

ทฤษฎีเกี่ยวกับเหล็กในน้ำ การกรอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเหล็กในน้ำ

2.1.1 แหล่งกำเนิด

เหล็กที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติในชั้นหินและชั้นดินมักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ ในชั้นหินพบว่ามีแร่เหล็กประมาณ 5% ของแร่ทั้งหมด (Robinson, 1968) เหล็กเกือบทั้งหมดที่พบในหินและดิน ส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบของ เหล็กออกไซด์ เหล็กซิลิเกต และเหล็กคาร์บอเนต (Vitayaudom, 1967)

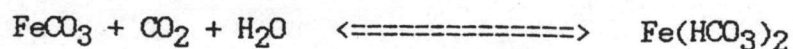
เหล็กออกไซด์เกิดจากแร่ 3 ชนิด คือ

- ก. แร่เฮมาไทต์สีแดง (Red Hematite) หรือ Fe_2O_3
- ข. แร่แมกเนไทต์ (Magnetite) หรือ Fe_3O_4
- ค. แร่ลิโมนไนท์หรือแร่เฮมาไทต์สีน้ำตาล (Brown Hematite) หรือ $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$

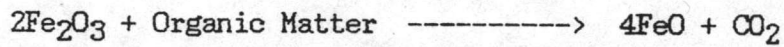
เหล็กซิลิเกต เกิดจากแร่ไพไรต์ (Pyrites) หรือ FeS_2 ส่วนเหล็กคาร์บอเนตเกิดจากแร่สิเคอร์ไรต์ (Siderites) หรือ $FeCO_3$

ในน้ำบาดาล เหล็กที่เกิดจากแร่ธาตุทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส Ghosh (1966) พบว่าการที่เหล็กจากแร่ธาตุดังกล่าวสามารถละลายในน้ำบาดาลเป็นเหล็กเฟอร์รัสได้ มีสาเหตุดังนี้

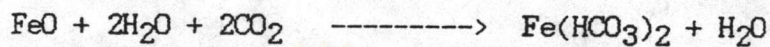
1. ในดินมีแบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาขึ้น ผลที่ได้จากการนี้ คือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะเกิดการคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นหินหรือชั้นดินที่มีแร่เหล็กดังกล่าวก็จะละลายแร่เหล็กที่อยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส
- ดังสมการ



2. ภายใต้อากาศที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นดินซึ่งมีสารอินทรีย์สามารถเปลี่ยนเหล็กเพอร์ริควินแร่ธาตุให้เป็นเหล็กเพอร์รัสได้ดังสมการต่อไปนี้



และต่อมาเหล็กเพอร์รัสนั้น จะทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นสารละลายของเหล็กเพอร์รัสได้ดังสมการ

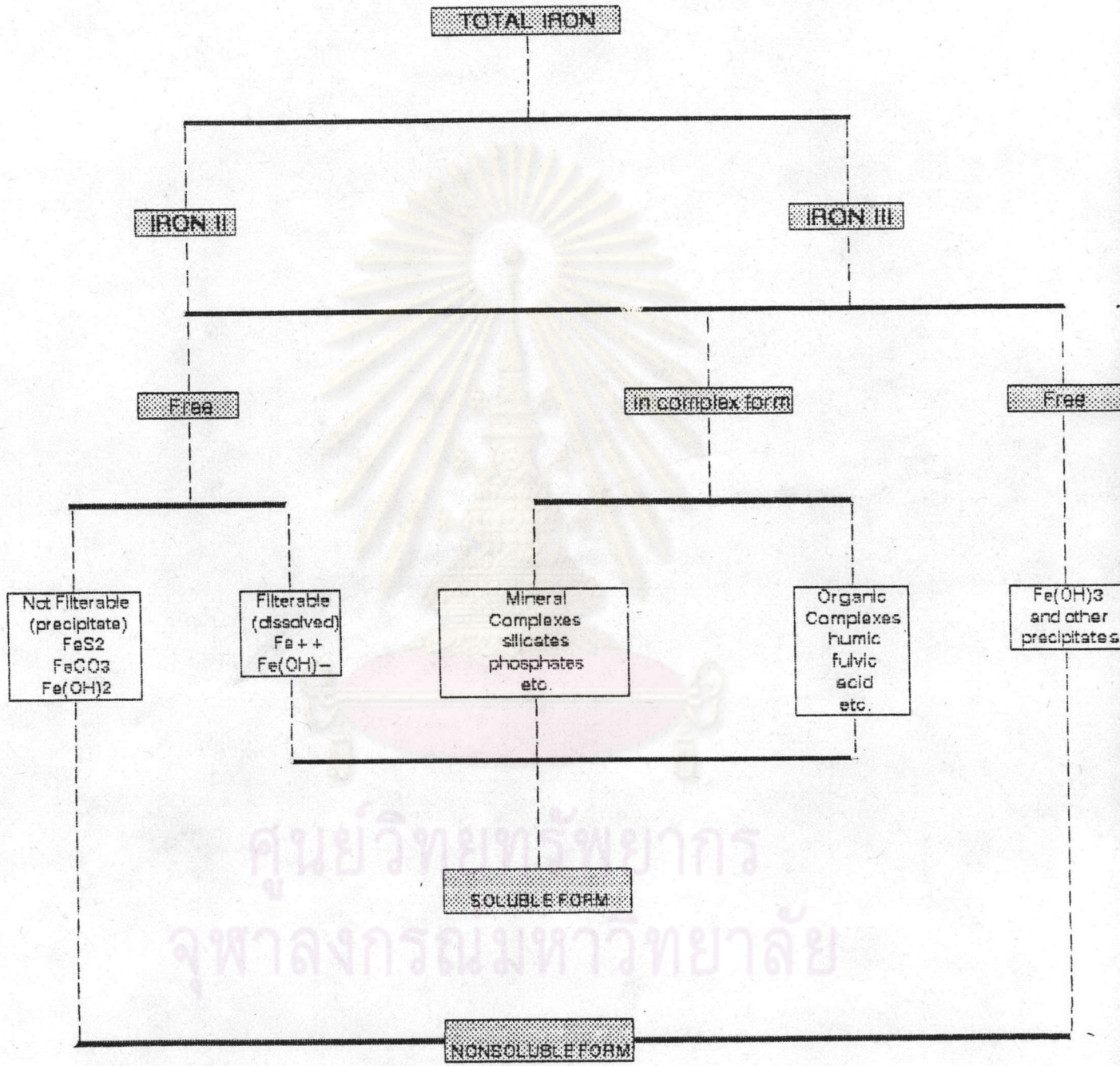


สำหรับน้ำผิวดิน ส่วนใหญ่พบแต่เหล็กอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลมาจากการระบายน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ลงไปในน้ำ หรือเกิดจากการชะพาสารอินทรีย์บนผิวดินลงสู่แหล่งน้ำโดยน้ำฝน สารอินทรีย์ดังกล่าวจะรวมกับเหล็กในน้ำกลายเป็นเหล็กอินทรีย์

