บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

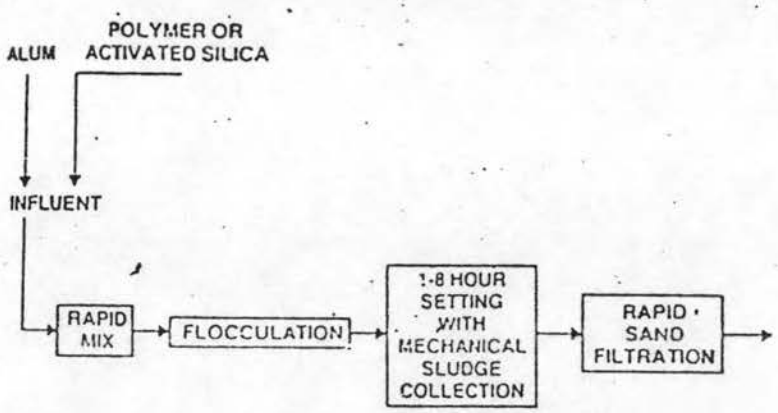
3.1 ทฤษฎีการกรองโดยตรง

ระบบผลิตน้ำประปาแบบกรองโดยตรง เป็นระบบที่ไม่มีกระบวนการตกตะกอนก่อนเข้าเครื่องกรอง แต่โดยทั่วไปมักมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำดิบในขั้นตอนการกวนเร็วและอาจมีขั้นตอนการกวนช้าหรือไม่ก็ได้ (รูปที่ 3.1)

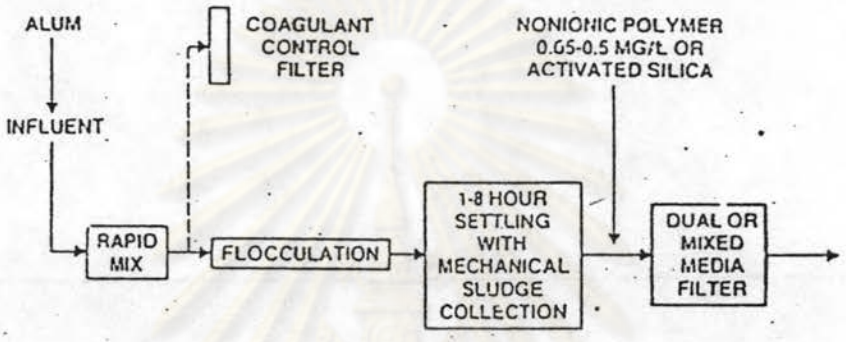
โดยแท้จริงแล้ว ระบบการกรองโดยตรงมิได้เป็นแนวความคิดใหม่อันใด ได้เริ่มมีการใช้ระบบนี้เป็นครั้งแรกเมื่อประมาณต้นคริสตศตวรรษที่ 19 แต่ความพยายามนี้ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากการอุดตันอย่างรวดเร็วของชั้นกรองทราย แต่ภายหลังได้มีการพัฒนาใช้เครื่องกรองแบบหลายชั้นกรองที่มีการเรียงตัวของขนาดของสารกรอง แบบหยาบ - ละเอียด (Coarse - to - Fine Filter) ทำให้มีช่องว่างภายในชั้นกรองสำหรับการเก็บกักได้สูงขึ้น ช่วยลดปัญหาการอุดตันดังกล่าวลงได้ ในปี ค.ศ. 1964 จึงมีการนำระบบนี้กลับมาใช้อีกครั้งในโรงกรองน้ำของเมืองโตรอนโต ประเทศแคนาดา ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้มีการใช้ระบบนี้อย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้นทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก

โดยทั่วไป ขั้นตอนแรกของระบบผลิตน้ำประปาคือการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ เมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเกิดการชนกันก็จะจับตัวกันโดยที่อัตราการรวมตัวกันของอนุภาคเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับโอกาสสัมผัส ซึ่งระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไปใช้ถังกวนช้าในการสร้างโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น แต่ในระบบผลิตน้ำประปาแบบกรองโดยตรงซึ่งไม่มีขั้นตอนการตกตะกอนจะนำน้ำที่มีสารเคมีแล้ว ผ่านเข้าสู่ชั้นกรองของเครื่องกรองโดยตรง ชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและยังบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วยจะเกิดการสัมผัสและเกาะติดกันระหว่างอนุภาคกับอนุภาค และอนุภาคกับเม็ดสารกรอง แล้วติดค้างอยู่ในชั้นของสารกรอง การใช้เครื่องกรองช่วยสมานตะกอน (Flocculation) ดังกล่าวนี้เรียกว่า การกรองสัมผัส (Contact Flocculation - Filtration)

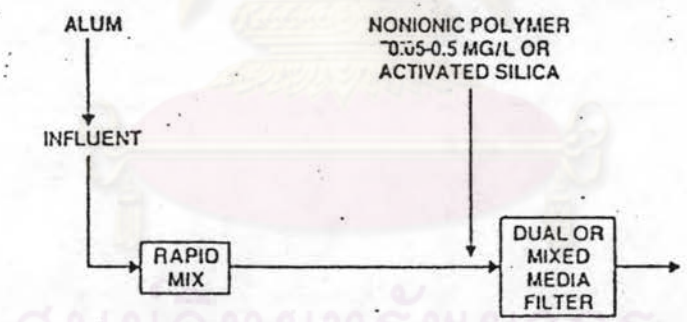
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



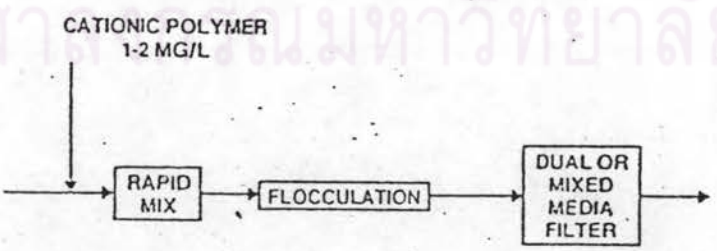
Conventional Filtration Plant Design.



Conventional Filtration Plant Design Incorporating a Coagulant Control Filter and Using Dual- or Mixed-Media Filtration.



Direct Filtration Plant Design Using Rapid Mix Alone Preceding Dual- or Mixed-Media Filtration.



Direct Filtration Plant Design Adding Flocculation to Rapid Mix Preceding Dual- or Mixed-Media Filtration.

รูปที่ 3.1 ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป และแบบกรองโดยตรง (ปรีชา, 2531)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่เนื่องจากช่องว่างภายในชั้นกรองมีจำกัด การใช้งานจึงถูกจำกัดด้วยความเข้มข้นของสารแขวนลอยในน้ำดิบไปในตัว นั่นคือระบบการกรองโดยตรงเหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำเท่านั้น ถ้ามีปริมาณสารแขวนลอยสูงก็ต้องใช้ระบบที่มีการตกตะกอน

พิจารณากลไกดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่า ประสิทธิภาพของกลไกขึ้นอยู่กับโอกาสสัมผัส ซึ่งแปรผกผันกับขนาดของเม็ดสารกรอง กล่าวคือเม็ดสารกรองขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสำหรับการสัมผัสและเกาะจับสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงแต่ในขณะเดียวกันเม็ดสารกรองขนาดเล็กก็มีระดับการอุดตันสูงและอายุการกรองต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เม็ดสารกรองให้มีขนาดที่เหมาะสมสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพได้ ในขณะที่อัตราการสูญเสียเฮดไม่สูงเกินไป ด้วยเหตุนี้เครื่องกรองแบบหลายชั้นจึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบการกรองโดยตรง

3.1.1 การกรองโดยตรงที่ไม่ใช้สารเคมี

การกรองแบบนี้จำเป็นต้องให้แน่ใจว่าคุณภาพของน้ำไม่แปรปรวนและต้องไม่ขุ่นเกินไปมิฉะนั้นแล้วจะเกิดปัญหาอุดตันเร็วและได้น้ำที่มีคุณภาพเลว อัตราการกรองอาจสูงได้ตั้งแต่ 5-25 เมตร/ชม.

3.1.2 การกรองโดยตรงที่ใช้สารเคมี

การใส่สารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง ต้องให้แน่ใจว่าเกิดการกวนเร็ว (Rapid Mixing) ก่อนมีการกรองเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะการเติมสารเคมีเพื่อทำลายความคงตัว (Destabilization) ของความขุ่น เป็นผลให้การดูดติดผิวระหว่างความขุ่นกับสารกรอง หรือความขุ่นกับความขุ่นเกิดขึ้นได้แน่นอน ดังนั้นสารเคมีที่นิยมจึงเป็นโคแอกกูแลนท์ต่าง ๆ เช่น สารส้ม ปริมาณสารส้มที่ใช้อยู่ในช่วง 2-10 มก./ล. และไม่ใช้สูงกว่า 15 มก./ล. ทั้งนี้เพราะจะไปทำให้ชั้นทรายเหนียวและจับกันมากเกินไป จนเป็นเหตุให้อุดตันเร็วและล้างได้ยาก ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีการปรับพีเอชก่อน หรือเติมโคแอกกูแลนท์เอด (Coagulant aid) เช่นใช้ Cationic Polymer (โพลิเมอร์ที่มีประจุบวก) สารโพลิเมอร์อาจเติมตามลำพังได้ จะช่วยให้การกรองน้ำได้ผลดียิ่งขึ้น เช่น ทำให้สามารถกรองได้นานโดยไม่อุดตันหรือกรองได้เร็วขึ้น แต่ก็มักมีข้อเสียคือ ทำให้การล้างเครื่องกรอง

ทำได้ยากขึ้น การใช้อากาศกวนหรือน้ำฉีดที่ผิวหน้าของชั้นกรอง เพื่อช่วยการขัดสีของเม็ดทราย มักเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีนี้

เงื่อนไขสำคัญของวิธีกรองโดยตรงแบบใช้สารเคมี ก็เป็นเช่นเดียวกับวิธีกรองโดยตรงแบบไม่ใช้สารเคมี กล่าวคือ น้ำดิบต้องมีความขุ่นต่ำและมีสีน้อยมากตลอดทั้งปี

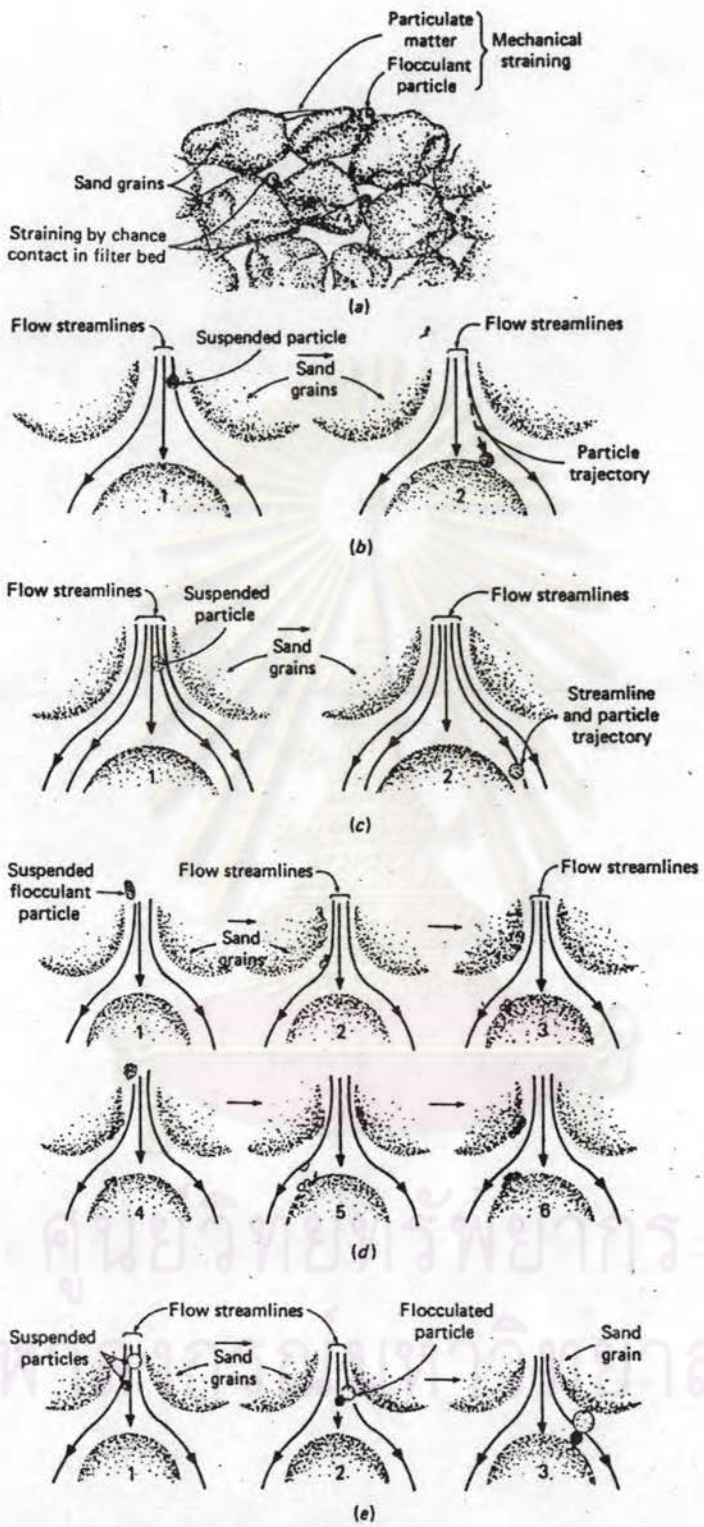
3.2 กลไกของการกรองน้ำ

การกรองน้ำเป็นการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำมาไว้บนสารกรอง หรือมาไว้ที่ช่องว่างระหว่างสารกรอง ดังนั้นกลไกในการกรองน้ำ จึงเกี่ยวกับวิธีการเคลื่อนย้าย (Transport) สารแขวนลอยในน้ำ ให้เข้าไปหาสารกรอง ซึ่งอยู่นิ่ง ๆ และวิธีการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรอง หรือสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อนแล้ว (Attachment)

