บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

"น้ำ" เป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิดทั้งหมดในโลกนี้ ไม่ว่ามนุษย์หรือสัตว์ต่างก็มีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ สำหรับมนุษย์นั้น น้ำที่มีค่าสูงสุดคือ "น้ำสะอาด" ซึ่งจะหมายถึง น้ำที่ปราศจากสารพิษและเชื้อโรคต่างๆ อย่างไรก็ตามการหาแหล่งน้ำสะอาดในปริมาณเพียงพอนับวันจะหาได้ยากขึ้น ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากผลกระทบของมลพิษต่างๆ ส่วนแหล่งน้ำใต้ดินนั้นมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันมากขึ้น การจัดหาน้ำสะอาดจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากน้ำธรรมชาติมักมีสารต่างๆ เจือปนอยู่จึงทำให้น้ำสกปรกไม่เหมาะที่จะนำมาดื่มหรือใช้ได้ แต่เราสามารถกำจัดสารเจือปนดังกล่าวได้ โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เรียกว่า "กระบวนการผลิตประปา"

2.1 ส่วนประกอบของระบบประปา

ระบบประปาประกอบด้วย แหล่งน้ำดิบ ระบบทำความสะอาดน้ำ ระบบขนส่งและแจกจ่ายน้ำ ทั้งสามระบบนี้มีความสำคัญต่อการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพดีได้ในราคาประหยัด

2.2 แหล่งน้ำดิบ

น้ำที่ปรากฏอยู่ในแหล่งต่างๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนกันไปมาเสมอตลอดเวลาเป็นไปตามธรรมชาติ เรียกกว่า "วัฏจักรน้ำ" ซึ่งหมายถึงน้ำ เมื่อถูกความร้อนจากดวงอาทิตย์จะระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยขึ้นไป ในบรรยากาศ ไอน้ำบางส่วนอาจถูกพัดพาเข้ามายังแผ่นดินเมื่อกระทบกับอากาศที่เย็นจะกลายเป็นหยดน้ำเล็กๆ และรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆเมื่อก้อนเมฆลอยสูงขึ้น หยดน้ำภายในก้อนเมฆจะรวมตัวกันใหญ่ขึ้นแล้วตกลงมาเป็นฝน น้ำฝนที่ตกลง มานั้นบางส่วนระเหยกลับสู่บรรยากาศ บางส่วนจะไหลอยู่ในลำธารและกลับสู่ทะเล บางส่วนไหลจมลงในดินและถูกซับไว้ บางส่วนถูกพืชใช้ไปและถ่ายสู่บรรยากาศโดยการคายน้ำทางใบพืช บางส่วนถูกพืชดูดซับไว้ สิ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้คือ อิทธิพลและแรงกดดันจากพลังงานต่างๆที่โลกได้รับ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ แรงโน้มถ่วงของโลก

การเลือกแหล่งน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปาจะต้องมีการศึกษาถึงแหล่งน้ำที่จะนำผลิตว่ามีความสกปรกหรือปนเปื้อนน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้น้ำประปาที่มีคุณภาพและราคาที่ประหยัด แหล่ง

น้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปามี 2 ประเภท คือ น้ำผิวดิน และน้ำบาดาล น้ำฝนโดยตรงไม่อาจนับเป็นแหล่งน้ำดิบที่เชื่อถือได้ เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องเก็บกักไว้ใช้ในยามต้องการ

2.2.1 น้ำฝน

น้ำฝน (Rain Water) หมายถึง น้ำทั้งหมดที่ได้จากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของก้อนเมฆโดยตรง คุณสมบัติของน้ำฝนจึงเป็นน้ำบริสุทธิ์อย่างแท้จริง แต่เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการละลายสิ่งต่าง ๆ ได้ดี มันจึงอาจดูดซับแก๊สต่าง ๆ จากบรรยากาศ นอกจากนี้ถ้าน้ำฝนตกผ่านบรรยากาศที่สกปรกก็อาจทำให้น้ำฝนนั้นมีความสกปรกได้ แต่ความสกปรกต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำฝนอาจจะมีปริมาณความสกปรกไม่มากเกินมาตรฐานน้ำดื่มน้ำใช้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ

น้ำฝนจัดเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิตทุกอย่าง น้ำฝนที่ตกลงมาไม่ว่าจะอยู่ผิวดินหรือซึมลงไปใต้ดิน ย่อมนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำประปาได้ อย่างไรก็ตามจำนวนน้ำฝนที่สามารถนำมาใช้ผลิตน้ำประปานั้นมีปริมาณต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก มีการสูญเสียน้ำฝนเกิดขึ้นได้หลายทาง ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.1

รูปที่ 2.1แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาที่ได้จากน้ำฝน

ที่มา: มั่นสิน ตันฑุลเวศม์,2542

2.2.2 น้ำผิวดิน

น้ำผิวดิน (Surface Water) หมายถึง ส่วนของน้ำฝนที่ตกลงมาสู่พื้นดินแล้วไหลลงสู่ที่ต่ำ โดยจะถูกเก็บกักในส่วนของพื้นดินที่เป็นหลุมเป็นแอ่ง ในทะเล มหาสมุทร แม่น้ำ ลำคลอง ห้วย หนองสระ น้ำผิวดินมีความสำคัญต่อชุมชนเป็นอย่างมาก เพราะเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่ โดยเฉพาะในทะเล และมหาสมุทร แต่น้ำทะเลก็ไม่นิยมที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค นอกจากจะใช้เพื่อการประมง และการคมนาคม น้ำผิวดินจืดในแต่ละแห่งจะมีคุณภาพที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อน้ำฝนตกลงมายังพื้นดินแล้วไหลผ่านบริเวณใด หรือชะล้างเอาสิ่งสกปรกอะไรลงไป อาจจะมีพวกธาตุ สารอินทรีย์ จุลินทรีย์ น้ำผิวดินจึงมักสกปรกกว่าน้ำฝนหรือใต้ดิน ดังนั้นการที่จะนำเอาน้ำผิวดินมาใช้ในการอุปโภคบริโภค จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพให้สะอาด ปลอดภัยเสียก่อน

แหล่งน้ำผิวดินได้แบ่งการใช้ประโยชน์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ได้แก่แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำผิวดินทั่วไปในประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน								
ดัชนีคุณภาพน้ำ [1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด [2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1. สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	ธ	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4. ออกซิเจนละลาย (DO)	มก./ล.	P20	ธ	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	ธ	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน								
ดัชนีคุณภาพน้ำ [1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด [2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม . พี . เอ็น /100 มล .	P80	ธ	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม . พี . เอ็น /100 มล .	P80	ธ	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8. ไนเตรด (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ		5.0		-	Cadmium Reduction
9. แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ		0.5		-	Distillation Nesslerization
10. ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ธ		0.005		-	Distillation , 4-Amino antipyrene
11. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ธ		0.1		-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
12. นิคเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ธ		0.1		-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
13. แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	ธ		1		-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
14. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	ธ		1		-	Atomic Absorption - Direct Aspiration

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน								
ดัชนีคุณภาพน้ำ [1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด [2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
15. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	ธ	0.005*	0.05*		-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
16. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
17. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
18. ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	ธ	0.002			-	Atomic Absorption- Cold Vapour Technique
19. สารหนู (As)	มก./ล.	-	ธ	0.01			-	Atomic Absorption- Gaseous Hydride
20. ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Pyridine-Barbituric Acid
21. กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)								Low Background Proportional Counter
- ค่ารังสีแอลฟา (Alpha)	เบคเคอเรล / ล.	-	ธ	0.1			-	
- ค่ารังสีเบตา (Beta)	เบคเคอเรล / ล.	-	ธ	1.0			-	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน								
ดัชนีคุณภาพน้ำ [1]/	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด [2]/ ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
22. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Gas-Chromatography
23. ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	1			-	Gas-Chromatography
24. บีเอชซีชนิดแอลฟ่า (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	0.02			-	Gas-Chromatography
25. ดิลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
26. อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
27. เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor & Heptachlorepoxide	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	0.2			-	Gas-Chromatography
28. เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม / ล.	-	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	Gas-Chromatography

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐาน

คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

หมายเหตุ

1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ่ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

°ซ องศาเซลเซียส

P 20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P 80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association ,AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดิบขององค์การอนามัยโลก

รายการ	เกณฑ์ที่กำหนด สูงสุด
1. คุณลักษณะทางกายภาพ	
- สี (colour), Pt-Co unit	300
2. คุณลักษณะทางเคมี (mg/l)	
- ปริมาณสารละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	1,500
- เหล็ก (Fe)	50
- มังกานีส (Mn)	5
- ทองแดง (Cu)	1.5

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

รายการ	เกณฑ์ที่กำหนด สูงสุด
- สังกะสี (Zn)	1.5
- มักเนเซี่ยมซัลเฟต – โซเดี่ยมซัลเฟต ($mgSo_4$-$NaSO_4$)	1,000
- อัลคิล เบนซิล ซัลโฟเนต (Alkyl Benzyl Sulfonates)	0.5
- ไนเตรต (No_3)	45
- ฟลูออไรด์ (F)	1.5
3. คุณลักษณะทางด้านสารเป็นพิษ (mg/l)	
- ฟีโนลิก ซับแสตนซ์	0.002
- อาร์เซนิก (As)	0.05
- คัดเมี่ยม (Cd)	0.01
- โครเมี่ยม (Cr hexavalent)	0.05
- ไซยาไนด์ (CN)	0.2
- ตะกั่ว (Pb)	0.05
- เซเลเนี่ยม (Se)	0.01
- เรดิโอนิวไคลด์ (gross beta activity); μμc/l	1,000
4. คุณลักษณะทางมลภาวะ (mg/l)	
- ซี โอ ดี (COD)	10
- บี โอ ดี (BOD)	6
- ไนโตรเจนทั้งหมด (ในรูปของ NO_3)	1
- แอมโมเนีย (NH_3)	0.5
- ซี ซี อี (Carbon Chloroform Extract)	0.5
- กรีซ (Grease)	1
1. คุณลักษณะทางด้านแบคทีเรีย (MPN/100 ml. Coliform bacteria)	
ชั้นที่ 1 แหล่งน้ำมีคุณลักษณะทางแบคทีเรีย เพียงผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อโรค จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	0 – 50
ชั้นที่ 2 แหล่งน้ำมีคุณลักษณะทางแบคทีเรีย ที่ต้องผ่านกรรมวิธีการตกตะกอน การกรอง และการฆ่า เชื้อโรค จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	50 – 5,000
ชั้นที่ 3 แหล่งน้ำมีปริมาณมลพิษเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีเพิ่มเติมจากที่ระบุไว้ในชั้นที่ 2 จึงใช้เป็นน้ำประปาได้	5,000 – 50,000
ชั้นที่ 4 แหล่งน้ำมีปริมาณมลพิษมาก ไม่อาจใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการประปาได้ เว้นแต่ว่าได้ผ่าน กรรมวิธีพิเศษ ซึ่งได้ออกแบบไว้เป็นเฉพาะแห่ง ให้ใช้แหล่งน้ำนั้น เมื่อไม่อาจหลีกเลี่ยงได้	มากกว่า 50,000

ที่มา : เวปไซต์ http://reg10.pwa.co.th/pwa10/Knowledge/StandWaterUse.php

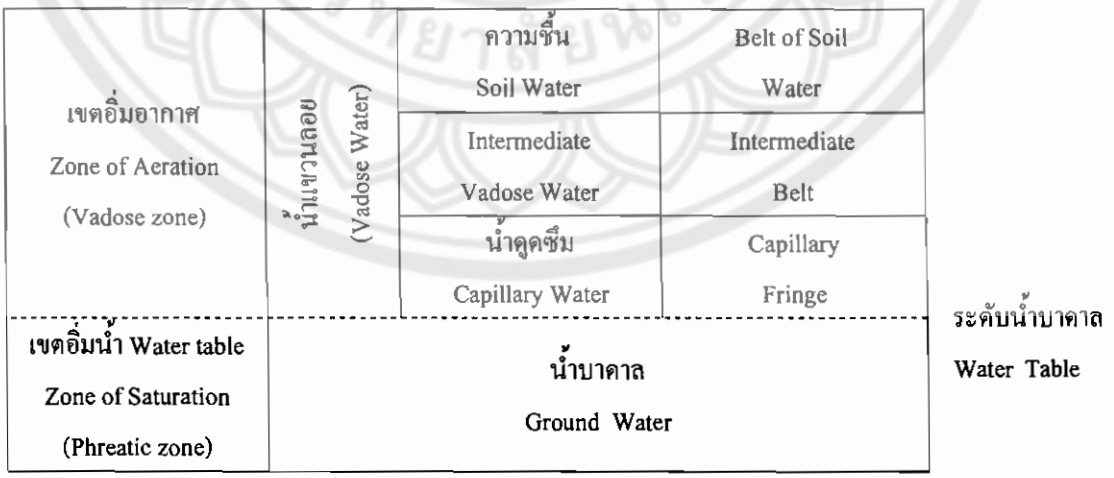
2.2.3 น้ำใต้ดิน

เมื่อฝนตก น้ำฝนที่ตกถึงพื้นดินจะหายไปได้ 3 ทางคือ ทางที่หนึ่งรากพืชดูดน้ำขึ้นไปตามลำต้น แล้วระเหยเป็นไอน้ำที่ใบเข้าสู่บรรยากาศ ทางที่สองน้ำไหลไปตามผิวดินลงสู่ร่องน้ำ ลำธาร และแม่น้ำลำคลอง และสุดท้ายน้ำไหลซึมลงในดินกลายเป็นน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่ค่อย ๆ ซึมลงไปในดินอย่างช้า ๆ ผ่านช่องโหว่ในดินหรือรอยแตกในดินและรูพรุนในดิน น้ำเช่นนี้บางทีก็ลงไปลึกจากผิวดินได้หลายร้อยเมตร น้ำใต้ดินจะลงไปขังอยู่ตามแนวหิน ในที่บางแห่งมีน้ำใต้ดินซึ่งเป็นน้ำบริสุทธิ์ขังอยู่ในชั้นหินจนเป็นอ่างเก็บน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ก็มี ด้านบนของบริเวณที่อิ่มตัวของน้ำเช่นนี้เรียกว่า "ชั้นน้ำใต้ดิน" บ่อน้ำที่เจาะลงในชั้นน้ำชนิดนี้เรียกว่า บ่อน้ำบาดาล

ในทางธรณีวิทยาสามารถแบ่งน้ำใต้ดินออกเป็นหลายลักษณะด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความลึกที่น้ำนั้นถูกกักเก็บอยู่ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วดินและหินจะประกอบด้วยช่องว่างที่น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่หรือถูกกักเก็บไว้ตลอดจนมีการเคลื่อนไหวไปมาได้ซึ่งสามารถแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ผิวดินลงไปเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นสัมผัสอากาศ (Zone of Aeration) และชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation)

2.2.3.1 การแบ่งแยกประเภทของน้ำใต้ดิน

ในทางธรณีวิทยายังแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ผิวดินลงไปเป็น 2 เขตใหญ่ ๆ ด้วยกัน กล่าวคือ บริเวณที่เป็น เขตอิ่มอากาศ (Zone of Aeration) และบริเวณที่เป็น เขตอิ่มน้ำ (Zone of Saturation) (ดูรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 การแบ่งเขตชั้นน้ำและประเภทของน้ำใต้ดินในเขตต่าง ๆ

ที่มา: ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546

1. เขตอิ่มอากาศ (Zone of Aeration or Vadose Zone)

เขตอิ่มอากาศ หมายถึง ส่วนที่อยู่ติดกับผิวดิน ในเขตนี้ ช่องว่างบางส่วนจะน้ำกักเก็บอยู่และบางส่วนจะมีฟองอากาศแทรกอยู่ น้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บในเขตอิ่มอากาศนี้ เรียกรวมกันว่า น้ำแขวนลอย (Vadose or Suspended Water) ถึงแม้ปริมาณน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างเหล่านี้อาจมีปริมาณมาก แต่น้ำเหล่านี้ไม่สามารถสูบนำขึ้นมาใช้ได้ เนื่องจากน้ำจะถูกยึดอยู่ในช่องว่างด้วยแรงตึงคาปิลารี(Capillary Force) เขตอิ่มอากาศสามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้ 3 ส่วนคือ

(1) Belt of Soil Water เป็นส่วนที่อยู่บนสุดของเขตอิ่มอากาศ ประกอบไปด้วยดิน วัสดุอินทรีย์ และอนินทรีย์ต่าง ๆ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในส่วนนี้ เรียกว่า ความชื้นในดิน (Soil Moisture or Soil Water) เป็นน้ำที่ใช้สำหรับเกษตรกรรม และยังชีพของพืชและต้นไม้ต่าง ๆ น้ำบางส่วนอาจจะสูญเสียกลับคืนสู่บรรยากาศโดยตรง โดยกระบวนการการระเหยและการคายน้ำ

(2) Capillary Fringe เป็นส่วนที่อยู่เหนือถัดขึ้นมาจากเขตอิ่มน้ำขึ้นไปจนถึงจุดที่สูงที่สุดที่น้ำซึม ขึ้นไปด้วยแรงคาปิลารี(Capillary Rise) น้ำที่ถูกเก็บในส่วนนี้ เรียก น้ำ ดูดซึม (Capillary Water) ความหนาของส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับแรงดึงคาปิลารี ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างในดิน ถ้าช่องว่างมีขนาดเล็ก ส่วนนี้จะหนามาก ถ้าช่องว่างมีขนาดใหญ่ ส่วนนี้ก็จะไม่หนามากเปรียบเทียบกับน้ำที่ขึ้นไปในหลอดดูดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก เทียบกับในหลอดดูดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่

(3) Intermediate Belt เป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง Belt of Soil Water กับ Capillary Fringe ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก เพราะเป็นเพียงทางผ่านของน้ำที่ซึมผ่านลงไปเท่านั้น น้ำในส่วนนี้เรียกว่า Intermediate Vadose Water ในแต่ละสภาพธรณี ส่วนนี้อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับความลึกของเขตอิ่มน้ำ กล่าวคือ ถ้าเขตอิ่มน้ำอยู่ไม่ลึกจากผิวดิน ส่วนของIntermediate Belt อาจจะไม่มีเลย เพราะเขตอิ่มอากาศจะมีความหนาไม่มาก ในขณะที่ถ้าเขตอิ่มน้ำอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน ความหนาของเขตอิ่มอากาศก็จะมากไปด้วยทำให้ส่วนของ Intermediate Belt ก็จะมีความหนามากไปด้วย

2. เขตอิ่มน้ำ (Zone of Saturation or Phreatic Zone)

ในเขตอิ่มน้ำนี้ทุกช่องว่างที่มีอยู่ในดินและหิน จะมีน้ำแทรกอยู่เต็มไปหมดหรืออีกนัยหนึ่งจะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในเขตอิ่มน้ำนี้ เรียกว่า น้ำบาดาล (Ground Water) ระดับ

บนสุดของเขตอิ่มน้ำ เรียกว่า ระดับน้ำบาดาล (Water Table) ณ ตำแหน่งของระดับน้ำบาดาล ความดันของน้ำในช่องว่าง (Pore Water Pressure) จะเท่ากับความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ณ ตำแหน่งที่ลึกต่ำลงไปจากระดับน้ำบาดาล ความดันของน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของตัวน้ำที่กดทับ ด้วยเหตุนี้ เราจึงสามารถสูบนำ น้ำบาดาลจากเขตอิ่มน้ำขึ้นมาใช้ เนื่องจากความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศนั่นเอง

2.2.3.2 น้ำบาดาล (Ground Water)

น้ำบาดาลจะเกิดอยู่ในชั้นหินที่เป็นโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ อาจจะประกอบด้วยชั้นกรวด ทราย ชั้นหินเนื้อพรุน ในที่ว่าง รอยแตก หรือโพรงในชั้นหินอย่างใดอย่างหนึ่งและชั้นน้ำบาดาลเหล่านี้จะรองรับด้วยหินเนื้อแน่น ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมลงไปข้างล่างได้อีกต่อไป การไหลของน้ำบาดาลมักจะมีทิศทางการไหลเหมือนน้ำในแม่น้ำลำธาร กล่าวคือ จะไหลไปสู่ที่ระดับต่ำซึ่งมีทะเลเป็นจุดสุดท้าย ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ และชั้นต่างๆของดิน (Soil Strata) ในชั้นลึกๆที่สามารถกักเก็บน้ำได้

น้ำบาดาลปลอม (Perched Aquifer) คือ น้ำไหลซึมลงไปได้ดินสู่โซนสัมผัสอากาศมีชั้นหินเนื้อแน่นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้เป็นแอ่งโค้งงอ เมื่อน้ำฝนและน้ำท่าไหลซึมลงสู่โซนสัมผัสอากาศ น้ำส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักไว้บนชั้นหินเนื้อแน่นนี้ ซึ่งไม่ถือว่าเป็นน้ำบาดาล เรียกว่า ชั้นน้ำบาดาลปลอม เมื่อขุดบ่อลงไปครั้งแรกจะสูบดักน้ำได้มาก นานๆเข้าน้ำก็จะหมด

2.3 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำประปา

น้ำประปาที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคจะต้องมีลักษณะคุณภาพที่ดี ปราศจากกลิ่นและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานของน้ำประปาขึ้น และคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำประปาที่ได้กำหนดไว้มีดังนี้

2.3.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ หรือฟิสิกส์ (Physical Characteristics)

ลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ ซึ่งสามารถกำจัดออกจากน้ำ ได้ด้วยวิธีสามัญ และมักเป็นอันตรายน้อยกว่าสารในน้ำประเภทอื่น

1. ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น เกิดขึ้นเนื่องจากมีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น ดินโคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก จำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลงก์ตอน สารที่อยู่ในน้ำสามารถทำให้เกิดแสงหัก

เหและอาจดูดแสงเอาไว้มิให้ผ่านทะลุไปจึงทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น ความขุ่นเป็นสิ่งที่สามารถวัดได้ง่าย มักใช้เป็นดัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการหลายกระบวนการ เช่น การกรอง การตกตะกอน เป็นต้น น้ำประปาเพื่อชุมชนไม่ควรมีความขุ่นเกิน 5 หน่วย หรือ 5 NTU เพื่อไม่ให้เป็นที่รังเกียจและเพื่อความปลอดภัยในการอุปโภคบริโภค

2. สี (Color)

สีส่วนใหญ่เกิดจากพืชหรือใบไม้ที่เน่าเปื่อย มักจะมีสีสีชา สีของน้ำอาจเกิดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยออกมาจากโรงงาน การที่น้ำมีสีที่ผิดปกติจะทำให้น้ำไม่น่าที่จะนำมาใช้อุปโภคบริโภค ดั้งนั้นการกำจัดสีออกจากน้ำเป็นสิ่งจำเป็น สีของน้ำจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- สีจริง (True color) คือ สีที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกับน้ำซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิคและฟัลวิค (Humic Acid & Fulvic Acid) กรดเหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวอีกต่อไปแล้ว การกำจัดสีจริงนี้ไม่อาจทำได้โดยง่าย

- สีปรากฏ (Apparent color) คือ สีที่เกิดจากสารแขวนลอยต่างๆ สามารถ กำจัดออกโดยวิธีทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน หรือการกรอง การกำจัดสีปรากฏออกไปจะทำให้เห็นสีจริงของน้ำ (ถ้ามี)

3. กลิ่น (Odor)

กลิ่นในน้ำมักเกิดจากการที่น้ำมีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น สาหร่าย โปรโตซัวฯลฯ หรือเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำในสภาวะขาดแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดแก๊สไข่เน่า (H_2S)หรืออาจเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด เช่นโรงงานผลิตยา โรงงานผลิตอาหาร ฯลฯ หรืออาจเกิดจาการปนเปื้อนสารเคมีจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้คลอรีนทำลายเชื้อโรคในน้ำ ฯลฯ

4. รสชาติ (Taste)

รสชาติในน้ำเกิดจากการละลายน้ำของพวกเกลืออนินทรีย์ (Dissolvedorganic salt) เช่น เกลือทองแดง เกลือเหล็ก เกลือโพแทสเซียม เกลือโซเดียม หรือเกลือสังกะสี ฯลฯ หรือสารประกอบของกรดและด่าง

5. อุณหภูมิ (Temperature)

การที่อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากธรรมชาติอันเนื่องมาจากดินฟ้าอากาศซึ่งเป็นเรื่องปกติที่ไม่สามารถจะป้องกันแก้ไขได้ แต่ในบางครั้งการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิของน้ำ อาจเกิดจากการที่น้ำได้รับการปนเปื้อนจากน้ำทิ้งที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าปกติ

2.3.2 คุณสมบัติทางด้านเคมี (Chemical Characteristics)

คุณสมบัติของน้ำที่มีองค์ ประกอบของสารเคมี และอาศัยหลักการหาโดยปฏิกิริยาเคมี ถูกกำหนดปริมาณโดยข้อบังคับหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับน้ำสำหรับการบริโภค ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง เหล็ก แมงกานีส คลอไรด์ ฟลูออไรด์หรือพวกโลหะหนักต่าง ๆ เป็นต้น

1. พีเอช (pH)

การหาค่าพีเอช คือการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน หรือการวัดถึงความสามารถของกรดหรือด่างที่มีปฏิกิริยากับน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออน ใช้เครื่องมือในการวัดที่เรียกว่าพีเอชมีเตอร์ ความเป็นกรด-ด่างมีค่าตั้งแต่ 0-14 น้ำบริสุทธิ์จะมีค่าพีเอชเป็น 7 ภาวะความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำ ปกติน้ำตามธรรมชาติจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-8.5 การหาค่า pH ของน้ำช่วยให้เกิดประโยชน์ คือ ช่วยในการควบคุมการกัดกร่อนของน้ำทำให้หาปริมาณการเติมสารเคมีในน้ำได้ถูกต้อง และช่วยควบคุมการฆ่าเชื้อโรคในน้ำในกรณีที่พบว่าคุณภาพน้ำมีสภาพเป็นกรดโดยมีค่าพี-เอชต่ำกว่า 6.5 อาจใช้โซดาไฟ(NaOH), ปูนขาว $Ca(OH_2)$, โซดาแอช (Na_2CO_3), โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$), แคลเซียมคาร์บอเนต(Ca_2CO_3), แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Na_4OH) แม้ว่าปูนขาวเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกแต่สามารถละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นหากเราใช้สารเคมีจำนวนน้อยในการเพิ่ม พี-เอช ก็ไม่ควรใช้ปูนขาว แต่ควรใช้โซดาไฟ(NaOH) ซึ่งละลายน้ำได้ดี แต่ถ้าต้องการปรับพี-เอชให้เป็นกลาง ให้ใกล้เคียง 7 ควรใช้สารประกอบพวกโซดาแอช แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไบคาร์บอเนต ดีกว่าพวกปูนขาวหรือโซดาไฟเพราะว่าจะคุมระดับพี-เอช

2. ความกระด้าง (Hardness)

น้ำกระด้าง หมายถึงน้ำที่เมื่อทำปฏิกิริยากับสบู่แล้วทำให้สบู่เกิดฟองได้ยาก สาเหตุที่ทำให้เกิดความกระด้าง เนื่องจากน้ำมีพวกเกลือไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เกลือซัลเฟต (SO_4^{2-}) เกลือคลอไรด์ (Cl^-) และเกลือไนเตรต (NO_3) รวมตัวกับธาตุต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) และ

ธาตุแมกนีเซียม (Mg) ความกระด้างของน้ำตามธรรมชาติเกิดจากเกลือของพวกไบคาร์บอเนต และเกลือซัลเฟตเป็นส่วนใหญ่ ความกระด้างของน้ำแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ ความกระด้างชั่วคราว และความกระด้างถาวร

- ความกระด้างชั่วคราว (Temporary Hardness) หมายถึง น้ำกระด้างที่เกิดจากเกลือของพวกไบคาร์บอเนต (Carbonate Hardness) ความกระด้างชั่วคราวของน้ำนี้กำจัดออกจากน้ำด้วยการต้มเพื่อให้เกิดตะกอนของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต

- ความกระด้างถาวร (Permanent Hardness) หมายถึง ความกระด้างของน้ำที่เกิดจากน้ำที่เกิดจากเกลือของพวกซัลเฟต หรือเกลือของคลอไรด์ รวมตัวกับธาตุแคลเซียม หรือธาตุแมกนีเซียม ซึ่งบางครั้งเรียกว่ากระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต (Noncarbonate Hardness)

3. เหล็กและแมงกานีส (Iron and Maganese)

ธาตุเหล็กโดยทั่ว ๆ ไปจะอยู่ในรูปสารไม่ละลายน้ำ (Insoluble form) ถ้าอยู่ในดินและแร่ธาตุก็จะอยู่ในรูปของสารไม่ละลายน้ำในรูปเฟอริคออกไซด์ (Fe_2O_3) ในดินบางแห่งจะมีเฟอรัสคาร์บอเนตซึ่งละลายน้ำเล็กน้อย และถ้าในน้ำมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ และอยู่ในสภาวะของแก๊สออกซิเจนก็จะยิ่งทำให้เหล็กในรูปดังกล่าวละลายน้ำได้ดี เหล็กละลายน้ำได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 3.5 เหล็กและแมงกานีสมักจะพบอยู่ควบคู่กันเสมอ แมงกานีสมักอยู่ในดินเป็นแมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) ซึ่งไม่ละลายน้ำที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากเมื่อน้ำอยู่สภาวะขาดแก๊สออกซิเจนจึงจะทำให้ละลายน้ำได้โดยเปลี่ยนวาเลนซี (valancy) จาก 4 เป็น 2

4. คลอไรด์ (Chloride)

คลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำตามธรรมชาติจะละลายอยู่ในปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าน้ำจะไหลผ่านพื้นดินหรือชั้นดินที่มีปริมาณคลอไรด์อยู่มากเพียงใดโดยเฉพาะในน้ำผิวดินที่ใกล้ปากน้ำ หรือบริเวณที่น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึงได้ โดยปกติคลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่อาจเป็นดรรชนีของความสกปรกในน้ำเช่นเดียวกับแอมโมเนียและไนเตรต สิ่งสกปรกที่เข้ามาปะปนอาจจะมาจากเกลือที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มีอยู่ในปัสสาวะหรือเหงื่อไคล คลอไรด์ของน้ำได้ดินบริเวณที่มีเกลือสินเธาว์หรือคลอไรด์ของเกลือในน้ำทะเล

5. ฟลูโอไรด์ (Fluoride)

โดยทั่วไปแล้วน้ำในธรรมชาติมักไม่มีฟลูโอไรด์ละลายอยู่ แต่เนื่องจากฟลูโอไรด์มีความสำคัญต่อสุขภาพฟัน เพราะถ้ามีฟลูโอไรด์มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดฟันเป็นคราบ (mettled enamel) ซึ่งถ้ามีฟลูโอไรด์น้อยเกินไปอาจทำให้เกิดโรคฟันเปราะหรือหักง่าย(Dental carries) ขนาดที่เหมาะสมที่ควรมีในน้ำดื่ม คือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

6. ตะกั่ว (Lead)

โดยทั่วไปแล้วน้ำตามธรรมชาติจะไม่มีตะกั่ว การที่น้ำมีตะกั่วจึงมักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และการอุตสาหกรรม เช่น เกิดจากการที่น้ำไหลผ่านท่อที่ทำด้วยเหล็กหรือมีเหล็กเป็นส่วนผสม ไอเสียของรถยนต์ การใช้สีตะกั่วหรือสีผสมตะกั่ว การใช้ยาฆ่าแมลงในการเกษตร เครื่องสำอาง เป็นต้น ในน้ำดื่มไม่ควรมีตะกั่วจนถึงระดับที่วัดได้ น้ำบาดาลอาจมีตะกั่วสูงถึง 15 มก./ล. ในขณะนี้ยังไม่มีข้อมูลที่บอกถึงระดับตะกั่วที่ร่างกายมนุษย์สามารถทนได้ พิษจากตะกั่วทำให้ร่างกายมีความผิดปกติต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อแขนวายอย่างช้าๆ เป็นต้น ร่างกายสามารถขับถ่ายตะกั่วออกมาได้เพียงบางส่วนและส่วนที่เหลือสะสมอยู่ภายในร่างกายซึ่งเป็นอันตรายได้ภายหลัง ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางเช่น ทางอาหาร ลมหายใจ และทางควันยาสูบ รวมทั้งทางน้ำดื่มและเครื่องดื่มมึนเมา ตะกั่วอาจรวมอยู่ในสารอื่นของน้ำธรรมชาติและสามารถกำจัดออกไปโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี และการกรอง

7. ทองแดง (Copper)

ธาตุทองแดงเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของมนุษย์ แต่มนุษย์ต้องการทองแดงน้อยมาก ส่วนที่ร่างกายได้รับมากเกินไปจะถูกขับออกไปจากร่างกายโดยไม่มีการสะสมเหมือนกับปรอทหรือตะกั่ว การบริโภคทองแดงประมาณ 60-100 มิลลิกรัมอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติกับกระเพาะอาหาร น้ำประปาอาจได้รับทองแดงจากการผุกร่อนหรือละลายตัวของท่อทองแดง การใช้คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ในการป้องกันสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบอาจทำให้ระดับทองแดงในน้ำดิบและน้ำประปามีปริมาณสูงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้

8. สังกะสี (Zinc)

โดยทั่วไปในน้ำผิวดินธรรมชาติมักจะมีปริมาณสังกะสีละลายอยู่ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่มีปริมาณสังกะสีสูง 30 มก./ล. ทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนและเป็นลมได้ การกำจัดปริมาณสังกะสีให้อยู่ที่ 5 มก./ล. ดูเหมือนว่าเป็นไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดรสมากกว่าจะเป็นเหตุผลทาง

การแพทย์ ทั้งนี้เพราะสังกะสีอาจรวมอยู่กับคลอไรด์และซัลเฟต ทำให้กลายเป็นสารละลายที่มีรส ไม่ชวนดื่มการเกิดสังกะสีละลายอยู่ในน้ำอาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น เกิดจากการกัดกร่อนท่อน้ำ หรือภาชนะที่ทำด้วยภาชนะที่ทำด้วยทองแดง และเหล็กอาบสังกะสี ยางรถยนต์ ฯลฯ สังกะสีมีอยู่ในน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ โรงงานประกอบรถยนต์หรือจักรยานยนต์ โรงงานผลิตเส้นใยเรยอน การกำจัดสังกะสีออกจากน้ำกระทำได้โดยวิธี Ion Exchange หรือตกผลึกด้วยปูนขาว หรือสารประกอบซัลไฟด์ วิธีป้องกันไม่ให้น้ำมีสังกะสีสูงกว่า 1 มก./ล. อาจกระทำได้โดยทำให้พีเอชของน้ำสูงกว่า 8 แล้วกรองด้วยเครื่องกรองน้ำ

9. ไนไตรด์ (Nitrite)

โดยปกติในน้ำธรรมชาติที่ไม่ได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกนั้นจะไม่มีไนไตรต์ละลายอยู่ ไนไตรต์เกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ในการออกซิเดชันพวกแอมโมเนียได้ไนไตรต์เป็นอันดับแรกก่อนที่จะกลายเป็นไนเตรต

10. ไนเตรต (Nitrate)

มีอยู่ในธรรมชาติในปริมาณน้อยมากอาจเกิดจากพวกพืช หรือสัตว์ที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ และอาจเกิดจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเช่นเดียวกันกับที่กล่าวแล้วในเรื่องของการเกิดไนไตรต์ และการที่ในน้ำมีไนเตรตอาจจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นไนไตรต์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือออกซิเจนในน้ำ

11. สารหนู (Arsenic)

การที่ในน้ำมีสารหนูอาจเกิดเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านชั้นดินหรือหินที่มีสารหนูที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์อันได้แก่ การใช้ยาฆ่าสัตรูพืช หรือสัตว์ หรือปุ๋ย หรือผงซักฟอกที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ หรืออาจมีในอาหารทะเลบางชนิด นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ในน้ำที่ใช้ดื่มต้องไม่มีสารหนูอยู่เลย เนื่องจากถ้าบริโภคสารหนูเพียง 100 มก. สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้สารนี้สามารถสะสมอยู่ในร่างการและทำให้เป็นอันตรายได้ในระยะยาว นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกด้วยว่าสารหนูเป็นต้นเหตุของมะเร็ง สารพิษตัวนี้อาจมีโอกาสพบในน้ำบาดาลได้บ่อยกว่าสารพิษตัวอื่น

2.3.3 คุณสมบัติทางด้านชีวภาพ (Biological Characteristics)

หมายถึง การที่น้ำมีสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ อยู่ในน้ำ สิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ในน้ำมีมากมายหลายอย่าง ตั้งแต่พืชน้ำ สัตว์น้ำ แพลงตอน และจุลินทรีย์ซึ่งมีทั้งประโยชน์และโทษต่อมนุษย์ จุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Nonpathogenic microorganism) ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย หรือราบางชนิด จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic Microorganism) ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย โปรโตซัว หนอนพยาธิ เป็นต้น โดยเชื้อเหล่านี้ปะปนไปในแหล่งน้ำ ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านแบคทีเรียจึงให้ข้อมูลเบื้องต้นแสดงถึงการปนเปื้อนของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งแบคทีเรียที่มีผลต่อคุณภาพน้ำนั้นแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1) Pathogenic bacteria พวกนี้ทำให้เกิดโรคโดยตรง อาศัยน้ำเป็นสื่อ เช่น อหิวา บิดมีเชื้อท้องร่วงอย่างแรง เชื้อพวกนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้น้อยมักตายได้ง่าย เมื่อออกจากร่างกายมนุษย์หรือสัตว์เลือดอุ่น การวิเคราะห์หาได้ค่อนข้างยากลำบากต้องใช้เทคนิคสูงจึงไม่นิยมนำมาเป็นมาตรการตรวจคุณภาพน้ำ เว้นเสียแต่ต้องการทราบแน่ชัดว่าเป็นโรคอะไรแน่จึงทำการตรวจวิเคราะห์หาเชื้อชนิดนั้น ๆ

