บทที่ 1

บทนำ

1.1 เหล็กคืออะไร, ประวัติ, ที่เกิด

เหล็ก คือ ธาตุโลหะธาตุหนึ่ง มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า "Iron" มีชื่อเรียกในภาษาละตินว่า "Ferrum" มีอักษรย่อ "Fe" เป็นสัญลักษณ์ของธาตุเหล็ก ประกอบด้วยอะตอมที่มีค่าอะตอมมิคนัมเบอร์ =26, มีวาเลนซี = 2,3 และมีน้ำหนักอะตอม =55.85

เหล็กเป็นธาตุที่รู้จักกันมาแต่สมัยโบราณ มีหลักฐานยืนยันว่า ชาวอียิปต์โบราณสมัย 3,400 ปีก่อนคริสตศักราช ได้รู้จักธาตุนี้แล้ว และนำมาใช้ทำลูกปัดเป็นเครื่องประดับกาย ต่อมาราวสมัย 1,500 ปีก่อนคริสตศักราช ชาวอียิปต์จึงนำเหล็กมาใช้เป็นประโยชน์ในทางอื่น ๆ นับจากนั้นมา การใช้เหล็กมาทำประโยชน์ต่าง ๆ ก็ได้แพร่หลายโดยทั่วไป ส่วนเหล็กในน้ำ เป็นที่เริ่มรู้จักกันมาตั้งแต่ใกล้ปี ค.ศ. 1850 นับจากนั้นมาการกำจัดเหล็กได้รับว่ามีความสำคัญขึ้นมา (26)

เหล็กมีปรากฏในธรรมชาติในสภาวะอิสระเป็นปริมาณน้อย มีปรากฏพบอยู่ในภาวะอิสระในลูกอุกาบาต (meteorite) ซึ่งปนอยู่กับโลหะนิเกิล เหล็กที่มีปรากฏอยู่ในโลก ส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบ เช่น ในแร่แมกเนไตท์ (Fe_3O_4) แร่เฮมาไตท์ สีแดง (Fe_2O_3) แร่ลิมอนไนท์ ($2Fe_2O_3.3H_2O$) แร่สิเดอร์ไรท์ ($FeCO_3$) แร่พายไรท์ (FeS_2) เป็นต้น สินแร่เหล็ก (Iron ore) เหล่านี้มีอยู่อุดมสมบูรณ์ และกระจายกันอยู่ตามที่ต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น อยู่ตามชั้นหินและชั้นดินต่าง ๆ เป็นต้น

1.2 แหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ

เหล็กที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติในชั้นหินและชั้นดิน มักเป็นแหล่งกำเนิดของ

เหล็กในน้ำในชั้นหิน พบว่า มีแร่เหล็ก ประมาณ 5 % ของแร่ทั้งหมด[29] เหล็กเกือบทั้งหมดที่พบในชั้นหินและชั้นดิน ส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์, เหล็กซัลไฟด์ และเหล็กคาร์บอเนต[34]

เหล็กออกไซด์ มักเกิดจากแร่ 3 ชนิด คือ

(ก) แร่แมกเนไทท์ (Fe_3O_4)

(ข) แร่เฮมาไทท์ สีแดง (Fe_2O_3)

(ค) แร่ลิมอนไนท์ หรือ แร่เฮมาไทท์ สีน้ำตาล ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)

เหล็กซัลไฟด์ เกิดจากแร่ไพไรท์ (FeS_2) ส่วนเหล็กคาร์บอเนต เกิดจากแร่สิเดอร์ไรท์ ($FeCO_3$)

ในน้ำบาดาล สินแร่เหล็กดังกล่าว สามารถละลายได้และอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส Ghosh[16] (1965) ได้ให้ความเห็นว่า การที่สินแร่เหล็กดังกล่าว สามารถละลายในน้ำเป็นเหล็กเฟอร์รัสได้ มักมีสาเหตุมาจาก

(1) ในดิน มีแบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวะขึ้น ผลที่ได้จากการนี้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะให้กรดคาร์บอนิคซึ่งเป็นกรดอ่อน ดังนั้นเมื่อน้ำไหลผ่านชั้นหิน หรือ ชั้นดินที่มีสินแร่เหล็กดังกล่าว ก็จะละลายสินแร่เหล็กนั้น เหล็กที่ถูกละลายจะอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส ดังสมการ

$$FeCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Fe(HCO_3)_2$$

(2) ภายใต้ภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นดินซึ่งมีสารอินทรีย์สามารถเปลี่ยนเหล็กออกไซด์, Fe_2O_3 (ไม่ละลายน้ำ) ในชั้นดิน เป็นเหล็กเฟอร์รัสในชั้นแรก คือ

$$2Fe_2O_3 + \text{Organic Matter} \longrightarrow 4FeO + CO_2$$

ต่อมาเหล็กเฟอร์รัสนั้น จะถูกละลายน้ำได้ ดังสมการ

$$FeO + 2H_2O + 2CO_2 \longrightarrow Fe(HCO_3)_2 + H_2O$$

สำหรับน้ำผิวดิน มักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กอินทรีย์ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก การระบายน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไหลลงไปในน้ำ หรือเมื่อน้ำฝนชะละลายสารอินทรีย์ในผิวดินแล้วไหลลงไปในน้ำ เมื่อรวมกับเหล็กในน้ำ ก็จะกลายเป็นเหล็กอินทรีย์

1.3 ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ

Walker (35) ได้แบ่งชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ เป็น 2 ชนิด คือ

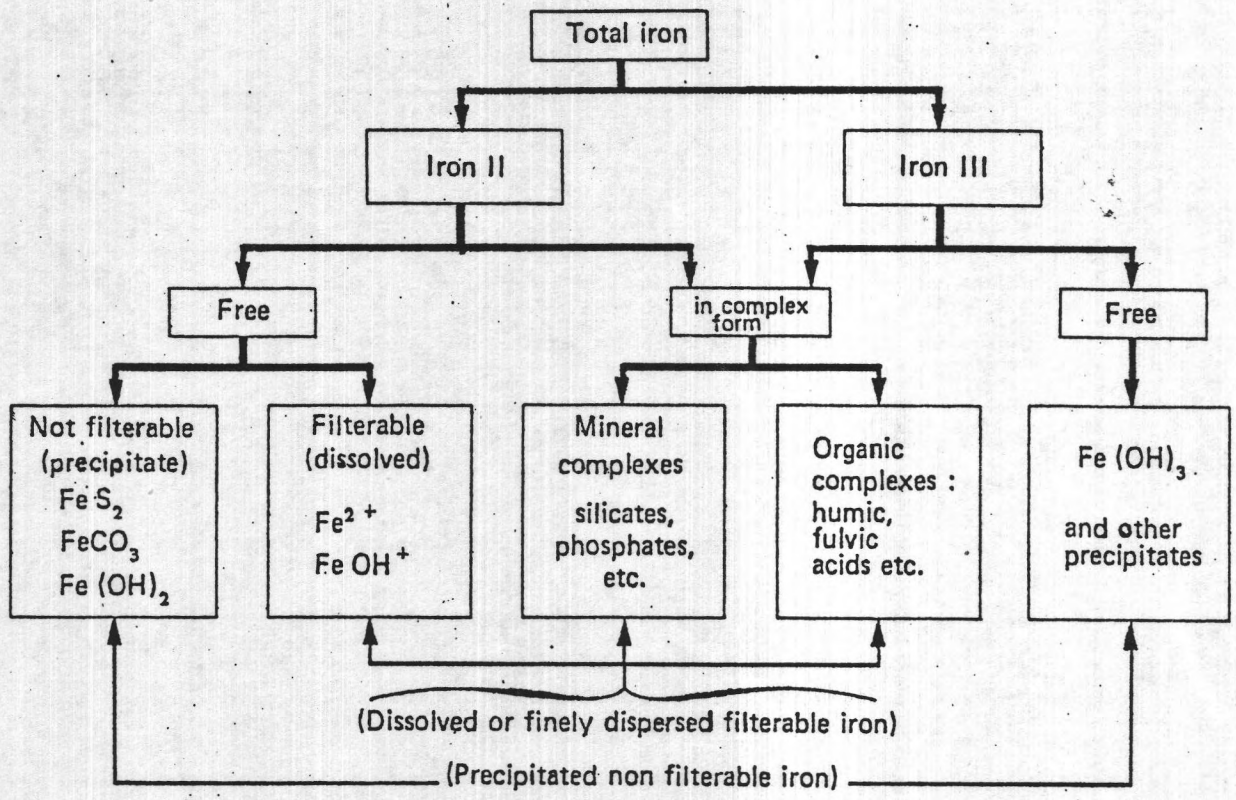
(1) เหล็กอนินทรีย์ เป็นเหล็กที่พบอยู่ในน้ำบาดาลเป็นส่วนใหญ่ เหล็กอนินทรีย์ในน้ำบาดาล มักจะพบอยู่ในรูปสาร ประกอบของเหล็กคาร์บอเนตมากที่สุด เช่น เฟอร์รัส-ไบคาร์บอเนต หรือ $Fe(HCO_3)_2$ รองลงไปอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กซัลเฟต เช่น $FeSO_4$ และอาจจะพบอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ เช่น $FeCl_2$

(2) เหล็กอินทรีย์ เป็นเหล็กที่พบอยู่ในน้ำผิวดินเป็นส่วนใหญ่ เหล็กอินทรีย์ในน้ำผิวดิน มักจะพบอยู่ในรูปสารประกอบของอินทรีย์เชิงซ้อน (Organic complex compounds) เช่น humic, fulvic acid หรือ tannic acid และอื่น ๆ เป็นต้น

1.4 รูปของเหล็กในน้ำ

รูปต่าง ๆ ของเหล็กในน้ำ สามารถที่จะสรุปได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1

จากรูปที่ 1.1 พออธิบายได้ว่า เหล็กทั้งหมดในน้ำ หรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูป คือ เหล็กในรูป Iron II หรือ Fe^{+2} กับเหล็กในรูป Iron III หรือ Fe^{+3} เหล็กในรูป Iron II หรือ Fe^{+2} อาจจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจจะประกอบด้วยธาตุอื่นธาตุเดียว เช่น FeS_2 (ที่ไม่ละลายน้ำ) และ $Fe(HCO_3)_2$ (ที่ละลายน้ำได้) เป็นต้น หรืออาจธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปของเชิงซ้อน (complex form) เช่น mineral complexes และ/หรือ organic



รูปที่ 1.1 แสดงรูปต่าง ๆ ของเหล็กในน้ำ

complexes เป็นต้น ส่วนเหล็กในรูป Iron III หรือ Fe^{+3} อาจจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจจะประกอบด้วยธาตุอื่นธาตุเดียว เช่น $Fe(OH)_3$ (ไม่ละลายน้ำ) เป็นต้น หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปของเชิงซ้อน (complex form) เช่น mineral complexes และ/หรือ organic complexes เป็นต้น

1.5 ปัญหาที่พบในน้ำประปาที่เป็นน้ำบาดาล

ปัญหาที่พบในน้ำประปาที่เป็นน้ำบาดาล สามารถพอที่จะสรุปได้ดังนี้ คือ

(1) ในน้ำประปาที่มี pH ต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะมีอำนาจในการกัดกร่อนท่อเหล็กของท่อน้ำประปา

(2) ในน้ำประปาที่มีเหล็กมาก จะทำให้เกิดแบคทีเรียเหล็ก แบคทีเรียเหล็กมักก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตามท่อในระบบจ่ายน้ำ (31) นอกจากนั้น แบคทีเรียเหล็กที่เกาะจับตามใบพัดของเครื่องสูบน้ำประเภท เทอร์ไบน์ หรือ ซับเมอร์ซิเบิล จะทำให้ใบพัดหมุนไม่สะดวก (1)

(3) ในน้ำประปาที่มีเหล็กมาก ถ้านำไปใช้ในการประกอบกับอาหาร เช่น นำไปหุงข้าว ก็จะทำให้ข้าวบูดเร็ว ถ้านำไปใช้ในการซักล้าง จะทำให้เกิดคราบเหล็กเกาะตามภาชนะอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน ตามเครื่องสุขภัณฑ์ในห้องน้ำ และตามผ้าที่ซักทำให้ผ้ามีสีเหลือง หรือสีแดง (1) ถ้านำไปใช้ในการบริโภค จะเกิดความไม่น่าดื่ม เพราะน้ำจะมีความขุ่น และมีสี ดังนั้น องค์การอนามัยโลก จึงกำหนดให้น้ำดื่ม ไม่ควรมีเหล็กเกิน 0.3 ก./ม.^{3} และยอมให้มีเหล็กได้สูงสุด ไม่เกิน 1.0 ก./ม.^{3} (3)

1.6 ปัญหาที่พบของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำจากน้ำบาดาล

ปัญหาที่พบของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำจากน้ำบาดาลในกิจการที่เกี่ยวกับขบวนการผลิต สามารถพอที่จะสรุปได้ดังนี้ คือ

(1) น้ำที่มีเหล็กมาก มีโอกาสทำให้หม้อน้ำของโรงงานเกิดตระกันขึ้นภายในหม้อน้ำได้ (7)

(2) ในโรงงานทอผ้า และฟอกหนัง เหล็กในน้ำมากกว่า 0.05 ก./ม.^{3}

จะทำให้เนื้อผ้า และหนัง มีจุด หรือเปื้อนสนิมเหล็กได้

(3) ในโรงงานผลิตกระดาษ เหล็กในน้ำมากกว่า 0.1 ก./ม.^{3} จะทำให้กระดาษที่ผลิตแล้ว มีสีเหลือง หรืออาจเป็นจุดสีเหลือง หรือสีสนิมเหล็ก (17)

(4) โรงงานผลิตขนมปัง, โรงงานพิมพ์และย้อมสี, โรงงานเบียร์ โรงงานน้ำตาล และโรงงานเครื่องแก้ว ในน้ำจะต้องไม่มีเหล็กเพื่อป้องกันการทำให้เกิดสีต่าง ๆ หรือสีเปลี่ยนไป (discoloration)

(5) ในโรงงานอาหารกระป๋อง เหล็กในน้ำอาจทำให้รสของอาหารเปลี่ยนไป ดังนั้น ในน้ำจึงต้องไม่มีเหล็ก (Iron free water)

1.7 <u>การกำจัดเหล็กในน้ำ</u>

การกำจัดเหล็กในน้ำ สามารถกระทำได้หลายวิธี พอที่จะสรุปได้ดังนี้ คือ

(1) วิธีออกซิเดชั่น และการกรอง

(2) วิธีออกซิเดชั่นตามด้วยการตกตะกอน และการกรอง

(3) วิธีแลกเปลี่ยนอิออน

วิธีออกซิเดชั่น อาจแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี คือ

(ก) การเติมอากาศ

(ข) การเติมอากาศตามด้วยการเติมปูนขาว

(ค) การเติมอากาศตามด้วยการเติมสารส้ม และปูนขาว

(ง) การใช้คลอรีน

(จ) การใช้ด่างทับทิม

การเติมอากาศ อาจแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี คือ

(ก) การใช้เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น

(ข) การเป่าอากาศลงไปในน้ำ

(ค) การฉีดน้ำเป็นฝอยผ่านเข้าไปในอากาศ

(ง) การอัดอากาศลงไปในถังน้ำอัดอากาศ

(จ) การให้น้ำไหลผ่านวัสดุที่ได้ออกแบบให้น้ำสัมผัสกับอากาศ

การตกตะกอน อาจแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี คือ

(ก) การใช้ถังตกตะกอน

(ข) การใช้ถังตกตะกอนที่มีชั้นตะกอน (sludge blanket)

(ค) การใช้ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น

การกรอง อาจแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี คือ

(ก) การกรองแบบไหลลง (Downflow Filtration)

(ข) การกรองแบบไหลขึ้น (Upflow Filtration)

(ค) การกรองแบบไหลสองทาง (Biflow Filtration)

ส่วนวิธีแลกเปลี่ยนอิออน เป็นการแลกเปลี่ยนอิออนระหว่างอิออนเหล็กกับอิออนของโซเดียมในสารซีโอไลท์ (Zeolite) หรือ $2SiO_2.Al_2O_3.Na_2O$ โดยการผ่านน้ำดิบที่มีเหล็กลงไปยังสารซีโอไลท์ หรือ $2SiO_2.Al_2O_3.Na_2O$ อิออนของเหล็กจะเปลี่ยนกับอิออนของโซเดียม

เหล็กในน้ำที่พบในประเทศไทย พบว่ามีอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ คือ รวมทั้งในกรุงเทพ และต่างจังหวัด แต่สำหรับในงานประปาชนบทของการประปาส่วนภูมิภาค ประปาจากน้ำบาดาล มีจำนวน 267 แห่ง[2] ใน 267 แห่งนี้ เป็นประปาที่มีระบบกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล จำนวน 62 แห่ง และในจำนวน 62 แห่งนี้ เป็นประปาที่มีการกำจัดเหล็กด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้นตามด้วยระบบทรายกรองเร็ว จำนวน 55 แห่ง หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของประปาที่ใช้แหล่งน้ำบาดาลทั้งหมด ต่อมาได้พบว่า โรงประปาที่มีการกำจัดเหล็กด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้นตามด้วยระบบทรายกรองเร็วดังกล่าวมานี้ ไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีพอ เพราะปรากฏว่า น้ำที่กรองแล้วมีสีเหลืองอ่อน ไม่ชวนดื่ม และไม่เหมาะสมกับการใช้ครัวเรือน Prakit[27] (1979) จึงได้ทำการศึกษาวิจัยการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล และได้พบว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการรวมวิธีออกซิเดชัน และการกรองด้วยระบบทรายกรองเร็ว (แบบไหลลง) เข้าไว้เป็นขั้นตอนเดียวกัน จะให้ผลการกำจัดเหล็กดี แต่ด้วยวิธีการกำจัดเหล็กของ Prakit ดังกล่าวโดยการกรองแบบไหลขึ้น น่าจะให้ผลการกำจัดเหล็กได้ดีด้วย เนื่องจากว่า การกรองแบบไหลขึ้น น้ำจะถูกควบคุมให้

ไหลผ่านจากชั้นกรวดขึ้นไปยังชั้นทราย ทำให้ชั้นต่าง ๆ ของตัวกรองตั้งแต่ชั้นกรวดจนชั้นทรายตอนบน สามารถทำงานของมันได้เต็มที่ และปัญหาการอุดตันของน้ำที่จะผ่านจากชั้นกรวดขึ้นไปยังชั้นทรายตอนบน มีน้อยกว่าน้ำที่จะผ่านจากชั้นทรายตอนบนลงไปยังชั้นกรวด ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยเครื่องกรองแบบไหลขึ้น

1.8 <u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

(1) ศึกษาความเหมาะสมในการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยเครื่องกรองทรายแบบไหลขึ้น

(2) ศึกษาตัวแปรในการทำงานของเครื่องกรองแบบไหลขึ้นและเลือกอัตราการกรองที่เหมาะสม

(3) ศึกษาผลของตะกอนเหล็กที่เคลือบเม็ดทรายที่มีต่อการกำจัดเหล็กและการทำงานของเครื่องกรองแบบไหลขึ้น