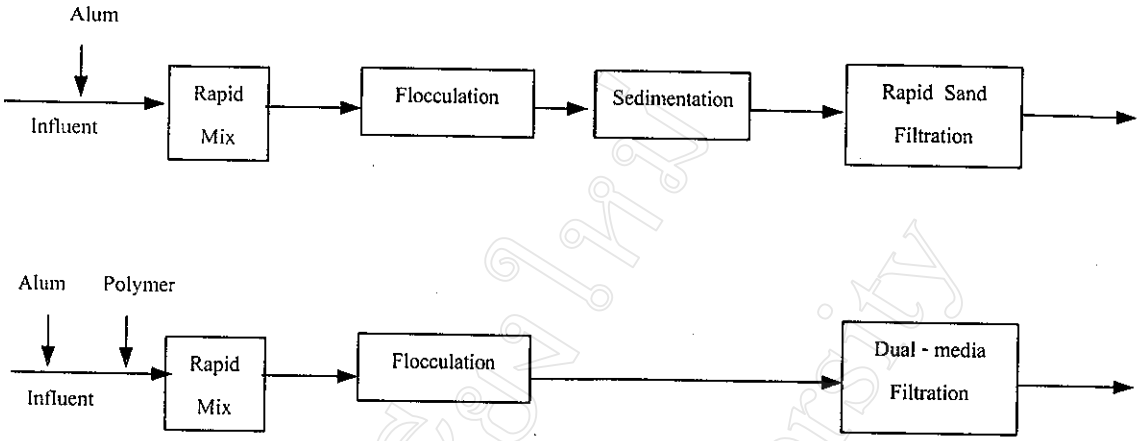
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบผลิตน้ำประปามีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ระบบประปาแบบธรรมดา(Conventional Treatment Plant) ซึ่งประกอบด้วย ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน และถังกรอง เป็นรูปแบบที่ใช้กันทั่วไป ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของระบบผลิตน้ำประปาเพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อสภาพน้ำดิบ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ และตอบสนองต่อปริมาณการใช้น้ำที่สูงขึ้น ระบบประปาแบบกรองโดยตรง (Direct Filtration) เป็นรูปแบบหนึ่งซึ่งกำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบประปาแบบธรรมดา

2.1 ระบบประปาแบบกรองโดยตรง

ระบบประปาแบบกรองโดยตรง เป็นกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ไม่มีการกำจัดความขุ่นในน้ำออกก่อนด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและการตกตะกอน น้ำดิบจะถูกผ่านเข้าถังกรองโดยมักจะมีการเติมสารเคมีร่วมด้วยเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพดี ระบบประปาแบบกรองโดยตรงประกอบด้วย ระบบเติมสารเคมี การกวนเร็ว ฟลอคคูเลชั่น และการกรอง ในบางกรณีอาจไม่มีถังฟลอคคูเลชั่นก็ได้ รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของระบบประปาแบบกรองโดยตรง และระบบประปาแบบธรรมดา ข้อดีของการใช้ระบบประปาแบบกรองโดยตรงคือ มีค่าก่อสร้างถูกกว่าระบบประปาแบบธรรมดา เนื่องจากไม่มีค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบ และค่าบำรุงรักษาในส่วนของถังตกตะกอน นอกจากนี้ระบบประปาแบบกรองโดยตรงยังใช้สารโคแอกกูแลนท์น้อยกว่า เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการเติมเพียงเพื่อต้องการสร้างฟลอคขนาดเล็ก (Pin - point Floc) ซึ่งสามารถกรองออกได้เท่านั้น ในขณะที่ระบบการผลิตน้ำประปาแบบธรรมดาต้องเติมสารโคแอกกูแลนท์ในปริมาณมากเพื่อสร้างฟลอคขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้เอง ดังนั้นระบบประปาแบบกรองโดยตรงจึงเสียค่าสารเคมีน้อยกว่า ปริมาณตะกอนที่เกิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารเคมีที่ใช้ ดังนั้นปริมาณตะกอนซึ่งเกิดจากระบบประปาแบบกรองโดยตรงจึงน้อยกว่าตะกอนที่เกิดจากระบบประปาแบบธรรมดา ทำให้เสียค่าการบำบัดและกำจัดตะกอนน้อยกว่าด้วย อย่างไรก็ตามระบบประปาแบบกรองโดยตรงมีข้อจำกัดคือ น้ำดิบจะต้องมีสีและความขุ่นต่ำ หากน้ำดิบมีความขุ่นสูง จำเป็นจะต้องมีการกำจัดความขุ่นออกก่อน



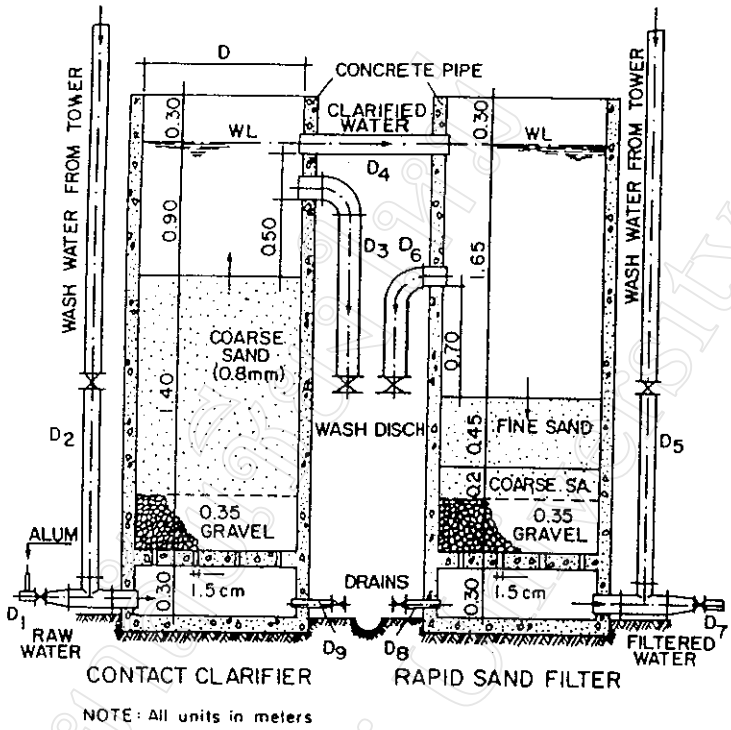
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบประปาแบบธรรมดาและระบบประปาแบบกรองโดยตรง
(ที่มา : Schulz, C. R. and Okun, D. A., 1984)

2.2 ซูเปอร์ฟิลเตอร์

ซูเปอร์ฟิลเตอร์ เป็นรูปแบบหนึ่งของระบบประปาแบบกรองโดยตรง ประกอบด้วยถังกรองสองใบต่ออนุกรมกันโดยที่ถังกรองใบที่ 1 ทำหน้าที่รวบรวมตะกอนขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่มากกว่า 1 ไมครอน ถังกรองใบที่ 2 ทำหน้าที่สำหรับกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำ น้ำดิบจะถูกเติมด้วยสารโคแอกกูแลนท์ในปริมาณที่เหมาะสม แล้วผ่านเข้าสู่ชั้นทรายในถังกรองใบที่ 1 ทรายในถังจะช่วยสร้างสัมผัสให้เกิดฟลอค ฟลอคขนาดใหญ่บางส่วนอาจติดค้างอยู่ภายในถังกรองใบนี้ ถังกรองใบที่ 2 ซึ่งบรรจุทรายขนาดเล็กกว่าจะทำหน้าที่กำจัดฟลอคออกจากน้ำ ทำให้น้ำที่กรองแล้วมีคุณภาพดี รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของซูเปอร์ฟิลเตอร์รูปแบบหนึ่ง

2.2.1 ถังกรองใบที่ 1

ถังกรองใบที่ 1 เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ของถังกรองใบที่ 2 เพิ่มขึ้น โดยทำหน้าที่เตรียมน้ำขั้นต้นเพื่อให้น้ำดิบมีสภาพเหมาะสม ถังกรองใบที่ 1 มิได้มีหน้าที่หลักในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ แต่จะมีอนุภาคบางส่วนถูกกำจัดในถังใบนี้ เนื่องจากอนุภาคบางส่วนที่สามารถรวมตัวกันเป็นฟลอคขนาดใหญ่ได้เร็ว ตกตะกอนหรือติดค้างอยู่ในชั้นทราย



รูปที่ 2.2 ลักษณะของซูเปอร์ฟิลเตอร์รูปแบบหนึ่งในบราซิล

(ที่มา : Schulz, C. R. and Okun, D. A., 1984)

หลักการทำงานของถังกรองใบที่ 1 คือจะสร้างความปั่นป่วนให้กับน้ำที่ไหลผ่านชั้นทรายในถังทำให้อนุภาคสารแขวนลอยมีโอกาสในการชนสัมผัสกันมากขึ้น พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วนทำให้เกิดการสูญเสียเฮดในถัง ค่าความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการกรอง ขนาดของทราย พื้นที่หน้าตัดของถังกรองใบที่ 1 และการสูญเสียเฮด ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้ (Schulz, C. R. and Okun, D. A.,1984)

$$G = [(h\rho gQ)/(\mu \propto V)]^{1/2} \qquad \text{-------- (2.1)}$$

$$h = \frac{f}{\theta}\left[\frac{1-\alpha}{\alpha^3}\right]\frac{L v^2}{d g} \qquad \text{-------- (2.2)}$$

$$f = 150\left[\frac{1-\alpha}{R_N}\right] + 1.75 \qquad \text{-------- (2.3)}$$

$$R_N = \frac{dv\rho}{\mu} \qquad \text{-------- (2.4)}$$

เมื่อ G = ความปั่นป่วน (Velocity Gradient) , วินาที$^{-1}$

h = การสูญเสียเฮด (Head Loss) , เมตร

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ , กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.8 เมตร / วินาที^{2})

Q = อัตราการไหล , ลูกบาศก์เมตร / วินาที

μ = ความหนืดของน้ำ , กิโลกรัม / เมตร. วินาที

$\propto$ = ความพรุน (~ 0.4)

V = ปริมาตรของชั้นทราย , ลูกบาศก์เมตร

f = ค่าคงที่ความเสียดทาน

L = ความลึกของชั้นทราย , เมตร

θ = ค่าคงที่รูปร่าง (~ 0.8)

R_N = เรย์โนลด์นัมเบอร์

d = ขนาดเฉลี่ยของทราย , เมตร

v = อัตราการกรอง , เมตร / วินาที

ค่าความปั่นป่วนและความหนาของชั้นทรายในถังกรองใบที่ 1 จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำ หากทรายในถังมีขนาดเล็กจะทำให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำสูง ฟลอคที่ได้จะมีขนาดเล็กมีสภาพเหมาะแก่ถังกรอง เนื่องจากฟลอคสามารถเข้าไปลึกในชั้นกรองโดยไม่อุดตันบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง

ความหนาของชั้นทรายแสดงถึงช่วงระยะเวลาที่มีการเกิดฟลอคคูเลชั่น หากชั้นทรายตื้นเกินไปจะทำให้มีระยะเวลาในการเกิดฟลอคคูเลชั่นน้อย ฟลอคที่ได้จะมีขนาดเล็กเกินไปจนถังกรองใบที่ 2 ไม่สามารถกรองออกได้ ทำให้น้ำที่กรองแล้วมีความขุ่นเกินมาตรฐาน แต่ถ้าชั้นทรายมีความหนามากเกินไป จะทำให้ฟลอคมีขนาดใหญ่ไปอุดตันผิวหน้าสารกรอง ทำให้ถังกรองใบที่ 2 ทำงานได้สั้นลง

ลักษณะของถังกรองใบที่ 1 จะเหมือนกับถังกรองโดยทั่วไป จะแตกต่างตรงที่ขนาดของทรายที่ใช้บรรจุในถัง โดยทรายในถังกรองใบที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าทรายที่ใช้ในถังกรองใบที่ 2 เพื่อให้มีความเหมาะสมในการสร้างฟลอคและการสูญเสียเฮดไม่มากจนเกินไป

ส่วนประกอบที่สำคัญของถังกรองใบที่ 1

- ชั้นทรายและชั้นกรวดรองรับชั้นทราย
- ระบบระบายน้ำหลังจากผ่านการเตรียมน้ำขั้นต้น
- ระบบท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก
- ระบบล้างชั้นทราย
- ระบบควบคุมถังกรองใบที่ 1
- ห้องเก็บท่อและวาล์วต่าง ๆ

2.2.2 ถังกรองใบที่ 2

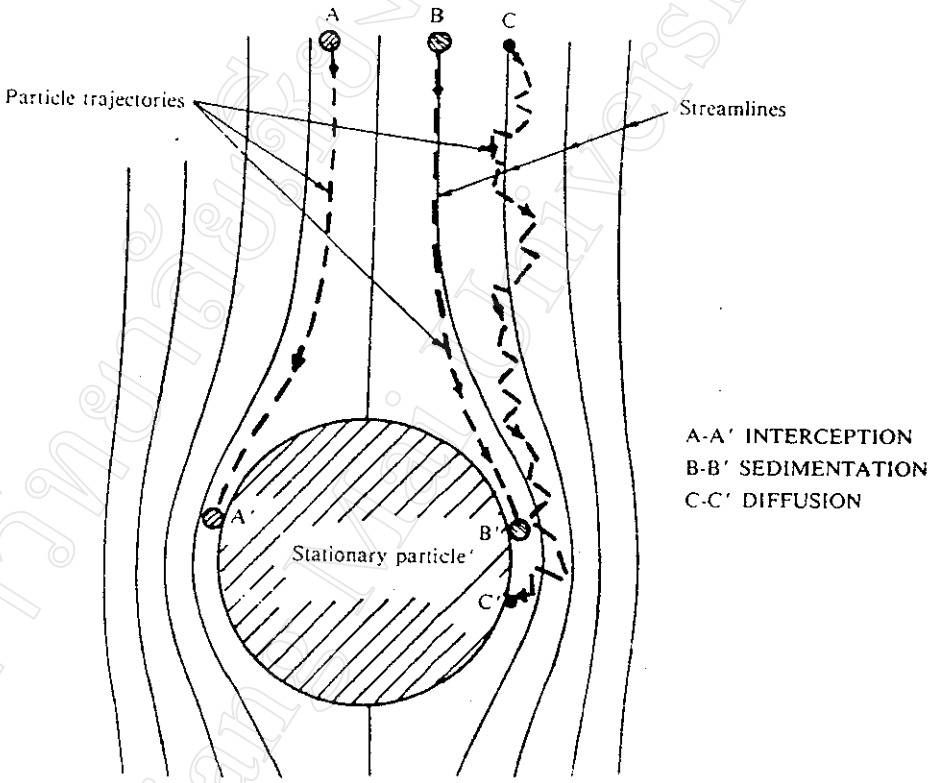
ถังกรองใบที่ 2 ทำหน้าที่หลักในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจากการเตรียมน้ำของถังกรองใบที่ 1 กลไกที่เกิดขึ้นภายในถังใบนี้จึงเกี่ยวข้องกับกลไกของการกรองน้ำ

2.2.2.1 กลไกของการกรองน้ำ

การกรองน้ำเป็นการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำมาไว้บนสารกรองหรือที่ช่องว่างระหว่างสารกรอง ดังนั้นกลไกในการกรองน้ำจึงเกี่ยวกับวิธีการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำให้เข้าไปหาสารกรองซึ่งอยู่นิ่งๆ และวิธีการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรองหรือสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อนแล้ว

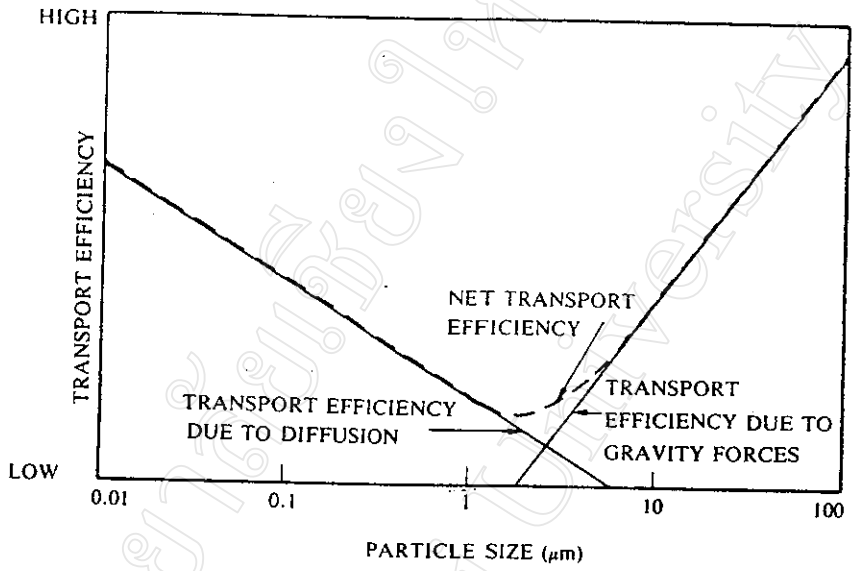
(ก) กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport Mechanism) กลไกสำคัญในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง ได้แก่ การแพร่กระจายแบบบราวเนียน การเบียดเข้าหาสารกรอง และการตกตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ขนาดและการกระจายของสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อกลไกการเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน โดยประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือ สารแขวนลอยขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้มากกว่าและมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารแขวนลอยขนาดใหญ่ เมื่อสารกรองมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน กลไกการติดค้างในช่องว่างและการตกตะกอนจะเข้ามามีบทบาทแทน โดยที่ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้าย จะแปรผันตรงกับขนาดของสารแขวนลอย ทั้งนี้เนื่องจากสารแขวนลอยขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากและมีปริมาตรมากจึงตกตะกอนหรือติดค้างสาร

กรองได้ง่าย ดังนั้นจะเห็นว่าอนุภาคขนาด 1 ไมครอน ถูกกำจัดได้ยากที่สุด รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายกับขนาดสารแขวนลอย



รูปที่ 2.3 กลไกในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง

(ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2538)



รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด
(ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2538)

(ข) กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism) สารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรอง หรืออาจตกค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากน้ำได้ สำหรับสารแขวนลอยขนาดเล็ก กลไกที่มีส่วนสำคัญในการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่บนสารกรอง คือ การดูดติดผิว (Adsorption) แต่โดยทั่วไปสารกรองและสารแขวนลอยมักมีประจุลบเหมือนกัน จึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ทำให้การดูดติดผิวเกิดได้น้อย จึงต้องมีการทำลายประจุไฟฟ้าของสารแขวนลอยให้เป็นกลางเสียก่อน การเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์เพื่อช่วยในการกรองโดยตรงก็เป็นการทำลายประจุของคอลลอยด์ และ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวก ดังนั้นจึงช่วยทำให้การกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในบางครั้งสารแขวนลอยต่าง ๆ อาจรวมกันเป็นฟลอค ทำให้มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนบนสารกรองหรือติดค้างอยู่ในช่องว่าง

2.2.2.2 ส่วนประกอบของถังกรองใบที่ 2

ถังกรองใบที่ 2 ในระบบซูเปอร์ฟิลเตอร์ จะมีส่วนประกอบและการทำงานเหมือนกับถังกรองในระบบประปาทั่วไป แต่สารกรองภายในถังควรมีสัมประสิทธิ์ของความไม่สม่ำเสมอน้อยกว่า 1.5 แต่ไม่ต่ำกว่า 1.3 ทั้งนี้เพื่อให้การกรองเกิดขึ้นทั่วถึงตลอดชั้นความลึกของสารกรอง ทำให้ประสิทธิภาพในการกรองสูงขึ้น การใช้ทรายที่มีสัมประสิทธิ์ของความไม่สม่ำเสมอต่ำกว่า 1.3 จะไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็นการสิ้นเปลืองมากเกินไป

ส่วนประกอบที่สำคัญของถังกรองใบที่ 2

- ชั้นทรายและชั้นกรวดรองรับชั้นทราย
- ระบบระบายน้ำที่กรองแล้ว
- ระบบท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก
- ระบบล้างสารกรอง
- ระบบควบคุมถังกรอง
- ห้องเก็บท่อและวาล์วต่าง ๆ

2.2.2.3 ประสิทธิภาพในการกรองน้ำ

ประสิทธิภาพในการกรองน้ำเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2538)

$$\ln\left[\frac{C}{C_0}\right] = -1.5\,\alpha\eta\left(1-\epsilon\right)\frac{L}{d} \qquad \text{-------- (2.5)}$$

เมื่อ $\ln\left[\frac{C}{C_0}\right]$ = ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของถังกรอง

C_o = ความขุ่นของน้ำก่อนกรอง

C = ความขุ่นของน้ำที่กรองแล้ว

α = ประสิทธิภาพในการเกาะติด (Collision Efficiency) ค่าสูงสุดคือ 100% หรือเท่ากับ

η = ประสิทธิภาพของการกระทบ (Single Collector Efficiency) ค่าสูงสุดคือ 1

ϵ = ความพรุนของชั้นกรอง

L = ความหนาหรือความลึกของชั้นกรอง

d = ขนาดของสารกรอง

ค่า α หรือประสิทธิภาพของการเกาะติด เป็นตัวที่แสดงถึงเคมีของน้ำในระบบการกรอง ค่า α เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่การชนทำให้เกิดการเกาะติด ต่อจำนวนการชนทั้งหมด ในทางอุดมคติ ถือว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ค่า α จึงเท่ากับ 1

ค่า η หรือประสิทธิภาพของการกระทบ เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการกระทบของอนุภาคแขวนลอยกับสารกรองต่ออัตราการไหลผ่านของอนุภาคทั้งหมด แสดงได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\text{อัตราการกระทบ}}{v\,C_0(d^2/4)} \qquad \text{-------- (2.6)}$$

เมื่อ v = อัตราการกรอง

C_0 = ความขุ่นของน้ำก่อนกรอง

d = ขนาดของสารกรอง

ค่า η จะขึ้นอยู่กับความเร็ว อัตรากรอง ขนาดของสารกรอง อุณหภูมิของน้ำ ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย ในทางทฤษฎี ค่า η สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Yao, K. M. , Habibian, M. T. and O' Melia, C. R. , 1971)

$$\eta = \eta_I + \eta_S + \eta_D \qquad \text{-------- (27)}$$

โดยที่

$$\eta_I = \frac{3}{2}\left[\frac{d_E}{d_p}\right]^2 \qquad \text{-------- (2.8)}$$

$$\eta_S = \frac{\Delta\rho\, g\, d_E^{\,2}}{18v} \qquad \text{-------- (2.9)}$$

$$\eta_D = 0.9\left[\frac{KT}{d_E d_p v}\right]^{2/3} \qquad \text{-------- (2.10)}$$

เมื่อ η_I = ประสิทธิภาพของการส่งถ่ายเนื่องจาก Interception

η_S = ประสิทธิภาพของการส่งถ่ายเนื่องจาก Sedimentation

η_D = ประสิทธิภาพของการส่งถ่ายเนื่องจาก Diffusion

d_E = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคความขุ่น

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของสารกรอง

$\Delta\rho$ = ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคและน้ำ

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

μ = ความหนืดของน้ำ

v = ความเร็วอัตราการกรอง

K = Boltzmann's Constant = 1.38048×10^{-16} esq./K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

2.2.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังกรอง

ในการออกแบบถังกรองให้มีความเหมาะสมกับน้ำดิบแต่ละแห่ง จำเป็นจะต้องมีการทดลองก่อนทุกครั้งว่าน้ำดิบนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ นอกจากนี้คุณภาพน้ำที่กรองได้ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และช่วงระยะเวลาที่ถังกรองสามารถทำงานได้จนกว่าถึงเวลาที่จะต้องทำการล้างก็มีผลต่อการตัดสินใจว่าถังกรองที่ได้ออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพอย่างไร ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังกรองแต่ละถัง สามารถใช้ดรรชนีการกรองเป็นตัวบอก ซึ่งหาได้จากสูตร (IVES,K.J, 1978)

$$F = \frac{HC}{vC_0 t} \qquad \text{-------- (2.11)}$$

เมื่อ F = ดรรชนีการกรอง

H = การสูญเสียเฮดทั้งหมด (เมตร)

C = ความขุ่นในน้ำที่กรองแล้ว(NTU)

C_0 = ความขุ่นในน้ำดิบ (NTU)

v = ความเร็วการกรอง (เมตร/วินาที)

t = ระยะเวลาที่ถังกรองทำงานได้

ค่า F ยิ่งต่ำแสดงว่าถังกรองมีประสิทธิภาพสูง

2.3 การเตรียมน้ำก่อนทำการกรอง

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าอนุภาคคอลลอยด์และสารกรองส่วนใหญ่มักมีประจุเป็นลบ จึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อใช้ทำลายประจุเพื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพเสียก่อน การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบคือ

(1) โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)

ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวน Counter Ion ในชั้นกระจาย ทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลงเนื่องจากประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กัน จนเกาะกลุ่มเข้าด้วยกันได้

(2) โดยการทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (กลไกแบบดูดติดผิว)

สารเคมีบางหมู่ที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของคอลลอยด์ สามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้า ทำให้แรงผลักกันระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันได้

(3) โดยห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

การเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอ จะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับรวมตัวกับผลึก จากลักษณะที่เกิด เป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ

(4) โดยการใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

โพลีเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีอนุมูลต่อกันเป็นสายยาว โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว

โคแอกกูแลนท์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ สารส้ม (Alum) และสารประกอบเหล็กบางตัว เช่น $FeCl_3$ และ $FeSO_4$ ในประเทศไทยสารส้มเป็นที่นิยมมากเนื่องจากใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาพอสมควร

2.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับระบบประปาแบบกรองโดยตรงมักนิยมทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองที่มีขนาดและองค์ประกอบแตกต่างกันไป ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถควบคุมตัวแปรและการทดลองให้เป็นไปตามสภาวะที่ต้องการศึกษาอันจะนำไปสู่ข้อมูลที่ถูกต้อง

วิทยา ไชยเดช และ พงศ์พีระ อุดมระติ (2538) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาทฤษฎีของซูเปอร์ฟิลเตอร์และประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดความขุ่น โดยใช้ระบบกรองน้ำแบบซูเปอร์ฟิลเตอร์จำลองประกอบด้วย ถังกรองใบที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว บรรจุทรายขนาดและความลึกต่างๆกัน และถังกรองใบที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว บรรจุทรายขนาด 0.85-1.18 มม.ลึก 60 ซม. น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 50 NTU อัตราการกรอง 5.0 ม./ชม. ใช้สารส้มความเข้มข้น 150 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนท์ จากการทดลองพบว่า ระบบกรองน้ำแบบซูเปอร์ฟิลเตอร์สามารถลดความขุ่นของน้ำดิบสังเคราะห์จาก 50 NTU ลงเหลือต่ำกว่า 1 NTU การใช้ทรายในถังกรองใบที่ 1 เล็กเกินไปจะทำให้ความปั่นป่วนภายในถังมีค่ามากและเกิดการอุดตันภายในถังนี้ทำให้ถังกรองใบที่ 2 ทำงานได้ไม่เต็มที่ การใช้ทรายกรองในถังใบที่ 1 ขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ระบบกรองน้ำทำงานได้นานขึ้น การสิ้นสุดการกรองน้ำส่วนใหญ่เกิดจากความขุ่นหลุดออกมากับน้ำที่กรองแล้วเกินที่กำหนดไว้ ระยะเวลาที่ระบบกรองน้ำได้อยู่ในช่วง 60-340 นาที

Shea, T. G. et al. (1971) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารส้ม และโพลีอิเลคโตรไลท์ที่มีประสิทธิภาพของระบบการกรองน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของฟลอค ขนาดและความลึกของสารกรอง ความขุ่นของน้ำดิบ และอัตราการกรอง โดยใช้ระบบประปาแบบกรองโดยตรงซึ่งประกอบด้วยถังกวนเร็วและถังกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว จำนวน 4 ถัง แต่ละถังบรรจุสารกรองขนาดต่างๆกัน ทำการทดลองโดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ซึ่งมีความเข้มข้นของดิน 6 มก./ล. อัตราการกรอง 3 และ 9 แกลลอน/ตารางฟุต.นาที ใช้สารส้มและโพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารโคแอกกูแลนท์ ผลการทดลองพบว่า สารกรองที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากกว่าและกรองน้ำได้ระยะเวลาสั้น การใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์จะทำให้ความขุ่นสามารถหลุดออกมากับน้ำที่กรองแล้วได้ง่ายกว่าการใช้โพลีเมอร์ ความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดของสารกรองและความขุ่นของน้ำดิบ การใช้อัตราการกรองที่มากขึ้นจะทำให้ถังกรองทำงานได้สั้นลง

Adin, A. and Rebhun, M. (1974) ทำการทดลองโดยใช้ระบบประปาแบบกรองโดยตรงประกอบด้วย ระบบจ่ายน้ำดิบ ระบบเติมสารโคแอกกูแลนท์ และถังกรอง โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ที่มีดินขาวความเข้มข้น 20 มก./ล. เพื่อศึกษาทฤษฎีการกรองโดยตรงและเปรียบเทียบข้อดีระหว่างโพลีเมอร์และสารส้ม จากผลการทดลองพบว่าระบบการกรองแบบนี้ซึ่งกระบวนการฟลอคคูเลชั่นและการกรองเกิดขึ้นในถังใบเดียวกันสามารถกำจัดอนุภาคในน้ำได้ดี โพลีเมอร์ประจุบวกสามารถบำบัดน้ำที่มีอัตราการกรองสูง(20 ม./ชม.) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโพลีเมอร์จะทำให้เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรงระหว่างอนุภาคความขุ่นที่ถูกกำจัดกับสารกรอง ทำให้ใช้กับสารกรองที่มีขนาดใหญ่ได้ แต่การใช้โพลีเมอร์ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเฮดมากกว่า การใช้สารส้มกับน้ำที่มีอัตรา

การกรองสูงและสารกรองที่มีขนาดใหญ่จะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการกำจัดความออกจากน้ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสารกรองไม่แข็งแรงเพียงพอทำให้เกิดการทะลุของความขุ่นจากชั้นสารกรองเกิดขึ้นรวดเร็ว การใช้สารส้มจะให้ประสิทธิภาพที่ดีเมื่ออัตราการกรองอยู่ระหว่าง 5-10 ม./ชม. และสารกรองมีขนาดไม่เกิน 0.6 มม.

McCormick, R. F. and King, P. H. (1982) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบการกรองแบบโดยตรงโดยใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำ 5 แห่งใน Virginia โดยแปรค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องจากการศึกษาพบว่า ระบบการกรองจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อระบบประกอบด้วยถังกวนเร็วที่มีเวลาเก็บกัก 3 นาที ใช้สารส้มและโพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนท์ร่วมกัน อัตราการกรอง 3.5 มม./ว. ผ่านถังกรองซึ่งบรรจุถ่านขนาด 1.3 มม.สูง 51 ซม. และทรายขนาด 0.45 มม. สูง 25 ซม. ระบบการกรองแบบนี้จะทำให้ได้น้ำที่กรองแล้วมีความขุ่นผ่านมาตรฐานของ AWWA โดยมีระยะเวลาการกรองน้ำอย่างน้อยที่สุด 8 ชม. โดยที่น้ำดิบจะต้องมีความขุ่นน้อยกว่า 15-20 NTU

Craig,K.(1985) ทำการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำจากเขื่อน Chichester มาทำเป็นน้ำประปาโดยใช้ระบบประปาแบบกรองโดยตรง รวมทั้งชนิดของสารกรอง อัตราการกรอง และชนิดและความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนท์ โดยใช้ท่ออะคริลิคใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 มม. ยาว 6 ม. จำนวน 3 อัน ใส่สารกรองขนาดต่างๆกัน ใช้สารส้มและโพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนท์ จากการทดลองพบว่าระบบประปาแบบกรองโดยตรงเหมาะสมกับน้ำจากเขื่อน ความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมกับน้ำดิบความขุ่น 2-100 NTU อยู่ในช่วง 10-35 มก./ล. ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารส้มมากกว่าที่เหมาะสมจะทำให้น้ำที่กรองได้มีคุณภาพดีขึ้น แต่จะทำให้ฟลอคที่ได้มีขนาดใหญ่และระยะเวลาการกรองน้ำลดลง การใช้อัตราการกรองน้ำแบบคงที่(Constant-rate)และแบบลดลง(Declining-rate)จะให้ปริมาณน้ำและคุณภาพที่เท่ากัน อัตราการกรองที่ 10-20 ม./ชม. ให้ปริมาณน้ำทั้งหมดที่กรองได้เท่ากัน ระบบกรองน้ำสามารถทำงานได้ดีเมื่อน้ำมีอุณหภูมิ 8-28°C

Clark, S. C. et al. (1992) ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบและประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคในช่วงเริ่มต้นของการกรองน้ำโดยใช้ระบบประปาแบบกรองโดยตรงประกอบด้วย ถังกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มม. บรรจุสารกรองขนาดและความลึกต่างๆกัน ทำการทดลองโดยใช้โพลีเมอร์เป็นสารโคแอกกูแลนท์ อัตราการกรองต่างๆกัน จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคในช่วงเริ่มต้นของการกรองน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและดำเนินต่อไปอีกหลายชั่วโมงสำหรับอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก แต่อนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่จะเกิดได้น้อยและช้ากว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดสารกรอง(จาก 0.8-1.85 มม.) จะทำให้การกำจัดอนุภาคเกิดขึ้นตลอดทั่วทั้งชั้นความลึกของถังกรองและลดการสูญเสียเฮดลง แต่

ต้องใช้ความลึกของสารกรองเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับสารกรองขนาดเล็ก การใช้สารกรองขนาดใหญ่เกินไปจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำมาก การเพิ่มความลึกของชั้นสารกรองไม่อาจชดเชยได้ อัตราการกรองมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคและการสูญเสียเฮด แต่เมื่อเทียบกับขนาดของสารกรองแล้ว อัตราการกรองมีผลน้อยกว่า

Ngo, H. H. et al. (1995) ได้ทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองประกอบด้วยถังฟลอคคูเลเตอร์และถังกรองทราย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของฟลอคในระบบประปาแบบกรองโดยตรงกับความเหมาะสมของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ ในการศึกษาใช้สองวิธี วิธีแรกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบฟลอคคูเลชั่นและระบบกรอง วิธีที่สองใช้ตัวเลขดรรชนีการกรองของ Ives จากผลการศึกษาพบว่า (1) ขนาดของฟลอคที่มีค่าอยู่ในระหว่างช่วงหนึ่งจะทำให้ถังกรองสามารถกรองน้ำได้ยาวนานขึ้น (2) ความเข้มข้นของสารส้มเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้เกิดฟลอคขนาดและความหนาแน่นใดๆ (3) การจัดให้มีค่าความปั่นป่วนและเวลาในการเกิดฟลอคคูเลชั่นที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบประปาแบบกรองโดยตรง และ(4) ความลึกของชั้นสารกรองที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถเพิ่มอัตราการกรองได้ จากผลการทดลองพบว่าฟลอคขนาด 62 ไมครอน ซึ่งได้จากการเกิดฟลอคคูเลชั่น 2.5 นาทีที่ค่าความปั่นป่วน 26.5 วินาที$^{-1}$ เหมาะสมกับระบบประปาแบบกรองโดยตรงที่ใช้ทดลอง ขนาดฟลอคที่เหมาะสมนี้จะแปรไปตามขนาด ความลึกของชั้นกรองและอัตราการกรอง จากค่าดรรชนีการกรองของ Ives ชี้ว่า ฟลอคขนาด 57-76 ไมครอน ซึ่งได้จากการเกิดฟลอคคูเลชั่น 4.8-7.2 นาที ที่ค่าความปั่นป่วน 33.6-79.6 วินาที$^{-1}$ เป็นค่าที่เหมาะสม