บทที่ 1

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

1.1 กล่าวนำทั่วไป

ในโลกนี้ มีแร่เหล็กและแร่แมงกานีสอยู่ในชั้นหิน, ชั้นดิน, ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืช และมีกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำบาดาลและในน้ำผิวดิน โดยเฉพาะชั้นหินเป็นแหล่งที่มีแร่เหล็กและแมงกานีสมากที่สุด กล่าวคือ มีแร่เหล็กประมาณ 5 เปอร์เซนต์ของแร่ทั้งหมดและมีแร่แมงกานีสประมาณ 0.1 เปอร์เซนต์ ของแร่ทั้งหมด(42) สำหรับเหล็กในน้ำบาดาลที่พบในประเทศไทย พบว่ามีอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ คือ รวมทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด ดังนั้นน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ ทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัดจึงมักมีปัญหาเกี่ยวกับการที่น้ำมีสีเหลือง และการเกิดคราบเหล็กเกาะตามภาชนะและอุปกรณ์ภายในบ้าน แต่ในกรุงเทพฯ สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนี้ได้เพราะว่าแหล่งน้ำบาดาลมีให้เลือกหลายชั้น แต่ละชั้นก็มีปริมาณมากมาย เมื่อมีการเจาะบ่อบาดาลไปพบว่าชั้นน้ำชั้นใดมีปริมาณเหล็กมาก ผู้เจาะก็มักจะหลีกเลี่ยงไม่ใช้น้ำในชั้นนั้น โดยเพิ่มหรือลดการเจาะลงไปยังชั้นน้ำซึ่งไม่ค่อยมีเหล็กแทน สำหรับในต่างจังหวัดส่วนใหญ่หาแหล่งน้ำบาดาลได้ยาก ถ้ามีปริมาณน้ำเพียงพอใช้ โดยไม่มีที่ให้เลือกก็จำเป็นต้องสูบขึ้นมา น้ำบาดาลที่มีเหล็กนั้น เมื่อสูบขึ้นมาใหม่ ๆ จะมีลักษณะใสเหมือนน้ำที่กรองแล้ว แต่ถ้าทิ้งไว้สักครู่หนึ่ง น้ำนั้นจะกลายเป็นสีเหลือง บางทีก็กลายเป็นสีของสนิมเหล็กเห็นได้ชัด การดื่มน้ำที่มีเหล็กนี้เข้าไป ไม่ปรากฏรายงานว่าทำให้เกิดโทษที่ร้ายแรงแก่ร่างกาย แต่ที่เราไม่ชอบกันก็เพราะถ้าน้ำมีเหล็กในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้น้ำมีสีเหลือง หรือสีแดงเป็นที่รังเกียจแก่การอุปโภคและบริโภค(3)

ในงานประปาชนบท ของการประปาส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการก่อสร้างประปาชนบทไปแล้วจำนวน 572 แห่ง เป็นประปาจากน้ำผิวดินจำนวน 305 แห่ง และเป็นประปาจากน้ำบาดาลจำนวน 267 แห่ง ใน 267 แห่งนี้เป็นประปาที่มีระบบกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล

จำนวน 62 แห่ง และใน 62 แห่งนี้ เป็นประปาที่มีการกำจัดเหล็กด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น ตามด้วยระบบทรายกรองเร็วจำนวน 55 แห่ง หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของประปาที่ใช้แหล่งน้ำบาดาลทั้งหมด[5]

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ได้พบว่าโรงประปาที่มีการกำจัดเหล็กด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้นตามด้วยระบบทรายกรองเร็วดังกล่าวมานี้ไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีพอ เพราะปรากฏว่าน้ำที่กรองแล้วมีสีเหลืองอ่อน ไม่ชวนดื่ม และไม่เหมาะสมกับการใช้ในครัวเรือน ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์อย่างหนึ่งที่ต้องการเข้ามาแก้ปัญหาเหล่านี้

1.2 แหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ

เหล็กเกือบทั้งหมดที่เกิดในชั้นดินและชั้นหิน มักอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์, เหล็กซัลไฟด์ส และเหล็กคาร์บอเนตส์ [48]

เหล็กออกไซด์มักเกิดจากแร่ 3 รูปคือ

(ก) แร่เฮมาไตท์ สีแดง (Red Hematite) หรือ Fe_2O_3

(ข) แร่แมกเนไตท์ (Magnetite) หรือ Fe_3O_4

(ค) แร่ลิมอนไนท์ หรือแร่เฮมาไตท์สีน้ำตาล (Brown Hematite) หรือ $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$

เหล็กซัลไฟด์เกิดจากแร่พายไรท์ (Pyrites) หรือ FeS_2 ส่วนเหล็กคาร์บอเนต เกิดจากแร่ซิเดอร์ไรท์ (Siderites) หรือ $FeCO_3$

ในน้ำบาดาลนั้น เหล็กที่เกิดจากแร่ธาตุทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถละลายในน้ำเป็นเหล็กเฟอร์รัส ได้อย่างไรนั้นยังไม่เป็นที่กระจ่างชัด[20] แต่ Ghosh[25] ในปี ค.ศ.1965 ได้ให้ความเห็นว่า การที่เหล็กจากแร่ธาตุทั้งหมดดังกล่าวนี้สามารถละลายในน้ำบาดาลที่เรียกว่าเหล็กอนินทรีย์ มักมีสาเหตุมาจาก

(1) น้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา การดำรงชีพของแบคทีเรียในชั้นดินส่วนบนละลายอยู่ เมื่อไหลผ่านชั้นดินหรือชั้นหินที่มีแร่เหล็กก็จะละลายแร่เหล็กนั้น เหล็กที่ถูกละลายจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัส ดังสมการ

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

(2) ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน แบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นดิน ซึ่งมีสารอินทรีย์ สามารถเปลี่ยนเหล็กเฟอร์ริคในแร่ธาตุ เป็นเหล็กเฟอร์รัสในขั้นแรก คือ

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

ต่อมาเหล็กเฟอร์รัสนั้นจะถูกละลายน้ำได้ดังสมการ

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

สำหรับอ่างน้ำผิวดินหรือบ่อตื้น มักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กอินทรีย์ในน้ำ กรณีของอ่างน้ำผิวดินนั้นเหล็กอินทรีย์ในน้ำจะเกิดจาก เหล็กจากบริเวณท้องน้ำ (ในชั้นโคลนตม ที่ไม่มีออกซิเจน) ได้ปรากฏที่ผิวน้ำพร้อมกับการหมุนเวียนของชั้นน้ำ และเมื่อเหล็กเหล่านี้รวมตัวกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำ ก็จะกลายเป็นเหล็กอินทรีย์ ส่วนกรณีของบ่อตื้นนั้น เหล็กอินทรีย์มักเกิดจากการระบายน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไหลลงไปในบ่อ หรือเมื่อน้ำฝนซึ่งละลายสารอินทรีย์แล้วได้ไหลลงไปในบ่อน้ำที่มีสารอินทรีย์นี้ เมื่อรวมกับเหล็กของน้ำในบ่อก็จะกลายเป็นเหล็กอินทรีย์ เช่นเดียวกับน้ำผิวดิน

1.3 <u>ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ</u>

Walker[50] ได้แบ่งชนิดของเหล็กที่พบในน้ำเป็น 2 ชนิด คือ

(1) เหล็กอนินทรีย์ หมายถึงเหล็กที่พบในน้ำบาดาล น้ำที่มีเหล็กอนินทรีย์นี้เมื่อสูบขึ้นมาใหม่ ๆ จะมีลักษณะใสมาก แต่เมื่อทิ้งให้สัมผัสกับอากาศสักครู่น้ำนั้นจะปรากฏความขุ่นให้เห็น

เหล็กอนินทรีย์ในน้ำบาดาลส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต หรือ $Fe(HCO_3)_2$ รองลงไปอยู่ในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟต หรือ $FeSO_4$ และอาจจะมีอยู่ในรูปของเฟอร์รัสคลอไรด์ หรือ $FeCl_2$

(2) เหล็กอินทรีย์ มักจะอยู่ในน้ำที่มีสีเนื่องจากสารอินทรีย์ เช่นน้ำบ่อตื้น หรือ

น้ำในอ่างเก็บน้ำ เหล็กชนิดนี้ มักอยู่ในรูปที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organics Compound)

Hauer[31] ได้แบ่งชนิดของเหล็กในน้ำไว้ 3 ชนิด คือ

(1) เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่ตกตะกอนได้ทันทีภายหลังการเติมอากาศ

(2) เหล็กในน้ำบาดาล ชนิดที่ไม่ยอมตกตะกอนได้ง่าย ๆ ภายหลังการเติมอากาศ ทั้งนี้เพราะน้ำบาดาลนั้นมีสภาพเป็นกรด

(3) เหล็กในน้ำบาดาล ชนิดที่บางส่วนตกตะกอนได้ แต่บางส่วนไม่ยอมตกตะกอนเลยภายหลังการเติมอากาศ เหล็กในน้ำบาดาลชนิดนี้จะพบมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม Hauer[31] ได้เขียนบทความไว้ว่าเหล็กในน้ำบาดาล ซึ่งเป็นเหล็กอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ $Fe(HCO_3)_2$ และ $FeCO_3$ สารละลายนี้เกิดจากแร่ธาตุในชั้นหินที่เรียกว่าสิเดอร์ไรท์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีสภาพการละลาย (Solubility) ประมาณ 65 มก./ล. (ในที่นี้หมายถึงน้ำ 1 ลิตรสามารถละลายแร่สิเดอร์ไรท์ได้ 65 มิลลิกรัม) ค่าของสภาพการละลายนี้จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีกรดคาร์บอนิคมากขึ้น หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น $Fe(HCO_3)_2$ นี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนจะได้เฟอร์รัสไฮดร็อกไซด์ หรือ $Fe(OH)_2$ ซึ่งมีสภาพการละลายไม่เกิน 7 มก./ล., เฟอร์ริคไฮดร็อกไซด์หรือ $Fe(OH)_3$ ซึ่งไม่ละลายน้ำ และเฟอร์ริคอ็อกไซด์ หรือ Fe_2O_3 ซึ่งไม่ละลายน้ำเช่นกัน Hauer ได้เขียนต่อไปว่า เหล็กในน้ำบาดาลที่พบในรูปของ $FeSO_4$ มักเกิดจากแร่พายไรท์ หรือแร่เฟอร์รัสซัลไฟด์ เนื่องจากแร่พายไรท์มักมีสภาพการละลายไม่เกิน 5 มก./ล. และแร่เฟอร์รัสซัลไฟด์มักมีสภาพการละลายไม่เกิน 6 มก./ล. ขณะที่แร่สิเดอร์ไรท์มีสภาพการละลายประมาณ 65 มก./ล. จึงเป็นเหตุผลที่สามารถกล่าวได้ว่าเหล็กในน้ำบาดาลส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของ $Fe(HCO_3)_2$ หรือ $FeCO_3$ มากกว่า $FeSO_4$

1.4 <u>ปัญหาของเหล็กในน้ำ</u>

แม้ว่าจะไม่มีรายงานว่าเหล็กในน้ำจะให้โทษที่ร้ายแรงต่อร่างกาย แต่เหล็กในน้ำก็ทำให้เกิดปัญหาที่ยุ่งยากหลายอย่าง คือ

(1) ในโรงงานผลิตกระดาษ จะต้องใช้น้ำในการผลิตที่มีเหล็กไม่เกิน 0.1 มก./ล. สำหรับการผลิตกระดาษที่มีเกรดสูง ขณะเดียวกันก็จะต้องมีแมงกานีสไม่เกิน 0.05 มก./ล.[31] เพราะถ้ามีเหล็กในน้ำมากกว่านี้จะทำให้กระดาษที่ผลิตแล้วมีสีเหลือง หรืออาจเป็นจุดสีเหลือง หรือสีสนิมเหล็ก

(2) ในโรงงานทอผ้า จะต้องใช้น้ำในการผลิตที่มีเหล็กไม่เกิน 0.1 มก./ล. และควรจะต้องน้อยกว่า 0.05 มก./ล. การที่จะต้องน้อยกว่า 0.05 มก./ล. เพราะถ้ามีเหล็กในน้ำมากกว่านี้ จะทำให้เนื้อผ้ามีจุดหรือเปื้อนสนิมเหล็กได้ นอกจากนั้นโรงงานฟอกหนังก็ต้องใช้น้ำในการซักฟอกที่มีเหล็กอยู่ด้วยในปริมาณที่เหมือนกับน้ำที่ใช้ในโรงงานทอผ้าเช่นกัน

(3) น้ำที่มีเหล็กมากจะมีสีเหลือง หรือสีแดง และมีกลิ่นสนิมเหล็กซึ่งเป็นที่รังเกียจต่อการใช้น้ำดื่ม ถ้านำไปใช้ในการซักล้าง เหล็กก็จะไปจับตามภาชนะ หรือจับผ้าที่ซักทำให้มีสีเหลืองหรือสีแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมักจะไปตามเครื่องสุขภัณฑ์ ในห้องน้ำมีคราบสีเหลือง หรือสีแดงทำให้ไม่น่าดู[3] ถ้านำไปหุงข้าวก็จะทำให้ข้าวบูดเร็ว นอกจากนี้ได้มีการทดลองในสหรัฐอเมริกาโดยการนำเอาน้ำที่มีเหล็กเกิน 10 มก./ล. ไปล้างไข่ปรากฏว่าจะทำให้ไข่เน่าเร็ว[1] ด้วยเหตุที่น้ำที่มีเหล็กมากทำให้เกิดปัญหาในการอุปโภค และบริโภคในครัวเรือนดังกล่าวมานี้ ดังนั้นองค์การอนามัยโลกจึงกำหนดให้น้ำดื่มไม่ควรมีเหล็กเกิน 0.3 มก./ล. และยอมให้มีเหล็กได้สูงสุดไม่เกิน 1.00 มก./ล.[15]

(4) น้ำที่มีเหล็กมากมักจะเป็นต้นเหตุทำให้เกิดแบคทีเรียเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดการอุดตันของท่อในระบบจ่ายน้ำ[44] แบคทีเรียเหล็กนี้ มีลักษณะเป็นวุ้นเละ ๆ สีแดงเข้ม เมื่อมีมากเข้าก็จะไปอุดตามท่อกรอง (Screen) ของบ่อบาดาลทำให้น้ำไหลเข้าบ่อได้ยาก นอกจากนี้มันมักจะไปจับใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ประเภทเทอร์ไบน์หรือซับเมอร์สซิเบิล ทำให้ใบพัดของเครื่องสูบน้ำหมุนไม่สะดวก[3] โดยเฉพาะเครื่องสูบน้ำของบ่อตื้น[15] Conelly[17] ได้เขียนในบทความว่าแบคทีเรียชนิดนี้ชอบเจริญในที่ที่มีอากาศน้อย ทั้งที่มีแสงสว่างหรือไม่มีแสงสว่าง ดังนั้นมันจึงมักจะเจริญเติบโตในท่อ, ในประตูน้ำของท่อ, ในถังอัดอากาศ หรือในถังพักน้ำเหล่านี้ เป็นต้น แบคทีเรียเหล็กนี้ชนิด

ที่พบบ่อย ๆ คือ ครีโนทริกส์ (Crenotrix) สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแบคทีเรียเหล็กได้แก่ คอปเปอร์ซัลเฟต[15] โซเดียมไฮโปคลอไรท์ [3]

(5) น้ำที่มีเหล็กมาก จะมีความขุ่นมากตามไปด้วย เนื่องจากน้ำนั้นมีเหล็กบางส่วนเป็นคอลลอยด์ของเหล็กเฟอร์ริค[44] ทำให้น้ำไม่เหมาะในการอุปโภคและบริโภค

(6) น้ำที่มีเหล็กมาก มีแนวโน้มที่จะทำให้หม้อน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมเกิดตระกัน[11] ขึ้นภายในได้

1.5 <u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

(1) เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศที่เหมาะสม และมีผลทำให้การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล ในระบบทรายกรองเร็ว หรือถังตกตะกอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

(2) ศึกษาการทำงานของระบบทรายกรองเร็วในการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล เมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ และอัตราการกรองมีปริมาณต่าง ๆ

(3) เพื่อหาอัตราการกรองของระบบทรายกรองเร็วที่เหมาะสม และมีผลทำให้การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลในระบบทรายกรองเร็ว เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

(4) นำผลที่ได้จากการวิจัย ไปแก้ปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลในงานประปาชนบท