โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 18/2555

เรื่อง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน โครงการพัฒนาน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย

(Analysis of Parameter Change for Groundwater Layer (Aquifer) at Sukhothai Groundwater Development Project)

โดย

นายปานชัย อุดมศรี

นายฐิติพันธ์ ปุราคม

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พ.ศ.2555

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีเพื่อการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน โครงการพัฒนาน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย

นามผู้ทำโครงการ นายปานชัย อุดมศรี

นายฐิติพันธ์ ปุราคม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....

(รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา

.....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

...../...../.....

บทคัดย่อ

ชื่อโครงงาน การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน โครงการพัฒนาน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย

ผู้จัดทำ 1. นายปานชัย อุดมศรี

2. นายฐิติพันธ์ ปุราคม

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

(รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน)

(...../...../.....)

โครงการพัฒนาน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย เป็นโครงการที่มีการสูบน้ำใต้ดินขนาดใหญ่แห่งแรกในประเทศไทย โดยมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการอุปโภค/บริโภค และการเกษตร จากข้อมูลในอดีตจนถึงปัจจุบันพบว่าในช่วงเวลาหนึ่งระดับน้ำใต้ดินได้ลดลงรวดเร็วกว่าที่ควรเป็น ซึ่งเกิดจากการสูบน้ำใต้ดินที่มากเกินไป ซึ่งต่อมาโครงการได้ลดอัตราการสูบน้ำลงทำให้ระดับน้ำใต้ดินคืนตัว

อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษา ทดลอบ และเก็บข้อมูลจากการสูบน้ำใต้ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำใต้ดินซึ่งจะมี ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของน้ำใต้ดิน(Storage Coefficient) ค่าการนำน้ำของน้ำใต้ดิน (Hydraulic Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำใต้ดิน (Transmissivity) เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์แล้วก็จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าในอดีต

ผลที่ได้จากการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ปัจจุบันมาเปรียบเทียบกับค่าในอดีตพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำใต้ดินลดลงจาก 2488.80 ม.^{2}/วัน เป็น 2255.00 ม.^{2}/วัน ค่าการนำน้ำของน้ำใต้ดินลดลงจาก 60.08 ม./วัน เป็น 41.78 ม./วัน ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากบ่อสูบเก่าไม่ได้มีการพัฒนา หรือมีการสูบน้ำในบริเวณใกล้เคียงมาก ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักของน้ำใต้ดินนั้นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0000097 ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะสามารถนำไปวิเคราะห์ เพื่อนำผลที่ได้ไปกำหนดแผนการสูบน้ำใต้ดินให้เหมาะสมต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และยั่งยืนในอนาคต

Abstract

Title Analysis of Parameter Change for Groundwater Layer (Aquifer) at Sukhothai Groundwater Development Project

By 1. Mr.Panchai Udomsri

2. Mr.Thitiphan Purakhom

Project Advisor .....

(Assoc.Prof.Dr.Bancha Kwanyuen)

(...../...../.....)

Sukhothai Groundwater Development Project was the first large irrigation project in Thailand using groundwater for both domestic water supply and agriculture. At one period there were over pumping such that there were continuous decrease (drawdown) of groundwater level in most of the wells. Since that time the maximum annual pumping rate for the whole project was set and the water level was later recovered.

However, the water level might also be changed by the change of parameters of the aquifer. Therefore, this study tested and collected pumping data and drawdown in order to calculate and evaluate the parameters of groundwater such as storage coefficient, hydraulic conductivity and transmissivity. These parameters were also compared with the previous values in order to detect and analyze the change and their causes.

The results found that the value of transmissivity was reduced from 2488.80 m^2/day to 2255.00 m^2/day and the value of hydraulic conductivity was reduced from 60.08 m/day to 41.78 m/day, the cause of this change might be the deterioration of well and lack of well development. In addition there was no change for the value of storage coefficient (a little increase of about 0.0000097). All of these parameters should be used for groundwater modeling in order to determine suitable plan of pumping for efficiency and sustainability in the future.

คำนิยม

การทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแนวทางในการจัดทำโครงงาน จนกระทั่งโครงงานวิศวกรรมสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำได้รับความกรุณาจากบุคลากรภายในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา สุโขทัย คุณสมศักดิ์ ประสงค์วรรณะ หัวหน้างานส่งน้ำ และคุณสมชาย ตามควร เจ้าหน้าที่ ที่ได้ให้ข้อมูลและเป็นธุระจัดพาไปสำรวจพื้นที่ต่างๆในการสำรวจจัดเก็บข้อมูลมาใช้ในการทำโครงงาน และท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนในทุกเรื่อง มาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**I**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**II**
คำนิยม	**III**
สารบัญ	**IV**
สารบัญภาพ	**VI**
สารบัญตาราง	**VII**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ความหมายของชั้นน้ำใต้ดิน	4
2.2 ชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำบาดาล	7
2.3 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ	10
2.4 พารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน	11
2.5 การสูบทดสอบ	13

2.6 การพัฒนาบ่อ 30

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ 32

3.2 สถานที่ทดลอง 32

3.3 วิธีการทดลอง 34

บทที่ 4 ผลการศึกษาทดลอง

4.1 การสูบทดสอบ 38

4.2 ผลการคำนวณ 47

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 50

5.2 ข้อเสนอแนะ 51

เอกสารอ้างอิง 52

ภาคผนวก 53

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง w(u) และ u 22

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลระดับน้ำลดลงในบ่อสูบทดสอบ 38

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลระดับน้ำลดลงในบ่อสังเกตุการณ์ 41

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)ในบ่อสูบทดสอบ 43

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)ในบ่อสังเกตการณ์ 45

ตารางภาคผนวกที่ 7 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ 60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 ชั้นน้ำบาดาลจากกรวดทรายเชิงเขาและหุบเขา	5
ภาพที่ 2.2 ชั้นน้ำบาดาลจากหินตะกอน	6
ภาพที่ 2.3 ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำเปิดและชั้นหินอุ้มน้ำปิด	7
ภาพที่ 2.4 ลักษณะชั้นน้ำลอย	8
ภาพที่ 2.5 ลักษณะชั้นน้ำกึ่งปิดหรือชั้นน้ำรั่ว	9
ภาพที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (ก)และผลผลิตจำเพาะ (ข)	11
ภาพที่ 2.7 การวัดระดับน้ำในบ่อโดยใช้สายไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า	14
ภาพที่ 2.8 การติดตั้ง Circular orifice weir เพื่อวัดปริมาณน้ำ	15
ภาพที่ 2.9 การคำนวณปริมาณน้ำจาก Orifice weir	15
ภาพที่ 2.10 Master curve ระหว่างค่า W(u) และ u	24
ภาพที่ 2.11 แสดงวิธีการทาบกราฟ	24
ภาพที่ 2.12 Master curve ระหว่างค่า W(u) และ 1/u	27
ภาพที่ 2.13 แสดงวิธีการทาบเส้นกราฟ	27
ภาพที่ 3.2.1 แผนที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสุโขทัย	33
ภาพที่ 3.3.1 สำรวจพื้นที่จริงเพื่อหาบ่อสูบ	35
ภาพที่ 3.3.2 สำรวจพื้นที่เพื่อหาบ่อสังเกตุการณ์	35
ภาพที่ 3.3.3 เดินเครื่องปั๊มน้ำในบ่อสูบทดสอบ	36
ภาพที่ 3.3.4 วัดระดับน้ำในบ่อสูบทดสอบ	36
ภาพที่ 3.3.5 วัดระดับน้ำที่บ่อสังเกตุการณ์	37
ภาพที่ 3.3.6 บันทึกข้อมูลระดับน้ำลดลง และระดับน้ำคืนตัว	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากการชลประทานด้วยไฟฟ้าในรูปแบบโครงการขุดบ่อขนาดลึกนั้น จะนำแหล่งน้ำต้นทุนมาจากการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ กล่าวได้ว่าเป็นการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำในการทำเกษตรกรรม ปศุสัตว์ อุตสาหกรรม อุปโภค บริโภค และอื่นๆ ของประชาชนในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือโครงการชลประทานแบบเหมืองฝายที่มีอยู่ และ/หรืออยู่ห่างไกล ไม่เพียงพอกับความต้องการของประชา ชน ในปัจจุบันนั้นมี่แนวโน้มปริมาณการขาดแคลนน้ำเพิ่มสูงขึ้น

ในบริเวณลุ่มน้ำยมพื้นที่จังหวัดสุโขทัยเป็นโครงการสูบน้ำใต้ดินขนาดใหญ่แห่งแรกของประเทศไทย แต่ก็ยังมีการขาดแคลนน้ำเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแหล่งน้ำผิวดินมีไม่เพียงพอ จากการสำรวจของคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในปี พ.ศ.2536 ปริมาณน้ำที่ขาดแคลน 21.44 ล้าน.ม^3 ปี พ.ศ. 2539 ปริมาณน้ำที่ขาดแคลน 40.76 ล้าน.ม^3 ปี พ.ศ.2549 ปริมาณน้ำที่ขาดแคลน 89.34 ล้าน.ม^3 ซึ่งขาดแคลนเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ

จากอดีตถึงปัจจุบันจึงต้องมีการหาพื้นที่เพื่อเจาะบ่อน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นในเกือบทุกพื้นที่ ซึ่งต้องมีการ ศึกษาสภาพพื้นที่ทั้งทางอุทกวิทยาของน้ำใต้ดิน และสภาพทางธรณีวิทยาของชั้นน้ำใต้ดินตามสภาพพื้นที่ ปริมาณน้ำที่ให้ได้ต่อวัน(discharge) จะมีมากหรือน้อยจำขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ จากลักษณะของปัญหาโดย รวมข้างต้นจึงพอสรุปปัญหาเป็นข้อๆ เพื่อศึกษา ได้ดังต่อไปนี้

1). การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์(Parameters of change) ของชั้นน้ำใต้ดินจากอดีตที่ได้ตรวจวัดจนถึง ปัจจุบัน มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร

2). สาเหตุที่ทำให้ค่าพารามิเตอร์(Parameters) ของชั้นน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงไป เกิดจากสาเหตุใดอะไรบ้างที่เป็นสาเหตุ

จากปัญหาต่างๆ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์มีความจำเป็นต่อการสูบน้ำปริมาณน้ำที่สามารถนำขึ้นมาใช้ได้ต่อวัน ที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ ดังนั้นข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน และการเปลี่ยนแปลงไปของพารามิเตอร์ในชั้นน้ำใต้ดิน จะเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพิจารณาวางแผนขุดเจาะบ่อบาดาลเพิ่มเติมในแต่ละพื้นที่ รวมถึงการกำหนดอัตราการสูบน้ำในแต่ละปี

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ และการเปลี่ยนแปลงก็จะสามารถกำหนดแผนการสูบน้ำในปีต่อๆไปได้ และ/หรือกำหนดขุดเจาะบ่อเพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการการใช้น้ำ ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้น ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จึงเป็นสิ่งจำเป็น

ดังนั้นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในชั้นน้ำใต้ดินจึงมีความสำคัญ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ถึงสาเหตุรวมถึงการพิจารณาเพื่อกำหนดอัตราการสูบน้ำ(Flow Rate) ในแต่ละปีให้เหมาะสม กับความต้องการเพื่อการพัฒนาน้ำใต้ดินมาใช้อย่างเหมาะสมในงานด้านการชลประทานได้อย่างมีประสิทธิ์ ภาพและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ตรวจวัดหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน (T,S,S_s,K)

2. เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาของชั้นน้ำใต้ดิน ในอดีตที่ได้ทำการตรวจวัดไว้ จากการคำนวณโดยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์(Analytical technique) ในจุดที่พิจารณาเลือกสูบทดลอง

3. วิเคราะห์ถึงสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้ค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาและวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน บริเวณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำใต้ดินสุโขทัย ตำบลเมืองสวรรคโลก อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย โดยทำการตรวจวัดจากบ่อสังเกตการณ์(Observation wells)จำนวน 1 บ่อ บ่อสูบ 1 บ่อและแต่ละบ่อจะมีระยะห่างกันพอสมควร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ ณ ปีปัจจุบัน ก็สามารถทราบอัตราการสูบ (discharge flow) ของโครงการได้ ซึ่งจะสามารถประเมินการสูบน้ำเพื่อการชลประทานได้ ว่าควรสูบในอัตราเท่าไหร่ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดความขาดแคลนเกิดขึ้น หรืออาจจะใช้การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ในการวางแผนในการสูบน้ำในอนาคต และนอกจากนี้ยังจะพิจารณาการพัฒนาบ่อบาดาลถ้ากรณีมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่เลวลง

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ความหมายของชั้นน้ำใต้ดิน

ชั้นน้ำใต้ดิน ชั้นน้ำบาดาล(apuifer) ชั้นน้ำ ชั้นอุ้มน้ำ หรือชั้นหินอุ้มน้ำบาดาล คือชั้นหิน ชั้นตะกอนหรือชั้นดิน ซึ่งให้น้ำออกมาได้เป็นปริมาณที่มากเพียงพอต่อการใช้อย่างมีนัยสำคัญ (significant) โดย ทั่วๆไปชั้นหินอุ้มน้ำที่พัฒนาเอาน้ำบาดาลขึ้นไปใช้ประมาณร้อยละ 90 จะเป็นน้ำจากชั้นหินร่วนของดินพวก กรวด ทราย ด้วยอาศัยลักษณะการเกิดจะแบ่งลักษณะแหล่งน้ำบาดาลจากชั้นหินร่วนได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

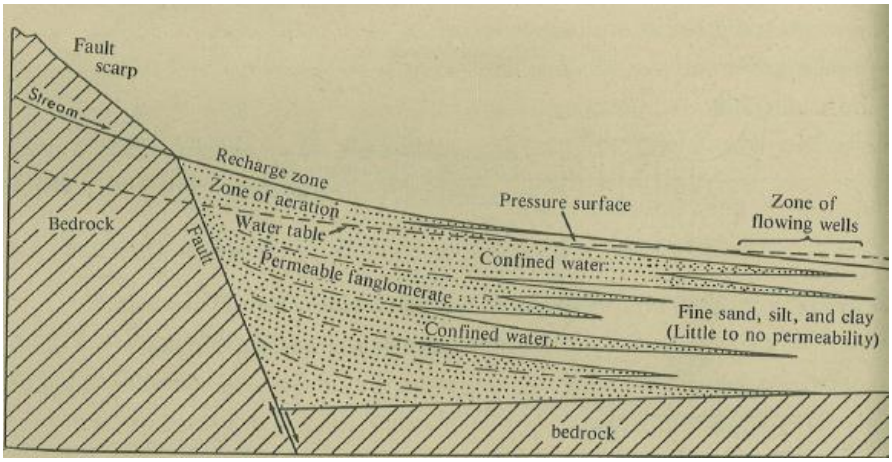
1. ชั้นอุ้มน้ำจากชั้นหินร่วน

ก. ชั้นกรวดทรายใต้แม่น้ำ (water courses) เป็นชั้นหินอุ้มน้ำประกอบด้วยตะกอนแม่น้ำ (alluvium) ซึ่งทับถมอยู่ภายใต้ลำธารขยายไปถึงเขตระหว่างฝั่งแม่น้ำกับที่ราบน้ำท่วมถึง ชั้นน้ำบาดาลจะได้น้ำเพิ่มเติมจากลำธารหรือแม่น้ำ ทำให้บ่อน้ำบาดาลที่เจาะลงในชั้นน้ำชนิดนี้ให้น้ำมาก

ข. ชั้นกรวดทรายทับถมในหุบเขาเก่า (abandoned or buried valley) เป็นหุบเขาขนาดใหญ่ที่กรวดทรายมาทับถมจนหนา บริเวณผิวดินจะปราศจากแม่น้ำหรือแม่น้ำนี้ ในฤดูแล้งน้ำจะน้อยหรือแห้ง ลักษณะกรวดทรายจะคล้ายกับชนิดแรก แต่ชั้นน้ำจะให้น้ำน้อยกว่าเพราะปริมาณน้ำเพิ่มเติมจากแม่น้ำมีจำกัดและหุบเขามีขนาดเล็กกว่า

ค. ชั้นตะกอนใต้ที่ราบกว้างใหญ่น้ำท่วมถึง (extensive plains) ชั้นน้ำบาดาลส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยหินร่วน ในบางบริเวณจะมีชั้นกรวดทราย ทำให้ได้น้ำในปริมาณที่พอเพียง ในบางพื้นที่ก็จะมีชั้นกรวดทรายบางๆ สลับกับชั้นดินเหนียวและทรายแป้ง ทำให้ได้น้ำปริมาณจำกัด บางบริเวณจะให้บ่อน้ำตื้นสำหรับครัว เรือนและเลี้ยงสัตว์ ชั้นน้ำบาดาลชนิดนี้ได้ปริมาณน้ำเพิ่มเติมอาจได้จากแม่น้ำสายเล็กๆ ซึ่งแห้งในฤดูแล้งและน้ำฝนเป็นหลัก

ง. กรวดทรายหุบเขา (intermontane valley) ชั้นตะกอนจะได้จากกระบวนการชะล้างพังทลายจากบริเวณ ภูเขาที่อยู่รอบๆ หุบเขา น้ำจะพัดพาเอาตะกอนกรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวมาทับถมในหุบเขาและเชิงเขา ทำให้ได้เป็นชั้นน้ำบาดาลขึ้น หุบเขาอาจจะเป็นหุบเขาเดี่ยวหรือหลายๆหุบเขาติดต่อกันไปโดยมีน้ำเพิ่มเติมจากน้ำฝนและลำธารที่ไหลลงสู่ที่ราบเชิงเขารูปคล้ายพัดแล้วเข้าสู่หุบเขา



รูปที่ 2.1 ชั้นน้ำบาดาลจากกรวดทรายเชิงเขาและหุบเขา (จาก Eardley, 1965)

2. ชั้นน้ำจากชั้นหินแข็ง

ที่กล่าวมาแล้วทั้ง 4 ชนิดเป็นชั้นน้ำบาดาลจากชั้นหินร่วน ซึ่งส่วนใหญ่จะให้น้ำบาดาลมากแต่ในบางครั้งชั้นน้ำบาดาลจากหินร่วนก็หาไม่ได้ง่ายนัก เช่น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งน้ำบาดาลที่พัฒนาขึ้นไปใช้ส่วนใหญ่จะได้จากชั้นหินแข็ง ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำจะน้อยกว่าพวกหินร่วนแต่ก็พอเพียงที่จะใช้สำหรับอุปโภคและบริโภคในครัวเรือน มีเป็นส่วนน้อยที่บ่อน้ำบาดาลจากชั้นหินแข็ง จะให้น้ำมากจนใช้สำหรับการเกษตร หรืออุตสาหกรรมได้ สำหรับชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากชั้นหินแข็งนี้จะกล่าวตามชนิดของหินคือ หินชั้นหรือหินตะกอน หินอัคนี และหินแปร ตามลำดับ

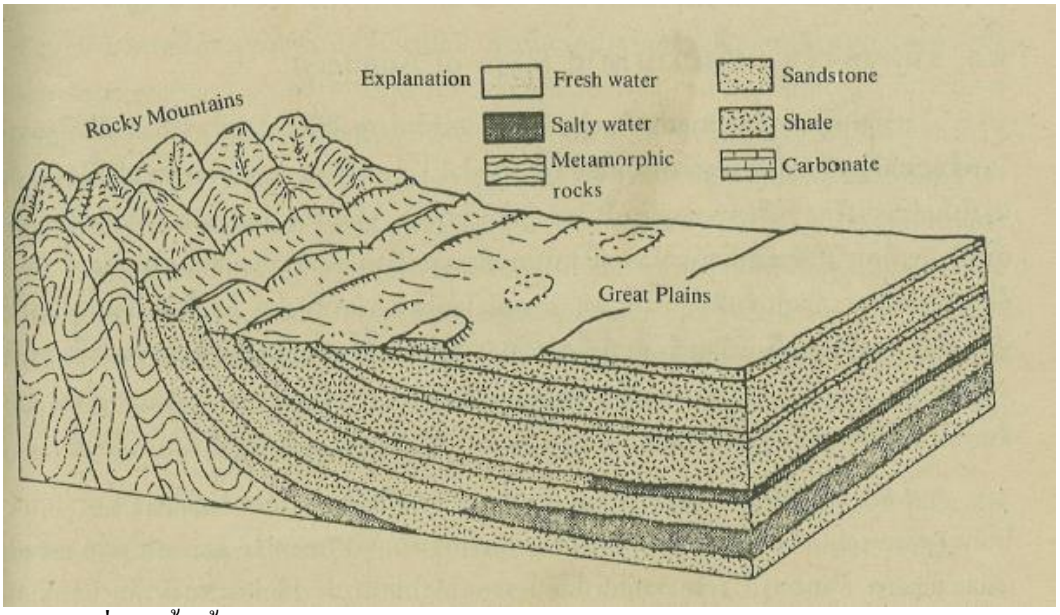
ก. หินตะกอน ชั้นหินตะกอนเป็นชั้นน้ำบาดาลที่สำคัญ ส่วนใหญ่บ่อน้ำบาดาลในภาคตะวันออกเฉียง เหนือของประเทศไทย จะได้น้ำจากชั้นหินตะกอนนี้ โดยทั่วๆ ไปชั้นหินที่ให้น้ำจะเป็นชั้นหินที่มีการเชื่อมตัวไม่สมบูรณ์หรือกึ่งเชื่อมตัว (semiconsolidated) และมีรอยแตก รอยแยก หรือรูโพรงและช่องว่างต่างๆ

(1) หินกรวดมด หรือกรวดเหลี่ยม และหินทราย พวกนี้จะมีโอกาสให้น้ำได้มาก ถ้าเปอร์เซ็นต์การเชื่อมตัวต่ำ แต่ถ้ามีการเชื่อมตัว(cementing) สมบูรณ์ก็จะไม่ให้น้ำ นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ได้จะมากขึ้นถ้าหินดังกล่าวมีรอยแตก รอยแยก หรือรูโพรงมาก รวมทั้งปริมาณน้ำเพิ่มเติมจากน้ำฝน หรือลำธาร ถ้ามีก็จะได้มาก

(2) หินทรายแป้ง และหินดินดาน ชั้นหินทั้งสองนี้ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นทึบน้ำแต่มีโอกาสเป็นชั้นหินอุ้มน้ำได้ ถ้ามีรอยแตก รอยแยกมาก เช่น บ่อน้ำบาดาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หลายบ่อจะได้น้ำจากหินทรายแป้งและหินดินดานแตก บางบ่อสามารถจะสูบน้ำทำประปาหมู่บ้านได้

(3) หินปูนและหินโดโลไมท์ ปกติชั้นหินเหล่านี้จะไม่ให้น้ำบาดาลถ้าเนื้อแน่น แต่ถ้าหินพวกนี้มีรอยแตกและรูโพรงจะให้น้ำบาดาลได้มาก บริเวณดังกล่าวจะมีน้ำพุ น้ำผุด อยู่มากมาย

เช่น บริเวณอำเภอปาก ช่อง จังหวัดนครราชสีมา บ่อน้ำบาดาลจะได้น้ำจากชั้นหินปูนได้น้ำปริมาณมาก เขตหินปูนบริเวณดังกล่าวอาจทำให้แม่น้ำหายไปในพื้นที่ดังกล่าวได้ ในทางตรงกันข้ามต้นแม่น้ำหลายสายมักจะกำเนิดจากบริเวณเทือก เขาหินปูน เพราะเป็นแหล่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่ที่จะให้น้ำกับแม่น้ำได้



รูปที่ 2.2 ชั้นน้ำบาดาลจากหินตะกอน (จาก Domenico and Schwartz, 1990)

(4) หินโคลน ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นทึบน้ำ จะให้น้ำได้ต้องมีเนื้อแน่นและมีรอยแตก รอยแยก จึงจะเป็นแหล่งน้ำบาดาลได้ ส่วนใหญ่จะให้บ่อน้ำตื้นที่มีปริมาณน้ำจำกัดในฤดูแล้ง

ข. หินอัคนี ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นหินแข็งที่ไม่ได้น้ำบาดาล แต่จะมีโอกาสให้น้ำบาดาลได้ก็กรณีมีรูอากาศ รอยแตก และชั้นหินผุ

(1) หินบะซอลท์ พิวไมค์ และสคอเรีย เป็นชั้นหินที่มีรูอากาศ ดังนั้นปริมาณน้ำบาดาลที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรูอากาศ และการติดต่อถึงกัน หรือความต่อเนื่องของรูอากาศ ถ้ามีมากก็ได้น้ำมาก นอกจากนี้ยังรวมถึงรอยแตก รอยแยก และการผุพัง ถ้ามีมากก็จะได้น้ำมากหรือถ้าได้น้ำเพิ่มเติมจากฝนหรือลำธารก็จะได้น้ำเพิ่มขึ้น เช่น ทางตอนเหนือของประเทศอิสราเอล จะได้น้ำจากชั้นน้ำที่เป็นหินบะซอลท์

(2) หินแกรนิต แอนดีไซท์ ไดโอไรท์ ไรโอไรท์ และอื่นๆ เป็นพวกหินแข็ง ไม่มีโอกาสเป็นชั้นน้ำบาดาลเลย แต่ถ้าเป็นหินผุหรือมีรอยแตก ก็จะให้น้ำบาดาลได้บ้าง

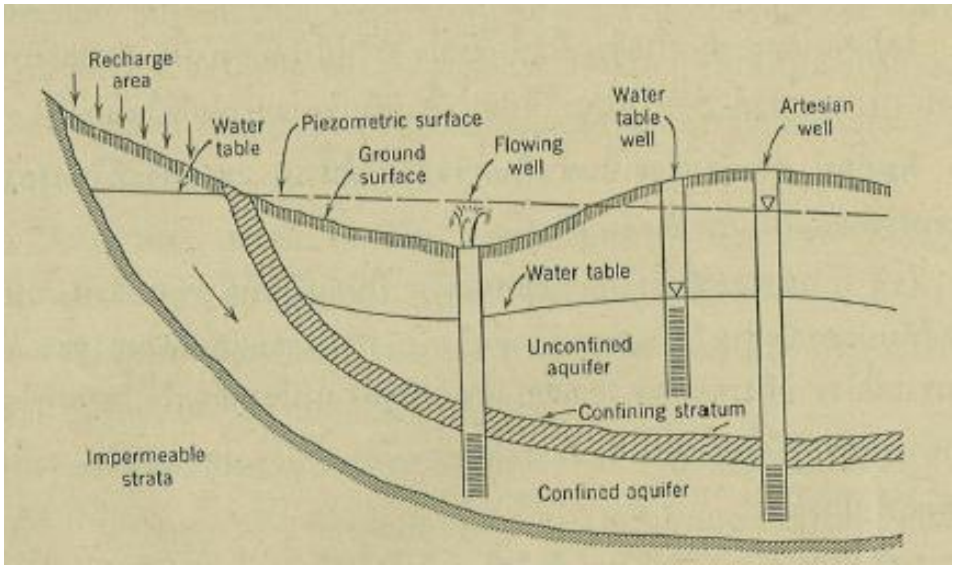
(3) หินทัฟฟ์ เป็นหินแข็งเช่นกัน แต่ถ้าเปอร์เซ็นการเชื่อมตัวต่ำ (cementing) ก็จะสามารถเก็บน้ำบาดาลได้ และถ้ามีรอยแตกก็จะเก็บน้ำบาดาลได้มากขึ้น

ค. หินแปร หินชนิดนี้คล้ายกับหินอัคนีกล่าวคือส่วนใหญ่จะเป็นหินแข็ง จะมีโอกาสให้น้ำบาดาลก็เฉพาะหินที่มีรอยแตก รอยแยก และหินผุ ปริมาณน้ำก็น้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความต่อเนื่องของรอยแตก และรวมทั้งลักษณะการผุพังของหิน ถ้าผุพังมากก็ให้น้ำได้มาก เช่น หินไนส์ หินชนวน หินฟิลไลท์ หินอ่อน หินชิตท์ เป็นต้น

2.2 ชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำบาดาล (Type of Aquifers)

ปกติชั้นหินอุ้มน้ำบาดาลส่วนใหญ่จะจัดเป็น แอ่งน้ำสำรองใต้ดิน โดยน้ำเข้าสู่แอ่งนี้ได้โดยการไหลซึมเพิ่มเติมจากน้ำธรรมชาติ หรือการอัดน้ำเพิ่มเข้าไป ส่วนน้ำในแอ่งจะไหลออกไปได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก หรืออาจจะถูกสูบไปใช้ด้วยบ่อน้ำบาดาล โดยทั่วๆ ไปปริมาณน้ำที่เพิ่มเติมเข้ามากับปริมาณน้ำที่สูบไปใช้จะมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำสำรองทั้งหมดในแอ่ง ด้วยการยึดถือลักษณะการกักเก็บชั้นหินอุ้มน้ำบาดาล อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชั้นหินอุ้มน้ำเปิดหรือชั้นน้ำเปิดและชั้นหินอุ้มน้ำปิดหรือชั้นน้ำปิด ความแตกต่างของชั้นหินอุ้มน้ำทั้งสองชนิดจะขึ้นอยู่กับลักษณะการปรากฏตัวของระดับน้ำใต้ดิน (water table) นอกจากนี้ในบางครั้งอาจจะพบชั้นน้ำลอย ชั้นอุ้มน้ำกึ่งเปิดและชั้นอุ้มน้ำกึ่งปิด

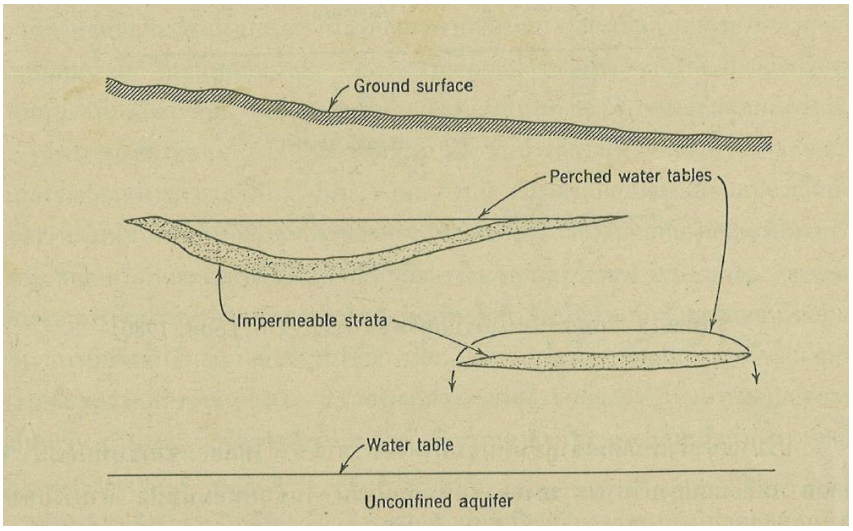
1. ชั้นหินอุ้มน้ำเปิด (unconfined aquifer) เป็นชั้นน้ำบาดาล (aquifer) ซึ่งมีระดับน้ำใต้ดิน(water table) เป็นเส้นกันผิวบนของชั้นน้ำ บางครั้งเรียกว่า fee หรือ phreatic หรือ nonartesian aquifer ลักษณะรูปร่างของระดับน้ำใต้ดิน จะคดโค้งไปตามรูปร่างลักษณะของผิวดิน นอกจากนี้ยังจะขึ้นอยู่กับแหล่งสูบน้ำ ระบายน้ำ แหล่งเพิ่มเติมน้ำ และค่าการซึมซาบน้ำ การสูงขึ้นหรือต่ำลงของระดับน้ำใต้ดิน จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชั้นอุ้มน้ำนั้น



รูปที่ 2.3 ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำเปิดและชั้นหินอุ้มน้ำปิด (จาก Todd,1980)

2. ชั้นหินอุ้มน้ำปิด (confined aquifer) บางครั้งอาจเรียกว่า artesian หรือ pressure aquifer จะพบอยู่ในที่ซึ่งน้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ภายใต้แรงดันที่มากกว่าแรงดันบรรยากาศ ส่วนบนปิดทับด้วยชั้นทึบน้ำ บ่อน้ำบาดาลซึ่งเจาะลงสู่ชั้นน้ำประเภทนี้ ระดับน้ำจะยกขึ้นสูงจากก้นของชั้นทึบน้ำที่ปิดทับ การเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณที่ซึ่งชั้นหินอุ้มน้ำนี้โผล่สู่ผิวโลกสัมผัสกับอากาศ ซึ่งบริเวณเพิ่มเติมน้ำดังกล่าว ชั้นน้ำบาดาลจะเปลี่ยนไปเป็นชั้นหินอุ้มน้ำเปิด บริเวณเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลเราเรียกว่า พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharged area) การสูงขึ้นหรือต่ำลงของระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาลซึ่งเจาะลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำปิดนี้ จะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันในชั้นน้ำ (hydrostatic pressure) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสำรอง จะเห็นว่าชั้นหินอุ้มน้ำปิดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในแง่สำรอง ชั้นน้ำจะทำหน้าที่คล้ายท่อส่งน้ำสำหรับนำน้ำจากพื้นที่เพิ่มเติมน้ำไปตำแหน่งสูบน้ำ หรือระบายน้ำ (discharged area) ระดับน้ำที่สูง ขึ้นจากก้นของชั้นทึบน้ำที่ปิดทับ เราเรียกว่า piezometric surface ระดับของ piezometric surface ของชั้นหินอุ้มน้ำปิด หาโดยใช้จินตนาการจากระดับความดันน้ำ (hydrostatic pressure level) ของน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ซึ่งระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาลซึ่งเจาะลงไปในชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะอยู่ระดับเดียวกับ piezometric surface ของชั้นน้ำที่จุดนั้นๆ กรณีที่ระดับ piezometric surface อยู่สูงจากผิวดินการเจาะบ่อน้ำบาดาลบริเวณนั้นก็จะได้น้ำพุ เป็นต้น ข้อสังเกตอันหนึ่งก็คือสำหรับชั้นหินอุ้มน้ำปิดถ้าระดับ piezometric surface ลดต่ำ ลงกว่าก้น ชั้นทึบน้ำที่ปิดทับก็จะกลายเป็นชั้นหินอุ้มน้ำเปิดไปโดยปริยาย

3. ชั้นน้ำลอย (perched aquifer) เป็นชั้นน้ำขนาดเล็กลอยอยู่เหนือชั้นหินอุ้มน้ำเปิด เกิดจากชั้นดินเหนียวขนาดเล็กๆ เหนือชั้นหินอุ้มน้ำเปิดนั้น มักพบชั้นน้ำนี้บ่อยๆ ในตะกอนลุ่มน้ำ

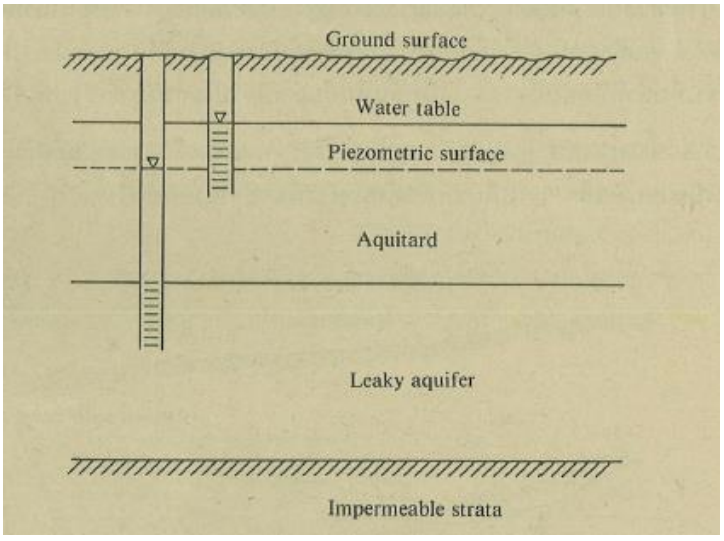


รูปที่ 2.4 ลักษณะชั้นน้ำลอย (จาก Todd , 1980)

บ่อน้ำบาดาลซึ่งเจาะลงสู่ชั้นอุ้มน้ำลอย จะได้น้ำน้อยจะต้องเจาะจนถึงชั้นอุ้มน้ำเปิดขนาดใหญ่ที่อยู่ข้างล่างจึงจะได้น้ำเพียงพอ

4. ชั้นหินอุ้มน้ำกึ่งเปิด (semi-unconfined aquifer) ปกติในธรรมชาติ ลักษณะชั้นอุ้มน้ำที่แท้จริงจะพบว่าชั้นตะกอนที่ประกอบขึ้นเป็นชั้นหินอุ้มน้ำนั้น จะมีลักษณะเป็นชั้นๆ โดยเฉพาะชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาง ครั้งจะพบว่าจะมีค่า hydraulic conductivity ต่ำกว่าชั้นน้ำบ้างแต่อาจจะไม่มากนัก ทำให้ระดับน้ำใต้ดิน water table ของชั้นหินอุ้มน้ำเปิด และชั้นที่อยู่เหนือชั้นหินอุ้มน้ำนั้นมีค่าแตกต่างกันเหมือนกับเป็นชั้นอุ้มน้ำ 2 ชั้น แต่ชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ข้างบนก็ไม่สามารถจะจัดเป็นชั้นทึบน้ำได้ เราจึงเรียกชั้นน้ำชนิดนี้ว่า ชั้นหินอุ้มน้ำกึ่งเปิด (semi-unconfined aquifer)

5. ชั้นหินอุ้มน้ำกึ่งปิด (semi-confined aquifer) เป็นชั้นน้ำคล้ายๆ กับชั้นน้ำกึ่งเปิดแต่ชั้นอุ้มน้ำที่อยู่ข้างบนก็ไม่สามารถจัดเป็นชั้นทึบน้ำได้ เพราะค่าการซึมน้ำยังต่างจากชั้นทึบน้ำมาก อีกทั้งก็ยังต่างจากชั้นน้ำมากอีกด้วย นั่นคือค่าการซึมน้ำน้อยกว่าค่าของชั้นน้ำมากๆ โดยทั่วๆไปบางครั้งจะเรียกชั้นหินอุ้มน้ำกึ่งเปิดหรือชั้นหินอุ้มน้ำกึ่งปิดว่า ชั้นต้านน้ำ (aquitard) หรือชั้นน้ำรั่ว



รูปที่ 2.5 ลักษณะชั้นน้ำกึ่งปิดหรือชั้นน้ำรั่ว (จาก Todd, 1980)

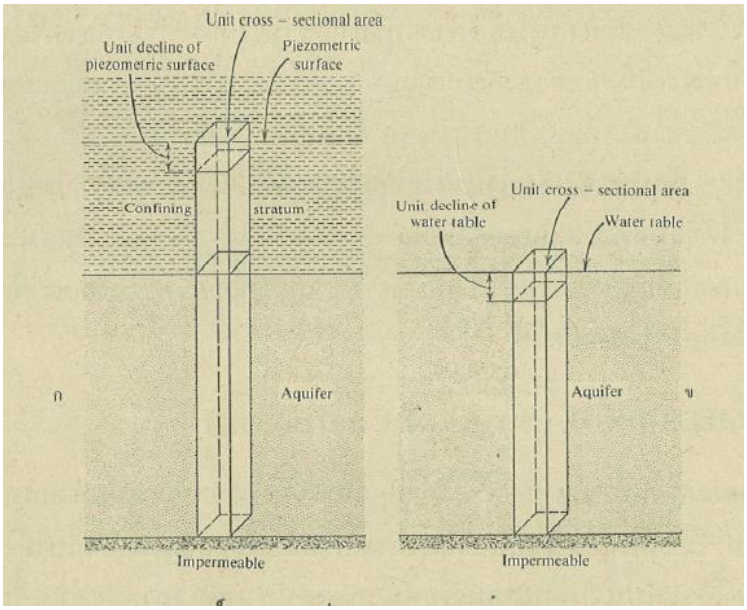
ปริมาณน้ำที่เพิ่มเติมเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำหรือปริมาณน้ำที่ไหลออกจากชั้นหินอุ้มน้ำ จะเป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงปริมาณสำรองของชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ในชั้นหินอุ้มน้ำเปิดสามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลงโดยการคูณปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำที่มีอยู่ระหว่างระดับ water table เริ่มต้น และตอนสิ้นสุดของเวลาด้วยค่าเฉลี่ยผลผลิตจำเพาะ (average specific yield) ในชั้นหินอุ้มน้ำปิด การเปลี่ยนแปลงระดับ piezometric surface ไป

แต่ในชั้นน้ำยังอิ่มตัวด้วยน้ำเพียงแต่ความดันน้ำในชั้นน้ำเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงด้านปริมาตรมีน้อย ดังนั้นแรงดันน้ำภายในชั้นหินอุ้มน้ำ ส่วนหนึ่งจะช่วยพยุงน้ำหนักของชั้นกดทับ ขณะเดียวกันแรงอีกส่วนหนึ่งที่รองรับน้ำหนักจากชั้นกดทับก็จะได้จากโครงสร้างที่เป็นของแข็งซึ่งเกิดจากอนุภาคของหินหรือดินในชั้นหินอุ้มน้ำนั้น เมื่อค่าความดันน้ำลดลงอาจเนื่องจากการสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาล ทำให้น้ำหนักกดของชั้นกดทับ กดลงบนโครงสร้างที่เป็นของแข็งเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เกิดแรงอัดลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำมากขึ้นทำให้มีน้ำถูกขับออกมาจากชั้นน้ำมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าการสูบน้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำปิดจะทำให้แรงดันน้ำในชั้นน้ำลดต่ำลงจะเป็นเหตุให้เกิดการขยายตัวและแรงอัดตามมาทำให้มีน้ำถูกขับออกมาจากชั้นน้ำมากขึ้น

2.3 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Strorage Coefficient)

น้ำที่ไหลเพิ่มเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล หรือไหลออกจากชั้นน้ำบาดาลจะเป็นตัวแสดงปริมาตรกักเก็บภาย ในชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ในชั้นหินอุ้มน้ำเปิด แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกักเก็บได้ โดยคูณปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินตอนเริ่มต้น และตอนสิ้นสุดเวลาด้วยค่าเฉลี่ยผลผลิตจำเพาะ (specific yield)ของชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ในชั้นหินอุ้มน้ำปิด ชั้นน้ำจะสมมุติว่าอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดการเปลี่ยนแปลงจะเกิดเฉพาะความดันน้ำในชั้นน้ำเท่านั้น ดังนั้น ปริมาตรกักเก็บจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งความดันน้ำภายในชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะช่วยพยุงน้ำหนักบางส่วนของชั้นกดทับ ในขณะที่โครงสร้างแข็งของอนุภาคดินหรือหินจะรับแรงกดทับที่เหลือ เมื่อแรงดันชลศาสตร์ลดลง (hydrostatic pressure) อาจจะเนื่องจากการปั๊มน้ำของบ่อน้ำบา ดาลที่เจาะลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ ดังนั้นน้ำหนักที่กดลงบนชั้นหินอุ้มน้ำจะมีมากขึ้น การบีบอัดชั้นหินอุ้มน้ำเพิ่ม ขึ้นทำให้มีการบีบน้ำออกจากชั้นน้ำบาดาลมากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งการลดความดันชลศาสตร์ของชั้นน้ำลง จะช่วยให้เกิดการขยายตัวขึ้นก็จะทำให้ชั้นน้ำบาดาลปล่อยน้ำออกมาได้มากขึ้น ปริมาณน้ำที่ผลิตมาจากชั้นหินอุ้มน้ำ ปกติแสดงออกในรูปของสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (storage coefficient)

“ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ หรือ storativity หมายถึง ปริมาตรของน้ำที่ปล่อยออกมาจากชั้นหินอุ้มน้ำหรือรับเข้าไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชั้นน้ำบาดาล ต่อหน่วยของการเปลี่ยนแปลงระดับ head ตั้งฉากกับผิวชั้นน้ำบาดาลนั้น” จากรูป แท่งสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่ผิว 1 หน่วย หยั่งลงตลอดชั้นน้ำบาดาล ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S) จะเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ปล่อยจากชั้นหินอุ้มน้ำเมื่อ piezometric surface ลดลงหนึ่งหน่วยความยาวค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บนี้ไม่มีหน่วย ชั้นหินอุ้มน้ำปิดส่วนมากจะมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บอยู่ระหว่าง $0.00005 < S < 0.005$ แสดงว่าในการได้น้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำปิดเพียงพอจะต้องมีการเปลี่ยน แปลงความดันมาก ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บสามารถหาได้โดยการทำสูบทดสอบ (pumping test) หรือการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศหรือน้ำขึ้นน้ำลงในทะเล



รูปที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (ก)และผลผลิตจำเพาะ (ข),(จาก Todd,1980)

2.4 พารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน (Parameters of Groundwater)

สัมประสิทธิ์การซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ พารามิเตอร์เหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงของน้ำบาดาล ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในหินนั้น โดยหลักใหญ่ๆ แล้วจะขึ้นอยู่กับรูพรุนหรือช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหินนั้นๆ หรืออีกในหนึ่งก็คือความพรุนนั่นเอง แต่ปริมาณของน้ำที่ถูกกักเก็บนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงถึงปริมาณของน้ำที่เราสามารถสูบหรือดูดออกมาใช้ในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ปัจจัยหรือตัวการที่สำคัญที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนหรือปริมาณของน้ำที่เราสามารถนำออกมาใช้ได้นั้น ก็คือพารามิเตอร์ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นซึ่งมีความหมายดังนี้

1. สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity หรือ Coefficient of permeability, K) สัม ประสิทธิ์ของการซึมได้ของชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นหินใดๆ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้า ตัด 1 หน่วยและตั้งฉากกับทิศทางการไหลภายใต้ hydraulic gradient 1 หน่วย

2. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity หรือ Coefficient of transmissibility, T) สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัด 1 หน่วย และยาวตลอดความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ ภายใต้ hydraulic gradient 1 หน่วย

3. สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (Storage coefficient, S) หมายถึง ปริมาณของน้ำซึ่งชั้นหินอุ้มน้ำสามารถปล่อยออกมา หรือเก็บเข้าไปไว้ในตัวของมัน ต่อพื้นที่หน้าตัด 1 หน่วย เมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำลดลงหรือเพิ่มขึ้น 1 หน่วย

ในกรณีของชั้นหินอุ้มน้ำกักขัง ถ้าพิจารณาดูตรงแนวต่อของชั้นหินอุ้มน้ำกับชั้นหินที่ปิดทับอยู่ข้าง บนแล้ว โดยธรรมชาติตัวชั้นหินอุ้มน้ำจะต้องออกแรงเพื่อรองรับแรงที่มากดทับตัวมันเองอยู่ (confining pressure) แรงที่ออกมาต้านรับจะมาจากของแข็งส่วนที่เป็นโครงสร้างของชั้นหินอุ้มน้ำ (solid structure) แทนค่าให้เป็น S_c และแรงที่มาจากโมเลกุลของน้ำเองแทนค่าให้เป็น P_w ซึ่งทำให้เกิดสภาวะสมดุลขึ้น เมื่อสภาวะ สมดุลของแรงดังกล่าวถูกรบกวน เช่น การเจาะน้ำเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำ และสูบน้ำในลักษณะเช่นนี้โมเลกุลของน้ำจะเกิดการขยายตัวแรงที่มาจากโมเลกุลของน้ำ (P_w) จะลดลงในขณะที่แรงที่มาจากส่วนที่เป็นของแข็งในโครงสร้างของชั้นหินอุ้มน้ำจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลย์ตามเดิม ดังนั้น ปริมาณของน้ำที่ชั้นหินอุ้มน้ำกักขังปล่อยออกมาจะมากหรือน้อยแค่ไหน ก็จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงกดดันที่มีอยู่ภายในตัวของชั้นหินอุ้มน้ำนั่นเอง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากความหยุ่นของของแข็งและโมเล กุลของน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำนั่นเอง

สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บจะไม่มีหน่วย โดยทั่วๆ ไปพบว่า สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำแบบกักขังจะมีค่าระหว่าง 0.00001 - 0.001 และเนื่องจากปริมาณของน้ำที่ได้จากชั้นหินอุ้มน้ำแบบนี้ เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในแรงกดดันที่มีอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำจะไม่เท่ากับสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ

ดังนั้น ในกรณีของชั้นหินอุ้มน้ำอิสระ ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำจะมีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำนั่นเอง โดยทั่วๆ ไปพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.03

2.5 การสูบทดสอบ (Pumping tests)

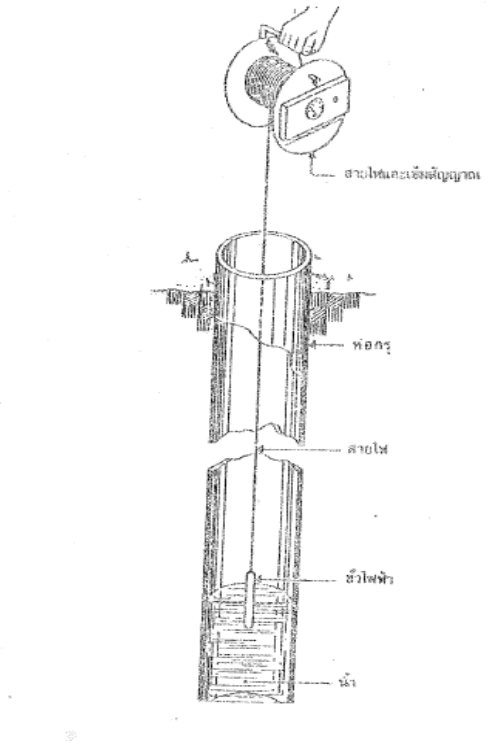
การสูบทดสอบเป็นวิธีการหนึ่ง ที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางชลศาสตร์ คุณสมบัติในการจ่ายน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ หรือของบ่อน้ำบาดาลในสภาพใดสภาพหนึ่งได้เป็นอย่างดี โดยหลังการกว้างๆแล้ว การสูบทดสอบจะใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาเบื้องต้นที่สำคัญดังนี้

1. คุณลักษณะของการให้น้ำและระยะน้ำลด (Yield – drawdown characteristics) ของบ่อน้ำบาดาล ตลอดจนข้อมูลที่ใช้ประกอบในการทำนายและวางแผนงานการทำงานของบ่อน้ำบาดาลนั้นๆ ในสภาพที่แตก ต่างออกไป

2. คุณสมบัติทางชลศาสตร์ ที่สำคัญของชั้นหินอุ้มน้ำ กล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (K) ค่า สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) และค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (S)

3. ผลสืบเนื่องมาจากระบบการดูดสูบน้ำบาดาลที่มีต่อระบบน้ำบาดาลในบริเวณดูดสูบ

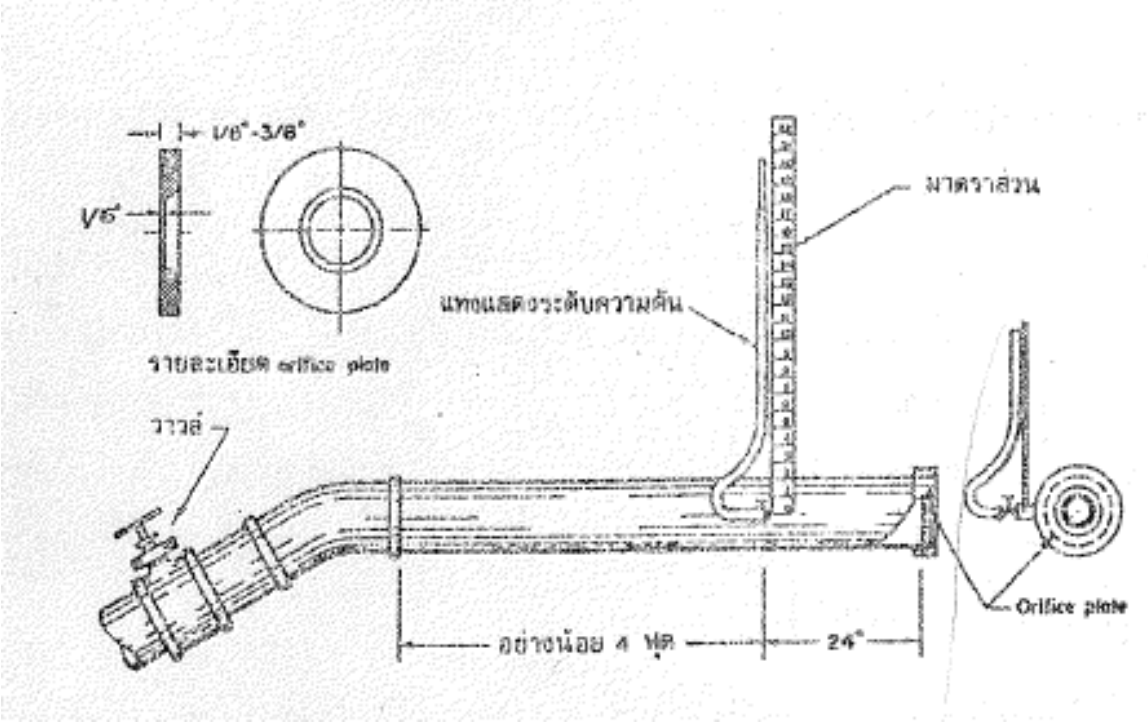
โดยหลักการแล้ว การสูบทดสอบสามารถกระทำได้ไม่ยากนัก ทั้งนี้ เพราะข้อมูลที่จำเป็นต้องสังเกตและทำการวัดจะมีอยู่เพียง 2 อย่าง คือ อัตราหรือปริมาณที่ทำการดูดสูบ (discharge rate)และระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามการวัดและบันทึกข้อมูลทั้งสองอย่างดังกล่าว จะต้องทำให้ถูกต้องและละเอียดที่สุด การวัดระดับน้ำบาดาลในบ่อทั้งบ่อที่ทำการสูบทดสอบ (test well) และบ่อสังเกตการณ์ (observation well) อาจจะกระทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้และสะดวกที่สุดโดยการใช้ขั้วไฟฟ้าต่อกับสายไฟเข้าแอมมิเตอร์ (ammeter) ที่ปากบ่อหย่อนลงไปในบ่อ เมื่อขั้วไฟฟ้าสัมผัสกับผิวน้ำหรือระดับน้ำในบ่อ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลหรือครบวงจรเข็มแอมมิเตอร์ที่ปากบ่อก็จะกระดิก ทำให้ทราบว่าถึงระดับน้ำแล้ว บนสายไฟก็ทำมาตราส่วนไว้ ทำให้ทราบระดับความลึกของน้ำบาดาลจากผิวดินได้ ความถี่ในการวัดระดับน้ำไม่สามารถวางเป็นกฎตาย ตัวได้ แต่จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและจุดมุ่งหมายของการทำการสูบทดสอบนั้นๆ อย่างไรก็ตามโดยหลัก การแล้วในบ่อที่ทำการสูบทดสอบ การวัดระดับน้ำควรจะกระทำให้ดีและบ่อยครั้งในช่วงแรกๆ ของการเริ่มสูบทดสอบ อาจจะต้องถึงทุกๆ 1 นาที และลดความถี่ของการวัดลงเมื่อทำการสูบไปได้บ้างแล้ว ซึ่งอาจจะลดเหลือ 5 นาที 15 นาที 30 นาที หรือแม้กระทั่ง 1 ชั่วโมงต่อครั้งในตอนท้ายของการสูบทดสอบ ในส่วนของบ่อสังเกตุการณ์ ความถี่ของการวัดในบ่อทดสอบอาจจะน้อยกว่า แต่มีหลักการกว้างๆ ว่าความถี่ของการวัดในบ่อสังเกตุการณ์ที่อยู่ใกล้กับบ่อทดสอบ ควรจะถี่มากกว่าบ่อที่อยู่ห่างจากบ่อทดสอบออกไป



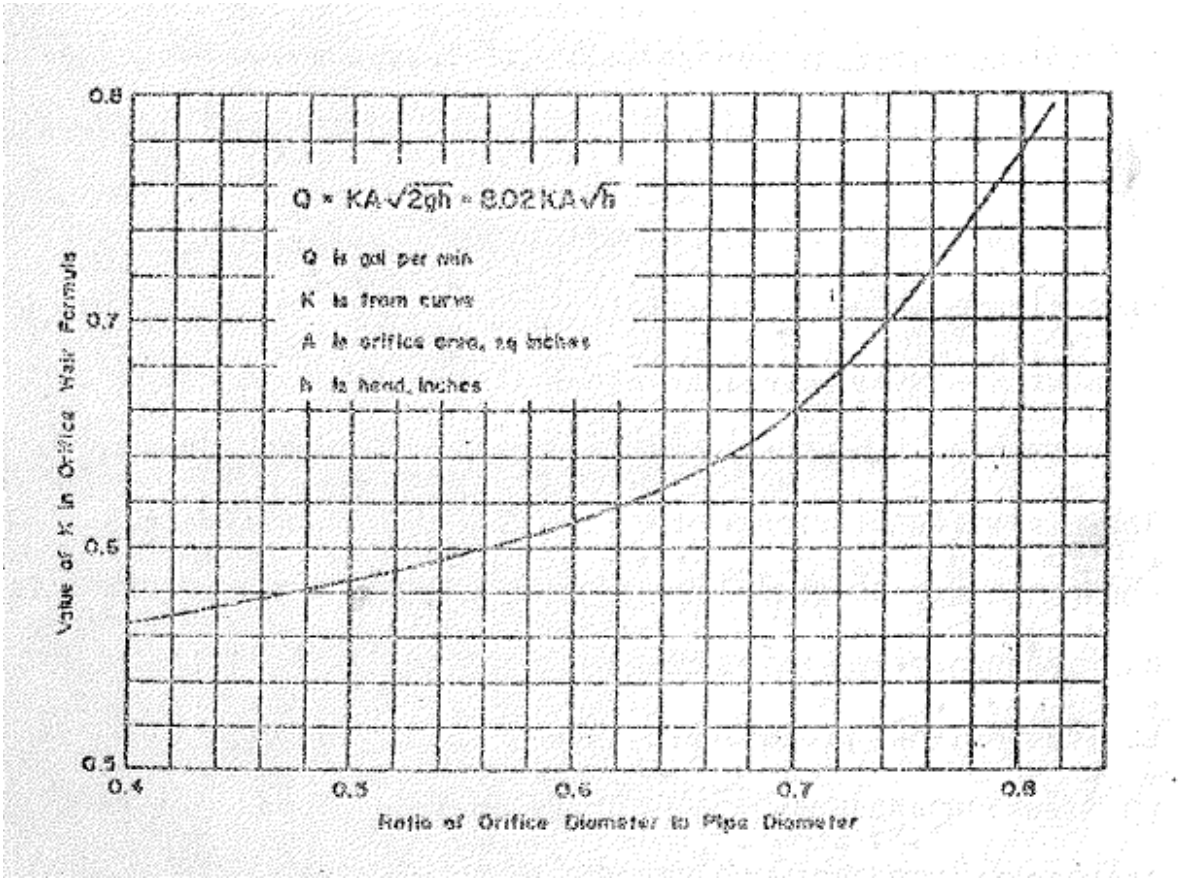
รูปที่ 2.7 การวัดระดับน้ำในบ่อโดยใช้สายไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า

โดยหลักการแล้ว ก่อนที่จะทำการสูบทดสอบ ระดับน้ำบาดาลในละแวกใกล้เคียงของบ่อที่ทำการสูบทดสอบจะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลย์ตามธรรมชาติของมัน ถ้าหากว่าในละแวกใกล้เคียงมีการดูดสูบน้ำบา ดาลขึ้นมาใช้แล้วก็ควรจะทิ้งช่วงหรือระยะเวลา เพื่อให้ระดับน้ำได้คืนตัวสู่ระดับธรรมชาติของมันเป็นระยะ เวลาที่ได้ทำการดูดสูบน้ำจากบ่อ และ/หรือเท่ากับระยะเวลาที่เราคาดว่าจะทำการสูบทดสอบ

วิธีการวัดอัตราหรือปริมาณน้ำที่ดูดสูบจากบ่อที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดก็คือโดยการใช้ Cricular 0rifice weir ซึ่งเป็นรูกลมอยู่ตรงศูนย์กลางของแผ่นเหล็กทรงกลม (circular steel plate) แผ่นเหล็กนี้จะติดไว้ กับตอนปลายของท่อส่งน้ำเพื่อให้ orifice อยู่ตรงจุกศูนย์กลางของท่อพอดี ท่อส่งน้ำจะต้องตรงและอยู่ในแนวระนาบเป็นระยะทางอย่างน้อย 6 ฟุต นับจาก orifice plate ท่อส่งน้ำดังกล่าวถ้ายิ่งยาวก็จะยิ่งดี ในท่อส่งน้ำที่ระยะทาง 24 นิ้ว จาก orifice plate และที่จุดกึ่งกลางของท่อ จะมีรูเจาะอยู่รูหนึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว หรือ 1/4 นิ้ว เพื่อใช้ต่อเข้ากับ piezometric tube จะเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความดันในท่อส่งน้ำเมื่อน้ำถูกดูดผ่าน orifice



รูปที่ 2.8 การติดตั้ง Circular orifice weir เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ดูดสูบจากบ่อบาดาล



รูปที่ 2.9 การคำนวณปริมาณน้ำจาก Orifice weir

ปริมาณน้ำหรืออัตราการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับความดันดังกล่าว การคำนวณปริมาณหรืออัตราการไหลของน้ำก็สามารถทำได้ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice และของท่อส่งน้ำจาก จากสมการ

$$Q = KA\sqrt{2gh} = 8.02\,KA\sqrt{h} \qquad (2.1)$$

การสูบทดสอบสามารถที่จะแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิดด้วยกัน ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการสูบทดสอบเป็นสำคัญ การสูบทดสอบทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวคือ การสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer test) และ การสูบสอบประสิทธิภาพของบ่อน้ำบาดาล (well-production test)

2.5.1 การสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ

เป็นวิธีการสูบทดสอบที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด และมีจุดประสงค์หลักในการที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (hydraulic properties) กล่าวคือ K , T และS ของชั้นหินอุ้มน้ำที่บ่อน้ำบาดาลเจาะผ่าน โดยวิธีการแล้วการสูบทดสอบในลักษณะนี้จะเป็นการสูบทดสอบแบบ Drawdown-recovery test กล่าวคือ จะทำการทดสอบโดยการสูบน้ำออกจากบ่อทดสอบโดยปริมาณหรืออัตราที่คงที่ และทำการวัดระดับน้ำในบ่อทดสอบและ บ่อสังเกตการณ์ ระยะเวลาของการสูบทดสอบจะเป็นอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และอาจจะยืดออกไปเป็น 1 หรือแม้กระทั่ง 2 สัปดาห์ เมื่อหยุดการสูบทดสอบจะปล่อยให้ระดับน้ำในชั้นหินกลับคืนตัว และทำการ วัดระดับน้ำในช่วงคืนตัวทั้งในบ่อทดสอบ และบ่อสังเกตการณ์ด้วย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำนี้ อาจจะทำได้หลายๆ วิธีขึ้นอยู่กับการใช้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์อีกที ดังนี้

1. การวิเคราะห์โดยใช้ Theim equilibrium formula ในกรณีนี้ข้อมูลที่จะนำมาใช้วิเคราะห์จะต้องเป็นข้อมูลที่ได้จากสภาวะสมดุลย์ กล่าวคือ ระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาลจะไม่ลดลงต่อไปอีกแล้ว ถึงแม้ว่าการดูด สูบน้ำจากบ่อจะดำเนินต่อไปก็ตาม นอกจากนี้แล้วยังจำเป็นที่จะต้องทราบและใช้ข้อมูลของระยะน้ำลดจากบ่อ สังเกตการณ์อย่างน้อย 2 บ่อขึ้นไป เพื่อจะนำมาวิเคราะห์จากสมการของ Theim ดังต่อไปนี้

ก. ในกรณีของชั้นหินอุ้มน้ำอิสระ (unconfined aquifer)

โดยใช้สมการ $$K = \frac{0.732Q}{(S1^2 - S2^2)} \cdot \log_{10}(r_2/r_1) \qquad (2.2)$$

หรือถ้าใช้หน่วย U.S. gallon-day-foot จะได้

$$K = \frac{1055Q}{(S1^2 - S2^2)} . \log_{10} (r_2 / r_1) \quad (2.3)$$

ข. ในกรณีของชั้นหินอุ้มน้ำกักขัง (confined aquifer)

โดยใช้สมการ $$K = \frac{0.366Q}{b(S1-S2)} . \log_{10} (r_2 / r_1) \quad (2.4)$$

หรือถ้าใช้หน่วยตาม U.S. gallon-day-foot จะได้

$$K = \frac{527.7Q}{b(S1-S2)} . \log_{10} (r_2 / r_1) \quad (2.5)$$

โดยสมการที่ (2.3) และ (2.5) มีหน่วยดังนี้

K = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (แกลลอนต่อวันต่อตารางฟุต)

Q = อัตราการสูบ (แกลลอนต่อนาที)

r_1 & r_2 = ระยะห่างจากบ่อสูบถึงบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 และ /2 (ฟุต)

s_1 & s_2 = ระยะน้ำลดในบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 และ 2 (ฟุต)

Theim equilibrium formula หรือสมการดังกล่าวข้างต้น ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า :

1. ชั้นหินอุ้มน้ำมีคุณสมบัติเหมือนกันหมดตลอดชั้นหินและในทุกทิศทาง

2. ประสิทธิภาพของบ่อสูบทดสอบเป็น 100 %

3. บ่อสูบทดสอบเจาะตลอดความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ

4. ระดับน้ำบาดาลหรือระดับความดัน อยู่ในแนวระนาบ และการไหลของน้ำบาดาลเป็นแบบ laminar flow ตลอด

2. การวิเคราะห์โดยใช้ Theis non-equilibrium formula โดยใช้ข้อมูลของการสูบทดสอบในขณะ ที่ยังไม่ถึงสภาวะสมดุล กล่าวคือ ระดับน้ำจะยังคงลดลงอยู่เรื่อยๆ เมื่อทำการสูบทดสอบซึ่งเป็นข้อดีของการ วิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะนี้ โดยไม่จำเป็นต้องให้ถึงสภาวะสมดุลย์เสียก่อนซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาในการสูบทด สอบนานมากนอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะนี้ก็อาจจะอาศัยข้อมูลของระดับน้ำหรือระยะน้ำลด ในบ่อสังเกตการณ์เพียงบ่อเดียวเท่านั้นก็สามารถจะกระทำได้ การวิเคราะห์ข้อมูลในวิธีนี้อาศัย Theis non-equilibrium formula

ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) , สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (S) และระยะเวลาที่ทำการสูบทดสอบซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำนายหรือคาดหมายการทำงานหรือ ปริมาณการจ่ายน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ ในสภาพหรือสภาวะที่แตกต่างออกไปจากสภาวะของการสูบทดสอบ

เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4\pi T} \int_{r^2 s/4Tt}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} . du \qquad (2.6)$$

$$S = \frac{Q}{4\pi T} . W(u) \qquad (2.7)$$

โดยมี

$$u = \frac{r^2 s}{4Tt} \qquad (2.8)$$

และ W(u) = well function of u

$$W(u) = \int_{r^2/4Tt}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} . du = -0.5722 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} \ldots\ldots$$

ซึ่ง S = ระยะน้ำลดที่ตำแหน่งใดๆ ในบริเวณรอบๆ บ่อที่กำลังสูบน้ำด้วยอัตราที่คงที่

Q = อัตราการสูบ

T = สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ

r = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของบ่อสูบถึงจุดที่ทำการวัดระยะน้ำลด

S = สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ

ในกรณีที่ใช้หน่วยตาม U.S. gallon-day-foot สมการที่ (2.7) จะเปลี่ยนเป็น

$$S = \frac{114.6\,Q}{T} \cdot W(u) \qquad (2.9)$$

และสมการที่ (2.8) จะเป็น

$$S = \frac{u\,T\,t}{1.87\,r^2} \qquad (2.10)$$

ทั้งนี้จะมีหน่วยดังนี้ s = ระยะน้ำลดที่ตำแหน่งใดๆ (ฟุต)

Q = อัตราการสูบ (แกลลอนต่อนาที)

T = สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (แกลลอนต่อวันต่อฟุต)

r = ระยะจากจุดศูนย์กลางของบ่อสูบถึงตำแหน่งที่ทำการวัดระยะน้ำลด (ฟุต)

S = สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ (ไม่มีหน่วย)

t = เวลาตั้งแต่เริ่มสูบน้ำ (วัน)

Theis non-equilibrium formula ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า

1. ชั้นหินอุ้มน้ำมีคุณสมบัติเหมือนกันหมดตลอดชั้นหิน และในทุกทิศทาง
2. ชั้นหินอุ้มน้ำมีขนาดกว้าง-ยาว ไม่มีที่สิ้นสุด
3. บ่อสูบทดสอบเจาะตลอดความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ
4. ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำคงที่ตลอดเวลา และเท่ากันหมดตลอดของชั้นหินอุ้มน้ำ
5. บ่อสูบทดสอบมีขนาดเล็กมาก (เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของชั้นหินอุ้มน้ำ)
6. ไม่มีการเพิ่มน้ำระหว่างทำการสูบทดสอบ
7. ชั้นหินอุ้มน้ำปล่อยน้ำออกมาทันทีเมื่อเริ่มมีการลดของระดับน้ำ

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลของการสูบทดสอบโดยใช้สมการของ Theis นี้ทำได้ยากลำบาก เนื่อง มาจากความยุ่งยากของลักษณะทางคณิตศาสตร์ของสมการดังนั้นการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องกระทำโดยวิธีอ้อมกล่าวคือ โดยอาศัยการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟ (graphical solution) หรือที่เรียกว่า Theis type-curve solution ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Wenzel เมื่อปี ค.ศ. 1942 การวิเคราะห์ดังกล่าวอาจจะทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการเขียนกราฟ ดังนี้

2.1 Distance - drawdown curve ถ้าเขียนสมการ (2.7) และ (2.8) ใหม่ จะได้

$$W(u) = \left[\frac{4\pi T}{Q} \right] . S \qquad (2.11)$$

$$u = \left[\frac{S}{4T} \right] . \frac{r^2}{t} \qquad (2.12)$$

เนื่องจากค่าตัวเลขในวงเล็บมีค่าคงที่ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) กับ u ก็คือความสัมพันธ์ ระหว่าง s กับ r^2/t นั่นเอง ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) เมื่อ u มีค่าต่างๆ กัน ได้มีการคำนวณไว้ ดังที่ได้แสดงไว้ใน (ตารางที่ 2.1)

ในตารางที่ (2.1) เมื่อ $N = 1.0$

$$N \times 10^{-1} = 1.8229$$

หมายความว่า เมื่อ $u = 1 \times 10^{-1}$

$$W(u) = 1.8229$$

ขั้นตอนของการวิเคราะห์มีดังนี้

1. นำค่า W(u) , u (ตารางที่ 2.1) เขียนลงบนกระดาษกราฟที่มี logarithmic scale เรียกกราฟนี้ว่า Type curve (Master curve)

2. นำค่าระยะน้ำลด (drawdown , s) และค่า r^2 / t (อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากจุดศูนย์กลางของบ่อทดสอบถึงบ่อสังเกตุการณ์ยกกำลังสอง ต่อเวลาตั้งแต่เริ่มทำการทดสอบ(t)) เขียนลงบนกระดาษกราฟที่มี logarithmic scale ขนาดเท่ากับของ Type curve

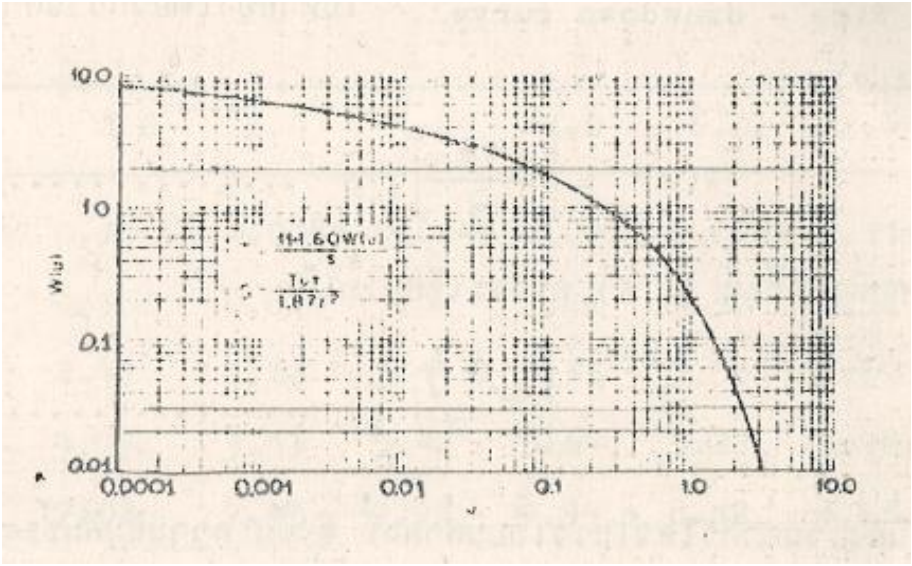
3. บนเส้นกราฟที่ทับกันสนิทดีแล้ว (โดยแกนทั้งแกนตั้งและแกนนอนขนานกันตลอดแล้ว) เลือกจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นกราฟนั้นและเรียกจุดนั้นว่า Match point. พร้อมกับลากเส้นระนาบและเส้นดิ่งจาก จุด Match point ไปตัดกับเส้นแกนของเส้นกราฟทั้งสอง จากจุดตัดกับแกนของกราฟทั้งสองนี้จะให้ค่าออกมาทั้งหมด 4 ค่าด้วยกัน คือ W(u), u, s และ r^2/t

4. จากค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่า นำไปแทนที่ในสมการที่ (2.7) และ (2.8) ก็จะได้ค่า T และ S ตามต้อง การ หรือแทนในสมการที่ (2.9) และ (2.10) ในกรณีที่ใช้หน่วย U.S. gallon – day - foot

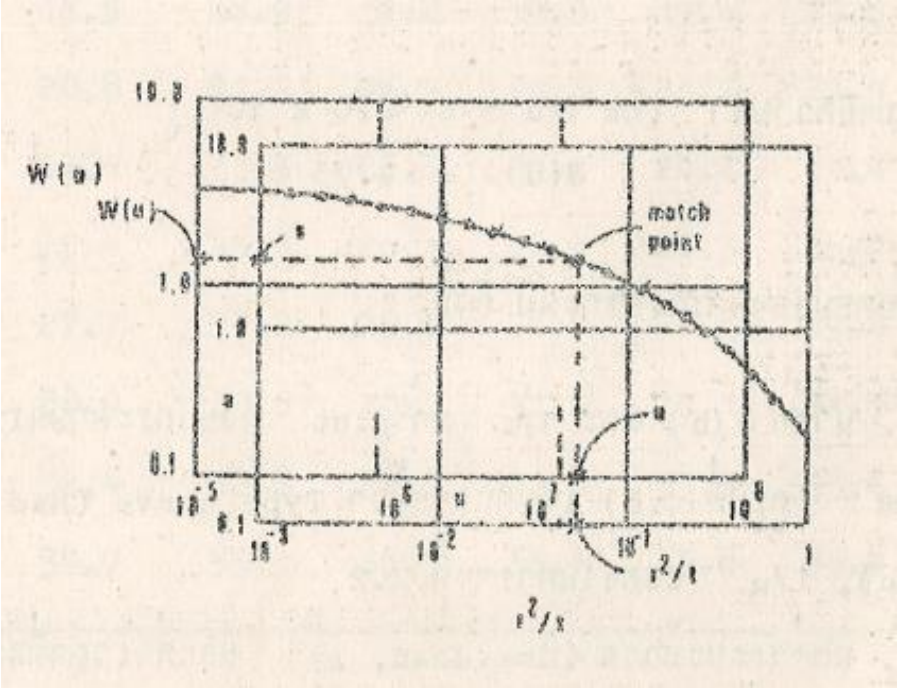
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง w(u) และ u

N \ u	$N\times10^{-15}$	$N\times10^{-14}$	$N\times10^{-13}$	$N\times10^{-12}$	$N\times10^{-11}$	$N\times10^{-10}$	$N\times10^{-9}$	$N\times10^{-8}$	$N\times10^{-7}$	$N\times10^{-6}$	$N\times10^{-5}$	$N\times10^{-4}$	$N\times10^{-3}$	$N\times10^{-2}$	$N\times10^{-1}$	N
1.0	33.9616	31.6590	29.3564	27.0538	24.7512	22.4486	20.1460	17.8435	15.5409	13.2383	10.9357	8.6332	6.3315	4.0379	1.8229	0.2194
1.1	33.8662	31.5637	29.2611	26.9585	24.6559	22.3533	20.0507	17.7482	15.4456	13.1430	10.8404	8.5379	6.2363	3.9436	1.7371	.1860
1.2	33.7792	31.4767	29.1741	26.8715	24.5689	22.2663	19.9637	17.6611	15.3586	13.0560	10.7534	8.4509	6.1494	3.8576	1.6595	.1584
1.3	33.6992	31.3966	29.0940	26.7914	24.4889	22.1863	19.8837	17.5811	15.2785	12.9759	10.6734	8.3709	6.0695	3.7785	1.5889	.1355
1.4	33.6251	31.3225	29.0199	26.7173	24.4147	22.1122	19.8096	17.5070	15.2044	12.9018	10.5993	8.2968	5.9955	3.7054	1.5241	.1162
1.5	33.5561	31.2535	28.9509	26.6483	24.3458	22.0432	19.7406	17.4380	15.1354	12.8328	10.5303	8.2278	5.9266	3.6374	1.4645	.1000
1.6	33.4916	31.1890	28.8864	26.5838	24.2812	21.9786	19.6760	17.3735	15.0709	12.7683	10.4657	8.1634	5.8621	3.5739	1.4092	.08631
1.7	33.4309	31.1283	28.8258	26.5232	24.2206	21.9180	19.6154	17.3128	15.0103	12.7077	10.4051	8.1027	5.8016	3.5143	1.3578	.07465
1.8	33.3738	31.0712	28.7686	26.4660	24.1634	21.8608	19.5583	17.2557	14.9531	12.6505	10.3479	8.0455	5.7446	3.4581	1.3089	.06471
1.9	33.3197	31.0171	28.7145	26.4119	24.1094	21.8068	19.5042	17.2016	14.8990	12.5964	10.2939	7.9915	5.6906	3.4050	1.2649	.05620
2.0	33.2684	30.9658	28.6632	26.3607	24.0581	21.7555	19.4529	17.1503	14.8477	12.5451	10.2426	7.9402	5.6394	3.3547	1.2227	.04890
2.1	33.2196	30.9170	28.6145	26.3119	24.0093	21.7067	19.4041	17.1015	14.7989	12.4964	10.1938	7.8914	5.5907	3.3069	1.1829	.04261
2.2	33.1731	30.8705	28.5679	26.2653	23.9628	21.6602	19.3576	17.0550	14.7524	12.4498	10.1473	7.8449	5.5443	3.2614	1.1454	.03719
2.3	33.1286	30.8261	28.5235	26.2209	23.9183	21.6157	19.3131	17.0106	14.7080	12.4054	10.1028	7.8004	5.4999	3.2179	1.1099	.03250
2.4	33.0861	30.7835	28.4809	26.1783	23.8758	21.5732	19.2706	16.9680	14.6654	12.3628	10.0603	7.7579	5.4575	3.1763	1.0762	.02844
2.5	33.0453	30.7427	28.4401	26.1375	23.8349	21.5323	19.2298	16.9272	14.6246	12.3220	10.0194	7.7172	5.4167	3.1365	1.0443	.02491
2.6	33.0060	30.7035	28.4009	26.0983	23.7957	21.4931	19.1905	16.8880	14.5854	12.2828	9.9802	7.6779	5.3776	3.0983	1.0139	.02185
2.7	32.9683	30.6657	28.3631	26.0606	23.7580	21.4554	19.1528	16.8502	14.5476	12.2450	9.9425	7.6401	5.3400	3.0615	.9849	.01918
2.8	32.9319	30.6294	28.3268	26.0242	23.7216	21.4190	19.1164	16.8138	14.5113	12.2087	9.9061	7.6038	5.3037	3.0261	.9573	.01686
2.9	32.8968	30.5943	28.2917	25.9891	23.6865	21.3839	19.0813	16.7788	14.4762	12.1736	9.8710	7.5687	5.2687	2.9920	.9309	.01482
3.0	32.8629	30.5604	28.2578	25.9552	23.6526	21.3500	19.0474	16.7449	14.4423	12.1397	9.8371	7.5348	5.2349	2.9591	.9057	.01305
3.1	32.8302	30.5276	28.2250	25.9224	23.6198	21.3172	19.0146	16.7121	14.4095	12.1069	9.8043	7.5020	5.2022	2.9273	.8815	.01149
3.2	32.7984	30.4958	28.1932	25.8907	23.5880	21.2855	18.9829	16.6803	14.3777	12.0751	9.7726	7.4703	5.1706	2.8965	.8583	.01013
3.3	32.7676	30.4651	28.1625	25.8599	23.5573	21.2547	18.9521	16.6495	14.3470	12.0444	9.7418	7.4395	5.1399	2.8668	.8361	.008939
3.4	32.7378	30.4352	28.1326	25.8300	23.5274	21.2249	18.9223	16.6197	14.3171	12.0145	9.7120	7.4097	5.1102	2.8379	.8147	.007891
3.5	32.7088	30.4062	28.1036	25.8010	23.4985	21.1959	18.8933	16.5907	14.2881	11.9855	9.6830	7.3807	5.0813	2.8099	.7942	.006970
3.6	32.6806	30.3780	28.0755	25.7729	23.4703	21.1677	18.8651	16.5625	14.2599	11.9574	9.6548	7.3526	5.0532	2.7827	.7745	.006160
3.7	32.6532	30.3506	28.0481	25.7455	23.4429	21.1403	18.8377	16.5351	14.2325	11.9300	9.6274	7.3252	5.0259	2.7563	.7554	.005448
3.8	32.6266	30.3240	28.0214	25.7188	23.4162	21.1136	18.8110	16.5085	14.2059	11.9033	9.6007	7.2985	4.9993	2.7306	.7371	.004820
3.9	32.6006	30.2980	27.9954	25.6928	23.3902	21.0877	18.7851	16.4825	14.1799	11.8773	9.5748	7.2725	4.9735	2.7056	.7194	.004267
4.0	32.5753	30.2727	27.9701	25.6675	23.3649	21.0623	18.7598	16.4572	14.1546	11.8520	9.5495	7.2472	4.9482	2.6813	.7024	.003779
4.1	32.5506	30.2480	27.9454	25.6428	23.3402	21.0376	18.7351	16.4325	14.1299	11.8273	9.5248	7.2225	4.9236	2.6576	.6859	.003349
4.2	32.5265	30.2239	27.9213	25.6187	23.3161	21.0136	18.7110	16.4084	14.1058	11.8032	9.5007	7.1985	4.8997	2.6344	.6700	.002969
4.3	32.5029	30.2004	27.8978	25.5952	23.2926	20.9900	18.6874	16.3884	14.0823	11.7797	9.4771	7.1749	4.8762	2.6119	.6546	.002633
4.4	32.4800	30.1774	27.8748	25.5722	23.2696	20.9670	18.6644	16.3619	14.0593	11.7567	9.4541	7.1520	4.8533	2.5899	.6397	.002336
4.5	32.4575	30.1549	27.8523	25.5497	23.2471	20.9446	18.6420	16.3394	14.0368	11.7342	9.4317	7.1295	4.8310	2.5684	.6253	.002073
4.6	32.4355	30.1329	27.8303	25.5277	23.2252	20.9226	18.6200	16.3174	14.0148	11.7122	9.4097	7.1075	4.8091	2.5474	.6114	.001841
4.7	32.4140	30.1114	27.8088	25.5062	23.2037	20.9011	18.5985	16.2959	13.9933	11.6907	9.3882	7.0860	4.7877	2.5268	.5979	.001635
4.8	32.3929	30.0904	27.7878	25.4852	23.1826	20.8800	18.5774	16.2748	13.9723	11.6697	9.3671	7.0650	4.7667	2.5068	.5848	.001453
4.9	32.3723	30.0697	27.7672	25.4646	23.1620	20.8594	18.5568	16.2542	13.9516	11.6491	9.3465	7.0444	4.7462	2.4871	.5721	.001291

5.0	32.3521	30.0495	27.7470	25.4444	23.1418	20.8392	18.5366	16.2340	13.9314	11.6289	9.3263	7.0242	4.7261	2.4679	.5598	.001148
5.1	32.3323	30.0297	27.7271	25.4246	23.1220	20.8194	18.5168	16.2142	13.9116	11.6091	9.3065	7.0044	4.7064	2.4491	.5478	.001021
5.2	32.3129	30.0103	27.7077	25.4051	23.1026	20.8000	18.4974	16.1948	13.8922	11.5896	9.2871	6.9850	4.6871	2.4306	.5362	.0009086
5.3	32.2939	29.9913	27.6887	25.3861	23.0835	20.7809	18.4783	16.1758	13.8732	11.5706	9.2681	6.9659	4.6681	2.4126	.5250	.0008086
5.4	32.2752	29.9726	27.6700	25.3674	23.0648	20.7622	18.4596	16.1571	13.8545	11.5519	9.2494	6.9473	4.6495	2.3948	.5140	.0007198
5.5	32.2568	29.9542	27.6516	25.3491	23.0465	20.7439	18.4413	16.1387	13.8361	11.5336	9.2310	6.9289	4.6313	2.3775	.5034	.0006409
5.6	32.2388	29.9362	27.6336	25.3310	23.0285	20.7259	18.4233	16.1207	13.8181	11.5155	9.2130	6.9109	4.6134	2.3604	.4930	.0005708
5.7	32.2211	29.9185	27.6159	25.3133	23.0108	20.7082	18.4056	16.1030	13.8004	11.4978	9.1953	6.8932	4.5958	2.3437	.4830	.0005085
5.8	32.2037	29.9011	27.5985	25.2959	22.9934	20.6908	18.3882	16.0856	13.7830	11.4804	9.1779	6.8758	4.5785	2.3273	.4732	.0004532
5.9	32.1866	29.8840	27.5814	25.2789	22.9763	20.6737	18.3711	16.0685	13.7659	11.4633	9.1608	6.8588	4.5615	2.3111	.4637	.0004039
6.0	32.1698	29.8672	27.5646	25.2620	22.9595	20.6569	18.3543	16.0517	13.7491	11.4465	9.1440	6.8420	4.5448	2.2953	.4544	.0003601
6.1	32.1533	29.8507	27.5481	25.2455	22.9429	20.6403	18.3378	16.0352	13.7326	11.4300	9.1275	6.8254	4.5283	2.2797	.4454	.0003211
6.2	32.1370	29.8344	27.5318	25.2293	22.9267	20.6241	18.3215	16.0189	13.7163	11.4138	9.1112	6.8092	4.5122	2.2645	.4366	.0002864
6.3	32.1210	29.8184	27.5158	25.2133	22.9107	20.6081	18.3055	16.0029	13.7003	11.3978	9.0952	6.7932	4.4963	2.2494	.4280	.0002555
6.4	32.1053	29.8027	27.5001	25.1975	22.8949	20.5923	18.2898	15.9872	13.6846	11.3820	9.0795	6.7775	4.4806	2.2346	.4197	.0002279
6.5	32.0898	29.7872	27.4846	25.1820	22.8794	20.5768	18.2742	15.9717	13.6691	11.3665	9.0640	6.7620	4.4652	2.2201	.4115	.0002034
6.6	32.0745	29.7719	27.4693	25.1667	22.8641	20.5616	18.2590	15.9564	13.6538	11.3512	9.0487	6.7467	4.4501	2.2058	.4036	.0001816
6.7	32.0595	29.7569	27.4543	25.1517	22.8491	20.5465	18.2439	15.9414	13.6388	11.3362	9.0337	6.7317	4.4351	2.1917	.3959	.0001621
6.8	32.0446	29.7421	27.4395	25.1369	22.8343	20.5317	18.2291	15.9265	13.6240	11.3214	9.0189	6.7169	4.4204	2.1779	.3883	.0001448
6.9	32.0300	29.7275	27.4249	25.1223	22.8197	20.5171	18.2145	15.9119	13.6094	11.3608	9.0043	6.7023	4.4059	2.1643	.3810	.0001293
7.0	32.0156	29.7131	27.4105	25.1079	22.8053	20.5027	18.2001	15.8976	13.5950	11.2924	8.9899	6.6879	4.3916	2.1508	.3738	.0001155
7.1	32.0015	29.6989	27.3963	25.0937	22.7911	20.4885	18.1860	15.8834	13.5808	11.2782	8.9757	6.6737	4.3775	2.1376	.3668	.0001032
7.2	31.9875	29.6849	27.3823	25.0797	22.7771	20.4746	18.1720	15.8694	13.5668	11.2642	8.9617	6.6598	4.3636	2.1246	.3599	.00009219
7.3	31.9737	29.6711	27.3685	25.0659	22.7633	20.4608	18.1582	15.8556	13.5530	11.2504	8.9479	6.6460	4.3500	2.1118	.3532	.00008239
7.4	31.9601	29.6575	27.3549	25.0523	22.7497	20.4472	18.1446	15.8420	13.5394	11.2368	8.9343	6.6324	4.3364	2.0991	.3467	.00007364
7.5	31.9467	29.6441	27.3415	25.0389	22.7363	20.4337	18.1311	15.8286	13.5260	11.2234	8.9209	6.6190	4.3231	2.0867	.3403	.00006583
7.6	31.9334	29.6308	27.3282	25.0257	22.7231	20.4205	18.1179	15.8153	13.5127	11.2102	8.9076	6.6057	4.3100	2.0744	.3341	.00005886
7.7	31.9203	29.6178	27.3152	25.0126	22.7100	20.4074	18.1048	15.8022	13.4997	11.1971	8.8946	6.5927	4.2970	2.0623	.3280	.00005263
7.8	31.9074	29.6048	27.3023	24.9997	22.6971	20.3945	18.0919	15.7893	13.4868	11.1842	8.8817	6.5798	4.2842	2.0503	.3221	.00004707
7.9	31.8947	29.5921	27.2895	24.9869	22.6844	20.3818	18.0792	15.7766	13.4740	11.1714	8.8689	6.5671	4.2716	2.0386	.3163	.00004210
8.0	31.8821	29.5795	27.2769	24.9744	22.6718	20.3692	18.0666	15.7640	13.4614	11.1589	8.8563	6.5545	4.2591	2.0269	.3106	.00003767
8.1	31.8697	29.5671	27.2645	24.9619	22.6594	20.3568	18.0542	15.7516	13.4490	11.1464	8.8439	6.5421	4.2468	2.0155	.3050	.00003370
8.2	31.8574	29.5548	27.2523	24.9497	22.6471	20.3445	18.0419	15.7393	13.4367	11.1342	8.8317	6.5298	4.2346	2.0042	.2996	.00003015
8.3	31.8453	29.5427	27.2401	24.9375	22.6350	20.3324	18.0298	15.7272	13.4246	11.1220	8.8195	6.5177	4.2226	1.9930	.2943	.00002699
8.4	31.8333	29.5307	27.2282	24.9256	22.6230	20.3204	18.0178	15.7152	13.4126	11.1101	8.8076	6.5057	4.2107	1.9820	.2891	.00002415
8.5	31.8215	29.5189	27.2163	24.9137	22.6112	20.3086	18.0060	15.7034	13.4008	11.0982	8.7957	6.4939	4.1990	1.9711	.2840	.00002162
8.6	31.8098	29.5072	27.2046	24.9020	22.5995	20.2969	17.9943	15.6917	13.3891	11.0865	8.7840	6.4822	4.1874	1.9604	.2790	.00001936
8.7	31.7982	29.4957	27.1931	24.8905	22.5879	20.2853	17.9827	15.6801	13.3776	11.0750	8.7725	6.4707	4.1759	1.9498	.2742	.00001733
8.8	31.7868	29.4842	27.1816	24.8790	22.5765	20.2739	17.9713	15.6687	13.3661	11.0635	8.7610	6.4592	4.1646	1.9393	.2694	.00001552
8.9	31.7755	29.4729	27.1703	24.8678	22.5652	20.2626	17.9600	15.6574	13.3548	11.0523	8.7497	6.4480	4.1534	1.9290	.2647	.00001390
9.0	31.7643	29.4618	27.1592	24.8566	22.5540	20.2514	17.9488	15.6462	13.3437	11.0411	8.7386	6.4368	4.1423	1.9187	.2602	.00001245
9.1	31.7533	29.4507	27.1481	24.8455	22.5429	20.2404	17.9378	15.6352	13.3326	11.0300	8.7275	6.4258	4.1313	1.9087	.2557	.00001115
9.2	31.7424	29.4398	27.1372	24.8346	22.5320	20.2294	17.9268	15.6243	13.3217	11.0191	8.7166	6.4148	4.1205	1.8987	.2513	.000009988
9.3	31.7315	29.4290	27.1264	24.8238	22.5212	20.2186	17.9160	15.6135	13.3109	11.0083	8.7058	6.4040	4.1098	1.8888	.2470	.000008948
9.4	31.7208	29.4183	27.1157	24.8131	22.5105	20.2079	17.9053	15.6028	13.3002	10.9976	8.6951	6.3934	4.0992	1.8791	.2429	.000008018
9.5	31.7103	29.4077	27.1051	24.8025	22.4999	20.1973	17.8948	15.5922	13.2896	10.9870	8.6845	6.3828	4.0887	1.8695	.2387	.000007185
9.6	31.6998	29.3972	27.0946	24.7920	22.4895	20.1869	17.8843	15.5817	13.2791	10.9765	8.6740	6.3723	4.0784	1.8599	.2347	.000006439
9.7	31.6894	29.3868	27.0843	24.7817	22.4791	20.1765	17.8739	15.5713	13.2688	10.9662	8.6637	6.3620	4.0681	1.8505	.2308	.000005771
9.8	31.6792	29.3766	27.0740	24.7714	22.4688	20.1663	17.8637	15.5611	13.2585	10.9559	8.6534	6.3517	4.0579	1.8412	.2269	.000005173
9.9	31.6690	29.3664	27.0639	24.7613	22.4587	20.1561	17.8535	15.5509	13.2483	10.9458	8.6433	6.3416	4.0479	1.8320	.2231	.000004637



รูปที่ 2.10 Master curve ระหว่างค่า W(u) และ u



รูปที่ 2.11 เส้นกราฟระหว่างค่าของระยะน้ำลด (s)

และ r^2/t และแสดงวิธีการทาบกราฟ

2.2 Time - drawdown curve ในทำนองเดียวกันวิธีการข้างต้น พิจารณาสมการที่ (2.11)

$$W(u) = \left[\frac{4\pi T}{Q} \right] . S \qquad (2.11)$$

โดยที่สมการที่ (2.12) อาจจะเขียนได้เป็น

$$u = \left[\frac{s r^2}{4 T} \right] . \frac{1}{t} \qquad (2.13)$$

เนื่องจากค่าตัวเลขในวงเล็บมีค่าคงที่ ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) กับ 1 / u ก็คือความสัมพันธ์ ระหว่าง s กับ t นั่นเอง ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) เมื่อ 1 / u มีค่าต่างๆ กัน ได้มีการคำนวณไว้ ดังที่ได้แสดงไว้ใน (ตารางที่ 2.2)

ในตารางที่ (2.1) เมื่อ $N = 2.0$

$$N \times 10^2 = 4.73$$

หมายความว่า เมื่อ $1/u = 2.0 \times 10^2$

$$W(u) = 4.73$$

ขั้นตอนของการวิเคราะห์มีดังนี้

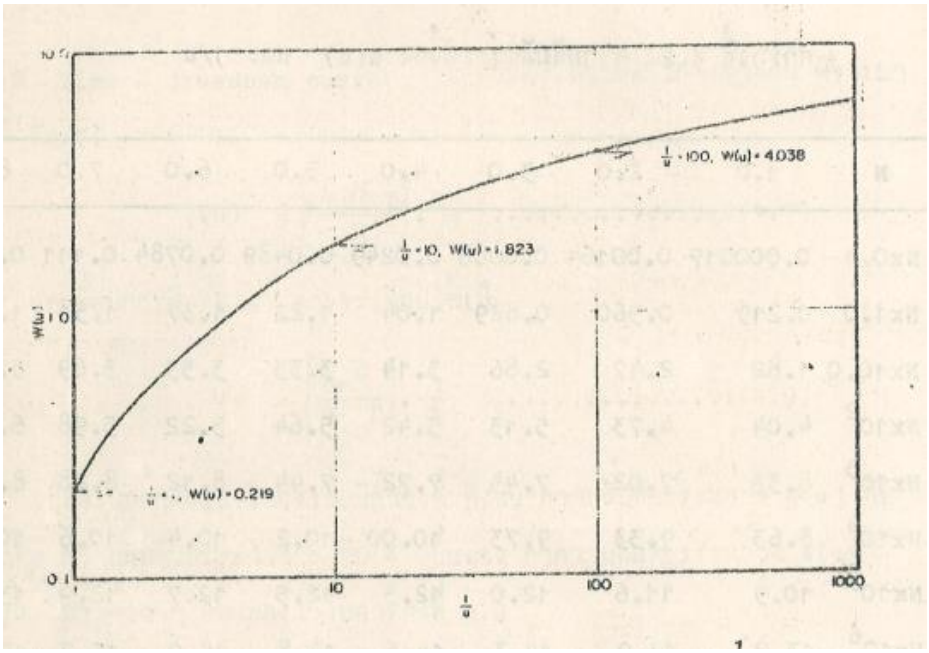
1. นำค่า w(u) และ 1/u มา plot ลงบนกระดาษกราฟที่มี logarithmic scale เรียกกราฟนี้ว่า Type curve (Master curve) ค่าของ W(u) , 1/u แสดงในตารางที่ (2.2)

2. นำค่าระยะน้ำลด (drawdown ,s) และค่าเวลาที่หลังจากการสูบทดสอบเริ่มขึ้น (time since pump –ing started, t) มา plot ลงบนกระดาษกราฟอีกแผ่นหนึ่ง ที่มี logarithmic scale ขนาดเท่ากันกับของที่ใช้ใน type curve

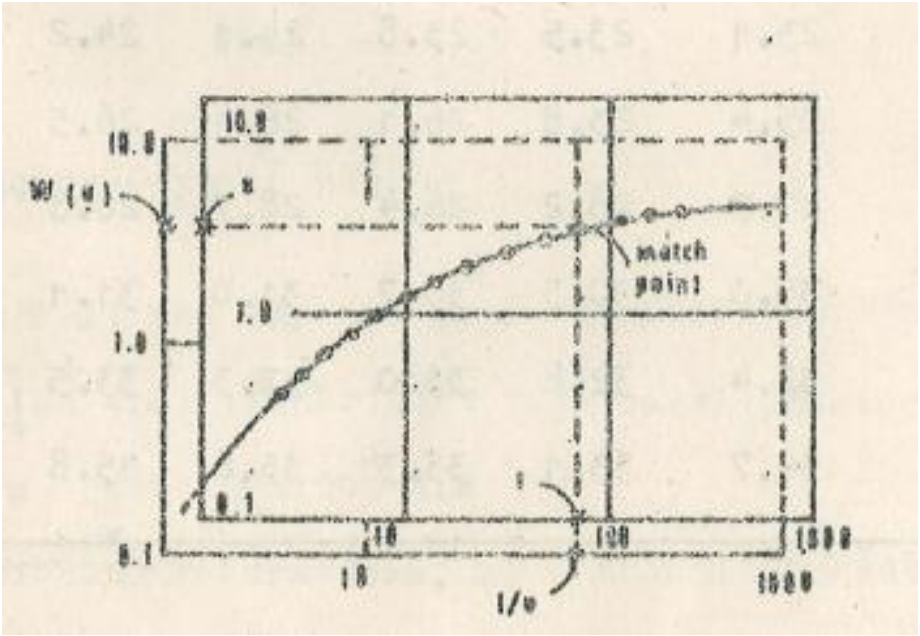
3. นำกระดาษกราฟทั้งสองมาทาบกัน โดยให้แกนขนานกัน ทั้งแกนตั้งและแกนนอนและพยายามจัดให้เส้นกราฟ (curve) ทั้งสองทาบกันให้สนิทมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) และ 1/u

N	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Nx0.1	0.000017	0.00164	0.0086	0.0249	0.0489	0.0784	0.111	0.146	0.183
Nx1.0	0.219	0.560	0.829	1.04	1.22	1.37	1.51	1.62	1.73
Nx10.0	1.82	2.47	2.86	3.14	3.35	3.53	3.69	3.62	3.93
$Nx10^2$	4.04	4.73	5.13	5.42	5.64	5.22	5.98	6.11	6.23
$Nx10^3$	6.33	7.02	7.43	7.72	7.94	8.12	8.28	8.41	9.53
$Nx10^4$	8.63	9.33	9.73	10.00	10.2	10.4	10.6	10.7	10.8
$Nx10^5$	10.9	11.6	12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.1
$Nx10^6$	13.2	13.9	14.3	14.6	14.8	15.0	15.2	15.3	15.4
$Nx10^7$	15.5	16.2	16.6	16.9	17.2	17.3	17.5	17.6	17.7
$Nx10^8$	17.8	18.5	18.9	19.2	19.5	19.6	19.8	19.9	20.0
$Nx10^9$	20.1	20.8	21.2	21.5	21.8	21.9	22.1	22.2	22.3
$Nx10^{10}$	22.4	23.1	23.5	23.8	24.1	24.2	24.4	24.5	24.6
$Nx10^{11}$	24.8	25.4	25.8	26.1	26.4	26.5	26.7	26.8	26.9
$Nx10^{12}$	27.1	27.7	28.2	26.4	28.7	28.8	29.0	29.1	29.3
$Nx10^{13}$	29.4	30.0	30.5	30.7	31.0	31.1	31.3	31.4	31.6
$Nx10^{14}$	31.7	32.4	32.8	33.0	33.3	33.5	33.6	33.7	33.9
$Nx10^{15}$	34.0	34.7	35.1	35.3	35.6	35.8	35.9	36.0	36.2



รูปที่ 2.12 Master curve ระหว่างค่า W(u) และ 1/u



รูปที่ 2.13 เส้นกราฟระหว่างค่าของระยะน้ำลด (s) และค่าเวลาตั้งแต่เริ่มสูบ (t)

และแสดงวิธีการทาบเส้นกราฟ

4. บนเส้นกราฟที่ทับกันสนิทดีแล้ว (โดยแกนทั้งแกนตั้งและแกนนอนขนานกันตลอดแล้ว)เลือกจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นกราฟนั้น และเรียกจุดนั้นว่า Match point พร้อมกับลากเส้นระนาบและเส้นดิ่งจาก Match point ไปตัดกับแกนของเส้นกราฟทั้งสองจากจุดตัดกับแกนของกราฟทั้งสองนี้ จะให้ค่าออกมาทั้งหมด 4 ค่า ด้วยกัน คือ W(u) ,1/u , S และ t

5. จากค่าที่ได้ทั้ง 4 ค่า นำไปแทนที่ในสมการที่ (2.7) และ (2.8) ก็จะได้ค่าของ T และ S ตามต้อง การ หรือแทนค่าในสมการที่ (2.9) และ (2.10) ในกรณีที่ใช้หน่วยของ U.S. gallon-day-foot

3. การวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบโดยใช้ Cooper and Jacob formula ซึ่ง Cooper and Jacob ได้ทำการ ศึกษาและวิเคราะห์ Theis formula และพบว่า ถ้า u มีค่าน้อยมาก Theis formula อาจจะเขียนได้ในลักษณะ ของสมการที่ (2.14) และไม่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เปลี่ยนแปลง ดังนี้

$$S = \frac{Q}{4\pi T}\left(\log_e \frac{4Tt}{r^2 s} - 0.5772\right)$$

$$= \frac{Q}{4\pi T}\log_e \frac{2.25Tt}{r^2 s} \qquad (2.14)$$

สมการที่ (2.14) เรียก Cooper-Jacob Modified Nonequilibrium formula และถ้าเขียนในหน่วยของ U.S. gallon-day-foot และแปลง $\log_e$ ใน $\log_{10}$ สมการที่ (2.14) จะมีค่าเท่ากับ

$$S = \frac{264Q}{T}\left(\log \frac{0.3Tt}{r^2 s}\right) \qquad (2.15)$$

ค่าต่างๆ และหน่วยเหมือนกับสมการ (2.9) และ (2.10)

Cooper and Jacob formula จะใช้ได้ดีเมื่อ u มีค่าน้อยกว่า 0.05 ค่า u จะน้อยลงเมื่อ t เพิ่มขึ้น และค่า r ลดลง นั่นคือสมการ (2.14) หรือ (2.15) จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบได้ดีในระยะหลังๆ ของการสูบทดสอบ กล่าวคือค่า t เพิ่มมากขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลของการสูบทดสอบก็โดยอาศัย graphical solution เหมือนกันโดยการนำเอาค่า ระดับน้ำลด (s) และระยะเวลาหลังจากเริ่มการสูบทดสอบ (t) มา plot ลงบนกระดาษ semi-log scale โดยแกนตั้งเป็น arithmetic scale และแกนนอนเป็น logarithmic scale

ค่า T และ S สามารถคำนวณได้จาก Cooper and Jacob formula ซึ่งเขียนในรูปแบบที่ง่ายต่อการคำนวณ ดังนี้

$$T = \frac{264\ Q}{\Delta S} \tag{2.16}$$

เมื่อ

$$S = \frac{0.3\ T\ t_0}{r^2} \tag{2.17}$$

โดย T = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (แกลลอนต่อวันต่อฟุต)

S = สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ

Q = อัตราการสูบ (แกลลอนต่อนาที)

ΔS = ผลต่างของระยะน้ำลดต่อหนึ่ง log cycle ของเวลา(ฟุต)

t_0 = เวลาที่ระยะน้ำลดมีค่าเท่ากับศูนย์ (วัน)

r = ระยะห่างจากบ่อสูบถึงบ่อสังเกตการณ์ (ฟุต)

การวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบโดย Cooper and Jacob formula นอกจากจะใช้ข้อมูลของระยะน้ำลด (drawdown , s) แล้ว ยังสามารถนำข้อมูลระดับน้ำในบ่อระหว่างการคืนตัว (recovery period)มาทำการวิเคราะห์ได้อีกด้วย ทำให้สามารถใช้เป็นตัวเช็คของการวิเคราะห์ข้อมูลได้เป็นอย่างดี ในระหว่างการคืนตัวของระดับน้ำหลังการสูบทดสอบแล้ว เราสามารถคำนวณหาค่าที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้อีก 2 ค่าด้วยกันคือ ระยะน้ำลดลงคงเหลือ (residual drawdown) และระยะน้ำคืนตัว (recovery)

การวิเคราะห์หาค่า T ทำได้จากสมการ

$$T = \frac{264\ Q}{\Delta\ (S - S')} \tag{2.18}$$

$$T = \frac{264\ Q}{\Delta\ S'} \tag{2.19}$$

การวิเคราะห์หาค่า T โดยสมการทั้งสองมีหลักการและเทคนิคทำนองเดียวกัน

2.6 การพัฒนาบ่อ (Well development)

หลังจากเจาะบ่อและปรับปรุงบ่อโดยการใส่ท่อกรุท่อกรอง หรือ กรุกรวดแล้วก่อนที่จะทำการสูบทดสอบเพื่อเลือกขนาดเครื่องสูบที่เหมาะสมบ่อนั้นก็ควรจะได้รับการพัฒนา ทั้งนี้เพื่อที่จะให้บ่อมีอายุการใช้งานยาวและได้ประโยชน์เต็มที่ หลักใหญ่ของการพัฒนาบ่อก็คือ พยายามที่จะดึงเอากรวด ทรายที่มีขนาดเล็กออกจากชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่รอบๆ ส่วนที่เราลงท่อเจาะเซาะร่องหรือท่อกรองและให้เหลือแต่พวกที่มีขนาดใหญ่ไว้ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1.การสูบน้ำ(Pumping)โดยการสูบน้ำด้วยอัตราต่ำๆก่อนน้ำที่จะเข้าบ่อในตอนแรกจะขุ่นทำการสูบต่อไปจนกระทั่งน้ำใส และเพิ่มอัตราการสูบให้สูงขึ้นไปอีกน้ำก็ยังขุ่นอีก ทำการสูบต่อไปจนกระทั่งน้ำใส ทำเช่นนี้ต่อไปจนกระทั่งถึงความสามารถสูงสุดของเครื่องสูบ หรือของบ่อ หลังจากนั้นก็หยุดสูบให้ระดับน้ำในบ่อคืนตัว แล้วก็กระทำในลักษณะเดิมซ้ำ จากการที่สูบน้ำในลักษณะนี้กล่าวคือไม่ต่อเนื่องกัน และด้วยอัตราต่างๆกันจะทำให้พวกกรวดทรายที่มีขนาดเล็ก ถูกสูบออกและเหลือแต่พวกที่มีขนาดใหญ่ไว้

ถ้าหากการสูบน้ำในตอนแรก สูบด้วยอัตราที่มากก่อนจะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นทันทีทันใด (sudden pull) กรวด ทราย ที่อยู่รอบๆบ่อทั้งที่มีขนาดหยาบและละเอียดจะถูกดึงเข้ามาอย่างทันที ทันใด จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Bridging กล่าวคือ กรวด ทรายไปค้างอยู่ที่รูเปิดร่วมกันทำให้พวกที่มีขนาดเล็กไม่สามารถไหลเข้าบ่อได้

2.การกวน(Surging) โดยทำให้เกิดแรงอัดขึ้นลงก่อกวนในบ่อ โดยที่ใช้กวนน้ำ(surge plunger) ซึ่งโดยปกติมีลักษณะเป็นท่อนเหล็กกลมและกลวงต่อเข้ากับ drilling pipe ในขณะที่กด plunger ลง แรงอัดก็จะทำให้กรวดทรายที่มีขนาดต่างกัน แยกตัวออกจากกัน เมื่อดึง plunger ขึ้น ก็จะดึงเอาน้ำเข้าในบ่อ โดยจะดึงเอาพวกกรวดทราย วัสดุที่มีขนาดเล็กเข้ามาในบ่อด้วย ในขณะที่พวกที่มีขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะยังตกค้างอยู่นอกบ่อ

ในขณะที่ทำการดังกล่าวก็จะสูบน้ำออกจากบ่อด้วย พวกที่มีขนาดเล็กที่ไหลเข้ามาในบ่อก็จะถูกดูดสูบออกไป ทำในลักษณะเช่นนี้จนน้ำใส โดยปกติการทำ surging จะทำทีละช่วงๆ ของบ่อ จนตลอดความยาวของส่วนที่ใส่ท่อกรองหรือเจาะเซาะร่อง

3.การอัดลม (Compressed air) โดยอาศัยแรงอัดอากาศเป็นตัวทำให้เกิดการแยกของกรวดทรายที่มีขนาดต่างๆ กัน วิธีการก็โดยการหย่อนท่อลมลงไปที่ความลึกหนึ่งแล้วอัดอากาศให้ได้ความดันที่ต้องการ เมื่อเปิดลิ้นความดัน อากาศในท่อก็จะถูกปล่อยออกมาทันทีทันใด ทำให้เกิดปฏิกิริยากวนน้ำขึ้น เมื่อความดันอากาศลดน้อยลงและอากาศเริ่มลอยตัวขึ้น ก็จะถึงและพาเอากรวดทรายขนาดละเอียดขึ้น มากับน้ำตามท่อจ่ายน้ำบนผิวดิน ทำซ้ำหลายๆทีจนน้ำสะอาดและที่ความลึกต่างๆ เป็นช่วงๆ ตลอดความยาวของส่วนที่ให้น้ำไหลเข้าบ่อ

4.การล้างด้วยกรด (Acid treatment) วิธีการนี้ ปกติทำในชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแข็ง เช่น หินปูน หินทราย ที่มีสารเชื่อมประสานเป็นพวกที่ละลายน้ำได้ โดยใช้กรดเกลือ (Muriatic,commercial grade; = 15% concentration) ใส่ลงไป ซึ่งก็จะไปละลายเอาพวก calcareous materials ออกมาเป็นการช่วยเพิ่มขนาดของบ่อ ความพรุนและความซึมได้ หลังจากทำการล้างด้วยกรดแล้ว จะต้องล้างบ่อโดยการสูบน้ำออกเป็นระยะเวลาหนึ่งจนกว่ากรดที่ใส่ลงไปจะถูกสูบขึ้นมาหมด

5. การระเบิด (Blasting) ทำในชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นชั้นหินแข็ง เช่น หินทราย หินแกรนิต หินชีสต์ หินไนส์ ซึ่งได้น้ำจากรอยแตก รอยแยกในหิน โดยการใส่วัตถุระเบิดลงไปส่วนล่างของบ่อแล้วจุดระเบิด เพื่อเพิ่มขนาดและพื้นที่ให้น้ำของบ่อ ตลอดจนเปิดรอยแตก รอยแยกที่มีอยู่ให้กว้างขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

การทดลองในครั้งนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลองจะมีทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกผล และเครื่องมือต่างๆ ดังนี้

1. อุปกรณ์ ประกอบด้วย

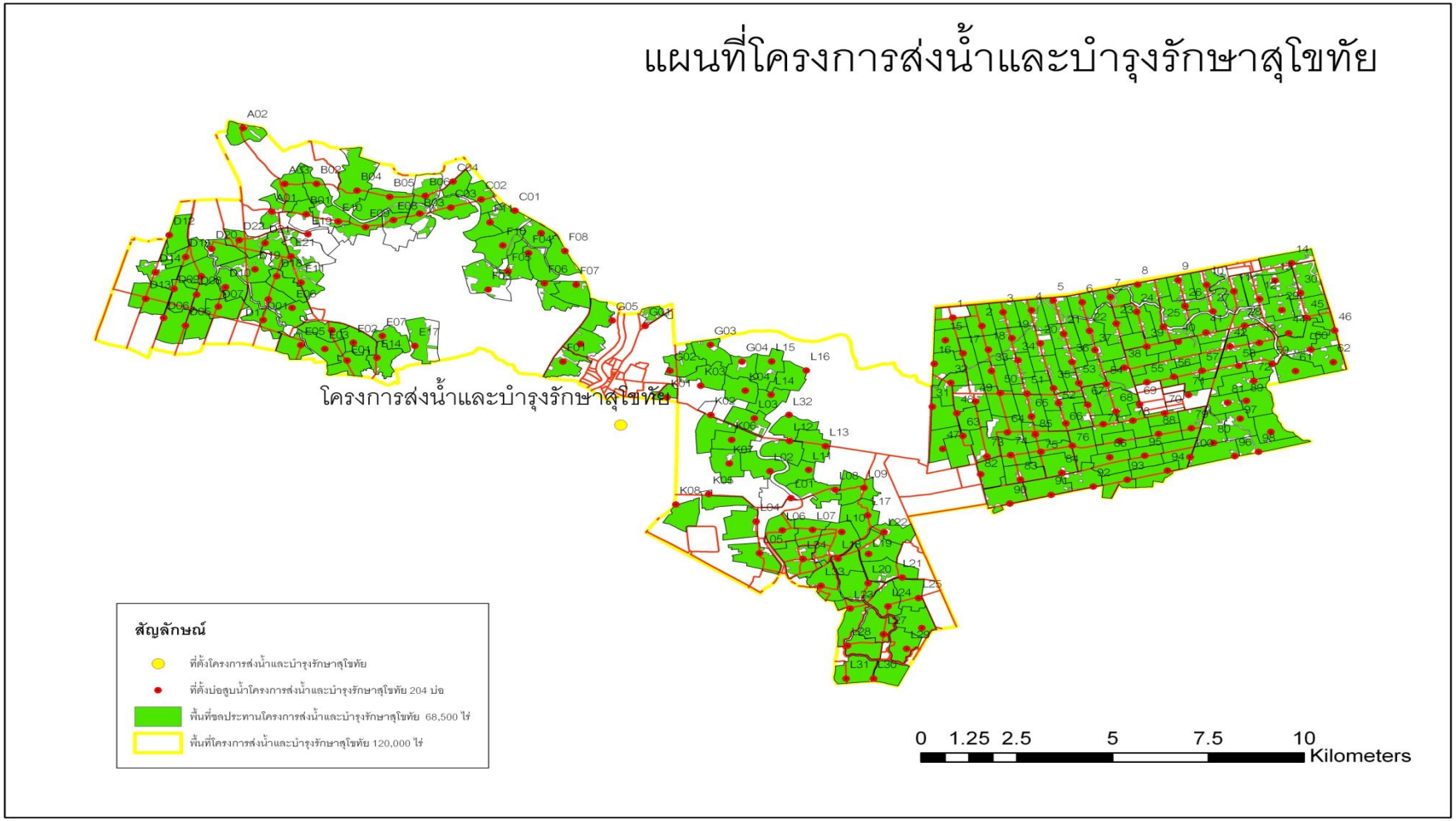
- ตลับเมตร
- สมุดบันทึกผล (Data sheet)
- ปากกา

2.เครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลอง มีดังนี้

- สายไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า
- แอมมิเตอร์ (ammeter)

3.2 สถานที่ทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ คณะผู้ทดลองได้เลือกพื้นที่บริเวณ โซน 2 อำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย ภายในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา สุโขทัย ดังแสดงในภาพที่ 3.2.1



ภาพที่ 3.2.1 แผนที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสุโขทัย

3.3 วิธีการทดลอง

1. สำรวจพื้นที่โครงการ สภาพภูมิศาสตร์ ที่ตั้ง ระยะใกล้-ไกล จากแหล่งน้ำ อาทิ เช่น บ่อน้ำบริเวณใกล้เคียง อ่างเก็บน้ำบริเวณใกล้เคียง แม่น้ำในละแวกใกล้เคียง จากนั้นสำรวจสภาพทางกายภาพของบ่อในโครงการ หรือลักษณะของดินบริเวณก้นบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 3.3.1 และ ภาพที่ 3.3.2

2. วัดขนาดของบ่อ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ความลึกของน้ำจากขอบบ่อถึงผิวน้ำ ความลึกจากขอบบ่อถึงก้นบ่อ

3. ทำการสูบโดย จะต้องสูบให้ได้□ □อัตราคงที่สม่ำเสมอ และต้องวัดระดับน้ำในบ่อที่ค่อยๆลด จะวัดระดับน้ำในบ่อทดสอบและ บ่อสังเกตการณ์ ระยะเวลาของการสูบทดสอบจะเป็นอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และอาจ จะยืดออกไปเป็น 1 หรือแม้กระทั่ง 2 สัปดาห์ เมื่อหยุดการสูบทดสอบจะปล่อยให้ระดับน้ำในชั้นหินกลับคืนตัว (Recovery) และทำการ วัดระดับน้ำในช่วงคืนตัวทั้งในบ่อทดสอบ และบ่อสังเกตการณ์ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.3.3

4. วัดระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาลซึ่งอาจทำได้หลายวิธี การวัดด้วยเทปเหล็กทำได้โดยหย่อนเทปจากปากบ่อโดยกะให้ปลายเทปจมอยู่ในน้ำ พร้อมๆกับอ่านค่าที่เทปที่ปากบ่อ แล้วดึงเทปขึ้นมาอ่านในส่วนที่จมน้ำหรือเปียกน้ำตอนบนสุด ตัว เลข 2 ค่านี้นำมาลบกัน จะได้ความลึกของระดับน้ำจากปากบ่อ ดังแสดงภาพที่ 3.3.4 และภาพที่ 3.3.5

5. การวัดปริมาณน้ำ ในที่นี้จะใช้วิธีการตวง กล่าวคือใช้ภาชนะที่รู้ปริมาตรแน่นอนไปรองรับน้ำจากเครื่องสูบ พร้อมทั้งจับเวลาที่น้ำไหลลงภาชนะตั้งแต่ต้นจนน้ำเต็ม ภาชนะที่ใช้ได้ดีคือ ปี๊บน้ำมันก๊าดแบบมาตร ฐาน ที่เรียกกันว่าปี๊บ 20 ลิตร(จุน้ำได้ 5.5 แกลลอน) หรือถังน้ำมันที่เรียกถัง 200 ลิตร(จุน้ำได้ 55 แกลลอน) ความแน่นอนของเวลาเป็นสิ่งสำคัญ ควรจับเวลาเป็นวินาที

6. การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะใช้วิธีของ Cooper and Jacob formula เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบโดยอาศัย graphical solution เหมือนกัน โดยการนำเอาค่าระดับน้ำลด(s) และระยะเวลาหลังเริ่มทำการสูบทดสอบ(t) มา plot ลงบนกระดาษ semi-log scale โดยแกนตั้งเป็น arithmetic scale และแกนนอนเป็น logarithmic scale ส่วนวิธี Theim equilibrium formula จะใช้วิธีการทาบกราฟ Master curve ระหว่างค่า W(u) และ 1/u

7. วิเคราะห์หาตัวแปร(K ,T , S)โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นเปรียบเทียบตัวแปรในอดีตที่ได้ทดสอบไว้ย้อน หลังว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร สาเหตุ ปัจจัย ที่มีผลเกี่ยวเนื่อง

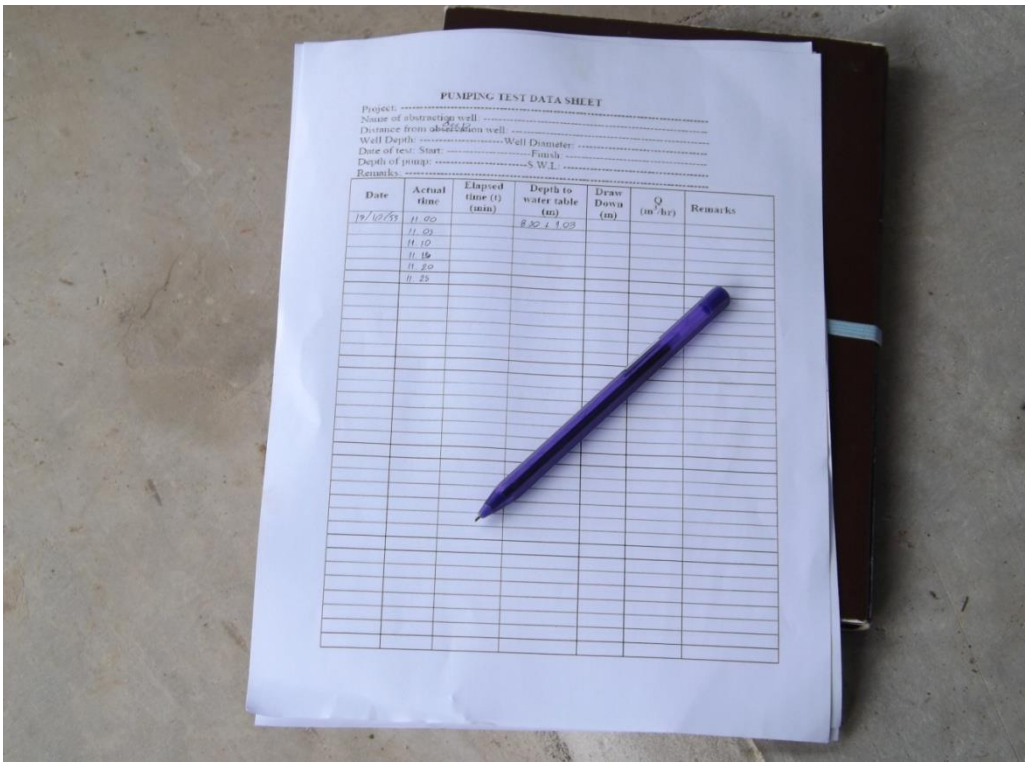
ภาพที่ 3.3.1 สำรวจพื้นที่จริงเพื่อหาบ่อสูบ(Pumping well)

ภาพที่ 3.3.2 สำรวจพื้นที่เพื่อหาบ่อสังเกตการณ์(Observation well)

ภาพที่ 3.3.3 เดินเครื่องปั๊มน้ำในบ่อสูบทดสอบ

ภาพที่ 3.3.4 วัดระดับน้ำในบ่อสูบทดสอบ(Pumping well)

ภาพที่ 3.3.5 วัดระดับน้ำที่บ่อสังเกตการณ์(Observation well)



ภาพที่ 3.3.6 บันทึกข้อมูลระดับน้ำลดลง และระดับน้ำคืนตัว

บทที่ 4

ผลการศึกษาทดลอง

4.1 การสูบทดสอบ จากการสูบด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ 140 ลบ.ม/ชม. ในบ่อสูบทดสอบ แล้วทำการวัดระดับน้ำที่ลดลงทุกๆ 2 , 3, 5, 10 และ 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จากนั้นวัดระดับน้ำที่คืนตัวทุกๆ 2 , 3, 5, 10 นาที และ 30 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลระดับน้ำลดลงในบ่อสูบทดสอบขณะสูบด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ

สถานที่ : บ่อบาดาล 29 โครงการสูบน้ำใต้ดิน ต.คลองมะพลับ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย

ชนิดของการสูบทดสอบ : CONSTANT RATE TEST

ชนิดของบ่อสูบ : DEEP WELL ; ความลึกของบ่อ : 135 เมตร ; ระดับจุดวัด : 58.00 ม.รทก

อัตราการสูบ : 140 ลบ.ม/ชม. ; ระดับน้ำปกติในบ่อบาดาล (S) : 8.30 เมตร

เริ่มสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 06.00 น. ; หยุดสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 18.00 น.

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง การสูบ (นาที)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำในบ่อ ขณะสูบ (เมตร)	ระยะน้ำลด (เมตร)	หมายเหตุ
17-ต.ค.-55	6.00	0	140	8.30	0.00	
	6.05	5	"	8.60	0.30	
	6.07	7	"	9.02	0.72	
	6.08	8	"	9.08	0.78	
	6.09	9	"	9.10	0.80	
	6.10	10	"	9.10	0.80	
	6.11	11	"	9.12	0.82	
	6.12	12	"	9.12	0.82	
	6.13	13	"	9.13	0.83	
	6.14	14	"	9.16	0.86	
	6.15	15	"	9.17	0.87	
	6.16	16	"	9.17	0.87	
	6.17	17	"	9.19	0.89	
	6.18	18	"	9.19	0.89	
	6.19	19	"	9.20	0.90	
	6.20	20	"	9.20	0.90	
	6.22	22	"	9.21	0.91	
	6.24	24	"	9.22	0.92	
	6.26	26	"	9.22	0.92	
	6.28	28	"	9.24	0.94	

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง การสูบ (นาที)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำในบ่อ ขณะสูบ (เมตร)	ระยะน้ำลด (เมตร)	หมายเหตุ
17 ต.ค. 55	6.30	30	"	9.24	0.94	
	6.32	32	"	9.24	0.94	
	6.34	34	"	9.26	0.96	
	6.36	36	"	9.27	0.97	
	6.38	38	"	9.27	0.97	
	6.40	40	"	9.28	0.98	
	6.43	43	"	9.28	0.98	
	6.46	46	"	9.30	1.00	
	6.49	49	"	9.30	1.00	
	6.52	52	"	9.31	1.01	
	6.55	55	"	9.32	1.02	
	6.58	58	"	9.32	1.02	
	7.01	61	"	9.32	1.02	
	7.04	64	"	9.33	1.03	
	7.07	67	"	9.33	1.03	
	7.12	72	"	9.34	1.04	
	7.17	77	"	9.34	1.04	
	7.22	82	"	9.35	1.05	
	7.27	87	"	9.35	1.05	
	7.32	92	"	9.35	1.05	
	7.37	97	"	9.35	1.05	
	7.47	107	"	9.36	1.06	
	7.57	117	"	9.36	1.06	
	8.07	127	"	9.39	1.09	
	8.17	137	"	9.40	1.10	
	8.27	147	"	9.41	1.11	
	8.37	157	"	9.42	1.12	
	8.52	172	"	9.43	1.13	
	9.07	187	"	9.45	1.15	
	9.22	202	"	9.45	1.15	
	9.37	217	"	9.46	1.16	
	9.52	232	"	9.48	1.18	
	10.07	247	"	9.50	1.20	
	10.22	262	"	9.50	1.20	
	10.37	277	"	9.50	1.20	
	10.52	292	"	9.52	1.22	
	11.07	307	"	9.52	1.22	
	11.22	322	"	9.52	1.22	

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง การสูบ (นาที)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำในบ่อ ขณะสูบ (เมตร)	ระยะน้ำลด (เมตร)	หมายเหตุ
17 ต.ค. 55	11.37	337	"	9.53	1.23	
	11.52	352	"	9.53	1.23	
	12.00	360	"	9.53	1.23	
	13.22	442	"	9.53	1.23	
	13.37	457	"	9.54	1.24	
	13.52	472	"	9.55	1.25	
	14.07	487	"	9.56	1.26	
	14.22	502	"	9.56	1.26	
	14.37	517	"	9.56	1.26	
	14.52	532	"	9.56	1.26	
	15.07	547	"	9.58	1.28	
	15.22	562	"	9.61	1.31	
	15.37	577	"	9.62	1.32	
	15.52	592	"	9.64	1.34	
	16.07	607	"	9.65	1.35	
	16.22	622	"	9.68	1.38	
	16.37	637	"	9.70	1.40	
	16.52	652	"	9.72	1.42	
	17.07	667	"	9.73	1.43	
	17.22	682	"	9.75	1.45	
	17.37	697	"	9.77	1.47	
	17.52	712	"	9.78	1.48	
	18.00	720	"	9.80	1.50	
	END					

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลระดับน้ำลดลงในบ่อสังเกตุการณ์ขณะสูบด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ

สถานที่ : บ่อน้ำราษฎร 913/1 ห.9 ต.คลองมะพลับ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย

ชนิดของการสูบทดสอบ : CONSTANT RATE TEST

ชนิดของบ่อทดสอบ : OBSERVATION WELL ; ความลึกของบ่อ : 55 เมตร

ระดับจุดทำการวัด : 59.00 ม.รทก ; ระยะห่างจากบ่อสูบ : 77 เมตร

อัตราการสูบ : 140 ลบ.ม/ชม. ; ระดับน้ำปกติในบ่อบาดาล (S) : 13.30 เมตร

เริ่มสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 06.00 น. ; หยุดสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 18.00 น.

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง การสูบ t,(นาที)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำในบ่อ ขณะสูบ (เมตร)	ระยะน้ำลด s,(เมตร)	r^2/t m^2/min	หมายเหตุ
ระยะห่างจากบ่อสูบ (r) = 77 เมตร							
17-ต.ค.55	6.00	0	140	13.300	0.000	-	
	6.05	5	140	13.322	0.022	1185.80	
	6.10	10	140	13.343	0.043	592.90	
	6.15	15	"	13.364	0.064	395.27	
	6.20	20	"	13.387	0.087	296.45	
	6.25	25	"	13.407	0.107	237.16	
	6.30	30	"	13.433	0.133	197.63	
	6.35	35	"	13.455	0.155	169.40	
	6.40	40	"	13.469	0.169	148.23	
	6.45	45	"	13.478	0.178	131.76	
	6.50	50	"	13.488	0.188	118.58	
	6.55	55	"	13.492	0.192	107.80	
	7.00	60	"	13.496	0.196	98.82	
	7.10	70	"	13.501	0.201	84.70	
	7.20	80	"	13.513	0.213	74.11	
	7.30	90	"	13.526	0.226	65.88	
	7.40	100	"	13.540	0.240	59.29	
	7.50	110	"	13.549	0.249	53.90	
	8.00	120	"	13.561	0.261	49.41	
	8.15	135	"	13.570	0.270	43.92	
	8.30	150	"	13.584	0.284	39.53	
	8.45	165	"	13.598	0.298	35.93	
	9.00	180	"	13.610	0.310	32.94	

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง การสูบ t,(นาที)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำในบ่อ ขณะสูบ (เมตร)	ระยะน้ำลด s,(เมตร)	r^2/t m^2/min	หมายเหตุ
ระยะห่างจากบ่อสูบ (r) = 77 เมตร							
	9.30	210	"	13.620	0.325	28.23	
	10.00	240	"	13.627	0.350	24.70	
	10.30	270	"	13.690	0.390	21.96	
	12.00	360	"	13.916	0.616	16.47	
	12.30	390	"	13.936	0.636	15.20	
	13.00	420	"	13.955	0.655	14.12	
	13.30	450	"	13.970	0.670	13.18	
	14.00	480	"	13.980	0.680	12.35	
	14.30	510	"	13.988	0.688	11.63	
	15.00	540	"	14.002	0.702	10.98	
	15.30	570	"	14.022	0.722	10.40	
	16.00	600	"	14.035	0.735	9.88	
	16.30	630	"	14.050	0.750	9.41	
	17.00	660	"	14.060	0.760	8.98	
	17.30	690	"	14.080	0.780	8.59	
	18.00	720	"	14.093	0.793	8.23	
	END						

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)ในบ่อสูบทดสอบ

สถานที่ : บ่อบาดาล 29 โครงการสูบน้ำใต้ดิน ต.คลองมะพลับ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย

ชนิดของการสูบทดสอบ : CONSTANT RATE TEST

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ : เครื่องสูบน้ำแทอร์ไบน์ ; ความลึกที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ : 36 เมตร

ชนิดของบ่อสูบ : DEEP WELL ; ความลึกของบ่อ : 135 เมตร

ระดับน้ำปกติในบ่อบาดาล (S) : 8.30 เมตร ; ระยะเวลาการวัดระดับน้ำคืนตัว : 360 นาที

เริ่มสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 18.00 น. ; หยุดสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 24.00 น.

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง หยุดสูบ t' (นาที)	เวลาเริ่ม สูบทดสอบ t (นาที)	อัตราส่วน t/t'	ระดับน้ำในบ่อ (เมตร)	ระยะน้ำ คงเหลือ S	ระยะน้ำคืนตัว (เมตร) (S-S')
17 ต.ค.55	18.00	0	720	-	9.80	1.50	0.00
	18.02	2	722	361	9.24	0.94	0.56
	18.04	4	724	181	9.20	0.90	0.60
	18.06	6	726	121	9.17	0.87	0.63
	18.08	8	728	91	9.15	0.85	0.65
	18.10	10	730	73	9.12	0.82	0.68
	18.12	12	732	61	9.10	0.80	0.70
	18.14	14	734	52.43	9.08	0.78	0.72
	18.16	16	736	46	9.08	0.78	0.72
	18.18	18	738	41	9.07	0.77	0.73
	18.20	20	740	37	9.06	0.76	0.74
	18.25	25	745	29.8	9.05	0.75	0.75
	18.30	30	750	25	9.03	0.73	0.77
	18.35	35	755	21.57	9.01	0.71	0.79
	18.40	40	760	19	9.00	0.70	0.80
	18.45	45	765	17	8.99	0.69	0.81
	18.50	50	770	15.4	8.98	0.68	0.82
	18.55	55	775	14.09	8.97	0.67	0.83
	19.00	60	780	13	8.96	0.66	0.84
	19.10	70	790	11.29	8.94	0.64	0.86
	19.20	80	800	10	8.93	0.63	0.87
	19.30	90	810	9	8.91	0.61	0.89
	19.40	100	820	8.2	8.90	0.60	0.90
	19.50	110	830	7.55	8.89	0.59	0.91
	20.00	120	840	7	8.88	0.58	0.92

วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลัง หยุดสูบ t' (นาที)	เวลาเริ่ม สูบทดสอบ t (นาที)	อัตราส่วน t/t'	ระดับน้ำในบ่อ (เมตร)	ระยะน้ำลงเหลือ (เมตร) S'	ระยะน้ำคืนตัว (เมตร) (S-S')
17 ต.ค.55	20.15	135	855	6.33	8.86	0.56	0.94
	20.30	150	870	5.8	8.84	0.54	0.96
	20.45	165	885	5.36	8.81	0.51	0.99
	21.00	180	900	5	8.79	0.49	1.01
	21.15	195	915	4.69	8.78	0.48	1.02
	21.30	210	930	4.43	8.76	0.46	1.04
	21.45	225	945	4.2	8.75	0.45	1.05
	22.00	240	960	4	8.73	0.43	1.07
	22.30	270	990	3.67	8.71	0.41	1.09
	23.00	300	1020	3.4	8.70	0.40	1.10
	23.30	330	1050	3.18	8.68	0.38	1.12
	24.00	360	1080	3	8.66	0.36	1.14
	END						

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)ในบ่อสังเกตุการณ์

สถานที่ : บ่อบาดาล 29 โครงการสูบน้ำใต้ดิน ต.คลองมะพลับ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย

ชนิดของการสูบทดสอบ : CONSTANT RATE TEST

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ : เครื่องสูบน้ำแทอร์ไบน์ ; ความลึกที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ : 36 เมตร

ชนิดของบ่อทดสอบ : OBSERVATION WELL ; ความลึกของบ่อ : 55 เมตร

ระดับจุดทำการวัด : 59.00 ม.รทก ; ระยะห่างจากบ่อสูบ : 77 เมตร

อัตราการสูบ : 140 ลบ.ม/ชม. ; ระดับน้ำปกติในบ่อบาดาล (S) : 13.30 เมตร

เริ่มสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 06.00 น. ; หยุดสูบทดสอบ : 17 ตุลาคม 2555 เวลา 18.00 น.

ระยะห่างจากบ่อสูบ(r) = 77 เมตร								
วัน เดือน ปี	เวลา (ชม./นาที)	เวลาหลังหยุดสูบ t' (นาที)	เวลาเริ่มสูบทดสอบ t (นาที)	อัตราส่วน t/t'	ระดับน้ำในบ่อ (เมตร)	ระยะน้ำคงเหลือ (เมตร) S'	ระยะน้ำคืนตัว (เมตร) (S-S')	หมายเหตุ
17-ต.ค.-55	18.00	0	720	-	14.093	0.793	0.000	
	18.05	5	725	145.00	14.073	0.773	0.020	
	18.10	10	730	73.00	14.066	0.766	0.027	
	18.15	15	735	49.00	14.052	0.752	0.041	
	18.20	20	740	37.00	14.027	0.727	0.066	
	18.25	25	745	29.80	14.012	0.712	0.081	
	18.30	30	750	25.00	13.998	0.698	0.095	
	18.35	35	755	21.57	13.957	0.657	0.136	
	18.40	40	760	19.00	13.933	0.633	0.160	
	18.45	45	765	17.00	13.905	0.605	0.188	
	18.50	50	770	15.40	13.886	0.586	0.207	
	18.55	55	775	14.09	13.881	0.581	0.212	
	19.00	60	780	13.00	13.869	0.569	0.224	
	19.15	75	795	10.60	13.826	0.526	0.267	
	19.30	90	810	9.00	13.803	0.503	0.290	
	19.45	105	825	7.86	13.768	0.468	0.325	
	20.00	120	840	7.00	13.743	0.443	0.350	
	20.15	135	855	6.33	13.719	0.419	0.374	
	20.30	150	870	5.80	13.701	0.401	0.392	
	20.45	165	885	5.36	13.682	0.382	0.411	
	21.00	180	900	5.00	13.650	0.350	0.443	
	21.30	210	930	4.43	13.628	0.328	0.465	
	22.00	240	960	4.00	13.621	0.321	0.472	

	22.30	270	990	3.67	13.598	0.298	0.495	
	23.00	300	1020	3.40	13.583	0.283	0.510	
	23.30	330	1050	3.18	13.571	0.271	0.522	
	24.00	360	1080	3.00	13.543	0.243	0.550	

4.2 ผลการคำนวณค่า T (Transmissivity) และ S (Storage coefficient) โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Cooper-Jacob และวิธีของ Theis Method of superposition โดยใช้กราฟในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลดังนี้

4.2.1 การคำนวณค่า T (Transmissivity) และ S (Storage coefficient)

โดยวิธีของ Cooper-Jacob

Plot ค่า s (Drawdown) และ t (time) ในกระดาษ Semilogarthmic แล้วหาค่า s ต่อหนึ่ง Cycleของแกน Semilog ดังแสดงในตารางภาคผนวก

Pumping well NO.29

จากกราฟในรูปผนวกที่ 1 ได้ค่า $\Delta S = 0.30$ m , $t_0 = 0.018$ min $= 1.25\times10^{-5}$ day , r = 77 m

$$T = \frac{2.30(3360)}{4\pi(0.30)} = 2050.0 \ m^2/day$$

$$K = T/b = \frac{2050.0}{54} = 38.0 \ m/day$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} = \frac{2.25(2050.0)(1.25\times10^{-5})}{77^2} = 0.0000097$$

จากกราฟในรูปผนวกที่ 2 ได้ค่า $\Delta S = 0.25$ m

$$T = \frac{2.30(3360)}{4\pi(0.25)} = 2460.0 \ m^2/day$$

$$K = T/b = \frac{2460.0}{54} = 45.56 \ m/day$$

Observation well NO.29

จากกราฟในรูปผนวกที่ 3 ได้ค่า $\Delta S = 0.20$ m , $t_0 = 7.5$ min $= 5.208\times10^{-3}$ day

$$T = \frac{2.30(3360)}{4\pi(0.20)} = 3074.87 \ m^2/day$$

$$K = T/b = \frac{3074.87}{54} = 56.94 \ m/day$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} = \frac{2.25(3074.87)(5.208\times10^{-3})}{77^2} = 0.0060771$$

จากกราฟในรูปผนวกที่ 4 ได้ค่า ΔS = 0.46 m

$$T = \frac{2.30(3360)}{4\pi(0.46)} = 1336.90 \ m^2/day$$

$$K = T/b = \frac{1336.90}{54} = 24.76 \ m/day$$

4.2.2 การวิเคราะห์หาค่า T และ S ตามวิธีของ Theis Method of superposition

จากการทดสอบ Pumping Test นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่า Transmissivity (T) และ Storage coefficient (S) โดยใช้กราฟ log-log scale

Observations well NO.29

จากกราฟในรูปผนวกที่ 5 ได้ค่า W(u) = 2.50 , S = 0.30 m , $u = 3.90\times10^{-2}$,

r^2/t = 33.0 m^2/min

$$T = \frac{Q}{4\pi S}W(u) = \frac{3360(2.50)}{4\pi(0.30)} = 2228.17 \ m^2/day$$

$$K = T/b = \frac{2228.17}{54} = 41.26 \ m/day$$

$$S = \frac{4Tu}{r^2/t} = \frac{4(2228.17)(3.90\times10^{-2})}{33.0(24\times60)} = 0.0073147$$

1). จากการนำข้อมูล Pumping Test มาวิเคราะห์โดยวิธีของ Cooper-Jacob เมื่ออัตราการสูบ

Q = 140 m^3/hr

ได้ค่า ของบ่อ 29 ; T (Transmissivity) = 2255.00 m^2/day (เฉลี่ย)

K (Hydraulic conductivity) = 41.78 m/day (เฉลี่ย)

S (Storage Coefficient) = 0.0000097

ของบ่อสังเกตการณ์ ; T (Transmissivity) = 2205.89 m^2/day (เฉลี่ย)

K (Hydraulic conductivity) = 40.85 m/day (เฉลี่ย)

S (Storage Coefficient) = 0.0060771

2). จากการนำข้อมูล Recovery Test มาวิเคราะห์โดยวิธีของ Theis Method of superposition เมื่ออัตราการสูบ Q = 140 m^3/hr

ได้ค่า ของบ่อสังเกตการณ์ ; T (Transmissivity) = 2228.17 m^2/day

K (Hydraulic conductivity) = 41.26 m/day

S (Storage Coefficient) = 0.0073147

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ได้ผลดังนี้T(Transmissivity) เท่ากับ 2255.00 m^2/day ส่วนค่า K (Hydraulic conductivity) เท่ากับ 41.78 m/day และในส่วนของค่า S (Storage Coefficient) มีค่า 0.0000097

นำค่าพารามิเตอร์ของบ่อบาดาลคือ T , K และ S มาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าในอดีต

เมื่อพิจารณาจากตารางเปรียบเทียบในภาคผนวก 7 จะเห็นได้ว่าในพื้นที่บริเวณ โซน 2 อ.ศรีนคร บ่อสูบหมายเลข 29 ในอดีตที่ได้ทดสอบไว้เมื่อเดือนสิงหาคมเทียบกับค่าปัจจุบันเดือนตุลาคม มีค่า T(Transmissivity) ลดลงเล็กน้อยคือจาก 2488.80 m^2/day เป็น 2255.00 m^2/day ส่วนค่า K (Hydraulic conductivity) ก็ลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกันคือจาก 60.08 m/day เป็น 41.78 m/day แต่ในส่วนของค่า S (Storage Coefficient) กลับมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่เคยวัดไว้ก่อนหน้าเป็น 0.0000097

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของบ่อบาดาลในชั้นน้ำใต้ดิน โครงการพัฒนาน้ำใต้ดินสุโขทัย ใช้วิธีการทดสอบโดยการสูบด้วยอัตราที่คงที่ Q = 140 m^3/hr แล้วจากนั้นก็ปล่อยให้ระดับน้ำคืนตัวระยะหนึ่ง ซึ่งใช้บ่อในการสังเกตการณ์หนึ่งบ่อ ห่างจากบ่อสูบเป็นระยะ 77 เมตร ในขั้นตอนของการวิเคราะห์จะใช้วิธีของ Cooper-Jacob และ Thies พบว่าพื้นที่บริเวณ โซน 2 อ.ศรีนคร บ่อสูบหมายเลข 29 ในอดีตที่ได้ทดสอบไว้เมื่อเดือนสิงหาคมเทียบกับค่าปัจจุบันเดือนตุลาคม มีค่า T(Transmissivity) ลดลงเล็กน้อย คือจาก 2488.80 m^2/day เป็น 2255.00 m^2/day ส่วนค่า K (Hydraulic conductivity) ก็ลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกันคือจาก 60.08 m/day เป็น 41.78 m/day แต่ในส่วนของค่า S (Storage Coefficient) กลับมีค่าที่เพิ่มขึ้นจากที่เคยวัดไว้ก่อนหน้าเป็น 0.0000097

แต่ถ้าเมื่อนำมาพิจารณาระหว่าง บ่อสูบ และบ่อสังเกตการณ์ ที่ทำการทดสอบในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าค่า T(Transmissivity)และค่า K (Hydraulic conductivity) ในพื้นที่บริเวณนั้นใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าชั้นดินให้น้ำมีลักษณะ กรวด ทราย เหมือนกันและหนาสม่ำเสมอจากค่าพารามิเตอร์ในอดีต ของบ่อข้างเคียงที่ได้ทดสอบไว้ในอดีตในขณะขุดเจาะบ่อ จะเห็นได้ว่าค่า T (Transmissivity) มีค่าสูงประมาณ 2,500 - 3,000 m^2/day ซึ่งสูงกว่าปัจจุบันเล็กน้อย ส่วนค่า K (Hydraulic conductivity)ยังมีค่าใกล้เคียงปัจจุบัน

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาและทดลองในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการคาดการณ์ วางแผนการสูบน้ำใต้ดินในโครงการ การพัฒนาบ่อสูบในโครงการ เพื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้อย่างเหมาะสมและยังไม่ให้เกิดความเสียหายต่อบ่อภายในโครงการ และรวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมในโซนต่างๆ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ให้ครอบครุมทั้งโครงการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรสูบทดสอบด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง

2. ควรมีบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่ใกล้บ่อสูบ ไม่ควรอยู่ห่างมากนัก

3. ควรมีการพัฒนาบ่อเมื่อค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำลดลงไปมาก

4. ควรทดสอบหลายๆบ่อเพื่อเฉลี่ยค่าพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- สิทธิพร เงินประเสริฐศรี. “ การระบายน้ำบนผิวดิน และใต้ผิวดิน ” ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ฉลอง บัวผัน (CHALLONG BUAPHAN) ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น 1992 , สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

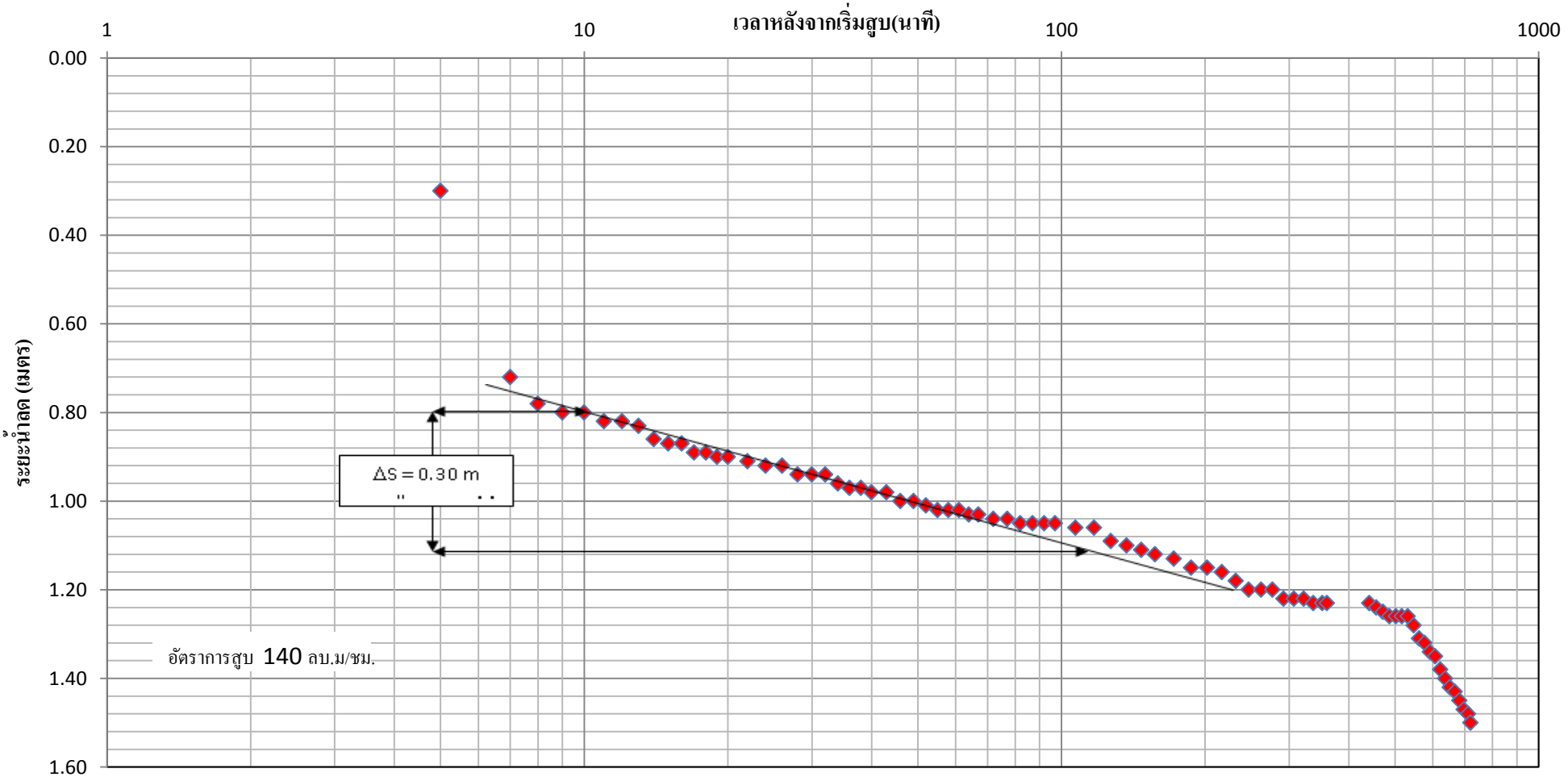
- ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงค์ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2527

- อุดม พนมเริงศักดิ์ กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2540

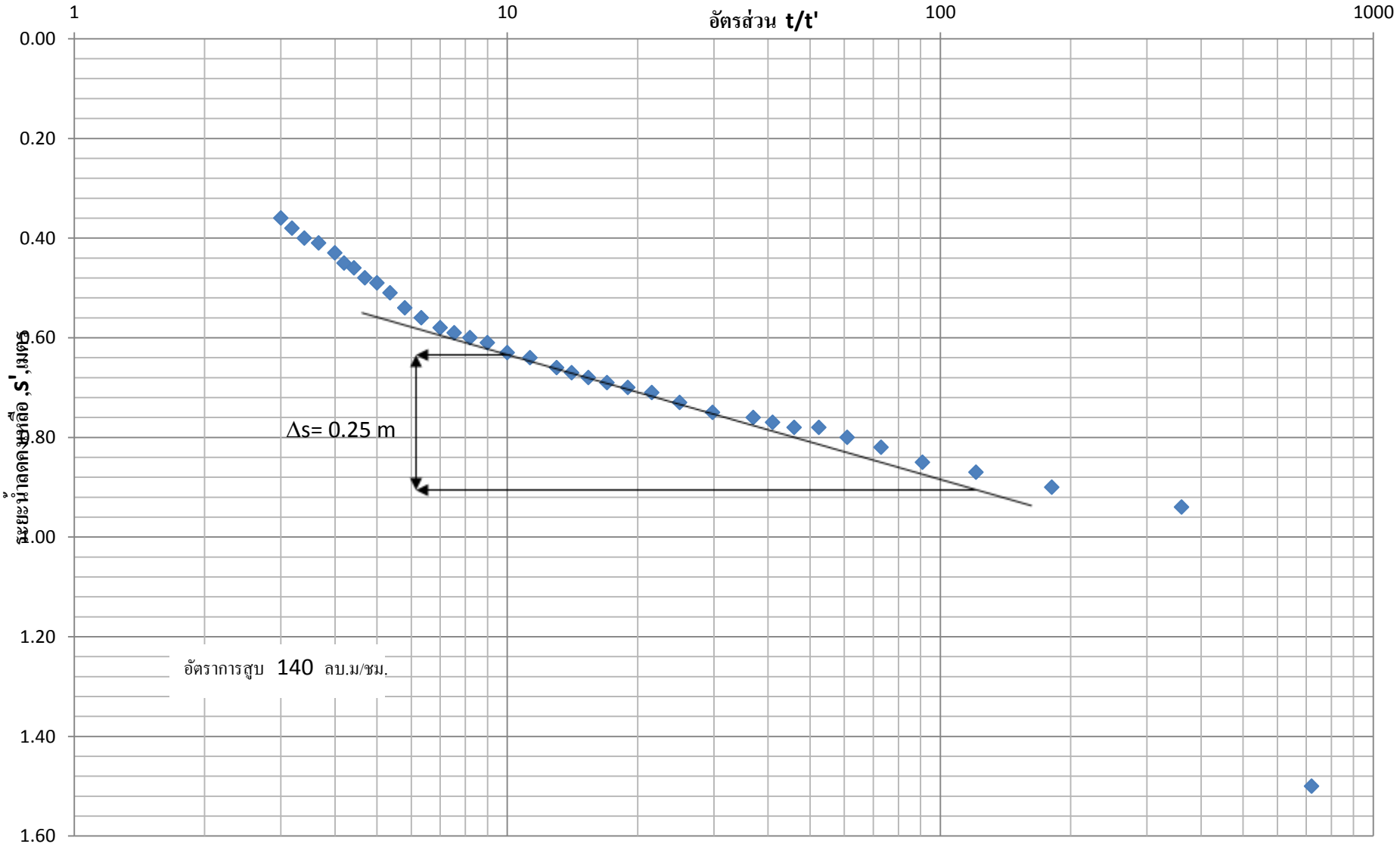
- By J.G. FERRIS, D.B. KNOWLES, R.H. BROWN, and R.W. STALLMAN , GROUND-WATER HYDRALICE ,GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1536-E

- DAVID K. Todd and Larry W. Mays , GROUNDWATER HYDROLOGY

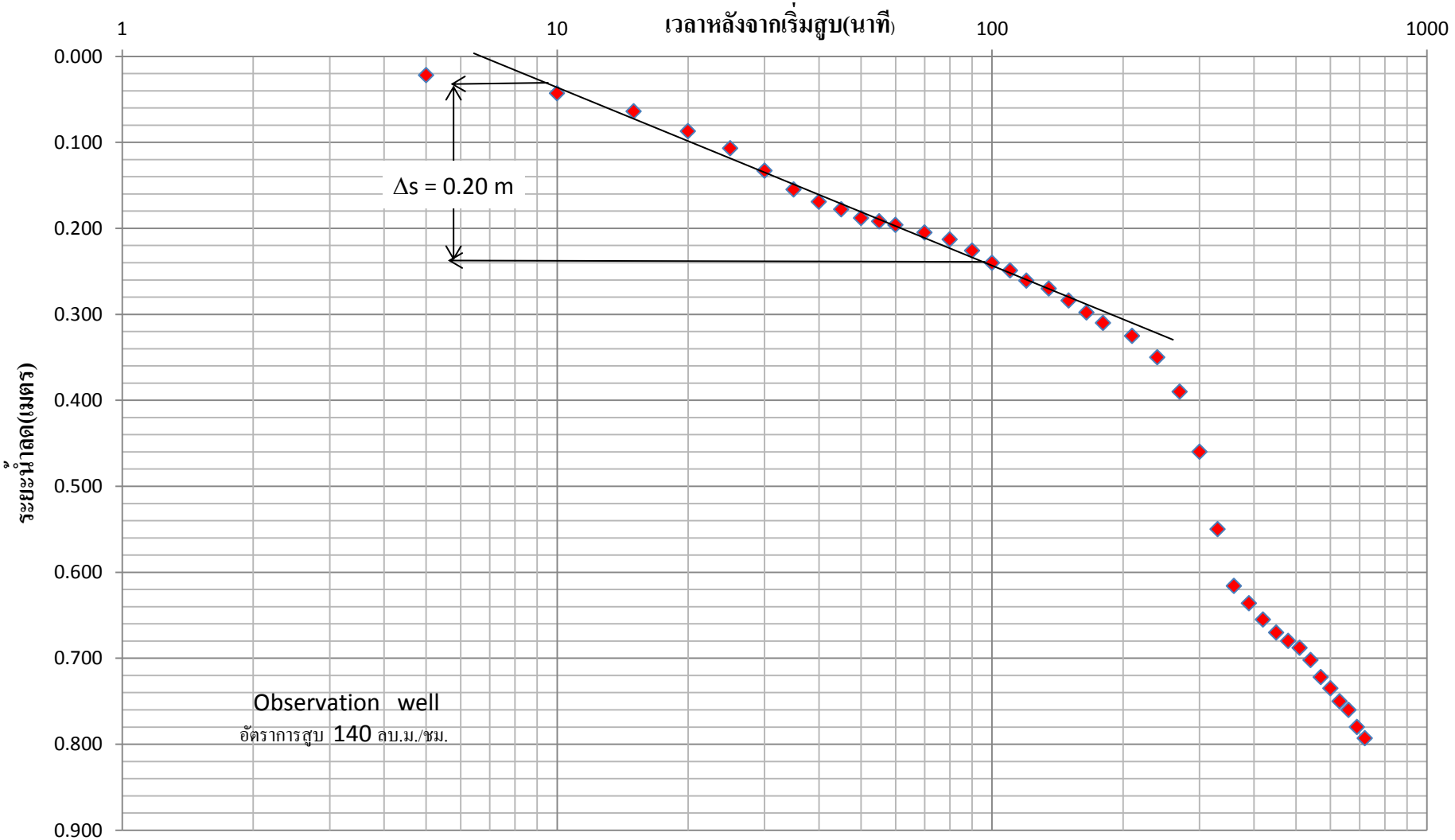
ภาคผนวก



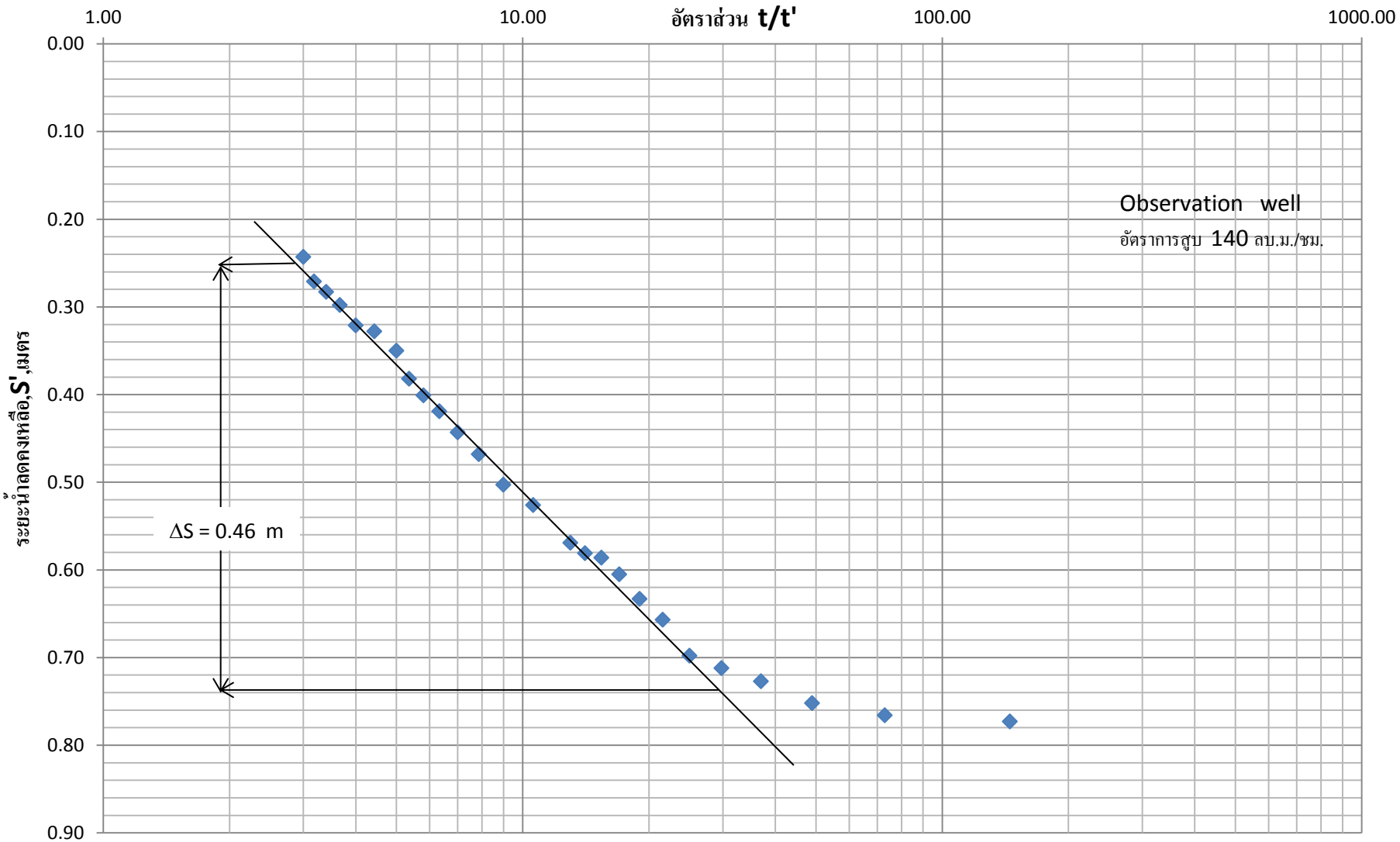
ภาคผนวก 1 ข้อมูลระดับน้ำลด(s) และเวลา(t) โดยใช้ Cooper and Jacob **Jacob**



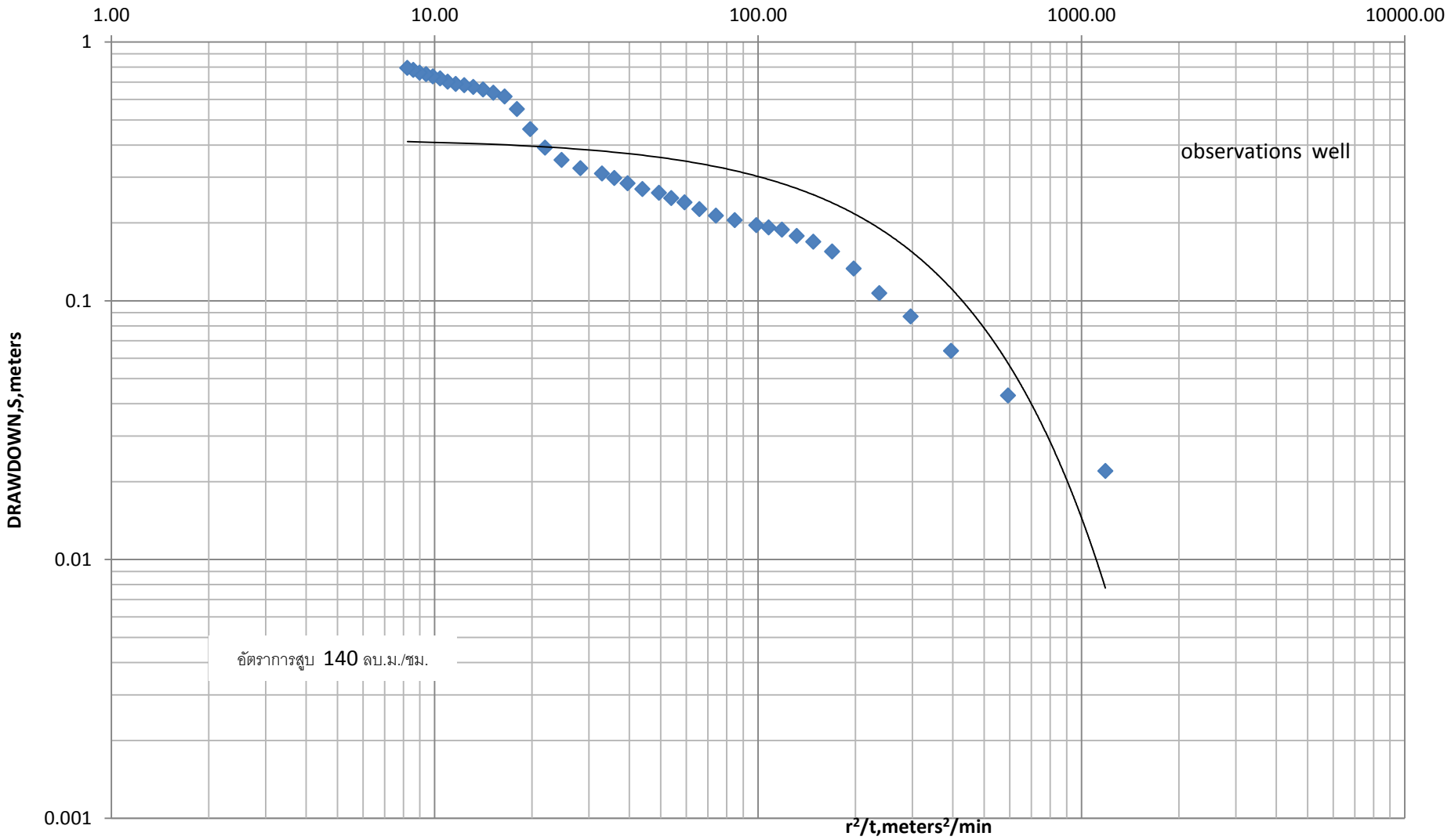
ภาคผนวก 2 ข้อมูลระดับน้ำลดคงเหลือ(s′) และอัตรา(t/t′) โดยใช้ Cooper and Jacob



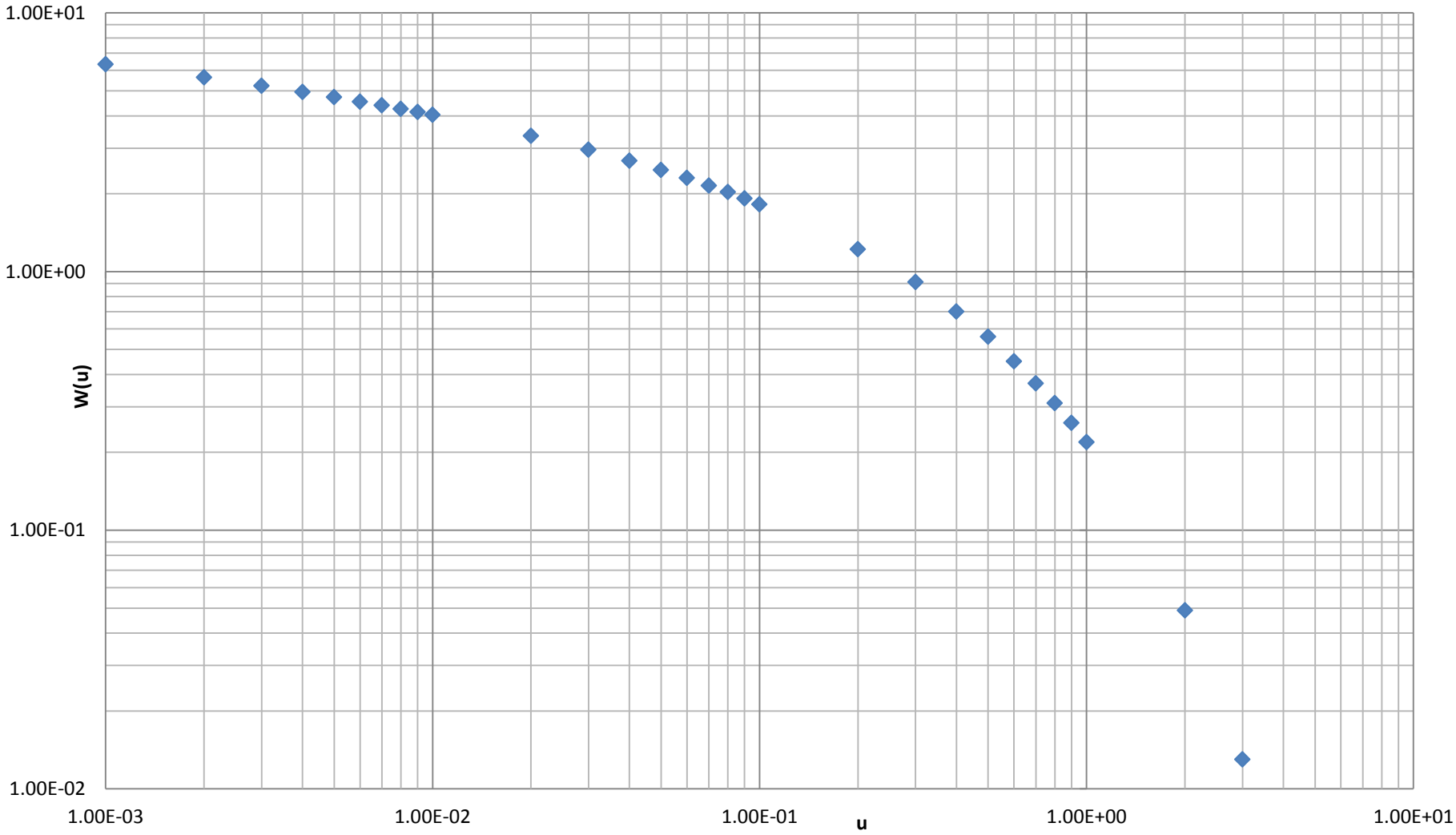
ภาคผนวก 3 ข้อมูลระดับน้ำลด(s) และเวลา(t) โดยใช้ Cooper and Jacob



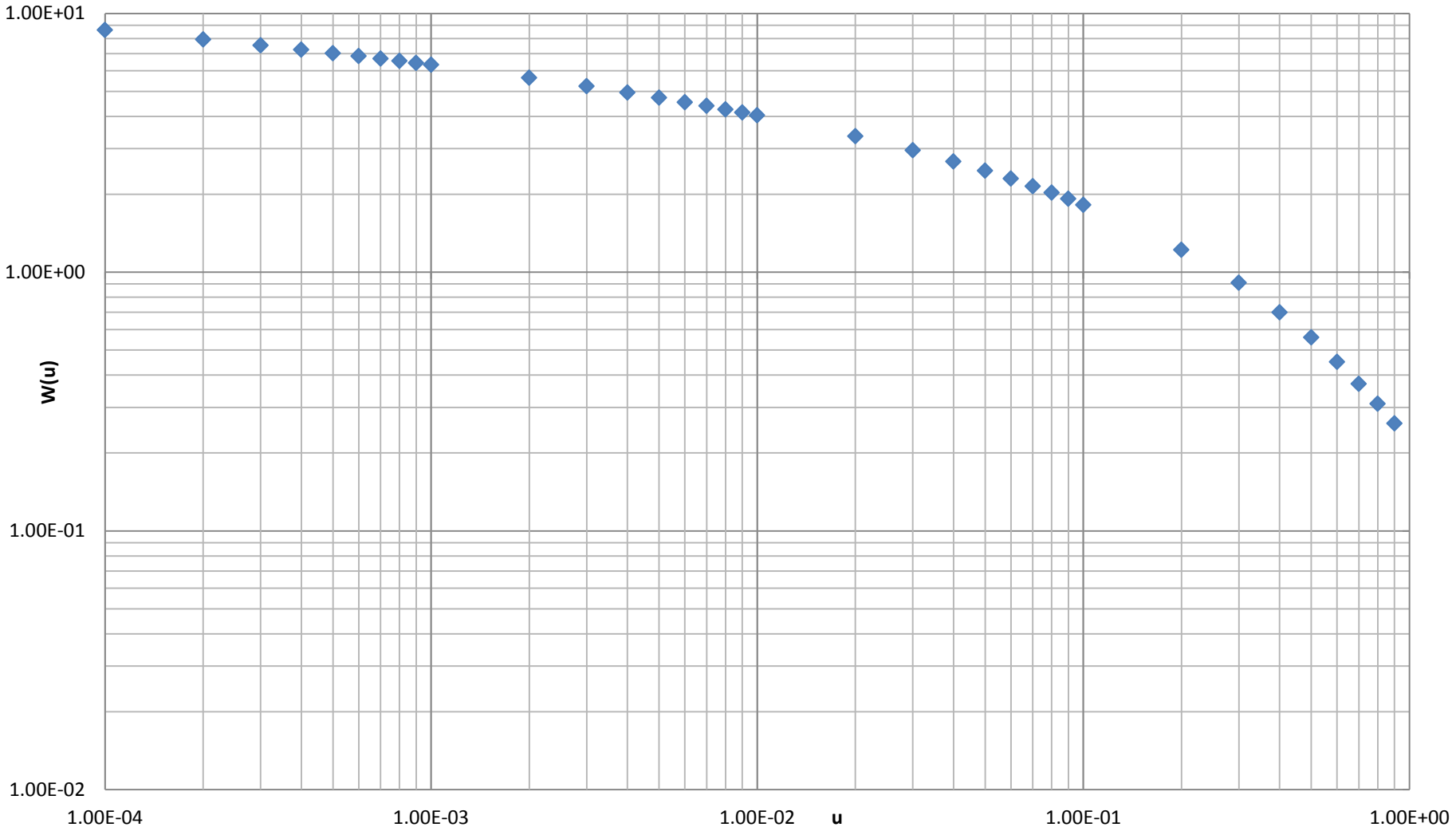
ภาคผนวก 4 ข้อมูลระดับน้ำลดคงเหลือ(s′) และอัตรา(t/t′) โดยใช้ Cooper and Jacob


1.00
10.00
100.00
1000.00
10000.00
1
0.1
0.01
0.001
DRAWDOWN,S,meters
observations well
อัตราการสูบ 140 ลบ.ม./ชม.
r²/t,meters²/min

ภาคผนวก 5


1.00E+01
1.00E+00
1.00E-01
1.00E-02
W(u)
1.00E-03
1.00E-02
1.00E-01
u
1.00E+00
1.00E+01

ภาคผนวก 6 (ก)


1.00E+01
1.00E+00
1.00E-01
1.00E-02
W(u)
1.00E-04
1.00E-03
1.00E-02
u
1.00E-01
1.00E+00

ภาคผนวก 6 (ข)

ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์

เลขบ่อ	วิธีการวิเคราะห์						หมายเหตุ
	Theis method			Cooper-Jacob method			
	T,m^2/day	K ,m/day	S	T,m^2/day	K,m/day	S	
NO.29 *				2488.80	60.08	<	22-ส.ค.-55
NO.29 **				2255.00	41.78	0.0000097	17-ต.ค.-55
Obser.NO 29	2228.17	41.26	0.0073147	2205.89	40.85	0.0060771	17-ต.ค.-55
NO.36				3074.40	42.35	<	23-พ.ค.-52
NO.64				3074.40	67.64	<	2-มิ.ย.-55
* ทดสอบไว้ก่อนหน้า							
** ทดสอบจริงปัจจุบัน							

ภาคผนวก 7