บทที่ 2

ทฤษฎีของระบบถังทรายกรองช้า

2.1 ความเป็นมาของระบบถังทรายกรองช้า (Huisman, 1974)

ระบบประปาแบบถังทรายกรองช้า ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรก ในลักษณะของการทดลองศึกษาเมื่อปี ค.ศ.1804 โดยจอห์น กิบบ์ (John Gibb) เป็นผู้ออกแบบและจัดสร้างที่เมืองเพสเลย์ (Paisley) ประเทศสก๊อตแลนด์ จากนั้นยังร่วมกับคนอื่น ๆ พยายามปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้ดีขึ้น กระทั่งในปีค.ศ. 1829 เจมส์ ซิมสัน (James Simpson) ได้นำมาใช้ในระบบประปาในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ

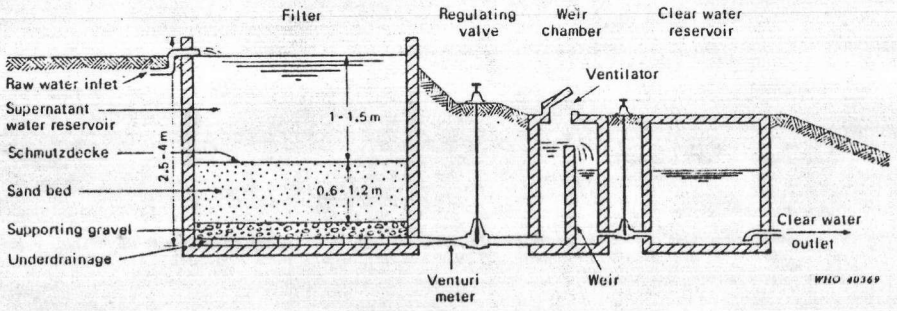
บทพิสูจน์ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบถังทรายกรองช้า จนเป็นที่ยอมรับในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้มาตรฐานและกำจัดเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี คือเหตุการณ์ที่เกิด ในปีค.ศ. 1892 ที่เมืองฮัมบูร์ก (Hamburg) ประเทศเยอรมัน กับเมืองอัลโทนา (Altona) ซึ่งเป็นเมืองที่อยู่ใกล้เคียงกัน ประชาชนในเมืองทั้งสองต่างก็ใช้น้ำจากแม่น้ำเอลเบ (Elbe) วิธีการนำน้ำมาใช้นั้นต่างกัน คือน้ำใช้สำหรับประชาชนในเมืองอัลโทนา เป็นน้ำซึ่งผ่านกระบวนการผลิตระบบถังทรายกรองช้า ส่วนน้ำใช้สำหรับประชาชนในเมืองฮัมบูร์ก เป็นน้ำที่ไม่ผ่านกระบวนการใดเลย เมื่อลำน้ำดังกล่าวถูกทำให้เกิดความสกปรกโดยค่ายผู้อพยพ จึงเกิดการระบาดของโรคอหิวาต์ มีผลทำให้ประชาชนในเมืองฮัมบูร์กล้มตายไปกว่า 7,500 คน ในขณะที่ประชาชนในเมืองอัลโทนาไม่ได้รับผลของการระบาดเลย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ระบบถังทรายกรองช้าสามารถกำจัดเชื้อโรคที่ปนอยู่ในน้ำได้

สำหรับการใช้ระบบถังทรายกรองช้า ในประเทศไทยเราเริ่มเป็นแห่งแรกในปี พ.ศ. 2510 (S. Bauseemuang, 1984) ที่หมู่บ้านกองนาง จังหวัด

หนองคาย และตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมาจำนวนของการประปาระบบถังทรายกรองช้าก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถังทรายกรองเร็ว (Rapid Sand Filter) แล้ว พบว่าระบบถังทรายกรองช้าเพิ่มจำนวนขึ้นช้าและน้อยมาก อย่างไรก็ตามข้อสังเกตุนี้ก็ได้รับความสนใจจากวิศวกรสุขาภิบาลหลายๆท่าน ตลอดจนผู้ชำนาญงานในแขนงนี้ตลอดมา

2.2 <u>ส่วนประกอบของถังทรายกรองช้า</u>(Huisman, 1974)

ส่วนประกอบหลายๆ อย่าง ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นถังทรายกรองช้าแสดงไว้ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งจะมีส่วนที่จำเป็น ดังนี้คือ



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของถังทรายกรองช้าโดยสังเขป

2.2.1 <u>ชั้นน้ำดิบเหนือทรายกรอง</u> (Supernatant water reservoir) มีหน้าที่หลักในการคงไว้สำหรับเฮด (Head) ที่เพียงพอสำหรับการกรอง ซึ่งเฮดของน้ำนี้จะทำให้เกิดความดันที่จะพาเอาน้ำไหลผ่านชั้นกรองไป

2.2.2 <u>ชั้นทรายกรอง</u> (Sand bed) จะมีกระบวนการทำความสะอาดน้ำหลายๆ วิธีซึ่งจะได้กล่าวต่อไปภายหลัง

2.2.3 <u>ระบบรับและระบายน้ำกรอง</u> (Under-drainage) มีหน้าที่ 2 ประการคือรองรับชั้นทรายกรอง และระบายน้ำซึ่งผ่านการกรองแล้วออกจากชั้นล่างสุดของชั้นกรองออกไป

2.2.4 <u>ระบบควบคุมถังกรอง</u> (Control system) จะประกอบไป

ด้วยระบบควบคุมต่าง ๆ เช่น ประตูน้ำ ฝายควบคุมระดับน้ำ และอื่นๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปภายหลัง

ในส่วนประกอบ 3 ประการแรกนั้นเป็นส่วนหลัก สำหรับส่วนควบคุมถังกรองจะเป็นองค์ประกอบที่จะช่วยให้ระบบการกรองมีความคล่องตัว และทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วถังทรายกรองช้าจะมีรูปร่างลักษณะทรงกระบอกกลม หรือสี่เหลี่ยมรูปกล่อง ความลึกประมาณ 2.5 - 4 เมตร และบ่อยครั้งที่พบว่าเป็น โครงสร้างที่ฝังดินอยู่ส่วนหนึ่งเพื่อความประหยัดและสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ การก่อสร้างนั้นอาจจะอาศัยวัสดุต่างๆ ตามแต่จะสามารถจัดหามาได้สะดวกและประหยัดมากที่สุด

ชั้นทรายกรองซึ่งจะมีความหนาประมาณ 0.6 - 1.2 เมตร ด้านบนจะเป็นชั้นน้ำดิบซึ่งลึกประมาณ 1 - 1.5 เมตร ตามเกณฑ์กำหนดในการออกแบบทั่วๆ ไป

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ควรกล่าวถึงในเบื้องต้นนี้อีกอย่างหนึ่งคือ การยกทางน้ำออกจากถังกรองซึ่งจะมีผลดีกับระบบการกรองหลายอย่าง ประการแรกคือช่วยรักษาระดับน้ำไม่ให้ลดต่ำลงไปกว่าชั้นผิวหน้าทราย ประการที่สองคือช่วยให้การควบคุมอัตราการกรองทำได้ง่ายขึ้น โดยเลือกอัตราการกรองด้วยการปรับประตูน้ำที่ทางน้ำเข้าเท่านั้นเป็นพอ และผลดีประการสุดท้ายที่เป็นเสมือนผลพลอยได้ หากการยกทางน้ำออกมีลักษณะเป็นฝาย (weir) เพื่อให้น้ำล้นออกไปจะเป็นการเติมออกซิเจนในน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว

2.3 หลักการทำงานของถังทรายกรองช้า

2.3.1 กลไกในการทำความสะอาดน้ำ

การกรองช้าเป็นวิธีการทำให้น้ำสะอาดวิธีหนึ่ง เริ่มตั้งแต่การผ่านน้ำดิบเข้าสู่ถังกรองซึ่งมีทรายกรองที่คัดขนาดไว้แล้วบรรจุอยู่ น้ำดิบจะไหลผ่านหน้าทรายกรอง และซึมผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในชั้นทรายกรอง ไหลไปจนถึงชั้นล่างสุดของถังกรอง ระหว่างที่น้ำไหลจากชั้นบนสุดกระทั่งมาถึงชั้นล่างสุดนี้ จะมีกลไกในการทำความสะอาดน้ำ ดังนี้ คือ

2.3.1.1 <u>กลไกทางฟิสิกส์</u> เป็นกลไกสำคัญในการขจัดมลสารต่างๆ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 กลไกหลักดังนี้ คือ

- Mechanical Straining
- Sedimentation
- Adsorption

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>กลไกแบบ Mechanical Straining</u> (ไพรัชจน์ สัตยสัณห์สกุล, 2529) เป็นกลไกการกรองอนุภาคแขวนลอย ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างสารกรอง เพื่อให้สารแขวนลอยติดค้างอยู่ภายในชั้นกรองระหว่างการไหลผ่านของน้ำ โดยปกติทรายกรองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 มม. จะสามารถกำจัดสารแขวนลอยซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอนหลังจากการกรองดำเนินไประยะหนึ่งจะมีการติดค้างของสารแขวนลอยจนทำให้ช่องว่างระหว่างทรายกรองมีขนาดเล็กลงไปจากเดิม ทำให้สารแขวนลอยขนาด 5 - 10 ไมครอน บางส่วนติดค้างอยู่ระหว่างทรายกรองได้โดยกลไกแบบนี้ อย่างไรก็ตามสารแขวนลอย เช่น คอลลอยด์ (ขนาด 0.001 - 1 ไมครอน) ยังไม่สามารถถูกกำจัดออกด้วยกลไกแบบ Mechanical Straining

<u>กลไกแบบตกตะกอน</u> (Sedimentation) เป็นกลไกซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของสารแขวนลอยไปตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะมีน้ำหนักมากพอที่จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรองได้ในลักษณะของการตกตะกอน นอกจากนี้ระยะเวลาการกักน้ำ (Detention time) ที่นานพอ จะให้สารแขวนลอยมีโอกาสจับตัวกันเป็นฟล็อค (Floc) และมีความหนาแน่นของมวลสูงพอจะตกตะกอนด้วยกลไกเดียวกันได้เช่นกัน

<u>กลไกแบบการดูดติดผิว</u> (Adsorption) เป็นกลไกที่มีความสำคัญในการกรอง สามารถจับเอาสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก ๆ ไปจนถึงคอลลอยด์หรือโมเลกุลสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ การดูดติดผิวมีหลายๆ วิธีการที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังนี้ คือเมื่อน้ำดิบไหลผ่านชั้นกรอง อนุภาคสารแขวนลอยจะสัมผัสกับผิวของเม็ดทราย และจะเกาะติดเป็นเมือกเหนียวรอบๆ เม็ดทรายและจะจับติดกับสารอินทรีย์หรือแบคทีเรีย โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่าง

อนุภาคหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แรงวันเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) กับแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าของอนุภาคซึ่งมีประจุต่างกัน หรือเรียกว่า แรงคูลอมบ์ (Coulomb forces)

2.3.1.2 <u>กลไกทางชีวเคมี</u> ระหว่างที่น้ำไหลผ่านช่องว่างของเม็ดทรายไปในขณะทำการกรองน้ำ พวกสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำดิบและมีขนาดใหญ่ ไม่อาจไหลผ่านช่องว่างของเม็ดทรายไปได้ ก็จะติดค้างอยู่บนผิวหน้าของชั้นทรายกรอง รวมกันเกิดเป็นชั้นบาง ๆ มีลักษณะพรุนเรียกว่า "Filter Skin" หรือ "Schmutzdecke" ในชั้นนี้จะมี Micro-organisms ต่าง ๆ อาศัยอยู่ เช่น สาหร่าย, แพลงคอน, ไดอะตอมและแบคทีเรีย สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถดำรงชีพอยู่ โดยการใช้สารอินทรีย์ที่มากับน้ำเป็นอาหาร สารอินทรีย์เหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกออกซิไดส์เพื่อให้พลังงานแก่แบคทีเรีย ไว้ใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ดังสมการ

$$C\ H\ O\ N\ S + O_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} CO_2 + NH_3 + \text{energy} + \underline{\text{other end products}} \quad ...(1)$$

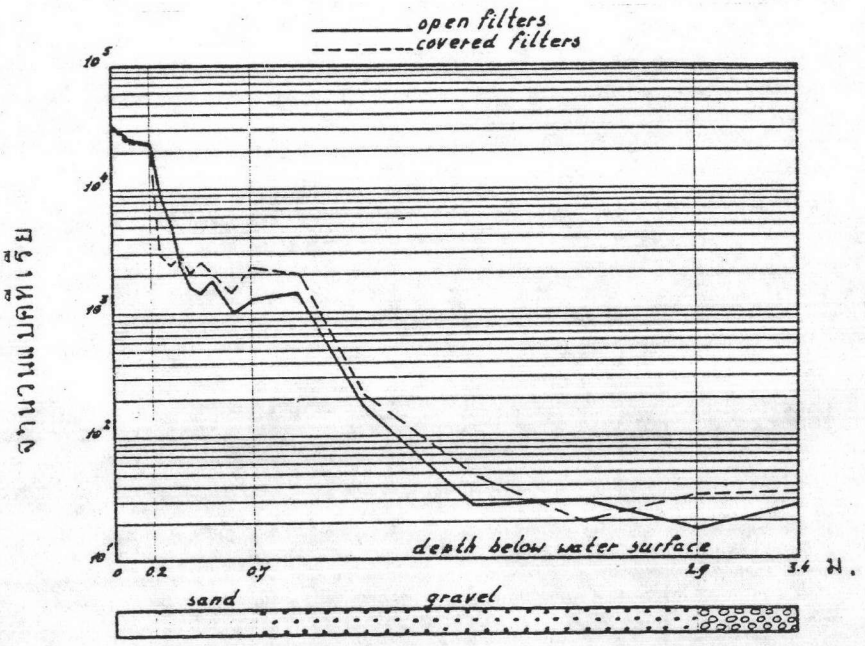
สารอินทรีย์อีกบางส่วนจะถูกนำไปใช้สำหรับสร้างเซลล์ (Cell) เพื่อการเจริญเติบโตของมัน ถึงแม้ว่าปริมาณสารอินทรีย์จะถูกจำกัดโดยน้ำดิบซึ่งปล่อยเข้ามา แต่ปริมาณประชากรของแบคทีเรียก็สามารถคงปริมาณที่คงที่ไว้ได้ โดยจะมีอัตราการตายและอัตราการเกิดขึ้นใหม่อยู่ในภาวะที่สมดุลย์กัน ผลของปฏิกิริยาซึ่งอาจมีสารประกอบใด ๆ ก็ตาม ซึ่งจะถูกพาไปโดยน้ำลงไปยังชั้นกรองที่ลึกลงไป และจะถูกนำไปใช้อีกครั้งโดยแบคทีเรียอื่น ๆ ด้วยวิธีนี้ สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้และปรากฏอยู่ในน้ำดิบ จะถูกแปรสภาพไปทีละน้อย ในที่สุดจะเปลี่ยนเป็นน้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์ และเกลืออินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตราย

สิ่งที่ควรกล่าวเน้นอีกประการหนึ่งคือ ระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อการสร้างตัวเองขึ้นมาใหม่ และต้องมีช่วงการหยุดพักที่เพียงพอ ซึ่งในระหว่างนั้นแบคทีเรียบางส่วนจะถูกดูดซับไปบนผิวของเม็ดทรายกรอง โดยจะมีการ เลือกใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารต่างกันไปและการแปรสภาพสารอาหารจะเป็นไปหลายสภาวะ ตัวอย่างเช่น

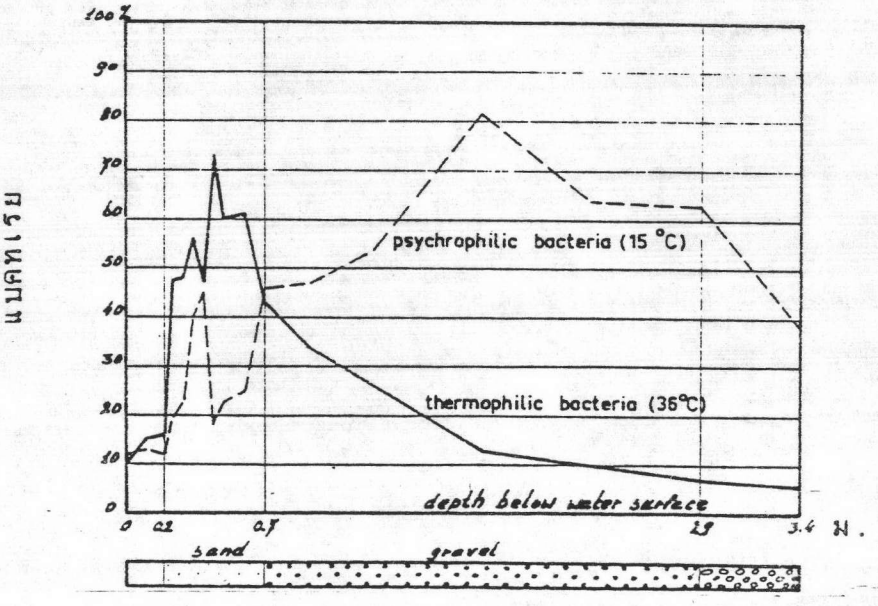
012482

สารอินทรีย์ ---> กรดอะมิโน ---> แอมโมเนีย ---> ไนไตรต์ --->ไนเตรท

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีชนิดแบคทีเรียชนิดและจำนวนเฉพาะเป็นของตัวเอง และจะอยู่ที่ความลึกเฉพาะในชั้นทรายกรอง ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.2 และ 2.3 (Huisman, 1982)



ภาพที่ 2.2 การลดจำนวนแบคทีเรียลงตามความลึกของถังทรายกรองช้าที่อุณหภูมิ 22 องศาเซนติเกรด และอัตราการกรอง 0.1 ม./ชม.