3.2.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport Mechanism)

ในกรณีของการกรองผ่านชั้นทราย หรือสารกรองอื่น สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี (รูปที่ 3.2) วิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (Brownian Diffusion) วิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

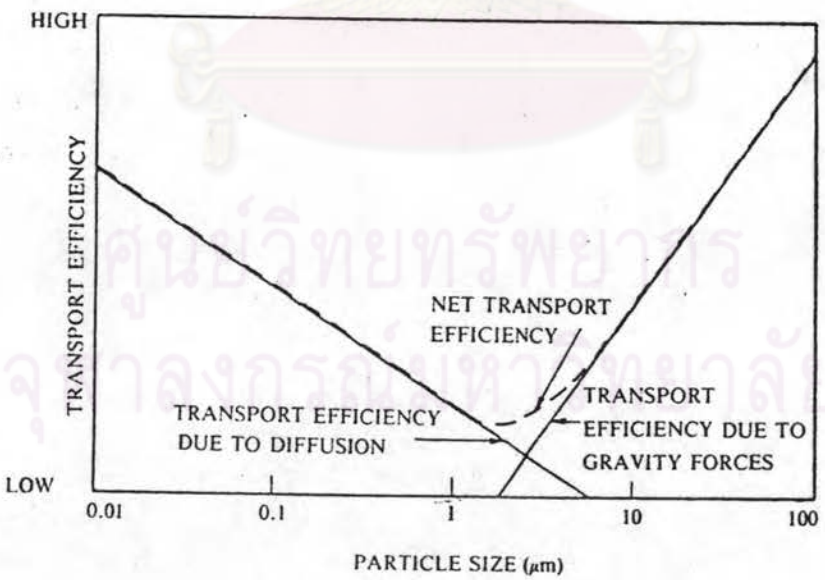


รูปที่ 3.2 กลไกในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง (Metcalf & Eddy, 1991)

(a) กลไกการติดค้างในสารกรอง (b) กลไกการตกตะกอน

(c) กลไกการเบียดเข้าหาสารกรอง (d) กลไกการติดแน่น (e) กลไกการสมานตะกอน

นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ ยังอาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ ขนาดและการกระจายของขนาด (Size Distribution) ของสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก (รูปที่ 3.3) กล่าวคือ เมื่อขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือ การแพร่กระจายทำให้สารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่า และมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ แต่เมื่อสารมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะมีการแพร่กระจายในระดับโมเลกุลน้อยมาก จนไม่มีนัยสำคัญ ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอยจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตกตะกอนและติดค้าง (Interception) ดังนั้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายจึงแปรตรงกับขนาดของสารแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ทั้งนี้เนื่องจากสารขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากและมีปริมาตรมากถึงตกตะกอนหรือติดค้างสารกรองได้ง่าย ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า สารแขวนลอยที่มีขนาด 1 ไมครอน กรองออกได้ยากกว่าสารขนาดอื่น

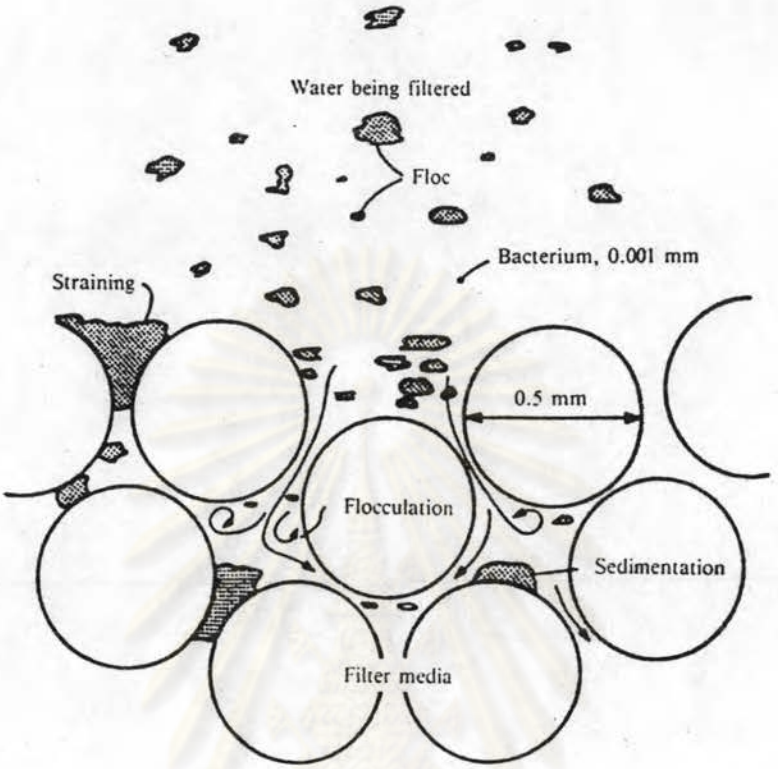


รูปที่ 3.3 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด (Sanks, 1980)

3.2.2 กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

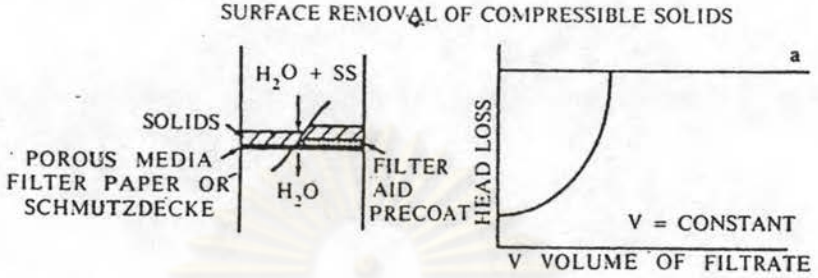
สารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรอง หรือ อาจตกค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ปรากฏว่า เครื่องกรองสามารถกำจัดคอลลอยด์ขนาดเล็กออกจากน้ำได้ด้วย ซึ่งกลไกทางกายภาพเพียงลำพังไม่น่าจะกระทำได้ แสดงให้เห็นว่าการกรองน้ำต้องอาศัยกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย กลไกดังกล่าวคือ การดูดติดผิว (Adsorption) และทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ให้เป็นกลาง (Charge Neutralization) การดูดติดผิวเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรอง หรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่ก่อนแล้ว อย่างไรก็ตาม สารกรองและคอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องมีการทำลายประจุไฟฟ้าของสารตัวหนึ่งตัวใดก่อนหรือของทั้งคู่ เพื่อมิให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ในกรณีของการกรองน้ำ นับว่าแตกต่างจากกรณีของโคแอกกูเลชัน เนื่องจากคอลลอยด์อยู่ในน้ำซึ่งเคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองที่อยู่กับที่ทำให้สามารถทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ก่อนผ่านเข้าชั้นกรองได้ หรือถ้าเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นประจุบวกก่อนผ่านเข้าชั้นกรอง ก็จะได้ผลในการกรองมากยิ่งขึ้น เพราะการที่สารกรองและคอลลอยด์มีประจุต่างกัน เป็นการส่งเสริมการดูดติดผิวให้เกิดขึ้นได้อย่างเหนียวแน่น การเติมสารส้มหรือโพลิเมอร์ เพื่อช่วยในการกรองโดยตรง (Direct Filtration) ก็เป็นการทำลายประจุของคอลลอยด์และ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวก ดังนั้นจึงช่วยทำให้การกรองมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในบางครั้งคอลลอยด์ต่าง ๆ อาจรวมกันเป็นฟลอก ทำให้มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนหรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง

สรุปได้ว่า การกรองสารแขวนลอยขนาดเล็กและใหญ่ออกจากน้ำ อาศัยกลไก 2 ชุด ซึ่งแตกต่างกัน สารแขวนลอยขนาดใหญ่ หรือฟล็อคที่แข็งแรงสามารถตกตะกอนบนสารกรอง หรือติดค้างในช่องว่าง ระหว่างสารกรองซึ่งแยกออกจากน้ำได้ ส่วนสารแขวนลอยขนาดเล็กต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่ (Diffusion Force) และมีกลไกดูดติดผิว ซึ่งมีการทำลายประจุลบให้เป็นกลางและ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นบวก รูปที่ 3.4 แสดงถึงกลไกแบบต่าง ๆ ของการกรองน้ำ ที่ทำให้สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้

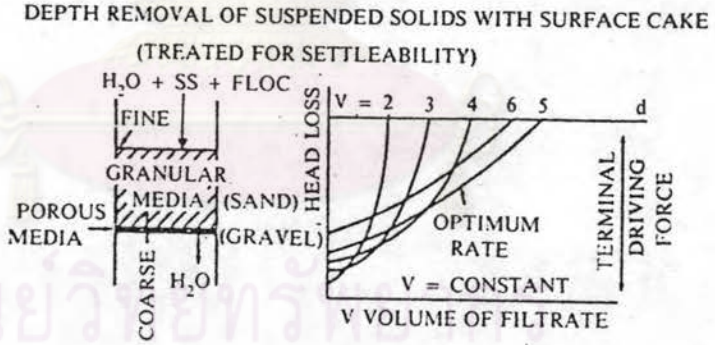


รูปที่ 3.4 กลไกของการกรองน้ำในเครื่องกรองแบบทรายกรองเร็ว (มั่นสิน, 2526)

การกำจัดสารแขวนลอยด้วยกลไกทั้งสองแบบ มีผลต่อการกรองน้ำไม่เหมือนกัน การตกตะกอนและการติดค้าง ซึ่งเป็นกลไกทางกายภาพ น่าจะเกิดที่ผิวหน้าของชั้นกรองหรือที่ความลึกไม่เกิน 2-3 นิ้วจากผิวหน้า ทำให้มีชั้นตะกอน ปกคลุมปิดผิวบนของชั้นกรอง ลักษณะเช่นนี้ทำให้การสูญเสียเฮดเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (รูปที่ 3.5) กราฟของการสูญเสียจะเป็นเส้นโค้งแบบโค้งขึ้น เครื่องกรองน้ำที่มีการกรองเป็นแบบติดผิว (คล้ายกับเครื่องกรองน้ำแบบใช้แผ่นกรอง) จะมีการสูญเสียเฮดดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำให้อุดตันเร็ว ดังนั้นจึงไม่ใช่ลักษณะของเครื่องกรองที่ดี ถ้าหากเกิดขึ้นควรพยายามหลีกเลี่ยง โดยเพิ่มอัตรากรองให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มแรงผลักดัน ให้สารแขวนลอยสามารถแทรกตัวเข้าภายในชั้นกรองได้ลึกมากขึ้น ดังนั้น การเพิ่มอัตราการกรองในกรณีนี้ทำให้ผลิตน้ำได้มากขึ้นและรูปร่างของกราฟแสดงการสูญเสียเฮดจะเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 3.6

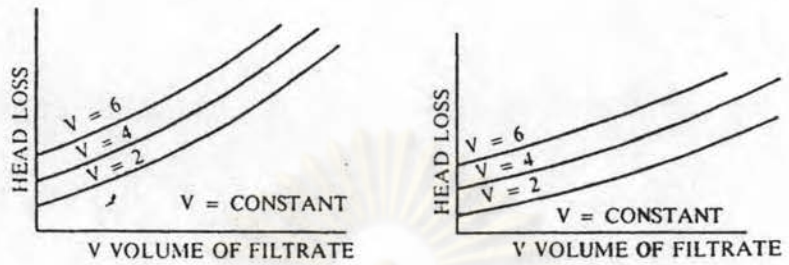


รูปที่ 3.5 รูปแบบของการเสียเฮดของเครื่องกรองที่มีการกรองแบบติดผิว (อัตราคงที่)
(Sanks, 1980)



รูปที่ 3.6 การเพิ่มอัตรากรอง ทำให้สามารถชลออัตราการเพิ่มของการสูญเสียเฮดของเครื่องกรองที่มีกลไกแบบติดผิว และสามารถผลิตน้ำได้มากขึ้น (Sanks, 1980)

เครื่องกรองที่ทำงานได้ดีและมีอายุไม่สั้นจนเกินไป ควรกำจัดสารแขวนลอยด้วยกลไกทั้งแบบกายภาพและแบบเคมี (การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า) เนื่องจากวิธีนี้ทำให้การกรองเกิดขึ้นได้ลึกและทั่วทั้งชั้นกรอง การสูญเสียเฮด จึงเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้กราฟของการสูญเสียเป็นเส้นตรง หรือมีความโค้งน้อย (รูปที่ 3.7)



ก. เครื่องกรองทราย ข. เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง (ทราย + ถ่าน)

รูปที่ 3.7 ลักษณะการสูญเสียเฮดของเครื่องกรอง ซึ่งการกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นได้ลึกลงไปในชั้นกรอง จะเห็นได้ว่า เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ได้ผลดีกว่าเครื่องกรองแบบธรรมดา (Sanks, 1980)

สำหรับในกรณีที่กรองไม่ได้ผล เพราะไม่ได้มีการเตรียมน้ำก่อนกรอง หรือสาเหตุอื่น ๆ ทำให้สารแขวนลอยสามารถทะลุผ่านชั้นกรองไปได้ กราฟของการสูญเสียเฮด (เมื่ออัตรากรองมีค่าคงที่) จะเป็นเส้นโค้งแบบโค้งลง (ตรงกันข้ามกับรูปที่ 3.5) ลักษณะเช่นนี้แสดงว่า ต้องเตรียมน้ำก่อนกรองให้เหมาะสมและสิ่งที่ควรกระทำคือ เติมสารช่วยกรอง (Filter Aid) เช่นสารโพลิเมอร์ หรือสารส้ม ฯลฯ ให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง

ในระหว่างการกรองน้ำ สารแขวนลอยอาจหลุดออกจากถังกรองได้ ด้วยกลไกที่เรียกว่า Detachment กลไกนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีตะกอนบางส่วนเกาะจับอย่างหลวม ๆ บนสารกรอง เมื่อชั้นกรองมีความฝืดเพิ่มขึ้นหรืออุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้ การเพิ่มอัตรากรองอย่างกระทันหันทำให้น้ำขุ่น เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงกลไกแบบ Detachment นักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งมีความเชื่อว่า กลไกแบบ Detachment เกิดขึ้นเนื่องจาก พื้นที่ว่างเปล่าบนสารกรองถูกใช้ไปจนเกือบหมด ทำให้สารแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดผิวชั้นกรองได้น้อย การรั่วของสารแขวนลอยออกจากชั้นกรองจึงมีมาก

3.3 ประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ

เครื่องกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงมากในการกำจัดสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำ ความสกปรกหลายประเภทที่อยู่ในน้ำจะถูกกำจัดออกไป เช่น ความขุ่นแบคทีเรีย สาหร่าย ไวรัส และจุลินทรีย์อื่น ๆ สี เหล็กและแมงกานีสที่ถูกออกซิไดส์แล้ว สารกัมมันตภาพ สารเคมีที่เติมก่อนหน้าการกรองน้ำ และสารอื่น ๆ อีกหลายชนิด การที่การกรองน้ำเป็นกรรมวิธีที่จัดเป็นทั้งประเภทกายภาพและเคมี เป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกรองน้ำอยู่ภายใต้อิทธิพลของตัวแปรหลายตัว ตัวแปรหรือแฟกเตอร์เหล่านี้ ส่วนหนึ่งเป็นของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง และอีกส่วนหนึ่งเป็นของเครื่องกรองเองด้วย

คุณสมบัติบางประการของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง ซึ่งมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการกรองน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิและความสามารถในการกรอง (Filtrability) รูปร่าง ความเข้มข้น ความเหนียว และขนาดของอนุภาคแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ ความหนืดของน้ำแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยเหตุนี้น้ำเย็นจึงกรองยากกว่าน้ำอุ่น แต่อุณหภูมิมักเป็นแฟกเตอร์ที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ใช้ ความสามารถในการกรองน้ำ ถือเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากกว่าทุกตัว แต่ก็เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ ความสามารถในการกรองน้ำ อาจถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยการเติมสารโคแอกกูแลนท์หรือสารโพลีอีเล็กโตรไลด์ (โพลิเมอร์) เพียงเล็กน้อย สารเคมีตัวหลังต้องการน้อยกว่าตัวแรกมาก เครื่องกรองแบบหยาบ - ละเอียด เหมาะสำหรับน้ำที่มีการเติมสารโคแอกกูแลนท์ยิ่งกว่าเครื่องกรองแบบ ละเอียด - หยาบ ทั้งนี้เพราะมันมีช่องว่างสำหรับเก็บกักตะกอนที่ถูกกรองไว้มากกว่า ในอดีต การปรุงแต่งสภาพของน้ำดิบด้วยสารเคมี กระทำเพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชัน และเกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุด โดยไม่ได้คำนึงถึงการเตรียมน้ำ เพื่อให้สามารถกรองได้ดีที่สุด ในปัจจุบันวิศวกรเริ่มมีความสนใจในการเตรียมน้ำ เพื่อให้สามารถกรองได้ดีที่สุดด้วย ปัจจุบันนี้เชื่อกันว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นการเตรียมน้ำให้สามารถตกตะกอนได้ดีและช่วยให้กรองได้ดีด้วย น้ำที่เตรียมได้ดีจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน ไม่จำเป็นต้องตกตะกอนความขุ่นออกทั้งหมดเสมอไป (เพราะอาจสิ้นเปลืองสารเคมีมากเกินไป) แต่ตะกอนที่ผ่านถังตกตะกอนมาแล้ว จะต้องกรองออกได้ง่าย

คุณสมบัติของสารกรองที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรอง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของสารกรอง ความพรุนของชั้นกรอง การเรียงตัวของสารกรอง ความลึกและการสูญเสียเฮด

(Head) ในชั้นกรอง โดยทั่วไป ประสิทธิภาพของถังกรองเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง หรือความพรุนที่ลดลง หรือความลึกที่เพิ่มขึ้นของชั้นกรอง เครื่องกรองที่มีการเรียงตัวแบบ หยาบ - ละเอียด ย่อมดีกว่าแบบ ละเอียด - หยาบ การสูญเสียเฮดเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง เพราะน้ำไหลได้ยากขึ้น

อัตราการกรองน้ำก็มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรองเช่นกัน โดยทั่วไปอัตราการกรองยิ่งต่ำ ประสิทธิภาพของเครื่องกรองยิ่งสูงขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการกรองมิใช่ปัจจัยที่สำคัญที่สุด เครื่องกรองอาจกรองน้ำที่อัตรา 8 แกลลอน/นาที-ตร.ฟุต ได้ดีกว่าที่อัตรา 1 แกลลอน/นาที-ตร.ฟุต เนื่องจากมีการเตรียมน้ำสำหรับการกรองดีกว่า ดังนั้นความสามารถในการกรอง (Filtrability) จึงมีความสำคัญต่ออัตราการกรอง

ประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ แปรผันตามอัตรากรอง แต่ถ้ามีการเตรียมน้ำสำหรับกรองให้เหมาะสม เครื่องกรองน้ำควรกำจัดแบคทีเรียได้มากกว่า 99% แต่ไม่มีทางถึง 100% ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนหรือยาฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ ให้กับน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จึงเป็นเรื่องจำเป็นเสมอ การกรองน้ำในอัตรา 2-8 แกลลอน/นาที-ตร.ฟุต สามารถกำจัดไวรัส (ที่กำเนิดโรคโปลิโอ) ได้มากกว่า 98%

น้ำที่กรองแล้วควรมีความขุ่นน้อยกว่า 0.2 J.T.U และปราศจากสี กลิ่น เหล็ก แมงกานีส และจุลินทรีย์ (มั่นสิน, 2526)

3.4 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกรองน้ำ

3.4.1 การเตรียมน้ำก่อนกรอง (Pretreatment)

เนื่องจากการกรองน้ำมิใช่เป็นกระบวนการทางกายภาพเพียงอย่างเดียว การกรองน้ำดิบที่มีความขุ่นโดยตรง จึงมักไม่ให้น้ำใสเท่าที่ควร แม้จะใช้อัตรากรองต่ำก็ตาม ความขุ่นบางส่วนเท่านั้นที่ติดอยู่ในชั้นกรอง และจะมีความขุ่นลอดผ่านชั้นกรองได้เสมอ การที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุมาจากข้อเท็จจริงที่ว่า สารแขวนลอยและสารกรองมักมีประจุลบทั้งคู่ จึงผลักซึ่งกันและกัน ดังนั้นโอกาสในการสัมผัส และเกาะติดกันจึงมีไม่มาก การเตรียมน้ำก่อนกรอง ซึ่งได้แก่การกระทำโคแอกกูเลชัน เพื่อทำลายประจุลบของสารแขวนลอย และเปลี่ยนเป็นประจุบวก จึงมีความ

สำคัญต่อการกรองน้ำเป็นอย่างยิ่ง การทำลายประจุของสารกรองก็อาจได้ผลเช่นเดียวกับการทำลายประจุของสารแขวนลอย แต่ปฏิบัติได้ยากกว่า

3.4.2 ความแปรปรวนของอัตรากรอง

อัตรากรองที่แปรปรวนอย่างกระทันหัน เป็นต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพของน้ำลดต่ำได้มาก ด้วยเหตุนี้ จึงนิยมรักษาระดับของอัตรากรอง ให้คงที่ตลอดเวลาด้วยอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่า ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องรักษาอัตรากรองให้คงที่เสมอไป การกรองในอัตราที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอและมีแบบแผน (Declining Rate Filtration) ก็สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้เช่นกัน และยังอาจผลิตน้ำได้มากกว่าด้วย

3.4.3 ขนาดของสารกรอง

การกรองเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องกรอง ได้เป็นอย่างดี การใช้สารกรองขนาดเล็ก เช่น ทราย จะผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง แต่ต้องสูญเสียเฮดมาก ทำให้อายุการกรองสั้น แต่ถ้าใช้สารกรองหยาบ จะมีการสูญเสียเฮดต่ำแต่กรองน้ำได้ไม่ใส อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าทางวิทยาการการกรองน้ำในปัจจุบันช่วยทำให้วิศวกรได้ประโยชน์จากข้อเท็จจริงดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่นใช้ Filter Aid เช่น สารส้ม หรือโพลิเมอร์ ช่วยให้ชั้นกรองที่มีขนาดใหญ่ สามารถกรองน้ำได้ใส และมีการสูญเสียเฮดต่ำ หรือในกรณีที่มี Avilable Head มาก ๆ (เช่น ถังกรองแบบใช้ความดัน) เราก็สามารถใช้สารกรองขนาดเล็กได้ เป็นต้น

3.4.4 อัตราล้างย้อน (Backwash Rate)

อัตราล้างย้อนมีความสำคัญต่อการกรองน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการเลือกขนาดสารกรอง และกำหนดสมรรถนะของเครื่องกรองน้ำด้วย สารกรองขนาดใหญ่จะมีความถ่วงจำเพาะสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้น ในบางครั้งเมื่ออัตราล้างย้อนมีขีดจำกัดขนาดของสารกรองก็ถูกกำหนดไปอย่างอัตโนมัติ เครื่องกรองที่ล้างไม่พอเพียง ทำให้มีการสะสมของสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกอื่น ๆ จนกระทั่งเกิด Mud Ball และปัญหาอื่น ๆ จะไม่สามารถผลิตน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.5 คุณภาพของน้ำดิบ

น้ำดิบที่เข้าเครื่องกรอง มีความสำคัญในการกำหนดว่า ต้องมีการตรียมน้ำก่อนกรองหรือไม่ โดยปรกติ ถ้าน้ำดิบมีความขุ่นไม่เกิน 20-25 หน่วย การกรองอาจเป็นแบบกรองโดยตรง (Direct Flitration) ที่ไม่ต้องมีการลดความขุ่นก่อนเข้าถังกรอง แต่สำหรับน้ำที่ขุ่นกว่านั้นควรมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยขบวนการโคแอกกูเลชัน และการตกตะกอน จากนั้นจึงนำน้ำเข้าเครื่องกรอง

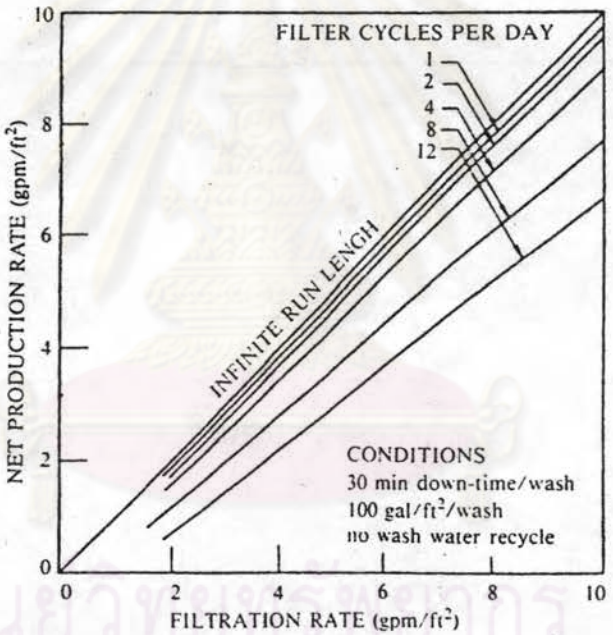
3.4.6 ความหนาของชั้นกรอง

ข้อเท็จจริงที่ว่า การสูญเสียเฮดส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระดับประมาณ 3 นิ้ว ลึกจากผิวชั้นทราย ทำให้ดูเหมือนว่ามีเพียงความลึก 3 นิ้ว เท่านั้นที่ใช้ในการกรอง จึงมักมีคำถามว่าชั้นกรองจะหนาเพียง 3 นิ้วได้หรือไม่ คำตอบคือ ไม่ได้ เนื่องจากความหนาของชั้นกรองเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดโอกาสสัมผัสระหว่างสารแขวนลอย และสารกรองซึ่งมีความสำคัญต่อสมรรถนะของการกรองน้ำเป็นอย่างมาก การพัฒนาเครื่องกรองหลาย ๆ แบบ ในช่วงเวลาที่ผ่านมาก็มีความมุ่งหมายประการหนึ่ง คือ พยายามใช้ประโยชน์จากความหนาทั้งชั้นของสารกรอง วิศวกรพอมีความรู้อยู่บ้างว่า ถ้าเตรียมให้สารแขวนลอยมีประจุบวก การกรองอาจเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งความลึก

3.4.7 อายุของเครื่องกรองน้ำ

การกรองน้ำทำให้มีสารแขวนลอยสะสมอยู่ในชั้นกรองเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ในขณะเดียวกัน ทำให้มีช่องว่างระหว่างสารกรองลดน้อยลง จึงมีความฝืด และต้านทานการไหลของน้ำ เฮดจะต้องพอเพียงจึงจะรักษาอัตราการกรองให้คงที่ได้ ในระหว่างการกรองน้ำจึงมักสังเกตเห็นได้ว่า ระดับน้ำในถังกรองจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพื่อให้มีเฮดเพียงพอนั่นเอง อย่างไรก็ตามเมื่อกรองน้ำถึงจุดหนึ่งแล้ว เช่น ระดับน้ำในถังกรองถึงจุดสูงสุดหรือน้ำกรองเริ่มขุ่น เป็นต้น จำเป็นต้องล้างเครื่องกรองเสมอ โดยปรกติ อายุการกรองควรมีเวลาประมาณ 18-36 ชม. ถ้าอายุกรองสั้นเกินไปต้องล้างบ่อยทำให้เสียเวลาและเสียน้ำในการล้าง (ต้องใช้น้ำล้างเสมอ) แต่ถ้าอายุนานเกินไปก็ไม่ดี เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีและชีวะอาจเกิดขึ้นได้จากชั้นกรอง หรือบนผิวกรอง ทำให้เกิดผลเสียหายได้ในภายหลัง การล้างเครื่องกรองวันละครั้งเป็นการป้องกันมิให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ถึงจุดสุดท้าย ปฏิกิริยาเคมีที่อาจเกิดขึ้นกับชั้นกรองได้แก่ การตกผลึกของหินปูนที่อยู่ในน้ำที่อิ่ม

ตัวด้วยหินปูน หินปูนอาจเป็นตัวประสานจนทำให้ชั้นทรายจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ อีกตัวอย่างหนึ่งเกิดขึ้นกับการกรองเหล็กออกจากน้ำ เหล็กเฟร์ริคในชั้นกรองอาจสลายตัวกลายเป็นเหล็กเฟร์รัสได้ใหม่ด้วยอำนาจของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำกรองแล้วมีเหล็กติดออกไปด้วย การเกิดสาหร่ายสีเขียวก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาชีวที่อาจเกิดขึ้นกับถังกรองได้ ถ้ามีการล้างเครื่องกรองไม่เพียงพอ เครื่องกรองที่มีอายุยาวเกินไปนอกจากจะมีข้อเสียดังกล่าวแล้ว ยังไม่สามารถผลิตน้ำ ได้มากกว่าเครื่องกรองที่ล้างวันละครั้งอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำกับอายุของเครื่องกรอง ที่อัตรากรองต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า การล้างเครื่องกรองน้อยกว่าวันละ 1-2 ครั้ง ไม่ช่วยทำให้ผลิตน้ำได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sanks, 1980)

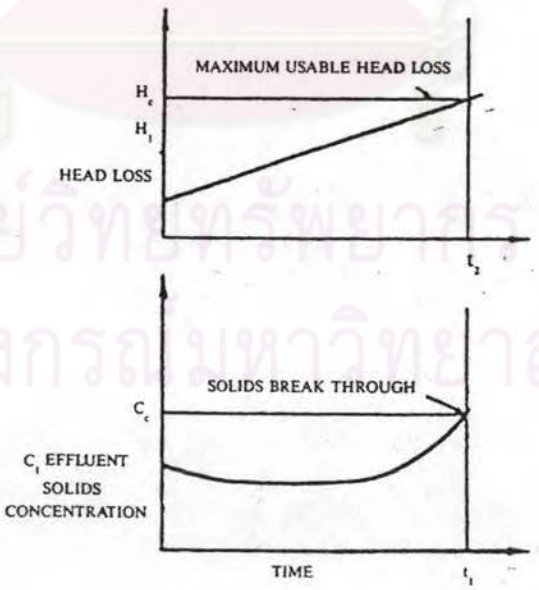
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหมดอายุของชั้นกรอง อาจสังเกตได้จากชั้นกรองที่ขุ่น หรือระดับน้ำในถังกรองที่สูงจนถึงระดับสูงสุด แต่ในบ้างครั้งอาจกำหนดเวลาล้าง เช่น ทุก 24 ชม. โดยไม่คำนึงถึงพารามิเตอร์ทั้งสองดังกล่าว

ถ้าให้ t_1 = เวลาของการกรองน้ำจนมีการรั่วของความขุ่นเกิดขึ้นถึงระดับที่ยอมได้

t_2 = เวลาของการกรองน้ำจนหมด Available Head ซึ่งวัดจากจุดน้ำออกจนถึงระดับสูงสุดของถังกรองที่ยอมให้น้ำขึ้นถึงหรือมีการสูญเสียเฮดจนถึงระดับสูงสุด

เครื่องกรองที่ออกแบบและทำงานได้อย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal) จะต้องมี $t_1 = t_2$ (รูปที่ 3.9) แต่ในทางปฏิบัติ สภาวะดังกล่าวยากที่จะเป็นจริง และยากที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการออกแบบมักตั้งเป้าหมายให้ t_2 น้อยกว่า t_1 ซึ่งหมายความว่า ถังกรองจะหมด Available Head หรือมีปัญหาการสูญเสียเฮดจนถึงระดับสูงสุดแต่น้ำกรองที่ได้ยังไม่ขุ่น การที่เป็นเช่นนี้มีความมุ่งหมายให้มีความปลอดภัยในทางสาธารณสุขต่อผู้ใช้น้ำมากที่สุด



รูปที่ 3.9 เครื่องกรองน้ำที่มี $t_1 = t_2$ (Sanks, 1980)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 โคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก

โคแอกกูแลนท์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่สารส้ม (Alum) และสารประกอบเหล็กบางตัว สารส้มมีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3$ X* H_2O ส่วนสารประกอบเหล็กที่นิยมใช้ได้แก่ $FeCl_3$ และ $FeSO_4$ สำหรับในประเทศไทยสารส้มเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาพอสมควร

3.5.1 เคมีของสารส้มและสารประกอบเหล็กในน้ำ

เมื่อสารส้ม เฟริคคลอไรด์และเฟรัสซัลเฟต ละลายน้ำจะมีการแตกตัวของไอออนบวกและลบเกิดขึ้น ดังนี้

$$Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow 2Al^{+3} + 3SO_4^{=} \qquad (3.1)$$

$$FeCl_3 \longrightarrow Fe^{+3} + 3Cl^{-} \qquad (3.2)$$

$$FeSO_4 \longrightarrow Fe^{+2} + SO_4^{=} \qquad (3.3)$$

สมการที่ (3.1) ถึง (3.3) อาจทำให้เข้าใจผิดถึงสถานะของไอออนบวกซึ่งเป็นของโลหะอลูมินัมและเหล็ก ทั้งนี้เพราะไอออนของโลหะทุกชนิดจะอยู่รวมกับน้ำ และไม่สามารถดำรงอยู่ในรูปอิสระได้ ยกตัวอย่างเช่นไอออนของอลูมินัมและเหล็กจะอยู่รวมกับน้ำ 6 โมเลกุล ดังนั้นการเขียนที่ถูกต้องจึงเป็นดังนี้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ และ $Fe(H_2O)_6^{+3}$ ตามลำดับ ไอออนที่ประกอบด้วยโลหะและน้ำ เรียกว่า Aquametal Ion โมเลกุลของน้ำเรียกว่า Ligand อนึ่งเพื่อความสะดวกในการเขียนบางครั้งมักตัดโมเลกุลของน้ำออกโดยถือว่าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปอยู่แล้ว ดังนั้น $Al(H_2O)_6^{+3}$ และ $Fe(H_2O)_6^{+3}$ จึงเหลือเพียง Al^{+3} และ Fe^{+3} ตามลำดับ

เนื่องจาก Al^{+3} และ Fe^{+3} มีอำนาจเป็นกรดซึ่งสามารถให้ H^{+} จึงพร้อมที่จะไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) ให้เป็นไอออนต่าง ๆ ของอลูมินัมและเหล็ก ซึ่งมี OH^{-} เป็น Ligand ขอให้ดูการแตกตัวของสารส้มเป็นตัวอย่าง

งานวิจัยเกี่ยวกับเคมีของสารส้มในน้ำ ที่กระทำในอดีต ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxo Metal Complex) พร้อมที่จะดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และหักล้างประจุคอลลอยด์ได้ ถ้าไอออนมีประจุตรงกันข้ามและมากกว่าของคอลลอยด์ คอลลอยด์จะแสดงประจุเป็นตรงกันข้ามกับของเดิม (Charge Reversal)

2. พีเอชของน้ำเป็นปัจจัยกำหนดความเข้มข้นและชนิดของไอออนคอมเพล็กซ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของไอออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่าง ๆ สามารถแสดงได้ด้วยไดอะแกรมที่เรียกว่า Stability Diagram

3. ฟลอกสารส้มที่มีพีเอชเป็นกลางจะมีประจุบวก แต่จะกลายเป็นประจุลบเมื่อมีพีเอชเป็นด่าง

3.5.2 กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้โพลิเมอร์และโคแอกกูเลชันเอดอื่น ๆ

โคแอกกูเลชันเอด (Coagulation Aid) หรือโคแอกกูแลนท์เอด (Coagulatant Aid) หมายถึงสารที่ช่วยทำให้โคแอกกูเลชันได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างของโคแอกกูเลชันเอด ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์, แอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) , ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ , ปูนขาว ฯลฯ ในปัจจุบันโคแอกกูเลชันเอดที่นิยมใช้กันมากที่สุดดูเหมือนจะเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า โพลิเมอร์ (Polymer) หรือ Polyelectrolyte

โคแอกกูเลชันเอด มักไม่ใช่สิ่งจำเป็นในการทำโคแอกกูเลชันของระบบผลิตน้ำประปา ทั้งนี้เพราะลำพังสารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถสร้างโคแอกกูเลชันให้กับน้ำดิบตามธรรมชาติได้โดยไม่ยาก อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งการใช้โคแอกกูแลนท์เพียงอย่างเดียวอาจสิ้นเปลืองมาก ดังเช่น ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงมาก เป็นต้น กรณีเช่นนี้การใช้โคแอกกูเลชันเอดเพียงเล็กน้อยอาจช่วยประหยัดค่าโคแอกกูแลนท์ได้มากมายคุ้มค่า

โคแอกกูเลชันเอด (Coagulation Aid) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโคแอกกูแลนท์ได้หลายทาง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเติมแอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุลบ ก่อนการเติมสารส้ม จะทำให้โคแอกกูเลชันของน้ำที่มีความขุ่นน้อยเกิดขึ้นได้ดี ทั้งนี้เพราะ แอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกาจะเป็นเป้าสัมผัสเพิ่มเติมให้กับน้ำซึ่งมีเป้าสัมผัสไม่พอเพียง การใช้ซิลิกาในกรณีนี้มักช่วยลดปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ฟลอกที่เกิดขึ้นมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย ถ้าเติมแอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกาหลังจากการเกิดโคแอกกูเลชันของสารส้ม ก็จะช่วยให้ฟลอกมีขนาดใหญ่มากขึ้นและตะกอนได้ง่าย ฟลอกสารส้มมีประจุบวกเล็กน้อยที่ระดับพีเอชต่ำกว่า 7 ทำให้สามารถใช้ซิลิกา (ซึ่งมีประจุลบ) เพื่อประโยชน์ดังกล่าวได้ อนึ่ง ต้องตระหนักไว้ด้วยว่าการเติมแอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกาพร้อม ๆ กับสารส้มจะไม่ได้รับประโยชน์ เนื่องจากสารทั้งสองชนิด สามารถทำปฏิกิริยากันจนเป็นกลางและสูญเสียคุณสมบัติในด้านโคแอกกูเลชัน

สารประกอบชนิดอื่นก็อาจใช้เป็นโคแอกกูเลชันเอดได้ด้วยจุดประสงค์เดียวกัน การเติมดินเหนียวเพื่อเป็นเป้าจะทำให้ได้ฟลอกที่มีน้ำหนักมากขึ้น สารอินทรีย์โพลิเมอร์สังเคราะห์อาจใช้ในการทำลายเสถียรภาพของฟลอกสารส้ม ลำดับของการเติมสารเคมีมีความสำคัญมาก ต้องไม่เติมโคแอกกูเลชันเอดพร้อม ๆ กับสารส้มลงในถังกวนเร็วใบเดียวกัน กรณีเช่นนี้มักต้องการถังกวนเร็วอย่างน้อย 2 ใบต่อกันอย่างอนุกรมสารที่เป็นเป้าควรต้องเติมก่อนการเติมสารส้ม ส่วนโพลิเมอร์ที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของฟลอกสารส้ม ควรจะต้องเติมภายหลังการเติมสารส้ม

อันที่จริงแล้ว สารโพลิมอร์อาจนำมาใช้เป็นตัวโคแอกกูแลนท์เลยก็ได้ แต่เนื่องจากมันมีราคาแพงกว่าสารส้มหรือโคแอกกูแลนท์สามัญอื่น ๆ เป็นอันมาก ในทางปฏิบัติจึงใช้โพลิเมอร์เป็นตัวช่วยเหลือหรือสนันสนุนสารส้ม หรือสารอื่นในการสร้างโคแอกกูเลชัน อีกประการหนึ่งแม้ว่าโพลิเมอร์สามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่มันก็ไม่เหมาะสำหรับใช้ตามลำพังกับน้ำที่มีความขุ่นต่ำ เนื่องจากโพลิเมอร์ไม่สร้างเป้าสัมผัสเพิ่มขึ้น น้ำที่มีความขุ่นต่ำจึงมีโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคน้อย และไม่อาจสร้างฟลอกขนาดใหญ่ได้

โพลิเมอร์ที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ ต้องสามารถเกาะติดผิวของอนุภาคความขุ่น ดังนั้นจึงมักปรากฏว่า มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มข้นของความขุ่นกับปริมาณโพลิเมอร์ที่ใช้ในการสร้างโคแอกกูเลชัน กล่าวคือ ถ้าความขุ่นสูงก็ต้องการโพลิเมอร์มาก แต่ถ้าความขุ่นต่ำก็ต้องการโพลิเมอร์น้อย เป็นต้น

โพลิเมอร์สร้างโคแอกกูเลชันให้กับน้ำขุ่นได้ 2 วิธี ซึ่งล้วนต้องอาศัยคุณสมบัติในการเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ วิธีแรกเป็นการทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยโพลิเมอร์ที่มีประจุบวก ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดสิ้นไป กรณีเช่นนี้อาจใช้โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลไม่ได้เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสร้างโคแอกกูเลชัน วิธีที่สองเป็นการสร้างโคแอกกูเลชัน โดยมีโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลาย ๆ ตัว ประจุของโพลิเมอร์ในกรณีนี้ไม่ใช่เรื่องสำคัญ เพราะไม่จำเป็นต้องทำให้คอลลอยด์เป็นกลาง แต่สิ่งสำคัญคือ โพลิเมอร์ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถใช้เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคความขุ่นต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง สะพานดังกล่าวต้องแข็งแรงและสามารถต้านทานแรงผลักระหว่างอนุภาคและความปั่นป่วน ที่เกิดจากการกวนน้ำ ด้วยเหตุนี้โคแอกกูเลชันที่เกิดจากวิธีสร้างสะพานนี้จึงต้องการโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ (มั่นสิน, 2526)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

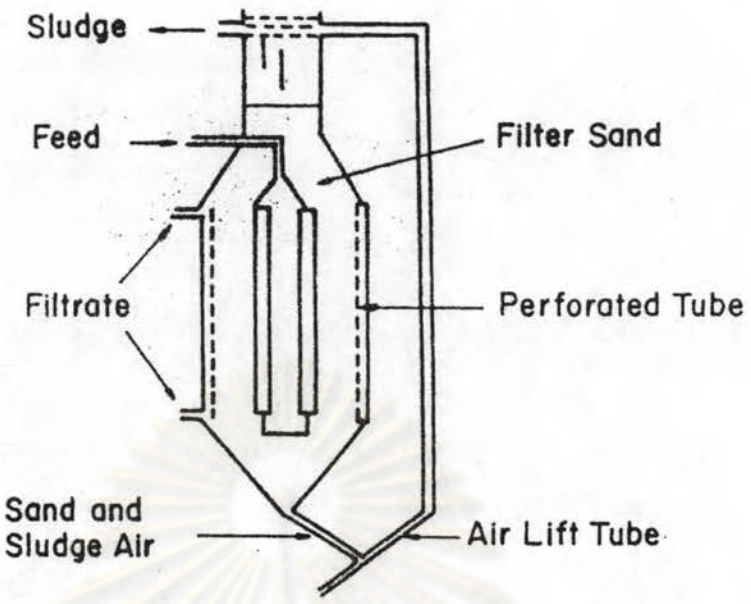
3.6 เครื่องกรองน้ำแบบสารกรองเคลื่อนที่

เครื่องกรองน้ำแบบสารกรองเคลื่อนที่เป็นกระบวนการกรองที่ทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา โดยสารกรองจะเคลื่อนที่จากด้านบนสู่ด้านล่างของเครื่องกรอง ขณะที่น้ำที่ต้องการกรองจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับการออกแบบของเครื่องกรอง เมื่อสารกรองเคลื่อนที่จากด้านบนของเครื่องกรองตกลงสู่ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก จะทำหน้าที่ดักจับความสกปรกหรือสารแขวนลอยออกไปเรื่อย ๆ สารกรองจะจับความสกปรกติดไปมากขึ้นจนกระทั่งถึงด้านล่างของเครื่องกรอง แล้วจึงถูกทำให้ย้อนกลับไปสู่ส่วนทำความสะอาดด้านบนด้วยกระบวนการทางกลอยู่ตลอดเวลา ทำให้เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่นี้สามารถใช้ได้กับน้ำที่มีความสกปรกสูง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานของเครื่องกรองเพื่อล้างเครื่องกรองบ่อย ๆ เหมือนเครื่องกรองแบบสารกรองอยู่กับที่

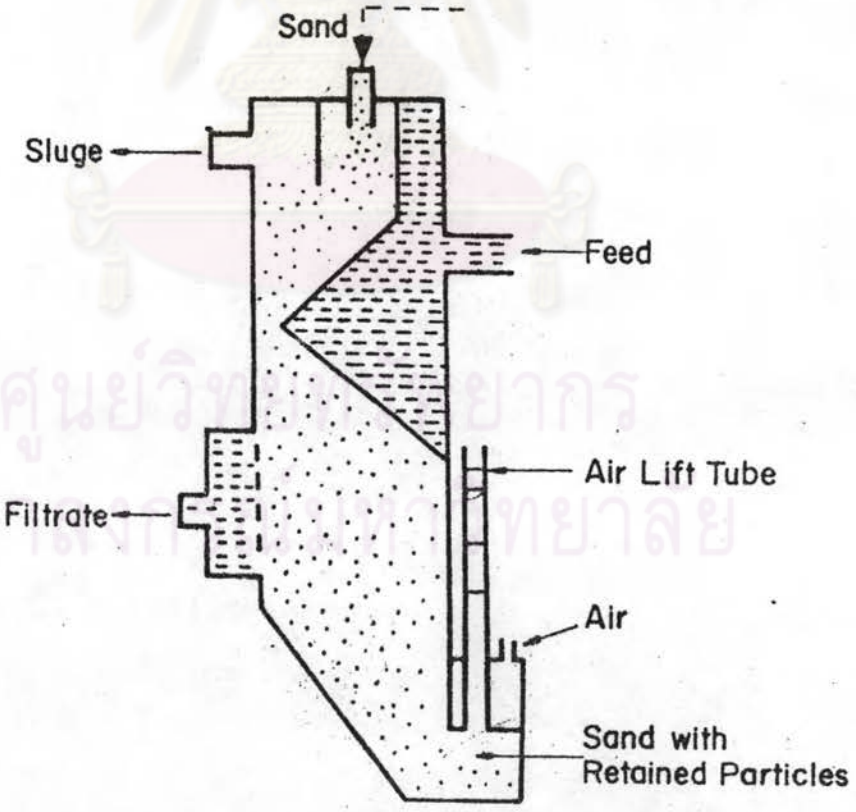
เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่นี้ได้มีการผลิตออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ดังเช่น "SIMATOR" (รูปที่ 3.10) เป็นเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่กรองน้ำในแนวรัศมี (Mobile Bed Radial Flow Filter) ซึ่งใช้ในการกรองน้ำที่มีความขุ่นสูง โดยใช้สารเคมีเพิ่ม ช่วยให้เกิดการรวมอนุภาคแขวนลอย พบว่าประสิทธิภาพในการกรองเป็นที่น่าพอใจ

นอกจากนี้เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ที่รู้จักกันในเชิงพาณิชย์อีกแบบหนึ่งคือ "TENTEN" (รูปที่ 3.11) และเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้นที่ใช้กันในอเมริกา อีกแบบหนึ่ง มีชื่อทางการค้าว่า "PARKSON DYNASAND FILTER" (รูปที่ 3.12) และยังมีเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้น มีชื่อทางการค้าว่า "TOVEKO CX" (รูปที่ 3.13)

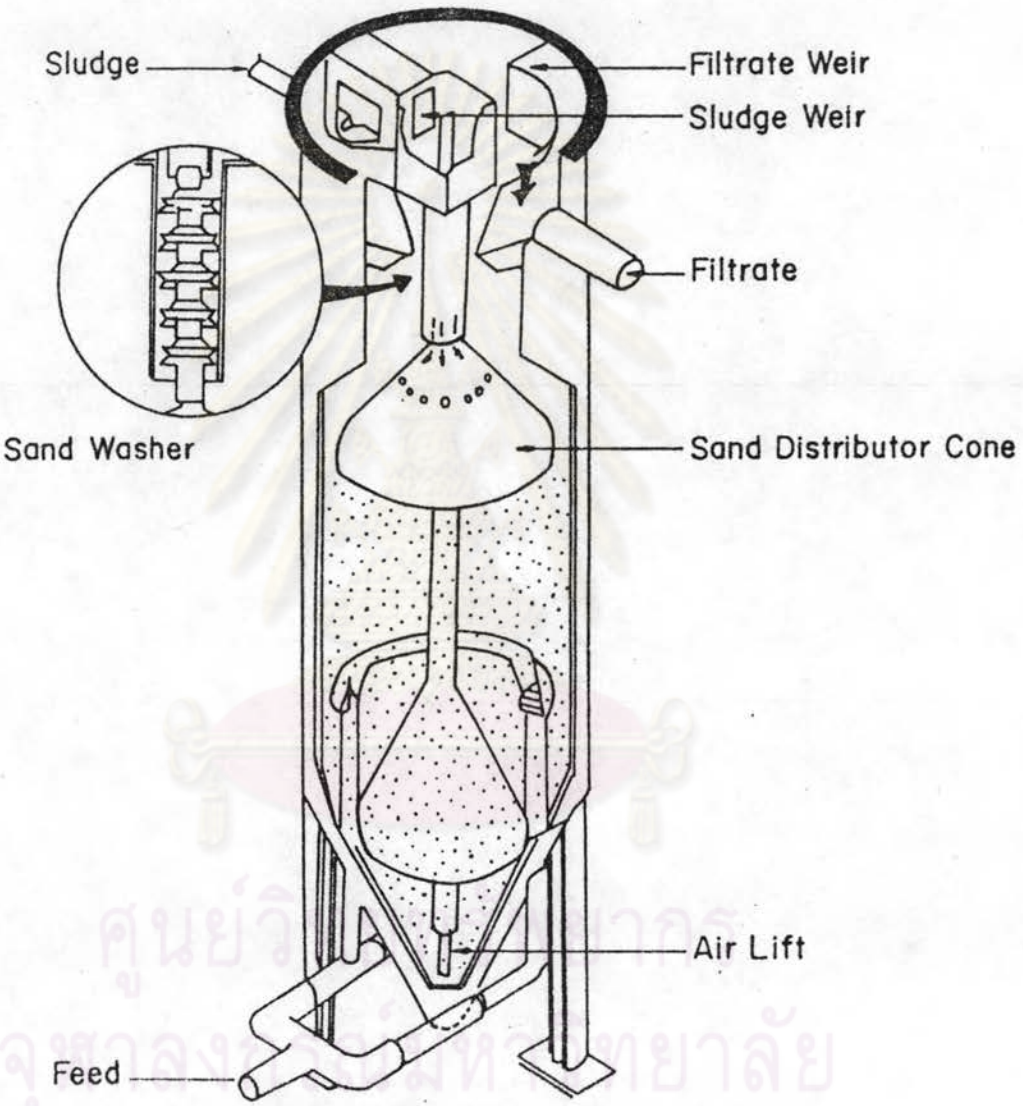
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



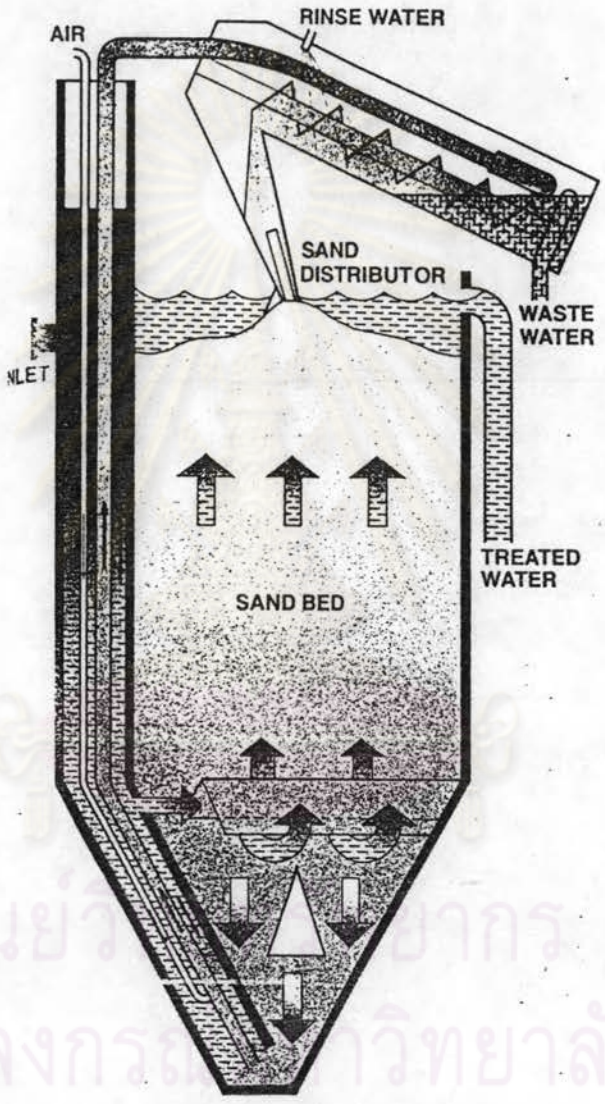
รูปที่ 3.10 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ SIMATOR (Bandulahewa, 1990)



รูปที่ 3.11 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ TENTEN (Bandulahewa, 1990)



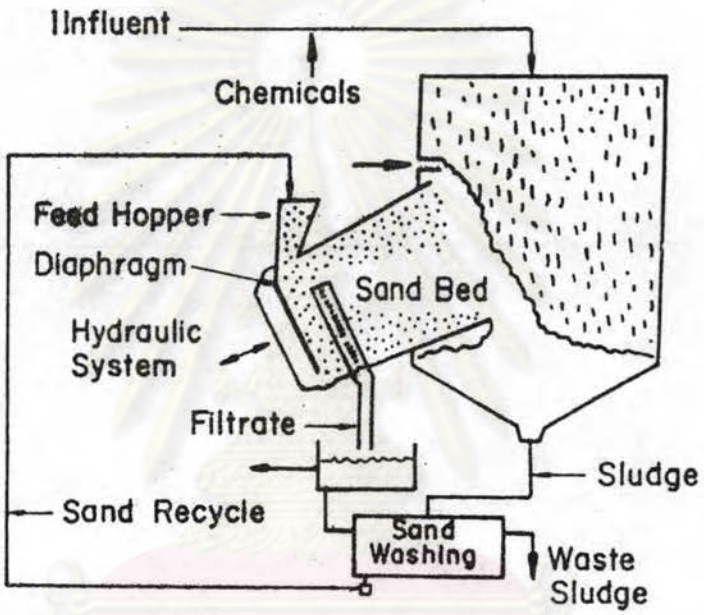
รูปที่ 3.12 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ PARKSON DYNASAND (Metcalf & Eddy, 1991)



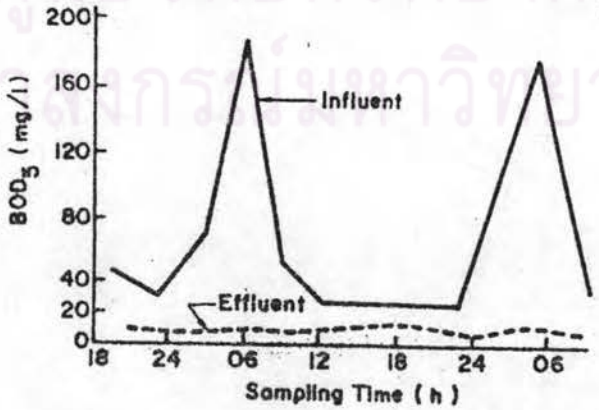
รูปที่ 3.13 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ TOVEKO CX (Water & Waste Treatment, 1995)

3.7 การศึกษาที่ผ่านมา

ปี ค.ศ. 1970 เจสสี (Jesse) ได้รายงานผลการศึกษาการทดสอบแบบจำลองของเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่โดยใช้ระบบไฮดรอลิคหรือระบบเครื่องกลในการหมุนเวียนสารกรอง โดยได้ใช้ในการกรองน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Tricking Filter และใช้สารส้มและโคแอกกูแลนท์เอด ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้ดี (รูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15)

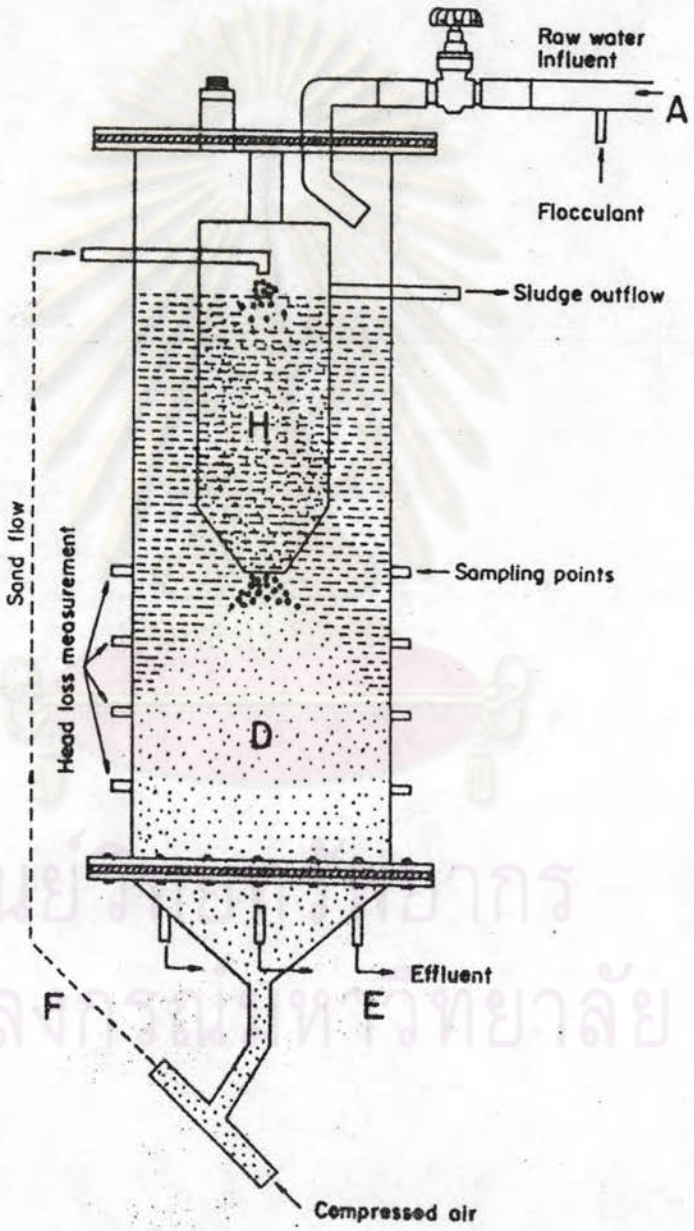


รูปที่ 3.14 แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่โดยใช้ระบบไฮดรอลิค (Bandulahewa, 1990)

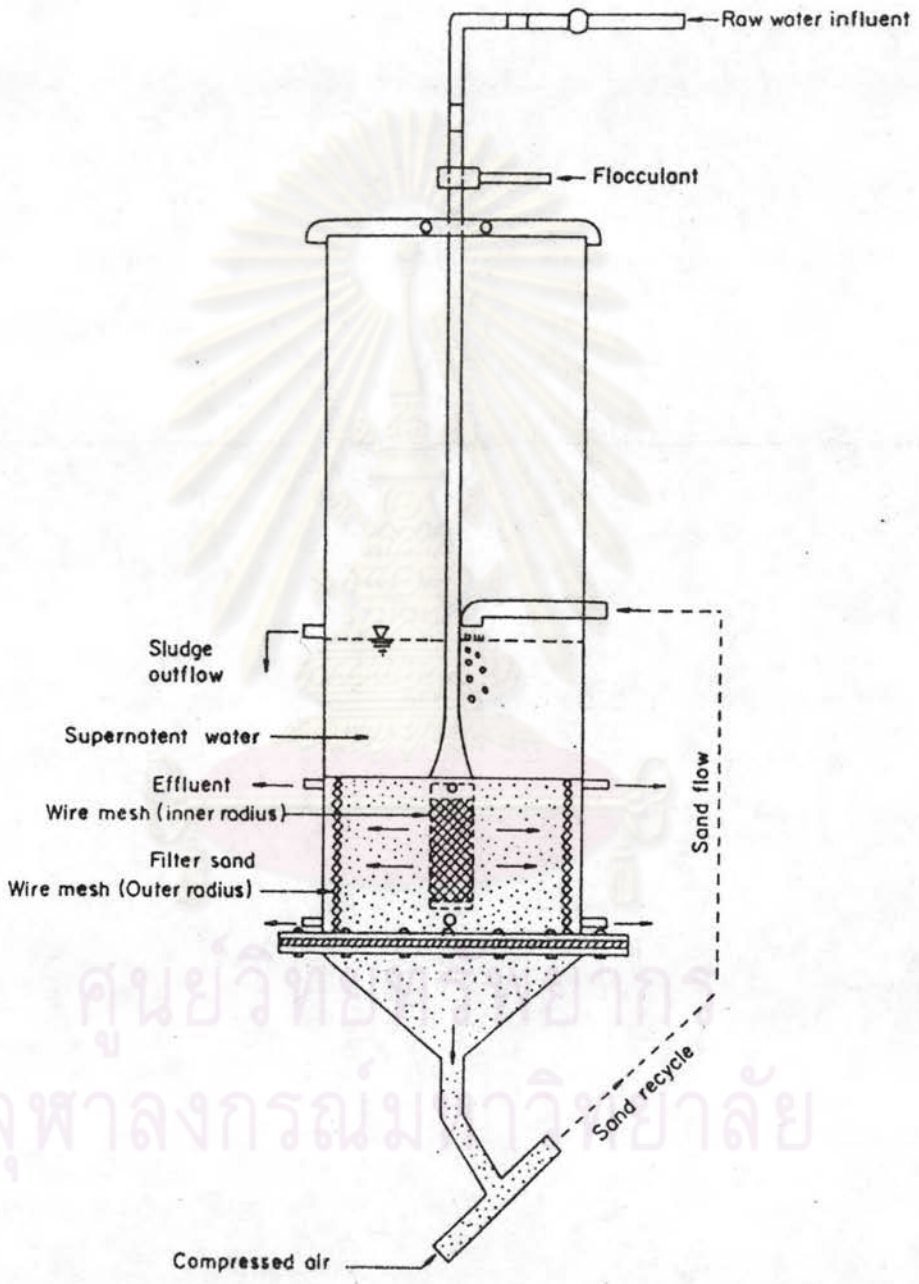


รูปที่ 3.15 ผลการดำเนินการของการกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ (Bandulahewa, 1990)

ในปี ค.ศ. 1983 Vigneswaran et. al. ได้รายงานผลการศึกษาการทดสอบแบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ (รูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17) โดยได้ใช้น้ำดิบสังเคราะห์จากดินขาว ซึ่งผลการทดลองพบว่า อัตราเวียนกลับของสารกรอง อัตราการกรอง และอัตราการทิ้งสลัดจ์มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบนี้



รูปที่ 3.16 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ (Vigneswaran et al., 1983)



รูปที่ 3.17 เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบแนวรัศมี (Vigneswaran et al.,1983)

ปี ค.ศ. 1983 ปาร์ค ซู ยอง (Park Su Young) ได้ทำการทดลองใช้เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบไหลลง (รูปที่ 3.18) ในการกรองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

อัตราการเวียนกลับของสารกรองมีผลช่วยไม่ให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันน้ำสูญเสีย และอัตราการเวียนกลับที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1.2 %/ นาที - 3.0 %/ นาที อัตราการทิ้งน้ำล้างทรายสูง พบว่าไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ขณะที่อัตราการทิ้งน้ำล้างทรายต่ำ ทำให้ได้น้ำหลังกรองคุณภาพไม่ดี อัตราการทิ้งน้ำล้างทรายที่เหมาะสมเท่ากับ 10 % ของอัตราการกรอง

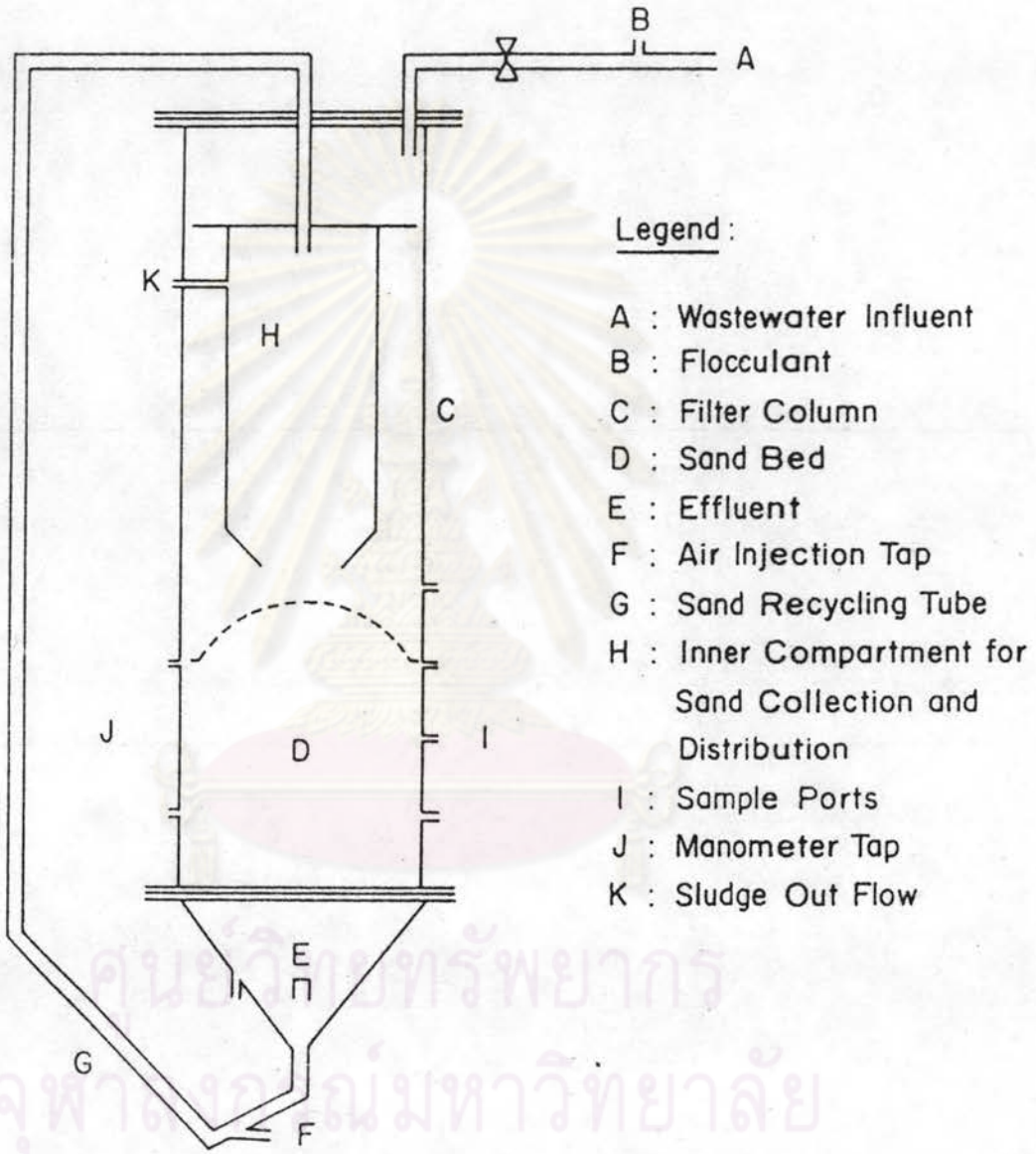
ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะขึ้นกับความลึกของชั้นสารกรองที่อัตราการเวียนกลับสารกรองต่ำ ในขณะที่จะไม่เห็นผลอย่างมีนัยสำคัญที่อัตราการเวียนกลับสารกรองสูง

เครื่องกรองแบบสารกรองอยู่กับที่ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และความขุ่นได้ดีกว่าเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ แต่จะมีอัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียสูงกว่า (ในการทดลองนี้อัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียสูงกว่าถึง 8 เท่าหลังจากการกรองไปได้ 2 ชั่วโมง) ความต้องการพลังงานสำหรับการล้างย้อนเครื่องกรองแบบสารกรองอยู่กับที่ มีค่าน้อยกว่าความต้องการพลังงานสำหรับการเวียนกลับสารกรองในเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่

ปี ค.ศ.1984 Visvanathan ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ ได้ผลสรุปดังนี้

เครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นดี และมีอัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกรองแบบสารกรองอยู่กับที่ และยังพบว่าเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่เหมาะสำหรับใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง

The Concentration Profile จะลดลงในช่วงแรก และจะคงที่หลังจากระบบเริ่มคงตัว ในขณะที่ค่าความดันน้ำสูญเสียจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และจะคงที่เมื่อระบบเริ่มคงตัว ในทางทฤษฎีเมื่อระบบเริ่มคงตัวเท่ากับหนึ่งรอบการหมุนเวียนของสารกรอง



รูปที่ 3.18 แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ Park Su-Young

(Park Su-Young, 1983)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับแต่ละอัตราการกรอง จะมีอัตราการเวียนกลับของสารกรองที่เหมาะสม ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงสุด สรุปได้ว่า อัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการกรอง

ปี ค.ศ. 1984 Vigneswaran, Visvanathan และ Aim ได้ศึกษาอัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสมกับเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ พบว่าในแต่ละอัตราการกรองจะมีค่าอัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสมที่จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง โดยอัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการกรองมีค่าเพิ่มขึ้น

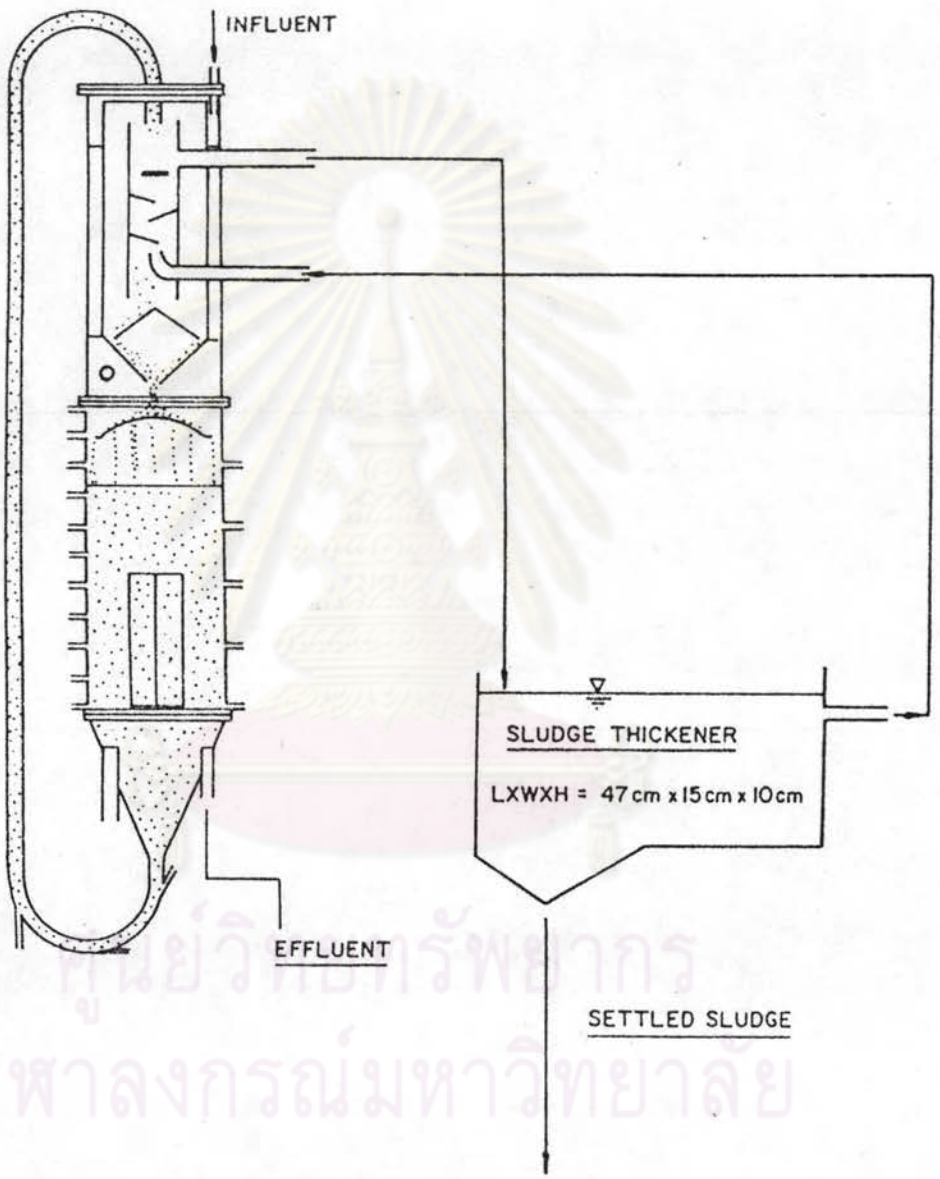
ปี ค.ศ. 1989 Rahman ได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบไหลลง (รูปที่ 3.19) ในการกรองน้ำเสียชุมชน (AIT Sewage) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้สารโคแอกกูแลนท์ระหว่างสารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ พบว่า สารส้มเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารโคแอกกูแลนท์ เนื่องจากเฟอร์ริคคลอไรด์จะให้ฟลอกที่หนาแน่นและหนักอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันได้เร็วเมื่อทดลองดูกับเครื่องกรองแบบสารกรองอยู่กับที่ และอัตราการเกิดสลัดจ์จากเฟอร์ริคคลอไรด์มากกว่าจากสารส้ม

อัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสมสำหรับทรายขนาด 1.19-2.00 มม. ในการทดลองนี้คือ 1.11%/ นาที อัตราการเวียนกลับสารกรองเป็นสัดส่วนผกผันกับการลดลงของค่าความขุ่น ซีโอดี ฟอสฟอรัส ยกเว้นแอมโมเนียไนโตรเจน

ทรายขนาด 0.833-1.19 มม. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยได้สูงกว่าทรายขนาด 1.19-2.00 มม. อัตราการทิ้งน้ำล้างทรายมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ คุณภาพน้ำหลังกรองจะดีขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราการทิ้งน้ำล้างทราย

I 17061398



รูปที่ 3.19 แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ Rahman (Rahman, 1989)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี ค.ศ. 1990 Bandulahewa ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องกรองชนิดชั้นกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้น (รูปที่ 3.20) ในการกรองน้ำดิบสังเคราะห์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งผสมกับน้ำเสียชุมชน พบว่า

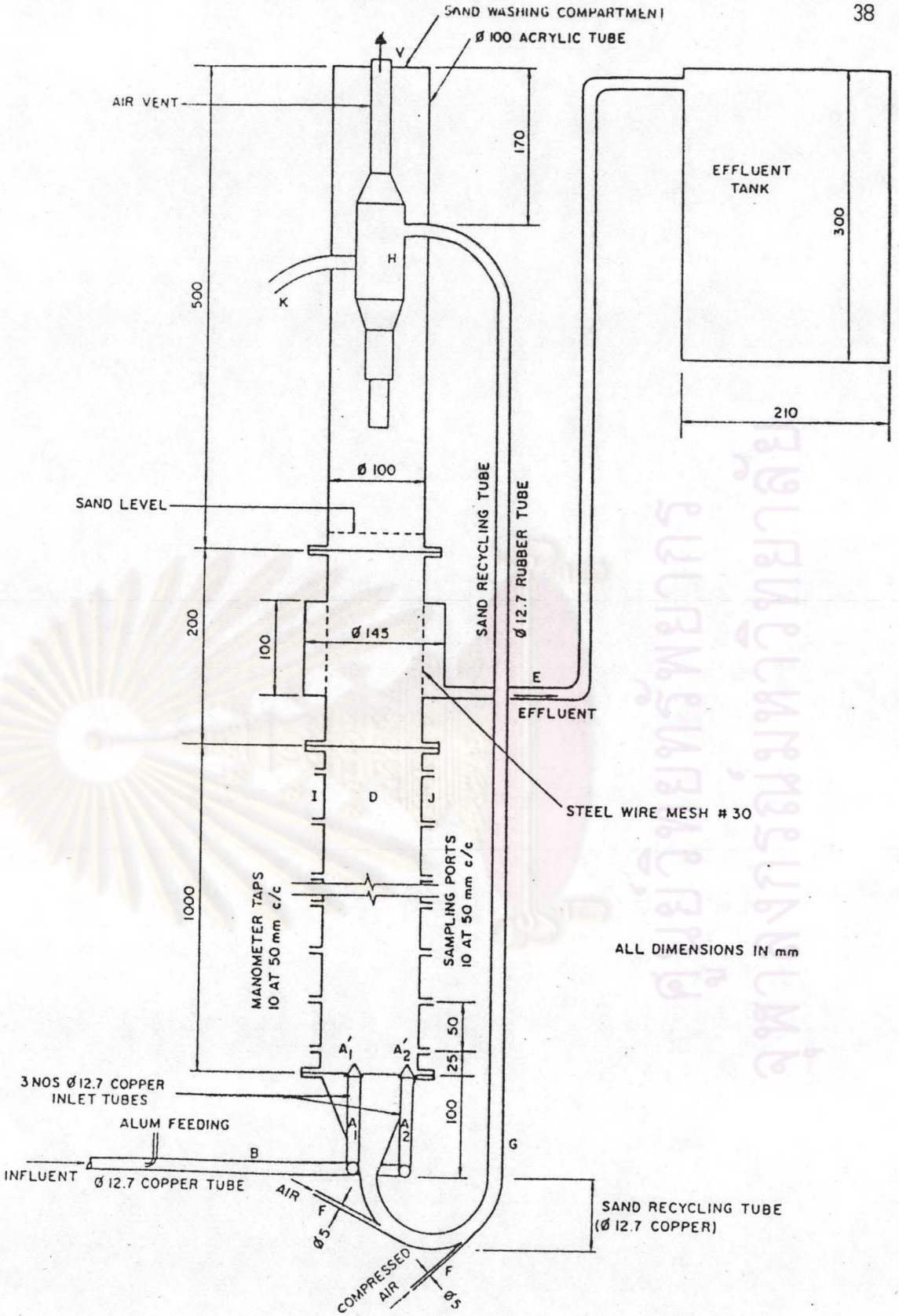
การกรองแบบไหลขึ้นสามารถป้องกันการหลุดของสลัดจ์จากการล้างทรายได้ อัตราการเวียนกลับสารกรองที่เหมาะสม 190 มล./นาที และไม่มีความดันน้ำสูญเสีย อัตราการกรองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด และที่อัตราการกรองสูงสุดมีค่าความดันน้ำสูญเสียไม่เกิน 15 ซม. ขนาดทรายกรองเล็ก 0.60-0.84 มม. ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (มากกว่า 90%) ที่ความสูงของชั้นกรอง 500 มม.

อัตราการทิ้งน้ำล้างทรายที่น้อยสุด 160 มล./นาที ซึ่งเหมาะสมกับอัตราการเวียนกลับสารกรอง 190 มล./นาที การเพิ่มอัตราการทิ้งน้ำล้างทรายขึ้นมากกว่านี้ ไม่สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการกรองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความสำคัญข้อนี้ช่วยให้หลีกเลี่ยงการที่จะเกิดโอกาสผสมกันของสลัดจ์กับน้ำออก และยังช่วยให้ลดอัตราการทิ้งสลัดจ์เพื่อความประหยัด

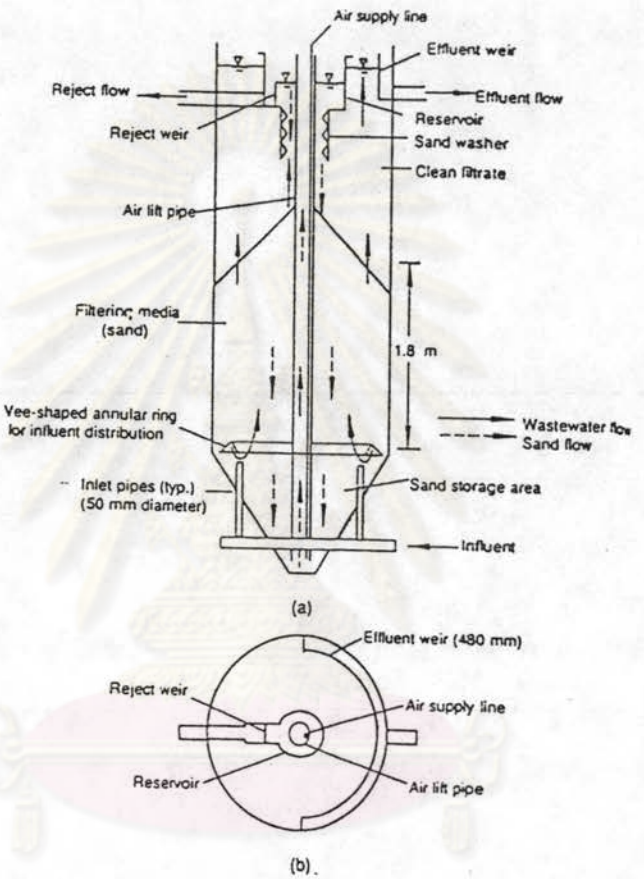
ปี ค.ศ. 1994 England, S.K., Darby, J.L., Tchobanoglous, G. ได้ทำการศึกษาเครื่องกรองน้ำชนิดชั้นกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้น (รูปที่ 3.21) โดยทดลองกรองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในขั้นต้น พบว่า

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ความขุ่นและบีโอดี เท่ากับ 70 % , 46 % , 27 % ตามลำดับ อัตราการกรอง (5.76-15.84 ลบม./ตร.ม.-ชม.) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน อัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการกรองเพิ่มขึ้น

อัตราการเวียนทรายมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เมื่ออัตราการเวียนทรายสูงเกินไปจะทำให้การล้างทรายเกิดขึ้นอย่างไม่ทั่วถึง ทำให้เกิดการหลุดรอดของความสกปรกปะปนไปกับน้ำหลังกรอง เมื่ออัตราการเวียนทรายต่ำเกินไป จะทำให้เกิดการสะสมตัวของของแข็งภายในชั้นกรองจนทำให้ค่าความดันน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 3.20 แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่ของ Bandulahewa (Bandulahewa, 1990)



รูปที่ 3.21 แบบจำลองเครื่องกรองแบบสารกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้น

(England, S.K., Darby, J.L.,Tchobanoglous, G., 1994)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี 2523 ภิญโญ ธรรมศิริ ได้ศึกษาเครื่องกรองเร็วแบบไหลขึ้น โดยใช้เครื่องกรองขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.15 x 0.15 ตารางเมตร ชั้นทรายกรองสูง 0.80 เมตร โดยใช้อัตราการกรองระหว่าง 4.16-20.83 เมตร/ชม. จากการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นมีค่าประมาณ 70% สำหรับอัตราการกรองต่ำกว่า 10.41 เมตร/ชม. และมีค่าประมาณ 60% สำหรับอัตราการกรองที่สูงขึ้นแต่ไม่เกิน 20.83 เมตร/ชม. และค่าของระดับความดันน้ำสูญเสียสูงสุดของเครื่องกรองเร็วแบบไหลขึ้นนี้จะไม่เกิน 0.96 เท่าของความสูงชั้นทราย

เวลาในการใช้งาน มีค่า 12 ชั่วโมงสำหรับอัตราการกรอง 16.67 เมตร/ชม. และ 24 ชั่วโมง สำหรับอัตราการกรอง 8.33 เมตร/ชม. และปริมาตรการกรอง (Filtrate Volume) มีค่าประมาณ 200 ลบ.ม./ตร.ม. สำหรับอัตราการกรอง 8.33-16.67 เมตร/ชม. และอัตราการกรองที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 8.33-16.67 เมตร/ชม.

การกักเก็บสารแขวนลอย (Suspended Solids Loading) ของเครื่องกรองมีค่าประมาณ 1500 กรัม/ตร.ม. สำหรับอัตราการกรอง 8.33-16.67 เมตร/ชม. และปริมาณของน้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องกรองจะมีค่าประมาณ 2.5% ของปริมาณน้ำที่ได้จากการกรอง ที่อัตราการกรอง 8.33-16.67 เมตร/ชม.

ปี 2531 ปรีชา แสงพิสิทธิ์ ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการโดยตรงแบบกรองสัมผัส ที่ใช้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ขนาดจำลอง ที่ประกอบด้วยชั้นถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 1.22 มม. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.23 หนา 45 ซม. และชั้นทรายซิลิกาขนาดสัมฤทธิ์ 0.575 มม. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.10 หนา 25 ซม. โดยมุ่งเน้นถึงผลของระดับความขุ่นของน้ำดิบ ปริมาณสารส้มและอัตราการกรอง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาถึงการใช้ค่าดัชนีการกรอง ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน จากการทดลอง สามารถสรุปผลและแนวโน้มของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้ดังนี้คือ

ระบบการกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กับน้ำดิบที่ค่าระดับความขุ่น 10 NTU ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และใช้ปริมาณสารส้ม 5-7.5 มก./ลิตร โดยทำการล้างย้อนเพียงวันละ 1 ครั้ง แต่สำหรับน้ำดิบที่มีค่าระดับความขุ่นสูง (50 และ 100 NTU) จะมีความต้องการปริมาณสารส้มสูง ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียมีค่าสูง และมีโอกาสเกิดเบรคธรูได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้ต้องทำการล้างย้อนบ่อยครั้งขึ้น

ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีความสัมพันธ์แปรตามระดับความขุ่นของน้ำดิบและอัตราการกรอง แต่แปรผกผันกับปริมาณสารส้มที่ใช้ ส่วนอัตราการเกิดความดันน้ำสูญเสียมีความสัมพันธ์แปรตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ อัตราการกรองและปริมาณสารส้มที่ใช้

นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความขุ่นของน้ำดิบ

ปี 2532 อำนวย เรืองธุระกิจ ได้ทดลองการกรองโดยตรงโดยใช้เครื่องกรองทรายเร็วแบบไหลขึ้น ใช้น้ำดิบสังเคราะห์จาก คาโอลิน ในช่วงความขุ่น 10-50 NTU ทรายขนาดสัมฤทธิ์ 0.3-1.2 มม. อัตรากรองอยู่ในช่วง 5-20 เมตร/ชม. ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนซึ่งทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสม จากการทดลองจาร์เทสต์อยู่ในช่วง 15-25 มก./ลิตร สรุปได้ดังนี้

ทรายขนาดเล็กให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าทรายขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าระหว่าง 91.10-99.72% อัตราการกรองสูงให้คุณภาพน้ำกรองดีกว่า และให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าอัตราการกรองต่ำ ความขุ่นน้ำดิบสูงให้ค่าความขุ่นน้ำกรองใกล้เคียงกับความขุ่นน้ำดิบต่ำ แต่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่า

ทรายขนาด 0.9 มม. เป็นขนาดที่เหมาะสมให้อายุการกรอง 2-17 ชั่วโมง อัตราการกรองที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 10-15 เมตร/ชม. เครื่องกรองแบบไหลขึ้นมีอายุการกรองยาวนานกว่าแบบไหลลงได้สูงสุดถึง 6.6 เท่า ปริมาตรน้ำกรองเมื่อใช้ขนาดทรายและอัตราการกรองที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 40-142 ลบ.ม./ตร.ม. ปริมาตรน้ำล้างย้อนมีค่าระหว่าง 3.53-16.58 % ของปริมาตรน้ำกรอง

ปี 2538 วีระวัฒน์ เตชะสุนทโรวาท ได้ศึกษาการกรองตรงโดยใช้เครื่องกรองเคลื่อนที่แบบไหลขึ้น ใช้น้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลิน ในช่วงความขุ่น 20 ถึง 80 NTU ทรายขนาดสัมฤทธิ์ 1.0 มม. หนา 1400 มม. อัตราการกรองอยู่ในช่วง 10 ถึง 25 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. มีระบบหมุนเวียนทรายจากด้านล่างของเครื่องกรองผ่านท่อนำทรายขนาด 10 มม. ด้วยระบบแรงลมยกเพื่อเข้าสู่ส่วนล้างและแยกทรายที่อยู่ด้านบน สรุปได้ดังนี้

ความดันน้ำสูญเสียที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับอัตราการเวียนทราย ความดันน้ำสูญเสียจะแปรผันกับอัตราการกรองและความขุ่นน้ำดิบ โดยมีค่าความดันน้ำสูญเสียต่ำสุดคือ 13.26 ซม. ที่ความขุ่นน้ำดิบ 20 NTU อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และมีค่าความดันน้ำสูญเสียสูงสุดคือ 42.12 ซม. ที่ความขุ่นน้ำดิบ 80 NTU อัตราการกรอง 25 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะมีค่าความดันน้ำสูญเสียที่เวลาต่าง ๆ แปรเปลี่ยนในช่วงเวลาแคบ ๆ

อัตราการกรองสูงให้ความขุ่นน้ำหลังกรองต่ำกว่าอัตราการกรองต่ำ ระยะเวลาในการกรองไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อความขุ่นของน้ำหลังกรอง

อัตราการกรองที่มีประสิทธิภาพการกรองสูงสุดคือ 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. โดยมีประสิทธิภาพการกรองเท่ากับ 99.4% และความขุ่นน้ำหลังกรองต่ำสุด 0.44 NTU ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 15 มก./ลิตร และโพลิเมอร์แอนไอออน 0.20 มก./ลิตร อัตราการเวียนทราย 0.6%/นาที และอัตราการทิ้งน้ำล้างทราย 10%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย