บทที่ 3

การกรองด้วยวัสดุเม็ด

การกรองด้วยวัสดุเม็ดนอกจากจะใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกรองน้ำทิ้งจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอย การกรองเป็นกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีสำหรับขจัดหรือแยกสารแขวนลอยคอลลอยด์ (colloid) และพวกจุลชีพต่าง ๆ เช่น แอลจี แบคทีเรีย สาหร่าย ไวรัส ตลอดจนสี แมงกานีส และเหล็กที่ถูกอ๊อกซิไดส์ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือเป็นตะกอนที่เกิดจากผลของกระบวนการจับตัวและรวมตัวตกตะกอน น้ำที่เข้ากรองจะไหลผ่านช่องว่างของชั้นสารกรอง (filter media) ซึ่งจะหน้าที่ดักจับอนุภาคต่าง ๆ ไว้

กระบวนการกรองประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

- การกรอง (Filtration)
- การทำความสะอาด (Cleaning) วัสดุกรอง

3.1 กลไกของการกรอง (Particle – Removal Mechanisms)

กลไกของการกรองในวัสดุเม็ดประกอบด้วยรูปแบบหลักดังนี้

3.1.1 การดักอนุภาค (Straining)

การดักอนุภาคทางกล (Mechanical) อนุภาคขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างสารกรองจะถูกดักจับไว้ไม่สามารถลอดผ่านสารกรองได้

การดักอนุภาคตามการไหล (Chance contact) อนุภาคขนาดเล็กแม้ว่าสามารถลอดช่องว่างระหว่างสารกรองได้แต่อาจจะถูกดักจับไว้หากอนุภาคนั้นไปสัมผัสกับวัสดุกรองในระหว่างที่ไหลผ่าน

3.1.2 การตกตะกอน (Sedimentation)

อนุภาคจะเคลื่อนที่และตกตะกอนลงบนสารกรองที่อยู่ในชั้นสารกรอง

3.1.3 การสกัดกั้น (Interception)

อนุภาคที่เคลื่อนที่ตามการไหลจะถูกจับเมื่ออนุภาคนั้นสัมผัสกับผิวของสารกรอง

3.1.4 การยึดติด (Adhesion)

อนุภาคอาจยึดติดอยู่ที่ผิวของสารกรองและอนุภาคเหล่านั้นอาจเกาะรวมตัวกันจนเกิดการอุดตันของชั้นสารกรองทำให้เพิ่มแรงเฉือน (shear force) ขึ้นอย่างมาก

3.1.5 การจับตัวเป็นฟล็อค (Flocculation)

อนุภาคที่มีขนาดเล็กอาจรวมตัวกันเองหรือรวมกับอนุภาคขนาดใหญ่กลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างสารกรองได้

3.2 สารกรอง (Filter Media)

สารกรองที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ป้องกันไม่ให้ตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไหลผ่านสารกรองได้
- ดักและจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไว้อย่างแน่นพอเหมาะ เพื่อจะง่ายในการชะออกโดยการล้างกลับ
- สามารถดักจับตะกอนไว้ในปริมาณมากที่สุดโดยไม่อุดตันง่าย

3.2.1ชนิดของสารกรอง

ทราย ทรายที่ใช้กรองน้ำส่วนใหญ่จะเป็นทรายซิลิกา แต่บางกรณีก็ใช้ไม่ได้เพราะซิลิกาจะละลายน้ำเกิดปัญหาต่อไปในการใช้งาน นอกจากนี้กรวดและทรายที่ใช้สำหรับการกรองน้ำต้องไม่มีหินปูน (limestone) ซึ่งมีเนื้ออ่อนและละลายน้ำได้ดีปนอยู่ เพราะเมื่อใช้งานกรองน้ำแล้วมีการล้างและกวนมากเข้าจะทำให้มีการสึกกร่อนขนาดเล็กลงได้

แอนทราไซต์ เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอนซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของทรายและดักจับตะกอนและอนุภาคต่าง ๆ ได้มากกว่าทราย เพราะมีรูปร่างเกลี้ยงกลมกว่าสิ้นเปลืองน้ำล้างในตอนล้างกลับน้อยลงยืดอายุการใช้งานของเครื่องกรอง สามารถกรองได้ที่อัตราการกรองสูงขึ้น

3.3 ตัวแปรของกระบวนการกรอง

3.3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเข้า (Influent Characteristic)

สิ่งสำคัญในลักษณะสมบัติของน้ำเข้ามีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคและความแข็งแรงของฟล็อค เนื่องจากความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยเป็นตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงมักใช้ ค่าความขุ่น (turbidity) เป็นดัชนีวัดสมรรถนะของกระบวนการกรอง

3.3.2 ลักษณะสมบัติของสารกรอง (Filter Medium Characteristics)

ขนาดเม็ดของสารกรองมีส่วนสัมพันธ์กับกระบวนการกรองในแง่ของความดันสูญเสียของน้ำใสและการเพิ่มสะสมของความดันสูญเสีย ในกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำขนาดเม็ดของสาร

กรองที่ใช้ในถังกรอง ควรประกอบด้วยขนาดของเม็ดทรายประมาณ 0.45 มม. และขนาดของเม็ดแอนทราไซต์ประมาณ 1.0 มม. และในระบบถังกรอง ขนาดเม็ดและความสูงของสารกรองที่เหมาะสมของทรายและแอนทราไซต์ให้ประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ทรายหรือแอนทราไซต์เพียงอย่างเดียว โดยที่สารกรองซึ่งประกอบด้วยชั้นของแอนทราไซต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.9 มม. ความสูงของชั้นประมาณ 50 ซม.อยู่ชั้นบน ส่วนชั้นล่างเป็นชั้นของทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.44 มม. ความสูงของชั้นประมาณ 15 ซม.

3.3.3 อัตราการกรอง (Filtration Rate)

อัตราการกรองเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้กำหนดขนาดของถังกรองที่ต้องการ อัตราการกรองจะขึ้นกับความแข็งแรงของฟล้อคและขนาดของสารกรอง จากการศึกษาพบว่าอัตราการกรอง 5 – 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำที่ผ่านการกรอง

3.4 การวิเคราะห์กระบวนการกรอง

โมเดลคณิตศาสตร์ (Mathematic model) ที่ใช้กับการกำจัดอนุภาคโดยสารกรองจะวางอยู่บนหลักการของสมการความต่อเนื่อง (equation of continuity) และสมการอัตราการกรอง (rate equation)

สมการความต่อเนื่อง :

$$-v\left(\frac{dC}{dx}\right) = \left(\frac{dq}{dt}\right) + \propto(t)\left(\frac{dC}{dt}\right) \qquad (1)$$

ในขบวนการกรองปริมาตรน้ำที่มีอยู่ในเบดน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านเบด ดังนั้นสมการที่ 1 อาจเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$-v\left(\frac{dC}{dx}\right) = \left(\frac{dq}{dt}\right) \qquad (2)$$

เมื่อ v = ความเร็วของการกรอง (ลบ.ม./ตร.ม.-นาที)

$\left(\frac{dC}{dx}\right)$ = ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนไปในของไหลเทียบกับระยะทาง (กรัม/ลบ.ม.-นาที)

$\left(\frac{dq}{dt}\right)$ = การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ค้างอยู่ในเวลากรอง (กรัม/ลบ.ม.-นาที)

$\left(\frac{dC}{dt}\right)$ = ความเข้มข้นของของแข็งในช่องว่างที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/ลบ.ม.-นาที)

$\propto(t)$ = ช่องว่างเฉลี่ยในชั้นกรอง ณ เวลา t ใด ๆ

สมการอัตราการกรอง :

$$\frac{dC}{dx} = \left[\frac{1}{(1+ax)^n}\right] r_o C \qquad (3)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (กรัม/ลบ.ม.)

x = ระยะทาง (ม.)

r_0 = อัตราการกำจัดเริ่มต้น (1/ม.)

a = ค่าคงที่ (1/ม.)

n = ค่าคงที่

ในการประเมินความดันสูญเสีย สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับจำนวนสารที่ถูกกรองซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$H_t = H_o + \sum_{i=1}^{n} (h_1)_t \qquad (4)$$

เมื่อ H_t = ความดันสูญเสียทั้งหมด ณ เวลา t (ม.)

H_0 = ความดันสูญเสียเริ่มต้นทั้งหมดของน้ำใส (ม.)

$(h_t)_t$ = ความดันสูญเสีย ณ ชั้นที่ i ของสารกรองที่เวลา t (ม.)

3.5 วิธีการล้างทำความสะอาดสารกรอง

การล้างทำความสะอาดสารกรองก็เพื่อไล่ตะกอนหรืออนุภาคที่ถูกสารกรองดักจับไว้ให้ออกไปกับน้ำล้าง นอกจากการล้างแบบใช้น้ำล้างไหลสวนทางกับทิศทางของการกรองแล้ว การล้างกลับยังมีการเป่าลมไล่เพื่อช่วยการล้าง ถ้าเป็นเครื่องกรองที่มีขนาดใหญ่หรือมีอัตราการกรองสูงในการล้างกลับมักใช้อัตราการไหล 5 – 8 เท่าของอัตราการกรองซึ่งต้องการน้ำปริมาณมากในการล้างกลับ