ภาพที่ 2.3 แบคทีเรียประเภท Thermophile และ Psychrophile เปรียบเทียบกันที่ความลึกต่างๆ ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซนติเกรด

การเพิ่มอัตราการกรอง ซึ่งจะเป็นการลดเวลาการกักน้ำ และจะมีผลทำให้แบคทีเรียต้องเคลื่อนตัวลงสู่ระดับความลึกลงไปกว่าเดิม และเมื่อเป็นเช่นนั้นแล้วจะเกิดผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ อย่างช้า ๆ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการแปรสภาพสารอินทรีย์ จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในชั้นความลึกประมาณ 0.6 เมตร ดังนั้นหากคำนึงถึงการเพิ่มอัตราการกรองที่อาจมีได้แล้วละก็ ความลึกที่น้อยที่สุดของชั้นทรายกรองควรจะเป็น 0.7 เมตร และควรจะมีส่วนเผื่อ สำหรับการทำความสะอาดชั้นทรายกรองอีกประมาณ 0.3 - 0.5 เมตร กรณีที่ต้องมีการขุดผิดหน้าทรายออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภูมิอากาศ แถบร้อนเช่นประเทศไทย จะมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้นในอัตราสูง ด้วยเหตุนี้ความลึกอย่างน้อยที่สุดของชั้นทรายกรองไม่ควรต่ำกว่า 1 เมตรในช่วงเริ่มต้น และเมื่อขณะใช้งานไปนั้นความลึกอาจค่อย ๆ ลดลงไปแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร จึงจะเป็นการเหมาะสม

สิ่งที่ต้องตระหนักอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เพราะกระบวนการทางชีวเคมีที่กล่าวมานั้นต้องอาศัยออกซิเจน ดังตัวอย่างสมการการออกซิไดส์แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำดิบดังนี้

$$NH_4^+ + 2O_2 + 2HCO_3^- \longrightarrow NO_3^- + 3H_2O + 2CO_2 \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

ซึ่งพบว่าจะต้องการออกซิเจนจำนวนไม่ต่ำกว่า 3.6 กรัมต่อแอมโมเนีย 1 กรัม เมื่อใดที่มีการใช้ออกซิเจนไปมากกว่าปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำดิบ จะทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน (Anaerobic) ผลที่ตามมาคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งมีทั้งกลิ่น และรสอันเป็นที่รังเกียจด้วย นอกจากนั้นเหล็กและมังกานีสซึ่งถูกออกซิไดส์ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำนั้นจะกลับคืนมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำดังสมการ

$$2Fe_2O_3\ nH_2O + 8CO_2 \longrightarrow 4Fe^{++} + O_2 + (2n-4)H_2O + 8HCO_3^- \quad \ldots (3)$$

$$2MnO_2 + 2H_2O + 4CO_2 \longrightarrow 2Mn^{++} + O_2 + 4HCO_3^- \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

และเหล็กกับมังกานีสอาจปรากฏอยู่ในน้ำที่ผ่านการกรองมากขึ้น อย่างไรก็ตามสภาพขาดออกซิเจนนี้สามารถป้องกันได้ โดยการออกแบบให้มีระบบ Pre - treatment เพื่อเติมออกซิเจนลงในน้ำดิบให้มีมากพอ

ปฏิกิริยาการทำความสะอาดน้ำที่มีความสำคัญมากที่สุดของถังทรายกรองช้า คือการกำจัดแบคทีเรียออกไป ซึ่งหมายถึง E.coli และ Pathogens ด้วยเช่นกัน หากอาศัยกระบวนการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และอาศัยการเคลื่อนไหวของแบคทีเรียเองด้วยแล้ว แบคทีเรียจะไปติดอยู่ที่ผิวของเม็ดทรายกรอง ซึ่งมีอาหารอยู่อย่างสมบูรณ์ แต่สำหรับแบคทีเรียที่มีผลต่อระบบทางเดินอาหารของคนนั้น สภาพแวดล้อมดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับมัน คือมันจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ ๆ และมีปริมาณสารอินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นที่บริเวณส่วนบนของชั้นทรายกรองนั้นจะมี Organisms ซึ่งอยู่ในประเภท Predator จะกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร แบคทีเรียเหล่านี้ในท้ายที่สุดแล้ว จะถูกกำจัดไปจนเกือบหมด โดยอาจจะถูกกินโดยตรงหรือถูกทำให้อ่อนกำลังด้วยสารพิษต่าง ๆ โอกาสที่จะมีชีวิตรอดอยู่น้อยมาก ซึ่งสำหรับน้ำดิบโดยทั่วไปนั้นมักจะไม่ปรากฏ พบ E.Coli ใน 100 ลบ.ซม. ของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองเลย ทำให้ได้น้ำซึ่งเข้ามาตรฐานน้ำดื่มตามปกติทั่วไป

ในกรณีของประเทศในเมืองหนาวอุณหภูมิอาจต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส การลดลงของแบคทีเรียจะมีน้อยมาก บรรดาพวก Protozoa และ Nematode ที่กินแบคทีเรียจะลดการกินลง เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วการเติมน้ำยาคลอรีนภายหลัง (Post-Chlorination) กลายเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจะให้ได้น้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคที่ปลอดภัย

2.3.2 <u>บทบาทของสาหร่ายในถังทรายกรองช้า</u>

น้ำดิบซึ่งมาจากแหล่งน้ำผิวดิน เช่น อ่างเก็บน้ำ ,แม่น้ำ , ลำคลอง ฯลฯ มักจะปรากฏมีสาหร่าย (Algae) และถูกกักไว้ในถังทรายกรอง-ช้า จนเป็นสาเหตุเบื้องต้นของการอุดตันในชั้นทรายกรอง โดยมากแล้วในการผลิตน้ำสะอาดทั่วไป สาหร่ายจะถูกกำจัดออกไปได้โดยการโคเอกูเลชั่น (Coagulation) และการตกตะกอน (Sedimentation) ก่อนที่จะมีการกรองผ่านทราย แต่ในระบบถังทรายกรองช้าโดยมากจะไม่มีกรรมวิธีกำจัดดังกล่าวจึง

ทำให้ถังกรองช้าต้องรับน้ำดิบที่มีสาหร่ายปะปนเข้ามาโดยตรง กระบวนการโค-เอกูเลชั่น และการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายประมาณ 90 - 95% (Palmer, 1962) ดังนั้นในกรณีของระบบถังทรายกรองช้าแล้วการอุดตันของชั้นทรายกรองจึงเกิดขึ้นได้มากเพราะสาเหตุนี้ และจะส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดชั้นทรายกรองมากขึ้นเช่นกัน

ถึงแม้สาหร่ายจะเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันในชั้นทรายกรองก็ตาม ในระบบถังทรายกรองช้าก็ได้รับประโยชน์จากสาหร่ายอยู่ไม่น้อย กล่าวคือ บรรดาสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำจะรวมตัวประสานกันไปมาเป็นแผ่นชั้นบางๆ ในลักษณะหลวมๆ ทอดตัวอยู่เหนือผิวทรายและจะทำหน้าที่เสมือนชั้นกรอง สาหร่ายในชั้นนี้จะให้ออกซิเจน ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสง(Photo synthesis) และในทางกลับกันออกซิเจนก็จะถูกใช้ไปโดยพวก Saprophytic bacteria, Fungi และ Protozoa ในการเจริญเติบโตของตัวมันเองทั้งบนชั้นกรองและในชั้นกรอง ปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำดิบด้วย (Palmer, 1962)

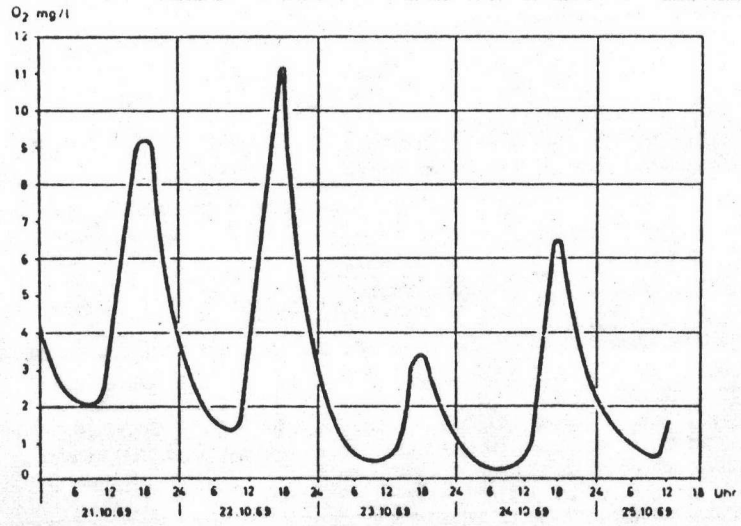
สาหร่ายจะสร้างเซลล์จากเกลือแร่ธาตุต่างๆ ที่มากับน้ำโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ดังสมการ (Huisman, 1982)

$$n(CO_2) + n(H_2O) + light \longrightarrow (CH_2O)_n + n(O_2) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

และเมื่อสาหร่ายตาย เซลล์ของสาหร่ายจะกลายเป็นอาหารของแบคทีเรียที่มีอยู่ในถังทรายกรองต่อไป ดังสมการ (Huisman, 1982)

$$(CH_2O)_n + n(O_2) \longrightarrow n(CO_2) + n(H_2O) + energy \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

ปฏิกิริยาในสมการที่ 6 จะเกิดอย่างต่อเนื่องตลอดวัน ส่วนปฏิกิริยาในสมการที่ 5 จะเกิดเฉพาะเวลากลางวันซึ่งมีแสงสว่างเท่านั้น ดังนั้นจะเกิดความแปรปรวนของปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำเหนือทรายกรองและในน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว ดังเช่นที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ผ่านการกรองจากถังทรายกรองช้า

ถ้ามีความแปรปรวนของออกซิเจนเกิดรุนแรง จนกระทั่งเกิดสภาพขาดออกซิเจนในเวลากลางคืน จะทำให้เกิดสภาพแอนแอโรบิค (Anaerobic) ซึ่งมีผลร้ายต่อระบบกรองดังได้กล่าวมาแล้ว

กรณีที่สาหร่ายมีความสมบูรณ์เต็มที่ ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นอาจจะมาก และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอีกอย่างหนึ่ง คือ ไบคาร์บอเนต จะแตกตัวให้คาร์บอเนต และคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการ (Huisman, 1982)

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + CO_2 + H_2O \quad \ldots\ldots (7)$$

ปริมาณไบคาร์บอเนตที่ลดลง จะทำให้ปริมาณความกระด้างชั่วคราวลดลงด้วย แต่ขณะเดียวกันนั้นจะเกิดตะกอนคาร์บอเนต ทำให้อุดตันถังกรองได้เช่นกัน

การที่สาหร่ายเจริญเติบโตมากขึ้น สิ่งที่เป็นอันตรายทั้งที่มีชีวิต

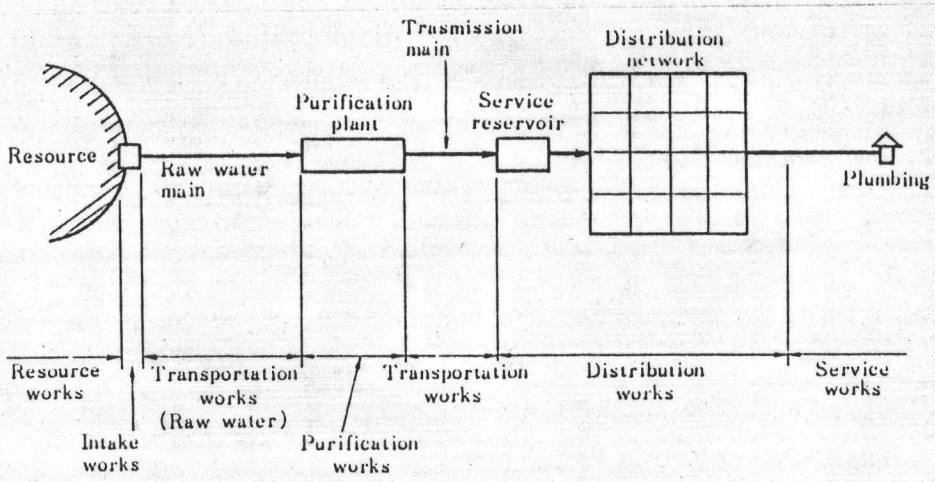
และไม่มีชีวิตจะมีโอกาสถูกทำลายมากขึ้น เกลือแร่ธาตุต่าง ๆ ก็จะถูกนำไปใช้โดยเฉพาะไนเตรท (Nitrates) และฟอสเฟต (Phosphates) ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการดำรงชีพของสาหร่าย

สำหรับประเทศไทยเรานั้น ภูมิอากาศและอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดปี ปฏิกิริยาการเกิดและการตายของสาหร่ายในถังทรายกรองช้าค่อนข้างจะสมดุลย์ จึงไม่ต้องทำความสะอาดถังทรายกรองบ่อยครั้งนัก แต่อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำทิ้งให้น้ำดิบมีเวลาสัมผัสกับแสงแดดมากจนเกินไปก็อาจจะทำให้มีการเกิดสาหร่ายเร็วขึ้นกว่าปกติได้ การแก้ไขอาจทำให้โดยการสร้างหลังคาคลุมถังทรายกรองไว้ หรือควบคุมการไหล ของน้ำดิบผ่านกรองอย่างต่อเนื่อง ไม่ให้น้ำดิบมีเวลาเก็บกักในถังทรายกรองนานจนเกินไป (ไพโรจน์ สัตยสัฒน์สกุล, 2529)

2.4 หลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบถังทรายกรองช้า

2.4.1 การวางแผนระบบประปาโดยทั่วไป

2.4.1.1 องค์ประกอบของระบบประปา (JICA, 1980)



ภาพที่ 2.5 องค์ประกอบของระบบประปาโดยทั่วไป

- งานด้านแหล่งน้ำ (Resource works)
- งานด้านการชักน้ำดิบ (Intake works)
- งานด้านการทำความสะอาดน้ำ (Purification works)

- งานด้านการส่งน้ำ (Transportation works)
- งานด้านระบบจ่ายน้ำ (Distribution works)

2.4.1.2 ข้อพิจารณาในเรื่องแหล่งน้ำ

การเลือกกระบวนการในการทำความสะอาดน้ำ จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งน้ำดิบและคุณภาพน้ำประปาที่ต้องการด้วย ดังนั้น จะต้องพิจารณาถึงคุณภาพน้ำดิบโดยการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ ทางด้านเคมี และทางด้านชีวภาพด้วย

นอกจากนั้น การพิจารณาถึงเรื่องปริมาณน้ำสำหรับผลิตน้ำประปา ก็เป็นสิ่งซึ่งควรคำนึงถึงอย่างรอบคอบ เพราะบ่อยครั้งที่ระบบประปาต้องประสบกับความล้มเหลว เนื่องจากปัญหาเรื่องปริมาณน้ำ กรณีที่เป็นระบบประปาขนาดเล็กไม่ต้องการน้ำดิบปริมาณมากนัก น้ำบาดาลจึงได้รับการพิจารณาก่อนแหล่งน้ำอื่น ทั้งนี้เพราะน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำซึ่งมักจะมีคุณภาพดี นอกจากนี้จะทำให้ระบบความสะอาดน้ำ มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากมากนัก ทั้งยังจะช่วยให้การควบคุมดูแลระบบประปาสะดวกสบายมากขึ้น

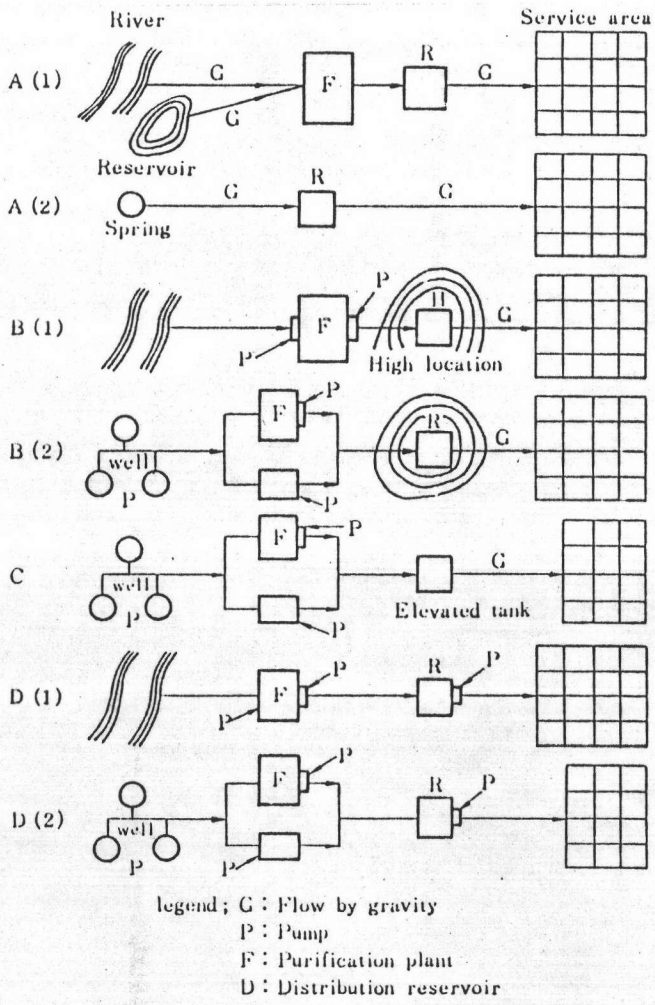
สำหรับแหล่งน้ำผิวดิน เช่นน้ำจาก แม่น้ำลำคลอง อ่างเก็บน้ำธรรมชาติหรืออ่างเก็บน้ำที่จัดสร้างขึ้น มักพบปัญหาในเรื่องความแปรปรวนของคุณภาพน้ำมาก ในแต่ละฤดูกาลและปัญหาเรื่องการปนเปื้อนจากมลทินสารต่างๆ จะเกิดขึ้นได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามแหล่งน้ำผิวดินก็ยังเป็นแหล่งน้ำซึ่งมีความสำคัญมากเป็นอันดับแรกตลอดมา เพราะค่อนข้างง่ายในการจัดหา และปริมาณก็มักจะมีมากพอสำหรับการผลิตน้ำประปา ประกอบกับการจัดหาน้ำใต้ดินโดยทั่วไป จะไม่สะดวกและเสียค่าใช้จ่ายในการจัดหามากด้วย จึงทำให้การออกแบบระบบประปาจำนวนมากยังเลือกใช้แหล่งน้ำผิวดินเป็นส่วนใหญ่ และมุ่งเน้นหนักไปในด้านกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากๆ เพื่อรองรับปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.4.1.3 ลักษณะการจัดระบบประปา (JICA, 1980)

หลังจากได้ตัดสินใจเลือกแหล่งน้ำแล้ว จะต้องทำการสำรวจภูมิประเทศเพื่อจะเลือกตำแหน่งที่จะชักน้ำดิบ และการวางผังการจัดระบบประปาให้เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างของการจัดระบบประปา การส่งน้ำและการจ่ายน้ำได้แสดงไว้ดังภาพที่ 2.6

การวางผังของระบบประปาทั้งหมด ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ซึ่งอยู่ในขอบเขตของการวางแผนนั้น ๆ โดยจะพิจารณาถึงเป้าหมาย 4 ประการคือ

- ให้เกิดความเหมาะสมและสามารถปรับปรุงดัดแปลงใช้ในเงื่อนไขอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นและต้องมีประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นอย่างดีหากมีการปรับปรุงดังกล่าวไปแล้ว
- ให้เกิดความปลอดภัย และสะดวกในการก่อสร้างรวมทั้งการควบคุมดูแล ตลอดจนการบำรุงรักษา อาจจะต้องมีการศึกษาการวางระบบในหลายลักษณะแล้วประเมินค่าเปรียบเทียบกัน
- ให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการจัดการต่ำ เป็นสิ่งซึ่งต้องคำนึงอย่างมากในประเทศยากจน ในการนี้อาจจะต้องตรวจสอบถึงแหล่งเงินทุน การช่วยเหลือ เป้าหมายระยะเวลาคืนทุน ค่าใช้จ่ายในทุกด้าน และการเรียกเก็บค่าบริการ โดยจะต้องศึกษาในแง่เศรษฐศาสตร์อย่างพร้อมมูล
- ให้เกิดความสอดคล้องกับการพัฒนาของท้องถิ่นนั้น ๆ



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างการจัดระบบประปา การส่งน้ำและการจ่ายน้ำ

2.4.1.4 <u>ข้อพิจารณาในเรื่องโครงสร้างส่วนต่าง ๆ</u>

- โครงสร้างส่วนต่าง ๆ ต้องได้รับการออกแบบให้ทนต่อแรง น้ำหนัก ความดัน หรือแม้แต่ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว หรือพายุ เป็นต้น

- ข้อกำหนดต่าง ๆ (Specifications) ที่เกี่ยวกับมาตรฐานที่ดีของวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

- โครงสร้างส่วนต่างๆ จะต้องปราศจากการรั่วไหล รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์อยู่ในลักษณะมีความหนาแน่น คงทน

- ต้องเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่เกิดการผุกร่อน หรือทนต่อการกัดกร่อนโดยสารเคมี

- โครงสร้างส่วนต่าง ๆ ต้องอยู่ในลักษณะที่ปลอดภัยจากแรงลอยตัวของน้ำใต้ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่โครงสร้างอยู่ในภาวะว่างเปล่าปราศจากน้ำ

- เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องคงทนต่อการใช้งาน ง่ายในการควบคุม ดูแลตลอดจนการบำรุงรักษา

2.4.1.5 <u>คุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำ</u>

การที่น้ำประปาจะเป็นที่ยอมรับของประชาชนได้นั้น จำเป็นจะต้องมีลักษณะคุณภาพน้ำที่น่าใช้และปลอดภัยมากพอ ตัวกำหนดคุณภาพ (Parameter) ที่สำคัญ มีทั้งทางด้านกายภาพทางเคมี และทางแบคทีเรีย ซึ่งรวมกันแล้วกำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา (Water Quality Standard) โดยหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบหรือเกี่ยวข้องโดยตรงจะได้กำหนดขึ้นมาตามความเหมาะสมและจุดประสงค์ของการใช้น้ำประกอบกัน

เท่าที่ปรากฏในปัจจุบันนี้ก็มีหลาย ๆ หน่วยงาน และหลายองค์การที่กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำขึ้นมา

นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานอิสระต่าง ๆ ซึ่งประกอบกิจการด้านประปาในต่างประเทศก็กำหนดมาตรฐานขึ้นเพื่อใช้งานตามขอบเขตที่รับผิดชอบ เช่น American Water Work Association (AWWA) ในสหรัฐอเมริกา , California Drinking Water Standards (1972) ในสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก

Constituent or Characteristics	Maximum allowable limit	
Physical		
color	300	unit
Turbidity	Narrative	
Chemical		
TDS	1500	mg/1
Iron	50	mg/1
Manganese	5	mg/1
Copper	1.5	mg/1
Zinc	1.5	mg/1
$MgSO_4 + Na_2 SO_4$	1000	mg/1
ABS (Alkyl Benzyl Sulfonates)	0.5	mg/1
Nitrate as NO_3^-	45	mg/1
Fluoride	1.5	mg/1
Phenolic Substances	0.002	mg/1
Arsenic	0.05	mg/1
Cadmium	0.01	mg/1
Chromium	0.05	mg/1
Cyanide	0.2	mg/1
Lead	0.05	mg/1
Selenium	0.01	mg/1
Radionuclides (gross beta activity)	1000	uuc/1
COD	10	mg/1
Bod	6	mg/1
Total Nitrogen (exclusive of NO_3^-)	1	mg/1

Ammonia	0.5	mg/1
CCE (Carbon Chloroform Extract)	0.5	mg/1
Grease	1	mg/1
Coliform Bacteria	Narrative	

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

a. Standards for the bacteriological quality of drinking water:

1. Throughout any year, 95% of samples should not contain any coliform organisms in 100 ml.
2. No sample should contain E.Coli in 100 ml.
3. No sample should contain more than 10 coliform organisms per 100 ml.
4. Coliform organisms should not be detectable in 100 ml. of any two consecutive samples

b. Substances and characteristics affecting the acceptibility of water for domestic use:

Substance of characteristic	Undesirable effect that may be produced	Highest desirable level	Maximum permissible level
Substances causing discoloration	Discoloration	5 units	50 units
Substances causing odours	Odours	Unobjection-able	Unobjection-able
Substances causing tastes	Tastes	Unobjection-able	Unobjection-able

Suspended matter	Turbidity Possible gastrointestinal irritation	5 units	25 units
Total solids	Taste Gastrointestinal irritation	500 mg/1	1500 mg/1
pH range	Taste Corrosion	7.0 to 8.5	6.5 to 9.2
Anionic detergents	Taste and foaming	0.2 mg/1	1.0 mg/1
Mineral oil	Taste and odour after chlorination	0.01 mg/1	0.30 mg/1
Phenolic compounds (as phenol)	Taste, particularly in chlorinated water	0.001 mg/1	0.002 mg/1
Total hardness	Excessive scale formation	(100 mg/1 Ca03)	(500 mg/1 CaC03)
Calcium (as Ca)	Excessive scale formation	75 mg/1	200 mg/1
Chloride (as Cl)	Taste; corrosion in hot-water systems	200 mg/1	600 mg/1
Copper (as Cu)	Astringent taste; dis-	0.05 mg/1	1.5 mg/1

	coloration and corrosion of pipes, fittings and utensils		
Iron (total as fe)	Taste, discoloration; deposits and growth of iron bacteria; turbidity	0.1 mg/1	1.0 mg/1
Magnesium (as Mg)	Hardness; taste; gastrointestinal irritation in the presence of sulfate	not more than 150 mg/1 30 mg/1 if there are 250 mg/1 of sulfate; if there is less sulfate, magnesium up to 150 mg/1 may be allowed	
Manganese (as Mn)	Taste; discoloration; deposits in pipes; turbidity	0.05 mg/1	0.5 mg/1
Sulfate (as SO_4)	Gastrointestinal irritation when	200 mg/1	400 mg/1

	magnesium or sodium are present		
Zinc (as Zn)	Astringent taste; opal-escence and sand-like deposits	5.0 mg/1	15 mg/1

C. Tentative limits for toxic substances in drinking water:

Substance	Upper limit of concentration
Arsenic (as As)	0.05 mg/1
Cadmium (as Cd)	0.01 mg/1
Cyanide (as CN)	0.05 mg/1
Lead (as Pb)	0.1 mg/1
Mercury (total as Hg)	0.001 mg/1
Selenium (as Se)	0.001 mg/1

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

I. PHYSICAL PROPERTIES	MAXIMUM ACCEPTABLE CONCENTRATION(mg/1)	MAXIMUM ALLOWABLE CONCENTRATION mg/1
Color (Platinum Cobalt Scale)	5	15
Taste	unobjectionable	unobjectionable
Odour	unobjectionable	unobjectionable
Turbidity (Silica Scale Unit)	5	20
pH range	6.5 to 8.5	not over 9.2
II. CHEMICAL PROPERTIES		
Total Solids	500	1,500
Iron (Fe)	0.5	1.0
Manganese (Mn)	0.3	0.5
Iron an manganese	0.5	1.0
Copper (Cu)	1.0	1.5
Zinc (Ca)	5.0	15
Calcium (Ca)	75 **	200
Magnesium (Mg)	50	150
Suiphate (SO_4)	200	250***
Chloride (Cl)	250	600
Fluoride (F)	0.7	1.0
Nitrate (NO_3)	45	45
Alkyl Benzyl Sulfonates (ABS)	0.5	1.0
Phenolic Substances as Phenol	0.001	0.002

III. TOXIC SUBSTANCES

Mercury (Hg)	0.001
Lead (Pb)	0.05
Arsenic (As)	0.05
Selenium (Se)	0.01
Chromium hexavalent (Cr)	0.05
Cyanide (CN)	0.2
Barium (Ba)	1.0
Cadmium (Cd)	0.01

IV. BACTERIOLOGICAL PROPERTIES	MAXIMUM ACCEPTABLE CONCENTRATION(mg/1)	MAZIMUM ALLOWABLE* CONCENTRATION mg/1
Standard Plate Count (N/ml)	500	
Most Probable Number (MPN)		
Coliform Organisms (N/100 ml)	less than 2.2	
Escherichia Coli	None	

Notes: * The maximum allowable concentration is allowable for waterworks and wells used for human consumption temporarity only and the water property is between the maximum acceptable and maximum allowable and will not be entitled to use the standardized trademark.

** If the Calcium (Ca) is higher than the limit and the Magnesium (Mg) is lower, the standard shall be considered as Ca and Mg in terms of total hardness.

If the total hardness calculation in terms of Calcium Carbonate is lower than 300 mg/1, the water could be accepted as within the limits of the standard.

*** If the Sulfate value reached 250 mg/1, the Magnesium (Mg) shall not exceed 30 mg/1.

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวง

ลำดับที่	ชนิด	ที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม ppm
1	สารที่เป็นพิษ ถ้ามีเกินจำนวนทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพคือ	
	ตะกั่ว Lead	0.05
	เซเลเนียม Selenium	0.01
	โครเมียม Chromium	0.05
	ไซยาไนด์ Cyanide	0.01 - 0.2
	อาซีนิค Arsenic	0.01 - 0.05
2	สารบางจำพวกที่เกี่ยวกับสุขภาพ ถ้ามีมากเกินจำนวนที่กำหนดอาจทำให้เกิดโรคได้คือ	
	ฟลูออไรด์ Fluoride	1.2 (acceptable)
	ไนเตรต Nitrate	1.5
3	สารบางจำพวกที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำดื่ม สารพวกนี้ถ้ามีมากเกินกำหนดทำให้น้ำไม่น่าดื่ม	
	กลิ่นและรส Odor and taste	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	สี Color	20 Unit
	ความขุ่น Turbidity	5 Unit
	ความเป็นกรดหรือด่าง pH Value	6.8-8.2
	สารทั้งหมด Totla solids	1000
	ความกระด้าง Total hardness	300
	เหล็ก Iron	0.5
	แมงกานีส Manganese	0.30
	ทองแดง Copper	1.0 - 3.0
	สังกะสี Zinc	15

I16441278

	แมกนีเซียม Magnesium	125
	ซัลเฟต Sulfate as Na_2SO_4	250
	คลอไรด์ Choloride	250
	ฟีนอล Phenol	0.001-0.002
4	สารบางจำพวกถ้ามีอยู่ในน้ำมากเกินไป แสดงว่าน้ำนั้นไม่สะอาดพอมีสิ่งสกปรกปะปนอยู่ด้วย	
	ออกซิเจนคอนซูมด์ Oxygen Consumed	2
	แอมโมเนียอิสระ Free ammonia	0.2
	อัลบูมินอยด์ แอมโมเนีย Albumenoid ammonia	ต้องไม่มีอยู่เลยหรือ
	ไนไตรต์ Nitrite (ในรูป Nitrogen)	น้อยมาก (0.001)
5	แบคทีเรียที่อาจจะทำให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้ ยอมให้มีดังนี้	
	น้ำที่สะอาดมาก มีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) น้อยกว่า 1 ในน้ำ 100 มิลลิตร หรือไม่มีเลย	
	น้ำที่สะอาด มีโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 1-2.2 ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	
	น้ำที่สงสัยว่าสะอาดหรือไม่ มีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 3-10 ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	
	น้ำที่ไม่สะอาด มีโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากกว่า 10 ในน้ำ 100 มิลลิลิตร	
	สำหรับน้ำประปา จะต้องมีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย น้อย (หรือต้องไม่มีเลย) กว่า 2.2 M.P.N.	

หมายเหตุ แพลทตินั่มโคบอลท์สเกล (Platinum Cobalt Seale) สำหรับสี

เทอบิดีตี้ ยูนิต (Turbidity units) สำหรับความขุ่น

ppm = parts per million (1 ส่วนในล้านส่วน) หรือจำนวนมิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร หรือจำนวนกรัมในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร, M.P.N-Most Probale Number

2.4.2. <u>เกณฑ์กำหนดการออกแบบถังทรายกรองช้า</u> ในการออกแบบถังทรายกรองช้ามีข้อกำหนดเป็นหลักเกณฑ์สำหรับหาองค์ประกอบต่าง ๆ ของถังกรอง ดังนี้คือ(Dijk & Oomen, 1982)

- อัตราการกรอง (Filtration rate) = 0.1 ม./ชม.(0.1-0.2 ม./ชม.)
- พื้นที่ผิวการกรองของถังแต่ละใบ = 10-100 ตร.ม.
- จำนวนของถังกรอง = ไม่น้อยกว่า 2 ใบ
- ความสูงของระดับน้ำเหนือชั้นทราย = 1 ม.(1-1.5 ม.)
- ความลึกของชั้นทรายกรอง = 1 ม.(1-1.4 ม.)
- ความลึกของชั้นกรวด = 0.4 ม.(0.3-0.5 ม.)

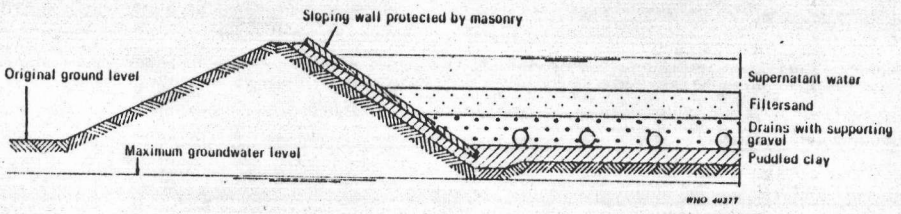
จากเกณฑ์กำหนดดังกล่าวข้างต้นนี้ พอที่จะเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบในรายละเอียด ตลอดจนองค์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละส่วนซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียด ดังหัวข้อต่อไปนี้คือ

2.4.2.1 <u>โครงสร้างของถังกรอง</u> (Filter box)

โครงสร้างของถังกรอง จะทำหน้าที่บรรจุชั้นทรายกรอง ระบบรับน้ำกรอง ระบบระบายน้ำกรอง และชั้นน้ำดิบเหนือทราย ลักษณะโดยทั่วไปจะมีความลึกประมาณ 2.5 - 4 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันไป โดย Huisman (1982) ได้แนะนำไว้ว่าพื้นที่หน้าตัดอาจจะสูงกว่า 100 ตร.ม กระทั่งถึงเป็นพัน ตร.ม ก็ได้ วัสดุที่ใช้ก่อสร้างถังกรองอาจจะเป็น การก่ออิฐ หรือ การใช้คอนกรีต บ่อยครั้งที่ถังกรองถูกสร้างไว้ในรูปร่างลักษณะแปลก ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ซึ่งมีรูปร่างลักษณะต่างกันไป จะได้เป็นการง่ายในแง่การก่อสร้างถังกรองนั้น อย่างไรก็ตามถังกรองในปัจจุบันมักจะออกแบบให้มีลักษณะรูปทรงเรขาคณิตอย่างสมบูรณ์ อาจจะมีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมหรือถังกลมตามความต้องการ

เมื่อต้องการจะป้องกันไม่ให้เกิดการไหลปะบนเข้ามาโดยน้ำใต้ดิน ซึ่งมีโอกาสเล็ดลอดเข้าไปในถังกรองตามรอยแตก หรือรอยร้าวของผนังและพื้นถังกรอง ควรจะสร้างถังกรองให้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินสูงสุด และถ้าเป็นไปได้ควรจะสร้างถังกรองไว้บนพื้นดิน หากคำนึงถึงความสะดวกในเรื่องการทำความสะอาดถังกรองแล้ว ควรออกแบบให้ขอบบนของผนังถังกรองสูงกว่าระดับพื้นดินไม่มากนัก แต่ไม่ควรจะต่ำจนเกินไปเพราะจะทำให้ฝุ่นและดินทรายที่พัดมาโดยกระแสลมปลิวเข้ามาในถังกรองได้ หรืออาจจะมีสัตว์เล็กๆ เช่น หนู และสัตว์อื่นลงไปในถังกรองได้เช่นกัน

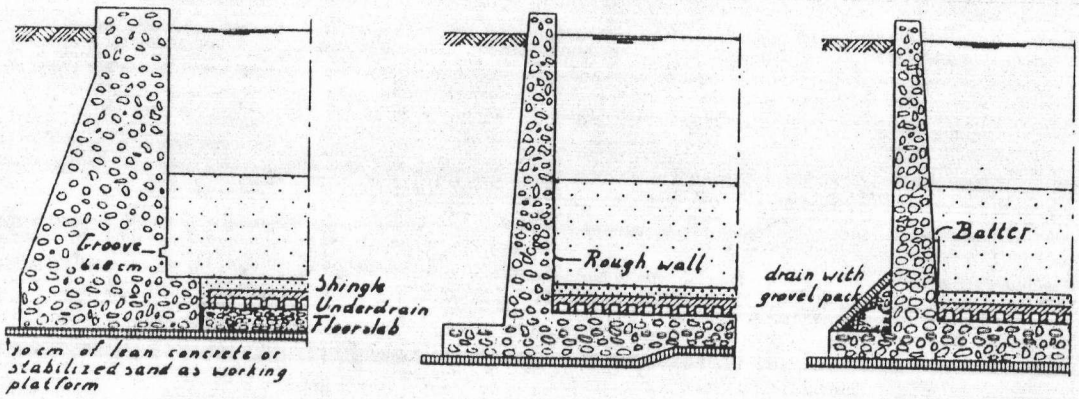
โครงสร้างวัสดุอิฐก่อนั้นค่อนข้างจะบอบบาง ไม่สามารถจะทนแรงดันได้มากนัก จึงอาจเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ง่าย จะมีผลทำให้สูญเสียน้ำบางส่วนไปได้ หรือน้ำใต้ดินอาจซึมเข้ามาในถังกรองดังได้กล่าวมาแล้ว การป้องกันปัญหานี้อาจทำได้โดยการสร้างถังกรองไว้บนผนังซึ่งปกคลุมไว้ด้วยดินเหนียว รองรับผนังและพื้นถังกรองอีกทีหนึ่ง ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ถังทรายกรองช้าซึ่งสร้างขึ้นโดยวัสดุอิฐก่อบนบ่อซึ่งปกคลุมด้วยดินเหนียว

ปัจจุบันนี้ถังกรองถูกออกแบบให้ใช้วัสดุคอนกรีต โดยมีผนังตั้งในแนวดิ่ง ไม่ว่าจะประยุกต์ใช้วิธีการเสริมเหล็ก หรือคอนกรีตล้วนก็ตามขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเฉพาะของท้องถิ่นนั้น ๆ อาจจะเป็นเรื่องความสะดวกสบายในการจัดหาหรือจัดซื้อเหล็กเส้นสำหรับการเสริม การมีช่างซึ่งมีทักษะในงานอยู่หรือไม่และที่สำคัญที่สุดคือ ขึ้นอยู่กับความต้องการหรือความชอบของวิศวกรผู้ออกแบบด้วย

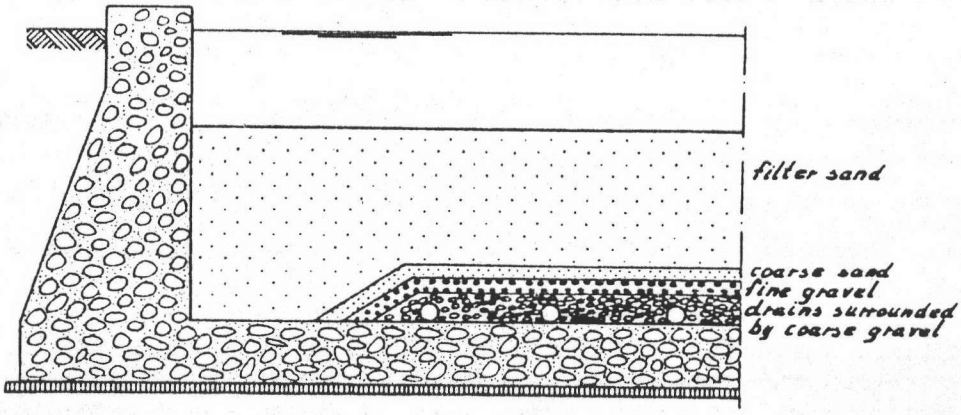
แต่ไม่ว่าจะเลือกใช้วิธีการใดก็ตาม ยังมีเรื่องที่ต้องระมัดระวังคือการไหลลัดทาง (Short Circuiting) ไปตามผนังถังในแนวดิ่ง ถ้าถังใช้วัสดุคอนกรีตล้วนจะป้องกันปัญหานี้โดยการออกแบบให้มีร่อง (Groove) ขนาดเล็ก ๆ ที่ผนังถังกรองตลอดแนว ดังภาพที่ 2.8 ก. และหากใช้ถังวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กควรจะใช้วิธีตกแต่งผนังถังให้หยาบตลอดความลึกของชั้นทรายกรอง ดังภาพที่ 2.8 ข. อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้ผลมากที่สุดคือ การออกแบบให้ผนังถังเอียงเล็กน้อยจากแนวดิ่ง ดังภาพที่ 2.8 ค. และนอกจากนั้น จะต้องเสริมความแข็งแรงด้านนอกของผนังถัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวเกิดขึ้น หรือหากจะออกแบบให้มีวิธีการร่วมกันไปกับสองวิธีข้างต้นก็ย่อมจะกระทำได้เช่นกัน



ก. ข. ค.

ภาพที่ 2.8 การป้องกันการไหลลัดทาง (Short Circuiting) ของน้ำไปตามผนังในแนวดิ่งของถังกรอง

ในอดีตนั้นวิธีการป้องกันการไหลลัดทางอาจจะทำในอีกลักษณะหนึ่ง คือ ออกแบบให้ระบบรับน้ำกรอง และระบบระบายน้ำกรอง อยู่ห่างจากผนังถังกรองออกมาในระยะหนึ่ง ดังภาพที่ 2.9 แต่วิธีการนี้จะมีผลทำให้พื้นที่การกรองลดลงไปเช่นกัน



ภาพที่ 2.9 การป้องกันการไหลลัดทางอีกวิธีหนึ่งที่เคยใช้กันในอดีต

การออกแบบโครงสร้างถังทรายกรองช้า ในแง่ความแข็งแรงแล้ว ควรให้ความสนใจในเรื่องรอยต่อของผนัง การยืดหดตัวของวัสดุคอนกรีต และการทรุดตัวของแผ่นดิน ยิ่งในกรณีที่เป็นถังขนาดใหญ่ ก็ควรจะระวังให้มากขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นภายหลัง

2.4.2.2 <u>ชั้นน้ำดิบเหนือทรายกรอง</u>(Supernatant water)

ชั้นน้ำดิบเหนือทรายกรองมีหน้าที่ 2 ประการ (Dijk & Oomen, 1982) คือประการแรกเพื่อที่จะทำให้มีแรงดันมากเพียงพอ ที่จะทำให้น้ำดิบไหลผ่านชั้นทรายกรองไป และประการต่อมาจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำดิบให้นานมากขึ้นอีกหลายชั่วโมง ก่อนที่จะผ่านการบำบัดโดยการกรอง ในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวสารแขวนลอยส่วนหนึ่ง จะตกตะกอนและสะสมอยู่บนชั้นผิวของทรายกรอง ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดกระบวนการทางกายภาพ และทางชีวเคมีด้วย อย่างไรก็ดีไม่ว่าจะเกิดกระบวนการใดขึ้นก็ตาม ในบางครั้งสารแขวนลอยอาจจะมีมากจนกระทั่งจำเป็นจะต้องออกแบบให้มีถังเก็บกักน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอนในเบื้องต้นด้วย เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้การอุดตันในชั้นทรายกรองเกิดขึ้นเร็วจนเกินไป

ระดับความลึกของน้ำในชั้นน้ำดิบเหนือทรายกรองนี้ควรจะประมาณ 1 เมตร (หรืออยู่ในช่วง 1-1.5 เมตร) ในทางปฏิบัติอาจจะรักษาระดับน้ำนี้ไว้ให้คงที่ หรืออาจจะปล่อยให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำได้ตามวิธีการควบคุมการกรองซึ่งต่างกันไป

ส่วนระยะ Freeboard จะต้องสูงพอประมาณ และควรจะอยู่ในช่วง 0.2-0.3 เมตร เหนือจากระดับน้ำสูงสุดก็เป็นเพียงพอ

หากต้องการระบายน้ำจากชั้นน้ำดิบเหนือทรายกรองออกเป็นบางส่วน หรือทั้งหมดปกติจะใช้วิธีการระบายออกไปโดยท่อระบายน้ำ แต่บางครั้งก็ใช้วิธีการสูบน้ำออกไปยังถังกรองอื่นหรืออ่างเก็บน้ำ หรือระบายทิ้งไปเลยก็มี

2.4.2.3 <u>ชั้นทรายกรอง</u> (Sand bed)

สำหรับระบบถังกรองช้านั้น วัสดุซึ่งถูกใช้เป็นตัวกลางสำหรับการกรองอย่างเดียวคือทราย เมื่อคำนึงถึงปริมาณทรายที่ต้องการอย่างมากมายสำหรับถังกรองแล้ว เราก็อาจจะไม่ต้องคัดขนาดในการนำมาใช้ และการใช้ทรายกรองซึ่งไม่ได้คัดขนาดนั้น ก็จะไม่เกิดปัญหาเรื่องการเรียงตัวของเม็ดทราย เพราะไม่มีระบบการล้างย้อน (Back - washing) ซึ่งปัญหานี้มักจะเกิดกับระบบทรายกรองเร็ว คือหลังจากที่มีการเปิดน้ำล้างย้อนแล้วเม็ดทรายขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจะลงไปอยู่ในชั้นล่าง ๆ เม็ดทรายขนาดเล็กจะเรียงตัวอยู่ด้านบน เป็นเหตุให้การอุดตันในชั้นทรายกรองด้านบนเกิดได้เร็วขึ้น

ทรายกรองต้องแข็งและทน นอกจากนี้ควรมีลักษณะกลม และไม่ควรจะมีความสกปรก เช่น ดินเหนียว ,สารอินทรีย์อื่น ๆ ดังนั้น ถ้าเป็นไปได้แล้วควรจะทำการล้างทรายเพื่อจะขจัดความสกปรกนั้นให้หมดไป

ผลการทดสอบใน Pilot Plant (Huisman, 1982) แสดงให้เห็นว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดทราย ควรจะเล็กพอเพื่อจะให้แน่ใจว่าจะผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีพอ พร้อมทั้งจะสามารถป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกลงไปอุดตันในชั้นที่ลึกลงไปมาก ๆ การทำความสะอาดโดยการทำที่ผิวบนสุดของทรายกรอง จะสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้ผลมากด้วย โดยทั่วไปแล้วขนาดเม็ดทรายที่ใช้กันจะประมาณ 0.15 - 0.35 มม. หากไม่สามารถหาทรายซึ่งมีขนาดตามที่ต้องการได้ในธรรมชาติ ก็อาจใช้วิธีการเตรียมทรายขึ้นมาโดยการผสมทรายขนาดที่หาได้เข้าด้วยกันในสัดส่วนที่พอเหมาะพอดี แต่ต้องระมัดระวังการผสมให้เป็นไปอย่างทั่วถึง อาจจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีตช่วยก็ได้ และเพื่อเป็นการกำจัดเศษวัสดุอื่น ๆ ออกไปก็อาจจะใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรงด้วยเป็นขั้นตอนสุดท้าย

ความหนาของชั้นทรายกรองขึ้นอยู่กับ ความลึกที่แบคทีเรียสามารถดำรงชีพอยู่ได้ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแต่ละชั้นความลึก ดังได้กล่าวมาแล้วว่าความลึกนี้มักจะไม่มากเกินกว่า 0.5 - 0.6 เมตร จึงทำให้ความหนาต่ำสุดของชั้นทรายกรองควรจะเป็น 0.6 - 0.7 เมตร แต่ถ้าหากน้ำดิบมีปริมาณสารอินทรีย์น้อย ความหนาก็อาจจะลดลงได้บ้าง แต่ในอดีตที่เคยใช้ความหนา 0.3 - 0.4 เมตร มักจะไม่สามารถทำงานได้ผลดี จึงเป็นเรื่องที่ควรหลีกเลี่ยง ในทางกลับกันหากน้ำดิบมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ความหนาของชั้นทรายก็อาจจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 เมตร แต่ทั้งนี้มีจะต้องมีส่วนเผื่อให้เพียงพอกับจำนวนครั้งของการทำความสะอาด ก่อนที่จะมีการเติมทรายลงไปเพิ่ม

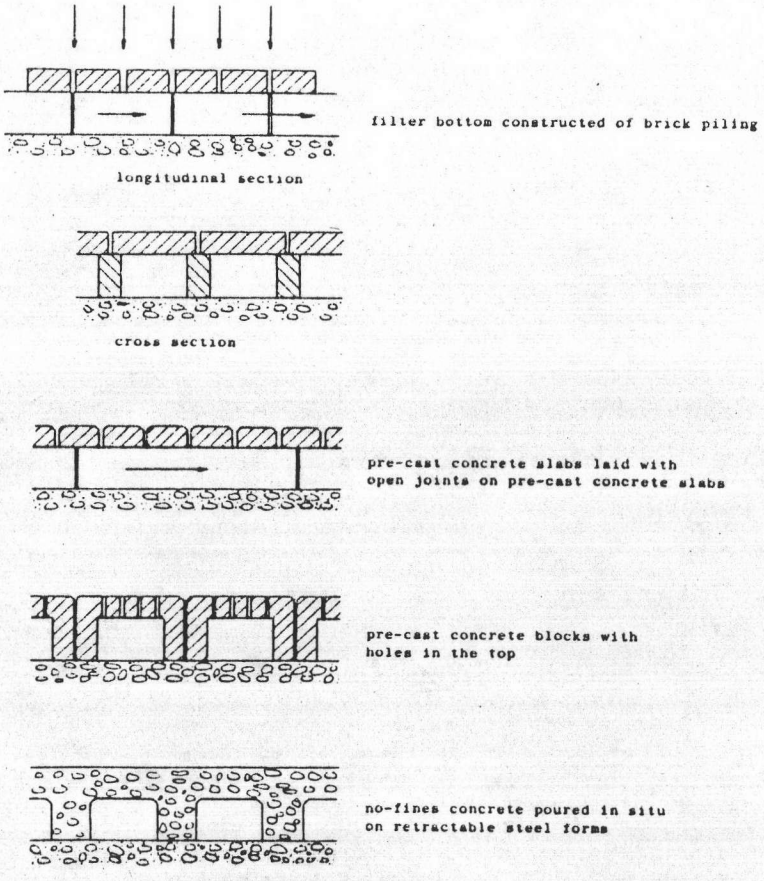
ในบางครั้งชั้นกรองอาจจะมีชั้นของ Activated Carbon อยู่ด้วย ความหนาประมาณ 0.1 เมตร เพื่อช่วยขจัดกลิ่นและรสด้วย ซึ่งอาจใส่ไว้ใกล้ๆ กับชั้นล่างของชั้นทรายกรอง และจะทำการเปลี่ยนเมื่อมันอิ่มตัวแล้ว โดยอาจจะทำพร้อมๆ กับการเปลี่ยนทรายใหม่ก็ได้

2.4.2.4 <u>ระบบรับน้ำกรองและระบบระบายน้ำกรอง</u>

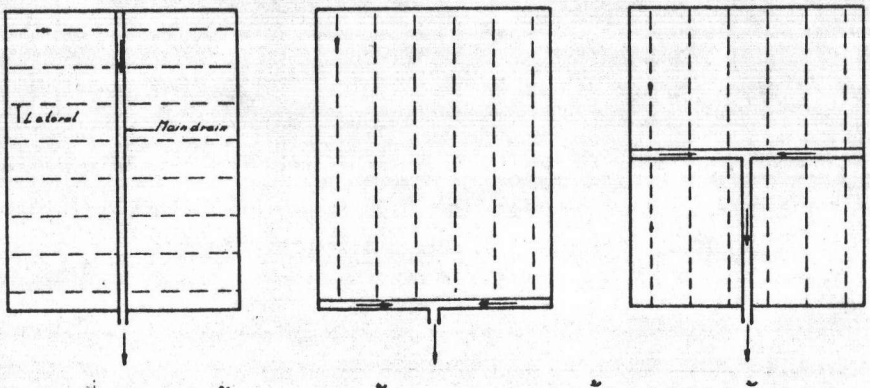
(Filter bottom)

บนพื้นของถังกรอง จะมีระบบ Under - drianage ซึ่งจะทำหน้าที่ 2 ประการคือ รองรับวัสดุกรอง และจัดช่องทางน้ำออก สำหรับน้ำที่ผ่านการกรองออกมา และการออกแบบวัสดุที่รองรับชั้นกรองจะต้องไม่มีปัญหาเรื่องการเรียงตัวตามขนาดของวัสดุซึ่งอาจจะทำให้มีการอุดตันขึ้นในชั้นบนของวัสดุรองรับได้ นอกจากนี้แล้ว น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะต้องถูกรวบรวมอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่เช่นกัน แต่เรื่องนี้ไม่ใช่เรื่องที่น่าวิตกเท่าใด เพราะคุณภาพน้ำกรองจะไม่ได้รับผลกระทบกระเทือนแต่อย่างใด ทว่ามันอาจจะทำให้เกิดการอุดตันในชั้นกรองที่พื้นที่ซึ่งรับภาระการกรองมากได้เร็วกว่าพื้นที่อื่น และ Filterrun ก็จะสั้นลงด้วยเหตุนี้

ภาพที่ 2.10 ได้แสดงถึงแบบต่าง ๆ ของระบบระบายน้ำกรอง หลายลักษณะซึ่งอาจนำไปใช้ได้ตามความเหมาะสม แต่สำหรับถังกรองขนาดเล็ก ๆ แล้ว การใช้ท่อซึ่งเจาะรูเล็ก ๆ เพื่อรับน้ำจะเป็นแบบที่น่าสนใจมากกว่า และอาจต่อเข้ากับท่อเมนซึ่งระบายน้ำออกจากถังกรองได้โดยตรง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.10 แสดงแบบต่าง ๆ ของระบบระบายน้ำกรอง



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการจัดระบบระบายน้ำออกจากถังกรอง

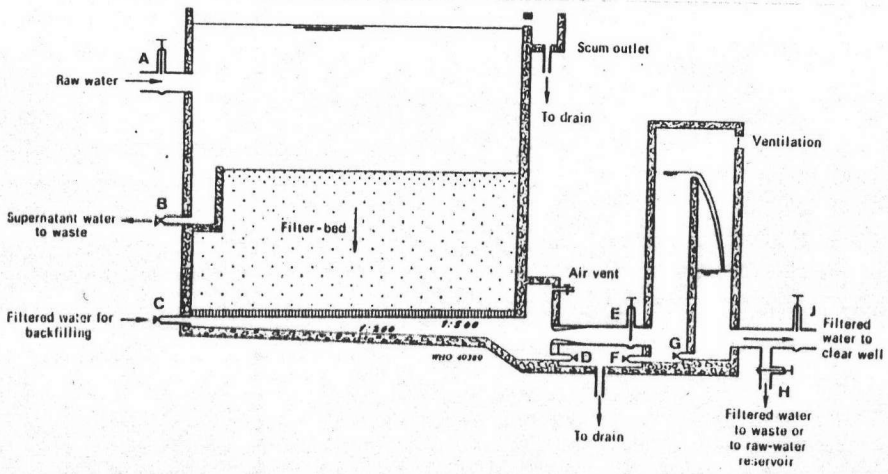
- ความเร็วสูงสุดในท่อ Main = 0.3 ม./วินาที
- ความเร็วสูงสุดในท่อ Lateral = 0.3 ม./วินาที
- ระยะห่างระหว่างท่อ Lateral = 1.5 ม.
- ขนาดของรูที่เจาะ = 3 มม.(2-4 มม.)
- ระยะห่างระหว่างรูที่เจาะ = 0.15 ม.(0.1-0.3 ม.)

ระหว่างระบบระบายน้ำที่แสดงไว้ข้างต้น กับชั้นทรายกรอง ควรจะมีชั้นกรวด(Gravel Layer) คั่นอยู่เพื่อคอยป้องกันทราย ไม่ให้หลุดเข้าไปในระบบระบายน้ำ อีกทั้งยังจะช่วยส่งน้ำที่ผ่านการกรองแล้วออกไป ชั้นกรวดที่รองรับชั้นทรายจะประกอบด้วยหลาย ๆ ชั้นตามขนาดของเม็ดกรวด โดยชั้นบน ๆ เรียงจากขนาดเล็กไปหาขนาดใหญ่ที่ก้นถัง และกรวดในชั้นบนสุดจะต้องเล็กพอที่จะป้องกันทรายที่จะหลุดลงไปและต้องไม่เกิดอุดตัน เนื่องจากสารต่างๆ ได้กล่าวคือกรวดในชั้นบนสุดนี้จะต้องพิจารณาเลือกขนาดที่มีคุณสมบัติ 2 ประการพร้อมๆกัน

กรวดสำหรับการนี้จึงควรจะมีความคงทนในลักษณะของหินที่มีความแข็งมาก และขนาดที่เหมาะสมไม่ควรเล็กกว่า 25 มม. และถ้าเป็นไปได้ควรจะล้างกรวดเหล่านั้น เพื่อขจัดดินเหนียวหรือสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไป

2.4.2.5 <u>ระบบควบคุมถังกรอง</u> (Filter Control system)

ระบบควบคุมถังกรองจะประกอบไปด้วย ระบบท่อน้ำ ,ประตูน้ำ และอุปกรณ์อื่นซึ่งใช้สำหรับทำการควบคุมถังกรองในแง่ต่าง ๆ ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้ (ดูภาพที่ 2.12) (Huisman & Wood, 1974)



ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบของระบบควบคุมถังกรอง

- ระบบรับน้ำดิบเข้าสู่ถังกรองมีประตูน้ำ A เป็นตัวควบคุม
- ระบบการระบาย Scum และสิ่งแขวนลอยบนผิวน้ำในชั้นน้ำเหนือทรายโดย Scum outlet
- ระบบระบายน้ำเหนือชั้นทรายกรณีที่จะทำความสะอาดถังกรอง มีประตูน้ำ B เป็นตัวควบคุม
- ระบบปล่อยน้ำสะอาดเข้าถังกรองภายหลังการทำความสะอาด มีประตูน้ำ C เป็นตัวควบคุม
- ระบบระบายน้ำออกจากถังกรอง มีประตูน้ำ D เป็นตัวควบคุม
- ระบบควบคุมอัตราการกรอง มีประตูน้ำ E เป็นตัวควบคุม กรณีที่มีการยกระดับทางน้ำออกให้สูง การควบคุมอัตราการกรองสามารถใช้ประตูน้ำ A เป็นตัวควบคุม
- ระบบควบคุมระดับน้ำในถังกรอง ให้สูงกว่าผิวทรายตลอดเวลามี Control box ซึ่งยกระดับทางน้ำออกให้สูงกว่าผิวทรายเป็นตัวควบคุม

- ระบบระบายน้ำออกจาก Control box มีประตูน้ำ F และ G เป็นตัวควบคุม
- ระบบระบายน้ำกรองออกไปทิ้งหรือกลับไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำดิบ กรณีที่เริ่มการกรองใหม่ ๆ มีประตูน้ำ H เป็นตัวควบคุม
- ระบบระบายน้ำกรองไปเก็บในถังน้ำใสมีประตูน้ำ J เป็นตัวควบคุม

2.4.2.6 <u>หลังคาคลุมถังกรอง</u> (Covering of Filters)

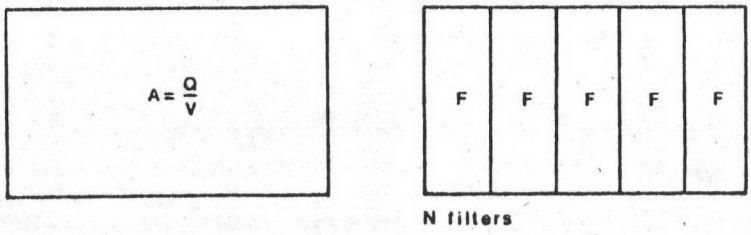
หลังคาคลุมถังกรองอาจจะออกแบบไว้เพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง แต่ที่สำคัญและควรจะกล่าวถึงคือ เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยการไม่เปิดโอกาสให้แสงแดดส่องผ่านลงมา อีกทั้งยังมีประโยชน์ในการป้องกันการปลิวเข้ามาของฝุ่นละออง หรือนกที่อาจทำความสกปรกแก่ถังกรองได้

การที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้นั้น อาจจะช่วยให้ Filterrun นานขึ้นอีกได้แต่ก็ไม่ใช่เหตุผลที่เราจะต้องออกแบบถังกรองให้มีหลังคาคลุมอย่างถาวร เพราะการสร้างหลังคาคลุมถังกรอง อาจเป็นอุปสรรคในการทำความสะอาด และการขนส่งหรือการเติมทรายลงไปในถังกรอง ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการออกแบบและคำนึงถึงเรื่องเหล่านี้ด้วย

2.4.2.7 <u>ขนาดและการวางผังถังกรอง</u> (Size and Layout of Filter Units)

พื้นที่การกรองอย่างน้อยที่สุด อาจหาได้จากการหารกำลังการผลิต ($ม.^3$ /ชม.) ด้วยอัตราการกรองที่ออกแบบไว้คือ A = Q/V อย่างไรก็ดีจำนวนของถังกรอง (N) และพื้นที่การกรองของแต่ละถัง (F) จำเป็นต้องระบุชี้ชัดออกมาทุกครั้ง และผลคูณระหว่าง N กับ F อย่างน้อยที่สุดก็ควรจะเท่ากับ A ดังภาพที่ 2.13 (Dijk & Oomen, 1982)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.13 ขนาดของถังกรองแต่ละหน่วย

การกำหนดจำนวนของถังกรอง มีข้อที่ควรพิจารณาหลายประการ ดังตัวอย่างดังนี้

(1) หากต้องการให้ไม่มีการหยุดชะงักในการทำงาน ควรจะมีอย่างน้อยที่สุด 2 ถัง นั่นคือถึงแม้จะมีการหยุดเพื่อทำความสะอาดถังกรองถังใดถังหนึ่ง ก็จะสามารถใช้ถังกรองที่เหลือและอาจเพิ่มอัตราการกรองขึ้นได้เล็กน้อยเพื่อชดเชยกับการหยุดกรองไปถังหนึ่ง

(2) หากแบ่งถังกรองเป็นถังเล็กๆ หลายใบ อาจเกิดปัญหาในเรื่องการไหลลัดทาง (Short Circuiting) ซึ่งมักเกิดกับถังขนาดเล็กได้บ่อยครั้ง

(3) ในประเทศตะวันตก มักมีการออกแบบให้ถังกรองมีขนาดใหญ่ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในเบื้องต้นต่อพื้นที่ (ตารางเมตร) จะลดลงหากมีขนาดพื้นที่ใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามความคิดลักษณะนี้ มักไม่ใช้กับประเทศที่กำลังพัฒนา กล่าวคือในประเทศกำลังพัฒนาโดยทั่วไปแล้วการออกแบบให้มีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องมีวิธีการที่ทันสมัยมากขึ้น รวมทั้งต้องมีช่างฝีมือที่มีทักษะซึ่งประเทศเหล่านี้ยังมีไม่พร้อม

(4) ขนาดของส่วนต่างๆ ของถังกรอง หากมีขนาดเล็ก ๆ จะปลอดภัยจากอิทธิพลของแรงกด ความดัน อุณหภูมิ หรือภาวะอื่นใดได้มากกว่า นอกจากนี้ยังไม่ต้องมีโครงสร้างพิเศษอื่นๆ เช่น Expansion Joint, Side Reinforcement และอื่นๆ เป็นต้น ความยาวโดยประมาณ 20 เมตร จะเป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมที่จะไม่เกิดปัญหาเหล่านี้

(5) ในแง่ของการวางแผนระยะยาว ให้มีการขยายกำลังผลิตออกไปได้อีกนั้น การเลือกรูปร่างของถังกรองมีความสำคัญมาก เพราะรูปร่างบางลักษณะไม่อาจขยายได้ เช่น ถังลักษณะกลม หากต้องการขยายกำลังผลิตจะต้องใช้วิธีเพิ่มจำนวนถังกรอง แต่หากวางแผนออกแบบให้มีลักษณะสี่เหลี่ยม แล้วอาจใช้ประโยชน์จากผนังถังเดิมได้ในการขยายกำลังผลิต

2.4.3 <u>การออกแบบระบบ Pre-treatment</u>

ในระบบถังทรายกรองช้านั้น ระบบ Pre-treatment อาจจะจำเป็นมากหากความขุ่น (turbidity) ของน้ำดิบมีค่ามากกว่า 50 NTU เป็นเวลานานกว่า 2-3 สัปดาห์ หรือความขุ่นมีค่ามากกว่า 100 NTU เป็นเวลานานกว่า 2-3 วัน กล่าวโดยสรุปแล้วระบบถังทรายกรองช้าจะทำงานได้มีประสิทธิภาพในช่วงความขุ่นที่ต่ำกว่า 10 NTU

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงระบบ Pre-treatment โดยย่อเท่านั้น

2.4.3.1 <u>อ่างเก็บน้ำ (Storage)</u> (Dijk & Oomen,1982)

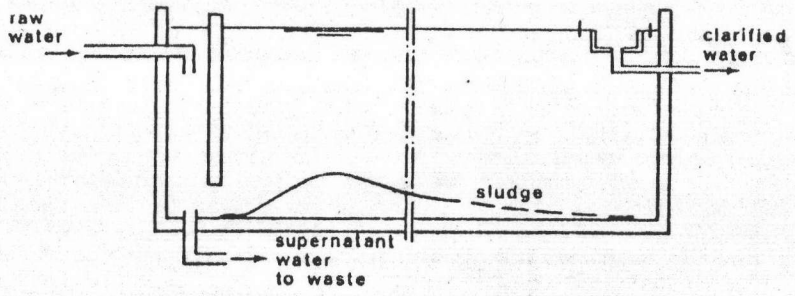
อ่างเก็บน้ำมีจุดประสงค์ 3 ประการคือ เก็บกับน้ำดิบไว้สำหรับช่วงฤดูแล้ง, ลดความขุ่นของน้ำดิบด้วยการตกตะกอน และประการสุดท้ายคือช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยกระบวนการทางชีวภาพ รวมทั้งผลบางอย่างเนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลต จากแสงแดด

อ่างเก็บน้ำอาจก่อสร้างขึ้นมาโดย ทำเป็นเขื่อนดินสูงประมาณ 6 เมตร (6-10 เมตร) ความจุของอ่างเก็บน้ำจะต้องคำนึงถึงเรื่องเหล่านี้อย่างรอบคอบคือ

- ระยะเวลาที่ขาดแคลนน้ำ
- การระเหยของน้ำ
- การซึมหายไปของน้ำ
- ความจุในการเก็บกักตะกอน

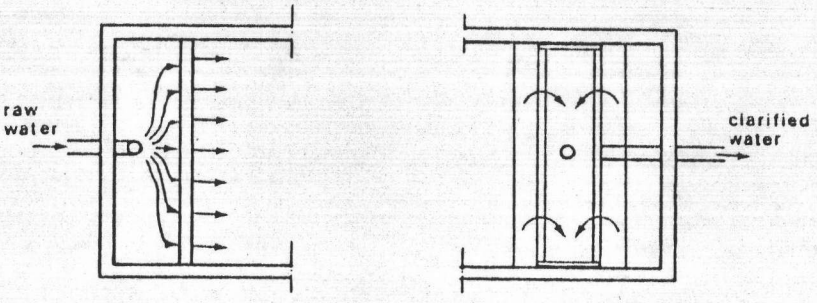
2.4.3.2 <u>ถังตกตะกอนตามแนวราบ (Plain Sedimention basin)</u>

จุดประสงค์หลักของถังตกตะกอนตามแนวราบคือ การลดความขุ่นและกำจัดสารแขวนลอยบางส่วนออกจากน้ำดิบ ระยะเวลาการกักน้ำค่อนข้างสั้นไม่ควรเกิน 2 วัน (Dijk & Oomen, 1982) ลักษณะโดยทั่วๆ ไปแสดงไว้ดังภาพที่ 2.14



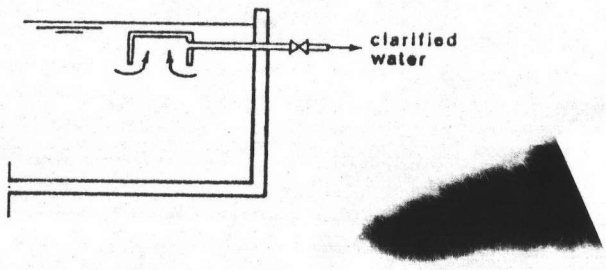
ภาพที่ 2.14 แสดงถังตกตะกอนตามแนวราบ

น้ำดิบจะถูกส่งเข้ามาทางด้านแคบของถัง และจะมีรางรับน้ำที่ผั่งตรงกันข้ามทั้งท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก จะต้องติดตั้งไว้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม น้ำดิบจะถูกส่งเข้ามาและกระจายออกไปให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังภาพที่ 2.15 รางรับน้ำที่ทางออกมักจะมีฝายน้ำล้นตลอดความกว้างของถังเช่นกัน เพื่อรับน้ำได้ทั่วถึง



ภาพที่ 2.15 ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกรวมทั้งโครงสร้างการกระจายและรับน้ำของถังตกตะกอนตามแนวราบ

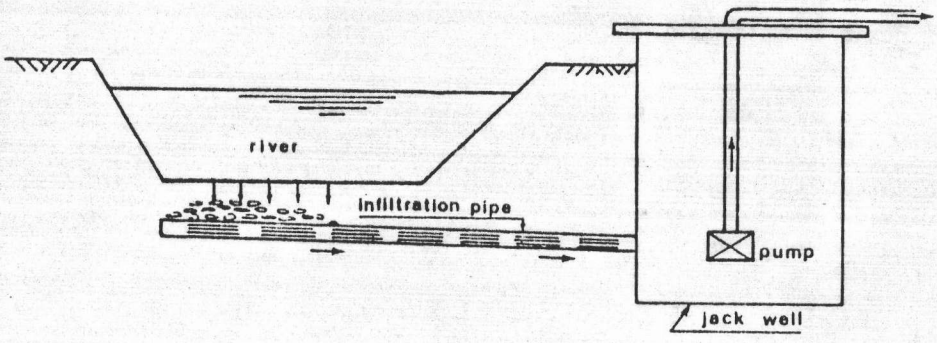
ในกรณีที่มีปัญหาเรื่องสาหร่ายบริมาณมากบนผิวน้ำ ทางน้ำออกอาจจะดัดแปลงในอีกลักษณะหนึ่ง ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ทางน้ำออกอีกลักษณะหนึ่งของถังตกตะกอนตามแนวราบ

2.4.3.3 <u>การกรองใต้ท้องน้ำ</u> (River bed filtration)

ลักษณะโดยทั่วไปของระบบ Pre-treatment ในรูปแบบการกรองใต้ท้องน้ำได้แสดงไว้โดยสังเขป ดังภาพที่ 2.17 การใช้ระบบการกรองใต้น้ำจะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับการอุดตันของชั้นกรองนั้น โดยชั้นกรองอาจจะประกอบด้วยชั้นกรวดและชั้นทรายด้วยก็ได้ ส่วนอัตราการกรองจะอยู่ในราว 5-10 ม./ชม. (Dijk & Oomen, 1982)



ภาพที่ 2.17 ลักษณะของระบบการกรองใต้น้ำ

2.4.3.4 <u>การกรองด้วยวัสดุหยาบ</u> (Coarse-media Filters)

การกรองด้วยวัสดุหยาบนี้มีหลายลักษณะที่ใช้กันอยู่ ดังนี้คือ

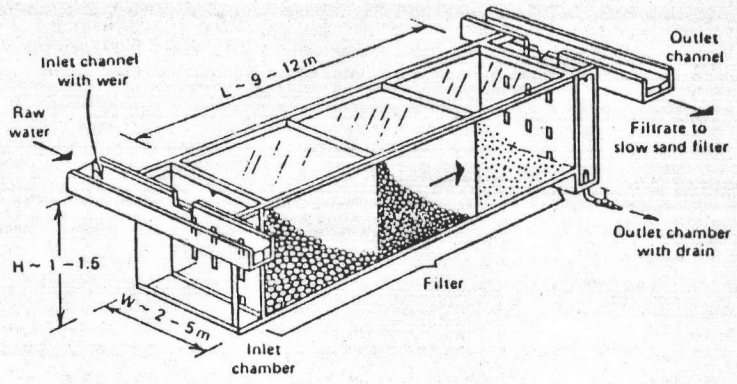
(1) ถังกรองด้วยวัสดุหยาบไหลตามแนวดิ่ง (Vertical Flow Roughing Filters)

(2) ถังกรองด้วยวัสดุหยาบไหลตามแนวนอน (Horizontal Flow Roughing Filters)

ส่วนมากที่พบมักจะเป็นประเภทหลังมากกว่า เกณฑ์กำหนดการออกแบบถังกรองแบบไหลตามแนวนอนมีดังนี้ (ไพโรจน์ สัตยสัณห์สกุล, 2529)

- อัตราการกรอง 0.4-0.5 ม./ชม.
- อัตราการกรอง (กรณีน้ำดิบมีความขุ่นสูง) 2.0 ม./ชม.
- การจัดเรียงชั้นกรอง 2-3 ชั้น
- ขนาดของสารกรอง 4-40 มม.
- ความยาวของถังกรองรวม 9-12 ม.
- ความลึกของถังกรอง 1-1.5 ม.
- ความลาดของพื้นถังกรอง 1:100

ลักษณะของถังกรองด้วยวัสดุหยาบไหลตามแนวนอนได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 แสดงถังกรองด้วยวัสดุหยาบไหลตามแนวนอน

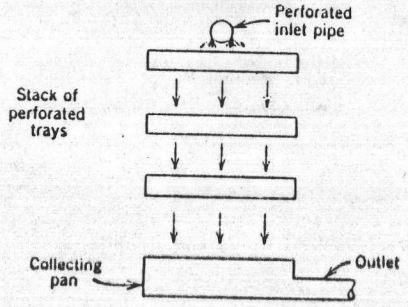
2.4.3.5 <u>การเติมอากาศ</u> (Aeration) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศ เรียกว่า แอเรเตอร์ (Aeration) ที่พบบ่อยมากที่สุดมีลักษณะเป็นแบบถาด (Tray Aerator) เราใช้อุปกรณ์นี้ในการเปลี่ยนเหล็กเฟรัสเป็นเหล็กเฟริคหรือในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ

แอเรเตอร์แบบถาด ทำงานโดยการโปรยน้ำให้ไหลผ่านชั้นตัวกลาง ซึ่งวางอยู่ในถาดหลายๆ ชั้น (ดูภาพที่ 2.19) วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางได้ มีหลายชนิด เช่น ถ่านโค้ก, ถ่านไม้, ถ่านกระดูก, หินก่อสร้าง ฯลฯ สำหรับในประเทศไทย แอเรเตอร์แบบถาดนี้เป็นที่นิยมใช้ในการกำจัดเหล็กและมังกานีสออกจากน้ำบาดาล

ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบมีดังนี้

- จำนวนถาดไม่ต่ำกว่า 3-5 ถาด
- ระยะห่างของถาด 0.30-0.75 เมตร
- พื้นที่ของถาดประมาณ 0.55-1.80 ตร.ม./1,000 ลบ.ม./วัน (เฉลี่ย 0.72 ตร.ม./1,000 ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 2.19 แอเรเตอร์แบบถาด

2.5 <u>การควบคุมและการบำรุงรักษาถังทรายกรองช้า</u>

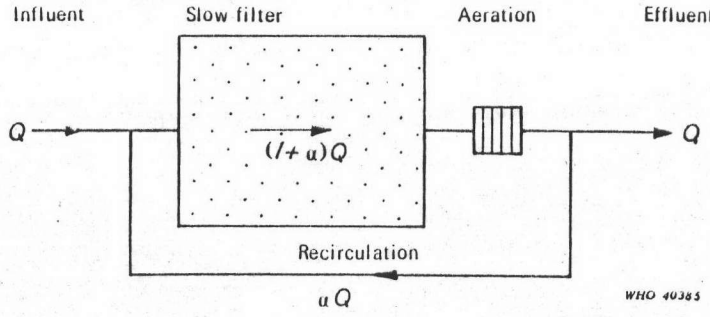
สิ่งซึ่งเป็นจุดเด่นอย่างหนึ่งของระบบถังทรายกรองช้า คือเป็นระบบผลิตน้ำที่เหมาะอย่างยิ่งสำหรับชุมชนในชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา หรือชุมชนใดก็ตามที่หาเจ้าหน้าที่ซึ่งมีความรู้ความสามารถได้ยาก ทั้งนี้เพราะการควบคุมดำเนิน

งานระบบถังทรายกรองช้า ค่อนข้างง่ายและไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ยุ่งยากแต่อย่างไร

ในถังกรองที่ไม่มีหลังคาคลุม และเกิดสาหร่ายมากจนเป็นปัญหาต่อการกรองน้ำ ระบบ Pre-treatment อาจช่วยกำจัดสาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำดิบได้ แต่วิธีการเช่นนั้นจะไม่ไปมีผลในการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย ที่จะเกิดในถังกรองได้ จึงมีการนำวิธีการต่างๆ มาใช้ในการลดปริมาณสาหร่าย วิธีการที่ดีที่สุดแต่ค่อนข้างจะมีราคาแพง คือการทำผาปิดถังกรองไว้เพื่อป้องกันแสงแดด ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การแก้ปัญหาเรื่องสาหร่าย เราอาจใช้วิธีการเติมคลอรีน (Chlorination) หรือโดยการใช้คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate) แต่ไม่แนะนำให้ใช้วิธีเช่นนี้ เนื่องจากอาจจะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในชั้นทรายกรอง ซึ่งผลก็คือจะทำให้ลดคุณภาพของน้ำกรองลง การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) ควรจะทำภายใต้คำแนะนำหรือข้อกำหนดอย่างเคร่งครัดเพื่อให้แน่ใจว่าสัดส่วนในการผสมนั้นพอดี ไม่มากเกินไปจนมีผลเสียในภายหลัง สำหรับในถังกรองขนาดเล็ก การกำจัดสาหร่ายอาจใช้วิธีการง่ายๆ คือการตักออกทิ้ง

ในเรื่องเกี่ยวกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำดิบ ซึ่งอาจจะลดลงต่ำจนกระทั่งเกิดสภาพ Anaerobic ขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้ว เราอาจต้องหาวิธีการเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน เช่น อาจจะเป็นการเติมอากาศ (Aeration) ให้แก่น้ำดิบ หรือวิธีการง่ายๆ ที่อาจนำไปใช้เป็นครั้งคราวได้นั้นคือ การหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการกรองส่วนหนึ่ง กลับเข้ามารวมกับน้ำดิบ เข้าสู่ถังกรองต่อไป ดังเช่นที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.20 ซึ่งจะอธิบายการทำงานของมันได้อย่างเด่นชัดมากขึ้น



ภาพที่ 2.20 การหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการกรองกลับเข้ามาใหม่

โดยปกติแล้ว หน้าที่ของผู้ควบคุม คือการดูแลถังกรองและสภาพแวดล้อมให้สะอาดพร้อมทั้งดำเนินการผลิตน้ำเพื่อบริการอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากนี้ก็ควรจะมีหน้าที่สำคัญอีกอย่างคือ การเก็บตัวอย่างน้ำมาตรวจสอบคุณภาพ ทั้งน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว

ในทางปฏิบัติแล้ว การเก็บตัวอย่างน้ำหรือความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำจะขึ้นอยู่กับการประปาในแต่ละแห่งว่ามีอุปกรณ์หรือเครื่องมือ มากน้อยเพียงใด หากการประปาแห่งใดมีห้อง Lab เป็นของตนเอง ก็เป็นการแน่ใจว่าจะสามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ทุกวัน แต่โดยทั่วๆ ไปแล้วการประปาในท้องถิ่นชนบทแทบจะไม่ปรากฏมีห้อง Lab เป็นของตนเอง คงมีแต่เครื่องมืออุปกรณ์ง่ายๆ บ้างเป็นบางแห่ง อีกทั้งผู้ควบคุมก็มักจะไม่มีทักษะในด้านนี้เลย

เนื่องการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะสามารถเป็นตัวชี้ว่า ถังกรองนั้นทำงานได้ผลเป็นที่น่าพอใจหรือไม่ และจะชี้ถึงความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งสกปรกด้วย ดังนั้น หน่วยงานหลักซึ่งทำหน้าที่ดูแลการประปาในท้องถิ่นซึ่งกล่าวมานั้น ควรจะมีการจัดการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อเอามาทดสอบอย่างสม่ำเสมอ อาจจะทำได้โดยการจัดกำลังคนเข้ามาเยี่ยมเยียนการประปาแต่ละแห่ง และพร้อมกันนั้นจัดการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดย เครื่องมือสำหรับทดสอบในภาคสนามได้ตามความเหมาะสม รวมทั้งประยุกต์ใช้การตรวจสอบอย่างง่ายๆ เข้ามาเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะบางอย่างในน้ำที่ยุ่งยากในการทดสอบ ตัวอย่างเช่นการตรวจสอบแอมโมเนียอิสระ (Free ammonia) ซึ่งทำ

ได้ค่อนข้างง่าย และเราทราบดีอยู่แล้วว่า ในสภาพ Aerobic ของถังกรองไม่ควรจะมีแอมโมเนียอยู่ในน้ำที่ผ่านการกรอง ดังนั้น ถ้าตรวจพบก็แสดงให้เห็นว่าสภาพการทำงานของถังกรองนั้นไม่เหมาะสม

ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ทั้งหมดเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวกับการควบคุมระบบถังทรายกรองน้ำโดยทั่วๆ ไป ซึ่งต่อไปจะขอกล่าวเน้นไปถึงการควบคุมในส่วนของถังกรองโดยเฉพาะ ซึ่งจะมีขั้นตอนและวิธีการ เพื่อการกรองน้ำดังต่อไปนี้ คือ

2.5.1 <u>การเริ่มต้นการกรอง</u>

ชั้นทรายกรอง เมื่อได้รับการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ นั้น เราไม่อาจกล่าวว่ามันเป็นถังกรองที่มีกลไกทางชีวภาพได้ เนื่องจากยังไม่มี Micro-organism ต่างๆ เกิดขึ้นและดำรงชีพอยู่ การสร้างกระบวนการทางชีวภาพให้มีขึ้นในชั้นทรายกรอง อาจจะต้องอาศัยเวลานานพอควร

ในการเริ่มต้น ขณะที่ประตูน้ำออก (Outlet Valves) ทุกๆ ตัวปิดอยู่นั้น จะต้องได้รับการไล่ฟองอากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดทราย โดยการปล่อยน้ำเข้ามาทางด้านใต้ของชั้นทรายกรอง (ทางประตูน้ำ C ของภาพที่ 2.12 ในหัวข้อ 2.4.2.5) หลังจากนั้นจึงจะเริ่มเปิดน้ำเข้าถังกรองโดยทางประตูน้ำเข้า จนระดับน้ำสูงท่วมระดับชั้นผิวทรายกรองขึ้นมา กระทั่งผิวทรายกรองไม่ถูกกระทบกระเทือนโดยน้ำซึ่งไหลเข้ามา หรืออาจใช้วิธีกระจายน้ำดิบออกไปให้ทั่วโดยโครงสร้างเป็นรางกระจายน้ำ หรืออื่นๆ ตามแต่จะสะดวก จากนั้นจึงเปิดประตูน้ำออก ปล่อยให้น้ำกรองผ่านไปยัง Control box ต่อไป ในระยะแรกของการกรองอาจจะต้องปล่อยน้ำที่ผ่านการกรองทิ้งไป หรืออาจจะหมุนเวียนกลับมากรองใหม่ (หรือปล่อยไปยังถังกรองใบอื่น) เพื่อให้มั่นใจเสียก่อนว่ามีกระบวนการชีวภาพเกิดขึ้นก่อน จึงจะนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมาใช้บริโภคและอุปโภค ซึ่งหากมีกระบวนการดังกล่าว เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว Schmutzdecke ก็จะเกิดขึ้นจนอาจสังเกตุเห็นได้ชัดทีเดียว

เมื่อใดก็ตามที่มีความจำเป็นจะต้องหยุดพักการกรองเป็นช่วงเวลานาน อาจมีความจำเป็นจะต้องเริ่มต้นการกรองในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนี้ใหม่ เพื่อให้ได้น้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพดีพอ ดังนั้น จึงไม่ควรหยุดการกรองน้ำเป็นช่วงเวลานาน และหากต้องหยุดการกรองเป็นครั้งคราวก็ต้องแน่ใจด้วยว่า ระดับน้ำ

ไม่ลดต่ำลงไปกว่าชั้นผิวทรายกรอง

2.5.2 การควบคุมอัตราการกรอง

การควบคุมอัตราการกรองนี้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้ถังกรองมีประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานที่สอดคล้องกับสภาพของท้องถิ่นนั้น

อุปกรณ์สำหรับควบคุมอัตราการกรอง อาจจะใช้ประตูน้ำออกได้โดยตรง แต่ไม่ค่อยสะดวกนักและไม่เป็นวิธีที่น่าเชื่อถือเท่าใด อีกทั้งไม่ใช้กันในทางปฏิบัติ เพราะผู้ควบคุมต้องมีภาระในการมาปรับประตูน้ำออกนี้ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมหรืออาจต้องอาศัยอุปกรณ์อัตโนมัติ

แนวทางปฏิบัติในปัจจุบัน มักนิยมยกทางน้ำออกให้สูงกว่าชั้นกรอง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาในเรื่องชั้นทรายกรองแห้ง แล้วยังช่วยให้การควบคุมอัตราการกรองกระทำได้โดยการควบคุมอัตราน้ำที่ไหลเข้าถังกรอง โดยไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับน้ำซึ่งไหลออกจากถังกรองเลย และไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อัตโนมัติที่มักจะมีราคาแพงด้วย

โดยทั่วไปแล้วการควบคุมอัตราการกรอง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีดังนี้ คือ

2.5.2.1 การควบคุมแบบอัตราการกรองคงที่

(Constant Rate Filtration)

เมื่อทางน้ำออกของถังกรองถูกยกขึ้นสูงกว่าชั้นทรายกรองแล้ว เราจะสามารถควบคุมอัตราการกรองได้โดยควบคุมอัตราการปล่อยน้ำดิบเข้ามายังถังกรองให้คงที่อย่างต่อเนื่อง และเมื่อทำการกรองน้ำไปได้ระยะเวลาหนึ่ง แรงดันสูญเสีย (Head loss) จะค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสารแขวนลอยเริ่มสะสมตัวและอุดตันมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงมีแรงต้านทานในชั้นกรองสูงขึ้นระดับน้ำในถังกรองจะยกระดับสูงขึ้น เพื่อรักษาอัตราการกรองน้ำให้คงที่ไว้ดังเดิมตลอดช่วง Filterrun

ระดับน้ำเหนือชั้นทรายที่ยกระดับสูงขึ้น จะเป็นดัชนีสำคัญในการบอกให้ทราบว่าถึงเวลาที่จะต้องล้างทำความสะอาดชั้นทรายกรอง โดยจะกระทำเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดหรือถึงระดับช่องน้ำล้น (ไพโรจน์ สัตยสัณห์สกุล, 2529)

2.5.2.2 <u>การควบคุมแบบอัตราการกรองลดลง</u> (Declining Rate Filtration)

การกรองแบบอัตราการกรองลดลง จะมีลักษณะการควบคุมอีกแบบหนึ่งต่างไปจากแบบแรกตรงที่อัตราการกรองจะค่อยๆ ลดลงตลอดช่วง Filterrun เนื่องจากการอุดตันอย่างช้าๆ ในขณะที่แบบแรกนั้นอาศัยการยกตัวขึ้นมาของระดับน้ำช่วยให้อัตราการกรองคงที่ตลอดช่วง Filterrun นั้น ๆ ในทางปฏิบัติเราจะสามารถควบคุมอัตราการกรองให้เป็นแบบอัตราการกรองลดลงได้โดยปล่อยน้ำดิบเข้ามายังถังกรองเป็นช่วงๆ จนกระทั่งมีน้ำดิบเหนือชั้นทรายในปริมาณมากเพียงพอซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบปริมาณการเก็บกัก จากนั้นน้ำดิบจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นทรายกรองไปตามธรรมชาติ ในช่วงต้นๆ ของการกรองนั้นอัตราการกรองจะสูง เพราะระดับน้ำที่เก็บกักไว้เหนือชั้นทรายยังสูงอยู่ เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการกรองก็จะค่อยๆลดลง เนื่องจากแรงดันจากน้ำเหนือชั้นทรายที่ลดระดับลงเรื่อยๆ ด้วย

เมื่อทางน้ำออกของถังกรองถูกยกขึ้นสูงกว่าชั้นทรายกรอง ระดับน้ำในถังกรองก็จะไม่ลดต่ำลงไปกว่าผิวหน้าชั้นทรายเลย เมื่อครบช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงไปต่ำสุดแล้ว จึงจะทำการปล่อยน้ำดิบเข้ามายังถังกรองใหม่ เริ่มการกรองอีกครั้งเป็นวงจรเช่นนี้ตลอดไป

ในวงจรแรก ๆ ของการกรอง อัตราการกรองเฉลี่ยจะมากกว่า ในวงจรหลังๆ เป็นลำดับ หมายถึง อัตราการกรองเฉลี่ยจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีความสกปรกเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่ง เมื่อสังเกตุเห็นว่าอัตราการกรองเฉลี่ยต่ำมากประกอบกับ Head loss สูงมากก็แสดงว่าถึงเวลาที่จะต้องทำความสะอาดชั้นทรายกรองเสียทีหนึ่ง นั่นคือเป็นการสิ้นสุด Filterrun นั้น ๆ หลังจากทำความสะอาดแล้วเริ่ม Filterrun ใหม่ อัตราการกรองเฉลี่ยในวงจรแรกๆ ก็จะมากอีกครั้งหนึ่ง แล้วค่อยๆ ลดลงในวงจรหลังๆ ดังเดิม

2.5.3 <u>การทำความสะอาดทรายกรอง</u>

2.5.3.1 <u>การทำความสะอาดโดยแรงงานคน</u>

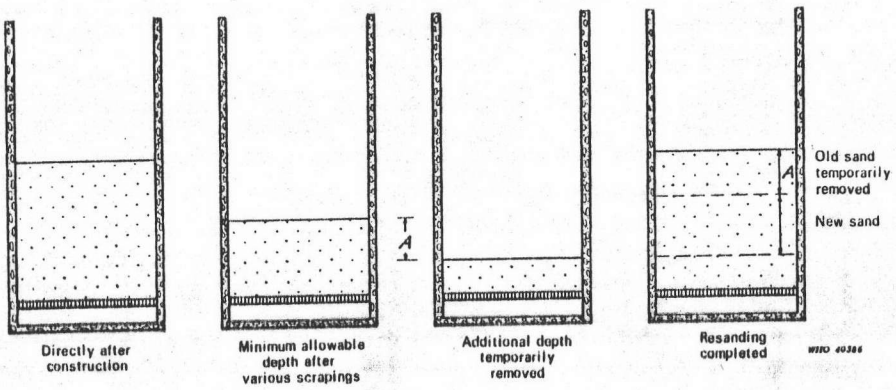
การทำความสะอาดถังกรอง เป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติกันเป็นประจำ เมื่อแรงดันสูญเสีย (Head loss) มีมาก หรือเมื่อปริมาณสาหร่ายมีมากจนเป็นอุปสรรคใน

การกรองน้ำ วิธีทำความสะอาดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด คือการใช้แรงงานคน โดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่พอหาได้ง่ายๆ ในท้องถิ่นและเหมาะมือ เช่น พลั่ว, จอบ, คราดหรืออื่นๆ ทำการขูดหรือช้อนตักผิวหน้าทรายเฉพาะในชั้นบนสุด (Top Layer) ออก ในขนาดความลึกตั้งแต่ 1 ซม. ขึ้นไปจนอาจจะมากกว่า 2 ซม. แล้วแต่ความเหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากคุณภาพของน้ำดิบ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งขึ้นกับขนาดของเม็ดทรายกรองเป็นสำคัญ สิ่งสกปรกและทรายกรองที่ถูกขูดออกมานั้น จะถูกขนออกไปนอกถังกรอง อาจจะใช้รถเข็นหรือเครื่องมืออำนวยความสะดวกอื่นที่พอจะจัดหามาได้

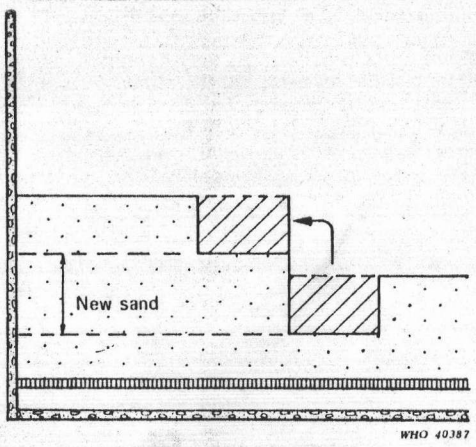
ก่อนที่จะมีการขูดทรายออก ตามที่อธิบายแล้วนั้น จะต้องระบายน้ำเหนือชั้นทรายออกไปให้อยู่ในความลึกประมาณ 20 ซม. จากผิวหน้าทราย แล้วจึงเริ่มทำการขูดผิวทรายในทันที ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้จนเนิ่นนาน เพราะอาจทำให้สัตว์เล็กๆ ลงไปในถังกรอง เช่น นกหรือหนู ซึ่งอาจทำความสกปรกแก่ถังกรองได้

สิ่งหนึ่งที่ต้องพึงระวังคือ ในการที่การประปาบางแห่งใช้วิธีการคราดผิวหน้าทรายเมื่อเกิดแรงดันสูญเสียบ่อยๆจะเป็นการทำลายชั้นของ Schmutzdecke และลดความต้านทานในการเคลื่อนตัวของน้ำลงสู่ชั้นล่างๆ ซึ่งหากทำการผลิตน้ำเพื่อการบริโภคของชุมชนแล้ว การกระทำดังกล่าวเป็นสิ่งที่อันตราย เพราะกระบวนการกำจัดและสกัดกั้นพวก Pathogenic Bacteria ได้ถูกทำลายลงไปเสียแล้ว

หลังจากที่มีการขูดเอาสิ่งสกปรกพร้อมกับผิวหน้าทรายออก หลายๆ ครั้งจนถึงค่าต่ำสุดของความหนาชั้นทรายกรองแล้ว ก็จะต้องมีการเติมทรายใส่ลงไปใหม่ โดยจะใช้วิธีการดังภาพที่ 2.21 และภาพที่ 2.22 คือจะมีการพลิกเอาชั้นทรายเก่าในถังกรองขึ้นมาก่อน แล้วเติมทรายใหม่ลงไปจากนั้นจึงเอาทรายเก่ากลบลงไปด้านบนของทรายใหม่ การกระทำเช่นนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยประหยัดทรายที่จะต้องเติมเท่านั้น แต่ยังเป็นการทำให้กระบวนการทางชีวภาพเกิดขึ้นได้ในเวลาไม่นานนัก ในทางปฏิบัติอาจจะต้องทะยอยทำเป็นช่วงๆ หรือที่ละแนวเรื่อยไปจนเต็มพื้นที่ (Huisman, 1982)

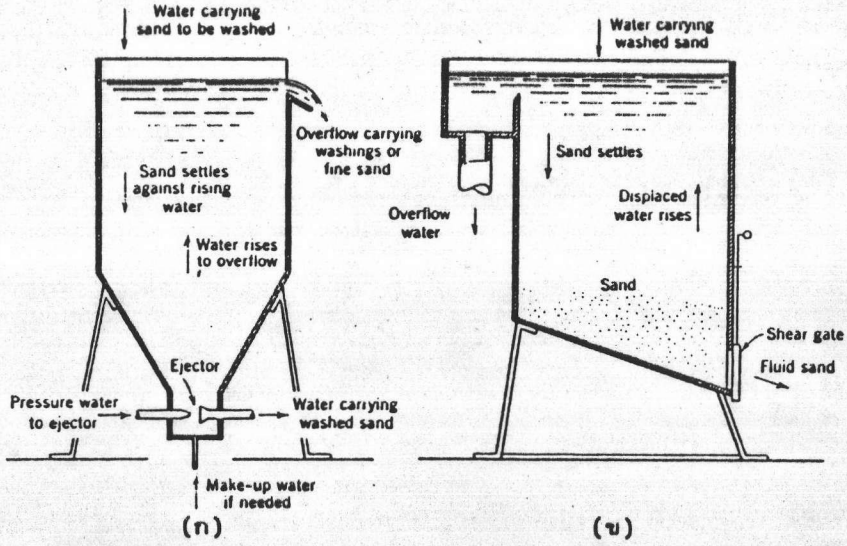


ภาพที่ 2.21 วิธีการเติมทรายลงในถังกรองพร้อมกับการพลิกชั้นทราย



ภาพที่ 2.22 วิธีการพลิกชั้นทรายในการเติมทราย

ในท้องถิ่นที่ทรายมีราคาแพง ทรายที่ขุดขึ้นมาจากถังกรองอาจนำมาทำความสะอาดเพื่อเก็บเอาไว้ใช้ใหม่ แต่ทันทีที่ขุดตักทรายขึ้นมาจะต้องทำการล้างทรายดังกล่าว โดยไม่ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากทรายสกปรกที่เราเก็บไว้อาจเกิดสภาพ Anaerobic ได้ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและจะล้างกำจัดออกไปได้ยากยิ่ง อุปกรณ์ง่ายๆ สำหรับการทำความสะอาดทรายแสดงไว้ในภาพที่ 2.23 (ก) และภาพที่ 2.23 (ข) แสดงลักษณะของถังแยกทราย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)



ภาพที่ 2.23 แสดงถังล้างทราย (ก) และถังแยกทราย (ข)

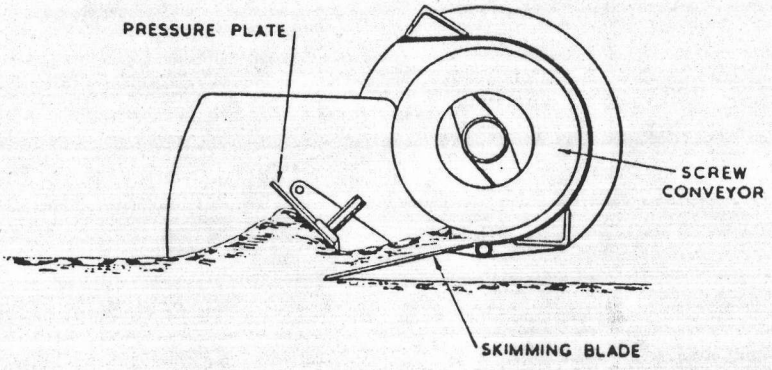
อย่างไรก็ตามทรายที่ล้างทำความสะอาดแล้วมักจะไม่สะอาดอย่างสมบูรณ์ หลังจากที่ตากจนแห้งแล้ว สารอินทรีย์ที่ติดอยู่ตามเม็ดทราย จะหลุดออกมาเกิดการ Oxydation จนเกิดเป็นสารซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย และทำให้เกิดแบคทีเรียเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณขึ้นได้มาก ยิ่งในฤดูร้อนแล้วจะมีสภาพเหมาะสมมาก เมื่อถึงฤดูหนาวจึงทำการเติมทรายดังกล่าวนี้กลับลงไปในถังกรอง ในทางปฏิบัติแล้วจะมีการเอาทรายเหล่านี้เติมกลับลงไปในทันทีหากได้ทำความสะอาดและตากจนแห้งพอสมควรแล้ว จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านการขนย้ายได้มาก เพราะสามารถทำในบริเวณใกล้ๆ กับถังกรองโดยใช้พื้นที่ไม่มากนัก แต่หากใช้วิธีเติมกลับในทันที จะมีผลทำให้ความหนาของชั้นทรายกรองจะค่อนข้างคงที่อยู่ดังเดิม และได้ใช้ประโยชน์ชั้นทรายในชั้นบนๆ เท่านั้น วิธีการนี้ในอดีตเคยทำกันมาก แต่มาในปัจจุบันนี้เริ่มหันมาใช้วิธีการในลักษณะหมุนเวียนชั้นทรายในส่วนล่างขึ้นมาใช้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การทำความสะอาดถังทรายกรองช้าโดยอาศัยแรงงานคนนี้ มีข้อดีในแง่ที่ว่า ไม่ต้องใช้เครื่องมือหรือความสามารถพิเศษอื่นใด และในประเทศที่ค่าแรงงานถูกก็จะเป็นปัจจัยที่ทำให้วิธีการนี้ค่อนข้างเหมาะสม

2.5.3.2 <u>การทำความสะอาดโดยเครื่องมือกล</u>(Huisman, 1982)

ระบบทำความสะอาดโดยอาศัยเครื่องมือกล สำหรับระบบถังทรายกรองช้าที่ได้ทำขึ้นอย่างสมบูรณ์แบบเป็นแห่งแรกนั้นอยู่ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีถังกรองขนาดใหญ่มาก พื้นที่การกรองราว 4,000 ตารางเมตร จนเป็นภาระที่หนักมากในการขูดผิวหน้าชั้นทรายกรองอีกทั้งต้องสิ้นเปลืองเวลาในการทำงาน ดังนั้นจึงได้นำเอาเครื่องมือ เครื่องยนต์ที่ใช้ในงานด้านเกษตรกรรมมาดัดแปลงเพื่อใช้งาน เครื่องมือที่สำคัญคือ Skimming Machines ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.24 จะสามารถขูดเอาผิวทรายออกมาได้ในความกว้างประมาณ 1.5 เมตร ส่วนความลึกของทรายที่จะขูดออกไปนั้น เราสามารถปรับให้มากน้อยตามความเหมาะสมโดยตั้ง Pressure Plate ให้ได้ตามที่กำหนด โดยทั่วไปจะใช้ในช่วง 1-3 ซม. และอาศัยใบมีดที่แข็งแรงในการขูดผิวทรายขึ้นมา



ภาพที่ 2.24 เครื่องมือสำหรับการขูดผิวทรายที่เรียกว่า Skimming Machine

เครื่องมือดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้โดยประกอบเข้ากับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กๆ ที่ใช้กันในงานเกษตรกรรม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอัดตัว (Compaction) ของชั้นทรายกรองมากจนเกินไป อัตราความเร็วในการขูดผิวทรายออกไปนี้อยู่ใน

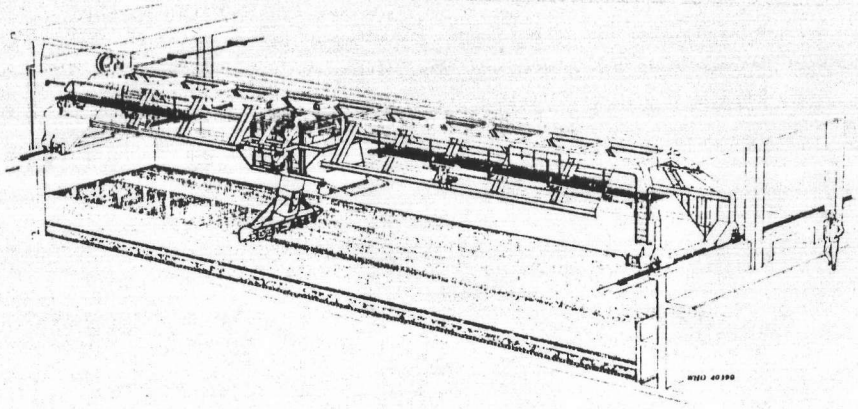
ราว 7.5-15 เมตรต่อนาที แต่อาจใช้อัตราเร็วสูงกว่านี้ได้หากทรายมีลักษณะค่อนข้างแห้งพอ หรือเป็นการขุดผิวทรายเป็นเที่ยวสุดท้าย ทรายที่ขุดขึ้นมานี้จะถูกส่งต่อไปยังรถดัมพ์แทรคเตอร์ขนาดเล็กๆ เช่นกัน โดยการลำเลียงไปด้วย belt-loader หรือใช้ screw-conveyer จากนั้นทรายดังกล่าวจะถูกนำเข้าไปยังบริเวณที่เป็นศูนย์กลางในการทำความสะอาดต่อไป

ผลจากการที่นำเครื่องมือกลดังกล่าวมาใช้ในกรุงลอนดอนทำให้เกิดประโยชน์หลายประการ ดังนี้คือ

- ทำให้ประหยัดเวลาการทำงาน
- ลดความจำเป็นในด้านแรงงานลงไปประมาณครึ่งหนึ่ง
- คนงานซึ่งแต่เดิมเป็นคนงานที่ไม่มีความรู้ความสามารถ ได้ยกระดับความรู้ขึ้นมาอยู่ในระดับปานกลาง (Semi-skilled) เป็นผลให้สภาพการทำงานดีขึ้น

สำหรับระบบทำความสะอาดถังกรองแบบนี้ มักมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูงยิ่งไปกว่านั้น การใช้เครื่องมือกลดังกล่าวอาจทำให้เกิดสภาวะที่เป็นพิษอันเนื่องมาจากน้ำมันได้

ระบบทำความสะอาดด้วยเครื่องมือกลอีกแบบหนึ่งที่ใช้ในกรุงอัมส์เตอร์ดัม (Amsterdam) มีลักษณะเป็นโครงสร้างดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 เครื่องมือและโครงสร้างในการทำความสะอาดถังกรอง

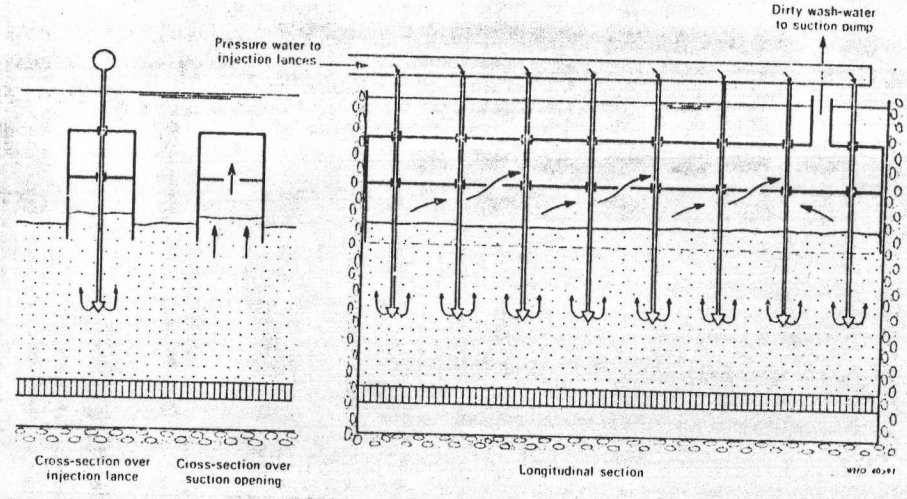
เครื่องมือดังกล่าวใช้สำหรับ ถังกรองขนาดกว้าง 25 เมตรและยาว 40เมตร โดยมีโครงสร้างคล้ายสะพานวางตัวตามแนวความกว้างของถัง ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวไปได้ตลอดความยาวของถังโดยอาศัยรางเลื่อนที่ขอบถัง ที่โครงสะพานนี้จะมีเครื่องมือขูดผิดทรายเคลื่อนไปมาทางด้านล่าง ลักษณะที่ปรากฏเช่นนี้ทำให้แน่ใจได้ว่าระดับของผิวหน้าชั้นทรายกรองจะเรียบเสมอทั่วกันทั้งถังอย่างแน่นอน ประกอบกับการใช้ทรายกรองซึ่งค่อนข้างละเอียด สิ่งสกปรกไม่สามารถเคลื่อนตัวแทรกไปในชั้นทรายระดับลึกๆ ได้ ดังนั้นการขูดผิวทรายจึงขูดลงไปในระดับความลึกประมาณ 1 ซม. ก็เป็นการเพียงพอ โดยใช้ใบมีดขนาดกว้าง 2.5 เมตร และใช้คนงานเพียง 2 คน ในการควบคุมระบบการทำงาน ด้วยเวลาอันสั้นเพียงชั่วโมงครึ่งในการทำความสะอาดถังกรอง 1 ใบ

2.5.3.3 <u>การทำความสะอาดโดยแรงดันน้ำ</u> (Huisman, 1982)

ในระบบถังกรองเร็วมักจะอาศัยการ Back-washing ในการทำความสะอาดชั้นทรายกรอง แต่สำหรับระบบถังทรายกรองช้า ซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณสูงมาก ถ้าจะใช้วิธีการ Back-washing ซึ่งทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากทีเดียว อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำอาจจะลดลงได้โดยการแบ่งชั้นทรายกรองออกเป็นส่วนๆและทำความสะอาดทีละส่วน ไปตามลำดับ แต่วิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย ทั้งยังมีการดัดแปลงเครื่องมือมาใช้ให้เหมาะกับสภาพของถังทรายกรองช้ามากขึ้น เพราะความสกปรกจะปรากฏในชั้นทรายกรองเฉพาะในชั้นผิวบนเท่านั้น เครื่องมือต่างๆ จึงออกแบบให้ใช้เพื่อ Back-washing เพียงในชั้นผิวบนของชั้นทรายกรอง หรือเป็นการฉีดล้างทำความสะอาดเพียงบริเวณชั้นผิวบนของชั้นทรายกรองเท่านั้น

ตัวอย่างหนึ่งของเครื่องมือที่ใช้งานในลักษณะดังกล่าว ซึ่ง Sivade ได้นำมาใช้ในกรุงปารีส ราวปี ค.ศ. 1933 ประกอบไปด้วยกล่อง 2 ชั้น (ดูภาพที่ 2.26 ประกอบ) ลักษณะยาวและแคบ ที่ก้นเปิดออกกว้างประมาณ 30 ซม. ความยาวของกล่องเท่ากับความกว้างของถังกรอง และจะมี Injection Lances ที่ระยะต่างๆ ตลอดความยาวกล่อง พร้อมทั้งจะมีช่องเปิดสำหรับการดูดน้ำออกไปด้วย การทำความสะอาดจะเริ่มด้วยการ หย่อนเครื่องมือนี้ลงมาแล้วกดให้กล่องจมลงไปในชั้นทรายประมาณ 5 ซม. แล้วกด Injection Lances ลง

ไปประมาณ 15-30 ซม. จากนั้นจึงส่งน้ำเข้ามาตาม Injection Lances โดยใช้เฮดเดอร์ (Header) ซึ่งได้รับน้ำซึ่งมีแรงดันสูง แรงดันของน้ำจะทำให้ทรายขยับขยายตัว ทำให้สิ่งสกปรกต่างๆ หลุดออกมากับน้ำ ลอยขึ้นมาด้านบน เข้ามาอยู่ในกล่องในส่วนล่างแล้วน้ำจะพาสิ่งสกปรกผ่านทางเปิดที่เพดานเข้ามายังส่วนบนของกล่อง และจะถูกดูดออกไปโดย Suction pump ระบายทิ้งไปนอกถังกรอง



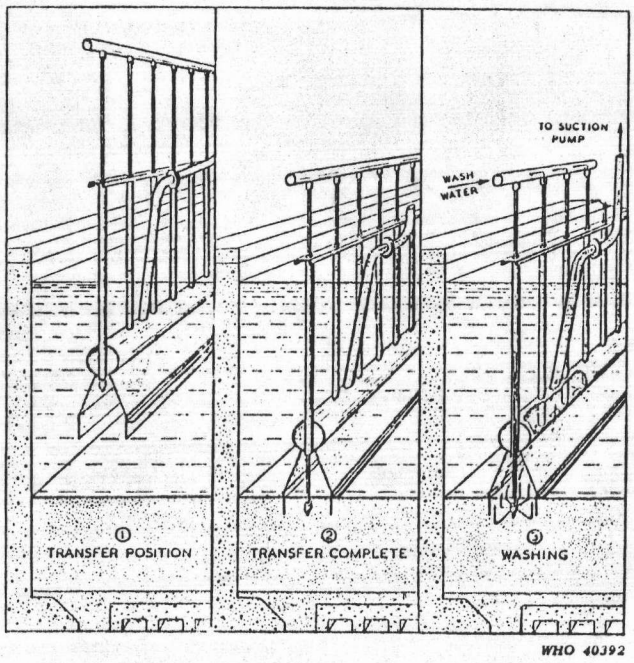
ภาพที่ 2.26 เครื่องมือทำความสะอาดทรายกรองของ Sivade

กระบวนการทำความสะอาดด้วยเครื่องมือนี้จะกินเวลาเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้น Injection Lances จะถูกดึงขึ้นมา และทั้งกล่องและ Injection Lance ก็จะถูกยกขึ้นมาจากทรายบริเวณนั้นพร้อมๆกัน แล้วจึงเลื่อนสะพานที่รับเครื่องมือดังกล่าวออกไปในบริเวณถัดไป จากนั้นกระบวนการต่างๆ ก็จะเริ่มขึ้นใหม่ และสังเกตุว่าการทำงานของมันจะมีการใช้เครื่องมือกลบางอย่างเป็นส่วนช่วย

การทำความสะอาดแบบอาศัยแรงดันของน้ำจะให้ประโยชน์อย่างมากในการประหยัดเวลาการทำงานและการประหยัดแรงงาน อีกทั้งไม่ต้องใช้เวลามากนัก ในการระบายน้ำออกจากถังกรอง หรือการเติมน้ำเข้ามาใหม่ ในเมื่อไม่มีการตักหรือขูดทรายออกไป ความหนาของชั้นทรายก็จะคงที่ตลอด ดังนั้น ค่าความหนาทั้งหมดของชั้นทรายอาจจะกำหนดไว้เพียง 70-80 ซม. ก็อาจจะเพียงพอ

แต่สิ่งที่ควรจะกล่าวถึงในเรื่องข้อเสียของวิธีการนี้ คือการลงทุนในวงเงินสูงเช่นเดียวกับวิธีการใช้เครื่องมือกล อีกทั้งการทำความสะอาดในลักษณะ Back-washing จะทำให้เกิดการเรียงตัวของเม็ดทราย จะทำให้ทรายที่มีขนาดเล็กละเอียดที่สุด เคลื่อนตัวมาอยู่ชั้นบนสุดทำให้เกิดการอุดตันได้ไวขึ้น และ Filterrun ก็จะสั้นลง ผลเสียอีกประการหนึ่งคือสิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวหน้าอาจจะจมลงสู่ชั้นความลึกต่ำลงไปอีกหากแรงดันน้ำกระจายไปไม่สม่ำเสมอ เมื่อเริ่มกรองน้ำใหม่ บรรดาสิ่งสกปรกต่างๆ ที่หลุดพ้นจากการทำความสะอาดที่ชั้นบนของชั้นทรายกรอง อาจทำให้คุณภาพของน้ำที่ผ่านการกรองต่ำลง รวมทั้งการขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ เหล่านี้ไม่อาจทำโดยการกด Injection Lances ลงไปให้ลึกๆ ได้ เพราะเป็นเรื่องยากที่จะกระทำได้สะดวกในแง่เทคนิค

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



From: Burman, N.P. & Lewin, J. (1961) *J. Instn Wat. Engrs*, 15, 355-367.

ภาพที่ 2.27 เครื่องมือทำความสะอาดถังทรายกรองช้าโดยแรงดันน้ำคล้ายกับของ Sivade

2.6 ข้อดีของระบบถังทรายกรองช้า

- การออกแบบถังทรายกรองช้าทำได้ง่าย ไม่มีรายละเอียดยุ่งยากเหมือนระบบถังทรายกรองเร็ว
- การก่อสร้างอาจจะใช้วัสดุต่างๆ ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่น และใช้แรงงานของท้องถิ่นได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีราคาแพง
- ไม่ต้องการทักษะมากในการควบคุมระบบ ด้วยเหตุที่ระบบถังทรายกรองช้าค่อนข้างยืดหยุ่น (Flexibility) มาก สามารถทนต่อการแปรเปลี่ยนสภาพแวดล้อมต่างๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ดังนั้นผู้ควบคุมระบบ (Operator)เพียงแต่ได้รับการอบรมความรู้เพียงเล็กน้อย ก็สามารถจะดำเนินการระบบได้ไม่ยาก
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสิ้นเปลืองน้อยกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในระบบผลิตมากเท่าระบบกรองเร็ว นอกจากนั้นการใช้เครื่องมืออุปกรณ์อื่นๆ ก็มีน้อยมาก
- คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้บริโภคได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งทำให้ไม่เกิดกลิ่นและรสในน้ำด้วย
- ตะกอนสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นมักจะมีปริมาณน้อย สามารถกำจัดได้โดยง่ายและอาจนำไปเป็นปุ๋ยได้ด้วย
- กรณีที่ใช้ในชนบท จะไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องพื้นที่การก่อสร้าง เพราะสามารถจัดหาได้โดยง่าย และราคาไม่แพง
- การล้างทำความสะอาดทรายกรอง ไม่ต้องใช้ระบบ Back washing จึงไม่ต้องสูญเสียน้ำ และไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานด้วย

2.7 ข้อด้อยของระบบถังทรายกรองช้า

- มีข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพของน้ำดิบ ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม มิฉะนั้นอาจจะต้องออกแบบระบบ Pre-treatment ด้วย ซึ่งทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการควบคุมดูแล
- เนื่องจากอัตราการกรองอยู่ในเกณฑ์ต่ำ จึงทำให้โครงสร้างของถังกรองมีขนาดใหญ่ ค่าก่อสร้างในเบื้องต้นจึงสูงกว่าระบบถังกรองเร็ว
- กรณีที่ใช้ในเมือง ซึ่งมีความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ จะมีปัญหาในเรื่องพื้นที่การก่อสร้าง ที่จะมีราคาแพงและจัดหาได้ยาก
- การเกิดสาหร่ายในถังทรายกรองช้า มักเกิดได้ง่ายและเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณได้รวดเร็ว สร้างปัญหาต่อระบบกรองได้มากกว่าถังกรองเร็ว
- ต้องระมัดระวังในเรื่องมลพิษจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลงเหลวได้ง่าย
- สำหรับกรณีที่ค่าแรงงานในท้องถิ่นนั้นสูง ถังกรองเร็วจะได้เปรียบกว่า เพราะสามารถนำอุปกรณ์อัตโนมัติ และทันสมัยมาลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการได้