การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

STUDY OF WATER SOURCE CONDITION IN RECHARGING RAINFALL TO GROUND WATER AREA AND FLOODPLAIN AREA

นายกฤษณะ สกุลเพ็ชร

นายสงคราม เชิดวงษ์สูง

นายสมัชชา พานิช

นายโชติวงค์ เชื้อขำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยานเรศวร ปีการศึกษา 2545

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 21 พ.ย. 2546
เลขทะเบียน 4700043
เลขเรียกหนังสือ ปร.

ใ๑๙๘๒๙๖๘

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายกฤษณะ	สกุลเพ็ชร	รหัส 42370650
นายสงคราม	เชิดวงษ์สูง	รหัส 42371088
นายสมัชชา	พานิช	รหัส 42371104
นายโชติวงค์	เชื้อขำ	รหัส 42341203

ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : ผศ. สมบัติ ชื่นชูกลิ่น

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 2545

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรอนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมโยธาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมโยธา

..... ประธานกรรมการ

(ผศ. สมบัติ ชื่นชูกลิ่น)

..... กรรมการ

(อ. ทิพย์วิมล แตะกระโทก)

..... หัวหน้าภาควิชา

(อ. ทวีศักดิ์ แตะกระโทก)

หัวข้อโครงงานวิจัย	: การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและ น้ำนอง	
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายกฤษณะ สกุลเพ็ชร	รหัส 42370650
	นายสงคราม เชิดวงษ์สูง	รหัส 42371088
	นายสมัชชา พานิช	รหัส 42371104
	นายโชติวงค์ เชื้อขำ	รหัส 42371203
ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย	: ผศ. สมบัติ ชื่นชูกลิ่น	
สาขาวิชา	: วิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	: วิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	: 2545	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและ น้ำนอง ในเขตอำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ซึ่งประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก เช่น ทำนา ทำไร่ ฯลฯ ส่งผลทำให้มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและอุปโภค บริโภคเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยโครงการนี้มุ่งศึกษาการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน ซึ่งแยกออกเป็นการศึกษาอัตราการดูดซึมของน้ำผิวดินกับการหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินในบริเวณใกล้กับแหล่งน้ำผิวดิน และศึกษาองค์ประกอบของดินที่มีผลต่อการดูดซึม

Project Title	: Study of water source condition in recharging rainfall to ground water area and floodplain area		
Name	: Mr. Kitsana	Sagulpate	Code 42370650
	Mr. Songkram	Cherdwongsoong	Code 42371088
	Mr. Samadchar	Pharnit	Code 42371104
	Mr. Chotiwong	Chuekham	Code 42371203
Project Advisor	: Asst. Prof. Sombat Chuenchooklin		
Major	: Civil Engineering		
Department	: Civil Engineering		
Academic	: 2002		

Abstract

The project is Study of water source condition in recharging rainfall to ground water area and floodplain area at Pohprathabchang, Pichit. The occupation of the most people in the area is agriculture such as farmers, gardeners. This is the result to use the water for consume and agriculture a lot, so it is necessary to use the water from the ground water and the water from an artesian well. This project is aim to study the seepage of water which a part from studying an infiltration rate, and finding a coefficient of permeability near the water source of the ground water, and study a factor of soil in the result to the infiltration

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมโยธาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากท่าน ผศ.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำแนะนำพร้อมทั้งติดต่อประสานงานในการทำการทดสอบ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไขปรับปรุงโครงงาน ผู้รับผิดชอบโครงงานจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ผู้ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ถ้าท่านผู้รู้ศึกษาโครงงานนี้พบข้อบกพร่องประการใดและถ้าต้องการเสนอแนะผู้รับผิดชอบโครงงานยินดีรับฟังเพื่อปรับปรุงแก้ไขในโอกาสต่อไป

ผู้รับผิดชอบโครงงาน

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
	วัตถุประสงค์	1
	ขอบข่ายงาน	1
	สถานที่เก็บข้อมูล	2
	แผนการดำเนินตลอดโครงการ	2
	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
	งบประมาณ	3
	พื้นที่ศึกษา	3
บทที่ 2	หลักการและทฤษฎี	12
	การเกิดของน้ำใต้ผิวดิน	12
	ความชื้นในชั้น VADOSE ZONE	14
	การเคลื่อนที่ของความชื้นในชั้นดิน	17
	การวัดความชื้นในดิน	19
	สมการทั่วไปที่เกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดิน	26
	น้ำใต้ดินและชลศาสตร์บ่อบาดาล	31
	การไหลซึมจากแหล่งน้ำ	40
	บริการการใช้น้ำของพืช	44
	การซึมลงไปในดิน	45
	ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชสวน และพืชผัก	50
บทที่ 3	วิธีและขั้นตอนการทำ	55
	ลักษณะการดูดซึมน้ำผิวดิน	55
	การวัดความนำชลศาสตร์	60
บทที่ 4	การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	65
	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	65
	การวิเคราะห์ผลและการนำไปทดสอบ	68
	แผนผังการวิเคราะห์ผลและการนำไปใช้งาน	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันการเกษตรเป็นอาชีพที่สำคัญของคนไทยซึ่งต้องการใช้น้ำในการเพาะปลูกและอุปโภคบริโภคเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณน้ำจากธรรมชาติไม่พอใช้ในการดังกล่าว ระบบชลประทานจึงมีความเจริญก้าวหน้าและมีความยุ่งยากมากเกินกว่าเกษตรกรทั่วไปจะคาดคิดถึง แม้กระนั้นน้ำซึ่งเป็นทรัพยากรที่หายากขึ้นทุกทีก็ผลักดันให้มีการค้นคว้าวิจัยหาวิธีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและระบบชลประทานให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นไป เพื่อจะได้ใช้น้ำที่มีอยู่ในปริมาณจำกัดในการเกษตรและอุปโภคบริโภคพอเพียงต่อการเลี้ยงดูประชากรของประเทศได้ ซึ่งในอำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีการทำการเกษตรเป็นอาชีพหลัก พื้นที่ส่วนใหญ่จึงมีการปลูกข้าวและพืชไร่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภคจำนวนมากขึ้น ประชาชนที่อาศัยอยู่ห่างไกลจากแม่น้ำและระบบชลประทานจึงจำเป็นต้องใช้น้ำจากธรรมชาติ แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน โครงงานนี้จะมุ่งศึกษาสภาพของดินบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการดูดซึมของดิน (Infiltration Rate) บริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาโครงงาน
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของดินที่มีผลต่อการดูดซึม (Infiltration) และการไหลซึมผ่านของน้ำ (Seepage of water)
3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมได้ (Coefficient of Permeability) ในบริเวณใกล้กับแหล่งน้ำผิวดิน (Surface storage) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาโครงงาน

ขอบข่ายงาน

1. ทดสอบอัตราการดูดซึม (Infiltration Rate) ในพื้นที่ที่เพาะปลูกพืชไร่และพืชผักสวนครัวบนที่ดอนจำนวน 8 จุด บนพื้นที่ที่เพาะปลูกพืชไร่น้ำท่วมถึงจำนวน 4 จุด รวมทั้งสิ้นจำนวน 12 จุด
2. ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมได้ (Coefficient of Permeability) ในสนามข้างแหล่งน้ำผิวดิน (Surface storage) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาโครงงานจำนวน 4 จุด

3. เก็บตัวอย่างดินบริเวณที่ทำการทดสอบอัตราการดูดซึมและค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้เพื่อใช้ทดลองหาองค์ประกอบของดินที่มีผลต่อการไหลซึมผ่านของน้ำ (Seepage of water) ในดินในห้องทดลองประมาณ 16 ตัวอย่าง

4. สำรวจข้อมูลแหล่งน้ำผิวดิน (Surface storage) มีกี่แห่งแต่ละแห่งมีขนาดความกว้าง ความยาวและความลึกเท่าใด ตั้งอยู่ตรงจุดไหนของพื้นที่ที่ทำการศึกษาโครงงานและจะมีการก่อสร้างเพิ่มเติมอีกหรือไม่ เท่าใดในพื้นที่ดังกล่าวข้างต้น

5. พื้นที่ศึกษาโครงงาน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

สถานที่เก็บข้อมูล

1. ตำบลไผ่ท่าโพธิ์
2. ตำบลเนินสว่าง
3. ตำบลดงเสือเหลือง
4. ตำบลวังจิก
5. ตำบลไผ่รอบ

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ที่	รายการ	ระยะเวลา	2545			2546		
			ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	สำรวจข้อมูลแหล่งน้ำผิวดิน	15						
2	ทดสอบค่าอัตราการดูดซึมในสนาม	12						
3	ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในสนาม	10						
4	เก็บตัวอย่างดินเพื่อทดสอบในห้องทดลอง	15						
5	ทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลอง	45						
6	วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล	20						
7	ทำรายงาน	10						

ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบค่าอัตราการดูดซึมของดิน (Infiltration Rate) ค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมได้ (Coefficient of Permeability) และได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำผิวดิน (Surface storage) กับการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่น้ำนอง

งบประมาณ

1. ค่าวัสดุสำหรับจัดทำโครงงาน	1,500 บาท
2. ค่าจัดพิมพ์รายงานและจัดทำรูปเล่ม	500 บาท
3. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงพาหนะเดินทาง	1,500 บาท
4. ค่าอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	4,000 บาท
	(สี่พันบาทถ้วน)

พื้นที่ศึกษา

สภาพภูมิประเทศ

จังหวัดพิจิตรเป็นจังหวัดที่ ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15° $50'$ เหนือ เส้นแวงที่ $100^{\circ}45'$ ตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อทิศเหนือติดจังหวัดพิษณุโลกทิศตะวันออกติดกับจังหวัดเพชรบูรณ์ ทิศใต้ติดจังหวัดนครสวรรค์ และทิศตะวันตกติดกับจังหวัดกำแพงเพชร มีระยะห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 347 กิโลเมตร พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 4,531 ตารางกิโลเมตร ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพทำนา นอกนั้นเป็นอาชีพทำไร่ ปลูกผลไม้และพืชผัก

จังหวัดพิจิตรมีเนื้อที่ 2,831,883 ไร่ สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดพิจิตรเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านไหลผ่านในแนวเหนือใต้ ความยาวของแม่น้ำยมที่ไหลผ่านจังหวัดประมาณ 124 กิโลเมตร ส่วนแม่น้ำน่านมีความยาวที่ไหลผ่านจังหวัดประมาณ 97 กิโลเมตร

จังหวัดพิจิตร ประกอบด้วยพื้นที่ 3 ลักษณะ คือ

1. พื้นที่ทางตะวันออกของแม่น้ำน่าน พื้นที่ส่วนนี้จะเทลาดจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกบริเวณที่ใกล้แม่น้ำน่าน พื้นที่จะต่ำมีน้ำท่วมเกือบทุกปี

2. พื้นที่ระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน เป็นที่ราบน้ำท่วมถึงพื้นที่ลาดเอียงเล็กน้อยจากทิศเหนือถึงทิศใต้

3. พื้นที่ทางตะวันตกของแม่น้ำยม เป็นพื้นที่ลาดเอียง จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก พื้นที่ส่วนใหญ่ที่อยู่ใกล้แม่น้ำยมเป็นพื้นที่ต่ำ มีน้ำจากแม่น้ำยมท่วมแทบทุกปี

สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดพิจิตรแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดูกาลคือ

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เป็นฤดูที่มีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งโดยทั่วไป

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดินกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่ มีลมจากทิศใต้และตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมทำให้มีอากาศร้อน

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นฤดูที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากมหาสมุทรอินเดียพัดผ่านทำให้มีฝนตกและอากาศชุ่มชื้น

1. ปริมาณน้ำฝน

จังหวัดพิจิตรมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,434 มิลลิเมตร มีวันฝนตกจำนวน 80 วัน เดือนที่มีปริมาณฝนตกมากที่สุดคือ เดือนกันยายน มีฝนเฉลี่ย 317.3 มิลลิเมตร และฝนตกประมาณ 15 วัน ส่วนเดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุดคือ เดือน ธันวาคม มีฝนเฉลี่ย 3.2 มิลลิเมตร

2. อุณหภูมิ

จังหวัดพิจิตรมีอากาศค่อนข้างร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.4^{o}C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 37.4^{o}C ในเดือนเมษายน และมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 17.7^{o}C ในเดือนมกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศเย็นที่สุดในรอบปี

3. ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปีมีค่า 73.3% โดยมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม 63.3% ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อน และมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน ซึ่งอยู่ช่วงฤดูฝนที่เกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

4. สมดุลของน้ำเพื่อการเกษตร

การวิเคราะห์ค่าสมดุลของน้ำเพื่อการเกษตรของจังหวัดพิจิตร โดยการหาค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำพบว่า จังหวัดพิจิตรมีปริมาณฝนตกมากกว่าค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายนเป็นต้นไป ซึ่งปริมาณฝนที่มากกว่านี้จะถูกสะสมเอาไว้ในดินไปจนถึงประมาณต้นเดือนสิงหาคม ทำให้ดินถึงจุดอิ่มตัวเกินกว่าที่จะเก็บน้ำไว้ได้อีก ทำให้ฝนที่ตกมีค่ามากกว่าความต้องการไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนจะลดต่ำลงน้อยกว่าศักยภาพของการคระเหยคายน้ำ ทำให้มีการนำน้ำที่สะสมไว้ในดินมาใช้ในการระเหยคายน้ำ จนถึงต้นเดือนธันวาคม น้ำที่สะสมในดินหมดไป จะเป็นช่วงที่ดินขาดแคลนน้ำไปจนถึงกลางเดือนมิถุนายน

ลักษณะทางธรณีวิทยา

1. หน่วยหินและอายุ

จังหวัดพิจิตรตั้งอยู่บนแอ่งเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ยกเว้นทางด้านตะวันออกของจังหวัด ซึ่งมีหินภูเขาไฟยุคเปอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) โผล่ให้เห็นในรูปของเนินเขาหรือภูเขาโดด สภาพทางธรณีวิทยาจากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 250,000 ระวางจังหวัดพิษณุโลก (NE47-15) ระวางจังหวัดเพชรบูรณ์ (NE47-16) ระวางจังหวัดนครสวรรค์ (ND47-3) และระวางอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) ซึ่งจัดพิมพ์โดยกรมทรัพยากรธรณีระหว่างปี 2514-2519 ซึ่งสภาพทางธรณีวิทยาสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1 แหล่งสะสมตัวยุคควอเทอร์นารี (Quatrnary) ประกอบด้วยตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวที่สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

- ตะกอนลำน้ำปัจจุบัน : Recent Alluvial Deposit (Q): จะพบตามแนวสองฝั่งของลุ่มแม่น้ำยมแม่น้ำน่าน และตามลำน้ำแทบทุกสาย ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดโดยเฉพาะบริเวณตอนกลางของจังหวัด และเลยออกไปถึงเกือบสุด เขตจังหวัดพิจิตรด้านตะวันออก พื้นที่ซึ่งรองรับด้วยแหล่งสะสมตัวของตะกอนชนิดนี้ ซึ่งโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบเรียบสม่ำเสมอตะกอนที่พบส่วนใหญ่เป็น กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินโคลนที่เกิดจากการกระทำของลำน้ำในปัจจุบันมีอายุระหว่าง 0-10,000 ปี ซึ่งอยู่ในยุคโฮโลวีน (Holovene)

- ลานตะพักแม่น้ำ และตะกอนรูปพัด : Alluvial Terrace and Alluvial Fan (Q1): เป็นแหล่งสะสมของตะกอนตะพักแม่น้ำ (Alluvial Terrace) ตะกอนรูปพัด (Alluvial Fan) ลานหินตีนผา (Tulus) และแหล่งเศษหินตีนผา (Colluvial) มักจะพบอยู่ตรงกลางลุ่มแม่น้ำยมและลุ่มแม่น้ำน่านพบกระจัดกระจายอยู่ทางด้านตะวันตกและตะวันออกของจังหวัด สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่จะค่อนข้างราบเรียบถึงที่ราบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ความสูงของตะพักแม้น้ำระดับสูง และตะพักแม่น้ำระดับต่ำนั้นมีค่าประมาณ 10-20 เมตร ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด ทรายแป้ง ดินเหนียว และบางส่วนมีศิลาแดง ซึ่งมีอายุประมาณ 0.01-1.67 ล้านปีอยู่ในช่วงอนุยุคไพลสโตซิน (Pleistocene)

1.2 หินภูเขาไฟยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก: Permo-Triassic (PTRV) ประกอบด้วยหินทัฟฟ์(Tuff) หินแอกโกลมอเรต (Agglomerate) หินไรโอไลต์ (Rhyolite) และหินแอนดีไซต์ (Andesite) ปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะเนินเขาโดด (Monodnock) ซึ่งพบอยู่ทั่วไปทางด้านตะวันออกติดต่อเขตจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3 หินภูเขาไฟจูลาสสิค-ไทรแอสซิก: Lower Jurassic-Upper Triassic (TRJ) ประกอบด้วยหินไรโอไลต์ (Rhyolite) หินแอนดีไซต์ (Andesite) หินทัฟฟ์(Tuff) โดยมีหินแอกโกลมอเรต (Agglomerate) และหินไดโอไรท์อยู่เป็นบางแห่ง ส่วนใหญ่หินชุดนี้จะพบอยู่ตามเนินเขาโดด (Monodnock) เกิดอยู่ในมหายุคมีโซโซอิก (Mesozoie) ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดพิจิตรเกือบทั้งจังหวัดจะปกคลุมด้วยตะกอนไม่แข็งยุคควอเทอร์นารี่ เกิดขึ้นโดยอิทธิพลของการกระทำของแม่น้ำ ตะกอนที่แม่น้ำพัดพามาสะสมตัวยังไม่แข็งตัว (Uncomsolidated)

2. สภาพธรณีสัณฐานวิทยา

จังหวัดพิจิตรสามารถแบ่งสภาพธรณีสัณฐานวิทยาออกเป็น 5 ประเภทของภูมิทัศน์ (Landforn)

2.1 ที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) เป็นที่ราบที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาโดยแม่น้ำในฤดูน้ำหลากและพัดพาเอาตะกอนมาทับถมทุกปี ซึ่งประกอบด้วย สันดินร่วมลำน้ำ (Natural Levee) และที่ราบลุ่มลำน้ำ(Bank Swamp) สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบเรียบ ความลาดชันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่ราบน้ำท่วมถึงนี้พบอยู่บริเวณสองฝั่งของแม่น้ำน่านและ แม่น้ำยม

2.2 ตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง (Semi-recent Terrace and coalescing alluvial fans) เกิดจากกระแสน้ำที่ไหลมาจากภูเขาจะพัดพาเอาตะกอนต่าง ๆ มาด้วย เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพ้นหุบเขาหรือเชิงเขาซึ่งจะเป็นที่ราบ ทำให้กำลังของน้ำลดลง ทางน้ำก็กระจายไปตะกอนที่ถูกพัดพามาก็ตกตะกอนขึ้น มีลักษณะคล้ายรูปพัด พื้นที่เหล่านี้จะพบทางตะวันตกของจังหวัดซึ่งเกิดจากตะกอนที่พัดมาจากตะกอนรูปพัดกำแพงเพชร และด้านตะวันออกของจังหวัด ซึ่งเกิดจากตะกอนที่พัดมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นลูกคลื่นเล็กน้อย โดยเป็นที่ราบสลับกับที่ลุ่ม โดยชั้นบนบางแห่งจะมีตะกอนลำน้ำกึ่งปัจจุบันปิดทับอยู่ทางตอนบน ความลาดชันส่วนใหญ่ไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

2.3 ตะพักแม่น้ำเก่า (Old Alluvial Terrace) เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า พื้นที่มีอายุมากกว่าที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) และ ตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง (Semi- recent Terrace and coalescing alluvial fans) พื้นที่ส่วนใหญ่ค่อนข้างเรียบ ความลาดชันน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

2.4 พื้นผิวที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (Dissected Erosional Surfaces) ลักษณะภูมิทัศน์(Landform) ชนิดนี้ไม่ได้เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำแต่เป็นพื้นที่เหลือค้างจากที่ถูกการกัดกร่อน (Erosion) ส่วนใหญ่แล้วเนื่องจากกระบวนการปรับระดับพื้นที่โดยอิทธิของน้ำ สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นมีความลาดชัน 2-8 เปอร์เซ็นต์

2.5 ภูเขา (Mountain and Hill) มีลักษณะเป็นโครงสร้างของภูเขาโคดของหินแอนดีไซด์ และ ไรโอไลต์ เป็นส่วนใหญ่ สภาพพื้นที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์

การพัฒนาแหล่งน้ำ

สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดพิจิตรเป็นที่ราบลุ่ม มีลักษณะภูมิประเทศค่อยเอ่งโดยตอนกลางของจังหวัดมีแม่น้ำน่าน และ แม่น้ำยมไหลผ่านในแนวเหนือใต้ ขนานกันไป ด้านตะวันออกและด้านตะวันตกเป็นที่สูงลาดเทลงสู่ที่ราบตอนกลาง จึงทำให้น้ำท่วมในบางบริเวณในฤดูฝน และ มีสภาพความแห้งแล้งเกิดขึ้นในบริเวณที่สูงของจังหวัด

ในพื้นที่จังหวัดพอสรุปสภาพโครงการชลประทานหลักของจังหวัดพิจิตรดังนี้

1. โครงการชลประทานพิจิตร

เป็นโครงการที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยเหลือการเพาะปลูกในพื้นที่ฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่าน โดยการก่อสร้างอาคารบังคับน้ำปิดกั้นปลายคลองธรรมชาติ เพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูทำนา และระบายน้ำออกหลังทำนา และยังช่วยป้องกันอุทกภัยอีกด้วย

1.1 ที่ตั้ง

เลขที่ 129 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าหลวง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร สังกัดสำนักงานชลประทานที่ 3 พื้นที่ชลประทานประมาณ 123,000 ไร่

1.2 ลักษณะโครงการ

โครงการชลประทานพิจิตร จัดสรรน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ในเขตอาคารชลประทานขนาดกลางจำนวน 12 แห่ง พื้นที่ชลประทานประมาณ 123,000 ไร่ แบ่งความรับผิดชอบออกเป็นงานส่งน้ำและบำรุงรักษา 2 งานคือ

- งานส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 (ตอนบน) พื้นที่ชลประทานประมาณ 43,000 ไร่
- งานส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 (ตอนล่าง) พื้นที่ชลประทานประมาณ 76,500 ไร่

1.3 ประวัติความเป็นมาของโครงการชลประทานพิจิตร

จากสภาพที่ราบลุ่มบริเวณ 2 ฝั่งแม่น้ำน่าน จากจังหวัดพิษณุโลก ไปจนถึงนครสวรรค์เดิมน้ำในแม่น้ำน่านในฤดูน้ำหลากจะไหลล้นทั้งสองข้างตลิ่งไหลบ่าเข้าคลองธรรมชาติเข้าไปท่วมพื้นที่นาในที่ราบลุ่มเกือบเป็นประจำทุกปี การทำนามักจะได้รับความเสียหายอยู่เสมอ

และหากปีใดฝนล่าการทำนาจะล่าไปด้วยในตอนปลายฤดูน้ำในแม่น้ำน่านจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต้นข้าวที่กำลังตั้งท้องก็จะขาดน้ำหล่อเลี้ยงทำให้ผลผลิตไม่ได้ผลผลิตไม่ได้ผลเท่าที่ควร เกษตรกรจึงร้องเรียนขอให้เปิดโครงการชลประทาน ในจังหวัดพิจิตรขึ้นเพื่อบรรเทาความเดือดร้อนในเรื่องดังกล่าว

2. โครงการพัฒนาเกษตรชลประทานพิษณุโลก (ในเขตจังหวัดพิจิตร)

ทุ่งราบสองฝั่งแม่น้ำน่านมีความยาวตามลำน้ำประมาณ 270 กิโลเมตร กว้างประมาณ 20-30 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 3 ล้านไร่ ซึ่งนับได้ว่าเป็นทุ่งราบผืนใหญ่ที่สุดสำคัญอีกแห่งหนึ่ง แต่สิ่งที่สำคัญคือ แม่น้ำน่าน ที่บริเวณจังหวัดพิษณุโลกลงไป ตัวแม่น้ำน่านมีความจุเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของประมาณความจุที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ดังนั้นหลังจากที่กรมชลประทานได้ดำเนินการพัฒนาแหล่งน้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยให้พื้นที่ราบทุ่งเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ลงไปจนถึงชายฝั่งทะเลได้เป็นอู่ข้าว-อู่น้ำ ของประเทศ และเพื่อให้โครงการเจ้าพระยานี้สมบูรณ์ กรมชลประทานจึงได้วางแผนพัฒนาแควทั้งสี่ของแม่น้ำเจ้าพระยา คือ ปิง วัง ยม และ น่าน ที่กรมชลประทานเร่งรัดให้ดำเนินการอยู่แล้วในขณะนี้คือ โครงการพัฒนาลุ่มน้ำน่าน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ

ระยะที่ 1 ก่อสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำสิริกิตติ์

ระยะที่ 2 ก่อสร้าง โครงการพัฒนาเกษตรชลประทานพิษณุโลก

ระยะที่ 3 ก่อสร้างโครงการชลประทานอุตรดิตถ์

3. โครงการชลประทานขนาดเล็ก จังหวัดพิจิตร

3.1 ความเป็นมาโดยสังเขป

เนื่องจากยังมีพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดพิจิตรอีกมากที่ยังขาดแคลนน้ำในการทำนา ซึ่งโครงการชลประทานขนาดกลางและขนาดใหญ่ ไม่สามารถไปช่วยทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำต่ำสูงในสังคมในชนบทซึ่งทางรัฐบาลยังไม่ได้ยื่นมือเข้ามาช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการช่วยเหลือในด้านจัดหาน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภค และการเพาะปลูกดังนั้นการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในท้องถิ่นชนบท ซึ่งมีแหล่งน้ำธรรมชาติที่จะดำเนินการพัฒนาได้ จึงเป็นงานที่สำคัญและเร่งด่วน ซึ่งถือว่าเป็นนโยบายที่สำคัญของรัฐบาลเพื่อเป็นการสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของเกษตรกรและประชาชนในชนบทเหล่านั้นจะได้มีน้ำใช้เพียงพอกับความต้องการในการยังชีพ

3.2 วัตถุประสงค์

ในการดำเนินการก่อสร้างโครงการชลประทานขนาดเล็กนั้นเพื่อเป็นการสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของเกษตรกรและประชาชน ในชนบทให้มีน้ำใช้ในการอุปโภค-บริโภค และการเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง

3.3 ลักษณะโครงการ

เป็นโครงการประเภทกักเก็บน้ำและส่งน้ำ ตลอดจนการระบายน้ำ

3.4 ประโยชน์

1) อำนวยประโยชน์ให้แก่พื้นที่เพาะปลูกทั้งสิ้น ประมาณ 369,200 ไร่

2) ให้เกษตรมีน้ำไว้ใช้ในการอุปโภค-บริโภค และทำการเกษตรโดยเฉพาะฤดูแล้ง

3) ช่วยบรรเทาอุทกภัย

4) ช่วยเสริมความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงของชาติ

สถิติแสดงอัตราการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในเขตพื้นที่จังหวัดพิจิตร

1. น้ำอุปโภคบริโภค

ปี 2541 จังหวัดพิจิตร มีประชากรในเขตเมือง (เทศบาลเมืองและเทศบาลตำบล) 57,188 คน และในเขตชนบท 546,851 คน มีความต้องการน้ำกินน้ำใช้ในเขตเมืองและชนบท ประมาณ 11,723,540 ลิตร และ 27,342,550 ลิตร ตามลำดับ

2. น้ำเพื่อการเกษตร

แหล่งน้ำที่ประชาชนชาวจังหวัดพิจิตร ใช้เพื่อการเกษตรประกอบด้วยบ่อบาดาลส่วนตัว 18,557 บ่อ บ่อบาดาลสาธารณะ 1,739 บ่อ (จากข้อมูล กชช.2ค ปี 2539) และบ่อที่มีเครื่องสูบน้ำ 11 แห่งสระ 1,479 แห่ง ฝายส่วนตัว 104 แห่ง และคลองชลประทานส่งน้ำ 166 แห่ง ซึ่งประชาชนมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำเหล่านี้ในฤดูแล้ง 10,379 ครัวเรือน ในพื้นที่ 428,192 ไร่ (จากข้อมูลแหล่งน้ำระดับหมู่บ้านปี 2535 กองประสานการพัฒนาชนบท สศช.)

3. ระบบน้ำประปา

3.1 จังหวัดพิจิตร มีจำนวนหมู่บ้านที่มีน้ำประปา 550 หมู่บ้าน ไม่มีน้ำประปาใช้ 264 หมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 67.57 ของหมู่บ้านทั้งหมด ตามลำดับ (จากข้อมูล กชช.2ค ปี 2539)

3.2 ประปาในเขตเมือง (ฝ่ายประมวลข้อมูล รายงานและประเมินผล การประปาส่วนภูมิภาค) ปี 2541 จังหวัดพิจิตร มีจำนวนที่ทำการประปา 3 แห่งซึ่งจำหน่ายน้ำในเขตเทศบาลเมือง 3 เขตจำนวนประชากร 111,289 คน และจำหน่ายน้ำในเขตเทศบาลตำบล 6 เขต จำนวนประชากร 45,485 คน มีผู้ใช้น้ำ 20,463 ราย ปริมาณน้ำผลิต 6,945,834 ลบ.ม. ปริมาณน้ำจำหน่าย 4,192,286 ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่จ่ายเพื่อสาธารณประโยชน์และรั่วไหล 2,539,043 ลบ.ม.

4. แหล่งน้ำธรรมชาติ

ข้อมูลแหล่งน้ำระดับหมู่บ้าน ปี 2535 กองประสานการพัฒนาชนบท สศช. จังหวัด

พิจิตรมีแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญ คือ แม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม มีแม่น้ำ ห้วย ลำธาร คลอง 660 สาย ซึ่งในจำนวนนี้มีที่ใช้งานได้ในฤดูแล้ง 624 สาย มีหนองบึง 460 แห่ง ที่มีสภาพใช้งานได้ในฤดูแล้ง 413 แห่ง มีน้ำพุน้ำซับ 1 แห่ง ที่มีสภาพใช้งานได้ในฤดูแล้ง 1 แห่ง และอื่นๆ 67 แห่ง ที่มีสภาพใช้งานได้ในฤดูแล้ง 66 แห่ง

5. แหล่งน้ำชลประทาน

แหล่งน้ำชลประทานที่มีอยู่ภายในจังหวัด ประกอบด้วยแหล่งน้ำตามโครงการขนาดใหญ่และขนาดกลางและโครงการขนาดเล็ก ที่สร้างเสร็จแล้วถึงสิ้นปีงบประมาณ 2541 รวม 100 โครงการพื้นที่ ที่ได้รับประโยชน์จากโครงการ 953,900 ไร่ หรือร้อยละ 44.92 ของพื้นที่ถือครองทางการเกษตรของจังหวัด 2,123,537 ไร่ในปี 2536

6. สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้า

จนถึงสิ้นปีงบประมาณ 2541 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ได้ดำเนินการจัดตั้งสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้า ในจังหวัดพิจิตรแล้ว จำนวน 43 สถานี พื้นที่โครงการ 99,730 ไร่ เพื่อประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม และขจัดปัญหาความแห้งแล้งของพื้นที่ ที่อยู่นอกเขตชลประทาน

7. สรุปพื้นที่และจำนวนราษฎรที่ประสบปัญหาภัยแล้ง ปี 2541

ปี 2542 จังหวัดพิจิตร มีพื้นที่ที่ประสบภัยแล้ง 477 หมู่บ้าน 77 ตำบล 9 อำเภอ 3 กิ่ง อำเภอและมี ราษฎร เดือนร้อน 154,523 คน 37,069 ครอบครัว (ข้อมูล ณ วันที่ 10 พฤษภาคม 2542)

ตาราง แสดงโครงการชลประทานของจังหวัดที่สร้างเสร็จแล้วถึงสิ้นปีงบประมาณ 2541

โครงการ	จำนวน	เก็บน้ำ (ล้าน ม.3)	พื้นที่ชลประทาน ได้รับประโยชน์ (ไร่)	คิดเป็นร้อยละ ของพื้นที่ คือ คลองทางการเกษตร
1. ขนาดใหญ่และขนาดกลาง	14	-	526,100	24.77
2. อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	-	-	-	-
3. หมู่บ้านป้องกันตนเองชายแดน	-	-	-	-
4. ขนาดเล็ก	86	-	427,800	20.15
รวม	100	-	953,900	44.92

ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

หมายเหตุ : พื้นที่ถือครองทางการเกษตรเป็นข้อมูลปี 2538

ตารางแสดงที่ตั้งและสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าของจังหวัดสะสมถึงปี 2541

ลำดับที่	ชื่อสถานี	แหล่งน้ำ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่โครงการ (ไร่)
1	ลำนัง	ยม	ไผ่ท่าโพ	โพธิ์ประทับช้าง	1,500
2	ไผ่ท่าโพ	ยม	ไผ่ท่าโพ	โพธิ์ประทับช้าง	1,500
3	หักรถ	ยม	วังจิก	โพธิ์ประทับช้าง	2,430

ที่มา : สำนักปฏิบัติการและบำรุงรักษา กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

แหล่งน้ำเพื่อการเกษตรในเขตจังหวัดพิจิตร คิดโดยเทียบกับปริมาณของครัวเรือน

- ใช้น้ำฝนอย่างเดียว 36,989 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 65.48 ครัวเรือนทั้งหมด
- แหล่งน้ำธรรมชาติ 15,255 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 27.01 ครัวเรือนทั้งหมด
- น้ำชลประทาน 12,862 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 22.77 ครัวเรือนทั้งหมด
- น้ำบาดาล 14,452 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 25.59 ครัวเรือนทั้งหมด
- สระน้ำในไร่นา 7,684 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 13.60 ครัวเรือนทั้งหมด

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

บทนำ

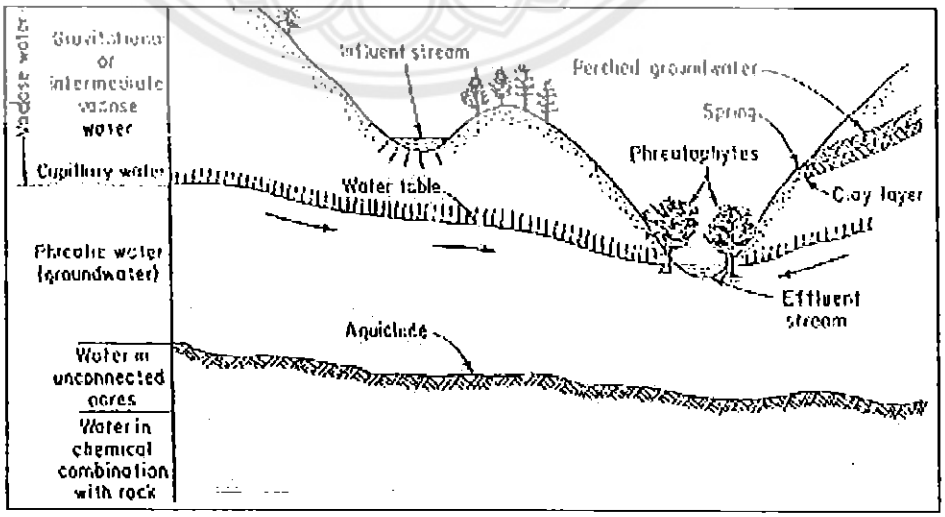
แหล่งน้ำที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ได้มาจาก 2 แหล่งด้วยคือ แหล่งน้ำผิวดิน (surface water resource) และแหล่งน้ำใต้ดิน (ground water resource) แหล่งน้ำใต้ดินนับว่ามีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน เพราะมนุษย์สามารถนำมาใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้ อาทิเช่น เพื่อการบริโภค บริโภค เพื่อการเกษตร และ สัตว์เลี้ยง และเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากการนำน้ำใต้ดินไปใช้โดยตรงแล้วน้ำใต้ดินยังเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในวัฏจักรของน้ำอีกด้วย สำหรับลำน้ำหรือแม่น้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี (perennial stream) นั้น น้ำที่ไหลส่วนใหญ่จะเกิดมาจากน้ำใต้ผิวดิน ในทางตรงกันข้ามน้ำที่ไหลในลำน้ำแบบไม่ตลอดปี (ephemeral stream) นั้นส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียไปโดยการซึมลึกลงไปในดิน ดังนั้นจะเห็นว่าน้ำใต้ผิวดินนั้นจะมีความสัมพันธ์กันมาก การวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ จึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งน้ำใต้ผิวดินและน้ำผิวดินด้วย การเกิดและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ผิวดินนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างทางธรณีของดิน ดังนั้นการที่จะเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมทางอุทกวิทยาของน้ำใต้ผิวดินจำเป็นต้องมีความรู้หรือทราบลักษณะทางธรณีของดินด้วย ถึงอย่างไรก็ตามในบทที่จะกล่าวต่อไปนี้จะเน้นหนักในด้านความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ผิวดิน และจะกล่าวถึงลักษณะทางธรณีของดินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

1.การเกิดของน้ำใต้ผิวดิน (OCCURRENCE OF SUBSURFACE WATER)

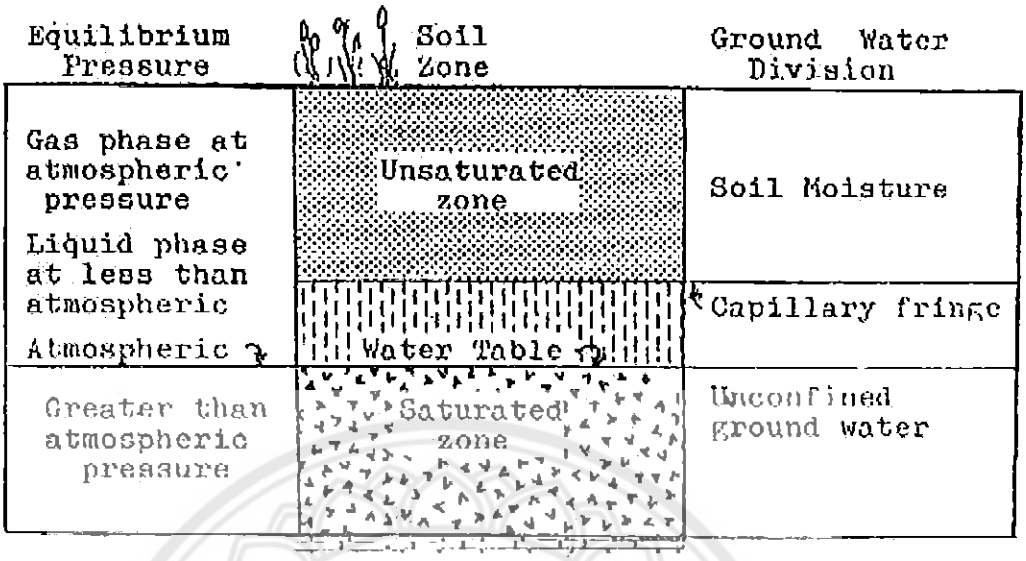
รูปที่ 1 แสดงรูปตัดส่วนบนของผิวโลกและยังแสดงลักษณะการแบ่งชั้นของน้ำใต้ผิวดินไว้ด้วยชั้นของน้ำใต้ผิวดินสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วย เส้นระดับน้ำใต้ดิน (water table) เส้นระดับน้ำใต้ดินก็คือ จุดโลกัส (ในกรณี unconfined material) ซึ่งความดันของน้ำใต้ผิวดิ้นหรือเรียกว่า hydrostatic pressure เท่ากับความดันของบรรยากาศ (atmospheric pressure) ชั้นดินที่อยู่เหนือเส้นระดับน้ำใต้ดินเรียกว่า Vadose Zone เนื่องจากในชั้นดินนี้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินประกอบด้วยอากาศและน้ำ จึงนิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า aeration zone น้ำที่อยู่ในชั้นดินนี้เรียกว่า vadose water หรือ soil moisture ความหนาของชั้นดินชนิดนี้จะแปรผันไปตามลักษณะโครงสร้างทางธรณีของดิน กล่าวคือ ในบริเวณบ่อ หนอง บึง ความหนาจะเท่ากับศูนย์และจะหนาเป็นหลายร้อยฟุตที่บริเวณอยู่เหนือระดับน้ำทะเลมาก ๆ เป็นต้น ถัด

จาก aeration zone ลงมาหรือชั้นดินที่อยู่ใต้เส้นระดับน้ำใต้ดินเรียกว่า phreatic zone หรือ ground water zone เนื่องจากช่องว่างในระหว่างอนุภาคของดินจะเต็มไปด้วยน้ำ จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า saturation zone น้ำที่อยู่ในชั้นนี้ยิ่งลึกลงไปจะมีปริมาณน้อยลงตามลำดับ ทั้งนี้เพราะช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน (pore space) จะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากน้ำหนักดินที่อยู่ข้างบนกดทับลงมา

ในบางครั้ง saturation zone จะเกิดขึ้นบนชั้นดินที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (impervious stratum) ในช่วงที่ไม่กว้างหรือใหญ่โตมากนัก จึงเรียกน้ำที่อยู่ในชั้นดินนี้ว่า perched ground water (ดูรูปที่ 1) ในบางครั้งน้ำใต้ดินอาจจะถูกบังคับให้อยู่ในชั้นดินแบบ confined aquifer ซึ่งจะมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากทั้งข้างบนและล่าง ก็จะเรียกว่า confined หรือ artesian water jน้ำที่อยู่ใน confined aquifer นี้จะอยู่ภายใต้ความดัน ถ้าหากเราเจาะบ่อบาดาลลงไปถึงชั้นนี้ น้ำในบ่อก็จะซึมขึ้นมาถึงระดับ piezometric level ซึ่งมีความดันเท่ากับความกันของบรรยากาศ ระดับ piezometric level นี้ก็คล้าย ๆ กับระดับ water table ในกรณี unconfined aquifer นั่นเอง ในกรณีที่ piezometric level อยู่เหนือระดับผิวดิน น้ำก็จะไหลออกมาจากบ่อบาดาลโดยไม่ต้องสูบ ซึ่งเรียกว่า flowing well และในบางครั้งถ้าหากว่าความดันของน้ำมีมาก ก็จะเกิดเป็นลักษณะน้ำพุ่งสูงขึ้นไป หรือเรียกกันว่า บ่อน้ำพุ นั่นเอง



รูปที่ 1 รูปตัดเปลือกโลกแสดงการเกิดของน้ำใต้ผิวดิน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง saturated และ unsaturated zones

2.ความชื้นในชั้น VADOSE ZONE

ในชั้น vadose zone นี้สามารถแบ่งชั้นความชื้นออกได้เป็นสามลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ความชื้นในชั้นที่รากพืชแทงลึกลงไปถึง เรียกว่า soil water ซึ่งปริมาณน้ำหรือความชื้นจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการที่พืชดูดน้ำไปใช่หลังจากฝนตก เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไป ความชื้นจะถูกดูดขึ้นไปยังระดับ capillary fringe ด้วยแรง capillarity ระดับของ capillary fringe นี้อาจจะอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินเพียงไม่กี่นิ้วจนถึงระดับหลายฟุต ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับผิวดิน ชั้น soil water และ capillary fringe อาจจะอยู่ในลักษณะทาบกัน ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากว่าระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมาก็จะเกิดชั้นตรงกลางที่มีความชื้นคงที่ที่จุด field capacity ของดินในชั้นนั้น

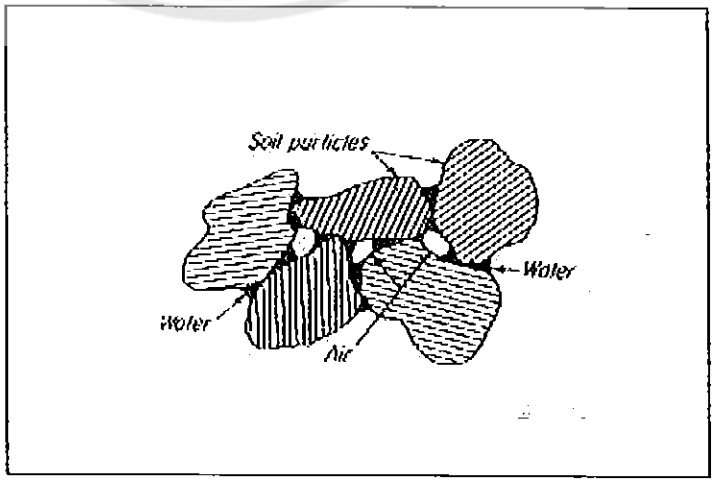
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation zone) และชั้นดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturation zone) รูปนี้ยังแสดง capillary fringe ซึ่งเป็นระดับที่ดินอิ่มตัวที่จุดสมดุลแต่มีความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ความสูงที่ capillary fringe จะขึ้นไปได้นั้นขึ้นอยู่กับว่าระดับใต้ดินสูงขึ้นหรือต่ำลง และขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินหรือชนิดกัน ตัวอย่างของ capillary rise สำหรับดินชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 ตัวอย่างค่า capillary rise สำหรับดินชนิดต่างๆ

ชนิดของดิน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน (มม.)	Capillary Rise (มม.)
Silt	0.02 - 0.05	2000
Coarse Silt	0.05 - 0.10	1055
Fine Sand	0.10 - 0.20	428
Medium Sand	0.20 - 0.50	246
Coarse Sand	0.50 - 1.00	135
Very Coarse Sand	1.00 - 2.00	65
Fine Gravel	2.00 - 5.00	25

1. ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ (Soil – Water Relationship)

ความชื้นในดินอาจจะอยู่ในลักษณะต่าง ๆ กัน กล่าวคือ (1) ในลักษณะของ gravity water โดยเฉพาะในกรณีที่ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีขนาดใหญ่ (2) ในลักษณะของ capillary water โดยเฉพาะในกรณีที่ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีขนาดเล็ก ดูรูปที่ 3 (3) ในลักษณะของ hygroscopic moisture โดยการเคลือบคล้ายฟิล์มบาง ๆ รอบเม็ดดินและ (4) ในลักษณะของ water vapor



รูปที่ 3 การเกิด capillary moisture ในดิน

เนื่องจากเม็ดดินที่เรียงตัวกันอยู่มีช่องว่างระหว่างเม็ดดิน น้ำจะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างและเกาะติดอยู่กับเม็ดดินในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงสองชนิดด้วยกันคือ adhesive force และ cohesive force ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่าง ก็กล่าวได้ว่า ดินอยู่ในสภาพอิ่มตัว และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินจะเก็บกักเอาไว้ได้หากไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย และในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรง adhesive ระหว่างอนุภาคของน้ำที่อยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเม็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นเมื่อผลรวมของ แรง cohesive adhesive น้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำก็จะไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า น้ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุ ดังกล่าวนี้ก็คือ gravity water หรือ free water ส่วนน้ำในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถไหลไปได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก แต่จะมีการเคลื่อนที่ด้วยแรงดูดซับ (capillary force) น้ำซึ่งอยู่ในสภาพดังกล่าวนี้ เรียกว่า capillary water ซึ่งการเคลื่อนที่จะช้ากว่ากรณี gravity water และจะมีทิศทางไปทางใดก็ได้สำหรับน้ำที่ยึดติดแน่นกับเม็ดดินและไม่สามารถที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือแรงดูดซับได้เลยนั้นเรียกว่า hygroscopic water

2. ความชื้นจุดสมดุล (Equilibrium Points of Soil Moisture)

น้ำจะอยู่ในดินในสภาพหรือสถานะ (state) ต่าง ๆ กัน ได้มีผู้พยายามที่จะแบ่งหรือกำหนดขีดจำกัดของสถานะต่าง ๆ ด้วยใช้หลักจุดสมดุลของความชื้นในดิน แต่การกำหนดขอบเขตของแต่ละสถานะดังกล่าวนั้นกระทำได้ยาก ถึงอย่างไรก็ตามการใช้จุดสมดุลความชื้นที่สำคัญก็คือความชื้นที่จุด field capacity และที่จุดอับเฉา (wilting point)

คำจำกัดความของ field capacity ก็คือ ความชื้นของดินหลังจากที่ gravity water ในช่องว่างของเม็ดดินได้ระบายออกไปหมดแล้วด้วยแรงดึงดูดของโลก โดยปกติแล้ว ความชื้นที่จุด field capacity นี้เป็นความชื้นของดินซึ่งมีแรง tension ประมาณ 1/3 ของความดันบรรยากาศ ความชื้นที่จุด wilting point เป็นความชื้นที่จุดซึ่งพืชไม่สามารถจะดึงเอาความชื้นในดินไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ และพืชจะเริ่มอับเฉา ความชื้นที่จุดนี้จะมีแรงดึง (tension) เท่ากับ osmotic pressure ของรากพืช ดังนั้นความชื้นของดินจึงไม่สามารถดูดซึมเข้าไปในรากพืชได้ด้วยวิธีการออสโมซีส นอกจากนั้นยังอาจกล่าวได้ว่าความชื้นที่จุดอับเฉาก็คือ จำนวนความชื้นที่มีอยู่ในดินในขณะที่มีแรง tension เท่ากับ 15 เท่าแรงดันบรรยากาศ ความแตกต่างระหว่างความชื้นที่จุด field capacity และที่จุด wilting point เรียกว่า available moisture ซึ่งเป็นปริมาณ

ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างความชื้นที่จุด field capacity จุด wilting point และ available moisture สำหรับดินชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่า field capacity, wilting point , available water และ specific weight สำหรับดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	ความชื้นคิดเทียบเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักแห้งของดิน			Specific Weight	
	Field capacity	Wilting Point	Available Water	ปอนด์/ลบ.ฟุต	กก./ลบ.เมตร
Sand	5	2	3	95	1520
Sandy Loam	12	5	7	90	1440
Loam	19	10	9	85	1360
Silt Loam	22	13	9	80	1280
Clay Loam	24	15	9	80	1280
Clay	36	20	16	75	1200
Peat	140	75	65	25	320

3. การเคลื่อนที่ของความชื้นในดิน (Movement of Soil Moisture)

เมื่อให้น้ำแก่พืชทางผิวดินหรือเมื่อมีฝนตก น้ำจะไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินและตามรอยแตกระ แหงหรือรูโพรงที่เกิดจากการเน่าผุของรากพืชอันเนื่องจากการเตรียมดินการไหลซึมของน้ำจากผิวดินนี้เรียกว่า การซึมผ่านผิวดิน (infiltration) ซึ่งจะแตกต่างจากการซึมลึกภายในดินหรือเรียกว่า Percolation

หลังจากที่น้ำไหลซึมผ่านผิวดินลงมาแล้ว ก็จะไหลต่อไปด้วยแรงดึงดูดของโลกตามช่องว่างขนาดใหญ่ของดิน และด้วยแรงดูดซับ (capillarity) ตามช่องว่างขนาดเล็กกว่าของดิน อัตราที่น้ำบนผิวดินไหลซึมเข้าไปในดินต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า infiltration rate หรือ intake

rate อัตราดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น ความลึกของน้ำที่ยังอยู่บนผิวดิน ลักษณะโครงสร้างของดินเนื้อดิน อุณหภูมิของน้ำและดิน แลอดจนจำนวนความชื้นที่มีอยู่ในดิน ในตอนแรกที่มีการให้น้ำแก่ดินอัตราการซึมผ่านผิวดินจะสูง เนื่องจากผิวดินยังแห้งอยู่ จึงดูดซับเอาน้ำไว้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นน้ำจำนวนหนึ่งจะไหลเข้าไปบรรจุอยู่ในรอยแตกระแหงหรือโพรงที่เกิดจากการเน่าผุของรากพืชจนเต็ม ระดับน้ำที่ขังอยู่บนผิวดินจึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไป ดินชั้นบนจะเริ่มอิ่มตัว อัตราการซึมผ่านผิวดินจะค่อย ๆ ลดลง และในที่สุดก็จนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งอัตราการซึมผ่านผิวดินจะมีค่าเกือบคงที่ตลอดไป จนหว่าจะหยุดการให้น้ำ ค่าที่เกือบคงที่ดังกล่าวนี้จะประมาณเท่ากับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (permeability) ของดินนั่นเอง

การเคลื่อนที่ของความชื้นหรือน้ำในดิน สามารถแสดงในรูปสมการของ moisture potential ได้ดังต่อไปนี้

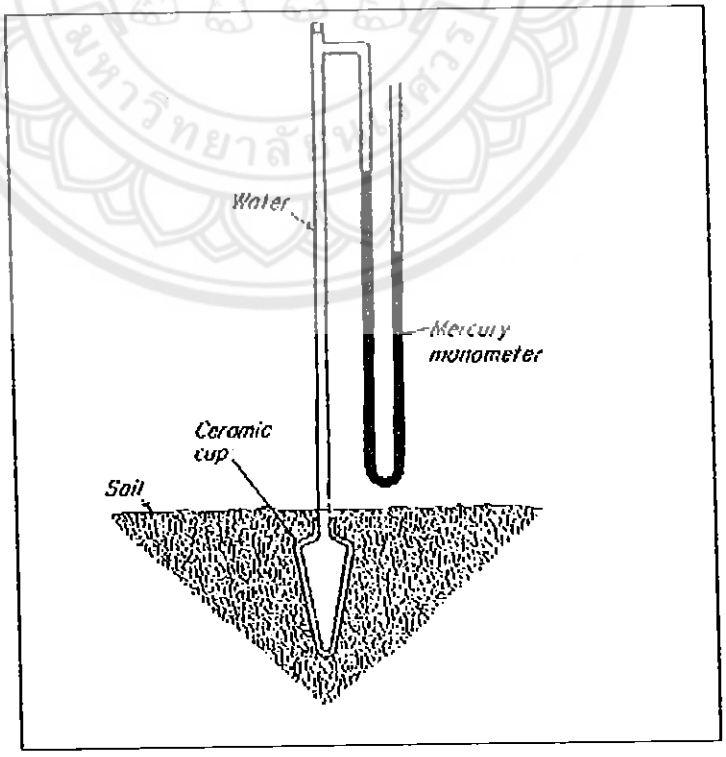
$$q = -K_w \frac{\partial \Lambda}{\partial x} \qquad (1)$$

ในเมื่อ q คือ อัตราการไหลหรือเคลื่อนที่ของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา และผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล x คือ ระยะทางวัดตามแนวทิศทางการไหล K คือ ค่าการนำน้ำ (conductivity) และ Λ คือ ค่าศักยภาพ (potential)

หลังจากที่น้ำที่ไหลด้วยแรงดึงดูดของโลกเคลื่อนตัวออกไปจากดินแล้ว ศักยภาพหลักที่เหลือก็คือ ศักยภาพดูดซึม (capillary potential) สมการที่ (1) แสดงถึงหลักความจริงที่ว่าการไหลจะมีทิศทางจากบริเวณที่มีศักยภาพสูงไปยังบริเวณที่มีศักยภาพต่ำ อัตราการไหลก็จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของศักยภาพดังกล่าวด้วย ซึ่งหากมีความแตกต่างมาก อัตราการไหลจะมากหรือเร็ว และในทางตรงกันข้ามหากความแตกต่างมีน้อย อัตราการไหลก็จะช้าหรือน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้อัตราการไกหลยังขึ้นอยู่กับค่าการนำน้ำด้วย ซึ่งค่าดังกล่าวนี้หาได้ยากมาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าการนำน้ำจะสูงขึ้นหากมีปริมาณความชื้นในดินมากขึ้น และจะลดลงเมื่อขนาดช่องว่างในดินใหญ่ขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ด้วยแรงดูดซึมของน้ำในดินจะมีอัตราช้าลงหากดินแห้ง และจะมีค่าน้อยที่สุดในดินซึ่งมีเม็ดละเอียดมากหรือพวก fine grain นั่นเอง

4. การวัดความชื้นในดิน (Measurment of Soil Moisture)

วิธีการที่ง่ายที่สุดก็คือ การหาความชื้นในดิน ในห้องปฏิบัติการ โดยการนำตัวอย่างดินไปอบในเตาเพื่อไล่ความชื้นหรือน้ำออก น้ำหนักของตัวอย่างดินที่หายไปก็คือ น้ำหนักของความชื้นที่อยู่ในดินนั่นเอง สำหรับการหาความชื้นในดินในภาคสนามนั้นนิยมใช้เครื่องมือซึ่งเรียกว่า tensiometer เครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยถ้วยมีรูพรุนเรียกว่า porous ceramiccup ฝังอยู่ในดิน ถ้วยนี้จะบรรจุน้ำเต็มและเชื่อมต่อไปยังเครื่องวัดความดันหรือ manometer ดังแสดงในรูปที่ 4 ถ้าดินแห้งน้ำก็จะไหลออกจากถ้วยทำให้เกิดความดันลบ หรือ negative pressure ขึ้น ซึ่งสามารถดูได้จากเครื่องวัดความดัน ถ้าเกิดความดันลงมากกว่าหนึ่งความดันบรรยากาศ เครื่องมือชนิดนี้จะใช้การไม่ได้ผล ดังนั้นเครื่องมือ tensiometer จึงเหมาะสำหรับใช้วัดความชื้นในดินที่ต่ำกว่า field capacity เล็กน้อยจนถึงจุดอิ่มตัว นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือชนิดอื่นที่ใช้วัดความชื้นในดิน อาทิเช่น gamma radiation penetration , heat transmission และ electrical resistivity เป็นต้น



รูปที่ 4 รูปแสดงลักษณะเครื่องtensiometer แบบง่าย

ความชื้นในดินที่อิ่มตัว (MOISTURE IN THE PHREATIC ZONE)

ในชั้นดินที่เราเรียกว่า phreatic zone หรือ saturation zone นั้น ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะเต็มไปด้วยน้ำ ในหัวข้อที่จะกล่าวต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับความชื้นในดินชั้นที่อิ่มตัวโดยเน้นในเรื่องจำนวนน้ำใต้ดินที่สามารถเอาออกจากดินและสูบขึ้นมาใช้ได้ และเกี่ยวข้องถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินด้วย

4.1 Aquifers

Aquifers ก็คือ ชั้นกรวดทรายหรืออื่น ๆ ที่มีน้ำบรรจุอยู่ระหว่างช่องว่างเต็มไปหมด และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนี้สามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ด้วยปริมาณมากเกินพอจนสามารถพัฒนาสูบมาใช้ได้โดยคุ้มกับการลงทุน สำหรับ aquiclude ก็คือ ชั้นของหินทรายหรือดินซึ่งช่องว่างจะเต็มไปด้วยน้ำ แต่น้ำที่อยู่ในนี้จะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอย่างช้า ๆ และมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะสูบไปใช้ได้ ส่วน aquifuge คือ ชั้นหินหรือดินที่มีช่องว่างไม่ต่อเนื่องกันจึงไม่สามารถที่จะเก็บกักน้ำและไม่สามารถที่จะยอมให้น้ำเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้สะดวก

อัตราส่วนระหว่างช่องว่าง (pore volume) ของดินต่อปริมาตรของดินทั้งหมดนั้นเรียกว่าความพรุน (porosity) แต่อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่สามารถระบายออกจากช่องว่างของดินได้อย่างอิสระหรือด้วยแรงดึงดูดของโลก ต่อปริมาตรของดินทั้งหมดนั้นเรียกว่า specific yield ดังนั้น specific yield จะมีค่าน้อยกว่า porosity เสมอ ความสัมพันธ์ระหว่าง specific yield และ porosity ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของดินที่ฟอร์มตัวกันอยู่ specific yield ของ fine – grained aquifer จะน้อยกว่าของ coarse- grained aquifer นอกจากนั้น aquifer ที่มี porosity มาก ๆ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถระบายน้ำได้ดี ยกตัวอย่าง พวกดินเหนียว (clay) จะมี porosity มาก แต่จะระบายน้ำได้ไม่ดี ทั้งนี้เพราะน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็กจะถูกดึงไว้ด้วย แรงดูดซับ ค่าของ porosity specific yield และ perme ability ของดินบางชนิดแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่า porosity , specific yield, permeability และ intrinsic permeability สำหรับดินชนิดต่างๆ

Material	Porosity %	Specific Yield %	Permeability		Intrinsic Permeability D
			Meinzer units	M/ dm	
Clay	45	3	0.01	0.004	0.0005
Sand	35	25	1000.0	41.0	50.0
Gravel	25	22	100000.0	4100.0	5000.0
Gravel and Sand	20	16	10000.0	410.0	500.0
Sandstone	19	8	100.0	4.1	5.0
Dense Limestone and Shale	5	2	1.0	0.041	0.05
Quartzite, Granite	1	0.5	0.1	0.0004	0.0005

4.2 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน (Movement of Ground Water)

Darcy เป็นผู้ที่ยืนยันการประยุกต์หลักของการไหลของของไหลใน capillary tubes ซึ่งเสนอโดย Hagen และ Poiseuille ไปใช้กับการไหลของน้ำในดินหรือใน permeable media ซึ่งต่อมานิยมเรียกว่ากฎของดาร์ซี (Darcy's Law) กฎของดาร์ซีแสดงในรูปสมการดังต่อไปนี้

$$V = kS \qquad (2)$$

ในเมื่อ V คือ ความเร็วของไหล S คือ ความลาดเทของ hydradient และ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์มีหน่วยเช่นเดียวกับความเร็วคือ ฟุตต่อวัน หรือเมตรต่อวัน เป็นต้น ปริมาณการไหลของน้ำ q ก็คือ ผลคูณของความเร็ว V และพื้นที่หน้าตัดสุทธิ พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (effective area) คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (gross area) คูณด้วยค่าของ porosity, p ของตัวกลาง (media) ดังนั้นสมการสำหรับคำนวณปริมาณการไหลก็คือ

$$Q = kpAS = KAS \qquad (3)$$

ค่า K เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านได้ (coefficient of permeability) หรือความนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) ค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านได้นี้ขึ้นอยู่

กับคุณสมบัติของน้ำหรือของเหลว และคุณสมบัติของตัวกลางที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปสมการ ดังต่อไปนี้

$$K = K_i \frac{\gamma}{\mu} = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu}$$

ในสมการนี้ K คือค่า intrinsic permeability ของตัวกลางหรือดิน γ คือ specific weight ของน้ำหรือของของไหล μ คือ absolute viscosity C เป็นแฟคเตอร์เกี่ยวกับรูปร่าง (shape) การเรียงตัว (packing) ความพรุนและลักษณะอย่างอื่นของตัวกลาง และ d คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดช่องว่างของตัวกลาง

ในทางปิโตรเลียมวิศวกรรม ค่าของ intrinsic permeability คือ ดาร์ซี (D) ซึ่งมีหน่วยเป็นพื้นที่ หรือหนึ่งดาร์ซีจะเท่ากับ 1.062×10^{-11} ตารางฟุต และเท่ากับ 0.987×10^{-8} ตารางเซนติเมตรค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านได้จะมีหน่วยเป็นความเร็วและเรียกต่างๆ น ในสหรัฐอเมริกาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าได้มีหน่วยเป็น Meinzer Units ซึ่ง คือ การไหลที่มีขนาดหนึ่งแกลลอนต่อวันผ่านตัวกลางที่พื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางฟุตภายใต้ hydraulic gradient หนึ่งฟุตต่อหนึ่งฟุต ทีอุณหภูมิ 60^0 F

เพื่อความสะดวกอาจจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการผ่าน (transmissibility) แทนค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านได้ (permeability coefficient) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการผ่านก็คือ ผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านและความหนา (y) ของ aquifer กล่าวคือ

$$T = Ky \qquad (4)$$

และถ้าให้ B เป็นความกว้างของ aquifer ก็จะได้ A = By และจากสมการ (3) จะได้

$$q = KbyS = TBS \qquad (5)$$

4.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน (Determination of Permeability)

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านนั้นสามารถทำได้หลายวิธีทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ซึ่งจะแยกกล่าวโดยสังเขปดังต่อไปนี้

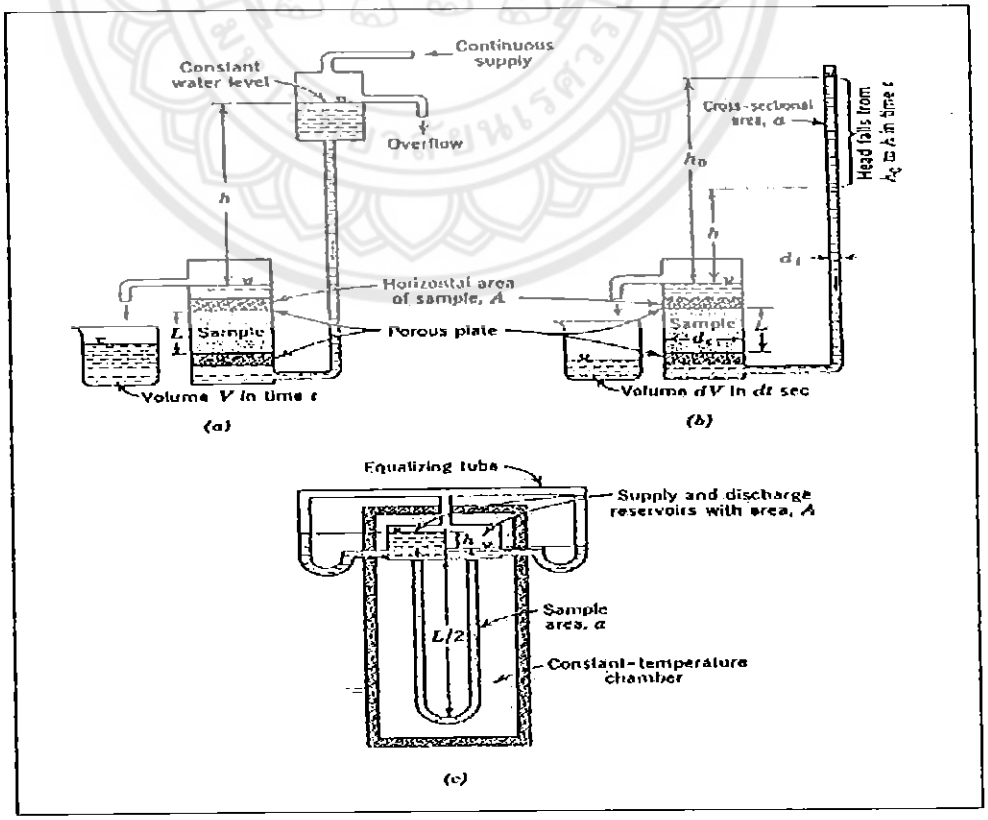
4.3.1) การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ การหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในห้องปฏิบัติการานั้น ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า permeameter ซึ่งออกแบบแตกต่างกันออกไป การวัดจะต้องนำตัวอย่างของ aquifer มาจากสนาม ดังนั้นถึงแม้ว่าจะควบคุมให้ดีเพียงใดก็ตามสภาพของตัวอย่างจะผิดแผกจาก aquifer ในสนามได้ ดังนั้นค่าของสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านที่วัดได้ในห้องปฏิบัติจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่แท้จริงในสนามน้อยมาก ดังนั้นการนำค่าที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้งาน จะต้องคำนึงถึงหลักความจริงนี้ด้วย

เครื่องมือ permeameter นั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 นั้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ 1. Constant-head 2. Falling – head และ 3. Nondischarging

สำหรับ constant - head permeameter นั้นสามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ทั้งตัวกลางชนิดที่ consolidated และยังไม่ consolidated และภายใต้ความดันต่ำน้ำจะไหลผ่านตัวกลางหรือตัวอย่างรูปทรงกระบอกจากด้านล้างไปยังด้านบน และไหลลงสู่ภาชนะรองรับเพื่อทำการวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวกลาง เมื่อประยุกต์สูตรดาร์ซีมาใช้กับลักษณะการไหลผ่านตัวกลางชนิดนี้ก็จะได้สมการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้

$$K = \frac{VL}{Ath} \qquad (6)$$

ในที่นี้ V คือ ปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวกลางในระยะเวลา t ส่วน A และ L คือ พื้นที่หน้าตัด และความสูงของตัวกลางรูปทรงกระบอก และ h คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำ หรือ คือ head ที่ทำให้เกิดการไหล ดังแสดงในรูป 5 (a) ก่อนทำการวัดจำเป็นต้องปล่อยน้ำผ่านตัวกลางในระยะเวลาหนึ่งก่อน เพื่อให้ตัวกลางอิ่มตัวและอากาศที่อยู่ในช่องว่างของเม็ดดินถูกไล่ออกมาให้หมดเสียก่อน การทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งด้วยการใช้ค่า h ต่างๆ กันก็จะทำให้การประมาณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านนั้นถูกต้องดียิ่งขึ้น



รูปที่ 5 Permeameters : (a) constant-head (b) falling – head และ (c) nondischarging

เครื่องมือแบบ falling – head permeameter แสดงไว้ในรูป 5 (b) วิธีนี้ก็คล้าย ๆ กับวิธีแรก เพียงแต่ค่าของ h จะเปลี่ยนแปลงจากเริ่มจับเวลาหรือทำการวัดด้วย h_0 ลดลงมาถึง h เมื่อเวลา t การวัดจะต้องบันทึกเวลาซึ่งระดับน้ำลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา t การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านกระทำโดยการใช้สูตรดาร์ซี ซึ่งเริ่มแรกจะอยู่ในฟอร์มของสมการดิฟเฟอร์เรนเซียลดังนี้

$$dV = \frac{KhAdt}{L} \tag{7}$$

ถ้าให้ a เป็นพื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้วที่ปล่อยน้ำลงมา จะได้ปริมาตรน้ำ

$$V = a\,(h_0 - h) \tag{8}$$

หรือในรูปของดิฟเฟอร์เรนเซียล

$$dV = -a\,dh \tag{9}$$

แทนค่าสมการ (7) ในสมการ (9) จะได้

$$-adh = \frac{KhA\,dt}{L} \tag{10}$$

และเมื่อจัดเรียงลำดับพร้อมกับทำให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นจะได้

$$-\frac{dh}{h} = \frac{K\,d_c^2 t}{d_t^2 L} \tag{11}$$

ในเมื่อ d_c และ d_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกลางรูปทรงกระบอกและหลอดแก้วตามลำดับ จากผลของการอินทีเกรทจะได้

$$-\ln h = \frac{K\,d_c^2 t}{d_t^2 L} + C \tag{12}$$

จากสมการ (12) เมื่อ $t = 0$ จะได้ $h = h_0$ ดังนั้นค่าคงที่ C ก็จะหาได้ดังนี้

$$C = -\ln h_0 \tag{13}$$

นำค่าคงที่ในสมการ (13) ไปแทนในสมการ (12) และจัดรูปสมการเสียใหม่ ก็จะได้สมการสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ดังนี้

$$K = \frac{d_t^2 L}{d_c^2 t} \ln\left(\frac{h_o}{h}\right) \tag{14}$$

สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ของดินที่เป็นลักษณะ unconsolidated และ ภายใต้ความดันต่ำมาก ๆ นั้นอาจใช้เครื่องมือ permeameter ชนิด nondischarging ดังแสดงในรูปที่ 5 (c) เครื่องมือชนิดนี้จะบรรจุตัวอย่างในหลอดแก้วยาว ซึ่งงอเป็นรูปตัวยู หลอดแก้วนี้จะเชื่อมกับ supply และ discharging reservoirs ซึ่งอยู่ด้านบน ทั้งหลอดแก้วตัวยูและ reservoirs จะวางอยู่ใน chamber ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลา และส่วนบนจะ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

มีฝาปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียจากการระเหยของน้ำจาก reservoirs ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านคำนวณได้จากสมการ

$$K = \frac{AL}{2at} \ln \left(\frac{h_o}{h}\right) \qquad (15)$$

ในเมื่อ A,L และ a แสดงไว้แล้วในรูปที่ , h_0 เป็น head ที่เวลา $t = t_0$ และ h คือ head ที่เวลา t

4.3.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในสนาม การหาค่าหรือการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในสนามนั้นทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีแรกก็คือ การปล่อยสารที่เรียกว่า tracer substance ลงไปในน้ำใต้ดินทางด้านเหนือน้ำและคอยจับเวลาว่าสารดังกล่าวไปปรากฏยังบริเวณท้ายน้ำที่กำหนด เมื่อทราบเวลาและระยะทางก็สามารถคำนวณความเร็วของสารที่เดินทางได้ และเมื่อนำมาวิเคราะห์กับค่า hydraulic gradient ก็จะประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของ aquifer ได้ เนื่องจากการไหลเกิดขึ้นภายในช่องว่างของเม็ดดินซึ่งติดต่อกันไป ดังนั้นอัตราการไหลก็คือ

$$q = pA \ v_a \qquad (16)$$

ในเมื่อ p คือ ความพรุน (porosity)A คือ รูปตัดรวมทั้งหมด (gross area) ที่น้ำไหลผ่าน V_a คือ ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการวัดความเร็วของสารที่ปล่อยลงไปแทนค่าสมการ (16) ในสมการของดาร์ซี จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ดังนี้

$$K = \frac{pv_a \, dL}{dh} \qquad (17)$$

ในสมการนี้ dL คือ ระยะทางระหว่างจุดปล่อยสารและจุดที่สังเกตเวลาที่สารเดินทางไปถึงส่วน dh คือ ความแตกต่างของ head ที่จุดทั้งสอง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านด้วยวิธีปล่อยสารนี้จะต้องมีระยะทางระหว่างจุดไม่ไกลนักเพราะสารอาจจะเกิดการสูญเสียหรือหายไปในระหว่างการเดินทางได้ และค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

ในกรณีที่ระดับ water table ของน้ำใต้ดินอยู่ไม่ลึกนัก ก็อาจจะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้จากการปั๊มน้ำออกจากบ่อแล้วสังเกตดูอัตราการการเพิ่มสู่ระดับเดิมของน้ำในบ่อ หรือในทำนองเดียวกันด้วยการเติมน้ำลงไปในบ่อให้มีระดับสูงพอควร แล้วสังเกตอัตราการลดของระดับน้ำในบ่อด้วยการจับเวลา ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้

5.สมการทั่วไปเกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดิน
(GENERAL FLOW EQUATIONS OF GROUND WATER)

กฎของดาร์ซีสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$V = K\frac{\partial h}{\partial \ell} \tag{18}$$

ในที่นี้ V คือ ความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดิน K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน หรือความนำชลศาสตร์ h คือ head ของการไหล และ ℓ คือระยะทางวัดตามทิศทางความเร็วเฉลี่ยของการไหล ถ้าจะพิจารณากันให้ละเอียดยิ่งขึ้นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านตัวกลางพรุน (porous medium) อาจจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางของการไหล ซึ่งกรณีนี้เรียกว่า anisotropic permeability ในกรณีเช่นนี้ความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินในทิศทาง x, y และ z จะแสดงในรูปของการสมการได้ดังนี้

$$v_x = K_x\frac{\partial h}{\partial x}, v_y = K_y\frac{\partial h}{\partial y}, v_z = K_z\frac{\partial h}{\partial z} \tag{19}$$

ในเมื่อ K_x, K_y และ K_z คือ สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านในทิศทางแกน x, y และ z ตามลำดับ

เพื่อจะให้ได้สมการที่ง่ายขึ้น จะสมมุติว่า aquifer มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอด (homogeneous) และมีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านเท่ากันทุกทิศทาง หรือเรียกว่า isotropic permeability ดังนั้นสมการ (19) จะอยู่ในรูปดังนี้

$$v_x = K\frac{\partial h}{\partial x}, v_y = K\frac{\partial h}{\partial y}, v_z = K\frac{\partial h}{\partial z} \tag{20}$$

ในวิชา hydrodynamics ได้ให้คำจำกัดของ velocity potential (ϕ) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นแบบ scalar ทั้ง space และเวลา (time) ว่า negative derivative ในทิศทางใดๆ ของ velocity potential ก็คือ ความเร็วการไหลของของไหลในทิศทางนั้นนั่นเอง ถ้ากำหนด $\phi = -Kh$ จากสมการ (20) จะได้สมการของความเร็วในทิศทางหรือแกนต่างๆ ดังนี้

$$V_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, V_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}, V_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} \qquad (21)$$

หรือ $$V_x = K\frac{\partial h}{\partial x}, v_y = K\frac{\partial h}{\partial y}, v_z = K\frac{\partial h}{\partial z}$$

จากข้อกำหนดดังกล่าวพอสรุปได้ว่าหลักของ velocity potential นั้น สามารถนำไปใช้กับการไหลของน้ำใต้ดินได้

5.1 Steady Flow

การไหลของน้ำใต้ดินทุกกรณีจะเป็นไปตามสมการต่อเนื่อง (continuity equation) ซึ่งมีรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho\ v_x\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho\ v_y\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho\ v_z\right) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \qquad (22)$$

ในเมื่อ ρ คือ fluid density และ t คือ เวลา สำหรับการไหลแบบ steady flow นั้น ทุกอย่างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา และด้วยการคิดว่าของไหลเป็นแบบ incompressible คือ ของไหลไม่ได้อยู่ในสภาพแรงกดใดๆ ซึ่งค่า ρ จะคงที่ สมการ (22) สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial\ v_x}{\partial\ x} + \frac{\partial\ v_y}{\partial\ y} + \frac{\partial\ v_z}{\partial\ z} = 0 \qquad (23)$$

และจากการแทนค่าสมการ (21) ลงในสมการ (23) จะได้รูปสมการซึ่งเรียกว่า Laplace Equation ดังนี้

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \qquad (24)$$

และจากการแทนค่า $\phi = -Kh$ ก็จะได้

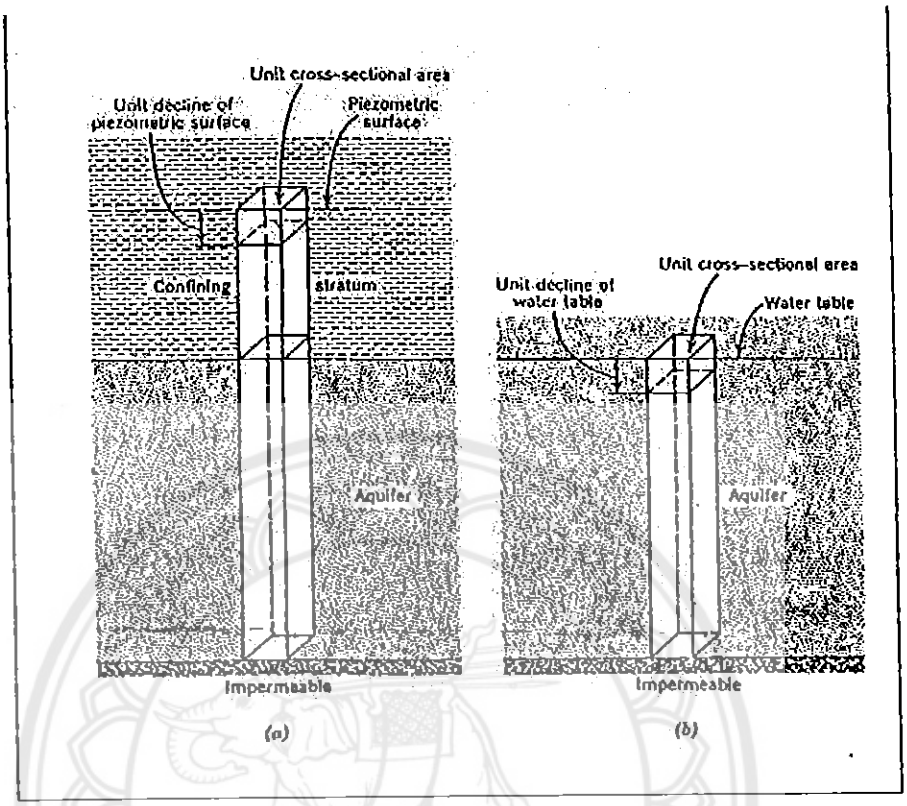
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (25)$$

สมการ (25) เป็นสมการ partial differential สำหรับการไหลแบบ steady flow ของน้ำ ซึ่งดินหรือตัวกลางที่น้ำไหลผ่านเป็นแบบ homogeneous และ isotropic

5.2 Unsteady Flow

ก่อนที่จะกล่าวถึงสมการการไหลของน้ำใต้ดินแบบ unsteady flow นั้น จำเป็นจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของ storage coefficient ของ aquifer เสียก่อน ซึ่งความหมายของ storage coefficient จะได้อธิบายดังต่อไปนี้

เมื่อเราเติม (recharge) น้ำเข้าไป หรือสูบ (discharge) น้ำออกจาก aquifer นั้น storage volume ภายใน aquifer จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สำหรับ aquifer ชนิดที่เป็น unconfined การเปลี่ยนแปลงของ storage volume ก็คือ ผลคูณระหว่างปริมาตรของ aquifer ที่อยู่ภายใต้ระดับ water table ที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายที่เราพิจารณากับค่าเฉลี่ยของ specific yield ของ aquifer แต่ในกรณี confined aquifer ซึ่งส่วนมากจะยังคงสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่นั้น การเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้นจะเป็นผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลง storage volume น้ำหนักที่กดทับ aquifer ที่อยู่ลึกๆ นั้น บางส่วนจะรองรับด้วยแรง hydrostatic pressure และส่วนที่เหลือจะรองรับด้วยโครงสร้างส่วนแข็งของ aquifer เมื่อแรง hydrostatic pressure ลดลงเป็นต้นว่าเกิดจากการปั๊มน้ำออกจากบ่อจะทำให้ aquifer ต้องรับภาระรองรับน้ำหนักด้วยตัวเองมากยิ่งขึ้น และแรงกดที่ aquifer รับเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นผลให้เกิดแรงไปบังคับให้น้ำไหลออกจาก aquifer ตามไปด้วย ยิ่งกว่านั้นการลดความดัน (pressure) ลงจะเป็นสาเหตุให้เกิดการขยายตัวและปล่อยน้ำออกมา ดังนั้น water-yielding capacity ของ confined aquifer จะแสดงอยู่ในรูปของ storage coefficient



รูปที่ 6 รูปแสดงคำจำกัดความของ storage coefficient
ในกรณี (a) confined และ (b) unconfined aquifers

คำจำกัดความของ storage coefficient ก็คือ ปริมาตรของน้ำซึ่ง aquifer ปล่อยออกมาหรือเก็บเข้าไว้ใน storage ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว (surface area) ของ aquifer และต่อการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของ head ที่ตั้งฉากกับพื้นที่ผิวดังกล่าว หากพิจารณาแท่งสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งฟุตคูณหนึ่งฟุตและมีความสูงทะลุหรือโผล่ผ่าน confined aquifer ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 6 (a) จะเห็นว่า storage coefficient ก็คือ ปริมาตรของน้ำ (มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต) ที่ปล่อยออกมาจาก aquifer เมื่อระดับ piezometric level ลดต่ำลงมาหนึ่งฟุต ใน confined aquifer ทั่วๆ ไปค่าของ storage coefficient จะอยู่ระหว่าง 0.00005 – 0.005 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงความดันมากและในพื้นที่บริเวณกว้างจึงจะได้น้ำใต้ดินที่มีจำนวนมากพอที่จะสูบไปใช้ได้

ในกรณี unconfined aquifer นั้น ค่าของ storage coefficient จะประมาณเท่ากับค่าของ specific yield ดังคำจำกัดความแสดงไว้ในรูปที่ 6 (b) ดังนั้นพอสรุปได้ว่าค่าของ storage coefficient ในกรณี unconfined aquifer ก็คือ specific yield แต่สำหรับกรณี confined

aquifer จะเป็นค่าที่วัดลักษณะความกด (compressibility) ของ aquifer ซึ่งค่าของ aquifer compressibility แสดงในรูปสมการดังนี้

$$\beta = -\frac{\partial v / v}{\partial p} \tag{26}$$

ใน V คือปริมาตร และ p คือความดัน ซึ่งจะประมาณค่าในเทอมของการเปลี่ยนแปลงภายในแท่งสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย และมีความสูงทะลุผ่าน confined aquifer ขึ้นมาข้างบนในกรณีที่จะประยุกต์สมการ (26) ไปใช้งานจะสมมุติว่าแรงกดกระทำให้แนวดิ่งและแผ่เป็นบริเวณกว้างจนกระทั่งว่าการเปลี่ยนแปลงในทิศทางแนวราบนั้นมีค่าน้อย และไม่นำมาพิจารณา

เมื่อระดับ piezometric surface ลดลงด้วยระยะทางในแนวดิ่งหนึ่งหน่วย จำนวนน้ำที่ aquifer ปล่อยออกมาจากแท่งสี่เหลี่ยมที่พิจารณาจะเท่ากับ storage coefficient S ดังนั้น $S = \partial V$ ปริมาตรแท่งสี่เหลี่ยมของ aquifer จะมีค่าเท่ากับผลคูณของความหนาของ aquifer (b) และพื้นที่หน้าตัด (1 หน่วย) หรือ V = b นั่นเอง การเปลี่ยนแปลงความดัน (∂p) มีค่าเท่ากับ $-\gamma(1) = -\gamma$ แทนค่าเทอมต่างๆ ในสมการ (26) จะได้

$$\beta = \frac{S}{\gamma b} \tag{27}$$

ต่อไปพิจารณา aquifer เป็นแบบ elastic material จะได้

$$\frac{\partial v}{v} = \frac{\partial \rho}{\rho} \tag{28}$$

ซึ่งมารวมกับสมการ (26) จะได้

$$\partial \rho = \rho \beta \partial p \tag{29}$$

และจากการแทนค่า β จะได้

$$\partial \rho = \frac{\rho S}{b\gamma} \partial p \tag{30}$$

ต่อไปแทนค่า $\partial\rho$ ในเทอมทางด้านขวามือของสมการ (22) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z)=\frac{\rho S}{b\gamma}\cdot\frac{\partial p}{\partial t} \qquad (31)$$

สมการ (31) เมื่อแทนค่า v_x, v_y และ v_z และด้วยการสมมุติว่า ρ มีค่าคงที่จะได้

$$K\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right)=\frac{X}{b\gamma}\frac{\partial p}{\partial t} \qquad (32)$$

เมื่อทำการจัดรูปฟอร์มเสียใหม่และด้วยการแทนค่า $p=\gamma h$ จะได้

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=\frac{S}{Kb}\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (33)$$

สมการ (33) นี้จะเป็นสมการ partial differential equation แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ unsteady flow ในกรณี compressible confined aquifer ซึ่งมีความหนาคงที่ b

6.น้ำใต้ดินและชลศาสตร์บ่อบาดาล

(GROUND WATER AND WELL HYDRAULICS)

เมื่อทราบกฎดาร์วีและสมการทั่วไปเกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดินแล้วก็จะได้อธิบายถึงการนำเอาสมการดังกล่าวไปใช้ในกรณีเฉพาะต่างๆ ของน้ำใต้ดิน การที่จะหา solutions เกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดินในกรณีต่างๆ ได้จำเป็นจะต้องตั้งข้อสมมุติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านชนิดของการไหล และ boundary conditions ต่างๆ เสียก่อน ถึงแม้ว่า solutions ที่ได้จะเป็นเพียงผลประมาณในการประยุกต์ไปใช้กับการไหลของน้ำใต้ดินที่แท้จริงในสนามก็ตาม ผลที่ได้ดังกล่าวจะมีค่าและมีความหมาย ทำให้เข้าใจการไหลของน้ำใต้ดินดียิ่งขึ้น และสิ่งสำคัญก็คือ การพัฒนาน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ด้วยการสูบน้ำจากบ่อบาดาลนั้นจำเป็นจะต้องเข้าใจถึงปัญหาและการแก้ปัญหาของการไหลของน้ำใต้ดินสู่บ่อบาดาล ทำให้มีโอกาสทราบว่า การที่จะพัฒนาเอาน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้คุ้มค่าหรือไม่ การสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากเกินไป จะเป็นผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมหรือ aquifer อย่างไรบ้าง เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการประยุกต์สมการทั่วไป ไปใช้กับการไหลของน้ำใต้ดินในลักษณะต่างๆ ตั้งแต่กรณีที่ง่ายสุดไปจนถึงกรณีที่ยุ่งยากมากขึ้นตามลำดับ

6.1 การไหลคงที่ทิศทางเดียว (Steady Unidirectional Flow)

ในกรณีแรกนี้ ลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินสมมุติให้มีลักษณะคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา (steady flow) และมีทิศทางเดียว การประยุกต์สมการทั่วไปของการไหลน้ำใต้ดินจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ confined และ unconfined aquifers ตามลำดับ

1. Confined Aquifer พิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินที่มีความเร็วเท่ากับ v ในทิศทางแกน x ของ confined aquifer ซึ่งมีความหนาสม่ำเสมอหรือคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 7 สำหรับกรณีนี้ สามารถประยุกต์สมการ (25) มาใช้ได้ดังนี้

$$\frac{\partial h^2}{\partial x2}=0 \qquad (34)$$

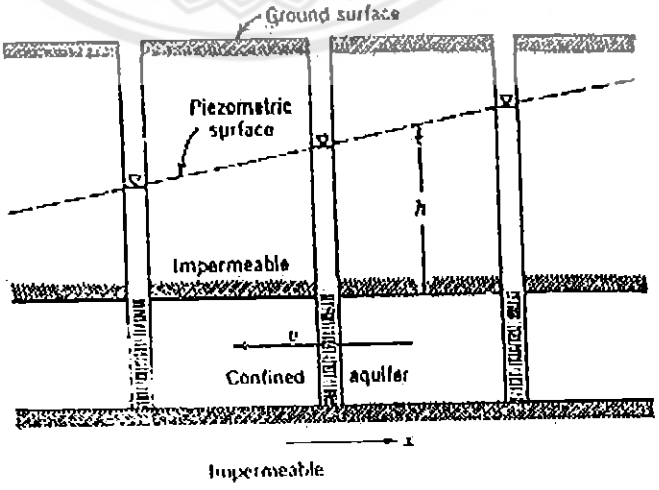
Solution ของสมการ (6 – 34) ก็คือ

$$h=C_1\ x+C_2 \qquad (35)$$

ในเมื่อ h คือ head ที่พิจารณาอยู่เหนือ datum ที่สมมุติขึ้น C_1 และ C_2 คือค่าคงที่จากการอินทีเกรชั่น สมมุติว่า $h = 0$ เมื่อ $x = 0$ และจากสมการดาร์ซี $\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{v}{K}$ จะได้ค่า $C_1=\frac{v}{K}$ และค่า $C_2=0$ หรือจากสมการ (35) จะได้

$$h=\frac{vx}{K} \qquad (36)$$

สมการนี้แสดงว่า head จะมีขนาดลดลงแบบ linear กับการไหลซึ่งทิศทางตรงข้ามกับ x (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady unidirectional flow ใน confined aquifer ที่มีความหนาสม่ำเสมอ

2. Unconfined Aquifer สำหรับการไหลในทำนองเดียวกันแต่เป็นกรณี unconfined aquifer การแก้สมการ laplace Equation เพื่อให้ได้ solution โดยตรงนั้นไม่สามารถที่จะทำได้ ปัญหาที่ยุ่งยากก็คือ ระดับ water table จะแสดงลักษณะการไหลเป็นสองทิศทาง กล่าวถึง รูปร่างของระดับ water table จะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายของการไหล และในขณะเดียวกัน การแพร่กระจายหรือทิศทางการไหลจะเป็นตัวแสดงรูปร่างลักษณะของระดับ water table เพื่อจะหา solution ของการไหลโดยวิธีนี้ จำเป็นต้องตั้งข้อสมมุติฐานขึ้น ซึ่งเรียกว่าข้อสมมุติฐานของ Dupuit ดังนี้ (1) ความเร็วของการไหลของน้ำจะสมมุติให้เป็นสัดส่วนกับ tangent ของเส้น hydraulic gradient แทนที่จะเป็นสัดส่วนกับ sine ดังแสดงในสมการ (18) และ (2) การไหลจะสมมุติให้มีทิศทางอยู่ในแนวราบ และ uniform ทุกจุดในแนว vertical section ใดๆ ข้อสมมุติฐานดังกล่าวนี้จะมีขีดจำกัดในการประยุกต์เอาผลของ solution ไปใช้กับสภาพที่เป็นจริง สำหรับกรณีการไหลที่มีทิศทางเดียวดังแสดงในรูปที่ 8 จะมีปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างที่ vertical section ใดๆ ดังสมการ

$$q = K\ h\frac{dh}{dx} \tag{37}$$

ในที่นี้ K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน h คือ ความสูงของระดับ water table เหนือ impervious base และ x เป็นทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของการไหล จากการอินทีเกรทจะได้

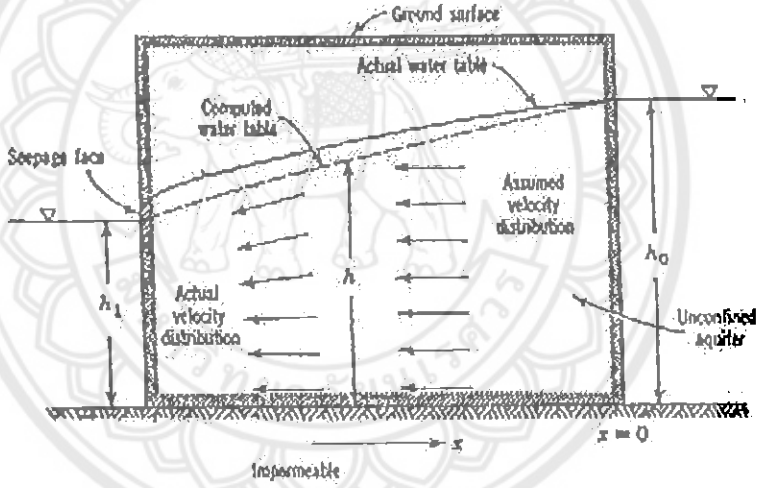
$$qx = \frac{K}{2} \cdot h^2 + C \tag{38}$$

และเมื่อ $h = h_o$ ที่จุด $x = o$ จะได้สมการสำหรับการไหล ซึ่งเรียกว่า สมการ Dupuit จะได้

$$q = \frac{K}{2x} h_2 - h_o^2 \tag{39}$$

ดังแสดงในรูป 8 การไหลจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของ x นอกจากนั้นสมการ (39) ยังแสดงว่าระดับ water table จะเป็นรูปพาราโบล่า

ในแนวทิศทางของการไหล ระดับ water table ที่เป็นรูปพาราโบล่านี้จะเพิ่มความลาดชันขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อระดับ water table มีความลาดชันมาก ข้อสมมุติฐานสองข้อของ Dupuit จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมากด้วย ดังนั้นระดับ water table ที่แท้จริงจะผิดแผกจากระดับที่คำนวณได้จากสมการ (39) มากยิ่งขึ้นตามทิศทางการไหล หลักความจริงที่ว่าระดับ water table ที่แท้จริงอยู่เหนือระดับ water table ที่คำนวณได้จากสมการก็คือ ในสมการ Dupuit การไหลสมมุติให้มีทิศทางเฉพาะในแนวราบเท่านั้น ส่วนในกรณีการไหลที่แท้จริงความเร็วขนาดเดียวกันจะมีทิศทางในแนวดิ่งด้วย ดังนั้นในสภาพที่แท้จริงจำเป็นต้องมีความหนาของ aquifer มากกว่าเพื่อที่จะให้ได้ขนาดของปริมาณการไหลเท่ากัน

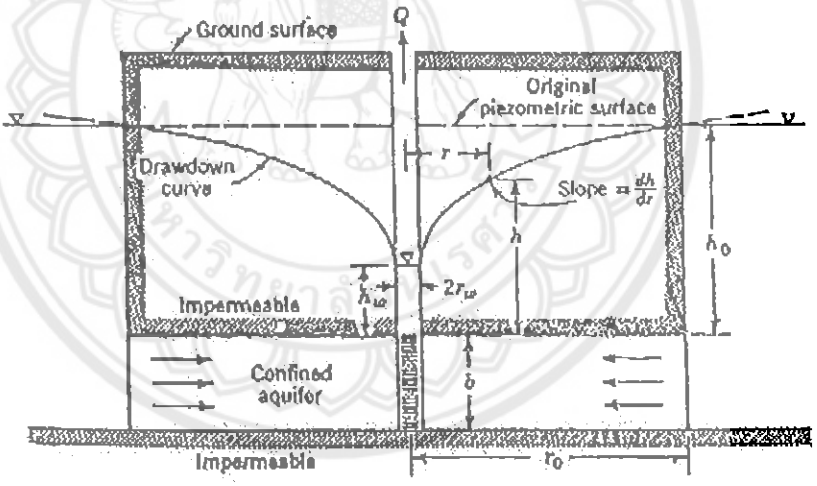


รูปที่ 8 แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady flow ใน unconfined aquifer ที่อยู่ระหว่างแหล่งน้ำ 2 แหล่ง

จากข้อแตกต่างดังได้อธิบายแล้วนั้น จะเห็นว่าระดับ water table จะไม่เป็นไปตามรูปพาราโบล่าดังสมการ (39) เสียทีเดียว ถึงอย่างไรก็ตามสมการนี้จะให้ระดับ water table ใกล้เคียงกับความจริงมากในกรณีที่ความลาดชันน้อย ซึ่งค่าของ sine และ tangent จะใกล้เคียงกันมาก นอกจากนั้นสมการ (39) จะให้ค่าคำนวณของปริมาณการไหล q และค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน K แม่นยำเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน

6.2 การไหลคงที่สู่บ่อบาดาล (Steady Redial Flow to A Well)

เมื่อทำการสูบน้ำจากบ่อบาดาล น้ำที่อยู่ใน aquifer รอบๆ บ่อบาดาลจะเคลื่อนตัวเข้ามาสู่บ่อ ทำให้ระดับ water table (กรณี unconfined aquifer) และระดับ piezometric surface (กรณี confined aquifer) ลดต่ำลงมาหรือเรียกว่า drawdown ดังนั้น คำว่า drawdown ที่จุดใดๆ ก็คือระยะทางที่ระดับ water table ลดต่ำลงมา และ drawdown curve ก็คือ โค้งแสดงความเปลี่ยนแปลงของ drawdown จากระยะทางจากบ่อนั่นเอง (ดูรูปที่ 9 ประกอบ) ในกรณีที่การไหลเป็นแบบสมทิศทาง drawdown curve จะมีลักษณะคล้ายกับกรวยซึ่งเรียกว่า cone of depression และตรงขอบนอกของ cone of depression จะแสดงขอบเขตพื้นที่อิทธิพลของการสูบน้ำจากบ่อมีไปถึง ต่อไปจะกล่าวถึงการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อ ทั้งกรณี confined และ unconfined aquifer ตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady radial flow สู่บ่อสูบน้ำที่เจาะลงไปใน confined aquifer ซึ่งมีลักษณะเป็นเกาะ

1. Confined Aquifer การไหลแบบคงที่สู่บ่อบาดาล สำหรับบ่อที่เจาะทะลุชั้น impermeable ด้านล่างของ confined aquifer นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 9 ในกรณีนี้การไหลของน้ำสมมุติให้มีเพียงสองทิศทางเข้าสู่บ่อซึ่งเป็นศูนย์กลาง และสมมุติว่า aquifer เป็นแบบ homogeneous และ isotropic เนื่องจากการไหลจะมีทิศทางในแนวราบจึงสามารถประยุกต์ข้อสมมุติฐานการไหลของ Dupuit มาใช้ได้โดยไม่มีการผิดพลาดแต่อย่างใด และเพื่อให้ง่ายเข้าจะ

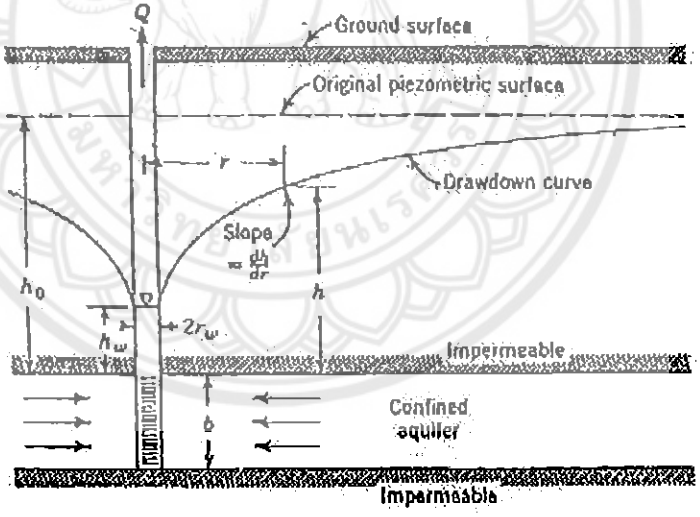
พิจารณา plane polar coordinates แทนแกน x – y และกำหนดให้ตำแหน่งของบ่อเป็นจุด origin ปริมาณน้ำที่ไหลมาสู่บ่อที่ระยะทาง r จากบ่อ คือ

$$Q = A\ v = 2\ \pi\ r\ b\ K\frac{dh}{dr} \tag{40}$$

โดยการจัดรูปสมการเสียใหม่และทำการอินทีเกรท และด้วยการใช้ boundary conditions ที่บ่อ คือ $h = h_w$ ที่ $r = r_w$ และที่ขอบของ island คือ $h = h_o$ ที่ $r = r_o$ (ดูรูปที่ 9) จะได้สมการ drawdown ที่บ่อและสมการปริมาณการไหลของน้ำเข้าสู่บ่อดังนี้

$$h_o - h_w = \frac{Q}{2\pi Kb}\ln\left(\frac{r_o}{r_w}\right) \tag{41}$$

$$Q = \frac{2\pi Kb\left(h_o - h_w\right)}{\ln\left(r_o / r_w\right)} \tag{42}$$



รูปที่ 10 แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady radial flow สู่บ่อสูบน้ำที่เจาะลงไปใน extensive confined aquifer

ในรูปของสมการที่จะใช้ทั่วไปนั้น สมมุติว่าบ่อเจาะทะลุ confined aquifer ที่มีบริเวณกว้าง (extensive) ดังแสดงในรูปที่ 10 ในกรณีนี้รัศมี r จะไม่มีขีดจำกัด ดังนั้นจากสมการ (42) จะได้รูปทั่วๆ ไป ดังนี้

$$Q = 2\pi Kb \frac{h - h_w}{\ln(r/r_w)} \tag{43}$$

ซึ่งแสดงว่า h จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ r เพิ่มขึ้น และค่าสูงสุดของ h ก็คือ head h_o ก่อนเริ่มการสูบหรือเป็น uniform head ก่อนเริ่มการสูบน้ำจากบ่อนั่นเอง

ในเมื่อพิจารณาทางด้านทฤษฎีแล้ว การไหลของน้ำใต้ดินแบบคงที่สู่บ่อบาดาลใน extensive aquifer นั้นเกิดขึ้นได้ยาก เพราะค่า h จะเพิ่มขึ้น เมื่อ r เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถึงอย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัตินั้น h จะมีค่าเข้าไปใกล้ h_o ที่ระยะทางหนึ่งจากบ่อ และด้วยการสมมุติระยะทางดังกล่าวพอประมาณ กำหนดให้ radius of influence $r = r_o$ เมื่อ $h = h_o$ เพื่อจะคำนวณหาค่า Q จากสมการ (42) และโดยการแทนค่า Q จากสมการ (42) ในสมการ (43) จะได้

$$h - h_w = (h_O - h_w)\frac{\ln(r/r_w)}{\ln(r_O/r_w)} \tag{44}$$

สมการ (44) จะแสดงว่า head จะเปลี่ยนแปลงแบบ linear กับ logarithm ของระยะทางหรือรัศมี r โดยไม่ต้องคำนึงถึงค่าปริมาณการไหล Q แต่อย่างใด

สมการ (43) เรียกว่าสมการ Equilibrium หรือ Thiem เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของ aquifer จากการสูบน้ำจากบ่อ วิธีการก็คือทำการสูบน้ำจากบ่อด้วยอัตราที่คงที่เป็นระยะเวลานานพอสมควร จนคิดว่าการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อเป็นแบบ steady แล้ว จากนั้นก็วัดระดับน้ำใต้ดินจากบ่ออีกสองบ่อที่มีระยะห่างจากบ่อที่สูบน้ำเป็นระยะทางแตกต่างกัน จากระดับใต้ดินที่วัดได้จะทำให้ทราบค่า h_1 และ h_2 ที่ระยะทาง r_1 และจากบ่อ เมื่อนำค่าที่วัดได้นี้ไปแทนในสมการ (43) ก็จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ดังนี้

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2 - h_1)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \tag{45}$$

การใช้สมการ (45) หาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านดังกล่าวแล้วนั้น จำเป็นต้องเข้าใจและใช้ให้ถูกต้อง เพราะสมการนี้มีข้อสมมุติฐานหลายประการด้วยกัน ถ้าสภาพที่แท้จริงในสนามแตกต่างจากข้อสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านที่หาได้จะมีข้อผิดพลาดมากในขั้นแรกนั้นการสูบน้ำออกจากบ่อจะต้องมีอัตราคงที่ และต้องสูบด้วยระยะนานพอสมควร เพื่อให้ได้ steady-state condition นั้นคือ drawdown จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนักกับเวลา บ่อที่จะใช้วัด drawdown หรือระดับน้ำใต้ดินซึ่งเรียกว่า observation wells นั้นจะต้องอยู่ใกล้กับบ่อที่สูบน้ำพอสมควรเพื่อการวัด drawdown จะได้สังเกตได้ง่าย นอกจากนั้นยังมีข้อสมมุติฐานอื่นที่จะต้องพิจารณาด้วยกันคือ การสมมุติว่า aquifer เป็นแบบ homogeneous และ isotropic บ่อที่เจาะลงไปจะต้องทะลุผ่านชั้น confined aquifer หรือเรียกว่า complete penetration และการไหลต้องเป็นไปตามกฎของดาร์ซี ถึงแม้ว่าจะมีข้อสมมุติฐานหลายอย่างก็ตาม สมการ (45) ก็ยังเป็นที่นิยมในการใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน K

2. Unconfined Aquifer การหา solution ของสมการการไหลแบบ steady radial flow เข้าสู่บ่อสำหรับกรณี unconfined aquifer ก็ใช้หลักข้อสมมุติฐานของ Dupuit ดังแสดงในรูปที่ 11 บ่อจะต้องเจาะทะลุชั้น unconfined aquifer จนถึงชั้น impermeable layer และก่อนเริ่มสูบน้ำ จะต้องมี head รอบๆ บ่อคงที่เท่ากับ h_o ที่ระยะทาง r จากบ่อจะได้สมการคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินดังนี้

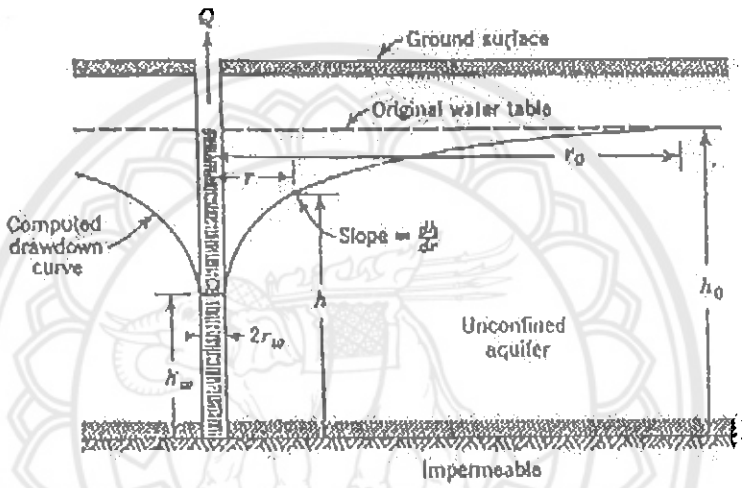
$$Q = 2\ \pi\ r\ Kh\frac{dh}{dr} \tag{46}$$

ซึ่งเมื่อทำการอินทีเกรทระหว่าง limits $h = h_w$ ที่ระยะ $r = r_w$ และ $h = h_o$ ที่ระยะ $r = r_o$ จะได้สมการคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินดังนี้

$$Q = \pi K \frac{\left(h_o^2 - h_w^2\right)}{\ln\left(r_o / r_w\right)} \tag{47}$$

เนื่องจากบริเวณใกล้ๆ กับบ่อสูบน้ำ ความเร็วในทิศทางแนวดิ่งจะมีมากทำให้ข้อสมมุติฐานของ Dupuit คลาดเคลื่อนไป ดังนั้น curve ของ drawdown ที่คำนวณได้บริเวณใกล้ๆ กับบ่อจะไม่ถูกต้องนัก ถึงอย่างไรก็ตาม การคำนวณหาค่าปริมาณการไหล Q จะถูกต้องพอเพียงกับการนำไปใช้งาน ในทางปฏิบัติการเลือกค่า radius of influence r_o นั้นกระทำได้โดยประมาณ แต่ค่าของ

Q จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ถึงแม้ว่าค่า r_o ที่เลือกใช้จะเปลี่ยนแปลงมากก็ตาม ค่าของ r_o ที่แนะนำจะอยู่ในช่วง 500 ถึง 1000 ฟุต ระยะทางจากบ่อดังกล่าวนี้ไม่ได้แสดง limits ซึ่ง drawdown สามารถจะสังเกตเห็นได้ แต่จะเป็นค่าที่จะใช้โดยประมาณในการประยุกต์สมการ (47) นอกจากนั้น ระยะทางใดๆ หรือ r_1 และ r_2 กับ head h_1 และ h_2 สามารถนำไปใช้กับสมการ (47) ได้คล้ายกับในกรณีสมการ (45)



รูปที่ 11 แสดงการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady radial flow สู่บ่อสูบน้ำที่เจาะลงไปใน unconfined aquifer

6.3 Steady Flow with Uniform Recharge

รูปที่ 12 แสดงบ่อสูบน้ำที่เจาะลงไปในชั้น unconfined aquifer ซึ่งมี recharge จากน้ำบนดินด้วยอัตราคงที่ W น้ำที่ recharge ให้กับน้ำใต้ดินนี้อาจเกิดจากฝนที่ตก การให้น้ำชลประทานที่มากเกินไป หรือจากแหล่งน้ำอื่นๆ เป็นต้น ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินไปยังบ่อจะมีอัตราเพิ่มขึ้นที่ระยะทางเข้าใกล้บ่อ และจะมีค่าสูงสุดที่บ่อ อัตราการเพิ่มของปริมาณการไหล dQ ผ่านรูปทรงกระบอกที่มีความหนา dr และรัศมี r จะเกิดจากน้ำที่ recharge ลงบนรูปทรงกระบอกดังสมการ

$$dQ = -2\ \pi\ r\ dr\ W \tag{48}$$

และจากการอินทีเกรทจะได้

$$Q = -\pi\ r^2\ W + C \tag{49}$$

แต่ที่บ่อ r จะเข้าใกล้กับ 0 และ Q จะเท่ากับ Q_w ดังนั้น $c = Q_w$

$$Q = -\pi r^2 W + Q_w \tag{50}$$

7.การไหลซึมจากแหล่งน้ำ

วิธีวิเคราะห์ที่เสนอโดย Muskat และ Polubarinova – Kochina ยึดหลักวิธี including inverse อย่างเคร่งครัด ผลลัพธ์ได้ออกมาทั้งหมดของการแก้ปัญหายึดหลัก Steady – state flow การแก้ปัญหาของ Bouwer ยึดหลัก resistance – network analog (R analog) และผลลัพธ์บางส่วนก็อยู่ใน dimensionless chart

ในกรณีนี้ วิธีการประมาณเป็นทางแก้ปัญหาที่สามารถใช้เป็นเกณฑ์สมมติฐานของ Dupuit ถ้ารู้ระดับของ natural groundwater table ในกรณีอื่นๆ Dupuit – Forchheimer เป็นสมมติฐานที่ถูกนำมาใช้ โดยทั่วๆ ไป วิธี flow – net สามารถใช้การประมาณสภาพขอบเขตที่ให้ความหมายที่แน่นอนดี

วิธีที่เสนอโดย Polubarinova – Kochina เป็นการใช้วิธี semi – inverse ก่อนการกำหนดแนวทางแก้ปัญหาต้องรู้รูปร่างของลำน้ำ ต่อมาก็กำหนดแนวทางแก้ปัญหารูปร่างของลำน้ำเป็นอัตราส่วน $B_w / C_c = 4.5$ ที่แสดงในรูป 12 เมื่อ B_w เป็นความกว้างของผิวบนลำน้ำ และ d_c เป็นความลึกมากที่สุดของน้ำที่จุดศูนย์กลางของลำน้ำ ซึ่งรายละเอียดแกน X และ Y แสดงอยู่ในรูป 12

$$\pm X = \sqrt{d_c^2 - y^2} + \frac{B_w + 2dc}{\pi} \cos^{-1} \frac{y}{d_c} \tag{51}$$

ชั้นน้ำใต้ดินถูกสมมติให้ลาดลงจนถึงชั้นหินทึบน้ำที่ Infinity

อัตราการไหลของ q จากเส้นขอบของลำน้ำ ถูกกำหนดโดย (มีหน่วย per unit length of the stream)

$$q = k(B_w + 2\, d_c) \tag{52}$$

asymptotes ของผิงอิสระ (free surface) ทั้งสองที่เป็นระยะห่างระหว่างด้านทั้ง 2 ของลำน้ำ ($B_w + 2d_c$) (อ้างอิงที่ Infinity) โดยที่อัตราการไหล q = พื้นที่ x ความเร็ว darcian (V_y....) ที่พื้นผิวทึบน้ำ (ที่ Infinity) ฉะนั้นจากสมการ (52)

$$q = k(B_w + 2\,d_c) \qquad = (B + 2d_c)\, V_{y=x} \tag{53}$$

$$V_{y=\infty} = K$$

สิ่งที่ค้นพบในการแก้ปัญหาความลึกนั้นคือ y = 1.5 (B_w + 2 d_c) เป็นระยะห่างระหว่างสองผิวอิสระ (free surface) ที่ใกล้กันมากๆ จนถึงระยะห่างระหว่าง asymptotes ฉะนั้นการแก้ปัญหาสามารถให้การไหลจากลำน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินมากๆ ที่ชั้นทึบน้ำที่มีความลึกจำกัด โดยที่ y = 1.5 ($B_w + 2d_c$) หรือมากกว่า

ตามที่ Polubarinova – Kochina ได้เสนอวิธีการแก้ไข มีคนแรกที่ใช้วิธีนี้เป็นแนวทางการแก้ปัญหาคือ Kozeny แต่ต่อมาได้ใช้วิธีอื่นในการพิสูจน์ จากรูปสิ่งที่นำมาใช้ประโยชน์ รูปร่างของลำน้ำสามารถประมาณถึงรูปร่างของลำน้ำที่มีอยู่จริง ภายใต้การตรวจสอบโดยการทำเครื่องหมายแสดงมากมายบนพื้นที่หน้าตัดให้สอดคล้องกับสมการ 51 เมื่อ B_w และ d_c มีค่ามากมาย

เมื่อขอบเขตล่างเป็นชั้นหินไม่ทึบน้ำ (ที่ Infinity) แสดงในรูป 13 ตามสมการจะได้

$$\pm X = \sqrt{d^2 - y^2} + \frac{Bw - 2d_c}{\pi} \cos^{-1} \frac{y}{d_c} \text{ (Stream equation)} \tag{54}$$

$$q = K\,(B_w + 2\,d_c) \tag{55}$$

สมการสำหรับผิวอิสระ (free surface) (free surface ด้านขวามือ) เป็น

$$X = d_c \exp\left(\frac{\pi K y}{q}\right) + \frac{q}{2K} \tag{54}$$

ด้านซ้ายมือของ free surface (รูป13) เท่ากับด้านขวามือ ในกรณีนี้ ความเร็ว darcian ที่ขอบเขตชั้นทึบน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์

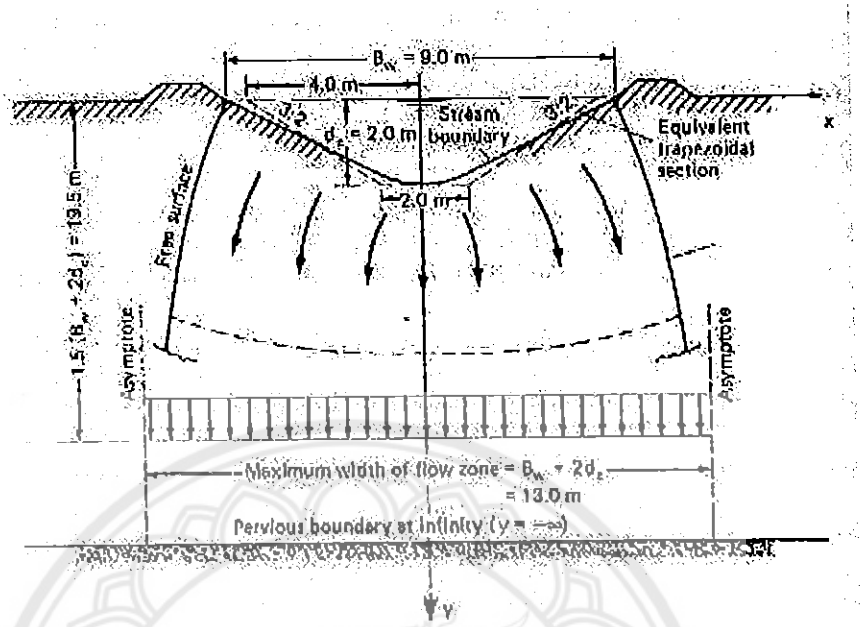
กลองที่เลือกพิจารณามีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแต่ยังในทฤษฎีของขอบเขตชั้นทึบน้ำที่ $y = -\infty$ ความเร็ว darcian ที่ขอบเขตนี้ค่า K เท่ากัน อัตราการไหล q หาได้โดย

$$q = k(B_w + A_q d_c) \tag{55}$$

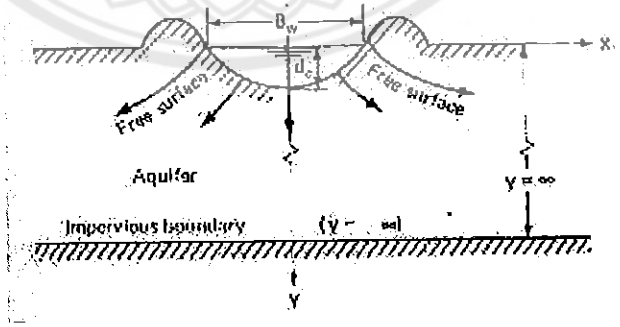
B_w และ d_c บอกให้รู้ในรูป 12 และ A_q เป็นสัมประสิทธิ์ numerical ซึ่งอยู่ในช่วง 2.25 และ 3.25 สำหรับพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูใช้ตาราง 4 ซึ่งให้ค่า x และ y ที่ใช้ในสมการก่อนหน้าในการเขียนขอบเขตลำน้ำที่แสดงในรูป12 ($B_w/d_c = 4.5$) ชั้นน้ำใต้ดินถูกสมมติลาดลงจนถึง infinity เมื่อชั้นหินทึบน้ำมีอยู่จริง

ตารางที่ 4 Plotting the Stream Boundary in Accordance with Eq.(51)

y	$-\sqrt{d_c^2 - y^2}$	$\frac{B_w + 2dc}{\pi}\cos^{-1}\frac{y}{d_c}$	x
2.00	0.000	0.000	0.000
1.75	-0.968	2.091	1.123
1.50	-1.323	2.991	1.668
1.25	-1.561	3.706	2.145
1.00	-1.732	4.333	2.601
0.75	-1.854	4.909	3.055
0.50	-1.936	5.454	3.518
0.25	-1.984	5.981	3.997
0.00	-2.000	6.500	4.500



รูปที่ 12 Seepage from a stream with a curved perimeter ; pervious lower boundary at infinity.



รูปที่ 13 Seepage from a stream with a curved perimeter ; impervious lower boundary at infinity.

8. ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use หรือ Evapotranspiration) การระเหยและการคายน้ำเรียกรวมกันว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือที่เรียกว่า Evapotranspiration หรือ Consumptive Use ซึ่งหมายถึงปริมาณการสูญเสียสองวิธีรวมกันคือ การระเหยจากผิวน้ำธรรมชาติหรือผิวดินชื้นในแปลงเพาะปลูก และการคายน้ำซึ่งหมายถึงการระเหยของน้ำจากพืชใช้ได้โดยผ่านปากใบ

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use หรือ Evapotranspiration) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณการใช้น้ำของข้าว เป็นข้อมูลที่สำคัญยิ่งสำหรับการนำไปใช้ในการกำหนดค่าชลภาระ ในการออกแบบอาคารชลประทานการวางโครงการ การจัดสรรน้ำ การจัดระบบการเพาะปลูกพืช ตลอดจนนำไปใช้ในการศึกษาว่าโครงการชลประทานนั้น ๆ จะคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ อันจะทำให้การดำเนินการเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรน้ำของประเทศไทยทางด้านการชลประทานเพื่อการเกษตรมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำ (Consumptive Use หรือ Evapotranspiration) คือ

การคายน้ำ	การระเหย
ก. ระยะการเจริญเติบโตของพืช	ก. อุณหภูมิ
ข. แสงแดด	ข. ความชื้นสัมพัทธ์
ค. อุณหภูมิ	ค. ความเร็วลม
ง. ความชื้นสัมพัทธ์	ง. แสงแดด
จ. ฤดูกาล	จ. โครงสร้างของดิน
ฉ. ชนิดของพืช	ฉ. ปริมาณน้ำที่ส่งให้
ฯลฯ	ฯลฯ

จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ชนิดของพืช ช่วงเวลาการเจริญเติบโต วิธีการให้น้ำ สภาพความชุ่มชื้นในดิน ฤดูกาลเพาะปลูก ฯลฯ

โดยปกติปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยการคายน้ำจากพืชใช้โดยผ่านปากใบ จะมีปริมาณน้อยหลังจากเริ่มปักดำแต่จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในระยะข้าวแตกกอ ซึ่งจะเพิ่มสูงสุดในช่วงระยะข้าวออกรวงและระยะออกดอก ต่อจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในระหว่างเมล็ดข้าวแก่ ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยไปจากผิวน้ำหรือผิวดินชื้นนั้นจะมีปริมาณมากที่สุดในระยะปักดำและจะ

เริ่มลดลงเมื่อข้าวเริ่มแตกกอ เนื่องจากใบข้าวปกคลุมผิวน้ำมากขึ้น ทำให้การระเหยมีโอกาสน้อยลง

9. การซึมลงไปในดิน (Percolation,P) ซึ่งในกรณีที่ปลูกข้าวนั้น รวมทั้งการรั่วซึมทั้งแนวราบและแนวดิ่ง จะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพของดินชนิดของดิน สภาพความลึกของชั้นดินที่ไถหรือเตรียมแปลงก่อนได้รับน้ำ ระดับน้ำใต้ดิน เช่น ดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้น จะมีการสูญเสียประมาณวันละ 1 - 2 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นสภาพดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก อาจจะมีการสูญเสียของน้ำมากถึงวันละ 7-10 มิลลิเมตร ซึ่งวิธีที่จะลดปริมาณการสูญเสียของน้ำโดยการรั่วซึมลงไปในดินให้น้อยลง อาจกระทำได้โดยการทำเทือกหลายๆ ครั้ง เพราะนอกจากจะช่วยทำให้ดินอัดแน่นขึ้นแล้วยังเป็นการช่วยกำจัดวัชพืชในแปลงนาอีกด้วย

ในกรณีที่มีน้ำต้นทุนอย่างจำกัด ข้อเสนอแนะในการปลูกพืชตามลักษณะของการสูญเสียของน้ำโดยการซึมลงไปในดินมีดังนี้คือ

สำหรับดินที่มีการสูญเสียของน้ำโดยการซึมผ่านลงไปในดินวันละ 1 - 3 มิลลิเมตร นั้น สามารถใช้ทำนาได้ทั้งในฤดูฝน (นาปี) และฤดูแล้ง (นาปรัง)

ถ้าหากมีการสูญเสียตั้งแต่ 3 -5 มิลลิเมตรต่อวันควรทำนาแต่ในเฉพาะฤดูฝน โดยมีการเตรียมแปลง ทำเทือกอย่างประณีตเพื่อช่วยลดอัตราการซึมลงไปในดินให้น้อยลง ส่วนในฤดูแล้งควรเปลี่ยนไปปลูกพืชไร่ชนิดที่ใช้น้ำน้อย

แต่ถ้าเป็นดินที่มีอัตราการซึมลงในดินมากกว่าวันละ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป ควรแนะนำให้ปลูกพืชไร่หรือพืชที่ใช้น้ำน้อยกว่าข้าวเช่นกัน

9. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use หรือ Evapotranspiration) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถกระทำได้หลายวิธี คือ

9.1 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัดโดยตรง (Crop Evapotranspiration, Etc) เป็นวิธีที่สามารถนำเอาผลการตรวจวัดไปใช้ได้เลย ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดี-ข้อเสีย ตลอดจนปัญหาเกี่ยวกับการเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้อง ค่าใช้จ่าย ชนิดของพืช และองค์ประกอบอื่นๆ วิธีที่ใช้กันทั่วๆ ไปในงานชลประทาน คือ

1) วัดจากถังการใช้น้ำของพืชหรือ Lysimeter

2) ศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน

3) ศึกษาจากแปลงทดลอง

สำหรับการวัดจากถังการใช้น้ำของพืช หรือ Lysimeter นั้น นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในการตรวจวัดหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว

9.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการคำนวณจากข้อมูลทางภูมิอากาศ (Potential Evapotranspiration, ET_p) แม้นว่าการหาปริมาณการใช้น้ำโดยการวัดโดยตรง เช่น โดยการวัดจากถังหรือ Lysimeter จะให้ผลละเอียดถูกต้องดี แต่มีปัญหาอยู่ที่ว่าไม่สามมารถนำผลการตรวจวัดไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกแห่งอื่นๆ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันออกไป ประกอบกับการตรวจวัดต้องใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายสูง

เนื่องจากปริมาณการใช้น้ำของพืชนั้น ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพของภูมิอากาศ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจึงได้มีผู้คิดสูตรหรือวิธีการ (Methed) หาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลทางภูมิอากาศขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็พยายามค้นคิดสูตรที่ให้ผลจากการคำนวณใกล้เคียกับความเป็นจริงมากที่สุด

ดังนั้น ในทางปฏิบัติในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช(Consumptive Use หรือ Evapotranspiration) ในสถานที่หรือจังหวัดใดนั้นสามารถหาได้โดยการใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำโดยการคำนวณจากภูมิอากาศ (Potential Evapotranspiration,ET_p) ของจังหวัดนั้น ๆ คูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Crop Coefficient, K_c)ของพืชที่ต้องการทราบปริมาณการใช้น้ำ ดังสมการ

$$ET_c = ET_p \times K_c$$

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_p}$$

ในเมื่อ

ET_c = ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ Evapotranspitation หรือ Consumptive Use

ET_p = ปริมาณการใช้น้ำของพืชจากการคำนวณโดยข้อมูลจากภูมิอากาศ

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient)

จากการศึกษาเปรียบเทียบหาสูตรหรือวิธีที่เป็นที่ยอมรับและใช้ในการปฏิบัติงานด้านชลประทาน 6 สูตร เพื่อเปรียบเทียบว่าสูตรใดมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศไทยมากที่สุดคือ

1 Penman Method

2 Christiansen and Hargreaves Method

3 E- Pan Method

4 Makkink Method

5 Blaney Criddle Method

6 Thornthwaite Method

แต่ในที่นี้จะแสดงให้ดูเพียง 2 สูตร คือ

1. E-Pan Method

2. Penman Method

E-Pan Method สูตร E-Pan หรือวิธีใช้สถิติการระเหยของอ่างเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำ

$$ETP = K_p \times E\text{-}Pan$$

เมื่อ Kp = ตัวสัมประสิทธิ์ของอ่าง (Pan coefficient) (ตารางที่ 5)

E-pan = ค่าที่ได้จากการวัดการระเหยของอ่าง Class A pan

ตารางที่ 5

ตารางแสดง Pan Coefficient (Kp) สำหรับอ่าง Class A ตั้งในบริเวณที่ดินลักษณะต่างๆ กัน ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน และลม 24 ชั่วโมงต่างๆ กัน.

อ่าง Class A	กรณี A อ่างล้อมรอยด้วยหญ้าเขียว				กรณี B อ่างล้อมรอบด้วยที่ว่างแห้ง			
กระแสลม กม./วัน	พืชเขียวสั้นเหนือลมมีระยะทางยาวเมตร	R H mean% ต่ำ < 40	ปานกลาง 40-70	สูง >70	ที่ว่างแห้งเหนือลมมีระยะยาวเมตร	R H mean% ต่ำ < 40	ปานกลาง 40-70	สูง >70
อ่อน	0	.55	.65	.75	0	.7	.8	.85
<175	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.5	.6	.7
ปานกลาง	0	.5	.6	.65	0	.65	.75	.8
175-425	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1000	.7	.8	.8	1000	.45	.55	.6
แรง	0	.45	.5	.6	0	.6	.65	.7
425-700	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1000	.65	.7	.75	1000	.4	.45	.55
แรงมาก	0	.4	.45	.5	0	.5	.6	.65
>700	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1000	.55	.6	.65	1000	.35	.4	.45

หมายเหตุ ในกรณี B ถ้าพื้นที่ว่างดินแห้งมีอาณาเขตกว้างอยู่ในลักษณะเช่นนี้เรื่อยไป จะลดค่า Kp ลงได้ 20 % ในสภาพลมร้อน ลดลง 5-10 % ในกรณีที่ความชื้นอุณหภูมิและกระแสลมปานกลาง

Penman Method ในปี 1948 Penman (อังกฤษ) ได้เสนอสูตรซึ่งรวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้คือพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศ (Aerodynamic)

$$ET_p = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\{R_n+G\}+\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}\{15.36\}\{1.0+0.0062U_2\}\{e\frac{o}{z}-e_z\}$$

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไออิ่มตัว (Saturated vapour pressure)

γ = Pshchromatic contant (mb/$^{\circ}$C) คือการสมดุลย์ระหว่างความร้อนที่รู้สึกได้ซึ่งได้รับจากดวงอาทิตย์ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์กระเป๋าเปียกและความร้อนที่รู้สึกได้ แปลงรูปเป็นความร้อนแฝง

$\gamma = C_p.P/0.622\lambda$

C_p = 0.240

P = ความกดอากาศ

λ = ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนเป็นไอน้ำ

λ = 595 - 0.51T

T = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย

R_n = รังสีแสงแดดสุทธิ Langleys/day

G = ปริมาณความร้อนในดินเฉลี่ยคิดเป็น Langleys/day ปริมาณความร้อนในดินโดยประมาณในช่วงระยะเวลายาวนาน ซึ่งหาได้โดยการกำหนดว่าอุณหภูมิของดินระยะลึก 2 เมตร เปลี่ยนแปลงโดยประมาณตามอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความจุความร้อนโดยปริมาณเฉลี่ย ซึ่งสำหรับดิน คือ 0.5/cm^3/$^{\circ}$C

$G = (T_i - 1 - T_1 + 1)100/\Delta t$

Δt = จำนวนวันระหว่างจุดกลางของช่วง 2 ช่วง ในกรณีนี้ใช้ค่า t คือ 60 วัน

U_2 = ความเร็วเฉลี่ยของลมสูงจากพื้นดิน 2 เมตร ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตรไว้ ก็อาจแปลงค่าที่วัดได้ในระดับอื่นมาเป็นค่าที่ระดับ 2 เมตรได้โดยใช้สูตร

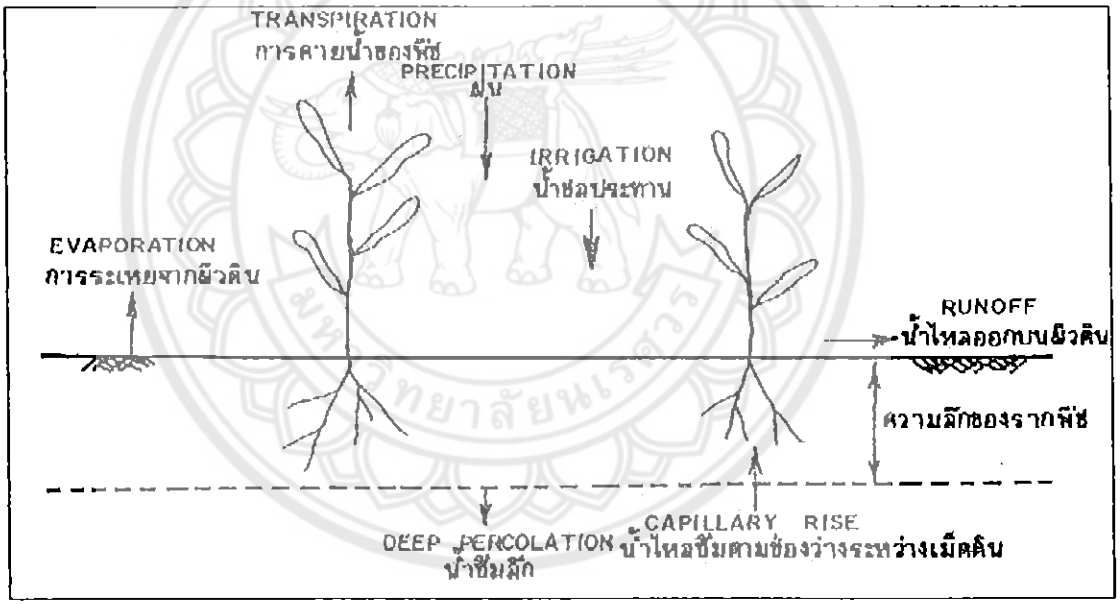
$$U_2 = U_z\frac{(2)^{0.2}}{Z}$$

โดย U_z = ความเร็วของลมเป็นกิโลเมตรต่อวัน ที่ระดับเหนือพื้นดิน Z เมตร

$(e\frac{0}{Z} - e_z)$ = การลดความดันไอ (mb)

10. ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชสวน และ พืชผัก

ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร พืชสวน และพืชผักและข้อมูลต่างๆ สำหรับการเพาะปลูก การดูแลรักษาเช่น ฤดูที่ปลูก จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ต่อไร่ จำนวนปลูกระยะปลูกต่อหลุม ปุ๋ย (สำหรับปุ๋ยและเกรดปุ๋ย ควรพิจารณาใช้ตามคุณสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูกจริง) pH ลักษณะดินที่เหมาะสม และผลิตต่อไร่ที่ควรได้รับ แสดงอยู่ในตารางที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชสวน และ พืชผัก ส่วนมากจะมีปริมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ของความต้องการของข้าว



รูปที่ 14 แสดงการสูญเสียของน้ำในการปลูกพืชไร่-พืชสวน-พืชผัก

สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient) ของอ้อย พืชผัก พืชล้มลุก พืชไร่ และ บ่อปลา แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชไร่ - พืชสวน - พืชผัก

ที่	ชื่อพืช	ฤดูปลูก	ใช้เมล็ดพันธ์ต่อไร่	จำนวนปลูกต่อไร่	ระยะปลูก (ซ.ม.)		ปริมารน้ำใช้ ม /ไร่	อายุจากวันปลูกถึงเก็บเกี่ยว	ผลผลิตต่อไร่	เกรดปุ๋ยที่ใช้ N-P-K	อัตราที่ใส่ กก./ไร่	pH ที่เหมาะสม	ลักษณะดินที่เหมาะสม
					ระยะต้น	ระยะแถว							
1	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ต้น ปลายฤดูฝน	2-4 กก.	2-3 เมล็ด	50-80	100	610	110วัน	350-500กก.	15-15-15	30-50	5.5-7.5	Pc-Tk.Tp.Tm
2	ข้าฟ่าง	ต้น ปลายฤดูฝน	3กก.	3-5 เมล็ด	25	75	400-600	100-120วัน	300-500กก.	20-10-10	75	5.5-7.5	Pe.Lo.Tw.Ks
3	งาขาว	ต้น ปลายฤดูฝน	2 กก.	หว่าน			576-720	90วัน	100กก.	12-8-8	60	5.5-7.5	Tm.Ch.Pr.Kt
4	งาดำ	ต้น ปลายฤดูฝน	2 กก.	หว่าน			432-560	90วัน	100กก.	12-8-8	60	5.5-7.5	Tm.Ch.Pr.Kt
5	ถั่วเขียว	ปลายฤดูฝน	3-4 กก.	3-4เมล็ด	30	50	300-450	60-70วัน	150-200กก.	12-24-12	25-30	6.8-7.0	Pe.Pe.Cm.Tm
6	ถั่วดำ	ต้น ปลายฤดูฝน	3 กก.	3-4เมล็ด	30	50	350	100-120วัน	300กก.	12-24-12	25-30	5.5-6.5	Pe.Ks.Sp.Pr
7	ถั่วทอง	ต้น ปลายฤดูฝน	3 กก.	2-3เมล็ด	30	50	300	100-120วัน	150กก.	12-24-12	25-30	5.5-6.5	Pe.Ks.Sp.Pr
8	ถั่วลิสง	ต้น ปลายฤดูฝน	12 กก.	3-4เมล็ด	25	50	400-600	100-110วัน	200-300กก.	12-24-12	25-30	5.5-6.5	Pe.Cm.Pm.Sp
9	ถั่วเหลือง	ต้น ปลายฤดูฝน	5 กก.	3-4เมล็ด	30	50	300-600	95-110วัน	200-300กก.	6-24-24	25-30	5.5-6.5	Cm.Pe.Ks.Tm
10	ปอกระเจา	ต้น ฤดูฝน	2. กก.	3-4เมล็ด	5	30	1140	120-150วัน	250กก.	15-15-15	100		
11	ปอแก้ว	กรกฎาคม	2 กก.	3-4เมล็ด	20	40	870	120-150วัน	250กก.	15-15-15	25-50		
12	ฝ้าย	กลางฤดูฝน	2-3 กก.	1-2เมล็ด	50	100	500-800	150-180วัน	250-300กก.	15-15-15	45	5.0-7.0	Lo.Pe.Lb.Pe
13	ละหุ่ง	ต้นฤดูฝน	2 กก.	1เมล็ด	250	300	960-1200	8-12เดือน	160กก.	15-15-15	30	5.5-7.5	Lo.Yt.Ln.Pe
14	สับปะรด	ตลอดปี	4000-6000หน่อ	1หน่อ	35	100	1400	12-18เดือน	1500กก.	12-12-15	100	4.5-5.5	Sr.Pr.Tp.Ks
15	อ้อย	ต้นฤดูฝน	1200-3200ท่อน	1-2ยอด	100	100	2000-3000	12-18เดือน	8-18ต้น	12-12-12	50-100	6-8.0	Ks.Wn.Sp.Kt
16	มันสำปะหลัง	ต้น ปลายฤดูฝน	1600 ท่อน	1 ท่อน	100	100		10-14เดือน	2500กก.	15-15-15	50-100	6.5-7.5	Sh.Kt.Pr.Kt
17	กล่ำตอก	ต้นฤดูหนาว	100 กรัม	1 ต้น	30	60	450	100-120วัน	1000-1300กก.	13-13-21	50-100	6-6.8	Tm.Ch.Pr
18	กล่ำปลี	ต้นฤดูหนาว	100 กรัม	1ต้น	30	60	450-630	100-110วัน	2500-4000กก.	13-13-21	100-150	6-6.5	Ks.Tp.Pe
19	คะน้า	ตลอดปี	500 กก.	1ต้น	20	24	350	45-55วัน	950-2000กก.	13-13-21,14-14-21	100-150	5.5-6.8	Cn.Hd
20	ถั่วขาว	กลางฤดูฝน	3 กก.	2-3เมล็ด	25	50	400	60-90วัน	150กก.	2-12-12	50		

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่	ชื่อพืช	ฤดูปลูก	ใช้เมล็ดพันธุ์ต่อไร่	จำนวนปลูกต่อไร่	ระยะปลูก (ซ.ม.)		ปริมารน้ำใช้ ม / ไร่	อายุจากวันปลูกถึงเก็บเกี่ยว	ผลผลิตต่อไร่	เกรดปุ๋ยที่ใช้ N-P-K	อัตราที่ใส่ กก./ไร่	pH ที่เหมาะสม	ลักษณะดินที่เหมาะสม
					ระยะต้น	ระยะแถว							
21	ถั่วแขก	ปลายฤดูฝน หนาว	4-7กก.	2-3เมล็ด	40	40	300	55-60วัน	2400กก.	5-10-5	50	5-5.8	
22	ถั่วฝักยาว	ตลอดปี	3-4กก.	1-3เมล็ด	40	40	400	50-75วัน	400-950กก.	12-24-12	50-100	5.5-6	Cn.Hd
23	ถั่วพุ่ม	ปลายฤดูฝน	1.5-2 ลิตร	2-3เมล็ด	50	50	400	90-120วัน	50-80กก.	12-12-12	40		
24	ถั่วลันเตา	ปลายฤดูฝน	5-7ลิตร	1เมล็ด	15	15	300	60-90วัน	330-500กก.	5-10-15	50-150	5.5-6.5	Cn.Hd
25	บวบต่างๆ	ตลอดปี	2-4ลิตร	3-5เมล็ด	40	40	300-500	40-60วัน	860-1050กก.	13-13-13	30-50		Cn.Hd
26	ผักกาดขาว	ตลอดปี	400กรัม	1ต้น	25	25	450	45-80วัน	830-1370กก.	20-1-10	80-150	6.68	
27	ผักกาดเขียว	ตลอดปี	400กรัม	1ต้น	25	30	350	55-75วัน	600-800กก.	20-11-11	30-50		
28	ผักกาดหอม	ต้นฤดูหนาว	100กรัม	1ต้น	20	20	350	55-75วัน	370-780กก.	15-15-15	30-50	6-6.8	Cn.Hd
29	ผักกาดหัว	ตลอดปี	2-2.5กก.	1ต้น	20-30	30-45	500	42-65วัน	1400-2000กก.	12-12-7	50-100	5.5-7	Cn.Hd
30	ผักชี	ปลายฤดูฝน หนาว	3ลิตร	หว่าน	-	-	350	45-60วัน	200-300กก.	12-4-4	100		Cn.Hd
31	ผักบุ้งจีน	ตลอดปี	20ลิตร	หว่าน	-	-	200	30-35วัน	730-1000กก.	Urea	15-20		Cn.Hd
32	พริกต่างๆ	ตลอดปี	45กรัม	1ต้น	50	100	500-850	70-90วัน	230-350กก.	15-15-15	50-100	6-6.8	Cn.Hd
33	พักเขียว	ต้นปลาย ฤดูฝน	3ลิตร	1-3เมล็ด	150	150	350	90-120วัน	2000-3000กก.	6-10-10	50		Cn.Hd
34	พักทอง	ต้นปลาย ฤดูฝน	1ลิตร	1-3เมล็ด	150	150	333	120-180วัน	1800-2500กก.	14-14-21	100-150	5.5-6.8	Cn.Hd
35	มะเขือต่างๆ	ตลอดปี	45-50กรัม	1ต้น	50	80	430-760	60-90วัน	500-1000กก.	13-13-21	50-100	5.5-6.8	Cn.Hd
36	มะเขือเทศ	ฤดูหนาว	54กรัม	1ต้น	40	70	500-650	60-75วัน	600-1750กก.	15-15-15	50-100	6-6.8	Cn.Hd
37	ยาสูบ	ต้นฤดูหนาว		1ต้น	50	80	400-600	90-120วัน	300-400กก.	4-16-24-4Mg	60	5.5-6.5	
38	แตงกวา	ตลอดปี	360-540กรัม	1-3เมล็ด	50	150	350	30-40วัน	1000-1700กก.	13-13-21	50	5.5-6.8	Cn.Hd
39	แตงร้าน	ตลอดปี	3-4ลิตร	1-2เมล็ด	40	60	400	80-120วัน	1000-1600กก.	10-20-10	30	5.5-7.0	Cn.Hd
40	กระเทียม	ฤดูหนาว	80-100กก.	1กลีบ	10	15	535	75-150วัน	660-1750กก.	10-10-15	50-100	5.5-8.0	Kt.Re.Sp

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ที่	ชื่อพืช	ฤดูปลูก	ใช้เมล็ดพันธุ์ต่อไร่	จำนวนปลูกต่อหลุม	ระยะปลูก (ซ.ม.)		ปริมารน้ำใช้ ม / ไร่	อายุจากวันปลูกถึงเก็บเกี่ยว	ผลผลิตต่อไร่	เกรดปุ๋ยที่ใช้ N-P-K	อัตราที่ใส่ กก./ไร่	pH ที่เหมาะสม	ลักษณะดินที่เหมาะสม
					ระยะต้น	ระยะแถว							
41	ข้าวโพดหวาน	ตลอดปี	3กก.	2-3เมล็ด	25	70	510	70-85วัน	6000-10000ฝัก	15-15-15	50-100	5.5-6.8	Pe.Ks.Ln.Ed
42	มันแกว	ต้นฤดูฝน	1กก.	2-3เมล็ด	50	50	1350	210-240วัน	500กก.	10-10-10	100		
43	มันเทศ	ต้น ปลายฤดูฝน	500ยอด	1ยอด	50	75	500-680	90-120วัน	1400-2000กก.	5-10-10	100		
44	มันฝรั่ง	ต้น ปลายฤดูฝน	200-250กก.	1หัว	30	75	500-650	100-120วัน	1500-3000กก.	13-13-21	80-100	5.5-6.8	
45	หอมแบ่ง	ตลอดปี	60กก.	1หัว	Dec-15	15	650	40-50วัน	800กก.	20-10-10	50-100	5.8-6.5	Cn.Hd
46	หอมหัวใหญ่	ปลายฤดูฝน	320-400กรัม	1ต้น	Oct-22	25-40	580-800	80-120วัน	1400-3000กก.	10-15-10	100-150	5.8-6.5	Cn.Hd
47	แตงโม	ตลอดปี	250-400กรัม	3-4เมล็ด	60-90	200-300	470	75-120วัน	2000-3000กก.	13-13-21	100-150	5-7.5	Cm.Pr.Ks.Tm
48	พริกไทย	ต้น ปลายฤดูฝน	400ค้าง	1ยอด	100	100		1ปี	400-500กก.	12-24-12	60		
49	สตรอเบอรี่	ต้น ปลายฤดูฝน	10000-12000ต้น		25	30		80-100วัน	ขึ้นกับการบำรุงรักษา	13-13-21 16-16-16	40-50		
50	องุ่น	พ.ค.-เม.ย.	150-200กรัม		200	570		470-510วัน	3364กก.	15-15-15/18-20-0	50		

หมายเหตุ

Pe = ดินเพชรบูรณ์	Pc = ดินปากช่อง	Sh = ดินสัตหีบ
Tk = ดินตาคลี	Le = ดินเลย	Yt = ดินยโสธร
Tp = ดินธาตุพนม	Tw = ดินทับกวาง	Np = ดินนครปฐม
Tm = ดินท่าม่วง	Pr = ดินปราณบุรี	Sb = ดินสระบุรี
Ln = ดินลำนารายณ์	Kt = ดินโคราช	Re = ดินร้อยเอ็ด
Cd = ดินไชยบาดาล	Wn = ดินวารินชำราบ	Sr = ดินศรีราชา
Ks = ดินกำแพงแสน	Rb = ดินราชบุรี	Lb = ดินลพบุรี
Sp = ดินสันป่าตอง	Cn = ดินชัยนาท	
Cm = ดินเชียงใหม่	Hd = ดินหางดง	

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) ของอ้อย พืชผัก พืชล้มลุก พืชไร่ และบ่อปลา

เดือน	อ้อย	ผัก	พืชล้มลุก	พืชไร่	บ่อปลา
มกราคม	0.63	0.67	0.50	0.40	1.0
กุมภาพันธ์	0.83	0.67	0.80	0.70	1.0
มีนาคม	1.00	0.67	0.70	1.00	1.0
เมษายน	1.13	0.67		0.80	1.0
พฤษภาคม	1.18	0.67		0.30	1.0
มิถุนายน	1.18	0.67			1.0
กรกฎาคม	1.13	0.67			1.0
สิงหาคม	1.03	0.67			1.0
กันยายน	0.85	0.67			1.0
ตุลาคม	0.65	0.67			1.0
พฤศจิกายน	0.53	0.67			1.0
ธันวาคม	0.50	0.67			1.0

บทที่ 3
วิธีและขั้นตอนการทำ

1.ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน (Intake Characteristics of Soil)

การดูดซึมน้ำของดิน บางครั้งจะเรียกว่า การซึมของน้ำลงไปในดิน (Infiltration) คือ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ตามรอยแตกระแหง (ถ้ามี) ด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับน้ำของผิวดิน และแรงเนื่องจากความกดดันของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน ส่วนอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า Intake Rate หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration Rate)

วัตถุประสงค์ในการหาลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

การดูดซึมน้ำของผิวดินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งต่อการชลประทานทางผิวดิน ซึ่งได้แก่การให้น้ำขังเป็นอ่าง การให้น้ำเป็นผืน การให้น้ำแบบร่องคู และการให้แบบฝนโปรย การรู้ค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดิน (Infiltration Rate) จะทำให้ทราบว่าถ้าต้องการให้น้ำทางผิวดินเพื่อให้ดินมีความชื้นตามที่ต้องการจะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินเป็นระยะเวลานานเท่าใด เช่น ถ้าต้องการให้น้ำเป็นจำนวน 10 เซนติเมตร แก่ดินซึ่งมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 2.5เซนติเมตรต่อชั่วโมง จะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินนานเท่ากับ 4 ชั่วโมง เป็นต้น

นอกจากนี้อัตราดูดซึมน้ำของดินจะมีผลต่อการกำหนดขนาดแปลง และอัตราการให้น้ำแก่แปลงด้วย เช่น ถ้าให้น้ำด้วยอัตราคงที่ ขนาดความยาวแปลงในดินที่มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงจะต้องสั้นกว่าความยาวแปลงในดินที่มีอัตราการดูดซึมต่ำ หรือถ้าแปลงเพาะปลูกมีขนาดเท่ากัน อัตราการส่งน้ำแข็งแปล่งในดินที่มีอัตราการซึมสูง จะต้องมากกว่า เพื่อให้การให้น้ำมีความสม่ำเสมอดี และลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน

อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ลักษณะเนื้อดิน สภาพผิวดิน ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ และความลึกของน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดิน ตามปกติแล้วดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายจะมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว ดินชนิดเดียวกันเมื่อแห้งจะมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมื่อเปียก ดินที่มีการไถพรวนเป็นประจำจะทำให้โครงสร้างของดินมีลักษณะโปร่งน้ำ น้ำซึมผ่านได้ดีกว่าและถ้าน้ำขังอยู่บนผิวดินลึกกว่าย่อมก่อให้เกิดแรงดันให้น้ำไหลแทรกผ่านช่องว่างระหว่างเมล็ดดินได้มากกว่า

อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะมีค่าสูงในตอนแรกที่เริ่มทำการให้น้ำ แต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งในที่สุดจะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งเรียกว่าอัตราการดูดซึมพื้นฐาน (Infiltration Capacity) หรือถ้าพิจารณาความลึกสะสม (Accumulated Depth) ของน้ำที่ซึมลงไปในดิน จะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน

การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการให้น้ำชลประทาน เช่น ถ้าทำการให้น้ำชลประทานแบบท่วมผิวดิน (Flooding Irrigation) จะต้องใช้วิธีการวัดแบบใช้ถังวัดอัตราการซึม (Infiltrometer) หรือวัดแบบให้น้ำท่วมขังบนผิวดินในแปลง (Ponging) แต่ถ้าทำการให้น้ำชลประทานแบบร้องคูจะต้องวัดโดยวิธีการวัดปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออก (Inflow-Outflow)

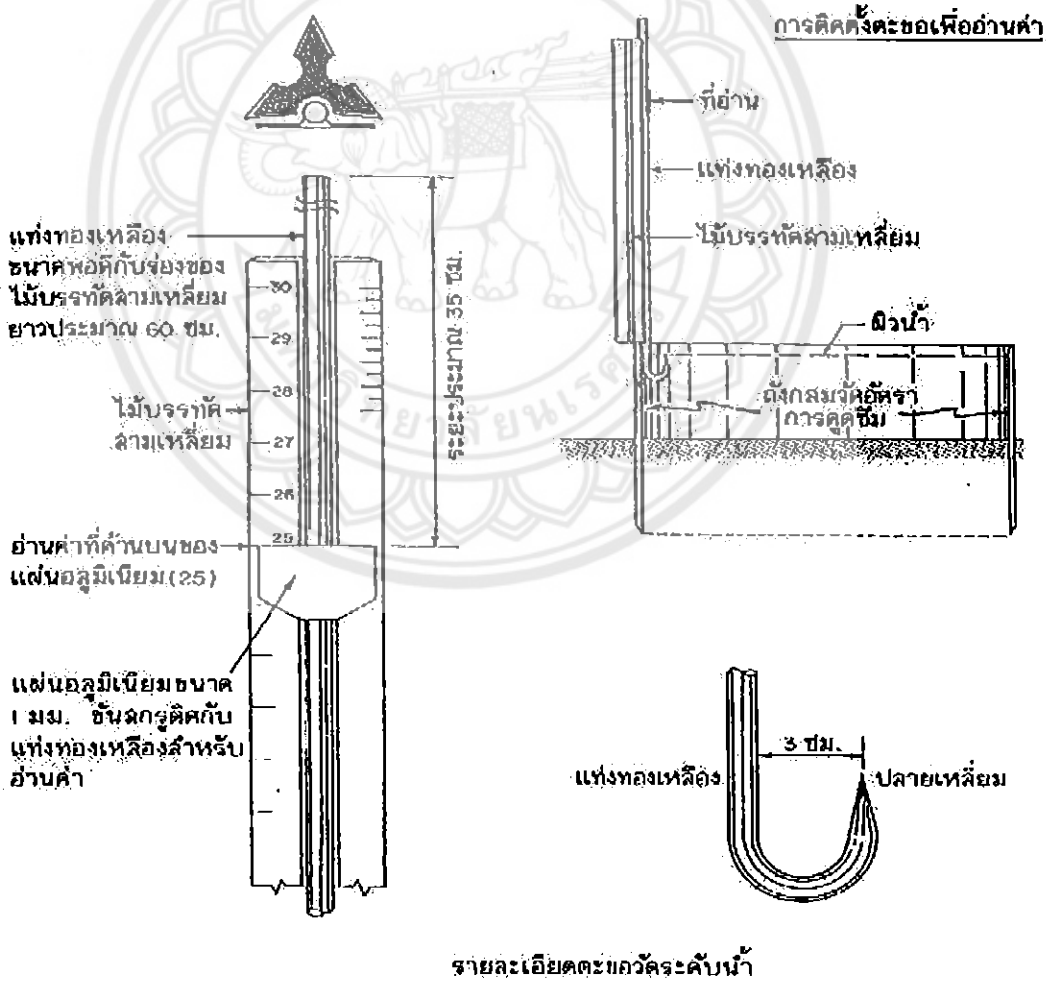
การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินโดยใช้ถังกลม

เราอาจวัดหาอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ที่ระยะเวลาต่างๆ ขณะให้น้ำได้โดยใช้ถังลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 25 เซนติเมตรและสูงไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เปิดหัวและท้ายทั้งสองด้าน การวัดก็ทำโดยกดถังให้จมลงไปในดินประมาณ 10 เซนติเมตร เทน้ำลงไปในถึงแล้วจดบันทึกความลึกของน้ำที่หายไปที่ระยะเวลาต่างๆ

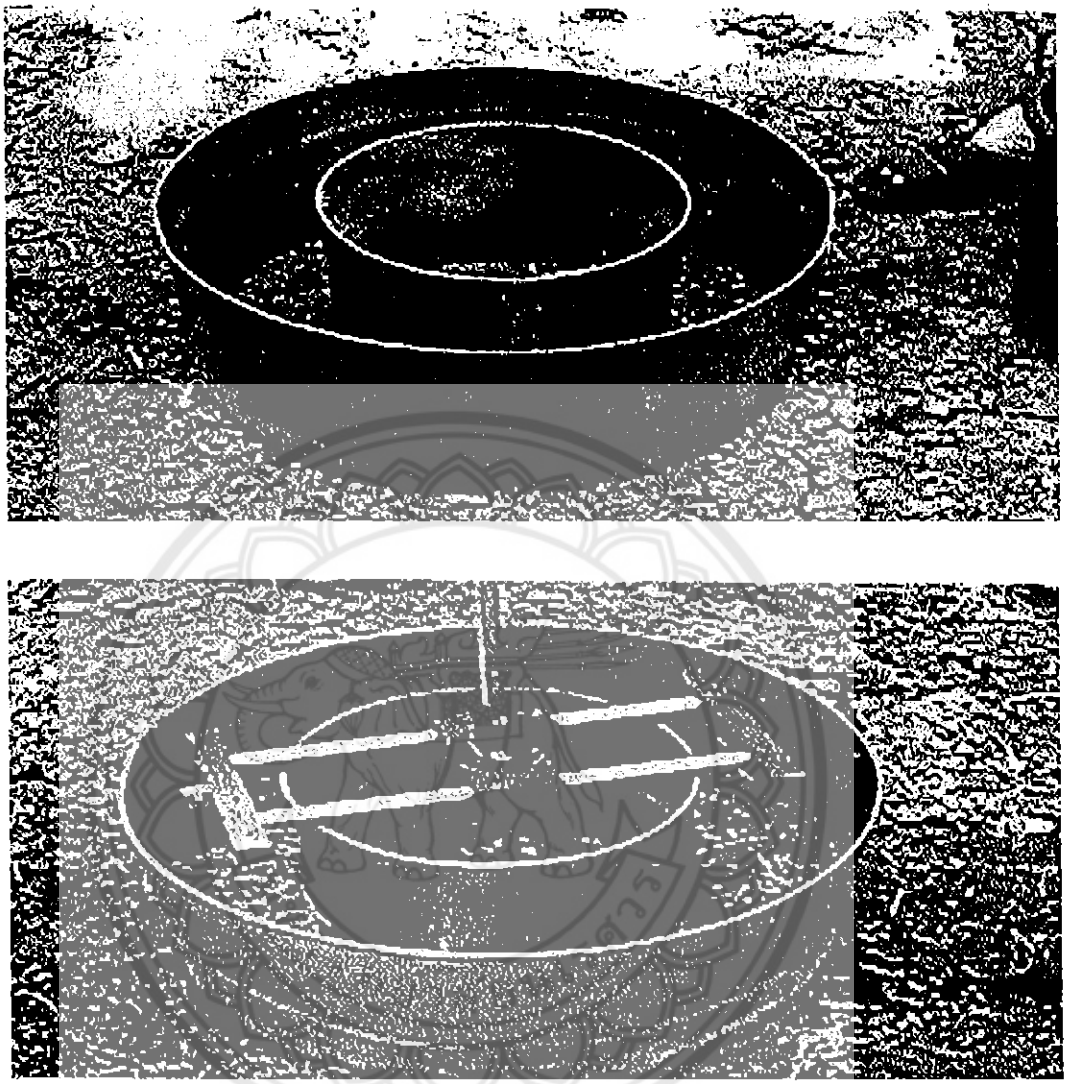
ขณะที่น้ำซึมลงไปถึงปลายของถังที่กดลงไปในดิน มันจะพยายามไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะทำให้ อัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น การไหลซึมออกทางด้านข้างนี้อาจจะป้องกันได้โดยการใช้ถังอีกใบหนึ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าลดลงไปในดิน

โดยให้ถังใบเล็กอยู่ตรงกลางแล้วเติมน้ำลงในช่องระหว่างถังทั้งสองใบนั้นให้มีระดับน้ำเทากับในถังลูกใน ดังรูปที่ 2 และ 3 โดยวิธีนี้ความกดดันของน้ำระหว่างถังทั้งสองจะป้องกันมิให้น้ำในถึงใบเล็กซึ่งใช้วัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ไหลซึมออกกทางด้านข้างซึ่งจะเป็นผลทำให้ได้ค่าถูกต้องดีขึ้น ในกรณีที่มีถังเพียงลูกเดียวก็อาจใช้ดินกั้นเป็นคันล้อมรอบถังไว้แล้วเติมน้ำในคันดินแบบเดียวกันกับที่มีถังสองลูกก็ได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความลึกของน้ำเหนือผิวดินมีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้กำหนดระยะเวลาการให้น้ำได้ด้วย ความลึกของน้ำในถังจึงควรมีขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง ๆ ในขณะให้น้ำแก่พืช และขณะที่บันทึกอัตราการดูดซึมน้ำของดิน จะต้องคอย



รูปที่ 2 การติดตั้งถังวัดการดูดซึมน้ำของดิน



รูปที่ 4 การติดตั้งถังวัดการดูดซึมน้ำของดินในสนาม

เติมน้ำในถังให้อยู่ที่ระดับเริ่มแรกเสมอ การเติมน้ำควรจะทำเมื่อน้ำในถังหายไปประมาณ 2-3 เซนติเมตร การจดบันทึกจะต้องทำจนกระทั่งค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าเกือบคงที่จึงหยุดและนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาอัตราการดูดซึมน้ำของดินต่อไป

ถ้านำเอาความลึกของน้ำสะสม (Accumulated Depth) และเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำท่วมผิวดินมาเขียนลงในกระดาษกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ในรูปของ สมการยกกำลัง

$$D = At^{B} \quad (1)$$

เมื่อ D = ความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน (มิลลิเมตร)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

A และ B = เป็นค่าคงที่ของสมการ

ถ้านำเอาค่า D และ t ไปเขียนลงในกระดาษกราฟ log-log จะได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ซึ่งจะสามารถหาค่า A และ B ได้จากคุณสมบัติของกราฟเส้นตรงดังนี้

สมการ I นี้อาจเขียนใหม่ ได้เป็น

$$\log D = \log A + B \log \quad (2)$$

ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$Y = mX + c \quad (3)$$

ในสมการ 3 นี้ X และ Y เป็นค่าทางแกนราบและแกนตั้ง m เป็นความลาดเท (slope) ของเส้นซึ่งมีค่าเท่ากับ $y/\Delta X$ และ c เป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับระยะทางจากจุดกำเนิด (origin) ถึงจุดตัดระหว่างเส้นกับแกน Y

จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ถ้าเราให้ D เป็นค่าทางแกนตั้ง และ t เป็นค่าทางแกนราบ เราอาจคำนวณหาค่าของ A และ B ได้จากกราฟที่เขียนบนกระดาษ log – log โดย

B = ความลาดเทของเส้นและมีค่าเท่ากับระยะทาง (linear scale) ในแนวตั้งหารด้วยระยะทางในแนวราบระหว่างจุดสองจุดบนเส้น โดยปกติแล้ว จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

A = ระยะทางจากจุดกำเนิด (origin) ถึงจุดที่เส้นตัดกับแกนตั้ง ในที่นี้จะมีค่าเท่ากับความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินสะสมที่เวลา t=1 นาที

จากสมการความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน จะสามารถเปลี่ยนเป็นสมการดูดซึมน้ำของดินได้โดย

$$I = \frac{d}{dt}(D)$$

$$I = \frac{d}{dt}(At^B)$$

$$= A.Bt^{B-1} \quad (4)$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตร /นาที)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

ตากปกติแล้วมักจะใช้ค่า I มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมงจึงอาจเขียนสมการ (4) ใหม่ให้อยู่ในรูปง่ายๆ ได้ดังนี้

$$I = kt^n \quad (5)$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำของดิน (มม./ชั่วโมง)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ(นาที)

k = เป็นระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดที่กราฟตัดแกนตั้ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 60 A.B

n = ความลาดเทของกราฟ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ B-1

2. การวัดความนำชลศาสตร์

ความนำชลศาสตร์ของดิน (Hydraulic Conductivity,K) เป็นข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ไม่ว่าระบบระบายน้ำนั้นจะเป็นแบบสกัดกั้นไม่ให้น้ำไหลเข้ามาในพื้นที่ (Interception Drain) หรือการลดระดับของน้ำใต้ดินในทุ่งราบ(Relief Drain)

การหาค่าความนำชลศาสตร์หรือค่า K ของชั้นดินอาจทำได้หลายวิธี เช่น เก็บตัวอย่างดินโดยใช้ปลอกเหล็กแล้วนำไปทดลองวัดในห้องปฏิบัติการหรืออาจทำการวัดโดยตรงในสนาม วิธีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวิธีวัดค่าความนำทางชลศาสตร์ของดินใต้ระดับน้ำใต้ดินโดยตรงในสนามแบบหนึ่งที่เรียกว่าวิธีหลุมเจาะ (Auger Hole Method) ซึ่งทำการวัดโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมที่เจาะโดยใช้สว่านเจาะดิน (Auger) วิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย ไม่ต้องการเครื่องมือมากและอาจจะทำไปพร้อมๆ กับการเจาะสำรวจดินได้ แต่เป็นวิธีเหมาะกับดินที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอตลอดความลึกเท่านั้น

การวัดความนำชลศาสตร์โดยวิธีนี้ประกอบด้วยการขุดเจาะดินในสนาม บันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมเจาะ และการคำนวณหาค่าความนำชลศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

(1) ใช้สว่านเจาะดินให้เป็นหลุมในแนวดิ่งลึกลงไปกว่าระดับน้ำใต้ดินระหว่าง 5 ถึง 10 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุม หลุมนี้จะต้องมีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในแนวดิ่ง

(2) สูบหรือตักน้ำออกจากหลุมหลายๆ ครั้ง เพื่อให้น้ำดันน้ำโคลนที่เคลือบอยู่ตามผนังของหลุมเจาะออกหมด เสร็จแล้วปล่อยให้น้ำในหลุมคืนสู่ระดับปกติ คือ เท่ากับระดับน้ำใต้ดิน

(3) เมื่อน้ำในหลุมคืนสู่ระดับปกติแล้วก็เริ่มทำการทดสอบโดยสูบหรือตักน้ำออกจากหลุมอีกครั้ง การสูบน้ำจากหลุมเพื่อลดระดับน้ำลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความมั่นคงแข็งแรงของผนังหลุมในกรณีที่ดินในหลุมพังทลายลงมาได้ง่ายก็อาจจะลดระดับลงมาเพียงเล็กน้อย หรือถ้าจำเป็นก็อาจจะใช้ตะแกรงมุ้งลวดทำเป็นปลอกป้องกันไว้

(4) บันทึกระดับน้ำในหลุมหลังจากสิ้นสุดการสูบน้ำ และบันทึกระดับน้ำหลังจากนั้นที่ระยะเวลาต่างๆ แล้วนำมาคำนวณความแตกต่างระหว่างระดับน้ำใต้ดินกับระดับน้ำในหลุม (Residual Drawdown) นำค่านี้มาเขียนกราฟร่วมกับเวลานับจากการวัดระดับน้ำครั้งแรกหลังสิ้นสุดการสูบน้ำ โดยให้แกนตั้งเป็น Residual Drawdown และแกนราบเป็นเวลา

(5) เลือกช่วงของกราฟที่เป็นแนวเส้นตรงโดยให้ h = ช่วงของ Residual Drawdown ที่กราฟเป็นเส้นตรง และ t = ช่วงเวลาที่ตรงกันกับ h

(6) นำค่า h และ t ที่เลือกได้มาคำนวณความนำชลศาสตร์ของดินโดยใช้สมการของ Kirkham คือ

$$K = 37 \frac{r}{sd} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \qquad (6)$$

K = ความนำชลศาสตร์ของดินเป็น ซม./ชม.

r = รัศมีของหลุมเจาะ เป็น ซม.

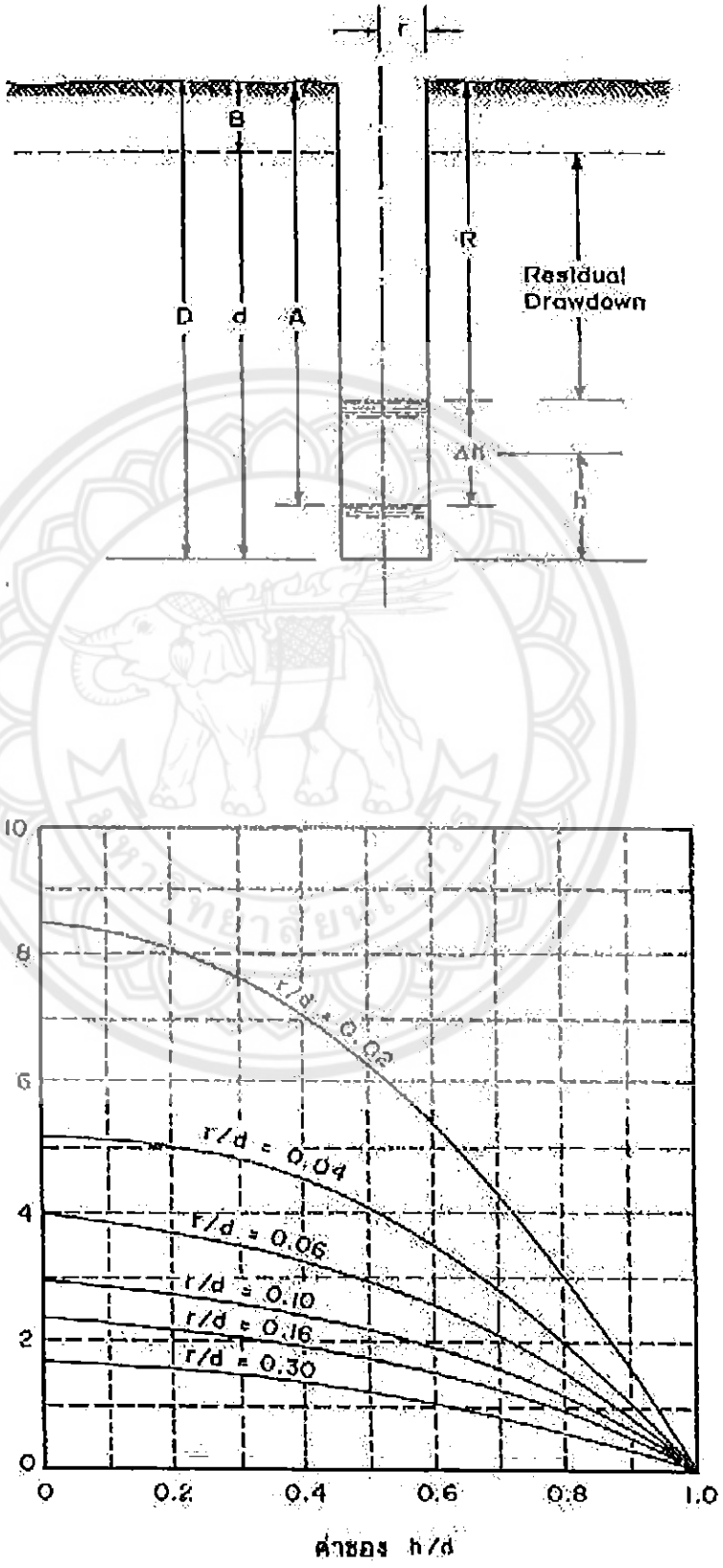
S = ค่าของฟังก์ชั่นซึ่งอ่านได้จากรูปที่ 4

D = ความลึกของหลุมจากระดับน้ำใต้ดิน

h = การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมเป็นเซนติเมตรโดยใช้เวลา Δt วินาที ค่า Δh และ Δt ที่ใช้เลือกมาจากช่วงที่กราฟของ Residual Drawdown กับเวลาเป็นเส้นตรง

h = ความลึกเฉลี่ยของน้ำในหลุมขณะที่ทำการวัด

$= (D - A + \Delta h/2)$


r
B
R
Residual
Drawdown
D
d
A
ΔR
h
10
8
6
4
2
0
ค่าของ S
r/d = 0.02
r/d = 0.04
r/d = 0.06
r/d = 0.10
r/d = 0.16
r/d = 0.30
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
ค่าของ h/d

รูปที่ 4 ค่า S

Measuring of Hydraulic Conductivity

การทดสอบหาค่าความนำชลศาสตร์ในสนาม โดยวิธี "Well Permeameter Method"

อุปกรณ์ 1). สว่านมือ

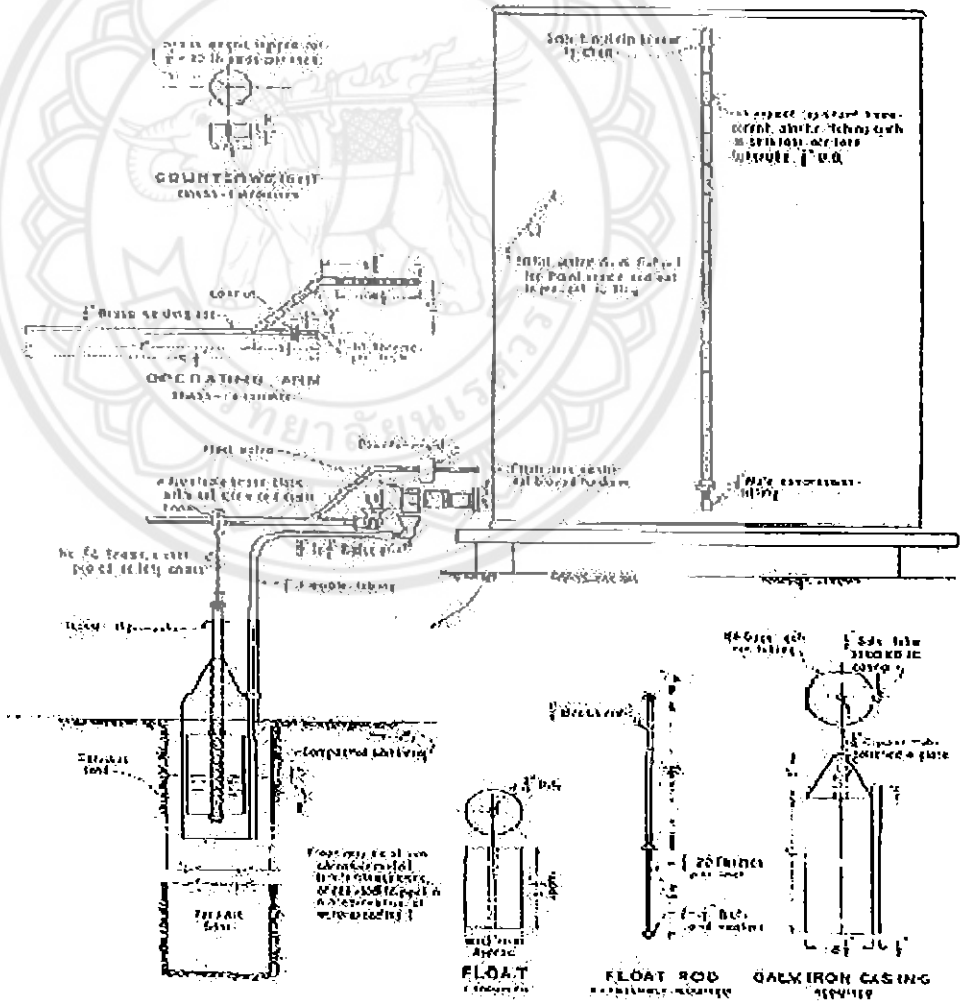
2). ถัง 175 ลิตร Calibrated ปริมาตรในการจ่ายน้ำของถังมีหน่วยเป็นลิตร

3). วาล์วปิด – เปิดน้ำ

4). ลูกลอย (Float)

5). Counterweights.

6). Casing เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว



WELL PERMEAMETER EQUIPMENT
FOR
ESTIMATION OF CANAL SEEPAGE LOSSES

การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

วัสดุ

1). ทรายรองก้นหลุม ต้องล้างสะอาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 8 และหาความหนาแน่นของทราย

2). น้ำสะอาด

ขั้นตอนการทดสอบและบันทึกผล

1). ใช้สว่านมือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เจาะหลุมในตำแหน่งที่จะทดสอบให้ได้ความลึกที่ต้องการทดสอบหาค่าความนำชลศาสตร์วัดความลึกจากก้นหลุมถึงปากหลุมจดบันทึกค่าไว้

2). ใส่ casing ให้เหลือความลึกก้นหลุมประมาณ 1 ฟุต

3). ชั่งน้ำหนักทรายประมาณ 3 – 4 กิโลกรัม แล้วกรอกใส่หลุมวัดความลึกจากชั้นทรายถึงปากหลุม บันทึกค่าไว้

4). ตั้งถังทดสอบให้ได้ระดับสูงกว่าปากหลุมประมาณ 4 นิ้ว

5). ติดตั้งวาล์วน้ำ Code ลูกลอย และ Counterweights ให้อยู่ในตำแหน่งเตรียมพร้อมทำการทดลองตามรูป

6). เติมน้ำในถังทดสอบให้ได้สูงสุดตามที่ได้ calibrated ไว้เปิดวาล์วน้ำให้ลูกลอยอยู่ในระดับ แล้วเริ่มต้นจับเวลาและบันทึกค่าปริมาณน้ำ ตามเวลาต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้แล้ว

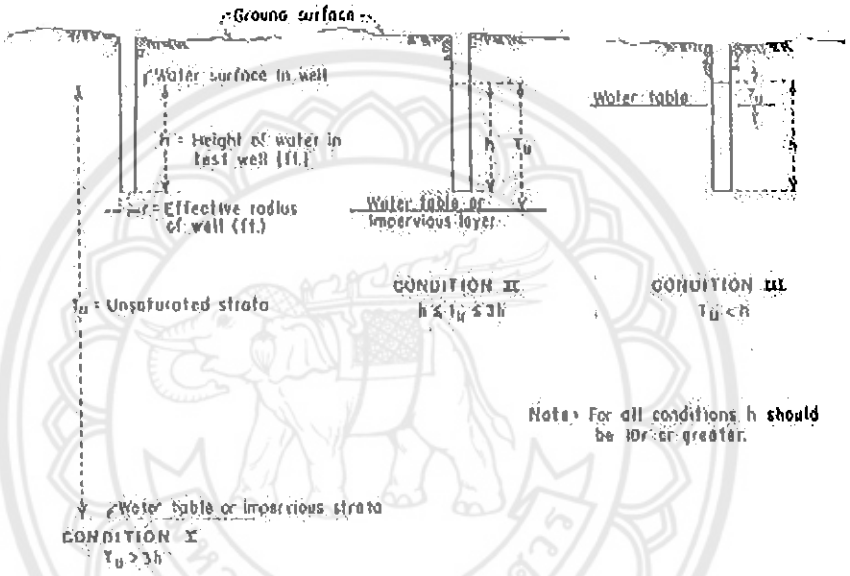
7). เฝ้าสังเกตการณ์และจดบันทึกค่าจนกระทั่งอัตราการซึมของน้ำคงที่ จึงหยุดทำการทดลอง ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง และไม่เกิน 48 ชั่วโมง

การคำนวณผลการทดลอง

$$k_{20} = 525{,}600 \frac{\left[\sinh^{-1}\left(\frac{h}{r}\right)-1\right]\frac{Q}{2\pi}}{h^2}\left(\frac{\mu T}{\mu_{20}}\right) \qquad \text{(I)}$$

$$k_{20} = \frac{525{,}600 \log e\left(\frac{h}{r}\right)\frac{Q}{2\pi}}{h^2\left[\frac{1}{6}+\frac{1}{3}\left(\frac{h}{Tu}\right)^{-1}\right]}\left(\frac{\mu T}{\mu 20}\right) \qquad \text{(II)}$$

$$k_{20} = \frac{525{,}600 \log e\left(\frac{h}{r}\right)\frac{Q}{2\pi}}{h^2\left[\left(\frac{h}{Tu}\right)^{-1} - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{Tu}\right)^{-2}\right]}\left(\frac{\mu T}{\mu 20}\right) \qquad \text{(III)}$$



Relationship between depth of water in test well and distance to water table in well permeameter test

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

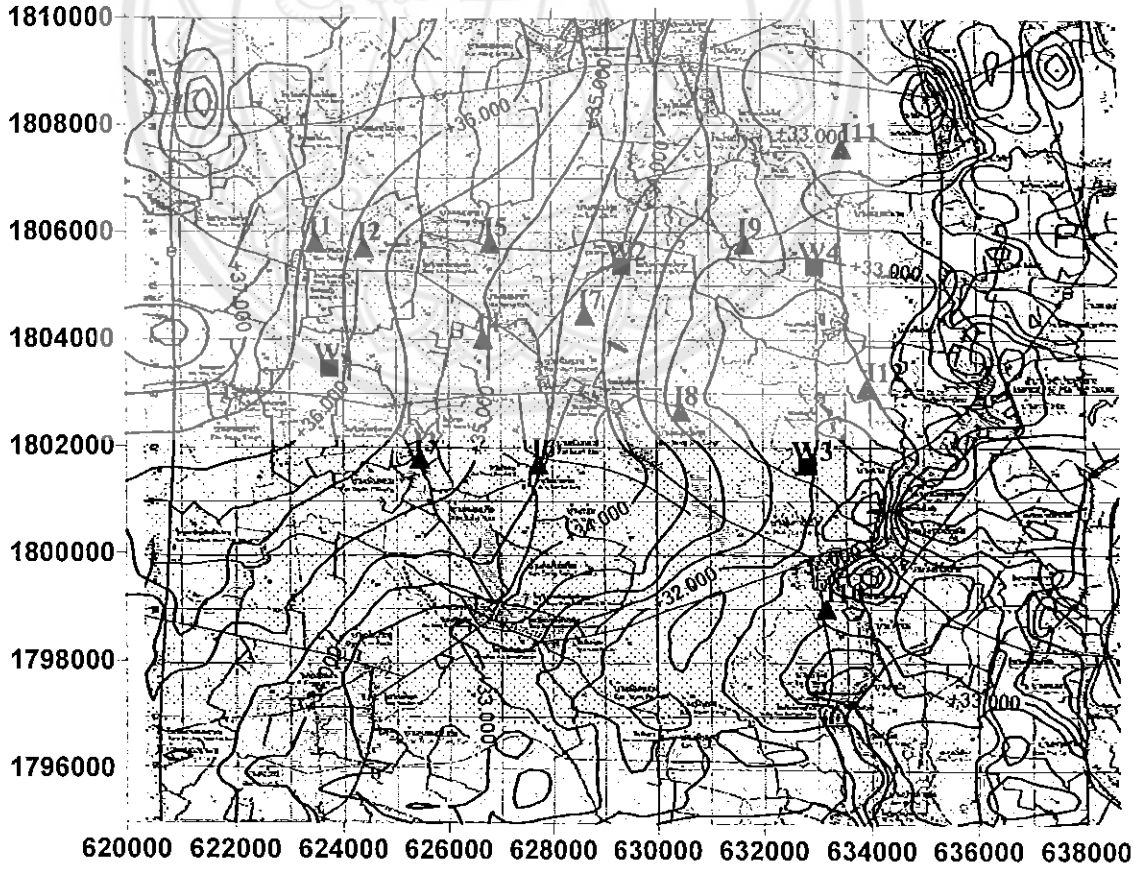
จากผลการทดสอบทั้งในภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการทำให้ได้ข้อมูลสรุปผลการทดสอบ Infiltration และ Permeability ดังตาราง

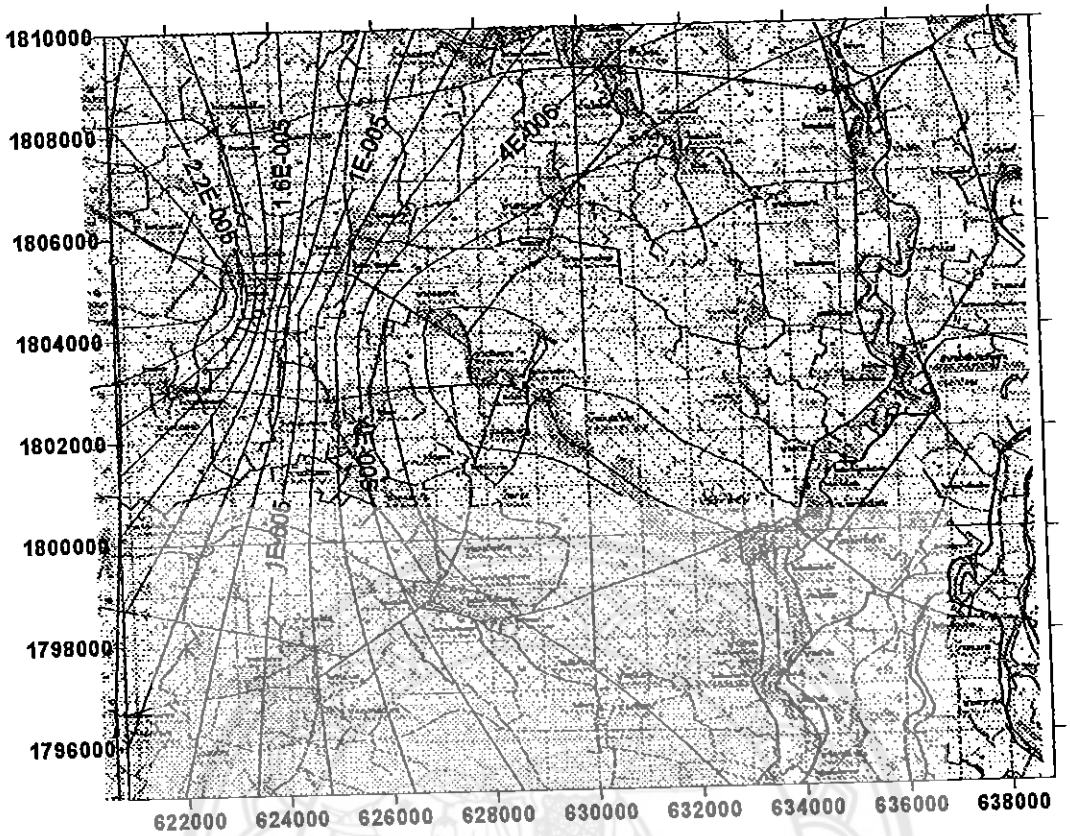
ตารางบันทึกผล Infiltration Rate

No.	Co-ordinate		Infiltration Rate	Land use	Soil Classification
	E	N	1 Day,(m/sec)		
I1	623023	1804699	2.700E-05	ไร่ข้าวโพด	SC-SM, Silty clayey sand
I2	624298	1804414	1.020E-05	ไร่อ้อย	CL, Sandy lean clay
I3	625576	1800950	4.275E-06	นาข้าว	ML, Sandy silt
I4	626665	1802980	2.261E-07	ไร่อ้อย	SM-Silty Sand
I5	626629	1804540	1.858E-07	นาข้าว	ML, Sandy silt
I6	627702	1800647	9.404E-08	นาข้าว	SC-SM, Silty clayey sand
I7	628843	1803081	6.028E-08	นาข้าว	CL-ML, Sandy silty clay
I8	630611	1801306	1.322E-06	สวนกล้วย	CL, Sandy lean clay
I9	631750	1804725	7.285E-08	นาข้าว	CL-ML, Sand silty clay
I10	633105	1797730	1.127E-06	นาข้าว	ML, Sandy silty clay
I11	633212	1806525	1.119E-07	นาข้าว	CH, Sandy fat clay
I12	634315	1801820	8.629E-07	ผักสวนครัว	SM-Silty Sand
		Minimum	6.028E-08		
		Maximum	2.700E-05		
		Median	5.445E-07		
		Average	3.795E-06		

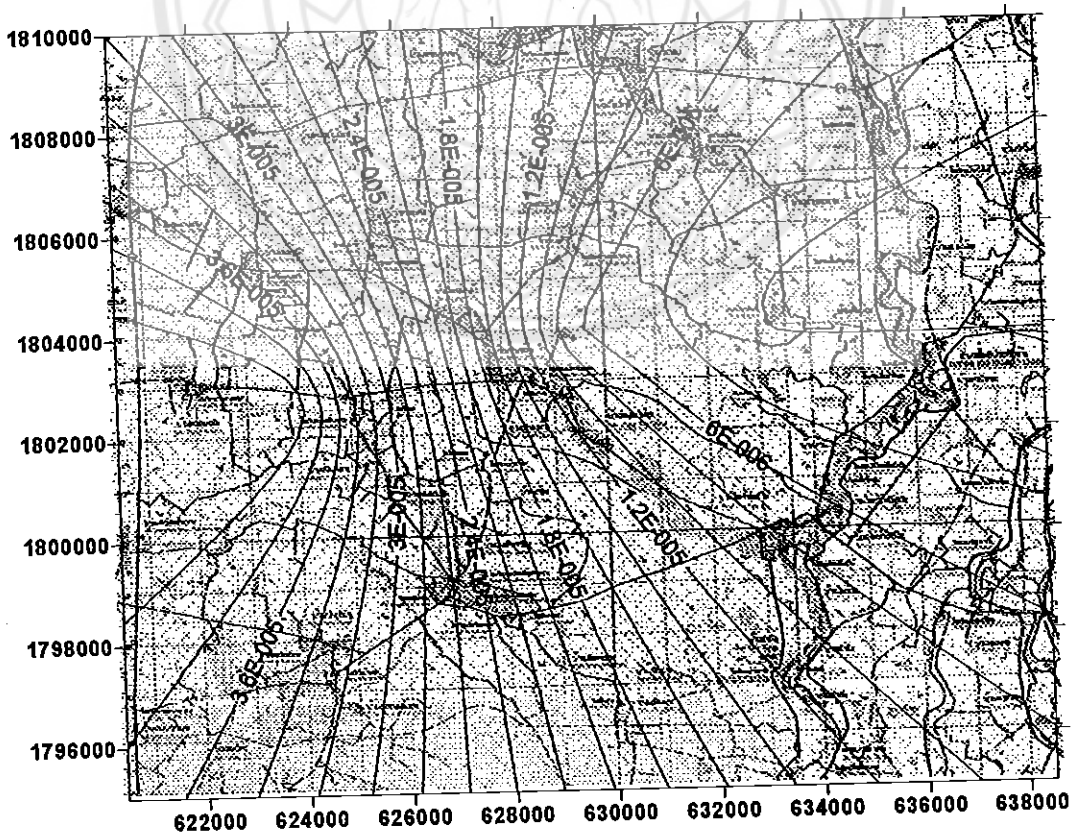
ตารางบันทึกผล Hydraulic Conductivity or Coefficient of Permeability (K)

No.	Co-ordinate		Hydraulic Conductivity (m/sec)	Landuse	Soil Classification
	E	N			
W1	623752	1802650	4.199E-05	แหล่งน้ำ	SM, Silty sand
W2	629360	1804095	6.133E-06	แหล่งน้ำ	CL-ML, Sandy silty clay
W3	632993	1800735	6.978E-06	แหล่งน้ำ	CL, Sandy lean clay
W4	633224	1804165	1.801E-06	แหล่งน้ำ	CL, Sandy lean clay
		Minimum	1.801E-06		
		Maximum	4.199E-05		
		Median	6.556E-06		
		Average	1.423E-05		



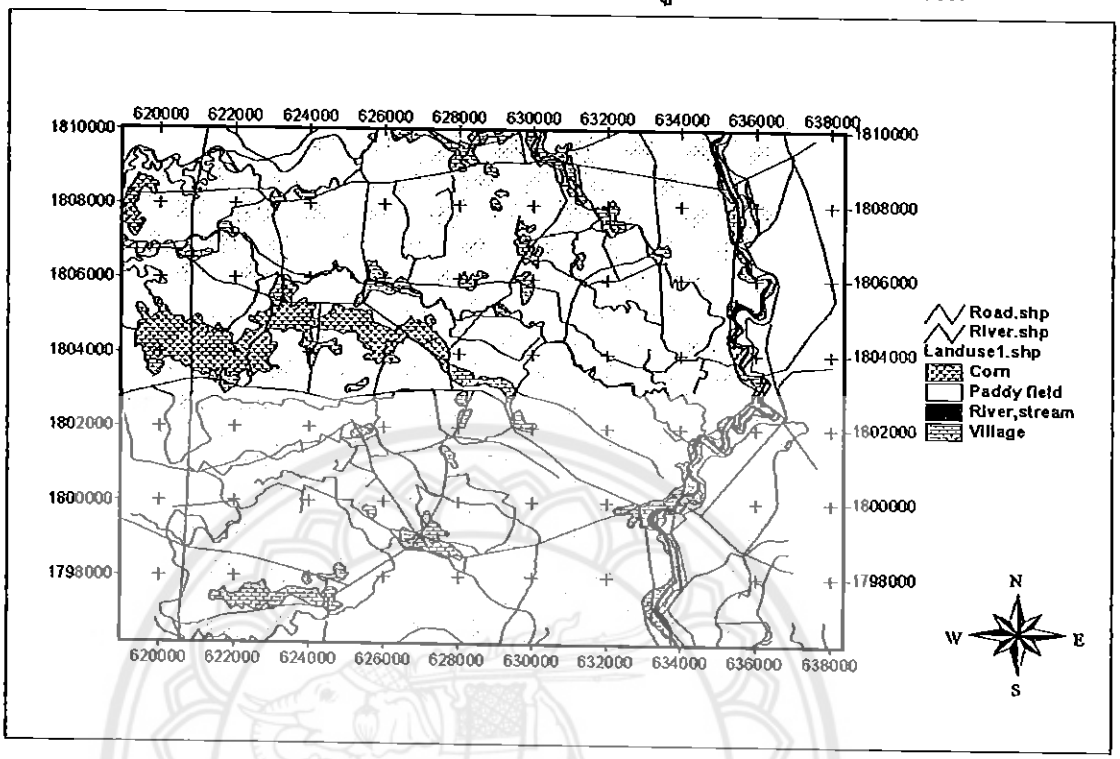


รูปแสดง Contour of Infiltration Rate



รูปแสดง Contour of Hydraulic Conductivity

แผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูลในการศึกษาโครงงาน



แผนที่แสดงการใช้พื้นที่ในการเกษตรกรรมและอยู่อาศัย

การวิเคราะห์ผลและการนำไปทดสอบ

จากการศึกษาสภาพแหล่งน้ำกับการทดสอบในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ นำมาวิเคราะห์ค่าจึงทราบอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน และค่าความนำชลศาสตร์ทำให้สามารถออกแบบประมาณการณ์กักเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการเกษตรและอุปโภคบริโภคตามวิธีการดังต่อไปนี้

Step by Step

1. รู้พืชที่จะปลูกว่าเป็นพืชชนิดใด - ปริมาณการใช้น้ำของพืช (D) จากตาราง 6
2. เวลาการปลูกพืช ตลอดฤดูการ (T)
3. พื้นที่เพาะปลูก (a)
4. จากผลการทดลองได้ค่า (A) และ (B)
5. หาค่า t จาก $t = \left[\frac{D}{A}\right]^{\frac{1}{B}}$
6. $I = ABt^{(B-1)}$
7. $Q = Ia$
8. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก

   $V_o = QT$
9. การสูญเสียน้ำเนื่องจากน้ำซึมลงไปในดิน

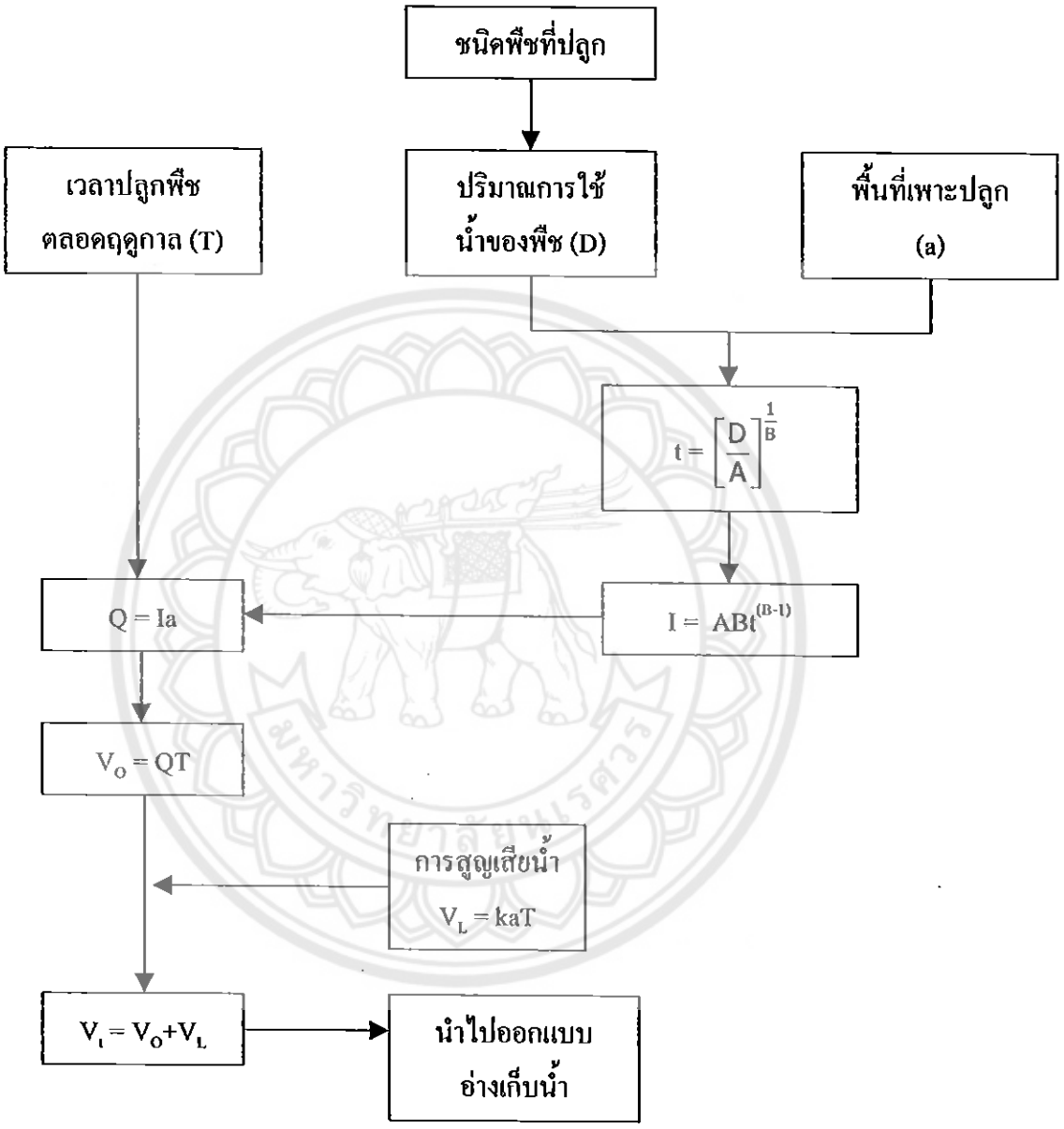
   k = ค่าความนำชลศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง

   a = พื้นที่เพาะปลูก

   $V_L = kaT$
10. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกตลอดฤดูกาล

    $V_i = V_o + V_L$
11. นำค่า V_i ไปออกแบบอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ในการปลูกพืช

แผนผังการวิเคราะห์ผลและการนำไปใช้งาน



บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จังหวัดพิจิตรตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย โดยประชากรส่วนใหญ่ในจังหวัดมีอาชีพการเกษตรกรรมเป็นหลัก น้ำจึงถือว่าเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการประกอบอาชีพดังกล่าว แต่เมื่อเข้าไปสำรวจในพื้นที่พบว่าในฤดูแล้งก็จะขาดแคลนน้ำไม่เพียงพอในการเพาะปลูก ฤดูฝนหรือฤดูที่มีน้ำมากพื้นที่เพาะปลูกจะถูกน้ำท่วมเพาะปลูกไม่ได้ จึงจำเป็นต้องมีมาตรการในการแก้ไขปัญหานี้

โครงงานศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในเขตพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเกษตรและอุปโภคบริโภคในฤดูแล้งและมีน้ำท่วมในฤดูฝน

ผลการศึกษาและดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการทดสอบจะได้อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน(Infiltration rate) ซึ่งจุดที่ทำการทดสอบมีอยู่ 12 จด แบ่งเป็น ที่ลุ่มปลูกข้าว 8 จุด ที่ดอนปลูกพืชไร่ 4 จุด โดยอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินมีค่าต่ำสุด 6.028×10^{-8} มีค่าสูงสุด 2.700×10^{-5} และค่าเฉลี่ย 3.795×10^{-6}

5.1.2 ผลจากการทดสอบจะได้ค่าความนำทางชลศาสตร์(Hydraulic conductivity, K) ทำการทดสอบข้างแหล่งน้ำ 4 จุด โดยค่าความนำทางชลศาสตร์มีค่าต่ำสุด 1.801×10^{-6} ค่าสูงสุด 4.199×10^{-5} และค่าเฉลี่ย 1.423×10^{-5}

5.1.3 จากค่าที่ได้ในการทดสอบนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน ออกแบบอ่างกักเก็บน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคและใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในบริเวณพื้นที่น้ำท่วม

5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานต่อไป

5.2.1 ในการทดสอบหาค่าอัตราการซึมในสนามควรครอบคลุมพื้นที่ทำการเพาะปลูกให้มากเพียงพอ เพื่อจะได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องมากขึ้น

5.2.2 ในการทดสอบหาค่าความนำทางชลศาสตร์ ควรมีการทำการทดสอบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน เพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

ดร.วีระพล แต้สมบัติ ,"หลักอุทกวิทยา", 2533

สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน,"เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน", 2526

Abdel-AZIZ ISMAIL KASHEF,"GROUNDWATER ENGINEERING", 1986

BRAJA M.DAS "PRINCIPLES OF ENGINEERING", 2002

U.S.DEPARTMENT OF THE INTERIOR,"EARTH MANUAL", 1980

ภาคผนวก

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 628843 E 1803081 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 8.0 cm

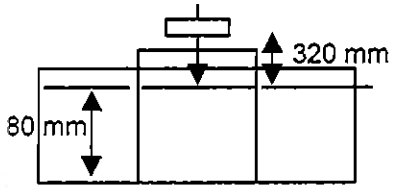
Initital Water Level 32.0 cm

Final H cm

Landuse ปลูกข้าวโพด

Soil type SC-SM, Silty clayey sand

No. of refill water 4 times

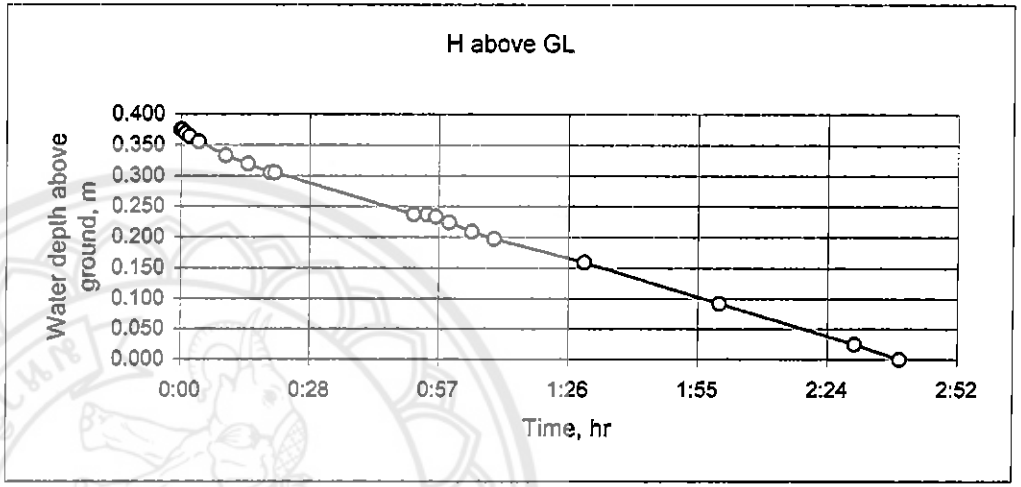


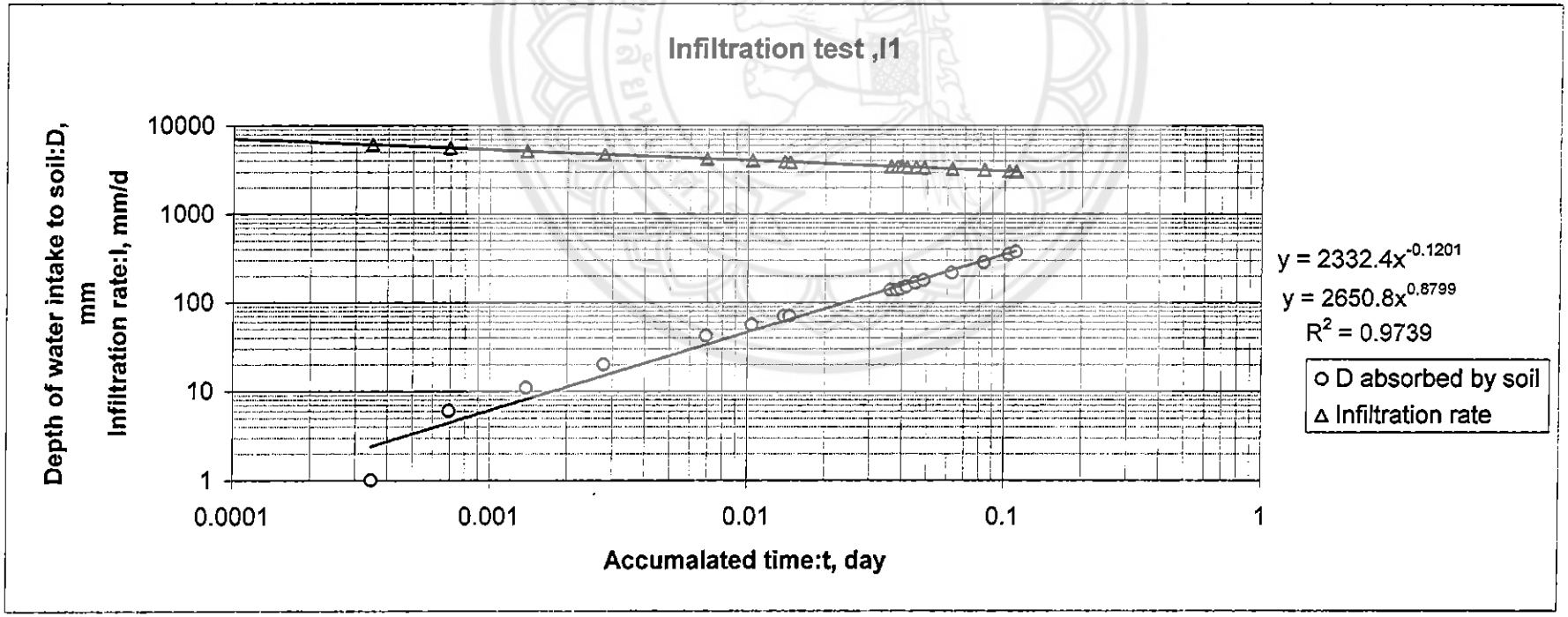
	Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
	24/11/02 12:35	0:00	0.000	32.000	0.010	0.375	9134.517	
	24/11/02 12:35	0:00	0.000	31.900	1.010	0.374	6071.323	7.02699E-05
	24/11/02 12:35	0:01	0.001	31.400	6.010	0.369	5586.369	6.4657E-05
	24/11/02 12:36	0:02	0.001	30.900	11.010	0.364	5140.151	5.94925E-05
	24/11/02 12:38	0:04	0.003	30.000	20.010	0.355	4729.576	5.47405E-05
	24/11/02 12:44	0:10	0.007	27.800	42.010	0.333	4236.719	4.90361E-05
	24/11/02 12:49	0:15	0.010	26.400	56.010	0.319	4035.349	4.67054E-05
	24/11/02 12:54	0:20	0.014	25.000	70.010	0.305	3898.306	4.51193E-05
Re-fill	24/11/02 12:55	0:21	0.015	32.200	70.010	0.305	3875.530	4.48557E-05
	24/11/02 13:26	0:52	0.036	25.400	138.010	0.237	3475.663	4.02276E-05
Re-fill	24/11/02 13:29	0:55	0.038	33.000	138.010	0.237	3452.328	3.99575E-05
	24/11/02 13:31	0:57	0.040	32.600	142.010	0.233	3437.550	3.97865E-05
	24/11/02 13:34	1:00	0.042	31.700	151.010	0.224	3416.439	3.95421E-05
	24/11/02 13:39	1:05	0.045	30.200	166.010	0.209	3383.754	3.91638E-05
	24/11/02 13:44	1:10	0.049	29.000	178.010	0.197	3353.770	3.88168E-05
	24/11/02 14:04	1:30	0.063	25.200	216.010	0.159	3254.057	3.76627E-05
Re-fill	24/11/02 14:04	1:30	0.063	32.200	216.010	0.159	3254.057	3.76627E-05
	24/11/02 14:34	2:00	0.083	25.500	283.010	0.092	3143.547	3.63836E-05
Re-fill	24/11/02 14:34	2:00	0.083	35.000	283.010	0.092	3143.547	3.63836E-05
	24/11/02 15:04	2:30	0.104	28.300	350.010	0.025	3060.420	3.54215E-05
	24/11/02 15:14	2:40	0.111	25.800	375.010	0.000	3036.790	3.5148E-05
						day=1	2332.439	2.69958E-05

From Graph: D vs t y = 2650.8x0.8799

2650.8 =A
0.8799 =B
2332.43892 =AxB
-0.1201 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

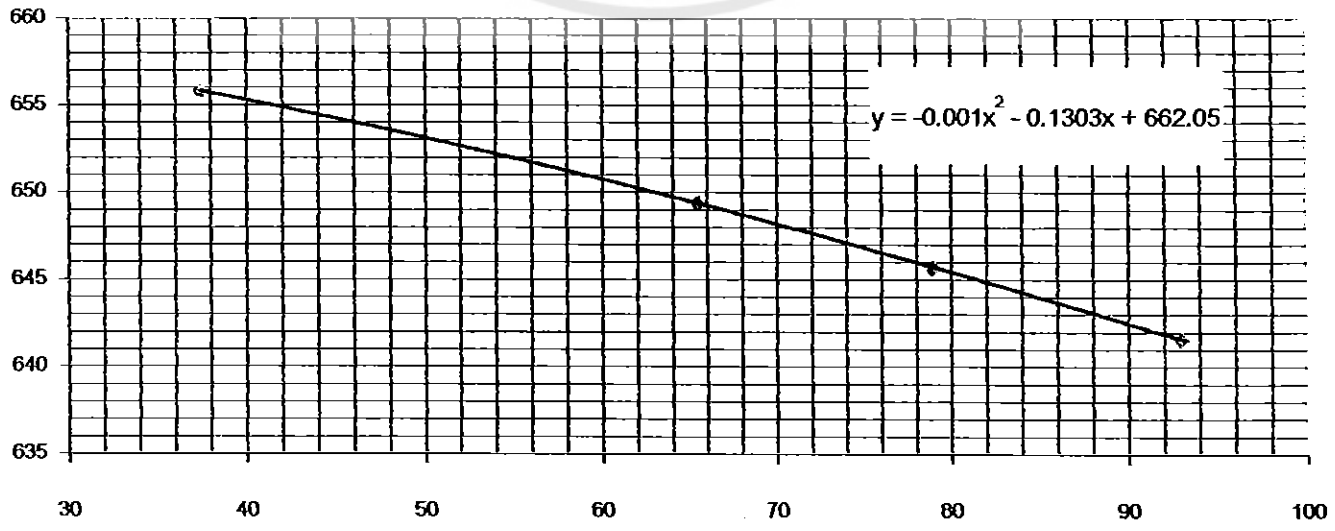
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 623023E,1804699N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION					FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3		1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	85.0	68.0	54.0		37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	721.5	725.4	728.8		655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	643.7	648.6	652.1					
4.CONTAINER NO.	-	-	-					
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	462.5	462.5	462.5					
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	338.9	338.9	338.9					
7.DRY SOIL, w_s (gm)	123.6	123.6	123.6					
8.SP. GR. OF WATER	0.9686	0.9789	0.9862					
9.SP. GR. OF SOIL	2.61	2.59	2.60					
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.60							



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SC - SM. Silty clayey sand

Co-ordinate : 623023E,1804699N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.60 a = 1.010

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, $W_S(g)$ = 63.7

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. °C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 47.15	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	10:43	0.25	28 / 2.50	46.00	45.50	34.02	47.00	8.60	34.40000	0.01260	0.07390
	10:43	0.50	"	44.00	43.50	32.52	45.00	8.90	17.80000	0.01260	0.05316
	10:44	1	"	43.00	42.50	31.77	44.00	9.10	9.10000	0.01260	0.03801
	10:45	2	"	41.00	40.50	30.28	42.00	9.40	4.70000	0.01260	0.02732
	10:47	4	"	37.00	36.50	27.29	38.00	10.10	2.52500	0.01260	0.02002
	10:51	8	"	35.00	34.50	25.79	36.00	10.40	1.30000	0.01260	0.01437
	10:58	15	"	31.00	30.50	22.80	32.00	11.10	0.74000	0.01260	0.01084
	11:13	30	"	29.00	28.50	21.31	30.00	11.40	0.38000	0.01260	0.00777
	11:43	60	"	26.50	26.00	19.44	27.50	11.80	0.19667	0.01260	0.00559
	12:43	120	"	23.50	23.00	17.19	24.50	12.30	0.10250	0.01260	0.00403
	14:43	240	29 / 3.05	21.50	21.55	16.11	22.50	12.60	0.05250	0.01250	0.00286
8/2/46	18:43	480	"	20.00	20.05	14.99	21.00	12.90	0.02688	0.01250	0.00205
9/2/46	8:36	1,313	28 / 2.50	18.00	17.50	13.08	19.00	13.20	0.01005	0.01260	0.00126

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

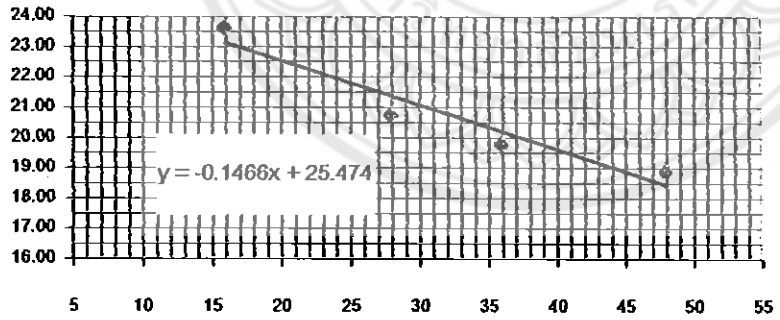
Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 623023E,1804699N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	16	28	36	48		
CAN NO.	B7	A1	B2	C5		
WET SOIL + CAN, gm.	21.744	20.490	21.342	21.737		
DRY SOIL + CAN, gm.	20.435	19.477	20.211	20.634		
WT. OF CAN, gm.	14.90	14.60	14.50	14.80		
WT. OF WATER, gm.	1.31	1.01	1.13	1.10		
WT. OF DRY SOIL, gm.	5.54	4.88	5.71	5.83		
% WATER CONTENT	23.65	20.77	19.80	18.91		



LIQUID LIMIT = 21.81

PLASTIC LIMIT = 15.94

P.I. = 5.87

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A3					
WET SOIL + CAN, gm.	16.748					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.439					
WT. OF CAN, gm.	14.50					
WT. OF WATER, gm.	0.31					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.94					
% WATER CONTENT	15.94					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 624298 E 1804414 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 22.5 cm

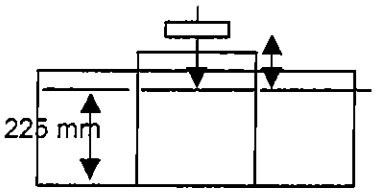
Initital Water Level 39.0 cm

Final H cm

Landuse ปลูกข้อย

Soil type CL, Sandy lean clay

No. of refill water 1 times

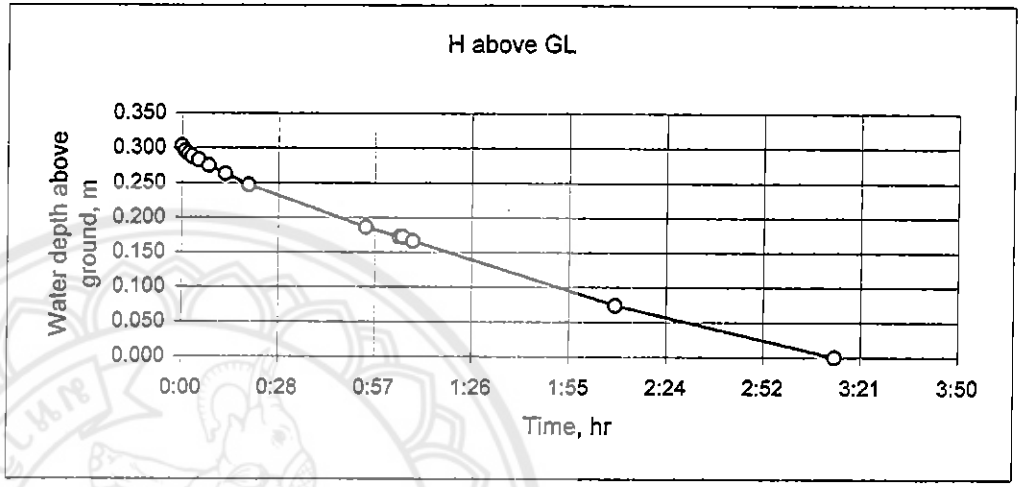


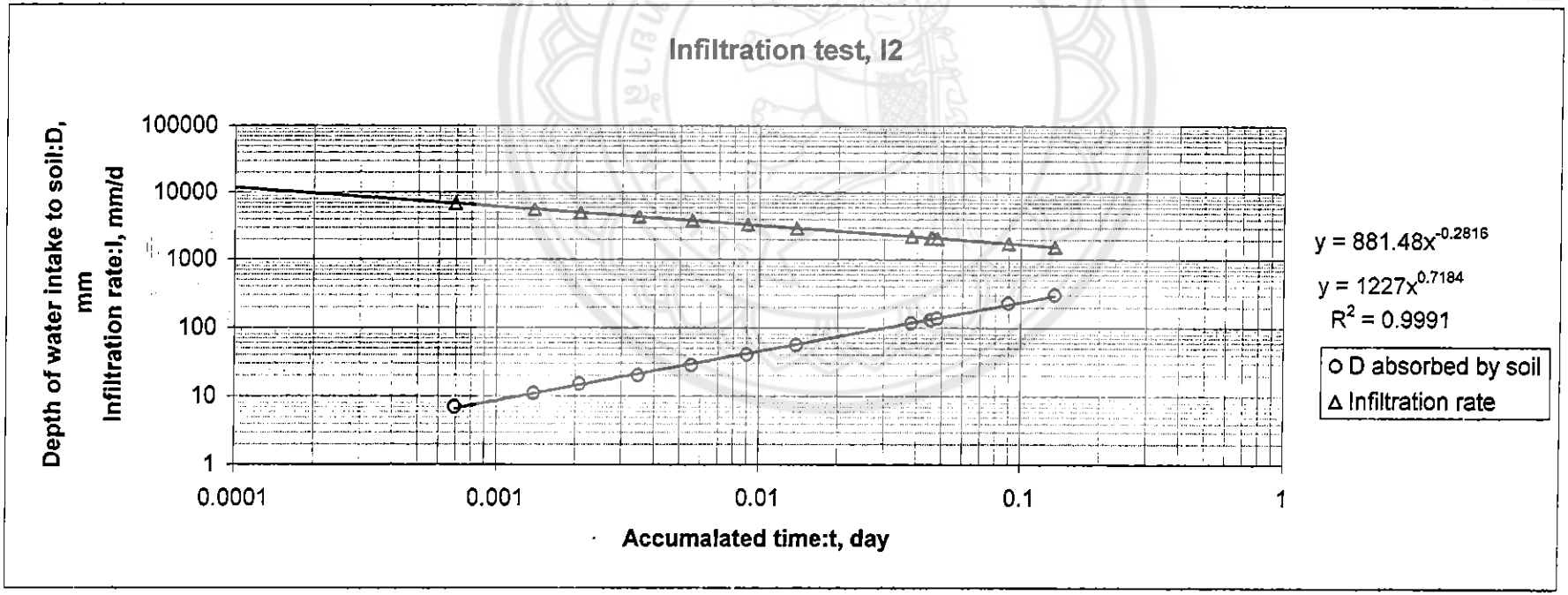
	Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
	11/12/02 10:06	0:00	0.000	39.000	0.010	0.303	21643.782	
	11/12/02 10:06	0:01	0.001	38.300	7.010	0.296	6832.911	7.90846E-05
	11/12/02 10:07	0:02	0.001	37.900	11.010	0.292	5621.286	6.50612E-05
	11/12/02 10:08	0:03	0.002	37.500	15.010	0.288	5014.740	5.8041E-05
	11/12/02 10:10	0:05	0.003	37.000	20.010	0.283	4342.860	5.02646E-05
	11/12/02 10:13	0:08	0.006	36.200	28.010	0.275	3804.483	4.40334E-05
	11/12/02 10:18	0:13	0.009	35.000	40.010	0.263	3318.328	3.84066E-05
	11/12/02 10:25	0:20	0.014	33.400	56.010	0.247	2939.245	3.4019E-05
	11/12/02 11:00	0:55	0.038	27.300	117.010	0.186	2210.648	2.55862E-05
	11/12/02 11:10	1:05	0.045	25.900	131.010	0.172	2109.062	2.44104E-05
Re-fill	11/12/02 11:11	1:06	0.046	38.800	131.010	0.172	2100.014	2.43057E-05
	11/12/02 11:14	1:09	0.048	38.200	137.010	0.166	2073.891	2.40034E-05
	11/12/02 12:14	2:09	0.090	29.000	229.010	0.074	1738.856	2.01257E-05
	11/12/02 13:19	3:14	0.135	21.600	303.010	0.000	1550.104	1.7941E-05
						day=1	881.477	1.02023E-05

From Graph: D vs t y = 1227x0.7184

1227 =A
0.7184 =B
881.4768 =AxB
-0.2816 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

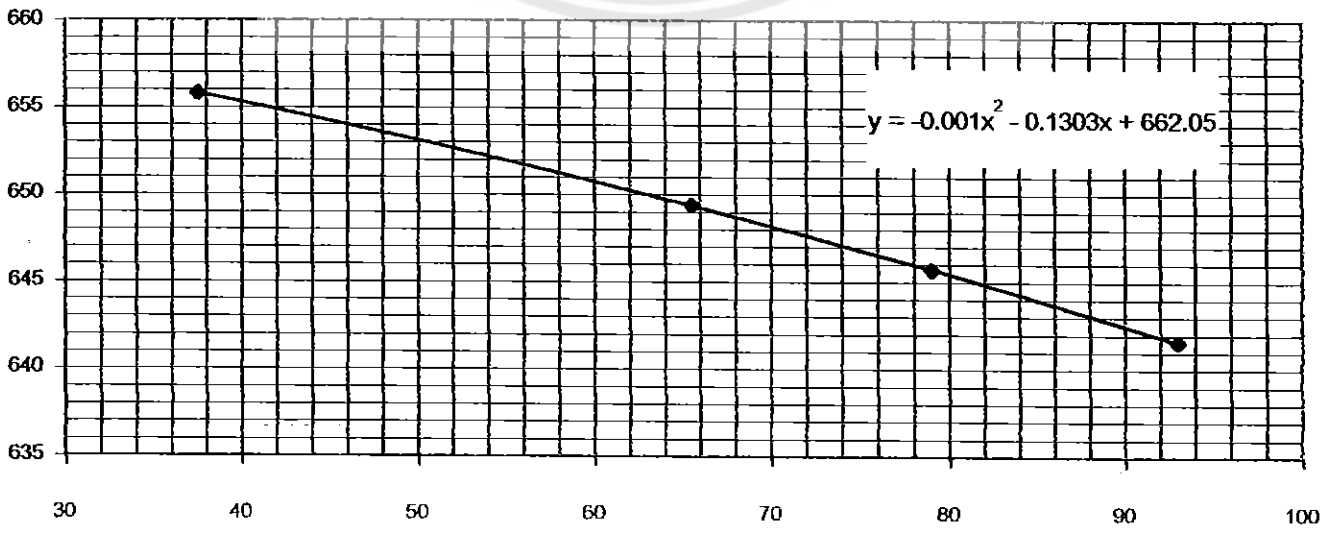
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION					FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3		1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	85.0	71.0	59.0		37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	719.1	722.7	725.5		655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	643.7	647.8	650.9					
4.CONTAINER NO.	-	-	-					
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	477.8	477.8	477.8					
6.WL OF CONTAINER, w_5 (gm)	358.5	358.5	358.5					
7.DRY SOIL, w_s (gm)	119.3	119.3	119.3					
8.SP. GR. OF WATER	0.9686	0.9772	0.9838					
9.SP. GR. OF SOIL	2.63	2.63	2.63					
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.63							



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำเอง

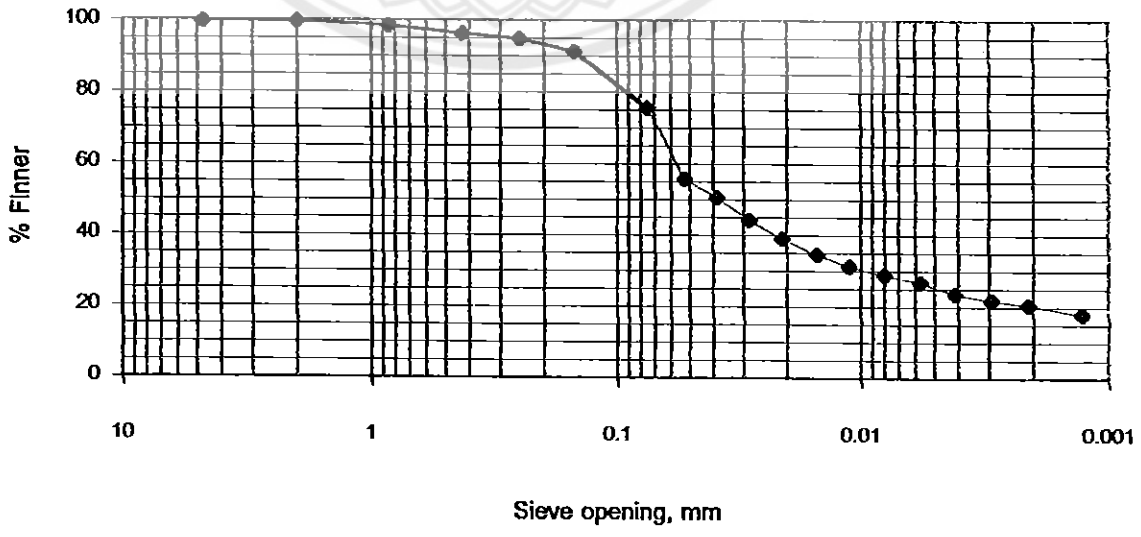
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.70	0.70	0.28	0.28	99.72
10	2.00	429.50	429.90	0.40	0.16	0.44	99.56
20	0.85	390.10	392.90	2.80	1.12	1.56	98.44
40	0.43	399.70	405.00	5.30	2.12	3.69	96.31
60	0.25	326.50	330.10	3.60	1.44	5.13	94.87
100	0.15	319.30	328.40	9.10	3.65	8.77	91.23
200	0.08	305.20	344.30	39.10	15.67	24.44	75.56
PAN	-	282.70	471.30	188.60	75.56	100.00	-
			Total	249.60	100.00	Error,(gm)	0.40



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.63 a = 1.004

DISPERSING AGENT. AMOUNT. WT.OF SOIL, $W_S(g)$ = 59.3

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^0C T / C_t	Actual Hy Reading Ra	CORR.Hy Reading Rc	% Finer Rc(a) / W	Hy.CORR Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	10:26	0.25	28 / 2.50	47.00	46.50	59.49	48.00	8.40	33.60000	0.01248	0.07234
	10:26	0.50	"	44.00	43.50	55.65	45.00	8.90	17.80000	0.01248	0.05265
	10:27	1	"	40.00	39.50	50.53	41.00	9.60	9.60000	0.01248	0.03867
	10:28	2	"	35.00	34.50	44.14	36.00	10.40	5.20000	0.01248	0.02846
	10:30	4	"	31.00	30.50	39.02	32.00	11.10	2.77500	0.01248	0.02079
	10:34	8	"	27.50	27.00	34.54	28.50	11.60	1.45000	0.01248	0.01503
	10:41	15	"	25.00	24.50	31.34	26.00	12.00	0.80000	0.01248	0.01116
	10:56	30	"	23.00	22.50	28.78	24.00	12.40	0.41333	0.01248	0.00802
	11:26	60	"	21.50	21.00	26.87	22.50	12.60	0.21000	0.01248	0.00572
	12:26	120	"	19.00	18.50	23.67	20.00	13.00	0.10833	0.01248	0.00411
	14:26	240	29 / 3.05	17.00	17.05	21.81	18.00	13.30	0.05542	0.01238	0.00291
8/2/46	18:26	480	"	16.00	16.05	20.53	17.00	13.50	0.02813	0.01238	0.00208
9/2/46	8:34	1,328	28 / 2.50	14.50	14.00	17.91	15.50	13.75	0.01035	0.01248	0.00127

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

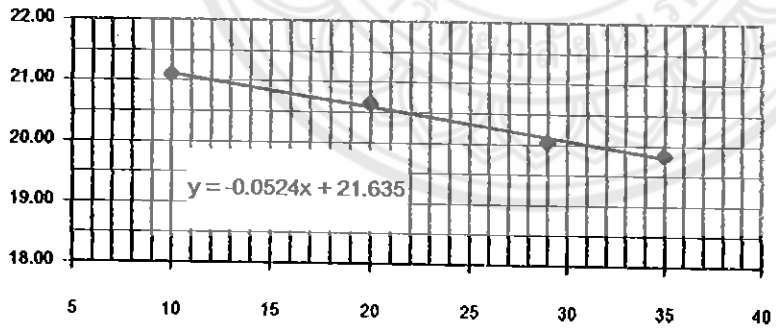
Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	10	20	29	35		
CAN NO.	D4	C4	A1	A7		
WET SOIL + CAN, gm.	23.478	24.552	23.149	23.517		
DRY SOIL + CAN, gm.	21.949	23.020	21.722	22.008		
WT. OF CAN, gm.	14.70	15.60	14.60	14.40		
WT. OF WATER, gm.	1.53	1.53	1.43	1.51		
WT. OF DRY SOIL, gm.	7.25	7.42	7.12	7.61		
% WATER CONTENT	21.09	20.65	20.04	19.83		



LIQUID LIMIT = 20.33

PLASTIC LIMIT = 12.69

P.I. = 7.64

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A6					
WET SOIL + CAN, gm.	16.317					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.180					
WT. OF CAN, gm.	15.10					
WT. OF WATER, gm.	0.14					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.08					
% WATER CONTENT	12.69					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 625576 E 1800950 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 22.3 cm

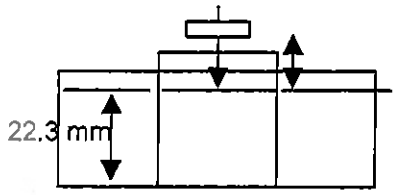
Initital Water Level 24.7 cm

Final H cm

Landuse นาข้าว

Soil type ML, Sandy silt

No. of refill water - times

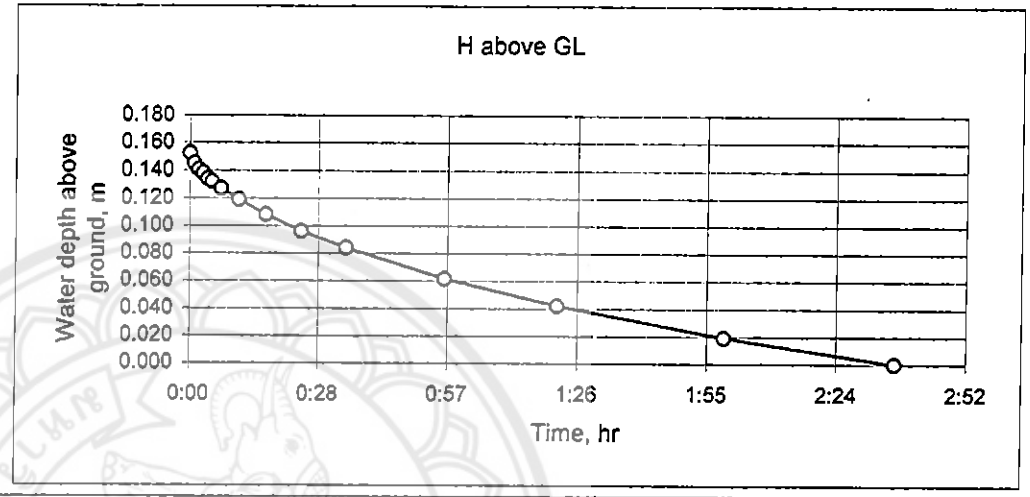


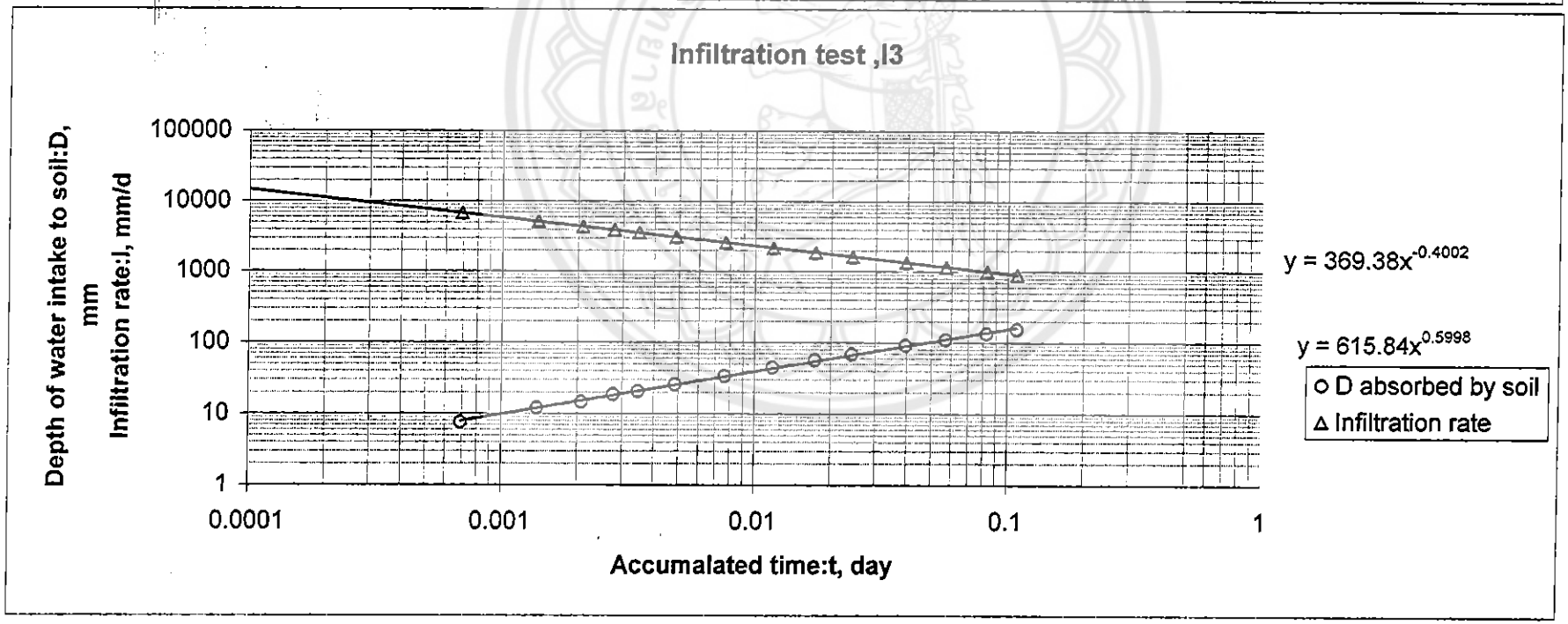
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
13/12/02 14:26	0:00	0.000	24.650	0.010	0.153	34919.431	
13/12/02 14:26	0:01	0.001	23.900	7.510	0.145	6783.456	7.85122E-05
13/12/02 14:27	0:02	0.001	23.450	12.010	0.141	5140.186	5.94929E-05
13/12/02 14:28	0:03	0.002	23.200	14.510	0.138	4370.258	5.05817E-05
13/12/02 14:29	0:04	0.003	22.800	18.510	0.134	3894.992	4.50809E-05
13/12/02 14:30	0:05	0.003	22.600	20.510	0.132	3562.240	4.12296E-05
13/12/02 14:32	0:07	0.005	22.100	25.510	0.127	3113.456	3.60354E-05
13/12/02 14:36	0:11	0.008	21.300	33.510	0.119	2598.278	3.00727E-05
13/12/02 14:42	0:17	0.012	20.200	44.510	0.108	2182.857	2.52646E-05
13/12/02 14:50	0:25	0.017	19.000	56.510	0.096	1870.662	2.16512E-05
13/12/02 15:00	0:35	0.024	17.800	68.510	0.084	1634.990	1.89235E-05
13/12/02 15:22	0:57	0.040	15.550	91.010	0.062	1345.086	1.55681E-05
13/12/02 15:47	1:22	0.057	13.600	110.510	0.042	1162.901	1.34595E-05
13/12/02 16:24	1:59	0.083	11.300	133.510	0.019	1001.883	1.15959E-05
13/12/02 17:02	2:37	0.109	9.400	152.510	0.000	896.710	1.03786E-05
					day=1	369.381	4.27524E-06

From Graph: D vs t y = 615.84x0.5998

615.84 =A
0.5998 =B
369.380832 =AxB
-0.4002 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำเยง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

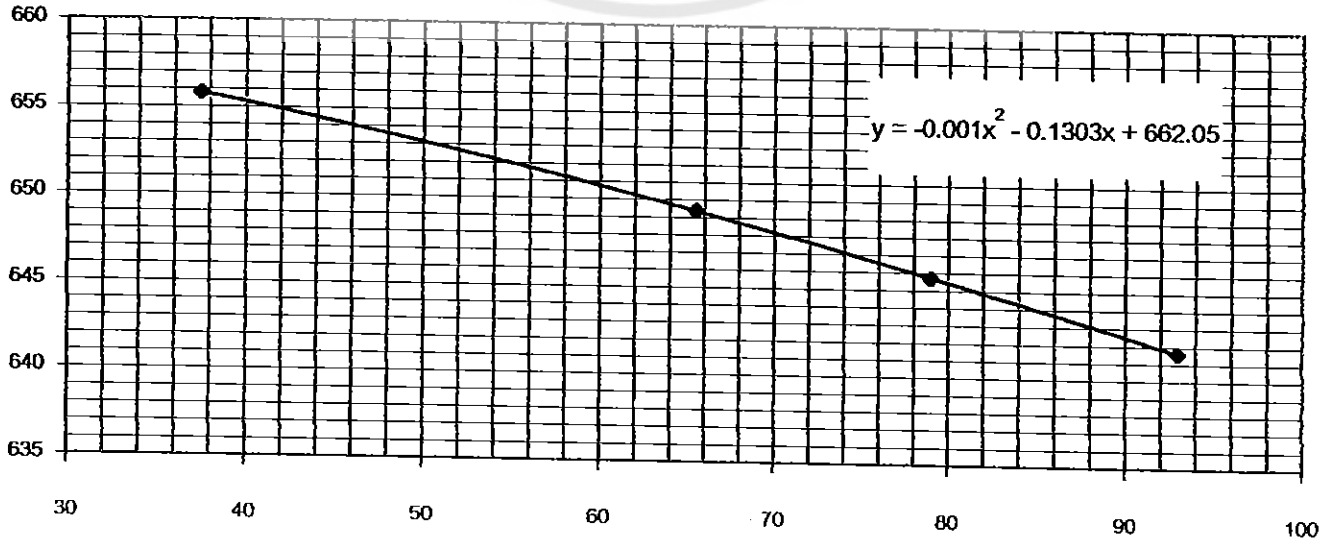
Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	56.0	45.0	36.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	717.3	719.6	721.7	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	651.6	654.2	656.1	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	418.2	418.2	418.2	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	313.4	313.4	313.4	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	104.8	104.8	104.8	
8.SP. GR. OF WATER	0.9852	0.9902	0.9937	
9.SP. GR. OF SOIL	2.64	2.64	2.66	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL		2.65		

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

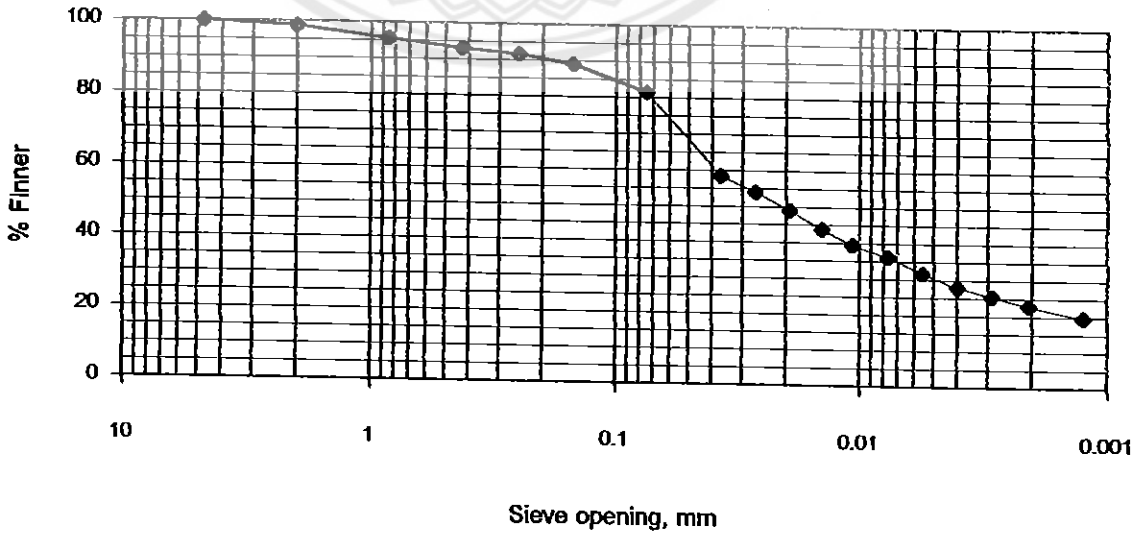
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.00	-	-	-	100.00
10	2.00	429.50	432.80	3.30	1.32	1.32	98.68
20	0.85	390.10	398.00	7.90	3.16	4.48	95.52
40	0.43	399.70	406.00	6.30	2.52	7.01	92.99
60	0.25	326.50	330.20	3.70	1.48	8.49	91.51
100	0.15	319.30	325.70	6.40	2.56	11.05	88.95
200	0.08	305.20	324.10	18.90	7.57	18.61	81.39
PAN	-	282.70	486.00	203.30	81.39	100.00	-
			Total	249.80	100.00	Error,(gm)	0.20



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.65 a = 1.000

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 64.2

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 81.39	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	10:05	0.25	28 / 2.50	52.00	51.50	65.29	53.00	7.60	30.40000	0.01240	0.06837
	10:05	0.50	"	49.00	48.50	61.49	50.00	8.10	16.20000	0.01240	0.04991
	10:06	1	"	46.50	46.00	58.32	47.50	8.70	8.70000	0.01240	0.03657
	10:07	2	"	43.00	42.50	53.88	44.00	9.10	4.55000	0.01240	0.02645
	10:09	4	"	39.00	38.50	48.81	40.00	9.70	2.42500	0.01240	0.01931
	10:13	8	"	35.00	34.50	43.74	36.00	10.40	1.30000	0.01240	0.01414
	10:20	15	"	31.50	31.00	39.30	32.50	11.00	0.73333	0.01240	0.01062
	10:35	30	"	29.00	28.50	36.13	30.00	11.40	0.38000	0.01240	0.00764
	11:05	60	"	25.50	25.00	31.69	26.50	11.95	0.19917	0.01240	0.00553
	12:05	120	"	22.50	22.00	27.89	23.50	12.45	0.10375	0.01240	0.00399
	14:05	240	29 / 3.05	20.00	20.05	25.42	21.00	12.90	0.05375	0.01230	0.00287
8/2/46	18:05	480	"	18.00	18.05	22.88	19.00	13.20	0.02750	0.01230	0.00204
9/2/46	8:31	1,346	28 / 2.50	16.00	15.50	19.65	17.00	13.50	0.01003	0.01240	0.00124

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

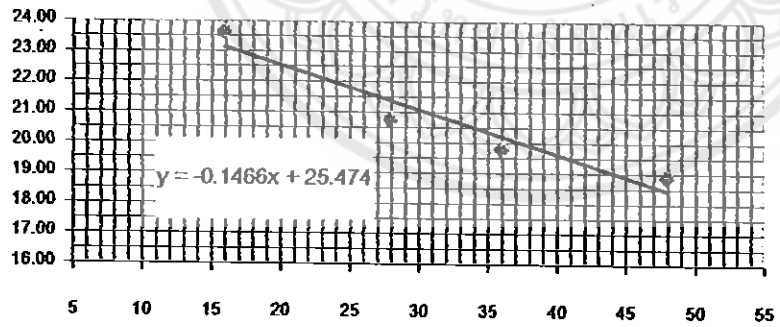
Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 624298E, 1804414N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	16	28	36	48		
CAN NO.	B7	A1	B2	C5		
WET SOIL + CAN, gm.	21.744	20.490	21.342	21.737		
DRY SOIL + CAN, gm.	20.435	19.477	20.211	20.634		
WT. OF CAN, gm.	14.90	14.60	14.50	14.80		
WT. OF WATER, gm.	1.31	1.01	1.13	1.10		
WT. OF DRY SOIL, gm.	5.54	4.88	5.71	5.83		
% WATER CONTENT	23.65	20.77	19.80	18.91		



LIQUID LIMIT = 21.81

PLASTIC LIMIT = 15.94

P.I. = 5.87

FLOW INDEX =

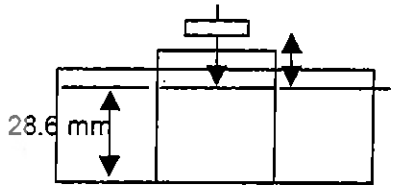
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A3					
WET SOIL + CAN, gm.	16.748					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.439					
WT. OF CAN, gm.	14.50					
WT. OF WATER, gm.	0.31					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.94					
% WATER CONTENT	15.94					

Field Infiltration Test

Location of Project: อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination	626665 E	1802980 N	
Elev top		cm	
Elev bottom		cm	
Height	28.6	cm	
Initital Water Level	29.3	cm	
Final H		cm	
Landuse	ปลูกอ้อย		
Soil type	SM-Silty sand		
No. of refill water	-	times	

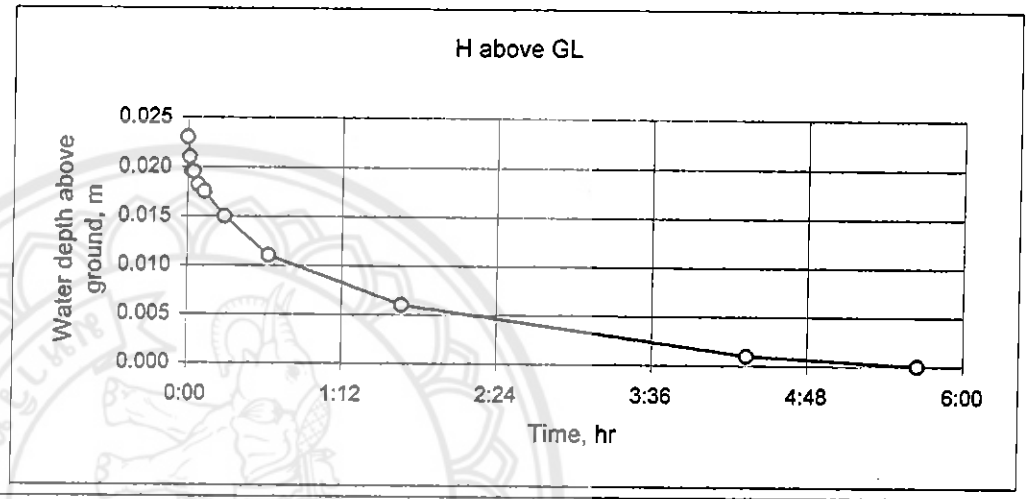


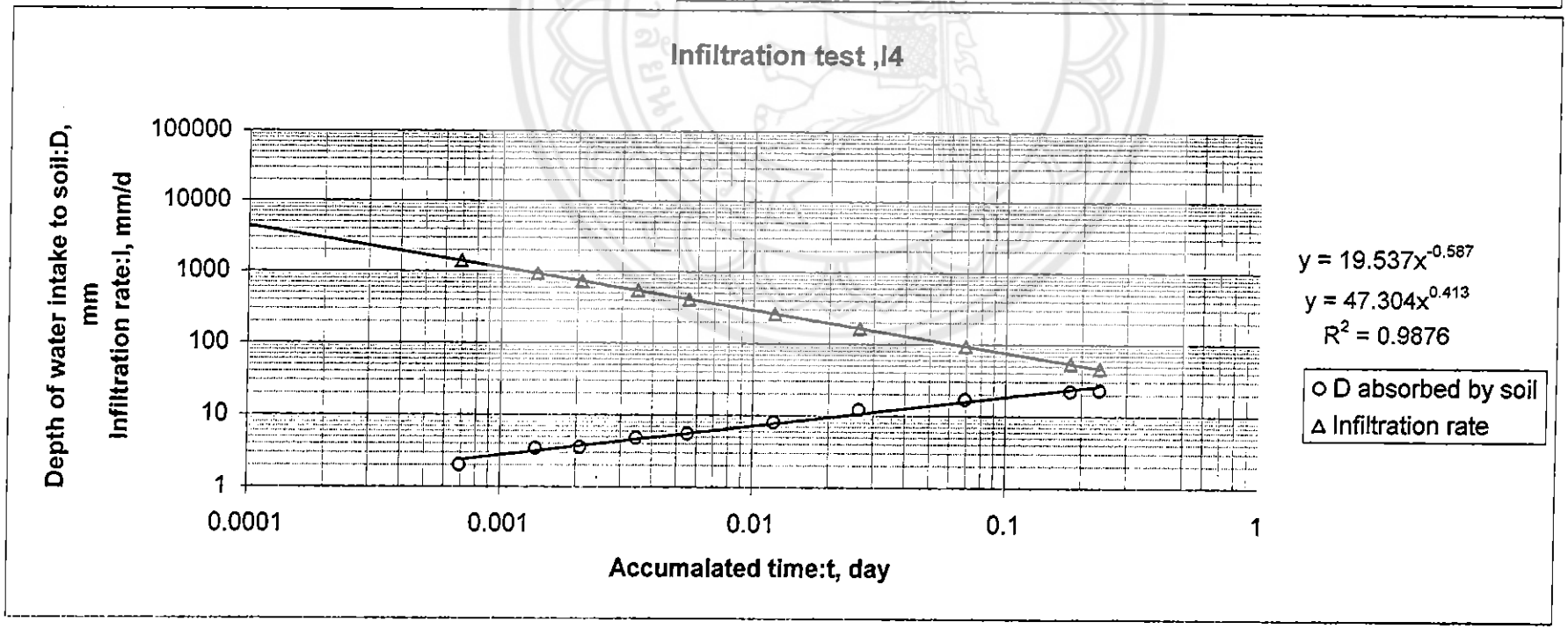
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
13/12/02 11:44	0:00	0.000	29.300	0.010	0.023	15437.660	
13/12/02 11:44	0:01	0.001	29.100	2.010	0.021	1395.747	1.61545E-05
13/12/02 11:45	0:02	0.001	28.960	3.410	0.020	929.185	1.07545E-05
13/12/02 11:46	0:03	0.002	28.950	3.510	0.020	732.380	8.47662E-06
13/12/02 11:48	0:05	0.003	28.820	4.810	0.018	542.639	6.28055E-06
13/12/02 11:51	0:08	0.006	28.750	5.510	0.018	411.806	4.76628E-06
13/12/02 12:01	0:17	0.012	28.500	8.010	0.015	260.102	3.01044E-06
13/12/02 12:21	0:38	0.026	28.100	12.010	0.011	164.996	1.90968E-06
13/12/02 13:23	1:40	0.069	27.600	17.010	0.006	93.499	1.08216E-06
13/12/02 16:03	4:20	0.181	27.100	22.010	0.001	53.360	6.17595E-07
13/12/02 17:22	5:39	0.235	27.000	23.010	0.000	45.665	5.28525E-07
					day=1	19.537	2.26118E-07

From Graph: D vs t y = 47.304x0.413

47.304 =A
0.413 =B
19.536552 =AxB
-0.587 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

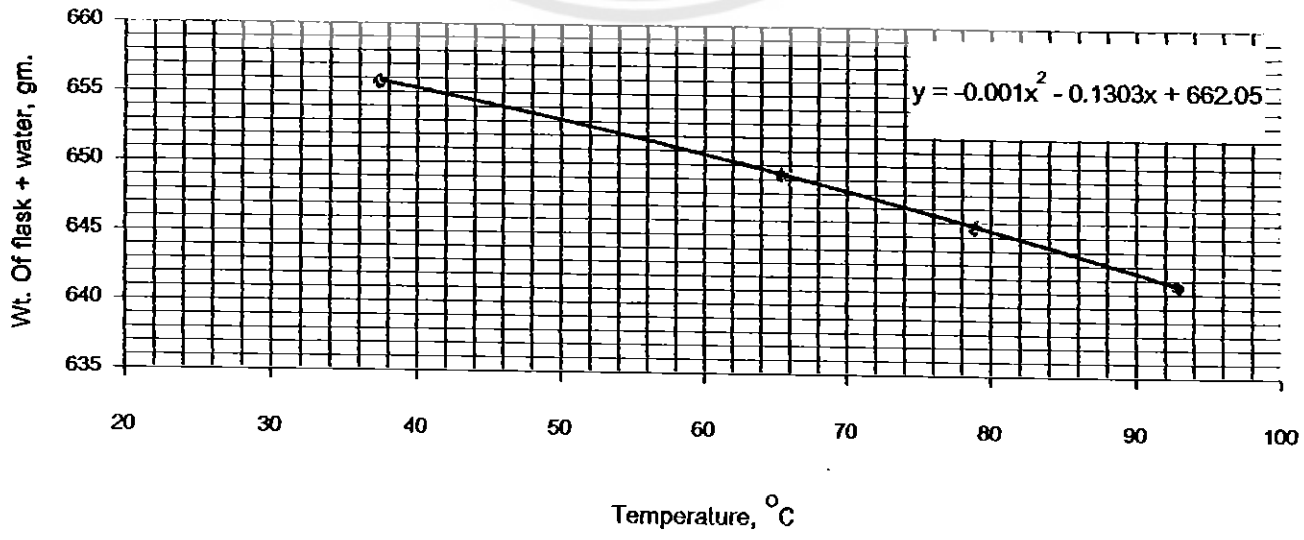
Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 626665E, 1802980N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	80.0	65.5	53.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	697.8	701.6	704.6	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	645.2	649.2	652.3	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	407.2	407.2	407.2	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	322.6	322.6	322.6	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	84.6	84.6	84.6	
8.SP. GR. OF WATER	0.9718	0.9803	0.9867	
9.SP. GR. OF SOIL	2.57	2.57	2.58	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL		2.57		

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

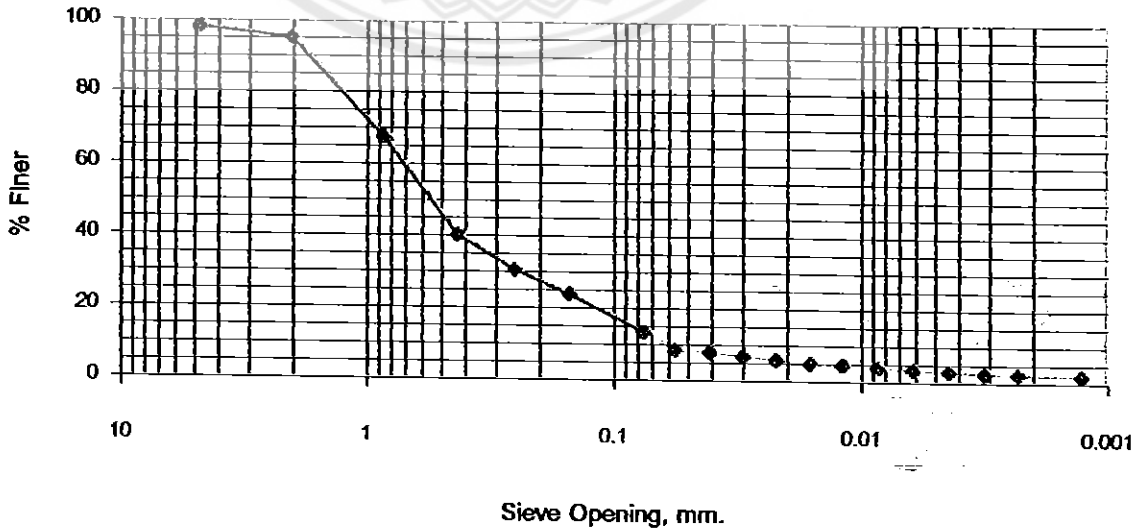
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 626665E, 1802980N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	478.90	8.90	1.78	1.78	98.22
10	2.00	429.50	443.50	14.00	2.80	4.59	95.41
20	0.85	390.40	528.20	137.80	27.60	32.19	67.81
40	0.43	399.80	536.80	137.00	27.44	59.62	40.38
60	0.25	326.50	374.40	47.90	9.59	69.22	30.78
100	0.15	319.70	353.40	33.70	6.75	75.97	24.03
200	0.08	305.30	357.70	52.40	10.49	86.46	13.54
PAN	-	282.80	350.40	67.60	13.54	100.00	-
			Total	499.30	100.00	Error,(gm)	0.70



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 626665E, 1802980N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.57 a = 1.016

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, $W_S(g)$ = 65.6

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. °C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 13.54	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
6/2/46	9:09	0.25	26 / 1.65	44.00	42.65	8.94	45.00	8.90	35.60000	0.01302	0.07768
	9:09	0.50	"	42.00	40.65	8.52	43.00	9.20	18.40000	0.01302	0.05585
	9:10	1	"	40.00	38.65	8.11	41.00	9.60	9.60000	0.01302	0.04034
	9:11	2	"	35.00	33.65	7.06	36.00	10.40	5.20000	0.01302	0.02969
	9:13	4	"	30.00	28.65	6.01	31.00	11.20	2.80000	0.01302	0.02179
	9:17	8	"	26.00	24.65	5.17	27.00	11.90	1.48750	0.01302	0.01588
	9:24	15	"	24.00	22.65	4.75	25.00	12.20	0.81333	0.01302	0.01174
	9:39	30	"	21.00	19.65	4.12	22.00	12.70	0.42333	0.01302	0.00847
	10:09	60	27 / 2.00	18.00	17.00	3.56	19.00	13.20	0.22000	0.01292	0.00606
	11:09	120	"	16.00	15.00	3.15	17.00	13.50	0.11250	0.01292	0.00433
	13:09	240	"	14.00	13.00	2.73	15.00	13.80	0.05750	0.01292	0.00310
6/2/46	16:36	447	28 / 2.50	12.50	12.00	2.52	13.50	14.10	0.03154	0.01272	0.00226
7/2/46	10:39	1,530	26 / 1.65	12.00	10.65	2.23	13.00	14.20	0.00928	0.01302	0.00125

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

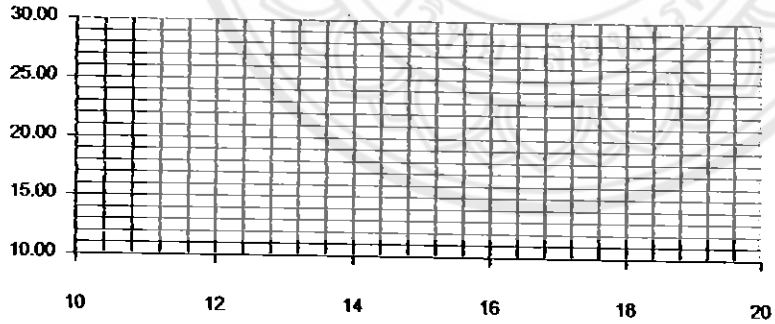
Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 626665E, 1802980N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N						
CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.			Non Plastic			
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						



LIQUID LIMIT =

PLASTIC LIMIT =

P.I. =

FLOW INDEX =

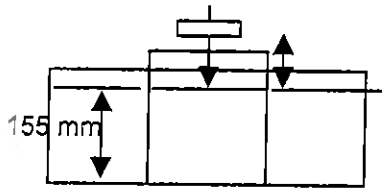
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.						
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination	626629 E	1804540 N
Elev top	cm	
Elev bottom	cm	
Height	15.5 cm	
Initital Water Level	15.5 cm	
Final H	cm	
Landuse	นาข้าว	
Soil type	ML, Sandy silt	
No. of refill water	times	

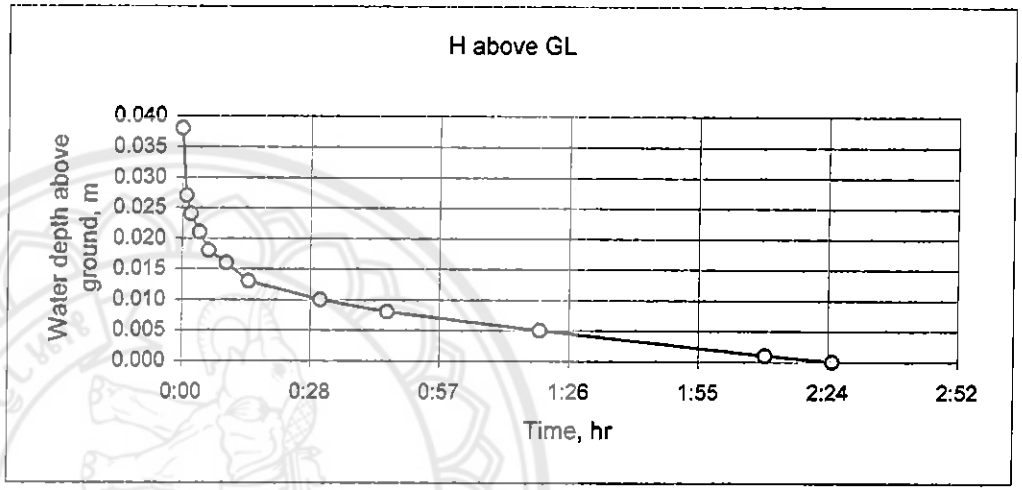


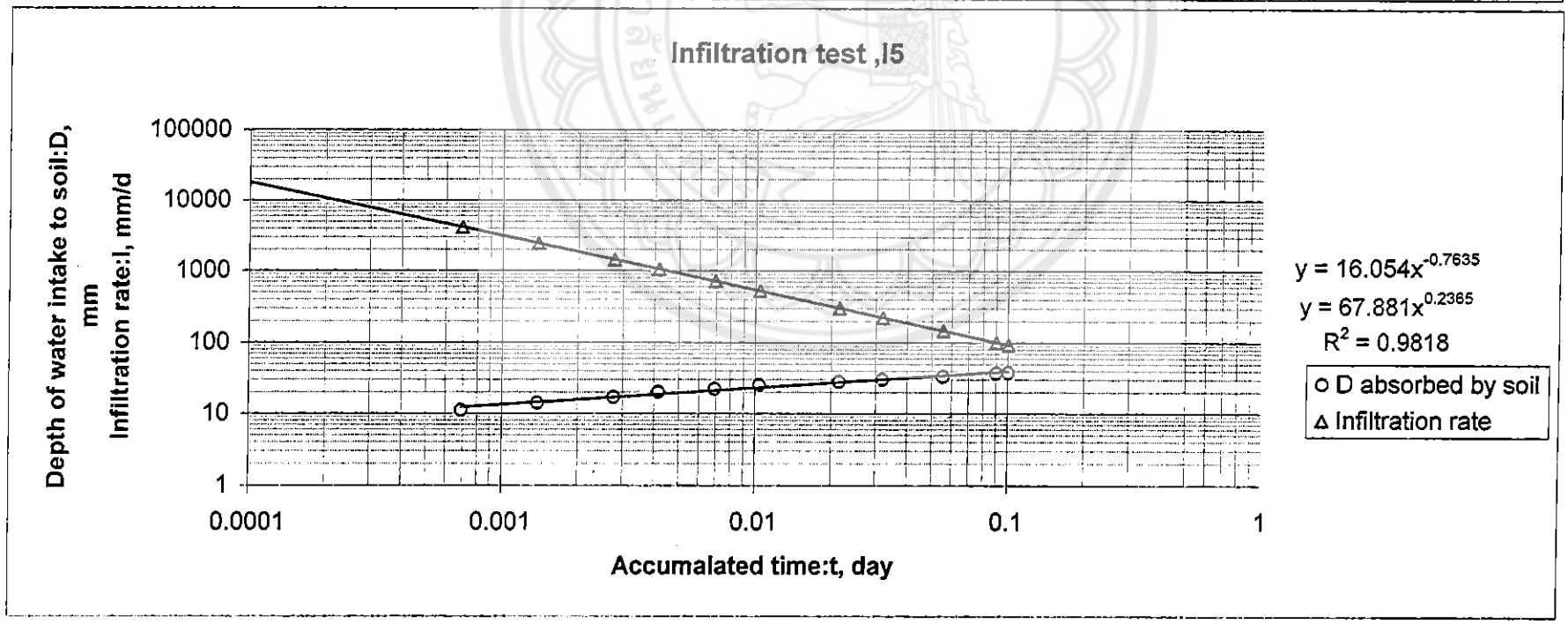
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
8/12/02 15:52	0:00	0.000	15.500	0.010	0.038	94320.831	
8/12/02 15:52	0:01	0.001	14.400	11.010	0.027	4139.893	4.79154E-05
8/12/02 15:53	0:02	0.001	14.100	14.010	0.024	2438.668	2.82253E-05
8/12/02 15:55	0:04	0.003	13.800	17.010	0.021	1436.535	1.66266E-05
8/12/02 15:57	0:06	0.004	13.500	20.010	0.018	1054.073	1.21999E-05
8/12/02 16:01	0:10	0.007	13.300	22.010	0.016	713.656	8.25991E-06
8/12/02 16:06	0:15	0.010	13.000	25.010	0.013	523.653	6.0608E-06
8/12/02 16:22	0:31	0.022	12.700	28.010	0.010	300.839	3.48194E-06
8/12/02 16:37	0:46	0.032	12.500	30.010	0.008	222.574	2.57608E-06
8/12/02 17:11	1:20	0.056	12.200	33.010	0.005	145.875	1.68836E-06
8/12/02 18:01	2:10	0.090	11.800	37.010	0.001	100.692	1.16541E-06
8/12/02 18:16	2:25	0.101	11.700	38.010	0.000	92.637	1.07219E-06
					day=1	16.054	1.85809E-07

From Graph: D vs t y = 67.881x0.2365

67.881 =A
0.2365 =B
16.0538565 =AxB
-0.7635 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

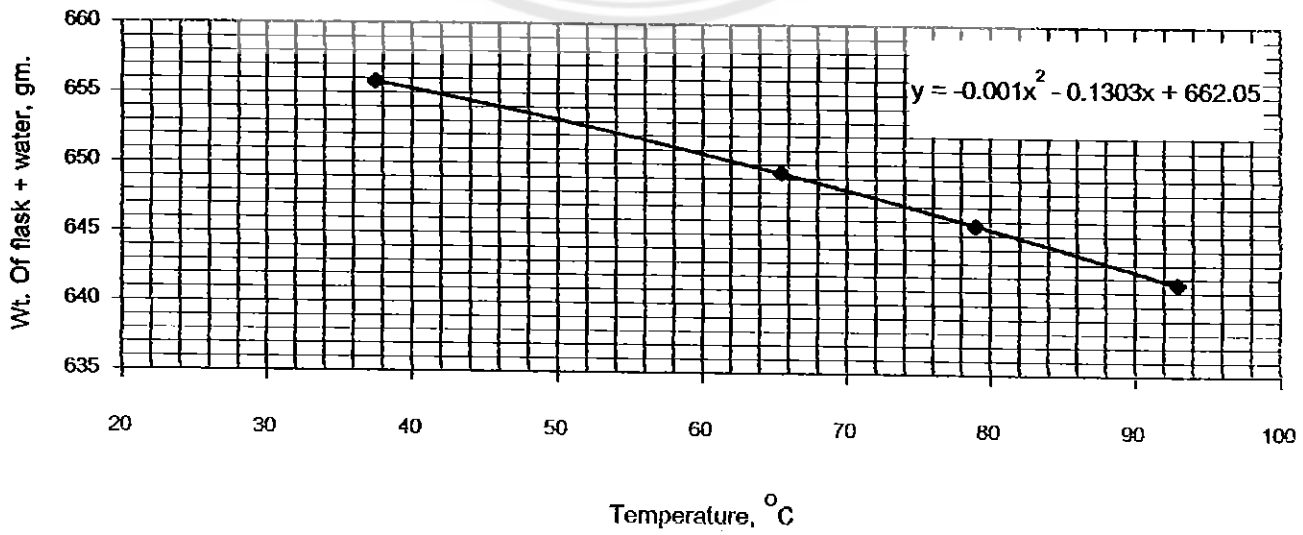
Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 626629E, 1804540N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	88.0	65.0	54.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	726.9	732.7	734.7	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	642.8	649.4	652.1	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	492.1	492.1	492.1	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	359.5	359.5	359.5	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	132.6	132.6	132.6	
8.SP. GR. OF WATER	0.9667	0.9806	0.9862	
9.SP. GR. OF SOIL	2.64	2.64	2.62	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.63			

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

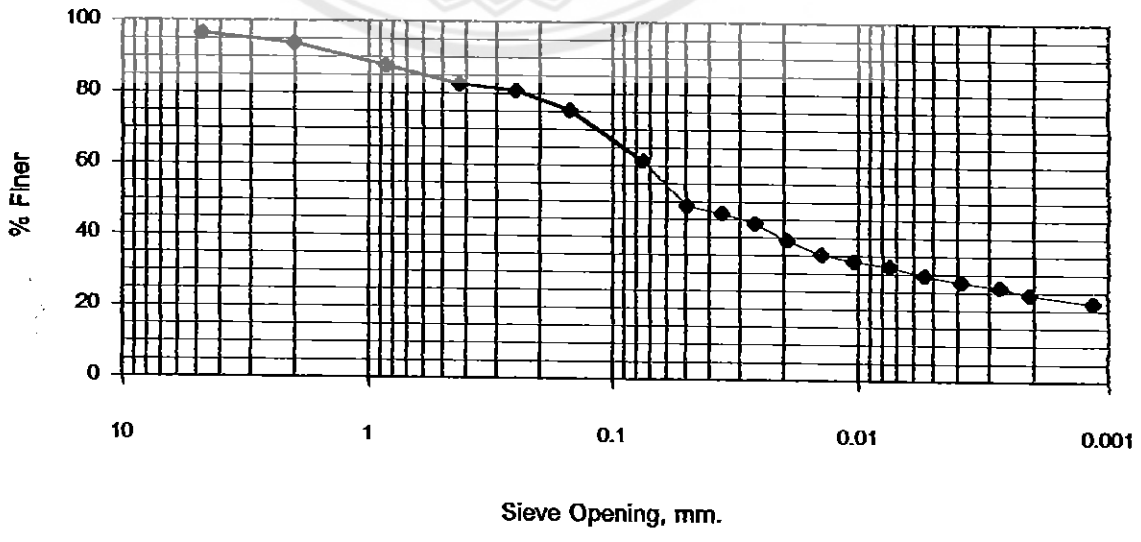
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 626629E, 1804540N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	505.20	35.20	3.52	3.52	96.48
10	2.00	429.50	457.50	28.00	2.80	6.32	93.68
20	0.85	390.40	452.30	61.90	6.19	12.52	87.48
40	0.43	399.80	449.50	49.70	4.97	17.49	82.51
60	0.25	326.50	344.40	17.90	1.79	19.28	80.72
100	0.15	319.70	374.20	54.50	5.45	24.73	75.27
200	0.08	305.30	445.60	140.30	14.04	38.77	61.23
PAN	-	282.80	894.90	612.10	61.23	100.00	-
			Total	999.60	100.00	Error,(gm)	0.40



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 626629E, 1804540N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.63 a = 1.004

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 64.4

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. °C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 61.23	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
31/1/46	9:38	0.25	27 / 2.00	54.00	53.00	50.59	55.00	7.30	29.20000	0.01268	0.06852
	9:38	0.50	"	52.00	51.00	48.68	53.00	7.60	15.20000	0.01268	0.04944
	9:39	1	"	50.00	49.00	46.77	51.00	7.90	7.90000	0.01268	0.03564
	9:40	2	"	47.00	46.00	43.91	48.00	8.40	4.20000	0.01268	0.02599
	9:42	4	"	42.00	41.00	39.14	43.00	9.20	2.30000	0.01268	0.01923
	9:46	8	"	38.00	37.00	35.32	39.00	9.90	1.23750	0.01268	0.01411
	9:53	15	"	36.00	35.00	33.41	37.00	10.20	0.68000	0.01268	0.01046
	10:08	30	"	34.50	33.50	31.98	35.50	10.45	0.34833	0.01268	0.00748
	10:38	60	"	32.00	31.00	29.59	33.00	10.90	0.18167	0.01268	0.00540
	11:38	120	"	30.00	29.00	27.68	31.00	11.20	0.09333	0.01268	0.00387
	13:38	240	28 / 2.50	28.00	27.50	26.25	29.00	11.50	0.04792	0.01248	0.00273
31/1/46	17:09	451	"	26.00	25.50	24.34	27.00	11.90	0.02639	0.01272	0.00207
1/2/46	10:34	1,496	27 / 2.00	24.00	23.00	21.96	25.00	12.20	0.00816	0.01268	0.00115

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

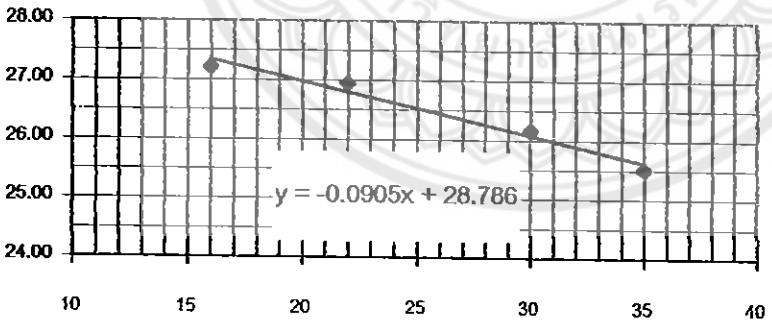
Soil Classification : ML, Sandy silt

Co-ordinate : 626629E, 1804540N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	16	22	30	35		
CAN NO.	B1	B3	B5	A8		
WET SOIL + CAN, gm.	21.200	21.600	23.000	22.700		
DRY SOIL + CAN, gm.	19.788	20.178	21.196	21.013		
WT. OF CAN, gm.	14.60	14.90	14.30	14.40		
WT. OF WATER, gm.	1.41	1.42	1.80	1.69		
WT. OF DRY SOIL, gm.	5.19	5.28	6.90	6.61		
% WATER CONTENT	27.22	26.94	26.16	25.51		



LIQUID LIMIT = 26.52

PLASTIC LIMIT = 22.55

P.I. = 3.97

FLOW INDEX =

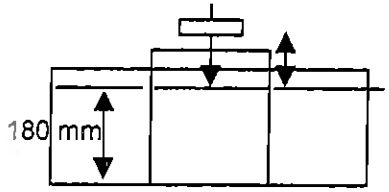
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A7					
WET SOIL + CAN, gm.	16.40					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.03					
WT. OF CAN, gm.	14.40					
WT. OF WATER, gm.	0.37					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.63					
% WATER CONTENT	22.55					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination	627702 E	1800647 N	
Elev top		cm	
Elev bottom		cm	
Height	18.0	cm	
Initital Water Level	32.6	cm	
Final H		cm	
Landuse	นาข้าว		
Soil type	SC-SM, Silty clayey sand		
No. of refill water	-	times	

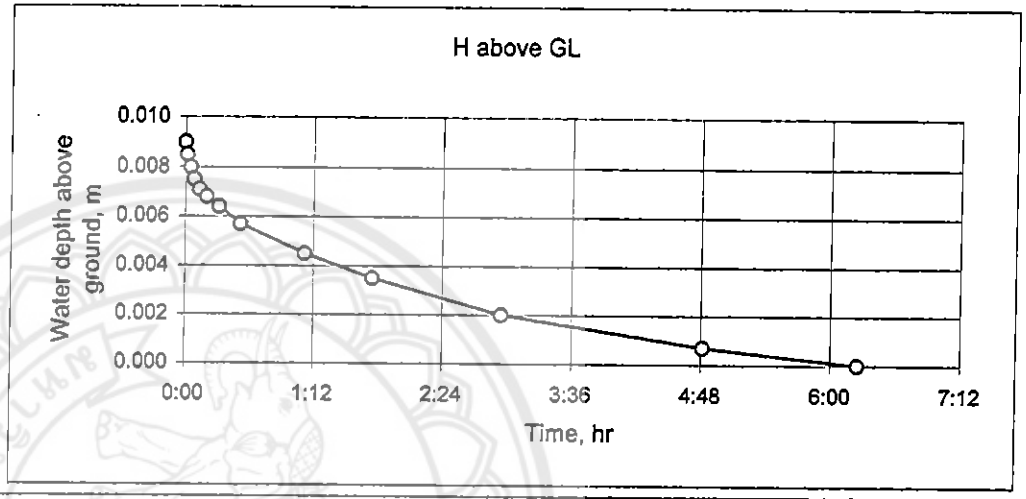


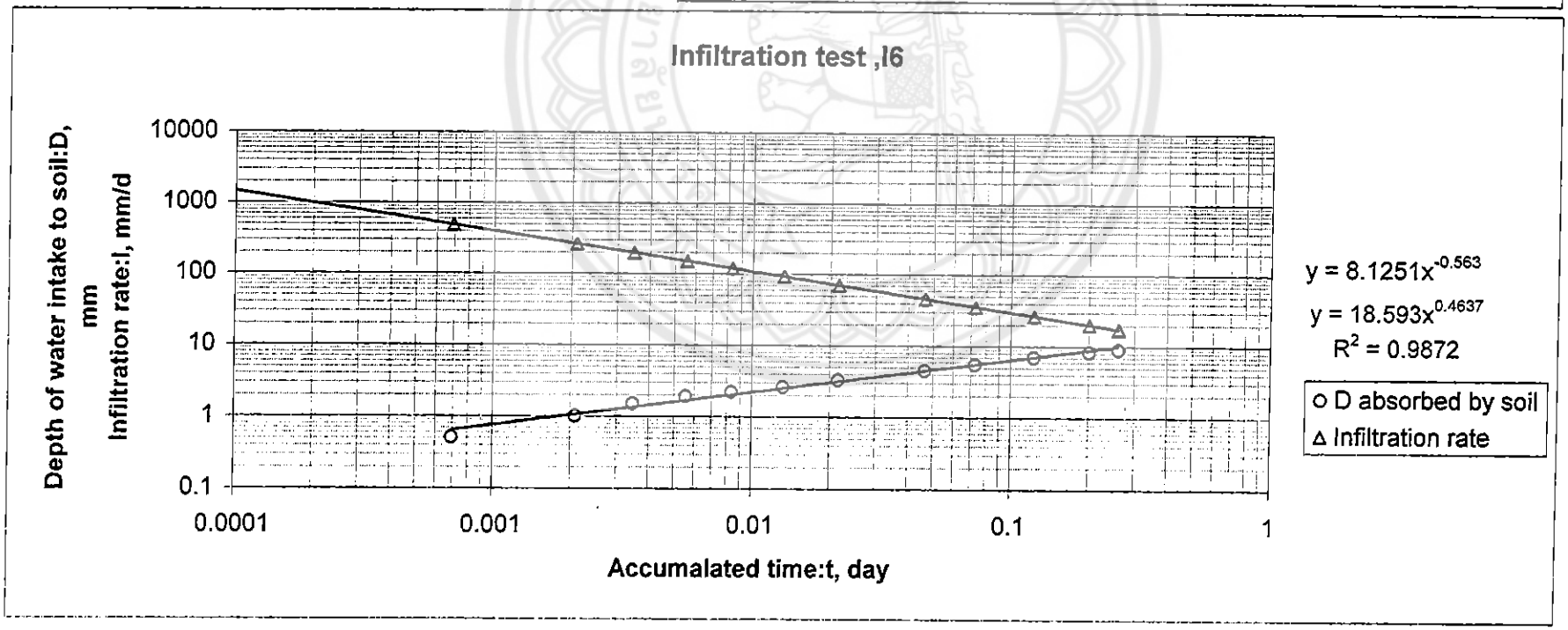
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
10/12/02 11:46	0:00	0.000	32.600	0.010	0.009	4887.515	
10/12/02 11:46	0:01	0.001	32.550	0.510	0.008	487.516	5.64255E-06
10/12/02 11:48	0:03	0.002	32.500	1.010	0.008	262.645	3.03988E-06
10/12/02 11:50	0:05	0.003	32.450	1.510	0.008	197.001	2.28011E-06
10/12/02 11:53	0:08	0.006	32.410	1.910	0.007	151.199	1.74999E-06
10/12/02 11:57	0:12	0.008	32.380	2.210	0.007	120.340	1.39282E-06
10/12/02 12:04	0:19	0.013	32.340	2.610	0.006	92.907	1.07532E-06
10/12/02 12:16	0:31	0.022	32.270	3.310	0.006	70.527	8.16279E-07
10/12/02 12:52	1:07	0.047	32.150	4.510	0.004	45.699	5.28926E-07
10/12/02 13:30	1:45	0.073	32.050	5.510	0.003	35.486	4.1072E-07
10/12/02 14:42	2:57	0.123	31.900	7.010	0.002	26.447	3.06102E-07
10/12/02 16:34	4:49	0.201	31.770	8.310	0.001	20.068	2.32268E-07
10/12/02 18:00	6:15	0.260	31.700	9.010	0.000	17.330	2.00584E-07
					day=1	8.125	9.4041E-08

From Graph: D vs t y = 18.593x0.4637

18.593 =A
0.437 =B
8.125141 =AxB
-0.563 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

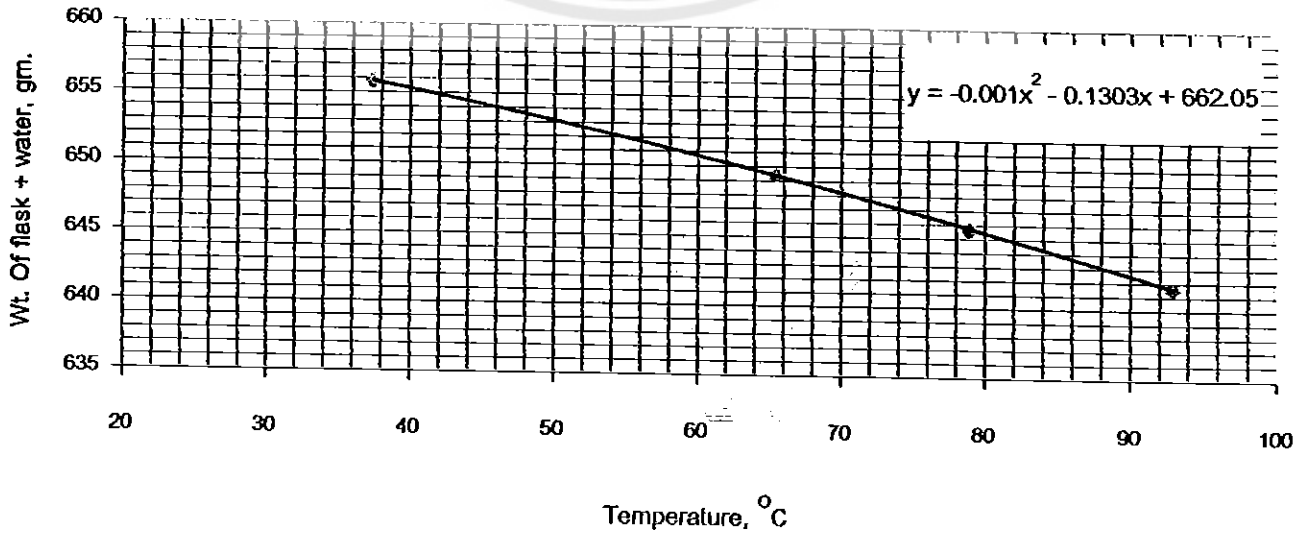
Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 627702E, 1800647N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	82.0	67.5	58.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	691.4	695.5	698.0	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	644.6	648.7	651.1	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	409.5	409.5	409.5	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	333.9	333.9	333.9	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	75.6	75.6	75.6	
8.SP. GR. OF WATER	0.9706	0.9792	0.9842	
9.SP. GR. OF SOIL	2.54	2.57	2.59	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL		2.57		

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

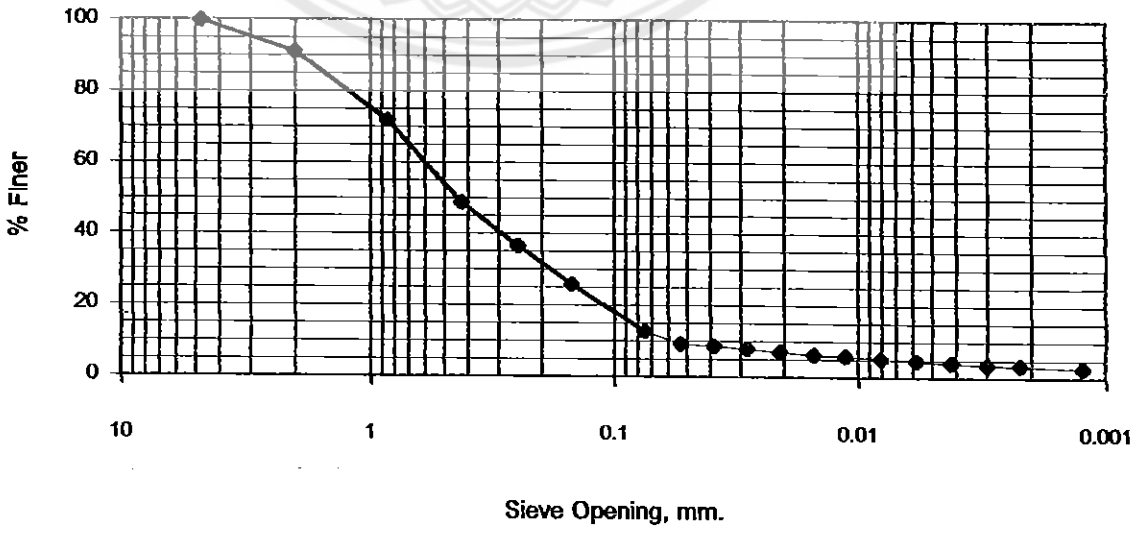
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 627702E, 1800647N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.60	0.60	0.12	0.12	99.88
10	2.00	429.50	473.30	43.80	8.77	8.89	91.11
20	0.85	390.40	487.20	96.80	19.38	28.26	71.74
40	0.43	399.80	515.50	115.70	23.16	51.42	48.58
60	0.25	326.50	386.80	60.30	12.07	63.49	36.51
100	0.15	319.70	373.50	53.80	10.77	74.26	25.74
200	0.08	305.30	370.50	65.20	13.05	87.31	12.69
PAN	-	282.80	346.20	63.40	12.69	100.00	-
			Total	499.60	100.00	Error,(gm)	0.40



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 627702E, 1800647N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.57 a = 1.016

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 65.6

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 12.69	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
6/2/46	9:19	0.25	26 / 1.65	51.00	49.65	9.76	52.00	7.80	31.20000	0.01302	0.07273
	9:19	0.50	"	48.00	46.65	9.17	49.00	8.30	16.60000	0.01302	0.05305
	9:20	1	"	45.00	43.65	8.58	46.00	8.80	8.80000	0.01302	0.03862
	9:21	2	"	41.00	39.65	7.79	42.00	9.40	4.70000	0.01302	0.02823
	9:23	4	"	37.00	35.65	7.01	38.00	10.10	2.52500	0.01302	0.02069
	9:27	8	"	33.00	31.65	6.22	34.00	10.70	1.33750	0.01302	0.01506
	9:34	15	"	31.00	29.65	5.83	32.00	11.10	0.74000	0.01302	0.01120
	9:49	30	"	28.00	26.65	5.24	29.00	11.50	0.38333	0.01302	0.00806
	10:19	60	27 / 2.00	25.00	24.00	4.72	26.00	12.00	0.20000	0.01292	0.00578
	11:19	120	"	22.00	21.00	4.13	23.00	12.50	0.10417	0.01292	0.00417
	13:19	240	"	19.50	18.50	3.64	20.50	12.95	0.05396	0.01292	0.00300
6/2/46	16:38	439	28 / 2.50	17.50	17.00	3.34	18.50	13.25	0.03018	0.01272	0.00221
7/2/46	10:40	1,521	26 / 1.65	15.00	13.65	2.68	16.00	13.70	0.00901	0.01302	0.00124

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

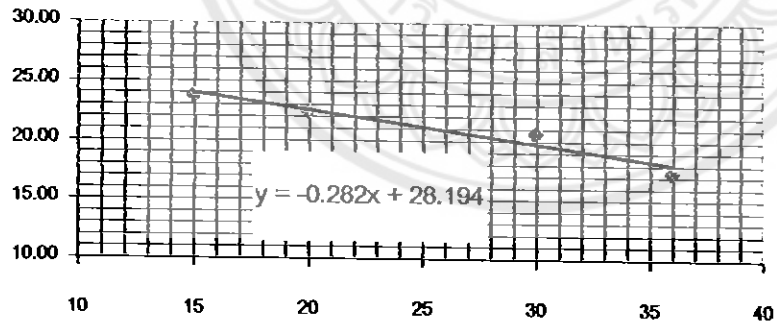
Soil Classification : SC - SM, Silty clayey sand

Co-ordinate : 627702E, 1800647N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	15	20	30	36		
CAN NO.	A8	A7	B1	A9		
WET SOIL + CAN, gm.	23.396	22.359	22.205	22.726		
DRY SOIL + CAN, gm.	21.670	20.897	20.869	21.492		
WT. OF CAN, gm.	14.40	14.40	14.40	14.40		
WT. OF WATER, gm.	1.73	1.46	1.34	1.23		
WT. OF DRY SOIL, gm.	7.27	6.50	6.47	7.09		
% WATER CONTENT	23.74	22.50	20.65	17.40		



LIQUID LIMIT = 21.14

PLASTIC LIMIT = 14.68

P.I. = 6.46

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	C9					
WET SOIL + CAN, gm.	17.82					
DRY SOIL + CAN, gm.	17.50					
WT. OF CAN, gm.	15.30					
WT. OF WATER, gm.	0.32					
WT. OF DRY SOIL, gm.	2.20					
% WATER CONTENT	14.68					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 628843 E 1803081 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 25.5 cm

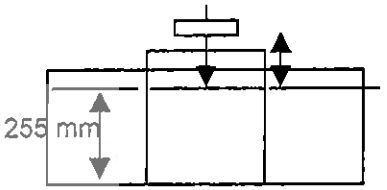
Initital Water Level 39.3 cm

Final H cm

Landuse นาข้าว

Soil type CL-ML, Sandy silty clay

No. of refill water - times

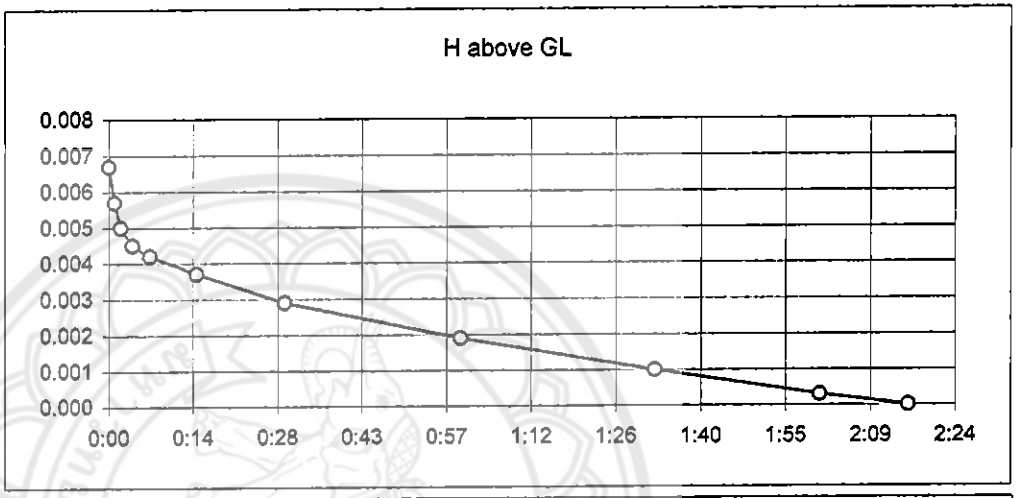


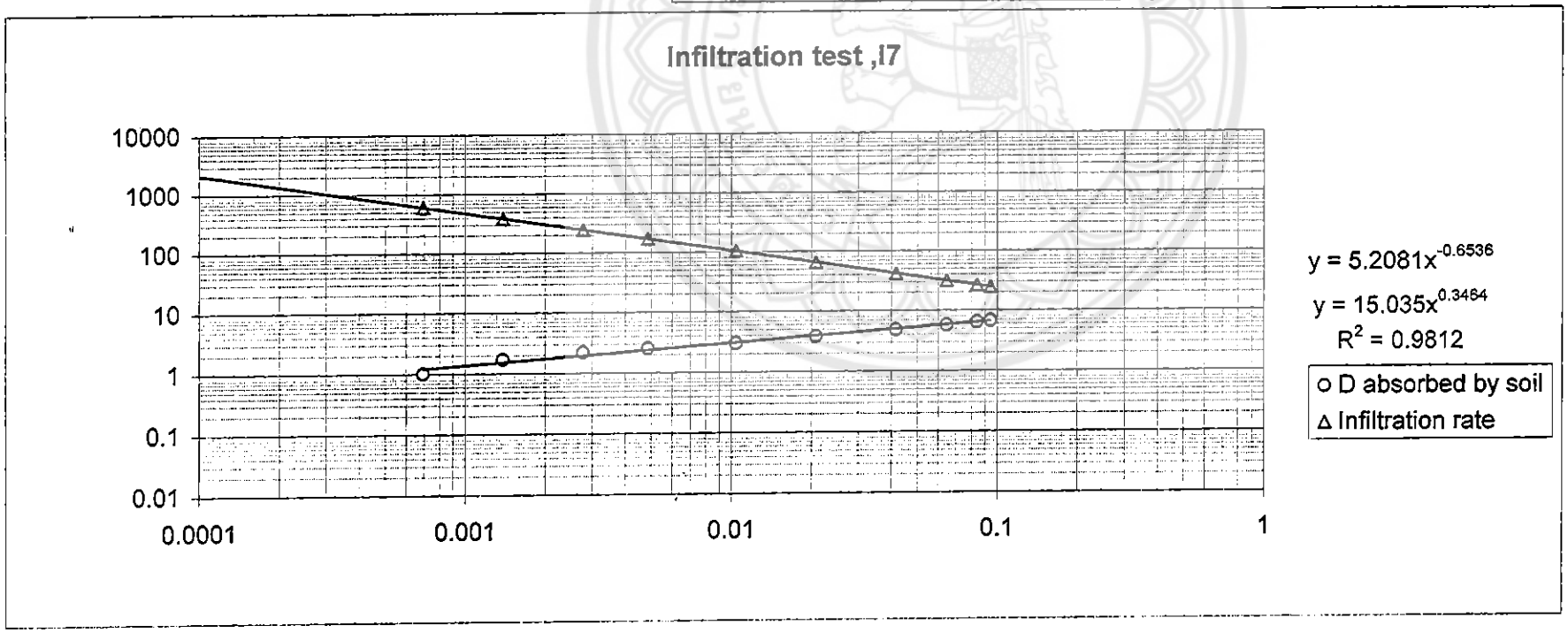
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
10/12/02 14:45	0:00	0.000	39.300	0.010	0.007	8773.779	
10/12/02 14:45	0:01	0.001	39.200	1.010	0.006	603.931	6.98994E-06
10/12/02 14:46	0:02	0.001	39.130	1.710	0.005	383.914	4.44345E-06
10/12/02 14:48	0:04	0.003	39.080	2.210	0.004	244.051	2.82466E-06
10/12/02 14:51	0:07	0.005	39.050	2.510	0.004	169.290	1.95937E-06
10/12/02 14:59	0:15	0.010	39.000	3.010	0.004	102.871	1.19064E-06
10/12/02 15:14	0:30	0.021	38.920	3.810	0.003	65.394	7.5688E-07
10/12/02 15:44	1:00	0.042	38.820	4.810	0.002	41.571	4.81142E-07
10/12/02 16:17	1:33	0.065	38.730	5.710	0.001	31.217	3.61304E-07
10/12/02 16:45	2:01	0.084	38.660	6.410	0.000	26.283	3.04204E-07
10/12/02 17:00	2:16	0.094	38.630	6.710	0.000	24.350	2.81833E-07
					day=1	5.208	6.02792E-08

From Graph: D vs t y = 15.035x0.3464

15.035 =A
0.3464 =B
5.208124 =AxB
-0.6536 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบ่อ

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

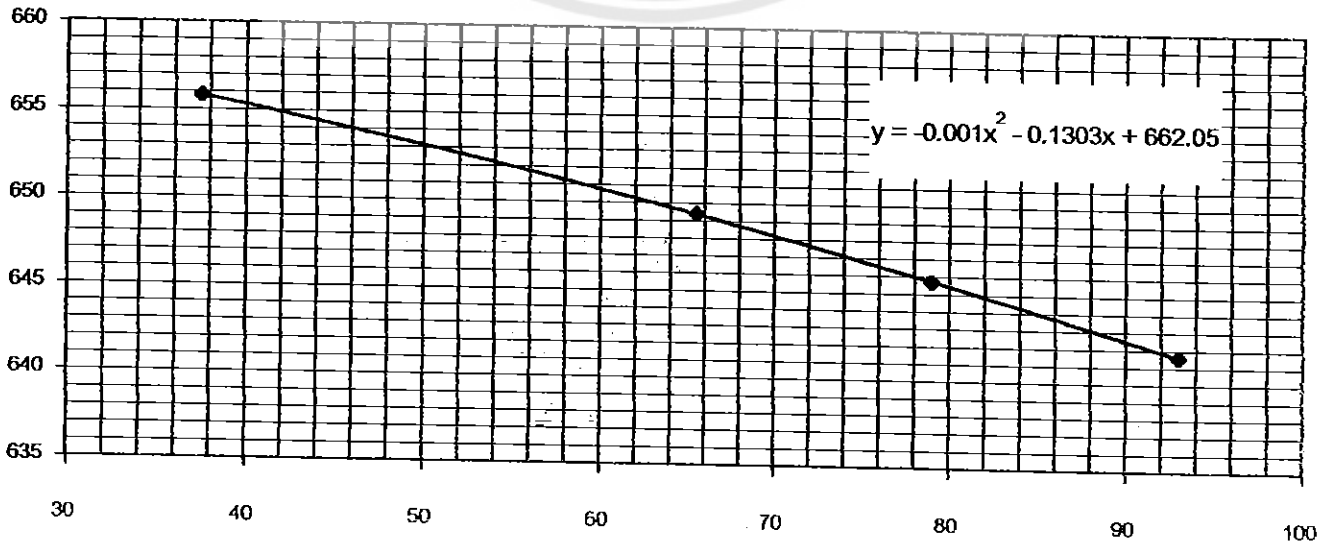
Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 628843E, 1803081N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	77.5	64.5	57.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	701.0	704.5	706.2	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	645.9	649.5	651.4	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	411.4	411.4	411.4	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	323.1	323.1	323.1	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	88.3	88.3	88.3	
8.SP. GR. OF WATER	0.9792	0.9808	0.9848	
9.SP. GR. OF SOIL	2.60	2.60	2.60	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.60			

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

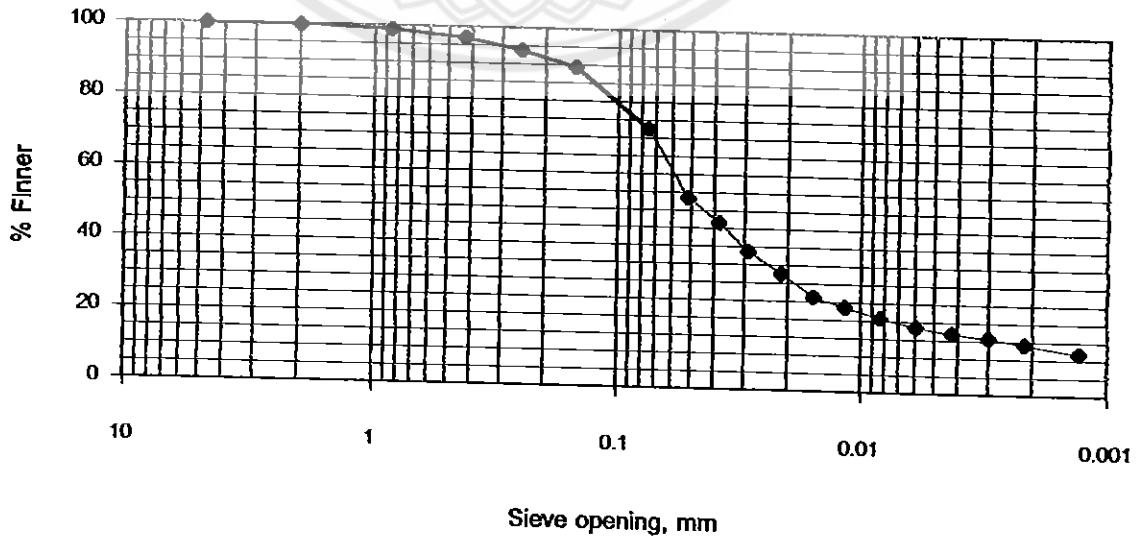
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 628843E, 1803081N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.10	0.10	0.04	0.04	99.96
10	2.00	429.50	429.80	0.30	0.12	0.16	99.84
20	0.85	390.10	392.20	2.10	0.84	1.00	99.00
40	0.43	399.70	405.00	5.30	2.13	3.13	96.87
60	0.25	326.50	334.10	7.60	3.05	6.17	93.83
100	0.15	319.30	330.80	11.50	4.61	10.79	89.21
200	0.08	305.20	347.20	42.00	16.84	27.63	72.37
PAN	-	282.70	463.20	180.50	72.37	100.00	-
			Total	249.40	100.00	Error,(gm)	0.60



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 628843E, 1803081N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.60 a = 1.010

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 65.2

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 72.37	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	9:53	0.25	28 / 2.50	52.00	51.50	57.74	53.00	7.60	30.40000	0.01260	0.06947
	9:53	0.50	"	48.00	47.50	53.25	49.00	8.30	16.60000	0.01260	0.05134
	9:54	1	"	42.00	41.50	46.52	43.00	9.20	9.20000	0.01260	0.03822
	9:55	2	"	35.00	34.50	38.68	36.00	10.40	5.20000	0.01260	0.02873
	9:57	4	"	29.50	29.00	32.51	30.50	11.30	2.82500	0.01260	0.02118
	10:01	8	"	24.00	23.50	26.35	25.00	12.20	1.52500	0.01260	0.01556
	10:08	15	"	21.50	21.00	23.54	22.50	12.60	0.84000	0.01260	0.01155
	10:23	30	"	19.00	18.50	20.74	20.00	13.00	0.43333	0.01260	0.00829
	10:53	60	"	17.00	16.50	18.50	18.00	13.30	0.22167	0.01260	0.00593
	11:53	120	"	15.50	15.00	16.82	16.50	13.60	0.11333	0.01260	0.00424
	13:53	240	29 / 3.05	14.00	14.05	15.75	15.00	13.80	0.05750	0.01250	0.00300
8/2/46	17:53	480	"	12.50	12.55	14.07	13.50	14.10	0.02938	0.01250	0.00214
9/2/46	8:30	1,357	28 / 2.50	11.00	10.50	11.77	12.00	14.30	0.01054	0.01260	0.00129

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาศภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

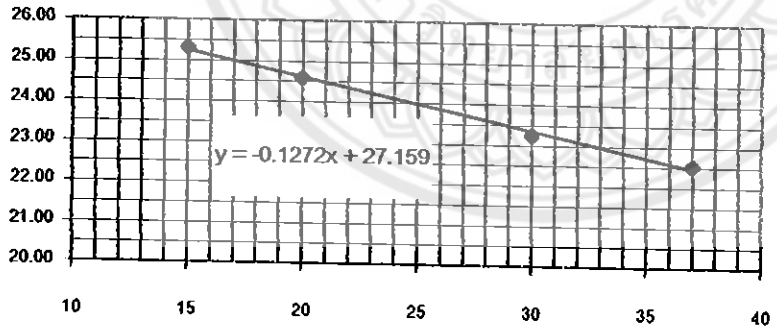
Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 628843E, 1803081N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	15	20	30	37		
CAN NO.	D5	B6	D8	B8		
WET SOIL + CAN, gm.	24.318	21.620	22.423	24.567		
DRY SOIL + CAN, gm.	22.376	20.195	21.023	22.937		
WT. OF CAN, gm.	14.70	14.40	15.00	15.70		
WT. OF WATER, gm.	1.94	1.43	1.40	1.63		
WT. OF DRY SOIL, gm.	7.68	5.80	6.02	7.24		
% WATER CONTENT	25.30	24.59	23.24	22.52		



LIQUID LIMIT = 23.98

PLASTIC LIMIT = 18.14

P.I. = 5.84

FLOW INDEX =

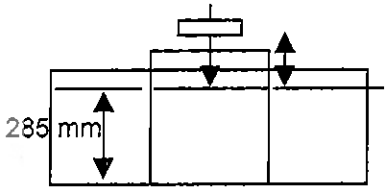
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	C2					
WET SOIL + CAN, gm.	16.55					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.30					
WT. OF CAN, gm.	14.90					
WT. OF WATER, gm.	0.25					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.40					
% WATER CONTENT	18.14					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination	630611 E	1801306 N	
Elev top		cm	
Elev bottom		cm	
Height	28.5	cm	
Initital Water Level	39.4	cm	
Final H		cm	
Landuse	สวนผลไม้		
Soil type	CL, Sandy lean clay		
No. of refill water	-	times	

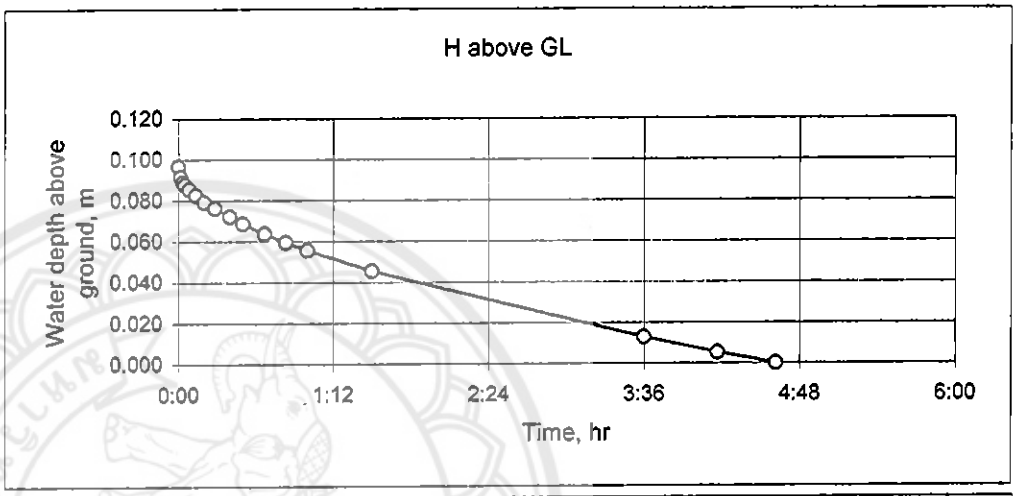


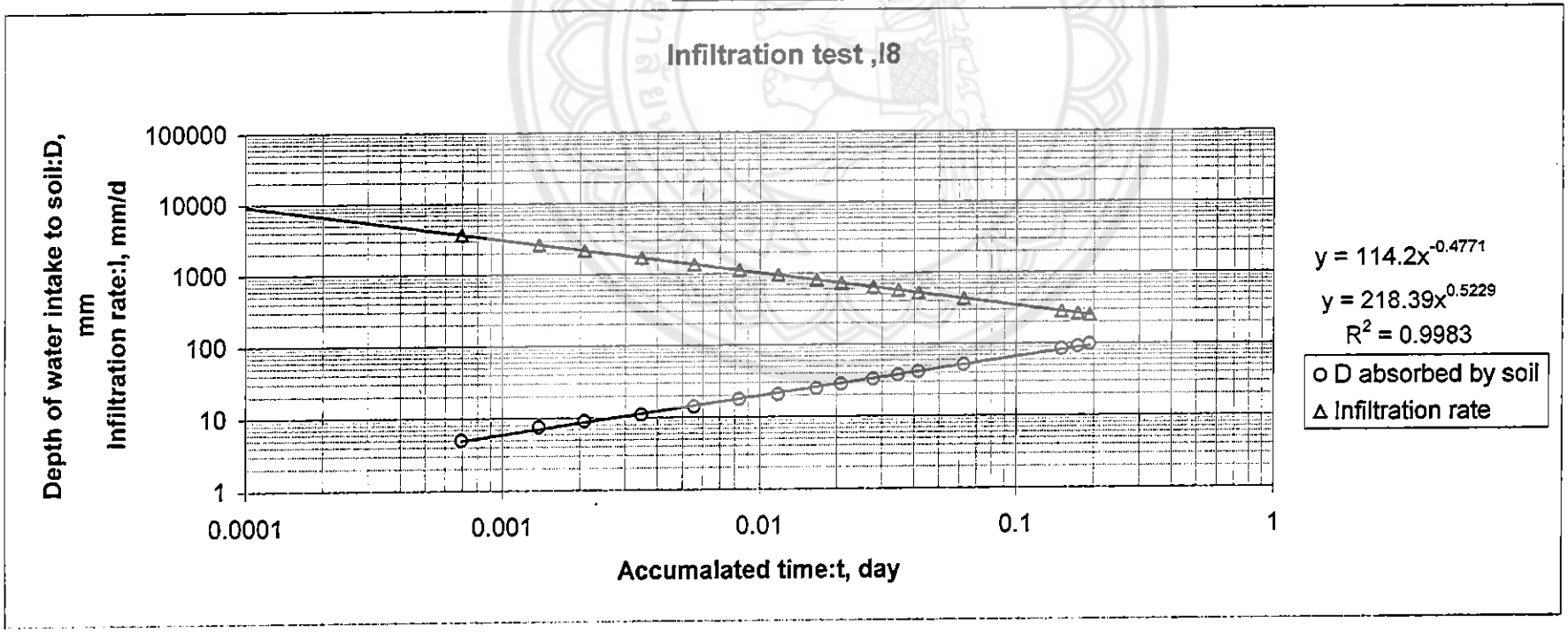
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
15/12/02 12:21	0:00	0.000	39.400	0.010	0.097	25873.912	
15/12/02 12:21	0:01	0.001	38.900	5.010	0.092	3668.649	4.24612E-05
15/12/02 12:22	0:02	0.001	38.650	7.510	0.089	2635.632	3.0505E-05
15/12/02 12:23	0:03	0.002	38.500	9.010	0.088	2172.059	2.51396E-05
15/12/02 12:25	0:05	0.003	38.300	11.010	0.086	1702.266	1.97022E-05
15/12/02 12:28	0:08	0.006	38.000	14.010	0.083	1360.323	1.57445E-05
15/12/02 12:32	0:12	0.008	37.650	17.510	0.079	1121.060	1.29752E-05
15/12/02 12:37	0:17	0.012	37.370	20.310	0.076	949.421	1.09887E-05
15/12/02 12:44	0:24	0.017	36.950	24.510	0.072	805.392	9.32167E-06
15/12/02 12:50	0:30	0.021	36.610	27.910	0.069	724.055	8.38027E-06
15/12/02 13:00	0:40	0.028	36.120	32.810	0.064	631.195	7.30549E-06
15/12/02 13:10	0:50	0.035	35.680	37.210	0.059	567.450	6.56771E-06
15/12/02 13:20	1:00	0.042	35.300	41.010	0.056	520.176	6.02055E-06
15/12/02 13:50	1:30	0.063	34.300	51.010	0.046	428.684	4.96162E-06
15/12/02 15:56	3:36	0.150	31.030	83.710	0.013	282.318	3.26757E-06
15/12/02 16:30	4:10	0.174	30.280	91.210	0.005	263.299	3.04744E-06
15/12/02 16:57	4:37	0.192	29.750	96.510	0.000	250.726	2.90192E-06
					day=1	114.196	1.32171E-06

From Graph: D vs t y = 218.39x0.5229

218.39 =A
0.5229 =B
114.196131 =AxB
-0.4771 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

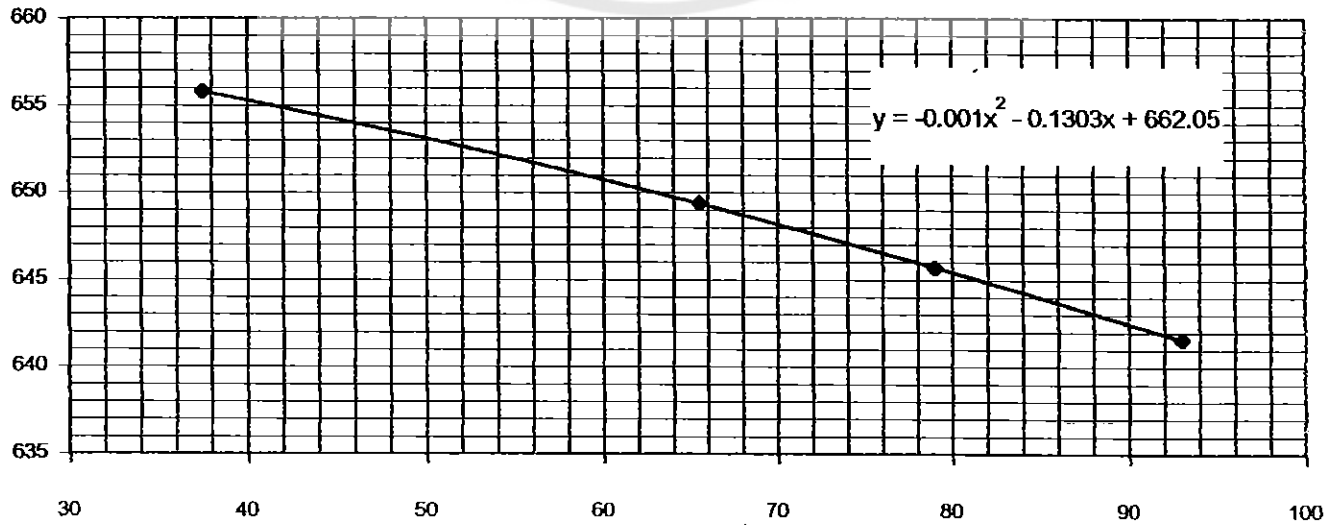
ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : CL, Sandy lean clay

o-ordinate : 630611E, 1801306N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

PECIFIC GRAVITY DETERMINATION					FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3		1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	92.0	72.0	59.0		37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	718.2	723.7	726.7		655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	641.6	647.5	650.9					
4.CONTAINER NO.	-	-	-					
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	490.5	490.5	490.5					
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	370.0	370.0	370.0					
7.DRY SOIL, w_s (gm)	120.5	120.5	120.5					
8.SP. GR. OF WATER	0.9640	0.9767	0.9838					
9.SP. GR. OF SOIL	2.65	2.66	2.65					
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.65							



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

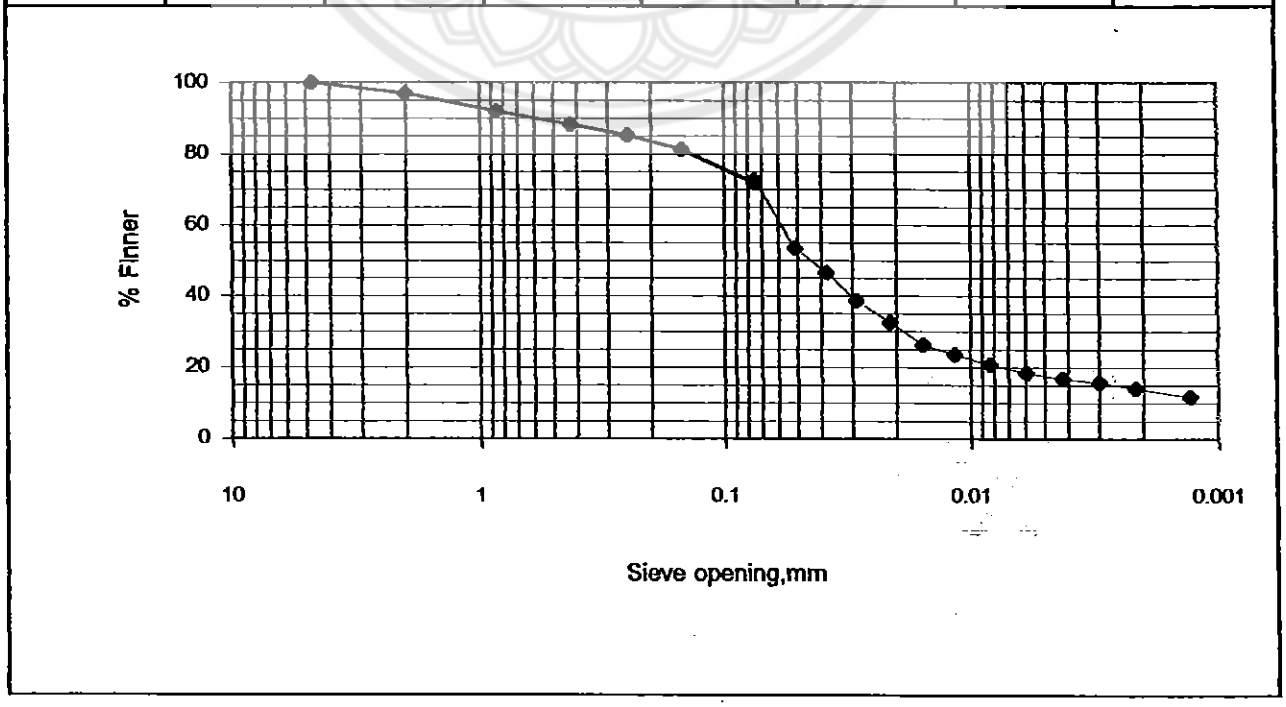
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 630611E, 1801306N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.20	0.20	0.08	0.08	99.92
10	2.00	429.50	436.70	7.20	2.88	2.96	97.04
20	0.85	390.10	402.70	12.60	5.04	8.00	92.00
40	0.43	399.70	409.40	9.70	3.88	11.88	88.12
60	0.25	326.50	333.80	7.30	2.92	14.81	85.19
100	0.15	319.30	329.40	10.10	4.04	18.85	81.15
200	0.08	305.20	328.70	23.50	9.40	28.25	71.75
PAN	-	282.70	462.00	179.30	71.75	100.00	-
			Total	249.90	100.00	Error,(gm)	0.10



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 630611E, 1801306N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.65 a = 1.000

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 59.6

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 71.75	Hy.CORR Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	10:20	0.25	28 / 2.50	51.00	50.50	60.79	52.00	7.80	31.20000	0.01260	0.07038
	10:20	0.50	"	47.50	47.00	56.58	48.50	8.35	16.70000	0.01260	0.05149
	10:21	1	"	46.00	45.50	54.78	47.00	8.60	8.60000	0.01260	0.03695
	10:22	2	"	43.00	42.50	51.16	44.00	9.10	4.55000	0.01260	0.02688
	10:24	4	"	39.50	39.00	46.95	40.50	9.65	2.41250	0.01260	0.01957
	10:28	8	"	36.50	36.00	43.34	37.50	10.15	1.26875	0.01260	0.01419
	10:35	15	"	32.00	31.50	37.92	33.00	10.90	0.72667	0.01260	0.01074
	10:50	30	"	29.00	28.50	34.31	30.00	11.40	0.38000	0.01260	0.00777
	11:20	60	"	25.50	25.00	30.10	26.50	11.95	0.19917	0.01260	0.00562
	12:20	120	"	22.00	21.50	25.88	23.00	12.50	0.10417	0.01260	0.00407
	14:20	240	29 / 3.05	19.00	19.05	22.93	20.00	13.00	0.05417	0.01250	0.00291
8/2/46	18:20	480	"	17.00	17.05	20.53	18.00	13.30	0.02771	0.01250	0.00208
9/2/46	8:33	1,333	28 / 2.50	15.00	14.50	17.46	16.00	13.70	0.01028	0.01260	0.00128

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

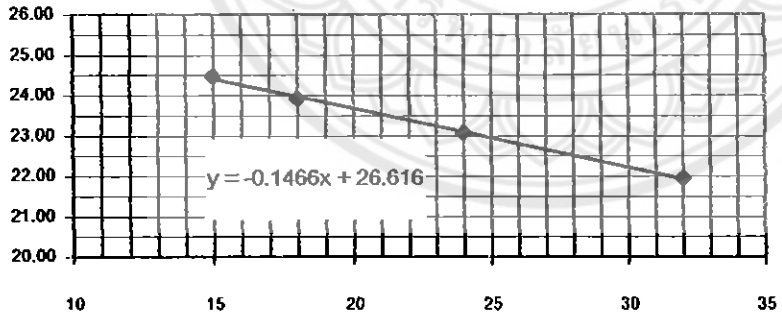
Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 630611E, 1801306N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	15	18	24	32		
CAN NO.	C1	D1	B3	B5		
WET SOIL + CAN, gm.	24.726	23.821	23.272	20.633		
DRY SOIL + CAN, gm.	22.735	22.002	21.703	19.493		
WT. OF CAN, gm.	14.60	14.40	14.90	14.30		
WT. OF WATER, gm.	1.99	1.82	1.57	1.14		
WT. OF DRY SOIL, gm.	8.14	7.60	6.80	5.19		
% WATER CONTENT	24.47	23.93	23.06	21.95		



LIQUID LIMIT = 22.95

PLASTIC LIMIT = 15.88

P.I. = 7.07

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A4					
WET SOIL + CAN, gm.	17.222					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.986					
WT. OF CAN, gm.	15.50					
WT. OF WATER, gm.	0.24					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.49					
% WATER CONTENT	15.88					

Field Infiltration Test

Location of Project อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 631750 E 1804725 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 26.0 cm

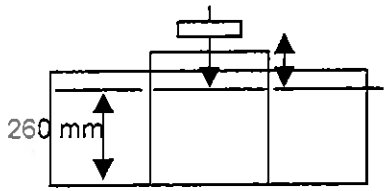
Initital Water Level 26.0 cm

Final H cm

Landuse นาข้าว

Soil type CL-ML, Sand silty clay

No. of refill water times

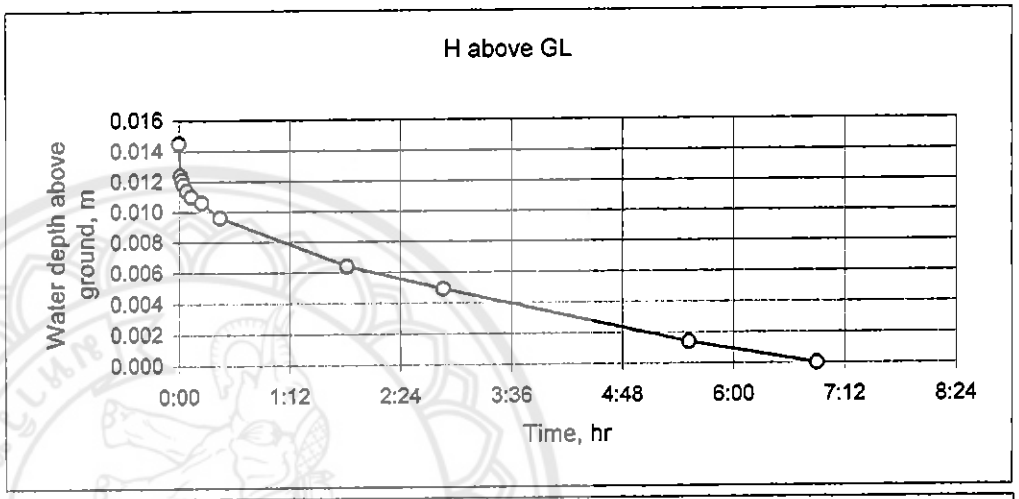


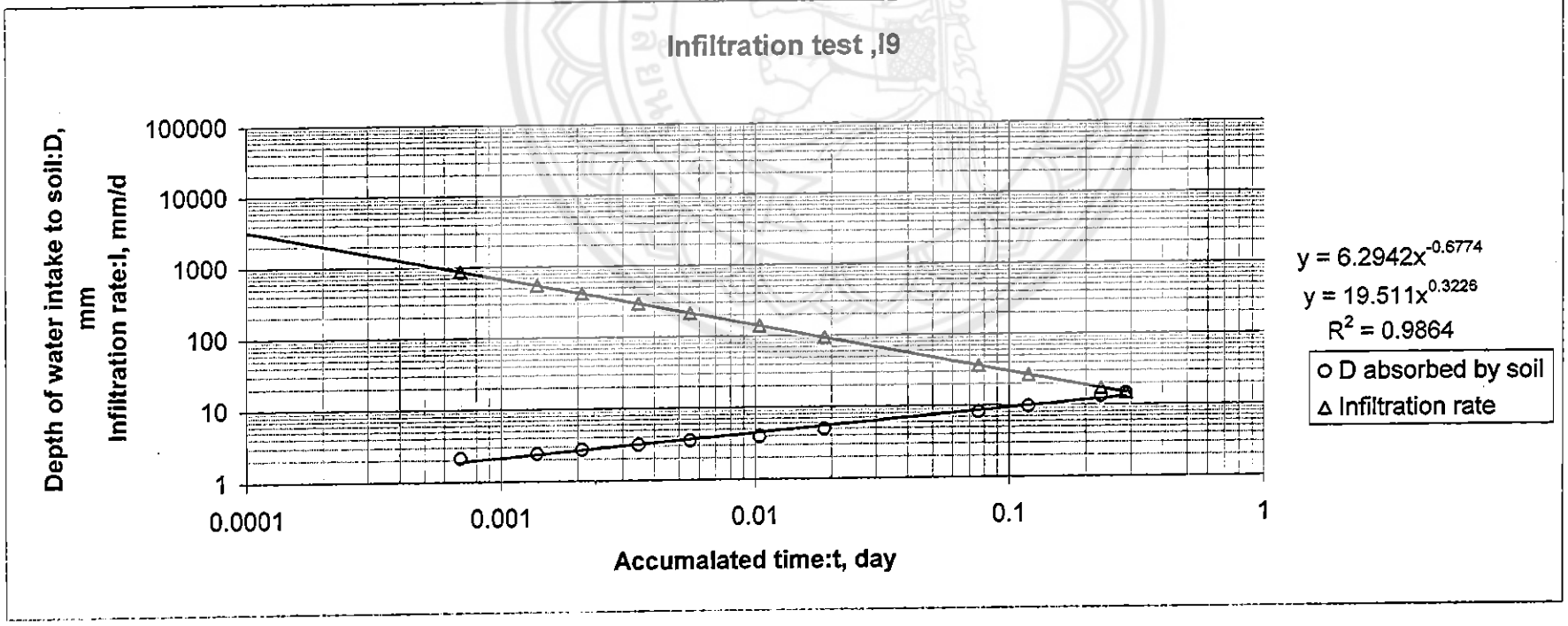
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
10/12/02 10:42	0:00	0.000	38.310	0.010	0.015	13897.552	
10/12/02 10:42	0:01	0.001	38.100	2.110	0.012	867.798	1.0044E-05
10/12/02 10:43	0:02	0.001	38.070	2.410	0.012	542.626	6.2804E-06
10/12/02 10:44	0:03	0.002	38.040	2.710	0.012	412.303	4.77203E-06
10/12/02 10:46	0:05	0.003	38.000	3.110	0.011	291.700	3.37616E-06
10/12/02 10:49	0:08	0.006	37.960	3.510	0.011	212.161	2.45557E-06
10/12/02 10:56	0:15	0.010	37.920	3.910	0.011	138.591	1.60406E-06
10/12/02 11:08	0:27	0.019	37.820	4.910	0.010	93.071	1.07721E-06
10/12/02 12:31	1:49	0.076	37.500	8.110	0.006	36.051	4.17259E-07
10/12/02 13:33	2:52	0.119	37.350	9.610	0.005	26.550	3.07297E-07
10/12/02 16:12	5:31	0.230	37.000	13.110	0.001	17.041	1.9723E-07
10/12/02 17:35	6:54	0.288	36.860	14.510	0.000	14.644	1.69492E-07
					day=1	6.294	7.28501E-08

From Graph: D vs t y = 19.511x0.3226

19.511 =A
0.3226 =B
6.2942486 =AxB
-0.6774 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

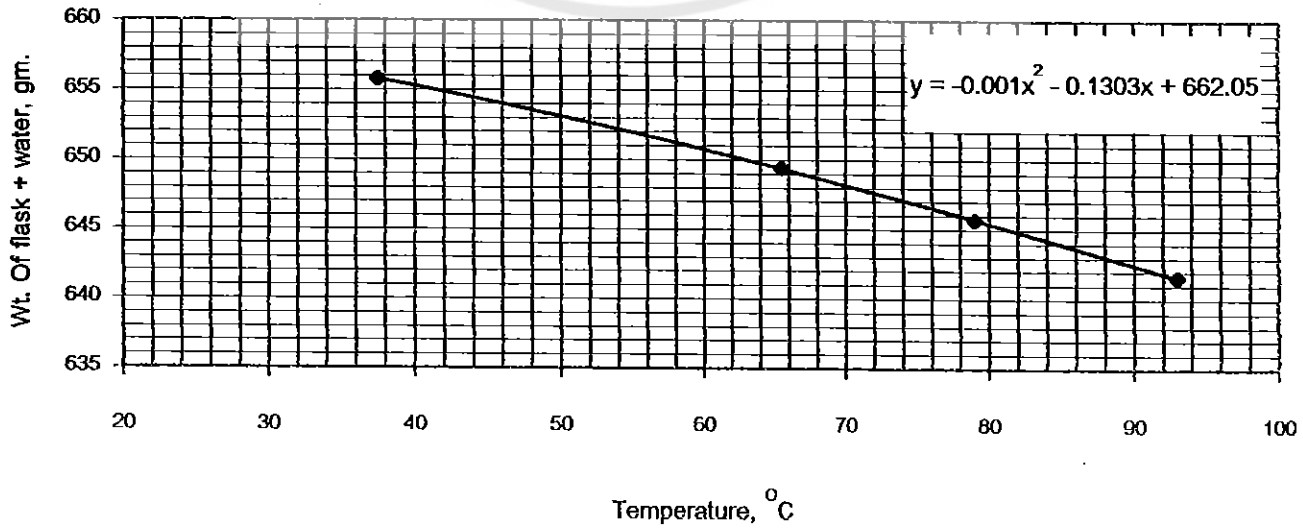
ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : CL-ML, Sand silty clay

o-ordinate : 631750E, 1804725N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION					FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3		1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	72.0	64.5	39.0		37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	723.7	725.6	730.8		655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	647.5	649.5	655.4					
4.CONTAINER NO.	-	-	-					
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	455.5	455.5	455.5					
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	333.4	333.4	333.4					
7.DRY SOIL, w_s (gm)	122.1	122.1	122.1					
8.SP. GR. OF WATER	0.9767	0.9808	0.9926					
9.SP. GR. OF SOIL	2.60	2.60	2.59					
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.60							



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

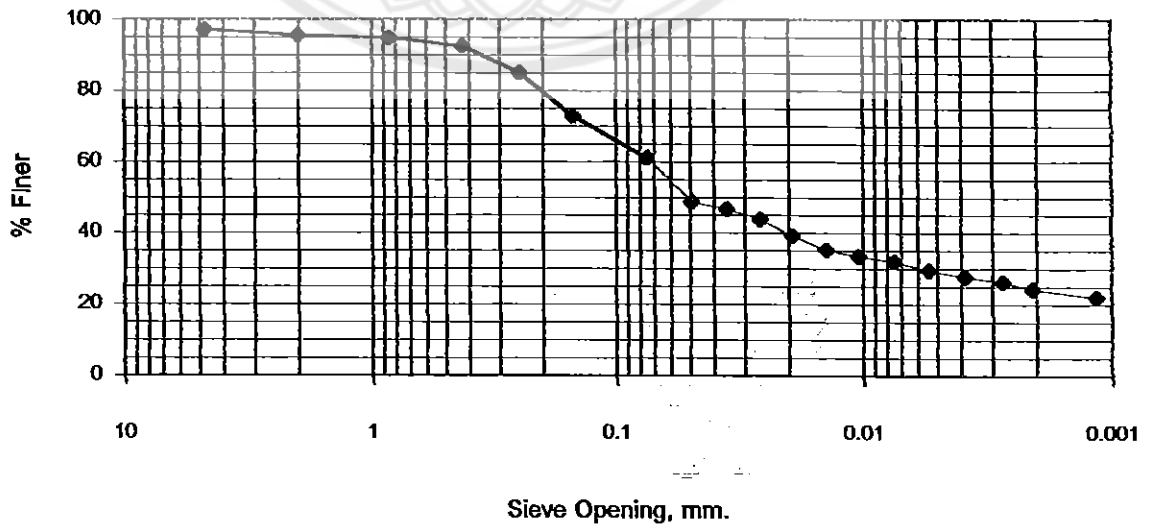
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL-ML, Sand silty clay

Co-ordinate : 631750E, 1804725N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	498.50	28.50	2.85	2.85	97.15
10	2.00	429.50	444.90	15.40	1.54	4.39	95.61
20	0.85	390.40	399.10	8.70	0.87	5.26	94.74
40	0.43	399.80	423.20	23.40	2.34	7.60	92.40
60	0.25	326.50	401.60	75.10	7.51	15.11	84.89
100	0.15	319.70	440.30	120.60	12.06	27.18	72.82
200	0.08	305.30	424.20	116.90	11.89	39.07	60.93
PAN	-	282.80	891.90	609.10	60.93	100.00	-
			Total	999.70	100.00	Error,(gm)	0.30



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

oject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

cation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

il Classification : CL-ML, Sand silty clay

-ordinate : 631750E, 1804725N

HYDROMETER ANALYSIS

YDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.60 a = 1.004

SPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, $W_S(g)$ = 70

ERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^0C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 60.93	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
31/1/46	9:50	0.25	27 / 2.00	58.00	57.00	49.81	59.00	6.60	26.40000	0.01280	0.06577
	9:50	0.50	"	57.00	56.00	48.94	58.00	6.80	13.60000	0.01280	0.04720
	9:51	1	"	55.50	54.50	47.63	56.50	7.20	7.20000	0.01280	0.03435
	9:52	2	"	54.00	53.00	46.32	55.00	7.30	3.65000	0.01280	0.02445
	9:54	4	"	52.00	51.00	44.57	53.00	7.60	1.90000	0.01280	0.01764
	9:58	8	"	49.00	48.00	41.95	50.00	8.10	1.01250	0.01280	0.01288
	10:05	15	"	46.00	45.00	39.33	47.00	8.60	0.57333	0.01280	0.00969
	10:20	30	"	43.50	42.50	37.14	44.50	9.00	0.30000	0.01280	0.00701
	10:50	60	"	40.00	39.00	34.08	41.00	9.60	0.16000	0.01280	0.00512
	11:50	120	"	36.50	35.50	31.02	37.50	10.15	0.08458	0.01280	0.00372
	13:50	240	28 / 2.50	32.50	32.00	27.97	33.50	10.80	0.04500	0.01260	0.00267
31/1/46	17:11	441	"	29.00	28.50	24.91	30.00	11.40	0.02585	0.01272	0.00205
1/2/46	10:35	1,485	27 / 2.00	25.00	24.00	20.97	26.00	12.00	0.00808	0.01280	0.00115

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

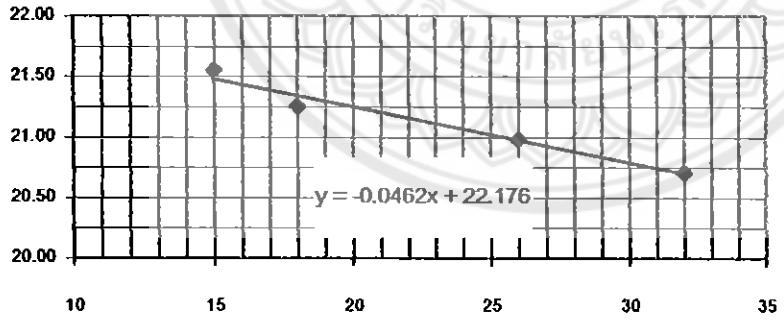
Soil Classification : CL-ML, Sand silty clay

Co-ordinate : 631750E, 1804725N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	15	18	26	32		
CAN NO.	A2	B7	A1	A9		
WET SOIL + CAN, gm.	22.300	23.200	21.300	24.100		
DRY SOIL + CAN, gm.	20.917	21.745	20.138	22.659		
WT. OF CAN, gm.	14.50	14.90	14.60	15.70		
WT. OF WATER, gm.	1.38	1.46	1.16	1.44		
WT. OF DRY SOIL, gm.	6.42	6.85	5.54	6.96		
% WATER CONTENT	21.55	21.26	20.98	20.71		



LIQUID LIMIT = 21.02

PLASTIC LIMIT = 16.34

P.I. = 4.68

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A3					
WET SOIL + CAN, gm.	16.80					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.48					
WT. OF CAN, gm.	14.50					
WT. OF WATER, gm.	0.32					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.98					
% WATER CONTENT	16.34					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 633105 E 1797730 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 22.5 cm

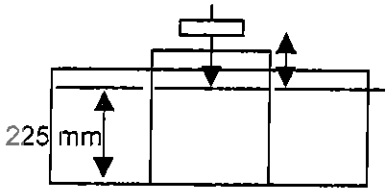
Initital Water Level 38.3 cm

Final H cm

Landuse นาข้าว

Soil type ML, Sandy silty clay

No. of refill water - times

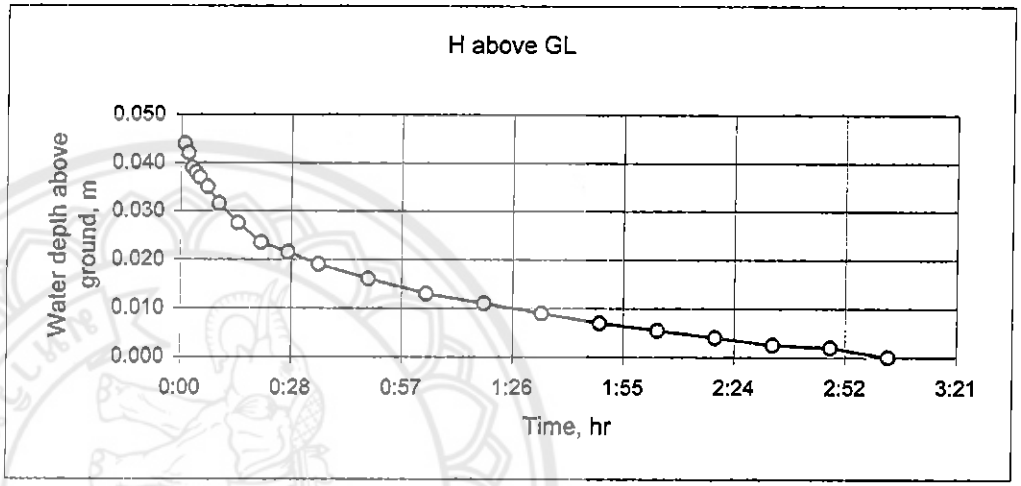


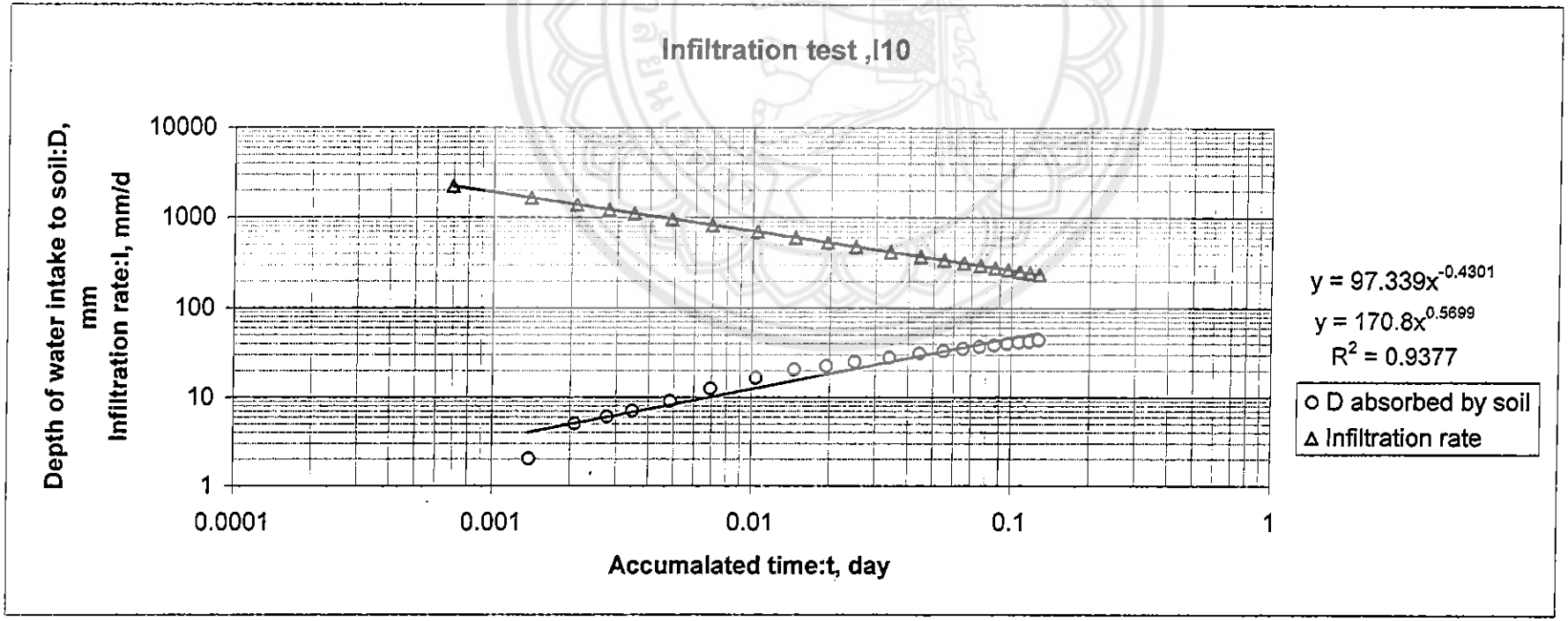
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
22/12/02 10:33	0:01	0.001	38.250	0.010	0.044	2221.766	
22/12/02 10:34	0:02	0.001	38.050	2.010	0.042	1649.017	1.90858E-05
22/12/02 10:35	0:03	0.002	37.750	5.010	0.039	1385.123	1.60315E-05
22/12/02 10:36	0:04	0.003	37.650	6.010	0.038	1223.918	1.41657E-05
22/12/02 10:37	0:05	0.003	37.550	7.010	0.037	1111.914	1.28694E-05
22/12/02 10:39	0:07	0.005	37.350	9.010	0.035	962.103	1.11355E-05
22/12/02 10:42	0:10	0.007	37.000	12.510	0.032	825.274	9.55178E-06
22/12/02 10:47	0:15	0.010	36.600	16.510	0.028	693.205	8.0232E-06
22/12/02 10:53	0:21	0.015	36.200	20.510	0.024	599.807	6.94221E-06
22/12/02 11:00	0:28	0.019	36.000	22.510	0.022	530.000	6.13425E-06
22/12/02 11:08	0:36	0.025	35.750	25.010	0.019	475.699	5.50578E-06
22/12/02 11:21	0:49	0.034	35.450	28.010	0.016	416.625	4.82204E-06
22/12/02 11:36	1:04	0.044	35.150	31.010	0.013	371.416	4.29879E-06
22/12/02 11:51	1:19	0.055	34.950	33.010	0.011	339.257	3.92659E-06
22/12/02 12:06	1:34	0.065	34.750	35.010	0.009	314.815	3.6437E-06
22/12/02 12:21	1:49	0.076	34.550	37.010	0.007	295.394	3.41891E-06
22/12/02 12:36	2:04	0.086	34.400	38.510	0.005	279.459	3.23448E-06
22/12/02 12:51	2:19	0.097	34.250	40.010	0.004	266.065	3.07945E-06
22/12/02 13:06	2:34	0.107	34.100	41.510	0.003	254.592	2.94667E-06
22/12/02 13:21	2:49	0.117	34.050	42.010	0.002	244.616	2.8312E-06
22/12/02 13:36	3:04	0.128	33.850	44.010	0.000	235.831	2.72952E-06
					day=1	97.339	1.12661E-06

From Graph: D vs t y = 170.8x0.5699

170.8 =A
0.5699 =B
97.33892 =AxB
-0.4301 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

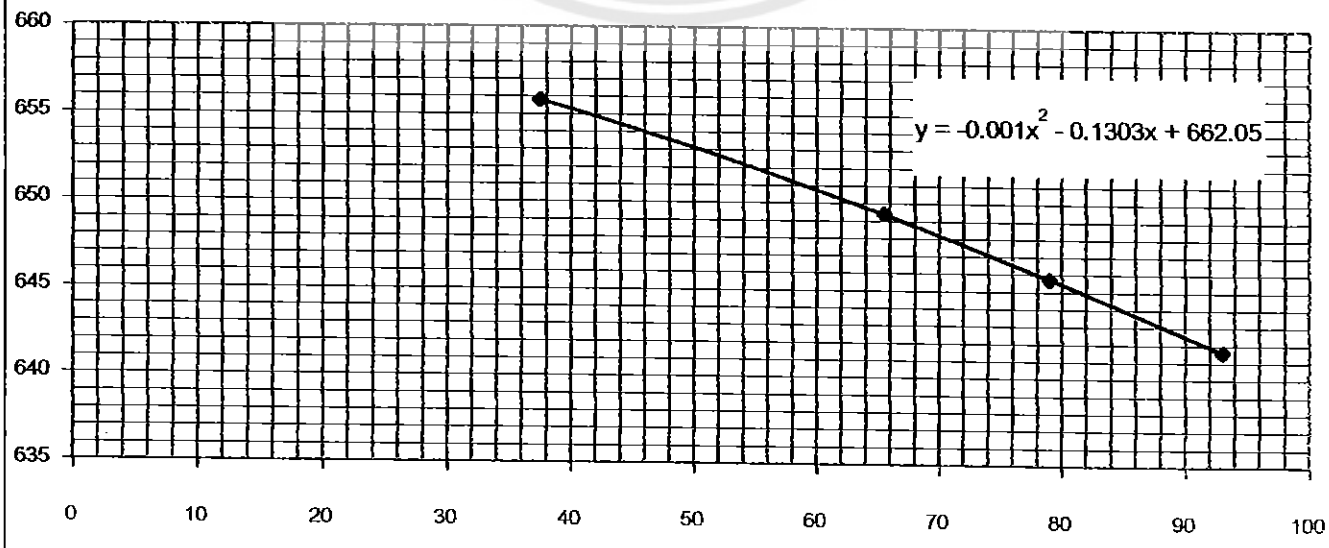
ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : ML, Sandy silty clay

o-ordinate : 633105E, 1797730N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

PECIFIC GRAVITY DETERMINATION				FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3	1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	56.0	45.0	36.0	37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	717.3	719.6	721.7	655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	651.6	654.2	656.1				
4.CONTAINER NO.	-	-	-				
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	418.2	418.2	418.2				
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	313.4	313.4	313.4				
7.DRY SOIL, w_s (gm)	104.8	104.8	104.8				
8.SP. GR. OF WATER	0.9852	0.9902	0.9937				
9.SP. GR. OF SOIL	2.64	2.64	2.66				
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.65						



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

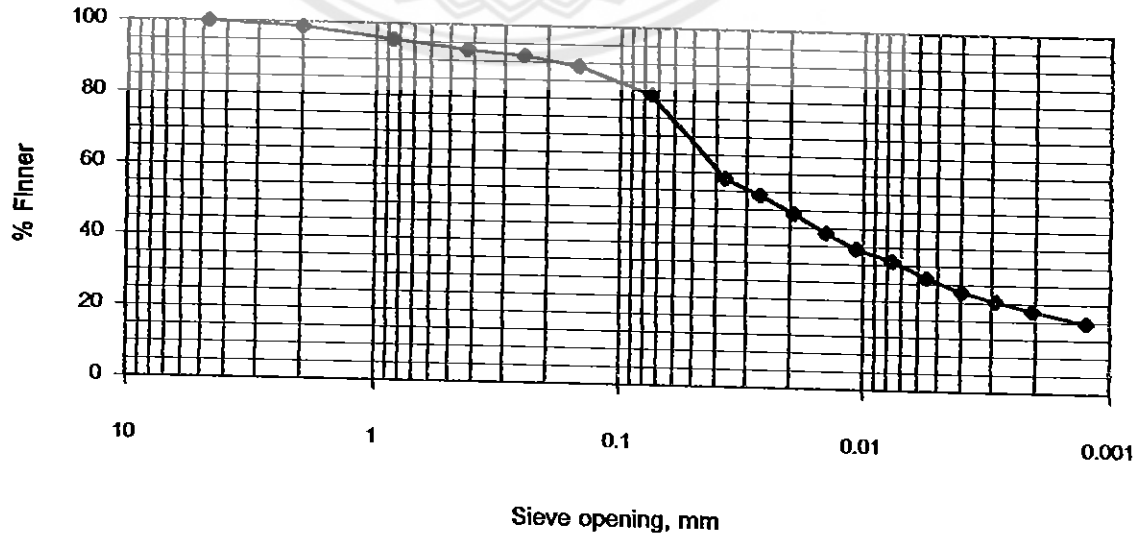
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 633105E, 1797730N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.00	-	-	-	100.00
10	2.00	429.50	432.80	3.30	1.32	1.32	98.68
20	0.85	390.10	398.00	7.90	3.16	4.48	95.52
40	0.43	399.70	406.00	6.30	2.52	7.01	92.99
60	0.25	326.50	330.20	3.70	1.48	8.49	91.51
100	0.15	319.30	325.70	6.40	2.56	11.05	88.95
200	0.08	305.20	324.10	18.90	7.57	18.61	81.39
PAN	-	282.70	486.00	203.30	81.39	100.00	-
			Total	249.80	100.00	Error,(gm)	0.20



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบอง

ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : ML, Sandy silty clay

o-ordinate : 633105E, 1797730N

HYDROMETER ANALYSIS

YDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.65 a = 1.000

SPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, $W_S(g)$ = 64.2

ERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^0C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 81.39	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	10:05	0.25	28 / 2.50	52.00	51.50	65.29	53.00	7.60	30.40000	0.01240	0.06837
	10:05	0.50	"	49.00	48.50	61.49	50.00	8.10	16.20000	0.01240	0.04991
	10:06	1	"	46.50	46.00	58.32	47.50	8.70	8.70000	0.01240	0.03657
	10:07	2	"	43.00	42.50	53.88	44.00	9.10	4.55000	0.01240	0.02645
	10:09	4	"	39.00	38.50	48.81	40.00	9.70	2.42500	0.01240	0.01931
	10:13	8	"	35.00	34.50	43.74	36.00	10.40	1.30000	0.01240	0.01414
	10:20	15	"	31.50	31.00	39.30	32.50	11.00	0.73333	0.01240	0.01062
	10:35	30	"	29.00	28.50	36.13	30.00	11.40	0.38000	0.01240	0.00764
	11:05	60	"	25.50	25.00	31.69	26.50	11.95	0.19917	0.01240	0.00553
	12:05	120	"	22.50	22.00	27.89	23.50	12.45	0.10375	0.01240	0.00399
	14:05	240	29 / 3.05	20.00	20.05	25.42	21.00	12.90	0.05375	0.01230	0.00287
8/2/46	18:05	480	"	18.00	18.05	22.88	19.00	13.20	0.02750	0.01230	0.00204
9/2/46	8:31	1,346	28 / 2.50	16.00	15.50	19.65	17.00	13.50	0.01003	0.01240	0.00124

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

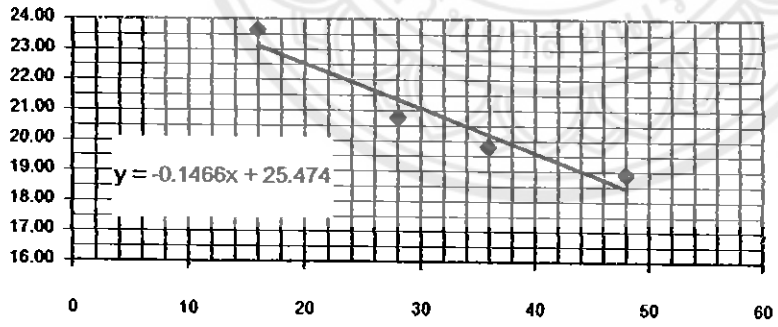
Soil Classification : ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 633105E, 1797730N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	16	28	36	48		
CAN NO.	B7	A1	B2	C5		
WET SOIL + CAN, gm.	21.744	20.490	21.342	21.737		
DRY SOIL + CAN, gm.	20.435	19.477	20.211	20.634		
WT. OF CAN, gm.	14.90	14.60	14.50	14.80		
WT. OF WATER, gm.	1.31	1.01	1.13	1.10		
WT. OF DRY SOIL, gm.	5.54	4.88	5.71	5.83		
% WATER CONTENT	23.65	20.77	19.80	18.91		



LIQUID LIMIT = 21.81

PLASTIC LIMIT = 15.94

P.I. = 5.87

FLOW INDEX =

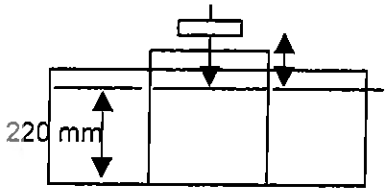
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	A3					
WET SOIL + CAN, gm.	16.748					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.439					
WT. OF CAN, gm.	14.50					
WT. OF WATER, gm.	0.31					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.94					
% WATER CONTENT	15.94					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination	633212 E	1806525 N
Elev top		cm
Elev bottom		cm
Height	22.0	cm
Initital Water Level	27.0	cm
Final H		cm
Landuse	นาข้าว	
Soil type	CH, Sandy fat clay	
No. of refill water	-	times

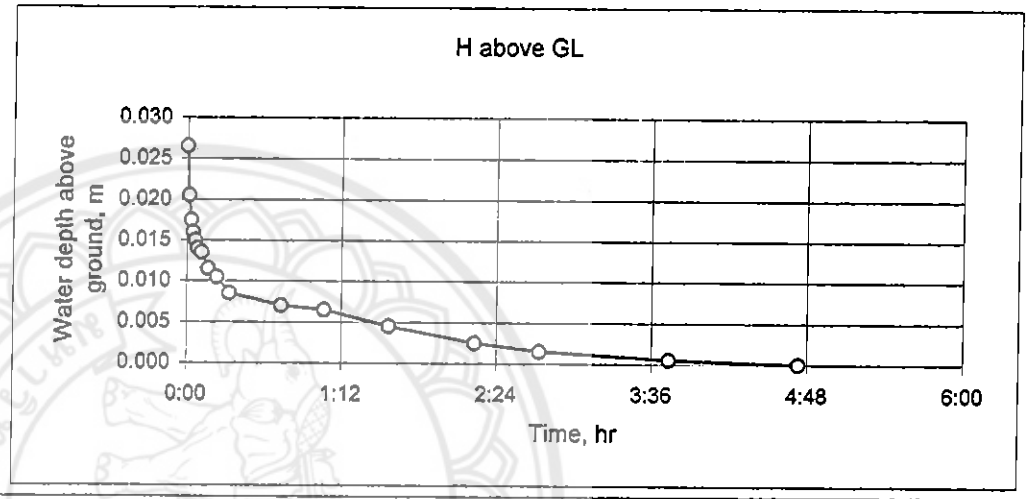


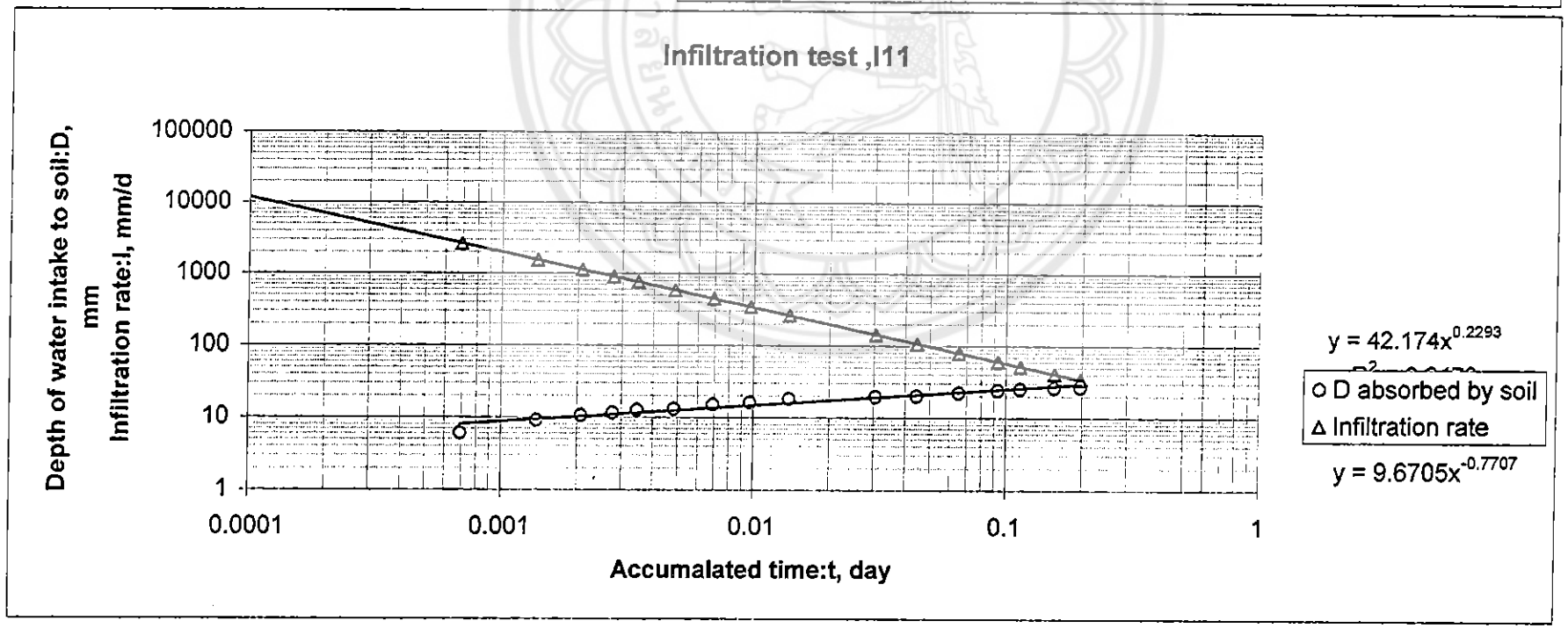
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
22/12/02 13:16	0:00	0.000	27.000	0.010	0.027	61662.338	
22/12/02 13:16	0:01	0.001	26.400	6.010	0.021	2627.839	3.04148E-05
22/12/02 13:17	0:02	0.001	26.100	9.010	0.018	1540.263	1.78271E-05
22/12/02 13:18	0:03	0.002	25.950	10.510	0.016	1126.890	1.30427E-05
22/12/02 13:19	0:04	0.003	25.850	11.510	0.015	902.799	1.04491E-05
22/12/02 13:20	0:05	0.003	25.750	12.510	0.014	760.156	8.7981E-06
22/12/02 13:22	0:07	0.005	25.700	13.010	0.014	586.519	6.78841E-06
22/12/02 13:25	0:10	0.007	25.500	15.010	0.012	445.552	5.15686E-06
22/12/02 13:29	0:14	0.010	25.400	16.010	0.011	343.778	3.97891E-06
22/12/02 13:35	0:20	0.014	25.200	18.010	0.008	261.153	3.0226E-06
22/12/02 13:59	0:44	0.031	25.050	19.510	0.007	142.230	1.64618E-06
22/12/02 14:19	1:04	0.044	25.000	20.010	0.006	106.556	1.23328E-06
22/12/02 14:49	1:34	0.065	24.800	22.010	0.004	79.234	9.17055E-07
22/12/02 15:29	2:14	0.093	24.600	24.010	0.003	60.289	6.97791E-07
22/12/02 15:59	2:44	0.114	24.500	25.010	0.001	51.596	5.9718E-07
22/12/02 16:59	3:44	0.156	24.400	26.010	0.000	40.575	4.69623E-07
22/12/02 17:59	4:44	0.197	24.350	26.510	0.000	33.793	3.91122E-07
					day=1	9.670	1.11927E-07

From Graph: D vs t y =42.174x0.2293

42.174 =A
0.2293 =B
9.6704982 =AxB
-0.7707 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

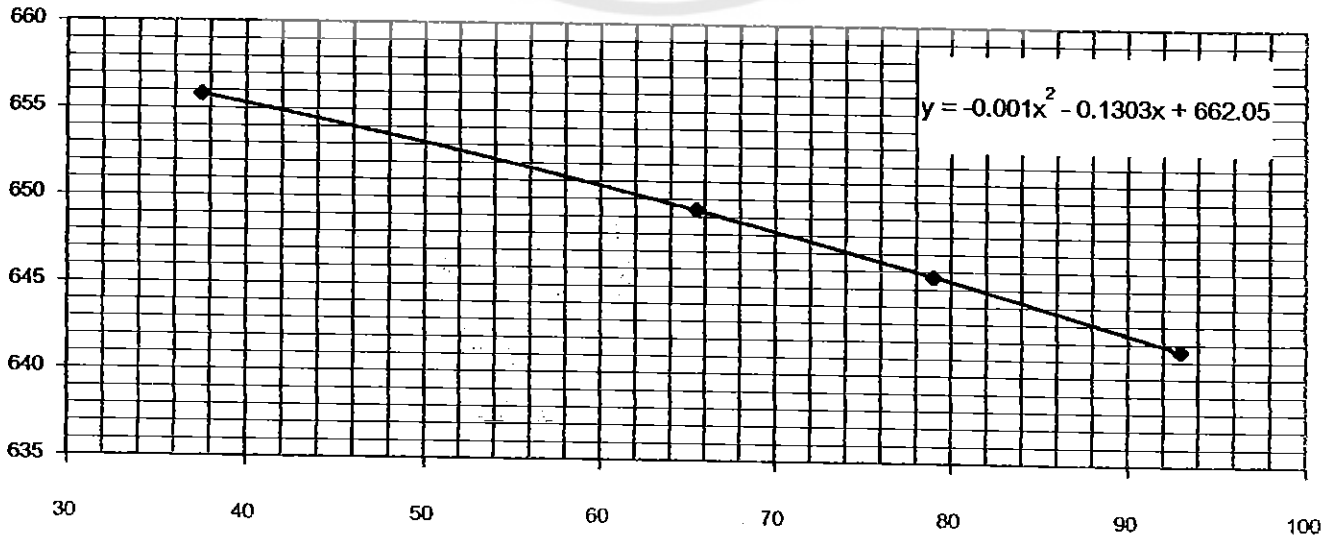
Soil Classification : CH, Sandy fat clay

Co-ordinate : 633212E, 1806526N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	90.0	87.0	70.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	727.2	728.3	732.4	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	642.2	643.1	648.0	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	466.3	466.3	466.3	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	333.2	333.2	333.2	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	133.1	133.1	133.1	
8.SP. GR. OF WATER	0.9724	0.9784	0.9842	
9.SP. GR. OF SOIL	2.69	2.72	2.69	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL		2.70		

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

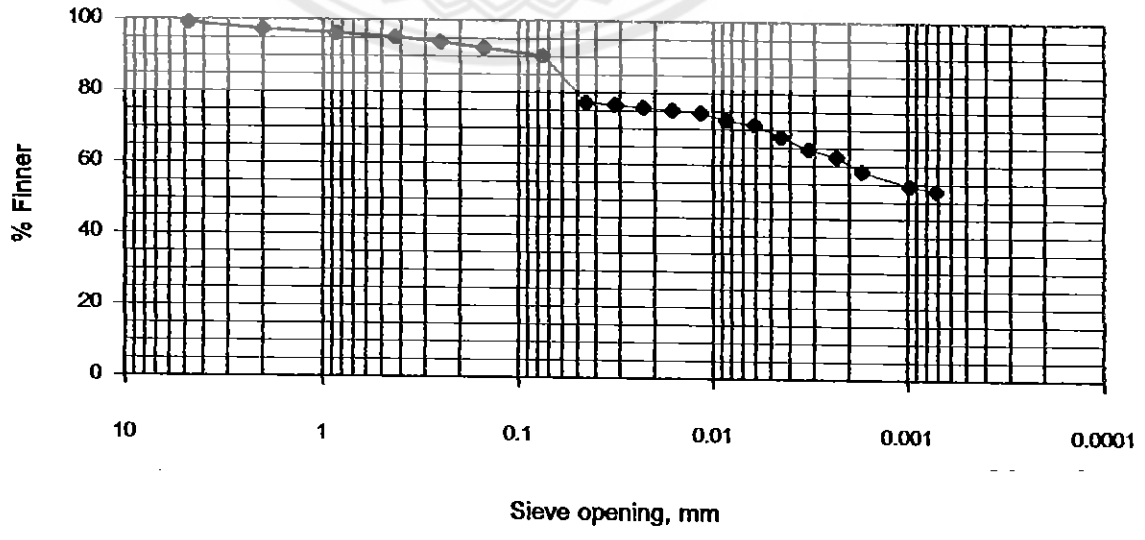
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CH, Sandy fat clay

Co-ordinate : 633212E, 1806526N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	479.10	9.10	0.91	0.91	99.09
10	2.00	429.50	448.00	18.50	1.85	2.76	97.24
20	0.85	390.50	400.00	9.50	0.95	3.71	96.29
40	0.43	399.50	410.40	10.90	1.09	4.80	95.20
60	0.25	326.80	339.00	12.20	1.22	6.02	93.98
100	0.15	319.30	335.10	15.80	1.58	7.60	92.40
200	0.08	304.80	327.30	22.50	2.25	9.85	90.15
PAN	-	282.80	1,183.80	901.00	90.15	100.00	-
			Total	999.50	100.00	Error,(gm)	0.50



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CH, Sandy fat clay

Co-ordinate : 633212E, 1806526N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS – 2.70 a – 0.990

DISPERSING AGENT. AMOUNT. WT.OF SOIL, $W_S(g)$ = 66.5

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^0C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 90.15	Hy.CORR. Meniscus R	L, From Table 6-5	L/t	K From Table 6-4	D. (mm)
3/2/46	9:40	0.25	27 / 2.00	59.00	58.00	77.84	60.00	6.50	26.00000	0.01240	0.06323
	9:40	0.50	"	58.50	57.50	77.17	59.50	6.55	13.10000	0.01240	0.04488
	9:41	1	"	58.00	57.00	76.50	59.00	6.60	6.60000	0.01240	0.03186
	9:42	2	"	57.50	56.50	75.83	58.50	6.70	3.35000	0.01240	0.02270
	9:44	4	"	57.00	56.00	75.16	58.00	6.80	1.70000	0.01240	0.01617
	9:48	8	"	56.50	55.50	74.49	57.50	6.90	0.86250	0.01240	0.01152
	9:55	15	"	55.00	54.00	72.47	56.00	7.10	0.47333	0.01240	0.00853
	10:10	30	"	54.00	53.00	71.13	55.00	7.30	0.24333	0.01240	0.00612
	10:40	60	"	51.50	50.50	67.78	52.50	7.70	0.12833	0.01240	0.00444
	11:40	120	"	49.00	48.00	64.42	50.00	8.10	0.06750	0.01240	0.00322
	13:40	240	28 / 2.50	47.00	46.50	62.41	48.00	8.40	0.03500	0.01230	0.00230
3/2/46	17:26	466	"	44.00	43.50	58.38	45.00	8.90	0.01910	0.01230	0.00170
4/2/46	10:33	1,493	"	41.00	40.50	54.35	42.00	9.40	0.00630	0.01230	0.00098
5/2/46	9:28	2,868	27 / 2.00	40.50	39.50	53.01	41.50	9.50	0.00331	0.01240	0.00071

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

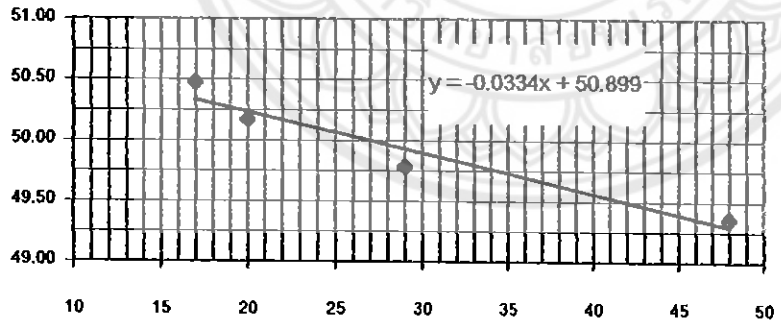
Soil Classification : CH, Sandy fat clay

Co-ordinate : 633212E, 1806526N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	17	20	29	48		
CAN NO.	B9	A6	B8	C1		
WET SOIL + CAN, gm.	20.200	22.110	23.300	21.000		
DRY SOIL + CAN, gm.	18.288	19.768	20.774	18.885		
WT. OF CAN, gm.	14.50	15.10	15.70	14.60		
WT. OF WATER, gm.	1.91	2.34	2.53	2.12		
WT. OF DRY SOIL, gm.	3.79	4.67	5.07	4.29		
% WATER CONTENT	50.48	50.17	49.78	49.36		



LIQUID LIMIT = 50.06

PLASTIC LIMIT = 25.71

P.I. = 24.35

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	B10					
WET SOIL + CAN, gm.	16.80					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.35					
WT. OF CAN, gm.	14.60					
WT. OF WATER, gm.	0.45					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.75					
% WATER CONTENT	25.71					

Field Infiltration Test

Location of Projectr อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Co-ordination 634315 E 1801820 N

Elev top cm

Elev bottom cm

Height 22.5 cm

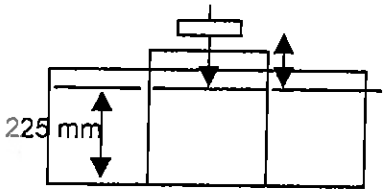
Initital Water Level 38.0 cm

Final H cm

Landuse ผักสวนครัว

Soil type SM-Silty sand

No. of refill water times

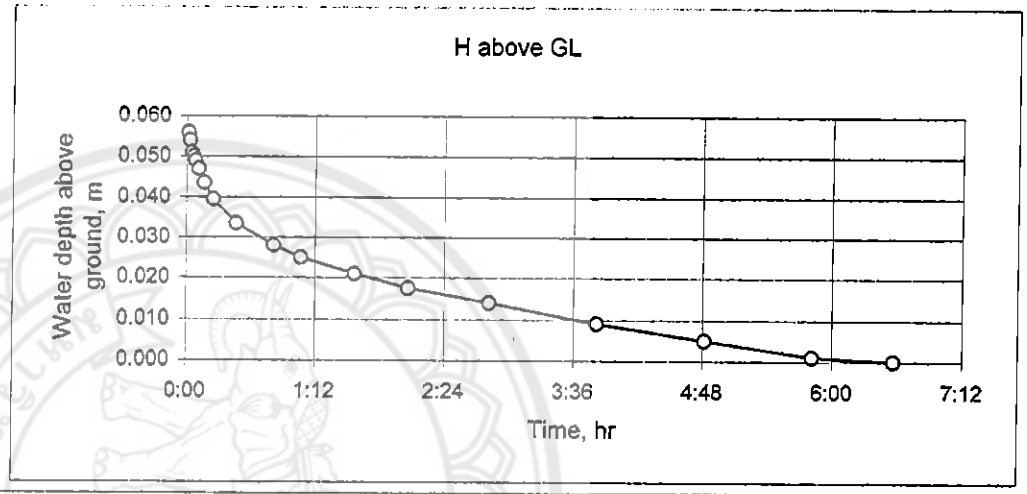


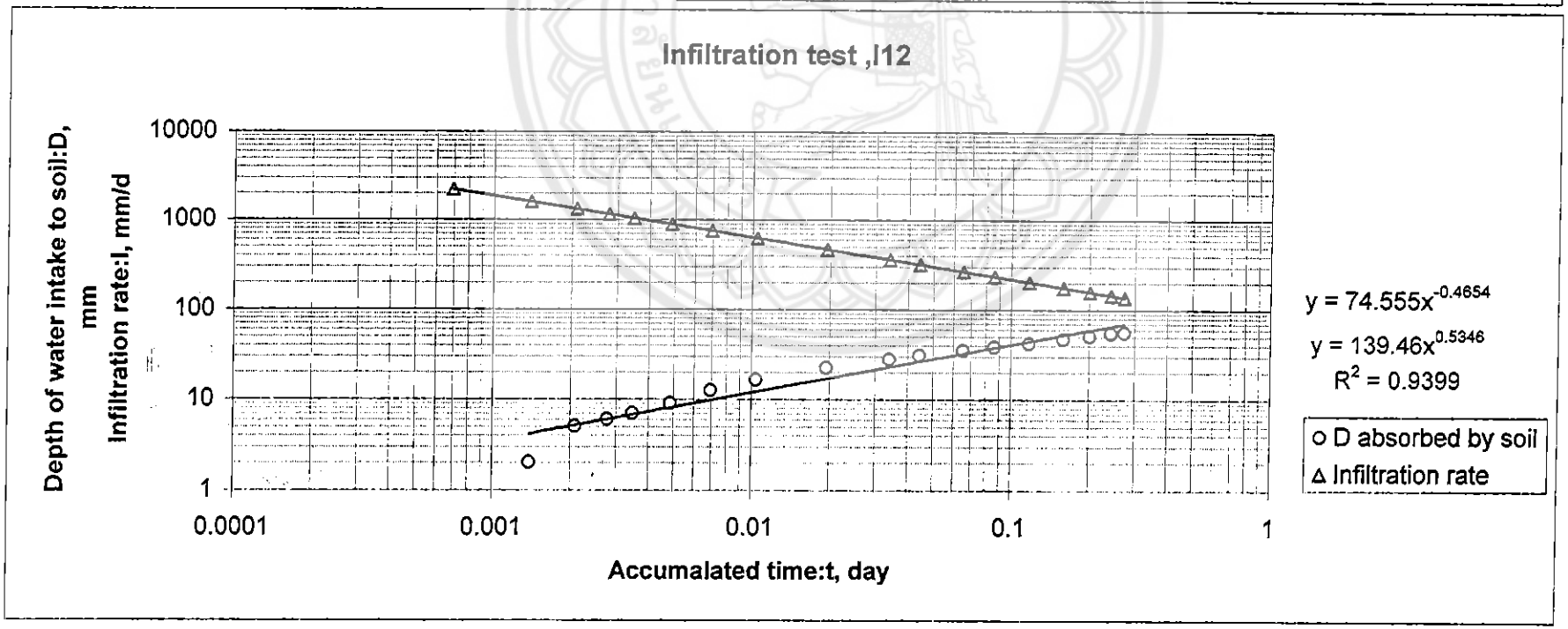
Date-time	Acc.Time (h:mm)	Time (day)	Water level (cm)	D absorbed by soil (mm)	H above GL (m)	Infiltration rate (mm/d)	Infiltration rate (m/sec)
22/12/02 10:33	0:01	0.001	38.250	0.010	0.056	2199.786	
22/12/02 10:34	0:02	0.001	38.050	2.010	0.054	1593.240	1.84403E-05
22/12/02 10:35	0:03	0.002	37.750	5.010	0.051	1319.254	1.52691E-05
22/12/02 10:36	0:04	0.003	37.650	6.010	0.050	1153.936	1.33557E-05
22/12/02 10:37	0:05	0.003	37.550	7.010	0.049	1040.111	1.20383E-05
22/12/02 10:39	0:07	0.005	37.350	9.010	0.047	889.348	1.02934E-05
22/12/02 10:42	0:10	0.007	37.000	12.510	0.044	753.322	8.719E-06
22/12/02 10:47	0:15	0.010	36.600	16.510	0.040	623.775	7.21961E-06
22/12/02 11:00	0:28	0.019	36.000	22.510	0.034	466.523	5.39957E-06
22/12/02 11:21	0:49	0.034	35.450	28.010	0.028	359.553	4.1615E-06
22/12/02 11:36	1:04	0.044	35.150	31.010	0.025	317.530	3.67511E-06
22/12/02 12:06	1:34	0.065	34.750	35.010	0.021	265.514	3.07307E-06
22/12/02 12:36	2:04	0.086	34.400	38.510	0.018	233.401	2.7014E-06
22/12/02 13:21	2:49	0.117	34.050	42.010	0.014	202.079	2.33888E-06
22/12/02 14:21	3:49	0.159	33.550	47.010	0.009	175.434	2.03048E-06
22/12/02 15:21	4:49	0.201	33.150	51.010	0.005	157.427	1.82207E-06
22/12/02 16:21	5:49	0.242	32.750	55.010	0.001	144.195	1.66892E-06
22/12/02 17:06	6:34	0.274	32.650	56.010	0.000	136.281	1.57733E-06
					day=1	74.555	8.62909E-07

From Graph: D vs t y = 139.46x0.5346

139.46 =A
0.5346 =B
74.555316 =AxB
-0.4654 =B-1

$D = At^{B}$ $I = ABt^{(B-1)}$





DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

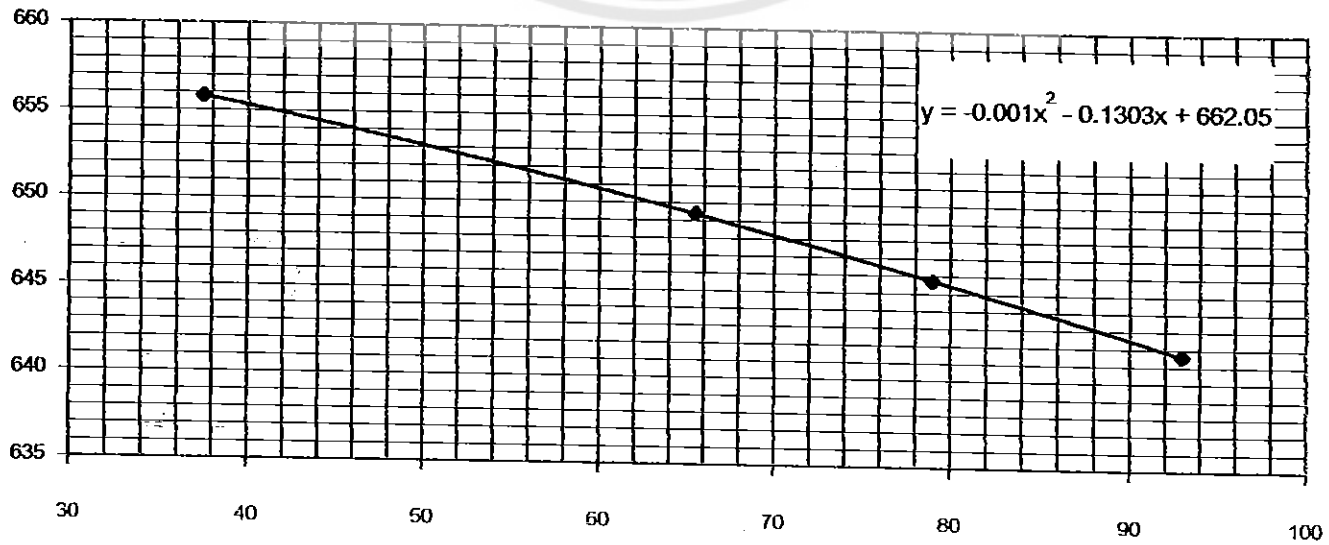
Soil Classification : SM-Silty sand

Co-ordinate : 634315E, 1801820N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION			
TRIAL NO.	1	2	3
1.TEMPERATURE, ^{0}C	79.0	69.0	58.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	736.2	738.5	741.1
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	645.5	648.3	651.1
4.CONTAINER NO.	-	-	-
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	503.7	503.7	503.7
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	360.7	360.7	360.7
7.DRY SOIL, w_s (gm)	143.0	143.0	143.0
8.SP. GR. OF WATER	0.9724	0.9784	0.9842
9.SP. GR. OF SOIL	2.66	2.65	2.65
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.65		

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

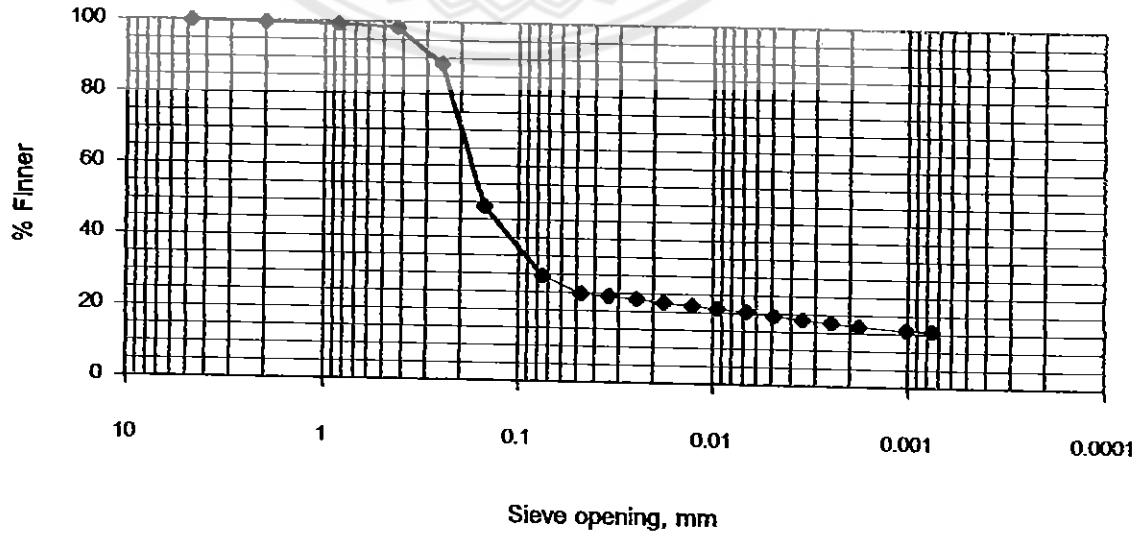
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM-Silty sand

Co-ordinate : 634315E, 1801820N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.30	0.30	0.03	0.03	99.97
10	2.00	429.50	432.50	3.00	0.30	0.33	99.67
20	0.85	390.50	393.90	3.40	0.34	0.67	99.33
40	0.43	399.50	408.00	8.50	0.85	1.52	98.48
60	0.25	326.80	427.00	100.20	10.02	11.54	88.46
100	0.15	319.30	716.70	397.40	39.76	51.30	48.70
200	0.08	304.80	497.10	192.30	19.24	70.54	29.46
PAN	-	282.80	577.30	294.50	29.46	100.00	-
			Total	999.60	100.00	Error,(gm)	0.40



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM-Silty sand

Co-ordinate : 634315E, 1801820N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS – 2.65 a – 1.000

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 65.5

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. °C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 29.46	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
3/2/46	9:29	0.25	27 / 2.00	58.00	57.00	25.64	59.00	6.60	26.40000	0.01260	0.06474
	9:29	0.50	"	56.00	55.00	24.74	57.00	7.00	14.00000	0.01260	0.04714
	9:30	1	"	54.50	53.50	24.06	55.50	7.20	7.20000	0.01260	0.03381
	9:31	2	"	53.00	52.00	23.39	54.00	7.40	3.70000	0.01260	0.02424
	9:33	4	"	51.00	50.00	22.49	52.00	7.80	1.95000	0.01260	0.01759
	9:37	8	"	49.50	48.50	21.81	50.50	8.00	1.00000	0.01260	0.01260
	9:44	15	"	48.00	47.00	21.14	49.00	8.30	0.55333	0.01260	0.00937
	9:59	30	"	46.50	45.50	20.46	47.50	8.50	0.28333	0.01260	0.00671
	10:29	60	"	44.00	43.00	19.34	45.00	8.90	0.14833	0.01260	0.00485
	11:29	120	"	42.00	41.00	18.44	43.00	9.20	0.07667	0.01260	0.00349
	13:29	240	28 / 2.50	40.00	39.50	17.77	41.00	9.60	0.04000	0.01240	0.00248
3/2/46	17:24	475	"	38.00	37.50	16.87	39.00	9.90	0.02084	0.01240	0.00179
4/2/46	10:32	1,503	"	36.00	35.50	15.97	37.00	10.20	0.00679	0.01240	0.00102
5/2/46	9:26	2,877	27 / 2.00	36.00	35.00	15.74	37.00	10.20	0.00355	0.01260	0.00075

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

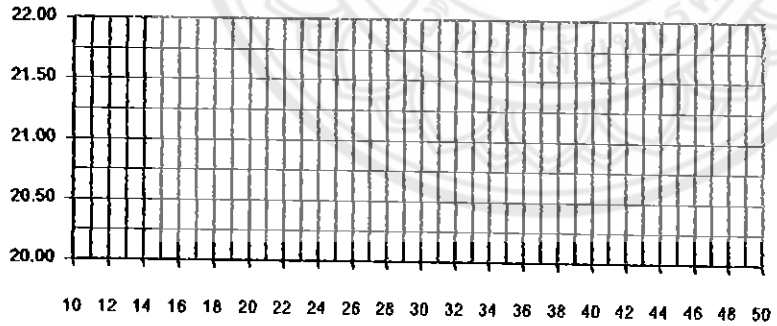
Soil Classification : SM-Silty sand

Co-ordinate : 634315E, 1801820N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N						
CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.						
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						



LIQUID LIMIT =

PLASTIC LIMIT =

P.I. =

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.						
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						

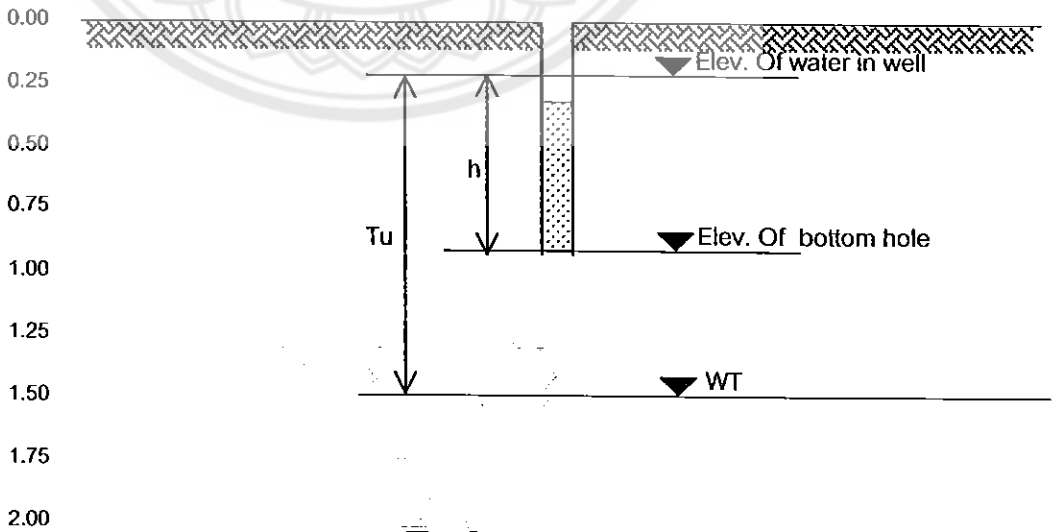
ตารางบันทึกผล Infiltration Rate

No.	Co-ordinate		Infiltration Rate	Landuse	Soil Classification
	E	N	1 Day,(m/sec)		
I1	623023	1804699	2.700E-05	ไร่ข้าวโพด	SC-SM, Silty clayey sand
I2	624298	1804414	1.020E-05	ไร่อ้อย	CL, Sandy lean clay
I3	625576	1800950	4.275E-06	นาข้าว	ML, Sandy silt
I4	626665	1802980	2.261E-07	ไร่อ้อย	SM-Silty Sand
I5	626629	1804540	1.858E-07	นาข้าว	ML, Sandy silt
I6	627702	1800647	9.404E-08	นาข้าว	SC-SM, Silty clayey sand
I7	628843	1803081	6.028E-08	นาข้าว	CL-ML, Sandy silty clay
I8	630611	1801306	1.322E-06	สวนกล้วย	CL, Sandy lean clay
I9	631750	1804725	7.285E-08	นาข้าว	CL-ML, Sand silty clay
I10	633105	1797730	1.127E-06	นาข้าว	ML, Sandy silty clay
I11	633212	1806525	1.119E-07	นาข้าว	CH, Sandy fat clay
I12	634315	1801820	8.629E-07	ผักสวนครัว	SM-Silty Sand
		Minimum	6.028E-08		
		Maximum	2.700E-05		
		Median	5.445E-07		
		Average	3.795E-06		

DETERMINATION OF WELL TEST

Project	โครงงานฯ	Test no	W1
Location	อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	Field permeability test	(E - 19)
From		To	
Diameter of well		Test depth	90 cm.
Date	18-Jul-02	Soil classification	SM, Silty sand
Lab.classification	SM, Silty sand	Foreman	
Start time		Finish time	

1 Depth to bottom of hole	=	2.9525	Ft.
2 Depth to top of sand	=	0.9842	Ft.
3 Depth of sand used	=	1.9684	Ft.
4 Depth to top of water in well	=	0.7545	Ft.
5 Depth of water in well	=	2.1980	Ft.
6 Weight of sand+ container filling well	=	-	lbs.
7 Weight of sand+ container after filling well	=	-	lbs.
8 Weight of sand used	=	28.9684	lbs.
9 Density of standard sand	=	91.4170	pcf.
10 Volume of sand used (8/9)	=	0.3169	cu.ft.
11 Radius of well. $R=\sqrt{(10)/(3)\pi}$	=	0.2264	ft.



Condition h < Tu < 3h

สูตร $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

K_{20} = 4,344.91 ft/year

K_{20} = 4.199E-05 m/sec

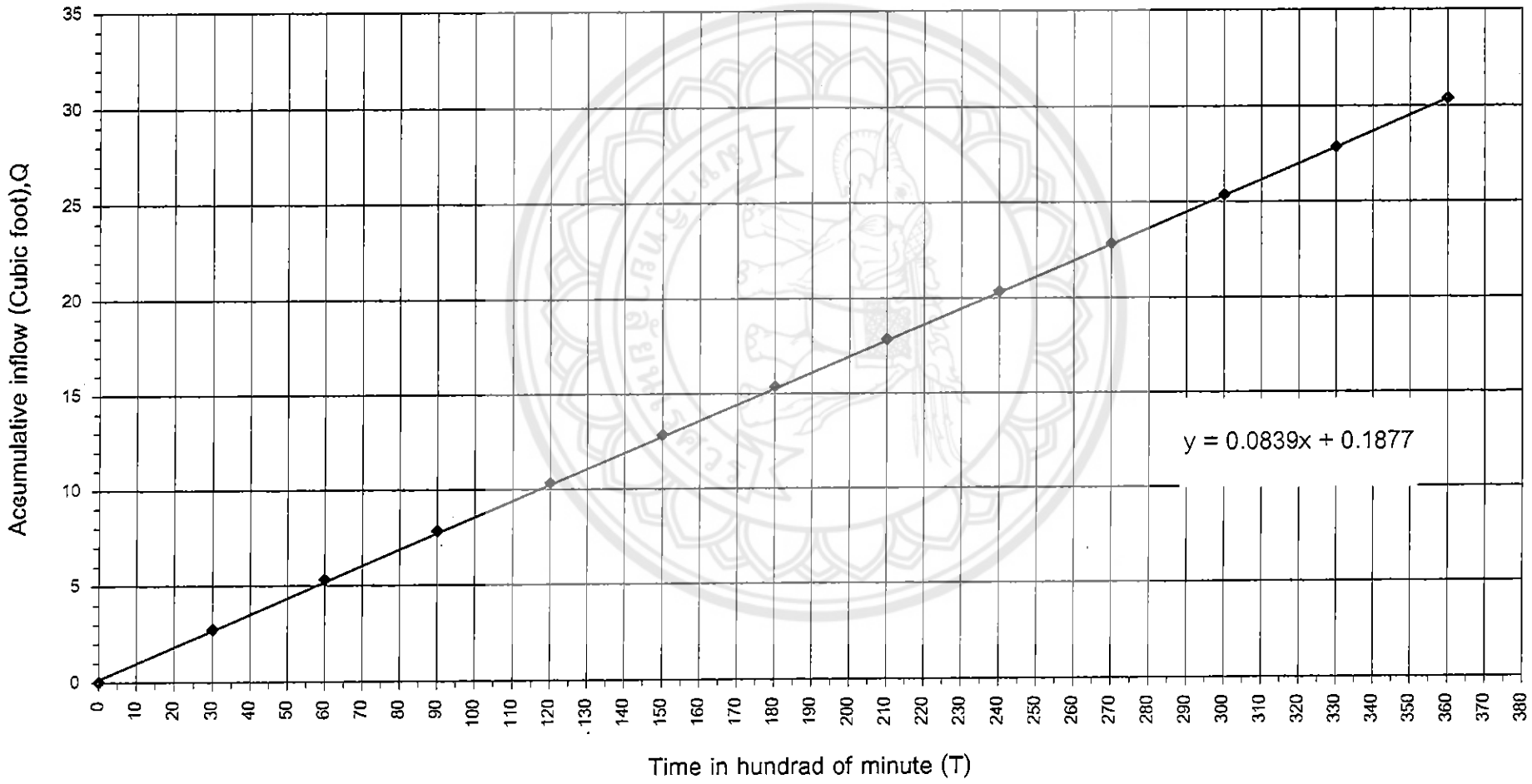
RECORD OF TIME AND VOLUME MEASUREMENT

Test no : W1 Date : 18-Jul-02

Co-ordinate : 623752E, 1802650N Test by : Grond temperature, °C : 27

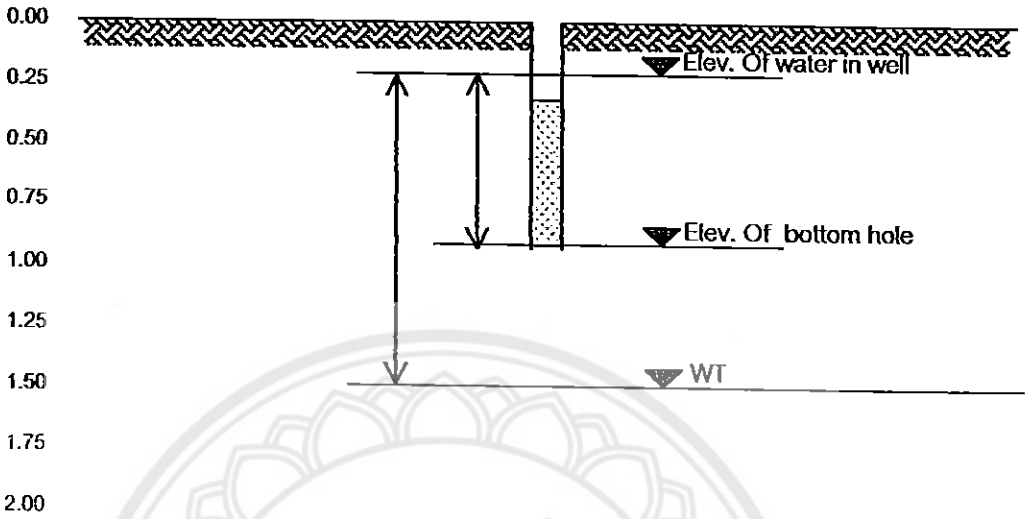
Time and water volume							Water temp.	Water temp.	Remarks
Clock	Read time	Accum min.	Read litre	diff. litre	Accum flow		in tank degree	in well degree	
					Litre	Lx. 0.0353			
18/7/02 10:00		0	120.00		0.00	0.000	27.00	27.00	27.79
18/7/02 10:30	0:30	30	43.00	77.00	77.00	2.718	27.00	27.00	27.79
18/7/02 10:32	0:02	-	120.00	-	-	-	27.00	27.00	เติมน้ำ
18/7/02 11:02	0:30	60	47.00	73.00	150.00	5.295	27.00	27.00	
18/7/02 11:04	0:02	-	120.00	-	-	-	27.00	27.00	เติมน้ำ
18/7/02 11:34	0:30	90	49.00	71.00	221.00	7.801	27.00	27.00	
18/7/02 11:35	0:01	-	120.00	-	-	-	27.00	27.00	เติมน้ำ
18/7/02 12:05	0:30	120	49.00	71.00	292.00	10.308	27.00	27.00	
18/7/02 12:07	0:02	-	120.00	-	-	-	27.50	27.50	เติมน้ำ
18/7/02 12:37	0:30	150	49.00	71.00	363.00	12.814	27.50	27.50	
18/7/02 12:40	0:03	-	120.00	-	-	-	27.50	27.50	เติมน้ำ
18/7/02 13:10	0:30	180	49.00	71.00	434.00	15.320	27.50	27.50	
18/7/02 13:12	0:02	-	120.00	-	-	-	27.50	27.50	เติมน้ำ
18/7/02 13:42	0:30	210	49.00	71.00	505.00	17.827	27.50	27.50	
18/7/02 13:44	0:02	-	120.00	-	-	-	28.00	28.00	เติมน้ำ
18/7/02 14:14	0:30	240	49.00	71.00	576.00	20.333	28.00	28.00	
18/7/02 14:16	0:02	-	120.00	-	-	-	28.00	28.00	เติมน้ำ
18/7/02 14:46	0:30	270	49.00	71.00	647.00	22.839	28.00	28.00	
18/7/02 14:48	0:02	-	120.00	-	-	-	29.00	29.00	เติมน้ำ
18/7/02 15:18	0:30	300	49.00	71.00	718.00	25.345	29.00	29.00	
18/7/02 15:20	0:02	-	120.00	-	-	-	29.00	29.00	เติมน้ำ
18/7/02 15:50	0:30	330	49.00	71.00	789.00	27.852	29.00	29.00	
18/7/02 15:52	0:02	-	120.00	-	-	-	29.00	29.00	เติมน้ำ
18/7/02 16:22	0:30	360	49.00	71.00	860.00	30.358	29.00	29.00	

W1(623752E, 1802650N)



Project : โครงงาน ฯ Test no : W1 Class :

Co-ordinate : 623752E, 1802650N Test by : Grond temperature, °C : 27

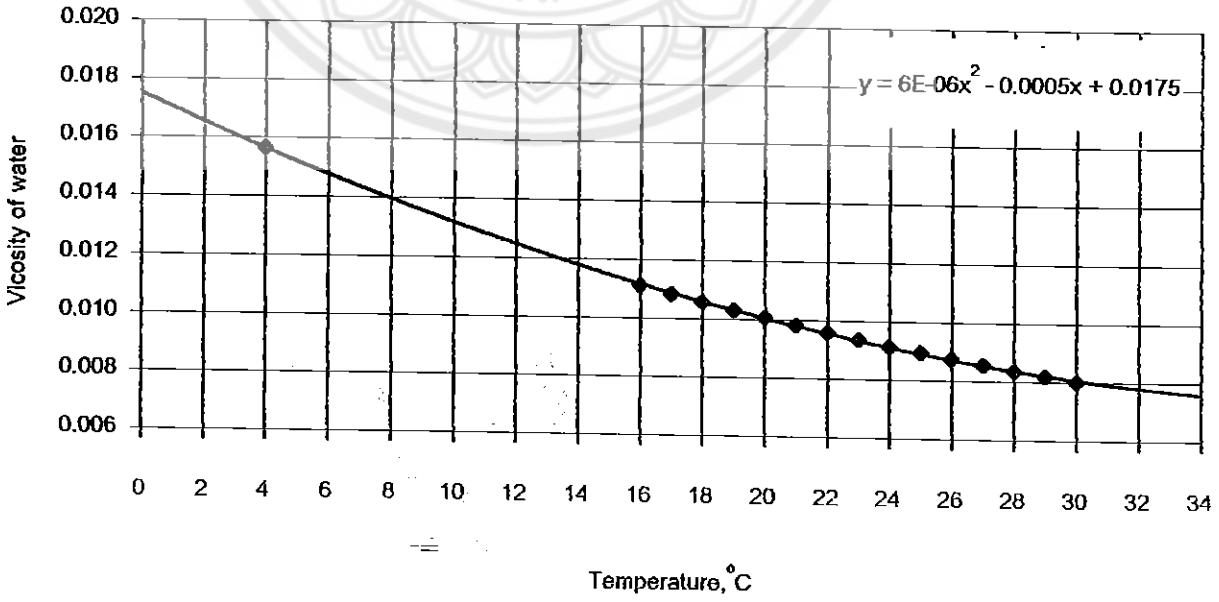


Condition 2 h < Tu < 3h

สูตร = $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_o (h/r)(Q/2\P)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

K_{20} = 4,344.91 ft/year

K_{20} = 4.199E-03 cm/sec



Temp, °C= 27.79

μ_T= 0.0084

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

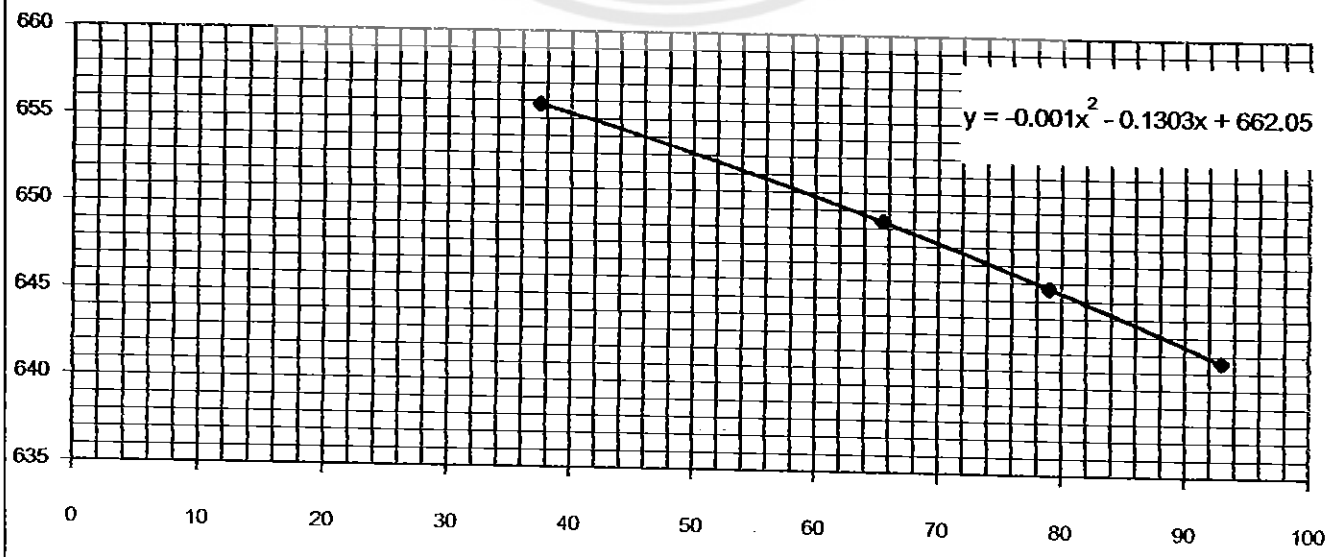
Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 623752E, 1802650N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	80.0	65.5	53.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	697.8	701.6	704.6	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	645.2	649.2	652.3	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	407.2	407.2	407.2	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	322.6	322.6	322.6	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	84.6	84.6	84.6	
8.SP. GR. OF WATER	0.9718	0.9803	0.9867	
9.SP. GR. OF SOIL	2.57	2.57	2.58	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.57			

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

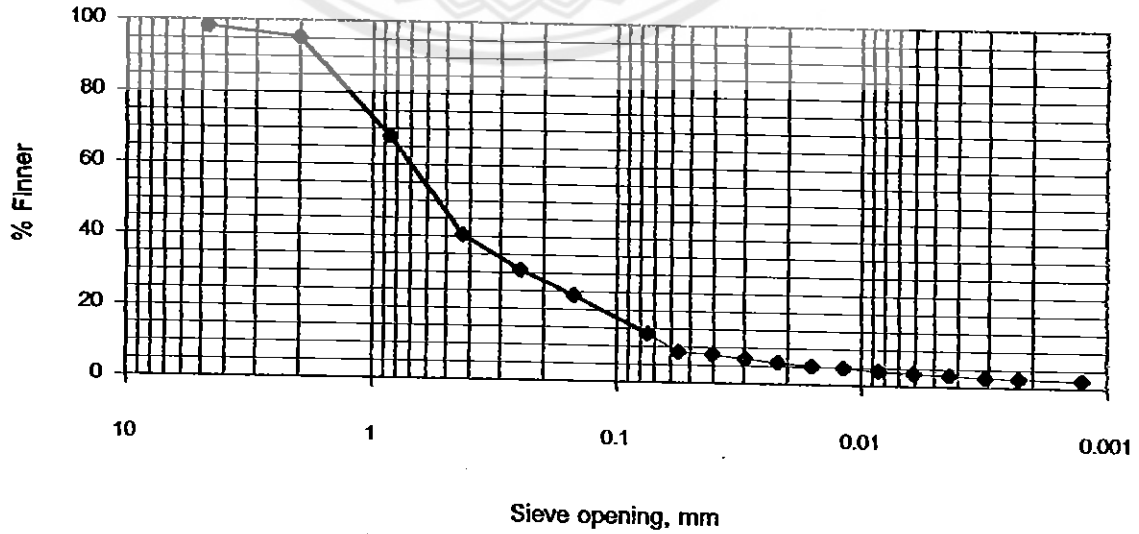
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 623752E, 1802650N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	478.90	8.90	1.78	1.78	98.22
10	2.00	429.50	443.50	14.00	2.80	4.59	95.41
20	0.85	390.40	528.20	137.80	27.60	32.19	67.81
40	0.43	399.80	536.80	137.00	27.44	59.62	40.38
60	0.25	326.50	374.40	47.90	9.59	69.22	30.78
100	0.15	319.70	353.40	33.70	6.75	75.97	24.03
200	0.08	305.30	357.70	52.40	10.49	86.46	13.54
PAN	-	282.80	350.40	67.60	13.54	100.00	-
			Total	499.30	100.00	Error,(gm)	0.70



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 623752E, 1802650N

HYDROMETER ANALYSIS

HYDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.57 a = 1.016

DISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) = 65.6

ZERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 13.54	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
6/2/46	9:09	0.25	26 / 1.65	44.00	42.65	8.94	45.00	8.90	35.60000	0.01302	0.07768
	9:09	0.50	"	42.00	40.65	8.52	43.00	9.20	18.40000	0.01302	0.05585
	9:10	1	"	40.00	38.65	8.11	41.00	9.60	9.60000	0.01302	0.04034
	9:11	2	"	35.00	33.65	7.06	36.00	10.40	5.20000	0.01302	0.02969
	9:13	4	"	30.00	28.65	6.01	31.00	11.20	2.80000	0.01302	0.02179
	9:17	8	"	26.00	24.65	5.17	27.00	11.90	1.48750	0.01302	0.01588
	9:24	15	"	24.00	22.65	4.75	25.00	12.20	0.81333	0.01302	0.01174
	9:39	30	"	21.00	19.65	4.12	22.00	12.70	0.42333	0.01302	0.00847
	10:09	60	27 / 2.00	18.00	17.00	3.56	19.00	13.20	0.22000	0.01292	0.00606
	11:09	120	"	16.00	15.00	3.15	17.00	13.50	0.11250	0.01292	0.00433
	13:09	240	"	14.00	13.00	2.73	15.00	13.80	0.05750	0.01292	0.00310
6/2/46	16:36	447	28 / 2.50	12.50	12.00	2.52	13.50	14.10	0.03154	0.01272	0.00226
7/2/46	10:39	1,530	26 / 1.65	12.00	10.65	2.23	13.00	14.20	0.00928	0.01302	0.00125

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

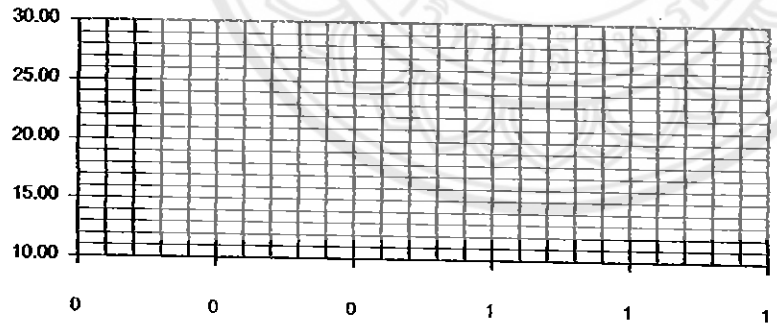
Soil Classification : SM, Silty sand

Co-ordinate : 623752E, 1802650N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N						
CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.			Non Plastic			
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						



LIQUID LIMIT =

PLASTIC LIMIT =

P.I. =

FLOW INDEX =

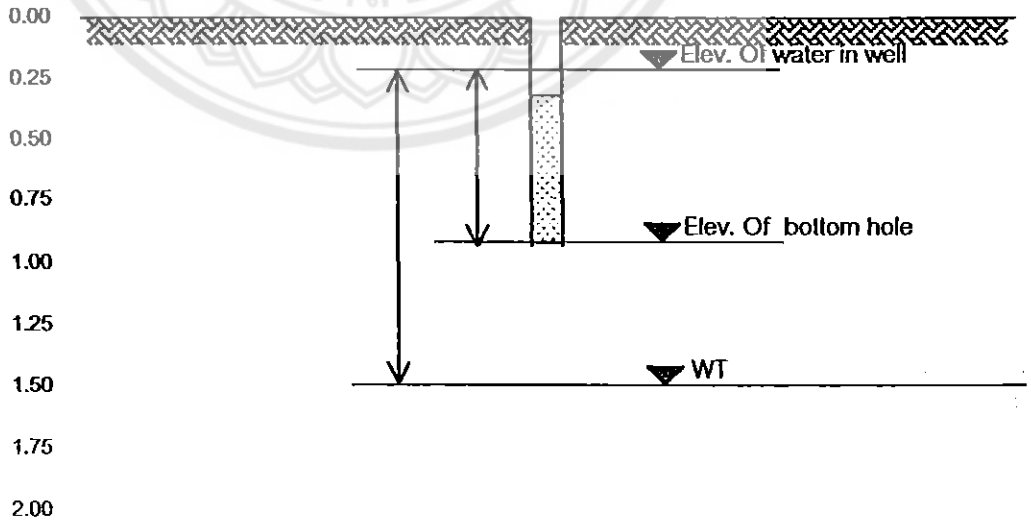
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.						
WET SOIL + CAN, gm.						
DRY SOIL + CAN, gm.						
WT. OF CAN, gm.						
WT. OF WATER, gm.						
WT. OF DRY SOIL, gm.						
% WATER CONTENT						

DETERMINATION OF WELL TEST

Project	โครงงานฯ	Test no	W2
Location	อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	Field permeability test	(E - 19)
From		To	
Diameter of well		Test depth	50 cm
Date	06-Jul-02	Soil classification	CL-ML
Lab.classification	CL-ML, Sandy silty clay	Foreman	
Start time		Finish time	

1 Depth to bottom of hole	=	1.6403	Ft.
2 Depth to top of sand	=	0.3281	Ft.
3 Depth of sand used	=	1.3122	Ft.
4 Depth to top of water in well	=	0.2624	Ft.
5 Depth of water in well	=	1.3779	Ft.
6 Weight of sand+ container filling well	=	-	lbs.
7 Weight of sand+ container after filling well	=	-	lbs.
8 Weight of sand used	=	10.3396	lbs.
9 Density of standard sand	=	91.4170	pcf.
10 Volume of sand used (8/9)	=	0.1131	cu.ft.
11 Radius of well. $R = \sqrt{(10)/(3)\pi}$	=	0.1656	ft.



Condition 2 h < Tu < 3h

สูตร $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

K_{20} = 634.55 ft/year

K_{20} = 6.133E-06 m/sec

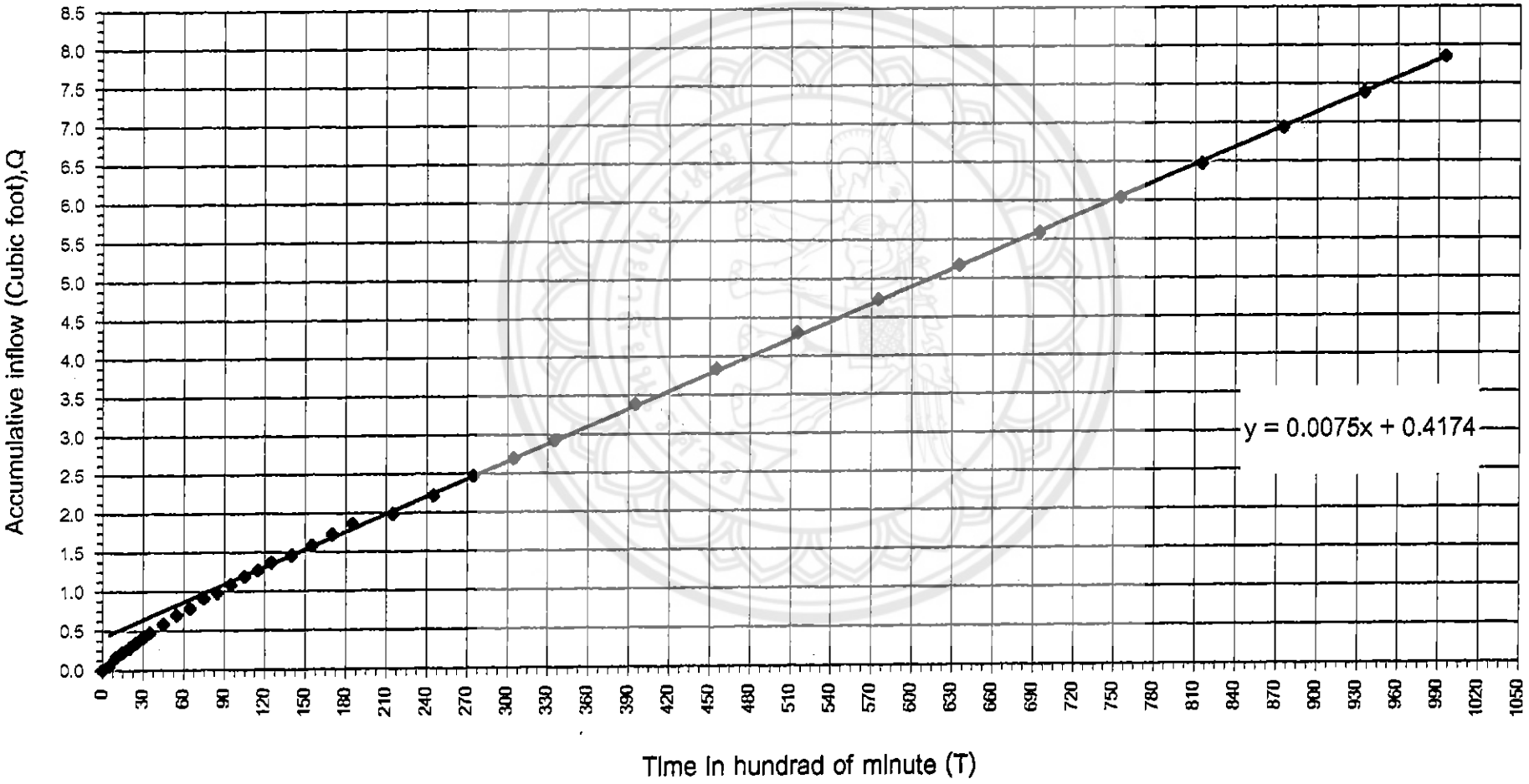
RECORD OF TIME AND VOLUME MEASUREMENT

Test no : W2 Date : 06-Jul-02

Co-ordinate : 629360E, 1804095N Test by : Grond temperature, °C : 30

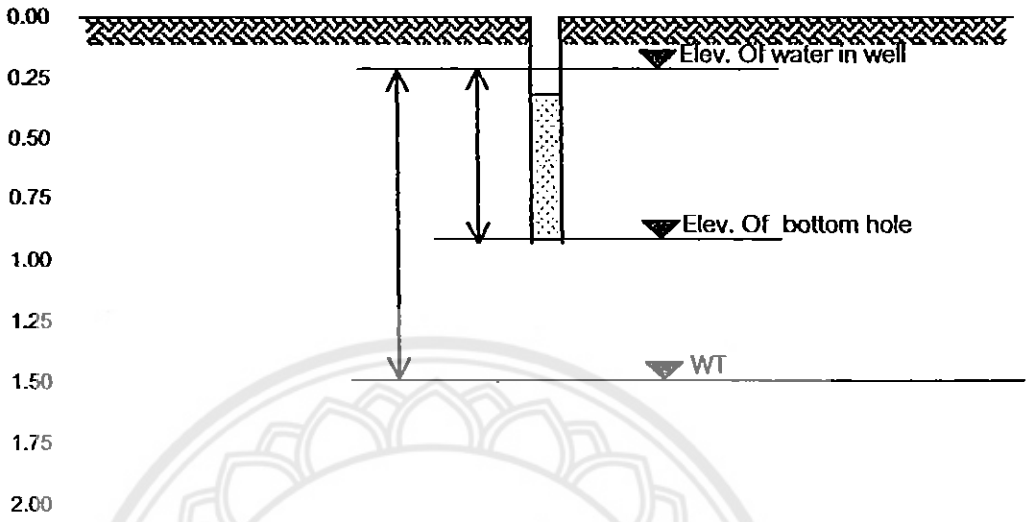
Time and water volume							Water temp. in tank degree	Water temp. in well degree	Remarks
Clock	Read time	Accum min.	Read litre	diff. litre	Accum flow Litre	Accum flow Lx. 0.0353			
6/7/02 12:27		0	119.00		0.00	0.000	29.00	29.00	28.24
6/7/02 12:32	0:05	5	117.50	1.50	1.50	0.053	29.00	29.00	27.82
6/7/02 12:37	0:05	10	114.50	3.00	4.50	0.159	29.00	29.00	
6/7/02 12:42	0:05	15	112.50	2.00	6.50	0.229	29.00	29.00	
6/7/02 12:47	0:05	20	111.00	1.50	8.00	0.282	29.00	29.00	
6/7/02 12:52	0:05	25	109.20	1.80	9.80	0.346	29.00	29.00	
6/7/02 12:57	0:05	30	107.00	2.00	11.80	0.417	29.00	29.00	
6/7/02 13:02	0:05	35	105.40	1.60	13.40	0.473	29.00	29.00	
6/7/02 13:12	0:10	45	102.20	3.20	16.60	0.586	29.50	29.00	
6/7/02 13:22	0:10	55	99.00	3.20	19.80	0.699	29.50	29.00	
6/7/02 13:32	0:10	65	96.50	2.50	22.30	0.787	29.50	29.00	
6/7/02 13:42	0:10	75	93.00	3.50	25.80	0.911	29.50	29.00	
6/7/02 13:52	0:10	85	91.00	2.00	27.80	0.981	29.50	29.00	
6/7/02 14:02	0:10	95	88.00	3.00	30.80	1.087	29.50	29.00	
6/7/02 14:12	0:10	105	85.20	2.80	33.60	1.186	29.50	29.00	
6/7/02 14:22	0:10	115	83.00	2.20	35.80	1.264	29.50	29.00	
6/7/02 14:32	0:10	125	80.00	3.00	38.80	1.370	29.50	29.00	
6/7/02 14:47	0:15	140	77.50	2.50	41.30	1.458	29.50	29.00	
6/7/02 15:02	0:15	155	74.00	3.50	44.80	1.581	29.50	29.00	
6/7/02 15:17	0:15	170	70.00	4.00	48.80	1.723	30.00	29.00	
6/7/02 15:32	0:15	185	66.00	4.00	52.80	1.864	30.00	29.00	
6/7/02 16:02	0:30	215	62.50	3.50	56.30	1.987	30.00	29.00	
6/7/02 16:32	0:30	245	56.00	6.50	62.80	2.217	30.00	29.00	
6/7/02 17:02	0:30	275	49.00	7.00	69.80	2.464	29.00	29.00	
6/7/02 17:05	0:03	-	120.00	-	-	-	28.00	27.00	เติมน้ำ
6/7/02 17:35	0:30	305	113.50	6.50	76.30	2.693	28.00	27.00	
6/7/02 18:05	0:30	335	107.00	6.50	82.80	2.923	28.00	27.00	
6/7/02 19:05	1:00	395	94.00	13.00	95.80	3.382	28.00	27.00	
6/7/02 20:05	1:00	455	81.00	13.00	108.80	3.841	28.00	27.00	
6/7/02 21:05	1:00	515	68.00	13.00	121.80	4.300	28.00	27.00	
6/7/02 22:05	1:00	575	56.00	12.00	133.80	4.723	28.00	27.00	
6/7/02 23:05	1:00	635	43.50	12.50	146.30	5.164	26.00	27.00	

W2 (629360E, 1804095N)



Project : โครงงาน ฯ Test no : W2 Class :

Co-ordinate : 629360E, 1804095N Test by : Grond temperature, °C : 3

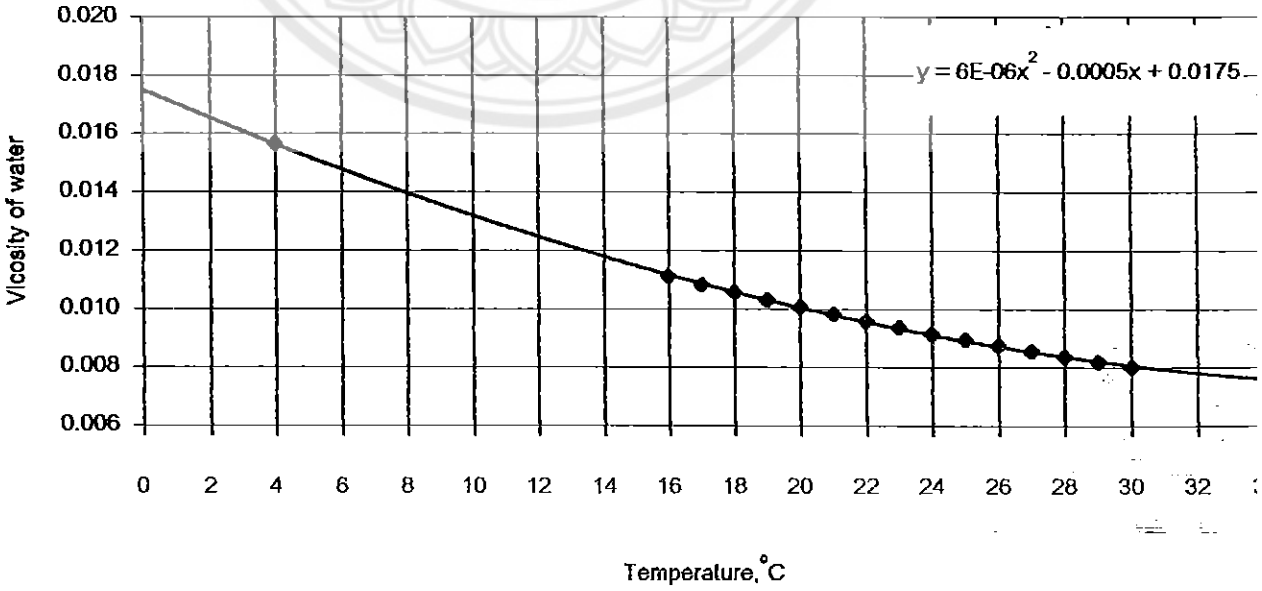


Condition 2 h < Tu < 3h

สูตร = $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

K_{20} = 634.55 ft/year

K_{20} = 6.133E-04 cm/sec



Temp, °C= 2

μ_T= ##

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

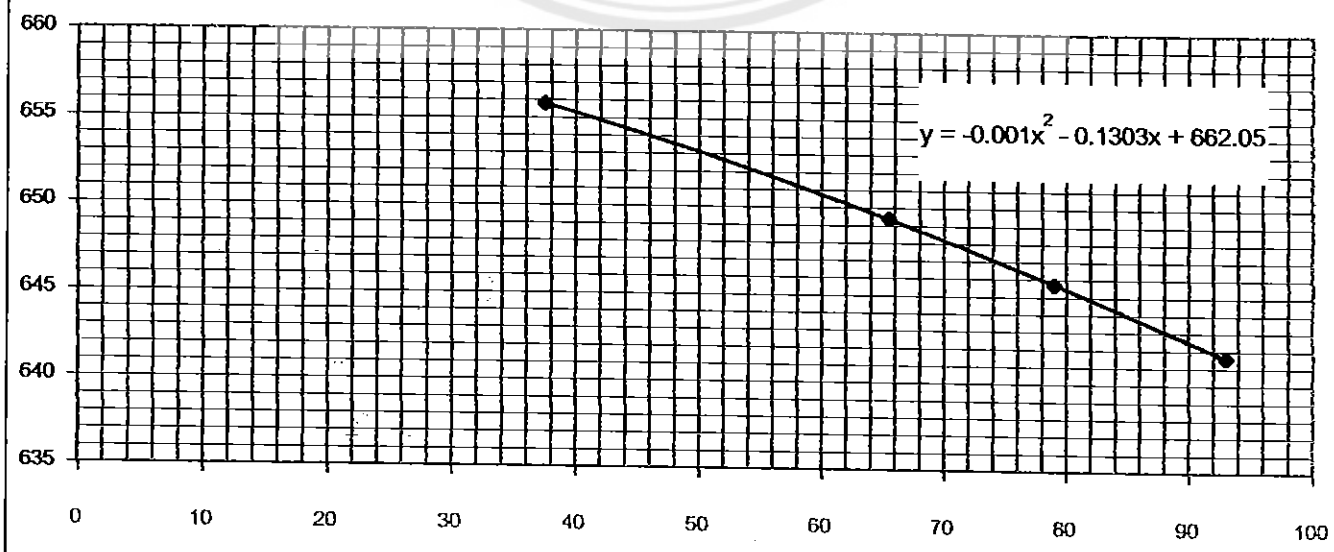
oil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

o-ordinate : 629360E, 1804095N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

PECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
TRIAL NO.	1	2	3	
1.TEMPERATURE, ^{0}C	77.5	64.5	57.0	
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	701.0	704.5	706.2	
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	645.9	649.5	651.4	
4.CONTAINER NO.	-	-	-	
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	411.4	411.4	411.4	
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	323.1	323.1	323.1	
7.DRY SOIL, w_s (gm)	88.3	88.3	88.3	
8.SP. GR. OF WATER	0.9792	0.9808	0.9848	
9.SP. GR. OF SOIL	2.60	2.60	2.60	
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.60			

FLASK CALIBRATION			
1	2	3	4
37.5	65.5	79.0	93.0
655.8	649.4	645.7	641.6



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

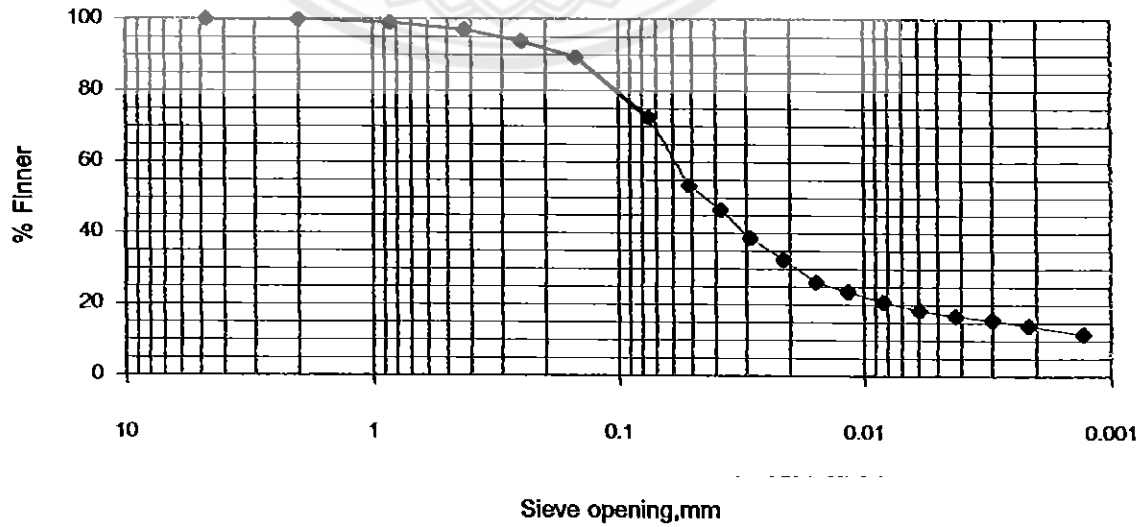
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 629360E, 1804095N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	470.10	0.10	0.04	0.04	99.96
10	2.00	429.50	429.80	0.30	0.12	0.16	99.84
20	0.85	390.10	392.20	2.10	0.84	1.00	99.00
40	0.43	399.70	405.00	5.30	2.13	3.13	96.87
60	0.25	326.50	334.10	7.60	3.05	6.17	93.83
100	0.15	319.30	330.80	11.50	4.61	10.79	89.21
200	0.08	305.20	347.20	42.00	16.84	27.63	72.37
PAN	-	282.70	463.20	180.50	72.37	100.00	-
			Total	249.40	100.00	Error,(gm)	0.60



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

roject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล

ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

o-ordinate : 629360E, 1804095N

HYDROMETER ANALYSIS

YDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS – 2.60 a – 1.010

ISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) - 65.2

ERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 72.37	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
8/2/46	9:53	0.25	28 / 2.50	52.00	51.50	57.74	53.00	7.60	30.40000	0.01260	0.06947
	9:53	0.50	"	48.00	47.50	53.25	49.00	8.30	16.60000	0.01260	0.05134
	9:54	1	"	42.00	41.50	46.52	43.00	9.20	9.20000	0.01260	0.03822
	9:55	2	"	35.00	34.50	38.68	36.00	10.40	5.20000	0.01260	0.02873
	9:57	4	"	29.50	29.00	32.51	30.50	11.30	2.82500	0.01260	0.02118
	10:01	8	"	24.00	23.50	26.35	25.00	12.20	1.52500	0.01260	0.01556
	10:08	15	"	21.50	21.00	23.54	22.50	12.60	0.84000	0.01260	0.01155
	10:23	30	"	19.00	18.50	20.74	20.00	13.00	0.43333	0.01260	0.00829
	10:53	60	"	17.00	16.50	18.50	18.00	13.30	0.22167	0.01260	0.00593
	11:53	120	"	15.50	15.00	16.82	16.50	13.60	0.11333	0.01260	0.00424
	13:53	240	29 / 3.05	14.00	14.05	15.75	15.00	13.80	0.05750	0.01250	0.00300
8/2/46	17:53	480	"	12.50	12.55	14.07	13.50	14.10	0.02938	0.01250	0.00214
9/2/46	8:30	1,357	28 / 2.50	11.00	10.50	11.77	12.00	14.30	0.01054	0.01260	0.00129

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

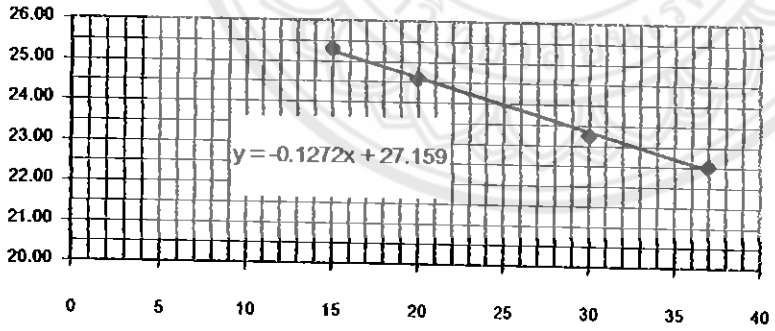
Soil Classification : CL-ML, Sandy silty clay

Co-ordinate : 629360E, 1804095N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	15	20	30	37		
CAN NO.	D5	B6	D8	B8		
WET SOIL + CAN, gm.	24.318	21.620	22.423	24.567		
DRY SOIL + CAN, gm.	22.376	20.195	21.023	22.937		
WT. OF CAN, gm.	14.70	14.40	15.00	15.70		
WT. OF WATER, gm.	1.94	1.43	1.40	1.63		
WT. OF DRY SOIL, gm.	7.68	5.80	6.02	7.24		
% WATER CONTENT	25.30	24.59	23.24	22.52		



LIQUID LIMIT = 23.98

PLASTIC LIMIT = 18.14

P.I. = 5.84

FLOW INDEX =

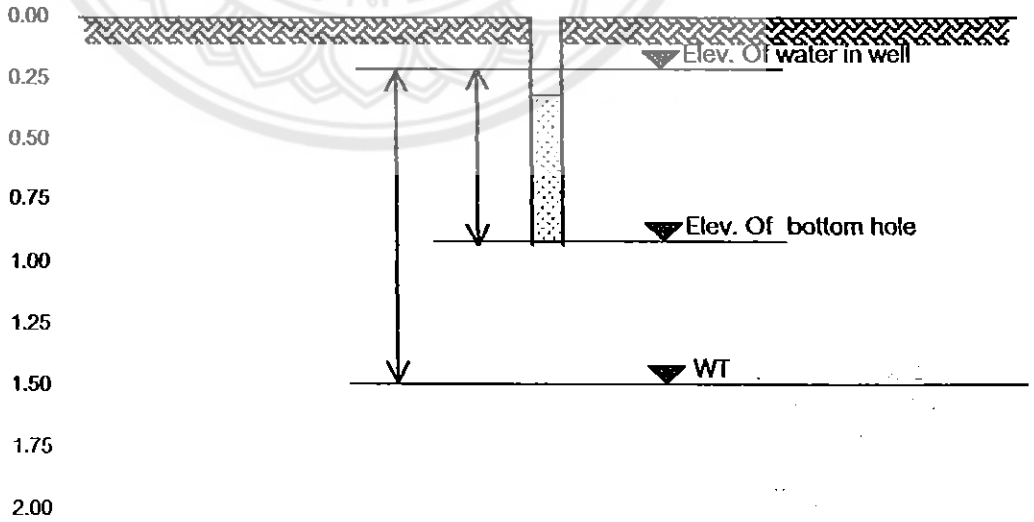
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	C2					
WET SOIL + CAN, gm.	16.55					
DRY SOIL + CAN, gm.	16.30					
WT. OF CAN, gm.	14.90					
WT. OF WATER, gm.	0.25					
WT. OF DRY SOIL, gm.	1.40					
% WATER CONTENT	18.14					

DETERMINATION OF WELL TEST

Project	โครงงานฯ	Test no	W3
Location	อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	Field permeability test	(E - 19)
From		To	
Diameter of well		Test depth	80 cm
Date	12-Aug-02	Soil classification	CL, Sandy lean clay
Lab.classification	CL, Sandy lean clay	Foreman	
Start time		Finish time	

1 Depth to bottom of hole	=	2.6245	Ft.
2 Depth to top of sand	=	0.9842	Ft.
3 Depth of sand used	=	1.6403	Ft.
4 Depth to top of water in well	=	0.4265	Ft.
5 Depth of water in well	=	2.1980	Ft.
6 Weight of sand+ container filling well	=	-	lbs.
7 Weight of sand+ container after filling well	=	-	lbs.
8 Weight of sand used	=	17.6368	lbs.
9 Density of standard sand	=	91.4170	pcf.
10 Volume of sand used (8/9)	=	0.1929	cu.ft.
11 Radius of well. $R=\sqrt{(10)/(3)\pi}$	=	0.1935	ft.



Condition h < Tu < 3h

สูตร $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\Pi)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

$K_{20} =$ 721.97

$K_{20} =$ 6.978E-06 m/sec

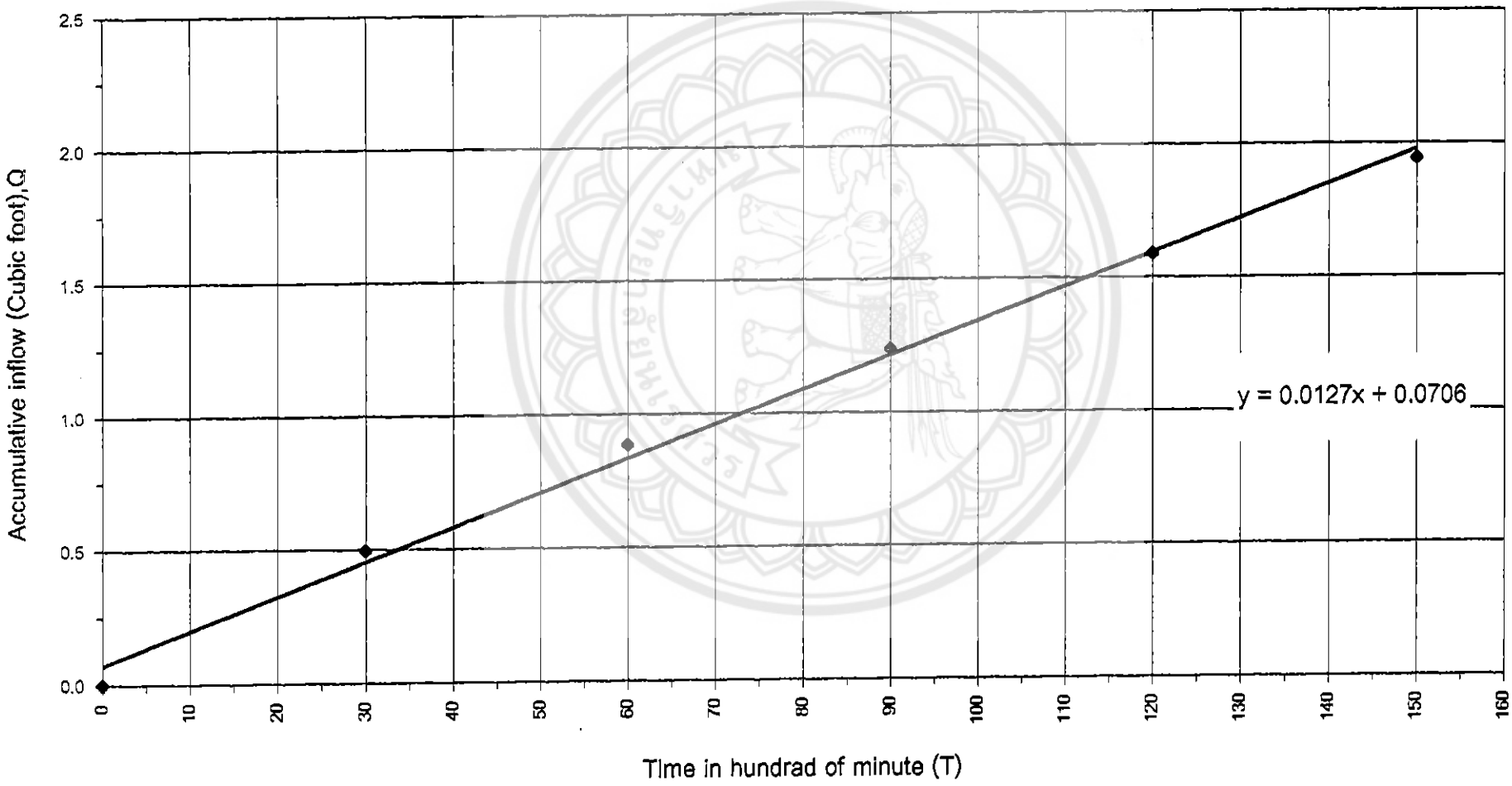
RECORD OF TIME AND VOLUME MEASUREMENT

Test no : W2 Date : 12-Aug-02

Co-ordinate : 632993E, 1800735N Test by : Grond temperature, °C : 30

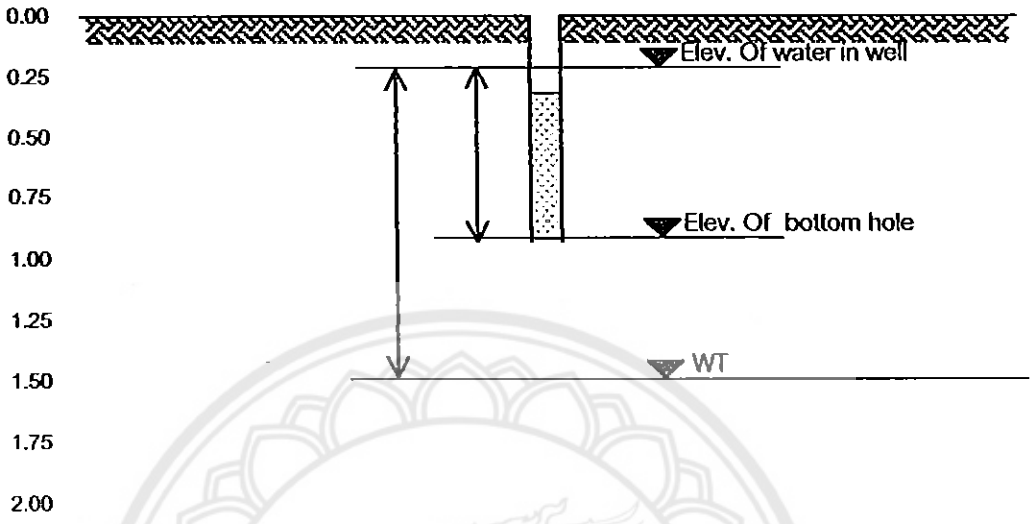
Time and water volume							Water temp. in tank degree	Water temp. in well degree	Remarks
Clock	Read time	Accum min.	Read litre	diff. litre	Accum flow				
					Litre	Lx. 0.0353			
12/8/02 9:00		0	120.00		0.00	0.000	26.00	26.00	26.50
12/8/02 9:30	0:30	30	106.00	14.00	14.00	0.494	26.50	26.00	26.42
12/8/02 10:00	0:30	60	95.00	11.00	25.00	0.883	26.50	26.50	
12/8/02 10:30	0:30	90	85.00	10.00	35.00	1.236	26.50	26.50	
12/8/02 11:00	0:30	120	75.00	10.00	45.00	1.589	27.00	26.50	
12/8/02 11:30	0:30	150	65.00	10.00	55.00	1.942	26.50	27.00	

W3 (632993E, 1800735N)



Project : โครงงาน ฯ Test no : W3 Class :

Co-ordinate : 632993E, 1800735N Test by : Grond temperature, °C : 3(

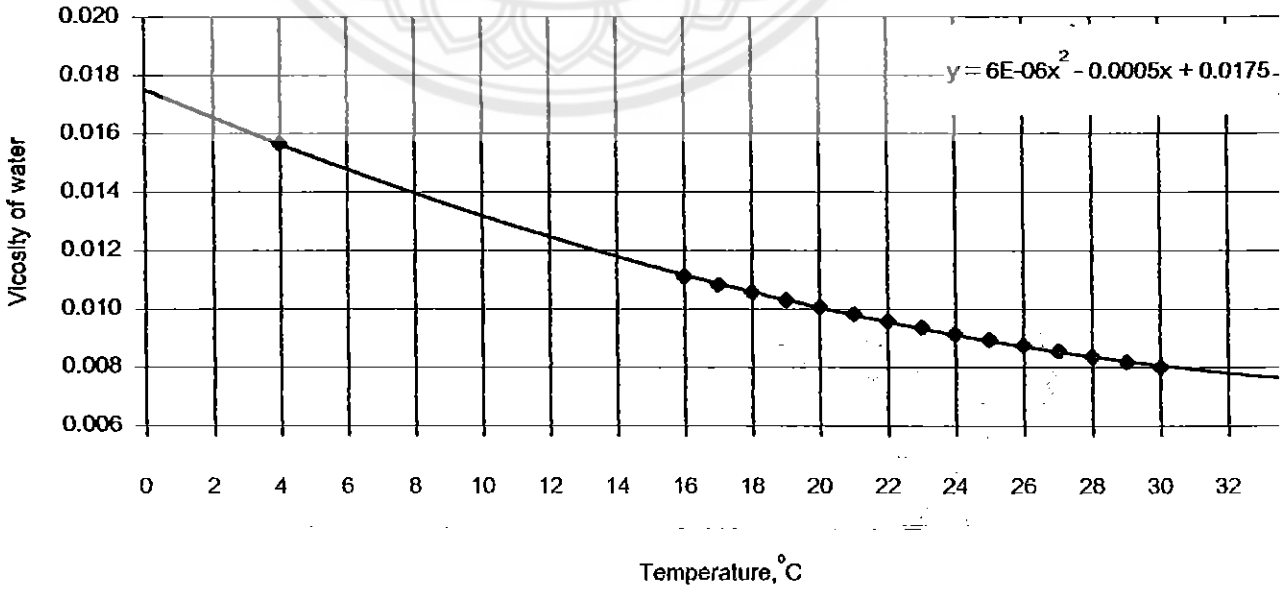


Condition 2 h < Tu < 3h

สูตร = $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P)}{h^2[1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]}(\mu_t / \mu$

K_{20} = 721.97 ft/year

K_{20} = 6.978E-04 cm/sec



Temp, °C=

μ_T= 0.(

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

oject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

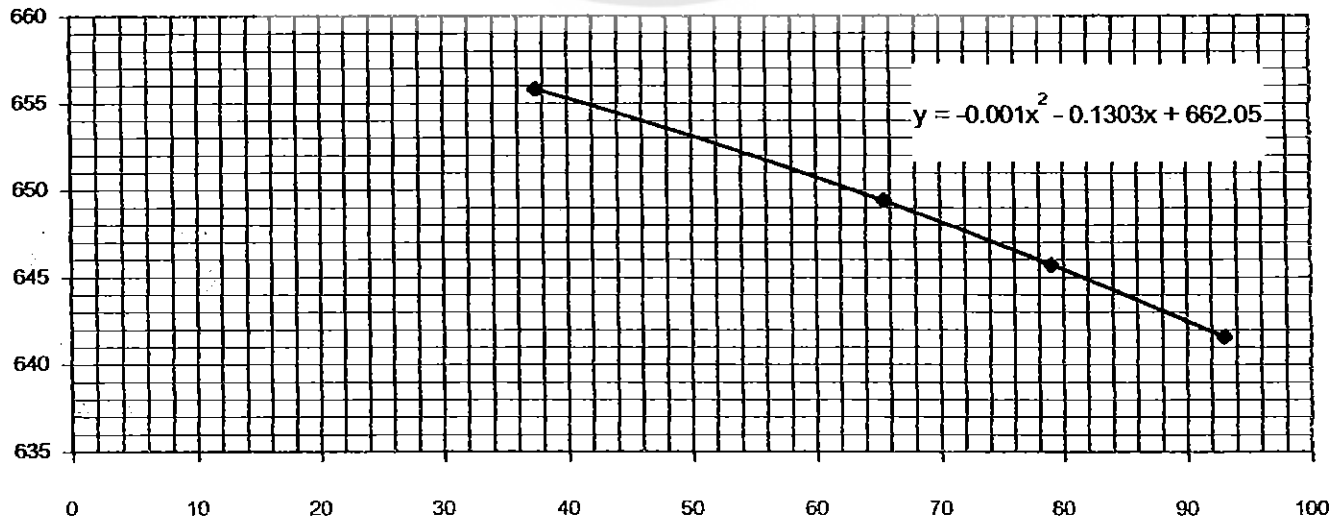
cation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

il Classification : CL, Sandy lean clay

-ordinate : 632993E, 1800735N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

PECIFIC GRAVITY DETERMINATION				FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3	1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	88.0	71.0	63.0	37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	709.6	713.4	715.6	655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	642.8	647.8	649.9				
4.CONTAINER NO.	-	-	-				
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	422.6	422.6	422.6				
6.Wt. OF CONTAINER, w_5 (gm)	317.4	317.4	317.4				
7.DRY SOIL, w_s (gm)	105.2	105.2	105.2				
8.SP. GR. OF WATER	0.9619	0.9680	0.9755				
9.SP. GR. OF SOIL	2.63	2.57	2.60				
AVERAGE SP.GR.OF SOIL	2.60						



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

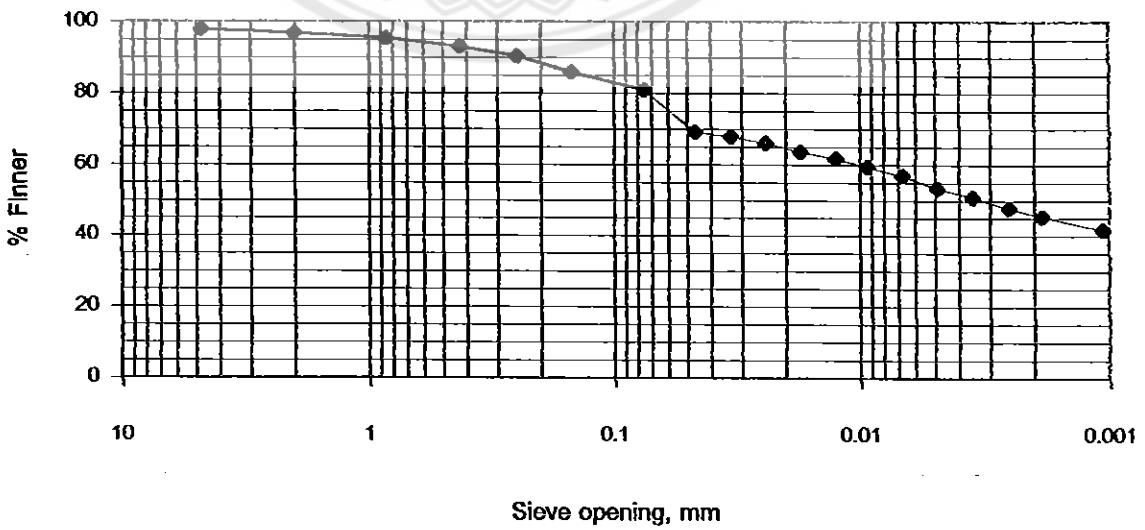
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 632993E, 1800735N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	491.60	21.60	2.16	2.16	97.84
10	2.00	429.50	440.30	10.80	1.08	3.24	96.76
20	0.85	390.50	403.80	13.30	1.33	4.57	95.43
40	0.43	399.50	423.10	23.60	2.36	6.93	93.07
60	0.25	326.80	353.60	26.80	2.68	9.61	90.39
100	0.15	319.30	364.20	44.90	4.49	14.11	85.89
200	0.08	304.80	356.00	51.20	5.12	19.23	80.77
PAN	-	282.80	1,090.10	807.30	80.77	100.00	-
			Total	999.50	100.00	Error,(gm)	0.50



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

oject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

ocation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

oil Classification : CL, Sandy lean clay

o-ordinate : 632993E, 1800735N

HYDROMETER ANALYSIS

YDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS – 2.60 a – 1.010

ISPERSING AGENT. AMOUNT. Wt.OF SOIL, W_S(g) - 67.4

ERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. °C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 80.77	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K. From Table 6-4	D. (mm)
3/2/46	9:51	0.25	27 / 2.00	59.00	58.00	70.20	60.00	6.50	26.00000	0.01280	0.06527
	9:51	0.50	"	58.00	57.00	68.99	59.00	6.60	13.20000	0.01280	0.04650
	9:52	1	"	57.00	56.00	67.78	58.00	6.80	6.80000	0.01280	0.03338
	9:53	2	"	55.50	54.50	65.96	56.50	7.05	3.52500	0.01280	0.02403
	9:55	4	"	53.50	52.50	63.54	54.50	7.35	1.83750	0.01280	0.01735
	9:59	8	"	52.00	51.00	61.73	53.00	7.60	0.95000	0.01280	0.01248
	10:06	15	"	50.00	49.00	59.31	51.00	7.90	0.52667	0.01280	0.00929
	10:21	30	"	48.00	47.00	56.89	49.00	8.30	0.27667	0.01280	0.00673
	10:51	60	"	45.00	44.00	53.26	46.00	8.80	0.14667	0.01280	0.00490
	11:51	120	"	43.00	42.00	50.83	44.00	9.10	0.07583	0.01280	0.00352
	13:51	240	28 / 2.50	40.00	39.50	47.81	41.00	9.60	0.04000	0.01260	0.00252
3/2/46	17:28	457	"	38.00	37.50	45.39	39.00	9.90	0.02166	0.01260	0.00185
4/2/46	10:34	1,483	"	35.00	34.50	41.76	36.00	10.40	0.00701	0.01260	0.00106
5/2/46	9:29	2,858	27 / 2.00	34.00	33.00	39.94	35.00	10.50	0.00367	0.01280	0.00078

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

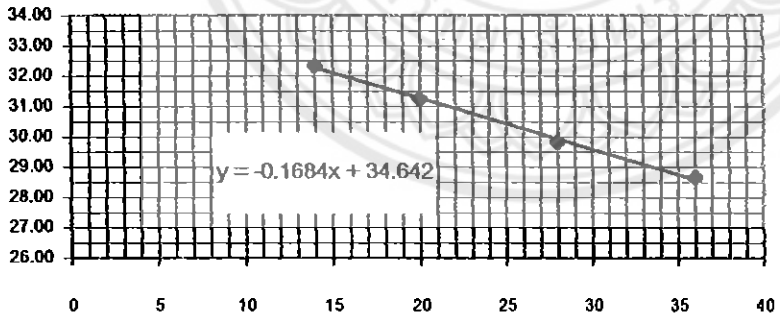
Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 632993E, 1800735N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	14	20	28	36		
CAN NO.	D4	D6	E1	D5		
WET SOIL + CAN, gm.	24.778	25.423	24.365	25.668		
DRY SOIL + CAN, gm.	22.315	23.013	22.127	23.225		
WT. OF CAN, gm.	14.70	15.30	14.62	14.70		
WT. OF WATER, gm.	2.46	2.41	2.24	2.44		
WT. OF DRY SOIL, gm.	7.62	7.71	7.51	8.53		
% WATER CONTENT	32.34	31.25	29.81	28.66		



LIQUID LIMIT = 34.46

PLASTIC LIMIT = 18.78

P.I. = 15.68

FLOW INDEX =

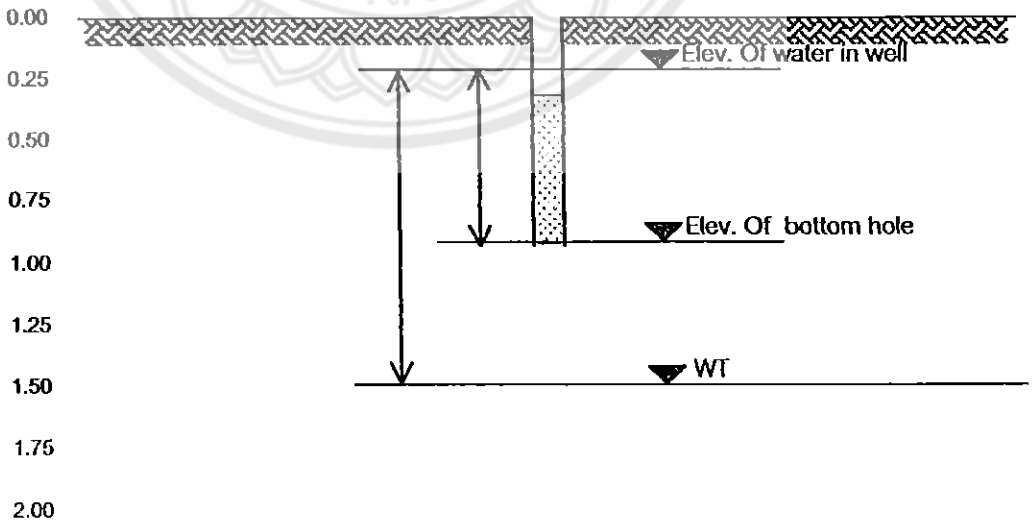
PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	D10					
WET SOIL + CAN, gm.	17.71					
DRY SOIL + CAN, gm.	17.22					
WT. OF CAN, gm.	14.60					
WT. OF WATER, gm.	0.49					
WT. OF DRY SOIL, gm.	2.62					
% WATER CONTENT	18.78					

DETERMINATION OF WELL TEST

Project	โครงงานฯ	Test no	W4
Location	อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	Field permeability test	(E - 19)
From		To	
Diameter of well		Test depth	140 cm
Date	30-Jul-02	Soil classification	CL, Sandy lean clay
Lab.classification	CL, Sandy lean clay	Foreman	
Start time		Finish time	

1 Depth to bottom of hole	=	4.5928	Ft.
2 Depth to top of sand	=	1.1482	Ft.
3 Depth of sand used	=	3.4446	Ft.
4 Depth to top of water in well	=	0.6233	Ft.
5 Depth of water in well	=	3.9695	Ft.
6 Weight of sand+ container filling well	=	-	lbs.
7 Weight of sand+ container after filling well	=	-	lbs.
8 Weight of sand used	=	40.3442	lbs.
9 Density of standard sand	=	91.4170	pcf.
10 Volume of sand used (8/9)	=	0.4413	cu.ft.
11 Radius of well. $R=\sqrt{(10)/(3)\pi}$	=	0.2019	ft.



Condition Tu > 3h

สูตร

$$K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P])}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$$

K_{20} = 186.30 ft/year

K_{20} = 1.801E-06 m/sec

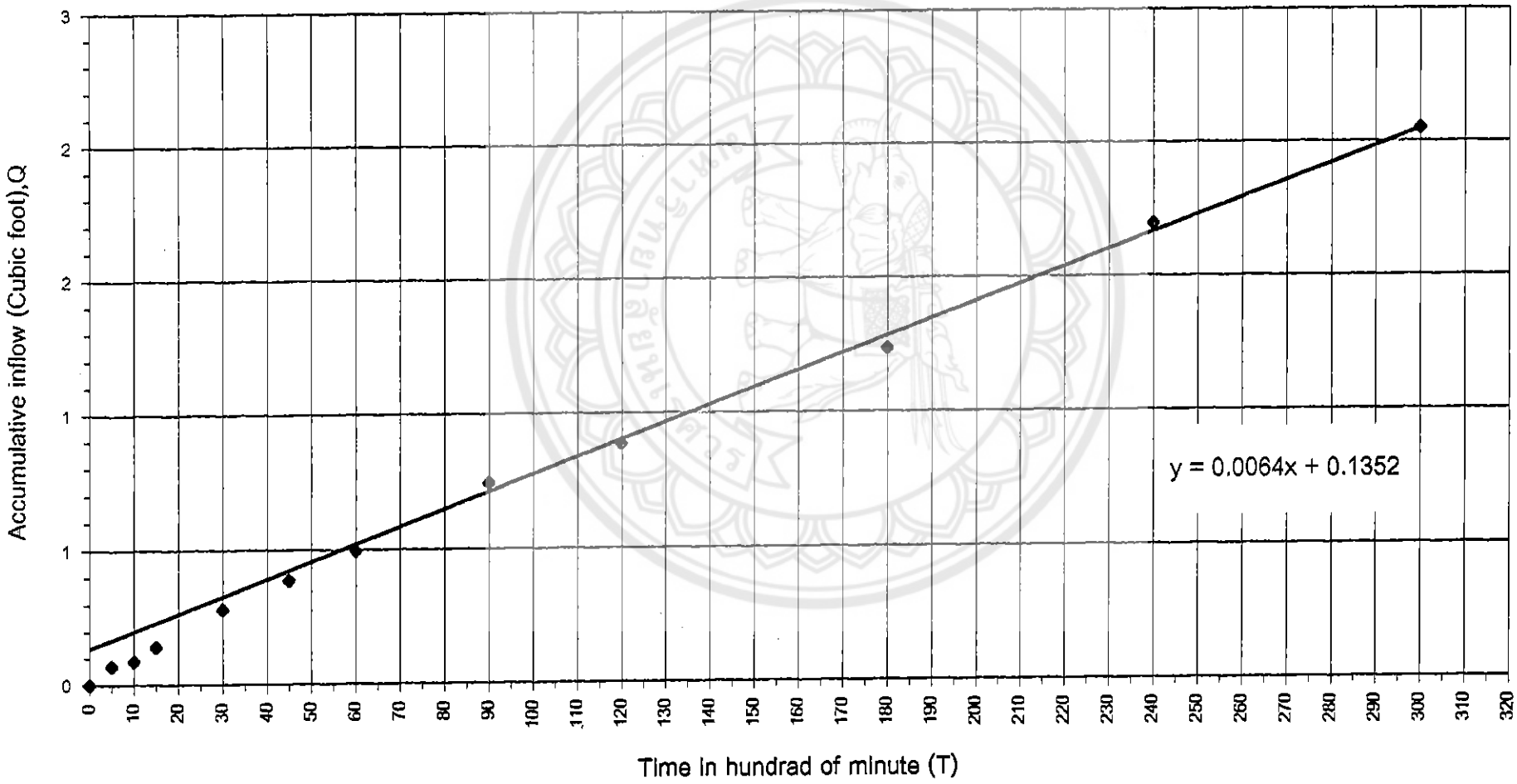
RECORD OF TIME AND VOLUME MEASUREMENT

Test no : W4 Date : 30-Jul-02

Co-ordinate : 633224E, 1804165N Test by : Grond temperature, °C : 32

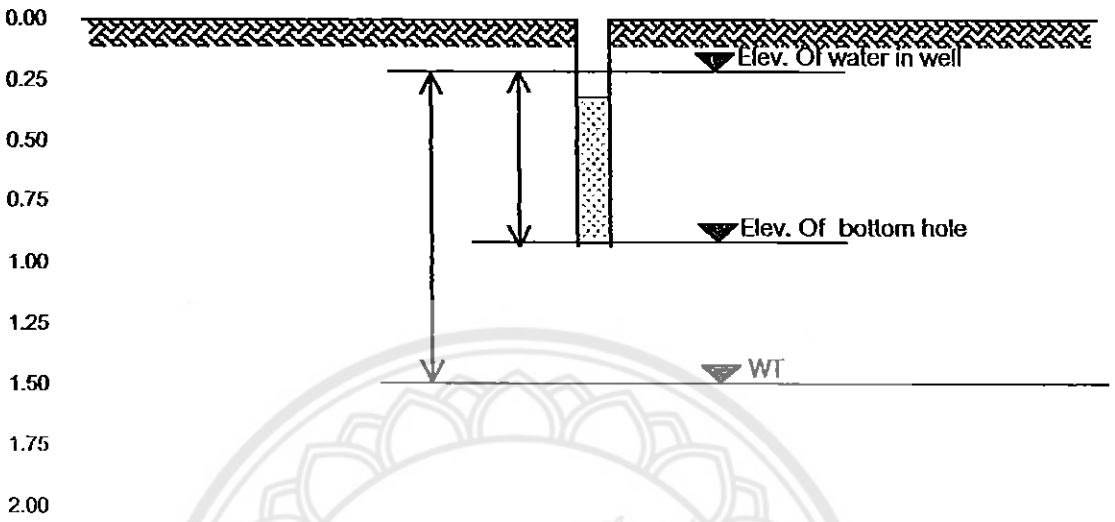
Time and water volume							Water temp. in tank degree	Water temp. in well degree	Remarks
Clock	Read time	Accum min.	Read litre	diff. litre	Accum flow Litre	Accum flow Lx. 0.0353			
30/7/02 11:10		0	120.00		0.00	0.000	30.00	30.00	31.33
30/7/02 11:15	0:05	5	118.00	2.00	2.00	0.071	30.00	30.00	30.18
30/7/02 11:20	0:05	10	117.50	0.50	2.50	0.088	30.00	29.70	
30/7/02 11:25	0:05	15	116.00	1.50	4.00	0.141	30.00	29.70	
30/7/02 11:40	0:15	30	112.00	4.00	8.00	0.282	31.00	29.70	
30/7/02 11:55	0:15	45	109.00	3.00	11.00	0.388	31.00	29.70	
30/7/02 12:10	0:15	60	106.00	3.00	14.00	0.494	31.70	30.00	
30/7/02 12:40	0:30	90	99.00	7.00	21.00	0.741	31.70	30.00	
30/7/02 13:10	0:30	120	95.00	4.00	25.00	0.883	33.00	30.40	
30/7/02 14:10	1:00	180	85.00	10.00	35.00	1.236	33.00	31.00	
30/7/02 15:10	1:00	240	72.00	13.00	48.00	1.694	32.50	31.00	
30/7/02 16:10	1:00	300	62.00	10.00	58.00	2.047	32.00	31.00	

W4 (633224E, 1804165N)



Project : โครงงาน ฯ Test no : W3 Class :

Co-ordinate : 633224E, 1804165N Test by : Grond temperature, °C : 32

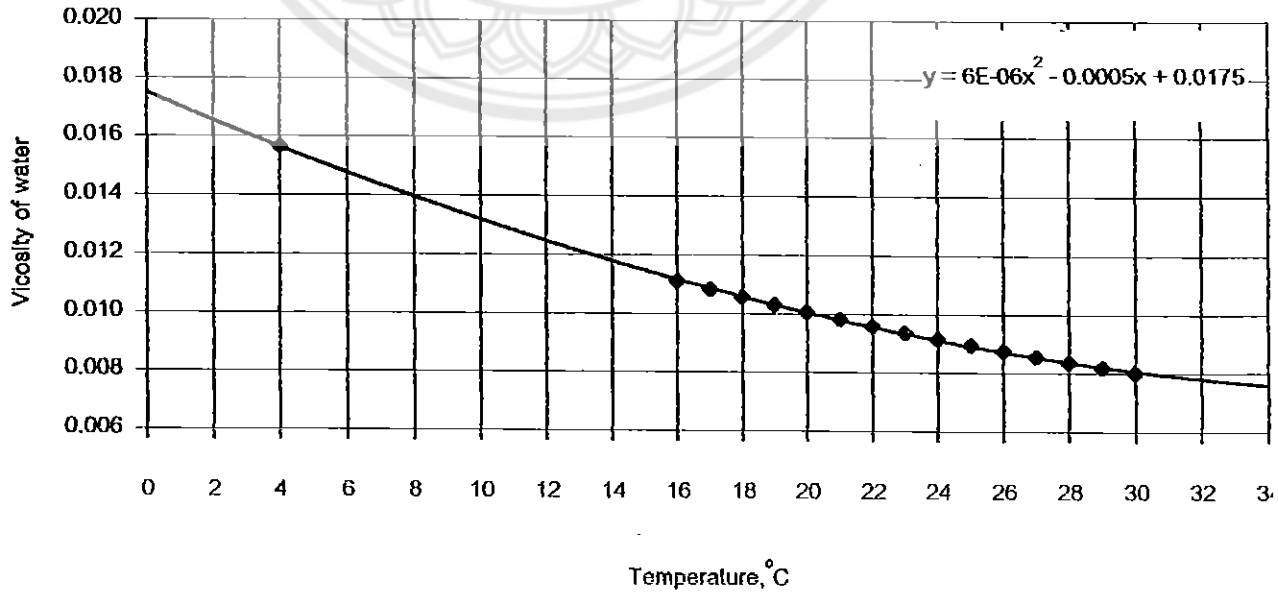


Condition 2 h < Tu < 3h

สูตร = $K_{20} = \frac{525{,}600 \log_e (h/r)(Q/2\P)}{h^2 [1/6+1/3(h/Tu)^{-1}]} (\mu_t / \mu$

K_{20} = 186.30 ft/year

K_{20} = 1.801E-04 cm/sec



Temp, °C= 31

μ_T= 0.00

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

)ject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

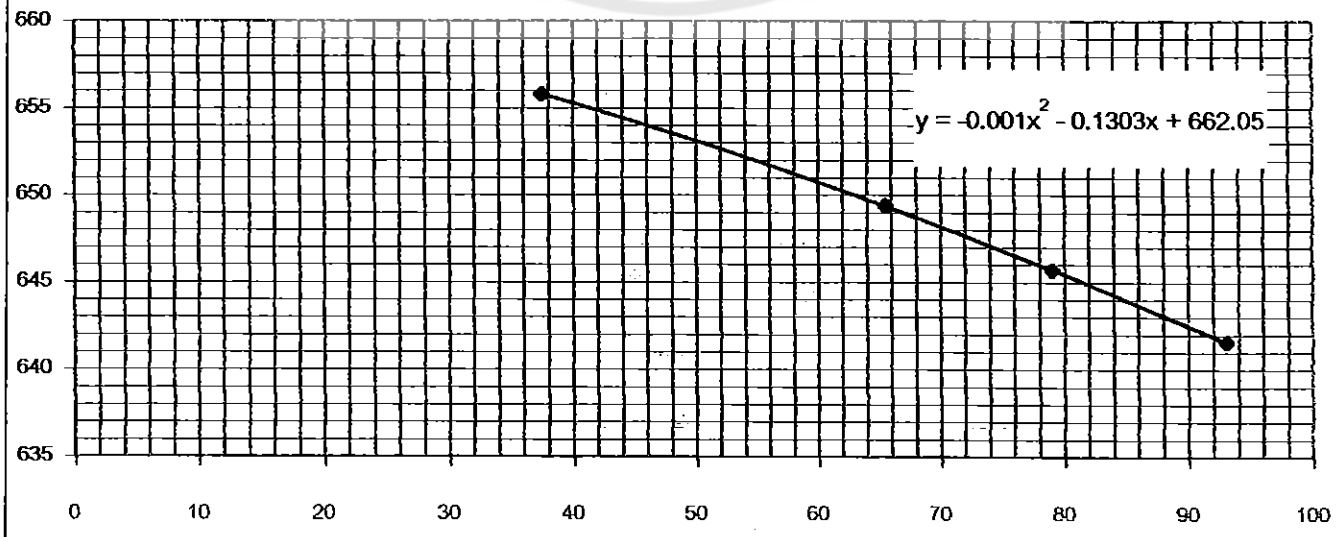
cation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

l Classification : CL, Sandy lean clay

-ordinate : 633224E, 1804165N

SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS (Gs)

ECIFIC GRAVITY DETERMINATION					FLASK CALIBRATION			
TRIAL NO.	1	2	3		1	2	3	4
1.TEMPERATURE, ^{0}C	81.0	72.0	57.0		37.5	65.5	79.0	93.0
2.FLAST + WATER + SOIL, w_1 (gm)	722.6	724.5	727.9		655.8	649.4	645.7	641.6
3.FLAST + WATER, w_2 (gm)	644.9	647.5	651.4					
4.CONTAINER NO.	-	-	-					
5.DRY SOIL + CONTAINER, w_4 (gm)	437.0	437.0	437.0					
6.WT. OF CONTAINER, w_5 (gm)	316.7	316.7	316.7					
7.DRY SOIL, w_s (gm)	120.3	120.3	120.3					
8.SP. GR. OF WATER	0.9619	0.9680	0.9755					
9.SP. GR. OF SOIL	2.71	2.69	2.68					
AVERAGE SP.GR.OF SOIL		2.70						



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

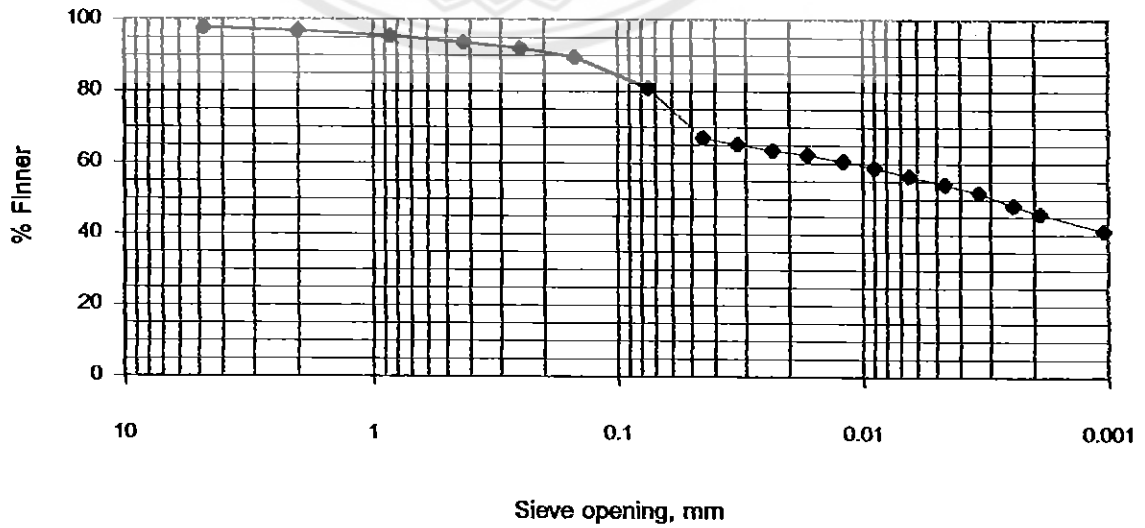
Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 633224E, 1804165N

SIEVE ANALYSIS

SIEVE NO.	SIEVE OPENIG mm.	WEIGHT OF SIEVE, gm.	WEIGHT OF SIEVE OF + SOIL, gm.	WEIGHT OF SOIL RETAINED, gm.	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED, (%)	PERCENT FINER (%)
4	4.75	470.00	493.60	23.60	2.36	2.36	97.64
10	2.00	429.50	438.40	8.90	0.89	3.25	96.75
20	0.85	390.50	403.60	13.10	1.31	4.56	95.44
40	0.43	399.50	418.40	18.90	1.89	6.45	93.55
60	0.25	326.80	343.30	16.50	1.65	8.10	91.90
100	0.15	319.30	343.80	24.50	2.45	10.56	89.44
200	0.08	304.80	389.90	85.10	8.52	19.07	80.93
PAN	-	282.80	1,091.60	808.80	80.93	100.00	-
			Total	999.40	100.00	Error,(gm)	0.60



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

oject : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

cation of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

il Classification : CL, Sandy lean clay

-ordinate : 633224E, 1804165N

HYDROMETER ANALYSIS

YDROMETER NO. 152H G_S OF SOLIDS = 2.70 a = 0.990

SPERSING AGENT. AMOUNT. WT.OF SOIL, W_S(g) = 68.2

ERO CORRECTION. 3.00 MENISCUS CORRECTION. 1.00

Date	Time of Reading	Elapsed Time (min)	Temp. ^{0}C T / C_t	Actual Hy. Reading Ra	CORR.Hy. Reading Rc	% Finer 80.93	Hy.CORR. Meniscus R	L. From Table 6-5	L/t	K From Table 6-4	D. (mm)
31/1/46	10:23	0.25	27 / 2.00	59.00	58.00	68.14	60.00	6.50	26.00000	0.01240	0.06323
	10:23	0.50	"	58.00	57.00	66.96	59.00	6.60	13.20000	0.01240	0.04505
	10:24	1	"	56.50	55.50	65.20	57.50	6.90	6.90000	0.01240	0.03257
	10:25	2	"	55.00	54.00	63.44	56.00	7.10	3.55000	0.01240	0.02336
	10:27	4	"	54.00	53.00	62.26	55.00	7.30	1.82500	0.01240	0.01675
	10:31	8	"	52.50	51.50	60.50	53.50	7.50	0.93750	0.01240	0.01201
	10:38	15	"	51.00	50.00	58.74	52.00	7.80	0.52000	0.01240	0.00894
	10:53	30	"	49.00	48.00	56.39	50.00	8.10	0.27000	0.01240	0.00644
	11:23	60	"	47.00	46.00	54.04	48.00	8.40	0.14000	0.01240	0.00464
	12:23	120	28 / 2.50	44.50	44.00	51.69	45.50	8.85	0.07375	0.01230	0.00334
	14:23	240	"	41.50	41.00	48.17	42.50	9.30	0.03875	0.01230	0.00242
31/1/46	17:13	410	"	39.50	39.00	45.82	40.50	9.65	0.02354	0.01230	0.00189
1/2/46	10:38	1,455	27 / 2.00	36.00	35.00	41.12	37.00	10.20	0.00701	0.01240	0.00104

Rc = Ractual - Zero Correction + C_t % Finer = Rc(a) / W $D = K(L/t)^{1/2}$

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

Project : การศึกษาสภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่เติมน้ำใต้ดินและน้ำนอง

Location of Profect : อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

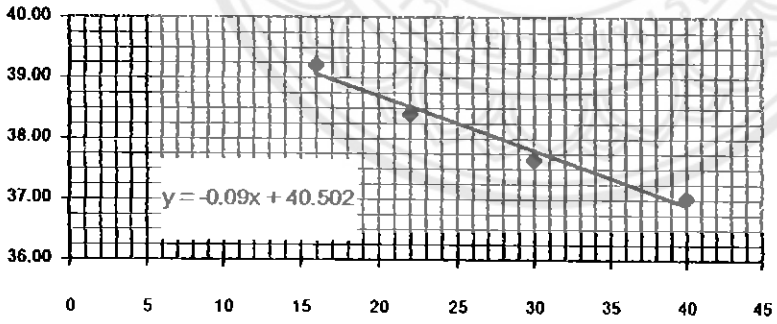
Soil Classification : CL, Sandy lean clay

Co-ordinate : 633224E, 1804165N

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

LIQUID LIMIT DETERMINATION

NO. OF BLOWS, N	16	22	30	40		
CAN NO.	C5	C8	D2	D3		
WET SOIL + CAN, gm.	21.826	22.492	23.475	23.776		
DRY SOIL + CAN, gm.	19.847	20.302	21.020	21.513		
WT. OF CAN, gm.	14.80	14.60	14.50	15.40		
WT. OF WATER, gm.	1.98	2.19	2.46	2.26		
WT. OF DRY SOIL, gm.	5.05	5.70	6.52	6.11		
% WATER CONTENT	39.21	38.41	37.65	37.02		



LIQUID LIMIT = 38.25

PLASTIC LIMIT = 22.74

P.I. = 15.51

FLOW INDEX =

PLASTIC LIMIT DETERMINATION

CAN NO.	C6					
WET SOIL + CAN, gm.	17.94					
DRY SOIL + CAN, gm.	17.36					
WT. OF CAN, gm.	14.80					
WT. OF WATER, gm.	0.58					
WT. OF DRY SOIL, gm.	2.56					
% WATER CONTENT	22.74					

ตารางบันทึกผล Hydraulic Conductivity or Coefficient of Permeability (K)

No.	Co-ordinate		Hydraulic Conductivity (m/sec)	Landuse	Soil Classification
	E	N			
W1	623752	1802650	4.199E-05	แหล่งน้ำ	SM, Silty sand
W2	629360	1804095	6.133E-06	แหล่งน้ำ	CL-ML, Sandy silty clay
W3	632993	1800735	6.978E-06	แหล่งน้ำ	CL, Sandy lean clay
W4	633224	1804165	1.801E-06	แหล่งน้ำ	CL, Sandy lean clay
		Minimum	1.801E-06		
		Maximum	4.199E-05		
		Median	6.556E-06		
		Average	1.423E-05		

ประวัติส่วนตัว

นายกฤษณะ สกุลเพ็ชร

- เกิดวันที่ 21 เมษายน 2521 สัญชาติไทย ศาสนาพุทธ
- ที่อยู่ 100/8 หมู่ 12 ตำบลวังแดง อำเภอ ตรอน จังหวัด อุตรดิตถ์ 53140
- ประวัติการศึกษา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่ ร.ร.อุตรดิตถ์

ศึกษาระดับ ปวช. ที่ วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์

ศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายสงคราม เชิดวงษ์สูง

- เกิดวันที่ 25 ธันวาคม 2509 สัญชาติไทย ศาสนาพุทธ
- ที่อยู่ 33/2 ซอยประดู่ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10200
- ประวัติการศึกษา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่ ร.ร.ทัพทันอนุสรณ์

ศึกษาระดับ ปวช. ที่ วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี

ศึกษาระดับ ปวส. ที่ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ

ศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายสมัชชา พานิช

- เกิดวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2524 สัญชาติไทย ศาสนาพุทธ
- ที่อยู่ 358 หมู่ 9 ถนนชมฐีระเวช ตำบลทับคล้อ อำเภอ ทับคล้อ จังหวัด พิจิตร 66150
- ประวัติการศึกษา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่ ร.ร.ตะพานหิน

ศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายโชติวงค์ เชื้อขำ

- เกิดวันที่ 4 ธันวาคม 2522 สัญชาติไทย ศาสนาพุทธ
- ที่อยู่ 100/6 หมู่ 12 ตำบลวังแดง อำเภอ ตรอน จังหวัด อุตรดิตถ์ 53140
- ประวัติการศึกษา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่ ร.ร.อุตรดิตถ์

ศึกษาระดับ ปวช. ที่ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก

ศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร