

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

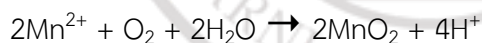
2.1 ทฤษฎีการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล

เหล็กในแหล่งน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปของเหล็ก(II) คือเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งละลายน้ำ แต่เมื่อนำขึ้นมาจากใต้ดินทิ้งไว้ในบรรยากาศสักครู่ก็จะขุ่นและตกตะกอนกลายเป็น เหล็ก(III) ในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) มีสีเหลืองแดง ในส่วนของแมงกานีสในแหล่งน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปของแมงกานีสไบคาร์บอเนต ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งละลายน้ำแต่จะปรากฏอยู่สองรูปแบบคือ แมงกานีส (Mn^{2+}) และแมงกานีส (Mn^{3+}) ซึ่งเมื่อสัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นแมงกานีส (Mn^{4+}) ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลดำ การกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล จะมีหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ ปฏิกริยาทางเคมีของการแลกเปลี่ยนไอออน การกรอง และการดูดซับ

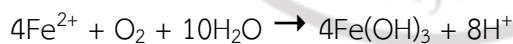
2.2.1 ปฏิกริยาทางเคมีของการแลกเปลี่ยนไอออน

ปกติเหล็กในแหล่งน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งละลายน้ำแต่เมื่อนำขึ้นมาจากใต้ดินทิ้งไว้ในบรรยากาศสักครู่ก็จะขุ่นและตกตะกอนกลายเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีสีเหลืองแดงและแมงกานีสในแหล่งน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปของแมงกานีสไบคาร์บอเนต ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งละลายน้ำ แต่จะปรากฏอยู่สองรูปแบบคือ แมงกานีส (Mn^{2+}) และแมงกานีส (Mn^{3+}) ซึ่งเมื่อสัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นแมงกานีส (Mn^{4+}) ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลดำ การที่จะเปลี่ยนสภาพเหล็กและแมงกานีสที่ละลายน้ำให้กลายเป็นเหล็กและแมงกานีสให้ตกตะกอนออกมานั้นจะใช้ ออกซิเจนอากาศหรือตัวออกซิไดซ์ซึ่งมีสมการดังนี้ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2020)

กรณีใช้อากาศออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสตกตะกอน



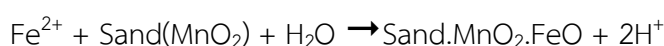
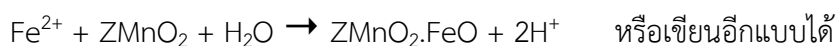
โดยไอออนแมงกานีส(II) 1 mg/L จะทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 0.29 mg/L ที่ pH 9-9.5



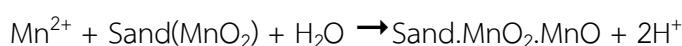
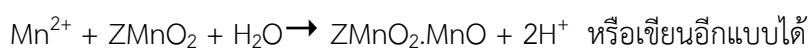
โดยไอออนเหล็ก(II) 1 mg/L จะทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 0.14 mg/L

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กรณีใช้ตัวออกซิไดซ์แมงกานีสกรีนแซนด์หรือที่เรียกว่าซีโอไลท์มาทำให้เหล็กและแมงกานีสตกตะกอน



และ

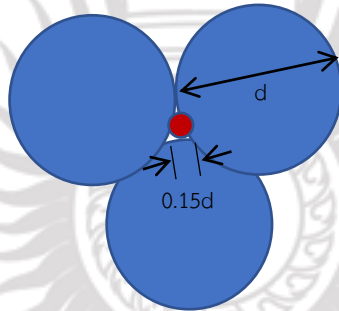


จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป การล้างย้อนพื้นฟูสภาพด้วยน้ำปกติที่นิยมใช้กันนั้นจะทำให้สารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์จะค่อย ๆ หมดประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสในน้ำไป หากจะให้เหมือนเดิมต้องล้างย้อนพื้นฟูสภาพด้วยคลอรีนและ/หรือโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ซึ่งปกติทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือนก็ไม่ได้ทำแบบนี้ เพราะมีความยุ่งยาก มักจะใช้วิธีเปลี่ยนสารกรองเป็นประจำทุก 2-3 ปีแทน

2.2.2 การกรอง (Filtration)

2.2.2.1 กลไกการกรอง

การกรองเป็นกระบวนการ แยกของแข็งออกจากของเหลวซึ่งให้ของเหลวไหลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนเพื่อดักตะกอนแขวนลอยไว้



ภาพที่ 2.1 ขนาดเฉลี่ยของสารกรองที่เป็นทรงกลมเทียบกับขนาดของอนุภาคแขวนลอยที่ไหลผ่านช่องว่าง

ที่มา : (Mohamed Ghonam, 2008 : 867)

เมื่อเปรียบเทียบขนาดระหว่างสารกรองโดยทั่วไปที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d กับอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาด $0.15d$ ซึ่งขนาดเฉลี่ยของสารกรองทั่วไปมีค่า 400-1500 μm หรือขนาดเม็ดทรายกรองเฉลี่ย 800 μm ซึ่งขนาดสารกรองนี้จะไม่เล็กไปกว่า 30-80 ไมโครเมตร ในขณะที่อนุภาคในน้ำมีขนาดเฉลี่ยดังตาราง

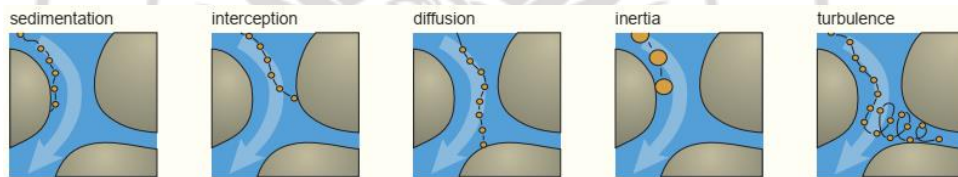
ตาราง 2.1 ขนาดเฉลี่ยอนุภาคแขวนลอยชนิดต่างๆในน้ำ

ชนิดสารแขวนลอย	ขนาด(ไมโครเมตร)
ดิน	1-100
เชื้อโรคบิด	5
แบคทีเรีย	0.3-3
ไวรัส	0.005-0.010
อนุภาคที่มองเห็นได้	37

การกรองน้ำเป็นกระบวนการทางกายภาพที่ใช้กำจัดสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ตะกอนเบาที่ไม่ตกตะกอน อนุภาคดินและสาหร่าย เป็นต้น การกรองเป็นระบบหนึ่งในการทำน้ำประปา หลักการคือ อนุภาคตะกอนเล็กเหล่านี้จะแทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างของชั้นกรองที่ชั้นผิวหน้า ทำให้ตะกอนพอกพูนเกาะที่พื้นผิวส่วนบนของชั้นสารกรองมากขึ้นเรื่อยๆ และอนุภาคเหล่านี้เมื่อหลุดเข้าไปในช่องว่างสารกรองทำให้เกิดการอุดตัน อัตราการไหลของน้ำผ่านสารกรองจะลดลง หรือเกิดความดันสูญเสียมากขึ้นจึงต้องมีการล้างทำความสะอาดสารกรองเป็นระยะ ๆ

หลักการของระบบกลไกการกรองคือการเคลื่อนที่ของตะกอนต่างๆ ในน้ำเข้าไปหาสารกรอง โดยมี 3 กลไกหลัก คือ

ก.กลไกทางกายภาพ เมื่อน้ำไหลผ่านสารกรองอนุภาคสารแขวนลอยและคอลลอยด์ที่ใหญ่กว่าช่องว่างสารกรองก็จะถูกดักไว้ ส่วนกลไกการเคลื่อนที่ (Transport) ดังนี้



ภาพที่ 2.2 กลไกการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าหาสารกรอง

ที่มา : (Mohamed Ghonam, 2008 : 867)

1) การตกตะกอน (Sedimentation) คือการที่ตะกอนตกลงบนสารกรองภายในชั้นกรอง

2) การเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) คือตะกอนเคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแสและเคลื่อนที่ไปพบผิวสารกรอง

3) การเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง (Diffusion) คือการที่อนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนมีการเคลื่อนที่แบบแพร่กระจาย (Brownian Motion)

4) ตะกอนมีความเฉื่อย (Inertia) คือตะกอนที่มีน้ำหนักมากจนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกระแส และตกลงบนสารกรองเสียก่อน

5) การเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำวน (Turbulence) คือตะกอนที่ไหลตามกระแสน้ำที่ปั่นป่วนแล้วไปชนแล้วค้างติดบนผิวสารกรอง

ข. กลไกทางกายภาพและเคมี ใช้หลักทางฟิสิกส์มาอธิบาย จะเกิดทั่วชั้นกรองมี 4 แบบคือ

ข.1 การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical Adsorption) คือการดูดติดผิวที่อาศัยการยึดเหนี่ยวทางเคมีระหว่างสารกรองกับตะกอน จะมีประสิทธิภาพสูงและเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่อุณหภูมิสูง

ข.2 การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical Adsorption) คือการดูดติดผิวที่อาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารกรองกับตะกอน จะมีประสิทธิภาพสูงที่อุณหภูมิต่ำ ประกอบด้วยแรงสามลักษณะคือ

1) Electrostatic Forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดบนสนามไฟฟ้าสถิตบริเวณสารกรอง

2) Electrokinetic Forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า โดยตะกอนนี้เคลื่อนที่บนสารกรองตลอดเวลา

3) Van Der Waals Forces คือ แรงดึงดูดระหว่างตะกอนกับสารกรอง จะไม่เกาะติดบนที่ใดที่หนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะเกาะติดบนผิวโดยที่มีการเคลื่อนที่อิสระอยู่ตลอดเวลาและจะอยู่ในขอบเขตของวัตถุทั้งสอง

ข.3 แรงติดแน่น (Adhesive Force) คือ แร่ยึดติดแน่นให้ตะกอนประเภท Flocculants ติดแน่นกับผิวสารกรอง แต่เนื่องจากแรงน้ำที่ไหลผ่านในชั้นกรอง ได้ชะตะกอนบางส่วนที่ผิวสารกรองและพาไปยังชั้นกรองที่ลึกลง จนอาจหลุดออกจากชั้นกรอง ทำให้น้ำขาออกมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้

ข.4 Coagulation Flocculation คือ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ตะกอนในน้ำได้มีโอกาสเกาะตัวรวมกันทำให้ขนาดตะกอนใหญ่ขึ้น ทำให้ติดค้างในชั้นกรองได้

ค.กลไกทางชีวเคมี คือปริมาณจุลชีพเติบโตขึ้นในชั้นกรองเกิดการสร้างเมือกหรือกลุ่มเซลล์ ทำให้ลดช่องว่างในชั้นกรอง สามารถดักตะกอนที่มีขนาดเล็กได้

2.2.2.2 ชนิดของสารกรอง

สารกรองที่นำมาใช้ในระบบประปาโดยทั่วไปคือ ทราย แอนทราไซท์ หินคาร์เนท โดยในชั้นกรองจะมีอยู่สามแบบคือ 1.ชั้นกรองเดี่ยวทั้งหมดอาจใช้ทราย หรือแอนทราไซท์ 2.ชั้นกรองมีสารกรองสองชนิด คือใช้ทรายและแอนทราไซท์ร่วมกัน และ 3.ชั้นกรองมีสารกรองสามชนิด เช่น ทราย แอนทราไซท์และหินคาร์เนทร่วมกัน

2.2.3 การดูดติด (Adsorption)

การดูดติดหรือกระบวนการดูดซับ (ธีระพงษ์, 2547) คือการเคลื่อนย้ายมวลสาร (mass transfer) ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคหรือมวลสารที่อยู่ในของเหลวถูกเคลื่อนย้ายมาสะสมหรือเกาะติดบนพื้นผิวของของแข็ง ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคนั้นออกจากของเหลวได้ ซึ่งอนุภาคที่มาสะสมหรือถูกดูดซับติดที่พื้นผิวนี้นี้จะเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) และเรียกดักตัวกลางของแข็งที่ทำการดูดซับว่า สารดูดซับ (absorbent) โดยมีขั้นตอนของการดูดซับ 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

ขั้นที่ 1 อนุภาคหรือคอลลอยด์ (adsorbate) จะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของสารตัวกลาง

ขั้นที่ 2 อนุภาคหรือคอลลอยด์จะฟุ้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของสารตัวกลาง

ขั้นที่ 3 เกิดการเกาะติดผิวในรูพรุนนี้ระหว่าง adsorbate และพื้นที่ผิวของสารตัวกลางซึ่งอาจดูดติดด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้ง 2 ชนิดพร้อมกัน แต่ในทางการบำบัดน้ำ การ

เกาะติดผิวจะพิจารณาการเกาะติดผิวด้วยแรงทางฟลิกสมากกว่าทางเคมี ซึ่งแสดงกลไกการเกาะติดผิวดังภาพที่ 2.3



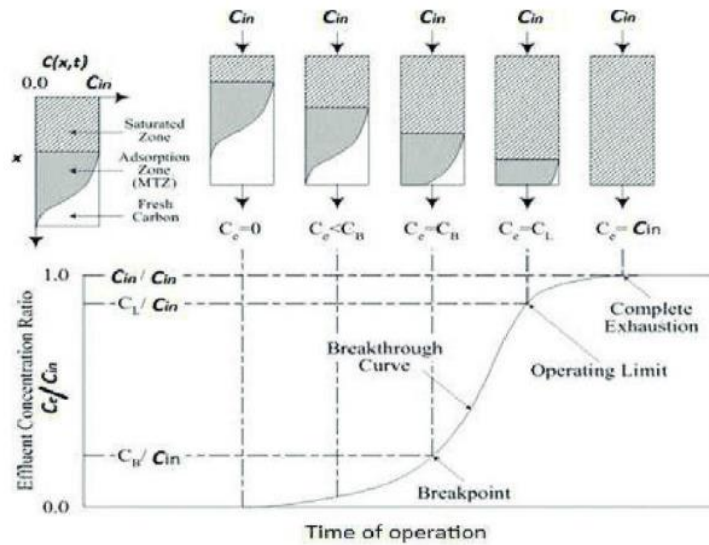
รูปที่ 2.3 ช่องว่างของถ่านกัมมันต์และอนุภาคขนาดต่างๆ ที่เข้าไปเกาะอยู่

ที่มา : (ELGA LabWater Inc., 2563) และ (Great Lakes Miscanthus Inc., 2563)

กลไกของถังกรองดูดซับแบบชั้นกรอง (bed) ที่ชั้นสารดูดซับอยู่กับที่ (Fixed-bed Adsorption column) ภาพที่ 2.4 แสดงการไหลผ่านของของเหลวที่มีความเข้มข้น C_{in} ไหลผ่านถังกรองที่มีชั้นกรอง (bed) ช่วงความสูงของสารกรองที่มีกระบวนการดูดซับคือ MTZ ซึ่งจะเกิดการส่งผ่านจากสถานะสารละลายในน้ำเป็นของแข็ง เรียกว่า mass transfer zone และของเหลวที่ออกจากถังกรองนี้จะมีค่าความเข้มข้น C_e

โดยบริเวณถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer zone ; MTZ) เป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการ

ดูดซับในชั้นของสารดูดซับ (bed) โดยค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปถึงจุดอิ่มตัว (saturated) ในกรณีที่บรรจุสารดูดซับในคอลัมน์ปิดแบบชั้นสารดูดซับอยู่กับที่ (fixed bed) การเกิดบริเวณถ่ายโอนมวลสารเกิดขึ้นดังภาพที่ 2.4 เมื่อน้ำที่มีสารถูกดูดซับไหลเข้าสู่คอลัมน์ของสารดูดซับด้านบนและถูกสารดูดซับดูดซับเอาไว้ ทำให้น้ำที่สะอาดไหลออกจากคอลัมน์ทางด้านล่าง จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นบริเวณถ่ายโอนมวลสาร จะเริ่มจากด้านบนของชั้นของสารดูดซับ เมื่อชั้นบนของสารดูดซับถึงจุดอิ่มตัว บริเวณถ่ายโอนมวลสารจะเคลื่อนที่ลงมาตามทิศทางการไหลของน้ำ จนถึงจุดหนึ่งจะเริ่มมีสารถูกดูดซับหลุดออกจากชั้นของสารดูดซับ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ออกจากระบบต่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเริ่มต้น กับปริมาตรของน้ำหรือเวลาเดินระบบ เรียกว่า กราฟเบรคทูร



ภาพที่ 2.4 กราฟเบรคทรู(Breakthrough curve)และบริเวณส่งถ่ายจากสถานะสารละลายในน้ำ เป็นของแข็ง(MTZ)

ที่มา: (Muzher mahdi Aldoury, 2563)

ที่ช่วงเบรคที่รูนี้ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ทางออกจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนในที่สุดจะเท่ากับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับทางเข้า จะเห็นได้ว่าความหนาของชั้นสารดูดซับมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยกระบวนการดูดซับจะมีประสิทธิภาพต่อเมื่อความหนาของชั้นสารดูดซับมากกว่าความหนาของบริเวณถ่ายโอนมวลสาร

ที่จุดเริ่มเบรคทรูจะกำหนดให้ $C_e=0.05C_{in}$ และจุดสุดท้าย (Operating limit) กำหนดไว้ที่ $C_e=0.95C_{in}$ หากกำหนดให้ Z เป็นความยาวทั้งหมดของถังซึ่งมีปริมาตร V_T และ Z_s เป็นช่วงที่มีการดูดซับจะมีปริมาตรเท่ากับ V_B

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Sven H. Behrens & David G. Grier, 2008) ได้คำนวณความหนาแน่นประจุไฟฟ้าที่ผิวแก้วและซิลิกาเมื่อสัมผัสกับน้ำแล้ววัดแรงไอออนิกที่ผิว (Elif Soyer et al., 2010) ได้ศึกษาการกรองเร็วด้วยทรายเทียบกับสารกรองแก้วบด พิจารณาความขุ่นและความดันสูญเสียเมื่อกรองผ่านไประยะหนึ่ง ผลที่ได้คือความขุ่นกรองได้ใกล้เคียงกัน แต่สารกรองแก้วบดจะเกิดความดันสูญเสียน้อยกว่าและเกิดการอุดตันน้อยกว่าในชั้นกรอง ต่อมาได้ทำการทดลองเพิ่มขึ้นโดย (Elif Soyer et al., 2013) ได้นำสารกรองแก้วบดมาใช้แทนทรายกรองพิจารณาที่ความขุ่นเข้าระบบ 6-14 NTU โดยระบุขนาดเม็ดสารกรอง, ค่า effective size และ UC แล้วตรวจวัดค่าความดันสูญเสียและความขุ่นออกระบบ กับเวลา ได้ผลว่า ความสามารถกรองความขุ่นได้เท่าๆกัน และสารกรองแก้วจะเกิดความดันสูญเสียน้อยกว่าทรายกรอง ต่อมา (Selda Yigit Huncce et al., 2019) ได้ใช้ค่า FI (Ives's Filterability Index) ในการประเมินความสามารถของสารกรองแก้วเทียบกับทรายกรองในระบบกรองเร็วโดยจะศึกษาผลของลักษณะรูปร่าง(shape) ต่อ

ความสามารถในการกรอง (โรสลีนา จาราแวน และคณะ, 2017) ได้ทดสอบการไหลของน้ำผ่านสารกรอง ททราย คาร์บอน แมงกานีส แอนทราไซด์ และเรซิน พบว่าเรซินมีค่าการไหลต่างจากสารกรองอื่น



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี