ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับคูลลิ่งทาวเวอร์ (Basic Understanding about Cooling Towers)

รศ.ดร.วันชัย อัศวภูษิตกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

การระบายความร้อนออกจากเครื่องปรับอากาศ เครื่องจักร หรือขบวนการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ และเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิคส์ เพราะหากไม่มีการระบายความร้อนนี้ออกจากระบบ ขบวนการทำงานนั้นก็ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หรือหากการระบายความร้อนไม่เหมาะสมความสามารถในการทำงานของระบบนั้นก็จะไม่ได้ตามที่ต้องการ เปรียบได้กับการทำงานของระบบในร่างกายของคนเราที่ต้องมีการระบายความร้อนออกจากร่างกาย เพื่อให้อุณหภูมิของร่างกายคงที่ที่ 37°C หากอุณหภูมิของอากาศรอบตัวสูงหรือต่ำไป เราจะรู้สึกไม่ค่อยสบายตัว หรือหากร่างกายทำงานหนักใช้พลังงานมาก เช่นการออกกำลังกาย ระบบระบายความร้อนของร่างกายจะต้องเร่งขจัดความร้อนส่วนเกินนี้ออกไปสู่บรรยากาศโดยเร็วเพื่อให้ร่างกายสามารถดำรงอยู่ได้ โดยการผลิตเม็ดเหงื่อออกมาทั่วทั้งร่างกายเพื่อระบายความร้อนนี้ออกไปและมีเม็ดเหงื่อบางส่วนระเหยไปสู่บรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีลมพัดผ่านเข้ามา เราจะรู้สึกเย็นสบายสดชื่น การทำงานของเครื่องจักร หรือขบวนการผลิตก็เช่นเดียวกัน หากการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพ ระบบจะทำงานได้ดีและสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตหรือสมรรถนะการทำงานของระบบ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายความร้อนส่วนเกินออกจากระบบ เช่นคูลลิ่งทาวเวอร์จึงมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ

คำถามต่อไปคือเมื่อไรถึงจะต้องใช้คูลลิ่งทาวเวอร์ เป็นที่ทราบกันดีว่า การถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากบรรยากาศเป็นแหล่งรับความร้อนที่ระบายออกมาโดยอุณหภูมิต่ำสุดของบรรยากาศที่เป็นไปได้คืออุณหภูมิกระเปาะเปียก นั้นคือการที่เราจะเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดใด เราจะต้องเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ต้องการว่ามีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศ กรณีที่อุณหภูมิการทำงานของระบบต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศ เราจะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำความเย็นหรือตู้เย็น (Refrigeration or Refrigerator) หากอุณหภูมิการทำงานของระบบสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศก็สามารถใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการระบายความร้อนสู่บรรยากาศโดยตรง และของไหลที่ใช้ในการระบายความร้อนสามารถใช้ได้ทั้ง อากาศ หรือน้ำ หรือของไหลอื่นๆ โดยทั่วไปเรานิยมใช้น้ำเนื่องจากหาได้ง่าย มีความหนาแน่นกว่าอากาศเกือบ 800 เท่า มีความจุความร้อน (Specific Heat) สูงกว่าอากาศกว่า 4 เท่า และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายกว่าอากาศ จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่าทำไมอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงนิยมใช้น้ำเป็น Working Fluid คุณสมบัติของน้ำและอากาศ ดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

	Dry air	Water
Density 1 atm, 0°C (kg/m³)	1.29	1,000
Specific Heat (kJ/kg-K)	1.006	4.2
Heat of Vaporization (kJ/kg)	-	2501-2.4t

ดังนั้น วิธีการระบายความร้อนออกจากระบบจึงใช้น้ำไปรับความร้อนและส่งถ่ายต่อให้กับอากาศ โดยวิธีการลดอุณหภูมิของน้ำที่เร็วและสะดวกที่สุดคือการทำให้น้ำกระจายเป็นหยดน้ำเล็กๆ แล้วเอาอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าวิ่งผ่านเข้ามาซึ่งเหมือนกับหลักการการระบายความร้อนในร่างกายของคนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เนื่องจากการระบายความความร้อนโดยการระเหยตัวของน้ำไปกับอากาศ (Evaporation) มีความรวดเร็วและมีค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะสูงถึง 2,501 kJ/kg จึงเป็นขบวนการที่สำคัญต่อการระบายความร้อน อย่างไรก็ตาม อากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามภูมิประเทศและเวลา การระบายความร้อนจึงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ตัวที่เปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดคือ อุณหภูมิและปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ คุณสมบัติของอากาศสามารถดูได้จากแผนภูมิไซโครเมตริค (Psychrometry)

คำที่เกี่ยวกับการระบายความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ

ภาระความร้อน (heat load: $Q = m\ c\ \Delta T$) คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการระบายออก หน่วยที่ใช้คือ kW หรือ Btu/hr

ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกเรียกว่า **เรนจ์ (Range)** ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณความร้อนที่น้ำระบายออก โดยค่าเรนจ ที่สูงจะบ่งถึงปริมาณความร้อนที่สูง ที่อัตราการไหลหนึ่ง

ผลต่างของอุณหภูมิน้ำออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ เรียกว่า **แอ็พโพรช (Approach)** ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการถ่ายเทความร้อนในรูปของการระเหย (Evaporation) ค่าแอ็พโพรชต่ำแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ระบายความร้อนนั้นสามารถลดอุณหภูมิของน้ำเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศซึ่งเป็นค่าต่ำสุด ในทางปฏิบัติค่า แอ็พโพรชควรมากกว่า 4°C เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ขนาดของอุปกรณ์ (Capacity) ที่มีขนาดใหญ่เกินไป

ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ

อุณหภูมิน้ำไม่สามารถลดได้ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศประกอบด้วย การพาความร้อน (Convection) ระหว่างหยดน้ำและอากาศที่อยู่รอบๆ และการระเหย (Evaporative Cooling) ซึ่งเป็นการระบายความร้อนที่มีประสิทธิผลมากที่สุด

สมรรถนะการระบายความร้อนของอุปกรณ์จะเห็นได้ว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและการที่ทำให้อุณหภูมิน้ำเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียกมากที่สุด วิธีที่นิยมกันก็คือการเพิ่มพื้นที่สัมผัส และใช้พัดลมช่วยในการควบคุมปริมาณและทิศทางของอากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายภาระความร้อนไปสู่บรรยากาศคือ สภาพของอากาศในขณะนั้นซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้ ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่าสภาพอากาศของประเทศไทยมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยอยู่ที่ 27°C อุณหภูมิกระเปาะเปียกเฉลี่ยที่ 25°C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงถึง 71% หรือมีสภาพอากาศร้อนชื้น อย่างไรก็ตาม การกำหนดสภาพการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้จุดสูงสุดและมีความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดขึ้นเพื่อให้การทำงานของระบบสามารถทำงานได้ตลอดทั้งปี

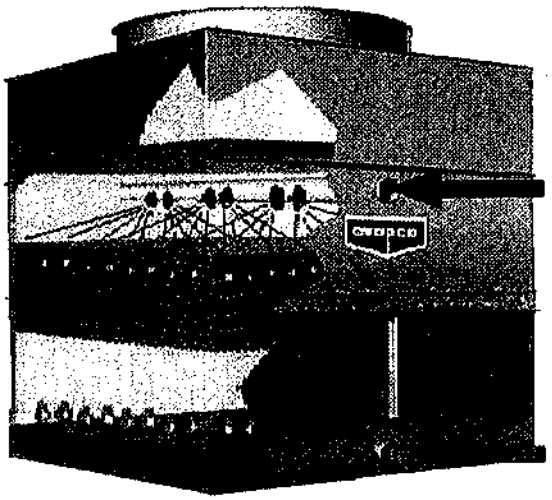
Spray Pond

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการทำงานคล้ายกับคูลลิ่งทาวเวอร์ เช่น Spray Pond (รูปที่ 1) ซึ่งมีหลักการทำงานง่ายๆคือ ฉีดน้ำเป็นละอองเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ปล่อยให้น้ำตกลงในบ่อและนำน้ำกลับไปใช้หมุนเวียนต่อ เนื่องจากการทำงานเป็นแบบระบบเปิดไม่สามารถควบคุมปริมาณและทิศทางของอากาศได้ สมรรถนะการทำงานจึงเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม จากการเปรียบเทียบการทำงานกับคูลลิ่งทาวเวอร์ที่ขนาดการระบายความร้อนเท่ากันพบว่าสมรรถนะการระบายความร้อนด้วยคูลลิ่งทาวเวอร์สูงกว่า สามารถทำอุณหภูมิน้ำออกได้ตามที่ต้องการง่ายกว่า โดยเฉพาะในสภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย ข้อได้เปรียบอื่นประกอบด้วย พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า 10 เท่า ทำให้มีโครงสร้างที่เล็กมีความยุ่งยากน้อยกว่า การเดินระบบท่อน้ำในพื้นที่ที่กำหนด (Enclosed Space) ทำให้ปัญหาในเรื่องการอุดตันของท่อและความเสียหายน้อยกว่า มีพัดลมช่วยในการระบายความร้อนจึงสามารถใช้ความดันที่หัวฉีดน้อยกว่า สามารถป้องกันฝุ่นละอองจากภายนอกเข้ามาในระบบและลดการสูญเสียน้ำจากการกระเด็นของละอองน้ำ ในแง่ของค่าใช้จ่ายในการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์ ดูเหมือนว่ามีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าสเปรย์พอนด์เนื่องจากต้องติดตั้งพัดลมเพิ่ม แต่หากคิดค่าใช้รวมจะพบว่าถูกกว่าเนื่องจากสามารถลดขนาดของปั๊มน้ำของหัวฉีด และความสูญเสียน้ำจากการกระเด็นของละอองน้ำลงได้

รูปที่ 1 ระบบระบายความร้อนแบบ Spray Pond

คูลลิ่งทาวเวอร์ (Cooling Towers)

คูลลิ่งทาวเวอร์ (รูปที่ 2) มีหลักการทำงานคล้ายกับที่กล่าวมาข้างต้นแต่การถ่ายเทความร้อนอยู่ในพื้นที่ที่กำหนด (Enclosed Space) และมีชิ้นส่วนเพิ่มเข้ามาเช่น Louver เพื่อกำหนดทิศทางการไหลเข้าของอากาศและอาจช่วยป้องกันการกระเด็นของน้ำออกจากระบบ Fill หรือ Filler เป็นชิ้นส่วนที่ช่วยให้การสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศเพื่อให้มีพื้นที่และเวลาที่มากขึ้น Sprinkler หรือหัวจ่ายน้ำ คูลลิ่งทาวเวอร์บางแบบอาจใช้หัวฉีดน้ำเพื่อกระจายน้ำให้สม่ำเสมอและทั่วถึงทั้งพื้นที่ที่กำหนด พัดลมทำหน้าที่ในการบังคับการไหลและปริมาณของอากาศในคูลลิ่งทาวเวอร์ Eliminator ทำหน้าที่ดักหรือกันไม่ให้ละอองน้ำกระเด็นออกจากปล่องของพัดลม Motor เป็นตัวต้นกำลังในการขับพัดลมให้หมุน และ Gear Drive เป็นชุดทดรอบการหมุนของพัดลมเพื่อให้การทำงานของพัดลมอยู่ในช่วงที่กำหนด



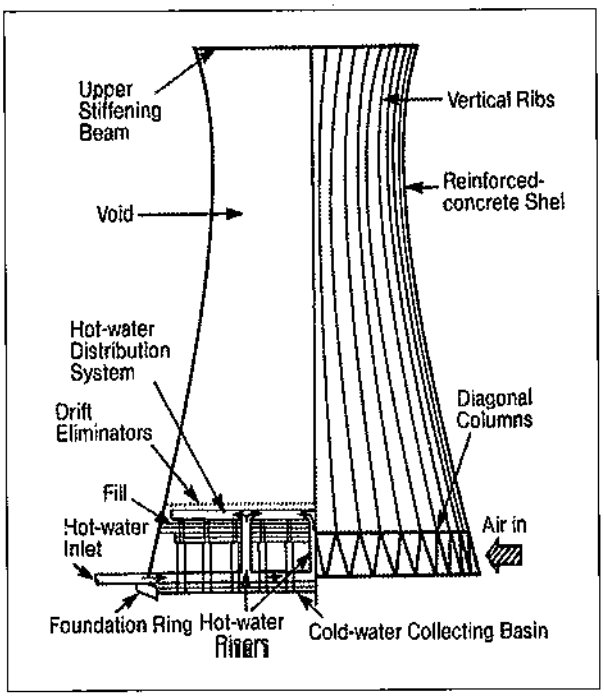
รูปที่ 2 ระบบระบายความร้อนแบบคูลลิ่งทาวเวอร์

ประเภทของคูลลิ่งทาวเวอร์ (Type of Cooling Tower)

คูลลิ่งทาวเวอร์สามารถแบ่งตามลักษณะการขับเคลื่อนของอากาศได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Natural Draft (รูปที่ 3) โดยการเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ของปล่อง อากาศจะผ่านเข้าไปด้านล่างของคูลลิ่งทาวเวอร์เมื่อได้รับความร้อนจากน้ำ อากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

และความหนาแน่นลดลง อากาศจะลอยตัวขึ้นบนตัวคูลลิ่งทาวเวอร์ ส่วนอากาศที่เย็นและแห้งกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ส่วนล่าง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศ ทั้งนี้ตัวคูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดนี้มีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนที่สูง เพราะตัวคูลลิ่งทาวเวอร์ต้องมีความสูงมากกว่า 120 เมตร จึงจำกัดใช้งานเพราะโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ และเหมาะกับสภาพอากาศที่เย็นแห้ง มีความแตกต่างของระดับอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3 คูลลิ่งทาวเวอร์แบบ Natural draft
[แหล่งที่มา: Gulf Coast Chemical Commercial Inc.]

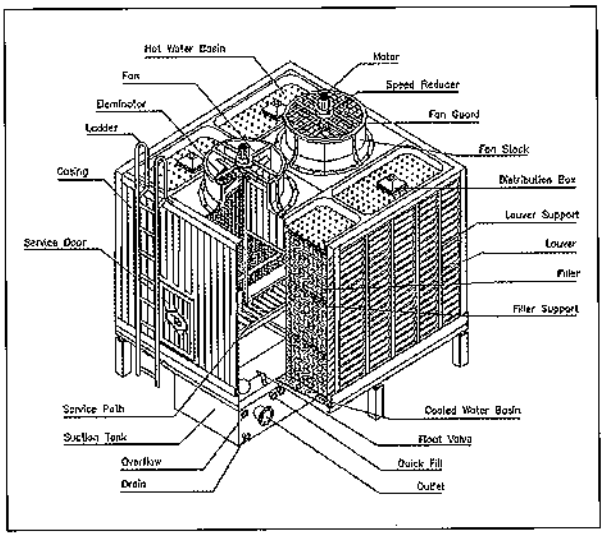
2. Mechanical Draft การเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากการใช้พัดลม บังคับให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านแผงกระจายน้ำ (Fill) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1 Induced Draft เป็นประเภทที่ใช้พัดลมดูดอากาศออกจากตัวคูลลิ่งทาวเวอร์ ปกติจะให้พัดลมอยู่ด้านบนของคูลลิ่งทาวเวอร์และคูลลิ่งทาวเวอร์ประเภทนี้ยังแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

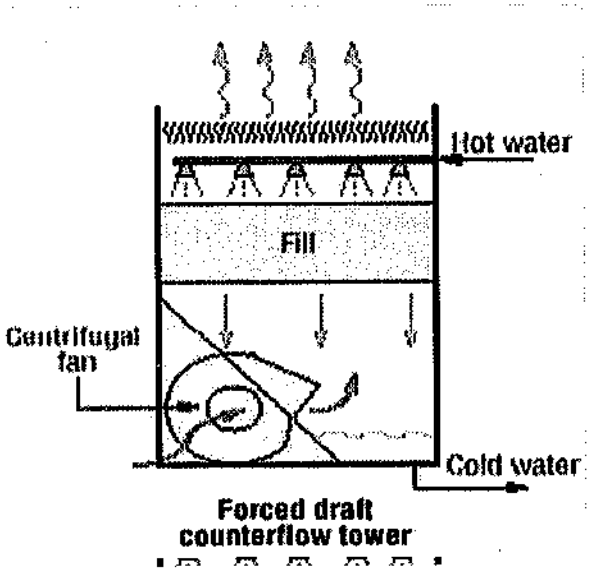
2.1.1 Induced Draft Counter Flow คูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดนี้การไหลของน้ำและอากาศมีทิศทางการเคลื่อนที่สวนทางกัน ดังแสดงในรูปที่ 2

2.1.2 Induced Draft Cross Flow คูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดนี้การไหลของน้ำและอากาศมีทิศทางการเคลื่อนที่ตัดกัน ดังแสดงใน รูปที่ 4

2.2 Forced Draft (รูปที่ 5) เป็นประเภทที่ใช้พัดลมอัดอากาศเข้าไปที่ตัวคูลลิ่งทาวเวอร์ ปกติจะให้พัดลมอยู่ด้านข้างของคูลลิ่งทาวเวอร์



รูปที่ 4 Induced Draft Cross Flow Cooling Tower



รูปที่ 5 Forced Draft Cooling Tower

3. Jet Draft หรือ Fan Less เป็นคูลลิ่งทาวเวอร์ที่สร้างแรงในการขับเคลื่อนอากาศโดยฉีดน้ำผ่านในพื้นที่ที่กำหนดเพื่อดูดให้อากาศเคลื่อนที่เข้ามาพร้อมกับน้ำที่ฉีดเข้ามา

ในคราวหน้าเราจะมาพูดกันต่อในเรื่องเกี่ยวกับการเลือกคูลลิ่งทาวเวอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน การกำหนดรายการระบุ (Specification) และคุณลักษณะที่ดีของคูลลิ่งทาวเวอร์.