม.ค.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 4-4 แผนผังการวิเคราะห์ของโปรแกรม

การวิเคราะห์พลังงานในระบบในรูปที่ 4-4 แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มากกว่าปริมาณความต้องการพลังงานของโหลด กรณีนี้พลังงานในส่วนที่เหลือจะประจุให้กับแบตเตอรี่และพลังงานส่วนที่ไม่สามารถสะสมได้เป็นพลังงานสูญเสีย (Energy Loss)

กรณีที่ 2 พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้น้อยกว่าปริมาณความต้องการพลังงานของโหลด โปรแกรมจะทำการตรวจสอบปริมาณพลังงานที่สะสมไว้ในแบตเตอรี่ เพียงพอต่อความต้องการของโหลดหรือไม่และพลังงานส่วนที่ไม่สามารถจ่ายให้กับโหลดได้ เป็นพลังงานส่วนขาด (Energy Deficit)

กรณีที่ 3 พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เท่ากับปริมาณความต้องการพลังงานของโหลด ก็คือ สภาวะพลังงานในระบบสมดุลย (Energy Balance)

การจำลองการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่องสามารถที่จะหาพลังงานในส่วนต่าง ๆ ของระบบได้ ซึ่งพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้และพลังงานที่ประจุให้กับแบตเตอรี่จะถูกนำมาสร้างเป็นเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์หาขนาดของระบบที่เหมาะสมกับโหลดและมีระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการโดยวิธีแก้ปัญหาตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น ในโปรแกรม Matlab มีคำสั่งที่สนับสนุนการวิเคราะห์ปัญหาตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีอัลกอริธึมตามสมการที่ (4-13) และรูปแบบคำสั่งตามสมการที่ (4-14)

$$\min_{\mathbf{x}} \ \mathbf{f}^{\mathbf{T}}\mathbf{x} \qquad \mathbf{A}\,\mathbf{x} \ \leq \ \mathbf{b}$$
$$\mathbf{Aeq}\,\mathbf{x} \ = \ \mathbf{beq} \qquad (4\text{-}13)$$
$$\mathbf{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{ub}$$

$$\mathbf{x} \ = \ \mathbf{linprog}\left(\mathbf{f}\ ,\ \mathbf{A}\ ,\ \mathbf{b}\ ,\ \mathbf{Aeq}\ ,\ \mathbf{beq}\ ,\ \mathbf{lb}\ ,\ \mathbf{ub}\right) \qquad (4\text{-}14)$$

โดยที่ **f** คือ สมการเป้าหมาย (Object Function) เป็นเวคเตอร์
A คือ เงื่อนไขในรูปอสมการ (Inequality Constraint) เป็นเมตริกซ์
Aeq คือ เงื่อนไขในรูปสมการ (Equality Constraint) เป็นเมตริกซ์
b , beq คือ ค่าที่เป็นเวคเตอร์
lb , ub คือ ขอบเขตล่างและขอบเขตบน

จากการจำลองการทำงานตลอดปีแบ่งออกเป็น 8 ช่วง ดังนั้นโปรแกรมจะสร้างสมการเป้าหมายและเงื่อนไขทำการวิเคราะห์หาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดของแบตเตอรี่ โดยแทนค่าในสมการที่ (4-15) จากพลังงานที่จำลองได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\mathbf{f} \ = \ \begin{bmatrix} (\mathbf{V_{ref}}\ \mathbf{I_{ref}}\ \mathbf{N_{PV}}) \\ (\mathbf{C_{10}}\ \mathbf{N_B}\ (12)) \end{bmatrix} \qquad (4\text{-}15)$$

$$\mathbf{Ax} = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^{m1}\left(W_{PV} - W_{b_{ch}}\right)_n & \sum_{n=1}^{m1}\left(W_{b_{ch}}\right)_n \\ \sum_{n=1}^{m2}\left(W_{PV} - W_{b_{ch}}\right)_n & \sum_{n=1}^{m2}\left(W_{b_{ch}}\right)_n \\ \vdots & \vdots \\ \sum_{n=1}^{m8}\left(W_{PV} - W_{b_{ch}}\right)_n & \sum_{n=1}^{m8}\left(W_{b_{ch}}\right)_n \end{bmatrix} \quad (4\text{-}16)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} \left(\sum_{n=1}^{m1} W_{L_n}\right)(1 - LOLP) \\ \left(\sum_{n=1}^{m2} W_{L_n}\right)(1 - LOLP) \\ \vdots \\ \left(\sum_{n=1}^{m8} W_{L_n}\right)(1 - LOLP) \end{bmatrix} \quad (4\text{-}17)$$

$$\mathbf{Aeq} = \mathbf{beq} = [\,] \quad (4\text{-}18)$$

$$\mathbf{lb} = (\mathbf{i}) \;\; ; \mathbf{i} = 0, 0.1, 0.2, \ldots \quad (4\text{-}19)$$

$$\mathbf{ub} = (\mathbf{j}) \;\; ; \mathbf{j} = 0.5, 1, 1.5, \ldots \quad (4\text{-}20)$$

เมื่อ N_{PV} คือ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

N_B คือ จำนวนแบตเตอรี่

$W_{B_{ch}}$ คือ พลังงานที่ประจุให้กับแบตเตอรี่

LOLP คือ ความน่าจะเป็นในการสูญเสียโหลด

ขั้นตอนต่อไป ขนาดของระบบที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้จะถูกป้อนกับเข้าโปรแกรมการจำลองการทำงานของระบบอีกครั้ง(ตามแผนผังในรูปที่ 4-2) เพื่อทดสอบหาระดับความน่าเชื่อถือ

ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการหรือไม่และจะกระทำซ้ำจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ซึ่งระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบวัดได้จากความน่าจะเป็นในการสูญเสียแหล่งจ่าย (Loss of Power Supply Probability, LOLP) หรือ ความน่าจะเป็นในการสูญเสียโหลด (Loss of Load Probability ,LOLP) คำนวณได้จากสมการที่ (4-21)

$$\mathbf{LOLP} = \frac{\sum(\mathbf{Energy\ \ Deficit})}{\sum(\mathbf{Energy\ \ Load})} \qquad (4\text{-}21)$$

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University