



ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1 การหาเวลาวัดที่เหมาะสมสำหรับเสาคอนกรีตที่มีความหนาต่างๆ

เนื่องจากเครื่องสแกนที่พัฒนาขึ้นมา มีขีดความสามารถในการสแกนข้อมูลจากเสาคอนกรีตที่มีขนาดความหนาไม่เกิน 25 เซนติเมตร ดังนั้นถ้าเสาคอนกรีตมีความหนาขนาดต่าง ๆ กัน ระยะเวลาที่วัดแต่ละเรย์ซัม (rays-sum) จะต้องหาเวลาที่มีความเหมาะสมสำหรับการวัดแต่ละเรย์ซัม สำหรับการทดลองใช้เสาคอนกรีตที่มีขนาดความหนาต่างกัน 3 ขนาดคือ 10 ซม., 15 ซม. และ 20 ซม. ทั้งนี้ความแรงรังสีจากต้นกำเนิดซีเซียม-137 พลังงานแกมมา 662 keV ความแรงรังสี 30 มิลลิคูรี ปริมาตรรังสีที่วัดได้เมื่อใช้เวลาในการวัดต่างกันเป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) σ ของแบคกราวนด์ (σ_B) และ จำนวนนับที่ความหนาใด ๆ แล้วพบว่าค่าจำนวนนับที่ยอมรับได้ควรเท่ากับ หรือมากกว่า $N_B + 3\sigma_B$ ขึ้นไป เพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดและลดการเกิด artifact ภายในภาพด้วย ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1-4.3 ซึ่งจะบอกถึงค่าจำนวนนับที่เวลาต่าง ๆ ของความหนาคอนกรีตแต่ละขนาด

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนความหนาคอนกรีตขนาด 10 ซม.

COLLECTING TIME (SEC)	จำนวนนับ		BACKGROUND		σ_B	$N_B + 3\sigma_B$
	counts	counts/s	counts	counts/s (N_B)		
1	293	293	3	3	1.732	8.196
2	597	298	5	2	1.118	5.354
3	893	298	8	2	0.816	4.448
4	1202	301	6	2	0.612	3.836
5	1494	299	8	2	0.568	3.698
6	1780	297	12	2	0.577	3.731
7	2087	298	14	2	0.535	3.605
8	2361	295	15	2	0.484	3.452
9	2682	298	15	2	0.430	3.290
10	2972	297	18	2	0.424	3.272

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนความหนาคอนกรีตขนาด 15 ซม.

COLLECTING TIME (SEC)	จำนวนนับ		BACKGROUND		σ_B	$N_B + 3\sigma_B$
	counts	counts/s	counts	counts/s (N_B)		
1	119	119	3	3	1.732	8.196
2	236	118	5	2	1.118	5.354
3	340	113	6	2	0.816	4.448
4	462	116	6	2	0.612	3.836
5	591	118	8	2	0.566	3.698
6	700	117	12	2	0.577	3.731
7	795	114	14	2	0.535	3.605
8	940	118	15	2	0.484	3.452
9	1038	115	15	2	0.430	3.290
10	1149	115	18	2	0.424	3.272

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาวัดกับค่าเบี่ยงเบนความหนาคอนกรีตขนาด 20 ซม.

COLLECTING TIME (SEC)	จำนวนนับ		BACKGROUND		σ_B	$N_B + 3\sigma_B$
	counts	counts/s	counts	counts/s (N_B)		
1	53	53	3	3	1.732	8.196
2	101	50	5	2	1.118	5.354
3	155	52	6	2	0.816	4.448
4	205	51	6	2	0.612	3.836
5	255	51	8	2	0.566	3.698
6	316	53	12	2	0.577	3.731
7	367	52	14	2	0.535	3.605
8	411	51	15	2	0.484	3.452
9	464	52	15	2	0.430	3.290
10	504	50	18	2	0.424	3.272

หมายเหตุ : $\sigma_B = \sqrt{N_B}$ และ ใช้ Cs-137 , 30 mCi

จากตารางข้างบนเราพบว่า สามารถตั้งเวลานับได้ตั้งแต่ 1 วินาที ขึ้นไปแต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากการตั้งเวลานับแต่ละเรย์ซึมน้อย จะทำให้ภาพไม่ละเอียดพอ ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมีมาก หรือตั้งเวลานับนานเกินไป ถึงแม้ว่าจะได้ภาพออกมาดีกว่า จะต้องทำให้สิ้นเปลืองเวลาเก็บข้อมูลโทรศัพท์จากการสแกนไปมากอีกทั้งจะทำให้เครื่องสแกนทำงานนานเกินความสามารถ

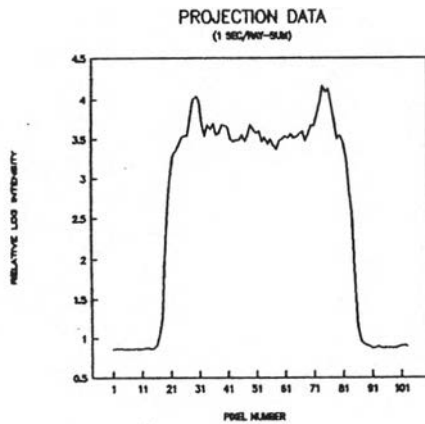
ดังนั้นจึงเห็นว่า การตั้งเวลานับควรต้องพิจารณา ความหนาของเสาคอนกรีตเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการตั้งเวลานับที่เหมาะสมกับความหนาของเสาคอนกรีตต่าง ๆ

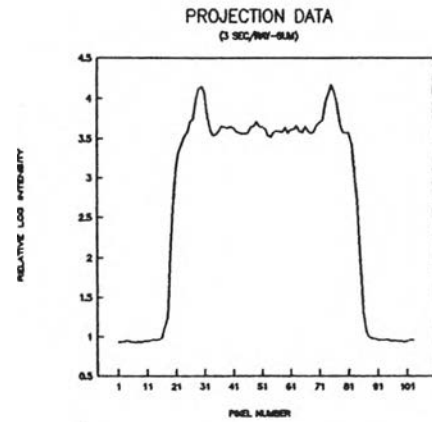
CONCRETE THICKNESS (cm)	COLLECTING TIME/RAY-SUM (sec)
10	≥ 2
15	≥ 3
20	≥ 5

รูปที่ 4.1 (ก) - (ค) เป็นข้อมูลโพรไฟล์ที่มุมเดียวกัน (0 องศา) ของเสาคอนกรีต

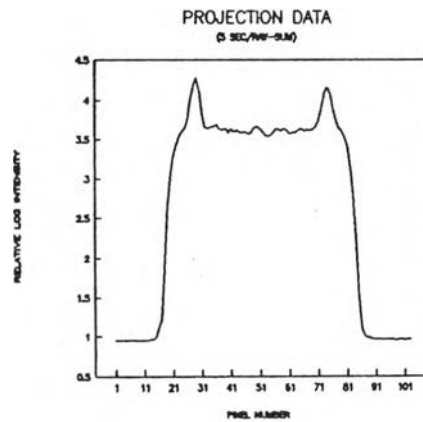
ขนาด 20 ซม. x 20 ซม. ซึ่งเปรียบเทียบกันระหว่างการตั้งเวลานับ 1, 3 และ 5 วินาที ตามลำดับ พบว่าข้อมูลโพรไฟล์ที่ได้ในรูปที่ 4.1 (ก) มีการกระจายมากกว่าข้อมูลโพรไฟล์ในรูปที่ 4.1 (ข) และ 4.1 (ค) ทั้งนี้เพราะว่าการตั้งเวลานับนาน ๆ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางสถิติน้อยกว่าเวลานับน้อย ๆ



(ก)



(ข)

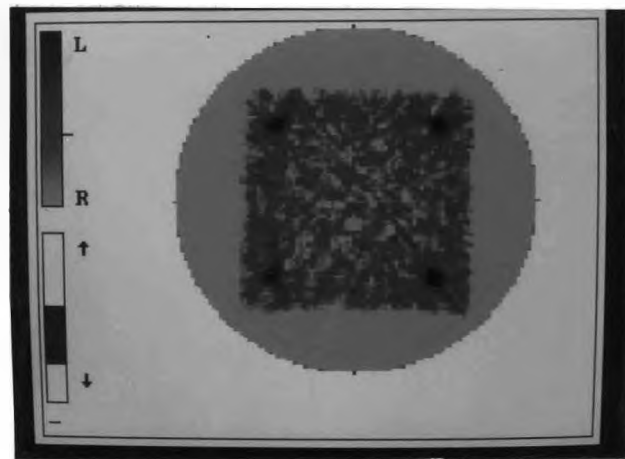


(ค)

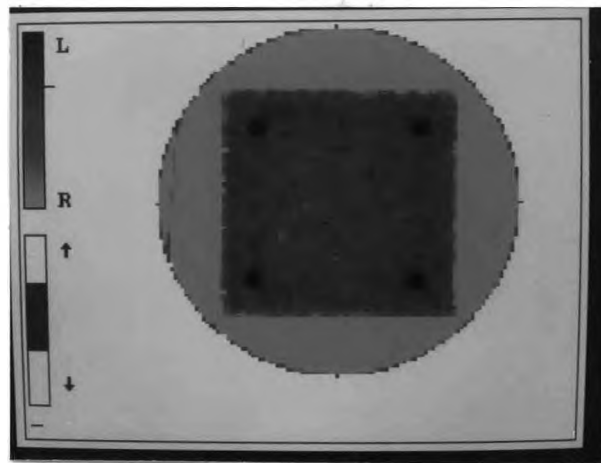
รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลโพรไฟล์ของเสาคอนกรีตเมื่อตั้งเวลานับต่อเรย์ซึ่มต่างๆ

(ก) เวลา 1 วินาที (ข) เวลา 3 วินาที (ค) เวลา 5 วินาที

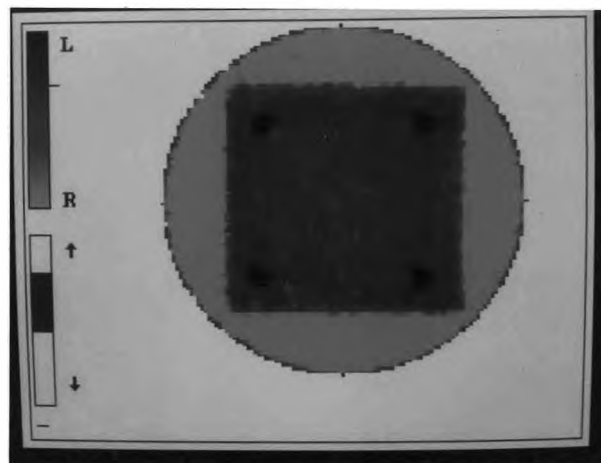
จากข้อมูลโพรไฟล์ดังกล่าว เมื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแล้ว พบว่ารูปที่ 4.2 (ก) ให้รายละเอียดไม่ดีนัก เพราะตั้งเวลาน้อยไปตามที่กล่าวมาแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับภาพโทโมกราฟีในรูปที่ 4.2 (ข) และ 4.2 (ค) ซึ่งตั้งเวลานับนานกว่าโดยจะมีความคมชัดมากกว่า



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตขนาด 20 ซม. x 20 ซม.
เมื่อตั้งเวลานับต่อเรอ์ซัม และใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 , 30 mCi
(ก) 1 วินาที (ข) 3 วินาที (ค) 5 วินาที

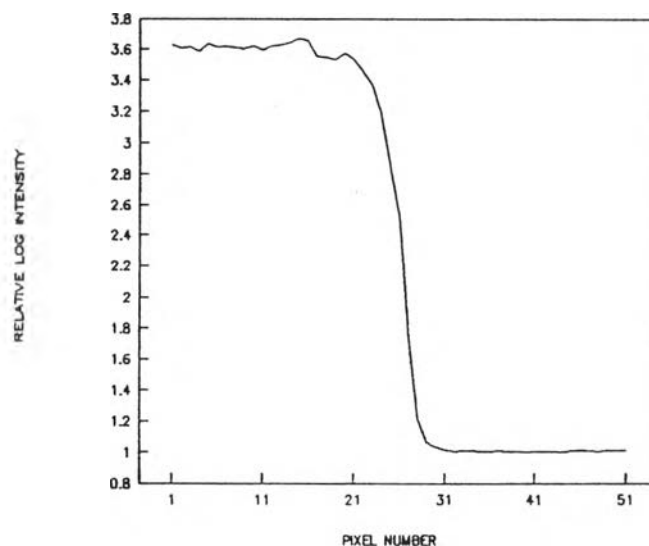
4.2 ทดสอบขีดความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดจากระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูล

เนื่องจากระบบสแกนด้วยรังสีแกมมานั้น มีระยะการเคลื่อนที่ แต่ละเรย์ซิมหรือระยะจุดภาพ(pixel)ประมาณ 3 มม. ซึ่งออกแบบให้ห่างเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ collimator ของ Detector ที่รับลำรังสีแกมมา ซึ่งมีขนาด 3 มม. เช่นกัน ดังนั้นขีดจำกัดของขนาดของวัตถุที่สามารถสแกนให้เกิดเป็นภาพได้จึงขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรังสีลำแกมมาและระยะจุดภาพ

ดังนั้นการหาขีดความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของ ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาจึงได้ใช้วิธีการตรวจสอบ 2 วิธีด้วยกันคือ

4.2.1 FWHM จากการสแกนด้วยรังสีแกมมาโดยวิธี "Edge-Spread" ในการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการทะลุผ่านของรังสีแกมมาต่อเสาคอนกรีต ตำแหน่งที่ลำรังสีแกมมาเคลื่อนที่ผ่านนั้นเป็นรอยต่อระหว่างอากาศกับเสาคอนกรีต จากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นโพรไฟล์ของการสแกนพบว่า การลดลงของรังสีแกมมาเมื่อเคลื่อนที่จากส่วนที่เป็นอากาศเข้าสู่เสาคอนกรีต โดยที่ตามหลักการแล้วการลดลงจะเป็นแบบ discrete แต่ในทางปฏิบัติการลดลงจะเป็นแบบมีความลาดเอียง (slope) ซึ่งสามารถวัดหาค่า FWHM จากระบบสแกนได้เท่ากับ 7.5 มม.

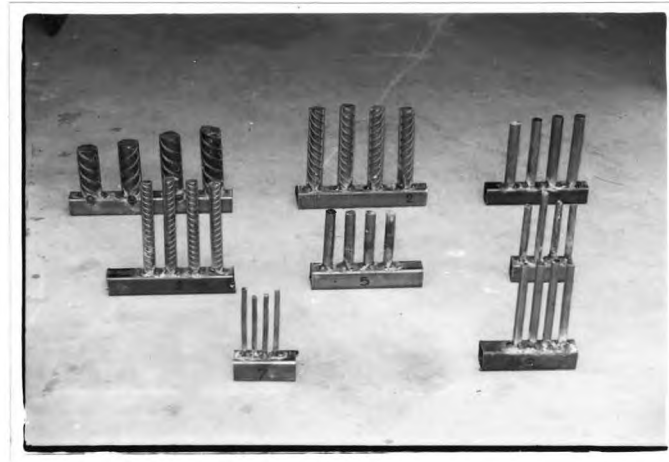
EDGE-SPREAD FUNCTION METHOD
(ESF)



รูปที่ 4.3 แสดงโพรไฟล์ของการทดสอบแบบ Edge -Spread function (ESF) ของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมา

4.2.2 มอดูเลชัน ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (Modulation Transfer Function ,

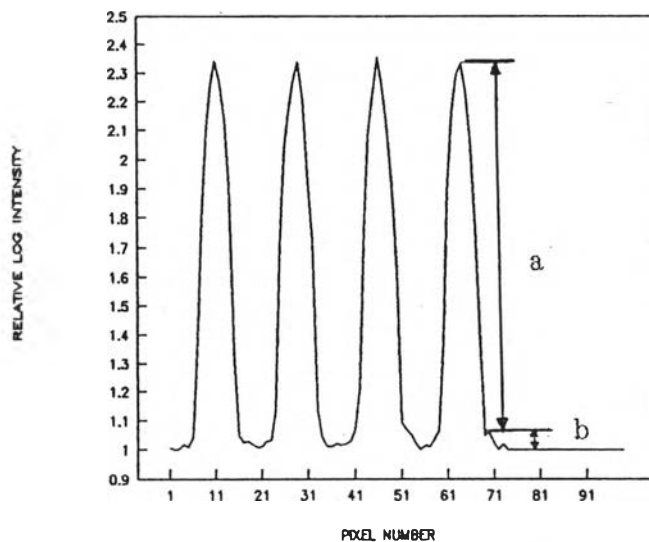
MTF) ของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมา ด้วยวิธี Line-spread Function (LSF) โดยสแกนรังสีแกมมาผ่านแท่งเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางหลาย ๆ ขนาด ได้แก่ 5, 9, 11.5, 13.5, 15, 20, 27 มม. โดยแต่ละชุดมีแท่งเหล็กขนาดเท่ากันจำนวน 4 แท่งวางเรียงกันและห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งเหล็ก ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๆ กันเพื่อหาค่า MTF ของระบบสแกนด้วยรังสีแกมมา

การแสดงความสามารถในการแจกแจงรายละเอียด ของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมานั้น อาจบอกได้ด้วย line-spread function (LSF) ซึ่งเมื่อสแกนรังสีแกมมาผ่านช่องแคบ (slit) จะได้โพรไฟล์เป็นกราฟรูปประฆังคว่ำดังรูปที่ 4.5 เมื่อแปลงฟูเรียร์ 1 มิตี กับ LSF จะได้ฟังก์ชันที่ให้ความหมายที่ชัดเจน เรียกว่า MTF โดยจะหมายถึง อัตราส่วนของภาพที่ได้ต่อวัตถุแปลว่าถ้าได้ค่า MTF เท่ากับ 1 แสดงว่า ภาพกับวัตถุจะเหมือนกันและถ้าค่า MTF น้อยกว่า 1 แสดงว่า ภาพที่ได้เหมือนวัตถุน้อยลง

PROJECTION DATA OF SLITS



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลโพรไฟล์ของการสแกนรังสีแกมมาผ่านแท่งเหล็ก

จากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นข้อมูลโพรไฟล์ที่สแกน ได้จากระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาพบว่า มีลักษณะสุงต่ำ ค่าที่ต่ำแสดงว่าเป็นส่วนของอากาศ ค่าสูงแสดงว่าเป็นส่วนของแท่งเหล็กในที่นี้ ค่า MTF สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$C(w) = (a-b)/(a+b) \quad (4.1)$$

และ

$$MTF = C(w)/C(w_0) \quad (4.2)$$

$$w = 1/2d \quad (4.3)$$

เมื่อ $C(w)$ และ $C(w_0)$ คือ อัตราส่วนของค่าต่ำสุด (b) และสูงสุด (a) ของความเข้มรังสีแกมมาที่มีความถี่ w_0 และ w ตามลำดับ

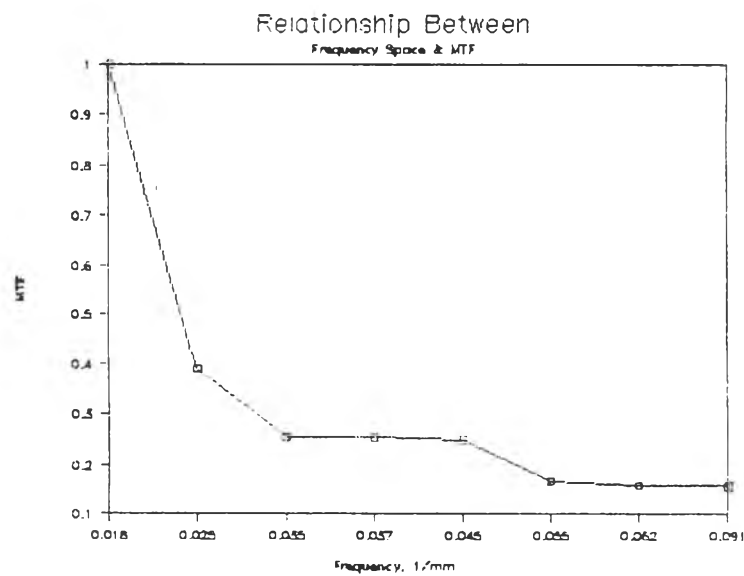
w คือ ความถี่ (spatial frequency), ค่อมิลลิเมตร

d คือ ระยะห่างระหว่างช่องแคบ (slit), มิลลิเมตร

จากสมการข้างต้นเราสามารถคำนวณหาค่า MTF จากระบบสแกนรังสีแกมมาได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 และดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MTF กับ ความถี่

f (mm^{-1})	MTF
0.018	1
0.025	0.3918
0.035	0.2558
0.037	0.2544
0.045	0.2509
0.055	0.1688
0.062	0.1584
0.091	0.1571



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MTF กับความถี่เฉพาะ (Spatial Frequency)

4.3 การ ปรับแก้ ข้อมูลโพรไฟล์

ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมา เพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์มาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของเส้นคอนกรีตนี้ อาศัยหลักการทะลุผ่านของรังสีแกมมาในเส้นคอนกรีต ถ้าเส้นคอนกรีตบาง ปริมาณความเข้มของรังสีแกมมาจะทะลุผ่านไปสู่อีกด้านรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้

มาก ในทางกลับกันถ้าเสาคอนกรีตหนาขึ้นปริมาณรังสีแกมมาก็จะทะลุผ่านไปได้น้อยลง ซึ่งการลดลงของรังสีแกมมาจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) ดังสมการที่ 4.4

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (4.4)$$

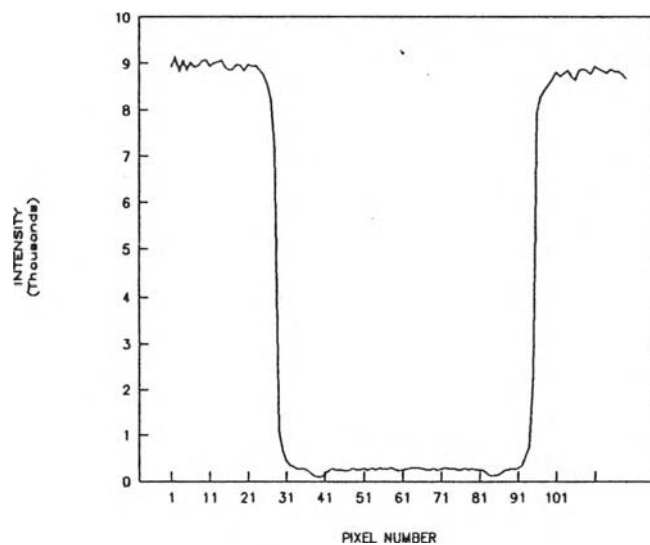
$$\text{หรือ} \quad \ln(I_0/I) = \mu x \quad (4.5)$$

เมื่อ I_0 และ I คือ ความเข้มของรังสีแกมมาก่อนและหลังทะลุผ่านเสาคอนกรีตตามลำดับ
 μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) ของรังสีแกมมาในคอนกรีต (1/cm)

x คือ ความหนาของเสาคอนกรีต (cm)

ถ้าใช้ข้อมูลโพรไฟล์ที่สแกนได้ จากสมการที่ 4.4 ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเลข จะทำให้ไม่สามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดี ทั้งนี้ เพราะที่โพรไฟล์ที่ได้จะรวมเอาแบคกราวด์ (Background) เข้าไปด้วย ดังนั้นโพรไฟล์ที่สแกนได้จึงแจกแจงรายละเอียดไม่ชัดเจนดังรูปที่ 4.7

UNCORRECTED PROJECTION DATA



รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลโพรไฟล์ที่ยังไม่ได้ ปรับแก้

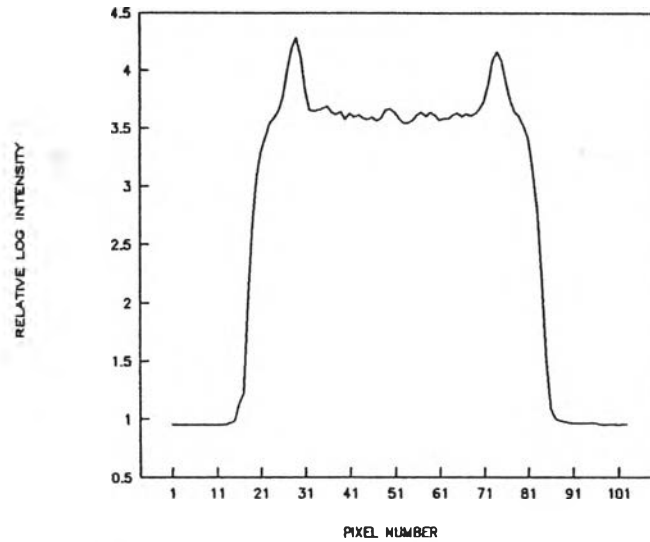
เมื่อ ปรับแก้ ข้อมูลโพรไฟล์ด้วยค่าแบคกราวด์ และ I_0 แล้วจะได้ข้อมูลโพรไฟล์ที่ให้รายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น ดังสมการที่ 4.6 และ รูปที่ 4.8

$$\ln[(I_0 - B)/(I - B)] = \mu x \quad (4.6)$$

เมื่อ B คือ ค่าแบคกราวนด์

μx คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแกมมาตลอดความหนา x ของเสาคอนกรีต

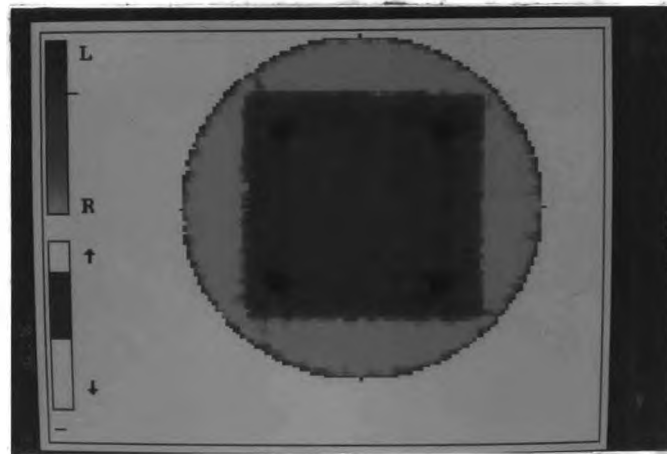
CORRECTED PROJECTION DATA



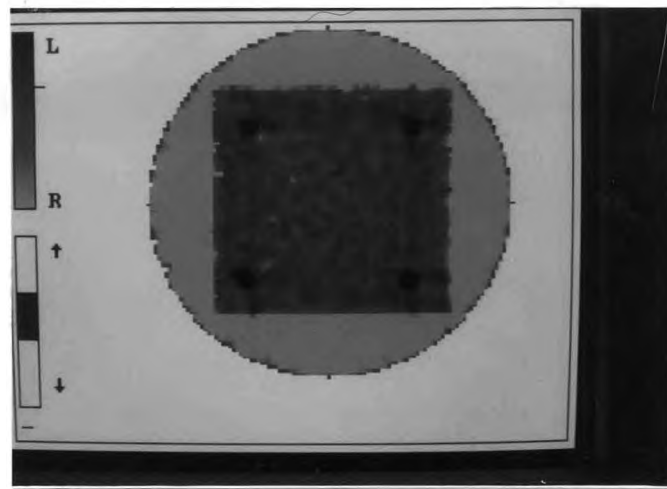
รูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลโพรไฟล์ที่ปรับแก้แล้ว

4.4 ทดสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลโพรไฟล์เพื่อใช้คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

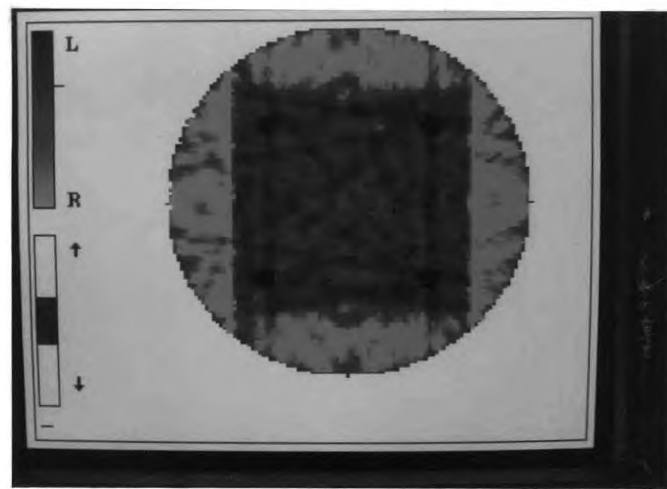
เครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นมา มีขีดความสามารถในการเคลื่อนที่แนวราบ ด้วยระยะห่างระหว่างเรย์ซิม หรือ พิกซิมเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถประมาณได้ เช่น ถ้าขนาดความกว้างที่มากที่สุดของเสาคอนกรีต ขนาด 20 x 20 ซม. เป็น 280 มิลลิเมตร (ความยาวของเส้นทะแยงมุม) ต้องกำหนดจำนวนเรย์ซิมในแต่ละโพรไฟล์เพื่อให้ได้ข้อมูลเรย์ซิมที่เพียงพอประมาณ $(280/3)+30$ เท่ากับ 123 เรย์ซิมโดยต้องสแกนให้ครอบคลุมเสาทั้งหมดขีดความสามารถในการหมุนรอบเสาคอนกรีตในแนวราบด้วยมุมน้อยๆซึ่งสามารถกำหนดได้ และอยู่ในช่วง 0-180 องศา เช่นถ้าหมุนเปลี่ยนมุมไปทีละ 5 องศา ก็จะได้จำนวนโพรไฟล์ทั้งหมดเป็น 36 โพรไฟล์หรือถ้าหมุนเปลี่ยนมุมไปทีละ 10 องศา ก็จะได้ 18 โพรไฟล์ ดังรูปที่ 4.9 (ก)-(ค) เป็นการทดสอบเปรียบเทียบภาพโทโมกราฟี ของเสาคอนกรีตขนาด 20 ซม. x 20 ซม. โดยการกำหนดให้มุมเปลี่ยนไปทีละ 5, 10 และ 20 องศา ซึ่งได้ข้อมูลจำนวนโพรไฟล์ จากการหมุนตั้งแต่ 0-180 องศา เป็น 36, 18 และ 9 โพรไฟล์ ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 แสดงภาพโทโมกราฟฟีของเสาคอนกรีตเมื่อมุมเปลี่ยนไปที่ละ

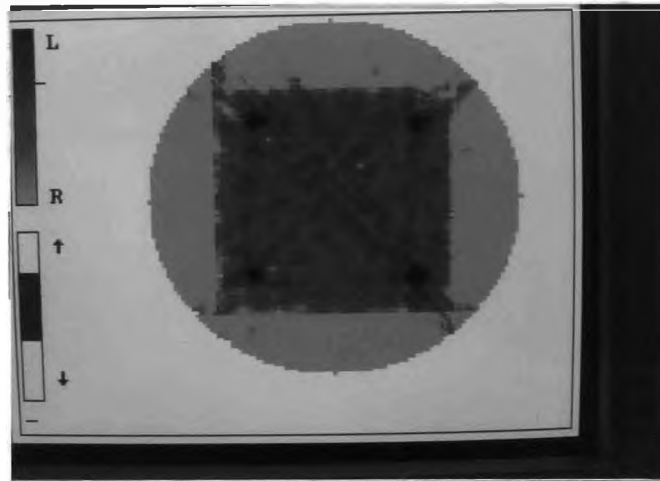
(ก.)	5 องศา	จำนวน	36	โพรไฟล์
(ข.)	10 องศา	จำนวน	18	โพรไฟล์
(ค.)	20 องศา	จำนวน	9	โพรไฟล์

จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเมื่อมุมเปลี่ยนไปดังรูปที่ 4.9 (ก) - (ค) นั้นพบว่าจำนวนโพรไฟล์มากขึ้นจะได้รายละเอียดของภาพที่ดีขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เพราะว่ายิ่งกำหนดให้มุมเปลี่ยนไปน้อย ๆ ก็จะได้ข้อมูลโพรไฟล์ที่แจ่มแจ้งรายละเอียดดีขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพโทโมกราฟีในรูปที่ 4.9 (ก) ให้รายละเอียดที่ดีกว่าแต่การเก็บข้อมูลโพรไฟล์จำนวนมาก ๆ นั้น ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่าเก็บข้อมูลโพรไฟล์ให้น้อยลง แต่ได้รายละเอียดที่พอสมควรเพื่อเป็นการลดระยะเวลาการสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์ลง ดังนั้น จึงเลือกเก็บข้อมูลโพรไฟล์โดยกำหนดมุม ที่หมุนเปลี่ยนไปที่ละ 10 องศา จำนวน 18 โพรไฟล์ ก็ถือว่าเพียงพอแล้ว ดังรูปที่ 4.9 (ข) สำหรับรูปที่ 4.9 (ค) นั้นให้รายละเอียดไม่ดี ไม่เพียงพอสำหรับการประเมินผล แม้ว่าจะใช้เวลาน้อยก็ตาม

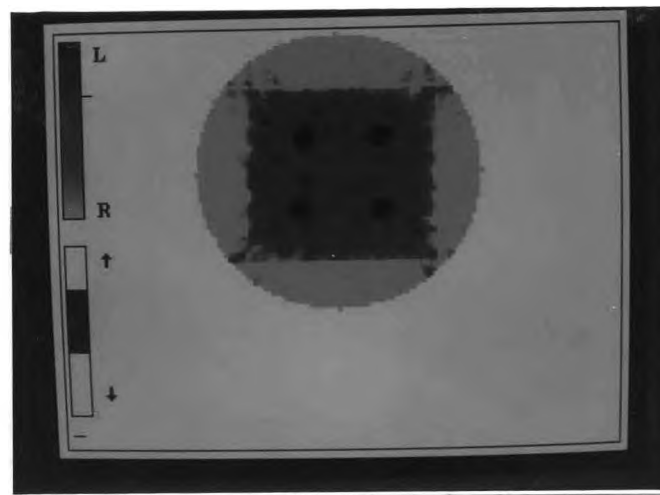
4.5 การทดสอบการเก็บข้อมูลโพรไฟล์จาก เรตมิเตอร์

ในการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบระบบ วัดรังสีแกมมาจาก Cs-137 ความแรงรังสี 30 mCi ด้วยหัววัดแบบ NaI(Tl) ขนาดผลึกเป็น 2x2 ตารางนิ้ว ซึ่งต่อเข้ากับระบบวัดรังสีแบบ อุปกรณ์นับรังสี ที่สามารถตั้งเวลาได้ และแบบ เรตมิเตอร์ โดยทั้งสองระบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน คือ ระบบวัดสัญญาณแบบ อุปกรณ์นับรังสี นั้นจะให้รายละเอียดของโพรไฟล์ดีแต่ใช้เวลาเก็บข้อมูลโพรไฟล์นาน ส่วนระบบวัดรังสีแบบ เรตมิเตอร์ นั้นใช้เวลาในการเก็บข้อมูลโพรไฟล์น้อยกว่า แต่รายละเอียดข้อมูลโพรไฟล์น้อยกว่าแบบแรก ในที่นี้ได้ทดสอบเก็บข้อมูลโพรไฟล์ของเสาคอนกรีต ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน 2 อย่างคือ ขนาด 20x20 และ 15x16 ตารางเซนติเมตร โดยใช้ระบบวัดรังสีแบบ เรตมิเตอร์ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข)





(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตจากการเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากระบบวัดรังสีแบบ เรตมิเตอร์

(ก) เสาคอนกรีตขนาด 20 x 20 ตารางเซนติเมตร

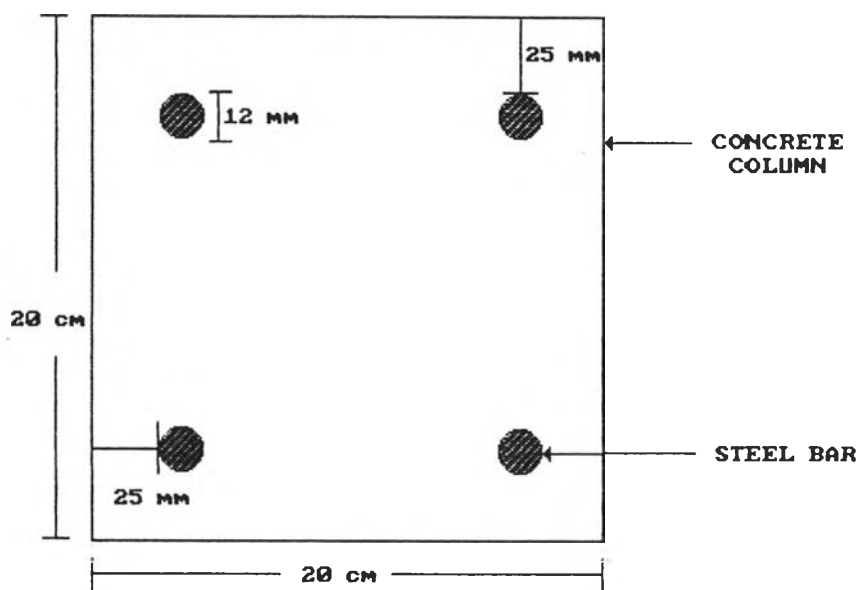
(ข) เสาคอนกรีตขนาด 15 x 16 ตารางเซนติเมตร

จากรูปที่ 4.10 (ก) พบว่าเสาคอนกรีตมีขนาดค่อนข้างโต เมื่อระบบวัดรังสีแบบเรตมิเตอร์ สัญญาณข้อมูลจึงมีการแปรปรวนมาก รายละเอียดข้อมูลโพรไฟล์จึงไม่ดีเท่าที่ควรภาพโทโมกราฟีของเสาจึงมี artifact มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลโพรไฟล์และภาพโทโมกราฟีในรูปที่ 4.10 (ข) เพราะเสาคอนกรีตบางกว่า จึงมีความแปรปรวนน้อยกว่า

ดังนั้น การใช้ระบบวัดสัญญาณแบบ เรตมิเตอร์ จึงต้องพิจารณาใช้กับเสาที่มีขนาดไม่หนามากนัก จึงจะให้ผลที่ดี

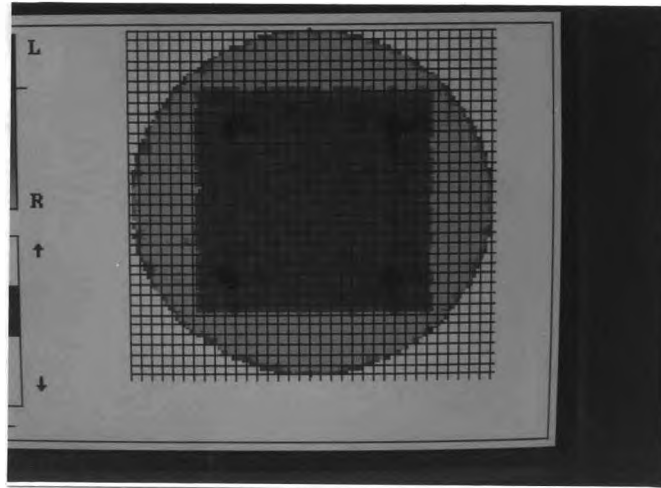
4.6 การทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีต

ในการทดสอบหาขนาด และ ตำแหน่งของเส้นเหล็กที่เป็นโครงสร้างของเสาคอนกรีต โดยอาศัยการสแกนด้วยรังสีแกมมา เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี หรือภาพตัดขวางของเสา คอนกรีตได้ออกแบบเสาคอนกรีตโดยกำหนดให้เหล็กเส้น มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. และจัดวางให้อยู่ห่างจากขอบเสาคอนกรีต 2.5 ซม. ทุกด้านเสาคอนกรีตขนาด 20 x 20 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แผนภาพของเสาคอนกรีตเพื่อทดสอบหาขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้น

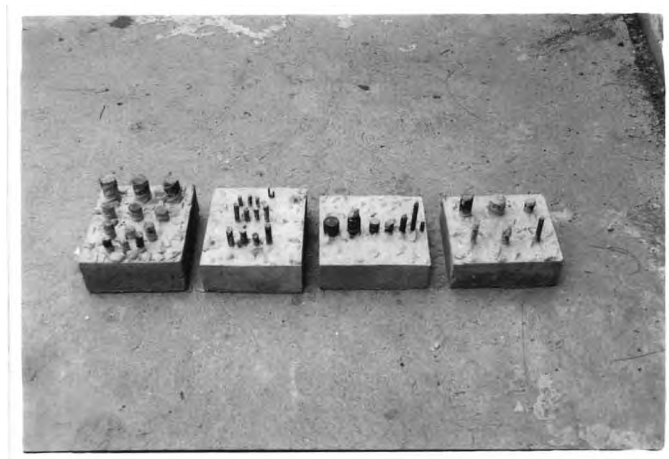
จากตัวอย่างเสาคอนกรีตดังรูปที่ 4.11 เมื่อสแกนด้วยรังสีแกมมาจากระบบเว็ดรังสีแบบ อุปกรณ์นับรังสี โดยตั้งเวลาวัดแต่ละเรย์ซิมเป็น 5 วินาที จำนวนเรย์ซิมในแต่ละโพرفิลเท่ากับ 119 เรย์ซิม มุมที่เปลี่ยนในการหมุนแต่ละครั้งหรือแต่ละโพرفิลเป็น 10 องศา จำนวน 18 โพرفิล จาก 0-180 องศา ซึ่งเมื่อดำเนินการสร้างภาพโทโมกราฟีแล้วพบว่าสามารถวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นได้ประมาณ 12 มม. และระยะห่างจากเสาเป็น 2.5 ซม. ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อทดสอบหาขนาด และตำแหน่งของเหล็กเส้น

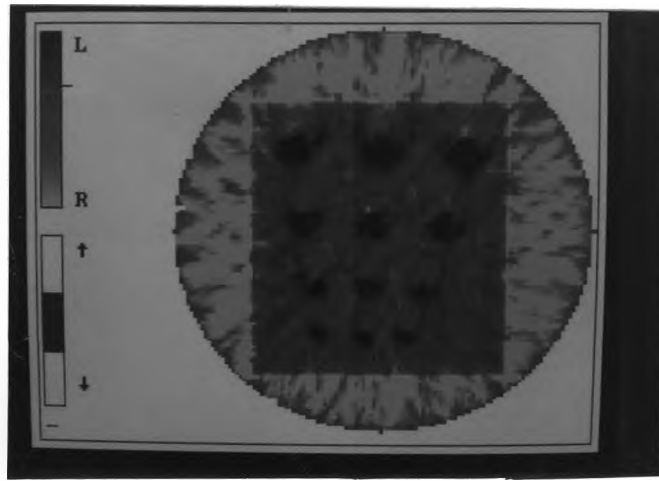
4.7 การทดสอบขีดความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของเส้นเหล็กเส้นภายในเสาคอนกรีต

ในการทดสอบขีดความสามารถการแจกแจงรายละเอียดของเหล็กเส้นภายในเสาคอนกรีตเป็นวิธีที่จะทำให้สามารถทราบถึงขีดความสามารถของ ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาว่าขนาดของเหล็กเส้นเล็กที่สุดเท่าใดที่จะสามารถเห็นได้ รวมทั้งเหล็กเส้นจะต้องวางห่างกันน้อยที่สุดเท่าใดจึงจะสามารถแจกแจงรายละเอียดให้เห็นได้ ดังนั้นจึงจำลองเสาคอนกรีต ซึ่งมีเหล็กเส้นขนาดต่างๆ จัดเรียงกันในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจากรูปกำหนดให้ตัวอย่างจากด้านซ้ายเรียงลำดับไปทางขวาเป็นตัวอย่าง A , B , C และ D



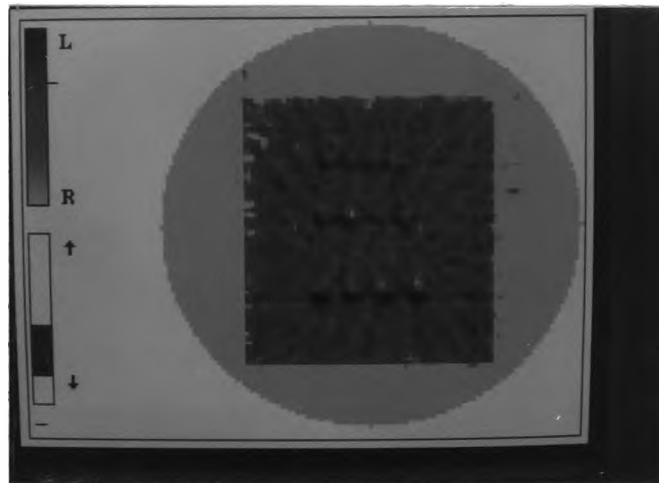
รูปที่ 4.13 ภาพตัวอย่าง A,B,C และ D ตามลำดับจากซ้ายไปขวา

ตัวอย่าง A เป็นตัวอย่างจำลองรูปเสาคอนกรีตซึ่งมี เหล็กเส้นวางเรียงกันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจำนวน 4 แถว ๆ ละ 3 เส้น ภายในแถวเป็นเหล็กเส้นขนาดเท่ากันจัดเรียงให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นในแถวนั้นๆ โดยเริ่มจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20, 16, 12, และ 10 มม. ตามลำดับพบว่าเมื่อสแกนด้วยรังสีแกมมาแล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยมุมที่เปลี่ยนไปที่ละ 10 องศา จำนวน 18 โพรไฟล์สามารถเห็นเหล็กเส้นทุกขนาดและทุกเส้น ได้ดังรูปที่ 4.14



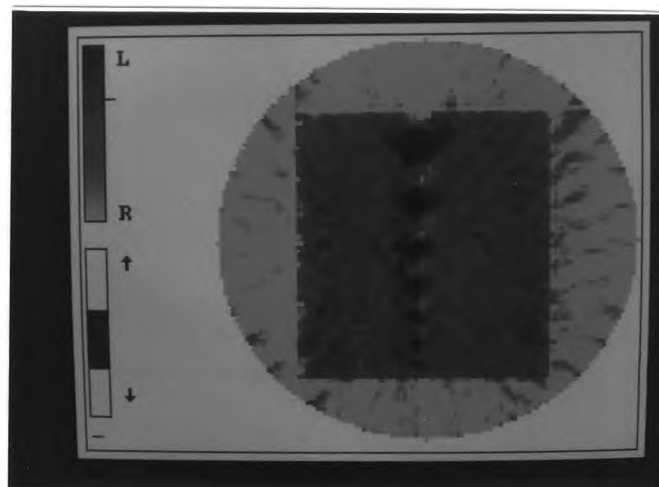
รูปที่ 4.14 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง A

ตัวอย่าง B เป็นตัวอย่าง จำลองรูปเสาคอนกรีตในลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอย่าง A ต่างกันที่ขนาดของเหล็กเส้น และมีอยู่จำนวน 3 แถว ๆ ละ 3-4 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็น 5, 8 และ 10 มม. ตามลำดับ เมื่อสแกนด้วยรังสีแกมมาและนำข้อมูลโพรไฟล์ไปตรวจแก้ปรับแก้แล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ได้ผลดังรูปที่ 4.15 ซึ่งยังสามารถมองเห็นเส้นเหล็กที่เล็กที่สุดคือ 8 มม. ได้อย่างชัดเจน



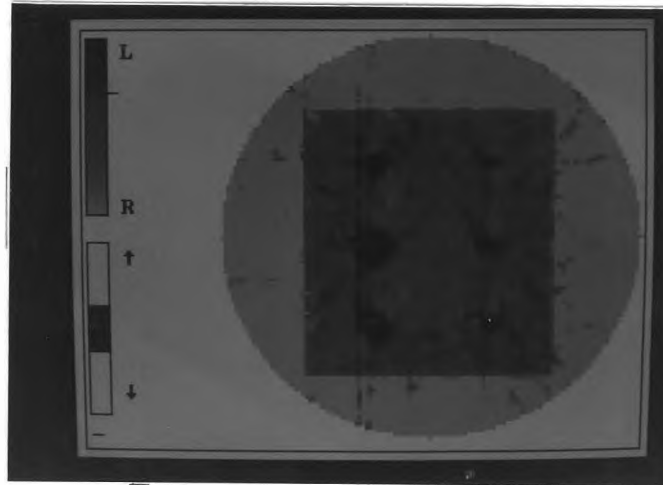
รูปที่ 4.15 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง B

ตัวอย่าง C เป็นตัวอย่าง จำลองรูปเสาคอนกรีตที่จัดเรียงเหล็กเส้นขนาดต่าง ๆ กันเป็นแถวเดียวเริ่มจากซ้ายมือของตัวอย่าง C มีขนาดเป็น 20,16,12,10,8 และ 5 มม.ตามลำดับเมื่อสแกนด้วยรังสีแกมมา และนำข้อมูลโพรไฟล์ไปผ่านการปรับแก้แล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งพบว่ารายละเอียดความชัดเจนของเหล็กเส้นยังไม่ดีนักเพราะเสาคอนกรีตค่อนข้างหนาแต่ก็ยังสามารถมองเห็นเหล็กแต่ละเส้นได้ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง C

ตัวอย่าง D ก็เป็นตัวอย่างที่จัดเรียงเหล็กเส้นจำนวน 6 เส้น แต่ละเส้นมีขนาด 11, 13, 17, 21, 29 และ 34 มม. และภาพโทโมกราฟีที่ได้ก็สามารถเห็นเหล็กทุกขนาดได้เป็นอย่างดี ดังรูปที่ 4.17



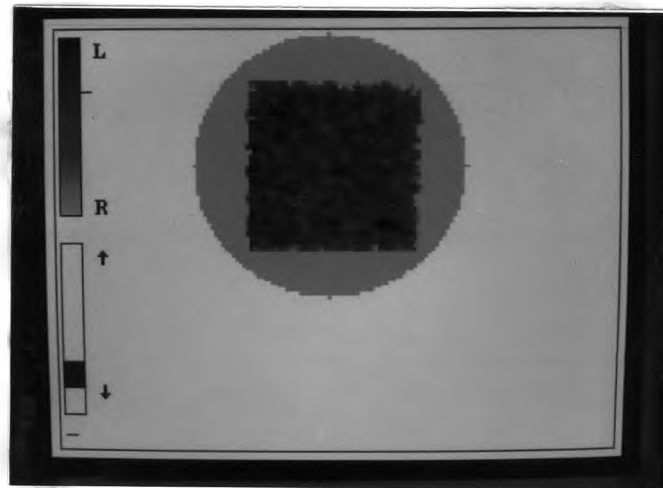
รูปที่ 4.17 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง D

สำหรับการทดสอบการแจกแจงรายละเอียดของการจัดเรียงเหล็กเส้นอีกลักษณะหนึ่ง คือ แบบจำลองของเสาคอนกรีตที่จัดเรียงเหล็กเส้นของแต่ละชุดให้มีระยะห่างระหว่างคู้ต่าง ๆ กัน ดังรูปที่ 4.18 จากซ้ายมือเป็นตัวอย่าง E, F และ G ซึ่งมีขนาดเหล็กเส้นเป็น 5, 8 และ 12 มม. ตามลำดับ จัดให้แต่ละคู้วางห่างกัน $1/2$, 1 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง และวางชิดกัน



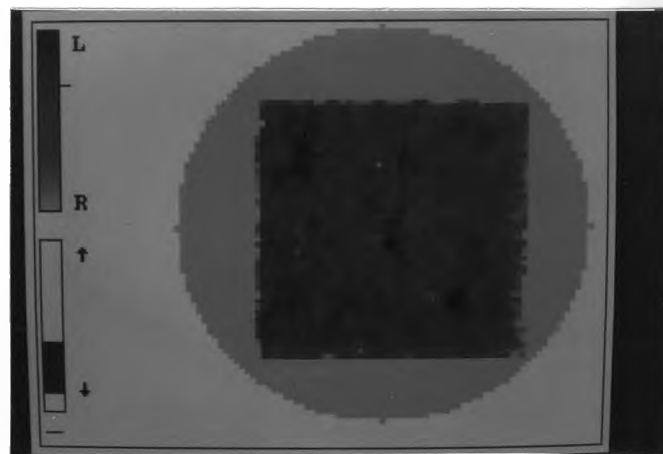
รูปที่ 4.18 ภาพเสาคอนกรีตตัวอย่าง E, F และ G จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

ตัวอย่าง E ราชละเอียดที่ได้ไม่ค่อยชัดเจนนัก ทั้งนี้เพราะว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นเพียง 5 มม. เท่านั้น จึงทำให้การสแกนข้อมูลโพรไฟล์ แจกแจงราชละเอียดไม่ชัดเจนโดยระยะจุดภาพ (Pixel) มีขนาดค่อนข้างโต คือ 3 มม. เมื่อเทียบกับขนาดของเหล็กเส้น ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 4.19 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง E

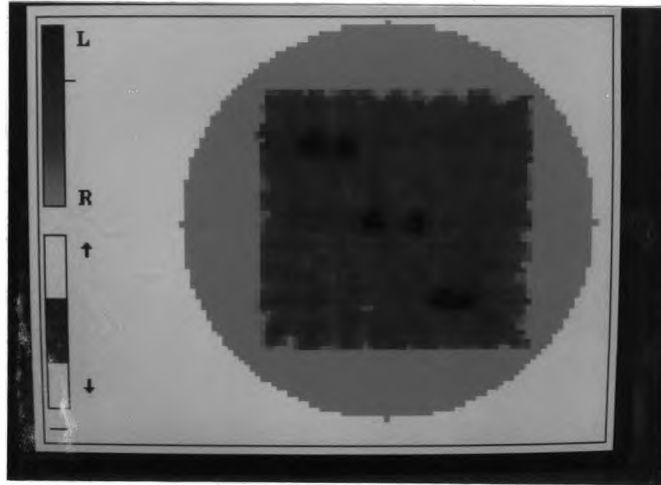
ตัวอย่าง F ได้ราชละเอียดของภาพค่อนข้างชัดเจน สามารถมองเห็นเหล็กเส้นทุกคู่ เพราะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้น เท่ากับ 8 มม. ซึ่งโตกว่าระยะจุดภาพ พอควร ดังรูปที่ 4.20 แต่คู่ที่วางชิดกันจะแจกแจงราชละเอียดได้ไม่ดีนัก ซึ่งเป็นผลมาจากข้อมูลโพรไฟล์



รูปที่ 4.20 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง F

ตัวอย่าง G สามารถให้ราชละเอียดที่ดี และ มองเห็นภาพเหล็กเส้นได้ชัดเจนเพราะ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 12 มม.



รูปที่ 4.21 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่าง G

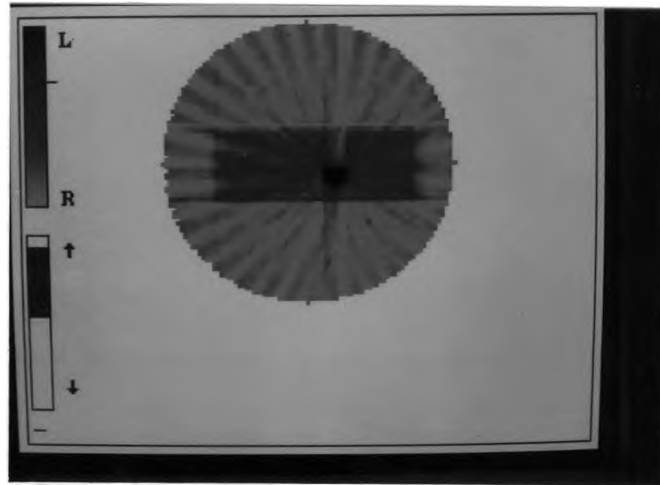
4.8 ตรวจสอบความถูกต้องจากตัวอย่างมาตรฐาน

จากการตรวจสอบของตำแหน่งและขนาดของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีตตามที่กล่าวมาแล้ว เสาสามารถให้ผลที่ถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ สำหรับมาตรฐานที่จะสแกนต่อไปนี้เป็นตัวอย่างที่ทราบขนาดและตำแหน่งที่แน่นอนของเหล็กเส้นฝังในสารประกอบขนาด 6.2 ซม. x 16.6 ซม. ภายในมีเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 16 มม. ห่างจากขอบด้านข้างเท่ากับ 16 มม. และด้านหน้าเท่ากับ 30 มม. ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ภาพตัวอย่างมาตรฐานเพื่อทดสอบหาตำแหน่ง และขนาดของเหล็กเส้น

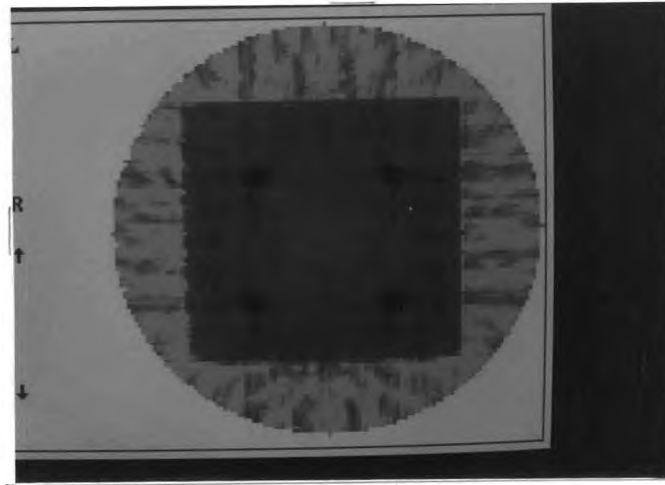
เมื่อสแกนด้วยรังสีแกมมาแล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จะสามารถสังเกตเห็นเหล็กเส้นในตัวอย่างมาตรฐานเป็นอย่างดี ซึ่งพบว่าเหล็กเส้นมีขนาด 16 มม. อยู่ห่างจากขอบด้านบนเป็นระยะ 16 มม. และห่างขอบด้านหน้า 30 มม. ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงภาพโทโมกราฟีของตัวอย่างมาตรฐาน

4.9 ทดสอบการใช้งานกับเสาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

นอกจากระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นมาแล้ว ได้ทดสอบกับตัวอย่างที่ออกแบบมาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้วนั้น ระบบสแกนยังสามารถใช้ได้กับเสาโครงสร้างของตัวอาคารได้ โดยในที่นี้เลือกเอาเสาคอนกรีตตึก ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ชั้นล่างเป็นเสาทดสอบ พบว่าเสาคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมีขนาด 20 ซม. x 20 ซม. ตั้งระบบสแกนด้วยระบบวัดรังสีแบบ อุปกรณ์นับรังสี โดยตั้งเวลาไว้ 5 วินาทีต่อเรย์ซิมและหมุนไปด้วยมุมทีละ 10 องศา ภายใน 1 โพรไฟล์มีข้อมูลเรย์ซิมอยู่ 119 ข้อมูลเมื่อกำหนดสร้างภาพโทโมกราฟีแล้วพบว่า ภายในเสาคอนกรีตมีเหล็กเส้นจำนวน 4 เส้นและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันทุกเส้นคือ 12 มม. อยู่ห่างจากขอบแต่ละด้านเป็น 25 มม. ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงภาพโทโมกราฟีเส้นาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ดังนั้นระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาที่ได้พัฒนาขึ้นมาจึงสามารถใช้งานภาคสนามได้จริง เพราะสามารถเคลื่อนย้ายได้ทั้งระบบสแกนด้วยรังสีแกมมากับระบบควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยเครื่อง ไมโครคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงภาพการทำงานของเครื่องสแกนด้วยรังสีแกมมา