Walker (1978) ได้แสดงความเห็นว่าเหล็กอินทรีย์ในน้ำบาดาล มักจะพบอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคาร์บอเนตมากที่สุด เช่น เพอร์รัสคาร์บอเนต $[Fe(HCO_3)_2]$ รองลงมาได้แก่รูปของเพอร์รัสซัลเฟต $(FeSO_4)$ และอาจจะพบอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ $(FeCl_2)$ บ้างเล็กน้อย ความเห็นดังกล่าวสอดคล้องกับ Hauer (1950) ที่กล่าวว่าเหล็กในน้ำบาดาลซึ่งเป็นเหล็กอินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเพอร์รัสคาร์บอเนต $[Fe(HCO_3)_2]$ และเพอร์รัสคาร์บอเนต $(FeCO_3)$ สารละลายเหล่านี้เกิดจากแร่สิเคอร์ไรท์ Hauer ได้อธิบายว่า เหตุที่ดังกล่าวเกิดจากการที่แร่อื่น ๆ เช่น แร่ไพไรท์ หรือแร่เพอร์รัสซัลไฟด์ (ซึ่งจะหาได้เกิดเหล็กในน้ำบาดาลที่พบในรูปของเพอร์รัสซัลเฟต) มีสภาพการละลายต่ำ (ประมาณ 6 มิลลิกรัม/ลิตร.) ขณะที่แร่สิเคอร์ไรท์มีสภาพการละลายสูงถึงประมาณ 65 มิลลิกรัม/ลิตร. ดังนั้นเหล็กอินทรีย์ในน้ำบาดาลส่วนใหญ่จึงมักอยู่ในรูปของเพอร์รัสคาร์บอเนต หรือ เพอร์รัสคาร์บอเนตมากกว่าเพอร์รัสซัลเฟต สภาพการละลายนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อกรดคาร์บอนิคมากขึ้น หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น

2.1.2 สถานะต่าง ๆ ของเหล็กในน้ำ

สถานะต่าง ๆ ของเหล็กที่ปรากฏอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเหล็กทั้งหมดในน้ำ หรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูป คือ เหล็กในรูป Iron II (เหล็กเพอร์รัส) หรือ Fe^{+2} กับเหล็กในรูป Iron III หรือ Fe^{+3} (เหล็กเพอร์ริก) เหล็กในรูป Iron II หรือ Fe^{+2} จะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจจะประกอบด้วยธาตุอื่นธาตุเดียว เช่น FeS_2 (ไม่ละลายน้ำ) และ $Fe(HCO_3)_2$ (ละลายน้ำได้) หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุ โดยอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex form) ส่วนเหล็กในรูป Iron III หรือ Fe^{+3} จะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจจะประกอบด้วยธาตุอื่น ๆ ธาตุเดียว เช่น $Fe(OH)_3$ (ไม่ละลายน้ำ) หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน



รูปที่ 2.1 สถานะของเหล็กในน้ำ

ที่มา : วิศวกรรมสารประกอบ, 2527

2.1.3 ปัญหาที่เกิดจากการมีเหล็กในน้ำ

การที่น้ำอุบะกบบริเวณที่มีเหล็กในปริมาณมาก จะทำให้เกิดปัญหาได้ดังนี้

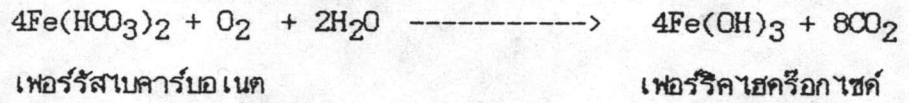
1. น้ำที่มีเหล็กมากจะมีความขุ่นมากตามไปด้วย เนื่องจากเหล็กบางส่วนเป็นคอลลอยด์ของเหล็กเฟอร์ริก (Sawyer, 1967) จึงทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะสมสำหรับการอุบะกบบริเวณ
 2. น้ำที่มีเหล็กมาก จะทำให้เกิดแบคทีเรียเหล็ก ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตามท่อในระบจ่ายน้ำ (Sawyer, 1967) แบคทีเรียเหล็กนี้มีลักษณะเป็นวุ้นและว สีแดงเข้ม เมื่อมีจำนวนมากก็จะอุดตันตามท่อกรอง (Screen) ของบ่อบาดาล ทำให้น้ำไหลเข้าบ่อบาดาลได้ยาก นอกจากนี้ยังไปเกาะตามใบพัดของเครื่องสูบน้ำประเภทเทอร์โบหรือขับเมิสซิเบิล มีผลทำให้ใบพัดของเครื่องสูบน้ำหมุนไม่สะดวก (วชิ งามทรงค์, 2517)
 3. น้ำที่มีเหล็กมาก เมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดตะกอนสีเหลืองหรือสีแดง และมีกลิ่นเหม็นเหล็ก ซึ่งเป็นที่รัง เกียจต่อการดื่มกิน ถ้านำมาใช้ในการซักล้าง เหล็กก็จะไปจับตามภาชนะหรือจับผ้าที่ซักทำให้มีสีเหลืองหรือสีแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าไปจับตามเครื่องสุขภัณฑ์ในห้องน้ำจะทำให้มีคราบสีเหลืองหรือสีแดง ฝังแน่น ถ้านำไปพุงข้าวก็จะทำให้ข้าวบูดเร็ว (วชิ งามทรงค์, 2517) นอกจากนี้ได้มีการทดลองในสหรัฐอเมริกา โดยการนำเอาน้ำที่มีเหล็กเกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตร ไปล้างเชปปรากฏว่าทำให้เชปเน่าเร็วขึ้นกว่าปกติ (เจริญ เพียรเจริญ, 2519)
- ด้วยเหตุที่น้ำที่มีเหล็กมากทำให้เกิดปัญหาในการอุบะกบและบริเวณดังกล่าว องค์การอนามัยโลกจึงกำหนดมาตรฐานสำหรับปริมาณเหล็กในน้ำดื่มไว้ไม่เกิน 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร. และยอมให้มีเหล็กได้สูงสุดไม่เกิน 1.00 มิลลิกรัม/ลิตร. สำหรับในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับปริมาณเหล็กในน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และยอมให้มีปริมาณสูงสุดได้ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ การประปา นครหลวงได้กำหนดปริมาณเหล็กในมาตรฐานน้ำประปาไว้เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