2) Non - Pathogenic bacteria พวกนี้ไม่ทำให้เกิดโรคร้ายแรง พบได้ในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น ถึงร้อยละ 95 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดี ถ้าตรวจพบแสดงว่า น้ำอาจจะมีการสัมผัสเปรอะเปื้อน (contaminate) กับอุจจาระมาแล้วจึงนิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความสกปรกของน้ำ และเป็นการชี้เตือนว่าอาจจะมีเชื้อโรคที่เป็นอันตรายปะปนมาด้วย ในกลุ่มเชื้อพวกนี้ ได้แก่ Coliform group , *Escherichia coli (E.coli)* หรือ *Streptococcus faecalis* เป็นต้น

การประเมินคุณภาพน้ำทางด้านแบคทีเรีย มักใช้จุลินทรีย์ที่สำคัญ 2 กลุ่ม เป็นเครื่องชี้บอกหรือแสดงการปนเปื้อนของแบคทีเรีย กลุ่มของแบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ (ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2535)

1) โคลิฟอร์มแบคทีเรีย หมายถึง กลุ่มของ aerobic และ facultative anaerobic bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ย้อมติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ มีรูปร่างเป็นแท่งและสามารถหมักย่อยน้ำตาลแลคโตสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสภายในเวลา 24-48 ชั่วโมง และให้ผลเป็นกรดและแก๊ส แบคทีเรียกลุ่มนี้พบทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ โดยเฉพาะในลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น โคลิฟอร์ม

แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ กลุ่มของแบคทีเรีย เช่น *Escherichia, Enterobacter, Citrobacter* และ *Serratia*

2) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ได้แก่ แบคทีเรียที่มีแหล่งกำเนิดจากอุจจาระของคนและสัตว์เลือดอุ่น แบคทีเรียชนิดนี้ สามารถหมักย่อยน้ำตาลแลคโตสที่อุณหภูมิ 44.5 + 0.2 องศาเซลเซียสภายในเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่แบคทีเรียในสกุล *Escherichia*

แบคทีเรียในน้ำเป็นมลพิษในน้ำบริโภคที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นสาเหตุของโรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ เช่น บิด อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ และโรคในระบบทางเดินอาหารต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของประเทศไทย และประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลก และจากการสำรวจคุณภาพน้ำบริโภคในประเทศไทยก็พบว่า แบคทีเรียเป็นมลพิษสำคัญในน้ำ ทำให้น้ำบริโภคไม่ได้มาตรฐานถึงร้อยละ 70 แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคมีหลายชนิด แต่การวิเคราะห์หาชนิดของแบคทีเรียดังกล่าวทำได้ยากในการตรวจหาเชื้อโรคที่เป็นอันตรายนั้น โดยทั่วไปตรวจหาเชื้อโรคซึ่งมีอยู่ในลำไส้ใหญ่ของมนุษย์และสัตว์แทน เชื้อโรคชนิดนี้เรียกว่า "Coliform Group" ซึ่งจะเป็นตัวชี้ว่ามีเชื้อโรคอันตรายอยู่มากน้อยแค่ไหน เชื้อโรค "Coliform Group" นี้จะออกปะปนมากับอุจจาระถ้าตรวจพบเชื้อโรคกลุ่มนี้มากในน้ำแสดงว่าน้ำนั้นไม่ปลอดภัย

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำประปาตามมาตรฐานการประปานครหลวง

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด	เกณฑ์ที่กำหนดอนุโลมให้สูงสุด
คุณสมบัติทางกายภาพ		
สี (Co lour)	5.0	15.0
รส (Taste)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
กลิ่น (Odour)	"	"
ความขุ่น (Turbidity) หน่วยซิลิกา	5.0	20.0
ความเป็นกรด ด่าง (pH)	6.5-8.5	ไม่เกิน 9.2
คุณสมบัติทางเคมี (หน่วย มก./ล.)		
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Solids)	500	1,500
เหล็ก (Fe)	0.5	1.0
แมงกานีส (Mn)	0.3	0.5
เหล็กและแมงกานีส (Fr & Mn)	0.5	1.0
ทองแดง (Cu)	1.0	1.5

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด	เกณฑ์ที่กำหนดอนุโลมให้สูงสุด
คุณสมบัติทางเคมี (หน่วย มก./ล.)		
สังกะสี (Zn)	5.0	15.0
แคลเซียม (Ca)	75	200
แมกเนเซี่ยม (Mgซัลเฟต (SO_4)	50	150
ซัลเฟต (SO_4)	200	250
คลอไรด์ (Cl)	250	600
ฟลูออไรด์ (F)	0.7	1.0
ไนเตรต (NO_3)	45	45
อัลคิลเบนซิลโฟเนต (ABS)	0.5	1.0
ฟีโนลิกซับสแตนซ์ (Phenol)	0.001	0.002

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
คุณสมบัติทางด้านสารเป็นพิษ	
ปรอท (Hg)	0.001
ตะกั่ว (Pb)	0.05
อาร์เซนิค (As)	0.05
เซเลเนียม (Se)	0.01
โครเมี่ยม (Cr Hexavalent)	0.05
ไซยาไนต์ (Cn)	0.2
แคดเมี่ยม (Cd)	0.01
บาเรียม (Ba)	1.0
คุณสมบัติทางด้านทางจุลชีววิทยา	
แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/มิลลิกรัม)	500
เอ็มพีเอ็น (โคลิฟอร์มออร์แกนิซัม ต่อ 100ลูกบาศก์เซนติเมตร)	น้อยกว่า 2.2
อี โคไล (E. coli)	ไม่มี

ที่มา : เวปไซต์ www2.diw.go.th/iwti/files/2_1/std

2.4 ระบบผลิตน้ำประปา

2.4.1 การตกตะกอน

1. ถังกวนเร็ว (Rapid mixing)

จุดประสงค์คือทำให้อนุภาคความขุ่น(คอลลอยด์)จับตัวรวมกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นด้วยการเติมสารเคมีลงในถังกวนเร็ว สารเคมีที่ใช้ในถังกวนเร็วได้แก่ สารส้ม($Al_2(SO_4)_3$) เฟอร์ริคคลอไรด์($FeCl_2$) แมกนีเซียมคาร์บอเนต($MgCO_3$) ปูนขาว($Ca(OH)_2$) โพลิอลูมิเนียมซัลเฟต(PAC) และกวนให้สารเคมีกระจายทั่วในน้ำดิบเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และทำให้อนุภาคเคลื่อนที่มาสัมผัสกันให้มากที่สุด ฟล้อกจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อสารเคมีสัมผัสกับน้ำ

ก. การกวนโดยไม่ใช้เครื่องจักรกล เหมาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาเพราะไม่ต้องใช้เครื่องจักร ทำให้ไม่ต้องเสียค่าดูแลรักษาเครื่องจักร ซึ่งทำให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำโดยการลดขนาดทางไหล ลดระดับการไหล

ข. การกวนโดยใช้เครื่องจักรกล วิธีนี้เกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าน้อยและไม่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของอัตราไหลของน้ำ

ในการคำนวณออกแบบถังกวนเร็ว ถ้าใช้เครื่องกวนสามารถคำนวณหากำลังงานที่ต้องการของเครื่องกวนได้โดยสมการ

$$P = \mu V G^2$$

เมื่อ P = กำลังงานที่ต้องใช้, วัตต์

μ = ค่า Dynamic viscosity ของของเหลวใด ๆ ที่ถูกกวน, นิวตัน.วินาที/ม^2

V = ปริมาตรของของเหลวในถังผสม, ลบ.ม.

G = ค่าความลาดชันความเร็ว Velocity gradient, ต่อวินาที

การผสมเร็วนั้นขึ้นกับค่า Velocity gradient (G) เป็นอย่างมากถ้ามีการผสมเร็วเกิดขึ้นหรือช้าเกินไปน้ำบางส่วนจะสัมผัสกับสารเคมีมากเกินไปและบางส่วนจะไม่สัมผัสกับสารเคมีเลยถ้ากวนแรงมากไป ฟล้อกที่เกิดขึ้นแล้วจะแตกออกหลุดเป็นอนุภาคคอลลอยด์อีก

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ออกแบบถังผสมเร็ว

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ค่า G, ต่อวินาที	300 – 1500
เวลาเก็บกักของน้ำในถังกวนเร็ว (t), วินาที	20 – 60
ค่า Gt ,ไม่มีหน่วย	30,000 – 60,000
กำลังงานที่ต้องใช้,วัตต์/ลบ.ม. ของถังกวนเร็ว	4 - 8

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2. ถังกวนช้า (Flocculation Tank)

คือ การกวนน้ำที่ผ่านการใส่สารสร้างตะกอนและผ่านขั้นตอนการกวนเร็วแล้ว การกวนอย่างช้าทำให้ตะกอนเล็กๆ ในน้ำเกิดการรวมตัวให้ใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้ดี

เมื่อสารเคมีกับน้ำผสมกันดีแล้วในถังกวนเร็ว ขั้นต่อมาน้ำที่ไหลออกจากถังกวนเร็วจะไหลเข้าสู่ถังกวนช้า เพื่อที่จะทำให้สารละลายเคมีมีโอกาสเกาะติด หรือจับตะกอนแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำดิบ ซึ่งมีผลทำให้ตะกอนต่างๆ มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักของตะกอนเหล่านี้เพิ่มขึ้น ตะกอนเหล่านี้จึงเรียกว่า ฟล็อก (Floc) การเกิดฟล็อกจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ปริมาณของสารตะกอน
2. ขนาดของสารตะกอน
3. อัตราเร็วของการรวมตัวกันระหว่างประจุบวกกับประจุลบ
4. ความสามารถในการเกาะจับตัวกันระหว่างสารเคมีกับตะกอน
5. ระดับการกวน เช่น ดูค่าของ Gt หรือ G
6. อุณหภูมิของน้ำที่ถูกกวน
7. ความหนาแน่นของน้ำที่ถูกกวน
8. พื้นที่ผิวของแผ่นกวน
9. คุณลักษณะของน้ำที่ถูกกวน
10. ปริมาณสารเคมีที่ใส่ลงในถังผสมเร็ว

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ระบบการผสมช้ามีปัจจัยต้องคำนึงถึงมากมาย ซึ่งมีมากกว่าของระบบการผสมเร็ว ดังนั้นการทดลองเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับช่วยในการวิเคราะห์ระบบผสมช้า ถังกวนช้ามีอยู่ด้วยกันหลายแบบแต่สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ 2 ประเภท

TC
160
.2697ก
2551
ฉ.4512ก4ก

สำนักหอสมุด
15 ต.ค. 2552

คือ ถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกวน และถังผสมช้าแบบใช้แผ่นกั้นขวางวางสลับกัน ต่อไปนี้จะได้แสดงระบบถังผสมช้าแบบต่าง ๆ

ถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกวน

สมการที่ใช้ในการคำนวณออกแบบถังกวนช้า แบบใช้แผ่นกวน ซึ่งอาจทำด้วยแผ่นไม้ พลาสติก ฯลฯ

$$P = \tfrac{1}{2} C_D A \rho v^3$$

เมื่อ P = กำลังที่ต้องการใช้, วัตต์

C_D = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่วง (สำหรับแผ่นกวนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าเท่ากับ 1.8)

A = พื้นที่แผ่นของของเหลว, กก./ม^3

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว, กก./ม^3

V = ความเร็วสัมพันธ์ของแผ่นกวนในของเหลว , ม./วินาที [0.7 – 0.8 เท่าของความเร็วหมุนของแผ่นกวน(V_p)]

และใช้สมการข้างต้น เพื่อคำนวณหาค่า G เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมโดยตารางที่เหมาะสมโดยตารางที่ได้แสดงเกณฑ์ออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกวน

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกวน

เกณฑ์การออกแบบ	ค่าออกแบบ
ค่า G, ต่อวินาที	20 – 75
เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), นาที	15 – 30
ค่า Gt ,ไม่มีหน่วย	$10^4 – 10^5$
ความเร็วหมุนของแผ่นกวน (V_p) , ม.ต่อวินาที	0.6 -0.9

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ถังผสมช้าแบบใช้แผ่นกั้นขวางสลับกัน

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า G โดยถ้ามีการผสมมากๆ จะมีค่า G ประมาณ 100 ต่อนาที และถ้ามีการผสมน้อยมากจะมีค่า G ประมาณ 20 ต่อนาที โดยตารางที่ 2.6ได้แสดงเกณฑ์การออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกั้นขวางวางสลับกัน

$$G = \left(\frac{\rho g h_L}{\mu t} \right)^{0.5}$$

เมื่อ G = ค่า Velocity gradient, ต่อวินาที

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว, กก./ลบ.ม.

h_L = ค่าสูญเสียความดันของถังผสมช้า, ม.

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

μ = ค่า Dynamic Viscosity ของของเหลวใด ๆ ที่ถูกผสม, นิวตัน.วินาที/ ม^2

t = เวลาเก็บกัก, วินาที

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกั้นขวางวางสลับกัน

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ค่า G, ต่อวินาที	20-50
เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), นาที	20-50
ความเร็วของน้ำไหลภายในถังกวนช้า, ม.ต่อวินาที	0.15-0.45
ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นขวาง, ซม.	มากกว่า 45
ความลึกของถังแบบไหลเลี้ยวคดไปมา, ม.	มากกว่า 0.90
ความลึกของถังแบบไหลขึ้นไปมา, ม.	น้อยกว่า 0.90
ค่าสูญเสียความดันของถัง (h_L), ม.	0.004-0.035

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

3. ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

การตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปาเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากกระบวนการหนึ่ง ทำหน้าที่แยกตะกอนออกจากน้ำดิบ ทำให้น้ำใส สำหรับตะกอนที่อยู่ก้นถังจะถูกสูบออกหรือปล่อยออกเครื่องสูบตะกอน

สมการเคมีการเกิดตะกอนของโคแอกกูแลนท์ต่างๆ

Aluminium sulfate

$$Al_2(SO_4)_3.14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \longleftrightarrow 2Al(OH)_3(s) + 3CaSO_4 + 6CO_2 + 14H_2O$$

Ferric sulfate

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longleftrightarrow 2Fe(OH)_3(s) + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

Ferric chloride

$$FeCl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longleftrightarrow 2Fe(OH)_3(s) + 3CaCl_2 + 6CO_2$$

ถังตะกอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ โดยแบ่งตามลักษณะทิศทางการไหลของน้ำ

1. ประเภทที่ 1 ถังตกตะกอนแบบไหลในแนวนอน (Horizontal flow) โดยมากจะเป็นถังรูปตะกอนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. ประเภทที่ 2 ถังตกตะกอนแบบไหลในแนวดิ่ง (Vertical flow) โดยมาจะเป็นถังตะกอนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทรงกลม

3. ประเภทที่ 3 ถังตกตะกอนแบบไหลไปตามแผ่นหรือท่อเอียง (Plate-type หรือ Tube type) เป็นถังที่มีแผ่นหรือท่อวางเอียงอยู่ในน้ำ

ในหัวข้อนี้จะแสดงค่าเกณฑ์ออกแบบของถังตกตะกอนประเภทต่าง ๆ ดังนี้ถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือรูปทรงกลมและถังตกตะกอนแบบท่อหรือแผ่นเอียงตามลำดับ สำหรับถังตกตะกอนที่มีระบบ Coagulation-Flocculation ซึ่งนิยมเรียกว่า Reactor-Clarifier โดยจะทำหน้าที่ทั้งเกิดปฏิกิริยาเคมีและการตกตะกอน ถังแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั้งระบบประปาขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ แต่โดยมากมักจะมีการออกแบบถังและเทคนิคการควบคุมดูแลระบบถังให้เป็นไปตามที่ได้ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้แล้ว อย่างไรก็ตามจะได้แสดงเกณฑ์ออกแบบถัง Reactor-Clarificr

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์ออกแบบถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความกว้างของถัง, ม.	1.50-7.50
ความกว้าง : ความยาว, ม./ม.	1:3-5
ความยาวของถัง (ทั่วไป), ม.	30.00
ความยาวของถัง (ยาวที่สุด), ม.	75.00
ความลึกของน้ำในถัง (ตื้นที่สุด), ม.	2.50

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความลึกของน้ำในถัง, ม.	3.00-5.50
ความเร็วของน้ำไหลในแนวนอน (มากที่สุด), ม./นาที	0.15
ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นกับผิวกำแพงทางเข้า, เท่าของความยาวถัง	
ความลาดของพื้นก้นถัง, ม./ม.	0.05-0.10
อัตราน้ำล้นฝาย, ลบ.ม./(ม^2.วัน)	0.01
- มีปริมาณตะกอนสารส้มน้อย (น้ำดิบมีความขุ่นน้อย)	
มีปริมาณตะกอนสารส้มมาก (น้ำดิบมีความขุ่นมาก)	143-179
- มีปริมาณปูนขาวมาก (กำจัดความกระด้าง)	180-268
อัตราน้ำล้นของถัง, ลบ.ม./(ม^2.วัน)	269-322
- มีตะกอนฟล็อกจากสารส้มหรือเหล็ก	
- มีตะกอนฟล็อกจากปูนขาว	14-22
เวลาเก็บกักของถัง, ชม.	23-82
- มีตะกอนฟล็อกจากสารส้มหรือเหล็ก	
- มีตะกอนฟล็อกจากปูนขาว	2-4
	1-2

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์ออกแบบถังตะกอนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือรูปทรงกลม

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ขนาดกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง, ม.	<45
ความลาดของพื้นก้นถังแบบใช้เครื่องกวาดตะกอน, ม./ม.	0.60-0.61
ความลาดของพื้นก้นถังแบบไม่ใช้เครื่องกวาดตะกอน, องศา	45-65
อัตราน้ำล้นของถังขนาดไม่เกิน 0.35 ลบ.ม. ต่อนาที,ม^3/(ม^2.วัน)	12-24
อัตราน้ำล้นของถังขนาดเกิน 0.35 ลบ.ม. ต่อนาที,ม^3/(ม^2.วัน)	30-45
ความลึกของน้ำในถัง,ม.	3-5
เวลาตกตะกอน, ชม.	1-3
อัตราน้ำล้นฝาย, ลบ.ม./(ม.วัน)	170
รางน้ำล้นห่างจากขอบถัง, เท่าของขนาดรัศมีถัง	0.15-0.20

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์ออกแบบถังตกตะกอนแบบท่อหรือแผ่นเอียง

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความลาดของท่อหรือแผ่นเอียง , องศา	5-60
ขนาดท่อเอียง, ซม.	5
ระยะห่างระหว่างท่อเอียงกับทางน้ำเข้า, เท่าของความยาวของถัง	0.3-0.5
พื้นที่ของท่อเอียงคลุมพื้นที่ถัง, เท่าของพื้นที่ถัง	0.5-0.75
ระยะจุ่มน้ำของปลายบนท่อเอียง, ม.	0.60-1.20
อัตราน้ำล้นของถัง, ลบ./(ม^2.วัน)	
- ถังสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือถังทรงกลม	117-147
- ถังสี่เหลี่ยมผืนผ้า	117-176

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ตารางที่ 2.10 เกณฑ์ออกแบบถังแบบ Reactor-Clarifier

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
เวลาเกิดฟล็อก, นาที	20
เวลาตกตะกอน, ชม.	1-2
อัตราน้ำล้นของถัง, ม^3./(ม^2.วัน)	50-75
อัตราน้ำล้นฝาย, ม^3./(ม.วัน)	175-350
ความเร็วที่ไหลขึ้น,มม./นาที	>50

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.4.2 การกรองน้ำ

การทำให้น้ำสะอาดโดยวิธีกรองเป็นขั้นสุดท้ายที่จะกำจัดสารซึ่งไม่สามารถตกตะกอนได้ โดยการกักสารเหล่านั้นไว้บนผิวหน้าของสารกรอง (Filter media) แต่จะยอมให้น้ำเท่านั้นที่ผ่านช่องว่าง (void) ของตัวกรอง ดังนั้นสารแขวนลอยต่างๆ เช่น ตะกอนเบาที่ไม่ยอมตกตะกอน สารคอลลอยด์ ตะกอนของเหล็กแมงกานีส สาหร่าย แบคทีเรีย และไวรัส จะถูกกักอยู่ในหน่วยนี้

ตารางที่ 2.11 ขนาดของอนุภาคและวัตถุต่างๆ ที่กรองได้

อนุภาคและวัตถุต่างๆ	ขนาด (มิลลิไมครอน)
ตะกอนต่างๆ (Silt)	50,000
แบคทีเรีย	5,000
ไวรัส	50
อนุภาคคอลลอยด์	1 – 1,000

ที่มา : ณรงค์ วุทธเสถียร , 2540

การกรองน้ำเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

1. การกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (Surface Filtration) ตะกอนแขวนลอยหรือความขุ่นที่ถูกดักจับและติดค้างอยู่บนผิวของสารกรองซึ่งอาจเป็น ผ้าแผ่นใยสังเคราะห์ แท่งกรอง เครื่องกรองที่อาศัยหลักการกรองแบบติดผิว แบ่งได้ออกเป็น 3 ชนิด

- เครื่องกรองแบบใช้แผ่นกรอง อาจจะเป็นผ้า หรือโลหะ หรือแผ่นใยสังเคราะห์
- เครื่องกรองแบบใช้แท่งกรอง มักเป็นแท่งวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็กเต็มไปหมด ซึ่งยอมให้น้ำไหลผ่านเท่านั้น ตะกอนความขุ่นต่างๆจะติดค้างอยู่บนผิวแท่งกรอง เช่น เครื่องกรองน้ำสำเร็จที่จำหน่ายเพื่อให้ไปดิดที่หัวก๊อกน้ำประปาที่บ้าน
- เครื่องกรองน้ำแบบที่มีสารกรองชั่วคราว เครื่องกรองน้ำทั้งสองแบบที่กล่าวไปข้างต้นเป็นแบบถาวร ซึ่งอาจล้างแล้วใช้ใหม่ได้ในกรณีที่สกปรก แต่เครื่องกรองน้ำชนิดนี้ใช้สารกรองชนิดที่เตรียมขึ้นมาจากสารบางอย่างที่นิยมใช้กัน เช่น Diatomaceous Earth และPerlite เมื่อใช้จนหมดประสิทธิภาพแล้วก็จะทิ้งไป เวลากรองน้ำก็จะเตรียมขึ้นมาใหม่

2. การกรองแบบดิดค้างในชั้นกรอง (In-Depth Filtration) เป็นการกรองน้ำแบบธรรมดาที่ใช้กันในโรงผลิตน้ำประปา สารกรองที่นิยมใช้ คือ ทราย

ประเภทของเครื่องกรองน้ำแบบกรองติดค้างในชั้นกรองมีหลายชนิด จำแนกได้ดังนี้

แบ่งตามอัตราการกรองน้ำ ได้ 2 อย่าง คือ

เครื่องกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid Sand Filter)

เครื่องกรองทรายแบบกรองช้า(Slow Sand Filter)

แบ่งตามชนิดของสารกรองที่ใช้

เครื่องกรองทราย (Sand Filter)

เครื่องกรองถ่าน (Carbon Filter)

เครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง (Dual Media Filter)

เครื่องกรองแบบสามชั้นกรองหรือมากกว่า (Mixed Media Filter)

แบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำที่ผ่านสารกรอง

แบบไหลลง (Downflow Filter)

แบบไหลขึ้น(Upflow Filter)

แบบไหลสองทาง (Biflow filter)

แบ่งตามลักษณะการเรียงตัวของสารกรอง

แบบหยาบ-ละเอียด (Coarse-to-fine Filter)

แบบละเอียด-หยาบ (Fine-to-coarse Filter)

แบ่งตามสภาพของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกรอง

แบบความดัน (Pressure Filter)

แบบธรรมดา (Gravity Filter)

คุณสมบัติสารกรองที่ดี ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. ไม่ทำให้น้ำที่ผ่านสารกรองออกไปเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

2.ดักและจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยเหล่านี้ไว้อย่างพอเหมาะ เพื่อจะได้ง่าย ในการล้างย้อน (Back Wash)

3.สามารถดักจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไว้ได้มากที่สุด โดยไม่อุดตันได้ง่าย

ชนิดของสารกรอง

1. ทรายละเอียด (Fine Sand)

ทรายที่ใช้เป็นสารกรองส่วนใหญ่จะเป็น ทรายซิลิกา (Silica) มีความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 2.65 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร แต่ในบางกรณีก็ใช้ไม่ได้ เพราะซิลิกาจะละลายน้ำ เกิดปัญหาต่อไปในการใช้งาน นอกจากนี้ กรวดและทรายใช้เป็นสารกรองต้องไม่มีหินปูน (Limestone) ซึ่งมีเนื้ออ่อนและละลายน้ำได้ดีปะปนอยู่ เพราะเมื่อใช้ในการกรองมีการล้างและกวนมากเข้าจะทำให้มีการสึกกร่อนขนาดเล็กลงได้ วิธีทดสอบว่าในกรวดและทรายมีหินปูนอยู่มากแค่ไหนทำได้โดยแช่ในกรดเกลือเข้มข้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีน้ำหนักหายไปไม่เกินร้อยละ 5

2. ถ่านแอนทราไซต์ (Antracite Coal)

ใช้ในกรณีที่ใช้ทรายเป็นสารกรองไม่ได้เพราะจะให้ซิลิกาออกมา เพราะความร้อนและความเป็นด่างสูง ถ่านแอนทราไซต์ที่มีขนาดเท่ากับทรายละเอียดจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน ถ่านแอนทราไซต์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะมีขนาดของสารกรอง(Effective size : E.S.) ใหญ่ และความสม่ำเสมอของเม็ดสารกรอง (Uniformity coefficient : U.C.) ก็มีค่ามากด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลงจึงไม่สามารถทำการกรองให้มีความขุ่นเหลือเพียง 4 – 5 พีพีเอ็ม แล้ว ควรเปลี่ยนไปใช้ทรายละเอียดแทน หรือไม่ก็ใช้สารกรองสองชั้น คือมีทรายละเอียดอยู่ใต้ชั้นถ่าน อีก 8 – 10 นิ้ว ถ่านแอนทราไซต์มีข้อดีคือ ดักจับตะกอนและอนุภาคต่างๆ ได้มากกว่าทราย เพราะมีรูปร่างเกลี้ยงกลมกว่า ใช้น้ำล้างในตอนล้างย้อน (Back Wash) น้อยลง ยืดอายุการใช้งานของเครื่องกรอง สามารถกรองได้ที่อัตราการกรองสูงขึ้น

3. ทรายกาเน็ท (Garnet Sand)

มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 3.8 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.3มิลลิเมตร

4. ถ่าน (Activated Carbon)

สามารถขจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้โดยการดูดซึม (Adsorption) การดูดซึมเกิดจากพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งมีค่าประมาณ 500 – 1,400 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านนี้สามารถขจัดสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกลิ่น รส และสีในน้ำได้ดี เพราะบนพื้นที่ผิวจะมีรูพรุนอยู่มากมาย รูพรุนนี้มีขนาดเท่ากับโมเลกุลของสารเท่านั้น

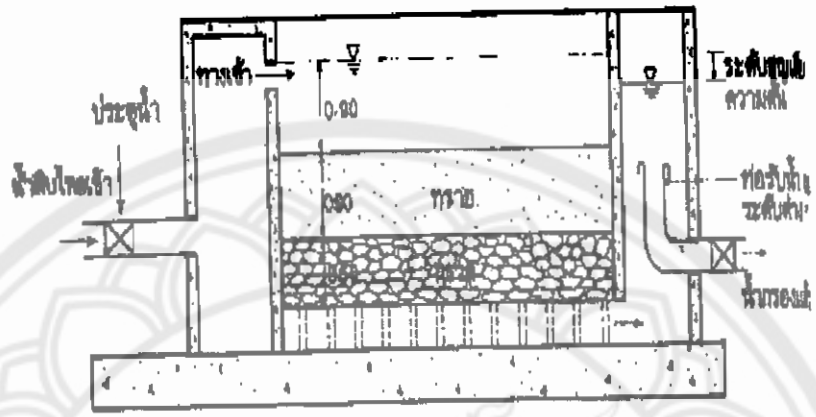
ประเภทของเครื่องกรองแบบกรองติดค้างในชั้นกรอง

1. ถังกรองช้า(Slow Sand Filter)

กรณีน้ำที่มีความขุ่นต่ำ การกรองน้ำด้วยอัตราต่ำ สามารถกำจัดความขุ่นได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอน เพื่อให้ฟล็อก (Floc) และไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนเพื่อกำจัดความขุ่นและฟล็อก ดังกล่าว ทำให้ระบบผลิตน้ำประปาเป็นแบบที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องกลน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ทำให้สามารถกรองน้ำได้โดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า จึงเหมาะสมใช้ในชนบท ถังกรองช้ามีอัตราการกรองประมาณ 0.13 – 0.42 ม.^{3}/ม.^{2}- ชั่วโมง

ในปัจจุบัน ถังกรองทรายแบบกรองช้ามีที่ใช้จำกัด เพราะต้องการเนื้อที่มาก ถังกรองเร็วจึงเป็นที่นิยมมากกว่า อย่างไรก็ดี ในหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลจากความเจริญและไม่มีเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ ราคาที่ดินต่ำ ทำให้ถังกรองช้า มีความเหมาะสมมากกว่าแบบอื่นประกอบกับการควบคุมถังกรองช้าสามารถกระทำได้ง่ายโดยไม่ต้องการผู้ที่มีความรู้พิเศษและไม่ต้องใช้ไฟฟ้า แต่มี

ข้อเสียในการทำความสะอาดทรายกรองสำหรับการกรองช้าต้องทำการลอกหน้าทรายออกแล้วนำไปทำความสะอาดซึ่งทำให้ความยุ่งยากและเปลืองแรงงาน



รูปที่ 2.3 ถังกรองช้า

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ตารางที่ 2.12 เกณฑ์การออกแบบเครื่องกรองช้า (Slow Sand Filter)

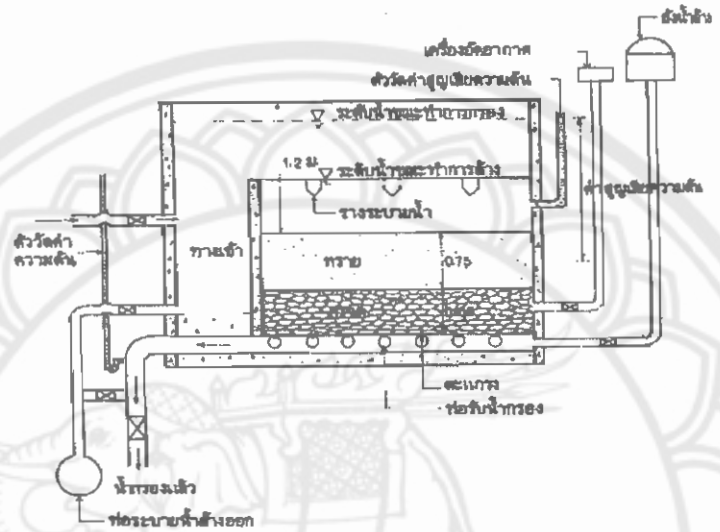
เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความหนาของชั้นกรอง :	
ชั้นทราย, ม. (ชั้นบน)	0.6 – 1.2
ชั้นกรวด, ม. (ชั้นล่าง)	0.30
ระดับน้ำเหนือชั้นทราย, ม.	0.9 – 1.6
อัตรากรองน้ำ, ม.^{3} / (ม.^{2} ชม)	0.13 – 0.60
ค่าสูญเสียความดันที่ควรหยุดทำงานเพื่อการล้างชั้นกรอง, ม.	1.0
ระยะเวลาที่เครื่องกรองทำงานก่อนที่จะหยุดทำงาน, วัน	2 – 180
การล้างชั้นกรองกระทำด้วยการตักผิวชั้นทรายออกหนา, ซม.	5 - 10

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2. ถังกรองเร็ว(Rapid Sand Filter)

ถังกรองเร็วสามารถกรองน้ำได้ในอัตราที่สูงกว่าถังกรองช้าหลายสิบเท่า ถังกรองเร็วมีอัตราการกรองประมาณ 5- 7.5 ม. ^{3}/ม. ^{2}- ชั่วโมง การทำความสะอาดถังกรองเร็วสามารถกระทำได้โดยไม่ต้องนำทรายไปล้างข้างนอก เหมือนในกรณีของถังกรองช้า วิธีล้างถังกรองเร็วกระทำโดย

ปล่อยให้น้ำไหลย้อนทิศทางกรอง คือ ให้น้ำสะอาดไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ชั้นกรองจะขยายตัว ทำให้เกิดมีช่องว่างเพิ่มขึ้น ความขุ่นที่จับอยู่ภายในหลุดออกไปกับน้ำสะอาด การล้างย้อนจะได้ผลดียิ่งขึ้นถ้ามีการช่วยให้เม็ดทรายเสียดสีกัน เพื่อขจัดเอาความสกปรกที่จับอยู่บนผิวทรายให้หลุดออกไป วิธีการช่วยให้ขัดสีเพื่อให้การล้างย้อน ได้ผลดีขึ้นได้แก่ การฉีดลมหรือน้ำที่มีแรงดันสูงไป



รูปที่ 2.4 ถังกรองเร็ว

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

วิธีการกรองเร็วมี 2 ลักษณะ คือ

1.1.) การกรองไหลโดยตรง (Direct Filtration) ที่ไม่ต้องมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยขบวนการโคแอกกูเลชันและการตกตะกอน การกรองโดยตรงอาจมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรองหรือไม่ก็ได้ การกรองโดยตรงที่ไม่ใช้สารเคมี การกรองแบบนี้ จำเป็นต้องให้แน่ใจว่าคุณภาพของน้ำไม่แปรปรวนและต้องไม่ขุ่นจนเกินไปมิฉะนั้นแล้วจะเกิดปัญหาอุดตันเร็ว และได้น้ำที่มีคุณภาพเลว ส่วนการกรองโดยตรงที่ใช้สารเคมี เป็นการใส่สารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง ต้องให้แน่ใจว่าเกิด การกวนเร็ว (Rapid Mixing) ก่อนมีการกรองเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะ การเติมสารเคมีก็เพื่อทำลายความคงตัว (Destabilization) ของความขุ่น เป็นผลให้การดูดติดผิวระหว่างความขุ่นกับสารกรอง หรือความขุ่นกับความขุ่นเกิดขึ้นได้แน่นอน ดังนั้นสารเคมีที่นิยมจึงเป็นโคแอกกูแลนท์ต่างๆ เช่น สารส้ม ทั้งนี้เพราะ จะไปทำให้ชั้นทรายเหนียวและจับกันมากเกินไป จนเป็นเหตุให้อุดตันเร็วและล้างได้ยาก ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีการปรับ pH ก่อน หรือเติมโคแอกกูแลนท์เอด (Coagulant aid) สารโพลีเมอร์อาจเติมตามลำพังก็ได้ จะช่วยให้การกรองตะกอนได้ผลดี เช่น ทำให้สามารถกรองได้นานโดยไม่อุดตันหรือกรองได้เร็วขึ้น แต่ก็มักมีข้อเสียคือ ทำให้การล้าง

เครื่องกรองทำได้ยากขึ้น การใช้แรงลมหรือฉีดน้ำที่ผิวหน้าของชั้นกรอง เพื่อช่วยการขัดสีของเม็ดทรายมักเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีนี้

1.2) เป็นการกรองตะกอนโดยใช้น้ำดิบที่ผ่านขบวนการโคแอกกูเลชัน และตกตะกอนเร็ว โรงงานผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ใช้เครื่องกรองทรายแบบกรองเร็ว จนอาจถือได้ว่าเครื่องกรองแบบนี้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของอุตสาหกรรมผลิตน้ำก็ว่าได้ เครื่องกรองมักมีทรายเป็นสารกรองและมีการเรียงขนาดจากละเอียดไปหาหยาบ น้ำไหลจากบนลงล่างเสมอ นอกจากเวลาล้างเครื่องกรองโดยปรกติเครื่องกรองทรายแบบกรองเร็ว เป็นแบบถังเปิดฝา น้ำไหลด้วยแรงธรรมชาติ แต่ในบางครั้งเพื่อลดขนาดของถังกรองโดยเฉพาะในด้านความสูง ถังกรองอาจออกแบบให้เป็นแบบถังปิด เพื่อให้การกรองเกิดขึ้นภายใต้แรงดันที่สูงกว่าบรรยากาศปรกติ ลักษณะเช่นนี้ทำให้ถังกรองไม่จำเป็นต้องมีความสูงมาก ทำให้เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการผลิตน้ำขึ้นมาใช้เอง โดยปรกติ การตรวจสอบสภาพของสารกรองที่อยู่ภายในถังความดัน ไม่อาจกระทำได้ง่าย ดังนั้น ถ้ามีอะไรเกิดขึ้นกับสารกรอง ผู้ควบคุมก็ไม่สามารถมองเห็นได้ การทำงานภายใต้แรงดันสูงทำให้อาจมีปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นกับสารกรองในกรณีที่เกิดการสูญเสียหรือลดความดันอย่างกะทันหันในด้านทางน้ำออกของเครื่องกรอง ด้วยเหตุดังกล่าวระบบประปาสำหรับชุมชนจึงไม่ได้ให้ความเชื่อถือกับถังกรองที่ทำงานภายใต้แรงดันสูง และทำให้ถังกรองแบบมีความดันถูกจำกัดให้ใช้เฉพาะกับน้ำที่มีความขุ่นน้อย

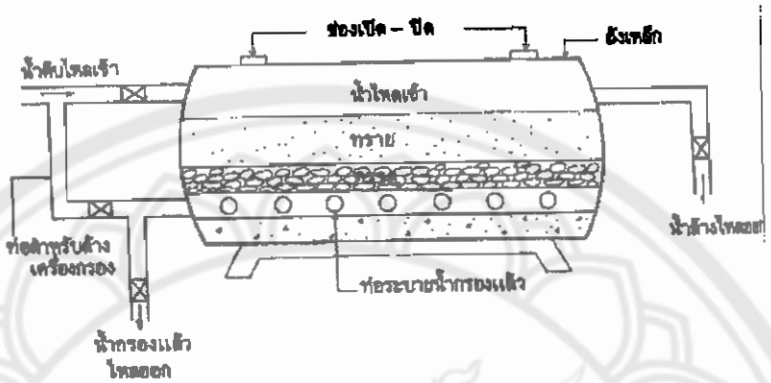
ตารางที่ 2.13 เกณฑ์การออกแบบเครื่องกรองเร็ว (Rapid Sand Filter)

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความหนาของชั้นกรอง :	
ชั้นทราย, ม. (ชั้นบน)	0.4 – 0.7
ชั้นกรวด, ม. (ชั้นล่าง)	0.3 – 0.6
ระดับน้ำเหนือชั้นทราย, ม.	0.9 – 1.50
อัตรากรองน้ำ, ม.^{3} / (ม.^{2} ชม)	4 -6
ค่าสูญเสียความดันที่ควรหยุดทำงานเพื่อการล้างชั้นกรอง, ม.	2.50
ระยะเวลาที่เครื่องกรองทำงานก่อนที่จะหยุดทำงาน, ชม.	6 – 24
ระยะเวลาในการกรองล้างชั้นกรอง, นาที	5 – 10
อัตราล้างชั้นกรอง, ม.^{3} / (ม.^{2} วัน)	800 – 900
พื้นที่ผิวของเครื่องกรองแต่ละชุดมากที่สุด, ม.^{2}	100

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

3. ถังกรองภายใต้ความดัน(Pressure Filter)

มีหลักการคล้ายถังกรองเร็วเพียงต่อระบบท่อรับน้ำที่กรองแล้ว จะออกแบบแรงดันน้ำได้ 150 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตัวถังมักทำด้วยโลหะที่ปิดสนิท



รูปที่ 2.5 ถังกรองภายใต้ความดัน

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ตารางที่ 2.14 เกณฑ์ออกแบบเครื่องกรองใช้ความดัน (Pressure Filter)

เกณฑ์ออกแบบ	ค่าออกแบบ
ความหนาของชั้นกรอง :	
ชั้นทราย, ม. (ชั้นบน)	0.45 – 0.60
ชั้นกรวด, ม. (ชั้นล่าง)	0.40 – 0.60
อัตรากรองน้ำ, ม.^{3} / (ม.^{2} ชม)	5 – 25
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังทรงกระบอกตั้งขึ้น, ม.	0.4 – 2.5
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังทรงกระบอกตั้งในแนวนอน,ม.	2 – 2.5
ความยาวของถัง, ม.	2.5 – 7.5
ขนาดความดันที่ใช้กับระบบ, ม. ของน้ำ	30 – 70
ระยะเวลาที่เครื่องกรองทำงานก่อนที่จะหยุดทำงาน, ชม.	ต่ำกว่า 8

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

โดยทั่วไปค่า head loss ในชั้นกรองที่สะอาดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.4 -0.8 เมตร และถ้าค่า head loss สูงขึ้นถึง 2.4 – 3.0 เมตร สำหรับชั้นกรองที่สกปรก (มีตะกอนมากมายสะสมอยู่ในชั้นกรอง) ควรทำการล้างสารกรองในชั้นกรอง เพื่อค่า head loss ลดลง

ค่า head loss ในชั้นกรอง เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นกรองจะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆดังแสดงในสมการ

$$h = F(\alpha, d, v, \mu, \phi, g, L, S, f)$$

เมื่อ

h	=	head loss ในชั้นกรองม, ม.
α	=	ค่าความพรุนในชั้นกรอง (porosity)
d	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสารกรองในชั้นกรอง, ม.
v	=	ความเร็วในการกรองน้ำ, ม. / วินาที
μ	=	Dynamic viscosity, นิวตัน.วินาที / ตร.ม.
ϕ	=	ความหนาแน่นของน้ำ, กก. /ลบ.ม.
g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./ วินาที^{2}
L	=	ความลึกของชั้นกรอง, ม.
S	=	Shape factor
f	=	Friction factor

การคำนวณหาค่า head loss ในชั้นกรองสะอาด สามารถคำนวณหาได้จากสมการข้างล่าง ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามศึกษาการหาค่า head loss ในชั้นกรองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับทางปฏิบัติจริงที่สุด

สมการ Carmen – Kozeny

$$h = \frac{fLv^2}{Sdg}\left(\frac{1-\alpha}{\alpha^3}\right)$$

โดยที่

$$f = \frac{150(1-\alpha)}{N_R} + 1.75$$

โดยที่

$$N_R = \frac{dv\phi}{\mu}$$

$$S = 1.0$$

สมการ Fair-Hatch

$$h = KVS^2 \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3}\frac{Lv}{gd^2}$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ของการกรองน้ำ (ประมาณ 5-6)

V = Kinematic viscosity, ตร.ม. /วินาที

S = Shape factor (ประมาณ 6-7.7)

สมการ Rose

$$h = \frac{1.067 C_d}{S\alpha^4}\frac{Lv^2}{gd}$$

เมื่อ C_d = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่วง

$$= \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$$

S = 1.0

สมการHazen

$$h = \frac{60Lv}{C(T+10){d_{10}}^2}$$

เมื่อ C = ค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดแน่น (ประมาณ 600-700)

d_{10} = Effective size ของเส้นผ่าศูนย์กลางของสารกรองในชั้นกรอง, มม.

T = อุณหภูมิของน้ำในชั้นกรอง, ° ฟ.

สำหรับชั้นกรองสกปรก คือมีตะกอนสะสมอยู่ในชั้นกรอง ทำให้ช่องว่างในชั้นกรองมีน้อยลง ทำให้มีค่า head loss เพิ่มขึ้น Ives ได้แสดงค่า head loss สำหรับสภาวะข้างบน โดยใช้สมการด้านล่างนี้

$$\frac{dH}{dL} = \left(\frac{dH}{dL}\right)_0\left[1 + \frac{(2b+1)q}{\alpha} + (b+1)^2\left(\frac{q}{\alpha}\right)^2\right]$$

เมื่อ $\left(\frac{dH}{dL}\right)_0$ = ค่า head loss สำหรับชั้นกรองสะอาด

b = Packing constant = $\frac{\alpha}{(1-\alpha)}$

q = ปริมาตรตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองต่อปริมาตรของชั้นกรอง

S = 1.0

h = $\frac{fLv^2}{Sdg}\left(\frac{1-\alpha}{\alpha^3}\right)$

การเดินระบบกรองน้ำ

ระหว่างการผลิตน้ำให้ทำการตรวจการทำงานของระบบกรองน้ำโดยการตรวจวัดค่า Head Loss ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการอุดตันของระบบกรองน้ำซึ่งแตกต่างกันออกไปตามรูปแบบของถังกรองน้ำ เช่น ถังกรองน้ำประเภท Rapid Sand Filter จะกำหนดค่า head loss ไว้ที่ประมาณ 1.3 ถึง 1.8 เมตรน้ำแล้วให้ทำการ backwash เพื่อล้างถังกรองน้ำ ในขณะที่ถังกรองน้ำประเภท Pressure Sand Filter จะกำหนดค่า head loss ไว้ที่ประมาณ 2.1 ถึง 3.5 เมตรน้ำ เป็นต้น และคุณภาพของน้ำที่ออกจากถังกรอง นอกจากขึ้นกับคุณภาพของน้ำที่เข้าสู่ถังกรองแล้ว ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของถังกรองด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของถังกรอง ได้แก่

- ขนาดของเม็ดทรายหรือแอนทราไซต์
- ความสูงของชั้นทรายหรือแอนทราไซต์
- อัตราเร็วในการกรอง
- น้ำออกจากถังกรอง (Filter Tank)

  Turbidity < 5 NTU

  pH 7.5 + 1

  สีไม่เกิน 15 TCU

- ระยะเวลาการเดินระบบถังกรองน้ำโดยปกติจะมีระยะเวลาการเดินระบบประมาณ 24–48 ชั่วโมงแล้วจึงหยุดเดินระบบเพื่อทำการล้างทำความสะอาด

การทำความสะอาดถังกรองน้ำ

การล้างทำความสะอาดถังกรองน้ำทำได้โดยการล้างย้อนกลับโดยใช้น้ำและอากาศเข้าไปภายใต้ความดันที่พอเพียงที่จะสามารถชั้นกรองได้แล้วสิ่งสกปรกที่ดิตอยู่ในชั้นกรองก็จะหลุดออกมา

ระบบการล้างสารกรองในชั้นกรอง

ระบบการล้างสารกรองในชั้นกรองมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี

1. ระบบใช้น้ำล้างสารกรองเพียงอย่างเดียว คือพยายามทำให้สารกรองในชั้นกรองลอยกระจัด

กระจายขึ้นมา เพื่อปล่อยโอกาสให้ตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองหลุดลอยออกมาได้ โดยพยายามออกแบบให้ได้ค่าความพรุนของชั้นกรองขณะที่กำลังลอยกระจัดกระจายขึ้นมาประมาณ 0.68 – 0.71

2. ระบบใช้น้ำล้างสารกรอง พร้อมกับมีระบบชะล้างสารกรอง บริเวณผิวบนของชั้นสารกรอง ระบบนี้จะมีระบบชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรองเข้าช่วยอีกแรง เพื่อให้แน่ใจได้ว่าการล้างสารกรองเป็นไปตามที่ต้องการ สำหรับการดำเนินการของระบบล้างสารกรองนี้ คือ ทำการชะล้างผิวบนของชั้นกรองเสียก่อนประมาณ 1-2 นาที จากนั้นจึงทำการล้างสารกรอง คือ ให้ไหลย้อนผ่านชั้นกรองได้อัตราการชะล้างผิวบนของสารกรองควรมีประมาณ 1.2-2.4 ลบ.ม./(ตร.ม.ชม.)

3. ระบบใช้น้ำล้างสารกรอง พร้อมกับมีระบบพ่นอากาศเพื่อช่วยในการขัดถูให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้ง่ายขึ้น คือ พ่นอากาศเข้าไปในชั้นกรองประมาณ 3-4นาที ก่อนการล้างสารกรองด้วยวิธีปกติ โดยทั่วไปจะพ่นอากาศเข้าไปด้วยอัตราการพ่นอากาศ ประมาณ 10-16 ลบ.ม./(ตร.ม.นาที)

4. ระบบน้ำล้างรวมกับพ่นอากาศ ระบบนี้ใช้น้ำและอากาศพ่นพร้อมกันเข้าไปภายในชั้นกรองประมาณ 2-3 นาที หลังจากเสร็จสิ้นการล้างสารกรองด้วยวิธีนี้แล้วจำเป็นต้องทำการล้างสารกรองอีก ประมาณ 2-3 นาที ด้วยน้ำ เพื่อไล่ฟองอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในชั้นกรองออกจากสารกรอง

2.4.3 การฆ่าเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อโรคในระบบผลิตน้ำประปา โดยมากจะเป็นกระบวนการสุดท้ายภายหลังการกรองน้ำ ก็จะนำมาฆ่าเชื้อโรคที่มีหลงเหลืออยู่ในน้ำใส ซึ่งโดยมากมักเลือกใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา แต่ในต่างประเทศหลายแห่งได้เปลี่ยนจากการใช้คลอรีนกับน้ำประปาไปเลือกใช้โอโซนสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ มี 2 วิธี คือ

1. Disinfection คือ การฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นต้นเหตุของโรคต่างๆ
2. Sterilization คือ การทำลายจุลินทรีย์ทุกชนิดที่อยู่ในน้ำทั้งที่เกิดและไม่เกิดโรค

น้ำประปาควรผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธี Disinfection เป็นอย่างน้อย การทำ Sterilization ให้กับน้ำประปานั้นไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ในทางปฏิบัติระบบประปา

ได้แก่ ก๊าซคลอรีน หรือ สารประกอบคลอรีนอื่นๆ โอโซน โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต เงิน และอื่นๆ นอกจากนี้การฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อนและแสงอัลตราไวโอเลต ก็จัดอยู่ในแบบวิธี Disinfection

วิธีการฆ่าเชื้อโรค

กระบวนการฆ่าเชื้อโรค แบ่งได้ 3 ชนิด คือ

1. ทางกายภาพ ได้แก่ การใช้รังสียูวี ความร้อน

2. ทางเคมี ได้แก่ การเติมคลอรีน โบรมีน ไอโอดีน โอโซน โลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ทองแดง เงิน แต่อาจใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ เป็นต้น

ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีทางเคมี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอ คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณน้ำที่นำมาบำบัด และปริมาณของเชื้อโรคที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ รวมทั้ง รวมทั้ง การคาดการณ์เกี่ยวกับปริมาณเชื้อโรคที่อาจจะมีตามแนวท่อในการส่งน้ำประปา เป็นต้น

3. ทางกัมมันตภาพรังสี ได้แก่ การใช้โคบอลต์ 60 เป็นต้น

ชนิดของคลอรีน

คลอรีน คือ สารที่นิยมใช้กันมากในการทำลายเชื้อโรคในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคได้สูงและราคาไม่สู้จะแพงนัก สีเป็นสีขาว ไม่เป็นที่รังเกียจ ยกเว้นแต่จะมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย สารคลอรีนโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือชนิดก๊าซและชนิดผง

1. ชนิดก๊าซคลอรีน

มีสีเหลืองแกมเขียว มีความหนาแน่นประมาณ 2.5 เท่าของอากาศ และเมื่อเป็นของเหลว (คลอรีนเหลว 99%) จะมีสีเหลืองอำพัน มีความหนาแน่นเป็น 1.44 เท่าของน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดและเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ เยื่อบุจมูก และผิวหนัง ซึ่งผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับก๊าซคลอรีนที่จะเริ่มเห็นได้ชัดเจน คือที่ความเข้มข้นประมาณ 5 ppm. ขึ้นไป และที่ความเข้มข้น 5-10 ppm. จะทำให้การหายใจติดขัด น้ำตาไหล ระคายเคืองผิวหนัง ระคายเคืองปอด และเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น หากได้รับก๊าซคลอรีนในปริมาณ 1,000 ppm. จะทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวัง และต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและควบคุมการทำงาน คลอรีนไม่ไหม้ไฟแต่ช่วยในการสันดาปเหมือนออกซิเจน และพบว่าก๊าซคลอรีนทำปฏิกิริยารุนแรงกับไขมัน แอมโมเนีย เทอร์เพนไทน์ และไฮโดรคาร์บอน ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน(Corrosive) เมื่อแห้ง

2. ชนิดคลอรีนผง

หรือที่รู้จักกันในนามของ "ผงปูนคลอรีน" มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด คือ

2.1 แคลเซียมไฮโปรคลอไรต์ (Calcium hypochlorite) เป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี มีสูตรทางเคมี คือ $Ca(OCl)_2$ มักจะผลิตให้มีความเข้มข้นระหว่าง 60-70% โดยน้ำหนัก คลอรีนผงชนิดนี้หาได้ง่าย ราคาไม่แพง ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงอย่างรุนแรง ไม่ทำให้เสียรสชาติ ฆ่าเชื้อโรคในเวลาไม่นานเกินไป และยังคงมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคต่อไปได้อีก สะดวกต่อการใช้งาน และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพได้ง่าย ดังนั้น จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด

2.2 โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ (Sodium hypochlorite) เป็นสารละลายใส สีเหลืองอมเขียวมีสูตรทางเคมี คือ NaOCl ความเข้มข้นประมาณ 16% โดยน้ำหนัก มีความเสถียรน้อยกว่าแคลเซียมไฮโปรคลอไรต์ ทำให้เสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว จึงควรเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิไม่สูงกว่า 30 °C เพื่อชะลออัตราการเสื่อมคุณภาพและอายุในการเก็บไม่ควรเกิน 60-90 วัน สำหรับสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรต์ เมื่ออยู่ในสภาวะ pH ต่ำ จะระเหยเป็นหมอกคลอรีนสามารถระเบิดได้

2.3 ปูนคลอไรด์ (Chlorinated Lime or Chloride of Lime or Bleaching Powder) หรือบางทีเรียกว่า "ผงฟอกสี" มีสูตรทางเคมี คือ $CaOCl_2$ ผลิตได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอรีนและปูนขาว มีความเข้มข้นประมาณ 35% โดยน้ำหนัก

ไม่ว่าจะทำการเติมสารคลอรีนในรูปใดก็ตามสิ่งที่ต้องการมากที่สุด คือ ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ว่าค่าเท่าใด และปริมาณสารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคมีการตกค้างอยู่ในระบบท่อน้ำดังกล่าวเท่าใด ซึ่งค่าดังกล่าวเรียกว่า ปริมาณสารเคมีอิสระที่เหลืออยู่ หากเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน สารดังกล่าวเรียกว่า ปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่

ตารางที่ 2.15 คุณสมบัติและการใช้งานของคลอรีน โอโซน และ H_2O_2

คุณสมบัติ	คลอรีน	โซเดียมไฮโปรคลอไรต์	แคลเซียมไฮโปรคลอไรต์	คลอรีนไดออกไซด์	โอโซน	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
สูตรเคมี	Cl_2	Naocl	$Ca(OCl)_2$	ClO_2	O_3	H_2O_2
รูปลักษณะ	ของเหลว ,ก๊าซ	สารละลาย	ผง , เม็ด	ก๊าซ	ก๊าซ	ของเหลว

ตารางที่ 2.15 (ต่อ)

คุณสมบัติ	คลอรีน	โซเดียมไฮโปรคลอไรต์	แคลเซียมไฮโปรคลอไรต์	คลอรีนไดออกไซด์	โอโซน	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ภาชนะเก็บเพื่อขนส่ง	รถมีถังบรรจุ	รถมีถังบรรจุ	ถัง 200 ลิตร	ผลิตขึ้นใช้	ผลิตขึ้นใช้	ถัง 200ลิตร
ความเข้มข้นที่ใช้งาน ,%	100	12-15	70	<0.35	2	35-70
เสถียรภาพ	ดี	ไม่ดี	ดี	ระเบิดได้	ไม่ดี	ดี
พิษต่อจุลินทรีย์	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง
อันตรายต่อผู้ใช้	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง	ปานกลาง
ความกัดกร่อน	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง	ต่ำ
การกำจัดกลิ่น	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง	สูง
ราคา	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง
การใช้งาน	ฆ่าเชื้อโรค	ฆ่าเชื้อโรค	ฆ่าเชื้อโรค	ฆ่าเชื้อโรค	ฆ่าเชื้อโรค	ฆ่าเชื้อโรค

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน มีการเติมลงในน้ำอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. การเติมคลอรีนในน้ำดิบที่ไหลเข้าระบบ ซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า การเติมคลอรีนก่อน (Prechlorination Process)

วัตถุประสงค์ของวิธีนี้

1. ช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการ Coagulation – Flocculation เกิดได้ดี
2. ช่วยลดกลิ่นและรสของน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากตะกอนอินทรีย์ในถังตกตะกอน
3. ช่วยป้องกันการเกิดสาหร่ายขึ้นในกระบวนการกรองที่ผิวหรือระหว่างวัสดุกรอง

2. การเติมคลอรีนหลังจากที่น้ำผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ มาแล้ว ซึ่งเรียกว่า การเติมคลอรีนหลัง (Post Chlorination Process) เพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจในความสะอาดของน้ำดื่มหรือน้ำประปา โดยทั่วไปแล้วระยะเวลาในการเติมคลอรีน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการฆ่าเชื้อโรค ประมาณ 30 นาที และปริมาณที่ใช้ อยู่ในช่วง 0.25-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะทำให้เกิดมีปริมาณคลอรีนตกค้างอยู่ในน้ำ 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามในบางเมืองอาจจะมีการเติมคลอรีนเป็นช่วงๆ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้น้ำ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการเติมคลอรีนซ้ำ (Re-chlorination)

ในบางครั้งอาจพบว่า มีกลิ่นของคลอรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ เมื่อทำการเปิดน้ำมาใช้ ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน ซึ่งการคาดคะเนเกี่ยวกับปริมาณเชื้อโรคที่มีอยู่ในน้ำ อาจมีความถูกต้องน้อยมาก จึงต้องทำการเติมมากกว่าปกติ ทำให้เกิดคราบสีขาวของตะกอนน้ำเมื่อทิ้งน้ำดังกล่าวไว้ระยะหนึ่ง และกลิ่นที่เกิดขึ้นจะหายไปด้วย เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงควรที่จะทำการลดปริมาณคลอรีนที่มีอยู่ในน้ำลงด้วยกระบวนการที่เหมาะสม

1. การเติมอากาศ
2. การใช้ถ่านกัมมันต์ หรือวัสดุดูดซับอื่นๆ ที่เหมาะสม
3. การใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต
4. การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ เพื่อให้คลอรีนเปลี่ยนเป็นคลอไรด์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$$

Hyperchlorous acid

$$HOCl \longleftrightarrow H^+ + OCl^-$$

Hyperchlorite ion

ปริมาณคลอรีนอิสระที่มีอยู่ในน้ำ คือ HOCl และ OCl^- ซึ่งพบว่าความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคของ HOCl มีค่ามากกว่า OCl^- ประมาณ 40-80 เท่า ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อย ซึ่งสารดังกล่าวมีค่าการละลายในน้ำได้มากกว่า

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีน

การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้

1. ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (Free chlorine residual) ความเข้มข้นและปริมาณของคลอรีนที่เติมลงในน้ำไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อโรค หากแต่เป็นปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงระยะเวลาสัมผัสอันหนึ่งแต่การเติมคลอรีนน้อยเกินไป จะไม่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระขึ้นและอาจจะทำลายเชื้อโรคในน้ำได้ไม่ทั้งหมด แต่การเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้น้ำมีกลิ่นฉุนของคลอรีนและทำให้รสชาติของน้ำเสียไปด้วย ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองคลอรีนโดยใช่เหตุ นอกจากนี้ คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหายได้ ดังนั้น ในการเติมคลอรีนจึงต้องเติมในปริมาณที่พอเหมาะ คือ สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด รวมทั้งก่อให้เกิดคลอรีนอิสระที่แนะนำ คือระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.2-0.5

ppm.) ณ เวลาสัมผัส 30 นาที กล่าวคือภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรค (Duration of contact) ทั้งนี้โดยเริ่มตั้งแต่เวลาที่เติมสารละลายผงปูนคลอรีนลงไปในน้ำจนถึงเวลาที่ผู้ใช้เริ่มใช้น้ำเป็นรายแรกไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที หรือถ้านานกว่านั้นการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายผงปูนคลอรีนก็จะมีมากขึ้นด้วย และทำให้กลิ่นลดลง

3. อุณหภูมิ (Temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงคลอรีนจะลดลง แต่ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำ ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีนจะดีขึ้น

4. ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) อนุภาคความขุ่นในน้ำอาจเป็นเกราะกำบังให้เชื้อโรค ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสและฆ่าเชื้อโรคได้ ดังนั้น ถ้าต้องการให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีจึงต้องทำให้น้ำมีความใสสูง คือ ต้องมีความขุ่นน้อยกว่า 10 NTU (Nephelometric Turbidity Units) โดยการเติมสารส้ม เพื่อให้อนุภาคของความขุ่นจับตัวรวมกันตกตะกอน และผ่านถังกรอง

5. สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) มีผลต่อการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน เนื่องจากคลอรีนจะแตกตัวเป็นกรดไฮโปรคลอรัส (HOCl) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย หาก pH สูงกว่า 7.5 จะทำให้เกิด OCl^- มากขึ้น ซึ่ง OCl^- นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต้อยกว่า HOCl จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองคลอรีนมากขึ้น และหากค่า pH สูงถึง 9.5 จะเกิด OCl^- ถึง 100%

ตารางที่ 2.16 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีน

เชื้อโรค	สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลา (นาที)
แบคทีเรีย	100	10
เชื้อวัณโรค	125	3-10
เชื้อรา	100	60
เชื้อไวรัสตับอักเสบบี	500	10

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

เชื้อโรค	สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลา (นาที)
เชื้อ HIV	50	10
สปอร์ของแบคทีเรีย	ทำลายไม่ได้	

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ข้อดีของคลอรีน

คลอรีนมีข้อได้เปรียบสารอื่นๆที่ใช้ฆ่าเชื่อโรคในน้ำหลายประการได้แก่

1. ราคาถูกเหมาะกับสภาพเศรษฐกิจของสังคมไทยเมื่อเทียบกับสารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่นๆ เช่น โอโซน คลอรีนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

2. หาซื้อง่ายมีจำหน่ายทั่วไป

3. มีให้เลือกใช้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นคลอรีนก๊าซ คลอรีนน้ำ และคลอรีนผงซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำผลิต

4. การเติมคลอรีนลงในน้ำค่อนข้างง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ข้อเสียของคลอรีน

คลอรีนถึงแม้จะมีข้อดีหลายอย่างแต่ก็มีข้อด้อยเช่นกันได้แก่

1. กรณีที่น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์สูง จะทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนมาก เพราะว่าคลอรีนส่วนหนึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ นอกจากนี้คลอรีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์จะให้ผลิตภัณฑ์พลอยได้พวก THMs ซึ่งเป็นสารพิษ เป็นโทษต่อร่างกาย

2. ในกรณีที่น้ำมีค่า pH สูงเกิน 8 ขึ้นไปประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคจะลดลงเนื่องจากคลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนต้องปรับ pH ไม่ให้สูงเกินไป

3. คลอรีนไม่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ Protozoa จำพวก Giardia sp. และ Cryptosporidium sp

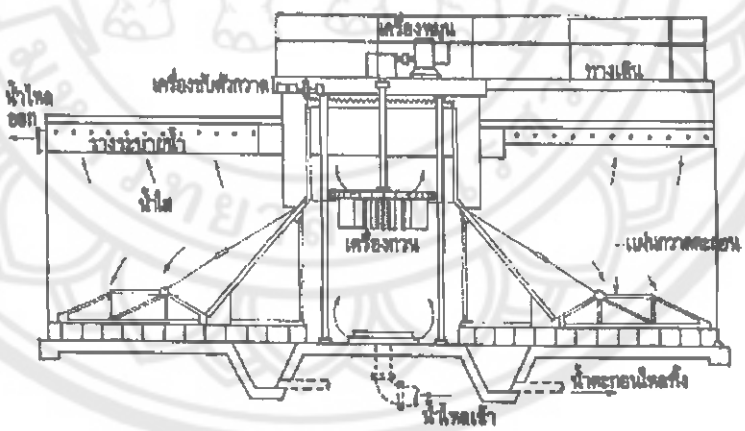
2.5 กระบวนการกำจัดสลัดจ์

กระบวนการกำจัดสลัดจ์ มีอยู่หลายวิธี แต่หลักการคือ ต้องนำน้ำออกจากสลัดจ์ให้ได้มากที่สุดด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด ก่อนที่จะนำสลัดจ์ที่เหลือน้ำน้อยที่สุดไปทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

สำหรับวิธีที่นิยมใช้กันในโรงผลิตน้ำประปา ได้แก่

2.5.1 การทำสลัดจ์เข้มข้น (Thickening)

วิธีนี้จะทำให้สลัดจ์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง แต่อาจยังไม่ได้ขนาดความเข้มข้นที่พอใจ วิธีนี้อาศัยการดกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อได้สลัดจ์ที่เข้มข้นขึ้นที่บริเวณส่วนล่างของถัง และจะได้น้ำที่มีของแข็งสลัดจ์น้อยอยู่บริเวณส่วนบนของถัง ในการออกแบบจะพิจารณาค่าอัตราภาระของแข็ง (Solids Loading Rate , SLR) มีหน่วยเป็น กก.ของแข็ง/(ม^2.วัน) โดยสำหรับสลัดจ์ที่เกิดจากปูนขาวจะใช้ค่า SLR ตั้งแต่ 100-200 กก.ของแข็ง/(ม^2.วัน) และสำหรับสลัดจ์ที่เกิดจากการสร้างตะกอน (Coagulant) จะใช้ค่า SLR ตั้งแต่ 15-25 กก.ของแข็ง/(ม^2.วัน) ดังนั้นสามารถนำค่า SLR ดังกล่าวมาคำนวณออกแบบขนาดของถังนี้ได้ ซึ่งจะมีวิธีคล้ายกับการออกแบบถังตะกอนวงกลมทั่วไป



รูปที่ 2.6 ถังทำให้ตะกอนเข้มข้นแบบ Gravity Thickener
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.5.2 บ่อตากแดด (Lagoons)

มีลักษณะที่เป็นบ่อดินขุดขึ้นมา อาจมีคอนกรีตบุรอบข้างบ่อ บ่อนี้ทำหน้าที่ทั้งเป็นบ่อเก็บสลัดจ์และบ่อตากแห้ง ดังนั้นส่วนก้นบ่อต้องให้แน่ใจว่าไม่สามารถยอมให้น้ำผ่านลงสู่น้ำใต้ดินได้

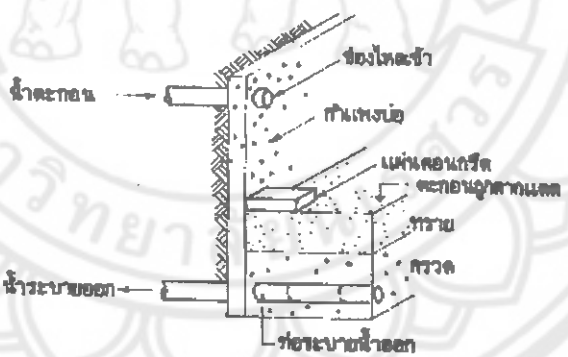
อาจจำเป็นต้องบุด้วยแผ่นยางเพื่อป้องกันการซึมของน้ำลงสู่น้ำใต้ดิน แต่วิธีนี้มีราคาค่อนข้างแพง โดยทั่วไปเมื่อบ่อเต็มก็ควรทำการสูบน้ำส่วนบนออกให้เหลือแต่เพียงสลัดจ์เปียกที่ตกตะกอนลงในบ่อ จากนั้นก็ปล่อยให้น้ำในสลัดจ์เปียกระเหยออกตามธรรมชาติ ซึ่งอาจใช้เวลาเป็นปีๆ

เกณฑ์การออกแบบขนาดบ่อตากแดด

- พื้นที่ผิวของบ่อตากแดดที่นิยมใช้กันเท่ากับ 2,000-60,000 ตร.ม.
- ความลึกของบ่อตากแดดเท่ากับ 2-10 ม. หรือบางแห่งอาจลึกมากกว่า 10 ม.
- น้ำตะกอนที่ไหลเข้าสู่บ่อตากแดดไม่ควรไปทำให้เกิดการปั่นป่วนในบ่อ
- การนำน้ำใสส่วนบนออกจากบ่อตากแดดควรออกแบบทางออกที่สามารถปรับขึ้นลงตามระดับของน้ำใสได้ ซึ่งเปลี่ยนแปลงเสมอ

2.5.3 ลานทรายตากแดด (Sand-drying beds)

มีชั้นทราย ชั้นกรวดหรือชั้นหิน มีแผ่นคอนกรีตรับการกระแทรกของสลัดจ์ที่ไหลชะลงบนผิวชั้นทรายและมีระบบระบายน้ำไหลออกที่ส่วนล่างของลานทราย หลักการทำงานคือ น้ำจะระเหยออกจาสลัดจ์และน้ำอีกส่วนจะไหลลงสู่ส่วนล่างของลานทราย เพื่อระบายน้ำจากระบบต่อไป



รูปที่ 2.7 ลานทรายตากแดด (Sand-drying beds)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

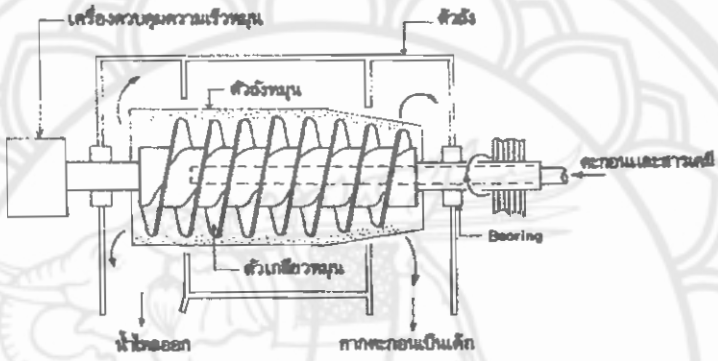
เกณฑ์การออกแบบลานทรายตากแดด

- ค่าSLR จะมีประมาณ 100 กก.ของแข็ง/(ตร.ม.ปี) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศและหรือมีการติดตั้งหลังคาโปร่งแสงกันฝนหรือไม่
- มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 4-20 ม. X ยาว 15-50 ม.

- ชั้นทรายหนา 100-230 มม. วางอยู่บนชั้นกรวดหรือหินหนา 200-460 มม.
- ท่อระบายส่วนล่างของลานควรมีขนาดไม่เล็กกว่า 4" ดิดตั้งกันห่างประมาณ 2-6 ม. ความลาดของท่ออย่างต่ำ 1%

2.5.4 การหมุนเหวี่ยง (Centrifuging)

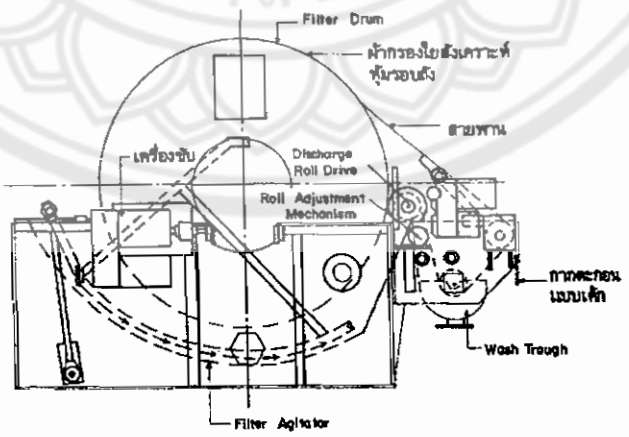
ระบบนี้อาศัยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วหมุนตั้งแต่ 800-2000 รอบต่อนาที อาจต้องเติม Polymers ลงไปช่วยทำให้การนำน้ำออกจากสลัดจ์ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 เครื่อง Solid Bowl Centrifuge
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.5.5 การกรองแบบสูญญากาศ (Vacuum filtration)

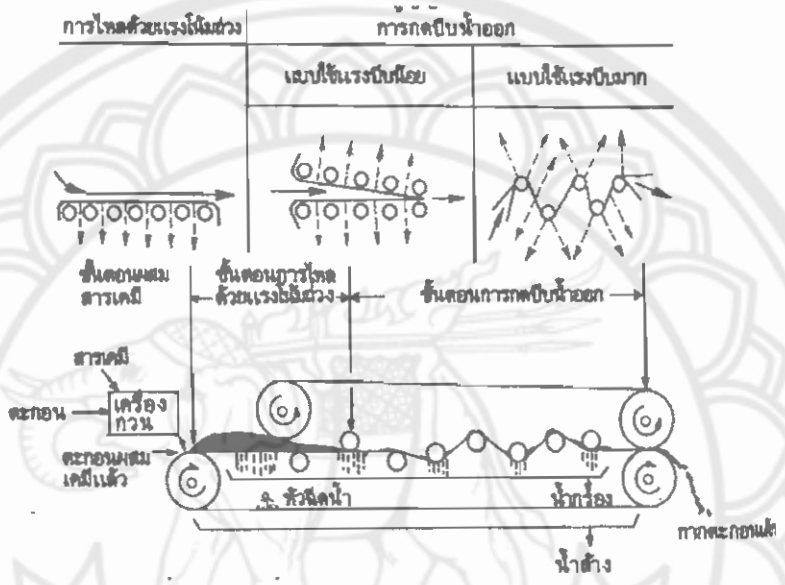
ประกอบด้วยถังกระบอกขนาดใหญ่ ซึ่งมีผ้ากรองใยสังเคราะห์หุ้มอยู่รอบถัง ถังนี้จะหมุนด้วยความเร็วต่ำมีระบบสูญญากาศอยู่ภายในถัง เพื่อแยกน้ำออกจากสลัดจ์ที่เกาะบนผิวผ้ากรอง



รูปที่ 2.9 เครื่องกรองแบบสูญญากาศ (Vacuum filtration)
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.5.6 การรีดกรองด้วยสายพาน (Belt filter press)

ประกอบด้วยลูกกลิ้งหลายลูกที่มีแผ่นผ้ากรองเคลื่อนที่ ซึ่งแผ่นผ้ากรองจะทำหน้าที่รีดกรองสลัดจ์นำน้ำออก ระบบนี้จำเป็นต้องใช้สาร Polymers เติมลงไป เพื่อช่วยทำให้การนำน้ำออกจากสลัดจ์ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากนั้นทำการปล่อยให้น้ำไหลออกจากสลัดจ์ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ตามด้วยการรีดสลัดจ์ให้น้ำไหลออกด้วยระบบลูกกลิ้ง

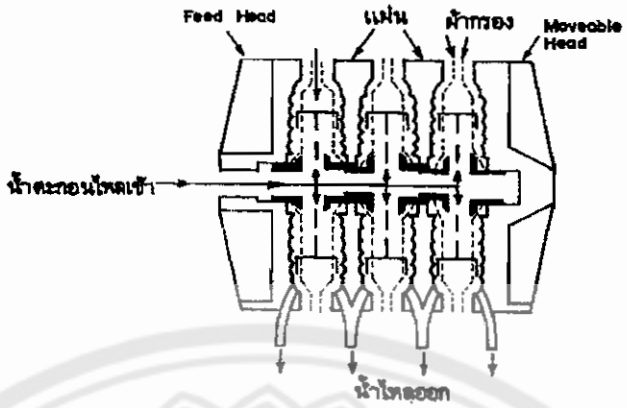


รูปที่ 2.10 เครื่องรีดกรองด้วยสายพาน (Belt filter press)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.5.7 การอัดกรองด้วยแผ่น (Plate pressure filters)

ประกอบด้วยแผ่นที่มีผ้ากรอง เพื่อทำหน้าที่อัดสลัดจ์ให้น้ำไหลผ่านแผ่นผ้ากรองลงสู่ภาชนะรองรับน้ำข้างล่าง เช่นเดียวกันคือ ต้องเติมสาร Polymers ลงไปช่วยให้การนำน้ำออกจากสลัดจ์ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การใส่สลัดจ์เข้าไปในระบบอาจใช้เวลาประมาณ 20-30นาที จนกระทั่งสลัดจ์บรรจุเต็มในระบบ ระบบนี้ต้องอาศัยแรงดันสูงในการกรองด้วยซึ่งอาจประมาณ 700-1700 kPa ใช้เวลาในการกรอง ประมาณ 1-4 ชั่วโมง เพื่อให้ได้สลัดจ์ที่ถูกอัดแห้งได้ผลดีที่สุด ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการนำน้ำออกจากสลัดจ์ได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ ที่ใช้เครื่องจักรกล ระบบนี้จะทำความสะอาดด้วยการฉีดน้ำที่มีแรงดันสูงและบางช่วงอาจใช้กรดช่วยในการล้างด้วย



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดกรองด้วยแผ่น (Plate pressure filters)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.5.8 การทิ้งกากสลัดจ์ (Ultimate disposal)

การทิ้งสลัดจ์ที่มาจากโรงผลิตน้ำประปา หลังจากผ่านกระบวนการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ได้บางส่วนแล้วด้วยวิธีต่างๆ จากนั้นจะนำสลัดจ์ที่มีลักษณะคล้ายขนมวุ้นหรือคล้ายยาสีฟันขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในสลัดจ์ที่ยังหลงเหลืออยู่ไปทิ้งด้วยวิธีต่างๆ เช่น นำสลัดจ์ส่งไปโรงบำบัดน้ำเสียเพื่อไปรวมกับสลัดจ์ที่เกิดจากระบบน้ำเสีย นำสลัดจ์ไปถมที่ หรือนำสลัดจ์ไปทิ้งที่พื้นดินทั่วไป เป็นต้น

ตารางที่ 2.17 ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่จะได้รับจากแต่ละวิธี

ระบบกำจัดสลัดจ์	สลัดจ์ปูนขาว (Lime sludge) %	สลัดจ์สารสร้างตะกอน (Coagulation sludge)
การทำสลัดจ์เข้มข้น	15-30	3-4
การหมุนเหวี่ยง		
- แบบBasket	-	10-15
- แบบScroll	55-65	10-20
การรีดกรองด้วยสายพาน	-	10-15
การกรองแบบสุญญากาศ	45-65	-
การอัดกรองด้วยแผ่น	55-70	30-45
ลานทรายตากแดด	50	20-25
บ่อตากแดด	50-60	7-15

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.6 ระบบจ่ายน้ำประปา

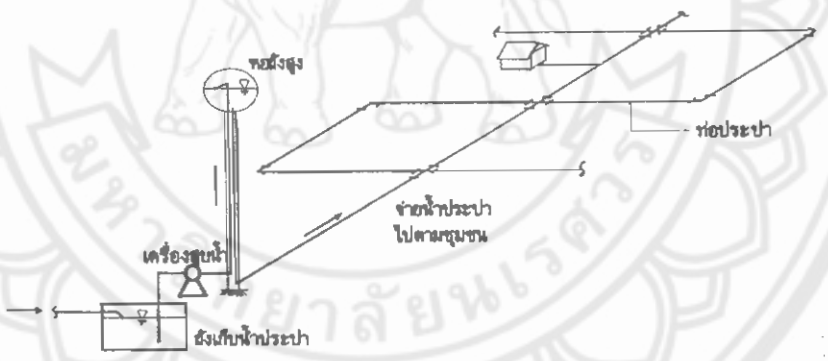
หลังจากที่ได้ผลิตน้ำประปาแล้ว จะนำน้ำประปาไปแจกจ่ายทั่วบริเวณของชุมชนด้วยท่อประปาขนาดเหมาะสม มีระบบวาล์วประเภทต่างๆติดตั้งอยู่ตามท่อประปาทั่วบริเวณแล้วแต่ความเหมาะสม

2.6.1 วิธีการจ่ายน้ำประปา

วิธีการจ่ายน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปามายังชุมชนสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีดังนี้

1. วิธีอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก

วิธีนี้อาศัยหลักการว่า ระดับน้ำจากแหล่งยู่สูงกว่าชุมชนมากเพียงพอ ที่ทำให้น้ำประปาไหลจากแหล่งไปตามท่อประปาได้อย่างดี คือ มีทั้งความเร็วของน้ำไหลและความดันของน้ำภายในท่ออย่างเหมาะสม วิธีนี้โดยมากจะอาศัยความสูงของระดับดินปกติ และหอถังสูง เพื่อเป็นจุดที่ปล่อยน้ำประปาเพื่อแจกจ่ายไปรอบๆบริเวณ วิธีการจ่ายน้ำประปาวิธีนี้เป็นวิธีที่น่าไว้ใจที่สุด เพราะ ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าดับ ระบบแจกจ่ายน้ำประปายังคงสามารถจ่ายน้ำได้ช่วงเวลาหนึ่ง อาจได้นานถึงหนึ่งหรือสองวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของหอถังสูง

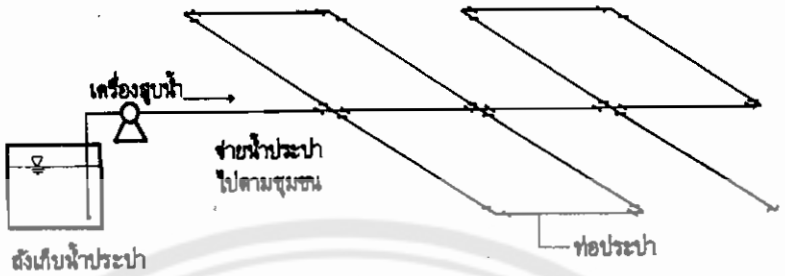


รูปที่2.12 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีแรงโน้มถ่วงของโลกแบบใช้หอสูง

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2. วิธีสูบจ่ายน้ำโดยตรง

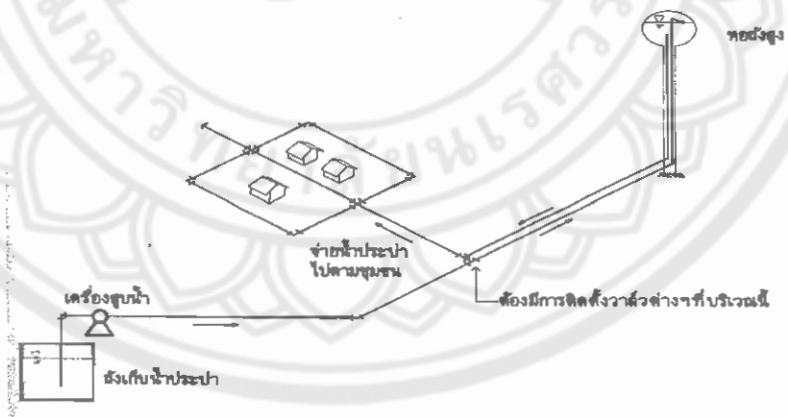
อาศัยเพียงเครื่องสูบน้ำสูบจ่ายน้ำประปาไปตามท่อประธานของระบบโดยตรง ความเร็วของน้ำไหลและความดันของน้ำภายในท่อจะถูกควบคุมโดยเครื่องสูบน้ำและขนาดท่อประธานที่ออกแบบไว้ ระบบจ่ายน้ำประปาวิธีนี้ไม่ต้องใช้หอถังสูงแต่จะมีถังเก็บน้ำประปาไว้ เพื่อให้เครื่องสูบน้ำไปแจกจ่ายชุมชนโดยอาศัยความดันภายในท่อประธานไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าดับก็ไม่สามารถแจกจ่ายน้ำประปาได้ในทันทีทำให้เป็นข้อเสียหลักของระบบนี้



รูปที่ 2.13 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบจ่ายน้ำโดยตรงแบบใช้เครื่องสูบ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

3. วิธีอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกร่วมกับการสูบจ่ายน้ำ

อาศัยทั้งสองหลักการข้างต้น วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก การแจกจ่ายน้ำประปาจะอาศัยทั้งเครื่องสูบน้ำสูบจ่ายไปยังท่อประธานพร้อมกันนั้นอีก ณ ตำแหน่งจะมีหอถังสูงทำหน้าที่แจกจ่ายน้ำประปาไปด้วย ข้อดีคือ สามารถแจกจ่ายน้ำประปาด้วยปริมาณมากๆได้ วิธีนี้สามารถเลือกวิธีแจกจ่ายน้ำประปาไปยังท่อประธานได้ คือ อาจจ่ายน้ำประปาโดยใช้เครื่องสูบน้ำอย่างเดียวหรือใช้หอถังสูงอย่างเดียวก็ได้



รูปที่ 2.14 ระบบแจกจ่ายน้ำประปาด้วยวิธีสูบจ่ายน้ำร่วมกันกับหอถังสูง
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

2.6.2 ระบบจ่ายน้ำประปา

ระบบจ่ายน้ำประปามีอยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบจ่ายน้ำแบบต่อเนื่อง (Continuous System)

ระบบจะทำการจ่ายน้ำประปาตลอดเวลา เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำประปาที่ใช้งานตลอดเวลา มีแหล่งน้ำดิบที่เพียงพอตลอดเวลา และมีโรงผลิตน้ำประปาที่สามารถผลิตได้เพียงพอจ่ายน้ำได้ตลอดเวลา

2. ระบบจ่ายน้ำแบบเดินๆหยุดๆ

ระบบนี้อาจจ่ายน้ำประปาเป็นเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง ในแต่ละวันก็ได้ เช่น จ่ายน้ำประปาให้ในช่วงเช้าและช่วงเย็นระบบนี้จะใช้เมื่อปริมาณน้ำดิบในแหล่งน้ำไม่พอเพียงสำหรับการจ่ายประปาให้ตลอดเวลา

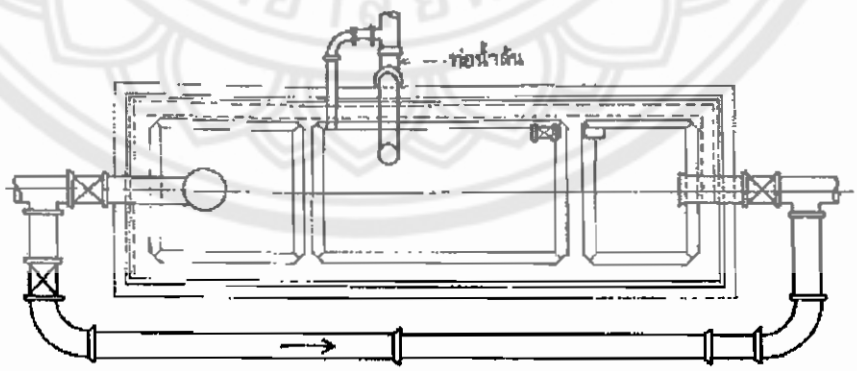
2.6.3 ถังเก็บกักน้ำประปา

วัตถุประสงค์ของการเก็บกักน้ำประปาด้วยถังเก็บกักน้ำประปา มีดังต่อไปนี้

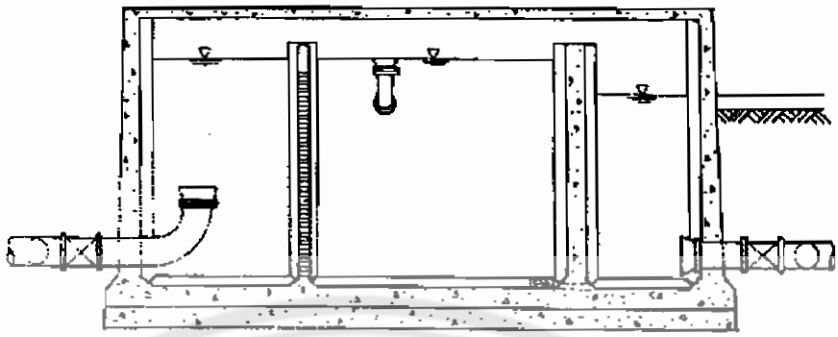
- ต้องการเก็บกักน้ำประปาไว้สำหรับการดับเพลิง
- ต้องการรักษาระดับความดันของน้ำในท่อประปาได้ตลอดเวลา
- ต้องการเก็บกักน้ำประปาสำรองไว้เมื่อมีการใช้น้ำประปามากกว่าปกติ

โดยทั่วไปขนาดความจุของถังเก็บกักน้ำประปา จะขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงที่จ่ายน้ำประปา อัตราการสูบจ่ายน้ำประปา และการแปรเปลี่ยนปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาของชุมชนนั้น

1. ถังน้ำบนพื้นดิน (Surface Storage Tank)



รูปแปลน

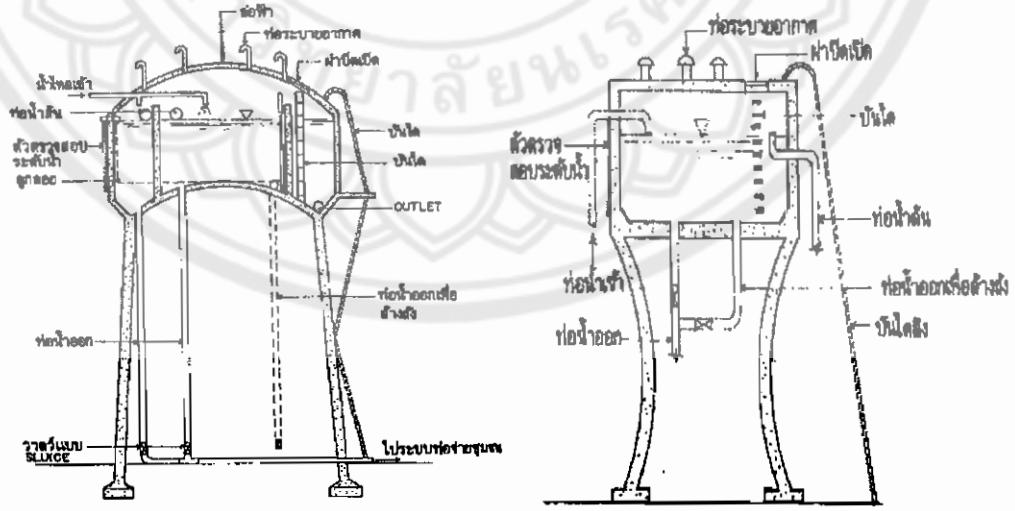


รูปตัด

รูปที่2.15 รายละเอียดของถังน้ำบนพื้นดิน
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

ถังน้ำบนพื้นดิน หมายถึง ถังเก็บกักน้ำประปาไว้ เพื่อจ่ายน้ำประปาไปทั่วชุมชนของแต่ละชุมชน สำหรับขนาดของถังเก็บกักน้ำบนพื้นดินสามารถคำนวณได้โดยวิธีสร้างกราฟปริมาณน้ำประปาใช้สะสมตลอดวัน ซึ่งเป็นวิธีที่คล้ายกับการคำนวณหาขนาดของอ่างเก็บน้ำ หรืออาจพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำใช้โดยเฉลี่ยต่อวันเป็นขนาดความจุของถังเก็บกักน้ำประปา ซึ่งอาจต้องการเก็บกักไว้ใช้ 1-2วัน หรือมากกว่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้น้ำประปาของชุมชนนั้นๆ

2. หอถังสูง(Elevated Tank)



รูปที่2.16 รายละเอียดของหอถังสูง
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2549

หอถังสูงทำหน้าที่จ่ายน้ำประปาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาจมีหอถังสูงอยู่หลายๆ จุดในชุมชนนั้น เพื่อสามารถมีแรงดันพอเพียงสำหรับการจ่ายน้ำประปาให้แก่ชุมชน หอถังสูงจะมีขนาดความสูงตั้งแต่ 10-30 ม. และบางแห่งอาจพบว่ามีความสูงมากกว่านี้ สำหรับขนาดความจุมีตั้งแต่ 5 - 250 ลบ.ม. แล้วแต่การใช้น้ำประปาชุมชนนั้นๆ สำหรับการคำนวณหาขนาดความจุที่เหมาะสมอาจพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำใช้โดยเฉลี่ยต่อชั่วโมง ซึ่งขนาดความจุอาจเก็บไว้ใช้ 1-2 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น แล้วแต่ความเหมาะสมของชุมชนนั้นๆ ซึ่งจะไปเกี่ยวข้องกับขนาดของเครื่องสูบน้ำขึ้นไปเก็บไว้ในหอถังสูงด้วย ในการเลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งหอถังสูงควรจะเลือกบริเวณที่มีระดับสูงกว่าบริเวณรอบๆใกล้เคียง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจ่ายน้ำประปา

2.7 อัตราการใช้น้ำของประชากร

2.7.1 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคล

อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลคิดอยู่ในหน่วยลิตรต่อวันต่อคน เช่น 200 ลิตรต่อวันต่อคน เป็นต้น อัตราการใช้น้ำในแต่ละชุมชนอาจเปลี่ยนแปลงได้มาก และขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ขนาดของชุมชน ขนาดของชุมชนปกติแล้วเป็นผลในทางอ้อม ในการที่จะเพิ่มอัตราการบริโภคน้ำให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม หากมีชุมชนใหญ่แล้วปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ก็จะมีปริมาณมากไปด้วยเช่นเดียวกัน

2. จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในชุมชนนั้น หากในชุมชนใดมีโรงงานมากปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ก็จะมากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมมักต้องการใช้น้ำเป็นปริมาณมากในกรรมวิธีต่างๆ

3. คุณภาพของน้ำ หากน้ำมีคุณภาพที่ดีและเป็นที่นิยมของประชาชน อัตราการการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้น เพราะประชาชนย่อมต้องการใช้น้ำที่มีความปลอดภัยมากกว่าน้ำที่ก่อให้เกิดโทษ โรงงานอุตสาหกรรมก็เช่นเดียวกัน หากน้ำนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีไม่ได้มาตรฐาน เช่น น้ำมีสารเคมีเจือปนอยู่มาก หรือมีความกระด้างสูงแล้ว หม้อน้ำหรือท่อน้ำก็อาจชำรุดได้ง่าย เมื่อเป็นเช่นนี้ ปริมาณการใช้น้ำก็จะลดลง ในทางตรงกันข้าม หากน้ำมีคุณภาพดีปริมาณการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้น

4. ค่าน้ำประปา เมื่อน้ำมีราคาถูกการใช้น้ำก็ย่อมมีมาก

5. สภาพอากาศ สภาพอากาศนี้นับว่ามีอิทธิพลต่อการใช้น้ำเป็นอย่างมาก ประชาชนในเขตหนาวจะใช้น้ำน้อยตรงกันข้ามกับในเขตร้อนจะมีปริมาณการใช้น้ำสูง หรืออาจเป็นช่วงหนึ่งของฤดูกาล หรือของวัน อัตราการใช้น้ำจะแตกต่างกันออกไปเช่นในฤดูร้อนอัตราการใช้น้ำจะสูงมาก เพราะใช้สำหรับอาบ และนำไปรดพืชผัก ผลไม้และอื่นๆ ตลอดจนปริมาณที่นำมาใช้ดื่มก็จะสูงขึ้นเช่นกัน

6. สภาพความเป็นอยู่และอาชีพของประชาชน อัตราการใช้น้ำของประชาชนย่อมมีการเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการดำรงชีพและอาชีพ จะเห็นว่าประชาชนในชนบทมีอาชีพทางด้านเลี้ยงสัตว์และเกษตรกรรมจะใช้น้ำไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะประชาชนที่อาศัยอยู่ในชนบท มักจะอาศัยน้ำที่หาได้จากท้องถิ่นมาใช้สำหรับอาบและใช้ในกิจการอย่างอื่นเสียเป็นส่วนมาก ต่างกับประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนหนาแน่น เช่น ในเมือง จะมีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่า

นอกจากนี้ อัตราการใช้น้ำยังขึ้นอยู่กับแรงดันของระบบจ่ายน้ำ ระบบบริหารและจัดการของการประปา และความสะดวกในการดำเนินกิจการประปาส่วนบุคคล

จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว จึงไม่เป็นที่ประหลาดใจว่าอัตราการใช้น้ำของชุมชนต่างๆ ย่อมแตกต่างกันได้เสมอ ประเทศที่มีการพัฒนาสูง ย่อมใช้น้ำมากกว่าประเทศที่กำลังพัฒนาหรือด้วยพัฒนาเป็นธรรมดา

ตารางที่ 2.18 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลในบางประเทศ

อังกฤษ	135-225 ลิตรต่อวันต่อคน
สหรัฐอเมริกา	300-900 ลิตรต่อวันต่อคน
อิตาลี (กรุงโรม)	1,000-1,600 ลิตรต่อวันต่อคน
ประเทศไทย (กรุงเทพฯ)	200 ลิตรต่อวันต่อคน
อินเดีย	50-450 ลิตรต่อวันต่อคน

ที่มา: มั่นสิน ตันฑุลเวศม์,2542

2.7.2 ประเภทของการใช้น้ำ

การใช้น้ำประปา อาจแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การใช้น้ำภายในครัวเรือน
2. การใช้น้ำเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม
3. การใช้น้ำเพื่อสาธารณประโยชน์

4. การใช้น้ำที่ไม่ได้ตั้งใจ

ความต้องการน้ำประเภทต่างๆ ของชุมชนย่อมเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างกว้างขวางและขึ้นอยู่กับลักษณะและสิ่งแวดล้อมของชุมชน รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย

ตารางที่ 2.19 ประเภทของการใช้ อัตราการใช้ และค่าเปอร์เซ็นต์ ของการผลิตน้ำประปา

ประเภทการใช้	อัตราการใช้ (ลิตรต่อวันต่อคน)	% ของการผลิตทั้งหมด
ที่พักอาศัย	140	31
การค้า-อุตสาหกรรม	166	38
สาธารณะ	49	11
สูญเสีย	95	20
รวม	450	100

ที่มา: มั่นสิน ตันฑุลเวศม์,2542

1. การใช้น้ำในครัวเรือน

การใช้น้ำในกลุ่มนี้ มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยกัน เช่น การดื่ม การอาบ การซักล้าง การครัว การทำความสะอาด การกำจัดสิ่งปฏิกูล ฯลฯ อัตราการใช้น้ำของอาคารที่พักอาศัยมักจะไม่ค่อยแน่นอนนัก ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอื่นๆ อีกหลายอย่าง เช่น ชนิด และความหนาแน่นของชุมชน ฐานะเศรษฐกิจ นิสัยและความเป็นอยู่ สภาวะด้านการสุขาภิบาล และบริการของการประปา เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้น้ำได้มาก จากการสำรวจพบว่า อัตราการใช้น้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างประมาณ 40-230 ลิตรต่อคนต่อวัน

ค่าเฉลี่ยที่นิยมใช้โดยทั่วๆ ไป สำหรับชุมชนในเมืองคือ 100-200 ลิตรต่อคนต่อวัน แต่สำหรับท้องที่ชานเมืองและในชนบท ก็มีอัตราการใช้น้ำต่ำกว่าชุมชนในเมืองหรือในเขตเทศบาล ทางองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เคยจัดการสำรวจอัตราการใช้น้ำของพลเมืองในแถบตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชียไว้เป็นค่าอัตราเฉลี่ยโดยประมาณ ดังนี้

ชนบท	30-50	ลิตร /คน/วัน
ชานเมือง	50-75	ลิตร /คน/วัน
เขตเทศบาล	100-120	ลิตร /คน/วัน
นครหลวง	200	ลิตร /คน/วัน

สำหรับประเทศไทย อัตราที่ใช้สำหรับการคำนวณเพื่อผลิตน้ำประปา การประปาภูมิภาคใช้อัตราเฉลี่ยประมาณ 120 ลิตรต่อคนต่อวัน และการประปานครหลวงใช้อัตราเฉลี่ยประมาณ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน ส่วนในประเทศที่พัฒนาแล้ว ทั้งในยุโรปและอเมริกา โดยเฉพาะตามนครใหญ่ๆ จะสูงกว่า 200 ลิตรต่อคนต่อวันขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของการใช้เครื่องสุขภัณฑ์ ที่นิยมติดตั้งในอาคารที่พักอาศัยมีลักษณะที่ต้องใช้น้ำในปริมาณมากกว่า โดยปกติแล้ว ปริมาณการใช้น้ำสำหรับอาคารที่พักอาศัยจะมีปริมาตรไม่น้อยกว่า 30% ของปริมาณน้ำประปาที่ผลิตได้ทั้งหมด

2. การใช้น้ำเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม

การใช้น้ำประปาในประเภทนี้ จำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดและชนิด ของกิจกรรมนั้นๆ ประกอบด้วยจำนวนน้ำสำหรับใช้ในธุรกิจการค้าและสำนักงานมีจำนวนไม่มากนัก คือ ให้ใช้คนละ 20-60 ลิตรต่อวัน จำนวนน้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์

สำหรับในชุมชนที่มีการพัฒนาทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ปริมาณน้ำใช้เพื่อกิจการอุตสาหกรรมอาจมีสัดส่วนสูงกว่าปริมาณน้ำใช้ในครัวเรือนเป็นอย่างมาก

3. การใช้น้ำเพื่อการสาธารณประโยชน์และดับเพลิง

การใช้น้ำประเภทนี้ เป็นการใช้เพื่อกิจการสาธารณประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น การล้างถนน รดน้ำ สนามหญ้า สวนดอกไม้ สวนหย่อม และสวนสาธารณะ ใช้เพื่อเป็นน้ำพุ ป้องกันสาธารณภัย ฯลฯ อัตราการใช้น้ำประปาประเภทนี้ เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและขนาดของชุมชน ความหนาแน่น ชนิดและจำนวนของระบบสาธารณูปโภคที่มีอยู่ในชุมชนนั้น เกณฑ์เฉลี่ยที่อาจถือเป็นค่าโดยประมาณสำหรับการคำนวณ คือ 40-80 ลิตร ต่อคนต่อวัน สำหรับปริมาณน้ำประปาเพื่อป้องกันอัคคีภัยนี้ มีค่าไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอัคคีภัยที่เกิดขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการดับเพลิง แต่ละครั้ง โดยปกติแล้ว จะต้องมีการพิจารณาเกี่ยวกับขนาด และอัตราการสูบน้ำของรถดับเพลิงที่มีใช้อยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ ด้วย

4. ปริมาณน้ำสูญเสีย

ปริมาณน้ำสูญเสีย หมายถึงจำนวนน้ำประปาที่สูญไปโดยไม่ได้ประโยชน์ อันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น

ฝีมือการต่อท่อไม่ดี ทำให้มีน้ำรั่ว

การใช้น้ำอย่างเลินเล่อต่างๆ

อุปกรณ์น้ำประปา เช่น วาล์วต่างๆ เป็นต้น เกิดชำรุดเสียหาย

ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียไปอย่างไม่ได้ตั้งใจ เป็นจำนวนที่ประมาณได้ยากมาก และเกินกว่าที่วิศวกรจะล่วงรู้ได้ ในหลักปฏิบัติ น้ำที่ต้องสูญเสียโดยไม่ได้ตั้งใจ ถือว่าเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ สิ่งเดียวที่กระทำได้คือ พยายามผ่อนหนักให้เป็นเบา จากรายงานของกิจการประปาในหลาย ๆ ประเทศ ปรากฏว่าปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20% ของปริมาณน้ำประปาที่ผลิตได้ทั้งหมด อัตราการสูญเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษา การตรวจตราดูแล แรงดันในท่อประปา การติดตั้งมาตรวัดน้ำ ตลอดจนนิสัยในการใช้น้ำของประชาชน

2.7.3 อายุการใช้งานของระบบประปา

การกำหนดอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบผลิตประปาไว้ล่วงหน้า เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการคำนวณออกแบบ หรือพิจารณาหาอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตประปาตลอดจนกระบวนการต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงอัตราผลิตน้ำประปาที่พอเพียงสำหรับอนาคต (ในตลอดช่วงอายะการใช้งานของระบบ) และเพื่อจะได้ออกแบบโครงสร้างให้พอเพียงและเหมาะสมที่สุด ตลอดจนการหาเงินมาลงทุนชำระดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจการ การวางแผนระยะสั้นนั้นไม่ประหยัด โดยทั่วไประยะเวลาที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 20-30 ปี เพราะถ้านานกว่านี้ เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่างๆ ก็จะหมดอายุ และอาจหามาเปลี่ยนใหม่ไม่ได้ ค่าดอกเบี้ยของเงินลงทุนก็จะพอกพูนขึ้น แต่ประโยชน์ที่ได้ไม่คุ้มกัน

ในการพิจารณาถึงอายุการใช้งาน ข้อที่ควรพิจารณา มีดังนี้

1. อายุการใช้งานของสิ่งก่อสร้างและอุปกรณ์
2. ความยากง่ายในการขยายระบบและพื้นที่
3. อัตราการเพิ่มของประชากร รวมถึงการขยายตัวของแหล่งอุตสาหกรรมและย่านการค้า
4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (ในกรณีที่ต้องกู้มาลงทุน)
5. ค่าของเงิน และค่าเสื่อมราคา
6. การทำงานของระบบ ในระยะแรกที่ระบบยังทำงานไม่ได้เต็มกำลังความสามารถที่ได้ออกแบบไว้

ในการออกแบบระบบประปา คำแนะนำทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบประปา มีดังนี้

1. เขื่อน อุโมงค์ส่งน้ำ ซึ่งในการที่จะสร้างขยายต่อเติม ทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

ควรออกแบบให้มีอายุใช้งาน 25-50 ปี

2. บ่อบาดาล ระบบท่อจ่ายน้ำ และโรงกรองน้ำ สามารถที่จะขยายต่อเติมได้ไม่ยาก อายุใช้งานควรเป็น 15-25 ปี

3. ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 12" (300 มม.) การเปลี่ยนขนาดท่อเสียค่าใช้จ่ายสูงอายุการใช้งานควรเป็น 20-25 ปี

4. ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 300 มม. ความต้องการใช้น้ำอาจเพิ่มขึ้นในเวลาอันสั้น ขนาดท่อจึงอาจต้องเปลี่ยนแปลงตาม

2.8 การคาดการณ์จำนวนประชากร

ในการออกแบบระบบประปา จำเป็นต้องทราบก่อนว่า จำนวนผู้รับบริการทั้งหมด (ใช้ชั่วอายุการใช้งานของระบบประปา) มีมากน้อยเท่าใด เพื่อให้สามารถคำนวณหาขนาดของระบบประปาสำหรับอนาคตดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบ จึงจำเป็นต้องมีการทำนายจำนวนประชากรสำหรับอนาคต ให้ได้อย่างใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การทำนายจำนวนประชากรสูงเกินไปทำให้ระบบประปามีขนาดใหญ่และสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น ส่วนการทำนายจำนวนประชากรน้อยเกินไปมีผลให้ได้ระบบประปาที่มีขนาดเล็กเกินไป และทำให้ต้องมีการขยายระบบประปาเร็วเกินกว่าที่คาดหมายไว้ การทำนายจำนวนประชากรให้ใกล้เคียงมากที่สุดจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

วิธีทำนายประชากรในอนาคต มีหลายวิธี ดังจะได้กล่าวต่อไป การจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของวิศวกรผู้ออกแบบโดยเฉพาะ สิ่งที่วิศวกรควรจำแนกให้ออก คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรนั้นเกิดขึ้นตามธรรมชาติ (การเกิดและการตาย) หรือเกิดเพราะความจำเป็นจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ (เช่น การอพยพ การหนีภัย ฯลฯ)

2.8.1 การทำนายประชากรระยะสั้น

1. Arithmatic Progression $dy/dt = k_a$

(การเพิ่มไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร) $k_a = (y_1 - y_c)/(t_1 - t_c)$

สูตรที่ใช้ทำนายประชากร

Intercensal , $$y_m = y_c + \frac{(y_1 - y_c)(t_m - t_c)}{(t_1 - t_c)}$$

Postcensal $y_m = y_1 + \frac{(y_1-y_e)(t_m-t_e)}{(t_1-t_e)}$

โดยที่ y_1 = จำนวนประชากรที่ $t = t_1$ (สำรวจประชากรครั้งหลังสุด)

y_e = จำนวนประชากรที่ $t = t_e$

2. Geometric Progression $dy/dt = k_g y$

(การเพิ่มขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร , y) $k_g = (\log y_1 - \log y_e)/(t_1-t_e)$

สูตรที่ใช้ทำนายประชากร

Intercensal , $\log y_m = \log y_e + \frac{(\log y_1-\log y_e)(t_m-t_e)}{(t_1-t_e)}$

Postcensal $\log y_m = \log y_1 + \frac{(\log y_1-\log y_e)(t_m-t_e)}{(t_1-t_e)}$

2.8.2 การทำนายประชากรระยะยาว

1. Graphical Comparision with Growth Curves of Similar or Larger Cities

วิธีนี้เป็นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร โดยการเปรียบเทียบกับเมืองหรือชุมชนอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกันทั้งในด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม

2. Logistic Curve Method

สูตรที่ใช้ทำนายประชากร

$y = L/(1+me^{nt})$

โดยที่ y = จำนวนประชากรที่เวลา t วัดจากจุดเริ่ม

L = จำนวนประชากรสูงสุดที่จุดอิ่มตัว

m , n = สปส.ที่ขึ้นอยู่กับ background ต่างๆ และหาได้จากข้อมูลสำมะโนประชากร

ถ้าให้ $t_1 = 2t_0$ และ $t_2 = 3t_0$ } คือมีระยะห่างเท่า ๆ กัน

และรู้จำนวนประชากรที่เวลา t_0 , t_1 และ t_2 จะได้

$$L = \frac{2y_0 y_1 y_2 - y_1^2(y_0 + y_2)}{y_0 y_2 - y_1^2}$$

$$m = (L - y_0) / y_0$$

$$n = (1 - t)\ln. [\, y_0 (L-y_1)/y_1(L-y_0)]$$

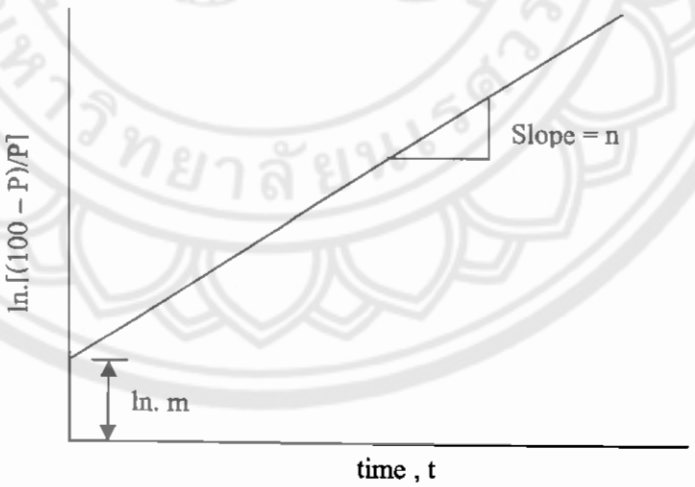
ถ้าให้ P = อัตราหรือระดับอิ่มตัวของประชากร = 100y/L

เนื่องจาก $y = L/(1 + me^{nt})$

ฉะนั้น $P = 100/(1 + me^{nt})$

หรือ $\ln.[(100 - P)/P] = \ln.m + nt$

เมื่อพล็อต $\ln.[(100 - P)/P]$ กับ t



รูปที่2.17 กราฟระหว่าง ln.[(100 – P)/P] กับ t

ที่มา: มั่นสิน ตันฑุลเวศม์,2542