# บทที่ 5

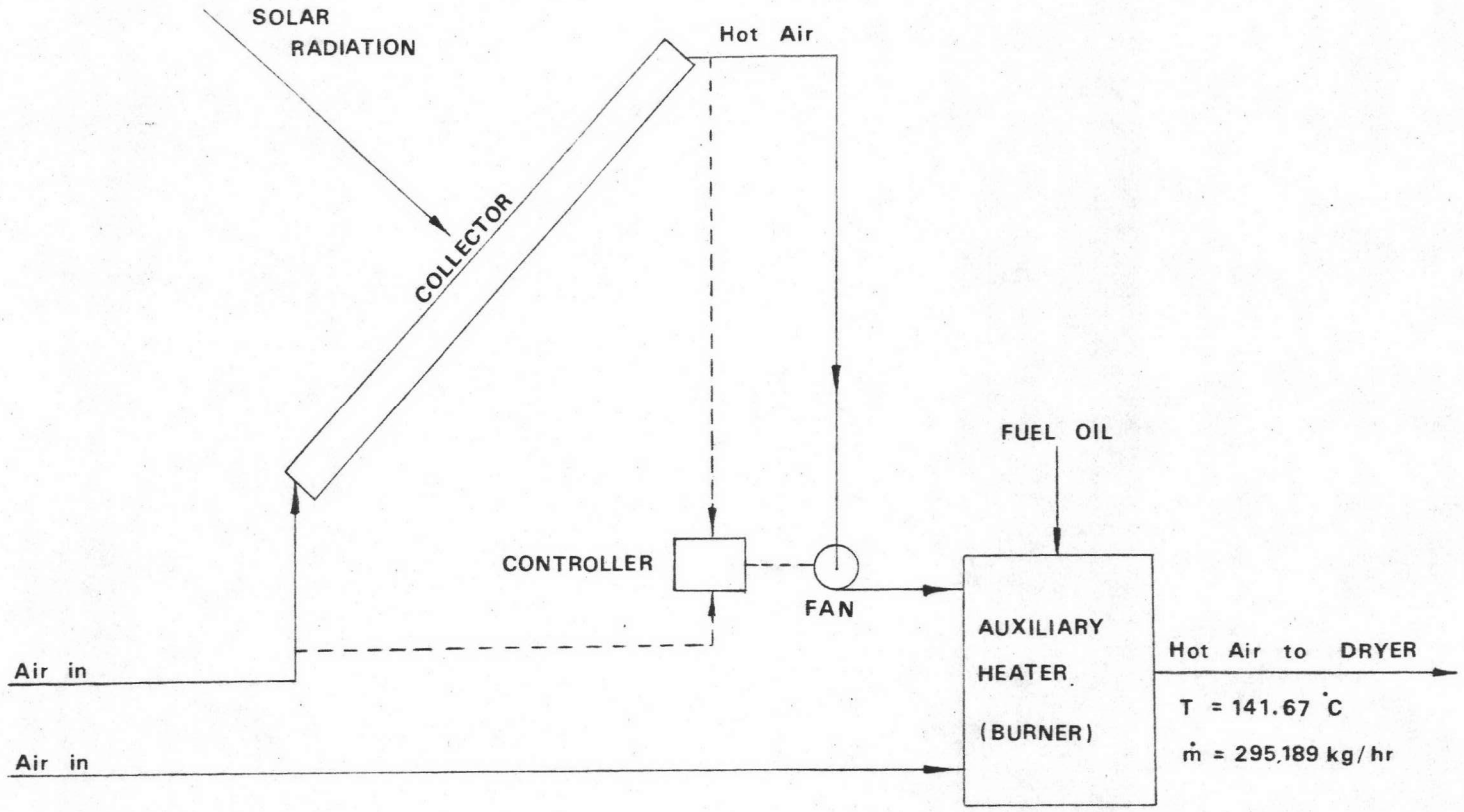
## การจำลองแบบระบบผลิตอากาศร้อนโดยคอมพิวเตอร์

การจำลองแบบระบบผลิตอากาศร้อนในที่นี้เป็นการจำลองระบบที่แสดงพฤติกรรมหรือความเปลี่ยนแปลงทางพลังงานเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์และสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ระบบจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญในการให้พลังงานความร้อน 2 ส่วน คือ พลังงานความร้อนที่ได้มาจากแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) แบบที่อากาศเป็นของไหลทำงาน (Working Fluid) เพื่ออุ่นอากาศที่จะใช้ในการอบบางส่วนและพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะใช้เป็นพลังงานหลักในการให้ความร้อนแก่อากาศจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอบ

ในการจำลองแบบระบบทางพลังงานนี้จะกระทำได้โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป A Transient Simulation Program หรือมีชื่อย่อว่า TRNSYS[11] มาทำการจำลองแบบระบบทางพลังงานและทำการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งในส่วนของโปรแกรมสำเร็จรูปนี้จะมีการดัดแปลงแก้ไขโปรแกรมย่อยชนิดซับรูทีน (Subroutine) ของส่วนประกอบของระบบที่ทำการจำลองแผงรับแสงอาทิตย์ให้มีลักษณะเป็นแบบที่ใช้อากาศเป็นของไหลทำงานดังที่กล่าวถึงในบทที่ 4 และในส่วนรายละเอียดในการจำลองแบบนี้จะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไปของบทนี้

### รูปแบบจำลองของระบบผลิตอากาศร้อน

ระบบจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน ในการจำลองลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางพลังงาน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ได้แก่ แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collectors) พัดลมดูดอากาศร้อนจากแผงรับ เครื่องมือควบคุมการทำงานของพัดลม (Fan Controller) และเตาเผาไหม้ (Burner) ซึ่งในรูปแบบจำลองจะกำหนดให้เสมือนหนึ่งเป็นเครื่องให้พลังงานความร้อนเสริม (Auxiliary Heater) เพราะสามารถควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ในการอบ รูปแบบจำลองของระบบทั้งหมดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1




รูปที่ 5.1 รูปแบบจำลองของระบบผลิตอากาศร้อน

ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงหรือที่มีอยู่ในรูปที่ 5.1 นั้น จะมีหน้าที่การทำงานต่าง ๆ กัน ดังต่อไปนี้

| ส่วนประกอบ | หน้าที่การทำงาน |
|---|---|
| แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) | รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และถ่ายความร้อนให้กับของไหลทำงาน (อากาศ) ที่ไหลผ่านแผ่นดูด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ |
| พัดลมดูดอากาศ (Fan) | ดูดอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ โดยผ่านท่อส่งอากาศเข้าสู่อาคารเผาไหม้ |
| เครื่องควบคุมพัดลม (Fan Controller) | ควบคุมการทำงานของพัดลมดูดอากาศร้อนโดยตรวจค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศร้อนกับอุณหภูมิของบรรยากาศ |
| เครื่องให้พลังงานความร้อนเสริม (Auxiliary Heater) | เป็นเตาเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนเพิ่มแก่ระบบจนมีอุณหภูมิของอากาศเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่จะใช้ในการอบ |

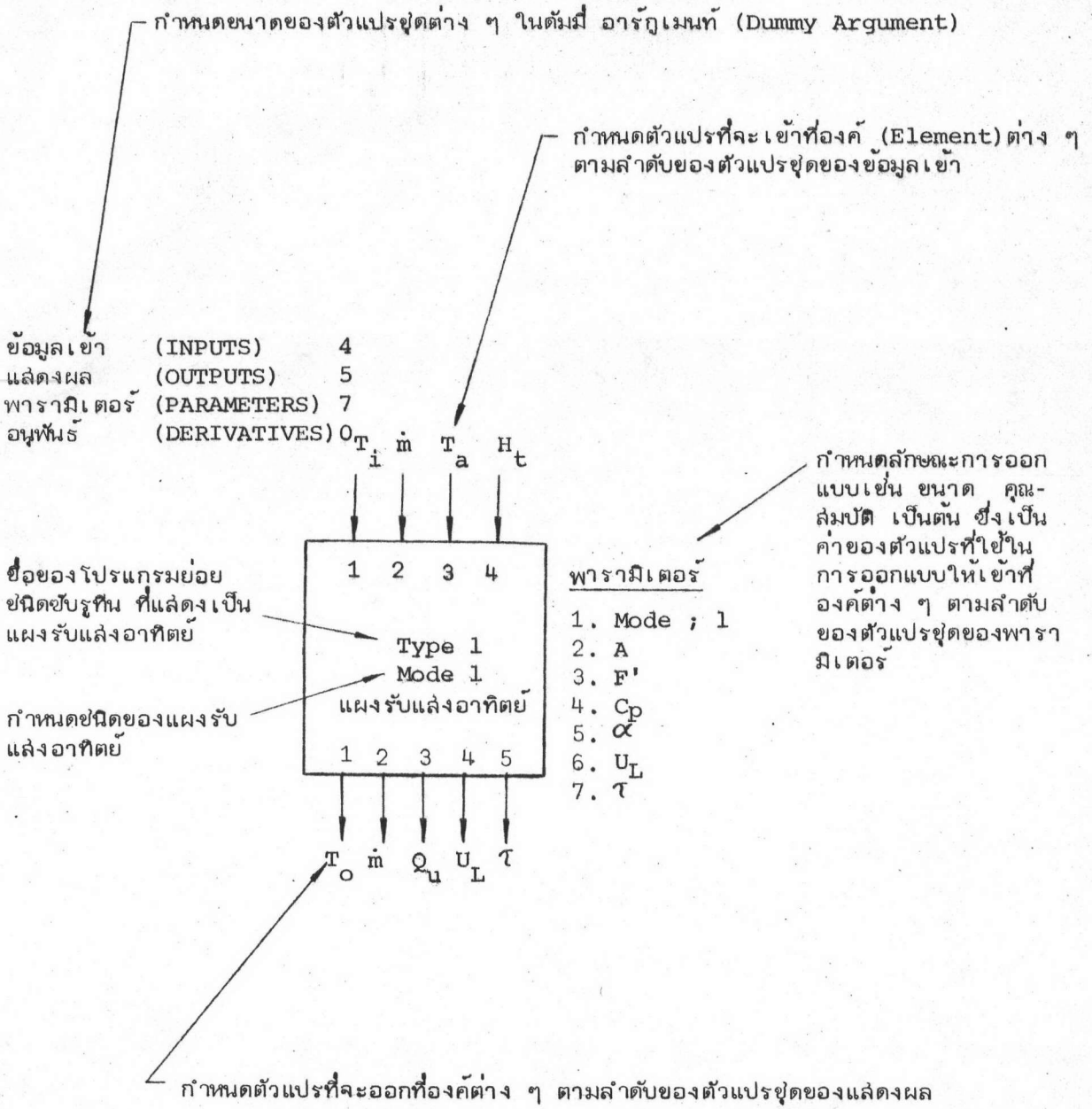
สำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ซึ่งจะนำมาใช้ในการจำลองระบบผลิตอากาศร้อนจะได้นำมากล่าวถึงในส่วนอื่นของบทนี้

