บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างก่อนทำการทดลอง เราได้แยกตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่มด้วยกัน โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพเช่น สี การบี้ดินกับน้ำ การปั้นเพื่อดูความเหนียว โดยแบ่งตามความลึกดังนี้ คือ 0.00-2.25 ม., 2.25-10.00 ม., 10.00-17.50 ม., 17.50-18.00 ม. และ 18.00-20.00 ม. นำตัวอย่างในช่วงของความลึกที่แยกไว้มาทำการทดลองซึ่งผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แล้วทำการปรับแก้นำเสนอในช่วงความลึกดังผลการทดลองต่างๆ ซึ่งแสดงสรุปใน Boring Log

4.1 Sieve Analysis and Hydrometer Analysis

4.1.1 การคำนวณ Sieve Analysis

(1) เปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรง = $\frac{\text{น้ำหนักของดินที่ค้าง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100$

(2) เปอร์เซ็นต์ค้างสะสมบนตะแกรง = ผลรวมเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า (ช่องเปิดกว้างมากกว่า)

(3) เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงหรือเปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า
= 100- เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

4.1.2 การคำนวณ Hydrometer Analysis

(1) Corrected Hydrometer Reading , Rc = Ra – Zero Correction + Ct

เมื่อ Ra = ค่าที่อ่านได้จริง

Ct = ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

Zero Correction=ค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวที่นำมาทดสอบมีสารอื่นเจือปนมีค่าเป็นลบถ้าอ่านค่าได้น้อยกว่าศูนย์ และมีค่าเป็นบวกถ้าอ่านค่าได้ระหว่าง 0 – 60 โดยให้อ่านค่าจากส่วนบนของแรงตึงผิว (Minicus)

(2) Percent Finer , %F = $\frac{\alpha Rc}{Ws} \cdot 100\%$

α = ค่าปรับแก้เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของดิน

Rc = ค่าปรับแก้ที่อ่านได้จาก Hydrometer เป็นขีด

Ws = น้ำหนักดินแห้ง เป็นกรัม

(3)ส่วนขนาดของเม็ดดิน , $D = \sqrt{(t \cdot \mu/(\gamma s-\gamma w))} \cdot \sqrt{(Z/t)}$

$D = K \cdot \sqrt{(Z/t)}$

โดยที่ $K = \sqrt{(t \cdot \mu/(\gamma s-\gamma w))}$ (ตารางที่ 4.1)

μ = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิทดลอง

γs = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของเม็ดดิน

γw = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ

Z = ระยะทางจากผิวน้ำไปยังจุดศูนย์กลางของ Volume Of the Hydrometer

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ K

Temperature,deg C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16.....	0.0151	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17.....	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18.....	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19.....	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20.....	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21.....	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22.....	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23.....	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24.....	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25.....	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26.....	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27.....	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28.....	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29.....	0.01312	0.0129	0.01269	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30.....	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

ป
TE
209
ม452ก
2541

- 5 ก.ค. 2542

4240148

สำนักหอสมุด

เราสามารถหาค่า % ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (Percent Finer) ในสมการ

$$\%F = \frac{G.V.\gamma c\,(\gamma-\gamma w) \times 100\%}{(G-1).Ws}$$

เมื่อ G = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)ของดิน

V = ปริมาตรของเหลวที่ผสมดิน (1000 ซม.^{3})

Ws = น้ำหนักดินแห้ง

γc = หน่วยน้ำหนักจำเพาะ (Unit Weight) ของน้ำที่อุณหภูมิของการทำ Hydrometer Calibration (20°C)

γ = ค่าที่อ่านได้เมื่อจุ่ม Hydrometer ในน้ำดิน

γw = ค่าที่อ่านได้เมื่อจุ่มHydrometerในน้ำอุณหภูมิเดียวกับน้ำดิน

รายละเอียดผลการทดลองได้ให้ไว้ในภาคผนวก ก.

4.2 Grain Size Analysis

สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) ได้ดังนี้

$$C_u = D_\alpha/D_{10}$$

สำหรับค่าของสัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Concavity) จะได้ดังนี้

$$C_u = (D_{30})^2/(D_{10}.D_{60})$$

เมื่อ D_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินที่มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีขนาดเล็กกว่านี้

สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดี (Well Graded) นั้น จะมีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) และค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดี

ชนิด	C_u	C_c
หิน	มากกว่า 4	1-3
ทราย	มากกว่า 6	1-3

สำหรับดินที่ไม่มีขนาดคละกัน (Poorly Graded) จะไม่เป็นดังตาราง ซึ่งจะเป็นประเภทดินที่มีขนาดเม็ดเดียว (Uniform Graded) และดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) ซึ่งเส้นกราฟที่ได้จะมีความชันมาก และเป็นเส้นระนาบตามลำดับ

4.3 Atterberg's Limt Test

4.3.1 คำนวณค่าจากปริมาณความชื้น (Water Content)

$W = [(w_1-w_2)/(w_2-w_0)] \times 100\%$

W_0 = น้ำหนักภาชนะบรรจุ

W_1 = น้ำหนักภาชนะบรรจุบวกกับดินที่มีความชื้น

W_2 = น้ำหนักภาชนะบรรจุบวกกับดินที่อบแห้งแล้ว

4.3.2 สามารถหาค่า Liquid Limit ได้จากสมการ

$W_L = W_a(N/25)^{0.121}$

เมื่อ W_L = Liquid Limit

W_a = ปริมาณความชื้นของดินเมื่อใช้ N Blows

N = จำนวนครั้งที่เคาะ

4.3.3 Liquid Index

$I_L = (W_a-W_p)/(W_L-W_p)$

W_a = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ

W_p = ปริมาณความชื้นที่ Plastic Limit

W_L = ปริมาณความชื้นที่ Liquid Limit

4.3.4 Atterberg Indexes

Plasticity Index (I_p) = Liquid Limit - Plastic Limit

$= (W_L-W_P)$

Flow Index (I_F)= ความชันของ Flow Curve

= $(W_1-W_2)/\log(N_2/N_1)$

เมื่อ W_1 = ความชื้นบนFlow Curve ที่มีค่ามาก

W_2 = ความชื้นบน Flow Curve ที่มีค่าน้อย

N_1 = จำนวนการเคาะ ณ. จุดที่ความชื้นบน Flow Curveมีค่ามาก

N_2 = จำนวนการเคาะ ณ. จุดที่ความชื้นบน Flow Curveมีค่าน้อย

Toughness Index (I_T) = Plasticity Index / Flow Index

= I_P/I_F

ข้อแนะนำ

ในการหา Liquid Limit และ Plastic Limit นั้น ไม่ควรทำดินให้แห้งเพราะจะทำให้เม็ดดินแตกจับตัวเป็นก้อน ทำให้การทดลองผิดพลาดเช่น Liquid Limit ของตัวอย่างดินแห้งนั้น มีค่ามากกว่าตัวอย่างดินที่ไม่แห้ง 20% ถ้าเป็นดินอบแห้ง จะได้ค่า Liquid Limit น้อยกว่าตัวอย่างดินที่ไม่แห้ง 24% และน้ำที่ใช้ในการหา Atterberg's Limit ต้องเป็นน้ำกลั่นสะอาดเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงของ อิออน (Ion) และสำหรับการหาค่าขีดจำกัด (Limit) ควรใช้กับดินที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าหรือผ่านตะแกรงเบอร์ 40

รายละเอียดผลการทดลองได้ให้ไว้ในภาคผนวก ข.

4.4 Compaction Test

4.4.1 การคำนวณ Wet density ของดิน

$$\gamma_w = \frac{\text{Wet Weight}}{\text{Volume of Mold}} \quad \text{lb/ft}^3$$

4.4.2 การคำนวณ Dry density ของดิน

$$\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad lb/ft^3$$

W = น้ำหนักดิน (Wet Weight in Mold)

V = ปริมาตรของ Mold

w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน

4.4.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content) และ Dry density โดยการนำค่า Dry density มา plot ในแกนตั้งและ Water Content (%) มา plot ในแกนนอน

4.4.4 หาค่า Optimum Moisture Content จาก curve ในข้อ 4.4.3

4.4.5 หาค่า Maximum Dry density จาก curve ในข้อ 4.4.3

รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

4.5 Compression Unconfied Test

4.5.1 คำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

$$Ao = \frac{At+2Am+Ab}{4}$$

Ao = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเริ่มต้น

At = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่าง

Am = พื้นที่หน้าตัดตรงกลางของตัวอย่าง

Ab = พื้นที่หน้าตัดล่างของตัวอย่าง

4.5.2 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างระหว่างการทดสอบ

$$Ac = \frac{Ao}{(1-\varepsilon)}$$

เมื่อ Ac = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่มีการหดตัวเท่ากับ ΔL

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo}$$

Lo = ความยาวเดิมหรือความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง

4.5.3 คำนวณหาแรงกดบนตัวอย่าง

$$\sigma v = \frac{P.K}{Ac}$$

เมื่อ P = ค่าที่อ่านได้จากวงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

K = ค่าคงที่วงแหวนวัดแรง (Proving Ring Constant)

σv = หน่วยแรงกดบนตัวอย่างในแนวดิ่ง

4.5.4 อ่านค่าสูงสุดของหน่วยแรงกด σv max คำนวณหาค่า Cohesion

$$C = \frac{\sigma v \text{ max}}{2} = \frac{qu}{2}$$

qu = Unconfied Compressive Strength

4.5.5 การคำนวณหา Unit Weight

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{มวลของดินตัวอย่างที่เปียก}}{\text{ปริมาตรของดินตัวอย่าง}}$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างดินที่อบแล้ว}}{\text{ปริมาตรของดินตัวอย่าง}}$$

4.5.6 การคำนวณค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

$$W = \frac{(m_1-m_2)}{m_2} \times 100\%$$

m_1 = มวลตัวอย่างดินก่อนอบ (เปียก)

m_2 = มวลตัวอย่างดินหลังอบ

รายละเอียดผลการทดลองได้ให้ไว้ในภาคผนวก ง.

4.6 Consolidation Test

อัตราความเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement) เป็นคุณสมบัติสำคัญที่จะต้องทราบค่าอัตราความเร็วในการทรุดตัวนั้น ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งเหล่านี้

ก. มวลดินมีความชุ่มน้ำมากน้อยเพียงใด (Degree of Saturation)

ข.ความสามารถของดินที่ให้น้ำซึมผ่านได้ มาก น้อย เพียงใด(Coefficient of Permeability)

ค. ระยะทางที่น้ำต้องซึมผ่าน (Drainage Path) ไปสู่จุดสมดุล

4.6.1 คุณสมบัติการทรุดตัว , คุณสมบัติการทรุดตัวที่ต้องการหามีอยู่สองค่าคือ

(1) ปริมาตรการทรุดตัวสูงสุด (Total Settlement)

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{P_o+\Delta P}{P_o}\right)$$

เมื่อ C_c = ดัชนีการทรุดตัว

e_o = Initial Void Ratio

P_o = Effective Overburden Pressure

ΔP = External Pressure

H = ความหนาของชั้นดิน

(2) อัตราความเร็วในการทรุดตัว

จาก Terzaghi's Consolidation Theory ซึ่งทำการวิเคราะห์ทางเชิงคณิตศาสตร์ออกมาแล้วจะได้ดัชนีค่าหนึ่ง ซึ่งบ่งถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับการทรุดตัว เราเรียกว่า " Coefficient of Consolidation , Cv"

$$Cv = \frac{TH_d^2}{t}$$

เมื่อ T = Time Factor เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การอัดตัวคายน้ำ (Percentage of Consolidation) และลักษณะ Initial Excess Pore Pressure

t = เวลาในการเกิดเปอร์เซ็นต์ของการอัดตัวคายน้ำ (Percentage of Consolidation) ต่างๆ

H_d = ระยะทางที่ไกลที่สุดที่น้ำในมวลดินจะต้องไหลออกมาสู่จุดสมดุล

คำนวณ Consolidation Pressure

$$P = \frac{W.K}{A}$$

เมื่อ P = Consolidation Pressure

W = น้ำหนักที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนัก

K = ค่าคงที่ของระบบคานขึ้นอยู่กับเครื่องมือ

A = พื้นที่รับน้ำหนักของดินตัวอย่าง

คำนวณ Void Ratio

Initial Void Ratio

$$E_0 = \frac{H_T - H_S}{H_s}$$

H_T = ความสูงของดินตัวอย่าง

H_S = ความสูงของเนื้อดิน (Height of Solid)

$$= \frac{W}{(1-w_i)G\gamma_w}$$

W_i = Initial Weight of Soil

w_i = Average Initial Weight of Soil

G = Specific Gravity of soil

γ_w = Unit Wt. Of Water

$$e_i = e_0 - \frac{\Sigma(\Delta V)}{H_S}$$

e = อัตราส่วนช่องว่างที่ความดันใด ๆ

$\Sigma(\Delta V)$ = การทรุดตัวสะสมที่ความดันใดๆ

H_S = ความสูงของเนื้อดิน

คำนวณหาค่า C_c จากกราฟ e-log P Curve

$$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log P}$$

Δe = ผลต่างของอัตราส่วนของช่องว่าง

$\Delta \log P$ = ผลต่างของ Consolidation Pressure

รายละเอียดผลการทดสอบได้ให้ไว้ในภาคผนวก จ.

ผลการทดลองที่ได้จากการขุดเจาะสำรวจนำมาแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.4 Summary of test result และผลการจำแนกดินแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 Log of boring

ตารางที่ 4.4 Summary of test result

Faculty of Engineering Naresurn University summary of test results

PROJECT :								LOCATION : ถนน บรมไตรโลกนารถ เขตเทศบาลเมืองพิษณุโลก								
DATE: Sep-98			BORING No. BH-5				JOB No.						BY. สุพจน์ และ บุญชนะ		OBSERVED W.L. -2.30 m.		
Sample No.	DEPTH,m.		Water Content %	Atterberg Limit,%			Wet unit weight	Seive Analysis,%Finer					Classification	Unconfined		Pocket	SPT
	From	To		LL	pl	pl		No.3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200		Qu/2	Qu'/2	1/2Qp	Blow/ft
ST-01	0.00	0.50											CL				
ST-02	0.50	1.00											CL				
SS-01	1.00	1.45	30.86	34.20	16.51	17.69		100	100	99	98	73	CL				6.0
ST-03	1.50	2.00											CL				
SS-02	2.00	2.45	28.61										CL				14.0
ST-04	2.50	3.00		43.50	22.70	20.80		100	100	99	95	84	CL				
SS-03	3.00	3.45	31.31										MH,OH				20.0
ST-05	3.80	4.50					2.002						MH,OH	3.012			
SS-04	4.50	4.95	32.47										MH,OH				17.5
ST-06	5.00	5.50					1.923						MH,OH	1.875			
SS-05	5.50	5.95	29.10	60.00	30.26	29.74		100	100	100	99	98	MH,OH				19.0
ST-07	6.00	6.35					1.928						CH	0.274			
SS-06	6.35	6.80	31.41										CH				26.0
ST-08	7.00	7.50					1.840						CH	0.504			
SS-07	7.50	7.95	29.66										CH				20.5
ST-09	8.00	8.50					1.888						CH	0.489			
SS-08	8.50	8.95	25.19	55.00	25.26	29.74		100	100	100	99	98	CH				32.5
ST-10	9.00	9.50					1.855						CL	0.736			
SS-09	9.50	9.95	27.31										CL				28.5
SS-10	10.50	10.95	24.19				1.924						CL	0.516			19.0
SS-11	11.50	11.95	27.81	45.00	25.01	19.99		100	100	99	99	98	CL				28.5
ST-11	12.00	12.50					1.929						CH	0.615			
SS-12	12.50	12.95	26.19										CH				28.0
SS-13	13.50	13.95	31.07	54.80	26.36	28.44		100	100	100	99	98	CH				24.0
SS-14	14.50	14.95	31.64										ML,OL				21.5
SS-15	15.50	15.95	31.19	34.00	27.33	6.67		100	100	100	99	98	ML,OL				26.5
ST-12	16.00	16.50					2.060						CH	3.027			
SS-16	16.50	16.95	35.05										CH				11.0
ST-13	17.00	17.50					1.914						CH	1.356			
SS-17	17.50	17.95	18.37	62.20	28.39	33.81		100	100	100	98	96	CH				41.0
SS-18	18.00	18.45															21.0
SS-19	18.50	18.95	7.53														36.0
SS-20	19.00	19.45															19.5
SS-21	19.50	19.95	25.03					100	98	94	62	18					32.0

ตารางที่ 4.5 Log of boring

LOG OF BORING No. BH-05

Project :	Location : ถ.บรมไตรโลกนารถ เทศบาลเมืองพิษณุโลก	
Job No. :	Date : Nov-98	Observed W.L. : -2.30 m.

Dept , m.	Description of Material	Graphic Log	o Natural Water Content, × Plastic Limit, Δ Liquid Limit (%)	O Su (Uc), Δ Su (Fv), × Qp/2 (t/m²), □ SPT , N (Blow/ft)
0.00			20 40 60 80 100	2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 / 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
1.00	ดินเหนียวอนินทรีย์ ปนตะกอนทรายและกรวด มีสีน้ำตาลแดง และมีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง (CL)			
2.00				
3.00				
4.00	ดินเหนียวอินทรีย์และมีตะกอนทรายอินทรีย์ปนอยู่ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง สีน้ำตาลแดงปนเทาดำ (OH,MH)			
5.00				
6.00				
7.00	ดินเหนียวอนินทรีย์ มีความเหนียวสูงและมีความหนืดสูง มีสีเหลืองปนน้ำตาล (CH)			
8.00				
9.00				
10.00	ดินเหนียวอนินทรีย์ ปนตะกอนทรายและกรวด มีสีน้ำตาลแดง และมีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง (CL)			
11.00				
12.00				
13.00	ดินเหนียวอนินทรีย์ปนกรวดเล็กน้อยมีความเหนียวปานกลางสีน้ำตาลแดง (CL)			
14.00				
15.00	ดินเหนียวปนทรายหยาบมีความเหนียวต่ำ สีน้ำตาลแดงปนเทาเหลือง (ML,OL)			
16.00				
17.00	ดินเหนียวอนินทรีย์ มีความเหนียวสูงและมีความหนืดสูง มีสีน้ำตาลแดงปนเทาเหลือง (CH)			
18.00				
19.00	ทรายหยาบปนกรวด มีสีม่วงปนเทาเหลือง (SW)			
20.00				
	จบการขุดเจาะสำรวจ			