

การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



นายมงคล วรรณประภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-583-526-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019709

11788865x

DEVELOPMENT OF A GAMMA RAY SCANNING SYSTEM
FOR COMPUTED TOMOGRAPHY OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS



MR. MONGKOL WANNAPRAPA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-583-526-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบสมณด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทรโมกราฟี
 ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดย นายมงคล วรรณประภา


ภาควิชา นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสติดิษฐ์

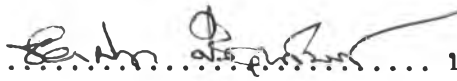
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์

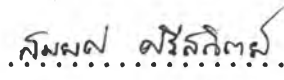


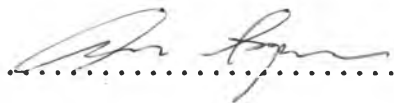
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

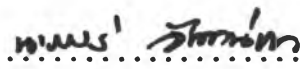

 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัญ)

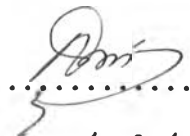
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


 ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบถัมภ์)


 อาจารย์ที่ปรึกษา
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสติดิษฐ์)


 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
 (อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


 กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันท์ขาว)


 กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ บุญชัยยะ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

มงคล วรรณประภา : การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (DEVELOPMENT OF A GAMMA RAY SCANNING SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. สมยศ ศรีสถิตย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.อรรถพร ภัทรสุมันต์, 86 หน้า. ISBN 974-583-526-9

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวินิจฉัยโรคทางด้านการแพทย์ ส่วนการประยุกต์ใช้การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในงานวิศวกรรมนั้น ก็เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายขึ้น สำหรับการตรวจสอบหารอยบกพร่องภายในชิ้นงานโลหะในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์วิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีซีเชียม-137 พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ความแรง 1110 เมกกะเบคเคอเรล และใช้หัววัดรังสีแบบซิลทิเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2"×2" ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเหล็กเส้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณสร้างภาพนั้นใช้เทคนิคการสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน แบคโพรเจกชัน (convolution back projection) สำหรับขีดความสามารถในการสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาด 20 ซม. × 20 ซม. ซึ่งจำนวนข้อมูลโพรเจกชันที่เพียงพอต่อการคำนวณสร้างภาพนั้นเท่ากับ 18 โพรไฟล์ มุมที่หมุนเปลี่ยนไปที่ละ 10 องศา ระยะห่างระหว่างเรย์ซิมของการเคลื่อนที่นั้นเท่ากับ 3 มม. ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 4 ชั่วโมง ข้อมูลโพรไฟล์ที่เก็บได้จะอยู่ในหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และถูกบันทึกเก็บไว้ในแผ่นดิสก์อย่างอัตโนมัติเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป จากภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าสามารถมองเห็นเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 มม. ขึ้นไปได้อย่างชัดเจน



ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. สมยศ ศรีสถิตย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

C317708 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: COMPUTED TOMOGRAPHY / PROFILE / REINFORCED CONCRETE COLUMNS

MONGKOL WONNAPRAPA : DEVELOPMENT OF A GAMMA RAY SCANNING SYSTEM FOR
COMPUTED TOMOGRAPHY OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. SOMYOT SRISATIT, THESIS CO-ADVISOR : ATTAPORN PATTARASUMUNT.
86 pp. ISBN 974-583-526-9

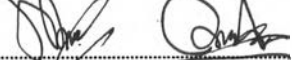
Computed Tomography (CT) is widely used in medical diagnosis. CT has also found a wide acceptance in engineering applications for detecting defects in materials. In this research reconstruction tomography is applied to a gamma-ray scanning equipment system using 662-keV Cs-137 gamma source, 1110 MBq of activity and 2"x2" NaI(Tl) gamma-ray detector. It's concentrated onto reinforced concrete columns for the measurement of position and size of steel bars. In particular the reconstruction uses the convolution back projection technique. The capability of a scanning system can be use for 20 cm x 20 cm concrete columns. The number of projections needed for an acceptable reconstruction is 18, and the interval of projection angles is 10 degree. The interval of ray-sums is 3 mm. When the collection time of each ray-sum is set to 5 sec, the collection time to required for a CT image is about 4 hours. The collected projection data are stored in the microcomputer memory then automatically transferred onto floppy disks for the reconstruction of CT image. From the CT image of the reinforced concrete columns, it was found that the steel bars of 8 mm in diameter or over can be clearly seen.



ภาควิชา..... วิศวกรรมเทคโนโลยี

สาขาวิชา..... วิศวกรรมเทคโนโลยี

ปีการศึกษา..... 2536

ลายมือชื่อนิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสวัสดิ์ และอาจารย์อรุณพร ภักธสัมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตามลำดับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของงานวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คงศักดิ์ ตติยานุกุล ผู้จัดการ บริษัท คงศักดิ์เอ็กซ์เรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด และพนักงานของบริษัททุกคน ที่ให้ความอนุเคราะห์ เกี่ยวกับคำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านเครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณ คุณวาสนา หาเพชร คุณพรรัตน์ ศรีสวัสดิ์ คุณก่าธร สุนทรปกาสิต คุณสิริลักษณ์ ชูโชติ คุณศศิพันธ์ ฌ สงขลา คุณนิสิต และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจมาตลอด

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้
ท่านนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตากรุณาเป็นกำลังใจให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎี	4
2.1 หลักการของการสร้างภาพโทโมกราฟี.....	4
2.1.1 สแกนเนอร์รุ่นที่หนึ่ง	5
2.1.2 สแกนเนอร์รุ่นที่สอง	6
2.1.3 สแกนเนอร์รุ่นที่สาม	7
2.2 ทฤษฎีการสร้างภาพโทโมกราฟี	8
2.2.1 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแกมมา	8
2.2.2 นิยามของเรย์ซิม	10
3 วัสดุอุปกรณ์ และ การพัฒนาระบบสแกนรังสีเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี	14
3.1 วัสดุ อุปกรณ์	14

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2	การพัฒนาาระบบสแกนรังสีแกมมาเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี 15
3.3	การออกแบบระบบวัดรังสีแกมมาแบบส่งผ่าน 17
3.3.1	ต้นกำเนิดรังสีและหัววัด 17
3.3.2	อุปกรณ์กำบังรังสี และลำรังสี 17
3.3.3	ระบบวัดนิวเคลียร์ 18
3.4	ระบบขับเคลื่อนหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสีแกมมา..... 19
3.4.1	การกระตุ้นเฟสชดลวด สเตเตอร์ 19
3.4.2	การทำงานของระบบสแกน 21
3.5	แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 21
3.5.1	วงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ 22
3.5.2	การเชื่อมโยงสัญญาณระบบขับเคลื่อนกับไมโครคอมพิวเตอร์ 25
3.5.2.1	วงจรรับสัญญาณจากไมโครสวิทช์ 27
3.5.2.2	วงจรขับสแต็ปมอเตอร์ 38
3.5.3	วงจรถอดรหัสแอดเดรส 39
4	ขั้นตอนและผลการทดลอง 31
4.1	การหาเวลาวัดที่เหมาะสมสำหรับเสาคอนกรีตที่มีความหนาต่างๆ 31
4.2	ทดสอบขีดความสามารถในการแยกธาตูละเอียดจากระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูล 36
4.2.1	FWHM 36
4.2.2	มอดูเลชัน ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน 36
4.3	การปรับแก้ข้อมูลโพรไฟล์ 39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4 ทดสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลโพรไฟร์เพื่อใช้คำนวณสร้าง ภาพโทโมกราฟี	41
4.5 การทดสอบการเก็บข้อมูลโพรไฟร์จากเรดมิเตอร์	43
4.6 การทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีต	45
4.7 การทดสอบขีดความสามารถในการแยกรายละเอียดของเหล็กเส้น ภายในเสาคอนกรีต.....	46
4.8 ตรวจสอบความถูกต้องจากตัวอย่างมาตรฐาน	51
4.9 การทดสอบกับเสาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	52
5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	77
ภาคผนวก ค	83
ประวัติผู้เขียน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการจัดตำแหน่งหมายเลขพอร์ตที่ใช้ สำหรับเครื่อง ไมโครคอมพิวเตอร์	22
3.2 แสดงตำแหน่งการถอดรหัส	30
4.1 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 10 ซม	33
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 15 ซม	34
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 20 ซม	34
4.4 แสดงผลของการตั้งเวลานับที่เหมาะสมกับความหนาของเสาคอนกรีตต่างๆ....	35
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MTF กับความถี่	41



สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

2.1	การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงของรังสีลำแคบในระนาบ ของวัตถุที่ต้องการดูทำให้ได้ 1 โพรไฟล์	4
2.2	รังสีแกมมาเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงที่มุมต่างกัน	5
2.3	การทำงานของระบบสแกนแบบลำรังสีลำแคบ	6
2.4	การทำงานของระบบสแกนแบบลำรังสีรูปพัด	7
2.5	การทำงานของระบบสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย	8
2.6	แสดงเรขาคณิตของลำรังสีแกมมาที่เดินทางผ่านตัวกลาง 3 แบบ ก. ตัวกลางที่มีเนื้อเดียวตลอด	9
	ข. ตัวกลางที่มีเนื้อต่างกันสองชนิด	9
	ค. ตัวกลางที่มีเนื้อต่างกันหลายชนิด	9
2.7	แสดงแผนภาพของการสร้างภาพโทโมกราฟี	11
2.8	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงของรังสีแกมมาลำแคบผ่านในระนาบ ของวัตถุที่มีมุม ϕ ใด ๆ หัววัดจะบันทึกข้อมูลไว้ 1 โพรไฟล์	12
3.1	แผนภาพของระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์	15
3.2	แสดงอุปกรณ์กำลังรังสี และบังคับลำรังสี	17
3.3	แผนภาพของระบบวัดรังสีเฉพาะพลังงาน	19
3.4	แสดงการ EXITATION SEQUENCE แบบเฟสเดียว	20
3.5	แสดงการ EXITATION SEQUENCE แบบสองเฟส	20
3.6	แสดงการ EXITATION SEQUENCE แบบสามเฟส	20
3.7	แผนภาพการเชื่อมโยงระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์นับรังสี	23
3.8	แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์นับรังสี	23
3.9	แผนภาพเวลาของสัญญาณจากอุปกรณ์นับรังสี	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 แผนภาพของการเชื่อมโยงสัญญาณจากเรดมิเตอร์	25
3.11 การกำหนดตำแหน่งของพอร์ต	26
3.12 ความหมายของบิตต่าง ๆ ในรหัสควบคุม	26
3.13 แสดงวงจรไมโครสวิตช์	38
3.14 วงจรขับสแต็ปิงมอเตอร์	28
3.15 ภาคจ่ายไฟของวงจรขับสแต็ปิงมอเตอร์	29
3.16 วงจรขับสแต็ปิงมอเตอร์	31
3.17 ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟี	31
3.18 ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี	32
3.19 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบสแกน กับไมโครคอมพิวเตอร์	32
4.1 แสดงข้อมูลโปรไฟล์ของเสาคอนกรีตเมื่อตั้งเวลานับต่อเรโซซ์ที่เวลาต่างๆ	
ก. 1 วินาที	36
ข. 3 วินาที	36
ค. 5 วินาที	36
4.2 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตขนาด 20 ซม. x 20 ซม. เมื่อตั้งเวลานับต่อเรโซซ์เป็น และใช้ต้นกำเนิดรังสีซีซีเอ็ม-137 ความแรง 30 มิลลิวูรี่	
ก. เวลา 1 วินาที	37
ข. เวลา 3 วินาที	37
ค. เวลา 5 วินาที	37
4.3 แสดงโปรไฟล์ของการทดสอบแบบ Edge- Spread function (ESF) ของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมา	38

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	
แท่งเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ กันเพื่อหาค่า MTF ของ	
ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมา	39
4.5	
แสดงข้อมูลโพรไฟล์ของการสแกนรังสีแกมมาผ่านแท่งเหล็ก	40
4.6	
แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MTF กับความถี่เฉพาะ(Special	
Frequency).....	41
4.7	
แสดงข้อมูลโพรไฟล์ที่ยังไม่ได้ ปรับแก้	42
4.8	
แสดงข้อมูลโพรไฟล์ที่ ปรับแก้	43
4.9	
แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเมื่อมุมเปลี่ยนไปที่ละ	
ก. 5 องศา จำนวน 36 โพรไฟล์	44
ข. 10 องศา จำนวน 18 โพรไฟล์	44
ค. 20 องศา จำนวน 9 โพรไฟล์	44
4.10	
แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตจากการเก็บข้อมูลโพรไฟล์	
จากระบบวัดรังสีแบบ เรตมิเตอร์	
ก. เสาคอนกรีตขนาด 20x20 ตารางเซนติเมตร	46
ข. เสาคอนกรีตขนาด 15x16 ตารางเซนติเมตร	46
4.11	
แผนภาพของเสาคอนกรีตเพื่อทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของ	
เหล็กเส้น	47
4.12	
แสดงแผนภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตตัวอย่างเพื่อทดสอบหา	
ขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้น	48
4.13	
ภาพตัวอย่าง A,B,C และ D ตามลำดับจากซ้ายไปขวา	48
4.14	
แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง A	49
4.15	
แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง B	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง C	50
4.17 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง D	51
4.18 ภาพเสาคอนกรีตตัวอย่าง E , F และ G จากซ้ายไปขวาตามลำดับ	51
4.19 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง E	52
4.20 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง F	52
4.21 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง G	53
4.22 ภาพตัวอย่างมาตรฐานเพื่อทดสอบหาตำแหน่ง และขนาดของเหล็กเส้น	53
4.23 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่างมาตรฐาน	52
4.24 แสดงภาพโทโมกราฟีเสาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	55
4.25 แสดงภาพการทำงานของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมา	55