บทที่ 3

การออกแบบเกราะกำบังรังสีแกมมาจากซีเซียม-137 และอุปกรณ์อำนวยความสะดวก

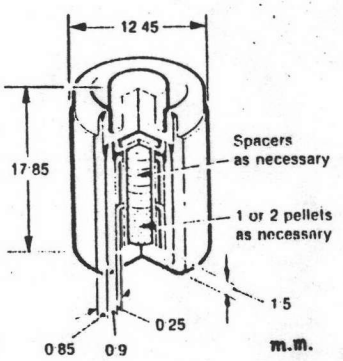
เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการสร้างเกราะกำบังรังสีแกมมา จากซีเซียม-137 ความแรง 5 คูรี เพื่อใช้ในงานถายภาพด้วยรังสี โดยกำหนดว่า รูปร่างของต้นกำเนิดรังสี เป็นแบบจุด เพื่อสะดวกต่อการคำนวณ เงื่อนไขสำหรับเกราะกำบังรังสีนั้นยึดจำกัดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติคือระดับรังสีที่ระยะ 15 ซม.จากผิวเกราะกำบังรังสีไม่เกิน 50 mR/h[7] แต่อย่างไรก็ตามข้อสำคัญในการสร้างเกราะกำบังรังสี ยังต้องคำนึงถึงขนาดของเกราะกำบังรังสีเพื่อความสะดวกในการใช้งาน และเคลื่อนย้าย จะต้องมีสัญลักษณ์ ที่ถาวร เด่นชัด เพื่อบอกถึงชนิดของต้นกำเนิดรังสี อัตราการปลดปล่อยรังสีปัจจุบัน ต้นกำเนิดรังสีจะต้องอยู่ในตำแหน่ง ในเกราะกำบังสีอย่างมั่นคง มีที่เปิดปิดในการใช้งานต้นกำเนิดรังสี และที่เปิดปิดจะต้องมีที่บอกถึงตำแหน่งเปิดและปิด การนำส่งต้นกำเนิดรังสี ไปยังตำแหน่งใช้งาน ทางผ่านจะต้องเป็นท่อทางเดิน ที่สามารถนำต้นกำเนิดรังสีเคลื่อนผ่านอย่างสะดวก จะต้องมีระบบควบคุมการทำงานจากระยะไกล ตัวยึดต้นกำเนิดรังสีเข้ากับระบบควบคุมจากระยะไกล สำหรับนำส่งต้นกำเนิดรังสี จะต้องออกแบบให้ทนทานต่อความเครียดที่อาจจะเกิดขึ้น และตัวยึดต้นกำเนิดรังสี จะต้องออกแบบไม่ให้เลื่อน หรือหลุดออกได้ง่าย นอกจากนี้แล้วยังมีข้อคำนึงปลีกย่อยอีกหลายประการซึ่งจะต้องคำนึงถึง เพื่อประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานทั้งในด้านความปลอดภัย ความสะดวก และความคงทนของอุปกรณ์

จากผลการคำนวณ เพื่อหาขนาดความหนาของวัสดุกำบัง ซึ่งในที่นี้เลือกตะกั่วหนา 8.5 ซม. โดยออกแบบให้เป็นรูปทรงกลมล้อมรอบต้นกำเนิดรังสีดังแสดงผลการคำนวณไว้ในตารางที่ 3.1 สำหรับในทางปฏิบัติการสร้างให้เกราะกำบังรังสีเป็นรูปทรงกลมนั้น ค่อนข้างจะไม่สะดวกจึงได้ออกแบบให้สามารถประกอบและติดตั้งได้ง่าย ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป แต่ความหนาของตะกั่วที่ใช้สามารถวัดส่วนที่บางที่สุด ยังคงเป็น 8.5 ซม.ตามที่ได้คำนวณไว้ นอกจากนี้ยังได้ สร้างอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวก ต่อการเคลื่อนย้าย ระบบปรับระยะห่างของต้นกำเนิดรังสี กับฟิล์ม ระบบชับ

เคลื่อนต้นกำเนิดรังสี ซึ่งควบคุมโดยอิเล็กทรอนิกส์ โดยไม่ต้องเข้าไปใกล้ต้นกำเนิดรังสีในขณะถ่ายภาพโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

3.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137

รูปร่างลักษณะของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเล็ก(ประมาณว่ามีรูปร่างเป็นแบบจุด) โดยมีขนาดความแรงรังสี 5 คูรี และมีลักษณะพิกัดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงรูปร่างและขนาดของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความแรง 5 คูรี

3.2 การคำนวนขนาดความหนาของเกราะกำบังรังสี

ในการคำนวณความหนาของเกราะกำบังรังสีจากซีเซียม-137 พลังงาน 0.662 MeV ความแรง 5 คูรี โดยใช้ตะกั่ว ความหนาแน่น 11.35 กรัม/ซม^3.เป็นวัสดุกำบังรังสี กำหนดว่าปริมาณรังสีที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากผิวของ วัสดุกำบังรังสีจะต้อง ไม่เกิน 50 mR/hr หรือที่ระยะ 1 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีจะต้องไม่เกิน 10 mR/hr ตามข้อกำหนดของ สำนักงาน

พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ(โปรดดูในภาคผนวก ง.) แต่ที่ได้เลือกออกแบบกำหนดให้ปริมาณรังสีน้อยกว่านี้ (ประมาณ 30 mR/hr)

จากสมการ (2.22)

$$\phi_b = SB_b(\mu R)e^{-\mu R}/4\pi R^2$$

และจากสมการที่ (2.10)

$$\dot{X} = 0.0659\phi_b E_o(\mu_a/\rho)^{air}$$

พิจารณาจากตารางที่ ก.3(ภาคผนวก ก.)ที่พลังงานของรังสีแกมมา 0.662 MeV ค่า $(\mu_a/\rho)^{air}$ เท่ากับ 0.029383 ซม^2/กรัม จากตารางที่ ก.2(ภาคผนวก ก.) ค่า (μ/ρ)ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.1406 ซม^2/กรัม ความหนาแน่นของตะกั่วเท่ากับ 11.35 กรัม/ซม.^{3} ดังนั้น μ ของตะกั่วเท่ากับ (0.1046 x 11.35) = 1.1869376 ซม.$^{-1}$ ความเข้มรังสีแกมมาจากซีเซียม-137 5 คูรี เท่ากับ 1.85×10^{11} แกมมา/วินาที ค่า เอกซ์โพเชอร์ บิลด์อัพ แฟคเตอร์ หาได้จากตารางที่ ก.1(ภาคผนวก ก.)ดังนั้น

$$\phi_b = 1.4722 \times 10^{10} B_b(\mu R)e^{-\mu R}$$

และ

$$\dot{X} = 1.28186 \times 10^{-3} \phi_b$$

ในการคำนวณได้เปลี่ยนค่าความหนาของตะกั่ว ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณรังสีที่ผิวเกราะกำบังรังสี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการคำนวณปริมาณรังสีที่ผิวเกราะกำบังรังสีที่ความหนาของตะกั่วต่าง ๆ

ความหนาตะกั่ว (ซม.)	μR	$B_p(\mu R)$	ϕ_b (แกมมา/วินาที.ซม.^{2})	$\dot{X}$ ที่ผิว (mR/hr)
3.0	3.561	1.7941	8.3376×10^{7}	103030.53
3.5	4.154	1.8981	3.5817×10^{7}	45912.27
4.0	4.748	1.9883	1.586×10^{7}	20330.25
4.5	5.341	2.078	7.2379×10^{6}	9277.95
5.0	5.935	2.1687	3.3782×10^{6}	4330.37
5.5	6.528	2.2588	1.6071×10^{6}	2060.07
6.0	7.122	2.3474	7.7482×10^{5}	993.21
6.5	7.715	2.4296	3.7765×10^{5}	484.09
7.0	8.309	2.512	1.8588×10^{5}	238.27
7.5	8.902	2.5941	9.2413×10^{4}	118.46
8.0	9.496	2.6764	4.6267×10^{4}	59.31
8.5	10.089	2.757	2.3332×10^{4}	29.91
9.0	10.682	2.8286	1.18×10^{4}	15.13
9.5	11.276	2.9002	5.996×10^{3}	7.69
10.0	11.869	2.9719	3.064×10^{3}	3.93
10.5	12.463	3.0436	1.572×10^{3}	2.02
11.0	13.056	3.1152	8.1×10^{2}	1.04

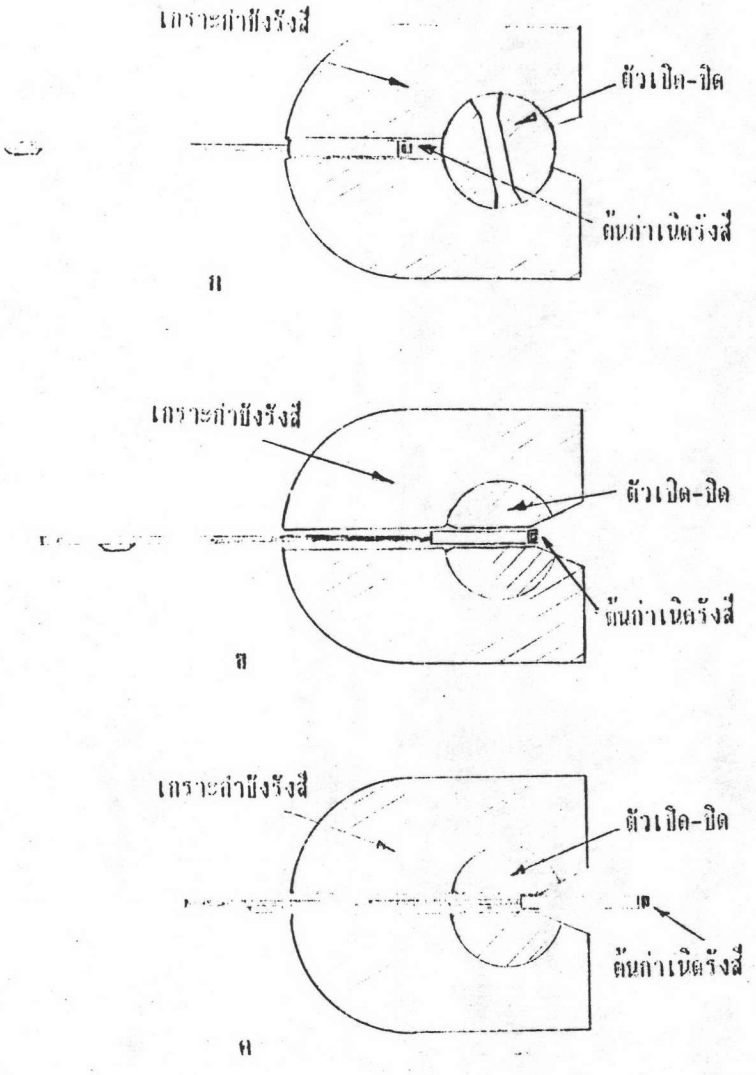
3.3 การออกแบบและสร้างเกราะกำบังรังสี

เมื่อคำนวณความหนาของตะกั่ว (ในที่นี้คือรัศมีของทรงกลม)ได้แล้วได้ทำการออกแบบเกราะกำบังรังสีที่มีรูปลักษณะดังรูปที่ 3.4โดยระยะจากจุดศูนย์กลางถึงส่วนที่บางที่สุด ความหนาตะกั่วเท่ากับ 8.5 ซม. และตะกั่วทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ภายในตัวถัง ซึ่งทำด้วยเหล็กไร้สนิม(stainless steel) หนา 3 มม.ซึ่งตำแหน่งใกล้กับต้นกำเนิดรังสีจะมีลุปกรณ์เปิดปิด (shutter) ซึ่งมีลักษณะ เป็นรูปทรงกระบอกมีแกนหมุนอยู่ด้านข้าง 2 ด้าน ตรงกลางมีช่องทาง เพื่อให้ต้นกำเนิดรังสีเคลื่อนที่ผ่าน เข้าออกได้ และในขณะเดียวกันก็เป็นท่อบังคับลำรังสีแกมมาเพื่อใช้ในการถ่ายภาพ

3.3.1 เกราะกำบังรังสี (Radiated Shield)

เนื่องจากว่าเกราะกำบังรังสีที่ต้องการสร้าง ต้องเป็นทั้งตัวเก็บ (container) ต้นกำเนิดรังสีจากซีเซียม-137 และเพื่อใช้ถ่ายภาพรังสี ดังนั้นจึงมีข้อสำคัญที่ระบบ การขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสี ชุดอุปกรณ์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

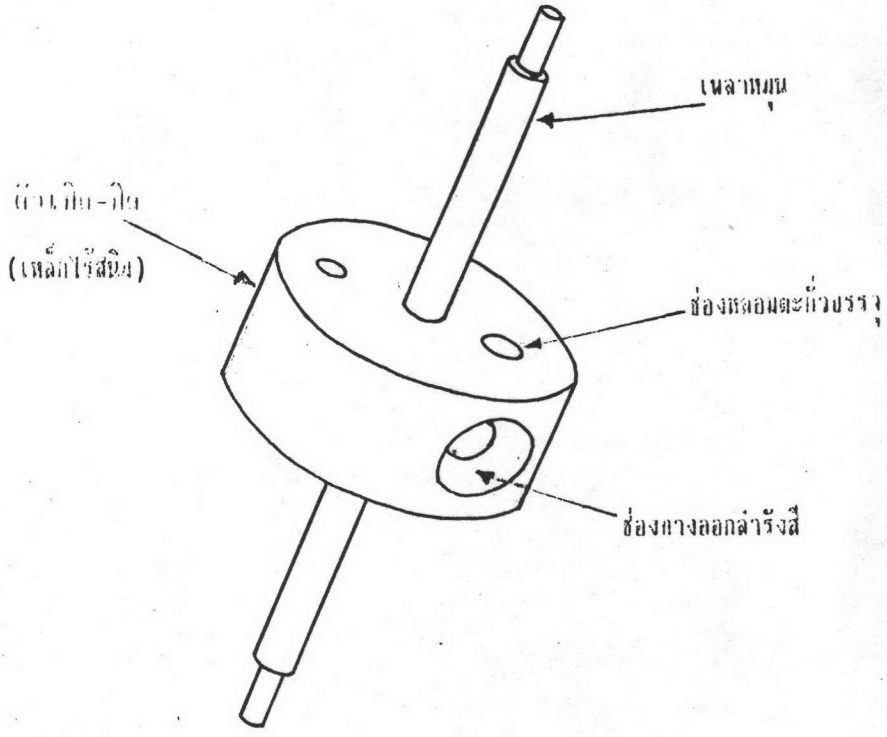
การใช้งานต้นกำเนิดรังสีนั้น ขณะที่ต้นกำเนิดรังสี อยู่ตำแหน่งกลาง ตัวเปิดปิดปลายทางเปิด จะบังคับลำรังสีแกมมา ให้ออกมาเป็นลำรังสี ตามลักษณะของทางออกด้วย และเมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกเกราะกำบังรังสี จะให้รังสีแกมมาออกมาทุกทิศทาง ดังรูปที่ 3.2



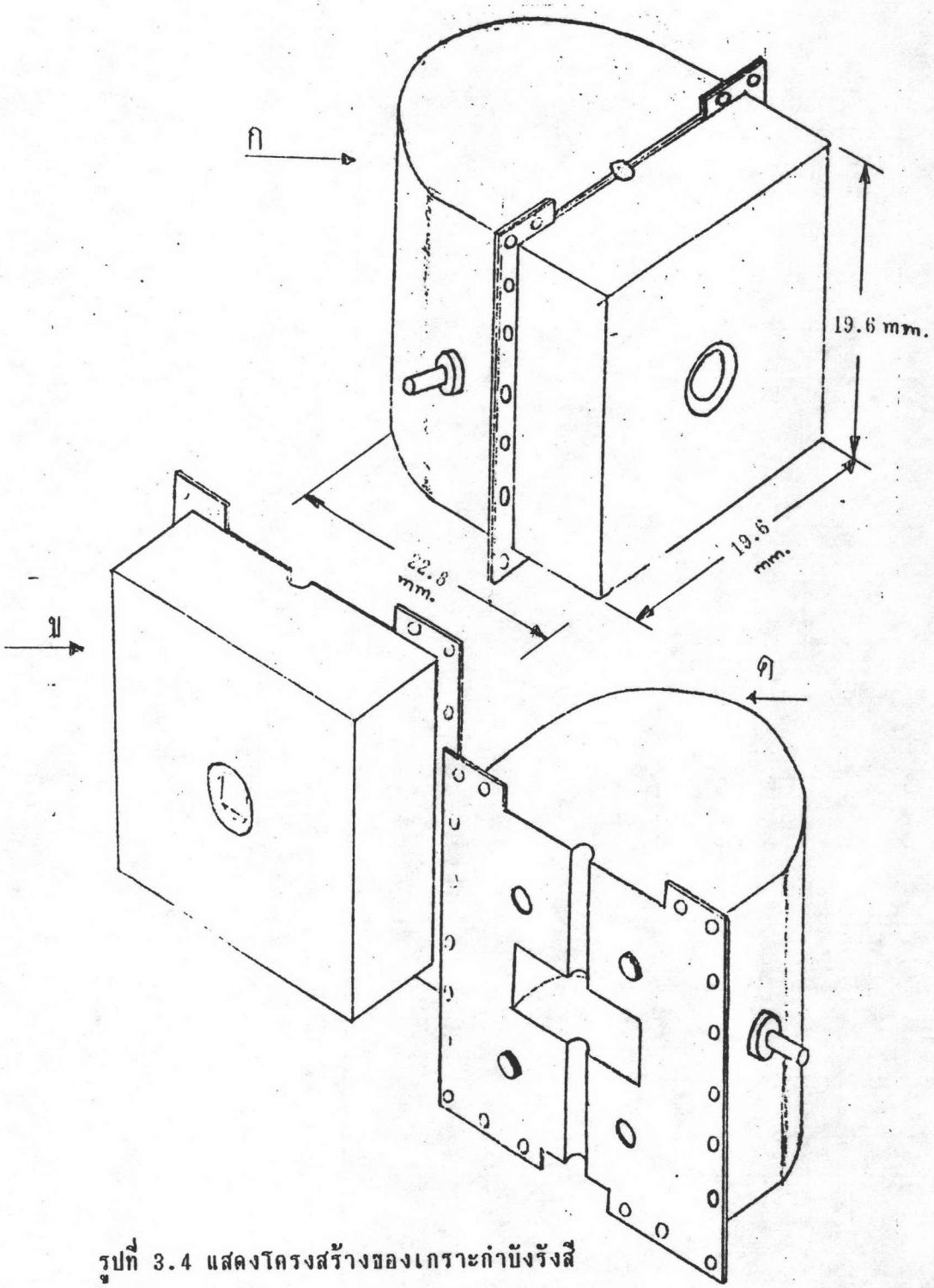
รูปที่ 3.2 แสดงภาพตัดขวางของเกราะกำบังรังสีในลักษณะที่ต้นกำเนิดรังสีอยู่ที่ตำแหน่ง
(ก) เก็บ (ข) ถ่ายภาพจากภายใน (ค) ถ่ายภาพด้านนอก

3.3.2 ตัวเปิด-ปิด (Shutter)

ดังรูปที่ 3.3 สำหรับตัวเปิดปิดที่ออกแบบมานี้สามารถหมุนไปกลับได้ด้วยระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ เพื่อให้ช่องทางออกและต้นกำเนิดรังสีอยู่ในแนวเดียวกัน โดยขณะที่ต้นกำเนิดรังสีอยู่ช่วงกลางของตัวเปิดปิดดังรูปที่ 3.2(ข) จะได้ลำรังสี มีมุมยอด 40 องศา ซึ่งโครงด้านนอกทำด้วยเหล็กไร้สนิม ภายในบรรจุด้วยตะกั่ว



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวเปิดปิด (shutter)



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของเกราะกำบังรังสี

(ก) โครงสร้างเมื่อประกอบ

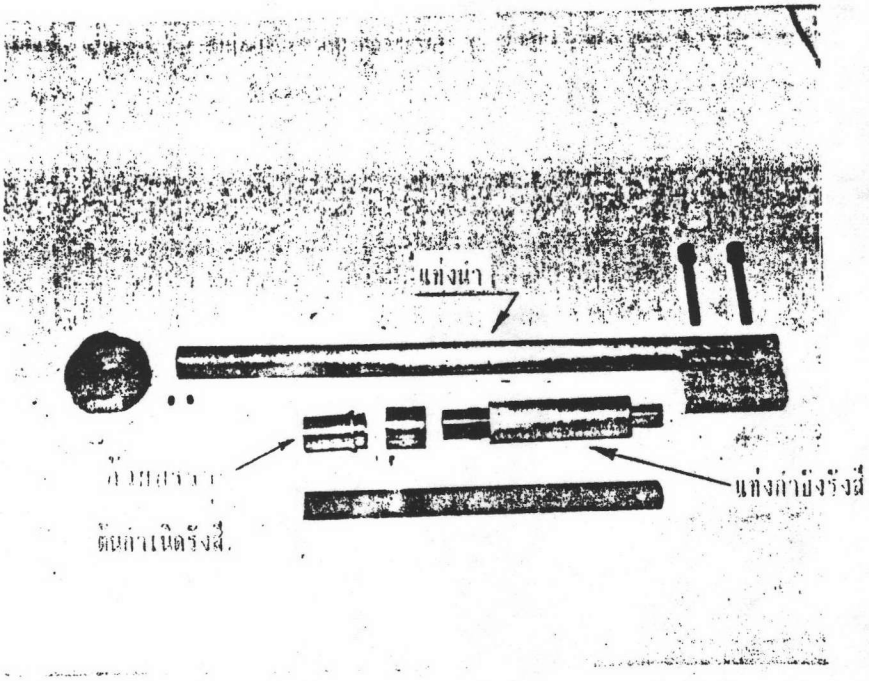
(ข) ส่วนหน้า

(ค) ส่วนหลัง

ส่วนลักษณะรูปร่างของเกราะกำบังรังสีมีส่วนประกอบซึ่งสามารถถอดแยกชิ้นส่วนได้ เพื่อสะดวกต่อการประกอบและซ่อมบำรุงได้ง่าย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

3.3.3 แท่งนำต้นกำเนิดรังสี

ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ แท่งนำ แท่งกำบังรังสี ถ้วยบรรจุต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แท่งนำต้นกำเนิดรังสี

3.3.4 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนตัวเปิด-ปิด

มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองทดรอบลง อัตราทดทำให้ตัวเปิด-ปิดหมุนไป 105° ได้ภายในเวลา 3 วินาที สวิตช์ไมโครจะทำหน้าที่ในการบังคับตำแหน่งการทำงานของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนกลประกอบด้วย

3.3.4.1 มอเตอร์กระแสตรง ใช้ในการ ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองทดรอบ เพื่อหมุนตัวเปิด-ปิด

3.3.4.2 ชุดเฟืองทดรอบ ทำการทดรอบลง ความเร็วมอเตอร์จาก 2,000 รอบ/นาทีเป็นความเร็วของตัวเปิด-ปิด 6.67 รอบ/นาที

3.3.4.3 สลักบังคับตำแหน่ง บังคับตำแหน่งให้ตัวเปิด-ปิดหมุนอยู่ภายในช่วง105°

3.3.4.4 สวิตช์ไมโคร มี 2 สวิทช์เพื่อตรวจสอบและจำกัดตำแหน่งการหมุนตัวเปิด-ปิดเมื่ออยู่ในตำแหน่งเปิดและหรือตำแหน่งปิด

3.3.5 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนแท่งนำต้นกำเนิดรังสี

จากรูปที่ 3.7 แสดงชุดควบคุมระบบการขับเคลื่อนแท่งนำต้นกำเนิดรังสีโดยมีชิ้นส่วนกลประกอบด้วย

3.3.5.1 มอเตอร์กระแสตรง ส่งกำลังผ่านเฟืองทดเพื่อหมุนเกลียวส่งกำลัง

3.3.5.2 เฟืองทดรอบ เพื่อทดรอบความเร็วมอเตอร์ลง

3.3.5.3 เกลียวส่งกำลัง เพื่อเลื่อนตัวเลื่อนให้เคลื่อนที่ ไป-กลับ ตามแนวของตัวเลื่อน

3.3.5.4 โครงยึด เป็นโครงสำหรับติดตั้งชุดควบคุม พร้อมทั้งช่วยป้องกันการบิดตัวของตัวเลื่อน

3.3.5.5 ตัวเลื่อน ยึดติดด้วยแท่งนำต้นกำเนิดรังสี

3.3.5.6 สวิตช์ไมโคร เพื่อตรวจสอบและจำกัดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีให้อยู่ตำแหน่งเก็บหรือตำแหน่งใช้งาน

มอเตอร์กระแสตรงความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านเฟืองทดรอบ เพื่อขับเกลียวส่งกำลังให้เลื่อนตัวเลื่อนไปและหรือกลับทำให้ต้นกำเนิดรังสีสามารถเลื่อนไปยังตำแหน่งใช้งานหรือเลื่อนกลับมาตำแหน่งเก็บได้โดยสวิตช์ไมโครจะทำการตรวจสอบบังคับตำแหน่งในการเลื่อนตัวเลื่อน

3.3.6 ระบบควบคุมการปรับระยะ SFD (Source to Film Distance)

จากรูปที่3.8 แสดงชุดควบคุมการปรับระยะ SFD โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนกลดังนี้

3.3.6.1 มอเตอร์กระแสตรง เพื่อทำการส่งกำลังในการหมุนก้านหมุน

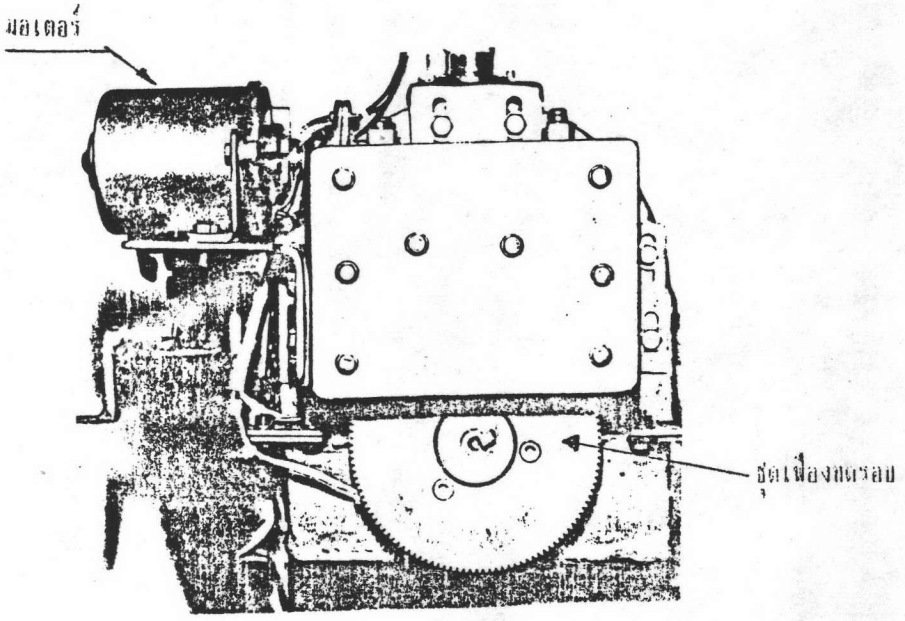
3.3.6.2 ก้านหมุน ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ก้านหมุนซึ่งปลายด้านหนึ่งยึดติดกับเพลามอเตอร์ปลายอีกด้านยึดติดแบบหมุนอิสระกับแขนยึดโดยที่ปลายแขนยึดอีกด้าน ยึดติดแบบหมุนอิสระกับเพลาโยก

3.3.6.3 เพลาโยก เพื่อทำการโยกแม่แรง ในการเพิ่มระยะแม่แรง

3.3.6.4 แม่แรง เพื่อทำการยกระดับเกราะกำบังรังสีจากฐาน เพิ่มระยะ SFD

3.3.6.5 แขนปล่อยแม่แรง ยกขึ้นเพื่อลดระยะ SFD จากฐาน

มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ 60 รอบ/นาที ส่งกำลังขับก้านหมุน ทำให้แขนยึดซึ่งปลายทั้งสองด้านถูกยึดติดแบบหมุนอิสระเคลื่อนที่ในแนว ขึ้น-ลง เพื่อโยกเพลาโยก เพิ่มระยะแม่แรง การลดระดับแม่แรง ทำได้ด้วยการยกแขนปล่อยแม่แรง



รูปที่ 3.6 แสดงชุดควบคุมการขับเคลื่อนตัวเปิด-ปิด

3.3.7 ระบบควบคุมการปรับทิศทางการเอกซ์โพเซอร์

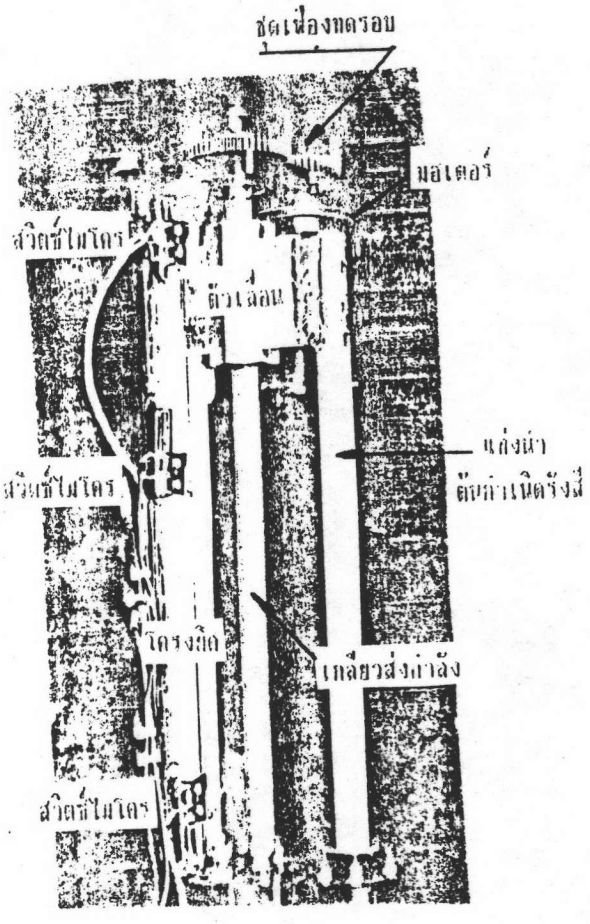
สลักหัวเรียวยึดติดกับส่วนแขนของล้อเลื่อน แป้นสลักเชื่อมติดกับตัวถังเกราะกำบังรังสี ตำแหน่งรูสลักบนแป้นสลักทำให้สามารถปรับทิศทางเกราะกำบังรังสีได้ 90° การปรับทิศทางทำได้โดยจับยึดเพลาหมุน ดึงให้ปลายสลักหัวเรียวหลุดออกจากรูบนแป้นสลัก หมุนเพลาหมุนในทิศที่ต้องการเอกซ์โพเซอร์ ปล่อยให้ปลายสลักหัวเรียวยึดไว้กับรูบนแป้นสลัก ดังรูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนกลประกอบด้วย

3.3.7.1 สลักหัวเรียว

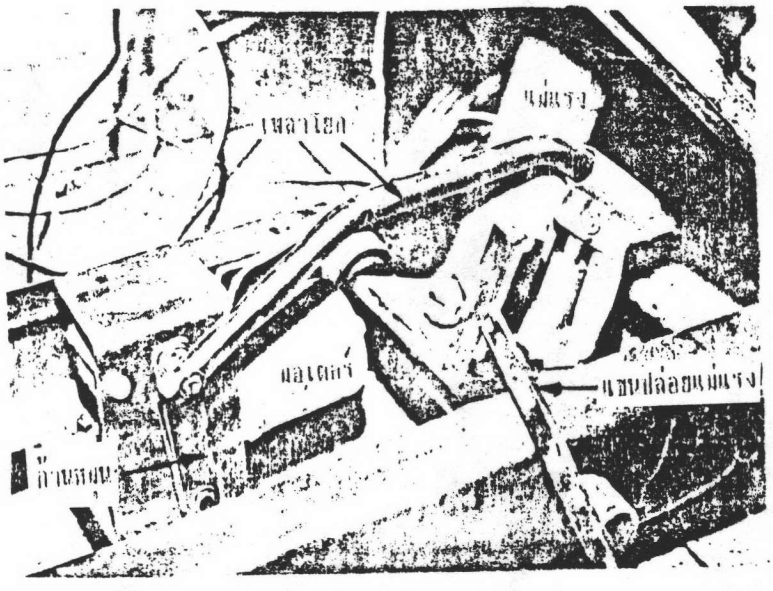
3.3.7.2 เบ้าสลักหัวเรียว

3.3.7.3 แป้นรูสลักหัวเรียว

3.3.7.4 เพลาหมุน



รูปที่ 3.7 แสดงชุดควบคุมการขับเคลื่อนแท่งนำต้นกำเนิดรังสี



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 แสดงระบบควบคุมการปรับระยะ SFD

3.3.8 แผงควบคุมการใช้งานต้นกำเนิดรังสีในการถ่ายภาพ

จากรูปที่ 3.13 แผงประกอบด้วยสวิทช์โยก 3 สวิตช์ สวิตช์สลงทาง 2 สวิตช์ ปุ่มสวิตช์ 2 ปุ่มสวิตช์ ซึ่งมีหน้าที่ต่างๆดังนี้

3.3.8.1 สวิตช์กำลัง(Power) "ON" เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุม

3.3.8.2 สวิตช์แบตเตอรี(Battery) "ON" เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้า 12 โวลต์ ให้แก่ชุดควบคุมแทนการใช้กำลังไฟฟ้า 220 โวลต์

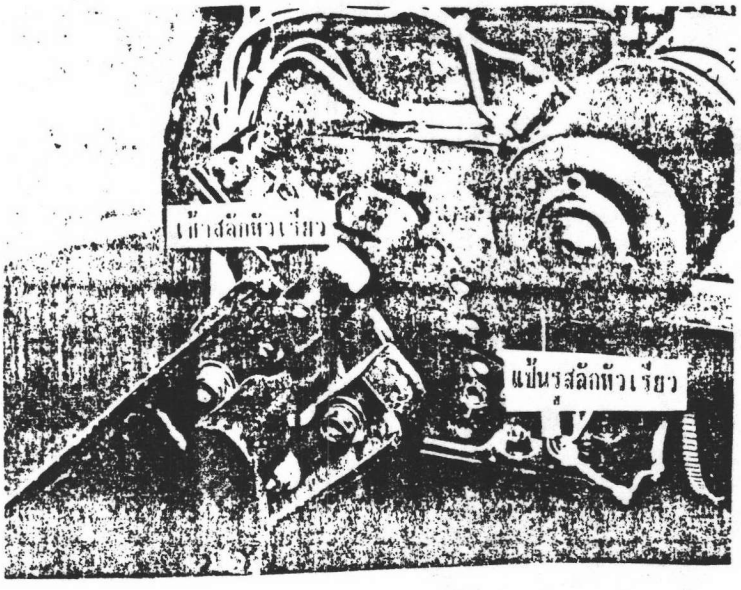
3.3.8.3 สวิตช์ระยะทาง(Distance) "ON"เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ในชุดควบคุมการปรับระยะ SFD

3.3.8.4 สวิตช์สองทาง(1)(Foreward Exposure-Panoramic) ใช้เลือกลักษณะรังสีสำหรับการถ่ายภาพ

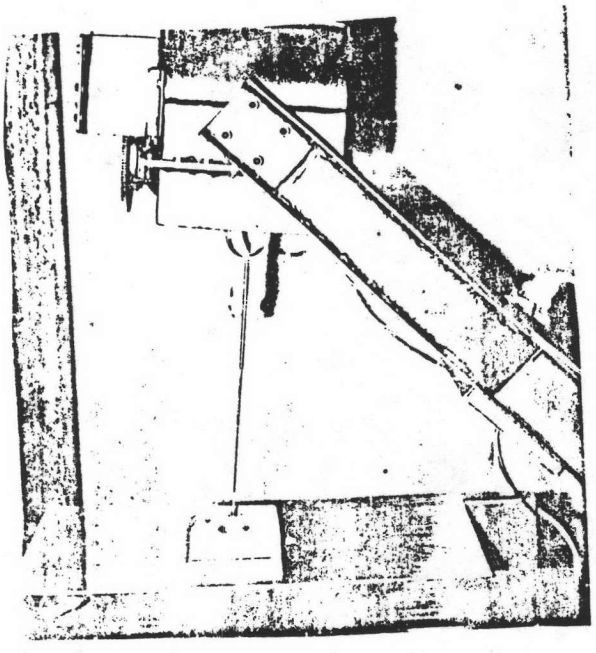
3.3.8.5 สวิตช์สองทาง(2)(Reset) ใช้ในกรณีกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ขัดข้องขณะต้องการเก็บต้นกำเนิดรังสีเข้าไปในตำแหน่งเก็บโดยใช้ร่วมกับสวิทช์แบตเตอรี

3.3.8.6 ปุ่มสวิตช์เปิด(SHUTTER OPEN) กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นการถ่ายภาพ

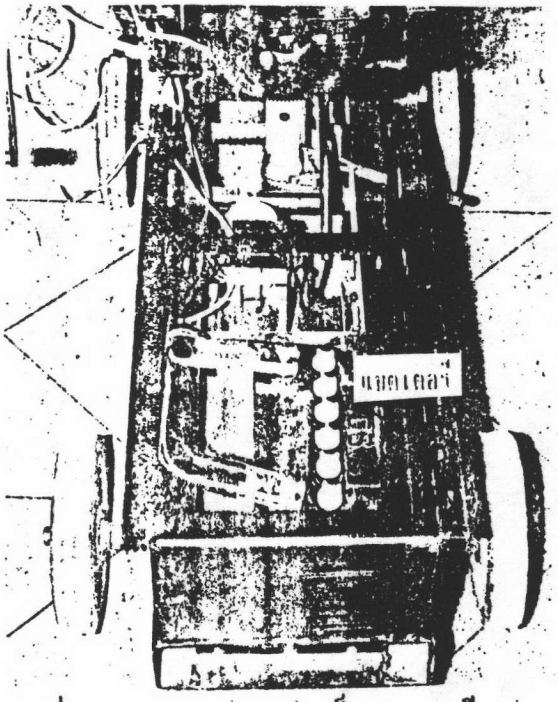
3.3.8.7 ปุ่มสวิตช์ปิด(SHUTTER CLOSE) กดปุ่มเพื่อยุติการถ่ายภาพ



รูปที่ 3.9 แสดงระบบควบคุมการปรับทิศทางการแผ่รังสี



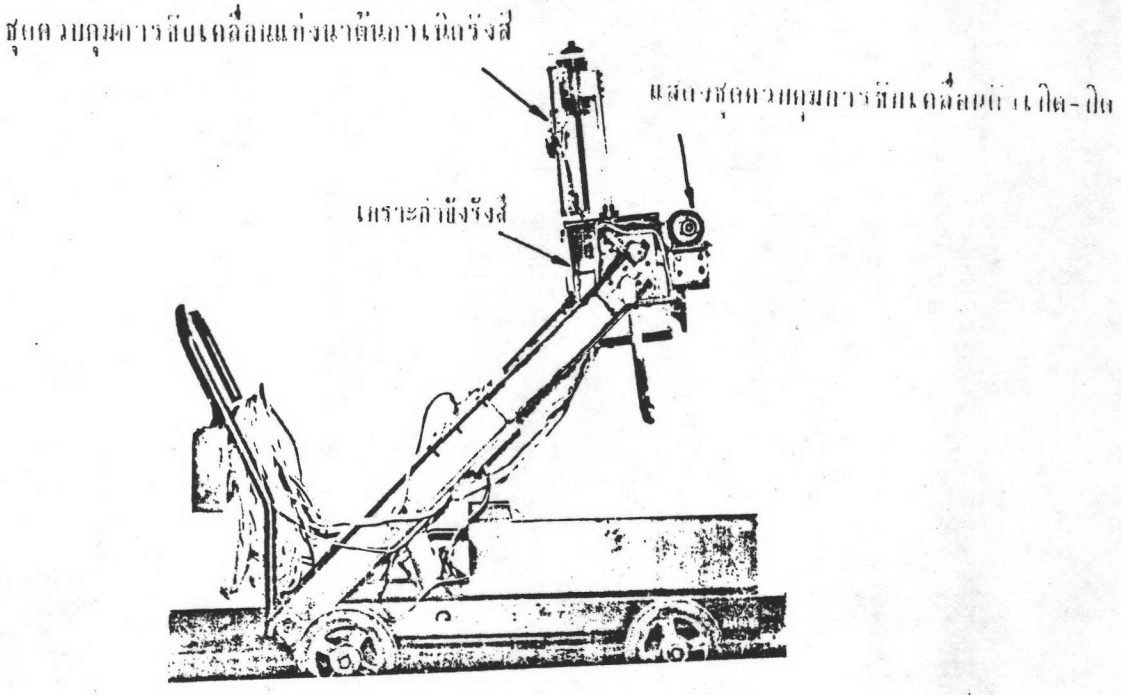
รูปที่ 3.10 แสดงตัวชี้ตำแหน่ง ในการแผ่รังสี



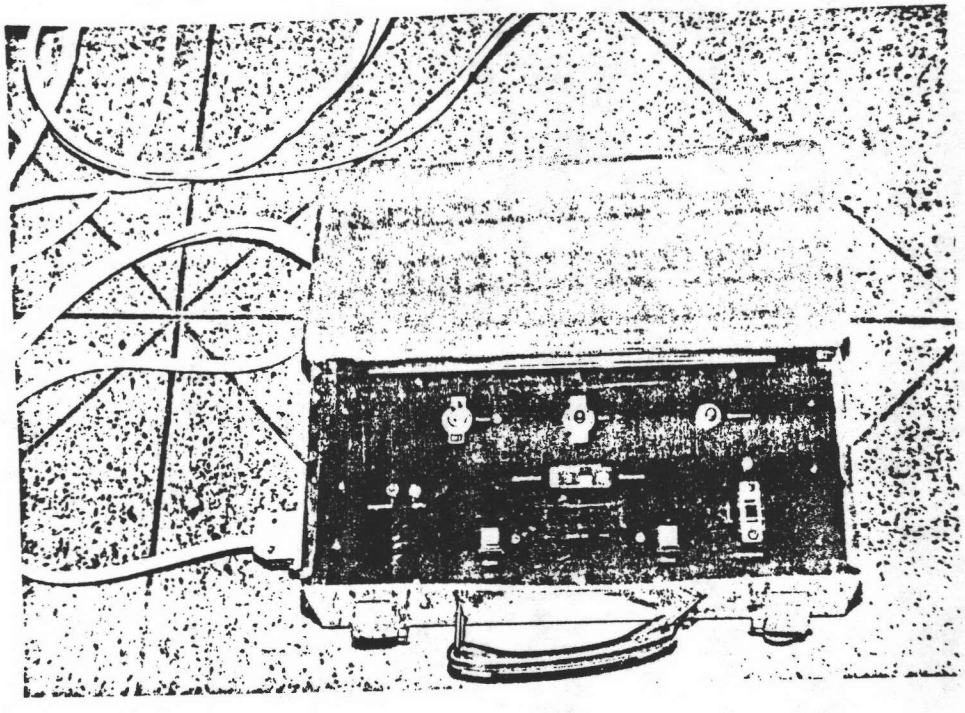
รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งเก็บแบตเตอรี

3.3.9 ล้อเลื่อน

ประกอบด้วยตัวล้อเลื่อน ยึดอยู่บนล้อขนาด 8 นิ้ว 4 ล้อ ติดตั้งระบบการปรับระยะ SFD และแบตเตอรี อยู่บนตัวล้อเลื่อนแขนของล้อเลื่อนปลายด้านหนึ่งยึดติดแบบหมุนอิสระกับตัวล้อเลื่อน เกราะกำบังรังสี จะยึดไว้กับปลายอีกด้านหนึ่งของแขน การเลื่อนและเปลี่ยนทิศทางของล้อเลื่อนทำได้โดยการใช้แขนยึดตัวล้อเลื่อน ดังแสดงในรูปที่3.12 และรูปที่3.13



รูปที่ 3.12 แสดงเกราะกำบังรังสีซีเซียม-137 และอุปกรณ์อำนวยความสะดวก



รูปที่ 3.13 แสดงชุดแผงควบคุมการใช้ต้นกำเนิดรังสีในการถ่ายภาพ