บทที่ 3

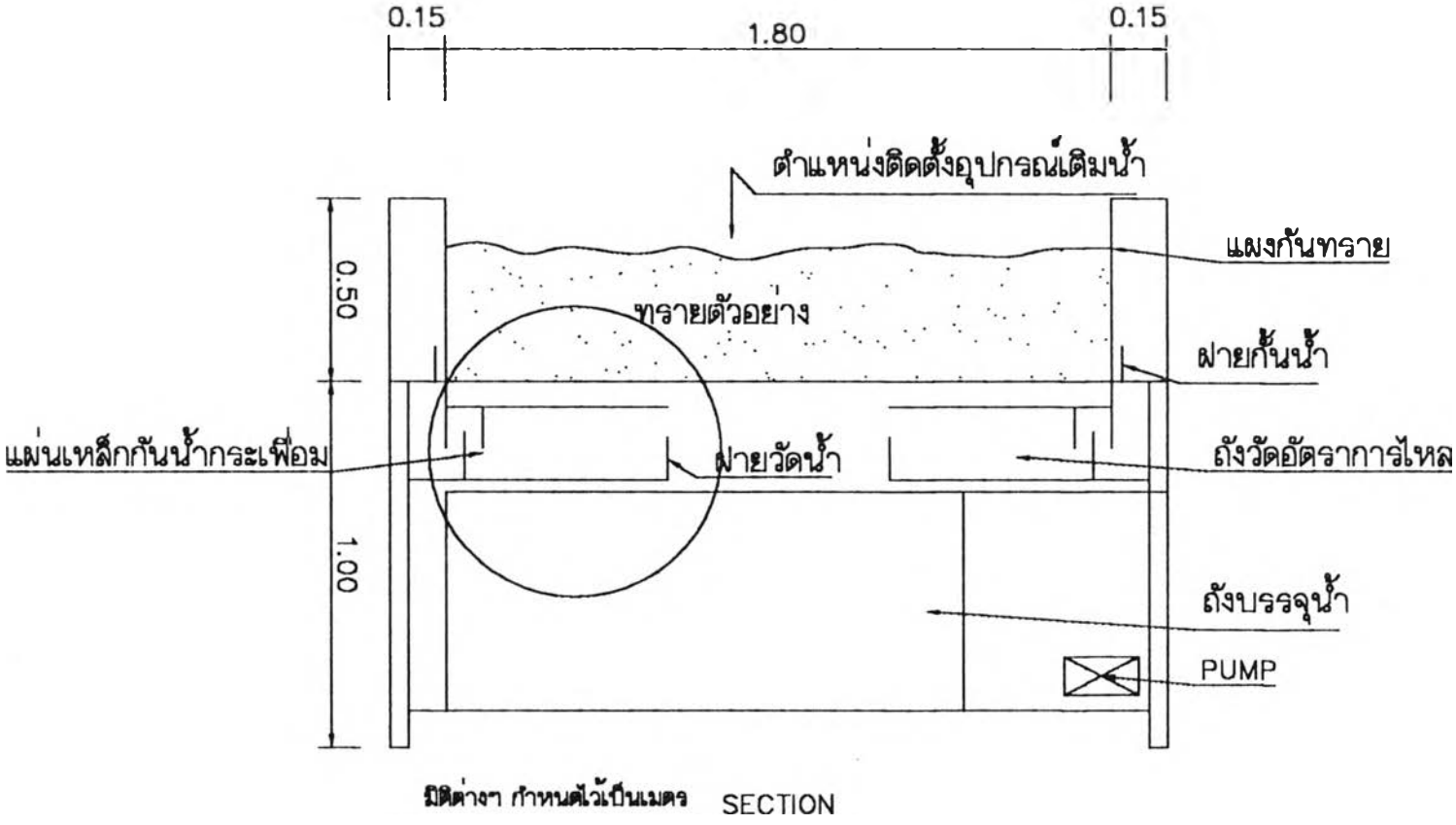
การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยแรงโน้มถ่วงของโลก กับการกระจายตัวของขนาดทรายนี้ จำเป็นต้องทราบค่าความนำชลศาสตร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของทรายตัวกลาง เพื่อใช้ในการพิจารณาผลการเติมน้ำในทรายตัวอย่างต่างๆ พร้อมทั้งสามารถพิจารณาผลการเติมน้ำในภาคสนาม โดยการสร้างแบบจำลองการเติมน้ำใต้ดินเพื่อใช้ศึกษาค่าความนำชลศาสตร์แนวราบ อัตราการซึม อัตราการเติมน้ำ เพื่อพิจารณาผลการเติมน้ำในทรายตัวอย่างขนาดต่างๆ โดยมีอุปกรณ์การทดลองเติมน้ำใต้ดิน และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

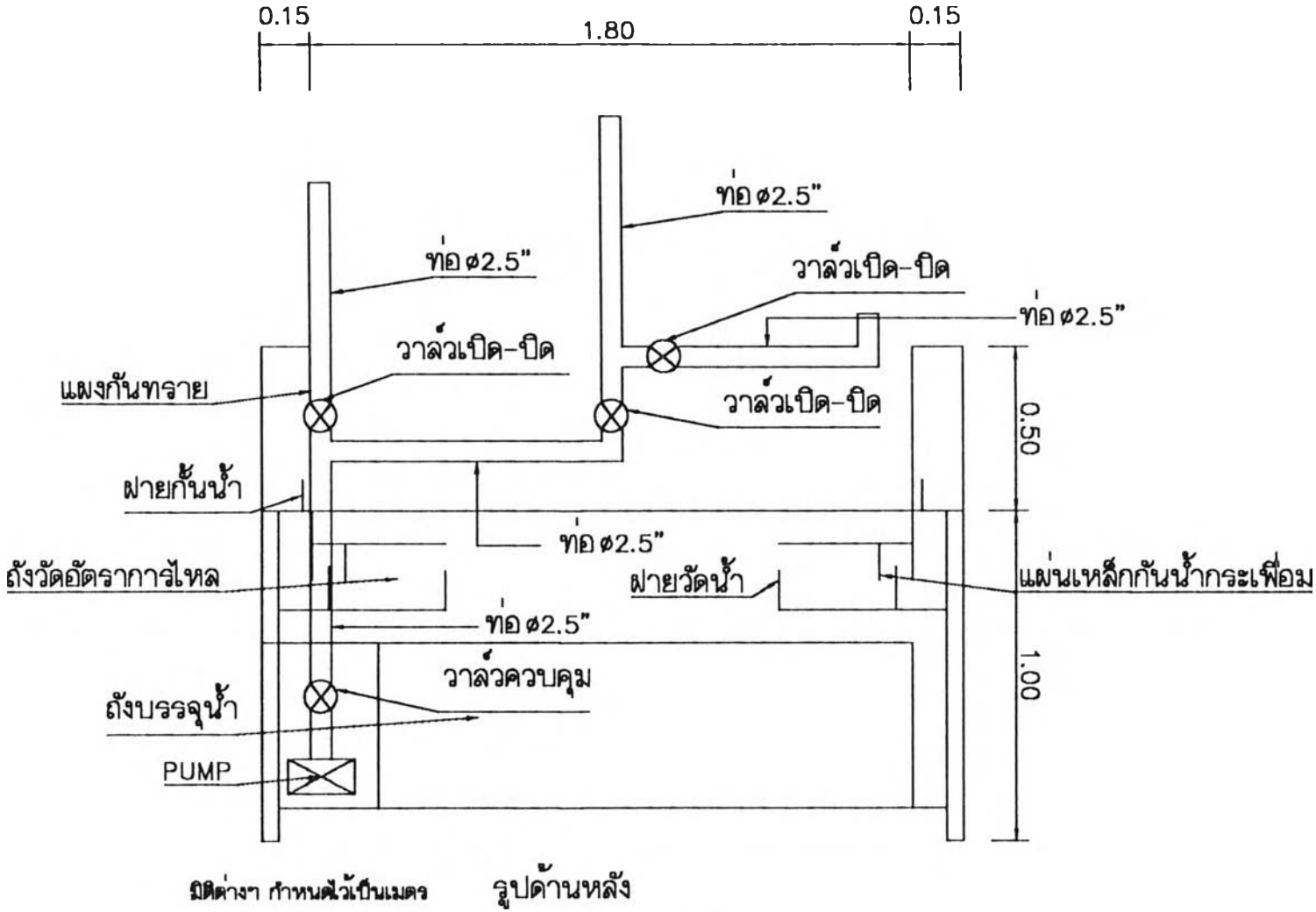
3.1 อุปกรณ์การทดลองน้ำใต้ดิน

ในการทดลองศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดิน เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของขนาดทราย มีการศึกษาทั้งการศึกษาในสนามและการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้มีการสร้างแบบจำลองทางกายภาพเพื่อใช้ศึกษา (1)ลักษณะการเคลื่อนที่ทางแนวราบของน้ำใต้ดิน (2)อัตราการซึมของน้ำใต้ดิน (3)การศึกษาอัตราการเติมน้ำใต้ดินที่ทรายตัวอย่างขนาดต่างๆ โดยลักษณะของการออกแบบแบบจำลองทางกายภาพนี้ ได้นำข้อมูลมาจากการทดลองภาคสนามในพื้นที่ของ โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินในจังหวัดกำแพงเพชร โดยมีลักษณะของอุปกรณ์การทดลองพร้อมทั้งส่วนประกอบในการวัดปริมาณน้ำ วัดระดับน้ำ และ การเติมน้ำ ดังนี้

3.1.1 แบบจำลองการเติมน้ำใต้ดิน โดยลักษณะของแบบจำลองนี้มีขนาดของแบบจำลอง กว้าง 1.0 เมตร ยาว 2.1 เมตร สูง 0.50 เมตร โดยใช้แผ่นเหล็กในการประกอบติดตั้งทั้งส่วนด้านข้างและส่วนหลังของแบบจำลอง โดยส่วนล่างของแบบจำลองเป็นเหล็กแผ่นเจาะเพื่อทำช่องขนาดกว้าง 0.25 เมตร ยาว 0.40 เมตร เพื่อนำทรายตัวอย่างที่ตกค้างขณะเปลี่ยนขนาดออก และส่วนหน้าของแบบจำลองทำด้วยกระจกใสเพื่อสะดวกในการสังเกตุการไหลของน้ำใต้ดิน โดยแบบจำลองนี้ตั้งอยู่บนโครงขาเหล็กสูง 1.0 เมตร ที่ติดตั้งพร้อมกับถังบรรจุน้ำเหล็กขนาด กว้าง 0.8 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 0.6 เมตร เพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำหมุนเวียนเพื่อใช้ในการทดลองทั้งหมด (รูปที่ 3-1) โดยระบบท่อน้ำที่ใช้ในแบบจำลองแสดงตำแหน่ง(รูปที่ 3-2)



รูปที่ 3-1 แบบจำลองน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3-2 ระบบเติมน้ำ

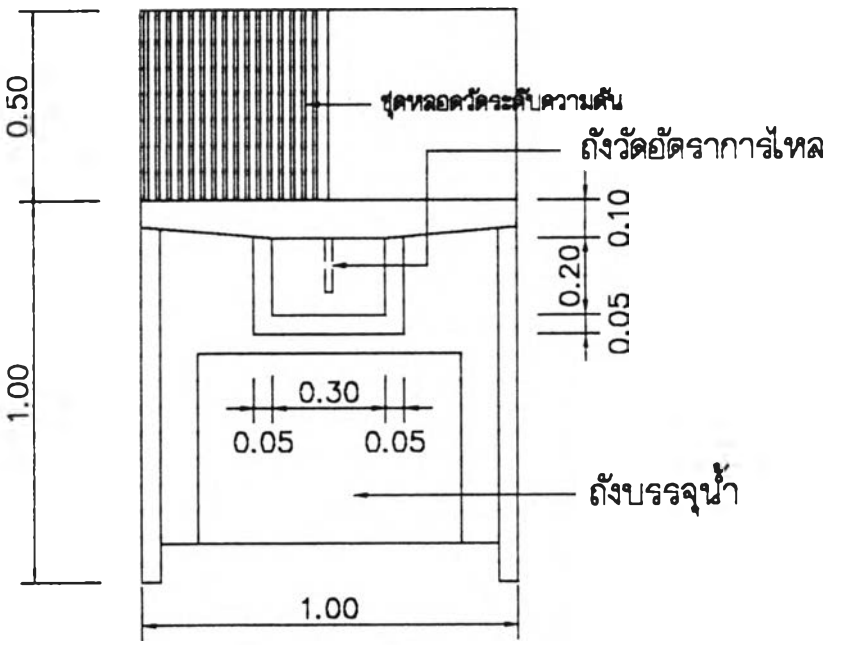
ลักษณะของแบบจำลองนี้เปรียบเสมือนขอบเขตของพื้นที่ทดลองในภาคสนาม และภายในของแบบจำลองบรรจุทรายตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ สูง 0.35 - 0.40 เมตร โดยทรายตัวอย่างถูกกั้นไว้ด้วยแผ่นกันทรายขนาด กว้าง 1.0 เมตร สูง 0.50 เมตรที่ถูกติดตั้งอยู่ทางด้านข้างของแบบจำลองทั้งสองด้าน (รูปที่ 3-1) ซึ่งสามารถกันทรายตัวอย่างไม่ให้ไหลลงสู่ช่องระบายน้ำด้านข้างของแบบจำลอง ซึ่งช่องระบายน้ำนี้ได้ติดตั้ง ทางส่วนล่างของแบบจำลองทั้งสองด้านเช่น โดยช่องระบายน้ำนี้สามารถควบคุมปริมาณการไหลออกโดยใช้แผ่นเหล็กที่สามารถปรับระดับสูง-ต่ำได้.

3.1.2 หลอดวัดระดับความดันน้ำ (piezometer) ในการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเติมน้ำใต้ดินกับการกระจายตัวของขนาดทรายนี้ ทำการหาระยะในแนวราบที่มีความสัมพันธ์ กับระยะในแนวดิ่งที่เป็นอัตราส่วนกัน (S=dh/dl) โดยลักษณะของหลอดวัดระดับความดันน้ำนี้ ติดตั้งภายนอกแบบจำลอง(รูปที่ 3-3) โดยผ่านสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 ซม. เข้าไปทางตำแหน่งด้านล่างของแบบจำลองที่เจาะรูพร้อมมีตะแกรงปิดกันทรายซึ่งหลอดวัดระดับความดันน้ำนี้ สามารถวัดระดับการเพิ่มหรือลดความดันน้ำภายในแบบจำลองตามแนวแกน X และ แนวแกน Y ทั้งหมด 39 ตำแหน่งโดยมีระยะห่างทางแนวราบและทางแนวดิ่ง 0.1 เมตร

การวัดระดับความดันน้ำในแบบจำลองนี้เปรียบเสมือนลักษณะ การศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบ่อบาดาลสังเกตการณ์ในการทดลองภาคสนาม ซึ่งลักษณะการวัดสามารถวัดอัตราส่วนระยะราบต่อระยะดิ่งได้ โดยลักษณะหลอดวัดระดับความดันน้ำ และตำแหน่งของหลอดวัดระดับความดันน้ำนี้ (รูปที่ 3-4)

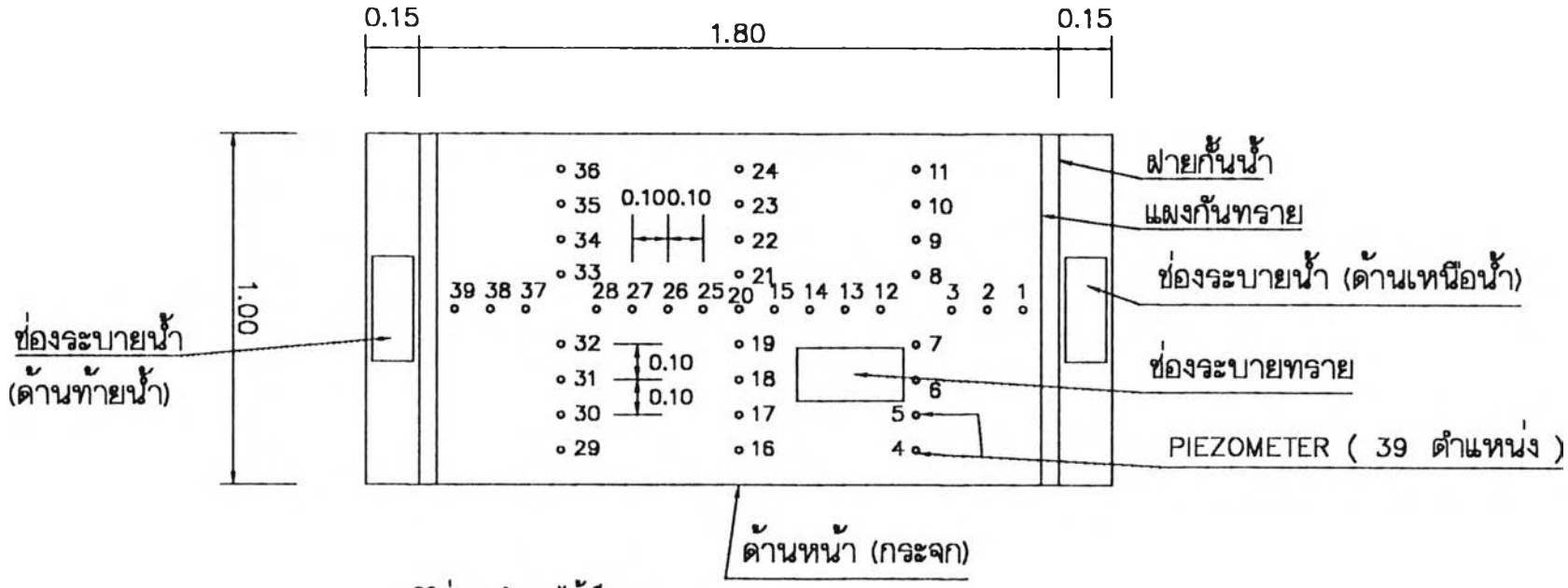
3.1.3 อุปกรณ์การเติมน้ำในแบบจำลอง ในการทดลองการเติมน้ำในแบบจำลองนี้มีการศึกษาการเติมน้ำโดยผ่านสระทดลองและผ่านบ่อบาดาลทดลอง โดยลักษณะการเติมน้ำผ่านสระทดลองนี้ทดลองโดยใช้แผ่นเหล็กขนาด กว้าง 0.1 เมตร ยาว 0.4 เมตร สูง 0.3 เมตร ลักษณะก้นสระเปิด โดยฝังก้นสระให้ลึกลงไปในทรายตัวอย่างประมาณ 5 ซม. ซึ่งลักษณะของการวางสระทดลองด้านยาววางตามแนวกึ่งกลางของแบบจำลอง (ตามแนวหลอดวัดระดับน้ำตำแหน่งที่ 18 - 22 ในรูปที่ 3-4)

การเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลทดลอง บ่อบาดาลทดลองนี้ทำจากท่อพลาสติก (P.V.C) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 1.0 เมตร โดยอุดปลายด้านล่างของท่อและเจาะช่อง



หน่วยเป็นเมตร

รูปที่ 3-3 รูปด้านข้าง



PLAN

รูปที่ 3-4 ตำแหน่งหลอดวัดระดับความดันน้ำ

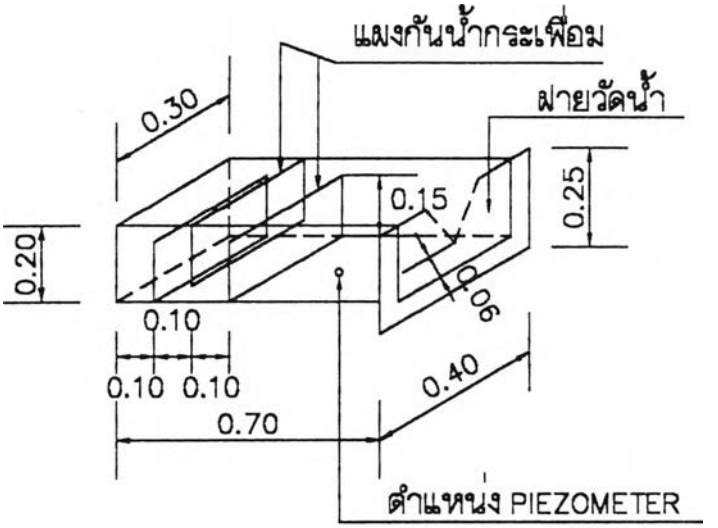
ด้านข้างเป็นแนวจำนวน 8 แนว กว้าง 0.01 ม. สูง 0.17 เมตร พร้อมพันตาข่ายกันทรายตามแนวเจาะซึ่งทำให้น้ำไหลออกทางด้านข้างโดยรอบ และส่วนด้านบนของท่อเจาะช่องระบายน้ำออกเพื่อกำหนดระดับน้ำเติม ที่ความสูง 0.50 0.60 0.70 0.80 และ 0.90 เมตร โดยตำแหน่งของบ่อบาดาลที่ติดตั้งนี้อยู่กึ่งกลางของแบบจำลอง (หลอดวัดระดับน้ำตำแหน่งที่ 20 ในรูปที่ 3-4)

ลักษณะของอุปกรณ์ทดลองนี้มีลักษณะเหมือนการเติมน้ำในการทดลองภาคสนาม โดยลักษณะของสระทดลองนี้ เป็นตัวแทนของสระเติมน้ำในพื้นที่ทดลองจังหวัดกำแพงเพชร และบ่อบาดาลที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการเปรียบกับบ่อบาดาลเติมน้ำในภาคสนาม บ่อ A (รูปที่ 4-3)

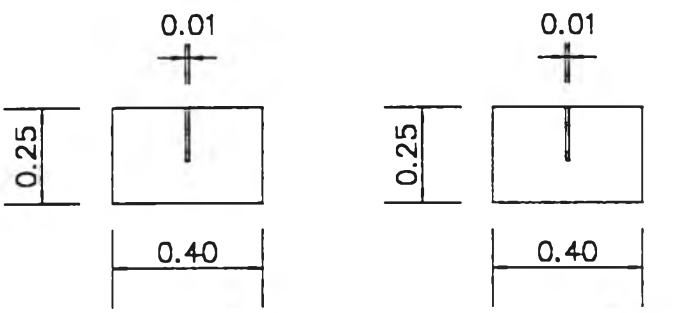
3.1.4 เครื่องสูบน้ำและระบบท่อ ในการทดลองการเติมน้ำนี้น้ำที่นำมาใช้ในการทดลอง แบบระบบหมุนเวียนโดยน้ำถูกส่งผ่านระบบท่อ (ท่อ P.V.C. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว) โดยการสูบน้ำจากถังบรรจุน้ำที่อยู่ทางด้านล่างของแบบจำลอง โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้มีอัตราการไหลสูงสุดที่ 1,000 ลิตร/นาที ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำที่ส่งผ่านระบบท่อโดยใช้วาล์วควบคุม (control valve) โดยน้ำนี้ถูกส่งผ่านท่อที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์การทดลองเติมน้ำ โดยน้ำสามารถไหลสู่สระทดลอง หรือบ่อบาดาลทดลองซึ่งตั้งอยู่กึ่งกลางของแบบจำลองในส่วนของการทดลองการเติมน้ำ ในขณะที่การทดลองในการหาค่าความนำชลศาสตร์และการทดลองอัตราการซึมนั้น น้ำถูกส่งผ่านจากระบบท่อมาทางด้านข้างของแบบจำลอง

3.1.5 ฝายทดน้ำ ในการทดลองการเติมน้ำผ่านสระทดลอง และการเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลทดลองนี้มีการกำหนดระดับน้ำใต้ดินในแบบจำลอง ซึ่งกำหนดระดับน้ำใต้ดินสูง-ต่ำโดยการใช้ฝายจำลองซึ่งฝายจำลองนี้ทำจากแผ่นเหล็กที่มีขนาดความยาว 1.0 เมตร สูง 0.05 0.10 0.15 0.25 เมตร ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งที่ติดตั้งฝายจำลองอยู่ทางด้านข้างของแบบจำลองทั้งสองด้าน โดยทำเป็นช่องเสียบแผ่นเหล็กลักษณะเช่นเดียวกับการใช้แผ่นกั้นน้ำ(stop log) อยู่ระหว่างแผ่นกันทรายและช่องระบายน้ำออก

3.1.6 ฝายวัดอัตราการไหล การทดลองในแบบจำลองนี้เมื่อทำการทดลองเติมน้ำผ่านอุปกรณ์ทดลองน้ำ และน้ำที่ได้จากการทดลองเติมน้ำไหลออกทางช่องระบายน้ำทั้งสองด้านของแบบจำลองผ่านลงสู่ถังที่ติดตั้งฝายวัดน้ำ (รูปที่ 3-5) ที่สอบเทียบค่า (ภาคผนวก ข.) เพื่อตรวจสอบปริมาณการไหลของน้ำ จากระดับน้ำในถังที่วัดปริมาณน้ำที่ติดตั้งแผ่นเหล็กเป็นช่วงๆ เพื่อ

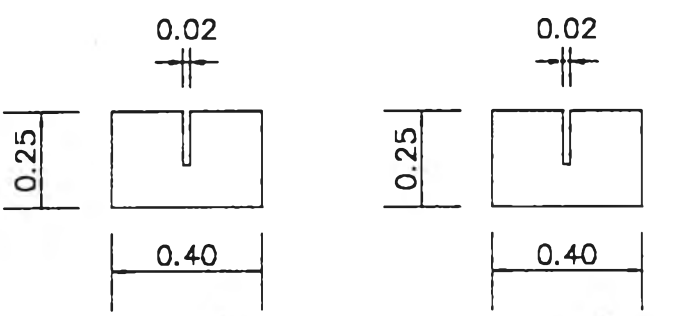


รูปขยายถังวัดอัตราการไหล



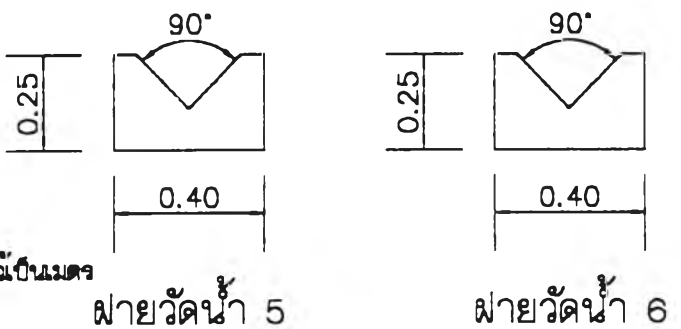
ฝายวัดน้ำ 1

ฝายวัดน้ำ 2



ฝายวัดน้ำ 3

ฝายวัดน้ำ 4



ฝายวัดน้ำ 5

ฝายวัดน้ำ 6

รูปที่ 3-5 ฝายวัดปริมาณน้ำ

ป้องกันการกระเพื่อมของน้ำ และสามารถวัดระดับของน้ำที่ผ่านฝายวัดน้ำจากหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ติดตั้งในถังวัดน้ำทั้งสองตัวนี้

โดยฝายวัดอัตราการไหลในการทดลองเติมน้ำ ใช้ฝายสี่เหลี่ยมสันคมที่มีขนาดความกว้างของช่องเปิด 1 ซม. จำนวน 2 ตัว ฝายลักษณะสี่เหลี่ยมสันคมที่มีขนาดความกว้างของช่องเปิด 2 ซม. จำนวน 2 ตัว และ ฝายสามเหลี่ยมสันคม 90 $^{\circ}$ จำนวน 2 ตัว โดยการทดลองเติมน้ำนี้กำหนดหมายเลขของฝายวัดน้ำ ผลการสอบเทียบค่าอัตราการไหลถึงความสูงน้ำล้นของฝาย (ตารางที่ 3-1)

ตารางที่ 3-1 ผลการสอบเทียบฝายวัดอัตราการไหล

ฝายหมายเลข	ชนิด	ผลการสอบเทียบ
1	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 1 ซม.	$Q = 0.015H^{1.45}$
2	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 1 ซม.	$Q = 0.015H^{1.50}$
3	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 2 ซม.	$Q = 0.042H^{1.46}$
4	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 2 ซม.	$Q = 0.041H^{1.46}$
5	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสามเหลี่ยม 90°	$Q = 0.014H^{2.45}$
6	ฝายวัดน้ำสันคมแบบสามเหลี่ยม 90°	$Q = 0.013H^{2.50}$

3.1.7 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำ โดยสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำก่อนการทดลองหาค่าความนำชลศาสตร์ในแนวราบ การทดลองอัตราการซึม การทดลองอัตราการเติมน้ำในกรณีของสระเติมน้ำ และ บ่อบาดาลเติมน้ำ โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ทำงานโดยใช้แรงดันของน้ำที่ผ่านเข้ามาไปดันลูกลอยยาง เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำโดยตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลในระบบของการหมุนเวียนน้ำนั้น ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลต่อจากวาล์วควบคุม โดยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลนี้สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำตั้งแต่ 0-500 ลิตร/นาที

3.1.8 ประตูน้ำ (valve) ในแบบจำลองน้ำใต้ดินนี้ มีระบบควบคุมการหมุนเวียนของน้ำในการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเติมน้ำตามลักษณะการทดลอง โดยใช้ประตูน้ำในลักษณะต่างๆ อันประกอบไปด้วย

- วาล์วควบคุม (control valve) ขนาด ∅ 2.5 นิ้ว จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้ปรับ เพิ่ม-ลด อัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องสูบน้ำ โดยติดตั้งในระบบท่อต่อจากปั๊มน้ำด้านทางออก ก่อนผ่านเข้าอุปกรณ์วัดอัตราการไหล เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องสูบน้ำ

- วาล์วเปิด-ปิด (ball valve) ขนาด ∅ 0.5 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้เร่งระบายน้ำออกจากแบบจำลอง หรือประโยชน์ในการระบายน้ำขณะล้างแบบจำลองระหว่างเปลี่ยนขนาดทราย โดยวาล์วเปิด-ปิด ขนาด ∅ 0.5 นิ้ว จำนวน 2 ตัวนี้ ติดตั้งทางด้านล่างของแบบจำลอง

- วาล์วเปิด-ปิด ขนาด ∅ 1 นิ้ว จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้ระบายน้ำออกจากถังบรรจุน้ำด้านล่าง

- วาล์วเปิด--ปิด ขนาด ∅ 2.5 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้ปรับทิศทางการไหลของน้ำ โดยสามารถปรับทิศทางการไหลในท่อให้เป็นไปตามลักษณะการทดลอง โดยการทดลองค่าความนำชลศาสตร์แนวราบ ใช้การเติมน้ำทางด้านข้างของแบบจำลอง โดยน้ำที่นำมาเติมผ่านระบบท่อทางด้านเหนือน้ำของแบบจำลองน้ำใต้ดิน

3.2 <u>อุปกรณ์การทดลองการกระจายตัวของขนาดทราย</u>

การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินกับการกระจายตัวของขนาดทรายนี้ ในส่วนของทรายตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองซึ่งใช้ทรายเป็นตัวกลางจำเป็นต้องหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (D_{50}) ของทรายตัวอย่างขนาดต่างๆกันโดยใช้อุปกรณ์ในการทดลองการหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดทรายเฉลี่ย โดยนำตัวอย่างทรายขนาดที่กำหนด (ภาคผนวก ก.) มาอบให้แห้งก่อนร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งตะแกรงนี้มีขนาดตั้งแต่ 9.50 ,4.76, 2.36, 1.19, 0.59, 0.30, 0.149, 0.074 และถาดรองทราย วางเรียงซ้อนกันจากด้านบนลงล่าง (รูปที่ 3-6) และนำตัวอย่างทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักของทรายตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

โดยการศึกษานี้ ได้นำทรายมาเป็นตัวกลางให้น้ำผ่านหรือชั้นดินให้น้ำจึงแบ่งลักษณะของทรายที่ใช้โดยแบ่งประเภทของทรายตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งสามารถแบ่งทรายออกได้เป็น 7 ชนิด คือทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (uniform graded) 4 ตัวอย่าง ทรายที่มีขนาดคละกันดี (well graded) 1 ตัวอย่าง ทรายที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (gap graded) 1 ตัวอย่าง และทรายจากพื้นที่ทดลองในจังหวัดกำแพงเพชร 1 ตัวอย่าง

โดยทรายตัวอย่างทั้ง 7 ชนิดนี้นำมาหาค่าการค่าการกระจายตัว โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (sieve analysis) ขนาดต่างๆ ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับวัสดุจำพวก กรวด และ ทราย โดยสมการที่ใช้เป็นค่าที่กำหนดการกระจายตัวของขนาดทราย ซึ่งได้จากการร่อนทรายผ่านตะแกรงเพื่อนำมาหาเส้นโค้งการกระจายตัวในกระดาษ semi-log ระหว่างร้อยละของทรายที่ผ่านบนตะแกรงแต่ละขนาดกับขนาดตะแกรง

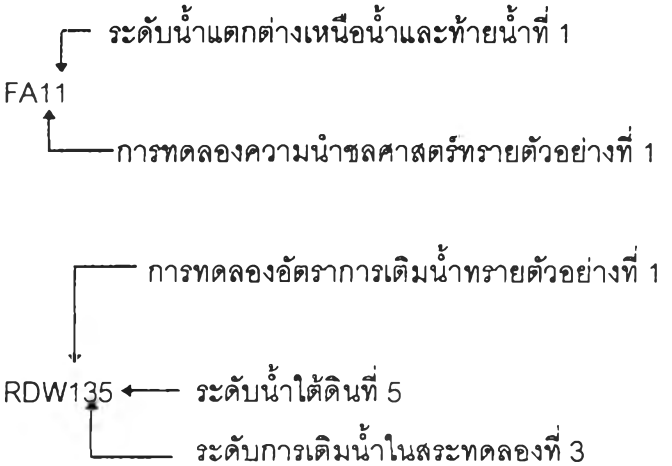
รูปที่ 3-6 ตะแกรงมาตรฐาน

3.3 เงื่อนไขการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในการศึกษานี้ได้กำหนดเงื่อนไขของการทดลอง โดยแบ่งเป็นการหาความนำชลศาสตร์ในแนวราบ อัตราการซึม และการหาอัตราเติมน้ำโดยสระและบ่อบาดาลที่มีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของขนาดทราย ซึ่งการทดลองนี้ใช้ทรายตัวอย่างหลักจำนวน 4 ชนิด และทรายที่คละกัน 3 ชนิด เป็นตัวกลางในการพิจารณา โดยการทดลองนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์และเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

F	หมายถึงการทดลองความนำชลศาสตร์ของทรายตัวอย่าง	(F1-F7)
R	หมายถึงการทดลองอัตราการเติมเติมน้ำของทรายตัวอย่าง	(R1-R7)
A	หมายถึงระดับความแตกต่างด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ เมื่อ (5,10,10,...,40)	(A1-A8)
B	หมายถึงระดับน้ำเหนือทรายตัวอย่าง (1,5,10,15)	(B1-B4)
C	หมายถึงระดับน้ำเติมในบ่อบาดาลดลอง (50,60,70,80,90)	(C1-C5)
D	หมายถึงระดับน้ำเติมในสระทดลอง (1,5,10,15)	(D1-D4)
W	หมายถึงระดับน้ำใต้ดิน (0,5,10,15,25)	(W1-W5)



3.3.2 เงื่อนไขการทดลอง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเทียบกับการกระจายตัวของขนาดทราย แบ่งจำนวนชุดการทดลองออกเป็นสองกรณีดังข้อ 3.3 โดยในแต่ละกรณีมีสองชุดการทดลอง รวมชุดการทดลองหลัก 4 ชุดดังนี้

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลอง	ลักษณะการทดลอง	สัญลักษณ์/จำนวน
1	ความนำชลศาสตร์ในแนวราบ (K_H)	FA11-FA18 / 56
2	อัตราการซึม (K_Z)	FB11-FB74 /28
3	อัตราการเติมน้ำ (K_R) กรณีสระ	RDW111-RDW745 / 140
4	อัตราการเติมน้ำ (K_R)กรณีบ่อบาดาล	RCW111-RCW753 / 105
รวมชุดการทดลองในห้องปฏิบัติการจำนวน 329 ชุดการทดลอง		

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการของการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อเทียบกับการกระจายตัวของขนาดทรายนี้ การทดลองใช้แบบจำลองการเติมน้ำใต้ดิน โดยการทดลองได้แบ่งชุดการทดลองในห้องปฏิบัติการออกเป็น 5 ชุดการทดลองหลักคือ (1) การทดสอบค่าการกระจายตัวของขนาดทราย (2) การทดลองหาค่าความนำชลศาสตร์ในแนวราบ K_H (horizontal hydraulic conductivity) (3) การทดลองหาค่าอัตราการซึม K_Z (infiltration) (4) การทดลองเติมน้ำโดยใช้สระทดลองผ่านทรายตัวอย่างแต่ละขนาด (5) การทดลองเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลทดลองในทรายตัวอย่างแต่ล่ขนาด โดยผลการทดลองเติมน้ำเป็นผลที่ใช้ศึกษาหาค่าอัตราการเติมน้ำ K_R ผลของค่าความนำชลศาสตร์ตที่มีผลต่อการกระจายตัวของขนาดทราย การกระจายตัวของทรายขนาดต่างที่มีผลต่ออัตราการเติมน้ำโดยรวม การยกตัวของระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆภายในแบบจำลอง โดยขั้นตอนของการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดิน โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของขนาดทรายประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.4.1 การหาการกระจายตัวของขนาดทราย โดยการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อเทียบกับการกระจายตัวของขนาดทรายนี้ ได้กำหนดวิธีการที่ใช้หาค่าการกระจายตัวโดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรง (sieve analysis) โดยเริ่มจากนำทรายตัวอย่างจำนวน 7 ตัวอย่าง(F1-F7) อันประกอบไปด้วย ทรายตัวอย่างที่ 1 ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 มม. ทรายตัวอย่างที่ 2 ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มม.

ทรายตัวอย่างที่ 3 ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มม. ทรายตัวอย่างที่ 4 ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.125 ซึ่งเป็นทรายที่มีขนาดเท่ากัน (uniform graded) จากทรายหยาบถึงทรายละเอียด และจากนั้นนำทรายตัวอย่างที่ 1-4 มาคละกันโดยแบ่งการคละกันของตัวอย่างทรายเป็นทรายตัวอย่างที่ 5 ทรายที่มีขนาดคละกันดี (well graded) ซึ่งทรายตัวอย่างที่ 5 นี้คละโดยนำทรายตัวอย่างที่ 1 - 4 ตัวอย่างละ 20% พร้อมทั้งทรายตัวอย่างที่ 6 ซึ่งเป็นทรายที่ได้จากพื้นที่ทดลองภาคสนาม จังหวัดกำแพงเพชร 20% มาคละกันก่อนที่นำไปหาขนาดทรายเฉลี่ยโดยการร่อนผ่านตะแกรง และทรายตัวอย่างที่ 7 นี้คละทรายตัวอย่างที่ 1 - 4 ชนิดนี้ให้เป็นแบบขาดช่วง (gap graded) โดยนำทรายตัวอย่างชนิดนี้เป็นส่วนผสมของทรายทั้ง 4 ชนิด โดยใช้ทรายตัวอย่างที่ 1 35% ทรายตัวอย่างที่ 2 10 % ทรายตัวอย่างที่ 3 35% และทรายตัวอย่างที่ 4 20% มาคละกันก่อนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

หลังจากกำหนดตัวอย่างทรายที่นำมาร่อนผ่านตะแกรงแล้ว ได้นำทรายตัวอย่างแต่ละชนิดประมาณ 1,000 กรัม ไปอบให้แห้งก่อนที่นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดตั้งแต่ 9.50, 4.76, 2.36, 1.19, 0.59, 0.30, 0.149, 0.074 และถาดรองทรายที่วางเรียงซ้อนกันจากบนลงล่าง และนำตัวอย่างทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาชั่ง เพื่อหาน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด ก่อนที่นำผลของร้อยละสะสมของน้ำหนักทรายที่ค้างบนตะแกรงนี้ไปหาค่า ร้อยละสะสมของตัวอย่างทรายที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เพื่อนำค่าของร้อยละสะสมของทรายที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดกับขนาดตะแกรงไปหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ ในกระดาษ semi-log ซึ่งจากผลของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงกับร้อยละสะสมของทรายที่ผ่านตะแกรง สามารถหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางทรายเฉลี่ย (D_{50})ได้

นอกจากนี้ในทรายตัวอย่างที่ 5 และ ทรายตัวอย่างที่ 7 ซึ่งเป็นทรายที่นำมาคละกัน นอกจากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดตะแกรงกับค่าร้อยละสะสมของทรายที่ผ่านตะแกรง สามารถหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางทรายเฉลี่ย(D_{50})ได้แล้ว ยังสามารถหาค่าการกระจายตัวของทรายว่า มีขนาดคละกันหรือสม่ำเสมออย่างไร ($C_u = D_{60}/D_{10}$) และค่าที่แสดงถึงทรายมีขนาดคละกันดีหรือไม่ ($C_c = D_{30}^2/(D_{10}*D_{60})$) โดยทรายทั้ง 7 ตัวอย่างมีค่า D_{50} C_u และ C_c ดัง(ตารางที่ 3-3) ตังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติทรายตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	D_{50}	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_c	C_u
1	1.20	0.90	0.12	1.20	0.90	1.47
2	0.70	0.51	0.70	0.70	1.37	1.37
3	0.39	0.22	0.38	0.39	1.68	1.77
4	0.19	0.12	0.18	0.19	1.42	1.50
5	0.72	0.16	0.40	1.00	1.00	6.25
6	0.68	0.34	0.51	0.80	0.95	2.35
7	0.29	0.12	0.21	1.50	0.25	12.5

3.4.2 การเตรียมการทดลอง โดยก่อนการทดลองในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนทรายแต่ละขนาดนั้นได้เตรียมการทดลองโดย

3.4.2.1 ใส่ทรายตัวอย่างที่ระดับความสูงตามข้อกำหนดของการทดลอง โดยการทดลองความนำชลศาสตร์ในแนวราบกำหนดความสูง 40 ซม. การทดลองอัตราการซึมกำหนด 30 ซม. และการทดลองอัตราการเติมน้ำโดยสระและบ่อบาดาลกำหนด 35 ซม.

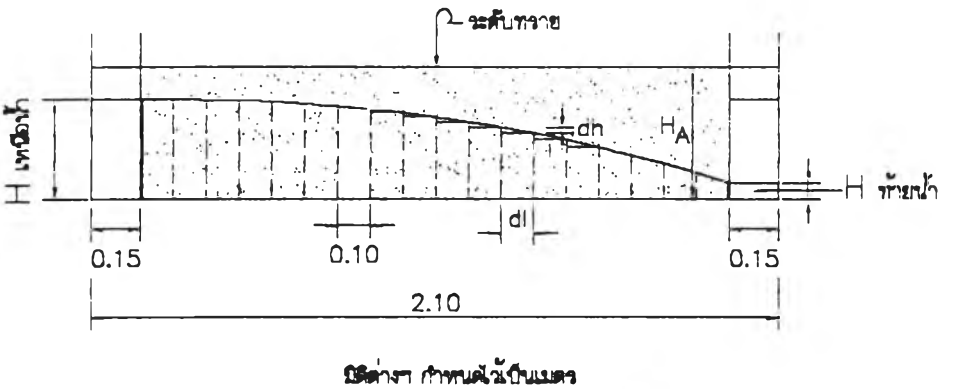
3.4.2.2 หลังจากเปลี่ยนขนาดทรายและใส่ทรายขนาดใหม่แล้ว ได้ขังน้ำเพื่อให้ทรายอิ่มตัวประมาณ 1 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

3.4.2.3 การไล่อากาศในหลอดวัดระดับความดัน การไล่อากาศนี้ทำโดยนำชุดหลอดวัดระดับความดัน จำนวน 39 หลอด มาคว่ำลงพื้นให้น้ำที่ค้างภายในหลอดไหลออกมา เพื่อไล่อากาศก่อนที่นำไปติดตั้งในตำแหน่งเดิม

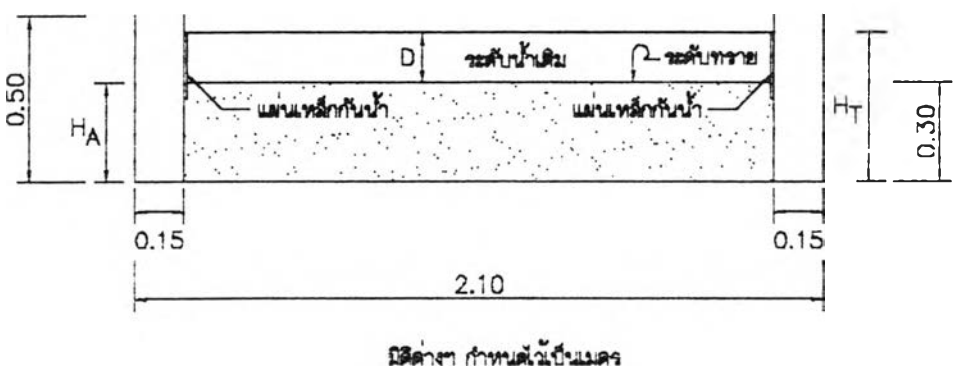
3.4.3 การทดลองการหาค่าความนำชลศาสตร์ในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity, K_H) การทดลองนี้นำทรายตัวอย่างแต่ละชนิดจากข้อ 3.4.1 มาเป็นตัวกลางเพื่อใช้ทดลองในแบบจำลองน้ำใต้ดิน โดยการทดลองนี้กำหนดระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้มีระดับน้ำคงที่โดยใช้การปรับระดับบานประตูน้ำที่อยู่เหนือช่องเปิดด้านเหนือน้ำ โดยน้ำที่นำมาเติมผ่านจากระบบท่อที่สูบจากถังบรรจุน้ำด้านล่างของแบบจำลอง โดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างทรายจากด้านเหนือน้ำสู่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งระดับน้ำด้านท้ายน้ำกำหนดระดับน้ำคงที่ด้วยฝายจำลองที่มีระดับความสูงต่างๆ (รูปที่ 3-7)

การทดลองในแต่ละตัวอย่างทรายแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 8 ชุดการทดลอง (FA11-FA78) โดยกำหนดระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำที่ระดับความต่าง 5, 10, 15, 20, 25, 30 , 35 และ 40 ซม. (A1-A8) ตามลำดับ จากนั้นวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวกลางทรายขนาดต่างๆ โดยอาศัยความเร็วของการไหล และ ระดับน้ำที่ลดลงเมื่อเทียบกับระยะทางที่เพิ่มขึ้น และนำผลการทดลองการวัดความเร็วการไหลและค่าความชันทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) ของการทดลองของทรายแต่ละขนาด มาหาความสัมพันธ์ในรูปของกราฟเส้นตรง โดยความชันที่ได้นี้เป็นค่า horizontal hydraulic conductivity (K_H) ในทรายตัวอย่างแต่ละชนิดและสามารถวัดปริมาณน้ำที่เติมผ่านทรายตัวอย่างโดยอาศัยฝายวัดน้ำสันคม (V-notch weir) ที่ติดตั้งไว้ด้านล่างเครื่องมือทดลองโดยฝายวัดน้ำสันคมที่ใช้วัดปริมาณน้ำนี้ใช้ฝายวัดน้ำสันคมด้านท้ายน้ำ โดยที่การลดตัวลงของระดับน้ำ (drawdown) จากระดับน้ำด้านเหนือน้ำถึงระดับน้ำด้านท้ายน้ำนี้สามารถวัดได้จากหลอดวัดความดันน้ำ(piezometer) ที่ติดตั้งภายในแบบจำลองจำนวน 39 ตำแหน่ง โดยลักษณะของการวัดการลดตัวของระดับน้ำแสดงการลดตัวของระดับน้ำในแนว Y-Y ซึ่งกำหนดตำแหน่งของหลอดวัดความดันน้ำ ตำแหน่งที่ 1-3 , 7, 12-15 , 20 , 26-28 , 32 และ 37-39 (รูปที่ 3-4) ตามลำดับ โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความชันชลศาสตร์นี้ ใช้เวลาทดลองหาค่าความนำชลศาสตร์ในแนวราบ 20 นาที ต่อการทดลองระดับน้ำที่แตกต่างกัน 1 ค่า โดยการทดลองนี้เลือกใช้ตำแหน่งหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ตำแหน่ง 7, 12-15, 20, 26-28 และ 32 (รูปที่ 3-4) มาคำนวณระดับความสูงของน้ำ เทียบกับระยะทางระหว่างหลอดวัดระดับความดันตำแหน่งต่างๆ เพื่อให้ค่าความชันชลศาสตร์ถูกต้องมากขึ้น โดยการทดลองแสดงในภาคผนวก ค.

3.4.4 การทดลองการหาค่าอัตราการซึม (infiltration rate, K_z)โดยการทดลองนี้ใช้ทรายตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.4.3 โดยลักษณะที่แตกต่างจากการทดลองข้อ 3.4.3 คือลักษณะของการเติมน้ำ โดยการเติมน้ำทดลองนี้น้ำที่เติมเข้าสู่แบบจำลองน้ำใต้ดินจากระบบท่อที่ส่งผ่านมาจากการสูบในถังบรรจุน้ำด้านล่าง มาเติมบนแบบจำลองทางด้านบน(เหนือทรายตัวอย่าง) โดยน้ำที่เติมสู่แบบจำลองนี้ถูกเก็บที่ระดับความสูงเหนือทรายกรองจำนวน 4 ค่า (B1-B4) โดยวิธีการกำหนดระดับน้ำได้ใช้แผ่นเหล็กกั้นน้ำติดตั้งเหนือทรายตัวอย่าง (รูปที่ 3-8) โดยสามารถควบคุมปริมาณน้ำจากวาล์วควบคุม เพื่อไม่ให้น้ำล้นออกจากแผ่นเหล็กที่กำหนดที่ระดับความสูงตามเงื่อนไขการทดลอง โดยการทดลองหาค่าอัตราการซึมมีการทดลองทั้งหมด 4 ชุด ในตัวอย่างทรายแต่ละขนาด (FB11-FB74)



รูปที่ 3-7 การทดลองความน้ำชลศาสตร์แนวราบ

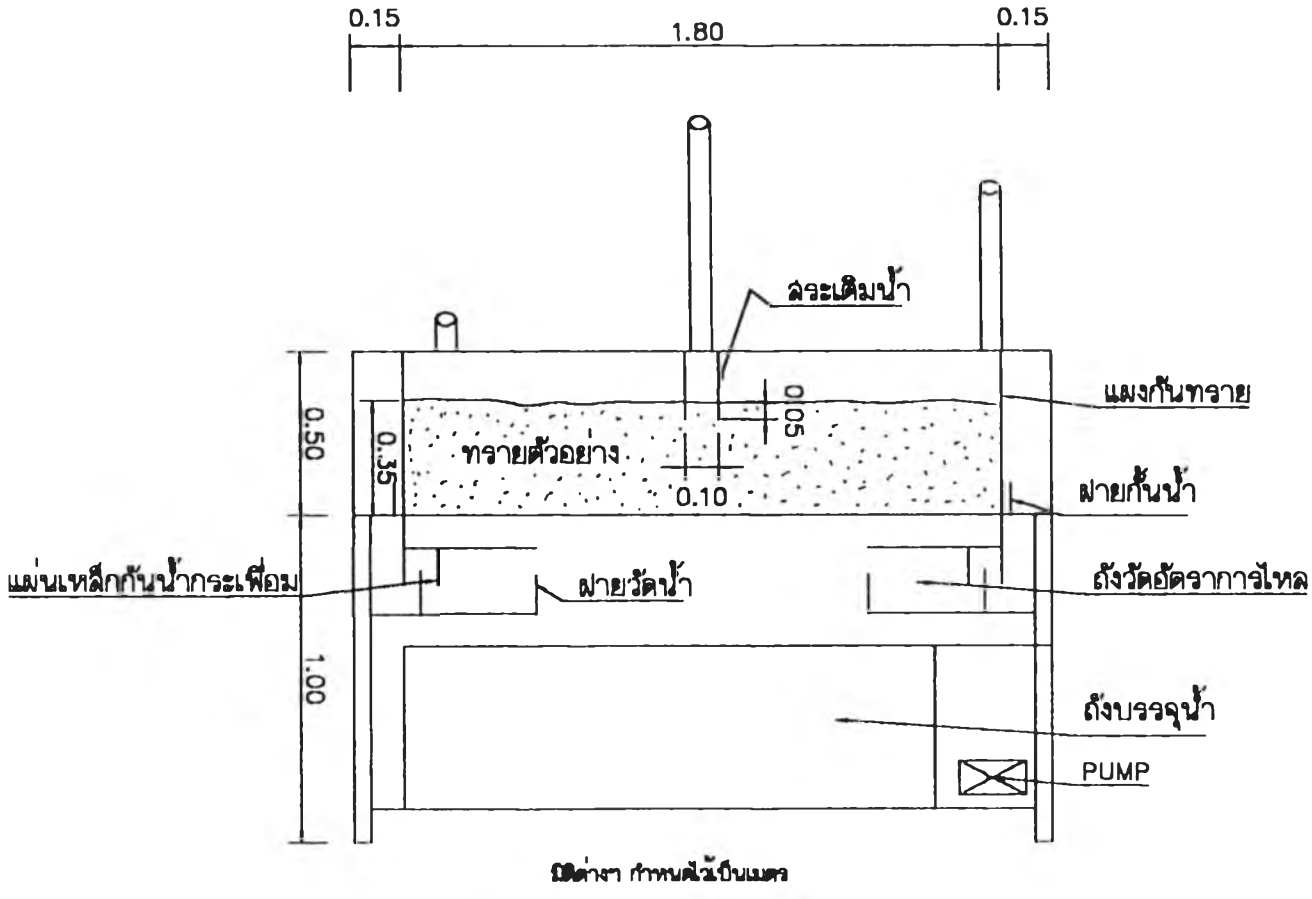


รูปที่ 3-8 การทดลองอัตราการซึม

ระดับที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองนี้คือ 1 , 5 , 10 และ 15 ซม. เหนือทรายตัวอย่างตามลำดับ ในขณะที่ทรายตัวอย่างในแบบจำลองน้ำใต้ดินนี้มีความสูงประมาณ 30 ซม. จากนั้นวัดปริมาณการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างทรายในแต่ละชนิด โดยปล่อยให้น้ำในแบบจำลองที่ถูกเติมทางด้านบนของแบบจำลองซึมผ่านตัวอย่างทรายผ่านลงช่องรับน้ำและผ่านสู่ถังวัดปริมาณน้ำทั้งสองด้านของแบบจำลอง ซึ่งผลจากระดับน้ำที่ผ่านฝายวัดน้ำนี้สามารถหาค่าอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยรวม(Q) (ภาคผนวก ค.) โดยค่าอัตราการซึม (K_z) ของน้ำผ่านตัวกลางแต่ละชนิดเป็นผลมาจากอัตราส่วนของอัตราการเติมน้ำโดยรวมเทียบกับพื้นที่ที่ความชันชลศาสตร์นั้นๆ

3.4.5 การทดลองอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในลักษณะของสระเติมน้ำทดลองที่มีลักษณะก้นสระทดลองแบบเปิด ซึ่งการทดลองนี้ใช้ข้อกำหนดของทรายตัวอย่างตามข้อ 3.4.1 และลักษณะของการทดลองเติมน้ำโดยใช้สระทดลองนี้มีลักษณะการทดลองคล้ายกับการทดลองหาค่าอัตราการซึม(K_z) โดยลักษณะแตกต่างระหว่างการทดลองหาค่าอัตราการซึมและการหาอัตราการเติมน้ำโดยใช้สระทดลองนี้คือ การทดลองอัตราการเติมน้ำนี้ได้กำหนดระดับน้ำใต้ดินที่ระดับต่างๆตามเงื่อนไขการทดลองและการเติมน้ำลักษณะของสระทดลองนี้เติมผ่านสระทดลองที่จำลองขึ้นในขนาด กว้าง 10 ซม. ยาว 40 ซม. สูง 30 ซม. โดยตำแหน่งของสระทดลองวางในแนว Y-Y ในตำแหน่งของหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ 18-22 ในขณะที่ภายในของแบบจำลองบรรจุทรายตัวอย่างแต่ละขนาดมีความสูงประมาณ 35 ซม. โดยส่วนเปิดของสระทดลองด้านล่างนี้ถูกฝังอยู่ในระดับทรายตัวอย่าง 5 ซม. (รูปที่ 3-9)

การทดลองเป็นการเติมน้ำแบบต่อเนื่องโดยใช้เวลาในการทดลองการหาอัตราการเติมน้ำโดยใช้สระทดลองที่ระดับการเติมน้ำและระดับน้ำใต้ดินแต่ละชุดการทดลอง ประมาณ 30 นาที โดยที่จำนวนชุดการทดลองการเติมน้ำโดยใช้สระทดลองนี้ สามารถแบ่งชุดการทดลองตามลักษณะของระดับการเติมน้ำในสระทดลองที่อยู่เหนือทรายตัวอย่างโดยระดับของการเติมน้ำในสระทดลองมีค่า 1, 5 , 10 และ 15 ซม.(D1-D4) เหนือทรายตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง ซึ่งระดับน้ำที่กำหนดให้คงที่นี้โดยเจาะช่องตามระดับความสูงของแบบจำลอง และน้ำส่วนที่เกินจะไหลออกสู่ถาดรองรับน้ำ โดยในแต่ละระดับการเติมน้ำในสระทดลองนั้นกำหนดระดับน้ำใต้ดินโดยใช้ฝายจำลองที่มีระดับความสูง 5 , 10 , 15 , 25 ซม. และ การทดลองที่ไม่มีการใช้ฝายกั้นน้ำ คือ 0 ซม. (W1-W5) (รูปที่ 3-10)



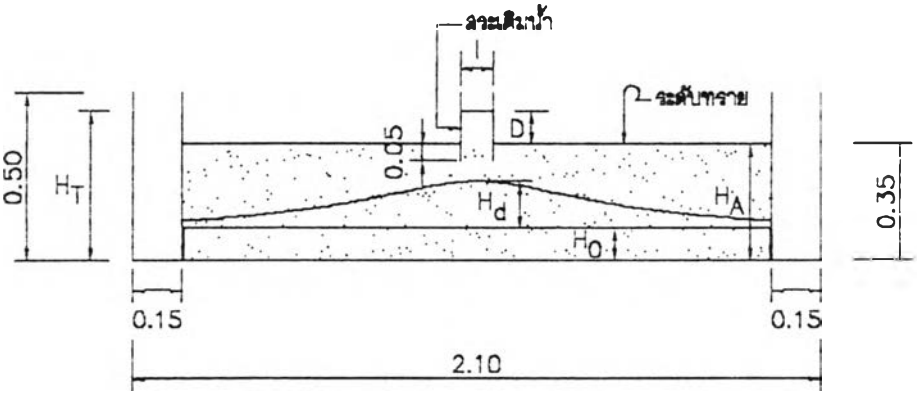
รูปที่ 3-9 ตำแหน่งเติมน้ำโดยละ

การทดลองการเติมน้ำโดยใช้สระทดลองนี้สามารถแบ่งจำนวนชุดการทดลองได้เป็น 20 ชุดการทดลองในแต่ละขนาดของทรายตัวอย่าง โดยปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระทดลองวัดโดยใช้ฝายวัดน้ำที่ติดตั้งทางด้านข้าง (ด้านเหนือน้ำ และ ด้านท้ายน้ำ) ของแบบจำลองโดยฝายวัดน้ำนี้ได้สอบเทียบเพื่อหาปริมาณน้ำ (ภาคผนวก ข) ชนิดของฝายวัดน้ำนี้เปลี่ยนชนิดและขนาดให้เหมาะสม กับปริมาณน้ำจากระดับความสูงเหนือฝายแต่ละตัว

นอกจากการหาปริมาณการเติมน้ำผ่านทรายตัวอย่างแล้ว แบบจำลองการเติมน้ำนี้ใช้หาระดับการลดลงของระดับน้ำจากสระทดลอง (drawdown) เพื่อหาระดับการยกตัวของระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ซึ่งในแบบจำลองนี้ใช้หลอดวัดระดับความดันที่ติดตั้งตามตำแหน่งในแบบจำลองเป็นตำแหน่งเก็บข้อมูล โดยผลการทดลองเติมน้ำเพื่อหาลักษณะการยกตัวของระดับน้ำแนว X-X โดยหลอดวัดระดับความดันน้ำที่นำมาศึกษาระดับการยกตัวของระดับน้ำใช้ผลการทดลองจากหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ตำแหน่ง 1-3 , 4, 7- 8, 11-16 , 19-21 , 24- 29 , 32- 33 และ 36-39 ตามลำดับ (รูปที่ 3-4)

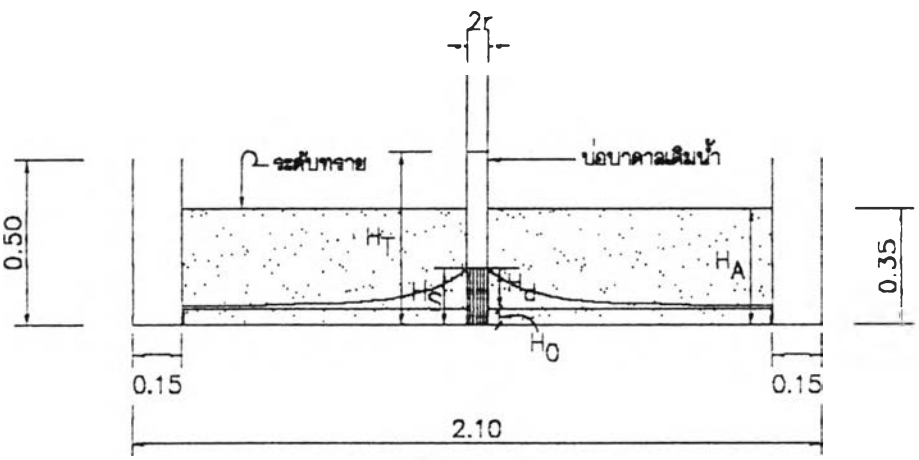
ผลของการทดลองอัตราการเติมน้ำผ่านสระทดลอง ในตัวอย่างทรายแต่ละขนาดนี้ สามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการกระจายตัวของขนาดทราย กับอัตราการเติมน้ำโดยรวม(Q_r) และอัตราการเติมน้ำ(K_R) อัตราการเติมน้ำโดยรวมที่เปลี่ยนแปลงกับระยะการยกตัวของระดับน้ำเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินในทรายตัวอย่างขนาดต่างๆ

3.4.6 การทดลองอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในลักษณะของบ่อบาดาลเติมน้ำ การเติมน้ำโดยใช้บ่อบาดาลนี้ใช้ข้อกำหนดของทรายตัวอย่างตามข้อ 3.4.1 โดยลักษณะของบ่อบาดาลทดลองเป็นแบบปลายท่อปิดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. มีแนวช่องเปิดยาว 17 ซม.จำนวน 8 แนว พันรอบด้วยแผ่นกันทราย ติดตั้งในตำแหน่งของหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ตำแหน่ง 20 ในขณะที่ทรายตัวอย่างมีความสูง 35 ซม. โดยกำหนดระดับของน้ำใต้ดินที่ระดับ 5 ซม. 10 ซม. และไม่มีระดับน้ำใต้ดิน คือ 0 ซม. (W1-W3) และบ่อบาดาลจำลองนี้กำหนดระดับการเติมน้ำ ที่ระดับความสูงของบ่อบาดาล 50 , 60 , 70 , 80 , และ 90 ซม.(C1-C5) (รูปที่ 3-11) โดยลักษณะการเติมน้ำเป็นการเติมน้ำอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการเติมน้ำผ่านสระทดลองโดยระดับน้ำที่กำหนดคงที่นั้น ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเติมน้ำโดยสระทดลอง และเวลาที่ใช้ทดลองแต่ละชุดการทดลองประมาณ 30 นาที



มิติต่างๆ กำหนดไว้เป็นเมตร

รูปที่ 3-10 การทดลองอัตราการเติมน้ำโดยละระ



มิติต่างๆ กำหนดไว้เป็นเมตร

รูปที่ 3-11 การทดลองอัตราการเติมน้ำโดยบ่อบาดาล

การทดลองนี้ได้กำหนดชุดการทดลองในทรายตัวอย่างแต่ชนิดโดยที่แต่ละระดับของการเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลทดลองกำหนดระดับน้ำใต้ดิน 3 ระดับ ซึ่งสามารถกำหนดชุดการทดลองได้เป็น 15 ชุดการทดลองในแต่ละขนาดทรายตัวอย่าง โดยปริมาณน้ำที่เติมผ่านบ่อบาดาลทดลองวัดปริมาณน้ำที่เติมโดยใช้ฝายวัดน้ำที่ติดตั้งทางด้านข้าง(ด้านเหนือน้ำ และ ด้านท้ายน้ำ) ของแบบจำลองโดยฝายวัดน้ำนี้ได้สอบเทียบเพื่อหาปริมาณน้ำ (ภาคผนวก ข) ซึ่งในลักษณะของฝายวัดน้ำนี้เปลี่ยนชนิดและขนาดให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำ จากระดับความสูงเหนือฝายแต่ละตัว (รูปที่ 3-12)

นอกจากการหาปริมาณการเติมน้ำผ่านทรายตัวอย่างแล้ว แบบจำลองการเติมน้ำนี้ใช้หาระดับการลดลงของระดับน้ำจากบ่อบาดาลทดลอง (drawdown) เพื่อหาระดับการยกตัวของระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ซึ่งในแบบจำลองนี้ใช้หลอดวัดระดับความดันที่ติดตั้งตามตำแหน่งในแบบจำลองเป็นตำแหน่งที่เก็บข้อมูล โดยผลการทดลองเติมน้ำเพื่อหาลักษณะการยกตัวของระดับน้ำแนว X-X โดยหลอดวัดระดับความดันน้ำที่นำมาศึกษาระดับการยกตัวของระดับน้ำใช้ผลการทดลองจากหลอดวัดระดับความดันน้ำที่ตำแหน่ง 1-3, 4 , 7-8 , 11-16 , 19-21 , 24-29 , 32-33 และ 36-39 ตามลำดับ (รูปที่ 3-4)

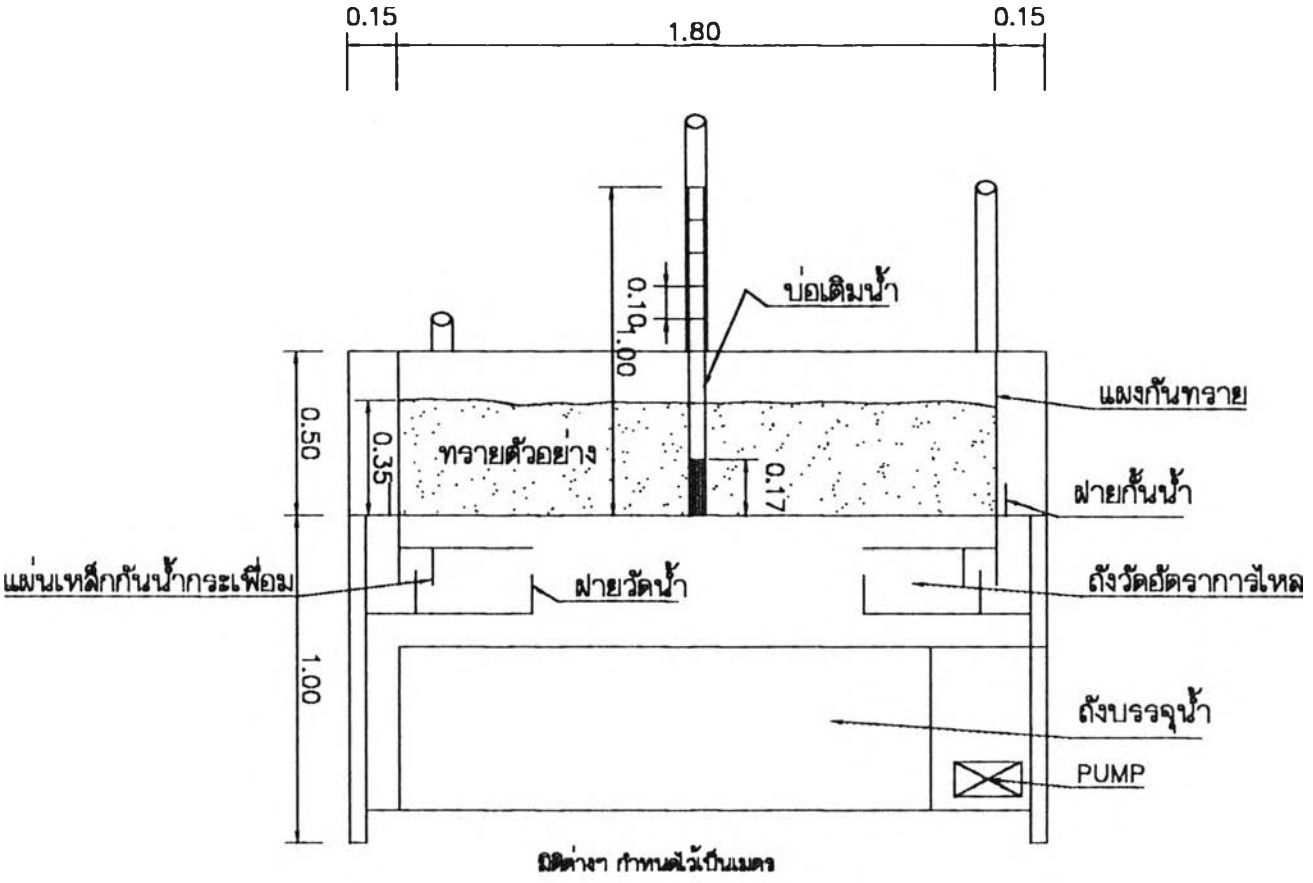
ผลของการทดลองการเติมน้ำผ่านสระทดลอง ในตัวอย่างทรายแต่ละขนาดนี้สามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการกระจายตัวของขนาดทรายกับอัตราการเติมน้ำโดยรวมและค่าความนำชลศาสตร์ของการเติมน้ำ อัตราการเติมน้ำที่เปลี่ยนแปลงกับระยะการยกตัวของระดับน้ำเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินในทรายตัวอย่างขนาดต่างๆ

3.5 <u>ความสัมพันธ์ของผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลภาคสนาม</u>

ผลการทดลองค่าความนำชลศาสตร์ในแนวราบ สามารถเปรียบเทียบกับการทดลองภาคสนาม โดยใช้สมการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ในกรณีของ Froude number มีค่าเท่ากัน

$$F_r = V/\sqrt{(gL)}$$

$$F_r = F_m/F_p$$



รูปที่ 3-12 ตำแหน่งเติมน้ำโดยบ่อ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$F_r = (V/\sqrt{(gL)})_m/(V/\sqrt{(gL)})_p$

$L_p/L_m = 100$

$V_p/V_m = 10 \quad ; g_p = g_m$

$K_p i_p = 10 K_m i_m$

กรณีใช้ทรายขนาดเดียวกันและค่าความขันชลศาสตร์เท่ากัน

$K_p = 10 K_m \quad ; i_p = i_m$

จากสมการความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ ความนำชลศาสตร์แนวราบในภาคสนามมีค่า 10 เท่า ของความนำชลศาสตร์แนวราบจากการทดลอง