หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการระบายความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

3.1 หลักการระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1

การระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ ระบบปฐมภูมิ (primary system) และระบบทุติยภูมิ (secondary system)

3.1.1 ระบบปฐมภูมิ เป็นระบบระบายความร้อนที่อาศัยการพาความร้อนของน้ำตามธรรมชาติ (natural convection cooling) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาแตกตัวอย่างต่อเนื่องจะถูกส่งผ่านจากแท่งเชื้อเพลิงไปยังน้ำซึ่งหล่อเลี้ยงแท่งเชื้อเพลิงภายในบ่อปฏิกรณ์ น้ำเมื่อได้รับความร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น น้ำที่เย็นก็จะไหลหมุนเวียนเข้าแทนที่เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นแล้วน้ำในบ่อปฏิกรณ์ส่วนหนึ่งก็จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับระบบทุติยภูมิอีกทีหนึ่ง

ส่วนสำคัญของระบบปฐมภูมิก็คือ บ่อปฏิกรณ์ซึ่งทำจากคอนกรีตที่มีความหนาแน่น (density) เท่ากับเหล็ก ภายในบ่อจะบรรจุด้วยน้ำและติดตั้งแกนเครื่องปฏิกรณ์ ตัวบ่อปฏิกรณ์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ บ่อใหญ่ และบ่อเล็ก ดังรูปที่ 3.1.1

ก) บ่อใหญ่ มีขนาดและความจุดังต่อไปนี้ (9)

ความยาว	18	ฟุต
ความกว้าง	11.5	ฟุต
ความลึก	28	ฟุต

ความจุ	41,800	ยูเอส.แกลลอน
หรือเท่ากับ	158.213	ลูกบาศก์เมตร

ข) บ่อเล็ก มีขนาดและความจุดังต่อไปนี้ (9)

ความยาว	10.5	ฟุต
ความกว้าง	11.5	ฟุต
ความลึก	28	ฟุต
ความจุ	23,000	ยูเอส.แกลลอน
หรือเท่ากับ	87.055	ลูกบาศก์เมตร

3.1.2 <u>ระบบทุติยภูมิ</u> เป็นระบบระบายความร้อนอีกระบบหนึ่งที่ใช้ในการระบายความร้อนให้กับเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งระบบนี้สัมพันธ์กันกับระบบปฐมภูมิ และเป็นระบบที่ไม่สัมผัสกับแกนเครื่องปฏิกรณ์โดยตรง แต่เป็นระบบที่รับการถ่ายเทความร้อนมาจากระบบปฐมภูมิอีกทีหนึ่งเพื่อระบายออกสู่ภายนอก ดังมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ ที่สำคัญเช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และหอระบายความร้อน (cooling tower)

3.1.2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากระบบปฐมภูมิไปสู่ระบบทุติยภูมิ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้มีอยู่ 2 ชุด คือ แบบแผ่น (plate heat exchanger) และแบบเปลือกกับท่อ (shell and tube heat exchanger) ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดทางวิศวกรรมดังนี้

ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เป็นชนิดที่อาศัยการทำงานของน้ำ 2 ระบบซึ่งสวนทางกัน ทำจากสเตนเลสสตีล เบอร์ 316 น้ำในระบบปฐมภูมิจะวิ่งไประหว่างแผ่นประกบสลับด้วยการวิ่งสวนทางกับน้ำในระบบทุติยภูมิอีกช่องหนึ่ง

ซึ่งเป็นช่องระหว่างแผ่นเช่นเดียวกัน โดยที่น้ำทั้ง 2 ระบบนี้จะไม่มีโอกาสสัมผัสกันโดยตรง แต่จะส่งถ่ายความร้อนผ่านแผ่นสเตนเลสสตีลไปยังน้ำอีกระบบหนึ่งเท่านั้น

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นนี้มีข้อกำหนดอยู่ว่าสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ 2.5 เมกกะวัตต์ ที่อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำในระบบต่าง ๆ ดังนี้

1) ระบบปฐมภูมิ (10)

อัตราการไหล	1353.76	ยูเอส.แกลลอน/นาที
หรือเท่ากับ	5.1239	ม.^{3}/นาที
อุณหภูมิน้ำเข้า	40	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำออก	33	องศาเซลเซียส

2) ระบบทุติยภูมิ (10)

อัตราการไหล	1480.58	ยูเอส.แกลลอน/นาที
หรือเท่ากับ	5.604	ม.^{3}/นาที
อุณหภูมิน้ำเข้า	30	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำออก	36.4	องศาเซลเซียส

ในปัจจุบันนี้มีปั๊มน้ำที่กำหนดค่ามีอัตราการไหล 700 ยูเอส.แกลลอน/นาที หรือ 2.65 ลูกบาศก์เมตร/นาที สำหรับระบบปฐมภูมิ และอัตราการไหล 1400 ยูเอส.แกลลอน/นาที หรือ 5.3 ลูกบาศก์เมตร/นาที สำหรับระบบทุติยภูมิ ซึ่งทาง

บริษัทอัลฟาลาวาลได้ให้ข้อมูลว่าที่อัตราการไหลดังกล่าวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ 1.6 เมกกะวัตต์ ซึ่งคิดเป็น 64 เปอร์เซนต์ของความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนเต็มที่ 2.5 เมกกะวัตต์ โดยกำหนดให้มีช่วงอุณหภูมิดังนี้คือ ในระบบปฐมภูมิ อุณหภูมิน้ำเข้า 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำออก 31 องศาเซลเซียส และในระบบทุติยภูมิอุณหภูมิน้ำเข้า 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำออก 34 องศาเซลเซียส

ข) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำจากอลูมิเนียม น้ำทั้ง 2 ระบบจะวิ่งสวนทางกันอยู่ในเปลือก และท่อ ตามข้อกำหนดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อกำหนดว่าสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ 1 เมกกะวัตต์ ที่อัตราการไหล 700 ยูเอส.แกลลอนต่อนาที สำหรับระบบปฐมภูมิและที่อัตราการไหล 1400 ยูเอส.แกลลอนต่อนาที สำหรับระบบทุติยภูมิ (9)

3.1.2.2 หอระบายความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบายความร้อนให้กับน้ำในระบบทุติยภูมิ มีรูปร่างลักษณะคล้าย ๆ กับหอสูง การทำงานของหอระบายความร้อนเป็นการทำงานที่ต่อเนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน กล่าวคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำหน้าที่รับการส่งถ่ายความร้อนจากระบบปฐมภูมิ ส่งผ่านมายังท่อทางต่าง ๆ เข้าสู่หอระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งจะประกอบด้วยข้อกำหนดทางวิศวกรรมดังนี้ (11)

อัตราการไหลของอากาศ	2,500	ม.^{3}/นาที
อัตราการไหลของน้ำ	6,500	ลิตร/นาที
หรือเท่ากับ	6.5	ม.^{3}/นาที
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	27	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำเข้าหอระบายความร้อน	32	องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำออกจากหอระบายความร้อน 37 องศาเซลเซียส

ความสามารถในการส่งถ่ายความร้อน 1,950,000 กิโลแคลลอรี่/ชม.

หรือเท่ากับ 8,164,650 กิโลจูล/ชม.

3.2 <u>การถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน</u>

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดไหลผ่าน (flow through type) และชนิดสะสมความร้อน (heat accumulate type) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหลผ่านนั้นจะมีลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งส่งถ่ายให้ของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยการส่งผ่านผนังกั้นโดยตรง ด้วยเหตุนี้เองของไหลทั้ง 2 ชนิดนี้จะไหลอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดสะสมความร้อน ของไหลที่มีหน้าที่ให้ความร้อนกับของไหลที่รับความร้อนจะผลัดกันไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในการไหลสลับกันนี้เองของไหลที่รับความร้อนจะรับเอาความร้อนที่ได้เก็บสะสมไว้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากที่ของไหลชนิดให้ความร้อนได้ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปแล้ว (11)

ในการคำนวณเพื่อหาลักษณะของการส่งถ่ายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปนั้น เราจะพิจารณาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการไหลของของไหล และความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลเข้ากับอุณหภูมิของของไหลออกจากวงจรนั้น ๆ ทั้งนี้ให้เป็นไปตามสมการของการถ่ายเทความร้อนดังต่อไปนี้ (12)

$$Q = MC(\Delta T) \qquad 3.2.1$$

กำหนดให้

Q = ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (เมกกะวัตต์)

M = อัตราการไหลของมวลของของไหลต่อวินาที (กิโลกรัม/วินาที)

C = สัมประสิทธิ์ของการระบายความร้อนจำเพาะ (เมกกะจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

แต่

$$M = W\rho \qquad 3.2.2$$

กำหนดให้

W = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

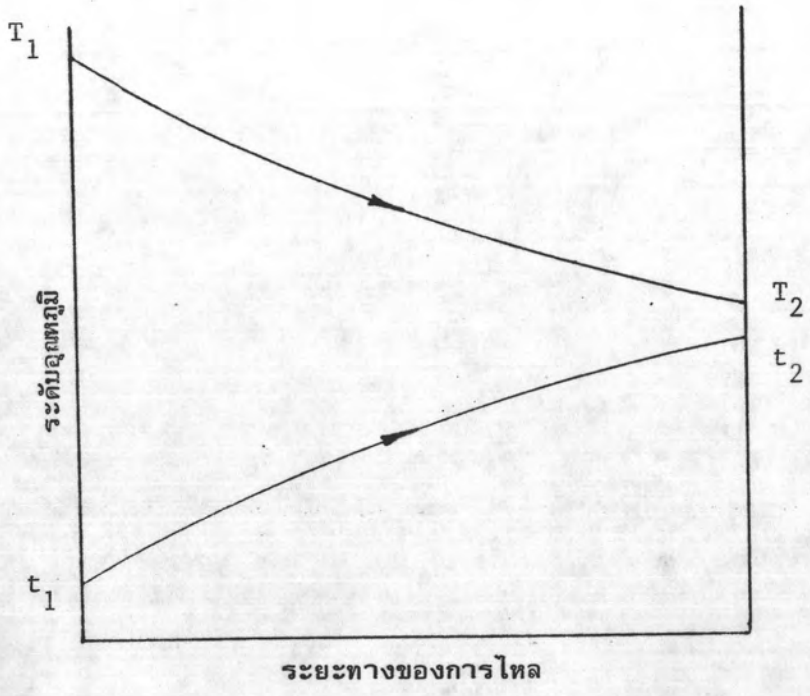
ρ = ความหนาแน่นจำเพาะ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

เอาสมการ 3.2.2 แทนในสมการ 3.2.1 จะได้ดังนี้

$$Q = W\rho C(\Delta T) \qquad 3.2.3$$

การแบ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหลผ่าน เราสามารถแบ่งได้ตามทิศทางการไหลของของไหลได้ 3 แบบคือ แบบไหลขนาน (parallel flow) แบบไหลสวนทาง (counter flow) และแบบไหลตั้งฉาก (cross flow)

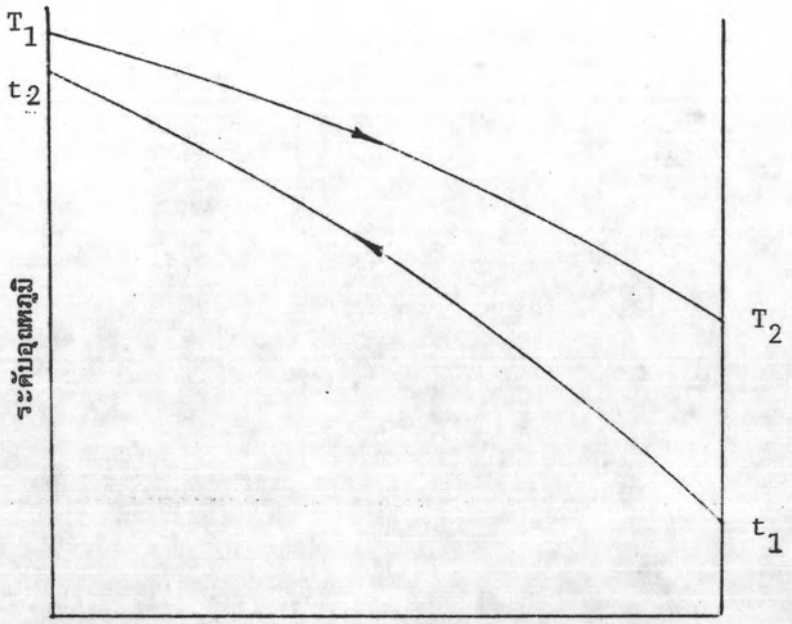
3.2.1 <u>แบบไหลขนาน</u> แบบนี้ของไหลร้อนกับของไหลเย็นจะไหลไปในทิศทางเดียวกันในขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกั้น อุณหภูมิของของไหลร้อนจะค่อย ๆ ลดลง ในขณะเดียวกันอุณหภูมิของของไหลเย็นจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ (11) ดังรูปที่ 3.2.1



รูปที่ 3.2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลตามระยะทางของการไหล

ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ของไหลที่ให้ความร้อนไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_1 และไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_2 หลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลเย็น ในขณะเดียวกันของไหลที่รับความร้อนจะไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ t_1 และไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ t_2 ซึ่งจะได้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล (T_1-t_1) ที่ทางเข้า มากกว่าผลต่าง (T_2-t_2) ที่ไหลออกมา

3.2.2 <u>แบบไหลสวนทาง</u> ลักษณะของการไหลแบบนี้ของไหลร้อนและของไหลเย็นจะมีทิศทางการไหลสวนทางกัน อุณหภูมิของของไหลร้อนจะค่อย ๆ ลดลงในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่อุณหภูมิของของไหลเย็นจะเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 3.2.2

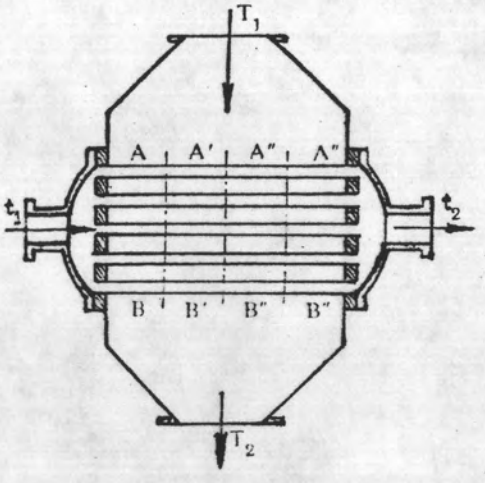


รูปที่ 3.2.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

จากรูปเมื่อพิจารณาจะพบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางของการไหลสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีการไหลแบบไหลสวนทางกัน ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลที่ปลายด้านอุณหภูมิสูง (T_1-t_2) จะน้อยกว่าผลต่างที่ปลายทางด้านอุณหภูมิต่ำ (T_2-t_1) เพียงเล็กน้อย

ในกรณีที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam) ไปเพิ่มความร้อนให้กับของไหลชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิของของไหลที่ให้ความร้อนจะมีค่าคงที่ จะไม่ขึ้นกับระยะทางของการไหล ในทำนองเดียวกันถ้าใช้ของไหลเดือดระบายความร้อนจากของไหลชนิดอื่น อุณหภูมิของของไหลที่รับความร้อนจะคงที่ และเป็นเส้นตรงในแนวระดับเมื่อเราเขียนเป็นกราฟของอุณหภูมิกับระยะทางของการไหล

3.2.3 <u>แบบไหลตั้งฉาก</u> ลักษณะการไหลแบบนี้ถ้าพิจารณาตามรูปที่ 3.2.3 จะพบว่า การถ่ายเทความร้อนที่จุด A จะเกิดขึ้นระหว่างของไหลร้อนที่อุณหภูมิทางเข้า T_1 และของไหลเย็นที่อุณหภูมิทางเข้า t_1 เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่จุด A อุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A' จะสูงกว่าที่จุด A ด้วยปริมาณ dt แม้ว่าอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด B จะเป็น t_1 เท่ากับที่จุด A แต่อุณหภูมิของของไหลร้อนที่จุด B จะต่ำกว่าที่จุด A ด้วยปริมาณ dT สรุปแล้วอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A กับจุด B ย่อมไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนอย่างละเอียดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก จึงสลับซับซ้อนกว่าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางหรือแบบไหลขนานกัน



รูปที่ 3.2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก

3.3 หลักการระบายความร้อนและหอระบายความร้อนชนิดต่าง ๆ

น้ำเป็นของไหลที่สามารถนำไปใช้ในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของอุปกรณ์นั้น ๆ ไม่ให้สูงไปและสามารถทำงานได้เป็นปกติ เราจะสังเกตเห็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนอยู่ทั่วไป แม้กระทั่งในหม้อน้ำรถยนต์ของเราเอง การระบายความร้อนด้วยน้ำมีหลักการง่าย ๆ คือ การนำน้ำที่อุณหภูมิต่ำ ผ่านเข้าไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นน้ำก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและช่วยรับเอาความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นออกมา ปกติถ้าเราสามารถหาแหล่งน้ำที่มีปริมาณมากพอ เราก็จะสามารถสูบน้ำจากแหล่งน้ำนั้นมาผ่านตัวอุปกรณ์ระบายความร้อน และทิ้งไปได้เลย แต่สำหรับการระบายความร้อนที่มีปริมาณความร้อนสูง ๆ เราจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมาก ซึ่งการที่เราจะสูบน้ำมาระบายความร้อนและทิ้งไปเลย นับว่าเป็นการสิ้นเปลืองและเป็นการใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำอย่างไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง นอกจากนี้ปัญหาในการหาแหล่งน้ำดังกล่าวก็ไม่ใช่สิ่งที่จะหาได้อย่างง่าย ๆ ดังนั้นจึงมีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่จะช่วยในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านตัวระบายความร้อนมาแล้วนี้ให้มีอุณหภูมิต่ำลงมากเพียงพอที่จะสามารถหมุนเวียนนำกลับไประบายความร้อนได้อีกครั้งหนึ่ง อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ก็คือ หอระบายความร้อนนั่นเอง ซึ่งสามารถทำให้เราใช้น้ำในการระบายความร้อนหมุนเวียนได้โดยมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปน้อยมาก จึงนับว่าเป็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

การใช้หอระบายความร้อนช่วยในการระบายความร้อน เป็นขบวนการที่ทำให้ความร้อนที่มีอยู่ในน้ำระบายออกสู่อากาศโดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (evaporation) โดยมีการสูญเสียน้ำไปส่วนหนึ่ง แต่น้ำส่วนใหญ่ยังคงนำกลับมาใช้ได้อีก โดยปกติเราสามารถจะนำเอาหอระบายความร้อนไปใช้ในการระบายความร้อนของน้ำในการหล่อเย็นกับอุปกรณ์ใด ๆ ก็ได้ เช่น การระบายความร้อนให้กับน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ และแม้กระทั่งการหล่อเย็นอุปกรณ์ในขบวนการผลิตหรือน้ำเย็นที่ใช้หล่อเลี้ยงโรงไฟฟ้า แต่ส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ในการระบายความร้อนให้กับระบบปรับอากาศ (water cooled air conditioning system) ซึ่งนับว่าเป็นการใช้งานที่แพร่หลายมากที่สุด จากสิ่งดังกล่าวที่ผ่านมาทำให้เราจำเป็นต้องทราบทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเลือกหรือวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของหอระบายความร้อนได้อย่างเหมาะสม เช่น หลักการทำงานของหอระบาย

ความร้อนประเภทของหอระบายความร้อน และทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะของการระบายความร้อน

3.3.1 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน (13) การที่หอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้นั้น เราสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการง่าย ๆ คือ หอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ให้กระจายไปเป็นฝอยละอองเล็ก ๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (fill) ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันน้ำบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำแฝงในอากาศ เพราะอากาศเองยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัว น้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มมากได้อีก ซึ่งกระบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้จำเป็นจะต้องใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวจะดึงเอาความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลือ ซึ่งตามทฤษฎีสามารถคาดคะเนได้ว่า การระเหยตัวของน้ำปริมาณเพียง 1 เปอร์เซนต์ สามารถจะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่เหลืออีก 99 เปอร์เซนต์ ได้ถึงประมาณ 6 องศาเซลเซียส ดังนั้นหอระบายความร้อนจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่บรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

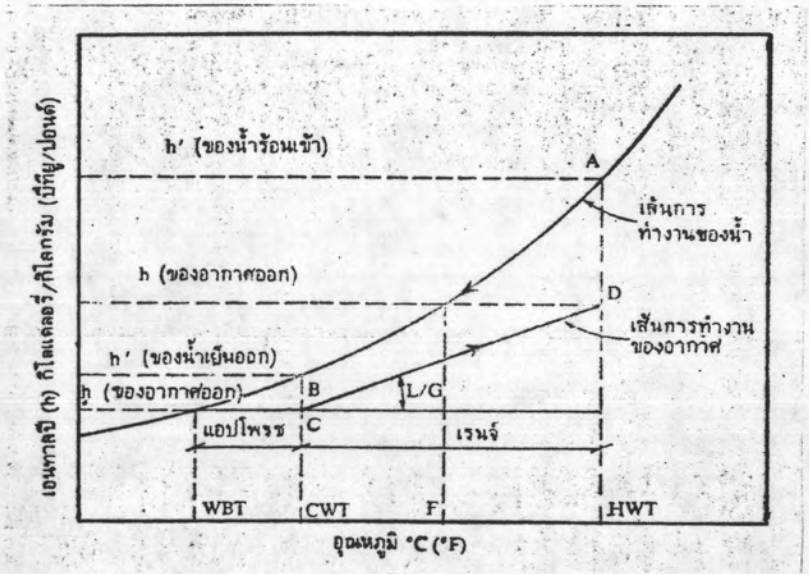
ปัจจัยที่จะช่วยในการเร่งขบวนการลดอุณหภูมิของหอระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีดังนี้

ก) การแตกตัวเป็นฝอยของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

ข) การเพิ่มเนื้อที่ในการถ่ายเทความร้อน (wetted surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น

ค) การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณของอากาศ

เราสามารถอธิบายขบวนการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่อากาศได้โดยอาศัยการพล็อตลงบนแผ่น Psychrometric และอาศัยกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังรูปที่ 3.3.1

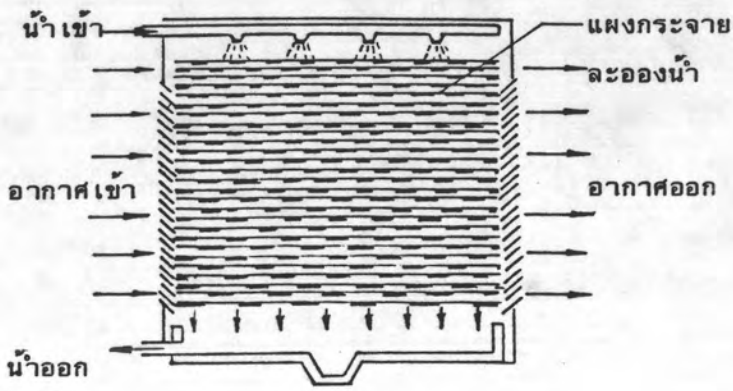


รูปที่ 3.3.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศ
ที่ผ่านหอระบายความร้อนโดยไดอะแกรม
Psychrometric chart

พิจารณาจากรูป จะเห็นว่าเป็นการแสดงสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อน และความชื้นระหว่างน้ำกับอากาศ โดยที่น้ำร้อนจะเข้าสู่หอระบายความร้อนที่จุด A และถูกลดอุณหภูมิลงเนื่องจาก อากาศรับความร้อนและความชื้นไป รวมทั้งการที่มีน้ำส่วนหนึ่งระเหยตัว อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนจึงตกมาอยู่ที่จุด B ส่วนอากาศที่เข้าสู่หอระบายความร้อนที่จุด C และได้รับทั้งความร้อนกับความชื้นจากน้ำ จะมีการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้น (เพิ่มเอนทาลปี) จนไปอยู่ที่จุด D จากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ปริมาณความร้อนที่น้ำคายออกมาจะตีวงเท่ากับปริมาณความร้อนที่อากาศรับเข้าไป

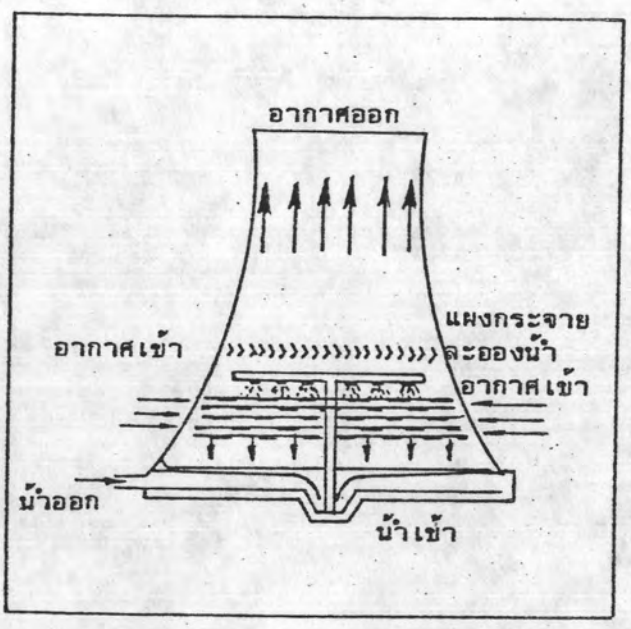
3.3.2 <u>ประเภทของหอระบายความร้อน</u> เราสามารถจำแนกประเภทของหอระบายความร้อนได้หลายประเภท แต่ในที่นี้เราจะจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท ตามวิธีการทำให้อากาศเคลื่อนไหว นั่นคือ แบบใช้การเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ (natural draft) และแบบอาศัยพัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหว (mechanical)

ก) หอระบายความร้อนชนิดอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ หอระบายความร้อนประเภทนี้เป็นหอระบายความร้อนอย่างง่ายที่ใช้การสเปรย์น้ำลงมาจากข้างบนและตัวหอระบายความร้อนมีลักษณะเหมือนกับแผงโปร่งที่ให้อากาศสามารถพัดผ่านได้ โดยที่อากาศจะพัดผ่านในแนวนอน ผ่านแผงกระจายละอองน้ำ จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง สำหรับด้านยาวของหอระบายความร้อนจะอยู่ในทิศทางที่ลมพัดผ่าน ส่วนด้านกว้างของหอระบายความร้อนประเภทนี้จะไม่สามารถกว้างได้มากนัก เพื่อทำให้มีความเสียดทานต่อการเคลื่อนไหวของอากาศน้อยที่สุด การใช้หอระบายความร้อนประเภทนี้มีอยู่แต่ละเฉพาะในยุคต้น ๆ ของหอระบายความร้อน แต่ในปัจจุบันการใช้หอระบายความร้อนประเภทนี้ได้ลดลง เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างและระบบปั๊ม นอกจากนี้ยังมีเรื่องของทิศทาง และความเร็วของลมที่พัดผ่าน ซึ่งทำให้ยากแก่การควบคุมอุณหภูมิของน้ำ และยังต้องการสถานที่ตั้งที่เปิดโล่ง ดังนั้นหอระบายความร้อนประเภทนี้ถ้าจะมีใช้ก็เพียงแต่ระบบปรับอากาศขนาดเล็กเท่านั้น ดังรูปที่ 3.3.2



รูปที่ 3.3.2 หอระบายความร้อนชนิดระบายอากาศตามธรรมชาติ

สำหรับหอระบายความร้อนประเภทนี้ที่ยังมีใช้อยู่ในปัจจุบันก็จะเป็นประเภทที่เรียกว่า หอระบายความร้อนแบบไฮเปอร์โบลิค หรือแบบปล่องไฟ (hyperbolic or chimney) ดังรูปที่ 3.3.3



รูปที่ 3.3.3 หอระบายความร้อนแบบปล่องไฟ

หอระบายความร้อนประเภทนี้จะใช้หลักการในการเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ โดยอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านหอระบายความร้อน และเนื่องจากหอระบายความร้อนประเภทนี้อาศัยหลักของความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ จึงทำให้หอระบายความร้อนประเภทนี้มีความสูงมากกว่า 400 ฟุต และมีลักษณะเหมือนกับปล่องไฟที่ภายในกลวง ส่วนล่างสูงประมาณ 30 ฟุต หรือมากกว่านั้นซึ่งจะเป็นช่องให้อากาศเข้า และจะมีแผงกระจายละอองน้ำที่ทำการกระจายน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้เป็นละออง อากาศจะถูกดูดเข้ามา เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศที่ส่วนบนของหอระบายความร้อนกับส่วนล่าง กล่าวคือ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสูงจะลอยตัวขึ้นอยู่เบื้องบนของตัวหอระบายความร้อน ส่วนอากาศที่เย็นและแห้งกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ทางด้านล่างของหอระบายความร้อน โครงสร้างโดยทั่วไปทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

หอระบายความร้อนประเภทไฮเปอร์โบลิค สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในที่ที่อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ต่ำและมีความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ต่ำ นั่นหมายถึง อากาศในตอนหน้าหนาว ดังนั้นการใช้งานหอระบายความร้อนเช่นนี้จึงขึ้นกับสถานที่ตั้งและภูมิอากาศของสถานที่ใช้งานด้วย

ข้อดีของหอระบายความร้อนชนิดนี้ก็คือ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ เนื่องจากไม่ต้องอาศัยพัดลมในการช่วยดูดอากาศ จึงไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในการใช้กับพัดลม และนอกจากนั้นโอกาสที่อากาศที่รับความร้อนไปแล้วจะหวนกลับมาสู่เทาเวอร์อีกก็เป็นไปได้มากและหอระบายความร้อนชนิดนี้นิยมใช้กับโรงไฟฟ้า

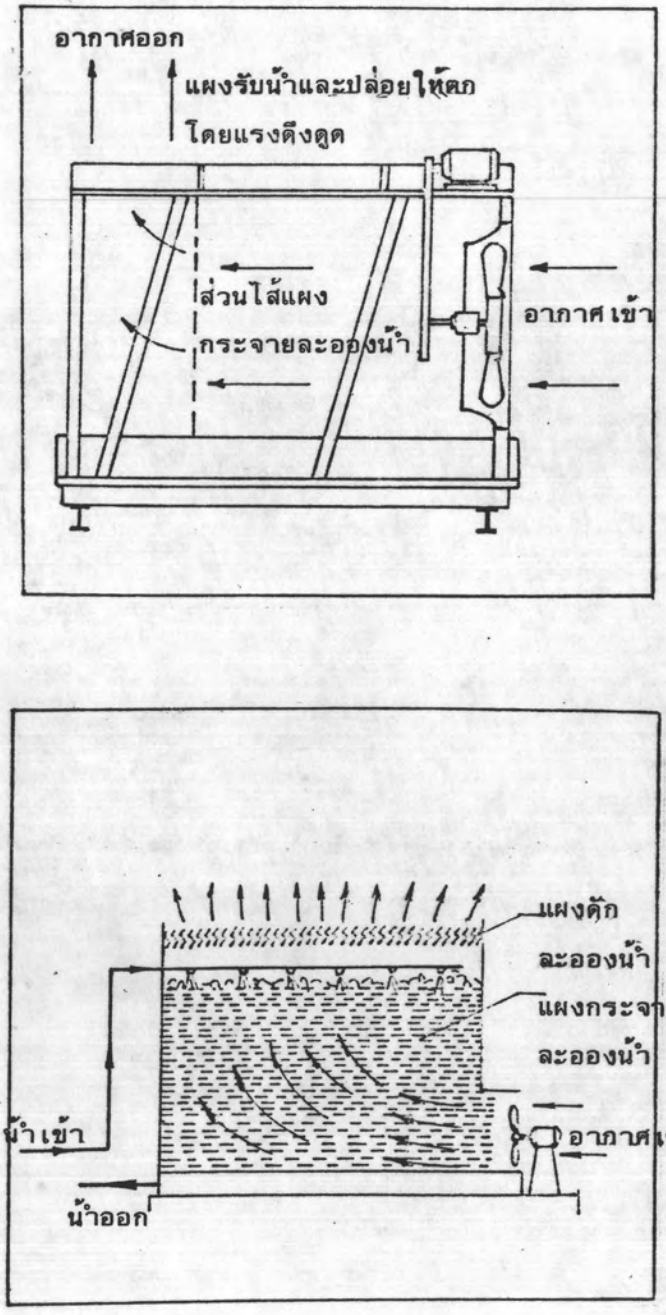
ข) หอระบายความร้อนชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกด (mechanical draft tower) หอระบายความร้อนชนิดนี้ต้องอาศัยพัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจายน้ำ ลักษณะของการที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง จึงทำให้เกิดขบวนการการถ่ายเทความร้อนได้ดีและสามารถควบคุมได้ง่าย ทำให้ลดขนาดของหอระบายความร้อนได้และช่วยประหยัดต้นทุนในการสร้างหอระบายความร้อนลงได้มาก

หอระบายความร้อนชนิดนี้ มักจะมีพัดลมมากกว่าหนึ่งตัวเพื่อช่วยในการควบคุมความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของกระเปาะเปียกที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงปีจะแตกต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้สำหรับการออกแบบ หรือมิฉะนั้นพัดลมก็อาจจะต้องใช้ชนิดที่มีหลายความเร็วหรือใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบของพัดลมก็ได้

เราสามารถแบ่งหอระบายความร้อนประเภทนี้ออกตามลักษณะของการนำอากาศเข้าสู่ตัวหอระบายความร้อนได้ 2 แบบด้วยกันคือ แบบเป่าเข้าไปในตัวหอระบายความร้อน (forced draft) และแบบดูดอากาศออกจากหอระบายความร้อน (induced draft) ซึ่งจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

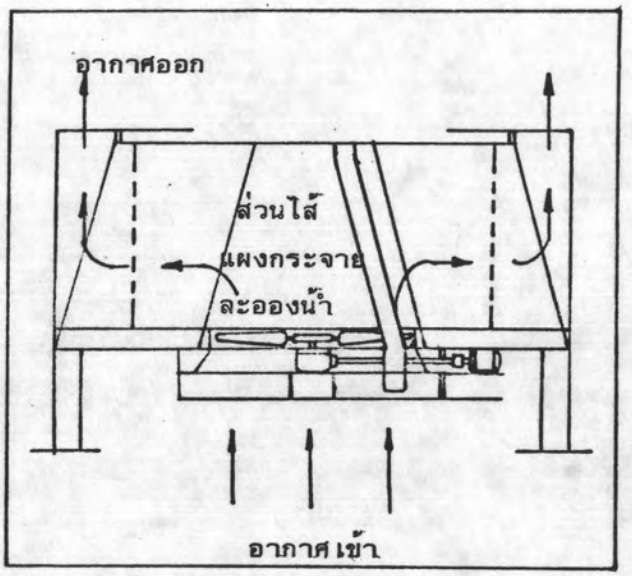
1) หอระบายความร้อนแบบเป่าอากาศเข้า ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้พัดลมที่ติดอยู่บริเวณทางเข้าของลม เป่าผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และทำให้อากาศสัมผัสกับหยดน้ำ

ผ่านแผงดักละอองน้ำ (drift eliminator) แล้วออกสู่บรรยากาศ ส่วนใหญ่แล้วตัวพัดลมมักจะอยู่ในแกนนอนและเป่าอากาศในแกนนอนเข้าไป แล้วออกสู่ส่วนบนของหอระบายความร้อน ดังรูปที่ 3.3.4



รูปที่ 3.3.4 หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศเข้าสวนทางกับน้ำ

หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศเข้าอีกชนิดหนึ่งที่ปรับปรุงการเคลื่อนไหวของอากาศให้ดีขึ้นคือ ชนิดที่เป่าอากาศจากข้างใต้ (under flow) ดังรูปที่ 3.3.5



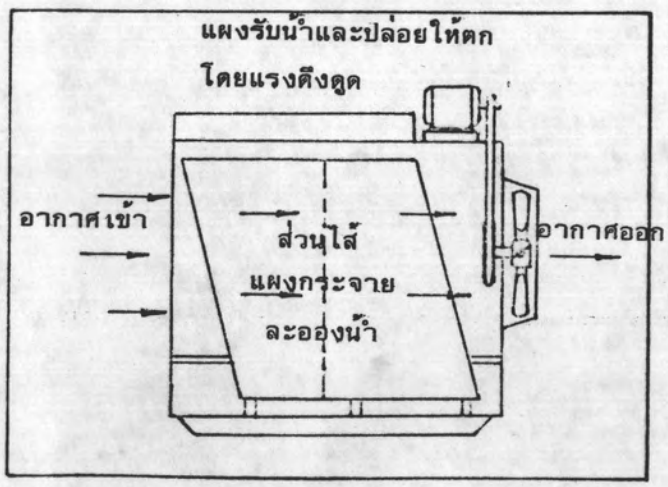
รูปที่ 3.3.5 หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศจากล่างขึ้นบน

อากาศจะถูกเป่าขึ้นที่ส่วนกลางของหอระบายความร้อนจากใต้ก้น อากาศจะผ่านไปโดยตรง จากส่วนล่างขึ้นสู่ส่วนบน และจะช่วยลดเสียงของหอระบายความร้อน เนื่องจากอากาศผ่านบริเวณด้านล่างโดยตรง บริเวณผิวโดยรอบของหอระบายความร้อนจึงไม่ต้องมีช่องลม (louver) อยู่ จึงทำให้หอระบายความร้อนประเภทนี้แลดูสวยงาม และสามารถติดตั้งให้เข้ากับรูปแบบสถาปัตยกรรมของอาคารได้ดี

ลักษณะการกระจายของอากาศจะไม่ดีนัก เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของอากาศและการเป่าอากาศเข้า จะทำให้อากาศเข้าสู่ตัวหอระบายความร้อนเป็นเฉพาะจุดมากกว่า อากาศที่ออกจากตัวหอระบายความร้อนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะทำให้อากาศที่ร้อนและชื้น หวนกลับเข้าสู่หอระบายความร้อนและลดประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนได้ แต่หอระบายความร้อนประเภทนี้มีข้อดีตรงที่เสียงจะเงียบกว่า

เนื่องจากเสียงจากต้นกำเนิดจะแพร่กระจายเข้าไปในตัวหอระบายความร้อน และต้องผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในหอระบายความร้อน กว่าจะออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ จึงทำให้เสียงถูกลดลงไปได้

2) หอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออกซึ่งเป็นหอระบายความร้อนประเภทที่ดูดลมออกจากหอระบายความร้อน โดยปกติแล้วพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศ จะติดอยู่บริเวณส่วนบนของตัวหอระบายความร้อน อากาศจะถูกดูดผ่านเข้าทางด้านข้าง และผ่านตะแกรงหรือแผงกระจายละอองน้ำในขณะที่น้ำที่มีอุณหภูมิสูงตกลงจากเบื้องบน หอระบายความร้อนประเภทนี้มีข้อดีอยู่ที่ว่าการกระจายของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอากาศถูกดูดเข้า อากาศจึงเข้าสู่หอระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.3.6

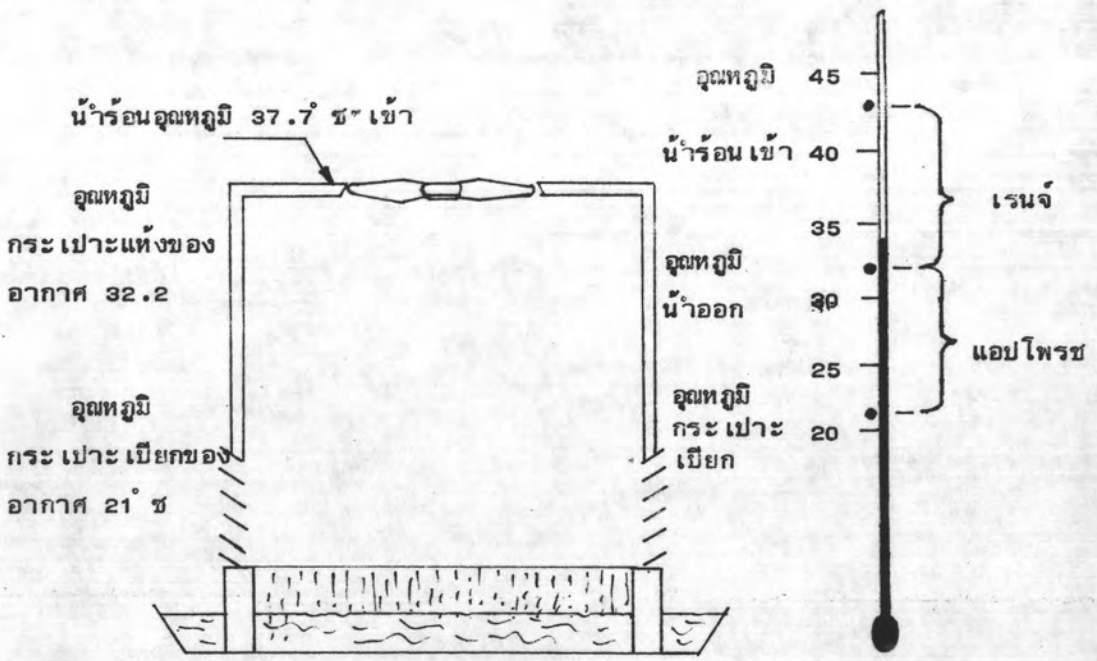


รูปที่ 3.3.6 รูปหอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออก

3.3.3 <u>ทฤษฎีการวิเคราะห์ลักษณะการระบายความร้อนของหอระบายความร้อน</u>

ในการวิเคราะห์ลักษณะของการระบายความร้อนนั้น ก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจความหมายของคำบางคำเสียก่อน เราทราบดีอยู่แล้วว่าหอระบายความร้อนสามารถทำการลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลงได้โดยความสามารถของอากาศรอบ ๆ ที่ดูดเอาความชื้นไป นั่นหมายความว่าหอระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศได้ ซึ่งสิ่งนี้จะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นอย่างมาก ตามทฤษฎีแล้วอุณหภูมิต่ำสุดที่เราสามารถทำได้มากน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนคือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่หอระบายความร้อนนั่นเอง หมายความว่าในกรณีเช่นนี้อากาศที่ออกจากหอระบายความร้อนจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้น้ำเย็นลงจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและช่วงอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าสู่หอระบายความร้อนเราเรียกว่า แอปโพรช (approach) โดยทั่ว ๆ ไปถ้าเรากำหนดสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่ และเราสามารถหมุนเวียนน้ำผ่านตัวหอระบายความร้อนได้มากเท่าใด อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนก็จะยิ่งเข้าใกล้กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของน้ำที่จะหมุนเวียนผ่านหอระบายความร้อนก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อการกระจายความร้อน ซึ่งจะถูกจำกัดด้วยเครื่องสูบน้ำ

ส่วนช่วงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนกับอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนเราเรียกว่า เรนจ์ (range) แต่ในการทำงานของหอระบายความร้อนนั้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการทำงานของหอระบายความร้อน ถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ผ่านเข้าหอระบายความร้อนยิ่งต่ำเท่าไร ก็ยิ่งทำให้หอระบายความร้อนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับค่าแอปโพรชและเรนจ์นั้นเราจะถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของหอระบายความร้อน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความหมายของแอปโพรชและเรนจ์ได้ดังรูปที่ 3.3.7



รูปที่ 3.3.7 ช่วงอุณหภูมิเรนจ์และแอปโพรช

นอกจากแอปโพรชและเรจน์แล้วยังมีศัพท์อีกตัวหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือ จำนวนตันของหอระบายความร้อน 1 ตันของหอระบายความร้อนจะเท่ากับอัตราการระบายความร้อน 3900 กิโลแคลลอรี่ต่อชั่วโมง หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า 1 ตันของหอระบายความร้อนเท่ากับอัตราการระบายความร้อนของน้ำ 13 ลิตรต่อนาที ให้มีอุณหภูมิลดลง 5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก 27 องศาเซลเซียส (13) หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ระเหยกลายเป็นไอจะต้องใช้ความร้อนประมาณ 600 กิโลแคลลอรี่ โดยจะมีน้ำระเหยกลายเป็นไอ 1 % และน้ำอีก 99 % จะถูกทำให้เย็นลง 6 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าจะหาความสามารถในการทำงานของหอระบายความร้อนจะได้ดังนี้

$$LOAD = W.\Delta T \qquad 3.3.1$$

ให้

LOAD = ความสามารถในการทำความเย็น (กิโลแคลลอรี่)

W = อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)

ΔT = เรนจ์หรือช่วงการทำความเย็น (องศาเซลเซียส)

แต่

1 ตันของหอระบายความร้อนเท่ากับ 3900 กิโลแคลลอรี่ต่อชั่วโมง

ดังนั้นหากจะหาความสามารถในการทำงานของหอระบายความร้อนในหน่วยของตันของหอระบายความร้อน ก็สามารถจะหาได้จากสมการดังนี้

$$LOAD = \frac{W.\Delta T}{3900} \qquad 3.3.2$$

แต่

1 ตันของหอระบายความร้อนเท่ากับ 3.517×10^{-3} เมกกะวัตต์

ดังนั้นหากจะหาความสามารถในการทำงานของหอระบายความร้อนในหน่วยของเมกกะวัตต์ ก็สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$LOAD = \frac{W.\Delta T(3.517\times10^{-3})}{3900} \qquad 3.3.3$$

จากสมการดังกล่าวนั้นยังไม่สามารถถือได้ว่าเป็นความสามารถที่แท้จริง ดังนั้นหากจะหาค่าความสามารถที่แท้จริงของการทำงานของหอระบายความร้อนจะทำได้โดยจะต้องหาค่าแฟคเตอร์แก้ค่าที่แท้จริง (correction factor) ซึ่งจะหาได้จากรูปที่ 3.3.8 และเมื่อหาค่าแฟคเตอร์แก้ค่าที่แท้จริงแล้วเราจะนำไปคูณกับค่าความสามารถในการทำงานของหอระบายความร้อนที่คำนวณได้ ก็จะได้ค่าความสามารถในการทำงานของหอระบายความร้อนที่แท้จริง