บทที่ 4

การทดลอง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 เครื่องมือในการทดลอง

เครื่องมือในการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.1 แบ่งเป็น

4.1.1 เครื่องมือทดลองในแบบทดลอง

(1) ปั๊มเทอร์ไบน์ และเครื่องยนต์ขับ

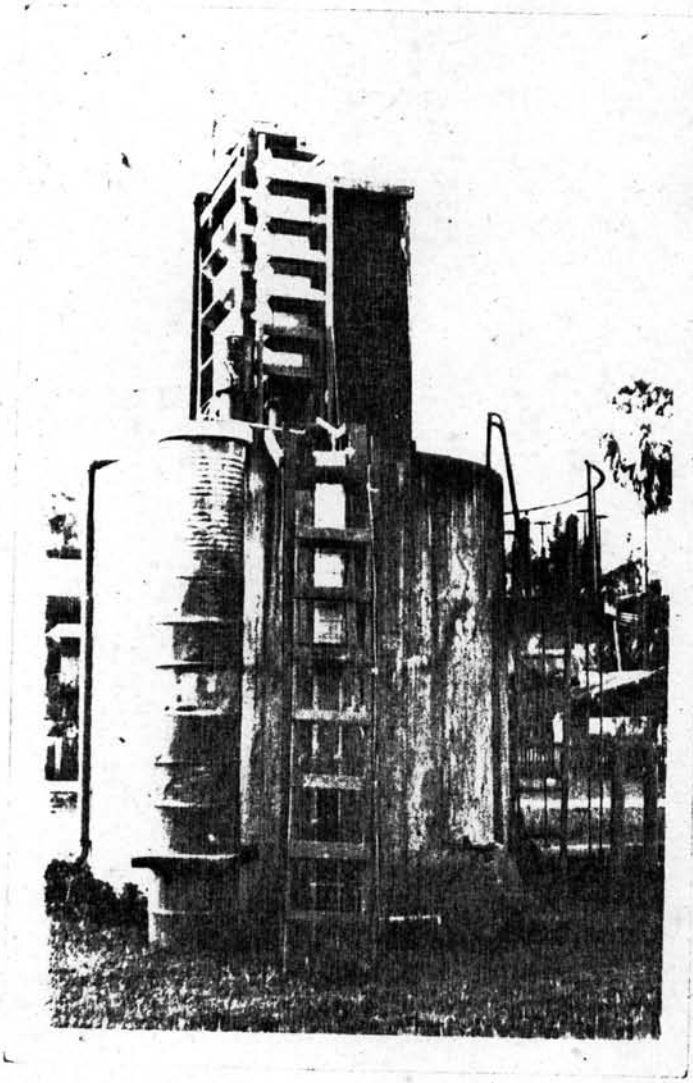
เครื่องมือนี้เป็นเครื่องสูบน้ำดิบของการประปาบ้านไผ่ซอดอน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งสามารถสูบน้ำได้อย่างสูงประมาณ 15 ม.^{3}/ช.ม. ที่รอบการทำงานของปั๊มไม่เกิน 1,500 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ขับเป็นเครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อยันมาร์ ขนาด TH 13 ซึ่งมีกำลังทำงานอย่างต่อเนื่องประมาณ 11 แรงม้า ในขณะที่เครื่องสูบน้ำกำลังสูบน้ำจากบ่อบาดาลขึ้นมาไม่เกิน 15 ม.^{3}/ช.ม. นั้น น้ำดิบจะถูกแยกมาใช้ในการทดลองในแบบทดลอง ไม่เกิน 4.54 ม.^{3}/ช.ม. หรือประมาณ 20 แกลลอนต่อนาที ด้วยท่อ พี.วี.ซี. ขนาด ϕ 38 ม.ม. (ϕ $1\frac{1}{2}$ ") พร้อมประตูน้ำทองเหลืองขนาด ϕ 38 ม.ม. (ϕ $1\frac{1}{2}$ ") สำหรับควบคุมอัตราการไหล

(2) เครื่องวัดอัตราการไหล ของน้ำดิบ

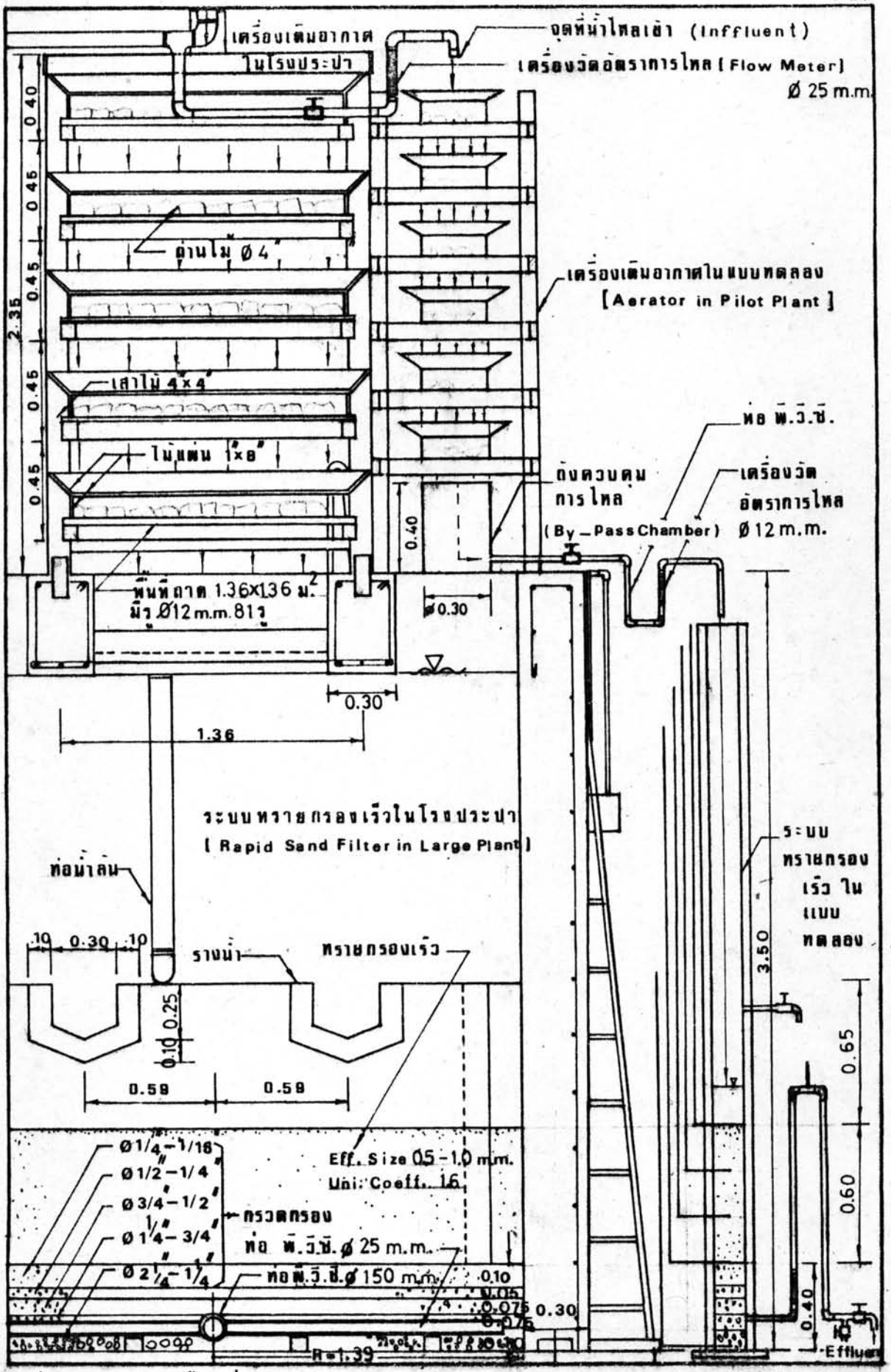
เครื่องมือนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ม.ม. ซึ่งแสดงการติดตั้งในรูปที่ 4.2

(3) เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น

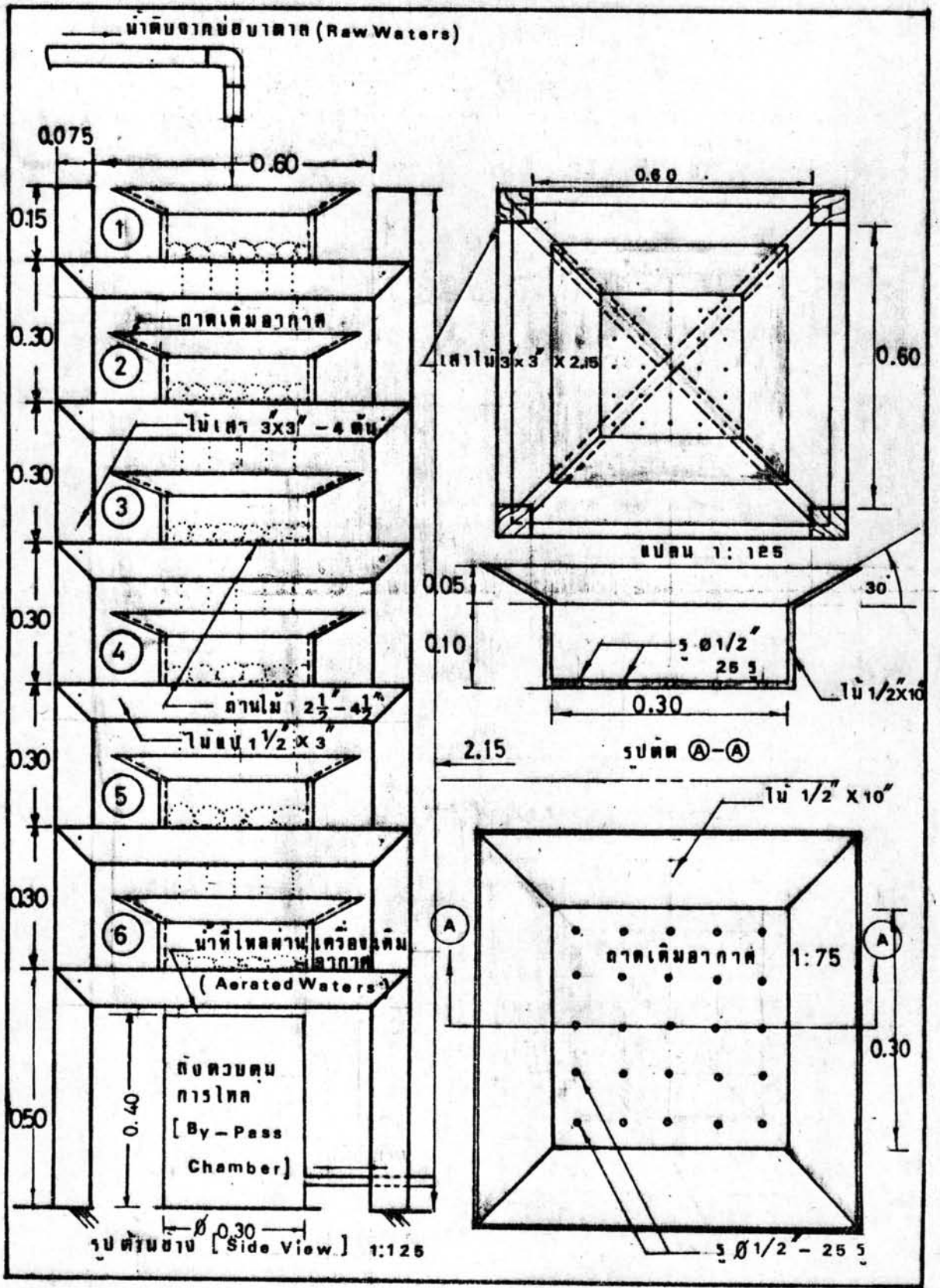
เครื่องมือนี้ ได้สร้างขึ้นตามหลักเกณฑ์ที่แนะนำโดย Hopkins[28] และ Wongwitdecha Suthat[49] ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 กล่าวคือ เครื่องเติมอากาศประกอบด้วยถาดเติมอากาศจำนวน 6 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 30 ซ.ม. ความสูงของเครื่อง



รูปที่ 4.1 เครื่องมือทดลองในแบบทดลองและในโรงประปา



รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องมือวิจัย (Experimental Set-up) 1:25 หน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 4.3 เครื่องเติมอากาศในแบบทดลอง (Aerator in Pilot Plant), หน่วยเป็นเมตร

เติมอากาศทั้งหมด 2.15 ม. ถาดเติมอากาศนี้ ทำด้วยไม้เนื้อแข็งหนา 12 ม.ม. (1/2") ภายในมีพื้นที่ 30.48 x 30.48 ซ.ม.^{2} โดยภายในพื้นที่นี้มี รูขนาด ϕ 12" จำนวน 5 แถวรวม 25 รู แต่ละรูห่างกัน 6 ซ.ม. ขอบของถาดเติมอากาศสูง 15 ซ.ม. และภายในถาดบรรจุด้วยไม้ ขนาด ϕ 63 ม.ม. – ϕ 114 ม.ม. (ϕ $2\frac{1}{2}$" – ϕ $4\frac{1}{2}$") หนาประมาณ 12.30 ซ.ม.

อนึ่ง ถาดเติมอากาศที่กล่าวมานี้ ในขณะที่ทำการทดลองต้องควบคุมให้น้ำไหลผ่านได้เฉพาะรูที่เจาะไว้เท่านั้น ดังนั้นจึงมีการอุดรอยรั่วส่วนอื่น ๆ ของถาดด้วยซันผสมน้ำมันยาง และน้ำมันโซล่า ซึ่งนิยมใช้ในการอุดเรือ

(4) <u>ถังควบคุมการไหล</u>

เครื่องมือนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำ ที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศแล้วให้ไหลลงสู่ถังกรอง ในอัตราที่สม่ำเสมอ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ลักษณะของเครื่องมือเป็นถังโลหะทรงกระบอกกลมทำด้วยสังกะสี มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซ.ม. สูง 40 ซ.ม. ผนังของถังทั้งหมดได้ทาสีกันสนิมไว้หลายชั้น

(5) <u>ระบบทรายกรองเร็ว</u>

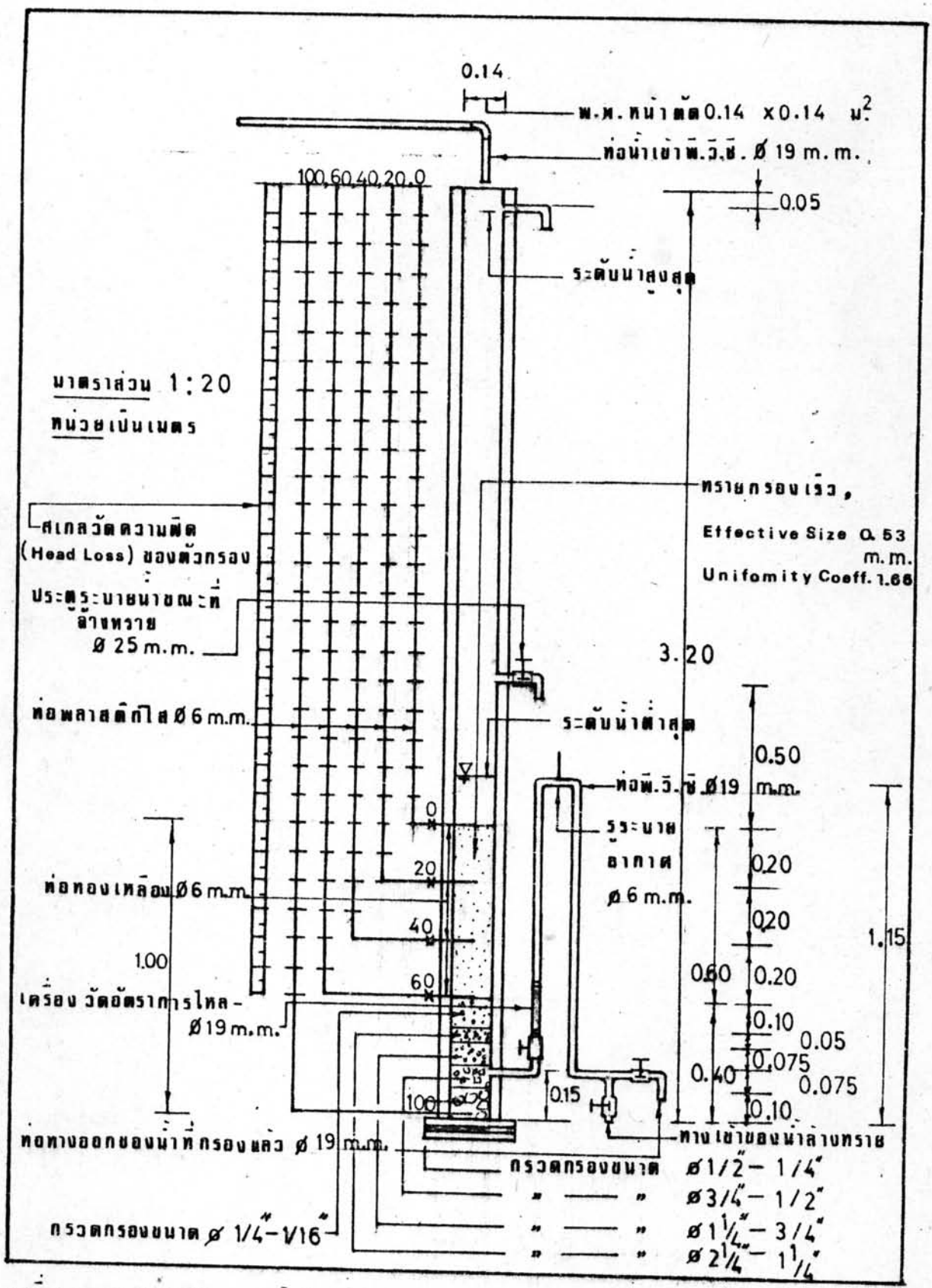
เครื่องมือนี้ ได้ออกแบบตามหลักเกณฑ์เดียวกับระบบทรายกรองเร็วในโรงประปา ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.4 สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่

(ก) ส่วนที่เป็นตัวถัง มีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยมทำด้วยพลาสติกใส มีพื้นที่หน้าตัด 14 x 14 ซ.ม.^{2} และมีความสูงทั้งหมด 3.20 ม.

(ข) ส่วนที่เป็นท่อประสานแบ่งเป็นท่อน้ำเข้า, ท่อน้ำออก, ท่อระบายน้ำขณะล้างทราย และท่อน้ำล้น

(1) ท่อน้ำเข้าเป็นท่อ พี.วี.ซี. พร้อมการติดตั้งประตูน้ำขนาด ϕ 19 ม.ม. และเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมีขนาด ϕ 12 ม.ม.

(2) ท่อน้ำออกเป็นท่อ พี.วี.ซี รูปตัวยูคว่ำ มีขนาด ϕ 19 ม.ม. โดยส่วนบนของรูปตัวยูคว่ำอยู่สูงจากผิวหน้าทรายขึ้นไป 15 ซ.ม. จุดประสงค์ของการสร้างท่อน้ำออกเป็นรูปตัวยูนี้ก็คือการป้องกันมิให้หน้าทรายแห้ง และการป้องกันมิให้อากาศ



รูปที่ 4.4 ระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง [Rapid Sand Filter in Pilot Plant]

ได้แทรกตัวสวนทางกับทิศทางการไหลของน้ำที่กรองแล้วเข้าไปยังชั้นทรายได้ ที่ส่วนบนของรูปตัวยู มีการเจาะรูระบายอากาศ ขนาด ϕ 3 ม.ม. เพื่อช่วยทำให้น้ำที่กรองแล้วสามารถไหลออกจากตัวกรองได้ในอัตราที่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นที่บริเวณท่อน้ำออกได้มีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลขนาด ϕ 19 ม.ม. พร้อมประตูน้ำ เพื่อวัดอัตราการกรองในขณะทำการทดลอง ท่อน้ำออกนี้นอกจากทำหน้าที่รับน้ำที่กรองแล้วจากชั้นกรวดยังทำหน้าที่เป็นท่อน้ำเข้าขณะล้างทรายโดยการล้างแบบไหลกลับได้อีกด้วย

(3) ท่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำทิ้งขณะล้างทราย เป็นท่อ พี.วี.ซี ขนาด ϕ 25 ม.ม. พร้อมประตูน้ำ ซึ่งติดตั้งในตำแหน่งที่สูงจากหน้าทราย 50 ซ.ม.

(4) ท่อน้ำล้นเป็นท่อ พี.วี.ซี.ขนาด ϕ 12 ม.ม. ติดตั้งในตำแหน่งที่ต่ำจากขอบบนสุดของผนังถัง 5 ซ.ม.

(ค) ส่วนที่เป็นตัวกรอง มีความหนา 1 ม. แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นชั้นกรวดหนา 40 ซ.ม. ในชั้นกรวดยังแบ่งย่อยออกไปอีกหลายชั้นตามขนาดของกรวดเมื่อเรียงขนาดจากชั้นล่างขึ้นชั้นบนมีดังนี้คือ ชั้นล่างสุดเป็นกรวดขนาด ϕ 57 ม.ม. – ϕ 32 ม.ม. (ϕ $2\frac{1}{4}$" – $\phi 1\frac{1}{4}$") หนา 10 ซ.ม., ชั้นที่สองเป็นกรวดขนาด ϕ 32 ม.ม. – ϕ 19 ม.ม. (ϕ $1\frac{1}{4}$" – ϕ $\frac{3}{4}$") หนา 7.5 ซ.ม., ชั้นที่สามเป็นกรวดขนาด ϕ 19 ม.ม. – ϕ 12 ม.ม. (ϕ $\frac{3}{4}$" – ϕ $\frac{1}{2}$") หนา 7.5 ซ.ม., ชั้นที่สี่เป็นกรวดขนาด ϕ 12 ม.ม. – ϕ 6 ม.ม. (ϕ $\frac{1}{2}$" – ϕ $\frac{1}{4}$") หนา 5 ซ.ม. และชั้นที่ห้า เป็นกรวดขนาด ϕ 6 ม.ม. – ϕ 1.5 ม.ม. (ϕ $\frac{1}{4}$" – ϕ $\frac{1}{16}$") หนา 10 ซ.ม. สำหรับชั้นบนของตัวกรองเป็นชั้นทรายมีความหนา 60 ซ.ม. ทรายกรองมีขนาดประสิทธิผล (Effective Size) 0.53 ม.ม. และมีค่าสัมประสิทธิแห่งความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) 1.66 (รายละเอียดของค่าทั้งสองนี้หาได้จากผลการวิเคราะห์ขนาดทราย ดังแสดงในภาคผนวก)

อนึ่ง ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของตัวกรอง สามารถเก็บตัวอย่างน้ำขณะทำการทดลองได้ที่ระดับความลึก 0, 20, 40, 60 และ 100 ซ.ม. ด้วยท่อทองแดงขนาด ϕ 6 ม.ม. ปลายท่อทองแดงด้านที่อยู่ในตัวกรอง อยู่ในตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางพื้นที่หน้าตัดของตัวกรอง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งซึ่งอยู่นอกตัวกรอง จะต่อกับท่อพลาสติกใสขนาด ϕ 6 ม.ม.

เพื่อใช้วัดความฝืด (Head Loss) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของตัวกรองชนิดทดลอง และที่ปลายท่อด้านนี้เมื่อดึงสายพลาสติกออกก็สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้ การวัดความฝืดของตัวกรองจะต้องวัดก่อนการเก็บตัวอย่างน้ำทุกครั้ง

(6) ถังตกตะกอน

เครื่องมือนี้เป็นถังโลหะทรงกระบอกกลม ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 มีความสูง 3 ม. มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 57 ซ.ม. รางน้ำที่ปากถังมีความกว้าง 5 ซ.ม. โดยรอบ ผนังของถังมีการทาสีกันสนิมไว้ ทั้งด้านนอกและด้านในของถัง ท่อน้ำเข้า และท่อน้ำออกเป็นท่อ พี.วี.ซี.ขนาด ϕ 12 ม.ม. ปลายของท่อน้ำเข้าอยู่ในตำแหน่งบริเวณกันถัง ส่วนท่อน้ำออกได้ติดตั้งไว้ที่ผนังของรางน้ำที่บริเวณปากถัง ถังตกตะกอนนี้จะมีเวลาเก็บกักน้ำได้นาน 8 ซ.ม. ถ้าควบคุมอัตราการไหลของน้ำเป็น 0.098 ม.^{3}/ซ.ม. ที่อัตราการไหลนี้เมื่อนำไปคำนวณอัตราการกรองในระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลองจะมีค่าประมาณ 5. ม./ซ.ม.

4.1.2 เครื่องมือทดลองในโรงประปา

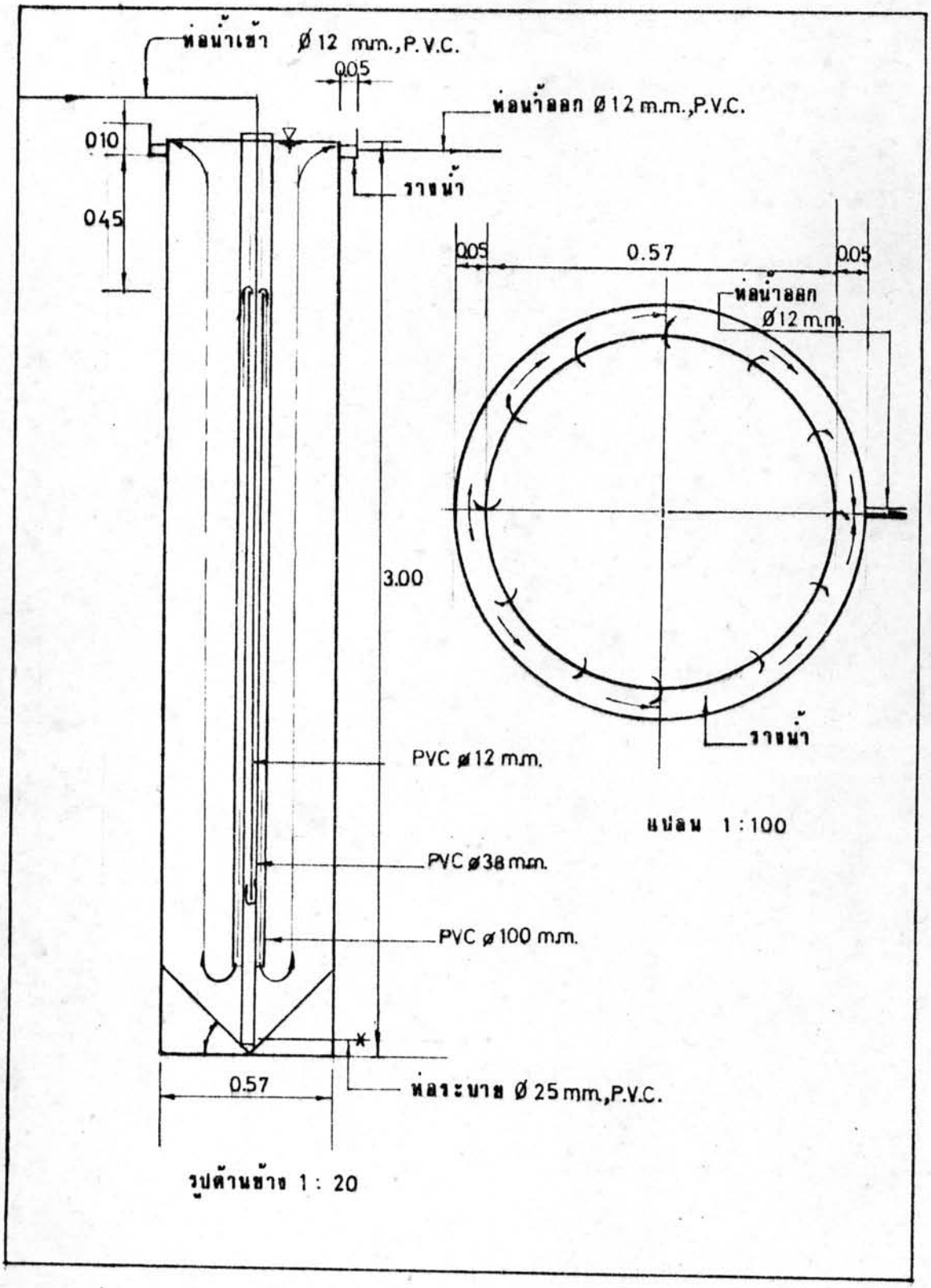
(1) ปั๊มเทอร์ไบน์และเครื่องยนต์ขับ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1 (1)

(2) ระบบทรายกรองเร็ว

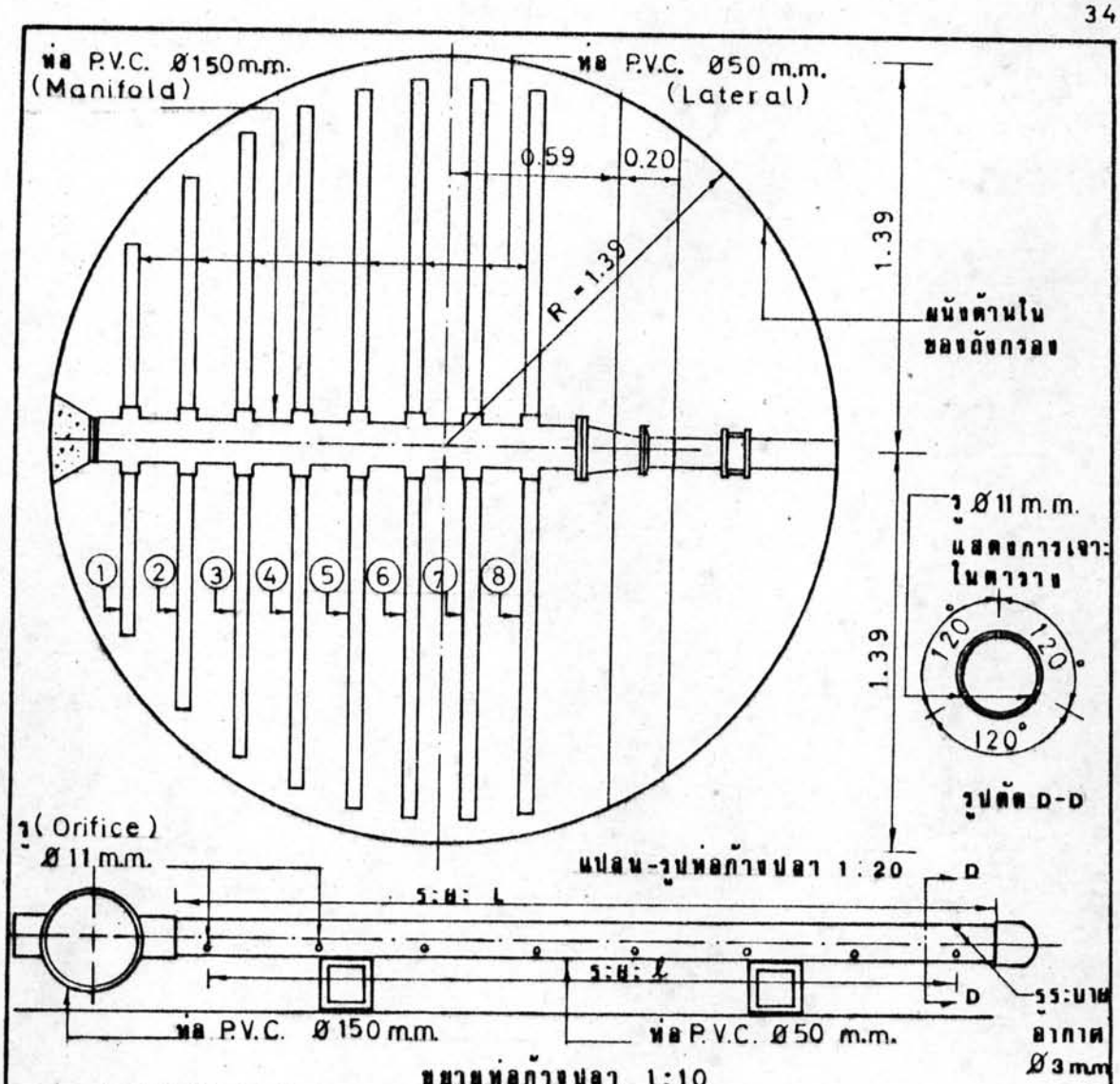
ระบบทรายกรองเร็วนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 และ 4.6 เป็นระบบทรายกรองเร็วที่ใช้ในงานประปาชนบท มีขนาดกำลังผลิตน้ำได้ประมาณ 20 ม.^{3}/ซ.ม. ที่กำลังผลิตนี้ เมื่อคำนวณเป็นอัตราการกรองจะมีค่าประมาณ 5 ม./ซ.ม. ขณะที่อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถ่ายเทอากาศมีค่าประมาณ 10.81 ม./ซ.ม.

ระบบทรายกรองเร็วนี้สามารถแบ่งได้เป็น

(ก) ส่วนที่เป็นตัวถัง สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.78 ม. ภายในถังมีพื้นที่หน้าทรายประมาณ 4 ม.^{2} ความสูงทั้งหมดของผนังของถัง 3.50 ม. ผนังของถังหนา 0.30 ม. พื้นล่างของถังมีความหนา 0.35 ม.



รูปที่ 4.5 ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้นในแนวนอนลอย หน่วยเป็นเมตร



ขยายท่อก้างปลา 1;10

ตาราง การเจาะรู

ท่อ P.V.C.	s:ห: L	s:ห: ℓ	ขนาดของรู	ระยะระหว่างรู	จำนวนรู
แถวที่ 1	1.20	1.10	11 m.m.	0.157	16
" 2	1.25	1.15	"	0.164	"
" 3	1.25	1.15	"	0.164	"
" 4	1.20	1.10	"	0.157	"
" 5	1.15	1.05	"	0.150	"
" 6	1.05	0.95	"	0.136	"
" 7	0.90	0.80	"	0.114	"
" 8	0.65	0.55	"	0.080	"

รูปที่ 4.6 ท่อก้างปลาของระบบรางกรองเร็วในโรงประปา , หน่วยเป็นเมตร

(ข) ส่วนที่เป็นรางน้ำภายในระบบทรายกรองเร็วมีจำนวน 2 ราง ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของรางห่างกัน 1.18 ม., ความกว้างภายในของรางแต่ละราง 0.30 ม., ความลึกของแต่ละรางเท่ากับ 0.25 ม. ส่วนบนของรางระบายน้ำสูงจากพื้นถังกรอง 1.30 ม. หรือสูงจากหน้าทราย 0.65 ม.

(ค) ส่วนที่เป็นตัวกรอง ประกอบด้วยทรายกรองและกรวดกรองขนาดต่าง ๆ โดยทรายกรองอยู่ชั้นบน และกรวดกรองอยู่ชั้นล่าง ทรายกรองที่ใช้มีความหนา 60 ซ.ม., มีขนาดประสิทธิผล (Effective Size) 0.5 – 1.0 ม.ม. และมีค่าสัมประสิทธิแห่งความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) เท่ากับ 1.6 สำหรับกรวดกรองที่ใช้มีขนาดเช่นเดียวกับที่ใช้ในระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.1

(ง) ท่อประสานทั่วไปของระบบทรายกรองเร็วมีดังนี้คือ ท่อน้ำเข้าเป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีขนาด ϕ 75 ม.ม., ท่อระบายน้ำทิ้งเป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี ขนาด ϕ 150 ม.ม., ท่อน้ำล้นเป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีขนาด ϕ 100 ม.ม., ท่อในระบบก้างปลาประกอบด้วยท่อก้างปลาใหญ่ เป็นท่อ พี.วี.ซี.ขนาด ϕ 150 ม.ม. (ϕ 6") ยาว 2.00 ม. และท่อก้างปลาเล็กเป็นท่อ พี.วี.ซี ขนาด ϕ 50 ม.ม. รวม 8 ท่อนยาวทั้งหมด 8.65 ม. ซึ่งได้เจาะรูรับน้ำขนาด ϕ 11 ม.ม. จำนวน 128 รู ท่อรับน้ำที่กรองแล้วจากท่อในระบบก้างปลา เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีขนาด ϕ 100 ม.ม. มีลักษณะเป็นรูปตัวยูคว่ำ ซึ่งส่วนบนของรูปตัวยูคว่ำอยู่สูงจากผิวหน้าทรายประมาณ 0.35 ม. ท่อนี้จะทำหน้าที่ป้องกันมิให้หน้าทรายแห้งและป้องกันมิให้อากาศแทรกตัวเข้าไปในตัวกรอง ที่ส่วนบนของท่อรูปตัวยู มีท่อระบายอากาศขนาด ϕ 12 ม.ม. ท่อนี้นอกจากทำหน้าที่ระบายอากาศในท่อน้ำออกแล้วยังช่วยทำให้การไหลของน้ำที่กรองแล้ว เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

(3) <u>เครื่องเติมอากาศ</u>

เครื่องเติมอากาศนี้ เป็นเครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.2

I16088104

รายละเอียดทั่วไปมีดังนี้ คือ ถาดเติมอากาศเป็นถาดสี่เหลี่ยมมีจำนวน 5 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 45 ซ.ม. พื้นที่ของถาดเท่ากับ 1.36 x 1.36 ม.^{2} และมีการเจาะรูขนาด ϕ 12 ม.ม. เพื่อให้น้ำไหลผ่านจำนวนถาดละ 81 รู ในจำนวนรูดังกล่าวนี้ยังแบ่งได้เป็น 9 แถว แถวละ 9 รู แต่ละรูมีระยะจากจุดกึ่งกลางห่างกัน 15 ซ.ม. ขอบของถาดสูง 35 ซ.ม. ภายในถาดบรรจุด้วยไม้ ขนาด ϕ 63 ม.ม. - ϕ 114 ม.ม. (ϕ $2\frac{1}{2}$" - ϕ $4\frac{1}{2}$") เป็นตัวช่วยเติมอากาศ

จากขนาดของเครื่องเติมอากาศที่กล่าวมานี้ เมื่อสูบน้ำลงบนถาดเครื่องเติมอากาศ ด้วยปริมาณ 20 ม.^{3}/ซ.ม. ตามกำลังการผลิตน้ำประปาของระบบทรายกรองเร็ว เมื่อคำนวณอัตราการไหลของน้ำ ต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศจะมีค่าประมาณ 10.81 ม./ซ.ม. หรือ 4.32 แกลลอนต่อนาทีต่อ ตร.ฟุต อันเป็นไปตามข้อกำหนดของ Track well[46] ซึ่งได้กำหนดอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศไว้ไม่เกิน 5 แกลลอนต่อนาทีต่อ ตร.ฟุต กรณีที่กำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้น

4.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในการวิจัย

รายการวิเคราะห์	อ้างอิง	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	Std.[7]	Titrimetric Method
คาร์บอนไดออกไซด์อิสระหรือ CO_2 (Free CO_2)	"	" " "

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการวิเคราะห์	อ้างอิง	วิธีวิเคราะห์
ความขุ่น (Turbidity)	Std.(7)	Nephelometric Method
เหล็กทั้งหมด (Total Iron)	"	Phenanthroline Method
เหล็กเฟอร์รัส (Ferrous Iron)	"	" " "
ออกซิเจนละลาย หรือ D.O. (Dissolved Oxygen)	"	Permanganate Modification of Winkler Method
อุณหภูมิ (Temperature)	"	Mercury Thermometer
pH	Hach Chemical Co.,Ltd.	pH Meter
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	"	เครื่องมือสนามของ Hach Chemical Co.,Ltd.
ซัลเฟต (Sulphate)	"	" " "
คลอไรด์ (Chloride)	"	" " "

4.3 ขั้นตอนและตัวแปรในการทดลอง

4.3.1 ขั้นตอนในการทดลองแบ่งได้ 3 ขั้นได้แก่

(1) ขั้นที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศที่เหมาะสม ด้วยการใช้

ก. เครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็ว ในแบบทดลอง

ข. เครื่องเติมอากาศตามด้วยถังตกตะกอน ในแบบทดลอง

การทดลองในขั้นนี้ จะแปรอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศให้มีค่าต่าง ๆ แต่จะควบคุมอัตราการกรองในระบบทรายกรองเร็ว และอัตราการไหลของน้ำล้นในถังตกตะกอนให้มีค่าคงที่

(2) ขั้นที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสม ด้วยเครื่องมือเหมือนกับข้อ (1) ก. แต่จะควบคุมอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศให้คงที่ไว้ ณ ค่าที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากการทดลองในข้อ (1) ก.

(3) ขั้นที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองในข้อ (1) ด้วยเครื่องมือทดลองในโรงประปา ตามหัวข้อที่ 4.1.2

4.3.2 ตัวแปรในการทดลอง

4.3.2.1 ตัวแปรอิสระ

(1) อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของถาดเติมอากาศ มีหน่วยเป็น ม./ช.ม.

(2) อัตราการกรอง มีหน่วยเป็น ม./ช.ม.

4.3.2.2 ตัวแปรตาม

(1) เหล็กทั้งหมด หมายถึงผลรวมระหว่างเหล็กเฟอร์รัส และเหล็กเฟอร์ริค หรือหมายถึงปริมาณเหล็กทั้งหมดในน้ำ มีหน่วยเป็น มก./ล.

(2) เหล็กเฟอร์รัส หมายถึงเหล็กทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ มักอยู่ในรูปของอิออน หรือโมเลกุล[18] มีหน่วยเป็น มก./ล.

(3) ความฝืดของตัวกรอง หมายถึงความดันของน้ำที่สูญเสียไปในตัวกรอง สามารถวัดได้จากค่าความแตกต่างระหว่างความดันของน้ำก่อนไหลผ่านตัวกรอง กับความดันของน้ำเมื่อไหลผ่านตัวกรองแล้ว มีหน่วยเป็น ซ.ม.

(4) อายุการกรอง หมายถึงระยะเวลาการกรองอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเริ่มตั้งแต่เมื่อความฝืดของตัวกรองมีค่าต่ำสุด หรือเมื่อระดับน้ำที่ผิวหน้าทรายมีค่าต่ำสุดไปจนกระทั่งเมื่อความฝืดของตัวกรองมีค่าสูงสุด ซึ่งในที่นี้กำหนดไว้ที่ 180 ซ.ม. อายุการกรอง มีหน่วยเป็น ซ.ม.

(5) เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย หมายถึงร้อยละของน้ำที่กรองแล้ว ตลอดอายุการกรอง ที่สูญเสียไปในการล้างทราย โดยการล้างแบบไหลกลับ สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\% \text{ น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างทรายที่เหมาะสม} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำที่กรองได้ตลอดอายุการกรอง}}$$

(6) CO_2 หรือคาร์บอนไดออกไซด์ หมายถึง คาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น มก./ล.

(7) ความเป็นด่าง หมายถึงความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรด มีหน่วยเป็น มก./ล. เทียบ $CaCO_3$

(8) D.O. หรือออกซิเจนละลาย หมายถึงออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีหน่วยเป็น มก./ล.

(9) อุณหภูมิ หมายถึงอุณหภูมิของน้ำมีหน่วยเป็น ^{o}C

(10) pH หมายถึงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $\left[H^{+}\right]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร $pH = -Log \left[H^{+}\right]$, H^{+} มีหน่วยเป็น โมล/ลิตร

(11) ความขุ่น หมายถึงความขุ่นของน้ำมีหน่วยเป็น NTU.

ตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรในการทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ

เครื่องมือทดลอง	ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)	ตัวแปรตาม (Dependent Variable)
เครื่องเติมอากาศในแบบทดลอง	อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ, ม./ช.ม.	เหล็กทั้งหมด, มก./ล. เหล็กเฟอร์รัส, มก./ล. CO_2 , มก./ล. ความเป็นด่าง, มก./ล. เทียบ $CaCO_3$ D.O. , มก./ล. อุณหภูมิ , ^{o}C pH ความขุ่น , NTU.
ระบบทรายกรองเร็วในแบบทดลอง	อัตราการกรอง, ม./ช.ม.	เหล็กทั้งหมด , มก./ล. เหล็กเฟอร์รัส, มก./ล. ความฝืดของตัวกรอง, ช.ม. อายุในการกรอง , ช.ม. เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียในการล้างทราย CO_2 , มก./ล. ความเป็นด่าง, มก./ล. เทียบ $CaCO_3$ D.O. , มก./ล. อุณหภูมิ , ^{o}C pH ความขุ่น , NTU.

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

เครื่องมือทดลอง	ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)	ตัวแปรตาม (Dependent Variable)
ระบบทรายกรองเร็วพร้อมเครื่องเติมอากาศในโรงประปา	อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ , ม./ช.ม.	เหล็กทั้งหมด , มก./ล. เหล็กเฟอร์รัส, มก./ล. อุณหภูมิ , °C pH ความขุ่น , NTU.

4.4 วิธีทดลอง

4.4.1 การทดลองขั้นที่ 1

การทดลองในขั้นนี้เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศที่เหมาะสม ด้วยการใช้เครื่องมือในแบบทดลองดังนี้

ก. เครื่องเติมอากาศตามด้วยระบบทรายกรองเร็ว

รายละเอียดของวิธีทดลอง มีดังนี้

(1) สูบน้ำดิบจากบ่อบาดาลลงบนถาดเครื่องเติมอากาศ ให้มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเป็น 12.5, 25, 37.5 และ 50 ม./ช.ม. ค่าละ 1 การทดลอง ส่วนการทดลองที่มีอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศเป็น ∞ ม./ช.ม. หรือการกรองโดยตรง ให้ควบคุมน้ำดิบให้ไหลเข้าถังควบคุมการไหลโดยไม่ต้องผ่านเครื่องเติมอากาศ ในการกรองโดยตรงนี้จะต้องปิดฝาถังควบคุมการไหล เพื่อมิให้น้ำดิบในถังสัมผัสกับอากาศ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำดิบทำได้โดยใช้ประตูน้ำ และเครื่องวัดอัตราการไหล

(2) แต่ละการทดลอง ให้ควบคุมน้ำจากถังควบคุมการไหล ให้ไหลลงสู่ระบบทรายกรองเร็ว ให้มีอัตราการกรอง 5 ม./ช.ม. การควบคุมอัตราการไหลของน้ำจากถังควบคุมการไหลสามารถทำได้ โดยใช้ประตูน้ำ เครื่องวัดอัตราการไหล เครื่องแก้วตวงวัด และนาฬิกาจับเวลา

(3) ในระหว่างการกรอง ให้เก็บตัวอย่างน้ำทุก 3 ชั่วโมงด้วยขวดเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่า เหล็กทั้งหมด, เหล็กเฟอร์รัส, D.O., CO_2, ความเป็นด่าง, ความขุ่น, pH , อุณหภูมิ ณ จุดต่อไปนี้

(ก) ปากท่อส่งน้ำดิบ

(ข) จุดที่น้ำไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ

(ค) จุดที่น้ำไหลออกจากระบบทรายกรองเร็ว

(4) ขณะที่กำลังเก็บตัวอย่างน้ำในข้อ (3) ให้เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของตัวกรองที่ 0, 20, 40, และ 60 ซ.ม. พร้อมกันไปด้วย เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าเหล็กทั้งหมด และเหล็กเฟอร์รัส สำหรับตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 0 ซ.ม. ของตัวกรอง ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำที่ผิวหน้าทราย ให้นำไปวิเคราะห์ค่า D.O. ด้วย

(5) ในระหว่างการกรอง ให้วัดความฝืดในตัวกรองที่ระดับ 0, 20, 40, 60 และ 100 ซ.ม. ทุกชั่วโมง การวัดความฝืดทุกครั้งจะต้องวัดก่อนการเก็บตัวอย่างน้ำ

(6) ในการกรองแต่ละครั้ง ให้ทำการกรองตลอดอายุการกรองอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มกรองตั้งแต่ความฝืดของตัวกรองมีค่าต่ำสุด หรือระดับน้ำในถังกรองมีระดับต่ำสุด ไปจนกระทั่งความฝืดของตัวกรองมีค่าสูงสุดคือ 180 ซ.ม. ตามข้อกำหนดของ Hammer[29] และ Clark[16] จึงจะหยุดกรอง

(7) ในระหว่างการกรอง จะต้องคอยควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลลงบนถาดเติมอากาศ และอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรองให้มีค่าคงที่

(8) เมื่อหยุดกรองตามข้อ (6) ให้ทำการล้างทรายโดยการล้างแบบไหลกลับ โดยใช้อัตราการไหลของน้ำล้างไม่ต่ำกว่า 37.5 ม./ช.ม. ในระหว่างการล้าง

ให้เก็บตัวอย่างน้ำที่ระบายออกจากถังกรองไปวิเคราะห์ค่าความขุ่นทุก ๆ 2 – 5 นาที การล้างทรายนี้จะหยุดล้างเมื่อพบว่าความขุ่นของน้ำที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่าเกือบคงที่เมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป

(9) ภายหลังจากการล้างทรายเสร็จ ถ้าพบว่ามีสีของเหล็กเคลือบอยู่ในชั้นทราย ให้กำจัดสีดังกล่าวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้น 17 % หรือสารละลายของกรดเกลือ เทลงไปแช่ไว้ในชั้นทรายอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จากนั้นก็ทำการล้างแบบไหลกลับอีกครั้ง จะพบว่าทรายมีความสะอาดทุกครั้งเมื่อเริ่มทดลองใหม่

จากที่กล่าวมานี้ จะมี 5 การทดลอง จากนั้นให้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลอีกครั้งโดยทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย การทดลองละ 1 ครั้ง

ช. <u>เครื่องเติมอากาศตามด้วยถังตกตะกอน</u>

รายละเอียดของวิธีทดลองมีดังนี้

(1) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ ให้มีค่าเป็น 12.5, 25, 37.5 และ 50 ม./ช.ม. ค่าละ 1 การทดลอง

(2) แต่ละการทดลองให้ควบคุมน้ำจากถังควบคุมการไหล ให้ไหลลงสู่ถังตกตะกอนซึ่งไม่มีน้ำอยู่ในถัง ด้วยอัตราการไหล 0.098 $ม.^3$/ช.ม. จนกระทั่งน้ำล้นถัง (ที่อัตราการไหลนี้ เมื่อคำนวณเป็นอัตราน้ำล้นประมาณ 0.384 ม./ช.ม. และระยะเวลาเก็บกักจะมีค่าประมาณ 8 ชั่วโมง)

(3) เมื่อน้ำล้นถัง ให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ จุดที่น้ำไหลเข้าถัง และจุดที่น้ำไหลออกจากถังทุก ๆ 4 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าเหล็กทั้งหมด

4.4.2 <u>การทดลองชั้นที่ 2</u>

การทดลองในชั้นนี้ทดลองด้วยเครื่องมือในแบบทดลองเช่นเดียวกับชั้นที่ 1 ข้อ ก. เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสมโดยการแปรอัตรากรองให้มีค่าต่าง ๆ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศ ให้คงที่ไว้ ณ ค่าที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากการทดลองชั้นที่ 1 สำหรับอัตราการกรองให้แปรค่าเป็น 7.5, 10, 12.5 และ 15 ม./ช.ม. รายละเอียดของวิธีทดลอง นอกจากที่กล่าวมานี้เหมือนกับการทดลองในชั้นที่ 1 ทุกประการ

4.4.3 การทดลองขั้นที่ 3

การทดลองในขั้นนี้ทดลองด้วยระบบทรายกรองเร็ว พร้อมด้วยเครื่องเติมอากาศในโรงประปา เพื่อยืนยันผลการทดลองในขั้นที่ 1 รายละเอียดของวิธีทดลองมีดังนี้

(1) ทำความสะอาดทรายกรองของเดิม โดยการล้างแบบไหลกลับ เพื่อกำจัดตะกอนเหล็ก ให้หลุดออกไปจากทรายกรองให้หมด จากนั้นให้ระบายน้ำออกจากถังกรองให้หมดจนกระทั่งทรายแห้ง

(2) เทสารละลายโซเดี่ยมไฮดร็อกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 17 % หรือสารละลายกรดเกลือ ลงไปในถังกรองให้ท่วมชั้นทราย แล้วทิ้งไว้นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นทำความสะอาดทรายกรอง โดยการล้างแบบไหลกลับอีกครั้งหนึ่ง จนกว่าทรายกรองมีความสะอาด และปราศจากการเคลือบสีของเหล็ก

(3) สูบน้ำดิบจากบ่อบาดาลลงบนถาดเติมอากาศตามอัตราการสูบน้ำ ที่ได้เคยสูบจ่ายให้ประชาชนใช้เป็นประจำวัน ที่อัตราการสูบนี้เมื่อคิดเป็นอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศจะมีค่าไม่เกิน 12.5 ม./ช.ม. และอัตราการกรองจะมีค่าไม่เกิน 5 ม./ช.ม.

(4) เก็บตัวอย่างน้ำ ณ จุดที่เป็นน้ำดิบ, น้ำที่ไหลผ่านเครื่องเติมอากาศ และน้ำที่กรองแล้ว เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าเหล็กทั้งหมด, เหล็กเฟอร์รัส, pH , ความขุ่น และอุณหภูมิ

(5) สูบน้ำดิบจากบ่อบาดาลในอัตราการไหล เช่นเดียวกับข้อ (3) แต่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ถาดเติมอากาศให้คงที่ไว้ ณ ค่าที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากการทดลองในขั้นที่ 1 จากนั้นให้เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อ (4)

(6) เปรียบเทียบผลการทดลองในข้อ (3) กับข้อ (5)