

การเพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสีโดยใช้ปูนขาว

นายชวลิต ลี้มอำนวยการ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-910-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15605

117494904

STABILIZATION OF ZINC REFINERY RESIDUE BY LIME

MR. CHAVALIT LIMAMNUAYPHOL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-910-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา


การเพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสีโดยใช้ปูนขาว

นายชวลิต ลิ้มอำนวยผล

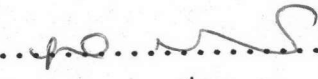
วิศวกรรมโยธา

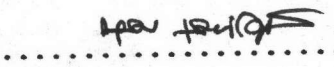
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์

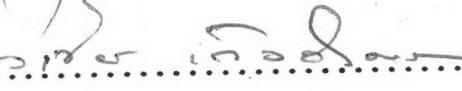
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

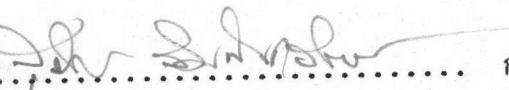

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วิเชียร เต็งอำนวย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร ลิ้มนันทารักษ์)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

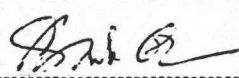
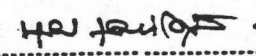
ชวลิต ล้อมอ่านวยผล: การเพิ่มเสถียรภาพกากแร่สังกะสีโดยใช้ปูนขาว (STABILIZATION OF ZINC REFINERY RESIDUE BY LIME) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.บุญสม เลิศธีรฤวงศ์, 125 หน้า

ภาควิชานี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกากแร่สังกะสี ที่ได้จากโรงงาน กลองแร่สังกะสีของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ที่จังหวัดตาก เมื่อผสมปูนขาวที่ปริมาณต่าง ๆ โดยคำนึงถึง ปฏิกิริยาที่ กิดควบคู่กับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ เปลี่ยนแปลงไป ในการพิจารณา เสถียรภาพของส่วนผสม กากแร่สังกะสี-ปูนขาว ได้แยกศึกษาปริมาณปูนขาวที่ เหมาะสม เป็น 2 แนวทางด้วยกันคือ

- ปริมาณปูนขาวที่ เหมาะสมที่ทำให้ส่วนผสมที่คุณสมบัติทางวิศวกรรมดีที่สุด (Engineering Approach) โดยใช้ค่ากำลังรับแรงอัดและความคงทนจากการทดสอบ Wetting และ Drying เป็น ดัชนีในการพิจารณาพร้อมกับการวิเคราะห์ส่วนประกอบแร่ โดยวิธี x-ray diffraction
- ปริมาณปูนขาวที่ เหมาะสมที่ทำให้ส่วนผสม เกิดการยึดประสาน เพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้โลหะ หนัก หลุดละลายออกมา โดยพิจารณาผลจากการทดสอบการชะละลาย

ผลการศึกษา พบว่าปูนขาวจะช่วยทำให้ เสถียรภาพของกากแร่สังกะสี เพิ่มขึ้น โดยส่วนผสมที่มี ปริมาณปูนขาวมากกว่า 3% โดยน้ำหนัก จะ กิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตในรูปของ C_2SH , $C_5S_3H_2$ ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้ส่วนผสมมีการพัฒนากำลัง เพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการบ่มมีผลในระยะสั้น และจากการแปรเปลี่ยนปริมาณปูนขาว พบว่าการใช้ปริมาณปูนขาว 10% จะทำให้ส่วนผสมมีคุณสมบัติทาง วิศวกรรมดีที่สุด และปริมาณปูนขาว 4% จะพอ เพียงในการที่จะทำให้ส่วนผสม เกิดการยึดประสาน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

CHAVALIT LIMAMNUAYPHOL : STABILIZATION OF ZINC REFINERY RESIDUE
BY LIME. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. BOONSOM LERDHIRUNWONG, Dr. Ing. 125 PP.

This research aims at the study of property change of zinc refinery residue from Padang Industry Co. Ltd. after mixing with lime at various contents, by considering the changes in mineralogical composition and engineering properties.

The optimum lime content uses to stabilize the zinc refinery residue is considered into two approach as follows:

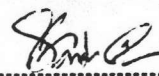
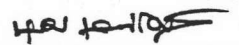
- Optimum lime content giving the mixture best engineering properties (Engineering Approach) uses unconfined compressive strength and durability of wetting and drying test as the indexes. Components of the mineral is also analyzed by X-ray diffraction.

- Optimum lime content giving enough cementing property of protect dissolution of heavy metal is undertaken by leaching test.

The study results also showed that lime can stabilize the zinc refinery residue. Calcium silicate hydrate, in the forms of C_2SH , $C_5S_3H_2$ which is the main component for increasing the unconfined compressive strength will occur when the lime content is greater than 3% by weight.

