

การกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ (Iron and Manganese Removal by Manganese Greensand)

โดย นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ
ส่วนวิเคราะห์ จัดการสิ่งแวดล้อม
กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ
ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ

การกรองโดยตรงเพื่อกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ (Manganese Greensand) ซึ่งเป็นสารที่ทำมาจาก Gluconite Greensand ในสมัยแรกๆจะนำกรีนแซนด์มาทำปฏิกิริยากับแมงกานีสคลอไรด์เพื่อเปลี่ยนกรีนแซนด์ให้เป็นแมงกานีสกรีนแซนด์ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งจะทำให้เกิดออกไซด์ของแมงกานีสเคลือบอยู่บนผิวของเม็ดกรีนแซนด์ ในประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มใช้ครั้งแรก ค.ศ. 1950

ปัจจุบันแมงกานีสกรีนแซนด์ สามารถจำแนกโดยใช้วัสดุที่ผลิตออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 วัสดุประเภทซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นวัสดุที่ทำมาจากธรรมชาติ โดยทำมาจาก aluminum silicate rocks ใช้ความร้อนเข้าไปละลายหินดังกล่าว เมื่อหลอมละลายแล้วนำไปแช่น้ำเย็นจะได้เป็น Zeolite crystals ซึ่งในอดีตนำมาใช้กำจัดความกระด้างในน้ำ ปัจจุบันนำมาเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์ โดยวิธีทางเคมีเพื่อใช้ในการกำจัดแมงกานีสเรียกว่า แมงกานีสซีโอไลต์ (manganese zeolite)

บันทึกประวัติศาสตร์

- ค.ศ. 1700 ซีโอไลต์มีการใช้ในงานเกษตรกรรม รู้จักกันในชื่อ “greenhouse” โดยนำไปเพิ่มแร่ธาตุให้กับดิน

- ค.ศ. 1818 ประเทศเยอรมันนี้ ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยการรวมการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียม ซิลิเกต (Sodium silicate solution) กับ โซเดียม อลูมิเนต (Sodium aluminate) ซึ่งยังไม่เป็นที่แพร่หลายในงานด้านน้ำ

- ระหว่าง ค.ศ. 1850 และ 1920 ซีโอไลต์ธรรมชาติได้ถูกค้นพบในทวีปอเมริกาเหนือ (north America) เรียกว่า “Gluconites” หมายถึง สีเขียวอมเทา หรือเรียกว่า “greensand” ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุใช้มากในอุตสาหกรรมหม้อไอน้ำและเครื่องจักรกลไอน้ำ ซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ 2 – 3000 เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต (1 เกรน = 64.799 มิลลิกรัม)

- ค.ศ. 1900 มีการพัฒนาซีโอไลต์จนได้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุที่สูงขึ้น โดยการคัดขนาดของเกรนแซนด์แล้วผสมร่วมกับโซเดียมซิลิเคต(Sodium silicate) และ อลูมิเนียมซัลเฟต(Aluminum Sulfate) และทำให้แห้ง จะได้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูงถึง 5000 เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต (1 เกรน = 64.799 มิลลิกรัม) ซึ่งให้ค่าที่สูงกว่ากรีนแซนด์จากธรรมชาติ 2 เท่า ซึ่งเมื่อนำวัตถุบับน้ำหนัก 5 ตัน มาทำแมงกานีสกรีนแซนด์จะได้น้ำหนักประมาณ 1 ตัน

การเริ่มต้นของซีโอไลต์สังเคราะห์

ในปี ค.ศ. 1925 Emmett Culligan และ Fred Lindsay ได้คิดค้นสูตรและกระบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ด้วยกันโดยเริ่มที่บริษัท Northwestern Chemical Company โดยพี่ชายของ Fred ชื่อ Lynn Lindsay ซึ่งเป็นพนักงานขายในบริษัทดังกล่าวซึ่งไม่ประสบความสำเร็จในการขาย จนบริษัทได้ปิดกิจการ ในระหว่างนี้ Great Depression และ Emmet Culligan ได้ผลักดันและก่อตั้งบริษัทชื่อว่า Culligan Zeolite Company ในปี ค.ศ. 1936 ที่เมือง Northbrook รัฐ Illinois โรงงานผลิตซีโอไลต์สังเคราะห์แห่งนี้สามารถผลิตซีโอไลต์ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้สูงถึง 10000 เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต (1 เกรน = 64.799 มิลลิกรัม) ซึ่งสูงกว่า greensand ธรรมดา 2 เท่า ซึ่งการประสบผลสำเร็จในครั้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการนำมาใช้กำจัดความกระด้างในอุตสาหกรรม ในทศวรรษที่ 30 และต้นทศวรรษที่ 40 ได้มีการขยายกิจการโดยก่อสร้างโรงงานผลิตซีโอไลต์สังเคราะห์ขึ้น 2 โรงงานที่เมือง San Bernardino รัฐ California และที่เมือง Yuma AR ในปลายทศวรรษที่ 40 โรงงานดังกล่าวสามารถผลิตซีโอไลต์สังเคราะห์ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้สูงถึง 20000 เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต

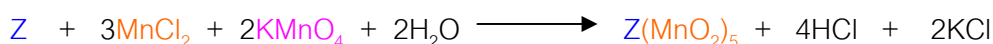
การเปลี่ยนแปลงครั้งใหม่

กิจการโรงงานผลิตซีโอไลต์สังเคราะห์ได้เจริญรุ่งเรืองมาจนกระทั่งในทศวรรษที่ 50 ได้มีการสังเคราะห์เรซิน (resin) ขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูงถึง 30000 เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต ทำให้เกิดการแข่งขันแย่งชิงลูกค้ากันระหว่างโรงงานผลิตเรซินสังเคราะห์และโรงงานผลิตซีโอไลต์สังเคราะห์ แต่ซีโอไลต์สังเคราะห์ไม่ประสบผลสำเร็จในยอดขายจนทำให้ Culligan จำเป็นต้องปิดกิจการโรงงานที่เมือง Yuma AR

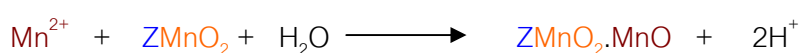
ส่วนโรงงานผลิตซีโอไลต์ที่ตั้งอยู่ที่เมือง San Bernardino ถูกซื้อกิจการโดย Glenn Gruett ในปี ค.ศ. 1985 ซึ่งเป็นเจ้าของกิจการและผู้ก่อตั้งบริษัท Water - Right จำกัด มีโรงงานตั้งอยู่ที่เมือง Appleton รัฐ Wisconsin เมื่อ Water Right ได้ซื้อกิจการโรงงานผลิตซีโอไลต์ต่อจาก Culligan แล้วได้มีการปรับปรุงกิจการครั้งใหญ่และประสบความสำเร็จในการจำหน่ายจนเป็นที่รู้จักกันในช่วงเวลานั้นว่าเป็น

โรงงานที่ใหญ่ที่สุดในสหรัฐอเมริกา หลังจากที่ Gruett ได้ซื้อกิจการมาทั้งหมดแล้วได้ย้ายฐานการผลิตไปที่เมือง Phillipsburg รัฐ Kansas ภายใต้ชื่อใหม่ว่า บริษัท Mineral-Right จำกัด

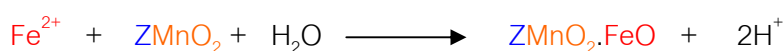
ปฏิกิริยาการสร้างแมงกานีสไฮโดรไมด์ดังนี้



ปฏิกิริยาในการกำจัดแมงกานีสในรูปละลายน้ำมีดังนี้



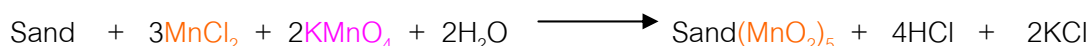
ปฏิกิริยาในการกำจัดเหล็กในรูปละลายน้ำมีดังนี้



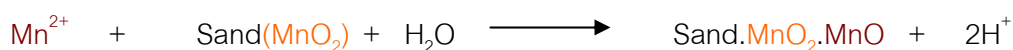
แมงกานีสไฮโดรไมด์มีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีน้ำตาลจนถึงสีดำส่วนใหญ่จะหนักประมาณ 80 ถึง 90 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต สามารถออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสที่ละลายอยู่ในน้ำให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและจะทำหน้าที่เป็นสารกรอง เพื่อกรองผลึกเหล็กและแมงกานีสที่เกิดขึ้นด้วยและสามารถเดินระบบ (Operate) ได้ทั้งแบบ CR Process (Continuous Regeneration) และแบบ IR (Intermittent Regeneration)

ประเภทที่ 2 วัสดุประเภททราย (sand) ทำจากทรายธรรมชาติคัดขนาดแล้วนำมาเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์โดยวิธีทางเคมี ประวัติศาสตร์เริ่มนำมาใช้ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1950 ในประเทศสหรัฐอเมริกาในชื่อ “New Jersey Greensand” ต่อมาได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นชนิดเดียวกับแร่ “Glauconite” โดยการนำแร่ที่เกิดจากธรรมชาติมาผ่านกระบวนการคัดแยกขนาดของสารกรองให้ได้ขนาด 18x60 mesh จนได้ขนาด (Effective size) ประมาณ 0.3 ถึง 0.35 มิลลิเมตร และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity coefficient) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.6 ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีที่สุดของสารกรอง แร่กลูโคไนต์ (glauconite) เมื่อนำมาเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide) และทำให้อยู่ตัว (Stabilization) เรียกว่า “manganese greensand” การเคลือบด้วยสารดังกล่าวทำให้กลูโคไนต์เป็นสารกรองที่สามารถเกิดปฏิกิริยา oxidation-reduction ซึ่งสามารถกำจัดเหล็ก แมงกานีสและไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) ที่มีปริมาณน้อยๆได้

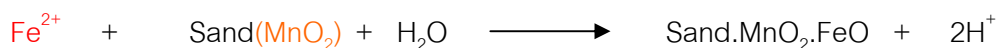
ปฏิกิริยาการสร้างเมงกานีสกรีนแซนด์เป็นดังนี้



ปฏิกิริยาในการกำจัดเมงกานีสในรูปละลายน้ำมีดังนี้



ปฏิกิริยาในการกำจัดเหล็กในรูปละลายน้ำมีดังนี้



ลักษณะของเมงกานีสกรีนแซนด์ประเภทที่ 2 นี้จะคล้ายกับประเภทแรก คือ เป็นเม็ดกลม สีน้ำตาล จนถึงดำ สามารถเดินระบบ (Operate) ได้เฉพาะ CR (Continuous Process) และไม่เหมาะที่ใช้แบบ IR (Intermittent Regeneration)

กลไกการกำจัดเหล็กและเมงกานีสของเมงกานีสซีโอไลต์หรือเมงกานีสกรีนแซนด์

การออกซิไดซ์ (Oxidation) ปัจจุบันสามารถแยกการกำจัดได้ 2 แบบ คือ

1. Intermittent regenerate (IR) หมายถึง กระบวนการที่มีการเติมสารออกซิแดนซ์ลงไปหลังจากที่เมงกานีสกรีนแซนด์หมดสภาพในการออกซิไดซ์เหล็กและเมงกานีสแล้วเพื่อฟื้นฟูสภาพของสารกรอง จำเป็นต้องมีการหยุดระบบ

ในแหล่งน้ำใต้ดินที่มีปัญหาเมงกานีสน้อยกว่าเหล็กมากๆ กระบวนการ IR สามารถนำมาใช้ได้ ในกรณีนี้ กระบวนการนี้จะเริ่มต้นโดยการผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นสารกรองเมงกานีสกรีนแซนด์ การกำจัดเมงกานีสโดยตรงด้วยปฏิกิริยา oxidation และเคลือบอยู่บริเวณผิวของสารกรอง และเหล็กที่มีปริมาณมากกว่าก็จะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายกว่าเมงกานีส การเคลือบและอุดตันในชั้นสารกรองเมื่อมีการออกซิไดซ์เหล็กจะทำให้ความสามารถของสารกรองลดลงและความต้องการในการฟื้นฟูสภาพเมงกานีสกรีนแซนด์ด้วยโปแตสเซียมเปอร์เมงกาเนต (KMnO_4) จำเป็นต้องมี จากเหตุผลนี้ น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยเมงกานีสกรีนแซนด์แบบ IR เพื่อกำจัดเมงกานีสและเหล็กซึ่งมีปริมาณมากกว่า ควรจะใช้วิธีการกำจัดโดยใช้สารออกซิแดนซ์ ขึ้นต้นก่อน (pre-oxidation) อาจจะใช้คลอรีน หรือการเติมอากาศที่เพียงพอ

เพื่อเปลี่ยนเหล็กละลายน้ำให้กลายเป็นเหล็กไม่ละลายน้ำก่อน เหล็กจะตกตะกอนผลึกบนชั้นกรอง ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการดักด้วยสารกรองแอนทราไซด์ ตามคำแนะนำควรจะมี ความสูงของสารกรองประมาณ 12 ถึง 15 นิ้วสำหรับน้ำประปาที่และแมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์โดยแมงกานีสกรีนแซนด์และเปลี่ยนรูปเป็นแมงกานีสออกไซด์เคลือบอยู่ที่ผิวเม็ดแมงกานีสกรีนแซนด์ต่อไป

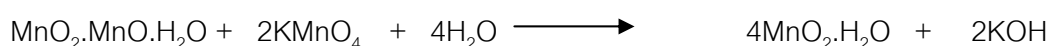
หลังจากเดินระบบไปได้ระยะหนึ่งแล้ว ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation capacity) ของสารกรองจะลดลงเรื่อยๆจนหมดดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการฟื้นฟูสภาพสารกรองต่อไป

ขั้นตอนในการฟื้นฟูสภาพสารกรองมีดังนี้

1. ล้างทำความสะอาดสารกรองด้วยน้ำสะอาด (back wash) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดค้างบนชั้นกรองออกและเพื่อจัดเรียงชั้นสารกรองใหม่ อนึ่งหากน้ำดิบมีความเข้มข้นของเหล็กและอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบผลิตค่อนข้างสูง การล้างทำความสะอาดสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์อาจจะทำก่อนที่สารกรองจะหมดความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation capacity) กล่าวคือตะกอนเหล็กจะไปอุดตันชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์โดยสังเกตจากการสูญเสียแรงดันในชั้นสารกรองสูง (high pressure drop)

2. การฟื้นฟูสภาพสารกรอง (regeneration) โดยการจ่ายสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ให้ไหลผ่านชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ โดยไหลจากด้านบนลงด้านล่าง โดยใช้ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ประมาณ 1.5 ออนซ์ (1 ออนซ์เท่ากับ 0.028 กิโลกรัม) ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรของสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ สารกรองดังกล่าวจะเข้าไปสัมผัสสารกรองเป็นเวลาหลายนาที (ประมาณ 30 ถึง 45 นาที) โดยการเตรียมสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ 4BV (BV คือปริมาตรสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์)และปล่อยให้สารละลายดังกล่าวไหลผ่านชั้นกรองที่อัตราการไหล 0.1BV โดยการจ่ายสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้วนไปเรื่อยๆจนครบเวลา หลังจากครบกำหนดเวลาแล้วให้ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ตกค้างอยู่บนชั้นกรองหมด วิธีการฟื้นฟูสภาพสารกรองแบบ IR นี้ค่อนข้างยืดหยุ่น กล่าวคือ สามารถเก็บสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตไว้ใช้ครั้งต่อไปได้เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

ปฏิกิริยาการฟื้นฟูสภาพสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ด้วยโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นดังนี้



2. Continuous regeneration (CR) หมายถึงกระบวนการที่มีการเติมสารออกซิเดนต์ เช่น คลอรีน (Cl_2) หรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต(KMnO_4) อย่างใดอย่างหนึ่งหรืออาจจะจ่ายทั้งสองอย่างลงไปใน

ระบบตลอดเวลา เพื่อให้สารกรองมีการฟื้นฟูสภาพตลอดเวลาโดยไม่ต้องหยุดระบบ วัตถุประสงค์หลักใช้กำจัดเหล็กออกจากน้ำเป็นหลักไม่ว่าน้ำนั้นจะมีหรือไม่มีแมงกานีส วิธีการนี้สามารถกำจัดเหล็กที่ละลายน้ำได้มากถึง 15 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณเหล็กละลายน้ำสูงขนาดนี้ อัตราการไหลของน้ำผ่านสารกรองจะอยู่ระหว่าง 3.67 ถึง 6.11 เมตร/ชั่วโมง และระยะเวลาที่ใช้ในการกรองจะลดลงเหลือประมาณ 4 ถึง 6 ชั่วโมง กรณีความเข้มข้นเหล็กละลายน้ำระหว่าง 0.5 ถึง 3 มิลลิกรัม/ลิตร ระยะเวลาที่ใช้ในการกรองจะเพิ่มขึ้นเป็น 18 ถึง 36 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของน้ำผ่านสารกรองระหว่าง 7.33 ถึง 12.22 เมตร/ชั่วโมง สำหรับอัตราการไหลของน้ำสูงๆระหว่าง 14.67 ถึง 19.56 เมตร/ชั่วโมง อัตรานี้สามารถนำมาใช้ได้ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระบบผลิตน้ำจะสั้นลง ตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในภาคสนาม (Pilot Plant) ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าตามคำแนะนำที่สามารถยอมรับได้และนิยมนำมาใช้ในการออกแบบ

CR Process จะประกอบด้วย การจ่ายสารเคมีออกซิแดนท์ (Oxidant) ซึ่งอาจจะจ่ายคลอรีน (Cl_2) และโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ที่บริเวณจุดน้ำดิบเข้าระบบ ก่อนเข้าสู่ถังกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Contact oxidation ขึ้นในชั้นสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ กล่าวคือลำดับการจ่ายสารเคมีมีดังนี้

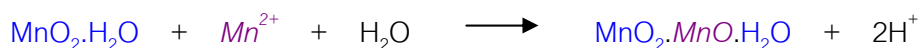
- ต้องมีการจ่ายคลอรีนก่อนซึ่งจะไปออกซิไดซ์ (Oxidize) เหล็กในปริมาณที่มากและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนให้เปลี่ยนรูปเป็นไม่ละลายน้ำ

- หลังจากนั้นเติมโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงไป โดยเว้นระยะห่างระหว่างจุดจ่ายสารเคมีทั้งสองให้เพียงพอเพื่อให้สารเคมีได้มีเวลาในการทำปฏิกิริยา โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เติมลงไปจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์แมงกานีสที่อยู่ในรูปละลายน้ำและปริมาณเหล็กละลายน้ำที่หลงเหลืออยู่ต่อไป แต่ต้องระมัดระวังในการจ่ายเพราะถ้าจ่ายเกินความพอดีจะทำให้เกิดสีในน้ำที่ออกจากถังกรองได้ โดยที่แมงกานีสกรีนแซนด์จะลดปริมาณโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยการเปลี่ยนรูปเป็นแมงกานีสออกไซด์และถูกเคลือบอยู่บนผิวแมงกานีสกรีนแซนด์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการ Regenerate ตลอดเวลา เมื่อใช้กระบวนการนี้ในการฟื้นฟูสภาพสารกรอง จะเห็นว่าช่วงเวลาระหว่างการฟื้นฟูสภาพ(regeneration)และการเกิด break-through จะสั้นลง จากเหตุผลดังกล่าว โรงงานผลิตน้ำขนาดเล็กซึ่งไม่ได้มีการเดินระบบผลิตน้ำตลอดเวลา เมื่อต้องการเดินระบบแบบ CR Process จะนิยมใช้คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์เพียงอย่างเดียว

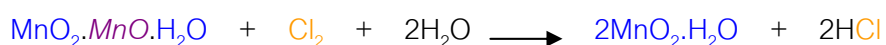
- ปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปถ้าเพียงพอสามารถผ่านชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ออกไปได้ก็จะกลายเป็นคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำสะอาดต่อไป และให้รักษาระดับคลอรีนอิสระคงเหลือที่ออกจากถังแมงกานีสกรีนแซนด์ให้มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อจะได้มั่นใจว่าแมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์และถูกเคลือบบนผิวเม็ดสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์

ถ้าน้ำดิบมีปริมาณเหล็กละลายน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตรและไม่มีแมงกานีส การจ่ายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่จำเป็นต้องใช้ เพียงแค่จ่ายคลอรีน (Pre-chlorination) ก่อนถึงกรองแมงกานีสกรีนแซนด์เท่านั้น

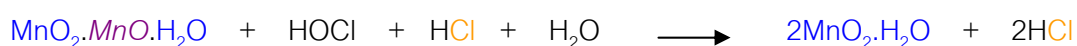
แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ที่เคลือบอยู่บนผิวของแมงกานีสกรีนแซนด์เมื่อทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสแล้วจะกลายเป็น $MnO_2 \cdot MnO \cdot H_2O$ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแมงกานีสกรีนแซนด์ค่อยๆหมดลง (inactive) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีการเติมคลอรีน มีดังนี้



แต่เมื่อมีการเติมคลอรีนลงในน้ำดิบก่อนเข้าสู่ชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเปลี่ยนไป คือ



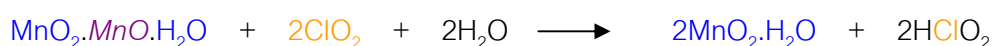
หรือ



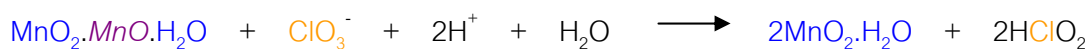
กรณีเมื่อมีการเติมคลอรีนไดออกไซด์ลงในน้ำดิบก่อนเข้าสู่ชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ จะพบว่า การกำจัดโดยใช้คลอรีนไดออกไซด์ร่วมกับแมงกานีสกรีนแซนด์นั้นจะใช้ปฏิกิริยาที่ 1 electron transfer เท่านั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเปลี่ยนไป คือ ปฏิกิริยา 1 electron transfer มีดังนี้



ดังนั้นปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้



หรือ



จากปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าแมงกานีสกรีนแซนด์ประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพ (Active) ในการออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสอยู่ตลอดเวลาเมื่อมีการเติมคลอรีนหรือคลอรีนไดออกไซด์

ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อเป็นการกระตุ้นแมงกานีสกรีนแซนด์นั้นโดยทั่วไปจะเติมเพื่อให้มีปริมาณคลอรีนคงเหลือหรือคลอรีนที่ตกค้าง (Residual Chlorine) อยู่ในน้ำที่กรองแล้วประมาณ 0.5 - 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร

ชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์สามารถทำหน้าที่กำจัดเหล็กและแมงกานีสได้อย่างสมบูรณ์ต้องประกอบด้วย

1. การควบคุมและการเดินระบบ Continuous Regeneration (CR) อย่างถูกต้องจะทำให้สมรรถนะในการทำงานของแมงกานีสกรีนแซนด์เต็มความสามารถ โดยการวัดความสามารถจากน้ำดิบที่มีการปนเปื้อนแมงกานีส ซึ่งต้องมีการเติมสารออกซิแดนท์ลงไปในที่นี้จะใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับคลอรีน การเติมโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตในปริมาณน้อยๆจะไปลดปริมาณแมงกานีสก่อนเข้าสู่ถังกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ กล่าวคือจะเกิดแมงกานีสออกไซด์ตกตะกอนผลึกเคลือบอยู่บนผิวแมงกานีสกรีนแซนด์ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า continuous regenerated state ในทางตรงกันข้ามการจ่ายสารออกซิแดนท์ในปริมาณน้อยๆเป็นบางครั้งบางคราวก็จะช่วยในการเพิ่มปริมาณสารออกซิแดนท์ในการฟื้นฟูสภาพ (regenerate) แมงกานีสกรีนแซนด์เท่านั้นแต่ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา oxidation กับเหล็กและแมงกานีสในรูปละลายน้ำ ดังนั้น CR Process แมงกานีสกรีนแซนด์จะเป็นตัว redox buffer ทั้งปฏิกิริยา oxidation และ reduction ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำที่เข้าระบบ

2. มีตัวเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับเหล็กและแมงกานีส ซึ่งจะถูกกำจัดออกโดยปฏิกิริยา oxidation แมงกานีสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะแสดงความสามารถเป็นตัว catalyst และตัวเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับแมงกานีสและเหล็กได้แก่ ออกซิเจน คลอรีน โอโซน หรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วและสมบูรณ์

การจ่ายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตในปริมาณที่น้อยเกินไปก่อนเข้าถังแมงกานีสกรีนแซนด์ในกระบวนการ CR Process จะทำให้ความสามารถในการดึงแมงกานีสละลายน้ำให้มาเกาะที่ผิวเม็ดสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์หมดไป ทำให้แมงกานีสในรูปละลายน้ำเกิดการหลุดลอดผ่านชั้นกรองปนเปื้อนออกมากับน้ำสะอาดได้ แต่ถ้าน้ำดิบไม่มีแมงกานีสและมีการเติมคลอรีนก่อนเข้าถังกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ จะเกิดการ regenerate ตลอดเวลา โดยสามารถตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ออกจากถังกรองได้

ในกรณีที่เป็นระบบภายใต้ความดัน ซึ่งชั้นกรองจะประกอบด้วยชั้นกรวดที่รองรับชั้นเมงกานีสกรีนแซนด์และชั้นแอนทราไซต์ (Anthracite) ซึ่งเรียกว่าชั้นกรองแบบ dual media bed จะประกอบด้วย

1. ชั้นกรองแอนทราไซต์ มีความสูงระหว่าง 12 ถึง 24 นิ้ว จะทำหน้าที่ดักตะกอนหลักที่เกิดจากปฏิกิริยา oxidation จากการเติมสารเคมีลงไป
2. ชั้นกรองเมงกานีสกรีนแซนด์ มีความสูงระหว่าง 15 ถึง 24 นิ้ว จะทำหน้าที่กำจัดเมงกานีสที่ละลายน้ำจากปฏิกิริยา contact oxidation กับเมงกานีสออกไซด์บนผิวสารกรอง

คำแนะนำ ชั้นกรองแอนทราไซต์ที่สูงมากๆ จะดีสำหรับน้ำที่มีปริมาณเหล็กสูงกล่าวคือมากกว่า 2 – 3 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในการเดินระบบผลิตน้ำจะเกิดการสูญเสียแรงดัน (pressure drop) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณชั้นกรองเนื่องจากชั้นกรองจะมีตะกอนหลักที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำจากปฏิกิริยา oxidation หลังจากเดินระบบจนถึงระดับการสูญเสียแรงดันประมาณ 8 – 9 psi (pound/in²) ชั้นกรองจะต้องมีการล้างทำความสะอาด (back wash) เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่อยู่บนชั้นกรองออกไป แต่กรณีทั่วๆไปการสูญเสียแรงดันควรจะอยู่ที่ 2 – 5 psi ซึ่งการทำความสะอาดจะใช้แรงดันน้ำปกติ แต่หากชั้นกรองเกิด mudballs จำเป็นต้องใช้ลม (air backwashing) ด้วย

เมงกานีสกรีนแซนด์ที่ขายทั่วๆไปแทบทุกยี่ห้อจะบอกวิธีการเดินระบบและการ regenerate ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะติดอยู่บริเวณด้านข้างถัง ก่อนนำไปใช้ควรจะมีการฟื้นฟูสภาพสารกรองก่อนโดยการแช่ด้วยสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄) ความเข้มข้น 2 – 3% เป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง ขั้นตอนการเตรียมประกอบด้วยนำไปแช่สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1 ปอนด์ (0.4536 กิโลกรัม) ละลายน้ำเปล่า 5 แกลลอน (18.9 ลิตร) นำสารละลายดังกล่าวไปแช่สารกรองให้ท่วม เพื่อให้เกิดการดูดซับ โดยแช่ไว้ข้ามคืนหลังจากนั้นในช่วงเช้าของอีกวันก็ให้ล้างทำความสะอาดสารกรอง (back wash) จนกระทั่งสีของโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต(สีม่วง) หดไปและเมื่อเริ่มต้นเดินระบบให้รักษาระดับคลอรีนอิสระคงเหลือที่ออกจากถังกรีนแซนด์ไว้ที่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อจะได้มั่นใจว่าเมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์และถูกเคลือบอยู่บนผิวของกรีนแซนด์หมด

การล้างทำความสะอาด (back wash)

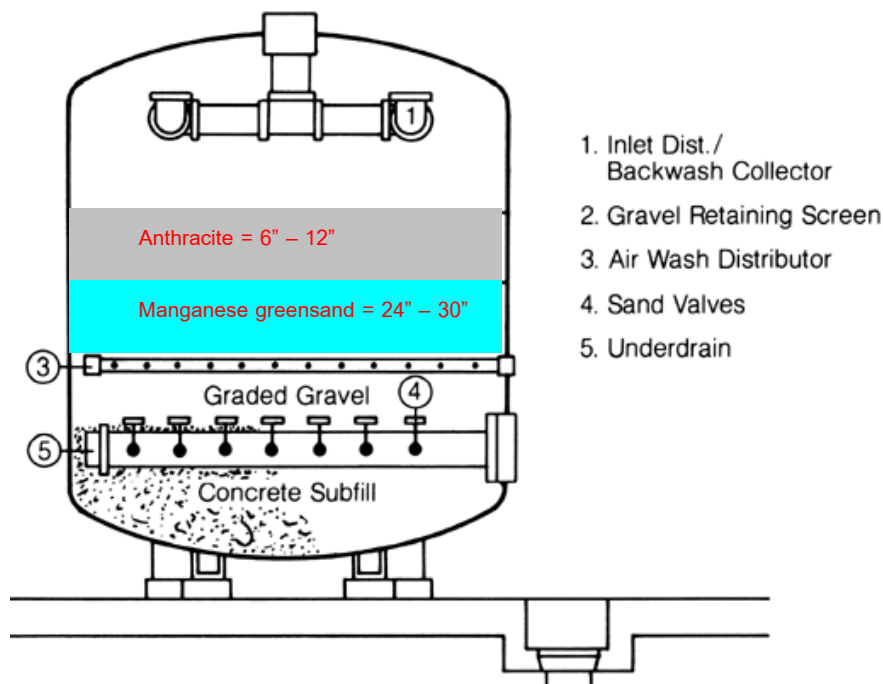
คำแนะนำสำหรับการล้างทำความสะอาดชั้นกรองเมงกานีสกรีนแซนด์ อัตราการไหลของน้ำสำหรับล้างทำความสะอาดอยู่ที่ 12 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต (29.33 เมตร/ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส ที่อัตรานี้เพียงพอที่จะทำให้ชั้นกรองขยายตัวได้ประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ผู้ควบคุมระบบควรจดบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้างทำความสะอาดและอัตราการกรองไว้เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมระบบ

ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับโรงงานผลิตน้ำขนาดเล็ก ยกตัวอย่าง เช่น โรงงานผลิตน้ำติดตั้งระบบถังกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ใช้แหล่งน้ำดิบจากน้ำบาดาลล้างทำความสะอาด (back wash) ที่อัตราการไหล 12 แกลลอน/นาที (2.72 ลบ.เมตร/ชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานผลิตน้ำขนาดเดียวกันแต่มีปัญหาเหล็กเพียงอย่างเดียวการล้างทำความสะอาดอาจใช้อัตราการไหลเพียง 2 แกลลอน/นาที(0.454 ลบ.เมตร/ชั่วโมง)

ระดับความลึกของชั้นกรอง (Minimum bed depth)

1. ระบบ IR Process ระดับความลึกของชั้นแมงกานีสกรีนแซนด์ค่าต่ำสุดที่ 24 ถึง 30 นิ้ว
2. ระบบ CR Process ระดับความลึกของชั้นแมงกานีสกรีนแซนด์ค่าต่ำสุดที่ 18 ถึง 20 นิ้ว

ถ้ามีการกำจัดเหล็กออกจากระบบก่อนด้วยสารออกซิแดนท์ (oxidant) ก่อนเข้าถังกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ บริเวณด้านบนของชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ต้องมีแอนทราไซต์เพื่อกรองตะกอนเหล็กออกก่อน



ข้อควรคำนึงสำหรับการใช้แมงกานีสกรีนแซนด์ในระบบ CR และ IR มีดังนี้

1. ค่า pH ของน้ำดิบเข้าระบบต้องไม่น้อยกว่า 6.2 ถ้าค่า pH ของน้ำดิบเข้าระบบน้อยกว่า 6.2 ต้องมีระบบการปรับค่า pH ให้ได้ตามค่าดังกล่าว

2. ในกระบวนการ CR (Continuous Regeneration) ต้องควบคุมค่า pH ของน้ำดิบให้อยู่ระหว่าง 6.8 ถึง 7.0 เพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปของเหล็กเป็นเหล็กไม่ละลายน้ำ
3. ในกรณีการสูญเสียแรงดันค่อนข้างสูง (เกิน 10 psi (pound/in²) ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ การเกิดกรณีนี้ จะทำให้เม็ดสารกรองแอมกานีสเสียหายได้
4. IR Process เวลาที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดสารกรองจะนานกว่า CR Process กล่าวคือ
 - a. CR Process จะใช้ระยะเวลาล้างทำความสะอาด (back wash) และ Rinsing ประมาณ 15 นาที
 - b. IR Process จะใช้เวลาล้างทำความสะอาด (back wash) และ Rinsing ประมาณ 75 นาที

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กและแอมกานีสและระบบที่ใช้กำจัด

ปริมาณเหล็กและแอมกานีส	ระบบที่ใช้กำจัด
1. ปริมาณเหล็ก = 5 – 7 mg/l ปริมาณแอมกานีส = 0 mg/l	1. การเติมอากาศ(ราคาถูก) ก่อน 2. ใช้คลอรีน
2. ปริมาณเหล็ก = น้อยกว่า 5 – 7 mg/l ปริมาณแอมกานีส = 0.15 mg/l	1. ออกซิไดซ์เหล็กก่อนด้วยการเติมอากาศ (ราคาถูก) หรือคลอรีน 2. จ่ายไปแอสซีมเปอร์แมนต 3. สารกรองแอมกานีสกรีนแซนด์
3. ปริมาณเหล็ก = 1.2 mg/l ปริมาณแอมกานีส = 0 mg/l	1. ออกซิไดซ์เหล็กก่อนด้วยการเติมอากาศ (ราคาถูก) และคลอรีนเพียงพอให้เหลือเป็นคลอรีนอิสระคงเหลือหลังสารกรอง 2. ทราयरอง
4. ปริมาณเหล็ก = 1.2 mg/l ปริมาณแอมกานีส = 0.8 mg/l	1. ออกซิไดซ์เหล็กก่อนด้วยการเติมอากาศ (ราคาถูก) หรือคลอรีนเพียงพอให้เหลือเป็นคลอรีนอิสระคงเหลือหลังสารกรอง 2. สารกรองแอมกานีสกรีนแซนด์และแอนทราไซต์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดแอมโมเนียด้วยแอมโมเนียสกรีนแซนด์

1. ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ

เมื่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มมากขึ้น อำนาจในการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียสกรีนแซนด์จะหมดลงเร็ว ทำให้อายุของสารกรองสั้นลง ซึ่งจะทำให้เปลืองสารเคมีที่ใช้ในการรีเจเนอเรชั่น นอกจากนี้ อัตราการกรองที่ใช้จะต่ำลง เพื่อให้แอมโมเนียถูกกำจัดออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ค่าพีเอช

ค่าพีเอชจะมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแอมโมเนีย โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเพิ่มตามการเพิ่มของค่าพีเอชหรือลดลงเมื่อค่าพีเอชลดและที่ค่าพีเอชเป็นกรดอาจทำให้แอมโมเนียไดออกไซด์ที่เคลือบบนสารกรองหลุดออก สำหรับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำด้วยกรีนแซนด์คือ พีเอชในช่วง 7.5 – 8 สำหรับกระบวนการรีเจเนอเรชั่นแบบทีละครั้ง ส่วนรีเจเนอเรชั่นแบบต่อเนื่อง สารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียที่กว้างกว่า

3. อัตราการกรอง

อัตราการกรองต่ำจะทำให้เวลาสัมผัสระหว่างน้ำดิบกับชั้นกรองมีมากขึ้น แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์โดยชั้นกรองของแอมโมเนียสกรีนแซนด์ได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอัตราการกรองสูง เวลาสัมผัสระหว่างน้ำดิบกับชั้นกรองน้อย โอกาสที่แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์สั้นลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียลดลง

4. การรีเจเนอเรชั่น

การ Regeneration เป็นการฟื้นฟูอำนาจการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียสกรีนแซนด์ให้มีประสิทธิภาพเช่นเดิม การ Regeneration จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียของแอมโมเนียสกรีนแซนด์ ดังนั้นในการ Regeneration แบบทีละครั้ง จึงต้องใช้สารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อให้แน่ใจว่าแอมโมเนียสกรีนแซนด์มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์เหมือนเดิมสำหรับการรีเจเนอเรชั่นแบบต่อเนื่องนั้นการเติมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตควรมีเวลาสัมผัสระหว่างน้ำดิบกับสารละลายประมาณ 20 – 60 วินาที ก่อนที่น้ำดิบจะเข้าสู่ถังกรองเพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์

5. สารที่เจือปนในน้ำดิบ

สารที่เจือปนในน้ำดิบ เช่น เหล็ก สารอินทรีย์ สารประกอบไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซี และ ความขุ่น จะมีผลทำให้ความต้องการปริมาณสารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์ เพิ่มมากขึ้น และทำให้อำนาจในการออกซิไดซ์ของแมงกานีสกรีนแซนด์ลดลงด้วย

6. ความเป็นต่าง

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแมงกานีสที่เกิดขึ้น จะทำลายสภาพความเป็นต่างของน้ำ เนื่องจากมีกรดจากปฏิกิริยา ดังนั้นพีเอชของน้ำจะลดลงถ้าไม่มีสภาพความเป็นต่างไม่เพียงพอที่จะทำลาย กรดที่เกิดขึ้น ทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะช้าลง

7. อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีผลต่อค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังมีผลต่อสมดุลย์ของกรด-ต่าง และการละลายน้ำของสารต่างๆในน้ำ อัตราการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแมงกานีสกับออกซิเจน จะช้าลงเมื่ออุณหภูมิลดลง

