บทที่ 4

ผลการศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดวิธีการและขั้นตอนการทดลองหาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัยได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในบทนี้จะได้สรุปถึงผลที่ได้จากการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ กากแร่สังกะสีและสารผสมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพอันได้แก่ปูนขาว

4.1 กากแร่สังกะสี

กากแร่สังกะสีที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นวัสดุที่ทิ้งแล้ว จากโรงงานของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด โดยทำการเก็บกักอยู่ในบ่อขนาดใหญ่ที่บุด้วยพลาสติก PVC เพื่อป้องกันการซึมของโลหะหนักที่เป็นพิษบางตัวซึ่งมีอยู่ในกากแร่สังกะสี อันเป็นผลมาจากการสกัดแร่สังกะสีด้วย ขบวนการทางเคมี จากสินแร่สังกะสี ซึ่งอยู่ในรูปของ Zinc silicate และ Zinc carbonate จากข้อมูลที่ได้รับจากโรงงานพบว่าแหล่งแร่สังกะสีที่ตำบลผาแดง จ.ตาก เป็นแร่สังกะสีที่อยู่ในรูปของ Zinc silicate เป็นส่วนใหญ่ สำหรับในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงวัตถุดิบคือกากแร่สังกะสีจะต้องได้มาจากสินแร่ Zinc silicate เท่านั้น สำหรับสินแร่ที่เป็น Zinc carbonate จะให้ผลของการเพิ่มเสถียรภาพด้วยปูนขาวที่ต่ำกว่า เพราะว่ากากแร่สังกะสีที่ได้จากสินแร่ Zinc carbonate จะสลายซิลิก้า หรืออลูมิน่าออกมาทำปฏิกริยากับปูนขาวได้น้อยกว่า

กากแร่สังกะสีที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้รับจากโรงงานของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2530 ซึ่งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปคุณสมบัติได้ดังนี้

4.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม

ก. ปริมาณความชื้น จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นของกากแร่สังกะสีตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2116 : Laboratory determination of moisture content of soils พบว่า ตัวอย่างกากแร่สังกะสีขณะที่ได้รับและใช้ในการวิจัยนี้มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 80% - 90% โดยน้ำหนัก

ข. สมบัติทางด้านพลาสติก การทดสอบได้กระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4318 : Test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils ซึ่งทำการทดสอบกับตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40 (0.420 ม.ม.) เพื่อจะพิจารณาหาปริมาณความชื้นที่ภาวะต่าง ๆ ผลการทดสอบตัวอย่างกากแร่สังกะสีพบว่า

ค่าพิกัดความเหลว (L.L) = 49.9 %

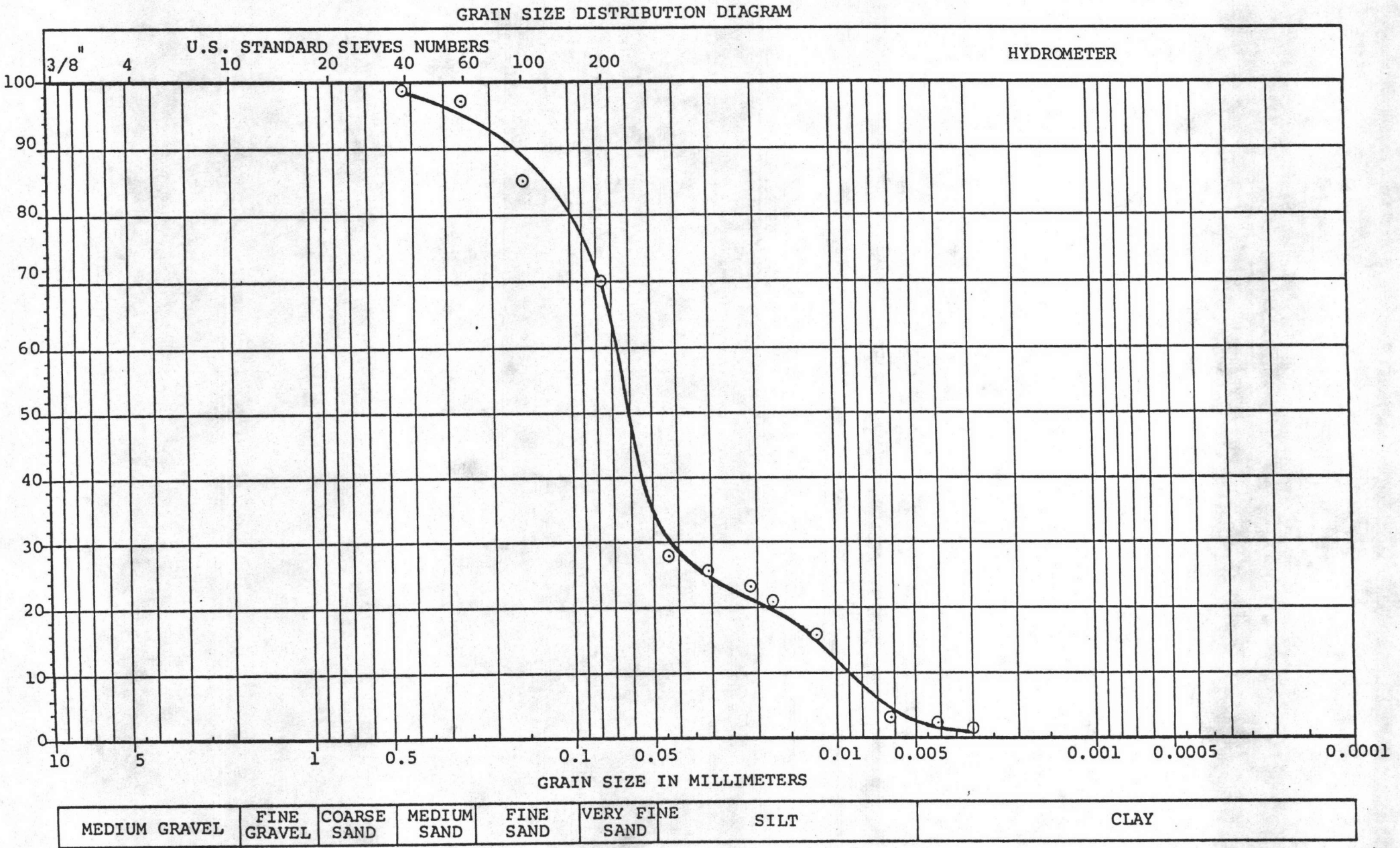
ค่าพิกัดความเหนียว (P.L) = NP (non-plastic)

ซึ่งแสดงว่ากากแร่สังกะสีเป็นวัสดุที่ไม่มีสมบัติทางด้านพลาสติกเหมือนเช่นดินเหนียว กล่าวคือจะเป็นวัสดุร่วน และเมื่อพิจารณาค่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ได้รับเทียบกับค่าพิกัดความเหลว สามารถกล่าวได้ว่าตัวอย่างกากแร่สังกะสีที่ใช้ในการวิจัยนี้มีสภาพขณะที่ได้รับเป็นลักษณะของไหล ซึ่งทำให้จำเป็นต้องนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 80 °ซ เพื่อให้การผสมด้วยปูนขาวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการทดสอบ

ค. ค่าความถ่วงจำเพาะ การทดสอบได้กระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 854 : Test method for gravity of soils โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่ากากแร่สังกะสีมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.70

ง. การกระจายขนาดคละ การทดสอบได้กระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 422 : Method for particle - size analysis of soils โดยวิธีร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) และสำหรับขนาดตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (0.075 ม.ม.) ก็จะใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometor analysis) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีทั้งสอง ดังกล่าวจะนำมารวมกันและแสดงผลในรูปของกราฟการกระจายขนาดคละ (Grain-size distribution curve) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรงหรือขนาดอนุภาคของตัวอย่างตามแกนนอนกับร้อยละของขนาดที่เล็กกว่า ตะแกรงขนาดนั้น ๆ ตามแกนตั้ง

รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายขนาดคละของตัวอย่างกากแร่สังกะสี จากการพิจารณากราฟที่ได้พบว่ากากแร่สังกะสีมีส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 ม.ม.)ประมาณ 69% โดยส่วนใหญ่กากแร่สังกะสีจะมีการกระจายขนาดในช่วงของทรายละเอียด (Silt size)



รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดคละของกากแร่สังกะสี

จากการจำแนกประเภทของดินโดยวิธี AASHTO พบว่ากากแร่สังกะสีจัดอยู่ในกลุ่ม A-5 (Silty soils) และจาก Unified soil classification พบว่า กากแร่สังกะสีจัดอยู่ใน ML (Low plastic sitt)

จ. ความหนาแน่นแห้งภายหลังการบดอัด การทดสอบได้กระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 698 : Moisture - density relations of soils and soil - aggregate mixtures use 5.5 lb (2.49 kg.) rammer and 12 in (305 mm.) drop ผลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของ Compaction curve โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของก้อนตัวอย่างภายหลังการบดอัด และปริมาณความชื้น ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density หรือ γ_{dmax}) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content หรือ OMC) ของก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นของกากแร่สังกะสีภายหลังการบดอัด

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นซึ่งพบว่ากากแร่สังกะสีภายหลังการบดอัดมีสมบัติดังนี้

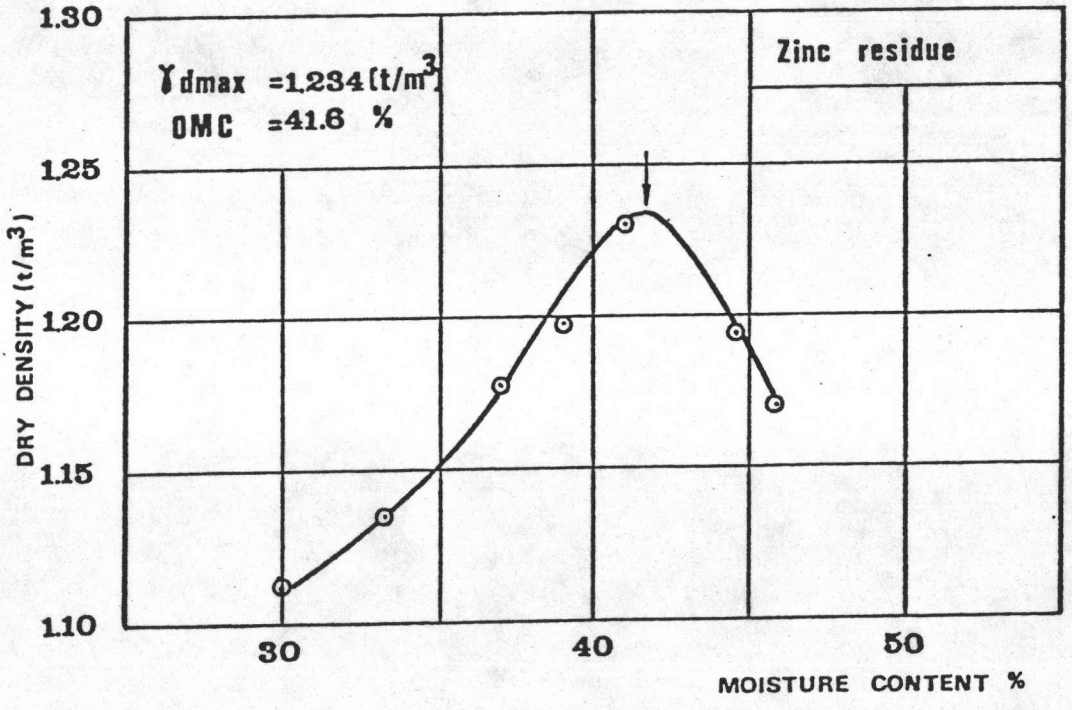
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 1.234 ตัน/ลบ.เมตร
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม = 41.6 %

ฉ. กำลังรับแรงอัด สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ Unconfined Compressive Strength เป็นค่ากำลังรับแรงอัดโดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2166 : Test method for unconfined compressive strength of cohesive soil ยกเว้นแต่การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบได้ใช้ตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 698 ซึ่งจะมีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกโดยมี เส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 ม.ม. และมีส่วนสูงประมาณ 116.6 ม.ม. ขนาดของก้อนตัวอย่างดังกล่าวจะไม่เป็นไปตามมาตรฐาน กล่าวคืออัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าประมาณ 1.15 เท่า เท่านั้น ซึ่งเป็นผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับการเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ของการทดสอบนี้ก็เพื่อที่จะใช้ค่ากำลังรับแรงอัดดังกล่าว เป็นเพียงดัชนี เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างต่อตัวอย่างเท่านั้น

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากแร่สังกะสี เมื่อบดอัดโดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 698 ที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะได้ว่า

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นแห้งของกากแร่สังกะสีภายหลังการบดอัด
ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 698

ความหนาแน่นแห้ง (γ_d, t/m^3)	ปริมาณความชื้น (moisture content ,%)
1.112	30.0
1.135	33.2
1.178	36.95
1.198	38.95
1.230	41.0
1.194	44.5
1.170	45.70



รูปที่ 4.2 Compaction curve ของกากแร่สังกะสี (ASTM D 698)

ค่ากำลังรับแรงอัด = 2.39 ก.ก./ตร.ซ.ม.

4.1.2 คุณสมบัติทางด้านแร่

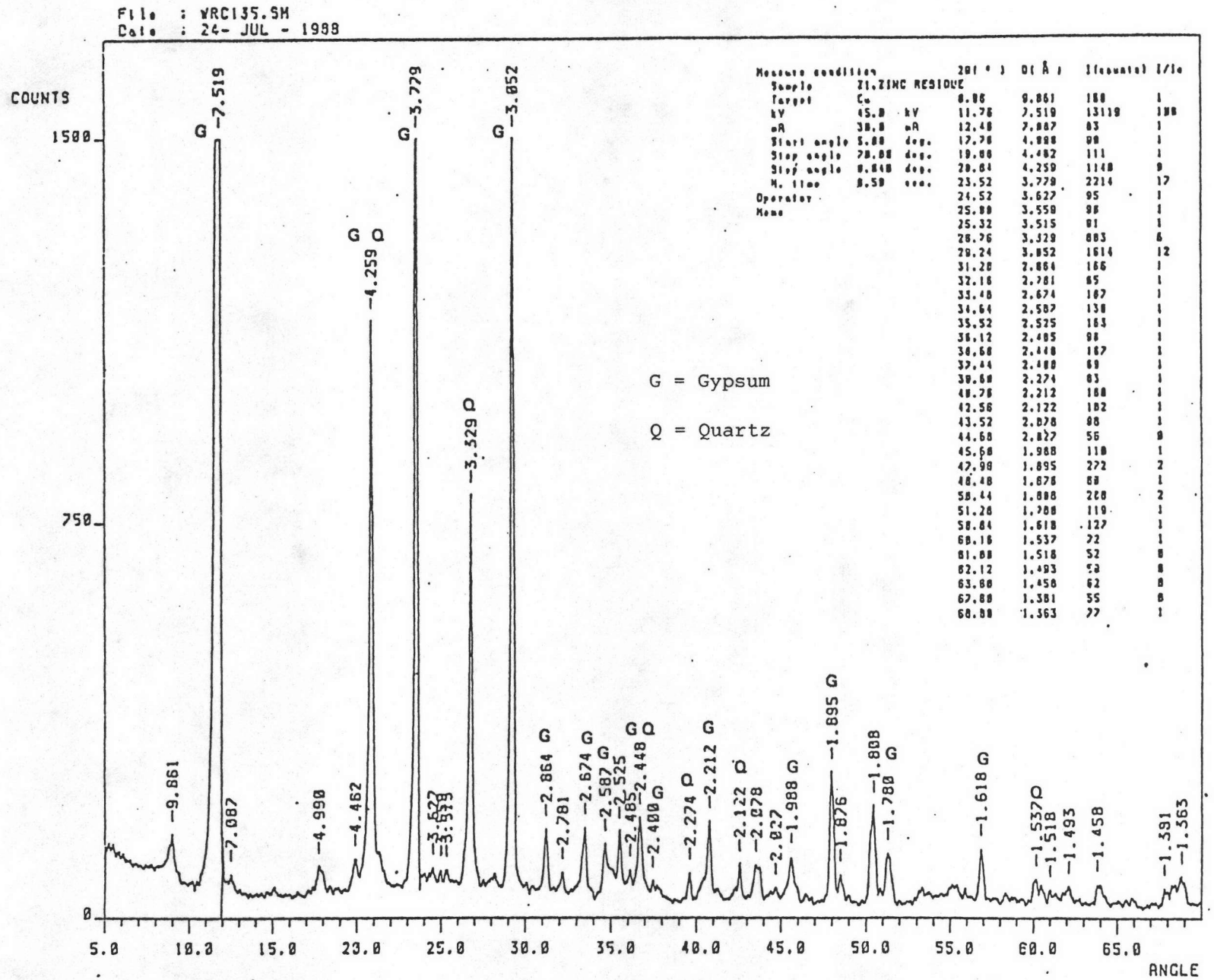
ส่วนประกอบทางด้านแร่จะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว ในการศึกษาคุณสมบัติทางด้านแร่สำหรับงานวิจัยนี้ได้อาศัยการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางด้านแร่ของตัวอย่างกากแร่สังกะสีโดยใช้ Scanning Electron Microscope และ X-ray diffraction ในการพิจารณาหาส่วนประกอบของแร่

ก. X-ray diffraction โดยการเตรียมตัวอย่างกากแร่สังกะสีแบบ Random powder เครื่องเอ็กซ์เรย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นเครื่องรุ่น JDX 8030 ยี่ห้อ JEOL ของประเทศญี่ปุ่นโดยใช้ Cu-radiation ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงเป็น diffraction diagram ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity ในแกนตั้งและมุมที่เกิดการหักเห (2θ) ในแนวนอนและที่ทุก diffraction peak เครื่องจะแสดงค่า diffraction spacing หน่วยเป็น Angstrom (A°) ไว้ด้วย สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบโดยวิธี X-ray diffraction ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก

รูปที่ 4.3 แสดง diffraction diagram ที่ได้จากการวิเคราะห์กากแร่สังกะสีซึ่งพบว่ากากแร่สังกะสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ Quartz (SiO_2) และ Gypsum หรือ Calcium Sulphate Hydrate ($CaSO_4 . 2H_2O$) นอกจากนี้อาจมีแร่อื่นอีกเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถพิจารณาได้ เพราะมีปริมาณน้อยทำให้ diffraction peak ที่ได้ไม่ชัดเจน

ข. Scanning Electron Microscope ตัวอย่างกากแร่สังกะสี นำมาส่องดูด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า กากแร่สังกะสีนี้เป็นส่วนผสมของ particle อย่างน้อย 2 ชนิด มีทั้ง Fibrous form และ Irregular shape ดังแสดงในรูปที่ 4.4 การกระจายของ particle แต่ละอย่างค่อนข้าง Uniform ขนาดของ particle มีขนาดใหญ่ถึง 70 micron กว้างประมาณ 25 micron และมี particle ขนาดเล็ก ๆ เกาะติดอยู่บน particle ขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6

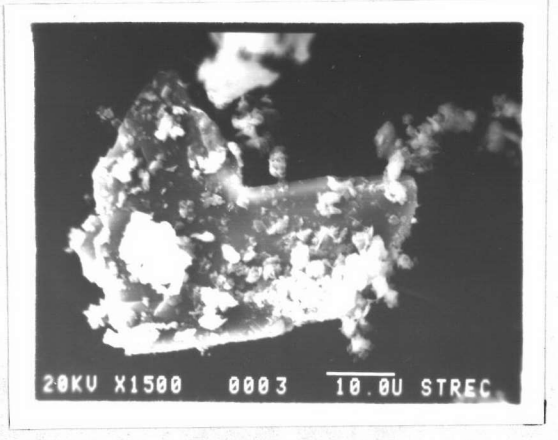
รูปที่ 4.7 แสดงผลของการทดสอบ Energy Dispersive X-ray Spectrometer ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.1 ซึ่งช่วยในการอธิบายถึงผลที่ได้จากการทำ SEM จากผลที่ได้นี้ทำ



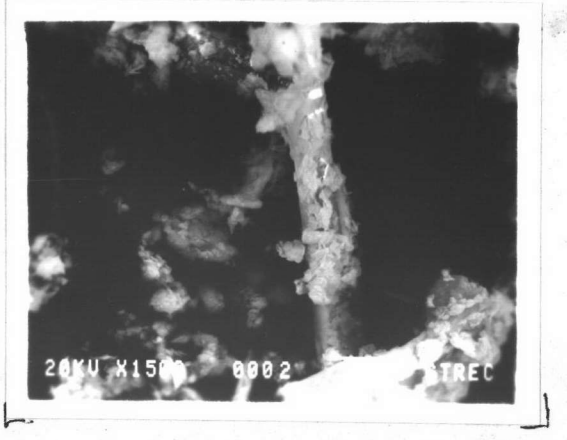
2θ(°)	D(Å)	I(counts)	I/Io
8.86	9.861	188	1
11.76	7.519	13119	100
12.48	7.087	83	1
17.76	4.988	98	1
19.88	4.462	111	1
20.84	4.259	1148	9
23.52	3.779	2214	17
24.52	3.627	95	1
25.08	3.550	98	1
25.32	3.515	81	1
26.76	3.329	883	6
28.24	3.852	1614	12
31.28	2.864	166	1
32.16	2.781	65	1
33.48	2.674	167	1
34.64	2.587	138	1
35.52	2.525	163	1
36.12	2.485	98	1
36.68	2.448	167	1
37.44	2.400	69	1
39.68	2.274	83	1
40.76	2.212	188	1
42.56	2.122	182	1
43.52	2.078	86	1
44.68	2.027	56	0
45.68	1.988	118	1
47.98	1.895	272	2
48.48	1.878	88	1
50.44	1.808	228	2
51.26	1.780	119	1
58.84	1.618	127	1
60.16	1.537	22	1
61.88	1.518	52	0
62.12	1.493	58	0
63.88	1.458	62	0
67.88	1.381	55	0
68.88	1.363	27	1

รูปที่ 4.3 X-ray diffraction diagram ของกากแร่สังกะสี

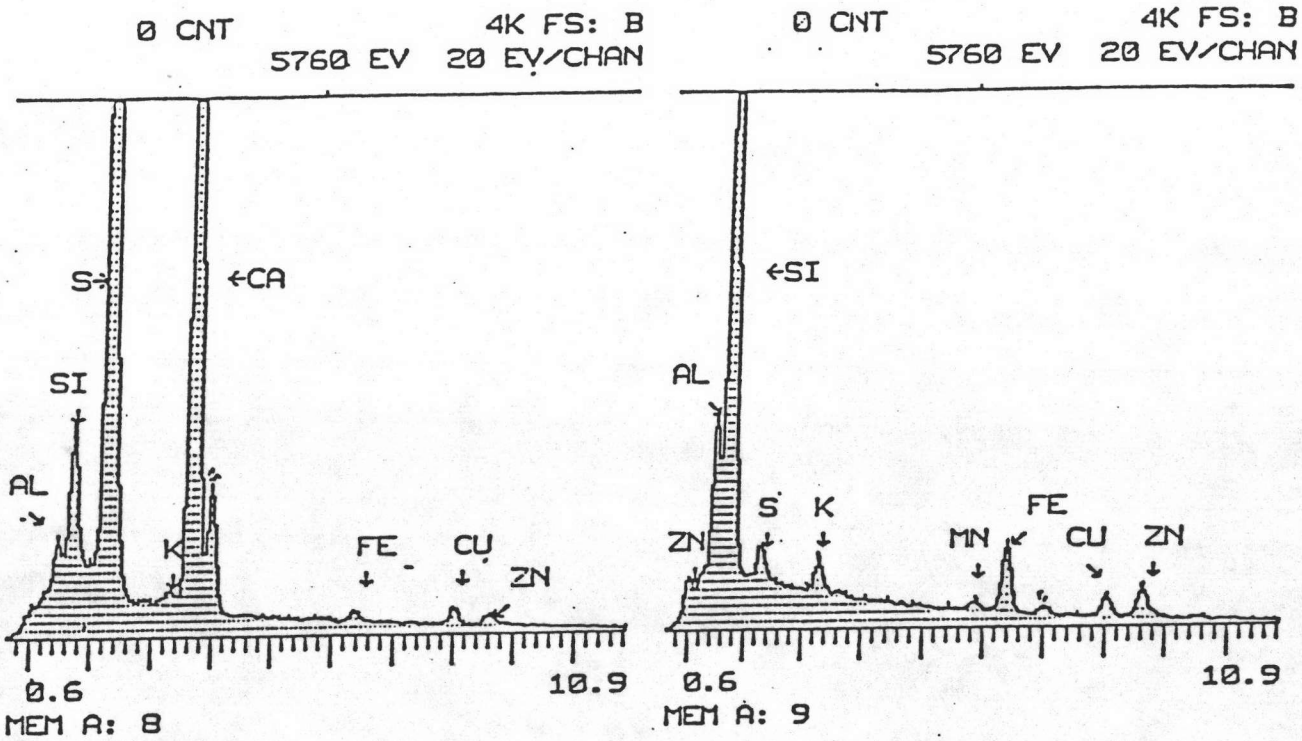
รูปที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ของกากแร่สังกะสีโดยวิธี Scanning electron microscope (X100)



รูปที่ 4.5 แสดง Quartz ที่มีรูปร่างเป็น Irregular ขนาดใหญ่ที่มี Particle เล็ก ๆ เกาะอยู่ (X1500)



รูปที่ 4.6 แสดง $CaSo_4$ ที่มีรูปร่างเป็น Fibrous ซึ่งมี Particle เล็ก ๆ เกาะอยู่ (X1500)



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบ Energy X-ray Dispersive Spectrum ของกากแร่สังกะสี

ให้มั่นใจได้ว่ากากแร่สังกะสีมี Quartz กับ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นส่วนใหญ่ และเป็นการยืนยันผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี X-ray diffraction อีกด้วย

4.1.3 คุณสมบัติทางด้านเคมี

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีสำหรับกากแร่สังกะสีเป็นการศึกษาถึงส่วนประกอบทางเคมี และการศึกษาถึงคุณสมบัติทั่วไปได้แก่ค่า Cation exchange capacity (C.E.C.) ค่า Organic matter และค่า pH

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปทางเคมีของตัวอย่างกากแร่สังกะสี โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร พบว่ากากแร่สังกะสีมีคุณสมบัติดังนี้

C.E.C	=	5.7 meq/100 gm of dry sample
pH	=	5.6
Organic matter	=	0.03 %

จากผลการทดสอบ กากแร่สังกะสีจะมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ๆ ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากขบวนการแยกแร่สังกะสี และมีค่า Cation Exchange Capacity ประมาณ 5.7 meq ต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง สำหรับปริมาณอินทรีย์สารจะพบน้อยมากกล่าวคือเพียงร้อยละ 0.03 ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากแร่สังกะสีและสินแร่ ซึ่งทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยวิธี X-ray fluorescence analysis โดยใช้เครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer รุ่น EDXRF XR-200 ซึ่งพบว่าตัวอย่างกากแร่สังกะสีที่เก็บเมื่อเดือนพฤษภาคม 2530 และเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2530 มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันพอควร โดยเฉพาะปริมาณของ SiO_2, CaO และ S ทั้งนี้อาจเนื่องจากแหล่งสินแร่สังกะสีที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแยกแร่สังกะสีต่างกัน กล่าวคือ เป็นพวก Zinc silicate และ Zinc carbonate อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาสัดส่วนออกไซด์ธาตุต่าง ๆ ของกากแร่สังกะสีแล้วพบว่ากากแร่สังกะสีประกอบด้วย SiO_2 เป็นส่วนใหญ่ และรองลงมาได้แก่ Al_2O_3 , CaO, S และ Fe_2O_3 ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบแร่ดังแสดงในหัว

ตารางที่ 4.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของกากแร่สังกะสี

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบในกากแร่สังกะสี (%)[1]		
	ตัวอย่างกากแร่สังกะสี		สินแร่สังกะสี เดือน ก.ย.30
	เดือน พ.ค.30	เดือน พ.ย.30	
SiO_2	37.10	55.80	40.95
Al_2O_3	7.15	9.83	9.70
CaO	13.78	8.90	4.94
K_2O	1.54	1.51	0.85
TiO_2	0.28	0.03	0.19
MgO	1.06	-	3.08
S	16.47	7.23	0.09
MnO_2	0.70	0.78	0.41
Fe_2O_3	6.63	7.02	4.41
ZnO	3.01	1.37	24.33
PbO	0.33	0.31	0.19
ZrO_2	-	0.03	-
SrO	0.01	<0.02	-
Na_2O	-	-	-
CuO	0.08	-	-

หมายเหตุ (1) X-ray fluorescence analysis

ข้อ 4.1.2 ที่พบแร่ Quartz (SiO_2) และ Gypsum ($CaSO_4$) เป็นแร่หลักในกากแร่สังกะสี

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของสินแร่สังกะสีที่ได้ เก็บตัวอย่างมาจากโรงเก็บสินแร่สังกะสีของโรงงานของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด เมื่อเดือนกันยายน 2530 นั้น พบว่ามีปริมาณ SiO_2 และ ZnO อยู่สูง ซึ่งอาจประเมินได้ว่าสินแร่สังกะสีในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นพวก Zinc silicate องค์ประกอบทางเคมีของสินแร่สังกะสีดังกล่าว จะสอดคล้องกับของตัวอย่างกากแร่สังกะสีเดือนพฤศจิกายน 2530 กล่าวคือเมื่อผ่านขบวนการแยกแร่สังกะสีแล้วค่า ZnO ในสินแร่จะลดลง ในขณะที่ค่า S จะเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้ H_2SO_4 ในขบวนการแยกแร่สังกะสี ดังนั้นสัดส่วนของออกไซด์ธาตุต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปบ้างทำให้เมื่อคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณออกไซด์ธาตุต่าง ๆ ระหว่างสินแร่และกากแร่สังกะสี จึงแตกต่างกันบ้าง ถึงแม้จะมีปริมาณเท่าเดิม จากผลที่ได้กล่าวมานี้กากแร่สังกะสีที่จะใช้ในการวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างที่ได้รับเมื่อ เดือนพฤศจิกายน 2530 ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวจะเป็นกากแร่สังกะสีที่ได้จากการใช้สินแร่สังกะสีประเภท Zinc Silicate

4.2 ปูนขาว

ปูนขาวเป็นวัสดุผสมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสีในงานวิจัยนี้ โดยที่ปูนขาวที่จะนำมาใช้จะกำหนดใช้ปูนขาวที่ได้รับจากโรงงานของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก และเนื่องจากประเภทของปูนขาวก็มีผลต่อการกำหนดปริมาณที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสี ดังนั้นในการวิจัยขั้นตอนนี้จึงได้ทำการทดลองศึกษาปูนขาวที่ได้จากท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร ซึ่งในการแสดงผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปูนขาวจากทั้ง 2 แหล่ง ดังกล่าวในที่นี้จะกำหนดชื่อปูนขาวจากทั้ง 2 แหล่งดังต่อไปนี้

ปูนขาวจังหวัดตาก	หมายถึง	ปูนขาวที่ได้รับจากโรงงานบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก
ปูนขาวกรุงเทพ	หมายถึง	ปูนขาวที่หาซื้อจากท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร

ผลจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของปูนขาวทั้ง 2 แหล่งเพื่อพิจารณาหาส่วนประกอบของ CaO (free lime) และ $Ca(OH)_2$ โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลโยี เมื่อเดือนเมษายน 2531 พบว่า

ปูนขาวจังหวัดตาก	มีส่วนประกอบ	CaO	61.1 %
	และ	$Ca(OH)_2$	24.0 %
ปูนขาวกรุงเทพ	ไม่พบส่วนประกอบของ	CaO	
	มีเฉพาะ	$Ca(OH)_2$	81.6 %

จากผลดังกล่าวข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า ปูนขาวจังหวัดตากจัดอยู่ในประเภท Quick lime และปูนขาวกรุงเทพจัดอยู่ในประเภท Hydrated lime

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนขาวทั้ง 2 แหล่งด้วยวิธี X-ray fluorescence analysis โดยใช้เครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของปูนขาวทั้ง 2 แหล่ง ทั่วไปใกล้เคียงกันยกเว้นปริมาณ CaO ซึ่งปูนขาวจังหวัดตากมีมากกว่าประมาณ 6% สำหรับปริมาณ MgO พบว่าปูนขาวจังหวัดตากมีอยู่เพียงเล็กน้อยในขณะที่ปูนขาวกรุงเทพมีประมาณ 2.3 % เมื่อพิจารณาผลดังกล่าวประกอบกับผลการวิเคราะห์หาปริมาณ free lime ดังกล่าวข้างต้น อาจสรุปได้ว่าปูนขาวจังหวัดตากจัดอยู่ในประเภท Quick lime และปูนขาวกรุงเทพ จัดอยู่ในประเภท Hydrated lime ปูนขาวจังหวัดตากจะมีปริมาณ CaO และ $Ca(OH)_2$ มากกว่าปูนขาวของกรุงเทพเล็กน้อย

การหาองค์ประกอบทางเคมีของปูนขาวทั้ง 2 แหล่ง ด้วยวิธี X-ray Fluorescence analysis มีข้อจำกัดอยู่อย่างหนึ่งก็คือตัวอย่างที่อยู่ในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ผลที่ได้จะไม่แยกออกจากในรูปของสารประกอบออกไซด์

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (γ_{dmax}) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 698 ของตัวอย่างกากแร่สังกะสีเมื่อผสมด้วยปูนขาวจากทั้ง 2 แหล่งที่ปริมาณต่าง ๆ โดยน้ำหนักพบว่าส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว ที่ใช้ปูนขาวกรุงเทพ จะให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมากกว่าส่วนผสมที่ใช้ปูนขาวจังหวัดตาก และจะกลับกันในกรณีของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม นอกจากนี้ก็ยังพบว่าเมื่อปริมาณปูนขาวในส่วนผสมเพิ่มขึ้นค่าแตกต่างดังกล่าว ก็เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ที่ปริมาณปูนขาวเดียวกัน (น้ำหนักเท่ากัน) ปูนขาวกรุงเทพจะมีปริมาณ CaO และ/หรือ MgO น้อยกว่าปูนขาวจังหวัดตาก เนื่องจากปูนขาวกรุงเทพเป็นพวก Hydrated lime และโดยทั่วไปแล้วปูนขาวจะมีค่าหน่วยน้ำหนักน้อยกว่ากากแร่สังกะสีมาก ดังนั้นถ้าผสมเข้าไปในกากแร่สังกะสีมากเท่าไรก็ย่อมจะทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักของส่วนผสมลดลงเป็นสัดส่วนเท่านั้น (ปูนขาวจังหวัดตาก มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.30)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของปูนขาว

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบในตัวอย่าง (%)[1]	
	ปูนขาว จังหวัดตาก	ปูนขาว กรุงเทพฯ
SiO_2	0.55	0.54
Al_2O_3	0.35	0.25
CaO	82.1	76.1
K_2O	<0.10	<0.10
TiO_2	<0.0	0.04
MgO	0.45	2.33
S	<0.04	<0.04
MnO_2	0.03	0.03
Fe_2O_3	0.13	0.10
SO_3	-	-
Na_2O	<0.20	<0.20
ZrO_2	0.02	0.02
SrO	0.03	0.07

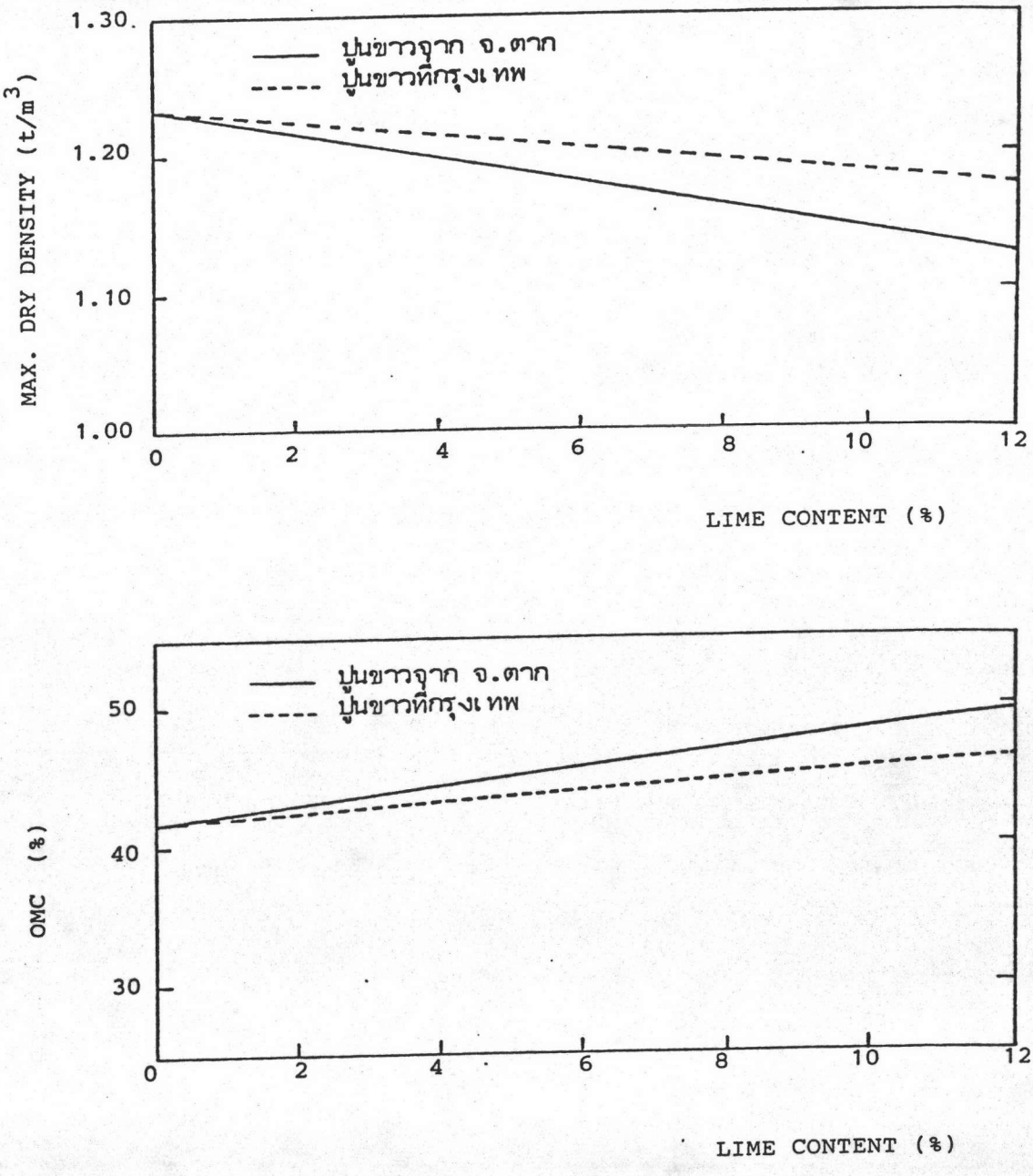
หมายเหตุ (1) X-ray fluorescence analysis

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการบดอัดส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาวจาก 2 แหล่ง

% ปูนขาว ในส่วนผสม	ปูนขาว กรุงเทพฯ		ปูนขาว จังหวัดตาก	
	γ_{dmax} (t/m^3)	OMC (%)	γ_{dmax} (t/m^3)	OMC (%)
4	1.225	42.00	1.187	45.00
6	1.210	43.50	1.185	45.50
8	1.195	45.50	1.180	45.80
12	1.175	46.25	1.120	49.25

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาวจาก 2 แหล่ง

แหล่งปูนขาว	(%) ปูนขาว	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2}) ที่ระยะเวลาบ่ม				
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	30 วัน	60 วัน
กรุงเทพฯ	4	3.70	8.00	8.80	10.05	10.08
	6	3.62	11.90	15.70	17.00	18.67
	8	3.90	18.50	21.00	23.05	24.39
จังหวัดตาก	4	3.76	8.30	8.69	10.60	11.25
	6	3.42	12.73	17.44	17.94	20.13
	8	3.76	19.62	26.74	30.61	33.64

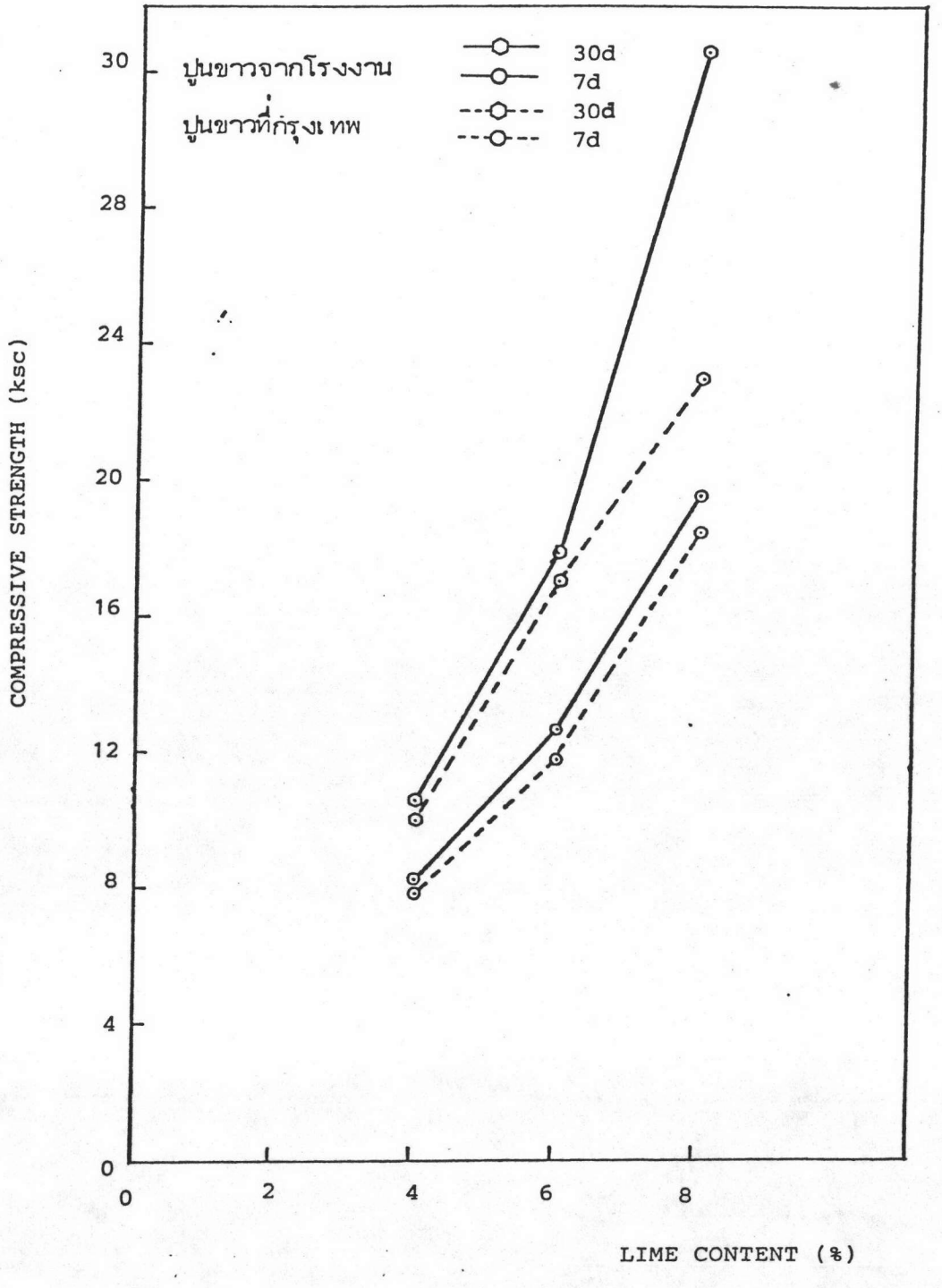


รูปที่ 4.8 ผลของปูนขาวต่อความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของส่วนผสมภายหลังการบดอัด

สำหรับค่าความชื้นที่เหมาะสม ตามทฤษฎีการบดอัดแล้วจะแปรกลับกับค่าความหนาแน่นแห้ง ซึ่งอธิบายได้ว่า ปูนขาวจังหวัดตากเป็นประเภท Quick lime ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำส่วนหนึ่งในส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว เพื่อเข้าไปทำปฏิกิริยากับ CaO ให้อยู่ในรูปของ Hydrated lime เป็นผลให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของส่วนผสมที่ใช้ปูนขาวจังหวัดตากสูงกว่าปูนขาวกรุงเทพ

ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาวจาก 2 แหล่ง ที่ปริมาณปูนขาว และระยะเวลาบ่มต่าง ๆ พบว่าเมื่อทดสอบทันทีภายหลังการบดอัด (ระยะเวลาบ่ม 0 วัน) ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างส่วนผสมที่ใช้ปูนขาวกรุงเทพ มีแนวโน้มสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะตัวอย่างที่ผสมด้วยปูนขาวกรุงเทพจะมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดมากกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วย ปูนขาวจังหวัดตาก แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นส่วนผสมที่ใช้ปูนขาวจังหวัดตาก จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าทันทีที่เริ่มบ่มส่วนผสมปริมาณ CaO และ MgO ในปูนขาวจะทำปฏิกิริยา Pozzolanic กับออกไซด์อิสระในกากแร่สังกะสี ซึ่ง Quick lime จะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า Hydrated lime และผลจากการที่ค่าหน่วยน้ำหนักที่ต่างกันของปูนขาวทั้ง 2 แหล่ง ตามที่กล่าวไว้แล้วนั้น ทำให้ส่วนผสมที่ใช้ปูนขาวจังหวัดตาก เกิดปฏิกิริยาได้มากกว่ายังผลให้การพัฒนากำลังจึงดีกว่า

จากการศึกษาทั้งทางด้านองค์ประกอบเคมี และคุณสมบัติทางด้านการบดอัด และผลของค่ากำลังรับแรงอัดของกากแร่สังกะสีเมื่อผสมด้วยปูนขาวจากทั้ง 2 แหล่ง สามารถสรุปได้ว่าปูนขาวจังหวัดตาก ที่ได้รับจากโรงงานของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด มีคุณสมบัติในการเพิ่มเสถียรภาพดีกว่าปูนขาว ที่หาได้จากท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร ทั้งยังอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบอีกด้วย ซึ่งสะดวกต่อการใช้ซึ่งจากผลดังกล่าวข้างต้น การวิจัยในขั้นต่อไปที่จะกล่าวในบทที่ 5 จะเป็นการรายงานผลของการวิจัยในรายละเอียดถึงผลการเพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสีด้วยปูนขาวจังหวัดตาก



รูปที่ 4.9 ผลของปูนขาวต่อค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสม