

การทำเสถียรและการทำก้อนแข็งดินที่ปนเปื้อนในพื้นที่ด้วยวิธีเจ็ดแถวตั้ง

นายณัฐรินทร์ เลิศศรีมงคล

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6722-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T2203853X

IN-SITU STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF CONTAMINATED SOIL  
BY JET GROUTING TECHNIQUE

Mr. Nuttarin Lertsrimongkol

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6722-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การทำเสถียรและการทำก้อนแข็งดินที่ปนเปื้อนในพื้นที่ด้วยวิธี  
เจ็ทเกร้าติ้ง

โดย

นายณัฐรินทร์ เลิศศรีมงคล


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

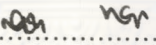
อาจารย์ที่ปรึกษา


อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ชาวเธียร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

ณัฐรินทร์ เลิศศรีมงคล : การทำเสถียรและการทำก้อนแข็งดินที่ปนเปื้อนในพื้นที่ด้วยวิธี  
เจ็ทเกร้าติ้ง. (IN-SITU STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF CONTAMINATED  
SOIL BY JET GROUTING TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชอาณาจักร,  
91 หน้า. ISBN 974-17-6722-6.

การวิจัยนี้ได้ทำศึกษาความเป็นไปได้ ในการทำการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยของเสียอันตราย  
โดยวิธีการทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง โดยดินที่ปนเปื้อนจะพบได้หลายแห่ง เช่น ตามเหมืองขี้ด  
ต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรม สถานีบริการน้ำมัน และชุมชนแออัด เป็นต้น โดยจะทำการบำบัดแบบทำใน  
พื้นที่ (In-Situ Stabilization and Solidification) โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นสารที่ใช้ในการ  
ประสาน (Binder) เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังรับแรงอัดสูง ทนทานต่อการ  
ชะละลาย และช่วยปรับปรุงกำลังรับแรงอัดของดินในทางวิศวกรรม โดยจะทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำ  
ต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการทำเสถียรและ  
การทำก้อนแข็งกับดินที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว และเบนซีนในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว และเปรียบเทียบ  
ราคาของการบำบัดแบบทำในพื้นที่ กับ การบำบัดแบบทำนอกพื้นที่ (Ex-Situ Remediation)

จากการทดลองพบว่า กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วันของตัวอย่าง มีเพียงตัวอย่าง 1.0L  
(4.39 กก./ซม.<sup>2</sup>) เท่านั้นที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานที่ 3.5 กก./ซม.<sup>2</sup> กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28  
วันของตัวอย่าง มีเพียงตัวอย่าง 2.0B (2.56 กก./ซม.<sup>2</sup>) เท่านั้นที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน  
ความหนาแน่นของตัวอย่างทุกตัวอย่างที่อายุ 7 วัน และที่ 28 วันนั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่ 1.15  
ตัน/ม.<sup>3</sup> ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่างทุกตัวอย่างที่ 7 วัน และที่ 28 วันนั้นมีความ  
เข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะต่ำกว่ามาตรฐานทั้งที่ตะกั่ว ไม่เกิน 5 มก./ล. และเบนซีนไม่เกิน 0.5  
มก./ล. ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 และค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำใน  
พื้นที่ นั้นต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต..... *nat*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *du-*



## 4570315821 : MAJOR Environmental Engineering

KEY WORD: Stabilization and Solidification / Contaminated Soil / In-Situ Remediation / Soil Cement / Jet Grouting

NUTTARIN LERTSRIMONGKOL: IN-SITU STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF CONTAMINATED SOIL BY JET GROUTING TECHNIQUE. THESIS ADVISOR: MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., 91 pp. ISBN 974-17-6722-6.

This research was aimed to investigate the possibility of In-situ Stabilization and Solidification treatment using jet grouting technique to remedy soils contaminated with lead and benzene in used lubricating oil at several sites for example, mines, factories, gas stations and garages. Field tests were carried out using Portland cement as a binding agent. Several water-to-cement ratios were evaluated to ensure compatibility with jet grouting equipment. Performance was evaluated via curing time studies versus strength and leachability.

The results showed that unconfined compressive strengths (UCS) at 7 days of curing of soil cement sample containing lead with water-to-cement ratio of 1.0 was higher (4.39 kg/cm<sup>2</sup>) than what is required by the sixth notification of Ministry of Industry B.E. 2540 (1997) at 3.50 kg/cm<sup>2</sup>. However, the soil cement sample containing benzene with water-to-cement ratio of 2.0 failed to meet the standards (2.56 kg/cm<sup>2</sup>). The densities of all samples were more than the standards at 1.15 ton/m.<sup>3</sup> The results of leachable concentrations of all samples were less than the standards of 5 mg/l for lead and 0.5 mg/l for benzene. Cost of in-situ remediation was found to be more economical than that of ex-situ remediation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Environmental Engineering Student's Signature.....  
Field of study Environmental Engineering Advisor's Signature.....  
Academic year 2004

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคุณแม่ หนู่ย และ นอต ที่ให้ความรัก ส่งเสริม สนับสนุนทุกอย่าง และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร. มนัสกร ราชอาณาจักร ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำอธิบาย และช่วยแก้ไขปัญหให้กับผู้เขียนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ กรรมการสอบทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ พี่กรองธรรม ผลพิจิตร ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในหลายๆโอกาส ขอขอบคุณ คุณณฤชญา ดังโกสินทร์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท เรียวเอสเตท คอนซัลแทนท์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อชุด อุปกรณ์การทำเจ็ดเกวี่ดั่ง ขอขอบคุณ ทีมงาน บริษัท เรียวเอสเตท คอนซัลแทนท์ จำกัด ไม่ว่าจะ เป็นคุณอำนาจศักดิ์ ที่ช่วยให้ความรู้ และคุณอนเนก ที่ช่วยในงานสนาม ขอขอบคุณ คุณนิสิต สุจิรัตน์นิมล และ บริษัท ไทยโพลีเมอร์ ชัพพลาย จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง ในสนาม และขอขอบคุณ บริษัท เท็น คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อ กระจกเก็บตัวอย่าง และ ช่วยทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

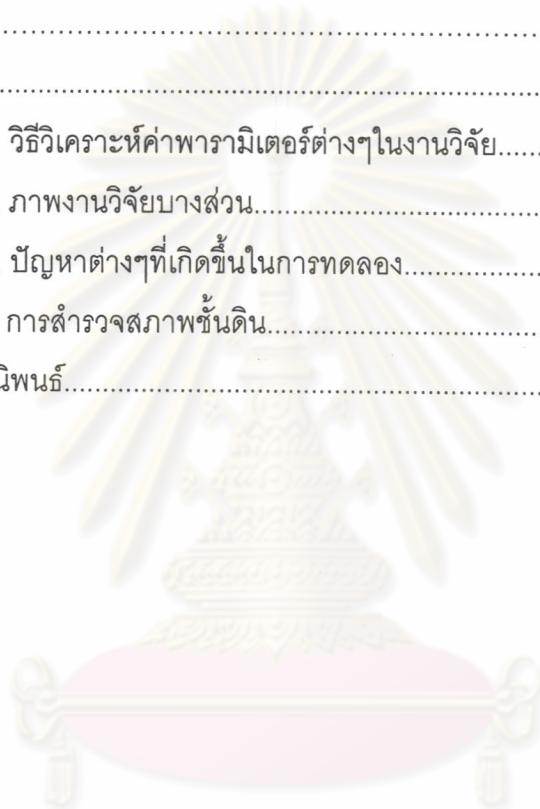
และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านของผู้เขียน ที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้มากมาย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเอาใจช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ.....	1
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาวิจัย	
2.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	3
2.2 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
2.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
3.1 การทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง.....	5
3.2 ความรู้เบื้องต้นด้านการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีเจ็ตเกร้าติ้ง.....	11
3.3 การจำแนกดิน.....	20
3.4 สารปนเปื้อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 4 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย.....	39
4.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	39
4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	43
4.3 มาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.4 วิธีการทดลอง.....	45
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
5.1 การเตรียมวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	48
5.2 ผลการทดลอง.....	50

	หน้า
5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในงานวิจัย.....	64
ภาคผนวก ข. ภาพงานวิจัยบางส่วน.....	72
ภาคผนวก ค. ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทดลอง.....	77
ภาคผนวก ง. การสำรวจสภาพชั้นดิน.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ณ

ตารางที่	หน้า
3.1	รายละเอียดของกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน..... 6
3.2	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 7
3.3	การจำแนกระบบเจ็ดเกรดี้ดิ่ง โดยอาศัยส่วนผสมที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของ มวลดินและส่วนผสมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน รวมทั้งจำนวนท่อเป็นเกณฑ์..... 15
3.4	ตัวแปรมาตรฐานในการทำเจ็ดเกรดี้ดิ่ง..... 18
3.5	การจำแนกดินในมาตรฐาน Unified Soil Classification..... 20
3.6	สารต่างๆที่เป็นส่วนประกอบในเบตเตอร์..... 26
3.7	ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เป็นสารอันตรายในน้ำมันเครื่องเก่าในปี ค.ศ. 1983..... 30
3.8	ค่ามาตรฐานของปริมาณตะกั่วในดินสำหรับดินในเขตที่พักอาศัย..... 33
3.9	รูปของตะกั่วที่พบในดิน..... 34
3.10	คุณสมบัติของดินในประเทศไทยได้วัน..... 34
3.11	การสรุปผลการทดลอง..... 37
4.1	ค่าพารามิเตอร์คงที่..... 43
4.2	มาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการทดลอง..... 44
5.1	การเตรียมวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 49
5.2	ผลการทดลองกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น..... 50
5.3	ผลการทดลองความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่าง..... 50

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่	หน้า
3.1	กระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์..... 13
3.2	เครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับงานเจ็ทเกร้าติ้ง..... 15
3.3	ลำดับขั้นตอนการทำเจ็ทเกร้าติ้ง..... 17
3.4	ผังแนวการทำเจ็ทเกร้าติ้ง..... 31
3.5	การทำเจ็ทเกร้าติ้งในพื้นที่..... 32
3.6	การดูดซับของตะกั่วในดิน 9 ชนิด โดยมีความเข้มข้นของตะกั่วตั้งต้น 1 x 10 <sup>-4</sup> M. อัตราส่วนดินต่อน้ำ = 1 g./ 100 ml. และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.. 35
3.7	รูปหัวเจาะ 2 แบบ โดยแบบที่ 1 อยู่ด้านบน และแบบที่ 2 อยู่ด้านล่าง..... 36
3.8	การผสมทรายในห้องปฏิบัติการ..... 36
4.1	ชุดอุปกรณ์การทำเจ็ทเกร้าติ้ง (ก) ส่วนที่ทำการเจาะ และเจ็ทเกร้าติ้ง (ข) เครื่องผสม และ (ค) ส่วนของปั๊มและเครื่องควบคุม..... 40
4.2	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดก้อนตัวอย่าง..... 41
4.3	เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6..... 41
4.4	อุปกรณ์ Toxicity Characteristic Leaching Procedure Extractor แบบ Zero Headspace Extractor..... 42
4.5	เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP)..... 42
4.6	เครื่องวิเคราะห์ Gas Chromatograph/Mass Spectrometry (GC/MS)..... 43
4.7	แผนการทดลอง..... 45
5.1	การหาขนาดของเม็ดทราย..... 48
5.2	กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง..... 51
5.3	ความหนาแน่นของตัวอย่าง..... 51
5.4	ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะตัวอย่าง..... 52
5.5	ความเข้มข้นของเบนซีนในน้ำชะตัวอย่าง..... 52