The best engineering properties are observed at the lime content of 10% and it is shown that the lime content of 4% is enough for cementing. Curing temperature effect is observed only in the short time.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา ๒๕๒๑

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากทุนการวิจัยของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งอุดหนุนทุนโดย บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด จึงขอขอบพระคุณ บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ มา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์ธารักษ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้ความรู้ในระหว่างที่ศึกษาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบต่าง ๆ ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์จาก ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะอาจารย์ ดร.วีระชัย บัญชรเทวกุล ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณอุษา สุขสิงห์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโยธาและห้องวิจัย ปรุณีกลศาสตร์ทุก ๆ ท่าน

ท้ายสุดนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายอันเนื่องได้จาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ บิดา มารดาและครู อาจารย์ ที่ได้ให้การอบรมศึกษาแก่ผู้วิจัย

นายชวลิต ลิ้มอำนวยผล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ท
บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทฤษฎีและทบทวนผลงานในอดีต.....	4
2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อกำลังของส่วนผสม.....	8
2.1.1 ชนิดของปูนขาว.....	8
2.1.2 ชนิดของดิน.....	8
2.1.3 แร่ดินเหนียว.....	9
2.1.4 การบ่ม.....	9
2.2 ปฏิกิริยาระหว่างดินกับปูนขาว.....	10
2.2.1 Cation exchange.....	10
2.2.2 Flocculation and Agglomeration.....	12
2.2.3 Lime carbonation.....	12
2.2.4 Pozzolanic reaction.....	13
2.3 ทบทวนผลงานในอดีตเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม	18

2.3.1	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางการบดอัด.....	18
2.3.2	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านกำลังของส่วนผสม.....	19
2.3.3	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความคงทน.....	25
3.	ขั้นตอนและวิธีการวิจัย.....	26
3.1	การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	26
3.1.1	กากแร่สังกะสี.....	26
3.1.2	ปูนขาว.....	29
3.2	การศึกษาสมบัติของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	32
3.2.1	การทดสอบการบดอัด.....	32
3.2.2	การทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	34
3.2.3	X-ray diffraction Test.....	36
3.2.4	การทดสอบความคงทน.....	36
3.2.5	การทดสอบการชะละลาย.....	38
3.2.6	CBR Test.....	38
3.3	การศึกษาผลของอุณหภูมิ.....	39
4.	ผลการศึกษาคูสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	43
4.1	กากแร่สังกะสี.....	43
4.1.1	คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม.....	43
4.1.2	คุณสมบัติทางด้านแร่.....	48
4.1.3	คุณสมบัติทางด้านเคมี.....	52
4.2	ปูนขาว.....	54
5.	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	61
5.1	คุณสมบัติทางการบดอัด.....	61
5.2	คุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงอัดของส่วนผสม.....	62
5.2.1	ผลของปริมาณปูนขาว.....	68
5.2.2	ผลของระยะเวลาบ่ม.....	71
5.3	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน.....	71

บทที่	หน้า
5.3.1 ผลของปริมาณปูนขาว.....	73
5.3.2 ผลของระยะเวลาปรม.....	77
5.4 คุณสมบัติทางด้านความคงทน.....	80
5.5 ผลการทดสอบการชะละลาย.....	86
5.6 ผลของอุณหภูมิ.....	93
5.7 ผลการทดสอบหาค่า CBR.....	97
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	102
เอกสารอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบแร่โดยเฉลี่ยของสินแร่สังกะสีแหล่งแม่สอด.....	5
4.1 ความหนาแน่นแห้งของกากแร่สังกะสีภายหลังการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 698.....	47
4.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของกากแร่สังกะสี.....	53
4.3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารผสมเพิ่มเสถียรภาพ.....	56
4.4 ผลการทดสอบการบดอัดส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาว.....	57
4.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาว.....	57
5.1 ผลการทดสอบการบดอัดส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	66
5.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	69
5.3 น้ำหนักสูญเสียของก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว ระหว่างการทดสอบ ความคงทน.....	82
5.4 ผลการทดสอบความคงทนของก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	82
5.5 เกณฑ์ปริมาณโลหะหนักตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม.....	89
5.6 ผลการทดสอบการชะละลายก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	89
5.7 ผลการทดสอบการชะละลายก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาวที่แปรเปลี่ยน อุณหภูมิในการชะละลาย.....	92
5.8 ผลการทดสอบการชะละลายก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาวที่แปรเปลี่ยน ความเป็นกรดในการชะละลาย.....	92
5.9 ผลการทดสอบการชะละลายก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาวที่ตัวอย่างไม่หุบ แต่กับหุบแตก.....	92
5.10 ผลของอุณหภูมิมีมต้อค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	94
ก.1 การวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวโดยวิธี X-ray diffraction.....	114
ก.2 การแปลงมุม θ ไปเป็นระยะห่างของ interlayer ตามกฎของBragg เมื่อสารที่ใช้ทำเป่าเป็นทองแดง (CuK α).....	116
ก.3 ข้อมูล X-ray diffraction ของแร่ที่พบโดยทั่วไปในดิน.....	117

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตแร่สังกะสี.....	7
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างซิลิกาที่ละลายตัวออกมากับpH (Krauskopf, 1959).....	14
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Lime-Reactivity กับ pH ของดินตามธรรมชาติ (Thompson, 1966).....	17
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง acid soluble alumina และ silica ที่เวลาในการบ่มต่าง ๆ กับอุณหภูมิ (Ruff และ Ho, 1966).....	23
3.1 ผังการทำงานของระบบ SEM และ EDX.....	28
3.2 แสดงการวิเคราะห์ส่วนประกอบแร่ด้วยวิธี Scanning electron microscope (SEM) กับวิธี Energy dispersive X-ray spectrometer (EDX)	30
3.3 แผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.4 แผนภูมิการศึกษาสมบัติของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	33
3.5 แผนภูมิการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการนำกำลังของส่วนผสม.....	41
4.1 การกระจายขนาดคละของกากแร่สังกะสี.....	45
4.2 Compaction curve ของกากแร่สังกะสี (ASTM D 698).....	47
4.3 X-ray diffraction diagram ของกากแร่สังกะสี.....	49
4.4 แสดงการวิเคราะห์ของกากแร่สังกะสีโดยวิธี Scanning electron microscope (* 100).....	50
4.5 แสดง Quartz ที่มีรูปร่างเป็น Irregular ขนาดใหญ่ที่มี particle เล็ก ๆ เกาะอยู่(*1500).....	50
4.6 แสดง CaSO ₄ ที่มีรูปร่างเป็น Fibrous ซึ่งมี Particle เล็ก ๆ เกาะอยู่(*1500).....	50
4.7 ผลการทดสอบ Energy X-ray Dispersive Spectrum ของกากแร่สังกะสี.....	51
4.8 ผลของปูนขาวต่อความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของส่วนผสม ภายหลังการบดอัด.....	58
4.9 ผลของปูนขาวต่อค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสม.....	60
5.1 Compaction curve ของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	63
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น กับปริมาณปูนขาวในส่วนผสม.....	67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณปูนขาว.....	70
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มของส่วนผสม ของกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	72
5.5 แสดงเครื่อง X-ray ยี่ห้อ JEOL รุ่น JDX 8030.....	74
5.6 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว เมื่อบ่ม 7 วัน.....	75
5.7 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว เมื่อบ่ม 30 วัน.....	76
5.8 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาว 3%.....	78
5.9 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปูนขาว 10%.....	79
5.10 แสดงการวิบัติและเสียรูปของก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว ที่ปริมาณปูนขาว 2% และ 3%.....	83
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียของก้อนตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว กับจำนวนรอบที่ทดสอบ.....	84
5.12 การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักที่สูญเสีย ค่าการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนปริมาตรของก้อน ตัวอย่างส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	85
5.13 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบการชะละลาย ก้อนตัวอย่างกากแร่สังกะสี-ปูนขาว.....	88
5.14 ผลของอุณหภูมิบ่มต่อการพัฒนากำลังของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว (4%).....	95
5.15 ผลของอุณหภูมิบ่มต่อการพัฒนากำลังของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว (10%).....	96
5.16 Compaction curve ของส่วนผสมกากแร่สังกะสี-ปูนขาว (Modified Proctor).....	98
5.17 ผลการทดสอบหาค่า CBR ของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปริมาณปูนขาว 4%.....	99
5.18 ผลการทดสอบหาค่า CBR ของส่วนผสมกากแร่สังกะสีกับปริมาณปูนขาว 10%.....	100
ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของการแผ่รังสีและความยาวคลื่นของรังสี เอ็กซ์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแทนที่ของอีเลคตรอนในshellต่างๆ.....	108
ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของการแผ่รังสีและความยาวคลื่นของรังสี เอ็กซ์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดความเร็วของอีเลคตรอนในสนามไฟฟ้า.....	108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.3	ความสัมพันธ์รวมของความเข้มของการแผ่รังสี อี็กซ์กับความยาวคลื่น.....	110
ก.4	ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของการสะท้อนรังสี อี็กซ์ตามกฎของBragg.....	110
ข.1	แสดงแบบจำลองเครื่องทดสอบการชะละลายของก้อนตัวอย่างจากแร่สังกะสี.....	120

สัญลักษณ์

°ซ	=	องศาเซลเซียส
°ฟ	=	องศาฟาเรนไฮต์
ก.ก	=	กิโลกรัม
ซ.ม	=	เซนติเมตร
ม	=	เมตร
ม.ม	=	มิลลิเมตร
Å	=	อังสตรอม (Angstrom) = 1×10^{-10} ม
A	=	อลูมินา (Al_2O_3)
C	=	แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
°C	=	องศาเซลเซียส
C.E.C	=	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity)
cm	=	เซนติเมตร
d	=	ระยะห่างระหว่างอนุภาค
d	=	วัน
H	=	H_2O
Kg	=	กิโลกรัม
lb	=	ปอนด์
OMC	=	ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (optimum moisture content)
pH	=	ค่าความเป็นกรดและด่าง
q_u	=	Unconfined Compressive Strength
S	=	ซิลิกา (SiO_2)
χ_{dmax}	=	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด
λ	=	ความยาวคลื่น
θ	=	มุมตกกระทบที่กระทำกับ atomic plane
x	=	เปอร์เซ็นต์