

บทที่ 15 : ระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์ (WATER PURIFICATION SYSTEM)

น้ำบริสุทธิ์เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งที่มีชีวิตเกือบทุกชนิด จำเป็นต่อวงการอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การแพทย์ และตรวจวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ แต่เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติมักสิ่งเจือปนปนอยู่มาก ตัวอย่างเช่น ไอออนประจุบวก (Na^+ , Ca^{2+}) ไอออนประจุลบ (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) สารแขวนลอย สารประกอบของธาตุต่าง ๆ (Fe^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) สารอินทรีย์ และจุลินทรีย์ต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีการทำน้ำให้สะอาดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

น้ำที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่เป็นน้ำประปา ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานล้าง และงานบางประเภทเท่านั้น แต่ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เกือบทั้งหมด จำเป็นต้องใช้น้ำที่บริสุทธิ์ เพื่อคุณภาพของงานและความสำเร็จในการวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งจึงต้องมีระบบน้ำให้บริสุทธิ์ เพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้เหมาะสม และพอเพียงสำหรับงานแต่ละประเภท โดยอาศัยเครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการต่าง ๆ ทำงานร่วมกันเป็นระบบ(ตารางที่ 15.1) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการการทำน้ำให้บริสุทธิ์ที่นิยมใช้ 4 วิธีคือ การกลั่น(distillation) การกำจัดไอออน (deionization) การกรอง(filtration) และออสโมซิสผันกลับ(reverse osmosis)

เครื่องกลั่นน้ำ (Water still)

ห้องปฏิบัติการทั่ว ๆ ไป มักมีเครื่องกลั่นน้ำเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ เนื่องจากสามารถแยกน้ำออกจากสิ่งเจือปนได้เกือบหมด ยกเว้นสารเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ หรือระเหยได้ง่าย และน้ำกลั่นที่ได้มีคุณภาพสูง กล่าวคือ มีความนำไฟฟ้า(conductance) อยู่ในช่วง 0.5-2 ไมโครโม/ซม. ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานเกือบทุกประเภทในห้องปฏิบัติการ

1. หลักการกลั่น อาศัยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าหรือแก๊สทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ แยกตัวออกจากสิ่งสกปรกต่าง ๆ แล้วควบแน่น(condense) กลับเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ ปริมาณน้ำที่กลั่นได้ (Q_c) ขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ΣD_s) ลบด้วยปริมาณไอน้ำที่ไม่ถูกควบแน่น (L_1) และปริมาณไอน้ำที่สูญหายออกไปจากเครื่องกลั่นน้ำ (L_2) ดังสมการ

$$Q_c = \Sigma D_s - (L_1 + L_2)$$

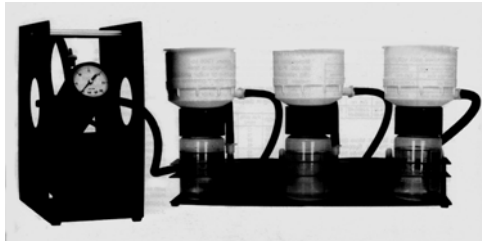
ตารางที่ 15.1 วิธีการกำจัดสารเจือปนออกจากน้ำ

สารเจือปน	วิธีการ
ความขุ่น (turbidity)	-การกรอง(filtration) -การกรองละเอียด(ultrafiltration) -ออสโมซิสผันกลับ -การนอนก้น(sedimentation)
ของแข็งที่ละลายน้ำ	-การตกตะกอน(precipitation) -การกำจัดไอออน(deionization) -การกลั่น -ออสโมซิสผันกลับ
แก๊สที่ละลายน้ำเป็นไอออน	-การกำจัดไอออน
สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ	-การดูดซับ(adsorption) -การกลั่น -การกรองละเอียด -ออสโมซิสผันกลับ -การออกซิเดชัน(oxidation)
แบคทีเรีย	-การกลั่น -ออสโมซิสผันกลับ -การกรองละเอียด -การทำลายเชื้อโรค

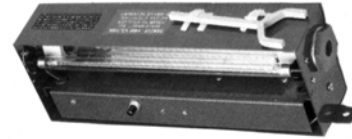
สิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดเท่ากับ หรือน้อยกว่าน้ำจะระเหยออกมาพร้อมกับไอน้ำ และถูกควบแน่นไปพร้อม ๆ กับน้ำกลั่น ความเข้มข้นของสารที่ปนอยู่ในไอน้ำ(Ss) คำนวณได้จากผลคูณของความเข้มข้นของของแข็งในน้ำที่ถูกต้ม(Sbw) และสัมประสิทธิ์พาหะร่วม(carryover coefficient, Y) ส่วนแก๊สที่เจือปนในน้ำดิบส่วนใหญ่จะระเหยออกไปทางรูระบายแก๊สของเครื่องกลั่นน้ำ

2. องค์ประกอบ ถึงแม้ว่าเครื่องกลั่นน้ำจะมีรูปร่างต่าง ๆ กัน(รูปที่ 15.1) แต่เครื่องกลั่นน้ำมีองค์ประกอบหลักที่เหมือน ๆ กันคือ อุปกรณ์สำหรับทำให้น้ำระเหย อุปกรณ์ที่ทำให้ไอน้ำควบแน่น นอกนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกลั่น อุปกรณ์ช่วยป้องกันอันตราย และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการใช้งาน (รูปที่ 15.2)

ระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์



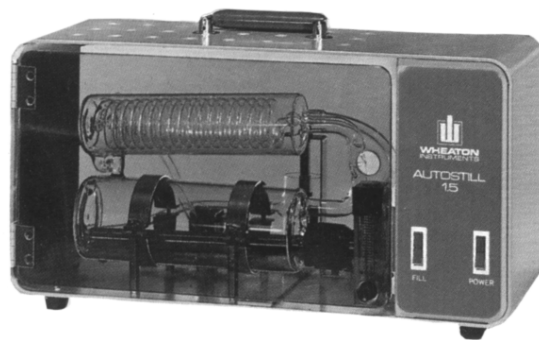
(ก)



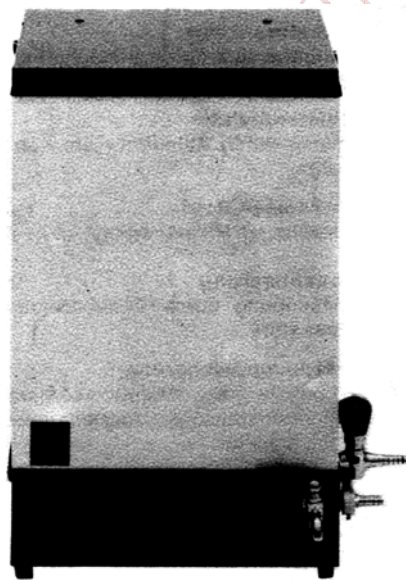
(ข)



(ค)



(ง)

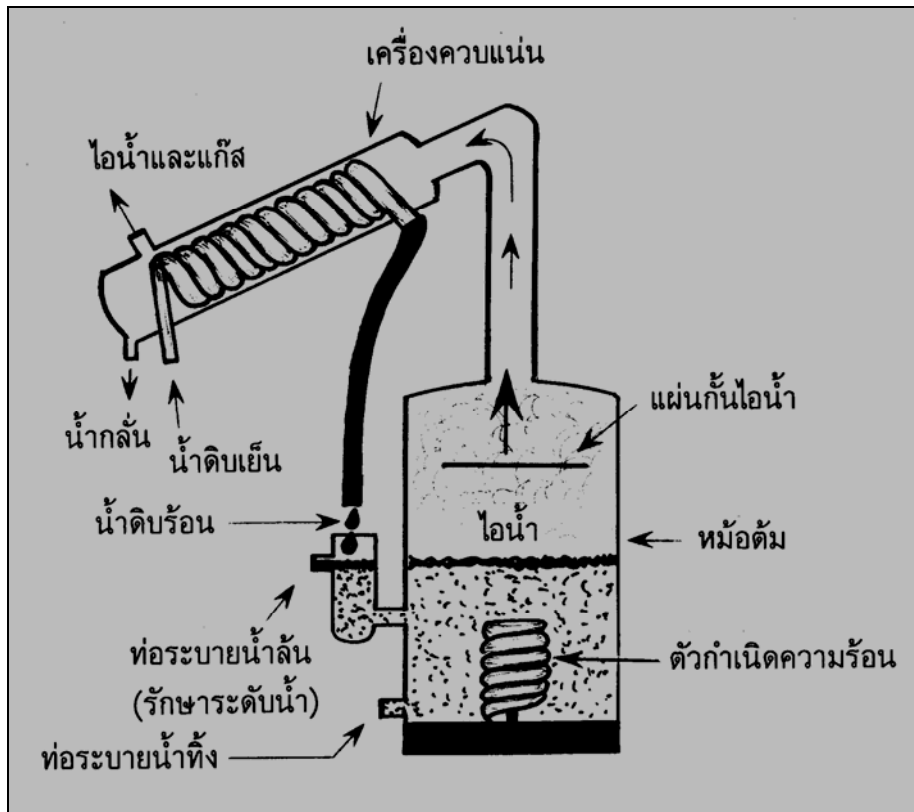


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 15.1 รูปร่างของเครื่องกรองละเอียด(ก) หลอดอัลตราไวโอเลต(ข) เครื่องกำจัดไอออน(ค, ฉ) เครื่องกลั่นแบบแก้ว(ง) เครื่องกลั่นแบบโลหะ(จ)



รูปที่ 15.2 โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของเครื่องกลั่นน้ำ

2.1 หม้อต้ม(boiler) เป็นแหล่งที่น้ำดิบถูกต้มให้ร้อนจนกลายเป็นไอน้ำ มีความจุตั้งแต่ 2 ลิตร จนถึงหลายสิบลิตรขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกลั่นน้ำ แต่สิ่งที่ขาดไม่ได้คือระบบระบายแก๊ส ซึ่งมีหน้าที่ 3 ประการ คือ ระบายแก๊สที่เจือปนในไอน้ำ ลดความดันในหม้อต้ม ซึ่งจะช่วยป้องกันหม้อต้มระเบิด และช่วยลดการเจือปนในไอน้ำด้วย เพราะสัมประสิทธิ์ฟารวูม(Y) ของสารเจือปนมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันในหม้อต้มมีค่าสูงขึ้น หม้อต้มขนาดเล็กส่วนใหญ่ทำจากแก้วชนิดบอโรซิลิเกต (borosilicate glass) ซึ่งทนความร้อนได้สูง ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี และปล่อยสิ่งเจือปนออกมาปนเปื้อนในน้ำกลั่นได้น้อย แต่มีราคาสูงและแตกหักง่าย ส่วนหม้อต้มขนาดใหญ่นิยมใช้เหล็กกล้าไร้สนิม(stainless steel) ซึ่งมีความเหนียวและราคาถูกกว่าแก้ว แต่มักจะปล่อยสิ่งเจือปนออกมาปนเปื้อนในน้ำกลั่นได้มากกว่า เพราะถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่า และการผลิตโลหะที่มีความบริสุทธิ์สูงกระทำได้ยาก

2.2 ตัวกำเนิดความร้อน(heater) เครื่องกลั่นน้ำขนาดเล็กทั่ว ๆ ไป ใช้ตัวกำเนิดความร้อนที่ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากมีขนาดเล็ก ติดตั้งในเครื่องกลั่นได้ง่าย อาจพบในรูปของแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมเปลือย แท่งเหล็กกล้าไร้สนิมหุ้มด้วยซิลิกา ลวดความร้อนหุ้มด้วยซิลิกา ซึ่งการหุ้มด้วยซิลิกามีจุดประสงค์เพื่อลดการเจือปนเปื้อนจากโลหะที่ใช้ทำตัวกำเนิดความร้อน แต่จะทำให้ราคาจะเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จากการทดลองใช้พบว่าตัวกำเนิดความร้อนชนิดแท่งมีอายุการใช้งานนานกว่า และมีราคาถูกกว่าตัวกำเนิดความร้อนชนิดลวดความร้อนมาก เครื่องกลั่นขนาดใหญ่นิยมใช้

แก๊ส เพราะประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้กระแสไฟฟ้า

2.3 เครื่องควบแน่น(condenser) มีหน้าที่ทำให้อไอน้ำควบแน่นกลายเป็นน้ำ ทำด้วยแก้วหรือโลหะซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกัันดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1 เครื่องควบแน่นที่ดี นอกจากจะทำให้อไอน้ำควบแน่นได้มากแล้ว ควรป้องกันการเจือปนด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับ การออกแบบระยะระหว่างหม้อต้มกับเครื่องควบแน่น ขนาดของท่อระหว่างหม้อต้มกับเครื่องควบแน่น และมุมในการติดตั้งเครื่องควบแน่น ตัวอย่างเช่น การวางเครื่องควบแน่นในแนวตั้งจะช่วยให้อัตราการกลั่นดีขึ้น แต่สิ่งสกปรกจะเจือปนออกมาได้ง่ายขึ้น

2.4 อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในหม้อต้ม(constant level device) ส่วนใหญ่ใช้ระบบกลักน้ำ ทำให้อระดับน้ำที่สูงเกินระดับที่ต้องการไหลทิ้งออกไป การรักษาระดับในหม้อต้มให้คงที่อยู่เสมอ ช่วยควบคุมอัตราการกลั่นให้คงที่ และป้องกันน้ำท่วมหม้อต้มในกรณีที่น้ำดิบ(raw water) ไหลเข้าสู่เครื่องกลั่นน้ำมากเกินไป

2.5 อุปกรณ์ควบคุมการไหลของน้ำดิบ เครื่องกลั่นบางชนิดอาจไม่มีอุปกรณ์ชนิดนี้ แต่บางชนิดมีอุปกรณ์ควบคุมซึ่งอาจแตกต่างกัน ดังนี้

2.5.1 ตัวกรอง(filter) เป็นตระแกรงพลาสติกขนาดเล็กวางขวางท่อจ่ายน้ำดิบก่อนเข้าสู่เครื่องกลั่นน้ำ ใช้สำหรับกรองสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ออก

2.5.2 ลิ้นควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ เนื่องจากอัตราการไหลเข้าของน้ำดิบเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอจึงต้องมีลิ้นควบคุมอัตราการไหลให้คงที่

2.5.3 โซเลนอยด์(solenoid) ทำหน้าที่เหมือนประตูปิดเปิดน้ำเข้าสู่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น การทำงานอาจพบได้หลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น เปิดเมื่อเปิดสวิตช์จ่ายไฟฟ้าให้ตัวกำเนิดความร้อน เปิดเมื่อความดันของน้ำดิบสูงอยู่ในช่วงที่กำหนด ปิดเมื่อความดันของน้ำดิบต่ำกว่าที่กำหนด ปิดเมื่อเครื่องกลั่นมีอุณหภูมิสูงเกินกำหนด(รูปที่ 15.3)

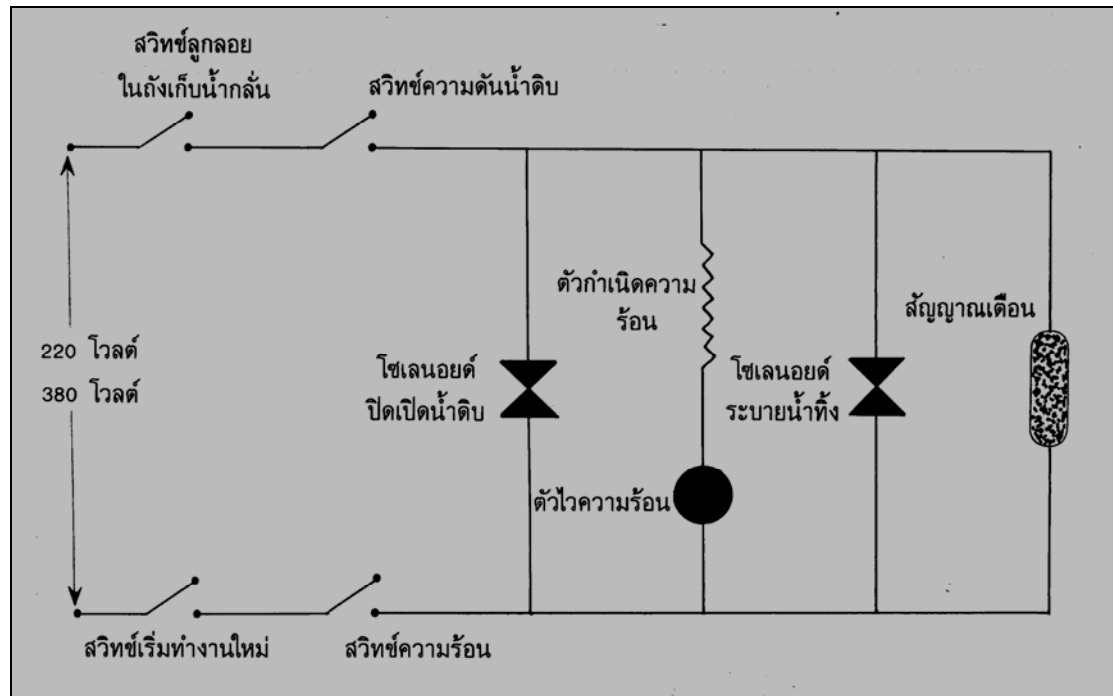
2.6 ตัวไวความร้อน มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของหม้อต้มสูงเกินจนเป็นอันตรายต่อเครื่องกลั่นน้ำ โดยทั่วไปจะติดตั้งตัวไวความร้อนที่บริเวณใกล้ ๆ ตัวกำเนิดความร้อน เมื่ออุณหภูมิของตัวกำเนิดความร้อนสูงเกิน ซึ่งอาจเกิดจากน้ำดิบในหม้อต้มแห้ง ตัวไวความร้อนจะส่งสัญญาณไปตัดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องกลั่นน้ำเป็นผลให้ตัวกำเนิดความร้อนไม่ร้อน และน้ำดิบหยุดไหล (เครื่องกลั่นบางชนิดน้ำดิบไม่หยุดไหล) เครื่องกลั่นจะไม่ทำงานจนกว่าอุณหภูมิจะเย็นลงในระดับปกติ ถึงแม้ว่าจะเปิดสวิตช์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องกลั่นน้ำก็ตาม เครื่องกลั่นน้ำบางชนิดอาจต้องกดสวิตช์เริ่มทำงาน (reset switch) ก่อน เครื่องกลั่นน้ำจึงจะเริ่มทำงานอีกครั้ง (รูปที่ 15.3)

2.7 อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในถังเก็บ เครื่องกลั่นน้ำบางชนิดจะมีถังเก็บน้ำกลั่นในตัวหรือแยกออกมานอกตัวเครื่องกลั่นน้ำ ถังเก็บน้ำช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เพราะเครื่องกลั่นน้ำจะหยุดกลั่นน้ำเองเมื่อน้ำกลั่นเต็มถึงเก็บ และเริ่มกลั่นใหม่เมื่อระดับน้ำในถังเก็บลดลง การควบคุม

ดังกล่าวอาศัยการรับสัญญาณจากลูกลอย

หรือตัวไวกความดันในถังเก็บส่งไปควบคุมการจ่าย

กระแส



รูปที่ 15.3 แผนผังการต่อวงจรไฟฟ้าในเครื่องกลั่นน้ำ

ไฟฟ้าให้เครื่องกลั่นน้ำ(รูปที่ 15.3)

2.8 สวิทช์จ่ายกระแสไฟฟ้า ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ เช่น ตัวกำเนิดความร้อน โซเลนอยด์ และสัญญาณเตือนต่าง ๆ

3. ข้อควรปฏิบัติในการใช้งาน เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการกลั่นน้ำ ควรปฏิบัติดังนี้

3.1 ควรติดตั้งเครื่องกลั่นน้ำในสถานที่ที่ระบายอากาศได้ดี ห่างจากอุปกรณ์ทำความเย็นอื่น ๆ (ตู้ทำความเย็น ห้องปรับอากาศ)พอสมควร

3.2 โตะหรือพื้นห้องควรเป็นชนิดที่ทนต่อน้ำและความชื้นได้ดี

3.3 เครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่า 6,000 วัตต์ ควรต่อกระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟส (220 หรือ 380 โวลต์) แทนการต่อแบบเฟสเดียว(110 หรือ 220 โวลต์) และควรติดตั้งตัวตัดกระแสไฟฟ้า(circuit breaker) เสมอ

3.4 น้ำดิบที่ป้อนเข้าเครื่องกลั่นน้ำควรมีความดันในช่วง 5-10 ปอนด์/ตารางนิ้ว มีอัตราการไหลพอเพียงสำหรับเครื่องกลั่นน้ำ และควรไหลอย่างสม่ำเสมอ

ระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์

3.5 น้ำดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกลั่นน้ำควรมีความบริสุทธิ์พอสมควรเพื่อทำให้การผลิตน้ำกลั่นมีคุณภาพดี และลดการเกิดตะกอนในเครื่องกลั่นน้ำ โดยอาจปฏิบัติดังนี้

3.5.1 ลดความกระด้างของน้ำ โดยการเติมสารประกอบฟอสเฟต ตัวอย่างเช่น Na_3PO_4 , $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $(\text{NaPO}_3)_6$ และ $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ เป็นต้น เพื่อทำให้เกิดตะกอน hydroxyapatite [$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$] ซึ่งปล่อยทิ้งออกจากหม้อต้มได้ง่าย

3.5.2 เติมโซเดียมซิลิเกต 12-16 มก. ต่อน้ำ 1 ลิตร เพื่อลดการเกิดออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งจะเกาะติดกับผิวโลหะโดยเฉพาะตัวกำเนิดความร้อนได้ง่าย

3.5.3 กำจัดสารแขวนลอยและไอออนโดยการกรองหรือการกำจัดไอออน ก่อนปล่อยน้ำดิบเข้าสู่เครื่องกลั่น

3.6 ในกรณีที่น้ำดิบมีปริมาณจำกัดหรือหาได้ยาก ควรนำน้ำดิบที่ผ่านเครื่องควบแน่นกลับมาใช้ใหม่ ด้วยการทำให้เย็นก่อนในระบบปิด(close-circuit cooling water) วิธีการทำให้เย็นส่วนใหญ่ใช้ลมเป่าผ่านละอองน้ำร้อนที่ออกมาจากเครื่องควบแน่น วิธีดังกล่าวจะทำให้เกิดตะกอน CaCO_3 อุดตันในท่อของเครื่องควบแน่นได้ง่าย จึงควรเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อป้องกันการเกิด CaCO_3 ($2\text{H}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$)

3.7 ก่อนใช้เครื่องกลั่นน้ำเครื่องใหม่ ควรล้างสิ่งสกปรกที่อาจติดอยู่ออก โดยล้างด้วยน้ำเย็น ล้างด้วยน้ำร้อน ล้างด้วย 0.5-1% NaOH (กำจัดไขมัน ซิลิเกต) ล้างด้วยกรด [citric acid + EDTA (1:1 โดยปริมาตร)] เพื่อกำจัดสนิม ตามลำดับ

3.8 หลังจากล้างทำความสะอาดเครื่องกลั่นน้ำทุกครั้ง ไม่ควรใช้น้ำกลั่นที่กลั่นได้ทันที ควรกลั่นน้ำทิ้งอย่างน้อยประมาณ 10 นาที เพื่อกำจัดสารที่ล้างเครื่องกลั่นน้ำ

3.9 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำกลั่นเป็นประจำสม่ำเสมอ โดยเฉพาะการวัดความต้านทานหรือความนำไฟฟ้า

3.10 เครื่องกลั่นน้ำที่เกิดการร้อนเกิน(overheat) จนต้องปิดตัวเอง ควรปล่อยให้เย็นอย่างน้อย 20 นาที ก่อนเปิดใช้เครื่องกลั่นน้ำอีกครั้ง

3.11 ไม่ควรเก็บน้ำกลั่นไว้นาน เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายปนอยู่ในน้ำ และสารเจือปนอาจถูกปล่อยออกมาจากภาชนะเก็บได้มากขึ้น

4. การบำรุงรักษา ควรปฏิบัติดังนี้

4.1 ตรวจสอบรอยรั่วและการอุดตันของข้อต่อ และท่อต่าง ๆ เสมอ

4.2 ทำความสะอาดรูน้ำดิบเข้าและรูระบายน้ำออกจากหม้อต้มทุก ๆ ครั้งที่ทำทำความสะอาด

4.3 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิสูงเกินทุก ๆ 6 เดือน

4.4 ตรวจสอบอัตราการกลั่นน้ำทุก ๆ 6 เดือน หรือเมื่อเปลี่ยนตัวกำเนิดความร้อน

4.5 ทำความสะอาดตะกรันในหม้อต้ม ควรตัดกระแสไฟฟ้าออกจากเครื่องกลั่นน้ำก่อนสวมถุงมือ และหลีกเลี่ยงการสูดดมแก๊สที่เกิดขึ้น การกำจัดตะกรันในหม้อต้มควรกระทำอย่างสม่ำเสมอ เพราะตะกรันทำให้อัตราการกลั่นน้ำลดลง คุณภาพน้ำกลั่นลดลง และสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น

4.5.1 อาจใช้วิธีการขูด หรือขัดตะกรันออกด้วยแปรงลวด ซึ่งเหมาะสมกับเครื่องกลั่นน้ำขนาดเล็ก หรือเครื่องกลั่นที่ทำด้วยโลหะ

4.5.2 การกำจัดตะกรันด้วยสารเคมี(chemical method) ตะกรันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเมกนีเซียมและแคลเซียม คือ $[CaCO_3, CaSiO_3, CaSO_4, Ca_3(PO_4)_2, MgO, Mg(PO_4)_2]$ ตะกรันส่วนน้อยเป็นออกไซด์ของเหล็ก ทองแดง และ ซิลิเกต ซึ่งตะกรันเหล่านี้ละลายได้ดีในกรด

4.5.2.1 กรดเกลือกรดกำเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มาก เนื่องจากมีราคาถูก มีประสิทธิภาพในการละลายตะกรันสูง ใช้ในรูปกรดเข้มข้นหรือกรดเจือจาง(10%) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้กรดเกลือล้าง แต่กรดเกลือสามารถกัดกร่อนโลหะได้จึงควรระมัดระวังในการใช้ล้าง

4.5.2.2 กรดอินทรีย์ที่ใช้ล้างตะกรันอาจเป็น citric acid, formic acid, maleic acid หรือ acetic acid กรดเหล่านี้กัดกร่อนโลหะได้น้อย แต่มีราคาแพงกว่า ต้องใช้ในปริมาณมากกว่า นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการล้างนานกว่าในช่วง 12-24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างของกรดอินทรีย์อาจใช้ร่วมกับ EDTA หรือล้างที่อุณหภูมิ 50-60 °C. หรือใช้กรดมากกว่า 1 ชนิดร่วมกัน ตัวอย่างเช่นใช้สารละลายที่ประกอบด้วย น้ำ : formic acid : acetic acid = 80:10:10 โดยปริมาตร

5. การเลือก ควรพิจารณาถึง

5.1 คุณภาพของน้ำกลั่น น้ำกลั่นมีพีเอชอยู่ในช่วงกว้าง 5.6-7.2 มีความนำไฟฟ้า 0.5-2 ไมโครโม/ซม. ถ้าวัดจากเครื่องกลั่นที่เป็นแก้ว แต่มีความนำไฟฟ้ามากกว่า 2.5 ไมโครโม/ซม. ถ้าวัดจากเครื่องกลั่นที่ทำด้วยโลหะ การเลือกใช้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกลั่นน้ำที่ผลิตน้ำกลั่นที่มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำกว่าเสมอไป เพราะความแตกต่างของค่าความนำไฟฟ้าสามารถทำให้ลดลงได้ เมื่อต่อร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องกำจัดไอออนในระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์

5.2 มีอัตราการกลั่นเหมาะสมกับปริมาณการใช้ เครื่องกลั่นน้ำที่เป็นแก้วส่วนใหญ่มีอัตราการกลั่นต่ำ (2-8 ลิตร/ชั่วโมง) ส่วนเครื่องกลั่นที่ทำจากโลหะมีอัตราการกลั่นตั้งแต่จำนวนน้อย ๆ จนถึง 50 ลิตร/ชั่วโมง

5.3 ปริมาณน้ำดิบที่ต้องใช้ต่อการผลิตน้ำกลั่น 1 ลิตร เนื่องจากน้ำดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ถูกปล่อยทิ้งไปเลย จึงเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมาคิดเป็นต้นทุนในการผลิตน้ำกลั่น

5.4 ปริมาณพลังงาน (แก๊สหรือกระแสไฟฟ้า) ที่ใช้ต่อการผลิตน้ำกลั่น 1 ลิตร

5.5 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซม ควรพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่ใช้ล้างตะกรัน และราคาตัวกำเนิดความร้อนที่ต้องใช้ใน 1 ปี

5.6 ควรมีระบบหยุดกลั่นเองโดยอัตโนมัติเมื่อน้ำดิบหยุดไหล หรือเมื่อเครื่องกลั่นน้ำมีอุณหภูมิสูงเกิน

5.7 ควรมีโซเลนอยด์ปิดการไหลของน้ำดิบโดยอัตโนมัติเมื่อกระแสไฟฟ้าดับ

5.8 สามารถล้างทำความสะอาดตระกรันในหม้อต้ม หรือในเครื่องควบแน่นได้ง่าย

5.9 อุณหภูมิของน้ำกลั่น(distillate) โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 35-60 °ซ. เครื่องกลั่นน้ำที่ผลิตน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายปนอยู่น้อยกว่า

6. ปัญหาและสาเหตุ เมื่อใช้งานเป็นเวลานานเครื่องกลั่นน้ำอาจมีปัญหาที่เกิดจากหลายสาเหตุ ตารางที่ 15.2 เป็นแนวทางในการตรวจสอบหาสาเหตุเพื่อนำไปสู่การแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 15.2 ปัญหาและสาเหตุที่อาจพบในเครื่องกลั่นน้ำ

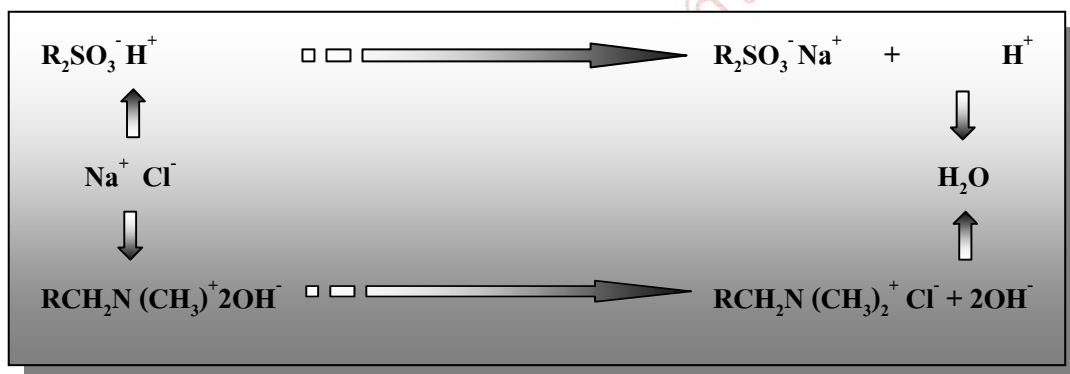
ปัญหา	สาเหตุ
เครื่องกลั่นน้ำไม่ทำงาน (ไม่ร้อน)	-ไม่ได้เปิดสวิตช์ไฟฟ้า -ฟิวส์ขาด -ตัวกำเนิดความร้อนขาด -ความดันน้ำดิบต่ำเกินไป -สวิตช์ตัดความร้อนสูงทำงานค้างอยู่
กลั่นน้ำได้น้อยกว่าปกติ	-ตัวกำเนิดความร้อนบางอันขาด -กระแสไฟฟ้ามีโวลต์ต่ำลง -น้ำไหลเข้าเครื่องควบแน่นน้อย -น้ำดิบที่ไหลเข้าเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิสูง -ท่อน้ำดิบหรือตัวกรองตัน -มีไอน้ำรั่วออกจากเครื่องกลั่นมาก -ตัวกำเนิดความร้อนมีตะกรันจับมาก
น้ำท่วมหม้อต้ม	-ท่อระบายน้ำถึงจุดตัน -น้ำดิบไหลเข้าหม้อต้มเร็วเกินไป
น้ำในหม้อต้มน้อยกว่าปกติ	-หม้อต้มรั่ว -น้ำไหลเข้าหม้อต้มน้อยกว่าปกติ -อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำดิบผิดปกติ
น้ำกลั่นมีความต้านทานต่ำ	-เก็บไว้ในถังเก็บนาน -น้ำดิบมีสิ่งเจือปนมาก

	-เครื่องกลั่นน้ำมีความดันสูง -วัสดุที่ใช้ทำเครื่องกลั่นน้ำมีความบริสุทธิ์น้อย
--	--

เครื่องกำจัดไอออน (Deionizer)

ถึงแม้ว่าเครื่องกำจัดไอออนจะสามารถทำให้น้ำที่ผ่านออกจากเครื่องกำจัดไอออน มีความดันทางสูงถึง 18 เมกะโอห์ม/ชม. แต่ไม่ควรใช้เครื่องกำจัดไอออนทำน้ำให้บริสุทธิ์โดยตามลำพัง เพราะไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ แบคทีเรีย สารแขวนลอยออกได้ ซึ่งสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่มักจะรบกวนการตรวจวิเคราะห์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน และยังส่งเสริมให้เกิดการอุดตันในระบบท่อเล็ก ๆ ในเครื่องมือต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรใช้ร่วมกับการกรอง การดูดซับ หรือการกลั่น

1. หลักการกำจัดไอออน ไอออนประจุบวก(cation) และไอออนประจุลบ(anion) ถูกพาไปที่ผิวและภายในเรซิน(resin) ซึ่งมีไอออนประจุบวก(H^+) หรือไอออนประจุลบ(OH^-) อยู่ แล้วจึงเกิดการแทนที่ไอออนที่มีประจุเหมือนกันดังสมการ



ความจุของเรซินแปรผันโดยตรงกับการเชื่อมโยงไขว้(cross linkage)ภายในเรซิน ส่วนชนิดของไอออนที่แลกเปลี่ยนกับไอออนของเรซินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไอออน กล่าวคือ ไอออนที่มีวาเลนซ์มากกว่าสามารถแทนที่ไอออนบนเรซินได้ดีกว่าตามลำดับดังนี้ $Th^{4+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$, $PO_4^{3-} > SO_4^{2-}$ ส่วนไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ความสามารถในการแทนที่ไอออนจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักอะตอมดังนี้ $I > Cr > Cl > F > Tl > Ag > Ca > Rd > K > Na > Li$

2. องค์ประกอบที่สำคัญ มีดังนี้

2.1 เรซิน ประกอบด้วยเมทริกซ์(matrix) และหมู่แลกเปลี่ยนไอออน(functional group) ส่วนเมทริกซ์นิยมใช้พอลิเมอร์(polymer) ที่เกิดจากการรวมตัวของ styrene กับ divinyl benzene หรือระหว่าง divinyl benzene กับ meta acrylic acid

หมู่แลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ถูกแทนที่ด้วยไอออนประจุบวก(cation exchanger) ($R-NH_2$, $R-RNH_2$, $R-R_2N$, $R-R_3N^+ OH^-$) และชนิดที่ถูกแทนที่ด้วยไอออนประจุลบ(anion exchanger) ($R-SO_3H$, $R-OH$, $R-COOH$, $R-PO_3H_2$)

เรซินถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามชนิดของหมู่แลกเปลี่ยนไอออน และเรซินแต่ละกลุ่มยังแบ่งย่อยออกเป็นชนิดกรดแก่ กรดอ่อน ด่างแก่ และด่างอ่อน ซึ่งมีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนดังสมการตัวอย่าง

$2R - SO_3H$	+	Ca^{2+}	$< \text{---} >$	$(R-SO_3)_2 Ca$	+	$2H^+$	ชนิดกรดแก่
$2R - SO_3Na$	+	Ca^{2+}	$< \text{---} >$	$(R-SO_3)_2 Ca$	+	$2Na^+$	ชนิดกรดแก่
$2R - COOH$	+	Ca^{2+}	$< \text{---} >$	$(R-COO)_2 Ca$	+	$2H^+$	ชนิดกรดอ่อน
$2R - COONa$	+	Ca^{2+}	$< \text{---} >$	$(R-COO)_2 Ca$	+	$2Na^+$	ชนิดกรดอ่อน
$2R - R_3NOH$	+	SO_4^{2-}	$< \text{---} >$	$(R-R_3N)_2 SO_4$	+	$2OH^-$	ชนิดด่างแก่
$2R - R_3NCl$	+	SO_4^{2-}	$< \text{---} >$	$(R-R_3N)_2 SO_4$	+	$2Cl^-$	ชนิดด่างแก่
$2R - NH_3OH$	+	SO_4^{2-}	$< \text{---} >$	$(R-NH_3)_2 SO_4$	+	$2OH^-$	ชนิดด่างอ่อน
$2R - NH_3Cl$	+	SO_4^{2-}	$< \text{---} >$	$(R-NH_3)_2 SO_4$	+	$2Cl^-$	ชนิดด่างอ่อน

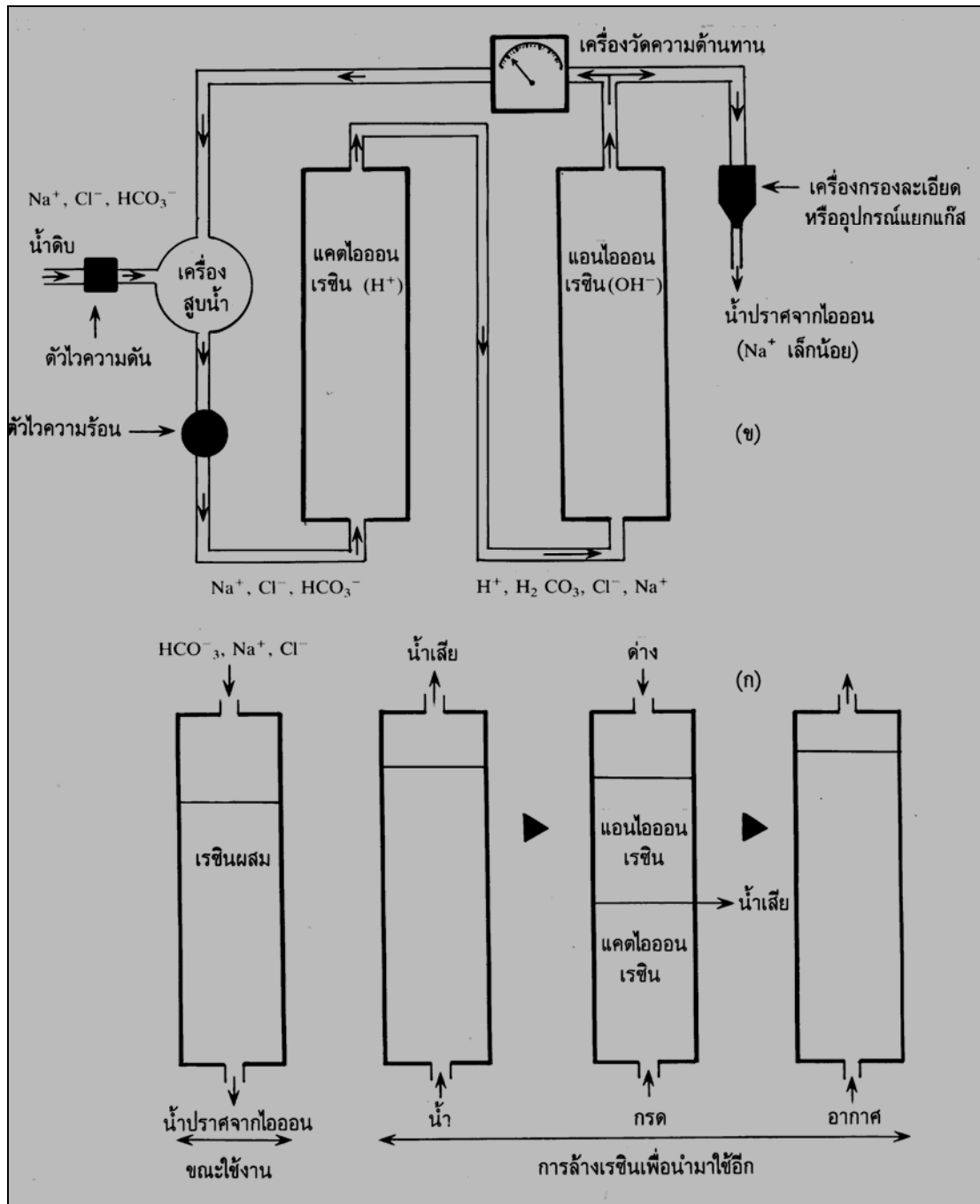
2.2 ระบายใส่เรซิน เครื่องกำจัดไอออนขนาดเล็กนิยมใช้พลาสติกชนิด polystyrene หรือ polyvinyl chloride เพราะมีน้ำหนักเบาและทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี ส่วนเครื่องกำจัดไอออนขนาดใหญ่นิยมใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเคลือบด้วย neoprene, polystyrene หรือ butyl rubber เพราะมีความแข็งแรงกว่าชนิดพลาสติก ระบายใส่เรซินโดยทั่วไปมีรูสำหรับให้น้ำไหลเข้า และรูสำหรับให้น้ำปราศจากไอออนไหลออก ในระบายใส่เรซินบางแบบจะมีรูสำหรับล้างเรซินเพิ่มเติมเพื่อความสะดวกในการล้าง

2.3 เครื่องสูบน้ำ (water pump) ขนาดเล็ก พบในเครื่องกำจัดไอออนที่มีคุณภาพสูง มีหน้าที่หมุนเวียนน้ำที่ผ่านเรซินแล้วให้กลับไปผ่านเรซินอีกเป็นวงรอบ (recirculation) เพื่อให้ได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นตามต้องการ และช่วยทำให้น้ำที่ค้างอยู่ในเครื่องกำจัดไอออนมีความบริสุทธิ์อยู่เสมอ

2.4 เครื่องวัดคุณภาพน้ำ ส่วนมากติดตั้งไว้ที่บริเวณท่อจ่ายน้ำปราศจากไอออน เพื่อตรวจความบริสุทธิ์ของน้ำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจแสดงความบริสุทธิ์เป็นค่าความตามทานในหน่วยเมกะโอห์ม/ซม. หรือแสดงเป็นค่าความนำไฟฟ้าในหน่วย ไมโครโม/ซม.

3. การใช้งาน น้ำดิบที่ป้อนเข้าเครื่องกำจัดไอออนควรมีอุณหภูมิไม่เกิน $40^{\circ}C$. และควรมีความดันอยู่ในช่วงกำหนดของเครื่องกำจัดไอออนแต่ละชนิด กล่าวคือ เครื่องกำจัดไอออนชนิดความดันต่ำต้องการแรงดันน้ำ 5-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว ส่วนชนิดความดันสูงต้องการแรงดันน้ำ 50-100 ปอนด์/ตารางนิ้ว การใช้งานอาจพบได้สองลักษณะคือ

3.1 แบบผสมเรซิน การผสมเรซินทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันในกระบอกใส่อันเดียวกัน มีข้อดีคือสามารถกำจัดไอออนประจุบวกและประจุลบได้ดีกว่าแบบแยกเรซิน การล้างตะกอน (back wash) การผสมใหม่(remixing) และการล้างเรซินเพื่อนำมาใช้ใหม่(regenerate)กระทำได้ง่าย(รูปที่ 15.4 ก) นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่า และมีขนาดเล็กกว่า ทำให้สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย จึงเหมาะ



รูปที่ 15.4 องค์ประกอบและทิศทางการไหลของน้ำในเครื่องกำจัดไอออนชนิดผสมเรซิน(ก)

และชนิดแยกเรซิน (ข)

สำหรับห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ขนาดเล็ก

3.2 แบบแยกเรซิน เป็นระบบที่แยกกระบอกใส่แคตไอออนเรซินและแอนไอออนเรซินออกจากกัน โดยปล่อยน้ำดิบผ่านกระบอกใส่แคตไอออนเรซินก่อนแอนไอออนเรซิน ซึ่งทำให้ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบผสมเรซิน จึงเหมาะสำหรับการผลิตน้ำปราศจากไอออนปริมาณมาก ๆ แต่ระบบนี้จะมีแคตไอออนบางตัว(Na^+) ถูกจับไว้ไม่หมด (รูปที่ 15.4 ข) และถ้าใช้แอนไอออนเรซินชนิดด่างอ่อนจะมีสารประกอบซิลิกา(H_4SiO_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิก(H_2CO_3)ปนออกมาในน้ำปราศจากไอออนด้วย ซึ่งอาจแก้ไขโดยการติดตั้งอุปกรณ์แยกแก๊ส(degasifier) เพิ่มเติมที่ต่อจ่ายน้ำปราศจากไอออน

4. การบำรุงรักษา ควรปฏิบัติดังนี้

4.1 ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำปราศจากไอออนอย่างสม่ำเสมอ ถ้าอัตราการไหลลดลงมาก อาจเกิดจากการอุดตันภายในกระบอกใส่เรซิน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้น้ำสะอาดป้อนเข้าสู่กระบอกใส่เรซินด้านล่างแล้วปล่อยให้น้ำสกปรกซึ่งมีตะกอนต่าง ๆ ไหลออกทางท่อด้านบน

4.2 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดคุณภาพน้ำ หลังจากติดตั้งเครื่องใหม่ หรือทุก ๆ 6 เดือน โดยการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความนำไฟฟ้า(conductivity meter) ที่มีความถูกต้องสูง

4.3 ตรวจสอบการรั่วของน้ำบริเวณรอบต่อต่าง ๆ ของกระบอกใส่เรซิน ท่อน้ำดิบและท่อจ่ายน้ำปราศจากไอออนอยู่เสมอ

4.4 ถ้าคุณภาพของน้ำปราศจากไอออนลดลงมากเนื่องจากเรซินมีความจุลดลง ควรทำการล้าง(regenerate) เรซินแต่ละชนิดด้วยสารเคมี ชนิดต่างๆ (ตารางที่ 15.3)

สารเคมีซึ่งเป็นกรด ด่าง หรือเกลือจะไล่ที่ไอออนบนเรซินออกดังสมควร ทำให้เรซินกลับมาสู่สภาวะพร้อมใช้งานอีกครั้งหนึ่ง



ในกรณีที่เรซินผสมกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ต้องแยกเรซินออกเป็น 2 ชั้นก่อน โดยผ่านน้ำประปาเข้าไปยังท่อน้ำออกด้านล่าง แล้วปล่อยให้เรซินนอนกันแยกชั้นกันเอง แคตไอออนเรซินซึ่งหนักกว่าจะอยู่ด้านล่าง หลังจากนั้นจึงล้างด้วยกรด น้ำ ด่าง และน้ำ ตามลำดับ แล้วจึงผสมเรซินให้เข้ากันด้วยอากาศ (รูปที่ 15.4 ก)

5. การเลือก ควรพิจารณาถึงองค์ประกอบและคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

5.1 ความบริสุทธิ์สูงสุดของน้ำปราศจากไอออนที่สามารถผลิตได้

5.2 ความจุ(capacity)ของเรซิน เรซินที่มีความจุมากช่วยให้เครื่องกำจัดไอออนมีขนาดเล็ก และช่วยลดความถี่ในการล้างเรซินด้วยสารเคมี

5.3 เสถียรภาพ(stability) ของเรซินต่อสารเคมี การคนหรือการเขย่า ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของเรซินโดยตรง

ตารางที่ 15.3 สารเคมีที่ควรใช้ล้างเรซินแต่ละชนิด

ชนิดเรซิน		รูปของไอออน	สารเคมี (regenerant)
แคตไอออน	กรดแก่	H^+	HCl, H_2SO_4
	กรดแก่	Na^+	NaCl
	กรดอ่อน	H^+	HCl, H_2SO_4
	กรดอ่อน	Na^+	NaOH
แอนไอออน	ด่างแก่	OH^-	NaOH
	ด่างแก่	Cl^-	NaCl, HCl
	ด่างอ่อน	Cl^-	NaOH, NH_4OH , Na_2CO_3
	ด่างอ่อน	Cl^-	HCl

5.4 ความบริสุทธิ์ของวัสดุที่ใช้ทำกระบอกใส่เรซิน ท่อและสายยางต่าง ๆ

5.5 สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์หรือเครื่องทำน้ำให้บริสุทธิ์ชนิดอื่น ๆ ได้ง่าย

5.6 ควรมีเครื่องวัดคุณภาพของน้ำที่ไหลออกจากเครื่องกำจัดไอออน

5.7 เครื่องกำจัดไอออนที่มีเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำภายใน ช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์สูงอยู่ตลอดเวลา เพราะน้ำที่ขังนิ่งในคอลัมน์จะมีความบริสุทธิ์ลดลง

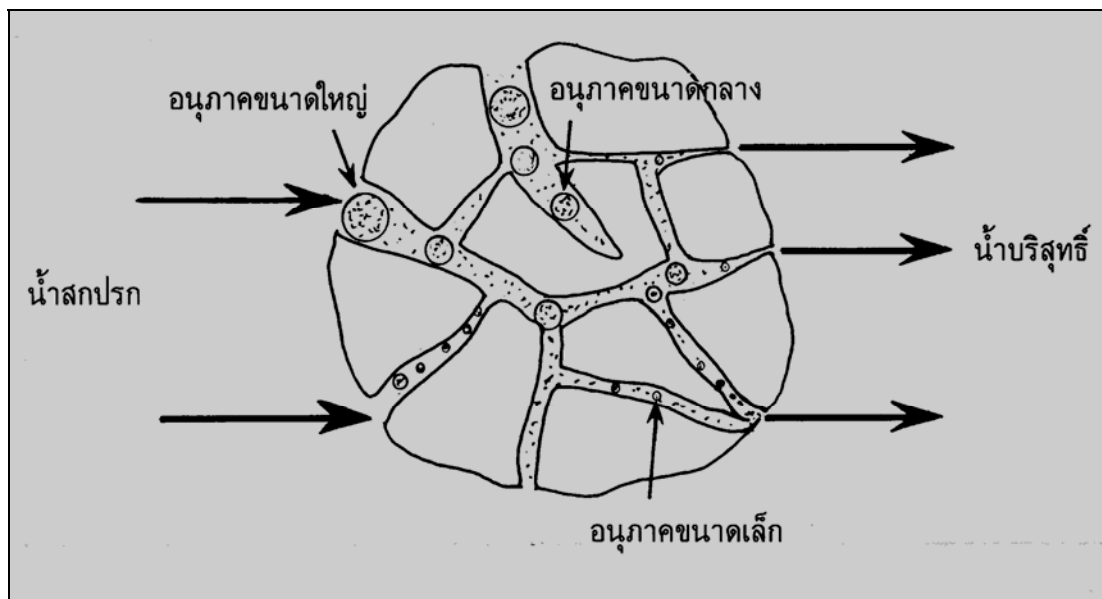
ตัวดูดซับ (Adsorbent)

ตัวดูดซับที่นิยมใช้มากที่สุดในระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์ในห้องปฏิบัติการคือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูง มีราคาถูกและใช้เนื้อที่น้อย จึงสามารถใช้ร่วมกับเรซินชนิดต่าง ๆ ได้ดี จึงใคร่ขอกล่าวถึงตัวดูดซับชนิดนี้เพียงชนิดเดียวดังนี้

1. หลักการดูดซับ ถ่านกัมมันต์แบ่งการดูดซับเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาที่ผิวหน้า(surface reaction) ที่เกิดระหว่างหมู่ carbonyl และหมู่ carboxyl ของถ่านกัมมันต์ทำปฏิกิริยากับตัวถูกดูดซับ(adsorbate) ขั้นตอนที่สอง ตัวถูกดูดซับจะแพร่ปกคลุมผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ (external diffusion) ขั้นตอนที่สาม ตัวถูกดูดซับแพร่เข้ารูขนาดเล็ก(micropore) และรูขนาดใหญ่

(macropore) ของถ่านกัมมันต์ โดยโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกกักไว้ในรูขนาดใหญ่ ส่วนโมเลกุลขนาดเล็กถูกกักไว้ในรูขนาดเล็ก ดังนั้นน้ำที่ผ่านรูออกมาจึงมีความบริสุทธิ์ (รูปที่ 15.5)

2. โครงสร้างและคุณสมบัติ ถ่านกัมมันต์อาจผลิตจากกะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ หรือไม้ โดยการเผาวัตถุดิบในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ หรือในสุญญากาศ และใช้อุณหภูมิประมาณ 170°C . เพื่อไล่น้ำออก(dehydration) ใช้อุณหภูมิในช่วง $275-400^{\circ}\text{C}$. เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอน (carbonization) และไล่น้ำที่ไม่ใช่คาร์บอนออก หลังจากนั้นเพิ่ม



รูปที่ 15.5 การดูดซับอนุภาคขนาดต่าง ๆ ด้วยถ่านกัมมันต์

อุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น $750-985^{\circ}\text{C}$. เพื่อขยายรูภายในถ่าน(activation) จึงได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง(basic carbon) แต่ถ้าใช้อุณหภูมิขยายรูต่ำกว่า 500°C . จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรด(acid carbon) ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปดังนี้

- 2.1 รูพรุนภายในมีขนาดตั้งแต่ 10-100 อังสตรอม
- 2.2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.2-1.7 มม.
- 2.3 มีน้ำหนัก 0.9-1.5 กรัม/มล. เมื่อมีความชื้นร้อยละ 2.8
- 2.4 มีพื้นที่ผิวมาก (500-2,500 ตรม./กรัม) ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและเทคนิคที่ใช้ในการผลิต ซึ่งทำให้ถ่านกัมมันต์แต่ละยี่ห้อ มีพื้นที่ผิวต่างกัน (ตารางที่ 15.4)

2.5 สามารถดูดสี กลิ่น รสและสารเคมีออกจากน้ำได้ ตัวอย่างเช่น acetaldehyde, acetic acid, acetone, alcohol, amine, ammonia, benzene, calcium hypochlorite, chloral, chlorine, chlorophenol, chlorophyll, cresol, detergents, dissolved oil, dye, ethyl acetate, gasoline, glycol,

herbicides, H_2S , insecticide, I_2 , ketone, lactic acid, naptha, กลิ่น(สารอินทรีย์), toluene, trichloroethane, vinegar และ xylene ฯลฯ.

2.6 การดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อ มีพื้นที่ผิวมากขึ้น พีเอชต่ำลง อุณหภูมิลดลง ตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้น้อย หรือมีความเข้มข้นมาก

2.7 การดูดซับลดลง เมื่อสารอินทรีย์มีการแตกตัวเพิ่มขึ้น หรือมีการแย่งดูดซับกับตัวถูกดูดซับอื่น ๆ ในน้ำ

2.8 อัตราการไหลของน้ำบริสุทธิ์ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อสิ่งสกปรกถูกดูดซับมากขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 15.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ

ชื่อการค้า	วัตถุดิบที่ใช้ผลิต	พื้นที่ผิว (ตรม./กรัม)
PCC GW	ถ่านหิน	800-1,000
PCC SGL	ถ่านหิน	1,000-1,200
Norit	ไม้	700-1,400
Columbia O	กะลามะพร้าว	1,100-1,150
Columbia AC	กะลามะพร้าว	1,200-1,400
Darco 551	ถ่านลิกไนต์	500-550
Darco KB	ไม้	950-1,000
Nuchar C	แกลบ	1,050-1,100
Nuchar Aqua	แกลบ	550-650

3. การใช้งาน ถ่านกัมมันต์อาจใช้ดูดซับสารเจือปนในน้ำดิบก่อนปล่อยน้ำดิบเข้าสู่เครื่องกลั่น หรือใช้ดูดซับสารเจือปนในน้ำหลังจากผ่านเครื่องกำจัดโอโซน การใช้งานอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะตามการไหลของน้ำคือ

3.1 แบบไหลลง(downflow หรือ cocurrent) ทำงานโดยปล่อยให้ น้ำไหลผ่านถ่านกัมมันต์ จากด้านบนลงสู่ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกหรือแรงดันในระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์ วิธีนี้ทำให้ คอลัมน์อุดตันบ่อย และประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง ทำให้ต้องเปลี่ยน หรือล้างถ่านกัมมันต์บ่อย

3.2 แบบไหลขึ้น(counter current) ทำงานในลักษณะตรงกันข้ามกับแบบแรก แรงดันของ น้ำที่ไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ทำให้ถ่านกัมมันต์มีการลอยตัวขึ้นเล็กน้อยทำให้การดูดซับของ ถ่านกัมมันต์กระทำได้อย่างเต็มที่ และช่วยลดการอุดตันจากตะกอน นอกจากนี้ยังสามารถยืดอายุใน การใช้งานได้ โดยการเติมถ่านกัมมันต์ใหม่ที่ด้านบนของคอลัมน์ได้อีกเรื่อยๆ โดยไม่ต้องเปลี่ยน ถ่านกัมมันต์ทั้งหมด

4. การนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ โดยทั่วไปนิยมทิ้งถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสิ่งสกปรกไว้เต็มที่แล้ว เพราะถ่านกัมมันต์มีราคาถูก และวิธีการการนำกลับมาใช้ใหม่ค่อนข้างยุ่งยาก

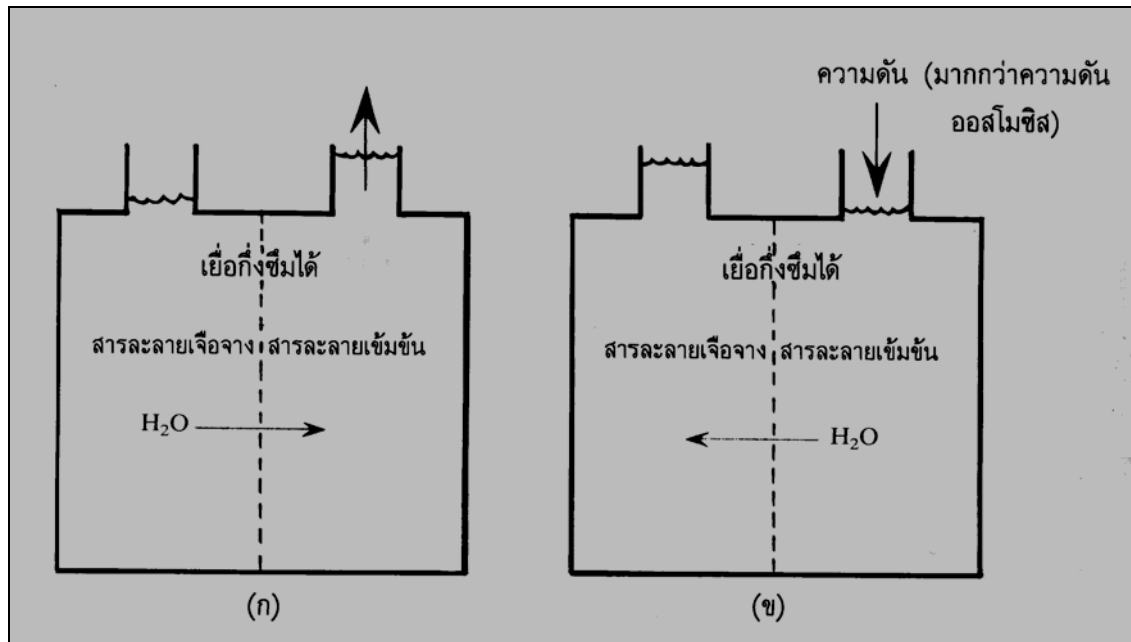
แต่ถ้าต้องการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้อีก อาจทำได้โดยนำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 1,600-1,800 °ฟ. ในสุญญากาศ หรือในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อป้องกันออกซิเจนออกซิไดส์ถ่าน อุณหภูมิที่สูงนี้ทำให้น้ำและสิ่งสกปรกกระเหยออกไปจากรูของถ่าน ส่วนที่ไม่ระเหยจะถูกเผาจนเป็นคาร์บอน หลังจากนั้นจึงนำมาล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งก่อนนำไปใช้ซ้ำอีก

เครื่องออสโมซิสผันกลับ(Reverse osmosis)

นิยมใช้แพร่หลายในการผลิตน้ำดื่มจากน้ำทะเล การทำให้ของเสียบางชนิดให้เข้มข้นขึ้นเพื่อนำมาใช้ใหม่ การกำจัดความกระด้างของน้ำดิบก่อนส่งเข้าสู่หม้อต้ม ใช้เตรียมน้ำสำหรับการฟอกเลือด (hemodialysis) ฯลฯ.

ในห้องปฏิบัติการบางแห่งใช้กำจัดไอออนแทนเครื่องกำจัดไอออน เพราะมีอัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์สูง ใช้พลังงานในการผลิตน้อย(100-200 ลิตร/กิโลวัตต์/ชั่วโมง) ใช้และบำรุงรักษาง่าย เยื่อ (membrane) มีอายุการใช้งานนาน 1-3 ปี แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องใช้น้ำที่บริสุทธิ์สูงมาก ควรใช้เครื่องออสโมซิสผันกลับร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพราะเครื่องออสโมซิสผันกลับกำจัดสารเจือปนออกจากน้ำได้ไม่หมด กล่าวคือ กำจัดเกลือ จุลินทรีย์ และสารเจือปนที่ละลายออกได้ในช่วง 70-99.9%, 99.7-99.99% และ 0-99.9% ตามลำดับ

1. หลักการทำงาน โดยธรรมชาติ น้ำจะซึมผ่านเยื่อกึ่งซึมได้ (semipermeable membrane) จากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เนื่องจากมีความดันออสโมซิสต่ำกว่า(direct osmosis) แต่เครื่องออสโมซิสผันกลับทำงานในทิศทางตรงกันข้าม อาศัยความดันที่สูงกว่าความดันออสโมซิสดันให้น้ำไหลผ่านเยื่อกึ่งซึมได้ในทิศทางตรงกันข้าม(reverse osmosis) (รูปที่ 15.6)



รูปที่ 15.6 การไหลของน้ำผ่านเยือกึ่งซึมได้เมื่อเกิดออสโมซิสตรง (direct osmosis)(ก)
และออสโมซิสผ่นกลับ (reverse osmosis) (ข)

น้ำซึ่งมีตัวถูกละลาย (solute) ปนอยู่จำนวนเล็กน้อยที่ไหลผ่านเยือกึ่งซึมได้ออกมาสามารถ
คำนวณได้จากสูตร

$$F_m = W_p (\Delta P - \Delta P_o)$$

$$N_i = K_{pi} \Delta c_i$$

โดย F_m = อัตราการไหลของน้ำ

N_i = อัตราการไหลของตัวถูกละลาย (i)

W_p = Water permeation (คงที่ในเยื่อแต่ละชนิด)

K_{pi} = Solute permeation (คงที่ในเยื่อแต่ละชนิด)

ΔP = ความแตกต่างของความดันปริมาณ 2 ด้านของเยือกึ่งซึมได้

ΔP_o = ความแตกต่างของความดันออสโมซิสบริเวณ 2 ด้านของเยือกึ่งซึมได้

Δc_i = ความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (i) บริเวณ 2 ด้านของเยือกึ่งซึมได้

ถึงแม้ว่าค่า Wp และ Kpi ก่อนข้างคงที่ในเยื่อกึ่งซึมได้แต่ละชนิด แต่มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3.5 / °ซ. ในช่วงอุณหภูมิ 15-30 °ซ. ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการไหลผ่านเยื่อกึ่งซึมได้ของน้ำและตัวถูกละลายด้วย

นอกจากนี้ การซึมผ่านเยื่อกึ่งซึมได้ของตัวถูกละลายยังขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของตัวถูกละลายนั้น ๆ ด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละการคงไว้(% retention) สามารถสรุปได้ดังนี้

- ไอออนวาลเลนซ์มาก>ไอออนวาลเลนซ์น้อยกว่า
- เกลือของกรดหรือด่าง>กรดหรือด่าง
- ไอออน> กลือ
- แก๊สที่ละลายน้ำ>แก๊สที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย (Cl_2 , O_2 , CO_2 , H_2S)
- สารที่แตกตัวได้น้อยหรือไม่แตกตัว> สารที่แตกตัวมากกว่า
- สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำน้อยกว่า> สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำมากกว่า
- สารที่ไม่แตกตัวและมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า200>สารที่ไม่แตกตัวแต่น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า

2. องค์ประกอบและคุณสมบัติ ที่สำคัญมีดังนี้

2.1 เยื่อกึ่งซึมได้ เยื่อกึ่งซึมได้ที่ใช้กับเครื่องออสโมซิสผันกลับทำจากสารเคมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น polybenzimidazol(Celanese). Polyamide(Dupont, Barnsted), polyfuran(FRL), polyethyleneimine(NSRI), polyether amide(UOP), copolyacrylonitrile(Sumitomo Electric) และ cellulose acetate (Barnsted) ฯลฯ. เยื่อกึ่งซึมได้เหล่านี้มีเปอร์เซ็นต์การคงไว้ใกล้เคียงกันในช่วง 95-99.9% แต่ชนิดที่นิยมใช้มากในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

2.1.1 เซลลูโลสแอซิเตท(cellulose acetate) เป็นเยื่อกึ่งซึมได้ที่เลือกไอออนให้ผ่านด้วยคุณสมบัติของชั้นผิวหนัง(surface skin) ซึ่งหนาประมาณ 0.2 ไมครอน ส่วนชั้นกลางมีน้ำอยู่มากถึง 2 ใน 3 ส่วนของน้ำหนักเยื่อกึ่งซึมได้ มีราคาถูก ทนคลอรีนได้ดี มีความหนาทั้งหมดประมาณ 100 ไมครอน มีเปอร์เซ็นต์การคงไว้สำหรับ NaCl และเช็ลูลินทรีย์ 97 และ 99.9 ตามลำดับ แต่มีขีดจำกัดในการใช้งานหลายประการ กล่าวคือ มีช่วงพีเอชที่ใช้งานแคบ (4-8) ถ้าพีเอชเกินช่วงนี้เยื่อกึ่งซึมได้จะถูกแยกสลายด้วยน้ำได้ง่าย ทนความร้อนไม่เกิน 50 °ซ. ทำความสะอาดยาก และสลายตัวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ(biodegradable)

2.1.2 Polyamide ทำจากเรซินชนิด cellulose acetate butyrate มีความหนาประมาณ 0.0005 นิ้ว มีเสถียรภาพสูงกว่าเซลลูโลสแอซิเตทในช่วงพีเอช 2-12 ไม่สลายตัวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ แต่ polyamide ไม่ทนต่อคลอรีน ทนอุณหภูมิได้เท่ากับเซลลูโลสแอซิเตท มีเปอร์เซ็นต์การคงไว้ของ NaCl สูงถึงร้อยละ 99.9

2.2 เครื่องสูบน้ำ พบในเครื่องออสโมซิสผันกลับบางชนิดที่ใช้เครื่องสูบน้ำช่วยปรับความดันของน้ำที่ผ่านเยื่อกึ่งซึมได้ เพื่อให้การซึมผ่านเยื่อกึ่งซึมได้มีประสิทธิภาพสูงอยู่ตลอดเวลา เครื่อง

สูบน้ำจะทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเริ่มเปิดเครื่องออสโมซิสผันกลับ หรือทำงานทุก ๆ ชั่วโมงเพื่อล้างสิ่งสกปรกที่จะตกตะกอนบนเยื่อกรองซึมได้ (รูปที่ 15.7)

2.3 เครื่องวัดคุณภาพของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านออกจากเครื่องออสโมซิสผันกลับ (รูปที่ 15.7)

2.4 ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ส่วนใหญ่เป็นแบบปิดสนิทและทึบแสง เพื่อป้องกันแบคทีเรียปนเปื้อนลงไป และป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์มีความจุ 40-100 ลิตร ทำให้สามารถเลือกขนาดได้ตามความต้องการ (รูปที่ 15.7)

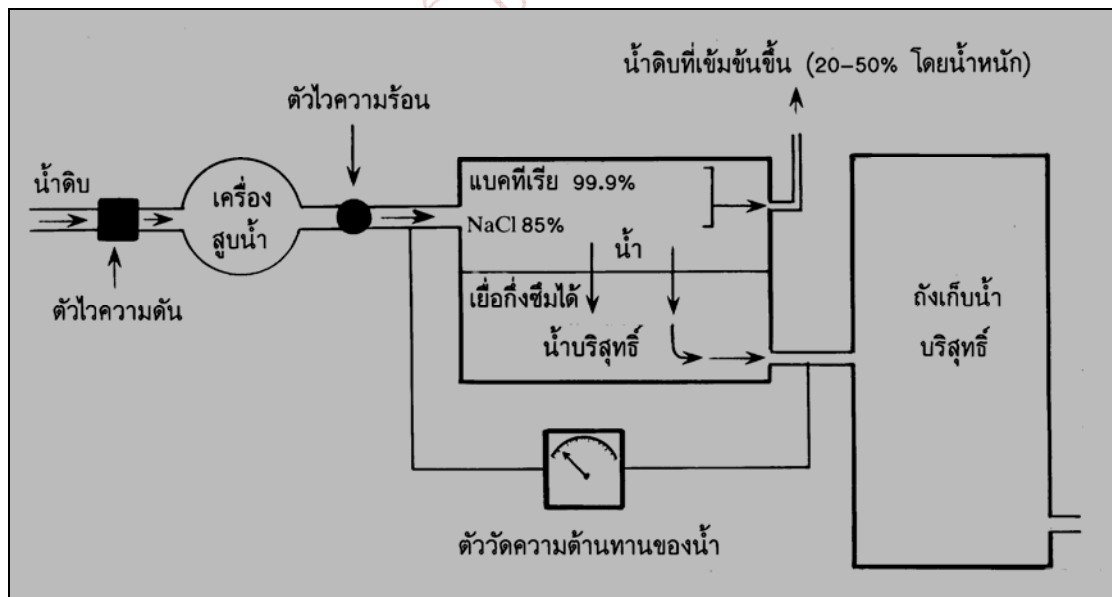
2.5 ตัวไวกความดัน มีหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องออสโมซิสผันกลับ เมื่อแรงดันของน้ำมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป เพราะความดันที่สูงเกินไปจะทำให้ท่อหรือเยื่อกรองซึมได้แตกเสียหาย ส่วนความดันของน้ำที่ต่ำเกินไปจะทำให้มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำทำงานหนักจนอาจไหม้เสียหาย (รูปที่ 15.7)

2.6 ตัวไวกความร้อน มีหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่อง เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ป้อนเข้าสู่เครื่องออสโมซิสผันกลับมีอุณหภูมิสูงเกินไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันเยื่อกรองซึมได้เสียหาย (รูปที่ 15.7)

3. การใช้งาน มีสิ่งที่ควรปฏิบัติดังนี้

3.1 ก่อนปล่อยน้ำดิบเข้าสู่เครื่องออสโมซิสผันกลับควรให้น้ำไหลผ่านตัวดูดซับก่อนเพื่อช่วยกำจัดแก๊ส และป้องกันการอุดตันของเยื่อกรองซึมได้

3.2 น้ำดิบที่ใช้ควรมีของแข็งที่ละลายทั้งหมด (total dissolve solid) ไม่เกิน 2,000 ppm แต่ถ้ามีมากเกินไปควรกำจัดออกโดยการตกตะกอนออกก่อน



รูปที่ 15.7 องค์ประกอบและทิศทางการไหลของน้ำในเครื่องออสโมซิสผันกลับ

3.3 น้ำดิบที่ผ่านเยื่อกรองซึมได้ไม่ควรมีอุณหภูมิเกิน 35 °ซ.

3.4 การอุดตันของเยื่อกรองซึมได้ที่เกิดจาก CaCO_3 หรือ CaSO_4 อาจป้องกันโดยปรับพีเอชของน้ำที่ผ่านเยื่อกรองซึมได้ให้มีพีเอชประมาณ 5.0

3.5 น้ำดิบที่ผ่านเยื่อกรองซึมได้ชนิด polyamide ควรกำจัดคลอรีนออกให้หมดโดยให้น้ำดิบไหลผ่านถ่านกัมมันต์ก่อน ส่วนน้ำดิบที่ผ่านเยื่อกรองซึมได้ชนิดเซลลูโลสแอซิเตทไม่ควรมีคลอรีนเกิน 1 มก./ล.

3.6 ความดันของน้ำดิบที่ป้อนเครื่องออสโมซิสผันกลับ ควรอยู่ในช่วงที่กำหนดของเครื่องแต่ละชนิด (30-100 ปอนด์/ตารางนิ้ว)

3.7 น้ำที่ผ่านออกจากเครื่องออสโมซิสผันกลับอาจต้องแยกแก๊สออก ปรับพีเอช หรือฆ่าเชื้อโรค ขึ้นอยู่กับงานแต่ละประเภท

3.8 ตรวจสอบคุณภาพน้ำดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง และน้ำบริสุทธิ์ที่ไหลออกจากเครื่องออสโมซิสผันกลับอยู่เสมอ

4. การบำรุงรักษา เครื่องออสโมซิสผันกลับมีวิธีการบำรุงรักษาต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ตรวจสอบถูกต้องของเครื่องวัดคุณภาพน้ำทุก ๆ 6 เดือน

4.2 ตรวจสอบอัตราการไหลออกของน้ำบริสุทธิ์เพื่อตรวจสอบการอุดตันทุก ๆ 3 เดือน

4.3 ใช้สารเคมีทำความสะอาดเยื่อกรองซึมได้ ตามระยะเวลาที่กำหนด หรือเมื่อเยื่อกรองซึมได้สกปรกมาก

4.4 ล้างและทำความสะอาดถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ทุก ๆ 6 เดือน

4.5 ตรวจสอบรอยรั่วของน้ำที่บริเวณข้อต่อต่าง ๆ เสมอ

4.6 ตรวจสอบการทำงานของตัวไถความดันและตัวไถความร้อนทุก ๆ 6 เดือน

5. การเลือก ควรพิจารณาถึง

5.1 เยื่อกรองซึมได้ ควรมีคุณสมบัติที่ดีดังนี้ ทนต่อกรด ทนต่อด่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง น้ำไหลผ่านได้ดี ผลิตง่าย มีราคาถูก และทนต่อการสลายตัวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

5.2 มีอัตราเร็วในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ควรเหมาะสม และพอเพียงต่อการใช้งาน

5.3 คุณภาพของน้ำบริสุทธิ์ เครื่องออสโมซิสผันกลับที่ดีควรผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่มีความนำไฟฟ้าไม่เกิน 1 ไมโครโมล/ชม. มีแบคทีเรียไม่เกิน 1 ตัว/มล. มีคาร์บอนของสารอินทรีย์รวม(total organic carbon) ไม่เกิน 100 ppb และมีสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100 ไม่เกินร้อยละ 1

5.4 ความง่ายในการต่อร่วมกับอุปกรณ์ทำน้ำบริสุทธิ์อื่นๆ ที่มีอยู่แล้ว หรือที่จะจัดหาใหม่ในอนาคต

5.5 ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ 1 หน่วยต่ำ โดยคำนวณจากราคาของน้ำดิบที่ใช้ ราคาเยื่อกรองซึมได้ ค่าบำรุงรักษา และค่ากระแสไฟฟ้า ฯลฯ.

5.6 ราคาเครื่องออสโมซิสผันกลับเริ่มต้น เนื่องจากมีราคาสูงกว่าเครื่องกำจัดไออนและเครื่องกลั่นมาก ควรพิจารณาความคุ้มค่ากับงานที่มีอยู่

5.7 ใช้งานและทำการบำรุงรักษาง่าย

5.8 มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการใช้ ตัวอย่างเช่น ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ อุปกรณ์จ่ายน้ำบริสุทธิ์ สัญญาณเตือนเมื่อคุณภาพของน้ำไม่สูงพอตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นต้น

5.9 มีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องออสโมซิสผันกลับเสียหาย ตัวอย่างเช่น ตัวไวกความร้อนและตัวไวกความดัน

เครื่องกรองละเอียด (Ultrafiltration)

เครื่องกรองละเอียดนิยมใช้กรองอนุภาคขนาดเล็ก โดยเฉพาะแบคทีเรียออกจากน้ำบริสุทธิ์ในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากเชื้อ

1. หลักการกรองละเอียดมีดังนี้ น้ำ อนุภาคและตัวถูกละลายถูกดันผ่านเยื่อกรองโดยใช้ความดันเช่นเดียวกับออสโมซิสผันกลับ แต่แตกต่างกันตรงที่ไม่มีความดันออสโมซิสเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นอัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง จึงสามารถใช้สูตรคำนวณเช่นเดียวกับเครื่องออสโมซิสผันกลับ ส่วนขนาดอนุภาคที่ถูกกักไว้โดยเยื่อกรองขึ้นอยู่กับขนาดรูของเยื่อกรอง ขนาดและรูปร่างของอนุภาคนั้น ๆ

2. โครงสร้างและคุณสมบัติ เยื่อกรองที่ใช้มีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น cellulose(Dynetics), cellulose acetate(sartorius), polyvinylidene(Abcor), polysulphone(Sertorius), polyacrylonitrile(Wafilin), polybenzoxazidione (Byer), polytetrafluoroethylene(Sartorius) ฯลฯ.

2.1 ความทนต่อความร้อนและสารเคมีตารางที่ 15.5 เป็นตัวอย่างคุณสมบัติของเยื่อกรองที่ใช้กันแพร่หลาย ในการใช้งานจริงควรศึกษาเพิ่มเติมจากเอกสารประกอบการใช้งานของเยื่อกรองชนิดนั้น ๆ

2.2 มีความหนา 65-140 ไมครอน มีรูขนาด 0.01-8 ไมครอน ทำให้สามารถแยกอนุภาคที่มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight cut off) ตั้งแต่ 300 จนถึง 100,000 ออกได้

2.3 เยื่อเซลลูโลสแอซิเตทมีอุณหภูมิใช้งานในช่วง 50-60 °ซ. แต่ PTFE มีอุณหภูมิใช้งานสูงกว่า (100 °ซ.) อัตราการไหลของน้ำผ่านเยื่อกรองจะเพิ่มขึ้นประมาณเท่าตัว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 15 °ซ. เป็น 25 °ซ.

2.4 ความดันกรองผ่านเยื่อกรองอยู่ในช่วง 10-30 ปอนด์/ตารางนิ้ว การใช้ความดันที่สูงเกินไป ทำให้อัตราการกรองผ่านเยื่อกรองลดลงเพราะไอออนที่ชั้นเจล(gel) ของเยื่อกรองจะปิดบังรูเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแพร่กลับ(back diffusion) ออกจากชั้นเจลลดลง

2.5 มีช่วงพีเอชใช้งานกว้าง 0-14 ขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อกรอง

3. การใช้งาน การกรองแบคทีเรียออกนิยมใช้เยื่อกรองที่มีรูขนาด 0.2 ไมครอน เพราะถ้าใช้รูเล็กกว่านี้อัตราการไหลของน้ำจะลดลงมาก เยื่อกรองสามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ถึง 2,200-34,000 ลิตร/วัน/ตารางฟุต และเพื่อลดการอุดตันของเยื่อกรองควรกำจัดตะกอนขนาดใหญ่ออกก่อนเสมอ

ตารางที่ 15.5 คุณสมบัติของเยื่อกรองละเอียดบางชนิด

สภาวะ/สารเคมี	Cellulose acetate	Cellulose nitrate	Polytetrafluoroethylene (PTFE)
Autoclave 121 °ซ.	+	+	+
Autoclave 134 °ซ.	+	-	+
Ethylene oxide	+	+	+
γ-ray	+	+	-
Xylene	+	+	+
Chloroform	-	+	+
Methanol 98%	+	-	+
Ethanol 98%	+	-	+
Glycerol	+	+	+
Acetone	-	-	+
Ethyl acetate	-	-	+
Dimethyl sulfoxide	-	-	+
Triethanolamine	+	+	+
Pyridine	-	-	+

การออกแบบระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์

การออกแบบระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ ปริมาณน้ำบริสุทธิ์และค่าใช้จ่ายมาก ตัวอย่างเช่น การใช้เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่า ราคาถูกกว่า แต่เมื่อนำมาต่อร่วมกันเป็นระบบที่ดี สามารถผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบที่ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ราคาแพงกว่า แต่การออกแบบระบบไม่เหมาะสม จึงใคร่ขอเสนอแนวทางในการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมกันเป็นระบบดังนี้

1. น้ำปราศจากไอออน(ionically pure water) น้ำชนิดนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เอนไซม์ อิเล็กโทรไลต์ และโลหะต่าง ๆ ฯลฯ อาจผลิตโดยใช้ระบบดังต่อไปนี้

น้ำดิบ -----> เครื่องออสโมซิสผันกลับ -----> เครื่องกำจัดไอออน
 น้ำดิบ -----> เครื่องกำจัดไอออน
 น้ำดิบ -----> เครื่องกลั่น 2 ครั้ง
 น้ำดิบ -----> เครื่องออสโมซิสผันกลับ -----> เครื่องกลั่น

2. น้ำปราศจากจุลินทรีย์ (biologically pure water) ซึ่งเหมาะสมกับงานเพาะเลี้ยงเชื้อ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อาจผลิตโดยใช้ระบบดังต่อไปนี้

น้ำดิบ ----> เครื่องกลั่น -----> เครื่องกำจัดไออน-----> เครื่องกรองละเอียด
 น้ำดิบ ----> เครื่องออสโมซิสผันกลับ --> เครื่องกำจัดไออน-----> เครื่องกรองละเอียด
 น้ำดิบ ----> เครื่องกำจัดไออน ----- > เครื่องกรองละเอียด
 น้ำดิบ ----> เครื่องกลั่น

นอกจากนี้ยังอาจใช้หลอดอัลตราไวโอเลตช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส ยีสต์ ฯลฯ โดยอาจต่อหลอดอัลตราไวโอเลตเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำดิบก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบ หรือ ต่อไว้หลังจากที่น้ำบริสุทธิ์ผ่านระบบทำน้ำให้บริสุทธิ์ออกมาแล้ว

3. น้ำปราศจากสารอินทรีย์ (organically pure water) เป็นน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเครื่อง โครมาโทกราฟีเหลวความดันสูง(HPLC) และเครื่อง gas chromatography (GC) ตลอดจนน้ำที่ใช้ สำหรับวิเคราะห์ค่า total organic carbon (TOC) หรือค่า biochemical oxygen demand (BOD) อาจ ผลิตดังนี้

น้ำดิบ -----> เครื่องออสโมซิสผันกลับ
 น้ำดิบ -----> เครื่องออสโมซิสผันกลับ -----> เครื่องกำจัดไออน
 น้ำดิบ -----> เครื่องกำจัดไออน -----> เครื่องออกซิเดชันด้วยแสงอัลตราไวโอเลต
 น้ำดิบ -----> เครื่องกลั่น

น้ำบริสุทธิ์มีบทบาทสำคัญต่อการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการมาก การเลือกระบบผลิตน้ำให้ บริสุทธิ์ที่เหมาะสม และการดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์มีประสิทธิภาพ สูงสุดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดผลดีต่อการตรวจวิเคราะห์ การวิจัยทางห้องปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ รวมทั้งความประหยัดที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวต่อไป

บรรณานุกรม

1. Arden TV. Water purification by ion exchange. London : Plenum Press, 1968.
2. Belasn FI. Water treatment. Moscow : Mir Publishers, 1981.
3. Cheremisinoff PN, Ellerbuch F. Carbon adsorption handbook. Mich : Ann Arbor Science Publishers Inc, 1978.
4. Granzi GC, Parise PL. The production of pharmaceutical grade of water using continuous deionization post reverse osmosis. J Parenter Sci 1990;44:231-41.
5. Schroder ED. Water and waste water treatment. Tokyo : Mc Graw-Hill Inc, 1979.
6. Walter J, Weber JR. Physiochemical process for water quality control. New York : Wiley : Willey-Interscience, 1972.

รศ.ชูชาติ อาริตราพันธุ์