# ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำในอุตสาหกรรม (Basic Industrial Water)

**บทที่ 1**

น้ำเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร มีการใช้น้ำสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ ในหลายรูปแบบตั้งแต่ใช้เป็นวัตถุดิบ ใช้ในการสนับสนุนการผลิต ไปจนถึงการใช้น้ำในการทำความสะอาดทั่วไป นอกจากนี้ ยังใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทั้งการลดอุณหภูมิในรูปของน้ำหล่อเย็นและการเพิ่มอุณหภูมิในรูปของไอน้ำ เนื่องมาจากน้ำมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการรับและคายพลังงานความร้อนที่ดี รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมทั้งในด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

## 1.1 คุณสมบัติของน้ำ

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้น้ำมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ดีมาจากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของน้ำ ที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอม ซึ่งมีออกซิเจนอยู่ตรงกลางและมีไฮโดรเจนเกาะอยู่ ประจุบวกที่ไฮโดรเจนและประจุลบที่ออกซิเจนจะมีแรงดึงดูดซึ่งเรียกแรงดึงดูดนี้ว่า **"พันธะไฮโดรเจน"** มีผลทำให้น้ำมีคุณสมบัติที่ต้องการพลังงานปริมาณที่สูงมากในการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และทำให้เมื่อน้ำอยู่ในสภาพของ

ไอน้ำจะมีพลังงานสะสมอยู่สูงมาก นอกจากนี้น้ำยังมีค่าความจุความร้อนที่สูง ทำให้การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิน้ำแต่ละองศาเซลเซียส มีการดูดกลืนหรือปลดปล่อยพลังงานมาก ประกอบกับคุณสมบัติที่เหมาะสมในด้านอื่นๆ เช่น ความปลอดภัยในการใช้งาน หรือต้นทุน ทำให้น้ำถูกใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย

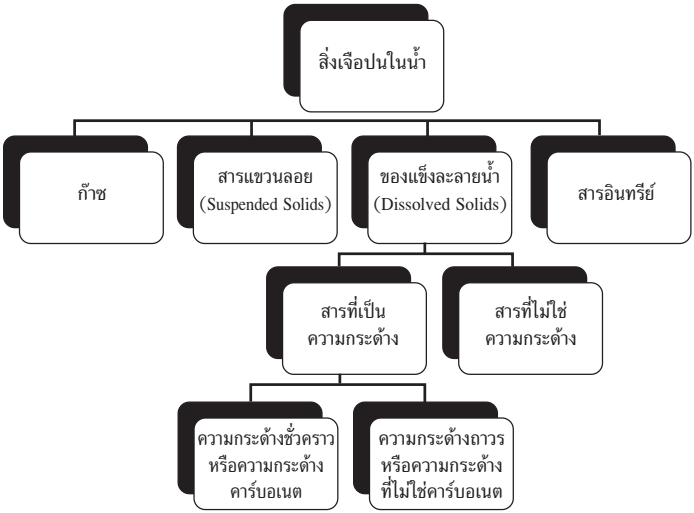
## 1.2 สิ่งเจือปนในน้ำ

น้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไป จะนำมาจากแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำบาดาลเป็นส่วนใหญ่ ในบางพื้นที่อาจมีการนำน้ำจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำทะเลหรือน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไป น้ำจากแต่ละแหล่งจะมีสิ่งเจือปนในน้ำที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องทำการปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนการนำไปใช้ ซึ่งความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแหล่งน้ำ และแนวโน้มของสิ่งเจือปนในแหล่งน้ำนั้นๆ จะช่วยให้การออกแบบหรือการเลือกอุปกรณ์ในการปรับสภาพน้ำเป็นไปอย่างถูกต้องและลดการสูญเสียที่ไม่จำเป็นได้

น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติแต่ละแห่ง มีสิ่งเจือปนอยู่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับลักษณะและสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ซึ่งสิ่งเจือปนที่พบได้บ่อยมีดังนี้

*ตารางที่ 1.1 แสดงคุณลักษณะโดยทั่วไปของน้ำจากแหล่งต่างๆ*

| คุณลักษณะโดยทั่วไป | แหล่งน้ำผิวดิน | แหล่งน้ำใต้ดิน | แหล่งน้ำอื่นๆ |
|---|---|---|---|
| ปริมาณของแข็งละลายน้ำ | ต่ำ | สูง | ไม่แน่นอน |
| ปริมาณสารแขวนลอย | ปานกลาง-สูง | ต่ำ | ไม่แน่นอน |
| ปริมาณสารอินทรีย์ | สูง | ต่ำ | สูง |
| ความผันผวนของคุณภาพน้ำ | สูง | ต่ำ | สูง |




**รูปที่ 1.1 แสดงประเภทของสิ่งเจือปนในน้ำ**

### ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) (หน่วยวัด-มิลลิกรัมต่อลิตร)

ของแข็งละลายน้ำ คือสารทั้งหมดในน้ำที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ สามารถตรวจวิเคราะห์ได้โดยการระเหยตัวอย่างน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสซึ่งใช้เวลานานและต้องทำในห้องทดลอง ดังนั้นในการทำงานประจำวันจะประมาณค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำโดยใช้วิธีการคำนวณจากการวัดค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นและชนิดของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าอยู่ในน้ำ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำกับค่าการนำไฟฟ้าแสดงได้ดังนี้

*ปริมาณของแข็งละลายน้ำ = ค่าคงที่ x ความนำไฟฟ้า*

โดยทั่วไปค่าคงที่จะอยู่ในช่วง 0.5 - 0.7 ขึ้นอยู่กับน้ำแต่ละแหล่ง แต่ในการทำงานควรทำการทดสอบหาค่าคงที่ เพื่อสำหรับใช้อ้างอิงในโรงงานแต่ละแห่ง

**สารแขวนลอย (Suspended Solids) (หน่วยวัด-มิลลิกรัมต่อลิตร)**

สารแขวนลอยคือสารส่วนที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดเป็นความขุ่น สามารถวิเคราะห์ได้โดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองแล้ว อบตะกอนที่กรองได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักการกำจัดสารแขวนลอยจะใช้การกรองหรือการตกตะกอนทำให้น้ำใส

**ความขุ่น (Turbidity) (หน่วยวัด- NTU/FTU/JTU)**

การวัดความขุ่นเป็นการวัดโดยอาศัยการกระเจิงของแสงบนอนุภาคสารแขวนลอย ซึ่งหน่วยวัดความขุ่นจะบ่งบอกถึงความหยาบละเอียดและรูปร่างของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ หน่วยวัดความขุ่นที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 หน่วยคือ Nephelometric Turbidity Unit (NTU) หรือ Jackson Turbidity Unit (JTU) หรือ Formazin Turbidity Unit (FTU) ค่าความขุ่นทั้งสามหน่วยนี้จะให้ค่าเป็นตัวเลขที่เท่ากัน

**คอลลอยด์ (Colliod)**

สิ่งเจือปนในน้ำที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กมากเกือบจะเป็นอิออนหรือโมเลกุล เรียกว่าคอลลอยด์ ซึ่งสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่หลงเหลืออยู่ที่ผิว ซึ่งจะมีประจุเดียวกัน และประจุเหล่านี้จะผลักกัน ทำให้แต่ละอนุภาคไม่เข้ามารวมตัวกันและกระจายตัวอยู่ในน้ำ การกำจัดคอลลอยด์จะใช้วิธีการตกตะกอนทำให้น้ำใสหรือวิธีการกรองโดยเมมเบรนต่างๆ

**ความกระด้าง (Hardness) (หน่วยวัด-ppm as $CaCO_3$)**

น้ำที่มีความกระด้างละลายอยู่ สามารถเกิดเป็นตะกรันจับในท่อน้ำเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นความกระด้างส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ แคลเซียม-ไบคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต ความกระด้างในน้ำที่มีอยู่ทุก

ประเภทรวมเรียกว่า ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) ซึ่งแบ่งออกได้ 2 แบบดังนี้

1.ความกระด้างคาร์บอเนตหรือความกระด้างชั่วคราว (Carbonate or Temporary Hardness) ได้แก่ ไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้เกิดความกระด้างชั่วคราว ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจนทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 54.5 องศาเซลเซียสขึ้นไป ความกระด้างดังกล่าวจะเปลี่ยนสภาพจากสารละลายกลายเป็น สารแขวนลอย ทำให้เกิดตะกรันในระบบ

2.ความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนตหรือความกระด้างถาวร (Non-carbonate or Permanent Hardness) ได้แก่ น้ำที่มีความกระด้างอยู่ในรูปของเกลือซัลเฟตคลอไรด์ และไนเตรต ของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อน ไม่เกิดตะกรันได้ง่าย เว้นแต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นสูงมาก

ในอุตสาหกรรมทั่วไปความกระด้างในน้ำส่วนใหญ่มาจากแคลเซียมอิออน ($Ca^{2+}$) และแมกนีเซียมอิออน ($Mg^{2+}$) โดยแคลเซียมอิออนที่มีอยู่ในน้ำจะเป็นตัวการสำคัญในการทำให้เกิดตะกรันในท่อหรือในหม้อต้มไอน้ำ การตรวจหาปริมาณความกระด้างทำได้โดยการไทเทรต สำหรับการกำจัดแคลเซียมทำได้โดยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุกับแคทอิออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน

สำหรับแมกนีเซียมอิออนจะพบอยู่ในน้ำร่วมกับแคลเซียมอิออนและเป็นสาเหตุของความกระด้างในน้ำเช่นกัน โดยทั่วไปจะพบแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ 1 ใน 3 ของความกระด้างทั้งหมด เนื่องจากแมกนีเซียมจะละลายในน้ำได้ดีกว่าแคลเซียม ดังนั้นตะกรันที่เกิดขึ้นจึงมักจะมาจากแคลเซียมก่อนเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณแมกนีเซียมหาได้จากการคำนวณดังสมการ โดยค่าที่นำมาคำนวณอยู่ในหน่วย ppm as $CaCO_3$

*ความกระด้างแมกนีเซียม = ความกระด้างทั้งหมด-ความกระด้างแคลเซียม*

### ซิลิกา (Silica) (หน่วยวัด- ppm as $SiO_2$)

น้ำตามธรรมชาติจะมีซิลิกาปรากฏอยู่ในรูปกรดซิลิสิก($HSiO_3^-$) และอยู่ในรูปคอลลอยด์ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อเรียกว่า คอลลอยด์ดัลซิลิกา โดยทั่วไปแหล่งน้ำผิวดินจะมีปริมาณซิลิกาไม่สูงนักเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำบาดาล สำหรับระบบหม้อไอน้ำและระบบน้ำหล่อเย็น ซิลิกาที่มีอยู่อาจทำให้เกิดตะกรันซิลิเกตของแคลเซียมและแมกนีเซียม มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนของระบบนอกจากนี้ซิลิกายังสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิสูงๆ ไปพร้อมกับไอน้ำและเกิดตะกรันที่กังหันไอน้ำได้

เนื่องจากซิลิกาไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆการกำจัดจึงต้องใช้วิธีการดูดซับด้วยเกลือของแมกนีเซียม หรือวิธีการแลกเปลี่ยนประจุผ่านแอนอิออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน แต่ถ้าอยู่ในรูปคอลลอยด์ดัลซิลิกา จะไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ต้องใช้การตกตะกอนหรือการกรองโดยเมมเบรนเท่านั้น

### ฟอสเฟต (Phosphate) (หน่วยวัด- ppm as $PO_4^{3-}$)

ฟอสเฟตในแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะพบได้น้อย ส่วนมากที่พบมักมาจากแหล่งน้ำเสียชุมชน และในอุตสาหกรรมทั่วไปมีการใช้ฟอสเฟตสำหรับปรับสภาพน้ำ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และออร์กานิคฟอสเฟต สำหรับโพลีฟอสเฟตจะสามารถสลายตัวเปลี่ยนเป็นออร์โธฟอสเฟตได้เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และในระบบน้ำหล่อเย็นจะใช้สารประกอบฟอสเฟตในการยับยั้งการเกิดการกัดกร่อนของเหล็กและป้องกับการเกิดตะกรันหินปูน ส่วนในระบบหม้อไอน้ำจะนำไปใช้เป็นสารป้องกันการเกิดตะกรันในหม้อไอน้ำ ในการดูแลระบบน้ำในอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มีการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตในน้ำ เพื่อให้ทราบว่าการเติมสารเคมีเหมาะสมหรือไม่

### คลอไรด์ (Chloride) (หน่วยวัด-ppm as $Cl^-$)

ปริมาณคลอไรด์ในน้ำจะเป็นดัชนีบอกถึงแนวโน้วของน้ำที่จะมี

คุณสมบัติในการกัดกร่อน คลอไรด์เป็นอิอออนที่แตกตัวได้ดีในน้ำ ละลายน้ำได้ดีและมีเสถียรภาพสูง โดยทั่วไปน้ำตามธรรมชาติ เช่น น้ำจากแม่น้ำ น้ำบาดาล น้ำบนที่สูงและแถบภูเขาจะมีคลอไรด์น้อย น้ำบาดาลจะมีคลอไรด์มาก น้ำทะเลมีคลอไรด์อิออนมากกว่าอิออนชนิดอื่นๆ ตามมาตรฐานน้ำดื่มสากล ถ้าน้ำมีคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำจะมีรสกร่อย การกำจัดคลอไรด์สามารถทำได้ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุผ่านแอนอิออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน การกรองโดยระบบรีเวอร์สออสโมซิส หรือการกลั่น

### คลอรีน (Chlorine) (หน่วยวัด-ppm as $Cl_2$)

ในน้ำจากแต่ละแหล่งมีค่าความต้องการคลอรีน (Chlorine Demand) แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในการควบคุมเชื้อต่างๆในน้ำ จำเป็นต้องเติมคลอรีนในปริมาณที่มากกว่าค่าความต้องการคลอรีน เพื่อให้มีปริมาณคลอรีนหลงเหลือหรือคลอรีนอิสระ (Free Residue Chlorine, FRC) เพียงพอ โดยทั่วไปในการควบคุมปริมาณการเติมคลอรีนสามารถทำได้โดยการตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระในน้ำ น้ำจากแหล่งธรรมชาติจะไม่พบคลอรีนอิสระ แต่ในน้ำประปาจะมีคลอรีนอิสระประมาณ 0.5-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอุตสาหกรรมอาหารมักควบคุมค่าคลอรีนอิสระในน้ำสูงกว่าอุตสาหกรรมอื่นๆ เนื่องจากต้องป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ แต่ควรระมัดระวังไม่ให้มีการใช้มากเกินความจำเป็น เพราะคลอรีนสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนบนเหล็กได้ การกำจัดคลอรีนอิสระสามารถทำได้โดยการใช้สารเคมีจำพวกซัลไฟต์ หรือใช้การกรองผ่านถ่านกัมมันต์

### เหล็ก (Iron) (หน่วยวัด-ppm as Fe)

น้ำในธรรมชาติจะมีเหล็กละลายปนอยู่ เหล็กที่พบจะปรากฏอยู่ใน 2 รูปแบบคือ เฟอร์รัสอิออน ($Fe^{2+}$) อยู่ในรูปของสารละลาย และเฟอร์ริกอิออน ($Fe^{3+}$) อยู่ในรูปของอนุภาค เฟอร์รัสอิออนจะไม่มีเสถียรภาพ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอร์ริกอิออน

สำหรับน้ำผิวดินมักพบในรูปเฟอร์ริกซึ่งมีสีคล้ายสนิมและไม่ละลายน้ำ ในน้ำบาดาลมักมีปริมาณเหล็กอยู่ค่อนข้างมาก ทำให้ไม่เหมาะสำหรับใช้งาน มักพบในรูปของเฟอร์รัสซึ่งไม่มีสีและละลายน้ำ น้ำบาดาลที่มีเหล็กเฟอรัสจะมีสภาพใสเมื่อสูบขึ้นมา แต่เมื่อนำมาทิ้งไว้ในบรรยากาศสักครู่ก็จะเกิดความขุ่นและเกิดตะกอนสีสนิมของเหล็กออกไซด์ นอกจากนี้แบคทีเรียในน้ำบางชนิดสามารถใช้เหล็กในน้ำเป็นแหล่งพลังงานแล้วทำให้เกิดการกัดกร่อนบนเหล็กได้

เหล็กในรูปเฟอร์รัสอิออน สามารถจับตัวในแคทอิออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกด้วยการฟื้นฟูสภาพด้วยเกลือได้และทำให้เกิดอุดตันในระบบรีเวอร์สออสโมซิสได้ รวมทั้งทำให้เกิดความสิ้นเปลืองสารเคมีในระบบน้ำหล่อเย็น สามารถกำจัดได้โดยการออกซิไดซ์ให้เปลี่ยนจากสารละลายเป็นอนุภาคแล้วใช้การกรองหรือตกตะกอนแยกออก หรือใช้การกรองผ่านแมงกานีสกรีนแซนด์

**น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) (หน่วยวัด-มิลลิกรัมต่อลิตร)**

น้ำมันเป็นสารเจือปนในน้ำที่ไม่ได้เกิดขึ้นทั่วไปตามธรรมชาติมักเกิดจากการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำนั้น ซึ่งพบได้ในสภาพต่างๆ ดังนี้

- Free Oil คือ เม็ดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน
- Dispersed Oil คือ เม็ดน้ำมันที่อยู่ในน้ำมีขนาดระหว่าง 50 ถึง 150 ไมครอน
- Emulsion น้ำมันที่ผสมกับน้ำไม่แยกตัวเป็นชั้น มีขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน
- Soluble Oil มีขนาดเล็กมากจนดูเสมือนว่าละลายอยู่น้ำเป็นเนื้อเดียวกัน

การกำจัดน้ำมันและไขมัน สามารถใช้อุปกรณ์ดักไขมัน (Grease Trap) ใช้การเติมสารเคมีในการแยกน้ำมัน หรือทำให้น้ำมันลอยโดยใช้ฟองอากาศ (Dissolved Air Flotation, Induced Air Flotation)

### ก๊าซออกซิเจน (Oxygen) (หน่วยวัด- ppm as $O_2$)

ปกติก๊าซออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำที่ ความดัน 1 บรรยากาศแสดงได้ดังตารางที่ 1.2 ถ้าอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นก๊าซออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลง ซึ่งคุณสมบัตินี้จะนำมาใช้ในการไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำ ในน้ำบาดาลจะมีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่น้อยกว่าน้ำผิวดิน ก๊าซออกซิเจนในน้ำจะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กแบบ Pittiing ในสภาวะอุณหภูมิสูง เช่นระบบหม้อไอน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนการไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำ ก่อนนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปนิยมใช้สารเคมีจำพวกสารกำจัดออกซิเจน เช่น ซัลไฟต์ หรือไฮดราซีน ร่วมกับการกำจัดโดยอุปกรณ์ Deaerator

### ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) (หน่วยวัด-ppm as $CO_2$)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอยู่ในอากาศ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดเป็นกรดอ่อนคือกรดคาร์บอนิก กรดพวกนี้จะละลายคาร์บอเนตในชั้นหิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีส่วนในการเกิดคาร์บอเนตไบคาร์บอเนตของแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ซึ่งก็คือสภาพด่างทั้งหมดของน้ำ สำหรับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถใช้อุปกรณ์ Deaerator ในระบบหม้อไอน้ำ และ Degassifier ในระบบ Demineralization

*ตารางที่ 1.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ*

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|
| 20 | 8.84 |
| 25 | 8.11 |
| 30 | 7.53 |
| 35 | 6.92 |

## 1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำ

### พีเอช (pH)

พีเอชเป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยการวัดค่าความเป็นกรด ด่างในน้ำ จะไม่มีหน่วยและมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำที่เป็นกลางจะมีพีเอชเท่ากับ 7 ถ้าน้ำมีพีเอชน้อยกว่า 7 แสดงว่าน้ำเป็นกรด ถ้าน้ำมีพีเอชมากกว่า 7 แสดงว่าน้ำเป็นด่าง ค่าพีเอชสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าพีเอชจะลดลง

พีเอชมีความสำคัญในระบบน้ำเนื่องจากปฏิกิริยาทุกชนิดเกิดขึ้นได้ภายในช่วงพีเอชที่เหมาะสมช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมจะต้องมีการปรับพีเอชของระบบให้ถูกต้อง

### สภาพด่าง (Alkalinity)

สภาพด่าง (Alkalinity) บอกถึงความสามารถของน้ำที่สามารถสะเทินกรดได้ ยกตัวอย่างเช่น น้ำจากสองแหล่งที่มีพีเอชเท่ากัน แต่มีสภาพด่างแตกต่างกันจะมีความสามารถในการสะเทินกรดไม่เท่ากัน นั่นคือเมื่อเติมกรดลงไปในน้ำแล้ว พีเอชของน้ำที่มีค่าสภาพด่างสูงจะลดลงน้อยกว่าพีเอชของน้ำที่มีค่าสภาพด่างต่ำ โดยสภาพด่างทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ป้องกันการลดลงของพีเอชอันเนื่องจากการเติมกรด สภาพด่างของน้ำประกอบด้วยอิออนต่างๆ เช่น คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ สามารถกำจัดโดยใช้อุปกรณ์ Dealkalizer/Degassifier หรือเติมสารกรดเพื่อปรับพีเอชลง

สภาพด่างที่นิยมวัดกันมีอยู่ 2 แบบ คือ ค่า Phenolphthalein Alkalinity (P-Alkalinity) ซึ่งเป็นสภาพด่างที่วัดโดยการสะเทินกรดจนพีเอชลดลงถึง 8.3 ซึ่งเป็นระดับที่ด่างแก่ถูกใช้หมดอย่างสมบูรณ์ และค่าสภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) หรือบางครั้งเรียกว่า ค่า Methyl Orange Alkalinity (M-Alkalinity) ซึ่งเป็นสภาพด่างที่วัดโดยการสะเทินกรดจนพีเอชลดลงเหลือประมาณ 4.5 ซึ่งเป็นจุดที่ด่างทั้งหมดในน้ำถูกใช้จนสมบูรณ์ สภาพด่างนิยมวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ในรูป $CaCO_3$ (ppm as $CaCO_3$)

**ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) (หน่วยวัด-μS/cm หรือ micromho)**

ความนำไฟฟ้าจำเพาะเป็นเครื่องชี้บอกถึงปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะของแข็งละลายน้ำ ปกติน้ำบริสุทธิ์จะมีความนำไฟฟ้าต่ำ โดยทั่วไปน้ำที่มีสารละลายยิ่งสูงยิ่งมีค่าการนำไฟฟ้าสูง หน่วยวัดของการนำไฟฟ้าคือไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (μS/cm)

**อุณหภูมิ (Temperature) (หน่วยวัด - $^{o}$C/ $^{o}$F/ $^{o}$K)**

อุณหภูมิของน้ำมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในหลายๆ ส่วน เช่น ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้ลดลง หรือเป็นดัชนีชี้วัดของระบบต่างๆ ได้ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็น การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำจึงมีความสำคัญในระบบการปรับสภาพน้ำอย่างยิ่ง นิยมวัดเป็น องศาเซลเซียส (Celsius) องศาฟาเรนไฮท์ (Fahrenheit) หรือองศาเคลวิน (Kelvin)

*ตารางที่ 1.3 แสดงผลกระทบจากสิ่งเจือปนในน้ำ*

| สิ่งเจอปน | ผลกระทบ | การแก้ไข |
|---|---|---|
| สารแขวนลอย/ความขุ่น | ● ทำให้เกิดการอุดตันในอุปกรณ์ต่างๆ เช่นไส้กรอง เมมเบรน หรือสะสมในถังหรือท่อต่างๆ | ● การตกตะกอน<br>● การกรองด้วยทราย แอนทราไซท์ และเมมเบรน |
| ความกระด้าง | ● ทำให้เกิดตะกรันในหม้อไอน้ำ ท่อต่างๆ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | ● การแลกเปลี่ยนประจุกับเรซิน |
| ซิลิกา | ● ทำให้เกิดตะกรันในหม้อไอน้ำ และในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในระบบน้ำหล่อเย็น<br>● ไอระเหยของซิลิกาทำให้เกิดตะกรันแข็งจับบนใบพัดของกังหันไอน้ำ | ● การแลกเปลี่ยนประจุกับเรซิน<br>● การกรองด้วยเมมเบรน |
| น้ำมันและไขมัน | ● สามารถเคลือบบนอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง<br>● ทำให้เกิดการอุดตันบนอุปกรณ์ต่างๆ<br>● ทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ เช่น เรซิน เมมเบรน ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการตกตะกอนมากขึ้น | ● ใช้อุปกรณ์ Grease Trap<br>● เติมสารเคมี Demulsifier หรือ Coagulant<br>● ใช้อุปกรณ์ DAF |

*ตารางที่ 1.3 แสดงผลกระทบจากสิ่งเจือปนในน้ำ (ต่อ)*

| สิ่งเจือปน | ผลกระทบ | การแก้ไข |
|---|---|---|
| ออกซิเจน | ● ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบ Pitting ในหม้อไอน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และท่อต่างๆ | ● เติมสารเคมีกำจัดออกซิเจน เช่น ซัลไฟต์ หรือไฮดราซีน<br>● ใช้อุปกรณ์ Deaerator เพิ่มอุณหภูมิเพื่อไล่ออกซิเจนออกจากน้ำ |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | ● ทำให้เกิดการกัดกร่อนของท่อและอุปกรณ์โลหะต่างๆ ในระบบหม้อไอน้ำ เช่น แอมโมเนีย หรือเอมีน | ● ใช้อุปกรณ์ Deaerator<br>● เติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอช |
| คลอไรด์ | ● ช่วยเพิ่มอัตราการกัดกร่อนบนเหล็ก<br>● ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบ Stress Corrosion Cracking กับเหล็กกล้าไร้สนิม | ● การแลกเปลี่ยนประจุกับเรซิน<br>● การกรองด้วยเมมเบรน |
| คลอรีนอิสระ | ● ช่วยเพิ่มอัตราการกัดกร่อนบนเหล็กหรือโลหะผสม<br>● สามารถออกซิไดซ์สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำบางกลุ่ม<br>● ทำให้เรซิน เมมเบรนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น | ● ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์<br>● เติมสารเคมีกำจัดคลอรีน เช่น โซเดียมไบซัลไฟต์<br>● ตั้งทิ้งไว้ให้คลอรีนสลายตัว |
| เหล็ก | ● ทำให้เกิดตะกรันในอุปกรณ์ และท่อต่างๆ โดยอาจในรูปสนิมเหล็กหรือประกอบของเหล็ก | ● การออกซิเดชั่น<br>● การกรองด้วย ทรายหรือแมงกานีสกรีนแซนด์<br>● เติมสารเคมี เช่น โพลีฟอสเฟต |
| สภาพด่าง | ● ทำให้เกิดฟองการพาน้ำและสารไปกับไอน้ำ<br>● ทำให้เกิดโลหะเปราะเนื่องจากน้ำเป็นด่าง (Embrittlement)<br>● สามารถสลายตัวในระบบหม้อไอน้ำเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กัดกร่อนโลหะ | ● ทำให้ pH ของน้ำเพิ่มขึ้น<br>● ใช้อุปกรณ์ Dealkalizer /Degassifier<br>● เติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอช |

## 1.4 หน่วยการวัดที่สำคัญในระบบน้ำในอุตสาหกรรม

### หน่วยการวิเคราะห์น้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมีความจำเป็นสำหรับการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำได้อย่างถูกต้องเพื่อจะนำผลไปใช้งานต่อไป ในการวิเคราะห์น้ำนิยมใช้หน่วยเป็นน้ำหนักของสารหรืออนุมูลในรูปมิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำ ซึ่งเขียนย่อเป็น mg/l แต่ในบางครั้งก็ใช้เป็นหน่วยต่อล้านหน่วย (parts per million) เขียนย่อเป็น ppm (พีพีเอ็ม) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อน้ำหนัก เพราะน้ำ 1 ลิตรหนัก 1,000,000 มิลลิกรัม ฉะนั้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรก็คือ 1 มิลลิกรัมต่อ 1,000,000 มิลลิกรัม ซึ่งก็คือ 1 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนักเช่นกัน มิลลิกรัมต่อลิตร จะเท่ากับพีพีเอ็ม ก็เมื่อของเหลวนั้นมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.0 และมีสารอื่นละลายอยู่น้อย

### หน่วยการวัดปริมาณน้ำ

- **จำนวน/ปริมาตร**

ในระบบน้ำอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้หน่วยวัดจำนวนหรือปริมาตรน้ำเป็น มิลลิลิตร ลิตร หรือลูกบาศก์เมตร

- **อัตราการไหล**

อัตราการไหลของน้ำหมายถึงปริมาตรของน้ำที่ลดลงในช่วงที่จับเวลา มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา เช่นลิตรต่อนาที ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

การวัดอัตราการไหลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดโดยใช้มาตรวัดอัตราการไหลสะสม วิธีคำนวณจากความเร็วของการไหลในรางเปิด หรือวิธีจับเวลาและวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลเข้าถัง

- **ความเร็ว**

ความเร็วของน้ำในเส้นท่อขึ้นอยู่กับขนาดของท่อ และอัตราการไหลของน้ำที่ไหลในเส้นท่อ ถ้าอัตราการไหลคงที่ เมื่อขนาดท่อใหญ่ขึ้น ทำให้ความเร็วลดลง ถ้าขนาดท่อเท่าเดิม เมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น ทำให้

ความเร็วมากขึ้น และความเร็วของน้ำในเส้นท่อยิ่งมาก แรงดันสูญเสียยิ่งมีมาก หน่วยวัดความเร็วของน้ำในท่อที่นิยมใช้ คือ เมตรต่อวินาที (m/s)

ในการวัดความเร็วของน้ำในท่อในกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัด สามารถใช้การวัดขนาดท่อ และอัตราการไหล และนำมาคำนวณโดยสมการดังนี้

$$\text{ความเร็ว (เมตร/วินาที)} = \frac{\text{อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดท่อ (ตร.ม.) x 3600}}$$

● **ภาระบรรทุก** (Loading)

ค่าความเข้นข้นของสารเมื่อนำมาคูณด้วยปริมาณน้ำทั้งหมดจะได้ออกมาเป็นปริมาณทั้งหมดของสาร โดยอาจมีหน่วยเป็นน้ำหนัก หรือน้ำหนัก/เวลา ขึ้นอยู่กับหน่วยของปริมาณน้ำเสีย

$$\text{ภาระบรรทุก(กิโลกรัม/วัน)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) X ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วัน)}}{1{,}000}$$

## 1.5 วิธีการควบคุมปริมาณการเติมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในระบบน้ำอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณที่น้อยมาก สัดส่วนการเติมสารเคมีมักใช้หน่วยอ้างอิงเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หรือพีพีเอ็ม ในหลายกรณีก็ทำให้เกิดความยุ่งยากแก่ผู้ปฏิบัติงานในการคำนวณปริมาณการเติมสารเคมีหรือการผสมสารเคมีเพื่อเติมเข้าสู่ระบบ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการชั่งหรือตวงสารเคมี จึงแสดงการคำนวณปริมาณสารเคมีให้เป็นหน่วยกิโลกรัมดังสูตร

ในกรณีการเติมสารเคมีเป็นครั้ง

$$\text{ปริมาณสารเคมีที่ต้องการ} = \frac{\text{สัดส่วนการเติม (มิลลิกรัมต่อลิตร) x ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)}}{1{,}000}$$

ในกรณีการเติมสารเคมีแบบต่อเนื่อง

$$\text{ปริมาณสารเคมีที่ต้องการ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} = \frac{\text{สัดส่วนการเติม (มิลลิกรัมต่อลิตร) x อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม.ต่อชั่วโมง)}}{1{,}000}$$