หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

พฤติกรรมการทำงานของ เครื่องกรอง

ก. ลักษณะการทำงานของ เครื่องกรอง

การกรอง เป็นขบวนการทาง เคมีฟิสิคที่อนุภาคแขวนลอยในน้ำจะสัมผัสกับ เม็ดสารกรอง และอนุภาคอื่น ๆ ที่สัมผัสดูดติดกับสารกรองอยู่ก่อนแล้ว ขนาดของอนุภาค เล็กกว่าความพรุนของสารกรอง กลไกการสัมผัสดูดติด (Attachment) (6) และประสิทธิภาพการกรองขึ้นอยู่กับแรงกระทำที่พื้นผิวระหว่างสารกรองกับอนุภาคซึ่งแรงกระทำร่วมนี้มีหลายแรงดังต่อไปนี้

1. Overlap of electrical double layers
2. Interaction of Van der Waals Forces
3. Specific Chemical effects ร่วมกับ Hydration ของอนุภาค

มวลสารที่ถูกกำจัดออกประกอบด้วย Suspended silt,Clay,Colloid,Algae , Bacteria และ Virus โดยมีขนาดต่าง ๆ กันดังนี้ (26)

วัตถุ (Material)	ขนาดอนุภาค Millimicron
Silt	50,000
Bacteria	5,000
Viruses	50
Colloid	1-100

ตารางที่ 2-1 แสดงมวลสารที่ เครื่องกรองกำจัดออกได้

ประสิทธิภาพและความสามารถในการกรองมีความสัมพันธ์กับ Coagulation, Flocculation มากกว่ารายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกรอง (Filter unit) (5), (18), (26) เพราะถ้า Coagulation ไม่เหมาะสมแล้วจะเป็นปัญหาต่อระบบการกรอง ฉะนั้นน้ำก่อนเข้าเครื่องกรองจึงต้องเกิด Flocculation ที่สมบูรณ์อนุภาครวมตัวเป็นกลุ่มก้อนตกตะกอนได้ดี น้ำที่จะเข้ากรองควรมีขนาดของ Floc อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 2 มิลลิเมตร

ช่องว่างระหว่างสารกรองจะมีค่าประมาณ 15-40% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค เช่น เม็ดทรายกรองมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร ควรมีช่องว่างประมาณ 0.1-0.2 มิลลิเมตร ถ่านแอนทราไซด์ที่มีขนาด 1.2 มิลลิเมตร มีความพรุนสูงช่องว่างจึงมีขนาดใหญ่ ประมาณ 0.3-0.6 มิลลิเมตร

การกำจัดอนุภาคแขวนลอยในระบบการกรอง มีลำดับขั้นดังนี้ (26,40)

(1) ของแข็งและของเหลวแยกออกจากกันที่พื้นผิวหน้าของเม็ดสารกรองและหรือของอนุภาคอื่น ๆ ที่ติดอยู่กับผิวหน้าของเม็ดสารกรอง

(2) การสัมผัส (Attachment) และดูดติด (Absorption) ที่ผิวหน้าสารกรอง (6) เป็นปฏิกิริยาร่วมระหว่างสารกรองซึ่งอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง (Stationary phase) กับอนุภาคที่อยู่ในสภาวะเคลื่อนที่ (Mobile phase) ด้วยแรงกระทำ London Van der Waals Force และ Electrostatic Forces อนุภาคจึงดูดติดที่ผิวหน้าของสารกรอง

การสัมผัสดูดติดจะเกิดขึ้นได้ดีมากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่เติมลงใน Pretreatment เช่น สารส้ม, ปูนขาว, สารช่วยเร่งการตกตะกอน สารเคมีที่เติมลงไปใน Coagulation ทำให้อนุภาครวมตัวเป็นก้อนเรียกว่า Flocculation ค่า Zeta potential ของอนุภาคจึงมีค่าลดลงและแรงกระทำ Repulsive Force ระหว่างอนุภาคลดลงด้วย สามารถกล่าวได้ว่าขนาดและความหนาแน่นที่เกิดจากการรวมตัวของ Floc เป็น Agglomerate นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายสารเคมี ขนาดของ Agglomerate ที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้จำนวนของอนุภาคแขวนลอยลดน้อยลง ความหนาแน่นของ Agglomerate ลดลงความแข็งแรงของ Agglomerate ขึ้นอยู่กับปริมาตร, ความหนาแน่นและแรงสัมผัสดูดติด (5)

ความเข้มของประจุ Anion และ pH เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ Filter Performance (26,40) ทั้งยังเป็นปัจจัยกำหนดควบคุมการดูดติดของตะกอนเหล็กและตะกอนอลูมิเนียมกับสารกรองอนุภาคของตะกอนในน้ำจะไหลเข้าไปในรูพรุนที่ผิวด้านบนของเครื่องกรองจนเต็ม ที่ระดับความลึก 1-4 นิ้ว จากระดับผิวหน้าสารกรอง จากนั้นตะกอนจึงจะไหลเข้าไปอัดแน่นในรูพรุนที่ระดับลึกลงไปช่องว่างอิสระจึงลดลง สารกรองจะมีปฏิกริยาต่อต้านการไหลของน้ำ สภาวะต่างๆ จะเริ่มเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

1. อัตราการไหลของน้ำผ่านช่องว่างรูใหญ่ๆ เพิ่มขึ้นในขณะเดียวกัน ช่องว่างเล็ก ๆ จะอุดตันน้ำจึงไหลผ่านได้น้อยลง เกิดรอยแยกเป็นช่องใหญ่ ๆ น้ำจะไหลผ่านทะลุผ่านเลยไปปราศจากการกรองเพราะความเร็วของกระแสน้ำสูงเกินไป ตะกอนแขวนลอยไม่สามารถดูดติดกับสารกรองได้

2. ถ้ายังใช้เครื่องกรองนี้ต่อไป ผลที่ติดตามมาคือช่องว่างเล็กๆ ที่น้ำไหลผ่านได้น้อยมีกระแสความเร็วต่ำ ๆ นั้นจะมีตะกอนเข้าไปจับตัวอุดเต็มช่องว่าง

3. จำนวนช่องว่างที่ผิวหน้าถังกรองต่อพื้นที่ของถังกรองยังคงมีมากในขณะที่ระดับลึกลดไปช่องว่างจะมีตะกอนอุดเต็ม น้ำไหลผ่านไม่สะดวก

ในกรณีที่สารกรองแตกแยกเป็นช่อง (Crack) กระแสน้ำไหลผ่านด้วยความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่นแล้ว Sediment Bearing Water ไหลลงไปได้ลึกยิ่งขึ้นจนกระทั่งแผ่กระจายไปได้กว้าง ความเร็วของกระแสน้ำจึงลดลงพอที่จะมีการสัมผัสดูดติดได้อีก ตะกอนจะเข้าไปอุดตันในช่องว่างช่วยให้สารกรองมีค่าความต้านทานมากขึ้น Hydraulic gradunt จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยส่งผลกระทบให้ shear stress มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม กระแสน้ำไหลเซาะไปตามช่องว่างระหว่างสารกรอง บริเวณใดที่ไม่แข็งแรงพอที่จะต่อต้านความเร็วของกระแสน้ำจึงแตกแยกเป็นช่องกระแสน้ำไหลผ่านได้สะดวกขึ้น พฤติกรรมดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ เช่นนี้ Head loss เพิ่มมากขึ้นตะกอนซึมลึกลงไปได้มากยิ่งขึ้นถ้าน้ำที่เข้าเครื่องกรองมีความขุ่นสูงแล้ว อนุภาคจะสามารถซึมลึกลงไปถึงหัวกรองมีผลกระทบโดยตรงต่อ Break Through

ข. <u>ประสิทธิภาพการกรองขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้</u>

1. คุณสมบัติของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องกรอง ได้แก่ อุณหภูมิ, ธรรมชาติของอนุภาคแขวนลอย ขนาดของอนุภาคแขวนลอย (Suspended particle และ Colloidal particle) ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย, ความสามารถในการกรอง (Filter ability) , คุณภาพในการดูดติดแบบ adhesive ของอนุภาคแขวนลอย

2. คุณสมบัติของสารกรอง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเม็ดสารกรอง , ความพรุน (Porosity) ของสารกรอง หรือ Hydraulic radius ของ Pore space, การเรียงตัวของเม็ดสารกรองซึ่งอาจจะเป็นละเอียดไปหาหยาบหรือหยาบไปถึงละเอียด , ความลึกของสารกรอง และ Head loss

Head loss ของเครื่องกรองขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดสารกรอง, อัตราการไหลของน้ำ, ปริมาณของตะกอนที่จับดูดติดบนผิวหน้าของสารกรอง, อัตราการกรองและอุณหภูมิ ค่า Head loss แสดงให้เห็นสภาวะการต่าง ๆ ของเครื่องกรองดังนี้

ถ้า Head loss เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการกรองแสดงว่ามีการอุดตันที่ Under drain หรือ Gravel ถ้าล้างทำความสะอาดได้ไม่เพียงพอ

อัตราการเพิ่มของ Head loss ในช่วงเวลาการกรองแสดงถึงประสิทธิภาพของ Pre-treatment และ Filtratian (41)

ค. <u>การล้างทำความสะอาดเครื่องกรอง</u> (Filter Back Wash)

เป็นความสามารถในการปรับสภาพของสารกรอง (Recoverability) ให้สะอาดปราศจากอนุภาคตกค้างในที่ผิวหน้าของสารกรองในช่องว่างและที่หัวกรอง (Strainer) ..ความสามารถในการปรับสภาพของสารกรอง (Recoverability) เป็น Function กับช่วงเวลาการล้างที่เหมาะสม (Optimum back wash duration) และอัตราการไหลของน้ำล้างกลับ (Back wash flow rate) George Toregas (6) ได้ตั้งสมมติฐานกลไกการล้างไว้ 2 ขั้น คือ

(1) Detachment เป็นการทำลายแรงยึดเหนี่ยวดูดติดระหว่างอนุภาคกับสารกรองและอนุภาคกับอนุภาค ฉะนั้น Detachment จึงแปรผันตามขนาดของแรงดูดติด (Attachment Force) กลไกการกำจัด (Removal mechanism) ความแปรปรวนของกระแสน้ำล้าง (Turbulence) และแรงเฉือน (Shear Force) ของน้ำล้างที่ไหลเข้าไปช่องว่าง

(2) Entrainment เป็นการชำระล้างลำเลียงเอาอนุภาคที่ถูกทำลายแรงดูดติดแล้วไหลออกไปกับน้ำล้าง อัตราการล้างเพื่อกำจัดอนุภาคตะกอนจากการกรองจากแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคหรือแรงดูดติดระหว่างสารกรองกับอนุภาคจะมีค่าแตกต่างกันไป โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้

2.1 อัตราการไหลของอากาศหรือน้ำในขณะล้างกลับ (Back wash) ทำให้มีการขัดสี (Scouring) ระหว่างสารกรองกับอากาศหรือน้ำ (8) เม็ดสารกรองจะหมุนกวน (Agitate) โดยสารกรองจะประพฤติเหมือนกับเป็นของไหล (Fluidize) และขยายตัวขึ้น (Expansion)

2.2 อนุภาคต่างๆ จะเคลื่อนไหลออกจากรูพรุนที่จับยึดติดอยู่ด้วยความปั่นป่วนของกระแสน้ำ (Turbulence) และแรงเฉือน (Shear force) ของไหลหรือจาก Abrasion ของเม็ดแขวนลอย (Suspended grain)

2.3 แรงกระทำจากการล้างย้อย (Back wash) ที่มีอัตราการไหลเกินค่าขีดกำหนดจะไม่มีผลทำให้สารกรองสะอาดมากขึ้นเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ณ จุดที่สามารถทำให้สารกรองขยายตัวได้ 30-50%

2.4 อัตราไหลของการล้างย้อนที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น นั้นช่วยให้สารกรองแยกออกจากอนุภาคได้ดี

2.5 ถ้าการล้างย้อน (Back wash) มีอัตราการไหลต่ำจนไม่มีลักษณะเป็นของไหล (Fluidization) แล้ว การปรับสภาพของสารกรอง (Recovery) จะไม่ดีเท่าที่ควร

ในระบบการกรองเร็ว (Rapid Filter) อัตราการกรองมีค่าสูงมากอนุภาคจึงผ่าลงไปในสารกรองได้ลึก แต่อย่างไรก็ตาม วัตถุส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ที่ระดับความลึก 8 นิ้ว จากผิวหน้าของสารกรอง ข้อกำหนดในการล้างเครื่องกรองเร็ว ที่นิยมออกแบบทั่ว ๆ ไปดังนี้

อัตราการไหลของการล้างย้อน (Back wash flow rate) 15-20 gpm/ft

การขยายตัว (Expansion) 20-50% ของ Filter bed

เวลาในการล้างย้อน (Back wash duration) 3-15 นาที

อัตราการไหลของน้ำล้างกลับที่เหมาะสมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ นอกจากนี้การขยายตัวของ Bed จะแปรผันกับความหนืดของน้ำ

ง. <u>ขบวนการล้างเครื่องกรองมีดังนี้</u>

1. ปิดลิ้นน้ำเข้า (Influent valve)
2. ให้ระดับน้ำลดลงจนถึงรางรับน้ำหรือต่ำกว่า เล็กน้อย
3. ปิดลิ้นน้ำกรองออก
4. เปิดล้อระบายน้ำทิ้ง
5. เปิดลิ้นน้ำล้างกลับ

เมื่อลิ้นน้ำล้างเปิด ผิวหน้าสารกรองจะขยายตัวขึ้น ตะกอนต่าง ๆ ที่ดูดติดอยู่กับสารกรองไหลออกไปกับน้ำล้างล้นลงรางรับน้ำทิ้ง ระบายออกที่ท่อน้ำทิ้ง ในขณะที่ลิ้นน้ำล้างเริ่มเปิดช้า ๆ ในช่วงแรกนั้น ทรายจะขยายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งถังกรอง โดยเริ่มจากบนสุดของสารกรองแล้วขยายตัวเพิ่มขึ้นที่ระดับลึกลง จนทั่วทั้งพื้นที่ของถังกรอง เมื่อลิ้นน้ำล้างเปิดเต็มที่ผิวหน้าของสารกรองจะขยายตัวได้สูงสุด (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ขนาดเม็ดสารกรอง อัตราการไหลของน้ำล้าง อุณหภูมิของน้ำ) เม็ดสารกรองจะหมุนขัดสีกันในบางพื้นที่จะมีลักษณะเหมือนทรายเดือดผุดขึ้น (Boiling up) และมีการเคลื่อนไหวด้านข้าง (Lateral movement) ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างรวดเร็ว แล้วช้าลงๆ โดยไม่สามารถ คำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่นี้ด้วย up ward velocity ของ Back wash water ได้ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

น้ำเริ่มจะใส เมื่อล้างต่อไปอีกจนมองเห็นผิวหน้าของสารกรอง (6) ให้ใช้เวลาเพิ่มอีก 30-60 วินาที ก็ทำความสะอาดได้พอเพียง

ถ้าลิ้นน้ำล้างเปิดอย่างรวดเร็ว หรือมีแรงดันสูงเกินไปแล้วจะแยกเม็ดทรายให้ลอยตัวห่างจากพื้น ชั้นสารกรองจะเกิดรอยแยกแตกออกเป็นแห่งๆ ประพฤติตัวเป็นทรายเดือด ทำให้เกิดปัญหา Water Hammer ซึ่งมีผลทำให้หัวกรอง (Under drain) และพื้น (False floor) ชำรุดเสียหายได้ ความดันใต้ชั้นสารกรองมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อัตราความเร็วของน้ำล้าง - บางตำแหน่งบางจุดมีค่าสูงถึง 10 ฟุตต่อวินาที ซึ่งมากกว่าอัตราการล้างเฉลี่ยประมาณ 300 เท่า ความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมายนี้ ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการกรองอัตราการล้างปกตินั้น ควรมีค่าความเร็วขึ้น (Up ward velocity) เฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ฟุตต่อวินาที

ความเร็วของกระแสหัวฉีด (Jet) ทำให้สารกรองเคลื่อนไหวแบบ Lateral movement และจะมีการเคลื่อนที่มากยิ่งขึ้นเมื่ออัตราการล้างเกิน 15 gpm/ft^2 ในบางกรณี ความเร็วจากหัวฉีด (Jet) ที่อยู่ติด ๆ กันหลาย ๆ แห่งรวมกันเข้าเป็นกระแสความเร็วเดียวกัน ที่มีค่าสูงมากพอที่จะดันทะลุถึงชั้นบนสุดของสารกรอง ในขณะที่ขยายตัวเป็นสาเหตุให้ทรายเดือด ซึ่งจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ ในบริเวณเดิมเสมอในขณะล้าง สารกรองจึงถูกเคลื่อนย้ายออกไป เหลือแต่รูเป็นช่องให้น้ำไหลผ่านเป็นสัญญาณเตือนว่า ในบริเวณดังกล่าวชำรุดเสียหาย ลักษณะการฉีดเป็น Jet ของ up ward velocity ที่รุนแรงนี้ ทำให้เม็ดทรายกรองไหลลงไปใน Underdrain ได้เป็นผลให้มีการอุดตันที่จะลดลง Jet formation จึงเลื่อนไปเกิดที่บริเวณข้างเคียงของพื้นที่เดิม ทำให้บริเวณที่ Jet formation ย้ายไปเกิดนั้นมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นถึงค่า Ultrimate

จ. <u>การล้างสารกรองด้วยอากาศกับน้ำ</u>

ที่พื้นของ Slab เรียกว่า False floor จะติดตั้ง Nozzle ทำหน้าที่เป็นหัวกรอง (Strainer) วางเรียงขนานห่างกัน 6 นิ้ว จากจุดศูนย์กลางหัว Nozzle ทำหน้าที่กระจายน้ำล้างให้มีความเร็วสม่ำเสมอเท่ากันทั่วทั้งพื้นที่ในขณะล้างและทำหน้าที่รับน้ำที่กรองแล้วให้ไหลผ่านไปเก็บไว้ในถัง เก็บน้ำใสในขณะล้างและทำหน้าที่รับน้ำที่กรองแล้วให้ไหลผ่านไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใส

นอกจากนี้ยังทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของสารกรองแทนชั้นกรวด (8) ระบบการทำงานของ Air - water back wash มีดังนี้

1) ปิดลิ้นน้ำเข้า

2) ให้กรองจนกระทั่งระดับอยู่ที่รางรับน้ำหรือต่ำกว่า

3) ปิดลิ้นน้ำกรองออก

4) เปิดลิ้นระบายน้ำทิ้ง

5) อัดอากาศด้วยความดันประมาณ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เข้าไปที่พื้นใต้ห้องรับน้ำ กระจายออกไปเป็นฟองอากาศเคลื่อนที่ผ่าน Orifice ที่ปลายท่อของ Nozzle ขยายตัวออกไปที่ช่วงรับน้ำ (Slot) ด้านบนของหัวกรอง

6) อากาศรวมกับน้ำ (ที่เหลืออยู่) จะไหลเข้าไปในสารกรองอย่างสม่ำเสมอมีการหมุนเวียนของอากาศขัดสีกับเม็ดสารกรอง ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 นาที ก่อนที่ของไหลจะล้นรางรับน้ำให้หยุดเดินระบบอัดอากาศ

7) เปิดลิ้นน้ำล้างเข้าเครื่องกรองอย่างช้า ๆ ค่อย ๆ เพิ่มอัตราการไหลเพื่อล้างไล่อนุภาคสิ่งสกปรก

ข้อดีของการล้างด้วยอากาศ-น้ำ (26,41)

1) ไม่เกิด Mud ball

2) ช่วงเวลาการกรองยาวนาน

3) สามารถล้างได้แม้แต่ใน Dual media ที่มีความลึกมาก ๆ

4) ในขณะล้าง ถ่านแอนทราไซด์และทรายจะผสมคลุกเคล้ากันแต่เมื่อถึงลำดับขั้นใช้น้ำล้างแล้ว ถ่านและทรายจะแยกชั้นออกจากกันตามเดิม

ฉ. <u>ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะล้างย้อนกลับ</u> (Backwash problems)

(1) อากาศค้างอยู่ในเครื่องกรองจากปรากฏการณ์ 3 ประการ

1.1) อากาศที่ปนเข้ามาในระบบล้างย้อนกลับ

1.2) อากาศที่รั่วไหลเข้ามาในช่วงเวลาการกรอง

1.3) Air binding เนื่องจาก Negative heads

(2) การอุดตันที่หัวกรอง (Strainer) เกิดจากปรากฏการณ์ต่อไปนี้

2.1) การสะสมเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นเมือกอยู่ที่หัวกรองทั้งภายใน และภายนอก ได้แก่ Spong, Bryozoa, Algae, Bacteria, Rotifers, Nematodes, Fungi, Actinomycetes

	Mean Densityper Gram Sand	
	Surface sand	Deep Sand (25-150 cm)
Bacteria :		
Coliform	6,300	110
Fecal coliform	775	51
Bacterial platecount (°C)	770,000	350,000
Aerobic spores	430,000	350,000
Anaerobic spores	9,400	5,100
Protozoa		
Ciliates and Flagellates	41,000	740
Amaebas	7,100	1,900

ตารางที่ 2-2 จุลชีพสะสมเจริญเติบโตที่สารกรอง Microorgonism in Filter - Bed Sand (15)

2.2) น้ำล้างย้อนกลับ (Backwash water) มีความสะอาดไม่พอ เพียงค่าความขุ่นสูง

2.3) สารกรองไหลผ่านหัวกรอง (Strainer) ที่ชำรุดอยู่ก่อนลงไปในห้องใต้พื้น False floor จะถูกกระแสน้ำล้างย้อนกลับพัดไหลเข้าไปอุดอยู่ภายในหัวกรอง การอุดตันที่หัวกรองมีผลกระทบในขณะล้างย้อน เพราะอัตราการไหลของน้ำล้างย้อน จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหา Water hammer พื้น False floor จึงพังทลาย (22)