กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

เอกสารสนับสนุน
เรื่อง
หลักการทำงานและคุณลักษณะของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม และทางศึกษาวิจัย

Supporting Document on Principle and Characteristic of X-ray Industrial and Research Radiography Device

SD-NRI-RG-1.02
(ฉบับที่ 1 ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 0)

จัดทำโดย	**นางสาวจุไรรัตน์ อุตส่าห์ดี**
ทบทวนโดย	**นายนฤพนธ์ เพ็ญศิริ**
อนุมัติโดย	**นายภานุพงศ์ พินกฤษ**

สถานะปรับปรุงเอกสาร

ฉบับที่	วันที่	ข้อสรุปการปรับปรุง
1	18 ก.ย.67	ประกาศใช้

ผู้จัดทำ	ผู้ทบทวน	ผู้อนุมัติ
นางสาวจุไรรัตน์ อุตส่าห์ดี	นายนฤพนธ์ เพ็ญศิริ	นายภานุพงศ์ พินกฤษ

สารบัญ

หน้า

1 วัตถุประสงค์ 4

2 ขอบเขต 4

3 หลักการทำงาน/ส่วนประกอบ/ประเภท/ลักษณะการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย 4

3.1 หลักการทำงาน 4

3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย 5

3.3 ประเภทของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย 7

3.4 ลักษณะการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรรมและทางศึกษาวิจัย 9

เอกสารอ้างอิง 15

1. วัตถุประสงค์

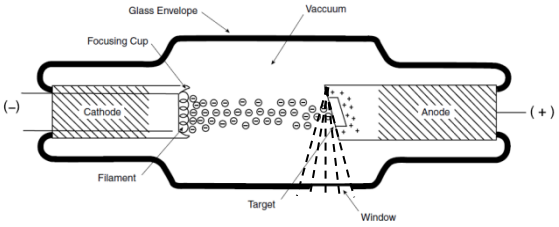
เพื่อใช้เป็นคู่มือสำหรับให้พนักงานเจ้าหน้าที่ศึกษาข้อมูลทางวิชาการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 2 เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางศึกษาวิจัย

2. ขอบเขต

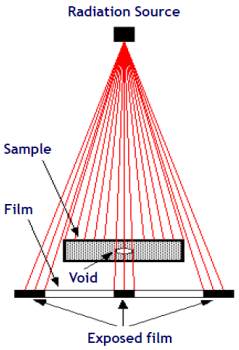
คู่มือฉบับนี้ครอบคลุมหลักการทำงาน ส่วนประกอบ ประเภท ลักษณะการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมประเภท 2 ในกระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเท่านั้น รวมถึงการถ่ายภาพรังสีเพื่อศึกษาวิจัย แต่ไม่รวมถึงการถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเร่งอนุภาคและการถ่ายภาพรังสีด้วยนิวตรอน

3. หลักการทำงาน/ส่วนประกอบ/ประเภท/ลักษณะการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย

3.1 หลักการทำงาน



รูปที่ 1 หลักการเกิดรังสีเอกซ์
ที่มา Charles HELLIER, 2003



รูปที่ 2 หลักการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย
ที่มา https://www.hse.gov.uk/pubns/irp1.pdf

รังสีเอกซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี เกิดจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (กระแส) เพื่อให้ความร้อนกับไส้หลอด (Filament) (ที่เป็นทังสเตน) เมื่อไส้หลอดได้รับความร้อนจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายให้ และเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่หลอดเอกซเรย์จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากระหว่างขั้วหลอดแคโทด (Cathode) (ขั้วลบ) และแอโนด (Anode) (ขั้วบวก) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงและวิ่งไปยังขั้วบวกและชนกับเป้า (Target) (ที่เป็นทังสเตน) เกิดอันตรกิริยามีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาเรียกว่า Characteristic X-ray ซึ่งใช้ในการถ่ายภาพรังสี

การนำรังสีเอกซ์มาใช้ถ่ายภาพรังสีซึ่งเป็นหลักการตรวจสอบแบบไม่ทำลายนั้น เป็นการใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่างๆ ถ่ายภาพวัตถุเพื่อดูองค์ประกอบภายใน หรือ ตรวจสอบความสมบูรณ์ของตัวอย่าง โดยใช้หลักการทะลุทะลวงของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ผ่านตัวอย่าง และประเมินความสมบูรณ์ของตัวอย่างจากฟิล์มรับภาพ หากตัวอย่างมีความสมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกัน ความเข้มหรือความดำของฟิล์มจะใกล้เคียงกัน แต่หากตัวอย่าง

มีข้อบกพร่อง เช่น ช่องโหว่ ฟิล์มรับภาพบริเวณนั้นจะเข้มหรือความดำกว่าบริเวณอื่น ความสามารถในการทะลุทะลวงวัตถุจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์หรือพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยความต่างศักย์มากจะสามารถทะลุทะลวงได้มากกว่าความต่างศักย์น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความหนาและความหนาแน่นของตัวอย่างด้วย

ตารางที่ 1 แสดงพลังงานของรังสีเอกซ์และวัสดุกัมมันตรังสีที่เหมาะสมกับการใช้ตรวจสอบเหล็กที่ความหนาต่างๆ

Thickness	X-Ray Energy Range	γ-Ray Source
≤ 5 mm	Up to 130 kV	Thulium 170
1 - 15 mm	Up to 230 kV	Ytterbium 169
10 - 40 mm	175 - 410 kV	Selenium 75
20 – 100 mm	275 kV – 4 MeV	Iridium 192
40 – 200 mm	410 kV – 4 MeV	Cobalt 60

ที่มา https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/ndt3.pdf

3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม
ที่มา https://www.alibaba.com/product-detail/Portable-Radiography-NDT-Equipment-For-Electricity_60546965326.html

(1) High voltage supply เป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า และถูกส่งเข้าสู่ X-ray generator ซึ่งจะมีตัวแปลงกำลังไฟฟ้า (Voltage transformer) ให้อยู่ในช่วงกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ก่อนส่งพลังงานให้กับหลอดเอกซเรย์

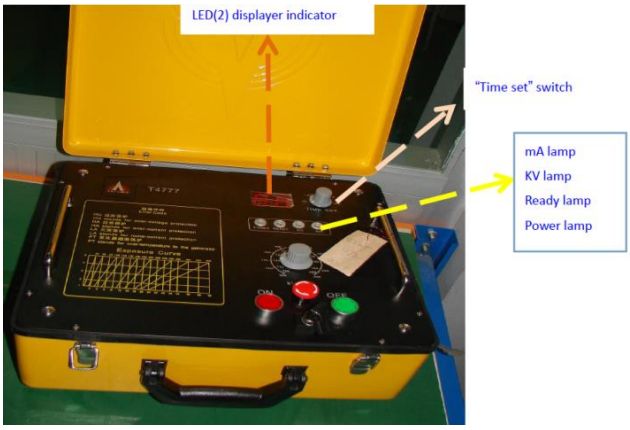
(2) หลอดเอกซเรย์ (X-ray tube) ประกอบด้วยหลอดแก้วสุญญากาศ (หรือเซอรามิก) ภายในบรรจุแคโทดและแอโนด โดยแคโทดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน แอโนดเป็นเป้าและปลดปล่อยรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะออกมาทางหน้าต่าง (Window) ของหลอดเอกซเรย์ (ตำแหน่งของแอโนด) ซึ่งหน้าต่างในงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมจะมี 2 ลักษณะคือ Directional exposures และ Panoramic (radial beam)

(3) แผงควบคุม (Control panel) ใช้ควบคุมการทำงานหรือการฉายรังสีของเครื่องเอกซเรย์ แผงควบคุมประกอบด้วย

- กุญแจ (Key switch) เป็นตัวควบคุมและป้องกันการใช้งานเครื่องโดยไม่ได้รับอนุญาต จะสามารถถอดออกได้เมื่อกุญแจอยู่ในตำแหน่ง “OFF” หรือ “Standby” เท่านั้น

- ตัวปรับเวลา (Timer) กำลัง (Voltage) และกระแส (Current) เป็นตัวกำหนดความเข้มของรังสีเอกซ์

- สัญลักษณ์บ่งชี้การฉายรังสี เช่น แสงไฟเตือนแสดงความพร้อม ไฟเตือนแสดงการฉายรังสีจริง หรือการแสดงตัวเลขของกำลังและกระแสที่ตั้งไว้เพื่อฉายรังสี



รูปที่ 4 แผงควบคุม (Control panel)
ที่มา Operation Manual of portable x-ray machine T4777 Model Console

(4) อุปกรณ์ประกอบอื่น เช่น สายเคเบิล (Cable), อุปกรณ์บังคับลำรังสี (Collimator), อุปกรณ์กรองรังสี (Beam filter)

– สายเคเบิล (Cable) ใช้เชื่อมต่อระหว่างหลอดเอกซเรย์และแผงควบคุม ความยาวของสายเคเบิลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ ดังนั้นสายเคเบิลที่ใช้งานควรเหมาะกับกำลังของเครื่องเอกซเรย์เพื่อลดระยะทางระหว่างผู้ปฏิบัติงานและหลอดเอกซเรย์ เช่น สายเคเบิลยาว 20 เมตร ใช้กับเครื่องเอกซเรย์กำลัง 300 kV โดยการใช้เครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีภาคสนาม จะต้องมีความยาวของสายเคเบิลสำหรับกำลังของเครื่องเอกซเรย์ [ARPANSA, p.4] ดังนี้

รูปที่ 5 สายเคเบิล (Cable)
ที่มา Operation Manual of portable x-ray machine T4777 Model Console

ตารางที่ 2 ความยาวของสายเคเบิลสำหรับเครื่องเอกซเรย์กำลังต่างๆ

กำลังสูงสุดของเครื่องเอกซเรย์ (kV)	ความยาวของสายเคเบิลที่เชื่อมต่อระหว่างหลอดเอกซเรย์และแผงควบคุม (เมตร)
100	อย่างน้อย 7
200	อย่างน้อย 10
250	อย่างน้อย 15
มากกว่า 250	อย่างน้อย 20

– อุปกรณ์บังคับลำรังสี (Collimator) ใช้เพื่อบังคับลำรังสีให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการฉาย ส่วนใหญ่จะใช้กับเครื่องเอกซเรย์ประเภท Directional radiography การใช้อุปกรณ์นี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์บังคับลำรังสี

– อุปกรณ์กรองรังสี (Beam filter) ควรจะประกอบอยู่ในเครื่องเอกซเรย์ด้วย เนื่องจากจะช่วยกรองรังสีให้เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการฉายรังสีและยังช่วยลดปริมาณรังสีกระเจิงได้ด้วยเช่นกัน เช่น อะลูมิเนียม 2 มิลลิเมตร + เบริลเลียม 1 มิลลิเมตร (Al 2 mm + Be 1 mm)

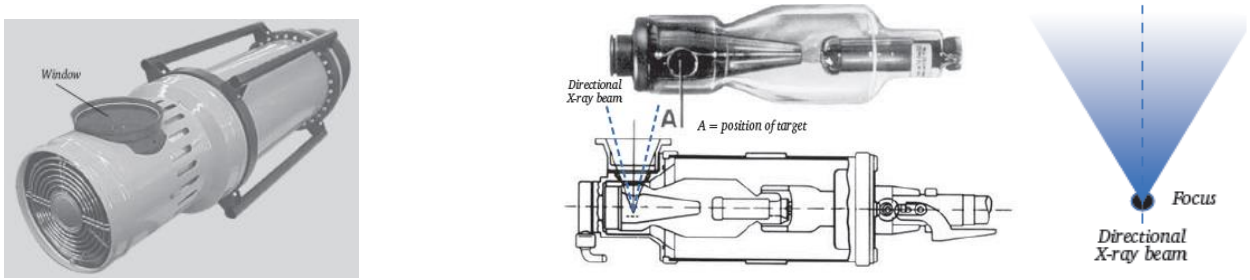
– อุปกรณ์สัญญาณไฟแสดงการฉายรังสี (Alarm lamp) จะเชื่อมต่อกับ X-ray generator เพื่อแสดงให้ทราบว่ากำลังฉายรังสี

รูปที่ 6 อุปกรณ์สัญญาณไฟแสดงการฉายรังสี (Alarm lamp)
ที่มา Operation Manual of portable x-ray machine T4777 Model Console

3.3 ประเภทของเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย

3.3.1 Directional X-ray เป็นเครื่องเอกซเรย์ชนิดที่มีหน้าต่าง (Window) เป็นช่องทางออกของลำรังสีเอกซ์โดยตรง โดยทั่วไปจะใช้ในงานตรวจสอบรอยร้าว รอยเชื่อม ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ซึ่งปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร สำหรับการใช้งานเครื่องเอกซเรย์กำลัง 250 kV 4 mA มีค่า 4 Sv/h

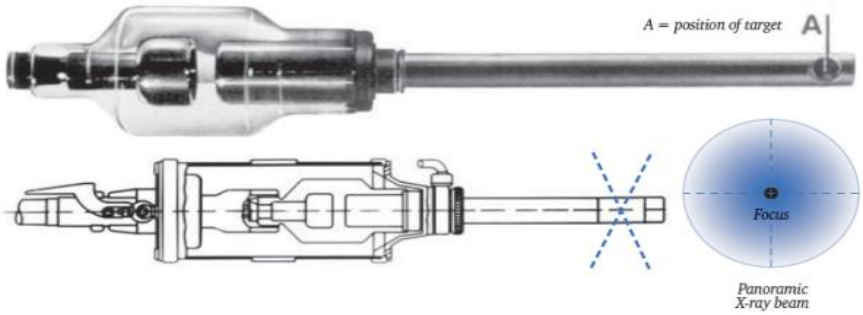
รูปที่ 7 ตัวอย่างเครื่องเอกซเรย์ชนิด Directional X-ray
ที่มา https://www.bakerhughesds.com/sites/g/files/cozyhq596/files/acquiadam_assets/industrial_radiography_image_forming_techniques_english_4.pdf



รูปที่ 8 ลักษณะของ window (ซ้าย) และแนวลำรังสีเอกซ์ของ Directional X-ray (ขวา)
ที่มา https://zhongyindt.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_th_TH.cordpanyb.4.b1227ea2UHUJmN

3.3.2 Panoramic X-ray เป็นเครื่องเอกซเรย์ที่มีหน้าต่างปลดปล่อยรังสีเอกซ์เป็นแบบรัศมี (Radial beam) และมีหน้าต่างฉายรังสีได้รอบ 360 องศา กล่าวคือ หากใช้เครื่อง Panoramic X-ray ถ่ายภาพรังสีรอยเชื่อมของท่อจะสามารถถ่ายภาพรังสีโดยรอบท่อได้ ข้อสังเกตความแตกต่างระหว่าง Directional X-ray และ Panoramic X-ray คือ เครื่องเอกซเรย์ชนิดนี้จะมีเส้นอ้างอิงหน้าต่างแผ่รังสี (Exposure window reference line) โดยทั่วไปจะใช้ในงานตรวจสอบรอยรั่ว รอยเชื่อม ของท่อ

รูปที่ 9 ตัวอย่างเครื่องเอกซเรย์ชนิด Panoramic X-ray
ที่มา https://www.bakerhughesds.com/sites/g/files/cozyhq596/files/acquiadam_assets/industrial_radiography_image_forming_techniques_english_4.pdf



รูปที่ 10 ลักษณะของแนวลำรังสีเอกซ์ของ Panoramic X-ray
ที่มา https://zhongyindt.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_th_TH.cordpanyb.4.b1227ea2UHUJmN

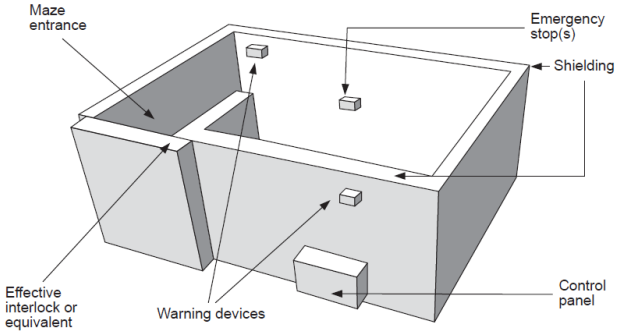
3.4 ลักษณะการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรรมและทางศึกษาวิจัย

3.4.1 ถ่ายภาพรังสีในห้องฉายรังสี (Radiography in shielded enclosure)

สำหรับเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและทางศึกษาวิจัย จะมีการใช้งานเครื่องอยู่ภายในห้องฉายรังสี ซึ่งเป็นห้องที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อกันรังสีจากการปฏิบัติงานถ่ายภาพรังสี มีการควบคุมการถ่ายภาพรังสีจากภายนอกห้อง โดยห้องฉายรังสีจะต้องมีระบบ อุปกรณ์ ด้านความปลอดภัยติดตั้งให้เหมาะสมเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี ดังแสดงในรูปที่ 11(1) 11(2) และ 11(3) และจัดเป็นพื้นที่ควบคุมซึ่งจะเข้าได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น โดยทั่วไปเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในห้องฉายรังสีจะเป็นชนิดติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed X-ray radiography) และเป็นได้ทั้ง Directional X-ray และ Panoramic X-ray

ในการปฏิบัติงานในแต่ละวันนั้น ก่อนการถ่ายภาพรังสีจะต้องมีการอุ่นเครื่องเอกซเรย์เพื่อให้พร้อมใช้งาน ในขั้นตอนนี้ควรปิดหน้าต่างของเครื่องฯ เพื่อลดปริมาณรังสีและป้องกันการกระแทกจากวัสดุต่างๆ และขณะที่กำลังอุ่นเครื่องให้สังเกตสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ที่แผงควบคุม ต้องมีการแสดงตัวเลข

kV, mA ที่ตั้งไว้, ไฟกระพริบเตรียมฉายรังสี, ไฟติดแสดงกำลังฉายรังสี และในขณะฉายรังสี ระบบความปลอดภัยของห้องฉายฯ ต้องมีสัญญาณเตือน เช่น ไฟแสดงสถานะการฉายรังสี เป็นต้น ซึ่งในการปฏิบัติงานถ่ายภาพรังสีในห้องฉายรังสีนั้น สามารถทำงานคนเดียวได้ เนื่องจากห้องฉายรังสีมีระบบควบคุมความปลอดภัยและผนังห้องสามารถกันรังสีได้ในตัวอยู่แล้ว



รูปที่ 11(1) ลักษณะของห้องถ่ายภาพรังสีชนิดปิด (Shielded enclosure) ห้องฉายรังสี
ที่มา IAEA (1999), Radiation protection and safety in industrial radiography

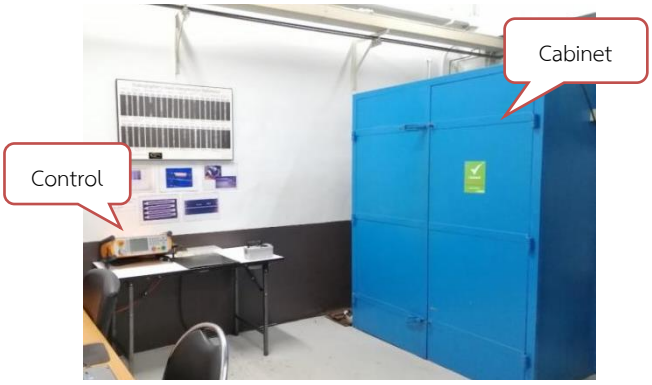
รูปที่ 11(2) ลักษณะห้องถ่ายภาพรังสี
ที่มา กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี ปี พ.ศ. 2562

รูปที่ 11(3) ลักษณะการติดตั้งใช้งานเครื่องเอกซเรย์ในห้องถ่ายภาพรังสี
ที่มา กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี ปี พ.ศ. 2562

บางครั้งมีการติดตั้งใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีในห้องหรือตู้ที่มีลักษณะปิดมิดชิด (Cabinet) ดังรูปที่ 12(3) ที่สามารถป้องกันรังสีได้ หรือติดตั้งโดยมีอุปกรณ์ยึดเครื่องให้อยู่นิ่ง เช่น ขาตั้ง (Stand) ดังรูปที่ 12(1) และ 12(2)

รูปที่ 12(1) เครื่อง X-Ray Research Radiography
ที่มา กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี ปี พ.ศ. 2561

รูปที่ 12(2) ลักษณะการติดตั้งใช้งานเครื่อง X-Ray Research Radiography ในตู้ปิดมิดชิด
ที่มา กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี ปี พ.ศ. 2561



รูปที่ 12(3) ลักษณะการปฏิบัติงานโดยควบคุมการฉายรังสีด้านนอกตู้ปิดมิดชิด
ที่มา กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี ปี พ.ศ. 2561

3.4.2 ถ่ายภาพรังสีภาคสนาม (Field radiography)

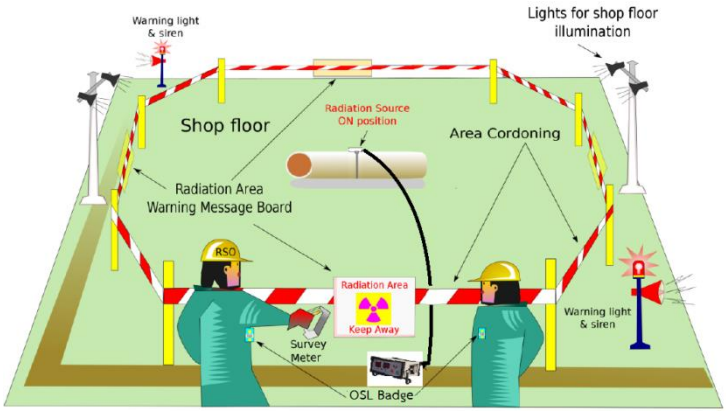
เป็นการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ถ่ายภาพรังสีโดยไม่มีห้องฉายรังสี กล่าวคือ เป็นการฉายรังสีในพื้นที่เปิด หากมาตรการความปลอดภัยไม่เหมาะสมอาจมีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานและประชาชนชนได้ ดังนั้นต้องมีมาตรการเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานอย่างเข้มข้น เช่น การกั้นพื้นที่เพื่อจำกัดขอบเขตการฉายรังสี หรือเรียกว่า พื้นที่ควบคุม (Controlled area) การติดตั้งระบบเสียงสัญญาณเมื่อฉายรังสี การควบคุมบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าเขตพื้นที่ปฏิบัติงาน การติดสัญลักษณ์เตือนทางรังสี เป็นต้น การใช้งานในลักษณะนี้ ผู้ปฏิบัติงานจะมีความเสี่ยงได้รับรังสีสูงหากไม่ดำเนินการตามขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เหมาะสม เนื่องจากไม่มีผนังกำบังรังสีเหมือนห้องฉายรังสี มีเพียงการกั้นขอบเขตโดยใช้ระยะทางและเวลาในการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นสองในสามปัจจัยหลักของ ALARA แต่บางครั้งการปฏิบัติงานถูกจำกัดด้วยพื้นที่แคบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีมาตรการเสริมเพื่อลดระดับรังสี

เช่น การใช้วัสดุกำบังรังสีบริเวณที่ควบคุมการฉายรังสี หรือใช้ Collimator เพื่อจำกัดลำรังสีให้แคบคงและสามารถลดปริมาณรังสีกระเจิงได้

การกั้นขอบเขตพื้นที่การฉายรังสีไม่ควรจะกว้างมาก เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเดินตรวจตราโดยรอบพื้นที่ควบคุมอย่างทั่วถึงและแน่ใจว่าไม่มีบุคคลไม่เกี่ยวข้องเข้าพื้นที่ได้ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระดับรังสีโดยรอบพื้นที่ควบคุมด้วย โดยต้องมีค่าไม่เกิน 25 uSv/h

ในการปฏิบัติงานจริงในภาคสนาม ก่อนทำการถ่ายภาพรังสีในแต่ละวัน จะต้องมีการอุ่นเครื่องเอกซเรย์เช่นเดียวกันกับการถ่ายภาพรังสีในห้องฉายฯ ซึ่งในขณะที่อุ่นเครื่องนี้ ผู้ปฏิบัติงานอาจทำการตรวจวัดรังสีเพื่อหาขอบเขตพื้นที่ควบคุม หรือ อาจวัดรังสีเมื่อทดลองถ่ายภาพรังสีในครั้งแรกก็ได้ หลังจากนั้นจึงกั้นพื้นที่เพื่อปฏิบัติงานต่อไป และต้องแน่ใจว่าเลือกใช้สายเคเบิลที่มีความยาวเหมาะสมกับกำลังของเครื่องฯ และต้องยืดตรง ไม่มีการพับหรืองอ เมื่อใช้งานเสร็จจะต้องมั่นใจว่าได้ปิดเครื่องเอกซเรย์แล้วจึงจะสามารถเข้าพื้นที่ควบคุมเพื่อเก็บเครื่องฯ ได้ (หมายเหตุ: ก่อนดำเนินการถ่ายภาพรังสี ผู้รับเหมาต้องติดต่อลูกค้าและแสดงหนังสือร้องขอ (Request form) ของลูกค้า พร้อมรายละเอียดการถ่ายภาพรังสี มาตรการป้องกันรังสีให้ลูกค้าทราบในวันก่อนปฏิบัติงานจริง เพื่อลูกค้าและผู้รับเหมาจะได้เตรียมพื้นที่สำหรับปฏิบัติงาน)

โดยทั่วไปเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ภาคสนามจะเป็นชนิดหิ้วได้ (Portable x-ray radiography) และเป็นได้ทั้ง Directional X-ray และ Panoramic X-ray และในการปฏิบัติงานจะมีผู้ปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 คน คือ ผู้ถ่ายภาพรังสีและผู้ช่วย



รูปที่ 13 ลักษณะการทำงานถ่ายภาพรังสีภาคสนาม
ที่มา https://www.aerb.gov.in/images/PDF/revised23Jul_IR-open-field-radiography-posterfinal.pdf

ในการตรวจสอบการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ภาคสนามนั้น ส่วนใหญ่หน่วยกำกับดูแลไม่ได้มีโอกาสไปตรวจสอบที่หน้างาน ดังนั้นต้องมีแนวทางการตรวจที่สามารถประเมินได้ว่ามีการปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย ซึ่งต้องมีการปฏิบัติงานตามคู่มือปฏิบัติงาน (Local rule) ที่ระบุไว้ในเงื่อนไขที่ได้รับอนุญาต ดังนั้น ในการตรวจประเมินความปลอดภัย ผู้ตรวจสอบต้องสอบถามขั้นตอนการทำงานตั้งแต่ก่อนฉายรังสีจนสิ้นสุดกระบวนการฉายรังสี ระยะทางที่กั้นขอบเขตการฉายรังสีเพื่อประเมินว่าเป็นระยะที่เหมาะสมหรือไม่ เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ และ

การจัดเก็บเครื่องเอกซเรย์เมื่อใช้งานเสร็จ รวมทั้งสอบถามบันทึกผลการตรวจวัดรังสีในขณะปฏิบัติงานภาคสนามด้วยเพื่อประเมินผลว่ามีการปฏิบัติงานเหมาะสมหรือไม่ หรือให้หน่วยงานสาธิตการปฏิบัติงานภาคสนามหากสามารถดำเนินการได้ โดยก่อนที่จะเข้าตรวจผู้ตรวจสอบต้องทบทวนคู่มือปฏิบัติงานของสถานประกอบการทุกครั้ง

การปฏิบัติงานภาคสนามให้เกิดความปลอดภัยควรมีการดำเนินการดังนี้

ก่อนทำการถ่ายภาพรังสี

- มีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องเอกซเรย์และอุปกรณ์ประกอบ
- มีการเตรียมอุปกรณ์ป้องกันรังสีให้พร้อมสำหรับปฏิบัติงาน เช่น ติด OSL และ Electronic alarm dosimeter / ตรวจสอบแบตเตอรี่ของ Survey meter / อุปกรณ์กรณีเกิดเหตุผิดปกติหรือเหตุฉุกเฉินทางรังสี
- มีการกั้นพื้นที่เพื่อจำกัดขอบเขตสำหรับถ่ายภาพรังสี / ป้ายสัญลักษณ์ทางรังสี / สัญญาณเตือนการฉายรังสี
- มีการควบคุมไม่ให้ผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าพื้นที่
- ทดลองตรวจวัดระดับรังสีโดยรอบขอบเขตการฉายรังสี ก่อนดำเนินการฉายรังสีจริง

ในระหว่างถ่ายภาพรังสี

- มีการใช้ Collimator เพื่อจำกัดขอบเขตลำรังสีและลดปริมาณรังสีกระเจิง
- มีการใช้ Shutter หรือ Beam stop ปิดหน้าต่างเครื่องเอกซเรย์ในระหว่างการอุ่นเครื่อง (Warm up) ก่อนใช้งาน
- มีการตรวจวัดรังสีโดยรอบขอบเขตการฉายรังสี ต้องไม่เกิน 25 uSv/h และควรวัดทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งถ่ายภาพรังสี
- มีการตรวจตราโดยรอบขอบเขตพื้นที่ฉายรังสีเพื่อป้องกันผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าพื้นที่ควบคุม

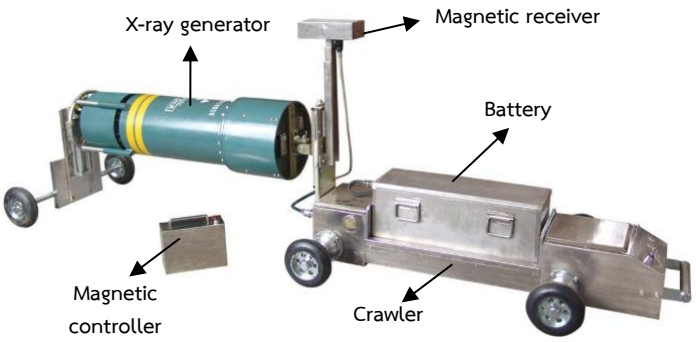
หลังถ่ายภาพรังสีเสร็จ

- มีการตรวจสอบสถานะการฉายรังสีที่แผงควบคุมก่อนที่จะเก็บหรือเคลื่อนย้ายครื่องเอกซเรย์ โดยควรอยู่ในตำแหน่ง Switched off เพื่อตัดแหล่งจ่ายไฟ จึงจะสามารถเก็บและเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่จัดเก็บได้

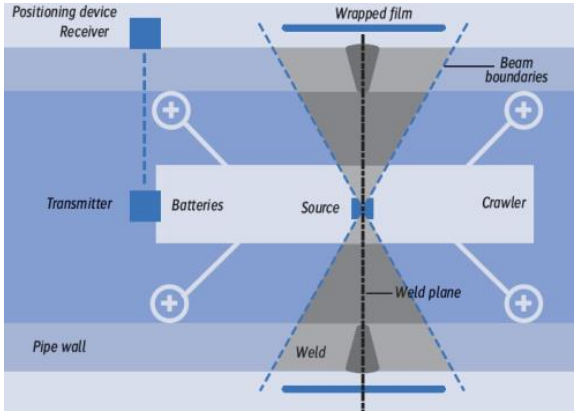
3.4.3 Pipe crawler

เป็นหนึ่งในลักษณะการใช้งานภาคสนาม แตกต่างที่การถ่ายภาพรังสีจะไม่ผูกยึดเครื่องเอกซเรย์ติดกับชิ้นงาน แต่เครื่องเอกซเรย์จะวิ่งในท่อแทน เนื่องจากมีการต่อเครื่องเอกซเรย์เข้ากับตัวบรรทุก (Carrier) ที่มีล้อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า Crawler โดยเครื่องเอกซเรย์จะวิ่งในท่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการฉายรังสี ซึ่งควบคุมการวิ่งโดยใช้ตัวควบคุมแม่เหล็ก (Magnetic controller) หรือวัสดุกัมมันตรังสี Cs-137 (ประมาณ 20 mCi) และจะมีการหน่วงเวลาฉายรังสี (Delay exposure) 10 วินาที เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่ถือตัวควบคุม มีเวลาเพียงพอที่จะเดินออกจากพื้นที่ฉายรังสี และเมื่อครบ 10 วินาทีแล้วจึงฉายรังสีอัตโนมัติ ในช่วงเวลา 10 วินาทีนี้ จะมีไฟกระพริบครั้งละ 1 วินาที หรือมีเสียงสัญญาณเตือนอัตโนมัติก่อนฉายรังสีจริง (หมายเหตุ: ก่อนทำการถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบรอย

เชื่อมของท่อ จะต้องใช้สายเคเบิลเชื่อมต่อเครื่องเอกซเรย์ แบตเตอรี่ และตัวรับสัญญาณ (Signal receiver) ให้เสร็จเรียบร้อยก่อนที่จะใส่อุปกรณ์ทั้งหมดเข้าไปในท่อเพื่อถ่ายภาพรังสีตามจุดที่มีการเชื่อม)



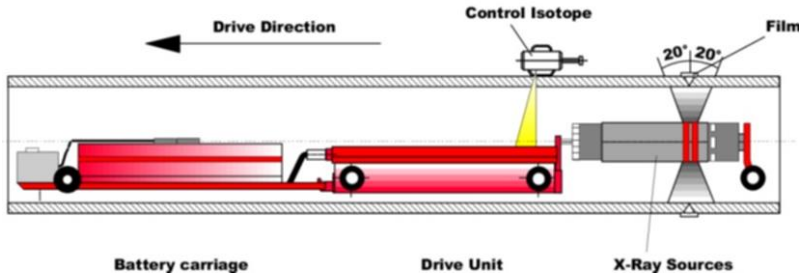
รูปที่ 14 ตัวอย่างองค์ประกอบงานถ่ายภาพรังสีที่มีลักษณะการใช้งานแบบ Pipe crawler
ที่มา https://1533779807.en.ecplaza.net/products/x-ray-pipeline-crawler_2275410



รูปที่ 15 ลักษณะการตรวจสอบรอยเชื่อมของเครื่องเอกซเรย์ที่มีลักษณะการใช้งานแบบ Pipe crawler
ที่มา https://zhongyindt.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_th_TH.cordpanyb.4.b1227ea2UHUJmN

การควบคุมการเคลื่อนที่ของ Crawler และการกำหนดตำแหน่งฉายรังสี จะใช้แม่เหล็กเป็นตัวควบคุม (Controller) และเป็นตัวส่งสัญญาณ ซึ่งมีตัวรับสัญญาณติดอยู่ที่ Crawler (บริษัทผู้ผลิตบางรายจะใช้ตัวส่งสัญญาณติดอยู่ที่ Crawler แทน) การกำหนดตำแหน่งฉายรังสีมีความสำคัญมาก เนื่องจากหากฉายได้ตรงจุดจะทำให้ไม่ต้องทำการฉายรังสีซ้ำ ลดการได้รับรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานโดยไม่จำเป็น สำหรับเครื่องเอกซเรย์บางเครื่องอาจใช้วัสดุกัมมันตรังสี Cs-137 ปริมาณความแรงรังสีต่ำ (ประมาณ 20 mCi) เป็นตัวกำหนดตำแหน่งฉายรังสี โดยการปลดปล่อยรังสี และมีตัวรับรังสีติดอยู่ที่ Crawler เช่นเดียวกัน และการถ่ายภาพรังสีในลักษณะนี้จะใช้เครื่องเอกซเรย์ประเภท Panoramic X-ray และใช้ฟิล์มเป็นตัวรับภาพ

ระบบความปลอดภัยที่ควรมีในการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ลักษณะนี้คือ เมื่อเกิดเหตุผิดปกติในขณะที่เครื่องกำลังทำงานจะต้องมีระบบปิดเครื่องอัตโนมัติเพื่อหยุดการฉายรังสี และมีระบบเสียงเตือนอัตโนมัติก่อนการฉายรังสี 10 วินาที ทั้งนี้เพื่อจะได้มีเวลาสำหรับผู้ปฏิบัติงานหรือมีเวลาเดินตรวจตราผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าพื้นที่ และจะต้องมีการเชื่อมต่อเครื่องเอกซเรย์ แบตเตอรี่ และตัวรับสัญญาณด้วยสายเคเบิลให้แน่นและถูกต้องด้วย โดยทั่วไปเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในงานลักษณะ Pipe crawler จะเป็นชนิดหิ้วได้ และเป็นชนิด Panoramic X-ray



รูปที่ 12 ลักษณะการทำงานถ่ายภาพรังสีที่มีการใช้งานลักษณะ Pipe crawler
ที่มา http://www.c-tec-ndt.de/Bild%20C200Schemaengl.jpg

ในการตรวจสอบการใช้งานเครื่องเอกซเรย์ในลักษณะ Pipe crawler นั้น ให้ตรวจสอบเช่นเดียวกันกับการถ่ายภาพรังสีภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

10.1 กฎกระทรวง ความปลอดภัยทางรังสี พ.ศ. 2561. (2561, 5 ตุลาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 135 ตอนที่ 79 ก.

10.2 ระเบียบคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ว่าด้วย วิธีการในการติดตั้งเครื่องกำเนิดรังสี พ.ศ. 2554. (2555, 26 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 129 ตอนพิเศษ 56 ง.

10.3 ระเบียบคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ว่าด้วย วิธีการจัดเก็บวัสดุพลอยได้ที่ขออนุญาตผลิตมีไว้ในครอบครองหรือใช้ พ.ศ. 2554. (2555, 26 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 129 ตอนพิเศษ 56 ง.

10.4 International Atomic Energy Agency (IAEA), Specific Safety Guide No.11 (SSG-11). (2011). Radiation Safety in Industrial Radiography. IAEA.

10.5 International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Report Series No.13 (SSG-11). (1999). Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography. IAEA.

10.6 International Atomic Energy Agency (IAEA), Tecdoc-1526. (2007). Inspection of Radiation Sources and Regulatory Enforcement. IAEA.

10.7 Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). (2018). Radiation Protection Series C-4. Code of Radiation Protection Requirements for Industrial Radiography. Commonwealth of Australia.

10.8 Health Canada. (2003). Safety Code 34. Radiation Protection and Safety for Industrial X-ray Equipment. Authority of the Minister of Health.

10.9 Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK). (2012). Radiation Safety Guides ST 5.6. Radiation Safety in Industrial Radiography. STUK Finland.

10.10 Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR), United Arab Emirates. Regulatory Guide FANR-RG-019. Radiation Safety in Industrial Radiography. https://www.fanr.gov.ae/en/Documents/FANR-RG-019_Radiation_Safety_in_Industrial_Radiography.pdf.

10.11 General Electric Company (GE) Inspection Technologies. (2008). Industrial Radiography Image forming techniques. https://www.bakerhughesds.com/sites/g/files/cozyhq596/files/acquiadam_assets/industrial_radiography_image_forming_techniques_english_4.pdf.

10.12 Atomic Energy Regulatory Board (AERB). (2016). AERB SAFETY CODE NO. AERB/RF-IR/SC-1 (Rev.1). Industrial Radiography. AERB Mumbai, India.

10.13 Charles HELLIER. (2003). Handbook of nondestructive evaluation. McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America.

10.14 American National Standard Institute (ANSI). (1974). N543. General Safety Standard for Installations Using Non-Medical X-Ray and Sealed Gamma-Ray Sources, Energies Up to 10 MeV. Washington, DC, USA.