ข้อกำหนดและหลักการทำงานของโปรแกรม TRNSYS

เทคนิคในการจำลองระบบของโปรแกรม TRNSYS ก็คือการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์โดยการเขียนสมการของพลังงานสำหรับแต่ละส่วนประกอบ (Components) ของระบบ แล้วนำส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านั้นมาต่อเข้าด้วยกัน ซึ่งจะเป็นการจำลองการทำงานของระบบนั่นเอง

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบนั้นจะถูกจำลองแบบทางคณิตศาสตร์โดยเขียนเป็นโปรแกรมย่อยชนิด ซับรูทีน (Subroutine) สำหรับส่วนประกอบนั้น ๆ แยกเป็นส่วน ๆ เช่น แผงรับแสงอาทิตย์จะมีโปรแกรมย่อยชนิดซับรูทีนชื่อ Type 1 เป็นตัวแทนลักษณะการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์

เป็นต้น ในการนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาต่อเข้าด้วยกันนี้จึงทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องสร้างโครงร่างการส่งผ่านข้อมูล (Information Flow Diagram) ของระบบซึ่งเป็นการส่งข้อมูลเข้าและออกระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ที่นำมาต่อเข้าด้วยกันเป็นระบบ ด้วยเหตุนี้ส่วนประกอบแต่ละส่วนจะแสดงการส่งผ่านข้อมูลที่จำเป็นสำหรับส่วนประกอบนั้น ๆ โดยเฉพาะ และในการแสดงส่วนประกอบหนึ่ง ๆ นั้นจะแสดงเป็นรูปกล่อง (Block) แทน โดยปกติในการศึกษาถึงผลที่จะเกิดขึ้นจากการออกแบบส่วนประกอบหนึ่ง ๆ ให้เป็นไปตามความต้องการนั้นจะทำให้ต้องมีการกำหนดค่าต่าง ๆ เป็นค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบส่วนประกอบนั้น ๆ โดยเฉพาะ เช่น ส่วนประกอบที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ จะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่พอจะยกเป็นตัวอย่างคือ ค่าที่กำหนดชนิดของแผงรับแสงอาทิตย์ กำหนดขนาดของพื้นที่รับแสงอาทิตย์ และกำหนดค่าการดูดของแผ่นดูด เป็นต้น ดังนั้นการเขียนโครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับส่วนประกอบที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์จะนำมาแสดงเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 5.2 ส่วนการกำหนดจำนวนของอนุพันธ์นั้นขึ้นอยู่กับการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบนั้นว่ามีตัวแปรที่เป็นฟังค์ชั่นของเวลาเป็นจำนวนเท่าใด เช่น สมมุติว่ามี 1 ตัว จำนวนของอนุพันธ์ก็กำหนดเป็น 1 เป็นต้น




รูปที่ 5.2 โครงร่างการส่งผ่านข้อมูลและการกำหนดพารามิเตอร์ของส่วนประกอบที่แสดงเป็นแผงรับแสงอาทิตย์

ใน TRNSYS กำหนดโปรแกรมย่อยชนิดซับรูทีนที่มีชื่อต่าง ๆ ที่แสดงเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญและส่วนมากจะนำมาใช้อยู่เป็นประจำซึ่งจะยกมาเป็นตัวอย่างดังนี้

ชื่อ Type 1 แสดงเป็น แผงรับแสงอาทิตย์

ชื่อ Type 2 แสดงเป็น ตัวควบคุมการทำงานของปั๊มหรือพัดลม

ชื่อ Type 3 แสดงเป็น ปั๊มหรือพัดลม

ชื่อ Type 4 แสดงเป็น ถังเก็บความร้อน

ชื่อ Type 5 แสดงเป็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

ชื่อ Type 6 แสดงเป็น เครื่องให้พลังงานความร้อนเสริม (Auxiliary Heater)

ชื่อ Type 9 แสดงเป็น เครื่องอ่านบัตรข้อมูล (ในการทดลองจริง ๆ อาจจะเป็นเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดคือไพราโนมิเตอร์ หรือเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีตรงคือไพร์เฮลิโอมิเตอร์ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เป็นต้น)

ชื่อ Type 16 แสดงเป็นเครื่องมือแปลงค่าของข้อมูลพลังงานที่วัดในแนวระดับเป็นข้อมูลพลังงานในแนวเอียงตามลักษณะตำแหน่งการจัดวางของแผงรับ

ชื่อ Type 15 แสดงเป็นหน่วยคำนวณทางฟิสิคณิต (ในการทดลองจริง ๆ จะไม่มีหน่วยนี้)

ในการจำลองระบบใด ๆ จะต้องเรียกชื่อส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบเป็นหมายเลขของหน่วยนั้น ๆ เพราะในบางระบบอาจมีส่วนประกอบที่ทำงานเหมือนกันมากกว่า 1 หน่วยก็ได้ โดยสามารถเรียกได้ตั้งแต่ UNIT 1 ถึง UNIT 50 ซึ่งโปรแกรมจะจัดที่สำรองของหน่วยไว้เพียง 50 หน่วยเท่านั้น และการตั้งชื่อหน่วยที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ จะต้องไม่ซ้ำกันเลย

โดยความเป็นจริงแล้วการส่งผ่านข้อมูลเข้าส่วนประกอบหนึ่ง ๆ นั้นจะแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การส่งผ่านข้อมูลเข้าซึ่งเกิดจากตัวแปรของส่วนแสดงผล (OUTPUT VARIABLES) จากส่วนประกอบส่วนอื่น ๆ ในระบบถูกกำหนดเป็นตัวแปรของข้อมูลเข้า (INPUT VARIABLES)

2. การส่งผ่านข้อมูลที่มีค่าคงที่เสมอตลอดการจำลอง (Simulation) สำหรับส่วนประกอบก็คือค่าของพารามิเตอร์สำหรับส่วนประกอบนั้น ๆ (ในรูปที่ 5.2 ที่เป็นตัวอย่างนั้น ค่าของพารา-

มิเตอร์จะถูกเขียนกำกับไว้ด้านข้างเท่านั้น)

3. การส่งผ่านข้อมูลของเวลาที่เป็นตัวแปร (VARIABLE TIME) ซึ่งในการเขียนโครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับส่วนประกอบหนึ่ง ๆ นั้น เวลาที่เป็นตัวแปรจะไม่ถูกเขียนไว้ดังรูปที่ 5.2

ส่วนการเขียนโครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับระบบนั้นจะไม่เขียนค่าของพารามิเตอร์และเวลาที่เป็นตัวแปรเข้าไว้ดังที่จะแสดงไว้ในโครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับระบบผลิตอากาศร้อนที่จะกล่าวถึงในส่วนอื่นต่อไป

ตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นถึงการส่งผ่านข้อมูลเข้าของเวลาที่เป็นตัวแปรเช่น ตัวรวมค่าของผลลัพธ์ต่าง ๆ ในช่วงของเวลา (Quantity Integrator) ซึ่งจะมีสมการอธิบายการทำงานดังนี้

$$Q_B = \int_{}^{TIME} \dot{Q}_B dt \qquad (5.1)$$

ในเมื่อ TIME และ $\dot{Q}_B$ ซึ่งเป็นอัตราของปริมาณใด ๆ ต่อหน่วยเวลาเป็นข้อมูลเข้าส่วนประกอบที่เป็นตัวรวมค่าของผลลัพธ์ในช่วงของเวลา

โครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับระบบใด ๆ ระบบหนึ่งนั้นจะเป็นลักษณะการส่งผ่านข้อมูลแบบไม่วนกลับ หรือแบบวนกลับ (acyclic or reayclic flow of information) การส่งผ่านข้อมูลแบบวนกลับจะเกิดขึ้นเมื่อใดก็ตามที่มีเส้นทางหนึ่ง (a path) ของข้อมูลที่ออกจากแสดงผล (output) ของส่วนประกอบอันหนึ่งไปยังส่วนประกอบอีกอันหนึ่งหรืออีกหลายอัน แล้วกลับมายังส่วนประกอบอันเดิม

