หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การคัดเลือกสาร stabilizer ในการปรับปรุงคุณภาพผงโลหะ

2.1 วัตถุประสงค์ในการนำสาร stabilizer มาปรับปรุงคุณภาพผงโลหะ

วิธีการในการทำ soil stabilization ที่ปฏิบัติกันอยู่ เพื่อให้ soil มีกำลังสูงขึ้นนั้น Winterkorn (1, 2) ได้กล่าวไว้ดังนี้คือ

1. Combining aggregate เป็นการผสมวัสดุที่มีขนาดคละและความแข็งแรงที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน

2. Soil - cement ซึ่งมีการใช้กันอยู่ใน 3 ลักษณะคือ

   แบบที่ 1 compacted soil - cement

   แบบที่ 2 cement - modified soil

   แบบที่ 3 plastic soil - cement

3. Soil - lime เหมาะที่จะใช้กับวัสดุประเภท heavy clay soil

4. Soil - bitumen มีการใช้กันใน 4 ลักษณะคือ

   แบบที่ 1 soil - bitumen

   แบบที่ 2 sand - bitumen

   แบบที่ 3 water - proofed granular stabilization

แบบที่ 4 oiled earth

5. Soil - resin ซึ่งมีใช้กันใน 2 ลักษณะคือ

แบบที่ 1 waterproofing of cohesive soill

แบบที่ 2 waterproofing and cementing cohesive or noncohesive soil

6. Chemical stabilization เป็นการใส่สารเคมีเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของ soil

7. Thermal stabilization มีการใช้กันใน 2 ลักษณะคือ

แบบที่ 1 freezing

แบบที่ 2 heating

8. Electroosmotic and electrochemical soil stabilization

สำหรับผงโลหะตัวอย่างนี้มีแนวการเลือกทำการ stabilization ที่เหมาะสมกับแนวทางการปฏิบัติที่เป็นไปได้ 3 วิธีด้วยกันคือ ประการแรก เป็นการใช้ cement - stabilization ประการต่อมา เป็นการใช้ lime - stabilization และประการสุดท้าย เป็นการใช้ soil - bitumen ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้ จะใช้สาร stabilizer คือ ซีเมนต์ ปูนขาว หรือ bitumen อย่างใดอย่างหนึ่ง ใส่ลงไปในผงโลหะตัวอย่าง แล้วทำการบดอัดให้แน่น

ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงพฤติกรรมของวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อที่จะได้นำมาพิจารณาใช้กับผงโลหะตัวอย่าง อันจะทำให้เกิดกำลังที่ดีขึ้นต่อไป

Mitchell (3) อธิบายว่า ในการนำสาร stabilizer ผสมลงไปในดิน เพื่อปรับปรุงคุณภาพ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ปรับปรุงพฤติกรรมของ stress - strained การรับน้ำหนัก ควบคุมการไหลผ่านของน้ำ และเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนและแตกหักของดิน สามารถกระทำได้โดยการใส่สารที่มี hydrating cation ต่ำ เช่น calcium, magnesium หรือ aluminium เข้าไปแทนที่ดินที่มีสารประเภท hydrating cation สูงประกอบอยู่ เพื่อที่จะก่อให้เกิดการเชื่อมยึดของอนุภาคดินต่อไป

Sherwood (4) กล่าวว่า cement - stabilization เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติ วัสดุที่ผลิตขึ้นมา ตลอดจนภากวัสดุ ให้มีความแข็งแรงและทนทานดีขึ้น โดยการผสมซีเมนต์ลงไป เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทางของถนนได้ ซึ่งถ้าหากปราศจากกระบวนการดังกล่าวแล้ว ก็จะทำให้วัสดุที่มีอยู่เดิมไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

Circeo, Davidson และ David (5) ได้ศึกษาและพบว่า การใส่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงไปในดิน จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติและโครงสร้างของดินได้ และดินเกือบทุกชนิดสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ได้ ดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน แต่คุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัด (compressive strength) แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการทำปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ กับส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของดินจะมีผลอย่างมากต่อกำลังรับแรงอัดของ soil - cement

Thompson (6) อธิบายว่า ปฏิกริยา pozzolanic เป็นปฏิกริยาระหว่าง silica และ/หรือ alumina กับปูนขาว (lime) ทำให้ได้สารประกอบใหม่เกิดขึ้น สารประกอบนี้จะเป็นตัวประสาน ที่ทำให้ส่วนผสมของ clay และ lime มีกำลังเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไป silica และ/หรือ alumina ที่ทำให้เกิดปฏิกริยานี้จะได้มาจาก clay mineral, quartz, felspa, mica และสารประกอบพวก silicate หรือ alumino silicate อื่น ๆ

Atkins (13) ได้อธิบายไว้ว่า ใน coarse - grained material นั้น bitumen จะก่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวในวัสดุเกิดขึ้น ซึ่งทำให้วัสดุที่นำมาปรับปรุงคุณภาพมีกำลังดีขึ้น สำหรับใน fined - grained material นั้น bitumen จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันน้ำ

(waterproofing) ซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียกำลัง ที่อาจเกิดจาก moisture content ที่เพิ่มขึ้นได้

ดังนั้นจากบทความที่กล่าวมาดังข้างต้นนี้ ทำให้การวิจัยในครั้งนี้ จำเป็นต้องทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของผงโลหะตัวอย่างก่อน ทั้งนี้เพื่อที่จะได้นำไปเป็นแนวทางในการพิจารณาคัดเลือกสาร stabilizer ที่เหมาะสมต่อไป

2.2 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางเคมีของผงโลหะ

การวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาธาตุต่าง ๆ ในรูปของ oxide ซึ่งได้รับความร่วมมือจาก ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Scientific and Technological Research Equipment Centre, Chulalongkorn University) ดังที่ได้รายงานผลไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาดูจะพบว่า ผงโลหะตัวอย่างนี้มีปริมาณ iron oxide (Fe_2O_3) มากที่สุดถึง 84.5 เปอร์เซนต์ รองลงมาได้แก่ zinc oxide (ZnO), phosporous oxide (P_2O_5) และอื่น ๆ ตามลำดับ ดังที่ได้จัดอันดับไว้ในตารางที่ 2.2 สำหรับ silica oxide (SiO_2) และ aluminium oxide (Al_2O_3) นั้น มีอยู่เพียง 1.33 เปอร์เซนต์ และ 0.11 เปอร์เซนต์ เท่านั้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ผงโลหะนี้มีความเป็น pozzolanic material น้อยมาก

นอกจากนี้เรายังสามารถพิจารณาความเป็นสี (colour) ของผงโลหะตัวอย่างได้อีกด้วย ซึ่งพบว่า ผงโลหะมีสีคล้ายสนิมมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของ iron oxide (Fe_2O_3) สูงนั่นเอง

สำหรับพวก สารอินทรีย์นั้น แทบจะไม่ต้องคำนึงถึง เพราะผงโลหะตัวอย่างเป็นกากวัสดุจากโรงงานผลิตลวดเหล็กอัดแรง ซึ่งต้องผ่านขบวนการที่มีความร้อนสูง จึงไม่มีสารสารอินทรีย์ปะปนกับผงโลหะนี้เลย

2.3 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของผงโลหะ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของผงโลหะ เพื่อจัดเข้าประเภท (classification) ตามมาตราฐานต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเป็นแนวทาง

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผงโลหะตัวอย่าง

เจ้าของตัวอย่าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์แบบ Semiquantitative
วิธีวิเคราะห์ X-ray fluorescence analysis
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200
วันที่วิเคราะห์ 17 พฤษภาคม 2532

ผลการวิเคราะห์

ธาตุ (กำหนดอยู่ในรูป oxide)	ปริมาณธาตุ (%)
Fe_2O_3	84.5
Al_2O_3	0.11
SiO_2	1.33
P_2O_5	3.81
K_2O	0.03
CaO	3.76
Cr_2O_3	0.07
MnO_2	0.86
NiO	0.05
ZnO	3.97
PbO	0.68
ZrO_2	0.03
SO_3	0.09
Cl	0.50

ตารางที่ 2.2 การจัดอันดับ oxide ของธาตุต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์

อันดับที่	oxide ของธาตุ	ปริมาณธาตุ (%)
1.	Fe_2O_3	84.50
2.	ZnO	3.97
3.	P_2O_5	3.81
4.	CaO	3.76
5.	SiO_2	1.33
6.	MnO_2	0.86
7.	PbO	0.68
8.	Cl	0.50
9.	Al_2O_3	0.11
10.	SO_3	0.09
11.	Cr_2O_3	0.07
12.	NiO	0.05
13.	K_2O	0.03
14.	ZrO_2	0.03

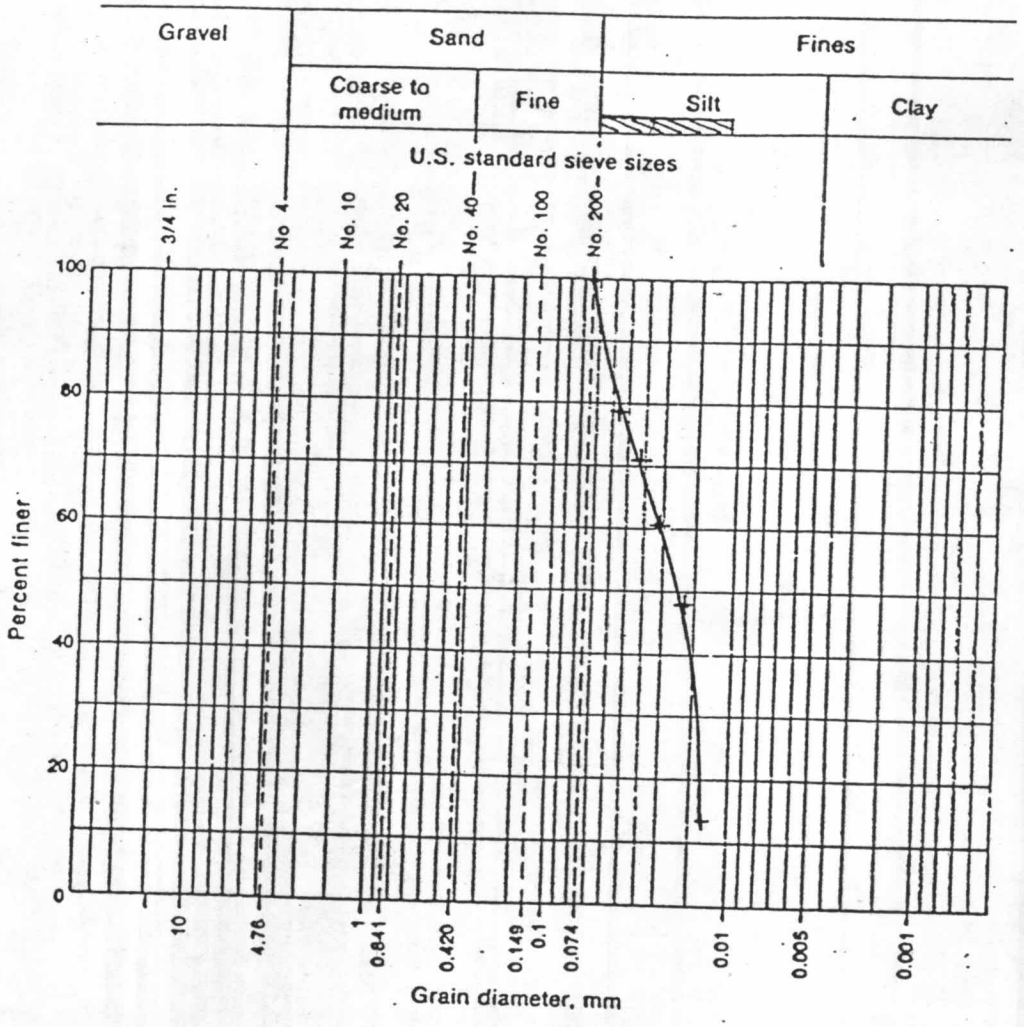
ในการคัดเลือกชนิดและปริมาณของสาร stabilizer ให้เหมาะสมกับขนาดและปริมาณของผงโลหะ การทดสอบแบ่งออกเป็น การทดลองและวิเคราะห์หาขนาดคละ การทดลองและวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะ และการทดลองและวิเคราะห์หา Atterberg limit

2.3.1 <u>การทดลองและวิเคราะห์หาขนาดคละ</u> เป็นการทดลองหาขนาดของผงโลหะตัวอย่าง ด้วยวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตามมาตราฐานกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล. - ท. 205 / 2517 ซึ่งปรากฏว่า ผงโลหะตัวอย่างนี้ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หมด ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหาขนาดของผงโลหะดังกล่าวอีกครั้งโดยใช้ hydrometer ตามมาตราฐานกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล. - ท. 106 / 2516 เพื่อหาขนาดและปริมาณของผงโลหะตังอย่าง ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการทดลอง hydrometer analysis

ขนาดของผงโลหะ (มิลลิเมตร)	ปริมาณที่มีอยู่ (%)
0.058	78.21
0.042	71.66
0.031	60.20
0.023	47.10
0.016	12.12

เมื่อนำไป plot ในกราฟ grain size distribution ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 จะพบว่าผงโลหะตัวอย่างนี้มีขนาดคละคล้ายกับ silt (silty size) ทั้งหมด



รูปที่ 2.1 แสดง grain size distribution ของผงโลหะตัวอย่าง

2.3.2 <u>การทดลองและวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะ</u> จากการทดลองตามมาตราฐานกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล. - ท. 101 / 2515 พบว่า ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของผงโลหะตัวอย่างนี้ มีค่าเท่ากับ 4.3 สาเหตุที่ผงโลหะดังกล่าวมีความถ่วงจำเพาะสูงเพราะ ผงโลหะตัวอย่างนี้มีปริมาณ iron oxide (Fe_2O_3) อยู่ในปริมาณที่สูงมากนั่นเอง

2.3.3 <u>การทดลองและวิเคราะห์หา Atterberg limit</u> จากการทดลอง 3 อย่าง ตามมาตราฐานกรมทางหลวงคือ การทดลองที่ ทล. - ท. 102 / 2515 การทดลองที่ ทล. - ท. 103 / 2515 และการทดลองที่ ทล. - ท. 104 / 2515 ซึ่งได้ผลดังนี้คือ

Flow Index, F_I = 12.0

Liquid Limit, LL = 83.1 %

Plastic Limit, PL = 72.6 %

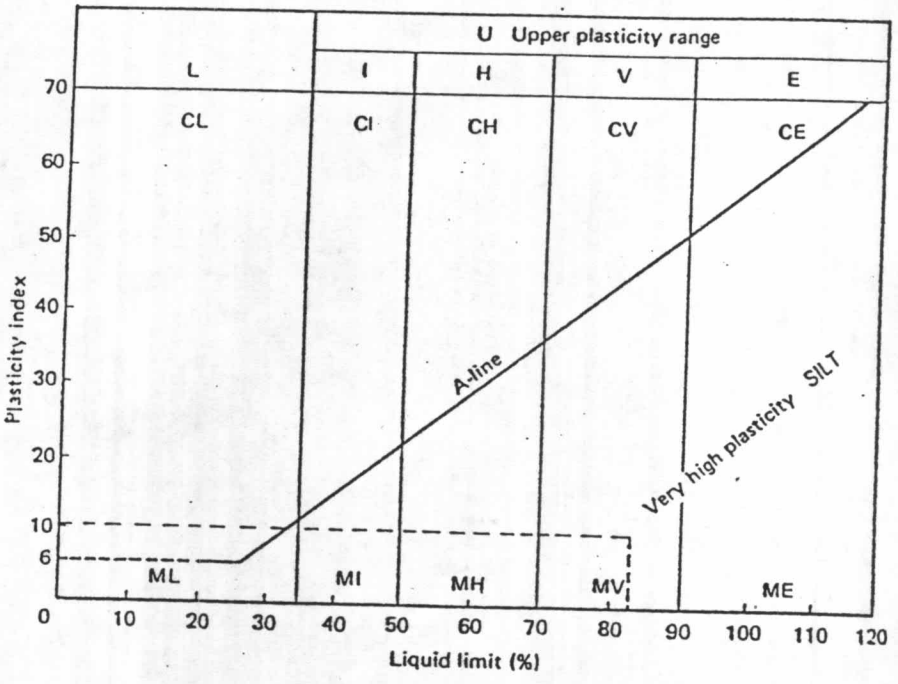
Plasticity Index, I_P = 10.5 %

Shrinkage Limit, W_S = 70.4 %

เมื่อพิจารณาจากค่า Liquid Limit เท่ากับ 83.1 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงกว่า 50 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าผงโลหะตัวอย่างนี้มีสถานภาพความเหลวแบบ High Plasticity (H) และเมื่อนำค่า Plasticity Index และค่า Liquid LImit มาเขียนลงใน Plasticity Chart ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 จะได้ว่าผงโลหะตังอย่างนี้ มีคุณสมบัติคล้าย MV (very high plasticity silt) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองและวิเคราะห์หาขนาดคละในหัวข้อที่ 2.3.1

2.4 <u>การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 2.2 และห้วข้อที่ 2.3</u>

จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า ผงโลหะตัวอย่างมีส่วนประกอบของ iron oxide (Fe_2O_3) เป็นส่วนมาก และในหัวข้อที่ 2.3 ก็ได้แสดงให้เห็นว่าผงโลหะ



รูปที่ 2.2 Plasticity Chart

ตัวอย่างดังกล่าวมีคุณสมบัติคล้าย MV (very high plasticity silt) มาก

เมื่อนำคุณสมบัติทางกายภาพที่ทดสอบได้ มาเปรียบเทียบกับ AASHTO Soil Classification ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ก็จะสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ดังนี้

- ผงโลหะตัวอย่างดังกล่าว ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ทั้งหมด

- ค่าของ Group Index ซึ่งหาได้จาก CHART A และ CHART B ในตาราง มีค่าประมาณ 12.1

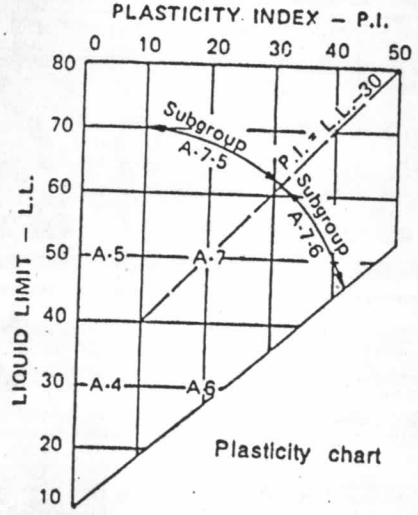
- ค่าของ Plasticity Index (เท่ากับ 10.5) มีค่าน้อยกว่า Liquid Limit ลบ 30 (คือ 83.1-30 ซึ่งเท่ากับ 53.1)

- จาก Plasticity chart พบว่าผงโลหะตัวอย่างอยู่เหนือเส้น "P.I. = L.L. - 30"

ดังนั้นเมื่อพิจารณาตาม AASHTO Soil Classification แล้ว ผงโลหะตัวอย่างนี้ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้าย GROUP A-5 เป็นส่วนมาก โดยมีส่วนที่คล้าย GROUP A-7-5 ประกอบอยู่ด้วย

ในการจัดระบบ AASHTO Soil Classification นี้ สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในหน้าถัดไป

ตารางที่ 2.4 AASHTO Soil Classification



GENERAL CLASSIFICATION	GRANULAR MATERIALS (35 percent or less of total sample passing No. 200)							SILT-CLAY MATERIALS (More than 35 percent of total sample passing No. 200)			
GROUP CLASSIFICATION	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing: No. 10	50 max.										
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.								
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40: Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.*
Group Index**	0		0	0		4 max.		8 max.	12 max.	16 max.	20 max.

Classification procedure: With required test data available, proceed from left to right on chart; correct group will be found by process of elimination. The first group from the left into which the test data will fit is the correct classification.

*P.I. of A-7-5 subgroup is equal to or less than L.L. minus 30. P.I. of A-7-6 subgroup is greater than L.L. minus 30 (see Fig. 4.13)

**See group index formula or Fig. 4.14 for method of calculation. Group index should be shown in parentheses after group symbol as: A-2-6(3), A-4(5), A-6(12), A-7-5(17), etc.

CHART A – GRAIN SIZE AND P.I. RELATIONS

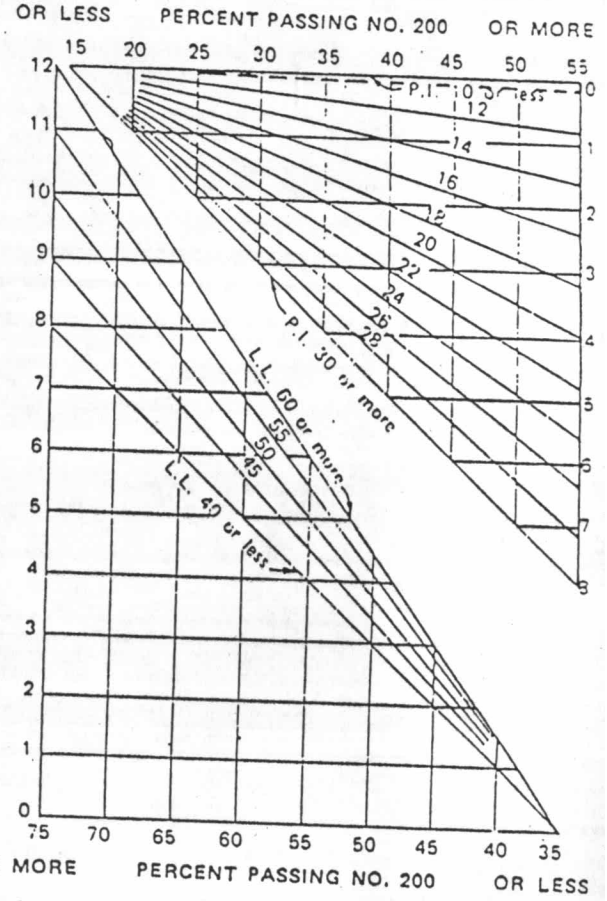
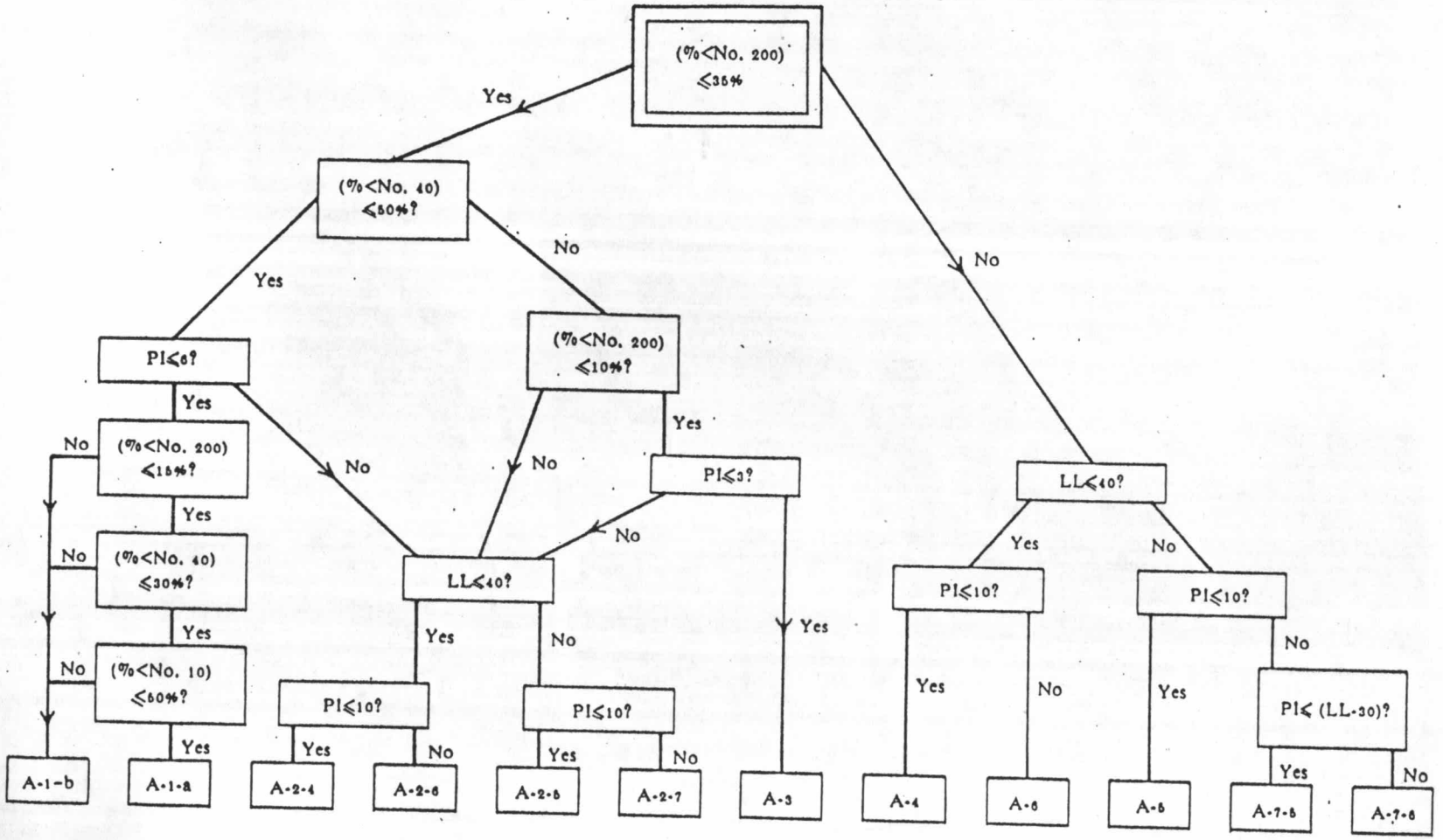


CHART B – GRAIN SIZE AND L.L. RELATIONS

Group Index Equals Sum of Readings on Both Vertical Scale

016797



แผนภูมิลำดับขั้นตอนการจำแนกดินระบบ AASHTO

ถ้าหากจะจัดในระบบของ Unified Soil Classification ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ก็จะสามารถจัดผงโลหะตัวอย่างดังกล่าว มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้าย fine - grained soil ชนิด MH (elastic silt) ได้

2.5 การคัดเลือกสาร stabilizer ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพผงโลหะ

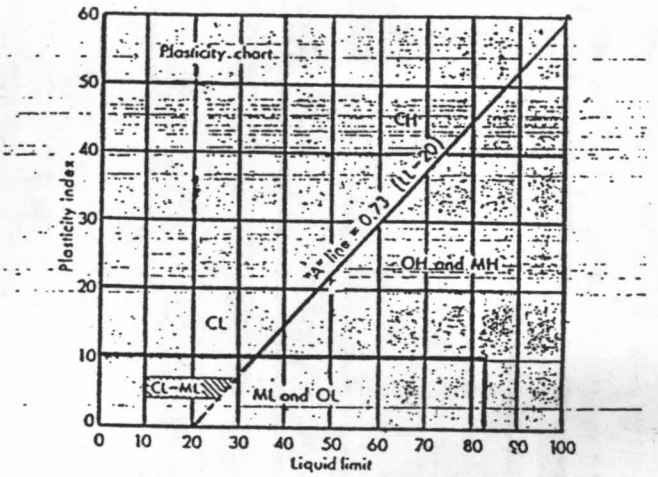
เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมีของผงโลหะ ซึ่งมี iron oxide (Fe_2O_3) อยู่ในปริมาณสูงแล้ว ซึ่งทางด้าน Flaherty (8) ได้กล่าวว่า iron oxide (Fe_2O_3) นี้ มีผลต่อปฏิกริยา cement hydration มาก สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของผงโลหะตัวอย่าง ซึ่งใช้ประกอบการพิจารณาคัดเลือกสาร stabilizer นั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของผงโลหะตัวอย่างดังกล่าวแล้ว จะพบว่ามีความเหมาะสมและเป็นไปได้สูง ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพผงโลหะดังกล่าวด้วยซีเมนต์ (cement - stabilization) และเมื่อทำการตรวจสอบกับงานวิจัยของ Sherwood (4) ซึ่งได้แสดงการกำหนดขอบเขตขนาดคละของ cement - bound material ชนิดต่าง ๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ก็จะพบว่า ผงโลหะตัวอย่างนี้สามารถปรับปรุงคุณภาพในลักษณะที่คล้ายกับ stabilized soil ได้

ตารางที่ 2.5 Unified Soil Classification

Major divisions			Group symbols	Typical names	Laboratory classification criteria
Coarse-grained soils (More than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	Clean gravels (Little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for GW
		Gravels with fines (Appreciable amount of fines)	GM* d / u	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 / Above "A" line with PI between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7 / Above "A" line with PI between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
	Sands (More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	Clean sands (Little or no fines)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 6; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for SW
		Sands with fines (Appreciable amount of fines)	SM* d / u	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 / Limits plotting in hatched zone with PI between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7 / Limits plotting in hatched zone with PI between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
Fine-grained soils (More than half of material is smaller than No. 200 sieve)	Silts and clays (Liquid limit less than 50)		ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
			OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	
	Silts and clays (Liquid limit greater than 50)		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	
			CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
			OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	
	Highly organic soils		Pt	Peat and other highly organic soils	

Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows:
Less than 5 percent — GW, GP, SW, SP
More than 12 percent — GM, GC, SM, SC
5 to 12 percent — *Borderline* cases requiring dual symbols†



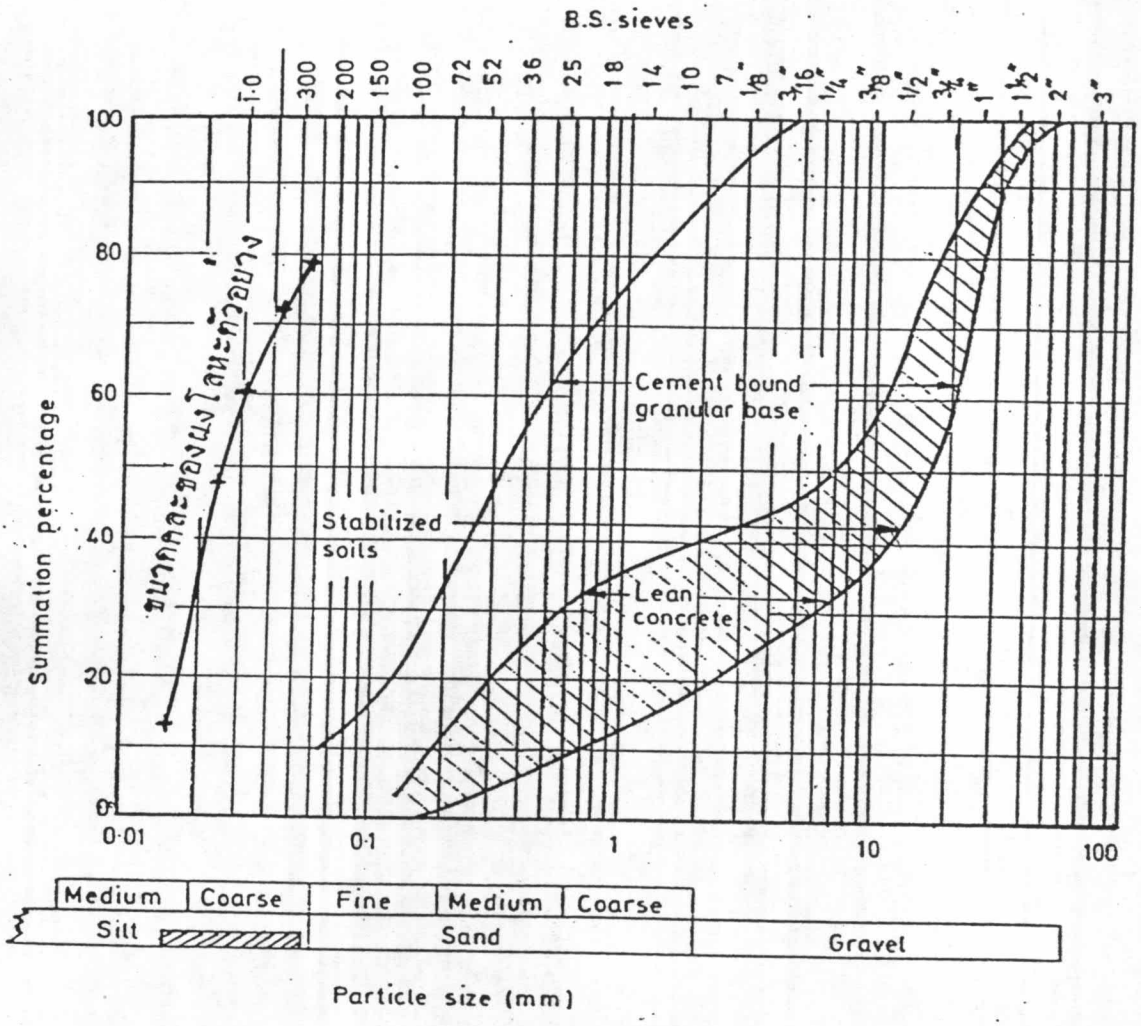
* Division of GM and SM groups into subdivisions of d and u are for roads and airfields only. Subdivision is based on Atterburg limits; suffix d used when LL is 28 or less and the PI is 6 or less; suffix u used when LL is greater than 28.

† Borderline classifications, used for soils possessing characteristics of two groups, are designated by combinations of group symbols. For example: GW-GC, well-graded gravel-sand mixture with clay binder.

ตารางที่ 2.6

เปรียบเทียบการคัดเลือกวิธีในการ stabilization โดยพิจารณาจาก
คุณสมบัติทางกายภาพของผงโลหะตัวอย่าง

คุณสมบัติทางกายภาพ	Cement Stabilization	Lime Stabilization	Bituminous Stabilization
1. ชนิดของวัสดุ	ใช้ได้กับวัสดุทุกชนิด ยกเว้น organic material	เหมาะกับพวกดินเหนียว	เหมาะกับพวก granular soil
2. ขนาดคละของวัสดุ	ตามที่ PCA แนะนำ - ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 = 55 % (min) - ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 = 35 % (min) - อยู่ระหว่างตะแกรงเบอร์ 200 และตะแกรงเบอร์ 10 = 25 % (min)	ส่วนใหญ่ควรมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร	ควรมีขนาดคละดังนี้ - ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 = 50 % - ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 = 10 %-25 %
3. ค่าของ Atterberg limit	LL < 50 % I_P < 18 %	LL, I_P มีค่าสูง	LL < 40 % I_P < 18 %



รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดขอบเขตขนาดคละของ cement – bound material ชนิดต่าง ๆ