หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่2

การศึกษากระบวนการผลิตสิ่งสาธารณูปการ (ของโรงงานตัวอย่าง)

หน่วยงานผลิตสาธารณูปการเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ ส่งปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตพีวีซี ซึ่งได้แก่ น้ำประปา ไอน้ำ ลมความดันสูง น้ำบริสุทธิ์ น้ำหล่อเย็น นอกจากนี้ยังรวมถึงการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตพีวีซี โดยบำบัดให้น้ำเสียในโรงงานมีคุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำนอกโรงงาน และมีหน้าที่ควบคุมการส่งจ่ายสิ่งสาธารณูปการต่างๆ ให้พอเพียงต่อความต้องการของหน่วยผลิตพีวีซี เพื่อให้การผลิตพีวีซี ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากหน่วยงานผลิตสาธารณูปการ มีหน่วยผลิตย่อยหลายหน่วย โดยในแต่ละหน่วยมีผลผลิตและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จึงขออธิบายรายละเอียดในแต่ละหน่วยผลิตย่อยตามลำดับดังนี้

1.หน่วยผลิตลมความดันสูง
2.หน่วยผลิตไอน้ำ
3.หน่วยผลิตน้ำหล่อเย็น
4.หน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์
5.หน่วยบำบัดน้ำเสีย

1.รายละเอียดของระบบผลิตลมความดันสูงของหน่วยผลิตลมความดันสูง

หน่วยผลิตลมความดันสูงมีหน้าที่ควบคุมและส่งจ่ายลมความดันสูงให้เพียงพอต่อการใช้ของหน่วยผลิตพีวีซี โดยใช้เครื่องอัดลมผลิตลมความดันสูง ในโรงงานตัวอย่างมีการใช้เครื่องอัดลมอยู่ 2 ประเภท คือ

1 เครื่องอัดอากาศแบบลดปริมาตรของลมให้เกิดแรงดัน (POSITIVE DISPLACEMENT)
2 เครื่องอัดอากาศแบบเปลี่ยนความเร็วของลมให้เป็นแรงดัน (DYNAMIC)

ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องอัดลมทั้ง 2 ประเภท ผู้วิจัยใคร่ขอศึกษาหลักการเบื้องต้นของการอัดอากาศก่อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เพื่อให้เกิดความเข้าใจลักษณะการทำงานของระบบอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติพื้นฐานของก๊าซสมบูรณ์ คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซทุกชนิดนั้นจะเป็นไปตามกฎของบอยล์ (Boyle's Law) ซึ่งกล่าวไว้ว่า " เมื่ออุณหภูมิคงที่ปริมาตรของก๊าซซึ่งมีมวลที่กำหนดให้จะแปรผกผันกับความดันของมันในขณะนั้น" ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงไว้ในสมการดังต่อไปนี้

$$V = \frac{Constant}{P}$$

โดย P คือความดันสมบูรณ์ และ V คือปริมาตรของก๊าซ

นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งเป็นไปตามกฎของชาร์ล(Charte's Law) ซึ่งกล่าวไว้ว่า "ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์ของมันในขณะนั้น " โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V = Constant \times T$$

โดย T คืออุณหภูมิสมบูรณ์ °K (°C + 273) และ V คือปริมาตรของก๊าซ

คุณสมบัติทั้งสองประการของก๊าซ สามารถนำมาแสดงรวมในสมการเดียวกันได้ดังนี้

$$\frac{PV}{T} = Constant$$

$$\frac{P1V1}{T1} = \frac{P2V2}{T2}$$

โดยที่ P1,V1และ T1 เป็นเงื่อนไขหรือสภาพแรกเริ่มของก๊าซ

P2,V2 และ T2 เป็นเงื่อนไขหรือสภาพสุดท้ายของก๊าซ

กฎดังกล่าวเป็นจริงสำหรับก๊าซสมบูรณ์และสำหรับอากาศทั่วไป ซึ่งถือเสมือนว่าเป็นก๊าซสมบูรณ์

การอัดอากาศจะเริ่มจาก การนำอากาศในสภาวะแวดล้อม มาอัดเพื่อให้อากาศมีความดันสูงขึ้น โดยการลดปริมาตรของอากาศและเพิ่มความดันให้กับอากาศ ถ้ากระบวนการนี้เป็นไปอย่างช้าๆ โดยที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งต้องใช้การหล่อเย็น การอัดอากาศลักษณะนี้เรียกว่าขบวนการอัดอากาศแบบ Isothermal Compression โดยมีความต้องการพลังงานในการอัดอากาศน้อย แต่ถ้าอากาศถูกอัดอย่างรวดเร็วก็จะเกิดความร้อนสะสมทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ความดันของอากาศก็เพิ่มมากขึ้น การอัดอากาศลักษณะนี้เรียกว่าขบวนการอัดแบบ Adiabatic Compression ซึ่งต้องการพลังงานในการอัดอากาศมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยในสภาวะความเป็นจริงแล้วการอัดอากาศที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นแบบ Adiabatic แต่เพื่อที่จะให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอัดอากาศมีค่าที่น้อยที่สุด จึงต้องพยายามทำให้มันเป็นแบบ Isothermal โดยการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการอัดอากาศออกไปให้มากที่สุด เพื่อพยายามรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยติดตั้งระบบหล่อเย็นเข้ากับเครื่องอัดอากาศ

ในกรณีที่การอัดอากาศจำเป็นต้องทำในขณะที่ความดันอากาศมีค่าสูง งานที่ใส่เข้าไปสามารถลดลงได้โดยใช้วิธีแยกการอัดอากาศเป็นสองขั้นตอนหรือมากกว่า แล้วทำการหล่อเย็นในแต่ละขั้นตอน ในทางปฏิบัติความร้อนจะถูกขจัดออกในขณะที่มีการอัดอากาศ ดังนั้นพลังงานที่ใส่เข้าไปจะอยู่ระหว่าง Isothermal และ Adiabatic Compression โดยที่ค่าของมันจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดอากาศที่ใช้

เนื่องจากอากาศที่ถูกดูดเข้าระบบการอัดอากาศ โดยทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นในรูปของไอน้ำแฝงอยู่ด้วยเสมอ ไอน้ำนี้จะก่อให้เกิดปัญหา หากปล่อยให้เกิดการกลั่นตัวและไม่ขจัดออกไปในขณะที่อากาศที่อุณหภูมิห้องถูกอัด ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะสูงขึ้น นั้นคือความสามารถที่จะอุ้มน้ำไว้ก็จะลดลง อากาศที่ถูกอัดจนร้อนเมื่อทำให้เย็นตัวลงโดยอุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงระดับหนึ่ง ก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งถ้าปล่อยให้เกิดขึ้นในท่อหรือถังบรรจุอากาศก็จะเกิดปัญหาเป็นอย่างมาก ดังนั้นก่อนที่อากาศจะถูกจ่ายไปใช้ควรทำให้เย็นลงโดยใช้ อาฟเตอร์คูลเลอร์(After Cooler) เพื่อให้ไอน้ำกลั่นตัวให้หมดเสียก่อน จากนั้นจึงแยกน้ำออกจากอากาศโดยใช้ เครื่องแยกความชื้น(Separator) และถ้าต้องการลมที่แห้งยิ่งขึ้นสามารถทำได้โดยใช้เครื่องทำลมแห้ง(Air Dryer)

สำหรับโรงงานตัวอย่างที่ได้ทำการศึกษามีการใช้เครื่องอัดอากาศอยู่สองประเภทตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งมีหลักการทำงานต่างกันดังนี้

<u>1.เครื่องอัดอากาศแบบลดปริมาตรของลมให้เกิดแรงดัน (POSITIVE DISPLACEMENT)</u>

เป็นการอัดอากาศโดยใช้ระบบกลไกกำหนดปริมาตรอากาศตั้งต้น จากนั้นอัดอากาศปริมาตรดังกล่าวให้มีปริมาตรเล็กลง โดยคุณสมบัติของเครื่องประเภทนี้จะให้ปริมาตรอากาศออกมาคงที่ เมื่อรอบการทำงานคงที่ ในขณะที่ความดันขาออกจะถูกกำหนดโดยภาระการใช้งาน ซึ่งเครื่องประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2ชนิด คือ

<u>1.1แบบลูกสูบ(Reciprocating Type)</u> มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กระบอกสูบ, ลูกสูบ, แหวนลูกสูบ, ฝาสูบ, ลิ้นดูดลม, ลิ้นจ่ายลม การอัดลมเกิดขึ้นจากการทำงานของลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงในกระบอกสูบ เครื่องอัดลมประเภทนี้เป็นเครื่องอัดลมที่เกิดขึ้นก่อนที่จะพัฒนาเป็นแบบโรตารีหรือแบบหอยโข่ง การสึกหรอของเครื่องจักร, ค่าบำรุงรักษา และความสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบนี้ค่อนข้างสูง

1.2 แบบโรตารี(Rotary Type) เครื่องอัดอากาศชนิดโรตารี มีหลายชนิด แต่ชนิดที่นิยมและใช้แพร่หลายมากที่สุดคือ ชนิดสกรู(Screw) เครื่องอัดอากาศชนิดนี้มีข้อได้เปรียบกว่าชนิดอื่นตรงที่ลงทุนค่าเครื่องจักร ค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาต่ำกว่า มีค่าสั่นสะเทือนน้อยกว่า ขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับชนิดอื่นที่มีอัตราการจ่ายลมอัดเท่ากัน และให้ปริมาณอากาศที่ค่อนข้างคงที่ การอัดลมเกิดขึ้นจากการหมุนของโรเตอร์ (Rotor) 2 ชิ้น ขบกันในแนวเส้นรอบวง โดยจะเกิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) อัดลมในช่องอัด (Compression Chamber) ทำให้ระบบการหล่อลื่นของเครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะต้องดี เพื่อลดการสึกกร่อนของโรเตอร์ นอกจากนี้การเพิ่มความดันของลมก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มสเตจ(Stage) ของเครื่องอัดอากาศ

2 เครื่องอัดอากาศแบบเปลี่ยนความเร็วของลมให้เป็นแรงดัน(DYNAMIC)

หลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศประเภทนี้ ก็ คือ ใช้การหมุนของใบพัดที่ความเร็วรอบสูงๆ ซึ่งหมุนอยู่ในตัวเสื้อของเครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่เพิ่มความเร็วให้กับอากาศ อากาศจะถูกแรงกระทำให้วิ่งเข้าไปสู่ส่วนที่ทำให้ปริมาตรเล็กลงเรื่องๆ และถูกรีดออกไป โดยคุณสมบัติของเครื่องประเภทนี้ จะให้ปริมาตรอากาศแปรผันกับความดันต่างที่เครื่องอัดอากาศ ซึ่งเครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ 1.แบบหอยโข่ง(Centrifugal) 2.แบบAxial

ผู้วิจัยขออธิบายเฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง(Centrifugal) ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

เครื่องอัดลมแบบหอยโข่ง(Centrifugal Compressor) ทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานจากการหมุนของใบพัดให้เป็นพลังงานจลย์(Kinetic Energy) เพื่อให้เกิดการอัดของลม หลักการของเครื่องอัดลมแบบหอยโข่ง จะแตกต่างกับแบบ Positive Displacement การหมุนของใบพัดด้วยความเร็วสูงภายในห้องสูบทำให้เกิดแรงเหวี่ยง(Centrifugal Force) ของลม ซึ่งทำให้มีความเร็วและความดันสูง และเมื่อผ่านเข้าไปใน Diffuser Ring ซึ่งหลักการคือเพิ่มพื้นที่ในการไหลของลม ทำให้ความเร็วลมลดลง แต่ขณะเดียวกันความดันจะสูงเพิ่มขึ้น

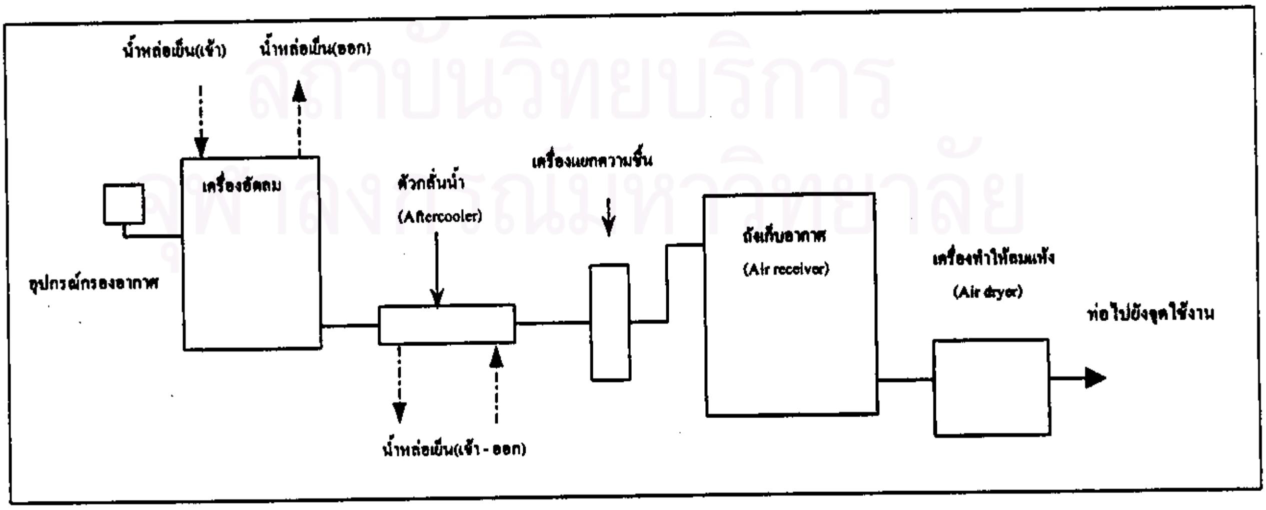
เครื่องอัดลมประเภทนี้เป็นแบบไร้น้ำมันเนื่องจากไม่ต้องการการหล่อลื่นที่ตัวใบพัด โดยจะมีการหล่อลื่นเฉพาะตัวแบริ่ง ซึ่งในเครื่องอัดลมชนิดนี้ แบริ่งจะแยกจากห้องสูบ(Casing) และลมอัดโดยใช้ซีลเป็นตัวป้องกัน จึงทำให้มีการสึกกร่อนของใบพัดน้อย รวมทั้งมีละอองน้ำมันไปกับลมน้อยมาก จึงเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการลมที่สะอาดปราศจากน้ำมัน (Oil Free) และเหมาะสมสำหรับระบบที่ต้องการปริมาณลมมากๆ

ระบบอัดอากาศนอกจากเครื่องอัดอากาศแล้ว จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เพื่อช่วยทำให้อากาศที่อัดได้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะปกติอากาศที่เครื่องอัดอากาศดูดมาเข้าเครื่องจะมีทั้งไอน้ำ ฝุ่นละออง และไอน้ำมัน เมื่อส่วนผสมเหล่านี้ถูกดูดเข้าไปในเครื่องอัดอากาศจะถูกอัดจนอากาศที่อัดได้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอาจจะร้อนจัดจนไอน้ำมันที่ผสมเข้าไปเกิดการสันดาป และเกิดเป็นคราบเขม่าไว้ตามลิ้นอากาศ

ส่วนไอน้ำในอากาศที่ผสมเข้าไปเมื่ออากาศถูกอัดให้ปริมาตรเล็กลง ปริมาณไอน้ำต่อปริมาตรอากาศอัดจะสูงขึ้นอันเป็นเหตุให้ อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่ออากาศอัดวิ่งไปตามท่อและเกิดเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง ไอน้ำมันและไอน้ำที่เหลือก็จะเกิดการควบแน่น กลายเป็นหยดน้ำและหยดน้ำมันซึ่งจะจับตามท่อและอุปกรณ์ต่างๆ อันเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นตามท่อและอุปกรณ์ใช้อากาศอัด เมื่อในท่อเกิดสนิมขึ้น จะทำให้ผิวท่อไม่เรียบอันเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียดทานในระบบเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงการสิ้นเปลืองพลังงานจะสูงตามไปด้วย

ส่วนหยดน้ำมันถ้ารวมตัวกับน้ำกลายเป็นเมือกเหนียว จะไปอุดตันตามรูเล็กๆของเครื่องมือที่ใช้ลม ก่อให้เกิดความเสียดทานกับเครื่องมือได้ ดังนั้นจึงต้องติดตั้งอุปกรณ์หลักเพิ่มเติมดังในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆในระบบอัดอากาศ โดยมี

- ตัวกลั่นน้ำ(Aftercooler)
- ถังเก็บอากาศ(Air Receiver)
- เครื่องทำให้ลมแห้ง(Air Dryer)
- ตัวกรองอากาศ(Air Filter)
- เครื่องแยกความชื้น(Moisture Separator)



รูปที่2.1แสดงกระบวนการอัดอากาศ

ที่มา: ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, คู่มือประหยัดพลังงานสำหรับระบบอัดอากาศ, 2533, หน้า 46

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวกลั่นน้ำ(Aftercooler)

เนื่องจากเมื่ออากาศถูกอัดให้ปริมาตรเล็กลงปริมาณไอน้ำต่อปริมาณอากาศอัดจะสูงขึ้นและเมื่ออากาศอัดเย็นตัวลงจะทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ดังนั้นเพื่อทำให้อากาศอัดมีความแห้งมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีตัวกลั่นน้ำ(Aftercooler)เพื่อลดอุณหภูมิอากาศอัดลง และดึงปริมาณไอน้ำในลมออกมาให้มากที่สุด ซึ่งสารตัวกลางที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากลม ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหรืออากาศ โดยตัวกลั่นน้ำ(Aftercooler) ที่ระบายความร้อนออกจากลมด้วยน้ำ จะกำจัดปริมาณน้ำในลมได้ ประมาณ 70 –80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำในอากาศอัดทั้งหมด

ถังเก็บอากาศ(Air Receiver)

เป็นอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญของระบบอัดอากาศต่อจากเครื่องอัดอากาศ หน้าที่หลักของถังเก็บอากาศ คือ จะเป็นอุปกรณ์ที่จัดเก็บอากาศไว้ในปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้การจ่ายลมภายในโรงงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าปริมาณความต้องการลมในขณะหนึ่งขณะใด จะสูงกว่าขนาดความสามารถของเครื่องอัดอากาศ โดยในขณะที่ถังเก็บอากาศทำหน้าที่จ่ายลมความดันในถังจะลดต่ำลง เครื่องอัดอากาศก็จะทำหน้าที่อัดลมเข้าสู่ถังเป็นการชดเชย ส่วนหน้าที่อื่นๆ ที่สำคัญของถังเก็บอากาศคือ

1. ช่วยปรับอุณหภูมิของอากาศที่อัดกับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบให้เท่ากัน
2. ช่วยปรับความดันของลมในระบบจ่ายแต่ละจุดที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเท่าเดิม
3. ช่วยให้ระบบอัดอากาศสามารถจ่ายอากาศอัดได้มากกว่าความสามารถของเครื่องอัดอากาศได้บางช่วงเวลา เมื่อเกิดความต้องการอากาศอัดพร้อมๆกันหลายจุด

เครื่องทำให้ลมแห้ง(Air Dryer)

ในระบบอัดอากาศ อากาศที่อัดได้เมื่อผ่านอุปกรณ์ระบายความร้อน อากาศที่อัดได้จะมีความแห้งเพียงพอที่จะใช้งานแล้ว แต่บางระบบมีความจำเป็นต้องการอากาศที่แห้งมาก เช่น ในระบบนิวเมติกต่างๆ ต้องการอากาศอัดแห้งเป็นพิเศษ ซึ่งทั่วไปอากาศที่ผ่านออกจากอุปกรณ์ทำอากาศแห้ง ควรมีค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ ของบริเวณใช้งานประมาณ 10 องศา จึงจะป้องกันการเกิดการควบแน่นของน้ำในระบบได้ โดยทั่วไปจะแบ่งเครื่องทำให้ลมแห้งเป็น 3 ประเภท คือ

- เครื่องทำลมแห้ง ประเภทที่ใช้สารเคมีดูดความชื้นได้ (Deliquescent Dryer)
- เครื่องทำลมแห้ง ประเภทที่ใช้เครื่องทำความเย็น (Refrigeration Dryer)
- เครื่องทำลมแห้ง ประเภทที่ใช้สารดูดความชื้น (Absorption Desiccant Dryer)

ผู้วิจัยจะแสดงรายละเอียดเครื่องทำลมแห้งเฉพาะประเภทที่ใช้สารดูดความชื้น เนื่องจากเป็นประเภทที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง

เครื่องทำลมแห้งประเภทใช้สารดูดความชื้น จะสามารถลดความชื้นของลมได้สูงที่สุด โดยสารดูดความชื้นที่ใช้จะแตกต่างจากประเภทสารเคมีดูดความชื้น(Deliquescent Dryer) ตรงที่สามารถนำสารดูดความชื้นกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยทั่วไปจะใช้สารดูดความชื้นประเภท Silica Gel, Activated Alumina หรือ Molecular sieve ในระบบนี้ สารดูดความชื้นที่ใช้ในโรงงานจะเป็นประเภท Activated Alumina ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศได้ มากกว่า – 40 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปการทำงานของเครื่องทำอากาศแห้งชนิดนี้ จะประกอบด้วยถังความดันจำนวน 2 ถัง ในแต่ละถังจะบรรจุด้วยสารดูดความชื้น โดยขณะที่ถังหนึ่งอยู่ในสภาวะดูดความชื้นอยู่ ถังที่สองก็จะอยู่ในสภาวะไล่ความชื้นออกจากเม็ดดูดความชื้น และจะทำงานสลับกัน

ตัวกรองอากาศ(Air Filter)

ตัวกรองอากาศมีหน้าที่ในการแยกเอาสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจากระบบอัดอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า น้ำ น้ำมัน โดยปกติจะใช้ตัวกรองอากาศที่ด้านดูดของเครื่องอัดอากาศ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและเศษวัสดุเข้าไปในเครื่องอัดอากาศ โดยตัวกรองอากาศต้องแห้งและมีขนาดใหญ่พอควรเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความดัน นอกจากนี้ตัวกรองอากาศยังใช้ติดตั้งที่ท่อส่งอากาศของเครื่องอัดอากาศ เพื่อกรองอากาศหลังผ่านการถูกอัดตัวมาแล้วไม่ให้มีละอองน้ำ น้ำมันและอนุภาคบางอย่างออกไป นอกจากนี้อาจมีการติดตั้งตัวกรองอากาศ ณ จุดใช้งาน เพื่อทำหน้าที่แยกเอาอนุภาค ซึ่งอาจจะมาจากระบบท่อที่ติดตั้ง โดยปกติตัวกรองอากาศจะมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดที่สามารถกรองฝุ่นละอองได้ 5 ไมครอน ถึง 0.01 ไมครอน

เครื่องแยกความชื้น(Moisture Separator)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องแยกความชื้นจะติดตั้งระหว่างตัวกลั่นน้ำ(Aftercooler)และถังลม ตามแสดงในรูปที่ 2.1 วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์นี้คือทำให้น้ำแยกออกจากลม หลังจากนั้นทำการระบายน้ำออกจากระบบ หลักการทำงานคือลดความเร็วของลมในระบบ โดยมีแผ่นกั้นเพื่อระยะกักเก็บ(Detention Time) ของลมในเครื่องแยกน้ำนานขึ้น จนสามารถแยกน้ำออกจากระบบได้

นอกจากอุปกรณ์ประกอบหลักดังข้างต้นแล้ว ในระบบอัดลมต้องติดตั้ง อุปกรณ์ดักน้ำ(Traps And Drains) เพื่อทำหน้าที่เก็บและรวบรวมของเหลวที่อาจเกิดขึ้นจากขบวนการหล่อเย็น การกรอง หรือ จากการเกิดการควบแน่น จากนั้นจะระบายทิ้งโดยอัตโนมัติ ส่วนจุดที่ใช้งานควรจะติดตั้งอุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Regulator) เพื่อปรับลดความดันลมให้เหมาะสมก่อนเข้าอุปกรณ์นิวเมตริก

การทำงานของระบบผลิตลมความดันสูงของโรงงานตัวอย่าง

ในโรงงานตัวอย่างมีเครื่องอัดอากาศ จำนวน 4 เครื่อง โดยแยกเป็นเครื่องประเภทลูกสูบ 2 เครื่อง เครื่องประเภทโรตารี ชนิดสกรู 1 เครื่อง และเครื่องประเภทหอยโข่ง 1เครื่อง โดยมีรายละเอียดของเครื่องอัดลมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องอัดลมภายในหน่วยผลิตลมอัดความดันสูงของโรงงานตัวอย่าง

เครื่องอัดลม	ประเภท	รายละเอียด	เครื่องทำลมแห้ง
Compressor No.1	Centrifugal Compressor	Capacity = 1,600 Nm^3/Hr,200kw	Dryer No.5,6
Compressor No.2	Reciprocating Compressor	Capacity = 750 Nm^3/Hr ,100kw	Dryer No.3,4
Compressor No.3	Reciprocating Compressor	Capacity = 180 Nm^3/hr,40kw	-
Compressor No.4	Screw Compressor	Capacity = 750 Nm^3/Hr,100kw	Dryer No.1,2

Nm^3/Hr คือการวัดอัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตรที่สภาวะปกติ0 °C ,0% RH ณ ความดันบรรยากาศ

โดยปกติทางโรงงานจะเดินเครื่องอัดลมหมายเลข1.และหมายเลข4. เป็นหลัก และเดินเครื่องอัดลมหมายเลข2,3 เสริมเมื่อความดันในระบบตกต่ำกว่าความดันที่หน่วยงานควบคุมไว้ ซึ่งความดันของลมในระบบท่อส่ง และถังเก็บอากาศ จะตั้งไว้ที่ 5.0 – 6.0 kg/cm^2 เมื่อลมความดันสูงผ่านออกจากเครื่องอัดลม จะวิ่งผ่านตัวกลั่นน้ำ(After Cooler) เพื่อทำให้ลมเย็นลง จากนั้นจะวิ่งเข้าเครื่องทำลมแห้ง(Air Dryer) ในโรงงานตัวอย่างใช้เครื่องทำลมแห้งประเภทใช้สารดูดความชื้น โดยอากาศที่ผ่านออกมาจะสูญเสียลมไป 15% เพื่อไล่ความชื้นออกจากเม็ดดูดความชื้น ทำให้ลมความดันสูงมีความแห้งที่ –40 องศา จากนั้นจึงส่งลมอัดความดันสูงไปยังหน่วยผลิตต่างๆ โดยจะมีการติดตั้งตัวดักน้ำ เป็นช่วงๆ เพื่อป้องกันการมีน้ำในระบบท่อส่ง

การควบคุมการจ่ายลมอัดความดันสูง

ทางหน่วยงานผลิตลมอัดความดันสูง จะส่งลมความดันสูงให้ทุกหน่วยผลิต โดยจะเดินจำนวนเครื่องอัดลมให้น้อยที่สุด และพยายามรักษาความดันในระบบ ไม่ให้ต่ำกว่า 5.0 kg/cm^2 จนเมื่อความดันเริ่มต่ำกว่าค่าควบคุมจึงเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศเสริม และเมื่อใดที่ความดันในระบบมีค่าสูงกว่า 6.0kg/cm^2 และเปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่องอัดลมต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ จึงจะหยุดการเดินเครื่องอัดลมตัวเสริม

ปัญหาในการผลิตของหน่วยผลิตลมอัดความดันสูง คือ

1.ปัญหาการรั่วไหลของลมออกจากระบบท่อส่งและอุปกรณ์ใช้ลมต่างๆ เป็นปริมาณที่สูง ทำให้ต้องเดินเครื่องอัดลมเสริมเกือบตลอดเวลา แม้ฝ่ายผลิตจะลดกำลังการผลิตลง หรือหยุดผลิตลง ทางหน่วยงานก็ไม่สามารถลดจำนวนเครื่องอัดลมลงได้

2.คุณภาพของลมมีคุณภาพสูงเกินไป ทำให้ต้องสูญเสียลมความดันสูงปริมาณหนึ่งเพื่อทำให้ได้ลมที่มีคุณภาพสูง ในขณะที่อุปกรณ์ต่างๆไม่มีความจำเป็นต้องใช้ลมคุณภาพสูงมากนัก

3.ประสิทธิภาพของเครื่องอัดลมต่ำ ทำให้ปริมาณลมที่ผลิตได้จากเครื่องอัดอากาศลดลง ส่งผลให้ต้องเดินเครื่องอัดลมหลายตัว เพื่อให้ได้ลมเพียงพอต่อความต้องการของหน่วยผลิตพีวีซี

2.รายละเอียดของระบบผลิตไอน้ำ

หน่วยผลิตไอน้ำมีหน้าที่ควบคุมและจ่ายไอน้ำให้เพียงพอต่อการใช้ของหน่วยผลิตพีวีซี การผลิตไอน้ำของโรงงานตัวอย่างผลิตโดยใช้หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler) จำนวน 3 ตัว ผลิตไอน้ำอิ่มตัว ที่ความดันใช้งาน 12 – 14 kg/cm^2 ปกติหน่วยงานผลิตไอน้ำจะเดินหม้อไอน้ำ จำนวน 2 ตัว ส่วนหม้อน้ำที่เหลือจะใช้เดิน กรณีฉุกเฉิน โดยจะสลับเปลี่ยนการเดินทุกๆ 2 เดือน

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดระบบการทำงานของหน่วยผลิตไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง ผู้วิจัยขอศึกษาหลักการทำงานของหม้อไอน้ำแบบทั่วไปก่อนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

<u>หม้อไอน้ำ</u>(Boiler) เป็นเครื่องกำเนิดไอน้ำภาชนะปิดทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้า ซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างไว้อย่างแข็งแรงภายในบรรจุน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสำหรับเก็บไอน้ำ

ชนิดของหม้อไอน้ำแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. **<u>หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ</u>** (Fire Tube Boiler)
   คือ หม้อไอน้ำที่ออกแบบให้ไฟหรือก๊าซร้อนไหลอยู่ในท่อ ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำซึ่งอยู่รอบๆ ท่อ
2. **<u>หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ</u>** (Water Tube Boiler)
   คือหม้อไอน้ำที่ออกแบบให้ไฟหรือก๊าซร้อนอยู่ภายนอกท่อ ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำซึ่งวิ่งอยู่ภายในท่อ

<u>การเปรียบเทียบระหว่างข้อดีข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำกับท่อไฟ</u>

<u>ข้อดีของหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ</u>

- มีขนาดเล็ก กะทัดรัด เมื่อเทียบกับแบบหลอดน้ำ
- สามารถสร้างเป็นหน่วยเล็กๆ ได้ง่าย
- คุณภาพน้ำไม่ต้องการที่บริสุทธิ์มากนัก
- สะดวกในการทำความสะอาดและซ่อมแซมบำรุงรักษา
- จ่ายไอน้ำได้สม่ำเสมอ และสามารถควบคุมการทำงานได้ทั้งแบบธรรมดาและอัตโนมัติ

<u>ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ</u>

- มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบต่อหน่วยพิกัดไอน้ำที่ผลิตได้
- ไม่สามารถเร่งไอน้ำได้มากๆ
- ความดันต่ำ

<u>พิกัดหม้อไอน้ำ</u>

หม้อไอน้ำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีการกำหนดขนาดตามอัตราการผลิตไอน้ำ มีหน่วยเป็นน้ำหนักไอน้ำที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง เช่น ตัน/ชั่วโมง, กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยปกติหม้อไอน้ำลูกหนึ่งๆ จะสามารถผลิตไอน้ำได้ที่ความดันต่างๆกัน เมื่อความดันและอุณหภูมิและความดันภายในหม้อไอน้ำเปลี่ยนแปลงไป จำนวนความร้อนที่จะทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำก็จะต่างกันไป ฉะนั้นจึงกำหนดพิกัดหม้อไอน้ำในรูปจำนวน

ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ห้องเผาไหม้</u> (Combustion Chamber) มีหน้าที่สร้างความร้อนขึ้นมาโดยการเผาไหม้จากน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนหนึ่งของความร้อนเกิดจากเตา จะถูกส่งไปยังพื้นผิวห้องเผาไหม้โดยตรง โดยการแผ่รังสีและอีกส่วนหนึ่งจะไปเพิ่มอุณหภูมิเผาไหม้ซึ่งสัมผัสกับพื้นผิวท่อไฟในระหว่างการไหลไป ดังนั้น ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปถึงน้ำโดยผ่านผิวดังกล่าว เมื่อความร้อนส่งผ่านไปถึงน้ำจะเปลี่ยนสภาวะจากน้ำเป็นไอน้ำออกมา จากนั้นจะป้อนน้ำเข้าไปใหม่เมื่อระดับน้ำเริ่มลดลง

โดยทั่วไปห้องเผาไหม้ จะมีลักษณะเป็นท่อตรง หรือท่อโค้งเป็นลอน (Corrugated Furnace) สำหรับท่อโค้งเป็นลอนมีข้อดีคือ มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นในการขยายตัวและหดตัวนอกจากนั้นจะทำให้พื้นผิวรับความร้อนมากขึ้น

<u>อุปกรณ์ส่วนประกอบสำหรับหม้อไอน้ำ</u> (Boiler Accessories) เป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งเพื่อช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ซึ่งจะประกอบด้วย

<u>ท่อป้อนน้ำ</u> (Feed Water Internal Piping) เป็นท่อจ่ายน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำและทำให้เกิดการหมุนเวียนในหม้อไอน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดความดันทางความร้อน (Thermal Stress) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำป้อนกับอุณหภูมิของน้ำใน หม้อไอน้ำ

<u>วาล์วจ่ายไอ</u> (Main Steam Valve) ไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำจะต้องแห้งมากที่สุดที่จะมากได้ ดังนั้นจะต้องมีท่อจ่ายไอที่ด้านบนของหม้อไอน้ำ โดยมีวาล์วจ่ายไอเป็นตัวเปิดปิด การส่งไอน้ำเข้าสู่ท่อพัก (Steam Header)

<u>ลิ้นนิรภัย</u> (Safety Valve) มีหน้าที่ป้องกันการเพิ่มความดันภายในหม้อไอน้ำ ซึ่งน่าจะเป็นอันตรายโดยการระบายไอน้ำผ่านวาล์วออกไปอย่างอัตโนมัติ และจะปิดเมื่อความดันกลับคืนสู่สภาวะปกติ

<u>วาล์วลดความดัน</u> (Pressure Reducing Valve) ในกรณีที่มีหม้อไอน้ำตั้งแต่ 2 ลูกขึ้นไป มีท่อจ่ายไอน้ำต่อร่วมกันจะต้องมีวาล์วลดความดันเพื่อควบคุมให้ความดันไอน้ำที่จ่ายออกมีค่าคงที่ นอกจากนี้ควรมีวาล์วกันกลับไอน้ำ (Steam Check Valve) ต่อถัดจากวาล์วจ่ายไอเพื่อป้องกันการย้อนกลับของไอน้ำ

<u>วาล์วถ่ายน้ำทิ้ง</u> (Blow Down Valve) น้ำที่จ่ายแก่หม้อไอน้ำอาจจะมีสิ่งสกปรกปนเปื้อน ซึ่งจะก่อปัญหาให้เกิดฟองอากาศ (Foaming) และการประทุ (Priming) ซึ่งมีสาเหตุมาจากน้ำผสมกับไอน้ำสกปรก

<u>เกจวัดความดัน</u> (Pressure Gauge) ไอน้ำเพื่อทราบความดันไอน้ำเกิดจากหม้อไอน้ำ

เกจวัดระดับน้ำ (Water Level Gauge) ใช้ในการดูระดับน้ำ เพื่อให้แน่ใจว่าระดับน้ำในหม้อไอน้ำอยู่เหนือท่อไฟตลอดเวลา ในการควบคุมระดับน้ำควรให้ระดับน้ำอยู่เหนือท่อไฟขึ้นไป 6 นิ้วขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 6 นิ้ว 6 หุน

ตัวตรวจจับระดับน้ำในหม้อไอน้ำ (Water Level Detector) ใช้วัดระดับน้ำและส่งสัญญาณไปหยุดปั๊มน้ำหรือหยุดการเผาไหม้โดยอัตโนมัติ เมื่อระดับน้ำลดลงต่ำกว่าระดับน้ำปกติ

ตัวตรวจจับความดันไอน้ำ (Pressure Detector) ใช้ควบคุมปริมาณการเผาไหม้และรักษาความดันไอน้ำภายในหม้อไอน้ำ ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

ตัวตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) ใช้สำหรับตรวจจับสภาวะการเผาไหม้

อุปกรณ์สำหรับการเผาไหม้ (Combustion Equipments) คือหัวฉีดทำหน้าที่เป็นตัวทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกเป็นฝอยเล็ก ๆ เพื่อที่จะพ่นเข้าไปผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้

อุปกรณ์ป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed Water Equipments) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

ถังพักน้ำ (Feed Water Tank) ใช้เก็บสำรองน้ำที่จ่ายให้กับหม้อไอน้ำถังพักควรมีอุปกรณ์บอกระดับน้ำและวาล์วถ่ายน้ำ

มาตรวัดปริมาณน้ำ (Feed Water Flow Meter)ใช้วัดปริมาณน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำเพื่อที่จะได้ทราบปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับไอน้ำในระยะเวลาหนึ่ง ๆ

เครื่องปั๊มน้ำ (Feed Water Pump) ทำหน้าที่ส่งน้ำจากถังพักเข้าหม้อไอน้ำ ปั๊มน้ำจะต้องมีความสามารถป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำได้มากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ นอกจากนั้นจะต้องสามารถอัดน้ำให้มีความดันสูงกว่าความดันใช้งานหม้อไอน้ำอย่างน้อย 1.5 เท่า

อุปกรณ์ควบคุม (Control Equipment) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและรักษาระดับแรงดันและอุณหภูมิของไอน้ำในช่วงที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะให้ได้ไอน้ำที่แห้งอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องให้ต่ำสุด ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้น้อยที่สุดและได้ไอน้ำมากที่สุด

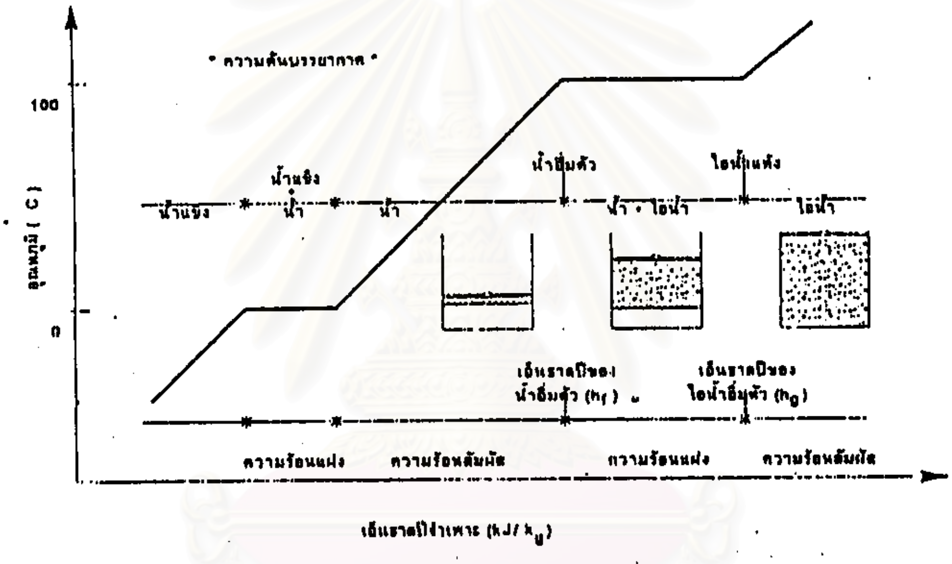
<u>การควบคุมหม้อไอน้ำโดยทั่วไปจะต้องมีการควบคุมดังนี้</u>

1. การควบคุมการเผาไหม้อัตโนมัติ
2. การควบคุมการป้อนน้ำอัตโนมัติ
3. การควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอัตโนมัติ
4. การควบคุมเพื่อความปลอดภัย

<u>การกำเนิดไอน้ำ</u> (Steam Generation)

การกำเนิดไอน้ำเป็นการใส่ความร้อนให้กับน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือด หากยังมีการใส่ความร้อนเข้าไปอย่างต่อเนื่องอีกน้ำที่เป็นของเหลวจะค่อย ๆ เปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอน้ำจนหมด

ลักษณะของการกำเนิดไอน้ำ ภายใต้ความดันบรรยากาศสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่2.2 แสดงการกำเนิดไอน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ

ที่มา:บริษัทมิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด, เอกสารอบรมหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน, กทม. , หน้า4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำขณะที่อุณหภูมิ 0°C จะต้องอยู่ในสภาพเป็นน้ำแข็ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแข็งอุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนเนื่องจากความร้อนที่ให้จะถูกใช้ไปในการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากน้ำแข็งเป็นน้ำเนื่องจากอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นเรียกความร้อนนี้ว่าความร้อนแฝง เมื่อน้ำแข็งละลายกลายเป็นน้ำที่ 0°C แล้ว อุณหภูมิของน้ำจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณความร้อนที่ได้รับ จนน้ำมีอุณหภูมิ 100°C แม้จะให้ความร้อนอีกต่อไป อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงนี้จะใช้ในการทำน้ำให้กลายเป็นไอทั้งหมด ความร้อนแฝงที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดไอน้ำสำหรับ 1 กก. มีค่า 2,257 kJ/kg นอกจากนี้ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะมีปริมาตรมากกว่าของเหลวเป็นอย่างมาก

ในกรณีที่ให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเช่นนี้ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นและไปหยุดที่อุณหภูมิหนึ่งพร้อมทั้งเริ่มมีไอน้ำเกิดขึ้น อุณหภูมินี้เรียกว่า "อุณหภูมิน้ำอิ่มตัว" น้ำและไอน้ำที่อยู่ที่อุณหภูมิอิ่มตัวนี้เรียกว่า "น้ำอิ่มตัว"และ "ไอน้ำอิ่มตัว" ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำอิ่มตัวจะแตกต่างกันตามความดัน จึงเรียกความดันที่ไอน้ำที่เกิดขึ้นในอุณหภูมิหนึ่งว่า "ความดันอิ่มตัว"

นอกจากมีไอน้ำเกิดขึ้นแล้ว ปริมาณไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความร้อนที่ให้จะกลายเป็นของผสมระหว่างไอน้ำอิ่มตัวและของเหลวอิ่มตัว สภาพเช่นนี้เรียกว่า "ไอเปียก" เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกปริมาณน้ำอิ่มตัวจะลดลง จนกระทั่งกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งจะไม่มีน้ำอิ่มตัวผสมอยู่ สภาพนี้เรียกว่า "ไอน้ำอิ่มตัวแห้ง" หรือ "ไอแห้ง" เมื่อให้ความร้อนแก่ไอน้ำแห้งต่อไปอีก อุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้นอีก อุณหภูมิจะสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวไอน้ำในช่วงนี้เรียกว่า "ไอน้ำร้อนยิ่งยวด"

<u>ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ</u> (Boiler Efficiency)

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ดี หมายถึง การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ไอน้ำมากที่สุดซึ่งจะหมายถึง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำนั้นเอง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำจะมีค่าสูงสุดได้ก็ต่อเมื่อ หม้อไอน้ำมีหัวพ่นไฟที่มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดด้วย

ทั้งนี้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น การสูญเสียความร้อนของก๊าซ ร้อนจากปล่องควันมากเกินไป การถ่ายเทความร้อนด้านน้ำและด้านไฟไม่ดี อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศไม่ถูกต้อง หัวเผาขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง และการสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำเป็นต้น

<u>วิธีหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ</u>

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ สามารถหาได้ 3 วิธี ดังนี้

1.การคำนวณจากอัตราการผลิตไอน้ำและอัตราการใช้เชื้อเพลิง

2.การทำสมดุลย์ความร้อน (Heat Balance)

3.การตรวจวัดการสูญเสียความร้อนทางไอเสีย (Stack Loser)

1.การคำนวณจากอัตราการผลิตไอน้ำและการใช้เชื้อเพลิงจากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ} = \frac{\text{พลังงานที่ได้จากกหม้อไอน้ำ}}{\text{พลังงานที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ}}$$

$$Eb = \frac{Ms\,(h_g - h_f) \times 100}{m_f \times F}$$

เมื่อ Eb = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ %

Ms = อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำขณะใช้งาน kg/hr

h_g = เอนธาลปีของไอน้ำที่หม้อไอน้ำขณะใช้งาน kJ/kg

h_f = เอนธาลปีของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ kJ/hr

m_f = มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ kJ/hr

F = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง kJ/kg

ที่มา: บริษัทมิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด, เอกสารอบรมหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน, กทม. ,หน้า 16

อัตราการผลิตไอน้ำจากสูตรนี้สามารถวัดได้โดยดูจากมิเตอร์น้ำที่วัดปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำหรือดูจากมิเตอร์วัดปริมาณไอน้ำได้ ส่วนเชื้อเพลิงสามารถวัดได้จากมิเตอร์เช่นกัน

2.การทำสมดุลย์ความร้อน (Heat Balance)

เป็นการตรวจวัดและคำนวณปริมาณความร้อนเข้าและออกของเครื่องกำเนิดไอน้ำและใช้กฎของพลังงานคือความร้อนเข้าเท่ากับความร้อนออก โดยวิธีนี้จะทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากตัวหม้อไอน้ำแต่ละจุด โดยละเอียดซึ่งจะทำให้สามารถตัดสินใจแก้ไขปรับปรุงในจุดที่มีการสูญเสียความร้อนมาก เพื่อลดการสูญเสียได้ถูกต้อง

ความรู้พื้นฐานในการทำดุลย์ความร้อน (Heat Balance)

1.ความหมายของดุลย์ความร้อน (Heat Balance)

- การคำนวณความร้อนเข้าและออกอุปกรณ์
- ตามกฎของการอนุรักษ์พลังงาน, ความร้อนเข้า = ความร้อนออก

2.ประโยชน์

- เพิ่มปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์
- ลดปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้า
- สามารถคาดคะเนความร้อนที่วัดได้ยาก
- สามารถตรวจสอบเครื่องมือวัด
- รู้วิธีการปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพขึ้น

3.หลักเกณฑ์ของการทำดุลย์ความร้อน

- ความร้อนเข้า : ความร้อนที่เข้าอุปกรณ์และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์เนื่องจากปฏิกิริยาเคมี
- ความร้อนออก : ความร้อนที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์และความร้อนที่ถูกดูดไว้ในอุปกรณ์
- ความร้อนที่ไม่ปล่อยออกจากอุปกรณ์แต่หมุนเวียนอยู่เรียกว่า ความร้อนหมุนเวียน
- ปริมาณต่าง ๆ ที่ใช้ เช่น อากาศ ,น้ำที่ป้อนมักใช้เป็นต่อหน่วยเชื้อเพลิง
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่ใช้ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value)
- อุณหภูมิมาตรฐาน: ใช้ที่ $0^{o}C$ หรือเรียกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก

<u>3.การตรวจวัด Stack Losses</u>

โดยการตรวจวัดอุณหภูมิของไอเสียและวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย ซึ่งจะสามารถเทียบการสูญเสียความร้อนทางไอเสียได้ หลักการในการคิดประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำมีดังนี้

3.1 การหาอุณหภูมิของไอเสียและวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย ซึ่งจะสามารถเทียบการสูญเสียความร้อนทางไอเสียได้ หลักการในการคิดประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำมีดังนี้

3.2 การตรวจวัดเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียจะเป็นตัววัดว่า การเผาไหม้มีประสิทธิภาพเพียงใด ถ้าเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมดโดยใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุด จะได้ความร้อนจากแก๊สร้อนสูงสุดโดยทั่วไป การเผาไหม้ที่ดีที่สุดจะควบคุมออกซิเจนในไอเสียให้มีค่าอยู่ระหว่าง 3-4 %

3.3 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี ความร้อนและลมเวียน เป็นความร้อนที่สูญเสียจากตัวหม้อไอน้ำเนื่องจากการกระจายความร้อนออกรอบ ๆ ตัวหม้อน้ำ และการพาความร้อนจากลมที่พัดผ่านตัวหม้อไอน้ำ ซึ่งการสูญเสียความร้อนตัวนี้ จะขึ้นกับขนาดและความดันของไอน้ำในหม้อน้ำ

การผลิตไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

คือการดำเนินการเพื่อลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงให้หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้มากที่สุดจากเชื้อเพลิงที่ใช้ ที่มีวิธีการดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของตัวหม้อน้ำ
2. ปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของตัวหม้อน้ำ
3. ควบคุมการ Blowdown
4. นำ Condensate กลับมาใช้ใหม่
5. นำความร้อนสูญเสียทางไอเสียกลับมาใช้
6. นำความร้อนจาก Blowdown กลับมาใช้
7. ปรับลดแรงดันที่หม้อน้ำให้สอดคล้องกับการใช้งาน

การทำงานของระบบหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานมีหม้อไอน้ำ (Boiler) สำเร็จรูปจำนวน 3 ชุด ยี่ห้อ IHI รุ่น kms-20A โดยปกติจะเดินหม้อไอน้ำจำนวน 2 ชุด เป็นหลัก เพื่อผลิตไอน้ำใช้ในขบวนการผลิตและสำรองไว้ 1 ชุด ข้อมูลทางเทคนิคของหม้อไอน้ำแสดงดังตารางที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของหม้อไอน้ำ

หัวข้อ	รายละเอียด
- ชนิดของหม้อไอน้ำ	แบบท่อไฟนอนสำเร็จรูป
- ความดันตามการออกแบบ	16 กก / ตร.ซม หรือ 227.5 ปอนด์/ตร.นิ้ว
- ความดันใช้งาน	14 กก / ตร.ซม. หรือ 199.1 ปอนด์ /ตร.นิ้ว
- อุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว	197.4 °C หรือ 387.3 °F
- กำลังการผลิตไอน้ำ	10 ตัน / ชม.
- แรงม้าหม้อไอน้ำ	767 B.H.P
- การถ่ายเทความร้อน	6,466 x 10^3 กิโลแคลอรี / ชม. หรือ 20,000 x 10^3BTU/ชม
- ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	88 %
- พื้นผิวรับความร้อน	126.70 ตารางเมตร
- เชื้อเพลิงที่ใช้จุดไฟ	ก๊าซโพรเพน
- น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้และค่าความร้อนของ	น้ำมันก๊าด 10,400 กิโลแคลอรี / กก.
เชื้อเพลิง	น้ำมันเตาเกรด A 10,140 กิโลแคลอรี / กก.
	น้ำมันเตาเกรด B, C 9,900 กิโลแคลอรี / กก.
- ลักษณะการควบคุมการเผาไหม้	Proportional Control
- ระบบหัวฉีดเผาไหม้	ใช้ลมและไอน้ำสเปรย์ให้เป็นฝอย
- การจุดไฟ	จุดด้วยก๊าซเผาไหม้ด้วยน้ำมัน
- ระบบกระแสลม	ใช้ระบบกระแสเร่งโดยใช้พัดลมเป่า
- อัตราการใช้น้ำมัน	น้ำมันเตาเกรด B,C = 737.1 กก /ชม หรือ 1,625 ปอนด์/ชม
- อุณหภูมิน้ำป้อนเข้า	20°C หรือ 68 ° F
- กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้	71.15 กิโลวัตต์
- ความดันของการทดสอบอัดน้ำ	9,430 กก.หรือ 20,790 ปอนด์
- น้ำหนักเปล่าของหม้อไอน้ำ	27,150 กก.

ที่มา: IHI – STPRESS Boiler, Instruction Manual: KMS – 20A Package Boiler, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., and ltd., หน้า 5

3.รายละเอียดของระบบผลิตน้ำหล่อเย็น

หน่วยผลิตน้ำหล่อเย็น มีหน้าที่ส่งจ่ายน้ำหล่อเย็นให้เพียงพอต่อการใช้ของหน่วยผลิตพีวีซีเรซิ่นโดยจะต้องควบคุมปริมาณการผลิตและอุณหภูมิ การผลิตน้ำหล่อเย็นของโรงงานตัวอย่าง จะผลิตด้วยระบบคูลิ่งเทาเวอร์ 2 ชุด คือคูลลิ่งเทาเวอร์ชุดที่2 มีความสามารถในการระบายความร้อน 3,500 Cal / Hr และคูลิ่งเทาเวอร์ ชุดที่3 มีความสามารถในการระบายความร้อนที่ 7,000 Mcal / Hr อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำหล่อเย็น ต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 32 ^{o}C

หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำหล่อเย็นทั่วๆไป มีรายละเอียดดังนี้

<u>น้ำหล่อเย็น</u> หรือ "Cooling water " คือ น้ำที่ไหลเวียนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือ Heat exchanger จุดประสงค์เพื่อเป็นตัวรับและถ่ายเทความร้อนให้แก่ Heat exchanger ระบบที่น้ำ Cooling ไหลผ่านจะเรียกว่า <u>ระบบน้ำหล่อเย็น</u> หรือ " Cooling water system" ซึ่งรวมถึงระบบ Cooling ขนาดเล็กที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศภายในอาคาร , โรงงาน (Air conditioners) ด้วย

ประเภทของระบบน้ำหล่อเย็น

ระบบน้ำหล่อเย็น แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. <u>Recalculating cooling water systems</u> คือ ระบบที่มีการหมุนเวียนเอาน้ำที่ไปใช้หล่อเย็นแล้ว มาลดอุณหภูมิแล้วนำกลับไปใช้หล่อเย็นอีก

   ระบบน้ำหล่อเย็นแบบหมุนเวียนนี้มี 2 ประเภท คือ

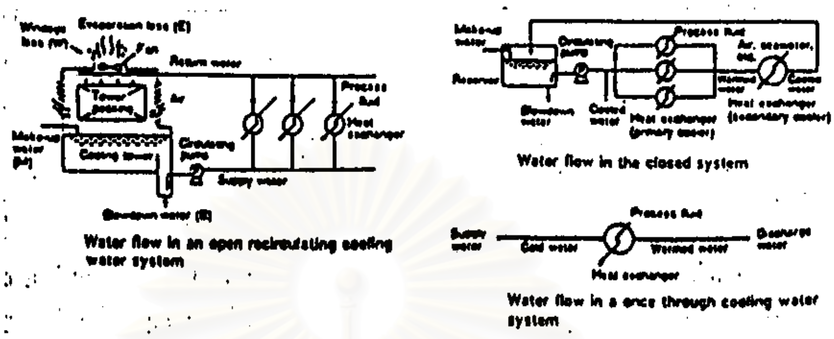
   1.1 <u>Open Recirculating cooling water systems หรือ Cooling tower system</u>

   คือ ระบบที่น้ำหล่อเย็นไหลผ่าน Heat exchanger แล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะหมุนเวียนกลับมาที่ Cooling tower เพื่อลดอุณหภูมิลงโดยอาศัยอากาศภายนอกทำให้ความร้อนในน้ำบางส่วนระเหยไป

   1.2 <u>Closed recirculating cooling water systems</u>

   คือ ระบบที่น้ำหล่อเย็น ถูกลดอุณหภูมิลงโดยอาศัยน้ำจากระบบ Open recirculating ไม่ได้อาศัยการระเหยจากอากาศภายนอก

2. <u>Once-through cooling water systems</u> คือ ระบบที่นำน้ำหล่อเย็นไปประบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วปล่อยทิ้งไปเลย โดยไม่มีการหมุนเวียนมาใช้อีก ระบบนี้มักใช้กับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งใช้แม่น้ำหรือน้ำทะเลมาใช้เป็นน้ำหล่อเย็น เนื่องจากต้องใช้น้ำปริมาณมหาศาลในการหล่อเย็น Steam condensers



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการหมุนเวียนของน้ำในระบบน้ำหล่อเย็น

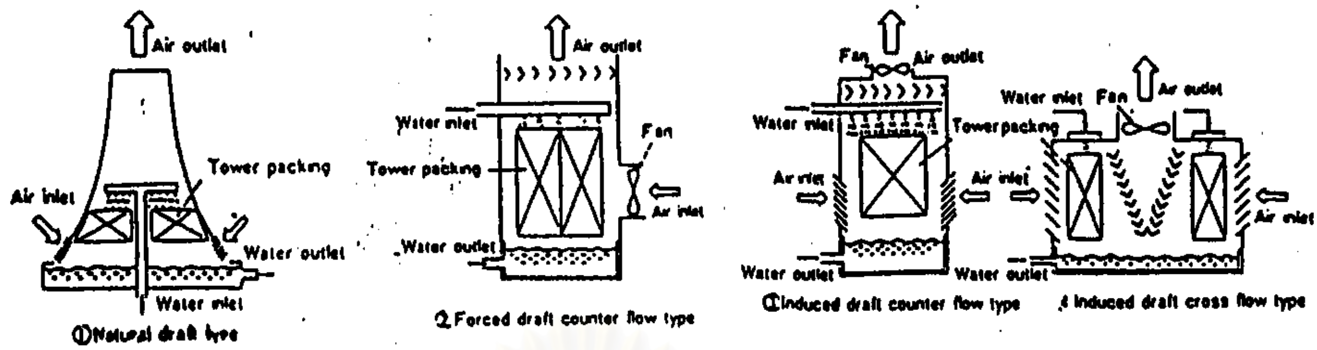
ที่มา: บริษัท โกซูเคมีคอล จำกัด, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการปรับปรุงคุณภาพน้ำและระบบน้ำหล่อเย็น , หน้า5

Cooling tower ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบ Open recalculating สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

<u>1.1 Natural draft type</u> อากาศที่เข้ามาใน Cooling tower เพื่อระบายความร้อนของน้ำ Cooling จะเข้ามาโดยอาศัยการหมุนเวียนของอากาศตามธรรมชาติ

<u>1.2 Mechanical draft type</u> อากาศจากภายนอกจะเข้ามาใน Cooling โดยอาศัย Blower ได้แก่ พัดลม ถ้าใช้พัดลมผลักดันอากาศเข้ามาใน Cooling tower จะเป็น " Forced draft type" ถ้าใช้พัดลมดูดอากาศเข้ามาใน cooling tower จะเรียก "Induced draft type"

ลักษณะการสัมผัสกันของอากาศกับน้ำที่ตกลงมาเป็นหยดน้ำใน Cooling tower จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ถ้าอากาศกับน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน คือ น้ำเคลื่อนที่จากด้านบนสู่ด้านล่าง ส่วนอากาศเคลื่อนที่จากล่างสู่ด้านบน จะเรียก "Counter flow type " และถ้าอากาศกับน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน โดยน้ำตามแนวดิ่งจากบนลงล่างตัดกับอากาศซึ่งเคลื่อนที่ตามแนวนอน จะเรียก " Cross Flow type"



รูปที่2.4 แสดงประเภทของระบบหล่อเย็นแบบต่างๆ

ที่มา: บริษัท โกซูเคมีคอล จำกัด, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการปรับปรุงคุณภาพน้ำและระบบน้ำหล่อเย็น , หน้า6

ค่าต่าง ๆ และสัญลักษณ์ที่ควรทราบในระบบน้ำหล่อเย็นทุกชนิดแบบเปิด

1. Recirculating water (R) คือ ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบต่อชั่วโมงหน่วยเป็น ลบม. ต่อ ชม. (m^3 /hr)
2. Holding water (H) คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดในระบบหน่วยเป็น ลบม. (m^3)
3. Different Temperature (Δ T) คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างน้ำที่เข้าและออกจาก Cooling tower หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
4. Evaporation loss (E) คือ ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่สูญเสียจากระบบโดยการระเหย หน่วย ลบม. / ชม. ค่านี้หาได้จากสมการ

$$E = \frac{R \times \Delta T}{5.8 \times 100}$$

ที่มา: บริษัท โกซูเคมีคอล จำกัด, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการปรับปรุงคุณภาพน้ำและระบบน้ำหล่อเย็น หน้า6

เมื่อน้ำหล่อเย็นสัมผัสกับน้ำใน COOLING TOWER น้ำก็จะเกิดการระเหยพร้อมกับการคายความร้อนแฝงออกมา ซึ่งจะทำให้น้ำนั้นมีอุณหภูมิลดลง การสูญเสียน้ำจากการระเหยนี้โดยปกติจะแสดงเป็นสัดส่วนต่อ 100 ส่วนของปริมาณน้ำที่ไหลหมุนเวียน ความร้อนแฝงของน้ำนี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของน้ำแต่โดยประมาณแล้ว จะมีค่าอยู่ในราว 580 Kcal/kg ซึ่งหมายความว่าการที่จะลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลง 5.8 °C นั้นจำเป็นจะต้องมีการสูญเสียน้ำ ซึ่งจะระเหยออกไป 1 %

5. Drift loss (D) การที่มีการสัมผัสกันโดยตรงของน้ำกับอากาศนั้น อากาศจะพาเอาหยดน้ำที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ออกไปที่ทางออกด้วย การสูญเสียน้ำในลักษณะนี้เรียกว่า DRIFT LOSS ซึ่งจะมีค่า 0.05 – 0.1 % ของปริมาณน้ำที่ไหลหมุนเวียนอยู่ในระบบหน่วยเป็นลบม. /ชม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. Blow down (B) เนื่องจากน้ำที่ถูกป้อนเข้าCooling Tower นั้น จะมีสารไม่บริสุทธิ์ปนเปื้อนอยู่ โดยสารนี้จะไม่ระเหยออกไปกับการระเหยของน้ำโดยจะตกค้างอยู่ในระบบ และจะยิ่งเพิ่มความเข้มข้นเรื่อย เมื่อมีการนำน้ำนั้นหมุนเวียนกลับมาใช้อีก ซึ่งจะเป็นสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ เช่น การกัดกร่อน , ตะกรัน เป็นต้น

   ดังนั้นเพื่อที่ควบคุมสารปนเปื้อนเหล่านี้ให้มีความเข้มข้นอยู่ในขอบเขตที่กำหนดจะต้องมีการทิ้งน้ำเก่าที่ใช้หมุนเวียนอยู่บางส่วน และเติมน้ำใหม่ เข้าไปแทนที่ ซึ่งวิธีการอย่างนี้เรียกกันว่า BLOW DOWN หรือ BLEED OFF หน่วย ลบม. / ชม.
7. Make up (M) หมายถึง ปริมาณน้ำที่จะต้องเติมเข้าไปในระบบหมุนเวียน เพื่อทดแทนน้ำส่วนที่สูญเสียออกจากระบบทั้งหมด ได้แก่ น้ำที่สูญเสียโดยการระเหย , DRIFT LOSS , และ BLOW DOWN
8. Cycle of concentration (N) หรือ วัฏจักรของความเข้มข้น คือ ดัชนีที่แสดงจำนวนเท่าของความเข้มข้นของสารละลาย ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำที่ใช้หมุนเวียนต่อความเข้มข้นของสารเหล่านี้ในน้ำเติมเข้าระบบ

วัฏจักรความเข้มข้น (N) = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำหมุนเวียน (Cr) / ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำเติม (Cm)

ค่านี้จะมีความสัมพันธ์กับค่า Blow Down และ Make up เนื่องจากถ้าเราสามารถทำให้ค่า N สูงขึ้นการสูญเสียน้ำจากการ Blow down จะน้อยลง ปริมาณน้ำที่เติมเพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไปจากการ Blowdown หรือ Make up ก็จะน้อยลงด้วย

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำในระบบ Cooling ให้สูงขึ้น จะก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากการสะสมของสารต่าง ๆ ที่มีในน้ำ cooling ขึ้นได้ เช่น ปัญหาตะกรัน และการกัดกร่อน การใช้สารเคมีที่เหมาะสมในระบบ Cooling จะช่วยป้องกันปัญหาดังกล่าวได้ ทำให้สามารถใช้งาน Cooling ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นได้

<u>การทำงานของระบบผลิตน้ำหล่อเย็นของโรงงานตัวอย่าง</u>

ระบบผลิตน้ำหล่อเย็นในโรงงานตัวอย่างประกอบด้วยคูลลิ่งเทาเวอร์ 2 ชุด คือคูลลิ่งเทาเวอร์ชุดที่ 2 และคูลลิ่งเทาเวอร์ชุดที่ 3 โดยคูลลิ่งเทาเวอร์ชุดที่ 2ประกอบด้วยปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 3 ตัวและพัดลม 2ตัว ซึ่งโดยปกติ จะเดินปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 1 ตัว และพัดลม 2 ตัว ในการระบายความร้อนน้ำหล่อเย็นที่ถูกส่งกลับจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของหน่วยผลิตพีวีซีเรซิ่นที่ 3 ส่วนคูลลิ่งเทาเวอร์ชุดที่ 3 ประกอบด้วยปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 4 ตัวและพัดลม 4 ตัว ซึ่งโดยปกติ จะเดินปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 2 ตัว และพัดลม 4 ตัว ในการระบายความร้อนน้ำหล่อเย็นที่ถูกส่งกลับจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของหน่วยผลิตพีวีซีเรซิ่นที่4

4.รายละเอียดของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์

หน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์มีหน้าที่ควบคุมการผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้มีสำรองเพียงพอต่อการใช้ของหน่วยผลิตพีวีซีเรซิน คุณภาพของน้ำบริสุทธิ์ที่หน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์ต้องควบคุมมีดังนี้

1.ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ (Conductivity) ต้องมีค่าน้อยกว่า 2 us/cm

2.ค่าซิลิกาในน้ำบริสุทธิ์(Silica) ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 ppm

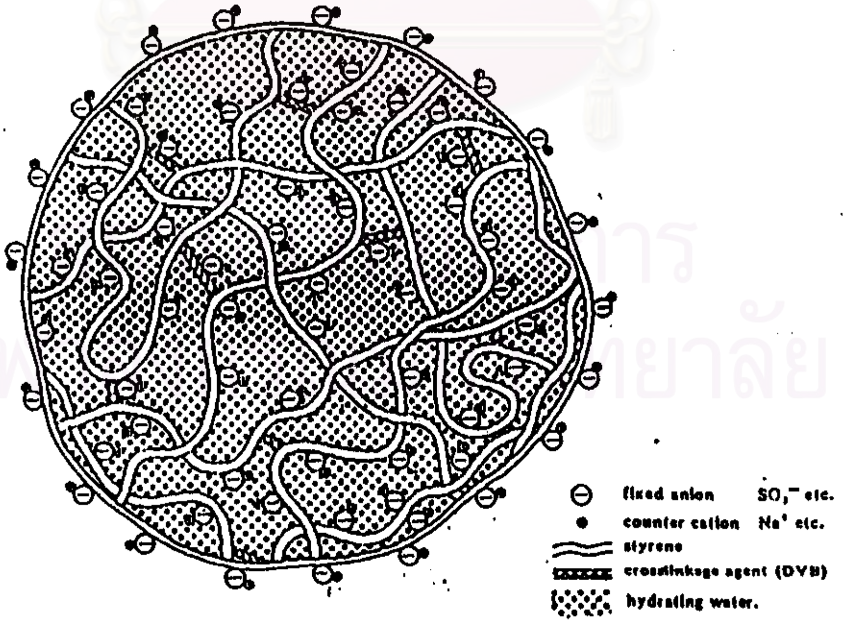
3.ค่าเหล็ก(Iron) ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 ppm

4. ค่า pH ต้องอยู่ในช่วง pH 6.0 – 7.0

หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั่วๆไป มีดังนี้

เนื่องจากการขจัดมลทินในน้ำด้วยวิธีการกรองแบบทั่ว ๆ ไป จะสามารถขจัดมนทินในน้ำบางชนิดได้ แต่มนทินที่อยู่ในรูปของสารละลายจะขจัดไม่ได้ ต้องใช้วิธีแลกเปลี่ยนอิออน (Ion Exchange) โดยใช้เรซิน(Resin) ซึ่งเรซินจะเป็นสารโพลีไตรีนที่มีการจับตัวแบบ Crosslinkage ด้วย Divinglbenzene (DVB) เรซินได้มีการพัฒนาความสามารถในการขจัดอิออนขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปัจจุบันสามารถขจัดอิออนประจุลบได้ทุกชนิด แม้แต่ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดซิลิสิก กรดคาร์บอนิก

ปริมาณร้อยละของ DVB ที่มีอยู่ในเรซิ่น เรียกว่า Crosslinkage เรซินเมื่อแช่อยู่น้ำจะมีรูเล็ก ๆ เป็นโพรงอยู่ภายในมากมาย อิออนจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเรซิ่นตามรูเล็ก ๆ เหล่านี้ ถ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ DVB สูงก็จะมีขนาดของรูเล็ก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเม็ดเรซิน

ที่มา: ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540, หน้า194

<u>การจำแนกประเภทของเรซิ่น</u>

ในปัจจุบันมีการจำแนกเรซิ่นออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ชนิดประจุบวก – กรดแก่ ตัวย่อ SC (Strong acid Cation)
2. ชนิดประจุบวก – กรดอ่อน ตัวย่อ WC (Weak acid Cation)
3. ชนิดประจุลบ – ด่างแก่ ตัวย่อ SB (Strong base anion)
4. ชนิดประจุลบ – ด่างอ่อน ตัวย่อ WB (Weak base anion)

เรซิ่นทั้งสี่แบบนี้จะมีอิออนประจำตัวดังนี้

SC	$-SO_3^-$
WC	$-COO^-$
SB	$-NR_3^+$
WB	$-NH_2$, $-NHR$, $-NR_2$

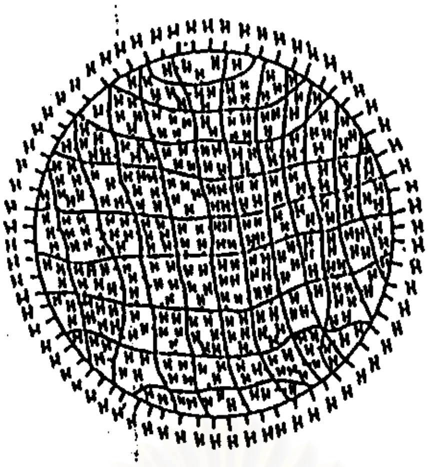
โครงสร้างหลักของเรซิ่นทุกประเภทจะเหมือนกัน แตกต่างกันก็ที่ชนิดของอิออนกรุ๊ปที่ติดอยู่กับเรซิ่นเท่านั้น

เรซิ่นประจุบวก ทำได้โดยให้มีกรุ๊ปอิออน $-SO_3H$ และ $-COOH$ ติดอยู่กับส่วนที่เป็นโพลีเมอร์ของเรซิ่น (R = เรซิ่น) ดังนั้นจะเขียนสูตรได้ในรูป $R\text{-}SO_3H$ หรือ R-COOH ได้เมื่อเรซิ่นอยู่ในน้ำจะแตกตัวได้ดังนี้

$$R - SO_3H \longrightarrow R - SO_3^- + H^+$$

$$R - COOH \longrightarrow R - COO^- + H^+$$

เรซิ่นแบบ $R\text{-}SO_3H$ จะแตกตัวได้ง่ายและเมื่อแตกตัวจะให้ความเป็นกรดเหมือนกับ HCl และ H_2SO_4 ซึ่งเป็นกรดแก่ ดังนั้น จึงถือว่าเป็น SC แต่ถ้าเป็นเรซิ่นแบบ R-COOH จะแตกตัวได้ยากเหมือนกับกรดอ่อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอินทรีย์ จึงถือว่าเป็น WC SCสามารถแยกตัวได้ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดหรือด่าง แต่ WC จะแตกตัวได้ในสารละลายที่เป็นด่างหรือเป็นกลางเท่านั้น



รูป 2.6 โครงสร้างของเรซิ่น SC เมื่ออยู่ในสภาพที่แตกตัว

ที่มา:ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540,หน้า195

เรซิ่นแบบ SC เป็นเรซิ่นที่มีการใช้งานมากที่สุดในจำพวกเรซิ่นประจุบวกและปกติจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม (R – SO_3Na) แต่เวลาจะใช้งานจะใช้ในรูป R- SO_3H ดังนั้นจึงต้องมีการล้างเรซิน (Regenerate) ก่อนใช้งาน ถ้าใช้กรดล้างเรซิ่นชนิด SC แล้วเรซิ่นนี้จะจับอิออนประจุบวกเกือบทุกชนิดที่มีอยู่ในน้ำได้

เรซิ่นชนิดกรดอ่อนประจุบวกหรือ WC เนื่องจากมีกรุ๊ป - COOH ซึ่งเป็นกรดอ่อน จึงไม่สามารถจับอิออนประจุบวกของเกลืออินทรีย์ แต่แลกเปลี่ยนอิออนกับด่างโซดาไฟหรือเกลือกรดอ่อนได้ เช่น $NaHCO_3$

$$R-COOH + NaOH \longrightarrow RCOONa + H_2O$$

$$R-COOH + NaHCO_3 \longrightarrow RCOONa + H_2O + CO_2$$

คุณลักษณะที่ดีของเรซิ่นชนิด WC คือ ฟื้นฟูประสิทธิภาพให้อยู่ในรูปเดิม (รูปที่มี H) ได้ง่ายและในการฟื้นฟูก็ต้องการปริมาณกรดล้างน้อยกว่าแบบ SC มากพอควร แต่ข้อเสียก็คือ ปลดปล่อยอิออนที่จับไว้ได้โดยง่าย เช่น การที่มีน้ำไหลผ่านก็จะปล่อยอิออนโซเดียมออกมา

$$R - COONa + H_2O\ R \longrightarrow R - COOH + NaOH$$

ถ้าหากใช้เรซิ่นชนิด WC ในรูปวัฏจักรไฮโดรเจนแล้ว จะจับอิออนประจุบวกที่อยู่ในรูปความเป็นด่างได้

$$\begin{pmatrix} Ca \\ Mg \\ 2Na \end{pmatrix} (HCO_3) + 2RCOOH \longrightarrow \begin{pmatrix} Ca \\ Mg \\ 2Na \end{pmatrix} + 2H_2CO_2$$

เรซิ่นชนิด WC จะใช้งานที่ pH ต่ำกว่า 5.0 ไม่ได้ เพราะไม่สามารถจับอิออนได้ตามปกติ ดังนั้น การใช้เรซิ่น WC ก็เพื่อการประหยัดกรดในการล้างและลดปริมาณน้ำทิ้ง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำน้ำอ่อนและลดความเป็นด่าง (Dealkalization)

เรซิ่นประจุลบ เป็นเรซิ่นที่ใช้จับอิออนประจุลบได้ โครงสร้างจะมีกรุ๊ป Quaternary Ammonium $-NH_2$, NHR และ - NR_2 ติดอยู่กับโครงสร้างของเรซิ่น เขียนสูตรในรูป R- NOH ซึ่งเมื่ออยู่ในน้ำจะมีปฏิกิริยาแตกตัวดังนี้

$$R-NOH \rightleftharpoons R-N^{+} + OH^{-}$$

เรซิ่นแบบ SB จะมีกรุ๊ปพวก Quaternary Ammonium ซึ่งจะมีปฏิกิริยาแตกตัวได้ที่ pH ทุกช่วง แต่ถ้าเป็น WB จะมีกรุ๊ป primary amine ไปจนถึง tertiary amine เช่น $R-NH_2$ ซึ่งจะแตกตัวดังนี้

$$R-NH_2 + H_2O \longrightarrow R\text{-}NH^{+}_{3} + OH^{-}$$

แต่ถ้าอยู่ในสารละลายที่มีสภาพเป็นด่างจะไม่แตกตัวและไม่สามารถจับหรือแลกเปลี่ยนอิออนได้เรซิ่นแบบ SB ที่ใช้อยู่จะขายในรูปของคลอไรด์ (R –NCl) ทั้งนี้เพราะมีเสถียรภาพสูงกว่า ในการใช้งานซึ่งต้องใช้ในรูป R-NOH ก็ต้องล้างหรือฟื้นฟูประสิทธิภาพของเรซิ่นด้วยด่างโซดาไฟก่อน

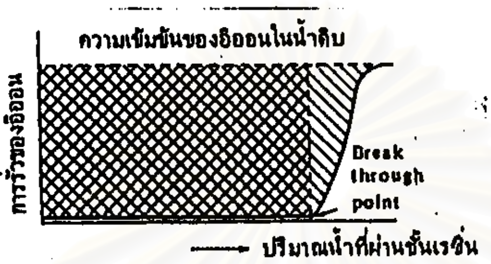
$$R-NCl + NaOH \rightleftharpoons R-ROH + NaCl$$

เรซินชนิดSB ที่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ จะจับอิออนประจุลบ ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ได้ดี เรซินSB เมื่อใช้งานแล้วต้องใช้ด่างโซดาไฟล้างจึงจะกลับคืนสู่สภาพเดิม เรซินชนิด WB ใช้จับอิออนประจุลบของกรดแก่ และจะไม่จับอิออนของกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดซิลิสิก ในการใช้งานWBจะใช้คู่กับ SB เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการล้างฟื้นฟูประสิทธิภาพของเรซินและดักจับสารอินทรีย์ทั้งหลายไม่ให้อุดตันเม็ด SB

ความสามารถในการจับอิออนของเรซิ่น

กำลังความสามารถในการจับอิออนของเรซิ่นนี้คือ Exchange Capacity วิธีการวัดกำลังความสามารถในการจับอิออนของเรซิ่นกระทำได้ดังนี้ นำเรซิ่นบรรจุในภาชนะทรงกระบอกที่มีทรงสูง ถ้าเป็นเรซิ่นชนิด SC ก็ต้องล้างด้วยกรดเกลือเข้มข้น 5 –10 % โดยปล่อยให้น้ำกรดไหลผ่านชั้นของเรซิ่นอย่างช้า ๆ เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจน ให้ใช้น้ำกรดมากเกินพอเพื่อล้างเรซินให้อยู่ในรูปไฮโดรเจนหมด หลังจากนั้นล้างเรซิ่นด้วยน้ำปราศจากเกลือ (NaCl) แล้วเริ่มทดลองโดยปล่อยน้ำเกลือไหลผ่านชั้นของเรซิ่น วัดปริมาณอิออนประจุบวก ในรูป Na^{+} ที่อยู่ในน้ำที่ปล่อยออกทางด้านล่าง

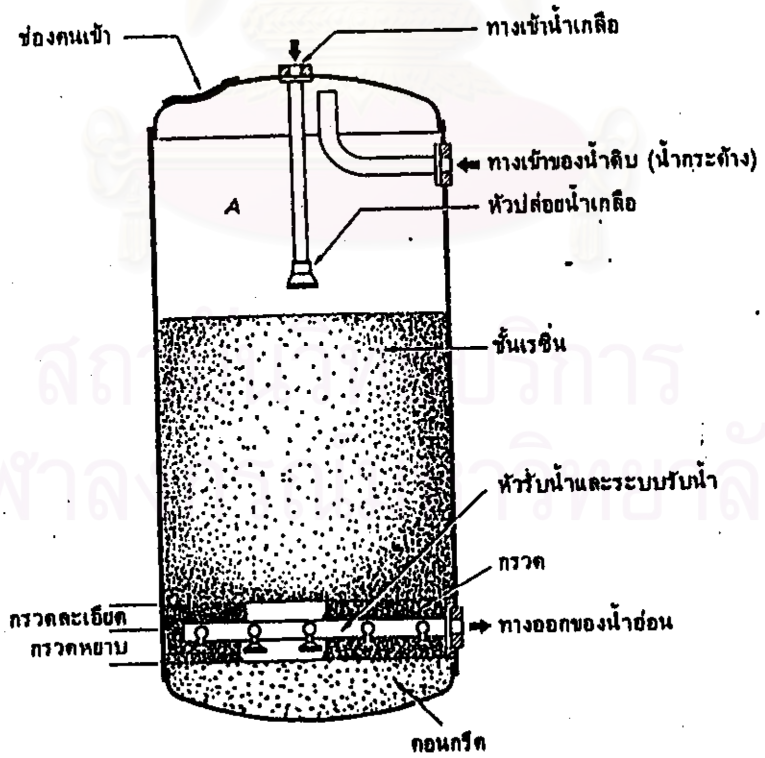
ในรูปที่ 2.7 เป็นกราฟแสดงกำลังความสามารถในการจับอิออนของเรซิ่น แกนตั้งแทนความเข้มข้นของโซเดียมอิออน (Na^+) แกนนอนแทนปริมาตรน้ำเกลือที่ไหลผ่านเรซิ่น จากรูปจะเห็นได้ว่าในตอนแรกน้ำที่ผ่านชั้นเรซิ่นจะมีโซเดียมอิออนติดออกมาน้อยมาก แต่หลังจากให้น้ำเกลือไหลผ่านไปเรื่อย ๆ จะพบว่าน้ำที่ออกมาจะมีปริมาณโซเดียมอิออนเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลัน จุดนี้เรียกว่า Break through point (B.T.P) ในบางครั้งจุดนี้จะไม่ได้หักมุมโดยทันที แต่ค่อย ๆ โค้งขึ้น เมื่อถึงจุดนี้จะมีโซเดียมอิออนปนมากับน้ำมากขึ้นเรื่อย ๆ จนมีปริมาณเท่ากับน้ำเกลือที่ไหลเข้าในที่สุด



รูปที่2.7 ภาพแสดงความสามารถในการจับอิออน

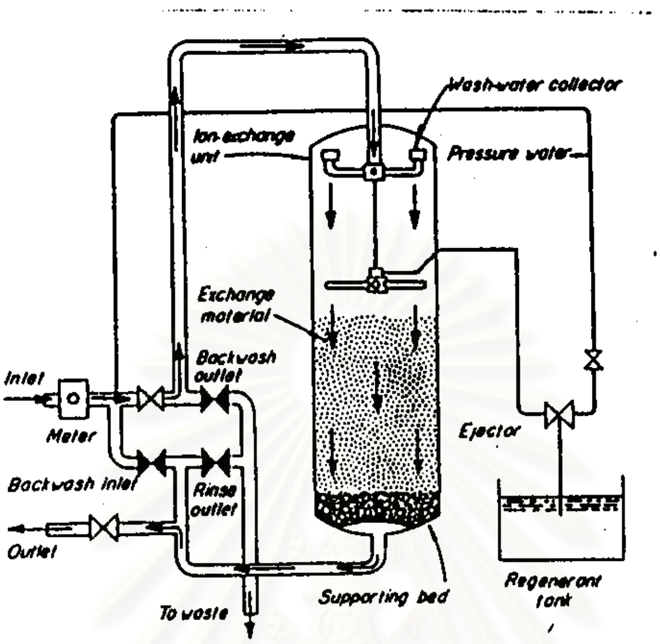
ที่มา:ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540, หน้า200

อุปกรณ์และการใช้งานเรซิน



รูปที่2.8 แสดงรายละเอียดภายในของอุปกรณ์ที่บรรจุเรซิน

ที่มา:ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540, หน้า201



รูปที่ 2.9 การต่อท่อของเครื่องจับอิออนโดยใช้เรซิน

ที่มา:ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540, หน้า202

เมื่อนำเรซิ่นไปใช้งานก็ต้องนำไปบรรจุในภาชนะรูปทรงกระบอกทรงสูงและอุปกรณ์เกี่ยวเนื่องดังรายละเอียดในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ขั้นตอนการใช้งานหลังจากปล่อยน้ำผ่านชั้นเรซิ่นแล้วมีดังนี้คือ

ล้างกลับ ⟶ ล้างน้ำยา ⟶ ล้างช้า ⟶ ล้างเร็ว ⟶

Backwash Regeneration Push out Rinse

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ล้างกลับ เนื่องจากเม็ดเรซิ่นมีขนาดเล็ก จึงทำหน้าที่เป็นสารกรองน้ำด้วย สารแขวนลอยต่าง ๆ ที่ถูกกรองไว้จะตกค้างอยู่บนผิวหน้าของชั้นเรซิ่น เมื่อล้างกลับน้ำจะไหลสวนทางกับเมื่อตอนใช้งานเพื่อให้ชั้นเรซิ่นขยายตัวไล่สารแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำล้าง แต่ก็ต้องควบคุมอัตราความเร็วของกระแสน้ำให้พอเหมาะโดยให้ชั้นเรซิ่นขยายตัว 50-80 % ถ้าน้ำไหลแรงเกินไปอาจจะพาเม็ดเรซิ่นที่มีขนาดเล็กหลุดลอยไปด้วย เนื่องจากชั้นเรซิ่นมีการขยายตัวดังกล่าว ดังนั้น ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่บรรจุต้องมีที่ว่างเหนือชั้นเรซินมากพอเพื่อเผื่อการขยายตัว หลังจากล้างกลับแล้วเม็ดเรซินจะตกตะกอนเรียงตัวตามขนาดใหญ่เล็ก

2.ล้างน้ำยา โดยการปล่อยน้ำล้างเรซิ่นเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพดังเดิม (น้ำยานี้อาจเป็นน้ำเกลือ น้ำกรด หรือด่าง ขึ้นกับชนิดของเรซิ่นและการใช้งาน) น้ำยานี้จะไหลอย่างช้า ๆ จากด้านบนสู่ด้านล่างปริมาณและความเข้มข้นของน้ำยาล้างที่ใช้ขึ้นกับชนิดเรซิ่นและจุดประสงค์ในการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วควรให้เรซิ่นมีโอกาสสัมผัสกับน้ำยาล้างที่สุด เพื่อให้น้ำยาแพร่กระจายไปสู่เม็ดเรซิ่นอย่างทั่วถึง

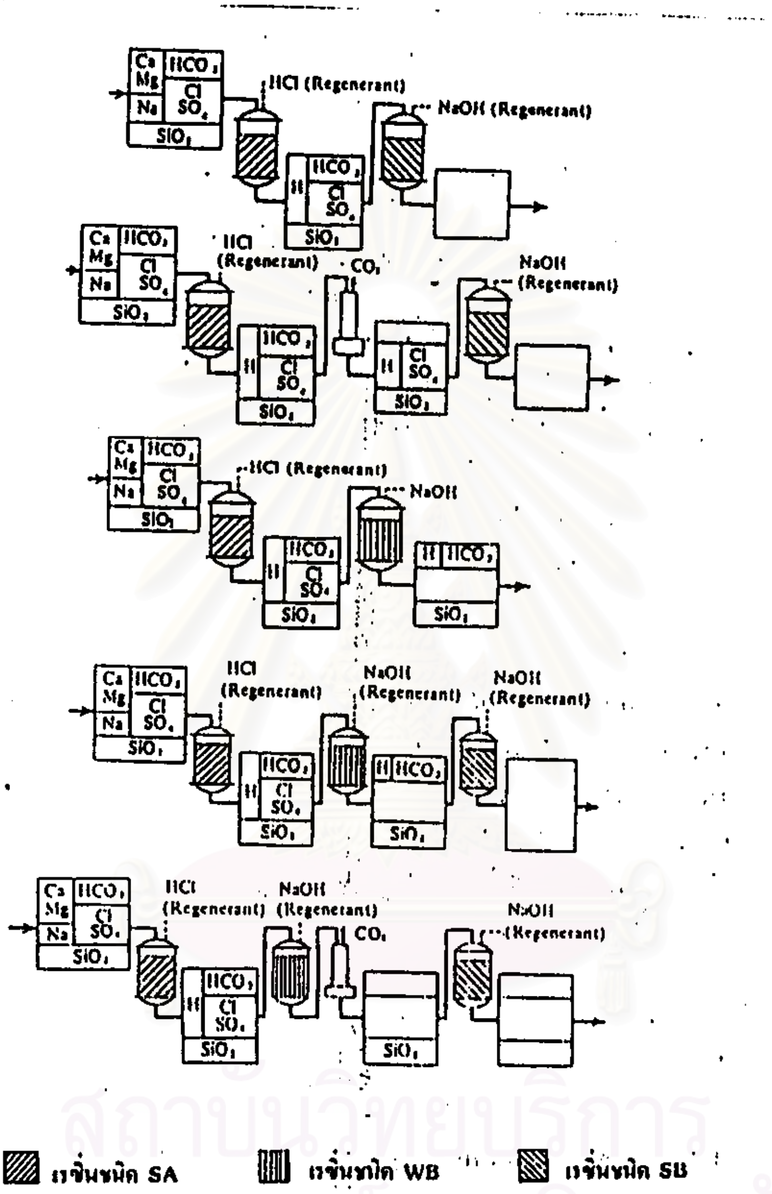
3.ล้างช้า หลังจากล้างน้ำยาแล้วย่อมมีน้ำยาตกค้างอยู่ในชั้นเรซิ่น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดปราศจากอิออนที่ต้องการจะจับด้วยเรซิ่น ปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างในทิศทางและอัตราเดียวกับการล้างน้ำยา ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างช้าทั้งหมดควรเป็น 2 เท่าของปริมาตรเรซิ่นที่บรรจุอยู่ การล้างช้านี้เป็นส่วนต่อเนื่องของการล้างน้ำยา เพราะในขณะที่ไล่น้ำยาตกค้างในชั้นเรซิ่นออกมานั้น ก็เท่ากับให้โอกาสเม็ดเรซิ่นที่สัมผัสกับน้ำยาน้อยได้มีโอกาสสัมผัสมากขึ้น

4.ล้างเร็ว หลังจากล้างช้าแล้วก็อาจจะมีน้ำยาล้างเรซิ่นตกค้างอยู่อีก จึงต้องใช้น้ำสะอาดเช่นเดียวกับการล้างช้าล้างต่อด้วยอัตราไหลสูงที่สูงขึ้น ปกติจะใช้ความเร็วเท่ากับเมื่อตอนใช้งาน ล้างจนกว่าเรซิ่นจะสู่สภาพเดิมและพร้อมที่จะใช้งานได้ ถ้าเป็นเครื่องทำน้ำอ่อน (Softening) ก็ล้างจนกว่าน้ำที่ไหลผ่านเรซิ่นจะความกระด้างต่ำที่สุด และถ้าเป็นเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (demineralization) ก็ล้างจนมีค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำสุด

5.ใช้งาน หลังจากการล้างได้สิ้นสุดแล้วโดยที่น้ำผ่านชั้นเรซิ่นมีคุณสมบัติตามาตรฐานที่ตั้งก็ปล่อยให้น้ำดิบไหลผ่าน เพื่อจับอิออนในน้ำ ใช้งานไปจนกระทั่งอิออนที่ไม่ต้องการเริ่มออกมากับกระแสน้ำแสดงว่าเรซิ่นเริ่มอิ่มตัวแล้ว ต้องทำการล้างเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพ

<u>ระบบการขจัดอิออนแบบต่าง ๆ</u>

เนื่องจากเรซิ่นที่ใช้งานนั้นมีอยู่หลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป อีกทั้งการจัดลำดับของหอหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อกันนั้นกระทำได้หลายแบบซึ่งจะให้คุณภาพน้ำที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นระบบการผลิตน้ำบริสุทธิ์จึงได้มีหลายแบบขึ้นอยู่กับการออกแบบ ตามรูปที่ 2.10



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่2.10 ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบต่างๆ และอิออนที่ขจัดได้

ที่มา:ณรงค์ วุทธเสถียร, การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2540, หน้า226

5.รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสีย

หน่วยบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวอย่างมีหน้าที่บำบัดน้ำทิ้งจากส่วนต่าง ๆ ของโรงงานให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้นตามาตรฐานน้ำทิ้ง ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำทิ้งทั้งหมดจะไหลมารวมกันที่บ่อรวมน้ำเสีย (Collecting Sump) ซึ่งทำหน้าที่ดักขยะ ดักไขมันและดักตะกอนหนัก จากนั้นน้ำเสียจะไหลสู่บ่อดักน้ำเสีย (Interceptor) เพื่อเป็นบ่อแยกน้ำฝนออกจากน้ำเสีย ก่อนที่จะเข้าบ่อสูบ (Pump Sump) จากบ่อสูบ (Pump Sump) จะมีเครื่องสูบน้ำเสีย (Pump) สูบน้ำเสียเข้าบ่อปรับให้เสมอ (Equalization Tank) และจากบ่อปรับให้เสมอ น้ำเสียจะถูกสูบผ่าน Static Mixer เข้าไปผสมกับสารเคมี เพื่อปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง โดยการจ่ายกรดซัลฟูริก ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่บ่อกวนเร็ว กรณีที่มีตะกอนมากจะเติมสารส้มที่บ่อกวนเร็ว และน้ำเสียจะไหลต่อไปยังบ่อกวนช้า เพื่อทำให้ตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น (Flocculation)

หลังจากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่บ่อตะกอนขั้นแรก (Primary Sedimentation Tank) เพื่อแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสีย และไหลเข้าสู่บ่อเติมอากาศแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Fixed Film Aeration Tank) ก่อนจะเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Sedimentation Tank) และปล่อยน้ำใสลงสู่ลำน้ำสาธารณะต่อไป สำหรับตะกอนที่จมลงในถังตะกอนขั้นแรก และถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายจะถูกสูบเข้าลานตากตะกอน (Sand Drying Bed) เพื่อทำให้ตะกอนแห้งและสามารถรวบรวมไปกำจัดต่อไป แผนผังโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแสดงดังรูป 2.11

ลักษณะและหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียบ่อต่าง ๆ

1.บ่อรวมน้ำเสีย (Collecting Sump)

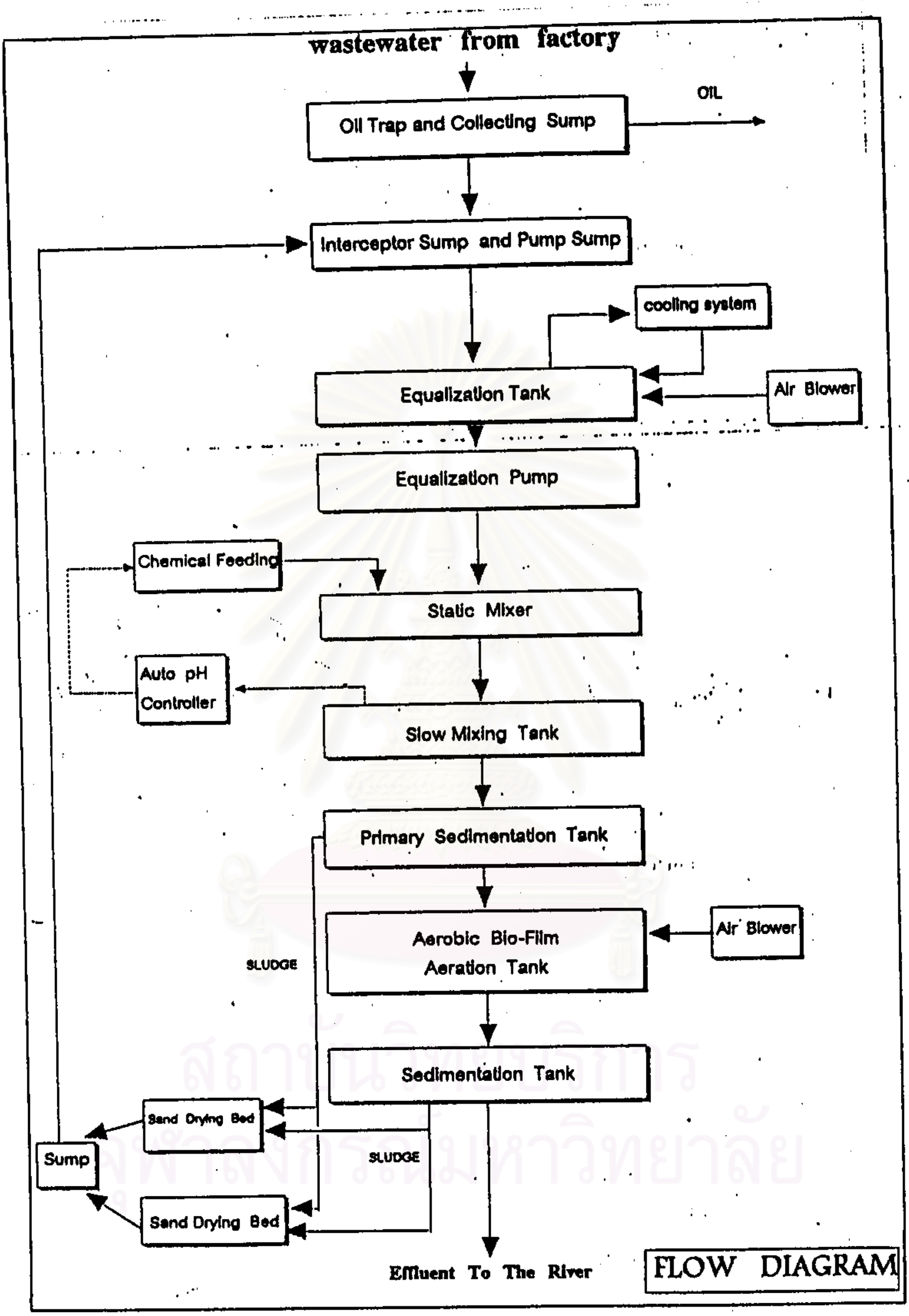
ลักษณะบ่อ : กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร ภายในบ่อผนังแบ่งครึ่งออกเป็น 2 ส่วน ในบ่อส่วนแรกจะมีตะแกรงดักขยะลอยและไขมัน

หลักการทำงาน : น้ำเสียจะไหลเข้ามาในส่วนแรก และไหลออกจากด้านล่างเข้าสู่ส่วนที่สองก่อนที่จะไหลตามท่อระบายน้ำไปบ่อดักน้ำเสีย (Interceptor) ขยะและไขมันจะถูกดักเก็บไว้ในบ่อส่วนแรกของบ่อรวมทั้งตะกอนพีวีซี บางส่วนจะตกลงในบ่อนี้

2.บ่อดักน้ำเสีย (Interceptor)

ลักษณะบ่อ : กว้าง 1.50 เมตร ยาว 2.00 เมตร ลึก 2.40 เมตร อยู่ติดกับบ่อสูบ (PUMP SUMP)

หลักการทำงาน : บ่อดักน้ำเสียทำหน้าที่รับน้ำเสีย และน้ำฝนในปริมาณ 3 เท่าของปริมาณน้ำเสีย (3,000 m^3 / day) เข้าสู่บ่อสูบ สำหรับน้ำเสียและน้ำฝนที่เกินกว่านั้น จะไหลล้นออกไปทางท่อระบายน้ำออกสู่ภายนอก



รูปที่ 2.11 แผงผังโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง

3.บ่อสูบ (PUMP SUMP)

ลักษณะบ่อ : กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 3.30 เมตร อยู่ติดกับบ่อดักน้ำเสีย (Interceptor)

หลักการทำงาน : บ่อสูบทำหน้าที่รับน้ำเสียจากบ่อดักน้ำเสียและเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 2-3 ลูกบาศก์เมตร ก่อนที่สวิทซ์ลูกลอย ทำหน้าที่เปิด/ปิด เครื่องสูบน้ำและคอยควบคุมระดับน้ำในบ่อสูบ

4.บ่อปรับให้เสมอ (EQUALIZATION TANK)

ลักษณะบ่อ : กว้าง 8.30 เมตร ยาว 12.30 เมตร ลึก 2.00 เมตร

หลักการทำงาน : บ่อปรับให้เสมอทำหน้าที่เก็บกักน้ำเสียที่สูบขึ้นมาจากบ่อสูบ (Pump Sump)ไว้ปริมาณหนึ่งในหนึ่งวันซึ่งมากพอที่จะสูบป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดได้อย่างสม่ำเสมอตลอดวัน ด้วยเครื่องสูบน้ำขนาด 42 ลบม. / ชม. จำนวน 3 ชุด และจะควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำด้วยสวิทซ์ลูกลอย ภายในบ่อปรับให้เสมอมีระบบการผสมอากาศเพื่อทำให้น้ำเสีย ซึ่งเก็บกักไว้มีคุณลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันหรือเหมือนกันทั้งบ่อ (Homogeneous) ก่อนที่จะถูกสูบป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด ระบบกวนผสมด้วยอากาศนี้ได้อากาศมาจากเครื่องเป่าอากาศ (Rotary Air Blower) จำนวน 2 ชุด เป่าอากาศมาตามท่อและจ่ายออกทางหัวจ่ายอากาศแบบให้ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse Bubble Diffuser) ซึ่งติดตั้งกระจายอยู่ทั่วก้นบ่อโดยเครื่องเป่าอากาศจะทำงานครั้งละ 1 ชุด และสลับกันทำงานทุก ๆ 8 ชั่วโมงตลอดทั้งวัน

นอกจากนี้ยังมีระบบลดอุณหภูมิของน้ำเสีย (Cooling System) โดยใช้เครื่องสูบน้ำจำนวน 2 ชุด สูบน้ำขึ้นไปสเปรย์บนหอลดอุณหภูมิ (Cooling System) ที่อยู่บริเวณบ่อ เพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น ทำให้สามารถระบายความร้อนให้กับอากาศได้เร็วขึ้น และลดอุณหภูมิของน้ำเสียให้มีค่าไม่เกิน 40 องศาการทำงานของเครื่องสูบน้ำขึ้นสเปรย์นี้จะทำงานครั้งละ 1 ชุด และสลับกันทุกงานทุก ๆ 8 ชั่วโมงตลอดทั้งวัน

5.เครื่องผสมสถิต (STATIC MIXER)

ลักษณะเครื่อง : ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาวประมาณ 1.2 เมตร มีหน้าแปลนหัวท้ายภายในมีใบกวนเอียงทำมุมกัน 30 องศา

หลักการทำงาน : เครื่องผสมสถิตมีหน้าที่ในการกวนผสมสารเคมี (กรดซัลฟูริคเข้มข้น 50 % ,H_2SO_4 50%) เข้ากับน้ำเสียซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง (pH>7) โดยอาศัยหลักการไหลแบบปั่นป่วนหรือไม่มีทิศทาง (Turbulence) ซึ่งการผสมน้ำกรดกับด่างเข้าด้วยกัน เรียกว่าการสะเทิน (Neutralization) หรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของกรดกับด่าง มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) และไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) ในน้ำเกิดความสมดุล (ค่า pHประมาณ 7.0) ในการควบคุมการจ่ายกรดให้เข้าผสมกับน้ำเสียนั้นจะใช้ชุดควบคุมการจ่ายปริมาณสารเคมีแบบอัตโนมัติ ควบคุมให้เครื่องสูบจ่ายสารเคมี (Metering Pump) ซึ่งให้ปั๊มกรดเข้าผสมน้ำด่าง จนน้ำเสียมีสภาพเป็นกลาง pH ประมาณ 7.0

เพื่อป้องกันการจ่ายสารเคมี (กรด) เกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าจะจ่ายไฟให้กับเครื่องสูบจ่ายสารเคมี ก็ต่อเมื่อมีเครื่องสูบน้ำเสียจากบ่อปรับให้เสมอเครื่องหนึ่งเครื่องใดทำงาน

6. บ่อสะเทิน (Neutralizing Tank)

ลักษณะบ่อ : เป็นถังไฟเบอร์ ขนาด 25 ลูกบาศก์เมตร มีผนังกั้นบ่อแบ่งเป็นบ่อย่อย ๆ 5 บ่อและในแต่ละบ่อย่อยมีใบกวน

หลักการทำงาน : บ่อสะเทินมีหน้าที่ กวนผสมน้ำเสียให้เข้ากับสารเคมี โดยมีระยะเวลาให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ หลักการผ่านการเติมสารเคมี และกวนผสมมาจากเครื่องผสมสถิติ (STATIC MIXER) ก่อนที่จะปล่อยให้ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไปภายในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ติดตั้งชุดวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง ด้วยเช่นกัน

7.บ่อตกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation Tank)

ลักษณะบ่อ : บ่อคอนกรีตสี่เหลี่ยมจตุรัส กว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร ลึก 4 เมตร ภายในบรรจุหลอดช่วยตกตะกอน (Tube settler) มีท่อกระจายน้ำ (Feed well) อยู่กึ่งกลางบ่อ

หลักการทำงาน : น้ำไหลเข้าบ่อตกตะกอนขั้นต้นผ่านท่อกระจายน้ำ (Feed Well) ซึ่งอยู่กึ่งกลางบ่อและไหลรอดออกทางด้านล่าง จากนั้นจะไหลผ่านหลอดช่วยตกตะกอน (Tube Settler) ในลานตกตะกอน (Sand Drying Bed) น้ำใสที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนจะไหลเข้าไปในรางน้ำรอบบ่อ ซึ่งติดตั้งฝายรับน้ำแบบปรับระดับได้ (ADJUSTABLE V-NOTCH WEIR) เพื่อปรับให้น้ำไหลเข้าในรางน้ำรับน้ำรอบบ่อเท่ากันทุกจุด น้ำใสจากรางรับน้ำ จะรวมกันและไหลเข้าบ่อเติมอากาศ แบบมีตัวกลางยึดเกาะต่อไป

8. บ่อเติมอากาศแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (FIXED FILM AERATION TANK)

ลักษณะบ่อ : บ่อคอนกรีต กว้าง 7 เมตร ยาว 12 เมตร ลึก 3.6 เมตรอยู่ติดกับบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย ภายในบ่อมีตัวกลางยึดเกาะ (PLASTIC MEDIA) พร้อมทั้งมีหัวจ่ายอากาศ

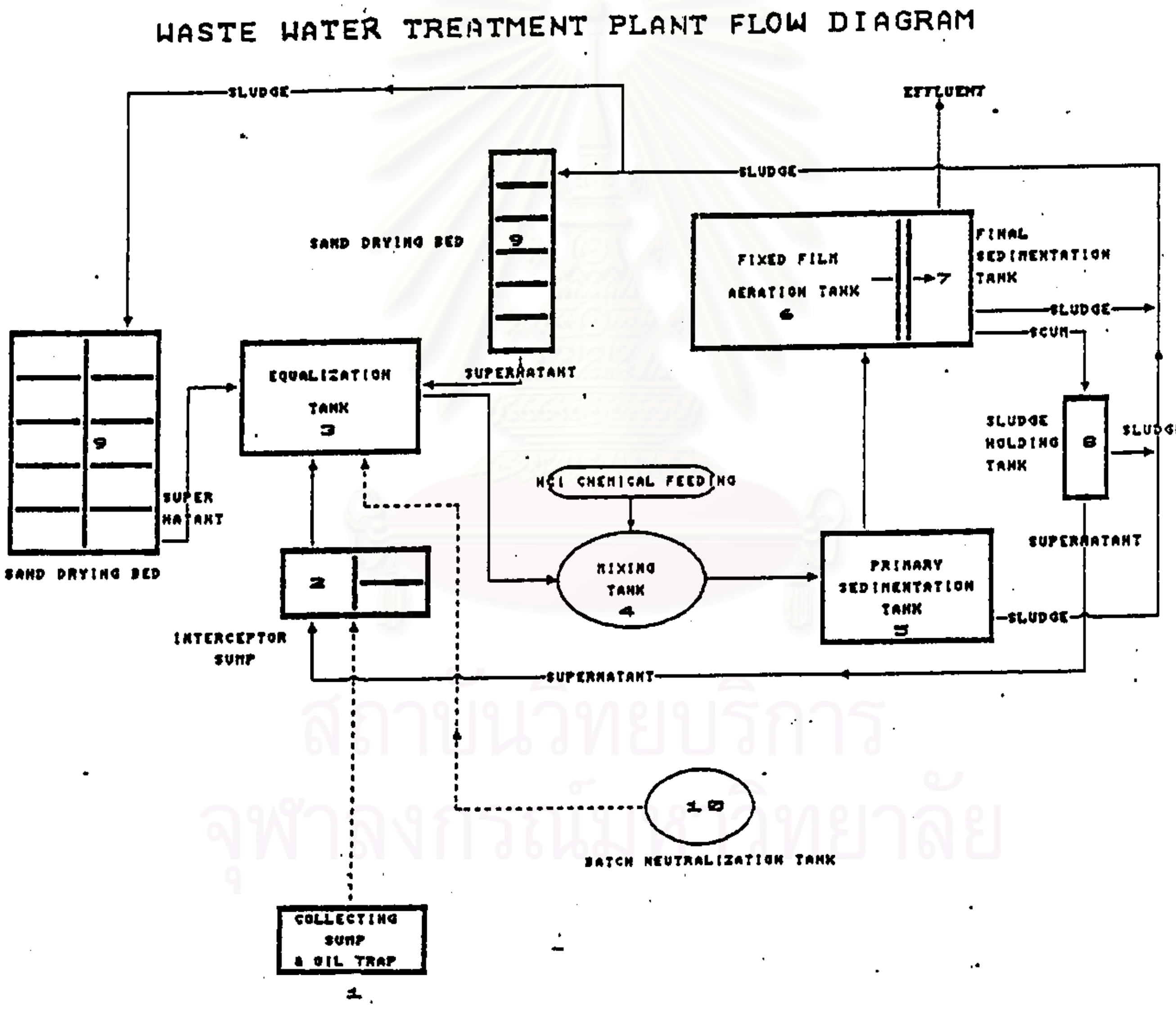
หลักการทำงาน : ภายในบ่อมีหัวจ่ายอากาศ เพื่อทำหน้าที่กวนน้ำเสียให้สัมผัสกับจุลชีพซึ่งเกาะอยู่ที่ตัวกลางยึดเกาะได้อย่างทั่วถึง และให้ออกซิเจนกับจุลชีพเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยอากาศที่จ่ายให้กับหัวจ่ายอากาศ มาจากเครื่องเป่าอากาศจำนวน 2 ชุด สลับกันทำงานชุดละ 8 ชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมภายในบ่อเติมอากาศจะเลี้ยงเชื้อจุลชีพให้เจริญเติบโตและเกาะติดอยู่กับตัวกลางไว้ และคอยทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นค่าความสกปรก (BOD_5) ซึ่งละลายในน้ำเสียให้ลดลงต่ำกว่าค่ากำหนดของทางราชการ ($BOD_5 < 20mg/1$)

9.บ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Sedimentation Tank)

ลักษณะบ่อ : บ่อคอนกรีต กว้าง 4.50 เมตร ยาว 12.00 เมตร ลึก 3.60 เมตร อยู่ติดกับบ่อเติมอากาศ

หลักการทำงาน : เมื่อน้ำเสียไหลผ่านจากบ่อเติมอากาศจะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนด้านหนึ่งของตัวบ่อและไหลออกทางรางน้ำ ซึ่งอยู่อีกด้านของตัวบ่อ ของแข็งแขวนลอยและตะกอนจุลชีพซึ่งหลุดออกมาจากตัวกลางยึดเกาะจะตกลงสู่ก้นถังตะกอน น้ำใสจากรางรับน้ำ จะมีค่าความสกปรก (BOD_5)และค่าของแข็งแรงแขวนลอย (SS)ต่ำกว่าข้อกำหนดมาตราฐานของทางราชการ พร้อมปล่อยลงสู่รางระบายน้ำสาธารณะ

ก้นบ่อของบ่อตกตะกอนนี้ จะมีท่อทางดูดสำหรับสูบตะกอนออกจากถังเข้าไปเก็บไว้ในถังพักตะกอน (SLUDGE HOLDING TANK) ก่อนที่จะปล่อยเข้าลานตากตะกอน (SAND DRYING BED) เพื่อนำตะกอนแห้งไปกำจัดต่อไป



รูปที่ 2.12 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวอย่าง

การบำบัดน้ำเสีย (WASTEWATER TREATMENT)

การบำบัดน้ำเสียหมายถึง การทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นและดีเพียงพอที่จะปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ก่อผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งรับน้ำธรรมชาติ

ขบวนการบำบัดน้ำเสียในกระบวนการผลิต แบ่งเป็น 4 ขบวนการดังนี้

1.ขบวนการทางกายภาพ (Physical Process) คือวิธีการกำจัดน้ำเสียที่ใช้วิธีการทางกายภาพ วิธีนี้เป็นขบวนการแรกที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกวาด การทำให้ลอยและการตกตะกอน

2.ขบวนการทางเคมี (Chemical Process) คือ วิธีการกำจัดน้ำเสีย โดยการกำจัดหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพของที่ไม่ต้องการในน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมีลงไป หรือโดยปฏิกิริยาอื่น ๆ

3.ขบวนการทางชีววิทยา (Biological Process) ในทางพื้นฐานแล้วจะเป็นการกำจัดพวกสารอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยพวกจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment) และแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Treatment)

4.ขบวนการทางฟิสิกเคมี (Physical- Chemical Process) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ เช่น การดูดซึม (Carbon Absorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) การอบแห้ง (Drying) เป็นต้น

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวอย่างที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้จะใช้การบำบัดด้วยขบวนการ ทางชีววิทยาเป็นหลัก และใช้ขบวนการทางเคมีกับขบวนการทางกายภาพ เป็นขบวนการเสริมเพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงและทำให้ค่าใช้จ่ายการบำบัดต่ำที่สุด

วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาที่โรงงานตัวอย่างใช้จะเป็นแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ และมีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขบวนการอื่น

ระบบบำบัดน้ำเสียชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้

- ระบบบ่อบำบัด (Waster stabilization Ponds)
- ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoons)
- ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge)
- ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)
- ระบบโปรยกรอง (Trick Filter)

ระบบบำบัดชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนของโรงงานตัวอย่าง จะเป็นแบบเติมอากาศ (Aerated Lagoons) ผู้วิจัยจึงขออธิบายเฉพาะระบบบ่อเติมอากาศ

ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon System)

เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงระบบหนึ่ง ระบบบ่อเติมอากาศนี้ประกอบด้วยบ่อเติมอากาศ (Aeration Pond) และบ่อนิ่ง (Polishing Pond) โดยน้ำเสียจะไหลลงบ่อเติมอากาศ ซึ่งจะเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศจากนั้นน้ำเสียจะไหลล้นออกไปลงบ่อนิ่ง เพื่อให้เกิดการตกตะกอน และน้ำที่ใสจะล้นออกจากบ่อนิ่งในที่สุด

ระบบบ่อเติมอากาศมี 2 แบบคือ

1. แบบAerobic aeration pond
2. แบบFacultative aeration pond

โดยบ่อเติมอากาศแบบ Aerobic จะมีการผสมโดยเครื่องเติมอากาศอย่างรุนแรงจึงมีออกซิเจนละลายน้ำทั่วทั้งบ่อ และไม่มีการสะสมของตะกอน มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงแต่ต้องการพลังงานสูง ส่วนบ่อเติมอากาศแบบ Facultative จะมีการกวนผสมไม่รุนแรง โดยช่วงบนมีสภาพแอโรบิก (Aerobic) แต่ส่วนล่างของบ่อจะขาดออกซิเจน จึงเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีการสะสมของตกตะกอนที่ก้นบ่อมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแรก แต่ใช้พลังงานต่ำกว่ามาก

สำหรับโรงงานตัวอย่างเป็นระบบบำบัดแบบ Aerobic aeration pond แต่มีตัวกลางพลาสติก (Media) วางอยู่บริเวณกลางบ่อใต้น้ำ โดยจุลินทรีย์จะใช้เป็นที่ยึดเกาะในการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้เป็นที่เจริญเติบโต. จุลินทรีย์ในช่วงที่เจริญเติบโตจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มหรือเมือกจุลินทรีย์และจะหนาขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงช่วงหนึ่ง เมื่อเมือกจุลินทรีย์หนามาก ๆ จนชั้นในของเมือกจุลินทรีย์ไม่ได้รับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย จุลินทรีย์เหล่านี้จะตายและหลุดออกและจะเกิดจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ขึ้นมาแทน นอกจากจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิวของตัวกลางพลาสติกและยังมีจุลินทรีย์อีกพวกหนึ่ง จะแขวนลอยอยู่ระหว่างช่องว่างในตัวกลางพลาสติก (Media)

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสีย</u>

1.ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen) ที่ละลายอยู่ในน้ำต้องไม่ต่ำกว่า 1-2 มก/ล. เพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสีย

2.อาหารเสริมสร้าง (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100:5:1 ถ้าอาหารเสริมสร้างไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ

3.ความเป็นกรด –ด่าง (pH) จะต้องอยู่ในช่วง 6.5 – 9.0 ถ้า pH ลดลงถึง 4.5 ราจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย และถ้า pH สูงกว่า 9.0 แบคทีเรียจะทำลายบีโอดีได้ช้าลง

4.อุณหภูมิ (Temperature) ไม่ควรเกิน 40 องศา เพราะจะมีผลต่ออัตราการทำลายบีโอดี โดยอัตราการทำลายบีโอดีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่จะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป นอกจากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูง ๆ จะทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำเสียได้น้อยลงด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย