

บทที่ 4

ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

จากการทดลองหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย จะทำการสรุปผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย อันได้แก่ตัวอย่างดิน 2 ชนิด จากบางปู และจากแหลมฉบัง และสารเคมีปรับปรุงเสถียรภาพดิน RRP

4.1 ตัวอย่างดิน 2 ชนิด

ตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ เป็นดินชั้นดินเดิม (subgrade) บริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน ความลึกของตัวอย่างดินในการทำวิจัยนี้อยู่ที่ระดับความลึก 0.50-1.00 เมตร จากผิวดินเดิมจากทั้ง 2 แห่ง คือบริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ และบริเวณที่ทำการก่อสร้างคลังเก็บตู้สินค้า (container yard) ที่อำเภอแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี

ในการทดลองวิจัยนี้ จะแยกวัชพืชและวัสดุอื่น ๆ ออก แล้วจึงเตรียมตัวอย่างดินด้วยวิธีสุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างดินมีความสม่ำเสมอ ผลการทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างดินทั้ง 2 ชนิด ทางด้านฟิลิกส์-เคมี และทางด้านวิศวกรรม สามารถสรุปคุณสมบัติวัสดุพื้นฐานได้ ดังนี้

4.1.1 สมบัติพื้นฐานทางด้านฟิลิกส์และเคมี

ก. การกระจายขนาดคละ การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D422 Method for particle size analysis of soils ควบคู่กับมาตรฐาน ASTM D1140 : Method for Amount of material in soils finer than the No.200 (75 μ m) sieve โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินซึ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำดินอบแห้งไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (0.074 มม.) วนน้ำ ล้างดินส่วนที่มีขนาดเม็ดดินละเอียดกว่า ลงในภาชนะ และนำไปอบแห้งพร้อมกับส่วนที่ตกค้างบนตะแกรงเบอร์ 20 เพื่อหาปริมาณตัวอย่างที่มีขนาดละเอียดกว่าเบอร์ 200 (0.074 มม.) จากนั้นนำดินแห้งที่ตกค้างบนตะแกรงร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4, 10, 40, 60 และเบอร์ 100 ตามลำดับ ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 นั้นจะนำ

ไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) และนำผลการทดสอบทั้งหมดมารวมกันและแสดงผลในรูปของกราฟการกระจายขนาดคละ (Grain-size distribution curve) โดยกำหนดให้ขนาดของตะแกรงหรือขนาดอนุภาคของตัวอย่างเป็นแกนนอน และปริมาณร้อยละของขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงขนาดนั้น เป็นแกนตั้ง ดังรูป 4.1 ก และ ข.

ข. การทดสอบสมบัติด้านพลาสติก ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D4318 : Test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils ซึ่งทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ ทั้ง 2 ชนิด ตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ส่วนการทดสอบตัวอย่างดินเหนียว จะใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.)

จากการจำแนกประเภทของดิน โดยวิธี AASHTO และระบบ Unified soil classification พบว่า ดินเหนียวบางปู จัดอยู่ในกลุ่ม A-7-6 และเป็นดินประเภท clay (CH) ส่วนทรายปนดินเหนียว (clayey sand) จากแหลมฉบัง จัดอยู่ในกลุ่ม A-7-6 และเป็นดินประเภท SC

ค. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D854 Test method for gravity of soils โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

ง. การทดสอบหาค่า pH กระทำตามวิธีมาตรฐาน D 4972 : Test method for pH of soils โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นสารช่วยทำปฏิกิริยา (reagent) ด้วยอัตราส่วนต่อน้ำหนักดินแห้ง เท่ากับ 1 ต่อ 1 และอ่านค่าความเป็นกรดต่างจากเครื่อง pH meter

จ. การทดสอบหาค่า Cation exchange capacity (C.E.C) และหาปริมาณอินทรีย์สาร (organic matter) ได้ทำการวิเคราะห์ที่กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร พบว่า ดินเหนียวบางปู มีปริมาณอินทรีย์สารและค่า Cation Exchange Capacity ค่อนข้างสูง คือประมาณ 13.0 meq ต่อ 100 กรัม ของตัวอย่างดินแห้ง ในขณะที่ตัวอย่างดินจากแหลมฉบัง มีอินทรีย์สารเพียงร้อยละ 0.03 และมีค่า CEC เท่ากับ 3.95 meq ต่อ 100 กรัม ของตัวอย่างดินแห้ง

GRAIN SIZE DISTRIBUTION DIAGRAM

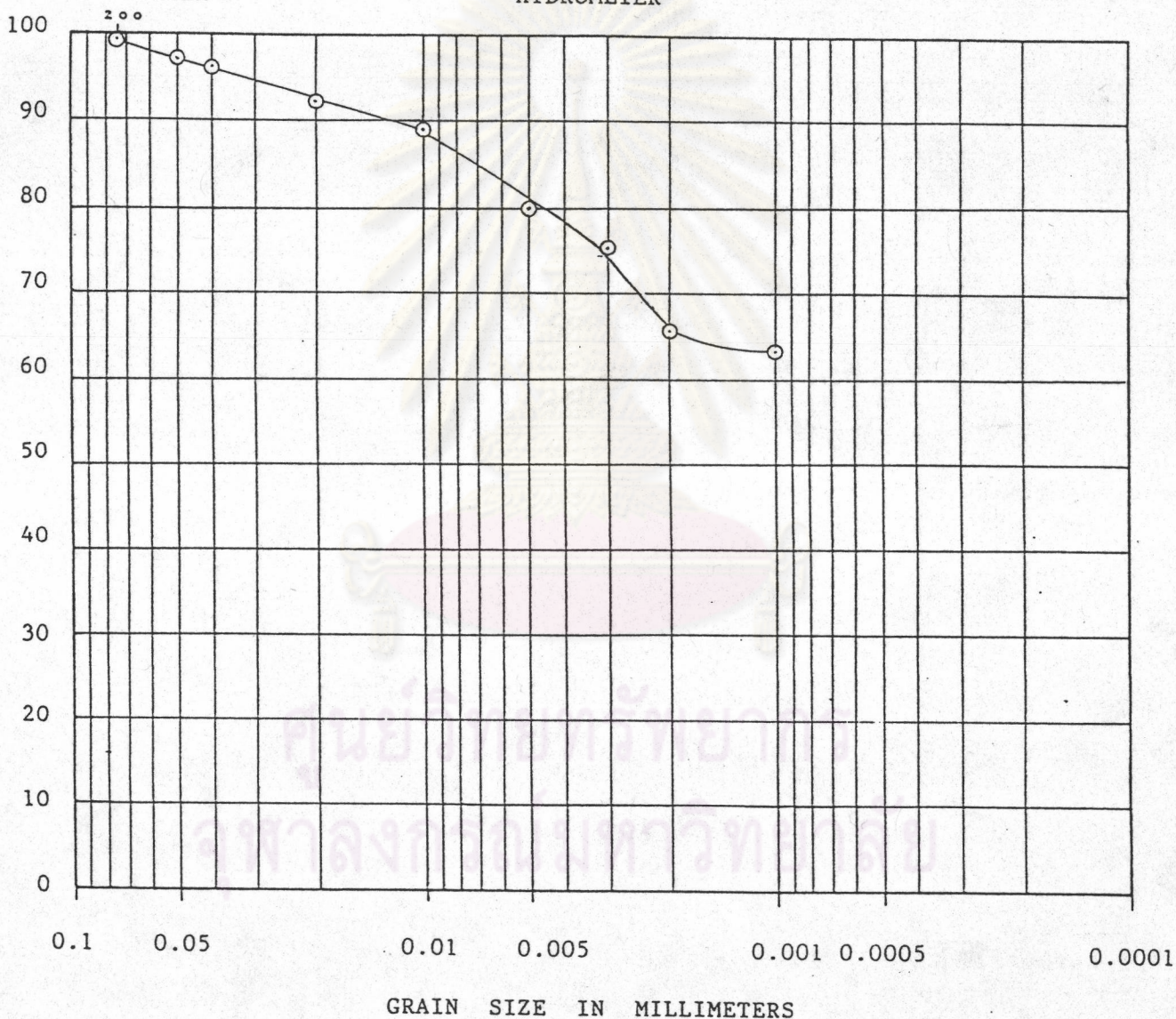
VERY

FINE SAND	SILT	CLAY
-----------	------	------

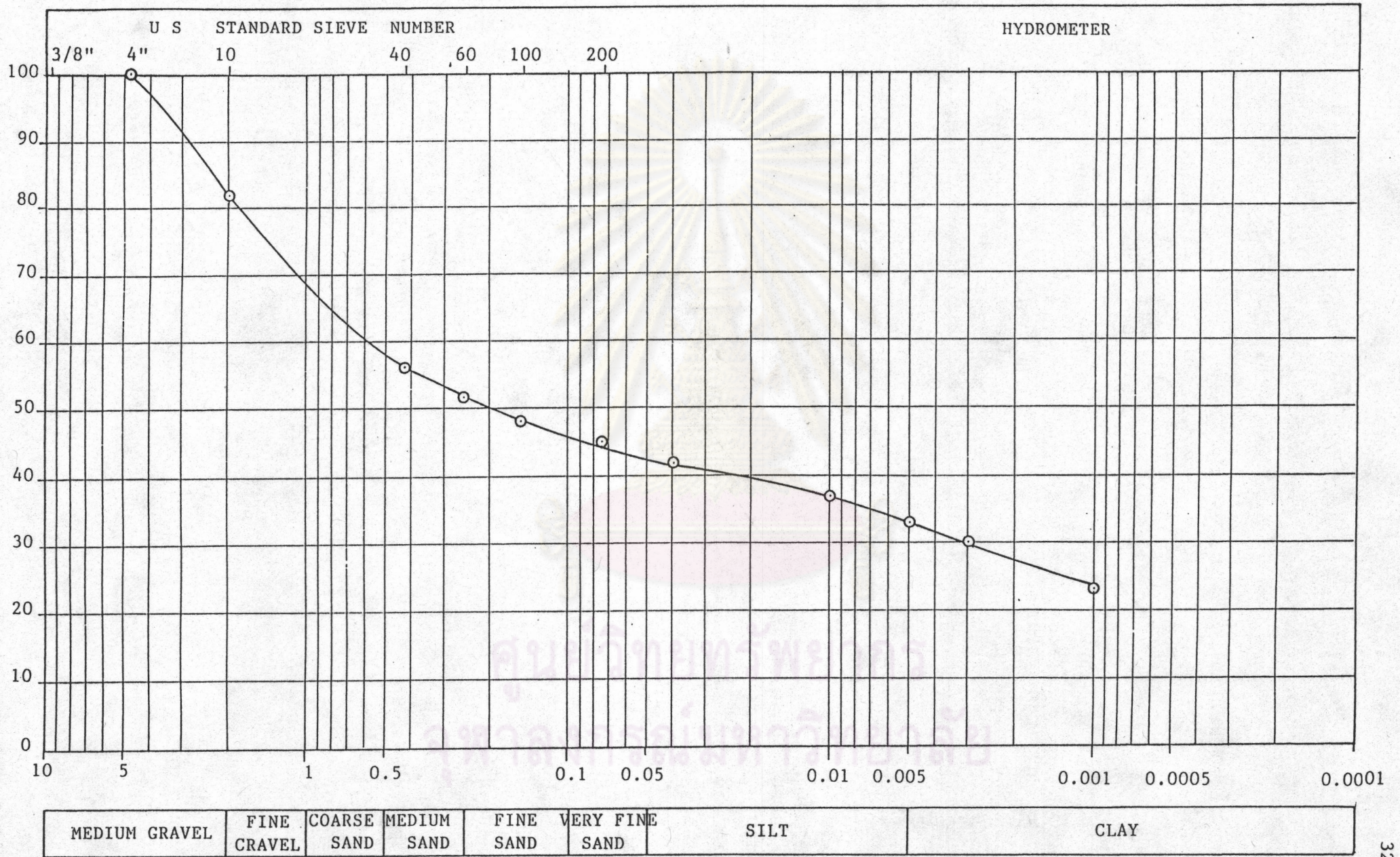
U.S. STANDARD

SIEVE NUMBER

HYDROMETER



รูปที่ 4.1 ก. การกระจายขนาดผละของดินบางปู



รูปที่ 4.1 ข. การกระจายขนาดคละของดินแหลมจนถึง

สรุปผลการทดสอบทางด้านฟิลิกส์และเคมี ของตัวอย่างดินทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่

4.1

4.1.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

ก. การทดสอบการบดอัด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1557 : Moisture-density relations of soils and soil-aggregate mixtures using 10-lb (4.54 kg) Rammer and 18 in (457 -mm), Drop ผลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของ Compaction curve ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของก้อนตัวอย่าง ภายหลังการบดอัด และปริมาณความชื้นแล้ว หากค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density หรือ γ_{dmax}) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content หรือ OMC) ของก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ สำหรับดิน 2 ชนิด

รูปที่ 4.2 ก. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้นของตัวอย่างดินจากบางปู ภายหลังการบดอัด มีสมบัติดังนี้

ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด	=	1.653	ตัน/ลบ.เมตร
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม	=	18.6	%

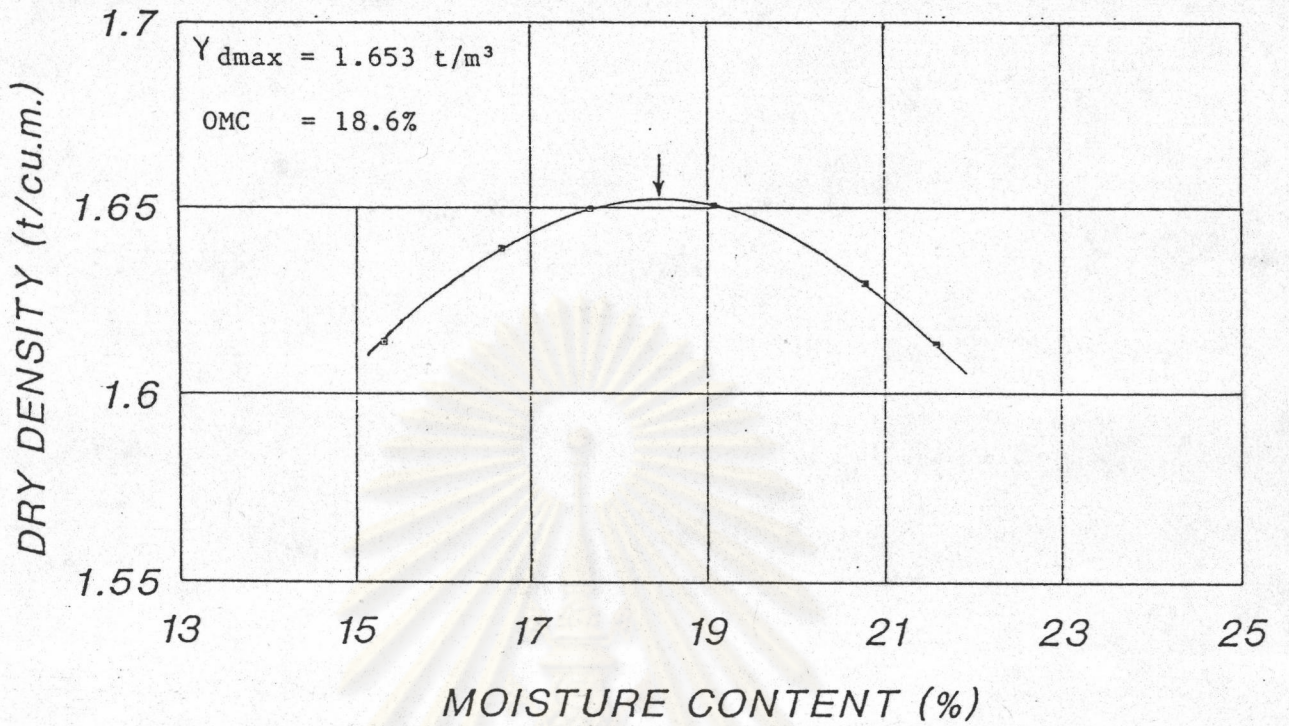
รูปที่ 4.2 ข. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของตัวอย่างดิน แหลมฉบัง ภายหลังการบดอัดพบว่า

ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด	=	1.864	ตัน/ลบ.เมตร
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม	=	14.5	%

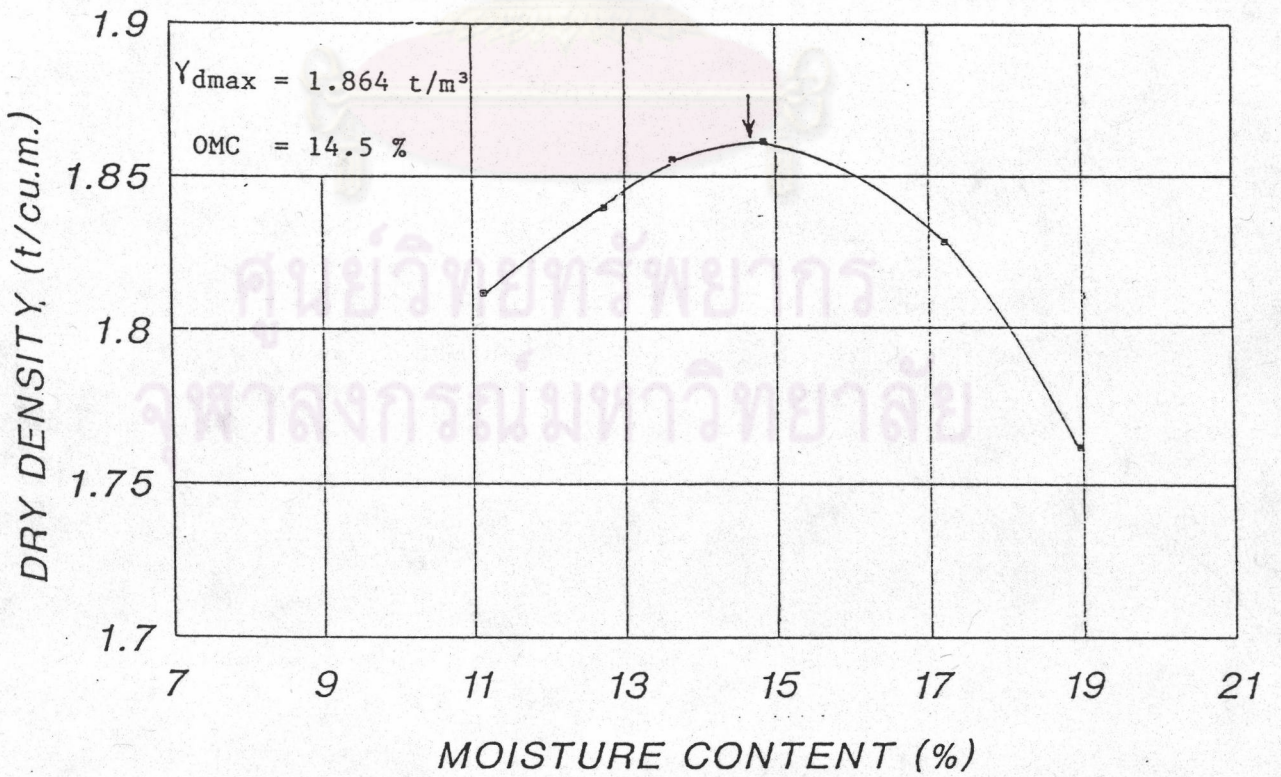
ข. คุณสมบัติด้านกำลัง ในงานวิจัยนี้ ใช้ค่า CBR (California Bearing Ratio) ในสภาพแช่น้ำ เนื่องจากค่า CBR เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบทาง โดยเตรียมตัวอย่างตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D 1557 ใช้ตุ้มหนัก 10 ปอนด์ (4.54 กก.) ระยะยก 18 นิ้ว

ตารางที่ 4.1 สรุปคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ และเคมีของดินตัวอย่าง

คุณสมบัติ	ดินเหนียวบางปู	ทรายปนดินเหนียวแหลมจบัง
ก. การกระจายขนาดของเม็ดดิน		
กรวด >2.000 มม.%	-	-
ทราย 2.000-0.074 มม.%	-	56
ซิลต์ 0.074-0.005 มม.%	19	11
ดินเหนียว <0.005 มม.%	81	33
การจำแนกประเภทของดิน		
Unified Soil Classification	CH	SC
ข. สมบัติทางด้านฟิสิกส์		
Liquid limit %	73	48
Plastic limit %	33	26
Plasticity index %	40	22
Specific gravity	2.68	2.78
ค. สมบัติทางด้านเคมี		
pH	7.0	5.4
Organic matter content, %	1.68	0.03
Cation Exchange Capacity (meq/100 gm.of dry sample)	13.05	3.95



รูปที่ 4.2 ก. Compaction curve ของดินเหนียวบางปู



รูปที่ 4.2 ข. Compaction curve ของดินทรายปนดินเหนียวจากแหลมฉบัง

(457 มม.) บดอัดดิน 5 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง ในแบบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว (152 มม.) จะทำให้ตัวอย่างดินที่บดอัดแล้วมีความสูง 4.5 นิ้ว แล้วนำตัวอย่างไปทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1883 สภาพแช่น้ำ 96 ชั่วโมง พร้อมด้วยน้ำหนักกดทับ (surcharge) 10 ปอนด์ (4.54 กก.) และวัดการพองตัว (swelling) ของดินขณะแช่น้ำ

รูปที่ 4.3 ก. และ ข. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการกด (penetration) และแรงเค้นเนื่องจากการกดตัวอย่างดินจากบางปู และแหลมฉบัง ตามลำดับ พบว่า

ดินเหนียวบางปู	SOAKED CBR at 0.1" penetration = 2.50 % (Modified Proctor)
	0.2" penetration = 2.72 %
	swell = 5.85 %
ดินทรายแหลมฉบัง	SOAKED CBR at 0.1" penetration = 5.09 % (Modified Proctor)
	0.2" penetration = 7.23 %
	swell = 0.96 %

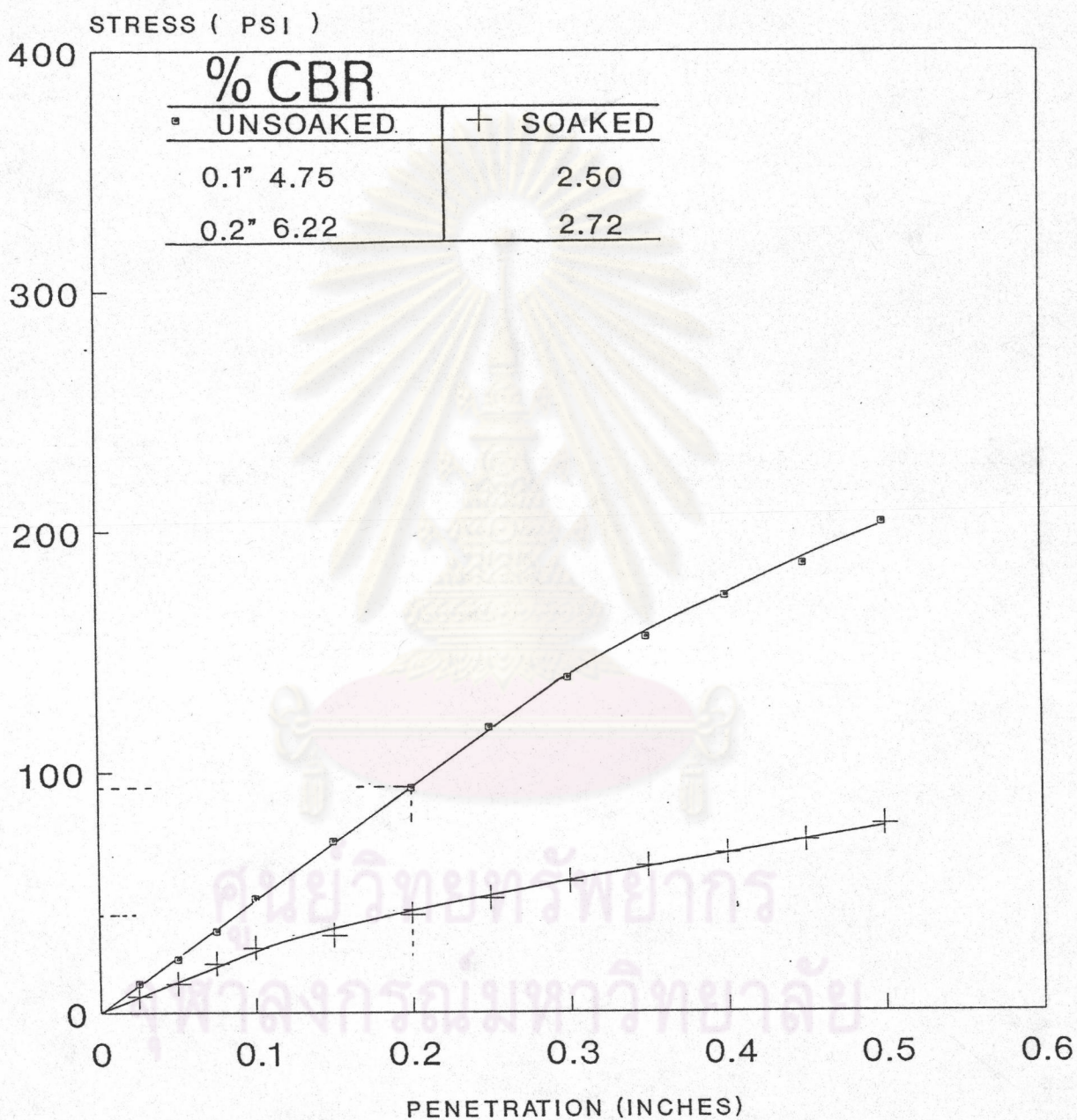
4.2 สารเคมี RRP

สารเคมี RRP (Reynold Road Packer or Royal Road Product 235) มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ บรรจุในขวดที่มีฝาปิด สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้จากบริษัท RRP (Liechtenstein)

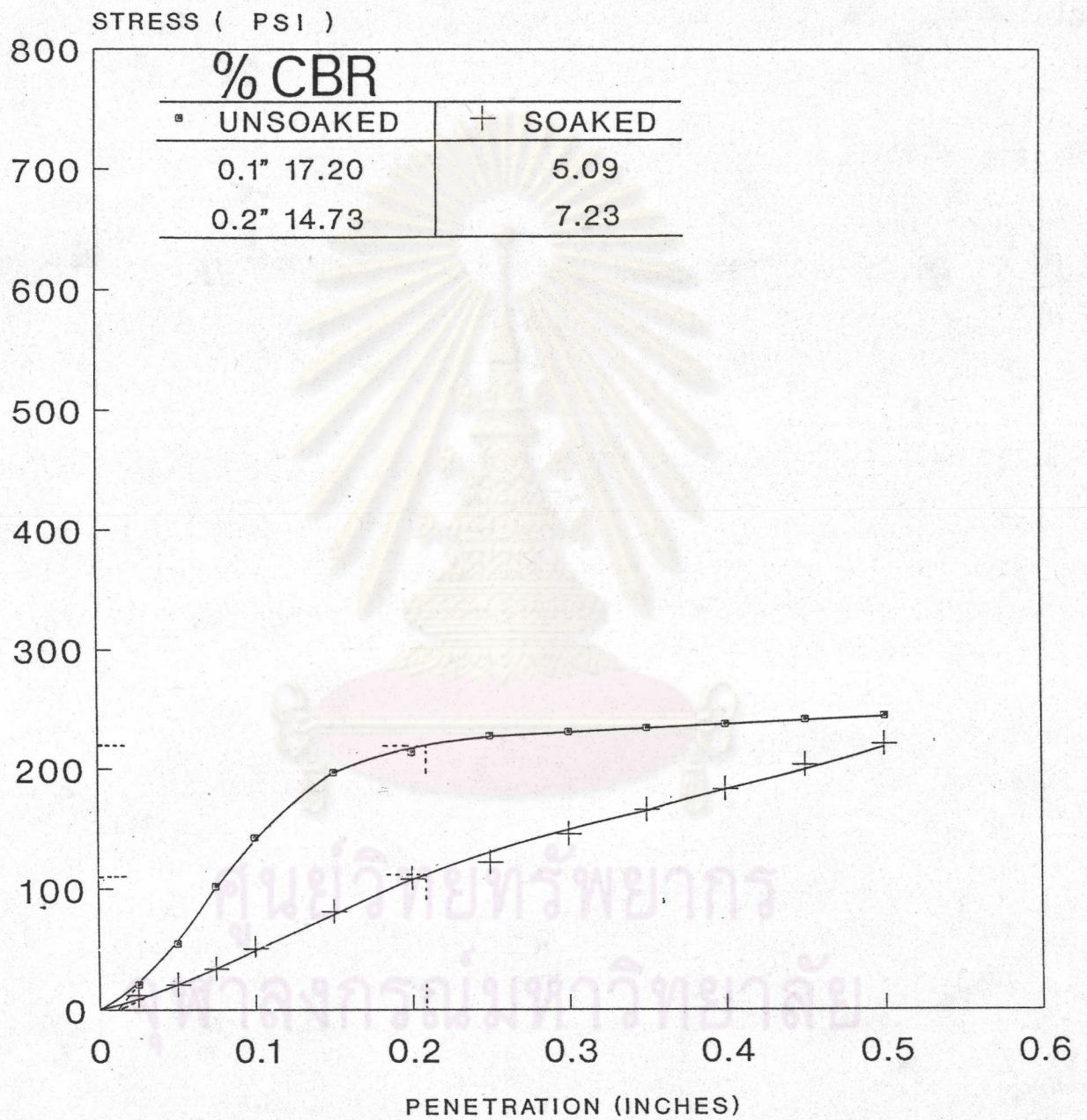
การศึกษาคุณสมบัติสารเคมี RRP เป็นการศึกษาถึงส่วนประกอบทางเคมี และการศึกษาถึงคุณสมบัติทั่วไป ได้แก่ ค่า Specific Gravity และค่า pH ส่วนการศึกษาส่วนประกอบทางเคมี จะส่งตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ และที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 การศึกษาส่วนประกอบสารเคมี RRP

จากการวิเคราะห์ โดยกองวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ทำการทดสอบ



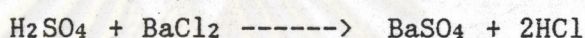
รูปที่ 4.3 ก. ผลการทดสอบ CBR สภาพแห้งของตัวอย่างดินบางปู



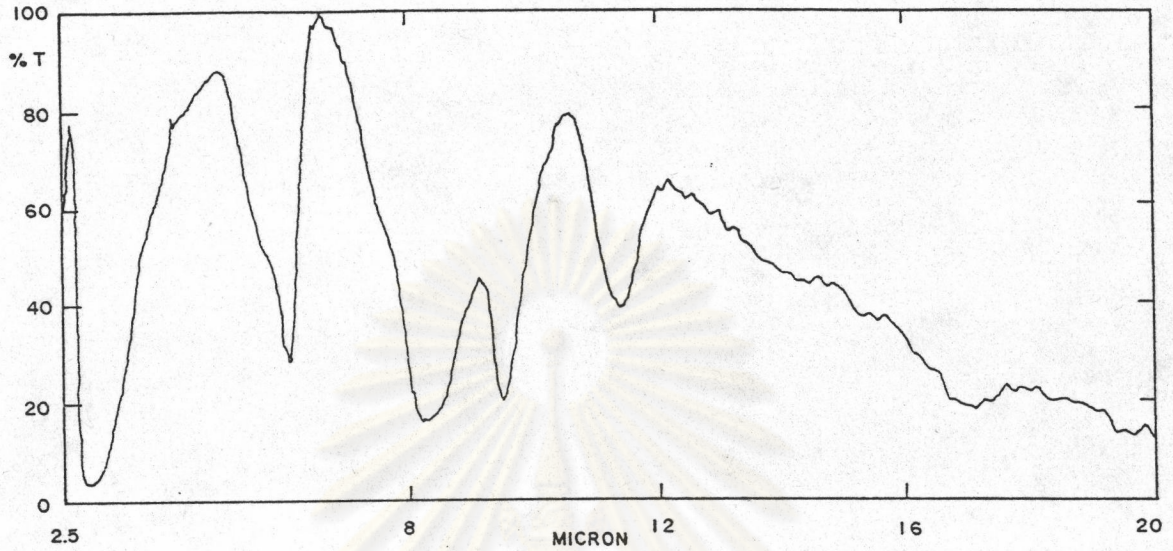
รูปที่ 4.3 ข. ผลการทดสอบ CBR สภาพหน้าของตัวอย่างดินแหลมแข็ง

ด้วยวิธีการทางเคมี ร่วมกับ เครื่องมือวิเคราะห์รังสีอินฟราเรด สเปกโตรสโคป (Infrared spectroscopy analysis) ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น SP IR Spectrometer 1720X หลักการวิเคราะห์ กล่าว ภาคนวค ข. ส่วนขั้นตอนการศึกษาส่วนประกอบของสารเคมี RRP มีดังต่อไปนี้

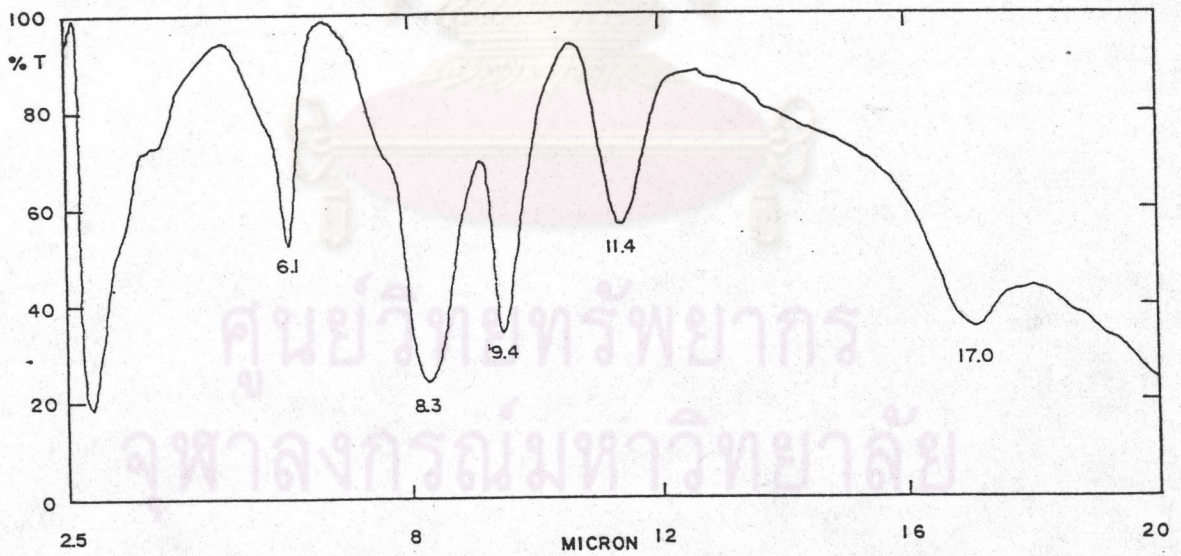
1. นำสารเคมีตัวอย่าง ละลายน้ำพบว่า มีฤทธิ์เป็นกรด
2. นำสารเคมีตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์รังสีอินฟราเรด พบว่า สเปกตรัมที่ได้ (รูป 4.4 ก. และ ข.) เหมือนกับ สเปกตรัมมาตรฐานของ สารละลาย
3. นำสารตัวอย่างติเตรตด้วย $BaCl_2$ ได้ตะกอน นำตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์ สเปกตรัม พบว่าเป็น $BaSO_4$ ดังสมการ



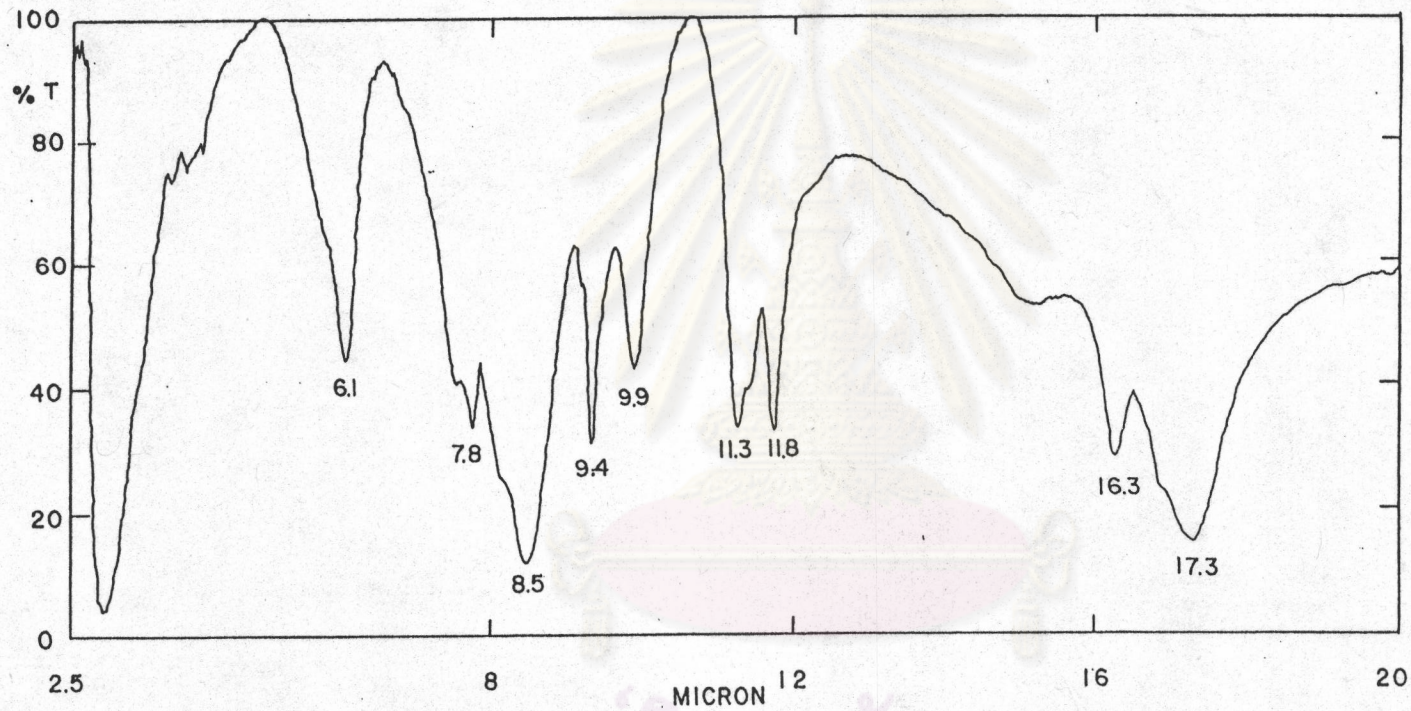
4. นำสารตัวอย่างไปกลั่นวิเคราะห์สารที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารที่กลั่นที่อุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียสไปวิเคราะห์ สเปกตรัมพบว่าเป็น H_2SO_4
5. นำสารตกค้างที่ได้จากการกลั่นในข้อ 4 ไปวิเคราะห์ สเปกตรัมพบว่า เป็น สารประกอบพวก $Na HSO_4$ ซึ่งมีสเปกตรัมเป็นดังรูปที่ 4.5 ก. และ 4.5 ข.
6. นำสารตัวอย่างไปกลั่นหาปริมาณน้ำพบว่า มีอยู่ประมาณ 76% นำส่วนที่กลั่นได้ ไปติเตรท กับ $NaOH$ พบว่ามีปริมาณกรด 0.17%
7. นำสารตัวอย่างหาปริมาณ Na โดยใช้ flame photometer พบว่ามี $Na = 0.19\%$ คิดเป็น $Na HSO_4 \cdot H_2O$ ประมาณ 1.14 %
8. นำสารตัวอย่างหาปริมาณ H_2SO_4 โดยการตกตะกอนกับ $BaCl_2$ ได้สาร $BaSO_4$ ทักกลบสาร $BaSO_4$ ที่ตกตะกอนจาก $NaHSO_4$ และพบว่ามีปริมาณสาร H_2SO_4 19.3 %
9. นำสารตัวอย่างมาหาปริมาณ Total acidity โดยใช้ Potentiometric



รูปที่ 4.4ก. อินฟราเรดสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐาน 6N H₂SO₄



รูปที่ 4.4ข. อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสารเคมี RRP



รูปที่ 4.5ก. อินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่ได้จากการกลั่นสารเคมี RRP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SADTLER Research Laboratories, Inc.
© 1965



Y 136 S

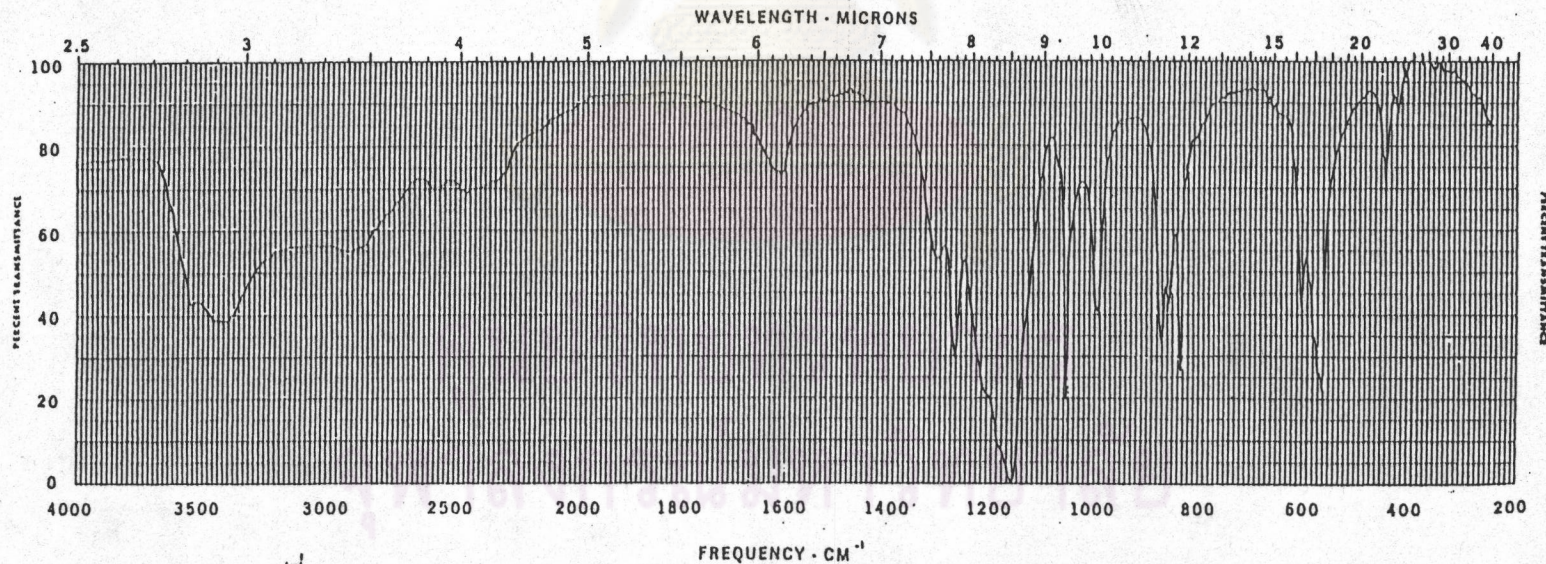
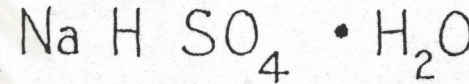
SODIUM SULFATE, HYDRATE

Mol. Form. $\text{HNaO}_4\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Mol. Wt. 138.08 M. P. $> 315^\circ\text{C}$ Sp. gr. 2.742

Source: B. P. (dec.) ($-\text{H}_2\text{O}$) (lit.)
Mallinckrodt Chemical Works,
St. Louis, Mo.

Method: KBr Wafer



รูปที่ 4.5๗. อินฟราเรดสเปกตรัมมาตรฐานของสาร Sodium sulfate,hydrate ($\text{NaHSO}_4\text{H}_2\text{O}$)

tiration พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณอยู่ในรูป H_2SO_4 ประมาณ 20.2 % ซึ่งเท่ากับปริมาณตะกอนทั้งหมดที่ได้ในข้อ 8

10. นำสารตัวอย่างตกตะกอนด้วย $BaCl_2$ แล้วกรองตะกอนออก ทำให้แห้งสกัดด้วย Acetone นำส่วนที่ละลายใน Acetone ไปวิเคราะห์สเปกตรัม พบว่ามี peak ที่ 6.15, 6.9, 8.5, 9.6 micron ซึ่งไม่สามารถระบุชนิดได้ เนื่องจากเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่ไม่มีสเปกตรัมมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ
11. นำสารตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้กลาง (Neutralized) แล้วเผากับ Soda Lime พบว่าเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำสารตัวอย่างที่ทำ Neutralized มาสกัด (extract) ด้วย $CHCl_3$ แล้วไม่เกิดสารประกอบใหม่ จากการทดสอบข้างต้นสรุปได้ว่า สารประกอบโพลีเมอร์เป็นสารประกอบ Amines (เป็นสารประเภท Ammonia ชนิด 1 อะตอมขึ้นไปที่ถูกแทนที่ด้วยกลุ่มโมเลกุลของสารอินทรีย์)

ผลการศึกษาลักษณะประกอบสารเคมีปรับปรุงคุณสมบัติดิน RRP ประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ ดังนี้

H_2SO_4	ประมาณร้อยละ	13
$NaH SO_4$	ประมาณร้อยละ	1
น้ำ	ประมาณร้อยละ	76
สารประกอบ Amines	ประมาณร้อยละ	4

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างสารเคมี RRP ที่นำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์เชิงคุณภาพกึ่งปริมาณ (Qualitative and Semi-quantitative analysis) ด้วยวิธีการ X-ray Fluorescence analysis โดยใช้เครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer แบบ EDXRF รุ่น SR-200 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าสารตกค้าง (residue) ที่เหลือจากการเผาที่ 600 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย S เป็นส่วนที่ใหญ่ รองลงมาได้แก่ Al, Mg, Fe, Mn, Ca, Zn ตามลำดับ ส่วนสารประกอบอื่น ๆ ระเหยออกไประหว่างการเผา

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการ X-ray Fluorescence

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบในสารตกค้างจากการเผา สารเคมี RRP ที่ 600 องศาเซลเซียส (%)
S	4.73
Al	0.19
Mg	0.02
Fe	0.04
Mn	0.01
Ca	0.002
Zn	0.002
อื่น ๆ	8.32

ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักของสารเคมี RRP ก่อนเผา

หมายเหตุ ปริมาณสารที่สูญเสียเนื่องจากการเผา เท่ากับ 85.12% โดยน้ำหนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปทางเคมี

การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปทางเคมีประกอบด้วย การทดสอบหาค่า pH และการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารเคมี RRP พบว่าสารเคมี RRP มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

pH	=	0.6
Specific Gravity	=	1.20
pH ของสารละลาย (สารเคมี RRP 1 ส่วน ต่อน้ำ 200 ส่วน)	=	1.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย