

เครื่องวัดความชื้นและความหนาแน่นของดิน โดยใช้เทคนิคการส่งผ่าน  
รังสีนิวตรอนและแกมมาสำหรับงานสร้างถนน



นายมานิช โชติศศิธร

ศูนย์วิทยพัทธยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

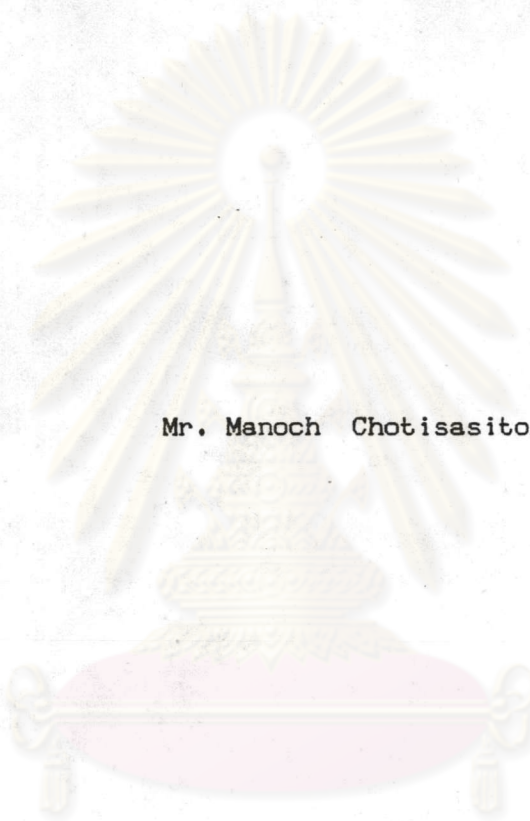
ISBN 974-576-224-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016002

I 17499629

SOIL MOISTURE AND DENSITY METER FOR ROAD CONSTRUCTION  
USING NEUTRON AND GAMMA TRANSMISSION TECHNIQUE



Mr. Manoch Chotisasitorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-224-5





หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินโดยใช้เทคนิคการส่ง  
ผ่านรังสีนิวตรอนและแกมมาสำหรับงานสร้างถนน  
โดย นาย มาโนช โชติศศิธร  
ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต คิริอุปถัมภ์)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....  
(อาจารย์ ดร. วีระชัย ปัญชรเทวกุล)





## พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

มานิช โชติศิธร : เครื่องวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนและแกมมาสำหรับงานสร้างถนน (SOIL MOISTURE AND DENSITY METER FOR ROAD CONSTRUCTION USING NEUTRON AND GAMMA TRANSMISSION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.นเรศร์ จันทน์ขาว และ ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 62 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนและแกมมาสำหรับการวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินที่บดอัด ในช่วงความหนา 15 ซม. อุปกรณ์วัดความชื้นประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง  $1.11 \times 10^9$  เบคเคอเรล และหัววัดรังสีโบรอนไตรฟลูออไรด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 26.5 ซม. โดยใช้พาราฟินหุ้มต้นกำเนิดรังสีเพื่อลดระยะเวลาการแพร่ของนิวตรอน สำหรับการวัดความหนาแน่นใช้ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความแรง  $0.185 \times 10^9$  เบคเคอเรล และหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ขนาด  $2'' \times 2''$

ได้ทำการวิจัยโดยใช้ตัวอย่างดิน 2 ชนิด และทรายที่ใช้ในงานสร้างถนนในช่วงความชื้น 5-15% และความหนาแน่น 1.2-2.4 กรัม/ซม<sup>3</sup> ผลการวิจัยพบว่า จำนวนนับรังสีนิวตรอนเข้าแปรผันตรงตามความชื้นและความหนาแน่นของดินในขณะที่จำนวนนับรังสีแกมมาแปรผกผันกับความชื้นและความหนาแน่นของดิน ยังพบว่า ความแปรปรวนของความหนาแน่นในช่วงนี้จะทำให้การวัดความชื้นผิดพลาดไปได้ไม่เกิน 1.5% และความแปรปรวนของความชื้นจะทำให้การวัดความหนาแน่นผิดพลาดไปไม่เกิน 0.3 กรัม/ซม<sup>3</sup> นอกจากนี้ได้พัฒนาการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80A สำหรับเก็บข้อมูลกราฟเปรียบเทียบและแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขได้ทันที โดยรับข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณที่พัฒนาขึ้นมา

ศูนย์วิทยพัชยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *นเรศร์ จันทน์ขาว*





พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

MANOCH CHOTISASITORN : SOIL MOISTURE AND DENSITY METER FOR ROAD CONSTRUCTION USING NEUTRON AND GAMMA TRANSMISSION TECHNIQUE. THESIS ADVISORS : ASST. PROF. NARES CHANKOW, ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, 62 PP.

The use of neutron and gamma-ray transmission technique for soil moisture and density measurements was investigated. The aim of the investigation was to measure the average moisture content and the density of the 15 cm-thick upper layer of compacted soil. For moisture measurement, a 1.11 GBq  $^{241}\text{Am/Be}$  neutron source and a 2.5 cm diameter, 26.5 cm long  $\text{BF}_3$  detector were used. The neutron source was surrounded with paraffin wax so as to reduce the neutron diffusion length. For density measurement, a 0.185 GBq  $^{137}\text{Cs}$  source and a 2"x2" NaI(Tl) detector were used.

The measurements were carried out with two different types of soil and sand commonly used in road construction and were limited to the 5 - 15 % moisture range and 1.2 - 2.4  $\text{g/cm}^3$  dry density range. It was found that the slow neutron count rate was directly proportional to soil moisture and to soil density whereas the gamma count rate was inversely proportional to soil density and soil moisture. It was also found that variation in dry soil density could cause an error in the moisture measurement up to 1.5% whereas variation in soil moisture could cause an error in the dry soil density measurement up to 0.3  $\text{g/cm}^3$ . An interface was developed for transferring the counting data to a Z80A microprocessor which was used to store the calibration curve and to display the results instantaneously.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2532

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *Harun S. Shams*





กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาและทำวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ บุณยชัยยะ และ  
ท่านอาจารย์ทุกท่านซึ่งได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ แนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุก ๆ คนที่ช่วยสนับสนุน และให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำ  
วิทยานิพนธ์นี้

ท้ายนี้ผู้เขียนเองขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่กรุณาให้การสนับสนุนจน  
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ

## บทที่

## 1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2

## 2. รังสีนิวตรอนและรังสีแกมมา

2.1 รังสีนิวตรอน.....	3
2.2 รังสีแกมมา.....	8
2.3 การจัดอุปกรณ์วัดความชื้นและความหนาแน่น.....	9

## 3. วัสดุอุปกรณ์และการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	11
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	14

## 4. ผลการวิจัย

4.1 การหาระยะที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีนิวตรอนเข้ากับ ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน.....	28
4.2 การตรวจสอบขนาดของภาชนะใส่ดิน.....	31
4.3 ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน และระยะความลึกที่จะหย่อนต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนจากผิวดิน.....	33
4.4 ผลการเปรียบเทียบความชื้นและความหนาแน่นของทราย และตัวอย่างดิน 2 ชนิด.....	39



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก	
ก. แผนผังวงจรอินเตอร์เฟส.....	53
ข. แผนผังโปรแกรม.....	54
ค. การคำนวณหาความถี่และความหนาแน่นโดยวิธีอินเตอร์โพล.....	55
ง. การออกแบบโปรแกรมวัดความถี่และความหนาแน่น.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	62

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่า $\xi$ และจำนวนครั้งที่นิวตรอนชนนิวเคลียสแล้วลดพลังงาน ลงจาก 1 MeV เป็น 0.0253 eV..... 6
2.2	แสดงคุณสมบัติของธาตุเบา ๆ ที่มักใช้เป็นตัวลดความเร็วของนิวตรอน... 7
4.1	การหาระยะที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีนิวตรอนเข้ากับ ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน..... 28
4.2	แสดงจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำเมื่อวางหัววัดรังสีและต้นกำเนิด รังสีนิวตรอนที่จุดศูนย์กลางภาชนะและที่ระยะห่างออกไปเมื่อดิน มีความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์..... 31
4.3	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ไม่ ใช้พาราฟินหุ้มและระยะความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ ความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์..... 34
4.4	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ไม่ ใช้พาราฟินหุ้มและระยะความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์..... 34
4.5	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่หุ้ม ด้วยพาราฟินความหนาทางด้านล่าง 2 ซม. และระยะ ความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์..... 35
4.6	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่หุ้ม ด้วยพาราฟินความหนาทางด้านล่าง 2 ซม. และระยะ ความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์..... 35
4.7	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่หุ้ม ด้วยพาราฟินความหนาทางด้านล่าง 4 ซม. และระยะ ความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์..... 36
4.8	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่หุ้ม ด้วยพาราฟินความหนาทางด้านล่าง 4 ซม. และระยะ ความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์..... 36



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีตรอนซ้ำและรังสีแกมมา กับความชื้นและความหนาแน่นของดินลูกรัง.....	39
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีตรอนซ้ำและรังสีแกมมา กับความชื้นและความหนาแน่นของดินดำ.....	42
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีตรอนซ้ำและรังสีแกมมา กับความชื้นที่ความหนาแน่นของทราย 1.3 กรัม/ซม <sup>3</sup> .....	45

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและเลขอาร์จี.....	5
2.2	แผนภาพแสดงอุปกรณ์วัดความชื้นและความหนาแน่น.....	9
2.3	แผนภาพแสดงความหนาวิกฤตและพื้นที่วิกฤต ของอุปกรณ์วัดความชื้นระดับลึกและพื้นผิว.....	10
3.1	แผนผังอุปกรณ์วัดรังสีแกมมาและรังสีนิวตรอนช้า.....	12
3.2	แผนผังฮาร์ดแวร์ของ ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว .....	13
3.3	แผนภาพแสดงการเลื่อนหัววัดรังสีนิวตรอนในการหาระยะที่ เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีนิวตรอนช้ากับต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน.....	15
3.4	แผนภาพแสดงการเลื่อนหัววัดรังสีนิวตรอนกับต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนเพื่อตรวจสอบขนาดของภาชนะใส่ดิน.....	18
3.5 ก	แผนภาพแสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนในการศึกษา อิทธิพลของระยะความลึกของต้นกำเนิดรังสีและความหนาแน่น ของดินด้านล่างเมื่อดินมีความหนา 50 เซนติเมตร (หมายเลข 1 ถึง 11 เป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี).....	19
3.5 ข	แผนภาพแสดงลักษณะของพาราฟินหนักต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน.....	19
3.6	แผนผังแสดงการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ในการศึกษาการ วัดความชื้นและความหนาแน่นของตัวอย่างและทราย.....	20
3.7	แสดงการจัดหัววัดรังสีนิวตรอนและหัววัด $NaI(Tl)$ ในถัง.....	22
3.8	การต่อเครื่องวัดรังสีกับอินเทอร์เฟซสำหรับเชื่อมโยงสัญญาณ ระหว่างเครื่องวัดรังสีและอีที-บอร์ด.....	24
3.9	กราฟตัวอย่างการปรับเทียบความหนาแน่น.....	26
3.10	กราฟตัวอย่างการปรับเทียบความชื้น.....	27
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนรังสีต่อเวลา กับระยะระหว่างผิวหัววัดนิวตรอนช้ากับผิวของท่ออะลูมิเนียม ที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนเมื่อดินมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ และต้นกำเนิดรังสีอยู่ลึกจากผิวดิน 15 ซม.....	30



สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำกับระยะ ที่เลื่อนหัววัดนิวตรอนซ้ำและต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนจากจุดศูนย์ กลางภาชนะบรรจุดิน เมื่อดินมีความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์.....	32
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำ กับระยะความลึกของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่ไม่หุ้ม พาราฟินและที่หุ้มด้วยพาราฟินมีความหนา 2 และ 4 ซม. ที่ความชื้น 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์.....	37
4.4	ผลกระทบของดินทางด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ที่ไม่หุ้มพาราฟินและที่หุ้มด้วยพาราฟินมีความหนา 2 และ 4 ซม. ที่ความชื้น 4 และ 15 เปอร์เซ็นต์.....	38
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำ กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินลูกรังที่มีความ หนาแน่นของดินแห้ง 1.2-2.4 กรัม/ซม <sup>3</sup> .....	40
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีแกมมาที่ ส่งผ่าน ( $I/I_0$ ) กับความหนาแน่นของดินลูกรังแห้ง โดยเปลี่ยนแปลงความชื้น 5-15%.....	41
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำ กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินดำที่มีความหนาแน่น ของดินแห้ง 1.2-2.4 กรัม/ซม <sup>3</sup> .....	43
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีแกมมาที่ ส่งผ่าน ( $I/I_0$ ) กับความหนาแน่นของดินดำแห้ง โดยเปลี่ยนแปลงความชื้น 5-15%.....	44
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนซ้ำกับเปอร์เซ็นต์ ความชื้นของทรายที่มีความหนาแน่นของทรายแห้ง 1.3 กรัม/ซม <sup>3</sup> .....	46
ก1	แผนผังวงจรอินเตอร์เฟสสำหรับเชื่อมโยงสัญญาณ.....	53
ง1	โพรบสำหรับวัดความหนาแน่นโดยใช้รังสีแกมมา.....	60
ง2	โพรบสำหรับวัดความชื้นโดยใช้รังสีนิวตรอน.....	61