2.1.4 การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล

1. วิธีออกซิเดชันตามด้วยการตกตะกอนและการกรอง วิธีนี้อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเปลี่ยนเหล็กเฟอร์รัสที่ละลายน้ำให้เป็นเหล็กเฟอร์ริกซึ่งตกตะกอนได้ง่ายกว่า จากนั้นจึงทำการกรองตะกอนออกจากน้ำ ทั้งนี้จะทำการตกตะกอนหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำ การกำจัดเหล็กโดยวิธีนี้แบ่งออกได้หลายวิธีตามวิธีการออกซิเดชันดังนี้

ก. การเติมอากาศ (Aeration) วัตถุประสงค์ของวิธีนี้คือ ต้องการให้ออกซิเจนในอากาศ เข้าไปออกซิไดส์เหล็กในน้ำบาดาล ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเฟอร์รัส

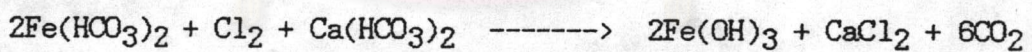
ไบคาร์บอเนต $[Fe(HCO_3)_2]$ ที่สามารถละลายในน้ำได้ดีและมีสี ำให้เป็นเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ $[Fe(OH)_3]$ ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ในถังตกตะกอน ปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล็ก เพอร์รัสมีดังนี้



ปฏิกิริยานี้ ออกซิเจนจะออกซิไดส์เหล็ก เพอร์รัสในน้ำได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ pH ความเป็นด่าง เวลาของการเกิดปฏิกิริยา และปริมาณ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทั้งนี้ pH ของน้ำจะต้องน้อยกว่า 7.0 (ช่วงที่เหมาะสมคือ 7.5-8.0) และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่า 15 นาที ในทางทฤษฎีพบว่าออกซิเจน 0.14 มิลลิกรัม/ลิตร. จะออกซิไดส์เหล็ก เพอร์รัสได้ 1 มิลลิกรัม/ลิตร.

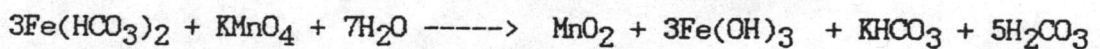
Hauer (1950) รายงานว่าน้ำบาดาลที่ผ่านการเติมอากาศแล้ว ถ้าหากไม่มีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนในภายหลัง จะต้องใช้เวลาในการตกตะกอนนานถึง 12-24 ชั่วโมงหรือมากกว่านี้ ด้วยเหตุนี้ระบบประปาที่มีระบบกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลหลายแห่ง จึงใช้วิธีเติมอากาศตามด้วยการกรองแบบกรองเร็วโดยไม่มีถังตกตะกอน

ข. การใช้คลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ หรือไฮโปคลอไรท์ โดยไฮโปคลอไรท์จะใช้ในรูปของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ $[Ca(OCl)_2]$ หรือโซเดียมไฮโปคลอไรท์ก็ได้ ส่วนก๊าซคลอรีน และคลอรีนไดออกไซด์ใช้ในรูปก๊าซ สารเคมีดังกล่าวสามารถออกซิไดส์เหล็ก ได้รุนแรงกว่าออกซิเจน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นต้องอาศัยแคลเซียมไบคาร์บอเนตร่วมใน ปฏิกิริยาดังนี้



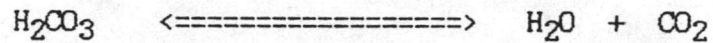
ในปฏิกิริยาข้างต้น คลอรีน 1 มิลลิกรัม/ลิตร. สามารถออกซิไดส์เหล็ก เพอร์รัสในน้ำได้ 1.6 มิลลิกรัม/ลิตร. การออกซิไดส์นี้เกิดขึ้นได้ในช่วง pH ที่กว้างมาก กล่าวคือ ประมาณ 4.0-10.0 สำหรับ pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.0 ปฏิกิริยานี้จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิของน้ำลดลง

ค. การใช้ด่างทับทิม ด่างทับทิมหรือสารประกอบเบสเคมียูเรเนียมเปอร์แมงกาเนต $(KMnO_4)$ ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์อย่างแรง เหล็ก เพอร์รัสในน้ำดิบจะถูกออกซิไดส์ และตกตะกอนในรูปของ เฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ $[Fe(OH)_3]$ ดังสมการ



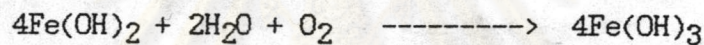
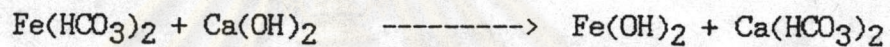
ผลที่ได้จากปฏิกิริยา คือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งจะหา หน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาข้างต้นให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Walker, 1978) แมงกานีสไดออกไซด์และ

เพอร์ริคไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำ เมื่อนำน้ำนั้นไปทำการกรอง ตะกอนของสารทั้งสอง จะตกอยู่ที่ผิวบนของตัวกรอง ส่วน KHCO_3 และ H_2CO_3 ซึ่งละลายน้ำได้จะออกไปกับน้ำ โดย H_2CO_3 จะแตกตัวเป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



ในทางทฤษฎีพบว่าค่าคงที่หิม 1 มิลลิกรัม/ลิตร. สามารถออกซิไดส์ เหล็กเพอร์ริไซด์ 1.06 มิลลิกรัม/ลิตร. แต่เนื่องจากมีเมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงพบว่าค่าคงที่หิม 1 มิลลิกรัม/ลิตร. สามารถออกซิไดส์เหล็กเพอร์ริไซด์ได้ถึง 1.66 มิลลิกรัม/ลิตร. (Yukphan, 1973) เทคนิคการกำจัดเหล็กโดยการใช้อ่างที่หิมนี้นิยม ใช้อ่างกรองที่ใช้ความดัน (Pressure Filters)

ง. การเติมอากาศตามด้วยการเติมปูนขาว วิธีนี้มักนิยมกับใช้เครื่อง เติมอากาศตามด้วยถังตกตะกอน ปฏิบัติการกำจัดเหล็ก มีดังนี้

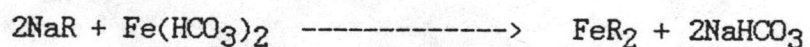


Owen (1963) ได้เสนอว่า pH ของน้ำที่จะทำให้ออกซิไดส์ข้างต้นนี้ เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์คือ 8.4 จากปฏิกิริยาข้างต้น จะเกิดขึ้นของตะกอน (Sludge Blanket) ในถังตกตะกอน ชั้นตะกอนดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ การกำจัด เหล็กวิธีนี้นอกจากกำจัดเหล็กได้แล้ว ยังช่วยกำจัดความกระด้างแบบเบคาร์บอเนตได้อีกด้วย

จ. การใช้สารพิเศษ กระทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin):

สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้จะอยู่ในรูปของโซเดียม (Sodium-form) หรือในรูปของไฮโดรเจน (H-form) ซึ่งสามารถจับเหล็กในน้ำได้ วิธีการก็คือผ่านน้ำที่มีเหล็กไปยังถังทำน้ำอ่อน (Softener) ที่ภายในมีสารแลกเปลี่ยนไอออนที่จับได้ทั้งเหล็กและความกระด้าง การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออน ในการกำจัดเหล็กสามารถทำได้เฉพาะในกรณีที่น้ำมีเหล็กละลายอยู่ในระดับที่ต่ำสูงมาก (มันลิน คัลซูลเวส, 2527) มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาการอุดตันและการเสื่อมสภาพของสารแลกเปลี่ยน ไอออนได้ สมการการกำจัดเหล็กวิธีนี้ แสดงได้ดังนี้



NaR = Cation - exchange Sodium form

R = Ion exchange resin

2. การกำจัดด้วยทรายเขียว (Manganese Zeolite Green

Sand): ซีโอไลท์ (Zeolite) หรือกรีนแซนด์ (Green Sand) เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อให้น้ำที่มีแมงกานีสผ่านเข้าป้อนชั้นของซีโอไลท์ หรือกรีนแซนด์ แมงกานีสจะเกาะจับเคลือบผิวของซีโอไลท์หรือกรีนแซนด์ ในรูปของแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งเป็นผลึก แมงกานีสไดออกไซด์จะช่วยในการออกซิเดชันเหล็ก เพอร์ร็อกไซด์ให้เป็นตะกอนซึ่งสามารถตกค้างอยู่ในชั้นกรอง ในขณะที่ผิวของแมงกานีสไดออกไซด์จะกลายเป็นแมงกานีสไตรออกไซด์ (Mn_2O_3) ซึ่งสามารถทำให้กลับคืนสู่รูปเดิม (Regeneration) ได้โดยใช้สารละลายต่าง ๆ กับหินหรือเบสเคมิกัล เช่นเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ในการที่น้ำดิบผ่านการเติมอากาศมาก่อน แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่ที่สารตัวกรองสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ เหล็กกับออกซิเจนได้โดยไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ เกิดขึ้นกับแมงกานีสไดออกไซด์ หากให้น้ำต้องมีการกลับคืนสู่รูปเดิมด้วยสารละลายต่าง ๆ กับหินอีก

3. การควบคุมเหล็กด้วยสารคีเลนต์ (Chelant): วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่น้ำดิบมีเหล็กละลายอยู่ในปริมาณน้อยจนไม่เหมาะสมที่จะทำการกำจัดด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ข้างต้น วิธีนี้เป็นการใช้สารเคมีที่เรียกว่า Chelant เช่น โซเดียมเฮกซะเมทาฟอสเฟต (Sodium Hexametaphosphate) เมื่อเติมสารนี้ในปริมาณที่เหมาะสม และเติมก่อนปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก สารดังกล่าวจะจับกับเหล็ก ได้สารประกอบที่ละลายน้ำและนุ่มตกตะกอนทำให้น้ำไม่เกิดปัญหาอีกต่อไป ปริมาณโซเดียมเฮกซะเมทาฟอสเฟตที่เหมาะสมต้อง น้อยกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร ต่อ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ของเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำดิบ

2.1.1.5 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลในการกำจัด เหล็ก

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการกำจัด เหล็กมีหลายประการ พอสรุปได้ดังนี้

1. สภาพการละลายของ เหล็กในน้ำ

Ghosh กล่าวว่าในสารละลายของเหล็กชนิดต่าง ๆ ซึ่งมี pH เกี่ยวกันแต่มีสภาพการละลายต่างกัน สารละลายใดที่มีสภาพการละลายน้อยกว่า ไอออนของเหล็กในสารละลายนั้นจะรวมตัวกันเข้าเป็นผลึกและตกตะกอนได้ง่ายกว่า

2. อัตราออกซิเดชันเหล็ก เพอร์ร็อกไซด์

Just (1908) ได้สรุปว่าอัตราออกซิเดชันเหล็ก เพอร์ร็อกไซด์จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับไอออนของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไดออกไซด์ กล่าวคือเมื่อไอออนของไบคาร์บอเนต หรือหมายถึงไบคาร์บอเนตแอลคาไลน์ตีมากขึ้น อัตราการออกซิเดชันเหล็ก เพอร์ร็อกไซด์จะเร็วขึ้นด้วย ขณะเดียวกันเมื่อคาร์บอเนตไดออกไซด์มากขึ้น อัตราออกซิเดชันเหล็ก เพอร์ร็อกไซด์จะช้าลง ความสัมพันธ์ต่างๆ ดังกล่าว เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{-d[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]}{dt} = \frac{K[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2][\text{O}_2]}{\text{CO}_2^2}$$

นอกจากนั้นแล้ว Just ยังได้สรุปต่อไปอีกว่าเมื่อ pH ของน้ำสูงขึ้นอัตรา
ออกซิเดชันจะเร็วขึ้น ดังสมการ

$$\frac{-d[\text{Fe}^{++}]}{dt} = \frac{K[\text{Fe}^{++}][\text{O}_2]}{[\text{H}^+]^2}$$

ต่อมาภายหลัง Stumm และ Lee (1961) ได้พบความสัมพันธ์เพิ่มเติมว่า
อัตราออกซิเดชันเหล็ก เพอร์รัสจะเร็วขึ้นเมื่อน้ำนั้นมีออกซิเจนอย่างพอเพียงและต้องมีพีเอชสูงกว่า
7.2 ความสัมพันธ์ดังกล่าวสรุปได้ดังสมการ

$$\frac{-d[\text{Fe}^{++}]}{dt} = \frac{K[\text{Fe}^{++}][\text{O}_2][\text{OH}^-]^2}{}$$

นอกจากนั้น Stumm และ Lee ยังได้พบอีกว่าอัตราออกซิเดชันเหล็ก
เพอร์รัสจะเร็วขึ้นเมื่อมี Cu^{++} , Mn^{++} , Co^{++} และ H_2PO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Robinson (1975) พบว่าซิลิกา มีผลต่อการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล
ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาจะหาความเป็นต่างและ pH ของน้ำบาดาลมีค่าสูงขึ้น ในสภาวะที่ pH
และความเป็นต่างสูงนี้ การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการเติมอากาศตามด้วยการตกตะกอนและ
การกรองจะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้พอจะสรุปได้ว่า อัตราออกซิเดชันเหล็ก
เพอร์รัสในน้ำบาดาลจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับ pH และความเป็นต่างเป็นสำคัญ กล่าวคือเมื่อ pH
และความเป็นต่างของน้ำบาดาลมีค่ามากขึ้น อัตราออกซิเดชันเหล็ก เพอร์รัสในน้ำบาดาลจะเร็วขึ้น
หรือหาเห็นว่าผ่านการเติมอากาศสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งก็หมายถึงหาให้การกำจัดเหล็ก
ในน้ำบาดาลสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วย

2.2 การกรอง

2.2.1 การทำงานของตัวกรอง

การกรอง เป็นวิธีการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำโดยการให้น้ำไหลผ่านตัว
กรอง ตัวกรองอาจจะเป็นทราย แอนทราไซต์ ผงโคอะคอม หรืออื่น ๆ กลไกการทำงานของตัว
กรองในการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำแบ่งได้หลายวิธีดังนี้คือ (Claf, 1966)

ก. การคัดสารแขวนลอยโดยตรง (Direct Sieving หรือ Straining)

เกิดขึ้นในกรณีที่สารแขวนลอยมีขนาดเล็กว่าช่องว่างระหว่างตัวกรอง ทำให้ไม่สามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างตัวกรองไปได้จึงถูกคักเอาไว้ สมการของความเป็นไปได้นในการกำจัดสารแขวนลอยโดยการคัดโดยตรงมีดังนี้

$$P_S \propto \frac{D}{d}$$

เมื่อ P_S = ค่าของความเป็นไปได้นในการกำจัดสารแขวนลอย

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของสารแขวนลอย

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง

การคัดสารแขวนลอยโดยตรงจะเกิดขึ้นได้ดี ก็ต่อเมื่อความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรองนั้นต้องต่ำมาก

ข. การสัมผัสกับผิวของตัวกรอง (Chance Contact) เป็นกรณีที่สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างตัวกรองมีโอกาสที่จะสัมผัสกับผิวของตัวกรองในระหว่างที่น้ำไหลผ่านตัวกรอง ทำให้สารแขวนลอยนั้นถูกแยกออก ค่าของความเป็นไปได้นในการกำจัดสารแขวนลอยวิธีนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากำลังที่สองของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสารแขวนลอย และเป็นสัดส่วนผกผันกับค่ากำลังที่สามของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง ดังนี้

$$P_S \propto \frac{D^2}{d^3}$$

เมื่อ P_S = ค่าของความเป็นไปได้นในการกำจัดสารแขวนลอย

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสารแขวนลอย

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง

ค. การตกตะกอน (Sedimentation) คือการที่สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างตัวกรองสามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างตัวกรองมากตกตะกอนบนผิวของตัวกรองในระดับลึกลงไป การตกตะกอนของสารแขวนลอยบนผิวของตัวกรอง เกิดขึ้นตลอดช่วงความสูงของชั้นตัวกรอง ประสิทธิภาพของการตกตะกอนขึ้นอยู่กับอัตราการกรองและความเร็วของการตกตะกอนของสารแขวนลอย พื้นที่ผิวตัวกรองซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับการตกตะกอนคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{พื้นที่ผิวตัวกรอง} = \frac{6(1-p)}{d} \text{ ม.}^2/\text{ม.}^3$$

เมื่อ p = ความพรุนของตัวกรอง

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง, ม.

ง. การกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (Inertial Impaction) เกิดขึ้น

เมื่อน้ำไหลผ่านไปตามผิวตัวกรองและเกิดการไหลเปลี่ยนทิศทาง สารแขวนลอยซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะเบี่ยงเบนตามทิศทางการไหลทันที จึงยังคงพยายามวิ่งไปตามทิศทางเดิมเนื่องจากแรงเฉื่อย ทำให้เกิดการกระทบและเกาะติดอยู่บนผิวของตัวกรอง ประสิทธิภาพของการกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อยนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของสารแขวนลอยกับของน้ำ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรอง มุมตกกระทบ และตำแหน่งของสารแขวนลอย

จ. อิทธิพลจากประจุไฟฟ้า เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่กระจายอยู่ในน้ำสามารถรับเอาประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าไว้ที่บนผิวของมัน การรับประจุไฟฟ้าที่บนผิวของอนุภาคแขวนลอยอาจเกิดจากการดูดซับ (Adsorption) หรือการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) จากหลักที่ว่าประจุไฟฟ้าที่ต่างกันจะดึงดูดกัน ประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันจะผลักรัน การที่อนุภาคแขวนลอยในน้ำสามารถมีความชุ่มคงตัวหรือฟุ้งกระจายอยู่ในน้ำได้ก็ เป็นเพราะแรงผลักรันของประจุไฟฟ้าระหว่างอนุภาคแขวนลอยที่เหมือนกัน หากจะกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำให้ได้นั้น ประจุไฟฟ้าที่บนผิวอนุภาคแขวนลอยกับประจุไฟฟ้าที่บนผิวตัวกรองจะต้องต่างกัน ดังนั้นประจุไฟฟ้าจึงเป็นกลไกส่วนหนึ่งที่สำคัญในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ช. แรงแวน เดอ วาลส์ (Van der Waals Forces) ในจำนวนแรงทั้งหมดที่เป็นแรงดึงดูดและแรงผลักรันของโมเลกุล จะมีแรงอยู่พวกหนึ่งที่มีกำลังมากที่สุด เรียกแรงนั้นว่าแรงแวน เดอ วาลส์ แรงนี้เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอนุภาคแขวนลอยชนิดเดียวกัน ซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อสารแขวนลอยต่างเคลื่อนเข้ามาใกล้กัน แต่ในทางตรงกันข้ามแรงเหล่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเป็นศูนย์เมื่อสารแขวนลอยต่างเคลื่อนออกจากกันหรืออยู่ห่างกันออกไป ดังนั้นแรงแวน เดอ วาลส์ จึงไม่เป็นกลไกส่วนสำคัญในการกำจัดสารแขวนลอย แต่จะเป็นแรงที่สำคัญในการทำละลายความคงตัว (Destabilized sol) ทั้งยังคอยควบคุมสารแขวนลอยต่าง ๆ ไม่ให้แตกตัวออกจากกันได้ง่าย

ซ. การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Movement) การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนของอนุภาคแขวนลอยเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน การเคลื่อนที่แบบนี้อาจทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดการเบี่ยงเบนออกไปจากแนวการไหลของน้ำ ทำให้มีโอกาที่จะสัมผัสกับผิวของตัวกรองแล้วถูกแยกออกไป การคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยที่มีลักษณะกลมคำนวณได้จากสมการ

$$X = \frac{2KTt}{3fD}^{1/2}$$

- เมื่อ X = ค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอย
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคแขวนลอย
 t = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่
 K = ค่าคงที่โบลทซ์มันน์
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์
 f = ความหนืดของของไหล

จ. การสมานอนุภาคแขวนลอย (Flocculation) เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่สัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กแล้วรวมกันเป็นอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม ซึ่งจะถูกกำจัดต่อไปโดยการตกตะกอน การสัมผัสกับผิวของตัวกรองหรือจากการกระทบด้วยแรงเฉื่อย

2.2.2 ความฝืดของตัวกรอง

การไหลของน้ำผ่านตัวกรองมีผลทำให้สูญเสียความดันไปบางส่วน ความดันของน้ำที่สูญเสียไปเรียกว่าความฝืดของตัวกรองซึ่งเป็นฟังก์ชันของความพรุนของตัวกรอง(e), ความหนาของตัวกรอง(L), เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง(d), ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรอง(v), ความหนืดของน้ำ (μ), ความหนาแน่นของน้ำ (ρ) และความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) ดังสมการ

$$H_f = F(e, L, d, v, \mu, \rho, g)$$

เมื่อ H_f = ความฝืดของตัวกรอง

สมการดังกล่าวข้างต้นเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ขึ้นพื้นฐานขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความฝืดของตัวกรอง ในการหาความฝืดของตัวกรองมีสมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาความฝืดของตัวกรองพอที่จะสรุปได้ดังนี้คือ (Metcalf & Eddy, 1979) (1) สมการของ Carmen- Kozeny (2) สมการของ Fair-Hatch (3) สมการของ Rose และ (4) สมการของ Hazen ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปสมการในการคำนวณหาความฝืดของตัวกรอง

สมการ	โดยที่
Carmen-Kozeny :	h = ความฝืดของตัวกรอง (Head loss)
$h = \frac{f}{\phi} \frac{1-e}{e^3} \frac{L v^2}{d g}$	f = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน (Friction Factor)
$f = 150 \frac{1-e}{N_R} + 1.75$	e = ความพรุนของตัวกรอง (Porosity)
$N_R = \frac{d v \rho}{\mu}$	L = ความหนาของตัวกรอง (Depth), ม.
Fair-Hatch:	v = ความเร็วของของเหลวที่ไหลผ่านตัวกรอง (Filtration velocity), ม./วินาที
$h = k v S^2 \frac{(1-e)^2}{e^3} \frac{L v}{d^2 g}$	d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกรอง (Grain diameter), ม.
Rose:	g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก
$h = \frac{1.067}{\phi} C_d \frac{1}{e^4} \frac{L v^2}{d g}$	ϕ = แฟคเตอร์ของรูปทรงตัวกรอง (Shape factor) ปกติมีค่า = 1
$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$	N_R = เลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)
Hazen:	ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (Density), กก./ลบ.ม.
$h = \frac{1}{C} \frac{60}{T + 10} \frac{L}{d_{10}^2} v$	μ = ความหนืดของของเหลว (Viscosity), นิวตัน.วินาที/ตร.ม.
	ν = ความหนืดคิเนแมติก (Kinematic viscosity), ตร.ม./วินาที
	S = แฟคเตอร์ของรูปทรงตัวกรอง (Shape factor) มีค่าอยู่ระหว่าง 6.0-7.7
	K = ค่าคงที่ของการกรอง (Filtration constant) มีค่าเท่ากับ 5 เมื่อคิดจากขนาดรูของตะแกรง (Sieve openings) มีค่าเท่ากับ 6 เมื่อคิดจากขนาดที่ไว้แบ่งแยก (Size of Separation)
	C_d = ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Coefficient of drag)
	C = ค่าสัมประสิทธิ์ของความอัดแน่นของตัวกรอง (Coefficient of compactness) มีค่าระหว่าง 600 - 1,200
	T = อุณหภูมิ, องศาฟาเรนไฮต์
	d_{10} = ขนาดประสิทธิภาพของตัวกรอง (Effective size grain diameter)

2.3 การตรวจสอบเอกสาร

2.3.1 การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล

Salbach (1868) ได้เสนอไว้ในรายงานการทดลองว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลสามารถทำได้โดยวิธีเติมอากาศตามด้วยการกรอง

Donaldson (1922) พบวิธีกำจัดเหล็กและก๊าซที่ละลายในน้ำบาดาล โดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบภาคหลายชั้นตามด้วยระบบทรายกรอง เร็วภายในชั้นต่าง ๆ ของเครื่องเติมอากาศดังกล่าวได้ใส่ถ่านโค้ก เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศ

Fricks (1932) พบว่าออกไซด์ของเหล็กในชั้นทรายทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดเหล็ก

Mathew (1947) พบวิธีกำจัดเหล็กในน้ำโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidising agent) เหล็กเพอร์รัส ตามด้วยการตกตะกอนและการกรอง

Brown (1950) ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลด้วยการใช้เครื่องเติมอากาศ ตามด้วยถังตกตะกอนและถังกรอง จากการทดลองพบว่าน้ำดิบซึ่งมีเหล็กประมาณ 8.7 มิลลิกรัม/ลิตร. เมื่อผ่านการกรองแล้วจะมีเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 1.1 มิลลิกรัม/ลิตร. และได้ทดลองต่อแบบเติมแต่มีการจ่ายคลอรีนเข้ายังน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้ว พบว่าน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีเหล็กเหลืออยู่ 0.67 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่าการเติมคลอรีนขั้นต้น (Pre-chlorination) ช่วยกำจัดเหล็กได้ดี

Longley และคณะ (1961) ได้ศึกษาวิธีกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการเติมออกซิเจน ตามด้วยการตกตะกอน การตกตะกอนและการกรอง ผลการทดลองจากแบบทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเติมอากาศ สามารถกำจัดเหล็กได้ 0.1-44 %
2. การตกตะกอนซึ่งมีระยะเวลาเก็บกัก 1.5 ชั่วโมง สามารถกำจัดเหล็กได้ประมาณ 13 %
3. การกรองสามารถกำจัดเหล็กได้ 96-100 %

Komolarit (1962) ได้ศึกษาผลของจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่มีต่อการกำจัดเหล็กในชั้นทรายในโรงประปาหลายแห่งในเมืองฮิลลินอยล์ สหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นทรายสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยทำให้เหล็กเพอร์ริคในน้ำก่อนกรอง เปลี่ยนรูปเป็นเหล็กเพอร์รัสในน้ำที่กรองแล้ว

Willey และ Jenning (1963) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำโดยใช้สารละลายต่าง ๆ กับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate) ตัวกรองที่ใช้คือ แมงกานีสกรีนแซนด์ ผลการทดลองพบว่า น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะมีเหล็ก เหลืออยู่เพียงเล็กน้อย

Robinson (1967) ได้ทำการทดลองและศึกษาผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล พบว่าสารอินทรีย์ในน้ำบาดาลนั้นมีผลต่อขบวนการออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงรูปของเหล็กในน้ำจากเฟอร์รัสเป็นเฟอร์ริก และสารอินทรีย์เหล่านี้ถ้าได้ผ่านการกำจัดขั้นต้นโดยให้น้ำบาดาลไหลผ่านตัวกรองถ่าน ตัวกรองถ่านก็จะทำหน้าที่กรองสกัดออกสารอินทรีย์ให้ออกจากน้ำบาดาล จากนั้นการกำจัดเหล็กสามารถทำได้ต่อไปโดยวิธีการกรอง

Vitayaudom Veera (1967) ได้ทำการทดลองและศึกษาวิธีการกำจัดเหล็กโดยการตกตะกอนและตามด้วยการตกตะกอน ผลการทดลองพบสรุปประเด็นที่สำคัญได้ว่าการกำจัดเหล็กในน้ำระหว่างการใส่กับน้ำใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอน ไม่ได้มีผลแตกต่างกันมากนัก ถ้าหากมีการควบคุม pH ของน้ำในระบบกำจัดไว้ระหว่าง 8.0-9.0 เพียงแต่การใส่สารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนจะทำให้เหล็กที่ละลายในน้ำรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดและน้ำหนักมากกว่า

2.3.2 การเลือกใช้ตัวกรอง

Sevilla (1971) รายงานว่า จากการทดลองกรองน้ำ โดยใช้น้ำสุกพื้นบ้าน ซึ่งได้แก่ เถ้าแกลบ แกลบ ชุยมะพร้าว ถ่าน และ ทราย พบว่าเถ้าแกลบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและความขุ่นได้ดีกว่าวัสดุตัวกรองอื่นๆ โดย ชุยมะพร้าว แกลบ และถ่าน มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ

Jaksirinont (1972) ได้ทำการทดลองกรองน้ำโดยใช้การกรอง 2 ชั้น ตอน (Series filtraion) โดยใช้น้ำชุยมะพร้าว และ เถ้าแกลบเป็นตัวกรอง ผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้เถ้าแกลบเป็นตัวกรองโดยมีความสูงของชั้นตัวกรอง 80 เซนติเมตร และอัตราการกรอง 1 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต สามารถกำจัดความขุ่นของน้ำลงได้น้อยกว่า 0.2 FTU นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะไว้ว่าในการกรองน้ำบาดาลหรือน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 40 FTU) ตัวกรองเถ้าแกลบเพียงอย่างเดียวก็มีความสามารถในการลดความขุ่นลงจนเหลือน้อยกว่า 0.1 FTU

Low Beng-Peow (1973) ได้ทำการทดลองต่อเนื่องจาก Jaksirinont (1972) โดยทำการกรองน้ำผิวดิน ในพื้นที่ชนบททางภาคอีสานและภาคกลางของประเทศหลายแห่ง โดยใช้น้ำชุยมะพร้าว และ เถ้าแกลบเป็นตัวกรอง อัตรากรองเท่ากับ 0.5 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต พบว่าที่ความสูงของชั้นตัวกรอง 80 เซนติเมตร น้ำที่ผ่านการกรองมีปริมาณเหล็กอยู่ในระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก โดยสามารถลดปริมาณเหล็กลงได้ 85 %

Yukphan Wattana (1973) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำซึ่งเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ให้มีปริมาณเหล็ก 7.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้เวลาละลายต่าง ๆ กับขี้ผึ้ง และนำใบกรองกระดาษใช้เก่าเคลือบและเกล็ดถ่านหินเป็นตัวกรอง ชั้นตัวกรองมีความสูง 80 เซนติเมตร พบว่าเก่าเคลือบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กได้ดีกว่าเกล็ดถ่านหินในทุกอัตรากรอง ตั้งแต่ 1.0, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.0 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต โดยอัตรากรองที่ 1.0 และ 2.0 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต มีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กได้ใกล้เคียงกันและดีกว่าอัตรากรองอื่น ๆ แต่อัตรากรอง 1.0 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต มีอายุการกรองที่นานกว่า 2.0 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต เล็กน้อย

วิทยา เพ็ชรวิจิตร และวราภรณ์ บุณยรัตพันธุ์ (2516) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยแอร์เรเตอร์แบบภาคใส่ฟ้าน้ำ และถังกรอง โดยใช้อัตรากรอง 2 ชนิด คือ ทราช และเก่าเคลือบ ที่มีขนาดลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.3-0.5 มิลลิเมตร) น้ำดิบมีเหล็ก 5.0-9.5 มิลลิกรัม/ลิตร. จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเก่าเคลือบมีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กดีกว่าทราช โดยสามารถกำจัดเหล็กได้ถึง 97.4% ซึ่งทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลือน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร. อัตรากรองที่เหมาะสมในการกรองด้วยทราชและเก่าเคลือบเผาไม่ควรมีน้อยกว่า 0.5 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต. และตัวกรองควรมีความสูง 25 เซนติเมตร

อนุชิต กิจสวัสดิ์ (2517) ทดลองใช้ขี้เก่าเคลือบเป็นตัวกรองในเครื่องกรองน้ำ กระจายน้ำ พบว่าขี้เก่าเคลือบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีเทียบเท่ากับ Diatomite ซึ่งใช้เป็นไส้กรองของเครื่องกรองน้ำทั่วไป

George A.D และ Chaudhuric (1977) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกรองเหล็กในน้ำบาดาล โดยใช้อัตรากรองที่เป็นถ่านหิน น้ำดิบที่เข้าในการทดลองเป็นน้ำจากบ่อน้ำบาดาลที่มีการเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เข้าไปภายหลังจากที่ได้สูบน้ำขึ้นมาจนมีปริมาณเหล็ก 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร ถังกรองที่ใช้ทดลองหาค่าด้วยท่อแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.6 เซนติเมตร จำนวน 2 ถัง ถังหนึ่งมีตัวกรองเป็นทราชกรองเร็วซึ่งมีขนาดตัวกลางทางเรขาคณิต 1 มิลลิเมตร อีกถังหนึ่งมีตัวกรองเป็นถ่านหินซึ่งมีขนาดเดียวกับทราชกรองเร็ว ความสูงของถังกรอง ทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 60 เซนติเมตร ใช้อัตรากรอง 2, 4, 6 และ 10 กล./นาฬิกา/ตรฟ. ผลการเปรียบเทียบการกรองเหล็กระหว่างตัวกรองที่เป็นทราชกรองเร็วกับตัวกรองที่เป็นถ่านหิน สรุปได้ว่า

1. ตัวกรองที่เป็นถ่านหินสามารถกำจัด เหล็กในน้ำได้สูงกว่าตัวกรองที่เป็นทรายเล็กน้อย
2. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการกรองระหว่างตัวกรองที่เป็นทรายกับตัวกรองที่เป็นถ่านหิน พบว่าที่ระยะเวลาในการกรอง เท่ากันและคุณภาพน้ำที่กรองแล้วเหมือนกัน ตัวกรองที่เป็นถ่านหินจะสามารถกรองน้ำได้ในอัตราที่สูงกว่าตัวกรองที่เป็นทราย 3-4 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบอายุการกรองระหว่างตัวกรองทั้งสองที่อัตราการกรองเดียวกัน อายุการกรองของตัวกรองที่เป็นถ่านหินจะมากกว่าอายุการกรองของตัวกรองที่เป็นทราย
3. ตัวกรองที่เป็นถ่านหินสามารถกำจัด เหล็ก เพอร์รัสที่ละลายในน้ำได้มากกว่าตัวกรองที่เป็นทราย

สมชาย เหล่านิยมไทย (2525) ศึกษาการกำจัด เหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น (Upflow Filtration) โดยใช้แบบทดลองที่ประกอบด้วยถังพักที่มีขนาดต่างๆ กัน เพื่อปรับสภาพน้ำดิบที่มีออกซิเจนละลายเป็นศูนย์ ให้มีออกซิเจนละลายเพียงพอ ก่อนนำไหลเข้าตัวกรอง และใช้ทรายกรองสูง 120 เซนติเมตร มีขนาดประสิทธิภาพเท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอเท่ากับ 2.27 ความกว้างจาเพาะเท่ากับ 2.60 ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกรอง เหล็กขึ้นอยู่กับอัตราการกรอง เมื่ออัตราการกรอง เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกรอง เหล็กลดลง อัตราการกรองที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกรอง เหล็ก อายุการกรอง เบอร์ เซนต์ น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย และความดันของน้ำที่กรองได้พบว่าอัตราการกรอง 3 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต เป็นอัตราการกรองที่เหมาะสมที่สุด

วิเชียร จุ่งรุ่งเรือง (2533) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรอง เหล็กออกจากน้ำบาดาลของทรายไม่คัดขนาด (ทรายก่อสร้าง) กับทรายกรองเร็ว น้ำดิบที่ศึกษาเป็นน้ำบาดาลที่มีปริมาณเหล็กทั้งหมดเฉลี่ย 2.80 มิลลิกรัม/ลิตร. อัตราการกรองที่ศึกษามี 2 ระดับคือ 2 และ 3 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต. ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. ตัวกรองที่เป็นทรายไม่คัดขนาดมีประสิทธิภาพในการกรอง เหล็กออกจากน้ำบาดาลได้มากกว่าตัวกรองที่เป็นทรายกรองเร็วทั้งสองอัตราการกรอง
2. ความสูงของชั้นตัวกรองทรายไม่คัดขนาดที่เหมาะสมเท่ากับ 40 เซนติเมตร และอัตราการกรองไม่ควรเกิน 2 แกลลอน/นาฬิกา/ตารางฟุต.