ในการทำงานของโปรแกรม TRNSYS นั้น เมื่อใดก็ตามที่มีการส่งผ่านข้อมูลแบบวนกลับ นิวเมอริคัลเทคนิค (Numerical Technique) จะถูกนำมาใช้ในการหาค่าของตัวแปรของส่วนแสดงผลที่จะทำให้สมการทั้งหมดของส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเป็นจริง โดยวิธีการทำซ้ำ ๆ กันในการแทนค่าอย่างต่อเนื่อง (Successive Substitution Iterating) จนกระทั่งตัวแปรของส่วนแสดงผลทั้งหมดในบ่วงที่วนกลับ (Recyclic Loop) มีค่าบรรจบภายในค่าความผิดพลาดสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ (Relative Error Tolerance) $\varepsilon_R$ ซึ่งกำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม ดังที่จะแสดงอสมการของการพิจารณาการบรรจบค่าดังกล่าวนี้

$$\frac{2\,(OUT^{(1)} - OUT^{(0)})}{OUT^{(1)} + OUT^{(0)}} < \varepsilon_R \qquad (5.2)$$

เมื่อ $OUT^{(1)}$ คือค่าในขณะนี้ของส่วนแสดงผลทั้งหมดของส่วนประกอบ (เมื่ออสมการ 5.2 เป็นจริง ค่า $OUT^{(1)}$ จะเป็นค่าสำหรับเวลานั้นแล้ว โปรแกรมจะเพิ่มเวลา (to increment time) และเริ่มคำนวณค่าที่เวลาใหม่)

$OUT^{(0)}$ คือค่าก่อนหน้านี้ของส่วนแสดงผลทั้งหมดของส่วนประกอบ

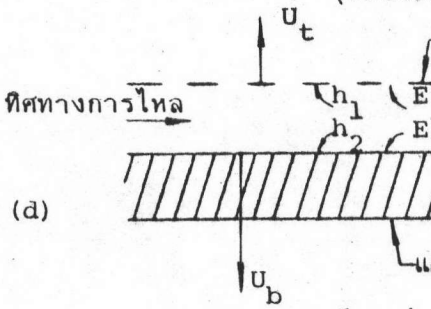
วิธีการทำซ้ำ ๆ กันในการแทนค่าอย่างต่อเนื่องนี้ จะกระทำที่เวลาที่มีค่าคงที่เวลาหนึ่ง ถ้าอสมการที่ 5.2 ไม่สามารถเป็นจริงได้ และเมื่อการทำซ้ำ ๆ กันนี้เกิดขึ้นเป็นจำนวนเท่ากับที่ได้กำหนดไว้ในบัตรควบคุมการจำลองแล้วอสมการที่ 5.2 ก็ยังไม่สามารถเป็นจริงได้ โปรแกรม TRNSYS จะพิมพ์ข้อความเตือนผู้ใช้โปรแกรมว่ามีค่าไม่บรรจบของตัวแปรของส่วนแสดงผลการพิจารณาการบรรจบค่าของตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเวลา (time dependent variables) นั้นจะไม่นำมาเสนอ เพราะส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบผลิตอากาศร้อนที่พิจารณานี้ไม่มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งวิธีนิวเมอริคัล อินทีเกรชั่น อัลกอริทึม (The Numerical Integration Algorthm) จะถูกนำมาใช้ในกรณีดังกล่าวนี้ อันจะสามารถศึกษาค้นคว้าได้ในเอกสารอ้างอิงที่ (10) และ (11)

## การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของแผงรับแสงอาทิตย์ 3 แบบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นที่มีลักษณะเป็นแบบแผ่นและท่อ (Plate and Tubes) ได้รับการพัฒนามาโดย Hottel, Bliss and Whillier[10] ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม TRNSYS สำหรับโปรแกรมย่อยซนิดซับรูทีน ที่เป็นส่วนประกอบของระบบในส่วนที่สำคัญ คือแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีลักษณะที่เหมาะสมกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบที่ของไหลทำงานเป็นน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องแก้ไขในส่วนของโปรแกรมย่อยซนิดซับรูทีน ให้สามารถที่จะทำการคำนวณผลสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบที่อากาศเป็นของไหลทำงาน โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 4 แล้ว

$$U_L = \frac{U_t+U_b}{1+\frac{(U_t+U_b)h_2}{h_1h_2+h_1h_r+h_rh_2}}$$

(สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านบน)



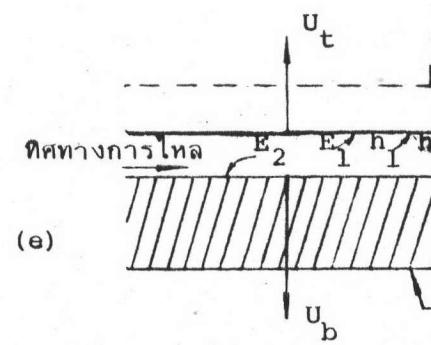

(สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านหลัง)

$$F' = \frac{1}{1+\frac{1}{\frac{h_rU_t}{h_rh_1+h_2U_t+h_2h_r+h_1h_2}}}$$

$$h_r = \frac{\sigma(T_1^2+T_2^2)(T_1+T_2)}{\frac{1}{E_1}+\frac{1}{E_2}-1}$$

($h_r$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน, $\sigma$ คือค่าคงที่ Stefen-Boltzmann Constant)

$$U_L = U_t + U_b$$




$$F' = \frac{1}{1+\frac{U_L}{h_1+\frac{1}{\frac{1}{h_2}+\frac{1}{h_r}}}}$$

$h_r$ = เหมือนชนิด (d)

รูปที่ 5.3 แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดอากาศเป็นของไหลทำงาน

นำไปเสริมในส่วนของโปรแกรมย่อยซับรูทีน สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ (ใน TRNSYS นั้นซับรูทีน Type 1 คือโปรแกรมย่อยสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์) ด้วยเหตุที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกรณีของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นและท่อสามารถนำไปใช้ได้กับการออกแบบรับแสงอาทิตย์ในลักษณะต่าง ๆ เพียงแต่ต้องมีการแก้ไขค่าของประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ (F') และค่าของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนแบบทั้งหมด ($U_L$) ให้ถูกต้องสำหรับรูปแบบของแผงรับแสงอาทิตย์นั้น ๆ

สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ แบบ Type D และ Type E นั้นมีสมการการคำนวณค่าทั้งสองดังรูปที่ 5.3 (10)

ในการแก้ไขโปรแกรมย่อยซับรูทีนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type D และ Type E นั้นจะกำหนดค่าต่าง ๆ ในสมการข้างบนลงในส่วนของโปรแกรมย่อยดังนี้

$T_1$ และ $T_2$ คืออุณหภูมิที่กระจกและแผ่นดูดตามลำดับ (สำหรับ Type D) และเป็นอุณหภูมิที่แผ่นดูดบนและล่างตามลำดับ (สำหรับ Type E) ให้มีค่าเท่ากันและเท่ากับอุณหภูมิของของไหล ($T_f$) ในแต่ละส่วนตามความยาวของแผงรับแสงอาทิตย์ เพราะมีค่าต่างกันน้อยจึงสมมุติให้เท่ากันเพื่อสะดวกต่อการคำนวณ

$E_1$ และ $E_2$ คือการสูญเสียความร้อนของกระจก (EG) และการสูญเสียความร้อนของแผ่นดูด (EP) ตามลำดับ (สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type D) และเป็นค่าการสูญเสียความร้อนของแผ่นดูด (EP) ทั้งสองค่า (สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type E)

$h_1$ และ $h_2$ คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับกระจกและกับแผ่นดูดตามลำดับ (สำหรับ Type D) และเป็นค่าระหว่างอากาศกับแผ่นดูดทั้งสองค่า (สำหรับ Type E) กำหนดให้ค่าทั้งสองเท่ากันทั้ง 2 กรณี เพราะเป็นค่าของฟังค์ชั่นที่ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของช่องอากาศและคุณสมบัติของอากาศ (10)

สำหรับแผงรับแล่งอาทิตย์แบบ Type E ไม่มีกระจก (Unglazed) นั้น สมการการคำนวณจะต้องหามาจากรูปลักษณะของแผงรับแล่งอาทิตย์และการจัดสร้างโครงข่ายความร้อน (Thermal network) ของรูปแบบนั้นจึงจะได้สมการสมดุลย์ทางพลังงานดังรูปที่ 5.4 แล่ดงรูปลักษณะของแผงรับแล่งอาทิตย์และโครงข่ายความร้อนของแผงรับแล่งอาทิตย์แบบ Type E ไม่มีกระจก

ที่จุดใดจุดหนึ่งบนแผ่นดูดพลังงานในแนวทิศทางการไหลของอากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานแล่งอาทิตย์ที่ถูกดูดนั้นจะทำให้แผ่นดูดพลังงานมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนมีค่า $T_{Pu}$ พลังงานจะถูกล่งผ่านจากแผ่นดูดพลังงานด้านบนสู่ของไหลจนมีอุณหภูมิ $T_f$ โดยผ่านการพาความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์ $h_1$ และสู่แผ่นดูดด้านล่างโดยการแผ่รังสีความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์ $h_r$ และพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้แก่บรรยากาศโดยการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนที่ด้านบนมีค่าสัมประสิทธิ์ $U_t$ พลังความร้อนจะถูกล่งผ่านไปสู่แผ่นดูดความร้อนด้านล่างโดยอากาศที่เป็นของไหลทำงานด้วยการพาความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์ $h_2$ ท้ายที่สุดคือพลังงานที่สูญเสียให้แก่บรรยากาศโดยการนำความร้อนที่แผ่นดูดล่วนล่างผ่านฉนวนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนคือ $U_b$

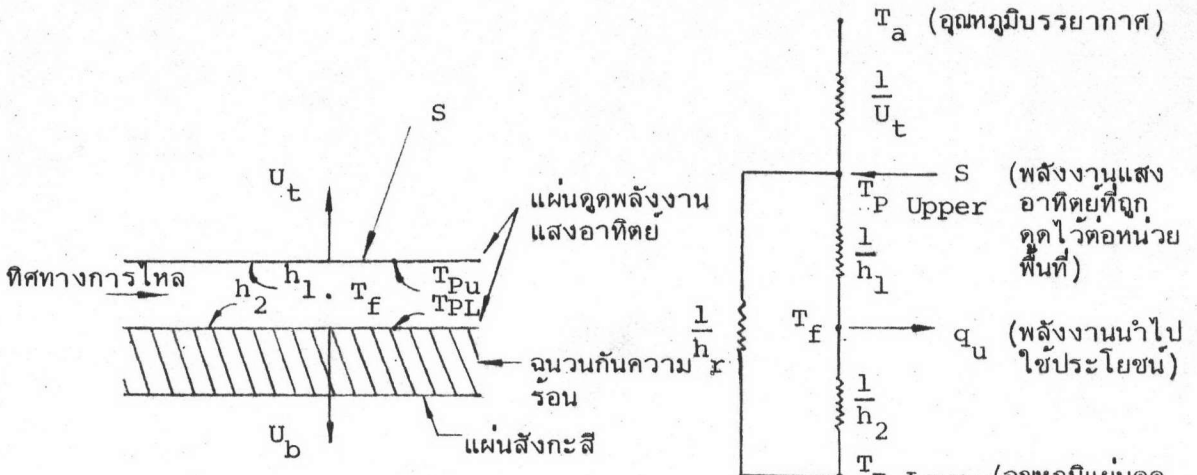
ความสมดุลย์ของพลังงานที่มีอยู่ในแผ่นดูดด้านบน แผ่นดูดด้านล่าง และในของไหลที่เป็นอากาศนั้นจะให้สมการดังต่อไปนี้

$$S + U_t(T_a - T_{Pu}) + h_r(T_{PL} - T_{Pu}) + h_1(T_f - T_{Pu}) = 0 \qquad (5.3)$$

$$h_2(T_f - T_{PL}) + h_r(T_{Pu} - T_{PL}) + U_b(T_a - T_{PL}) = 0 \qquad (5.4)$$

$$h_1(T_{Pu} - T_f) + h_2(T_{PL} - T_f) = q_u \qquad (5.5)$$

จำเป็นจะต้องแก้สมการทั้งสามนี้ให้อยู่ในรูปที่เป็นฟังค์ชั่นของ $U_t$, $U_b$, $h_1$, $h_2$, $h_r$, $T_f$ และ $T_a$ อีกนัยหนึ่งก็คือจะต้องกำจัด $T_{Pu}$ และ $T_{PL}$ การแก้สมการค่อนข้างจะยุ่งยากและซับซ้อนจึงได้แล่ดงไว้เพื่อเป็นแนวทางเท่านั้น ทำการแก้สมการสำหรับสองสมการแรกนี้ให้อยู่ในรูปของ $(T_{PL} - T_f)$ และ $(T_{Pu} - T_f)$ ซึ่งจะได้ว่า




$$h_r = \frac{\sigma (T_{Pu}^2 + T_{PL}^2)(T_{Pu} + T_{PL})}{\frac{1}{E_P} + \frac{1}{E_P} - 1}$$

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type E ไม่มีกระจก และโครงข่ายความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบนี้

$$(T_{PL} - T_f) = \frac{h_r S - (U_b U_t + U_b h_r + U_b h_1 + U_t h_r)(T_f - T_a)}{h_2 U_t + h_2 h_r + h_2 h_1 + h_r U_t + h_1 h_r + U_b U_t + U_b h_r + U_b h_1} \quad (5.6)$$

$$(T_{Pu} - T_f) = \frac{S(h_2 + h_r + U_b) - (U_t h_2 + U_t h_r + U_t U_b + U_b h_r)(T_f - T_a)}{U_t h_2 + U_t h_r + U_t U_b + h_r h_2 + h_r U_b + h_1 h_2 + h_1 h_r + h_1 U_b} \quad (5.7)$$

ทำการแทนค่าสมการ (5.6) และ (5.7) ลงในสมการ (5.5) แล้วจัดเรียงสมการใหม่ให้มีรูปแบบเหมือนสมการ (5.8) ข้างล่างนี้

$$q_u = F' \left[ S - U_L (T_f - T_a) \right] \quad (5.8)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าของตัวแปรจะได้ว่า

$$F' = \left(1 + \frac{U_t h_2 + U_t h_r + U_t U_b + h_r U_b}{h_1 h_2 + h_1 h_r + h_1 U_b + h_2 h_r}\right)^{-1} \quad (5.9)$$

$$U_L = U_t + U_b + \frac{(h_2 U_b U_t + h_1 U_b^2)}{h_1 h_2 + h_1 h_r + h_1 U_b + h_2 h_r} \quad (5.10)$$

การกำหนดค่า $T_{Pu}$, $T_{PL}$, $h_1$, $h_2$, และ $E_P$ ลงในส่วนของโปรแกรมย่อยชนิดซับรูทีนเหมือนแบบ Type E ส่วนค่า $U_t$ และ $U_b$ ของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type E ไม่มีกระจก นี้มีค่าดังนี้[10]

$$U_t = h_{wind} + h_{r,p-s} \quad (5.11)$$

($h_{wind}$ คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมพัดผ่านแผ่นดูดที่เรียบ

$h_{r,p-s}$ คือสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นดูดสู่ท้องฟ้า

$$U_b = \frac{k}{L} \quad (5.12)$$

(k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน L คือ ความหนาของวัสดุ)

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นเรียบโดยความร้อนถ่ายเทขึ้นบน และมีอากาศไหลผ่านคำนวณโดยใช้สมการของ McAdams[10]

$$h_{wind} = 5.7 + 3.8\ V \qquad (5.13)$$

(V คือความเร็วของลม มีหน่วยเป็น ม/ว $h_{wind}$ มีหน่วยเป็น วัตต์/ม$^2$ $^oซ$)

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นดูดกลืนท้องฟ้ามีค่าตามความสัมพันธ์ดังนี้คือ[10]

$$h_{r,p-s} = E_P \sigma (T_P^2 + T_{sky}^2)(T_P + T_{sky}) \qquad (5.14)$$

อุณหภูมิของท้องฟ้า ($T_{sky}$) สามารถมีความสัมพันธ์ได้กับอุณหภูมิของอากาศตามท้องถิ่นต่าง ๆ ซึ่งถูกค้นพบโดย Swinbank[10] (หน่วยของอุณหภูมิทั้งสองจะมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน) ดังนี้

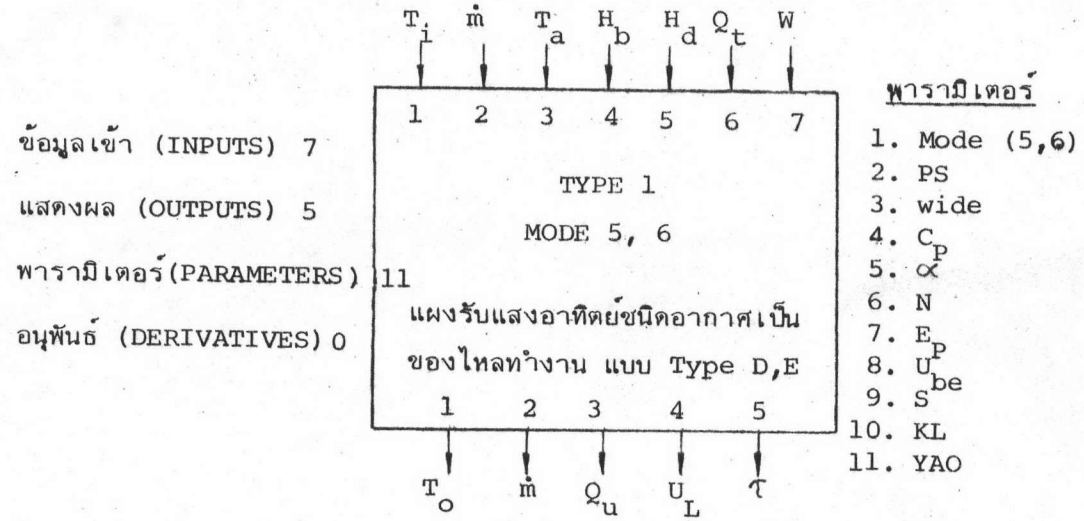
$$T_{sky} = 0.0552\ T_{air}^{1.5} \qquad (5.15)$$

<u>การจำลองส่วนประกอบของระบบเฉพาะส่วนที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์</u>

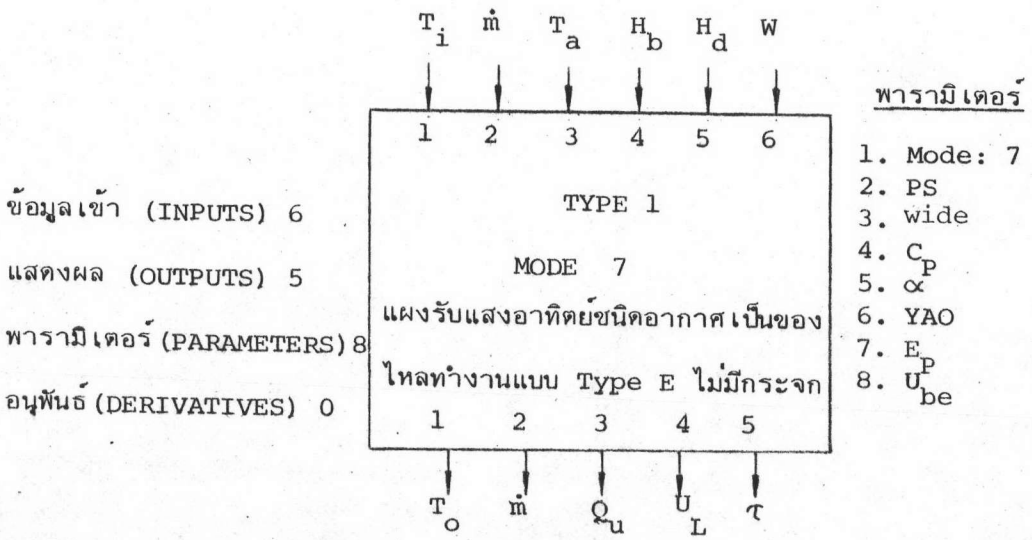
ในการแก้ไขโปรแกรมย่อยซับรูทีนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ก็เพื่อให้สามารถคำนวณผลในแบบที่ใช้อากาศเป็นของไหลทำงานดังกล่าวได้ จึงแสดงการแก้ไขโปรแกรมย่อยซับรูทีนดังกล่าวโดยแสดงในรูปของผังงาน (Flowchart) และ โปรแกรมที่พิมพ์ (Program Listing) จาก Source Program สำหรับโปรแกรมย่อยซับรูทีน ของแผงรับแสงอาทิตย์ในภาคผนวก ข.

การเขียนโครงร่างการส่งผ่านข้อมูลที่ส่วนประกอบของระบบ โดยเฉพาะส่วนประกอบที่แสดงเป็นแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ซึ่งเป็นส่วนที่ได้แก้ไขในโปรแกรมย่อยซับรูทีน จะต้องเขียนเป็นโครงร่างสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แต่ละแบบดังรูปที่ 5.5

ในการจำลองส่วนประกอบที่แสดงเป็นแผงรับแสงอาทิตย์แบบใดจะต้องเขียนรหัส Mode ของแบบนั้น ๆ ที่จะจำลองลงในบัตรควบคุมส่วนประกอบ (Component Control Cards) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของบัตรข้อมูล (Data Deck) อันจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป




(a) MODE 5,6 สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type D และ Type E ตามลำดับ




(b) MODE 7 สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ แบบ Type E ไม่มีกระจก

รูปที่ 5.5 โครงร่างการส่งผ่านข้อมูลสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ 3 แบบ
(ความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ในรูปจะอธิบายไว้ในส่วนการจำลองระบบ
ด้วยโปรแกรม TRNSYS ซึ่งจะอยู่ในส่วนถัดไป)

การจำลองระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS

เมื่อทราบรูปแบบการจำลองของระบบผลิตอากาศร้อนดังรูปที่ 5.1 และการออกแบบระบบผลิตอากาศร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับกรรมวิธีในการอบดังในบทที่ 4 ก็ทำให้สามารถเขียนโครงร่างของการส่งผ่านข้อมูล (Information Flow Diagram) ของระบบได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการช่วยการจำลองระบบด้วยโปรแกรมเป็นไปได้ง่ายและเป็นระเบียบแบบแผน ดังรูปที่ 5.6

ในการเลือกส่วนประกอบต่าง ๆ มาใช้ในการจำลองระบบผลิตอากาศร้อนที่ศึกษาดังในรูปที่ 5.6 นั้นจะได้อธิบายหน้าที่การทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อที่จะได้ทำความเข้าใจวิธีการจำลองระบบได้ดียิ่งขึ้น โดยจะกล่าวถึงส่วนประกอบที่ยังไม่ได้กล่าวถึงหน้าที่การทำงานมาก่อน ซึ่งส่วนประกอบบางส่วนได้กล่าวถึงแล้วในตอนต้นของบทนี้ ดังรายละเอียดดังนี้

| ส่วนประกอบ | หน้าที่การทำงาน |
|---|---|
| หน่วยอ่านบัตรข้อมูล (Card Reader) | อ่านข้อมูลของสภาวะต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่กับเวลา เช่น อุณหภูมิบรรยากาศ พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดที่ตกบนระนาบระดับ และความเร็วลมเป็นต้น |
| หน่วยแปลงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation Processor) | แปลงค่าพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนระนาบระดับ เป็นพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ ที่ตกบนระนาบเอียง เช่น แบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจาย เป็นต้น |
| หน่วยคำนวณทางพีชคณิต (Algebraic Operation) | สำหรับ Unit 4 แปลงค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด เป็นค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด (เพราะระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์มีแผงรับ 3 ชุด) |

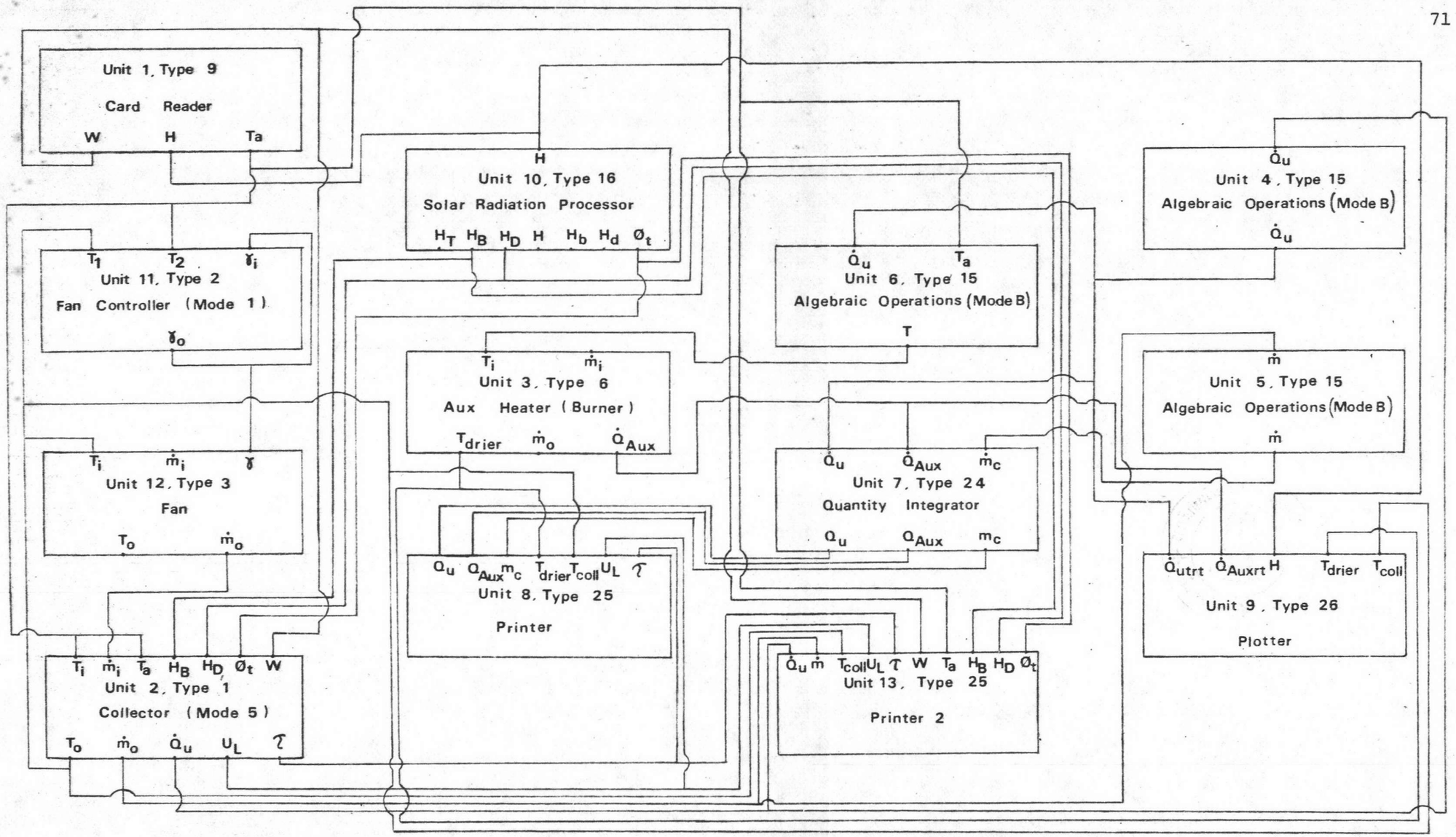



Fig. 5.6 System Information Flow Diagram

รูปที่ 5.6 โครงร่างการส่งผ่านข้อมูลของระบบผลิตอากาศร้อน

| ส่วนประกอบ | หน้าที่การทำงาน |
|---|---|
| | สำหรับ Unit 5 แปลงค่าอัตราการไหลของมวลอากาศในแผงรับแล่งอาทิตย์ 1 ชุด เป็นค่าอัตราการไหลของมวลอากาศทั้งระบบ (3 ชุด) |
| | สำหรับ Unit 6 คำนวณอุณหภูมิของอากาศที่จะใช้ในการอบทั้งหมดว่ามีค่าเท่าใดอันเนื่องมาจากพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแล่งอาทิตย์ทั้งระบบ |
| หน่วยรวมค่าผลลัพธ์ในช่วงเวลา (Quantity Integrator) | คำนวณค่าปริมาณจากผลลัพธ์ที่มีหน่วยเป็นอัตราต่อหน่วยเวลาในช่วงเวลาที่กำหนด (ที่ทำการจำลอง) เช่น ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแล่งอาทิตย์ทั้ง 3 ชุด ที่คำนวณจากอัตราของพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแล่งอาทิตย์ทั้ง 3 ชุด ที่เปลี่ยนตลอดเวลาใน 16 ชั่วโมง ที่ทำการจำลองเป็นต้น |
| หน่วยพิมพ์รายงานผล (Printer) | รายงานผลลัพธ์จากการคำนวณที่ต้องการโดยพิมพ์ค่าต่าง ๆ ออกมาให้ทราบ |
| หน่วยเขียนรูปกร๊าฟ (Plotter) | รายงานผลลัพธ์ต่าง ๆ โดยการเขียนเป็นรูปกร๊าฟแล่ดงให้ทราบ |

จากการทราบโครงร่างของการล่งผ่านข้อมูลของระบบ การออกแบบระบบผลิตอากาศร้อนพลังงานแล่งอาทิตย์ในทางปฏิบัติที่แล่ดงในบทที่ 4 อัตราการไหลของมวลที่แผงรับ ตำแหน่งของแผงรับบนพื้นโลก และวันที่ทำการจำลองระบบ ทำให้ล่ามารถจำลองระบบได้โดยการเจาะบัตรควบคุมต่าง ๆ (Control Cards) ลงใน บัตรข้อมูล (Data Deck) ล่วนแรก และเจาะบัตรข้อมูลที่มีลักษณะเป็นล่ภาวะที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time Dependent Conditions) เพื่อให้ล่วนอ่านบัตร

(Card Reader) ของโปรแกรมอ่านข้อมูลต่าง ๆ ที่ขึ้นกับเวลาเหล่านี้ แล้วจัดบัตรข้อมูลนี้ลงในบัตรข้อมูลส่วนหลัง ซึ่งการจัดบัตรข้อมูลในการจำลองระบบผลิตอากาศร้อนนี้นั้นจะแสดงตัวอย่างและผลลัพธ์ไว้ในภาคผนวก ค. สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type D ชนิดผิวไม่เป็นซีเลคตีฟมีระยะระหว่างแผ่นเท่ากับ 12 นิ้ว และกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 51.87 กก/ชม $ม^2$ โดยวันที่จำลองระบบคือวันที่ 15 กันยายน

ตัวแปรในบัตรข้อมูลและการจัดบัตรข้อมูลของสภาวะที่ขึ้นอยู่กับเวลานั้นจะแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำหรับวันที่ 15 กันยายน เพราะวันดังกล่าวนี้เป็นวันที่เป็นตัวแทนของวันต่าง ๆ ในช่วงที่เมล็ดข้าวโพดได้เก็บเกี่ยวแล้วและต้องการที่จะอบแห้ง ดังในภาคผนวก ฆ.

ตารางที่ 5.1

รายงานข้อมูลสำหรับวันที่ 15 กันยายน

| ลำดับบัตร | เวลา (นาฬิกา) | (12) ความเร็วลม (ม/ว) | (13) พลังงานแสงอาทิตย์ (ก.จูลล์/ซม $^2$) | อุณหภูมิอากาศ ($^{o}$ซ) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.5 | 1.96 | 0.00 | 25.50 |
| 2 | 5.5 | 1.96 | 0.00 | 25.30 |
| 3 | 6.5 | 1.96 | 0.00 | 25.38 |
| 4 | 7.5 | 1.96 | 752.49 | 26.03 |
| 5 | 8.5 | 1.96 | 1,381.64 | 27.30 |
| 6 | 9.5 | 1.96 | 1,842.49 | 28.75 |
| 7 | 10.5 | 1.96 | 2,093.40 | 30.05 |
| 8 | 11.5 | 1.96 | 2,135.27 | 30.95 |
| 9 | 12.5 | 1.96 | 2,051.53 | 30.37 |
| 10 | 13.5 | 1.96 | 1,842.19 | 29.25 |
| 11 | 14.5 | 1.96 | 1,590.98 | 28.67 |
| 12 | 15.5 | 1.96 | 1,046.70 | 28.47 |
| 13 | 16.5 | 1.96 | 544.28 | 28.32 |
| 14 | 17.5 | 1.96 | 0.00 | 27.35 |
| 15 | 18.5 | 1.96 | 0.00 | 26.40 |
| 16 | 19.5 | 1.96 | 0.00 | 26.02 |
| 17 | 20.5 | 1.96 | 0.00 | 25.99 |

หมายเหตุ อุณหภูมิอากาศสำหรับกรุงเทพฯ ได้มาจากตารางในภาคผนวก ง.

การจำลองในบางส่วนของระบบทางพลังงานโดยวิธีการคำนวณธรรมดา

นอกเหนือจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้ว ยังมีบางส่วนของระบบที่ต้องทำการคำนวณด้วยวิธีธรรมดาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ทางพลังงานที่ต้องการอย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุที่โปรแกรมไม่สามารถที่จะเอื้ออำนวยส่วนประกอบของระบบนั้น ๆ ได้ และการคำนวณโดยวิธีธรรมดานี้เป็นไปได้ง่ายกว่าการที่จะเขียนส่วนประกอบนั้น ๆ เพิ่มเข้าไปในโปรแกรม ส่วนประกอบทางพลังงานที่ทำการคำนวณธรรมดา คือ การสูญเสียพลังงานความร้อนที่ท่อส่งอากาศจากแผงรับแสงอาทิตย์สู่หออบที่ส่วนเผาไหม้และพลังงานที่ใช้ในการผลักดันอากาศที่ส่วนแผงรับแสงอาทิตย์และที่ท่อส่งอากาศร้อนที่ใช้ในชุดแผงรับแสงอาทิตย์

พลังงานที่ใช้ในการผลักดันอากาศที่ส่วนแผงรับแสงอาทิตย์และที่ท่อส่งอากาศร้อนที่ใช้ในชุดแผงรับแสงอาทิตย์

ในการคิดพลังงานที่สูญเสียในการขับเคลื่อนอากาศนั้นจะต้องคิดจากรูปแบบของความดันลดลง (pressure drop)ซึ่งแสดงในเทอมของ เฮดลอส (Δh) ในหน่วยเป็น เมตร ของน้ำ

นอกจากความยาวของท่อส่งที่นำไปคิด เฮดลอส แล้วเฮดลอสที่จุดต่อของท่อส่งที่มีรูปแบบต่าง ๆ (Ductwork) จะถูกพิจารณาให้มีสมมูลย์เท่ากับความยาวต่าง ๆ (Equivalent Lengths)[14]

จากการพิจารณาแผนผังในรูปที่ 4.3 (แผงรับแสงอาทิตย์ชุดที่ 1 คือชุดที่อยู่ไกลที่สุดในแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 จะเรียงกันตามลำดับ)

| | | |
|---|---|---|
| ความยาวโดยประมาณของท่อส่งชุดที่ 1 | 98.2 | ม. |
| ที่จุดต่อหักมุมฉาก 6 จุด มีสมมูลย์เท่ากับ | 66 | ม. |
| จุดต่อเปลี่ยนขนาดที่แผงรับแสงอาทิตย์กับ | | |
| ท่อส่งจะมีสมมูลย์เท่ากับ | 1.5 | ม. |
| รวมสมมูลย์ของความยาวท่อส่งชุดที่ 1 | 165.7 | ม. |
| รวมสมมูลย์ของความยาวท่อส่งชุดที่ 2 | 152.3 | ม. |
| รวมสมมูลย์ของความยาวท่อส่งชุดที่ 3 | 139 | ม. |

สูตรที่ใช้ในการคำนวณเฮดลอส ($\Delta h$) มีสูตรดังนี้[14]

$$N_{Re} = \frac{4W}{\mu P} \quad (5.16)$$

($N_{Re}$ คือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ W คือ อัตราการไหลของอากาศ (กก/ชม) P คือ เส้นรอบรูปของพื้นที่ส่วนตัดขวางกับทิศทางการไหลของอากาศ (ม.) และ $\mu$ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ (ก/ม ว) ในที่นี้กำหนดให้ $\mu$ = 0.021 ก/ม ว ที่ 66°ซ เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ)

ถ้า $N_{Re} < 2100$

$$f = \frac{16}{N_{Re}} \quad (5.17)$$

(f คือ แฟคเตอร์ความเสียดทาน)

ถ้า $2100 \leq N_{Re} \leq 10^6$

$$f = 0.00140 + \frac{0.125}{N_{Re}^{0.32}} \quad (5.18)$$

หาเฮดลอส

$$\Delta h = \frac{fW^2LP}{2g\rho\rho_m A_x^3 (3600)^2} \quad (5.19)$$

(L คือ สัมมูลย์ของความยาวท่อส่ง (ม.) $A_x$ คือ พื้นที่ส่วนตัดขวางกับทิศทางการไหลของอากาศ ($ม^2$) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเป็น 9.8 ม/$ว^2$ $\rho_m$ คือ ความหนาแน่นของน้ำมีค่า 1,000 กก/$ม^3$ และ $\rho$ คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่า 0.977 กก/$ม^3$ ที่ 71°ซ เป็นค่าที่ใช้คำนวณ)

ผลการคำนวณค่า เฮดลอส สำหรับท่อส่งขนาด 1x1 ม. ของท่อส่งชุดที่ 1 แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2

แสดงค่า $\Delta h$ ในท่อส่งชุดที่ 1 (มม.ของน้ำ)

| $\dot{m}$ (กก/ชม) | 7,397 | 14,794 | 22,191 | 29,588 | 36,985 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta h$ | 0.67 | 2.30 | 4.77 | 8.02 | 12.02 |
| $\dot{m}$ (กก/ชม) | 11,096 | 22,191 | 33,287 | 44,383 | 55,478 |
| $\Delta h$ | 1.34 | 4.77 | 9.92 | 16.74 | 25.15 |
| $\dot{m}$ (กก/ชม) | 14,178 | 28,356 | 42,533 | 56,711 | 70,889 |
| $\Delta h$ | 2.13 | 7.42 | 15.49 | 26.18 | 39.38 |

หมายเหตุ 1. $\dot{m}$ คืออัตราการไหลของอากาศ หน่วยเป็น กก/ชม

การกำหนด $\dot{m}$ ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ขนาดต่าง ๆ นั้นเกิดจากความต้องการที่จะพิจารณาความเร็วของอากาศที่แผงรับแสงอาทิตย์ ( 1 ชุด) ให้ครอบคลุมในช่วง 1 ถึง 5 ม./ว เพราะจากการศึกษาความเร็วที่แผงรับแสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่มีต่อพลังงานที่ใช้ผลักดันอากาศพบว่าที่ความเร็วประมาณ 5 ม/ว จะให้พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์โดยสุทธิมากที่สุดที่ความเร็วดังกล่าว[2]

2. จากผลของการคำนวณสรุปได้ว่า

ค่า $\Delta h$ ในท่อส่งชุดที่ 2 จะมีค่าเป็น 91.91% ของค่า $\Delta h$ ในท่อส่งชุดที่ 1

ค่า $\Delta h$ ในท่อส่งชุดที่ 3 จะมีค่าเป็น 83.89% ของค่า $\Delta h$ ในท่อส่งชุดที่ 1

ในการคำนวณ เฮดลอส์ ในแผงรับแส่งอาทิตย์ขนาดต่าง ๆ จะพิจารณาค่าที่จะคำนวณตามความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ซึ่งจากบทที่ 4 แส่ดงให้เห็นว่าแผงรับแส่งอาทิตย์ 1 ชุด นั้น จะประกอบด้วยแถวกล่องแผงรับแส่งอาทิตย์ขนาดเล็ก ๆ ที่เรียงกันตามความกว้างของชุดแผงรับแส่งอาทิตย์เป็นจำนวน 6 กล่องกับกล่องที่มีความกว้างครึ่งหนึ่งจำนวน 1 กล่อง สำหรับขนาดของระยะระหว่างแผ่น (PS) ทั้ง 3 ขนาด ดังนั้นในการคำนวณค่า เฮดลอส์ จะต้องพิจารณาค่า เฮดลอส์ ที่เกิดขึ้นที่กล่องแผงรับแส่งอาทิตย์แต่ละกล่องแล้วจึงรวมค่าเหล่านี้เป็นค่า เฮดลอส์ ของแผงรับแส่งอาทิตย์ 1 ชุด แต่สูตรในการคำนวณ เฮดลอส์ จะต้องพิจารณาอัตราการไหลของมวลอากาศ (W) ที่ผ่านกล่องเหล่านี้ซึ่งจะหาได้โดยการหารอัตราการไหลของมวลอากาศที่แผงรับแส่งอาทิตย์ 1 ชุด ด้วยจำนวนกล่องที่วางเรียงขนานกัน ส่วนพื้นที่หน้าตัดของการไหล ($A_x$) ที่ทำการคำนวณคือพื้นที่หน้าตัดของกล่องและในทำนองเดียวกันเส้นรอบรูป (P) ที่ใช้ในการคำนวณจะพิจารณาในลักษณะเดียวกัน ผลการคำนวณค่า เฮดลอส์ สำหรับแผงรับแส่งอาทิตย์ขนาดต่าง ๆ แส่ดงไว้ในตารางที่ 5.3 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 5.3

แส่ดงค่า $\Delta h$ ในแผงรับแส่งอาทิตย์แต่ละแผง (มม. ของน้ำ)

| PS (นิ้ว) \ $\dot{m}$ (กก/ชม) | 7,397 | 14,794 | 22,191 | 29,588 | 36,985 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 1.22 | 4.05 | 8.41 | 14.05 | 20.89 |

| PS (นิ้ว) \ $\dot{m}$ (กก/ชม) | 11,096 | 22,191 | 33,287 | 44,383 | 55,478 |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 0.85 | 2.89 | 5.92 | 9.87 | 14.81 |

| PS (นิ้ว) \ $\dot{m}$ (กก/ชม) | 14,178 | 28,356 | 42,533 | 56,711 | 70,889 |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 0.70 | 2.38 | 4.88 | 8.15 | 12.15 |

หมายเหตุ PS คือระยะระหว่างแผ่น

นอกเหนือจากการคำนวณค่า $\Delta h$ ที่ท่อลมและที่แผงรับอันเนื่องมาจากความเสียดทานแล้ว จะต้องคำนวณค่าของ $\Delta h$ ที่สูญเสียไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่หน้าตัดอย่างรวดเร็วเมื่ออากาศไหลเข้าสู่แผงรับ (Entrance loss) และในขณะที่อากาศไหลออกจากท่อลม (Velocity Pressure Loss at Outlet)

ตารางที่ 5.4

เฮดลอสเนื่องจากทางเข้าที่แผงรับ[15] (มม.ของน้ำ)

| $V_2$ (ม/ว) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta h_T$ | 0.02 | 0.08 | 0.19 | 0.33 | 0.52 |

หมายเหตุ $V_2$ คือ ความเร็วของอากาศในแผงรับแล่งอาทิตย์

ตารางที่ 5.5

เฮดลอสเนื่องจากความเร็วที่ทางออกของท่อลมขนาด 1×1 ม.[15] (มม.ของน้ำ)

| $\dot{m}$ กก/ชม | 7,397 | 14,794 | 22,191 | 29,588 | 36,985 |
|---|---|---|---|---|---|
| V (ม/ว) | 2.10 | 4.21 | 6.31 | 8.41 | 10.52 |
| $\Delta h_T$ | 0.27 | 1.09 | 2.44 | 4.34 | 6.79 |
| $\dot{m}$ กก/ชม | 11,096 | 22,191 | 33,287 | 44,383 | 55,478 |
| V (ม/ว) | 3.15 | 6.31 | 9.46 | 12.62 | 15.77 |
| $\Delta h_T$ | 0.61 | 2.44 | 5.49 | 9.77 | 15.26 |
| $\dot{m}$ กก/ชม | 14,178 | 28,356 | 42,533 | 56,711 | 70,889 |
| V (ม/ว) | 4.03 | 8.06 | 12.09 | 16.12 | 20.15 |
| $\Delta h_T$ | 1.00 | 3.99 | 8.97 | 15.95 | 24.91 |

หมายเหตุ V คือความเร็วของอากาศในท่อลม

เมื่อทราบค่า เฮดลอส ทั้งในแผงรับแล่งอาทิตย์และท่อล่งแล้วจะทำให้สามารถคำนวณหาความต้องการของกำลังในทางทฤษฎี (Theoretical Power Requirement) ของพัดลมที่ใช้ในชุดแผงรับแล่งอาทิตย์ในการขับอากาศ โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้[14]

$$\text{ความต้องการของกำลังทางทฤษฎี} = \frac{W}{\rho}\Delta h \rho_m \, (g/g_c) \times \frac{3.6}{3,600} \qquad (5.20)$$

($g/g_c$ คือแฟคเตอร์แปลงค่ามีหน่วยเป็น วัตต์/(กก.ม/ว))

ในการขับอากาศนั้นต้องใช้พัดลมในการทำงานดังกล่าว ฉะนั้นถ้าประมาณว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (motor efficiency) มีค่า 0.85[2] และ ประสิทธิภาพของพัดลม (fan efficiency) มีค่า 0.7 [2] จะทำให้สามารถคำนวณหาความต้องการกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Requirement) สำหรับพัดลมที่ใช้ในชุดแผงรับแล่งอาทิตย์ได้ โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้[14]

$$\text{ความต้องการกำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{ความต้องการของกำลังทางทฤษฎี}}{0.85(0.7)} \qquad (5.21)$$

เมื่อรวมค่า เฮดลอส ที่แผงรับแล่งอาทิตย์และที่ท่อล่งแล้วใช้สมการที่ 5.20 และ 5.21 ก็จะสามารถคำนวณค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมที่ใช้ในชุดแผงรับแล่งอาทิตย์ได้ ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6

แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของพัดลมชุดที่ 1 (ก.จูลล์/ชม)

| $\dot{m}$ (กก/ชม) / PS (นิ้ว) | 7,397 | 14,794 | 22,191 | 29,588 | 36,985 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 272 | 1,875 | 5,914 | 13,338 | 25,077 |
| $\dot{m}$ (กก/ชม) / PS (นิ้ว) | 11,096 | 22,191 | 33,287 | 44,383 | 55,478 |
| 18 | 528 | 3,808 | 12,076 | 27,467 | 52,132 |
| $\dot{m}$ (กก/ชม) / PS (นิ้ว) | 14,178 | 28,356 | 42,533 | 56,711 | 70,889 |
| 23 | 920 | 6,630 | 21,173 | 48,386 | 91,972 |

หมายเหตุ จากผลของการคำนวณสรุปได้ว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของพัดลมชุดที่ 2 เป็น 97.5% 96.4% และ 95.7% ของชุดที่ 1 สำหรับระยะระหว่างแผ่น (PS) 12, 18 และ 23 นิ้วตามลำดับ ในทำนองเดียวกันค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของพัดลมชุดที่ 3 เป็น 95.1% 92.5% และ 91.5% สำหรับระยะระหว่างแผ่นต่าง ๆ ตามลำดับ

พลังงานความร้อนที่สูญเสียที่ท่อลำอากาศจากแผงรับแสงอาทิตย์สู่ห้องเผาไหม้

การสูญเสียพลังงานความร้อนที่ท่อลำอากาศนั้นโดยวิธีการนำความร้อนซึ่งสามารถจะคำนวณหาได้ดังนี้

หาค่า $U_L$ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมดที่ท่อลำของชุดแผงรับแสงอาทิตย์ ในที่นี้จะไม่ คิดความต้านทานเนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนสู่บรรยากาศโดยสมมุติให้เป็น 0 เพราะค่าความต้านทานนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานของฉนวนกันความร้อน

$$U_L = \frac{K}{L}$$

$$= \frac{0.022}{\frac{1}{12}} \quad \text{บี.ที.ยู/ชม.ฟุต}^{2\,o}\text{ฟ}$$

$$= 0.022 \times 12 \times 5.6783 \times 3.6 \quad \text{ก.จูลล์/ชม.ม}^{2\,o}\text{ซ}$$

$$= 5.397 \quad \text{ก.จูลล์/ชม.ม}^{2\,o}\text{ซ}$$

หาอัตราการสูญเสียความร้อนต่อหน่วยพื้นที่โดยสูตร [10]

$$q_{loss,duct} = U_L (T_f - T_a) \qquad (5.22)$$

โดยที่ $T_f$ และ $T_a$ นั้นต้องเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อสะดวกในการคำนวณ ซึ่งค่า $T_a$ หาเฉลี่ยได้จากตารางที่ 5.1 โดยคิดที่ช่วงเวลาที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar radiation) ซึ่งมีอยู่ 10 ชั่วโมง ส่วน $T_f$ นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของอากาศร้อนในท่อด้วย ซึ่งจะหาได้โดยการประมาณค่าเฉลี่ยจากค่าอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (Simulation) ระบบผลิตอากาศร้อนด้วยโปรแกรม ดังนั้นการคำนวณหาการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ท่อลำจะมีดังนี้

$$Q_{loss,duct} = U_L A (\bar{T}_f - T_a)$$

$$Q_{loss,duct} = 5.397(98.2 + 84.8 + 71.5)(4)(\bar{T}_f - 28.816)$$

$$= 5,494.15 (\bar{T}_f - 28.816)$$

(A คือพื้นที่ทั้งหมดของฉนวนที่หุ้มท่อส่งจากแผงรับแล่งอาทิตย์ถึงห้องเผาไหม้)

ด้วยเหตุที่ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียความร้อนเท่ากับจำนวนชั่วโมงที่พัดลมดูดอากาศที่ใช้ในชุดแผงรับแล่งอาทิตย์ (Operating Collector Fan Hours)ทำงาน ดังนั้นพลังงานความร้อนที่สูญเสียจะสามารถหาได้ดังสูตรข้างล่างนี้

พลังงานความร้อนที่สูญเสีย (ก.จูลส์) = $5,494.15(hrs)(\bar{T}_f - 28.816)$ (5.23)

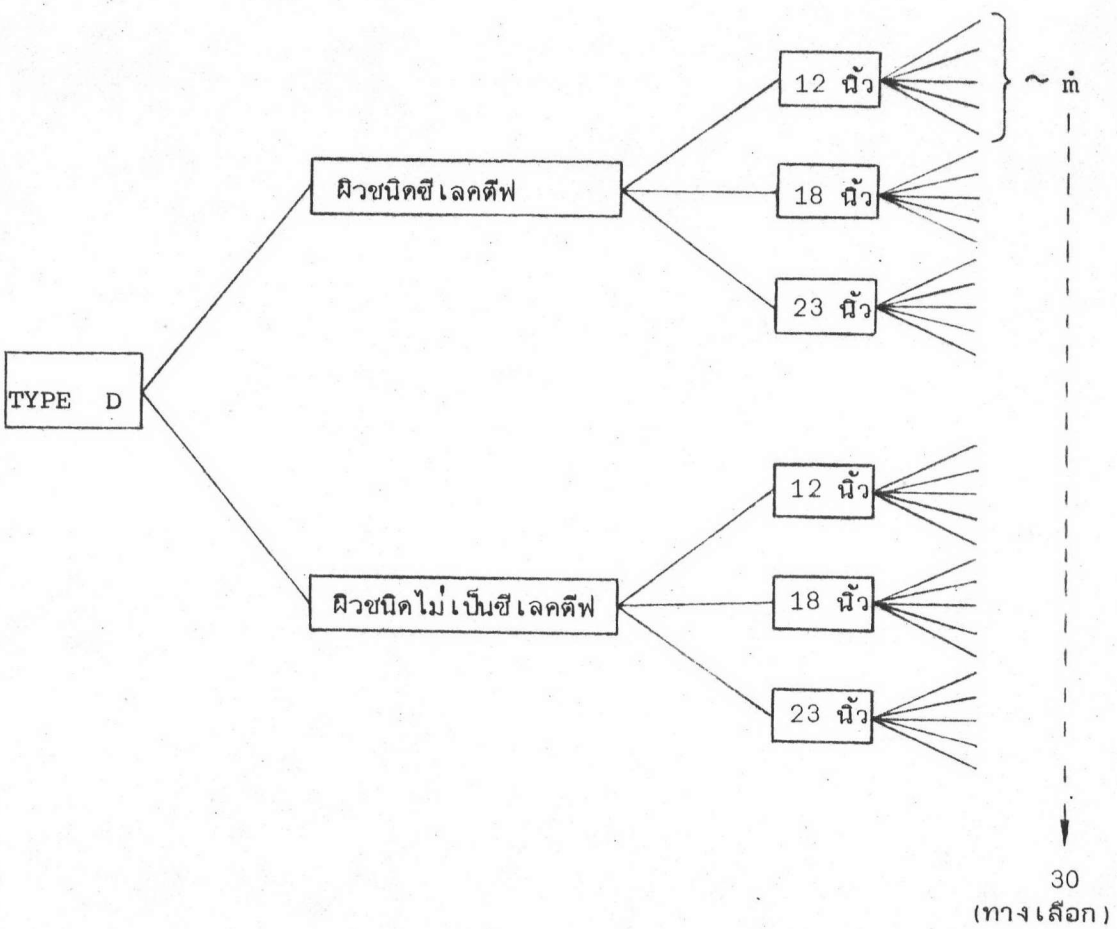
(hrs คือ ชั่วโมงที่พัดลมทำงาน)

สรุปผลการจำลองระบบทั้งหมดทางพลังงาน

เมื่อนำเอาผลการจำลองระบบผลิตอากาศร้อนทั้งในส่วนที่ได้มาจากการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Run Programs) และการคำนวณโดยวิธีธรรมดา ก็ทำให้สามารถสรุปผลการจำลองระบบทั้งหมดทางพลังงานได้ ซึ่งในการจำลองระบบนี้มีองค์ประกอบ (factor) ต่าง ๆ ของส่วนประกอบแผงรับแล่งอาทิตย์ เป็นตัวกำหนดในการพิจารณาผลทางพลังงานที่มีต่อระบบทั้งหมด ดังนั้นองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมีอิทธิพลอย่างมากในงานด้านออกแบบ (Design) แผงรับแล่งอาทิตย์ของระบบ

องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่

1. แบบ (Type) ของแผงรับแล่งอาทิตย์
2. ผิวดูดพลังงานเป็นชนิดที่ผิวเป็นซีเลคตีฟ (Selective Surface or Non-Selective Surface) หรือผิวไม่เป็นซีเลคตีฟ
3. ระยะระหว่างแผ่น (PS)
4. อัตราการไหลของอากาศที่แผงรับแล่งอาทิตย์




รูปที่ 5.7 แสดงจำนวนที่ต้องพิจารณาเมื่อกำหนด TYPE D เพียงแบบเดียว ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่จะศึกษา

เมื่อคำนึงถึงองค์ประกอบทั้งหมดในการพิจารณา ซึ่งองค์ประกอบแต่ละตัวมีทางเลือกอยู่หลายทางและองค์ประกอบเหล่านี้จะมีลักษณะที่ขึ้นต่อกัน ดังนั้นทางเลือกที่เกิดจากการรวมองค์ประกอบเข้าด้วยกันจะเท่ากับผลคูณของทางเลือกขององค์ประกอบแต่ละตัวเข้าด้วยกัน

เมื่อ 1. แบบของแผงรับแสงอาทิตย์มีอยู่ 3 แบบ (ทางเลือก)

2. ผิวดูดพลังงานมี 2 ชนิด (ทางเลือก)

3. ระยะระหว่างแผ่น 3 ขนาด (ทางเลือก)

4. อัตราการไหลของอากาศ 5 ขนาด (ทางเลือก)

ดังนั้นจะทำให้ต้องศึกษาผลทางพลังงานที่จะเป็นไปได้ (3x2x3x5) 90 ครั้ง โดยจะแสดงภาพให้เห็นเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นเพียงส่วนเดียวเท่านั้น

แต่ด้วยเหตุที่แผงรับแสงอาทิตย์แบบ Type E นั้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ Type D ในการศึกษาเบื้องต้นโดยกำหนดให้มีองค์ประกอบผิวดูดพลังงานแบบเดียวกัน ระยะระหว่างแผ่นและอัตราการไหลของอากาศเท่ากัน พบว่า Type E จะให้พลังงานน้อยกว่า แต่กลับต้องลงทุนในการใช้วัสดุมากกว่า ดังนั้นจะทำการศึกษาเฉพาะ Type D และ Type E ไม่มีกระจกเท่านั้น จึงทำให้การศึกษาลดขนาดลงมาเหลือ 60 ครั้ง ที่จะพิจารณา ผลจากการจำลองระบบทั้งหมดดังกล่าวนี้ได้จัดไว้ในภาคผนวก จ.