บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหอผึ่งน้ำ

2.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับหอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับเครื่องปรับอากาศและเครื่องจักร ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับหอผึ่งน้ำจำเป็นต้องทราบความหมายของคำศัพท์พื้นฐานต่างๆ ที่ใช้กันมากเกี่ยวกับหอผึ่งน้ำ

2.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – Bulb Temperature) คือ ค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป วัดเป็น $^{\circ}F$ หรือ $^{\circ}C$ และมีคำต่อท้ายอุณหภูมิที่วัด FDB หรือ CDB ตามลำดับ

2.1.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet – Bulb Temperature) คือ ค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปที่มีผ้าหรือสำลีชุบน้ำหุ้มกระเปาะอยู่ ค่าที่อ่านได้คืออุณหภูมิอากาศอิ่มตัวในบริเวณนั้น วัดเป็น $^{\circ}F$ หรือ $^{\circ}C$ และมีคำต่อท้ายอุณหภูมิที่วัด FWB หรือ CWB ตามลำดับ

2.1.3 Approach คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ออกหอผึ่งน้ำ กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

$$\textbf{Approach} = T_{\text{water out}} - T_{\text{Wet - Bulb}} \qquad (2.1)$$

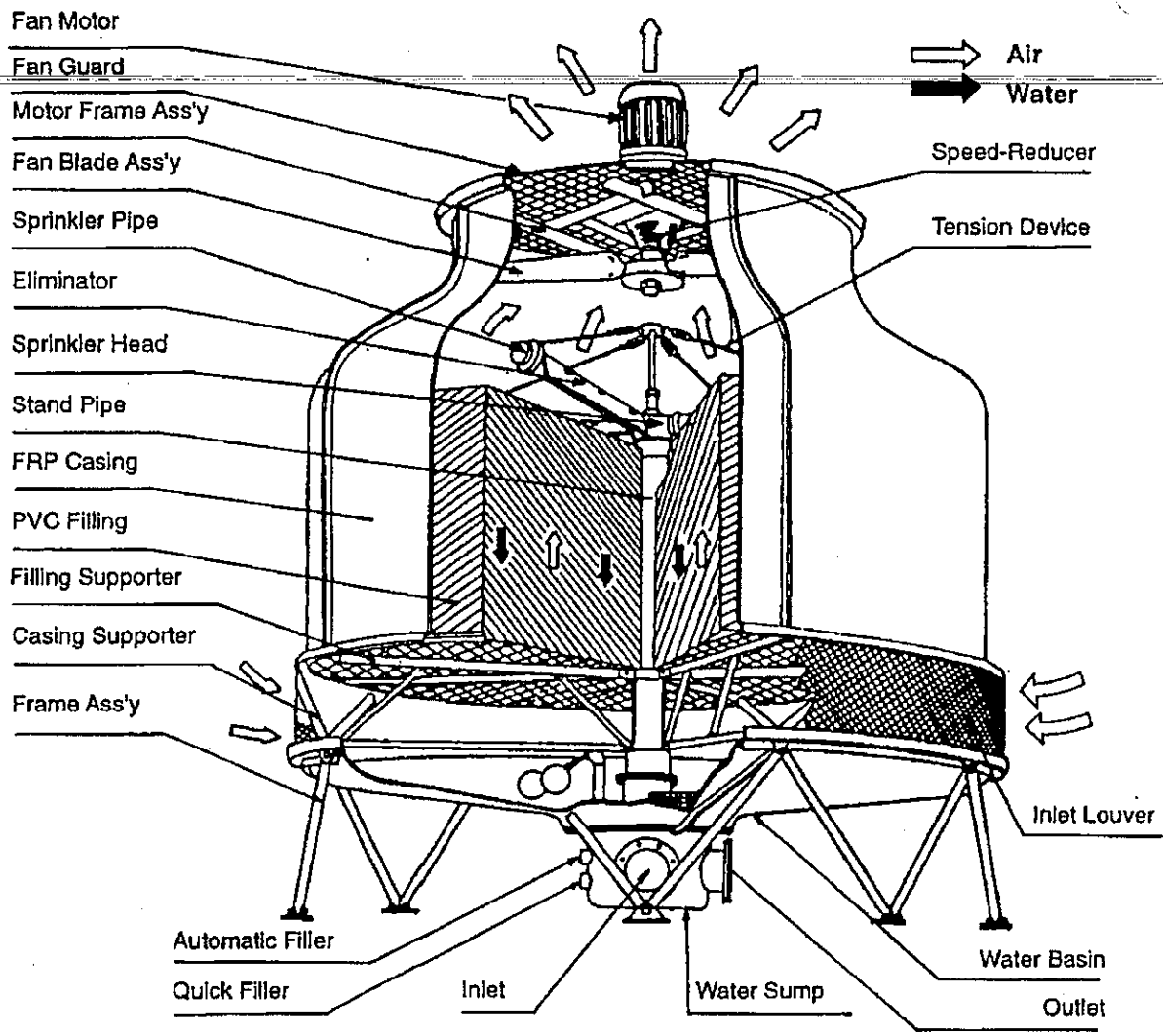
2.1.4 Range คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกหอผึ่งน้ำ

$$\textbf{Range} = T_{\text{water in}} - T_{\text{water out}} \qquad (2.2)$$

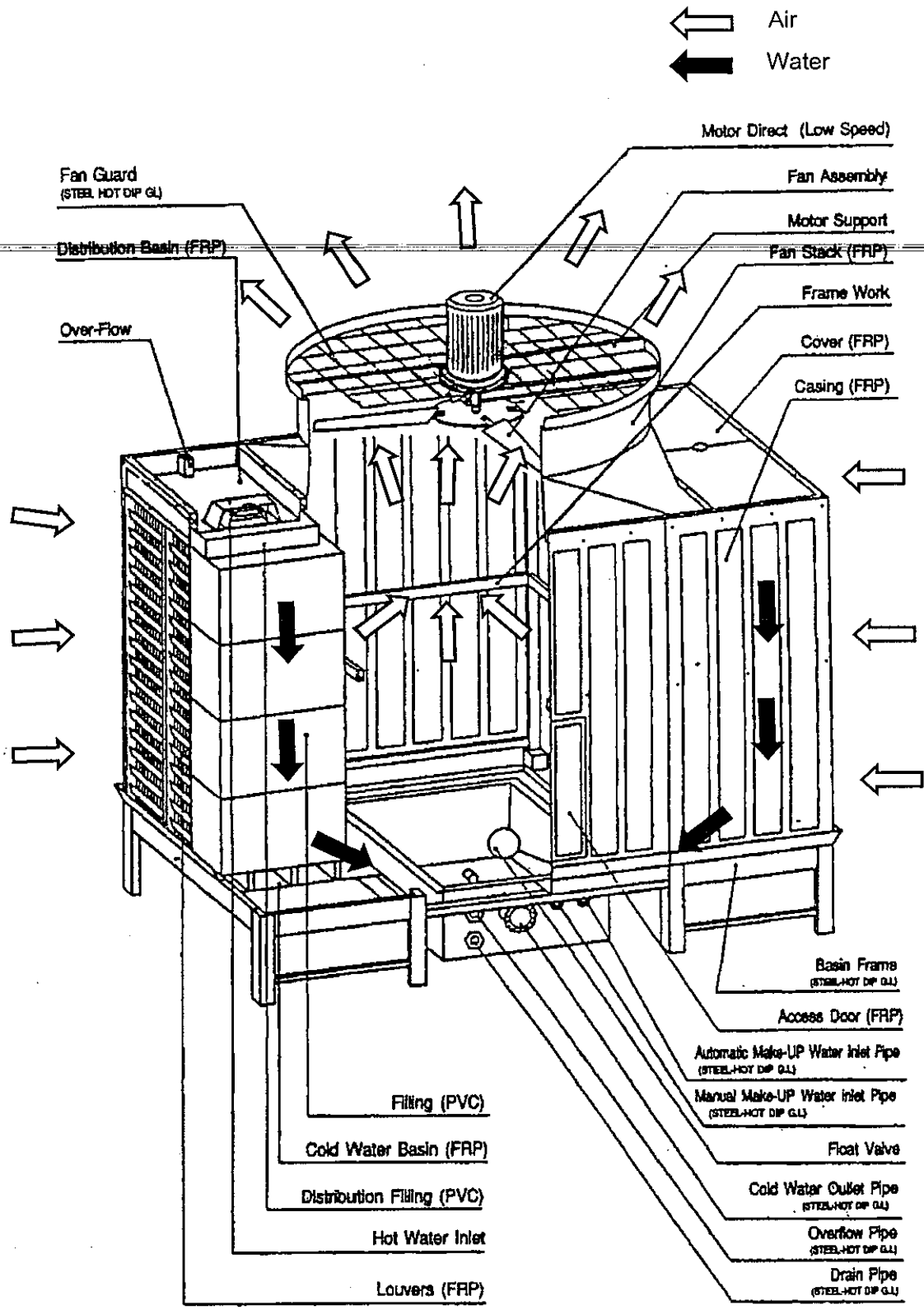
2.1.5 ตัน (Ton) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของหอผึ่งน้ำโดย 1 ตันทำความเย็นของหอผึ่งน้ำมีค่าเท่ากับ15,000 Btu. / hr. (15,825 kJ / hr.)

2.2 ส่วนประกอบภายในหอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำประกอบขึ้นจากอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น เคสซิ่ง อ่างรับน้ำ ขารับตัวถัง เป็นต้น ซึ่งแต่ละอุปกรณ์มีหน้าที่การทำงานที่ต่างกัน ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหน้าที่และภายในของส่วนประกอบหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Counter Flow และหอผึ่งน้ำชนิด Induced -Draft Counter Flow ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของหอผึ่งน้ำแบบ Induced Draft Counter Flow



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของหอผึ่งน้ำแบบ Induced Draft Cross Flow

2.2.1 เคสซิ่ง (Casing)

เป็นตัวถังส่วนบน ทำจากไฟเบอร์กล๊าส (Fiberglass Reinforced Polyester,FRP) ด้านนอกเป็นสีผสมเจลโค้ด ทำให้ผิวมีความเรียบเงา ซึ่งตัวกลาง (Media) ถูกติดตั้งอยู่ในส่วนเคสซิ่ง และการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่ตัวกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.2 อ่างรับน้ำ (Basin)

เป็นตัวถังส่วนล่างทำจากไฟเบอร์กล๊าส เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเก็บน้ำซึ่งผ่านการระบายความร้อนมาแล้วเพื่อนำกลับไปรับความร้อนใหม่ ที่เบซิ่นจะมีข้อต่อน้ำเข้า (Inlet) น้ำออก (Outlet) น้ำล้น (Overflow) และลูกลอยเติมน้ำ (Automatic Filler) ในส่วนของหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Cross Flow เบซิ่นจะไม่มีท่อน้ำเข้าเพราะน้ำเข้าจะเติมอยู่ส่วนบนของหอผึ่งน้ำที่อ่างกระจายน้ำ (Distribution Basin) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.3 ขารับตัวถัง (Tower Support)

มีทั้งส่วนที่เป็นไฟเบอร์กล๊าสหล่อติดกับส่วนของอ่างรับน้ำออกมาเป็นชิ้นเดียวกัน และส่วนที่ทำจากเหล็กอาบสังกะสี (Hot – Dip Galvanized Steel) เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อนและเป็นสนิม รวมไปถึงขารับฟิลลิ่ง (Filling Support) ขารับเคสซิ่ง (Casing Support) ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.4 โครงมอเตอร์พัดลม (Motor Frame)

ทำจากเหล็กอาบสังกะสี ติดตั้งอยู่บนขอบเคสซิ่ง เพื่อรองรับมอเตอร์พัดลม และต้องมีแผ่นยางรองรับการสั่นสะเทือนให้กับมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.5 ตะแกรงลม (Inlet Louver)

ทำจากวัสดุ พี.วี.ซี (Polyvinyl Chloride , PVC) มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้วัตถุ หรือสิ่งแปลกปลอมตกเข้าไปในถังรับน้ำ เพราะว่าวัตถุเหล่านี้จะทำให้เกิดการอุดตันและสร้างความเสียหายให้กับระบบได้ นอกจากนี้ยังช่วยกันไม่ให้น้ำกระเด็นออกจากอ่างรับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.6 มอเตอร์พัดลม (Fan Motor)

มอเตอร์ที่ใช้กับหอผึ่งน้ำเป็นแบบระบบกันน้ำ (Water Proof) ใช้กับระบบไฟฟ้าของอาคาร 220/380 V , 3 phase , 50 Hz ติดตั้งอยู่ส่วนบนสุดมี 2 แบบ ดังนี้

2.2.6.1 แบบขับตรง (Direct Drived) โดยการใช้มอเตอร์พิเศษรอบต่ำไปขับชุดใบพัดลม ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.6.2.2 แบบทดรอบ (Reducer Drived) มอเตอร์จะขับผ่านชุดทดรอบไปยังใบพัดลม มี 2 แบบคือ ทดรอบด้วยสายพาน (V – Belt Reducer) และทดรอบด้วยเฟือง (Gear Reducer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2.7 แผงดักละอองน้ำ (Eliminator)

แผงดักละอองน้ำจะมีอยู่ในเฉพาะหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Counter Flow ทำจากวัสดุ พี.วี.ซี. ชนิดแข็งสามารถลดการสูญเสียน้ำ (Drift Loss) ไม่ให้เกินกว่า 0.2 % ของอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเข้าหอผึ่งน้ำ ติดตั้งอยู่กับท่อกระจายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2.8 ชุดใบพัดลม (Fan)

เป็นแบบพัดตามแนวแกน (Axial Flow) ทำด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเบามีทั้งแบบที่ทำจากพลาสติกฉีดและแบบที่ทำจากอลูมิเนียมหล่อ สามารถปรับมุมของตัวใบพัดได้ ส่วนตัวดุมใบพัดทำด้วยอลูมิเนียมอัลลอยด์ นอกจากนี้ยังต้องมีต้องมีตะแกรงทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี (Fan Guard) ปิดอยู่ด้านบนเพื่อป้องกันสิ่งของที่จะตกลงไปกระทบกับใบพัดทำให้เกิดความเสียหายแก่ใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.9 ฟิลลิ่ง (Filling)

ทำจากวัสดุ พี.วี.ซี. ส่วนใหญ่มีสีเขียว ขึ้นรูปเป็นลักษณะแบบรังผึ้ง ทำเป็นชิ้นๆประกอบเข้ารูปตัวถัง สะดวกในการประกอบและถอดเปลี่ยน มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ ในกรณีที่อุณหภูมิน้ำสูงเกิน 50 $^{\circ}$C พี.วี.ซี.จะเสียรูป เราจะใช้ไม้ หรือ ไฟเบอร์กล๊าสแทน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

2.2.10 ชุดกระจายน้ำ (Sprinkler System)

2.2.10.1 ชุดกระจายน้ำของหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Counter Flow มี 2 ส่วนคือ

1.1 หัวกระจายน้ำ (Sprinkler Head) ติดตั้งอยู่บนท่อกลาง (Stand Pipe) มีหน้าที่ในการกระจายไปสู่ท่อกระจายน้ำ มี 2 แบบ คือ แบบพลาสติกและแบบอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

1.2 ท่อกระจายน้ำ (Sprinkler Pipe) ทำจากท่อ พี.วี.ซี. ติดอยู่กับหัวกระจายน้ำ ทั้งสองส่วนนี้ทำหน้าที่กระจายน้ำ และฉีดพ่นน้ำไปบนฟิลลิ่ง โดยด้านบนของท่อจะมีแผงดักละอองน้ำกันน้ำกระเด็นและติดตั้งอุปกรณ์ตั้งระดับ (Tension Device) เพื่อให้ท่อตั้งอยู่ในระดับที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

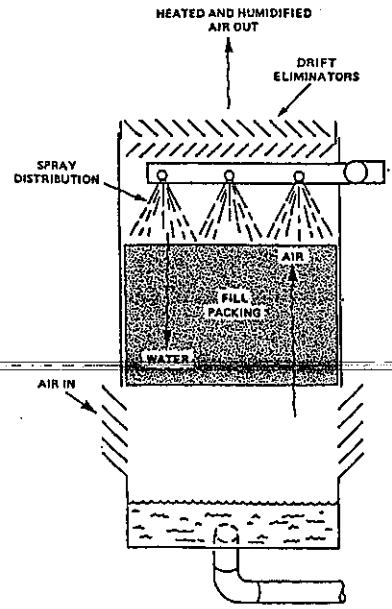
2.2.10.2 ชุดกระจายน้ำของหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Cross Flow เป็นอ่างกระจายน้ำ (Distribution Basin) อยู่ด้านบนของหอผึ่งน้ำทำการเจาะรูที่ด้านล่างอ่างและติดตั้งหัวกระจายน้ำ ในบางครั้งอาจมีการติดตั้งแผ่นคลุมอ่างกระจายน้ำ (Cover) เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกตกลงไปอุดตันหัวกระจายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.3 ชนิดของหอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำเป็นที่นิยมใช้โดยกว้างขวาง จึงมีผู้ผลิตหอผึ่งน้ำขึ้นหลากหลายเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งาน และสภาพภูมิอากาศดังนี้

2.3.1 ระบบน้ำ (Water Circulate System)

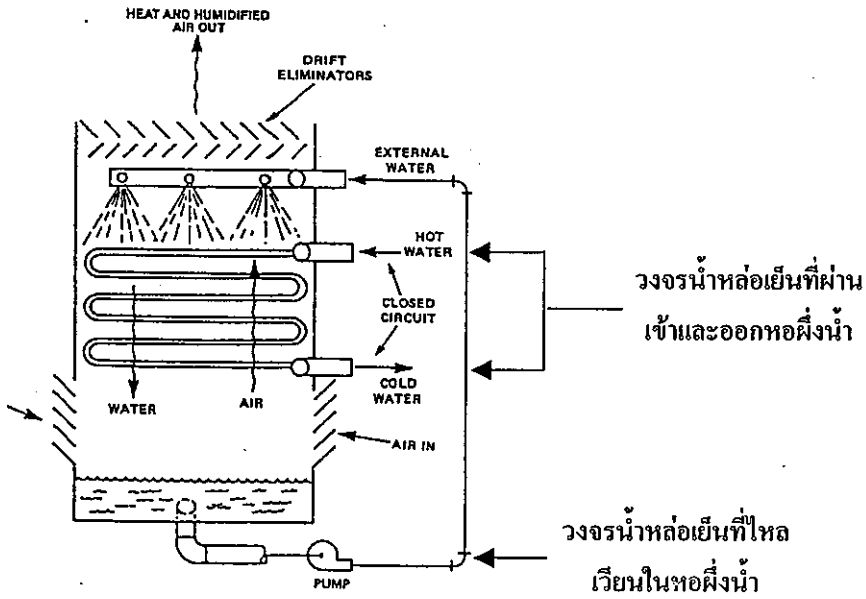
2.3.1.1 แบบระบบเปิด (Direct Contract System) ใช้ในระบบที่ไม่จำเป็นต้องควบคุมความสะอาดและความเป็นกรด – เบสของน้ำในระบบระบายความร้อน เช่น ระบบปรับอากาศในอาคาร เป็นต้น โดยน้ำที่ใช้ในระบบจะถูกพ่นเป็นละอองให้ผ่านหัวฉีดลงมาที่ฟิลลิ่งซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกลางให้น้ำกับอากาศสัมผัสกันมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หอผึ่งน้ำแบบระบบเปิด

2.3.1.2 ระบบปิด (Indirect Contract System) ใช้กับระบบที่ต้องควบคุมความสะอาดของน้ำ เช่น ระบบอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เป็นต้น โดยในระบบนี้แบ่งน้ำเป็น 2 วงจรคือ

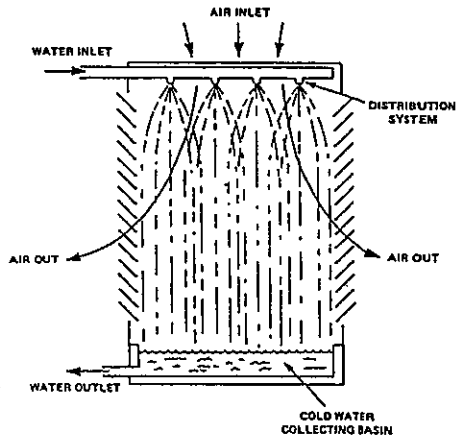
1. วงจรน้ำหล่อเย็นน้ำเพื่อระบายความร้อนในคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำความเย็น ซึ่งการทำงานเป็นแบบระบบปิด
2. วงจรน้ำหล่อเย็นที่ไหลเวียนอยู่ในหอผึ่งน้ำทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในวงจรที่ 1



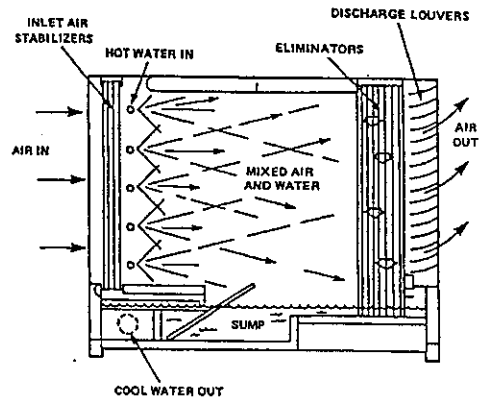
รูปที่ 2.4 หอผึ่งน้ำแบบระบบปิด

2.3.2 ระบบควบคุมลม (Air Control)

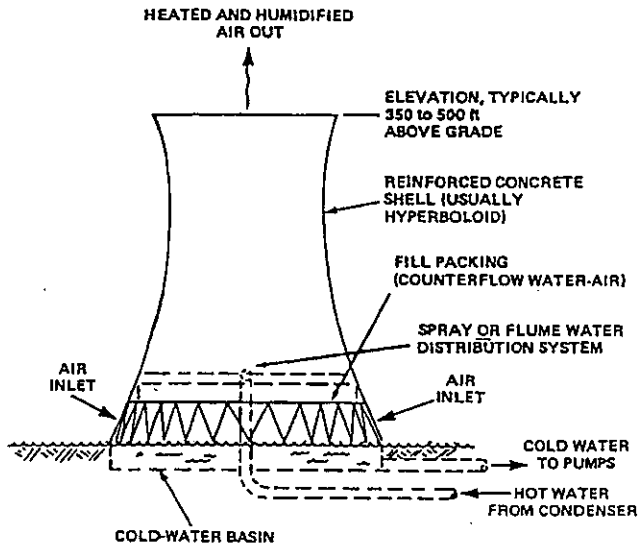
2.3.2.1 ระบบลมตามธรรมชาติ (Natural Draft Flow) ใช้ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศเป็นตัวควบคุมปริมาณลมเข้าและออกหอผึ่งน้ำ ในระบบนี้มีข้อจำกัดในการระบายความร้อน เพราะเราไม่สามารถควบคุมปริมาณลมที่เข้าและออกหอผึ่งน้ำได้ ต้องอาศัยกระแสลมเป็นหลักในการพาความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ก และรูปที่ 2.5 ข ส่วนในรูปที่ 2.5 ค มีโครงสร้างเป็นรูปไฮเปอร์โบลิกขนาดใหญ่เหมาะสำหรับการระบายความร้อนในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยความร้อนจะลอยขึ้นที่สูงและจะดึงเอาอากาศที่เย็นกว่าจากด้านนอกเข้ามาแทนที่



ก) ระบบลมธรรมชาติแบบแนวดิ่ง



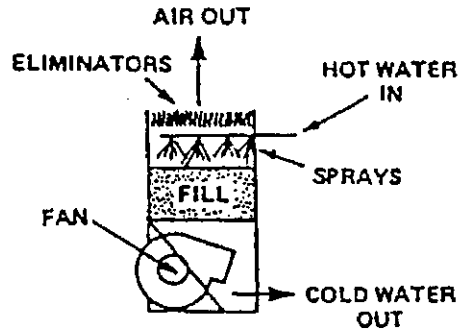
ข) ระบบลมธรรมชาติแบบแนวระดับ



ค) ระบบลมธรรมชาติทรงไฮเปอร์โบลิก

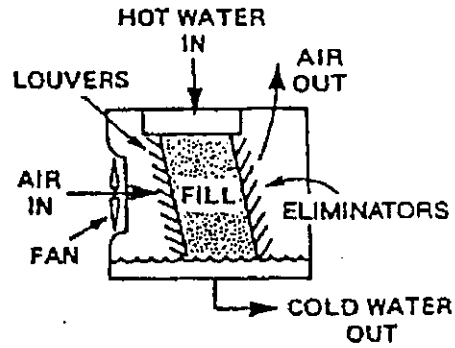
รูปที่ 2.5 หอผึ่งน้ำระบบควบคุมลมแบบลมธรรมชาติ

2.3.2.2 ระบบมอเตอร์พัดลม (Mechanical Draft Flow) เป็นระบบที่นิยมใช้ในประเทศไทย เพราะประเทศไทยมีสภาวะอากาศแบบร้อนชื้น จำเป็นต้องใช้ปริมาณลมมากในการระบายความร้อนระบบนี้สามารถควบคุมปริมาณลมได้ตามต้องการดังแสดงในรูปที่ 2.6



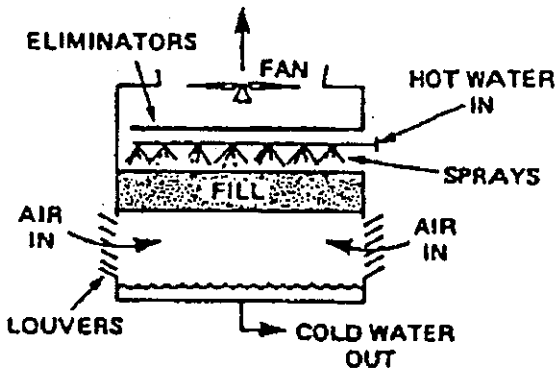
ก) แบบลมเป่าไหลส่วนทางกัน

(Forced Draft Counter Flow)



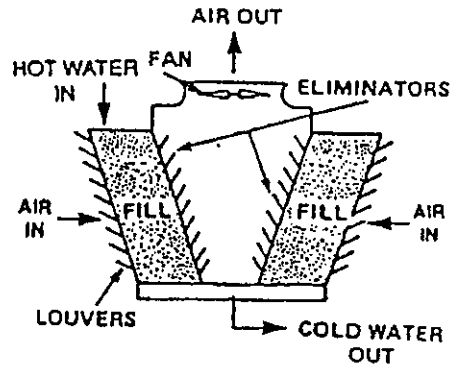
ข) แบบลมเป่าไหลตัดกัน

(Forced Draft Cross Flow)



ค) แบบลมดูดไหลส่วนทางกัน

(Reduced Draft Counter Flow)



ง) แบบลมดูดไหลตัดกัน

(Reduced Draft Cross Flow)

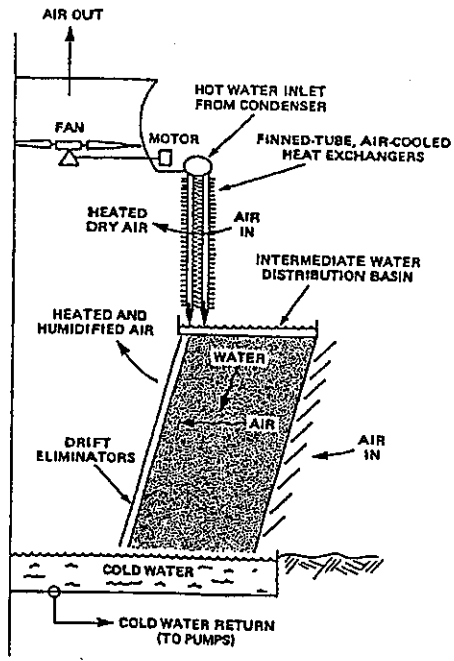
รูปที่ 2.6 หอผึ่งน้ำระบบควบคุมลมแบบมอเตอร์พัดลม

2.3.3 ทิศทางการไหลของลม (Direction Air Flow)

2.3.3.1 แบบไหลสวนทางกัน (Counter Flow) โดยควบคุมทิศทางการไหลของลมให้สวนทางกับทิศทางการไหลของน้ำหล่อเย็น และเกิดการพาความร้อน (Convection) โครงสร้างของหอผึ่งน้ำจะเป็นแบบทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ก และ 2.6 ค

2.3.3.2 แบบไหลตัดกัน (Cross Flow) โดยควบคุมทิศทางการไหลของลมให้ตัดกันกับทิศทางการไหลของน้ำหล่อเย็น และเกิดการพาความร้อน (Convection) โครงสร้างของหอผึ่งน้ำจะเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ข และ 2.6 ง

2.3.3.3 แบบผสม (Mix Flow) โดยการใช้ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศและระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบไหลตัดกันมาระบายความร้อนให้น้ำหล่อเย็น โครงสร้างของหอผึ่งน้ำจะเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.7



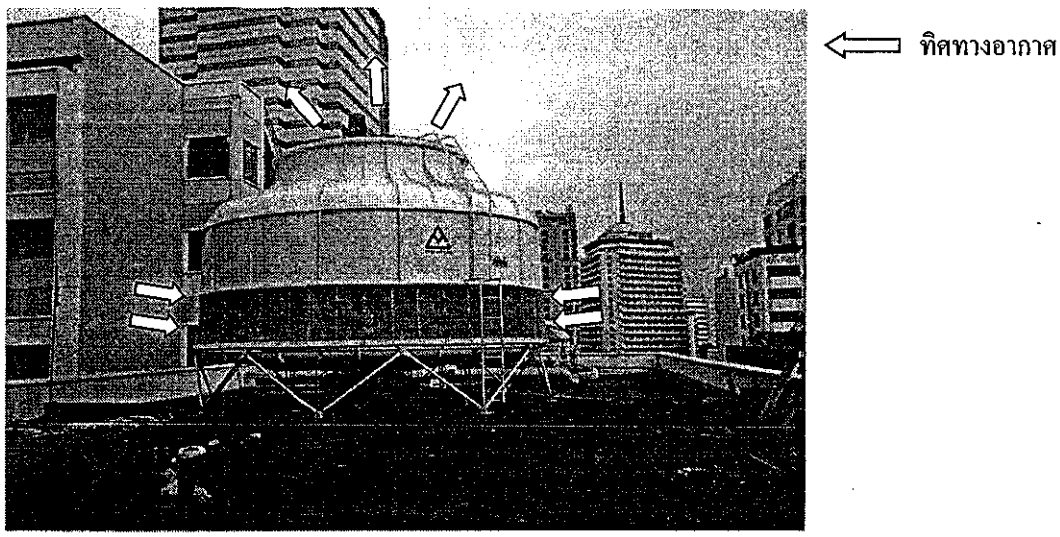
รูปที่ 2.7 หอผึ่งน้ำแบบผสม (Wet – Dry Tower)

2.4 หอผึ่งน้ำที่นิยมใช้ในประเทศไทย

สภาวะอากาศในประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกเฉลี่ยอยู่ที่ 27 °C หอผึ่งน้ำที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย คือหอผึ่งน้ำระบบควบคุมลมแบบมอเตอร์พัดลมมีปริมาณลมแน่นอน ประสิทธิภาพและการระบายความร้อนออกคงที่ จึงนิยมใช้อยู่ 2 ชนิดมีดังนี้

2.4.1 Induced Draft Counter Flow

มีลักษณะเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.8 มอเตอร์พัดลมถูกติดตั้งอยู่ด้านบนเคสซิ่งเพื่อมีหน้าที่ดูดลมเข้ามาทางด้านล่างของหอผึ่งน้ำผ่านทางตะแกรงลม อากาศจะไหลขึ้นด้านบนตามแรงดูดของพัดลม ส่วนชุดสปริงเกอร์ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายน้ำให้เป็นละออง จากนั้นน้ำจะตกลงในแนวดิ่งเคลือบที่ฟิลลิ่ง ฟิลลิ่งมีหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ด้านล่างจะเป็นอ่างรับน้ำ รองรับน้ำที่ตกลงมาจากฟิลลิ่ง ตัวอ่างรับน้ำด้านล่างสุดจะมีจุดเชื่อมต่อของท่อน้ำเข้า น้ำออก น้ำเติมและน้ำล้น

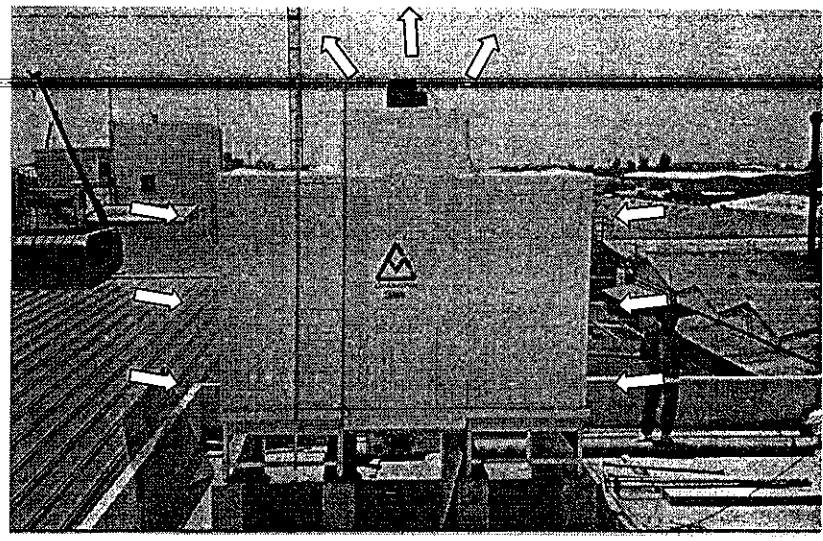


รูปที่ 2.8 Induced Draft Counter Flow

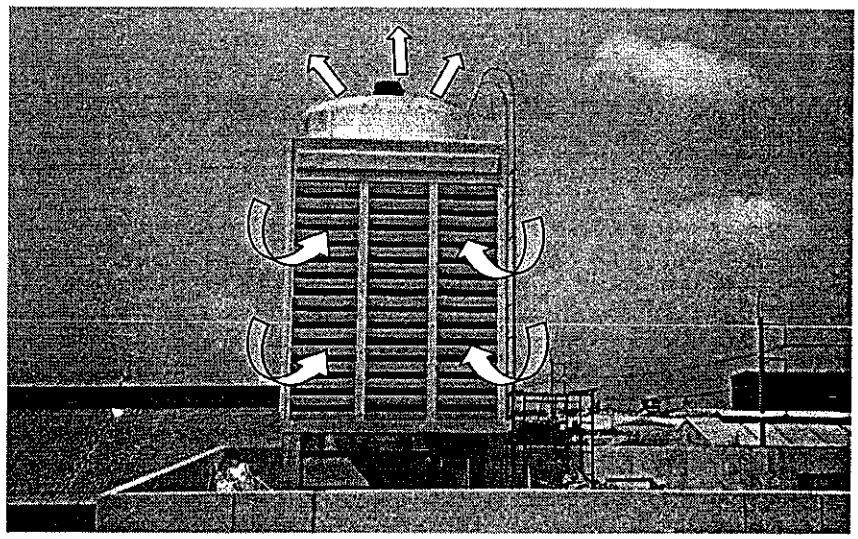
2.4.2 Induced Draft Cross Flow

มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 มอเตอร์พัดลมถูกติดตั้งอยู่ด้านบนเคสซิ่งมีหน้าที่ดูดลมเข้ามาทางด้านข้างของหอผึ่งน้ำผ่านทางตะแกรงลม อากาศจะไหลขึ้นด้านบนตามแรงดูดของพัดลม ส่วนท่อน้ำเข้าจะต่อเข้าที่อ่างกระจายน้ำด้านบนหอผึ่งน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกระจายน้ำให้เป็น

ละออง จากนั้นน้ำจะตกลงในแนวดิ่งเคลือบที่ฟิลลิ่ง ฟิลลิ่งมีหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ด้านล่างจะเป็นอ่างรับน้ำเพื่อรองรับน้ำที่ตกลงมาจากฟิลลิ่ง ตัวอ่างรับน้ำด้านล่างสุดจะมีจุดเชื่อมต่อของท่อน้ำออกและน้ำเติม



รูปที่ 2.9 Induced Draft Cross Flow (ด้านหน้า)



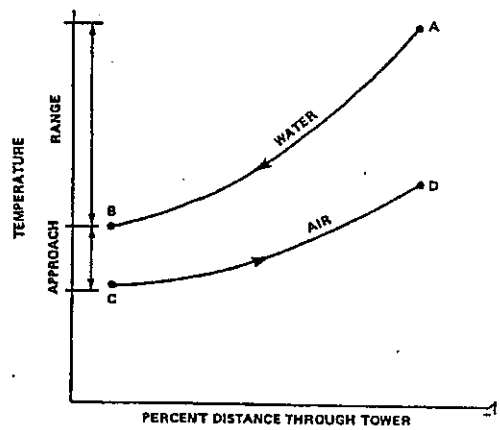
รูปที่ 2.10 Induced Draft Cross Flow (ด้านข้าง)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างหอผึ่งน้ำชนิด Induced Draft Counter Flow กับ Induced Draft Cross Flow

ข้อเปรียบเทียบ	Induced Draft Counter-Flow	Induced Draft Cross-Flow
1. ราคาของหอผึ่งน้ำ	มีราคาถูก	มีราคาแพง
2. พื้นที่ในการติดตั้งหอผึ่งน้ำ	เหมาะสำหรับพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า	เหมาะสำหรับพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. การดูแลรักษา	มีชิ้นส่วนในการดูแลรักษามาก เช่น หัวกระจายน้ำ ท่อกระจายน้ำ ท่อแกนกลาง ซึ่งมีการชำรุดบ่อย	มีชิ้นส่วนในการดูแลรักษาน้อย เพราะการดูแลรักษาอ่างกระจายน้ำน้อยกว่าชุดกระจายน้ำ
4. ลักษณะในการซ่อมบำรุง	จำเป็นต้องปิดเครื่องก่อนทำการซ่อม	สามารถเดินเครื่องและซ่อมเป็นเซลล์ในแต่ละยูนิตได้

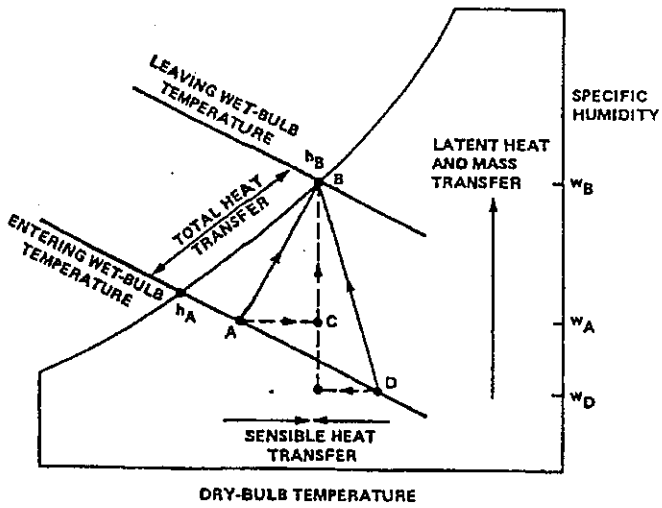
2.5 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนในหอผึ่งน้ำ

หลักการทำงานของหอผึ่งน้ำใช้หลักการส่งผ่านความร้อน (Heat Tranfer) ควบคู่ไปกับหลักการถ่ายเทมวล (Mass Tranfer) น้ำจะถูกทำให้กระจายเป็นละอองที่หัวฉีดหรือรางกระจายน้ำ (Splach Bar) จากนั้นน้ำจะตกลงมาเคลือบที่ฟิลลิ่งลักษณะคล้ายฟิล์ม ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศเป็นผลให้การถ่ายควมร้อนเพิ่มขึ้น การที่น้ำหล่อเย็นลดอุณหภูมิมาจากสองกรณีคือ การระเหยของน้ำบางส่วนและการพาความร้อนของอากาศไปจากน้ำที่ไม่ระเหย ซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้นดังแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ กับอุณหภูมิอากาศ

จากรูปที่ 2.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและออกหอผึ่งน้ำกับอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและออกหอผึ่งน้ำ ที่จุด C เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียกในบริเวณนั้น จากกราฟความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าและออก (A-B) เรียกว่า **Range** ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ทางออกกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (B-C) เรียกว่า **Approach** ซึ่งค่า Approach นั้นเป็นตัวแปรในการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้นจากรูปที่ 2.12 การแสดงความสัมพันธ์ของน้ำกับอากาศบนตาราง Psychrometric Chart ความร้อนส่วนมากที่ออกจากหอผึ่งน้ำสู่อากาศจะออกมาในรูปความร้อนแฝง (Latent Heat) ซึ่งตรงกับค่า Approach (ช่วง B - C)ในรูปที่ 2.12 สำหรับการเลือกขนาดหอผึ่งน้ำที่ตันทำความเย็นเท่ากันแต่บริเวณที่ติดตั้งมีค่า Approach ไม่เท่ากัน ขนาดของหอผึ่งน้ำที่ใช้งานก็มีขนาดต่างกันด้วย โดยหอผึ่งน้ำที่มีค่า Approach มากกว่า ขนาดของหอผึ่งน้ำจะมีขนาดเล็กกว่าในหอผึ่งน้ำ Approach น้อยกว่า สามารถดูการตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก. เพื่อให้เข้าใจยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.12 การแสดงความสัมพันธ์ของน้ำกับอากาศบนตาราง Psychrometric Chart

จากรูปที่ 2.12 เราสามารถหาการถ่ายเทความร้อนในหอผึ่งน้ำได้โดยคำนวณได้จาก " การสูญเสียความร้อนสัมผัสของน้ำมีค่าเท่ากับผลบวกของความร้อนสัมผัสที่อากาศพาไปจากน้ำบวกกับความร้อนแฝงของน้ำที่ระเหยไปในอากาศ " แสดงด้วยสมการ

$$Q_{Total} = Q_{Sensiblet} + Q_{Latent} \qquad (2.3)$$

โดยที่ Q_{Total} คือ การถ่ายเทความร้อนรวม , kJ

$Q_{Sensible}$ คือ การถ่ายเทความร้อนสัมผัส , kJ

Q_{Latent} คือ การถ่ายเทความร้อนแฝง , kJ

จากสมการที่ 2.3 สามารถทำการเปลี่ยนค่าได้เป็นสมการ

$$M_w C_V(t_{wi} - t_{wo}) = M_a(h_o - h_i) + M_e L \qquad (2.4)$$

โดยที่ M_w คือ มวลของน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำ , $kg_{ของน้ำ} / kg_{ของอากาศ}$

C_V คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.187 kJ / kg $^\circ$C

t_{wi} คือ อุณหภูมิของน้ำเข้าไปยังหอผึ่งน้ำ , $^\circ$C

t_{wo} คือ อุณหภูมิของน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ , $^\circ$C

M_e คือ มวลของน้ำที่ระเหย , $kg_{ของน้ำ} / kg_{ของอากาศ}$

L คือ ความร้อนแฝงของการระเหยที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง t_{wi} และ t_{wo} , kJ / kg สามารถหาภาคผนวก ข.

M_a คือ มวลของอากาศ , $kg_{ของอากาศ}$

h_o คือ เอนทาลปี้ของอากาศที่ออกจากหอผึ่งน้ำ , kJ / kg

h_i คือ เอนทาลปี้ของอากาศที่เข้าไปหอผึ่งน้ำ , kJ / kg

สามารถดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ก.

2.6 การคำนวณขนาดหอผึ่งน้ำ

สำหรับการคำนวณหาขนาดหอผึ่งน้ำเราได้นำสมการที่ 2.4 โดยนำพจน์ทางด้านซ้ายของสมการมาคำนวณ

$$Q = M_w C_V (t_{wi} - t_{wo}) = M\ C_V\ \Delta T \qquad (2.5)$$

โดยที่ Q คือ การถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำหล่อเย็น , kJ

M คือ มวลของน้ำ , $kg_{\text{ของน้ำ}}$

C_v คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ปริมาตรคงที่มีค่าเท่ากับ 4.187 kJ / kg $^{\circ}$C

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำ , $^{\circ}$C

จากสมการ (2.5) เราทำการปรับค่ามวลของน้ำ (M) ในหน่วยของกิโลกรัม (kg) เป็นอัตราการไหลในหน่วยของลิตรต่อนาที (LPM)

$$Q = LPM\ C_V\ \Delta T\ \frac{60\min}{hr}$$

$$Q = (LPM)\left[\frac{4.187kJ}{kg\cdot^{o}C}\right](\Delta T)\left[\frac{60\min}{hr}\right]$$

$$Q = 251\ LPM\ \Delta T \qquad (2.6)$$

เมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของหอผึ่งน้ำ 1 ตันทำความเย็น มีค่าเท่ากับ 15,825 kJ / hr. จะได้

$$TR = \frac{251\ LPM\ \Delta T}{15{,}825} \qquad (2.7)$$

$$TR = \frac{LPM\ \Delta T}{63} \qquad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาตันทำความเย็นของหอผึ่งน้ำ ส่วนการเลือกหอผึ่งน้ำให้ได้ความแม่นยำต้องคำนึงถึงการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำในบริเวณที่ติดตั้งจะต้องมีการคูณแฟกเตอร์ความจุความร้อนของหอผึ่งน้ำ (α_1) เพื่อปรับแก้อัตราระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำออกสู่อากาศ โดยค่าแฟกเตอร์ความจุความร้อนของหอผึ่งน้ำจะขึ้นอยู่กับตัวค่า Wet-Bulb และ Approach ซึ่งเป็น

ค่าเฉพาะของแต่ละสถานที่ติดตั้งและหอผึ่งน้ำตามลำดับ ดังนั้นอัตราการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำในแต่ละสถานที่ติดตั้งจึงไม่เท่ากัน โดยหอผึ่งน้ำที่มีค่า Approach น้อยอัตราการระบายความร้อนออกสู่อากาศจะลดลงตามไปด้วยจึงจำเป็นต้องขยายขนาดหอผึ่งน้ำให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถระบายความร้อนออกได้ดีขึ้น ในทำนองเดียวกันหอผึ่งน้ำที่มีค่า Approach สูงอัตราการระบายความร้อนออกสู่อากาศจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพื่อประหยัดต้นทุนเราสามารถลดขนาดของหอผึ่งน้ำให้เล็กลงได้ โดยแฟกเตอร์ความจุความร้อนของหอผึ่งน้ำเป็นตัวคูณปรับแก้ขนาดหอผึ่งน้ำในสามการที่ 2.8 ให้เหมาะสมกับการระบายความร้อนในแต่ละสถานที่

$$TR = \frac{LPM\ \Delta T}{63}(\alpha_1) \qquad (2.9)$$

โดยที่ TR คือ จำนวนตันทำความเย็นของหอผึ่งน้ำ , Ton of Refrigeration

LPM คือ อัตราการไหลของน้ำที่หมุนเวียนในระบบระบายความร้อน ลิตรต่อนาที

ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า (C°) และอุณหภูมิน้ำออก (C°) ที่หอผึ่งน้ำ

α_1 คือ แฟกเตอร์ความจุความร้อนในหอผึ่งน้ำโดยสามารถหาได้จากรูปที่ 2.13 สามารถดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ก.

จากตัวแปรในสมการที่ 2.9 เราสามารถพิจารณาหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

อัตราการไหลของน้ำ (LPM) สามารถหาได้จาก Specification ของ เครื่องทำความเย็นหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า (C°) และอุณหภูมิน้ำออก (C°) ที่หอผึ่งน้ำ (ΔT) เป็นค่าที่หอผึ่งน้ำสามารถลดอุณหภูมิได้ โดยทั่วไปอยู่ที่ 5.6 –11.2 $^{\circ}$C แต่ในการออกแบบพื้นฐานค่า ΔT จะอยู่ที่ 5.6 $^{\circ}$C หรือ ประมาณ 10 $^{\circ}$F

แฟคเตอร์ความจุความร้อนในหอผึ่งน้ำ (α_1) สามารถหาได้จากรูปที่ 2.1 ซึ่งค่าแฟคเตอร์ความจุความร้อนในหอผึ่งน้ำมีขั้นตอนการหาดังนี้

1. หาจุดตัดระหว่างเส้น Wet – Bulb กับเส้น Range ได้จุดตัดที่ 1
2. ลากเส้นตรงจากจุดตัดที่ 1 ลงมาในแนวดิ่งตัดกับเส้น Approach ได้จุดตัดที่ 2
3. ลากเส้นตรงจากจุดตัดที่ 2 ไปในแนวระดับไปตัดกับเส้น Range ได้จุดตัดที่ 3
4. ทำการอ่านค่าแฟกเตอร์ความจุความร้อนในหอผึ่งน้ำจากจุดตัดที่ 3

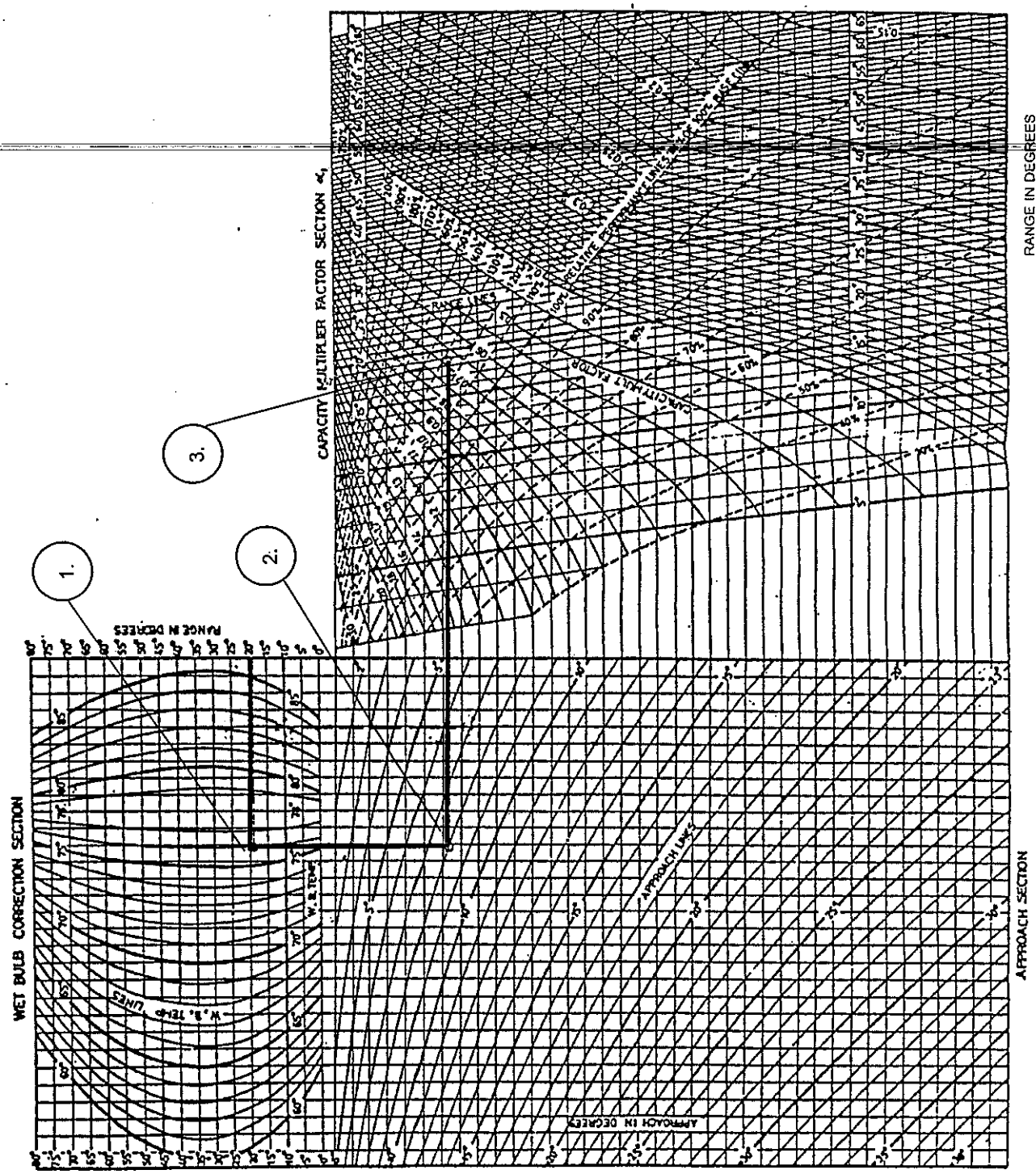
2.7 ประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำ

ประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำแสดงด้วยอัตราส่วนของช่วงอุณหภูมิน้ำที่ผ่านอากาศและถูกทำให้เย็นลง ถ้าน้ำเย็นลงจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศปกติ โดยแสดงด้วยสูตร

$$E = \frac{t_{wi} - t_{wo}}{t_{wi} - t} \times 100 \qquad (2.10)$$

โดยที่ t คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศปกติ

สามารถดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ก.



รูปที่ 2.13 แสดงกราฟแฟกเตอร์ความชุดความร้อนในหอผึ่งน้ำ