การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

นายมงคล วรรณประภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2536

ISBN 974-583-526-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019709.
1173886X

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	การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพรูปตัดกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดย	นายมงคล วรรณประภา
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

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 โดยใช้ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ความแรง 1110 เมกกะเบคเคอเรล และใช้หัววัดรังสีแบบซิลทิเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2"×2" ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเหล็กเส้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณสร้างภาพนั้นใช้เทคนิคการสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน แบคโปรเจกชัน (convolution back projection) สำหรับขีดความสามารถในการสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาด 20 ซม. × 20 ซม. ซึ่งจำนวนข้อมูลโปรเจกชันที่เพียงพอต่อการคำนวณสร้างภาพนั้นเท่ากับ 18 โพรไฟล์ มุมที่หมุนเปลี่ยนไปทีละ 10 องศา ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมของการเคลื่อนที่นั้นเท่ากับ 3 มม. ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 4 ชั่วโมง ข้อมูลโพรไฟล์ที่เก็บได้จะอยู่ในหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และถูกบันทึกเก็บไว้ในแผ่นดิสก์อย่างอัตโนมัติเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป จากภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าสามารถมองเห็นเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 มม.ขึ้นไปได้อย่างชัดเจน

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

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 transfered 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.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมยศ ศรีสถิตย์

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ และอาจารย์อรรถนร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตามลำดับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณชัยยะ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆของงานวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คงศักดิ์ ตติยานุกูล ผู้จัดการ บริษัท คงศักดิ์เอ็กซเรย์ การแพทย์อุสาหกรรม จำกัด และพนักงานทของบริษัททุกคน ที่ให้ความอนุเคราะห์ เกี่ยวกับคำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านเครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณ คุณวาสนา หาเพชร คุณนรรัตน์ ศรีสวัสดิ์ คุณกำธร สุนทรปกาสิต คุณสิริลักษณ์ ชูโชติ คุณศศินันธุ์ ณ สงขลา คุณนิสิต และเพื่อนๆ ทุกๆ คนที่ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจมาตลอด

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตากรุณาเป็นกำลังใจให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

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 นิยามของเรย์ซัม 10

3 วัสดุอุปกรณ์ และ การพัฒนาระบบสแกนรังสีเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี 14

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ 14

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.2 การพัฒนาระบบสแกนรังสีแกมมาเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี	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 วงจรรับสัญญาณจากไมโครสวิตช์	27
	3.5.2.2 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์	38
	3.5.3 วงจรถอดรหัสแอดเดรส	39
4	ขั้นตอนและผลการทดลอง	31
	4.1 การหาเวลาวัดที่เหมะสมสำหรับเสาคอนกรีตที่ความหนาต่างๆ	31
	4.2 ทดสอบขีดความสามารถในการแยกรายละเอียดจากระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูล	36
	4.2.1 FWHM	36
	4.2.2 มอดูเลชัน ทรานสเฟอร์ฟังชัน	36
	4.3 การปรับแก้ข้อมูลโพรไฟล์	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4 ทดสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลโพรไฟร์เพื่อใช้คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี	41
	4.5 การทดสอบการเก็บข้อมูลโพรไฟร์จากเรตมิเตอร์	43
	4.6 การทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีต	45
	4.7 การทดสอบขีดความสามารถในการแยกรายละเอียดของเหล็กเส้นภายในเสาคอนกรีต	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 สำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 22

3.2 แสดงตำแหน่งการถอดรหัส 30

4.1 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 10 ซม 33

4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 15 ซม 34

4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับความหนาคอนกรีตขนาด 20 ซม 34

4.4 แสดงผลของการตั้งเวลานับที่เหมาะสมที่ความหนาของเสาคอนกรีตต่างๆ.... 35

4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MTF กับความถี่ 41

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงของรังสีลำแคบในระนาบของวัตถุที่ต้องการดูทำให้ได้ 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 การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงของรังสีแกมมาลำแคบผ่านในระนาบของวัตถุที่มีมุม ϕ ใด ๆ หัววัดจะบันทึกข้อมูลไว้ 1 โพรไฟล์ 12

3.1 แผนภาพของระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์ 15

3.2 แสดงอุปกรณ์กำบังรังสี 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 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ 28
3.15 ภาคจ่ายไฟของวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ 29
3.16 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ 31
3.17 ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟี 31
3.18 ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี 32
3.19 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบสแกน กับไมโครคอมพิวเตอร์ 32
4.1 แสดงข้อมูลโพรไฟล์ของเสาคอนกรีตเมื่อตั้งเวลานับต่อเรย์ซัมที่เวลาต่างๆ
ก. 1 วินาที 36
ข. 3 วินาที 36
ค. 5 วินาที 36
4.2 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตขนาด 20 ซม.x20 ซม. เมื่อตั้งเวลานับต่อเรย์ซัมเป็น และใช้ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความแรง 30 มิลลิคูรี่
ก. เวลา 1 วินาที 37
ข. เวลา 3 วินาที 37
ค. เวลา 5 วินาที 37
4.3 แสดงโพรไฟล์ของการทดสอบแบบ 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 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเมื่อมุมเปลี่ยนไปทีละ
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