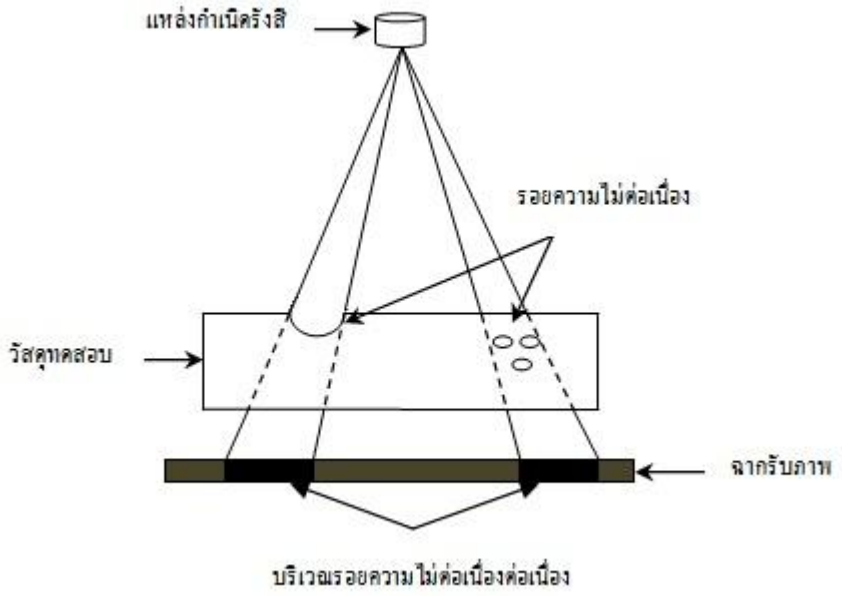
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นของรังสีเอกซเรย์ในการตรวจสอบถ่ายภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเบื้องต้นในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี [1]

การทดสอบภาพถ่ายด้วยรังสีเป็นการทดสอบโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่มีความถี่สูงจากต้นกำเนิดรังสี (Ray-Source) ผ่านชิ้นงานซึ่งอาจทำจากวัสดุชนิดต่างๆอาศัยหลักการการดูดซับ (Absorb) ดังรูปที่ 2.1 พลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุหรือการที่วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่น มีร่อยความไม่ต่อเนื่อง (Defect) ภายในชิ้นงานก็จะส่งผลให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องได้มากกว่าและทำปฏิกิริยากับฉากรับภาพแบบดิจิทัลมากกว่า ดังนั้นภาพที่ได้จะมีสีที่เข้มกว่าบริเวณอื่น ฉะนั้นในการถ่ายภาพด้วยรังสีจึงเป็นการแปลผลเงาของภาพจากชิ้นงาน (Shadow Picture) ที่ปรากฏอยู่บนภาพถ่าย โดยหลักการเบื้องต้นของการถ่ายภาพด้วยรังสีจะประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญคือ ต้นกำเนิดรังสีซึ่งอาจเป็นได้ทั้งรังสีแกมมา (γ-Ray) หรือรังสีเอกซ์ (X - Ray) ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบและฉากรับภาพ



รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของการทดสอบการถ่ายภาพด้วยรังสี

2.1.1 รังสีเอกซเรย์ [2]

รังสีเอกซเรย์ (X-Ray) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1895 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ เรินต์เกน ได้พบรังสีด้วยความบังเอิญ ในขณะที่ทำการทดลองเกี่ยวกับรังสีคาโทดในห้องมืด เขาสังเกตแร่แบเรียมแพลทิโนไซยาไนด์เกิดเรืองแสงขึ้น ทำให้คิดว่าจะต้องมีรังสีบางอย่างออกจากหลอดรังสีแคโทดซึ่งสามารถทะลุผ่านผนังของหลอดคาโทดไปกระทบแร่แบเรียม เรินต์เกนบันทึกรังสีชนิดนี้ว่า รังสีเอกซเรย์ เนื่องจากรังสียังระบุประเภทไม่ได้ ต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลากหลายคนศึกษาและทดลองเกี่ยวกับรังสีชนิดนี้มากขึ้นและได้สรุปคุณสมบัติของรังสีเอกซเรย์ได้ดังนี้

1) รังสีเอกซเรย์เป็นทั้งคลื่นและอนุภาค สาเหตุที่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นเพราะมี การสะท้อน การหักเหการแทรกสอดและการเลี้ยวเบน และมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคเพราะมีโมเมนตัมเหมือนอนุภาคทั่วไป

2) รังสีเอกซเรย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่สามารถที่จะถูกเบี่ยงเบนโดยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้ โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 1.3×10^{-11} ถึง 4.8×10^{-11} เมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากมนุษย์สามารถมองเห็นความยาวคลื่นในช่วง 3.8×10^{-7} ถึง 7.8×10^{-7} เมตร

3) รังสีเอกซ์ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมาก เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือมีค่า 3×10^{8} m/s ในสุญญากาศ

4) รังสีเอกซ์สามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่หนาจนเกินไปและมีความหนาแน่นน้อยๆได้ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ แต่ถ้าผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ๆ เช่น แพลตินัม ตะกั่ว กระดูก อำนาจในการทะลุทะลวงจะค่าลดน้อยลง

5) รังสีเอกซ์สามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นอิออนได้

6) รังสีเอกซ์สามารถทำให้ผลึกบางชนิดเรืองแสงและแสงที่เรืองออกมาสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้

7) รังสีเอกซ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เช่นเมื่อรังสีเอกซ์ไปถูกฟิลม์ถ่ายรูปจะทำให้ฟิลม์ดำ จึงนำผลอันนี้มาใช้ในการถ่ายภาพบนฟิลม์เอกซ์เรย์

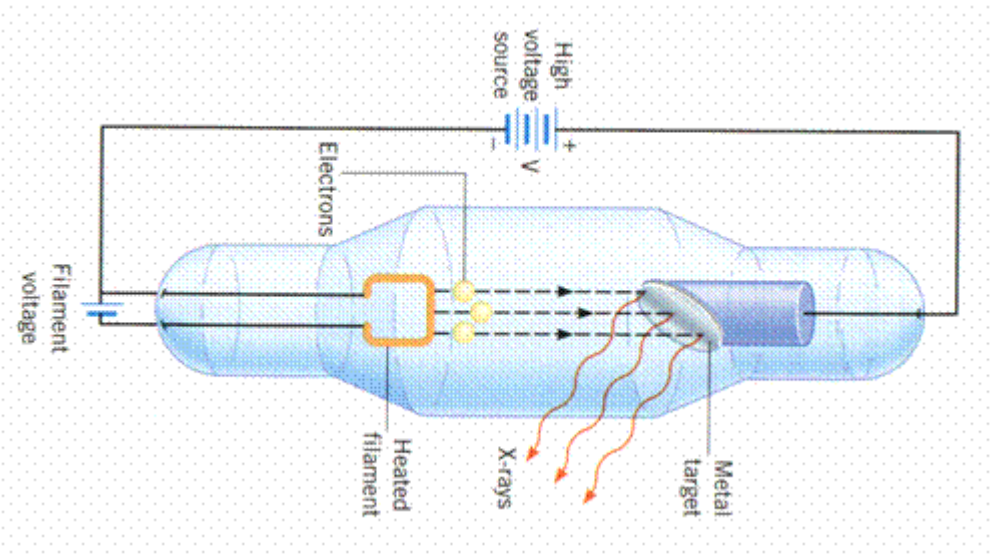
2.1.2 หลอดรังสีเอกซเรย์ [2]

หลอดเอกซเรย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเอกซเรย์เพราะมีหน้าที่ให้กำเนิดรังสีเอกซเรย์ ในการทำงานของหลอดอาศัยหลักการ Thermionic Emission คือ การเผาไส้หลอดเอกซเรย์ (ขั้วลบ Cathode) ให้ร้อน ส่งผลให้มีอิเลคตรอนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากที่บริเวณไส้หลอดเอกซเรย์ และเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่หลอดเอกซเรย์อิเลคตรอนจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูง เข้าไปชนในส่วนที่เป็นเป้าโลหะ

(ขั้วบวก Anode) ทีผลิตจากโลหะที่มีเลขอะตอมสูง เมื่ออิเลคตรอนไปชนอะตอมของโลหะที่เป็นเป้า ทำให้เกิดรังสีเอกซเรย์ขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งชนิดหลอดเอกซเรย์ตามลักษณะของจานขั้วบวกได้ 2 แบบ

Stationary Anode เป็นหลอดเอกซเรย์ชนิดขั้วบวกอยู่กับที่ ใช้กับเครื่องที่มีกำลังไม่สูงมากนัก เช่น เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ (Mobile หรือ Portable Unit) ที่มีขนาดกำลังประมาณ 50 mA

Rotating Anode เป็นหลอดเอกซเรย์ชนิดขั้วบวกเป็นจานหมุน เพื่อช่วยในการระบายความร้อนทำให้สามารถทนกระแส (mA.) ที่ใช้ผ่านหลอดเอกซเรย์ได้สูงกว่าแบบ Stationary Anode เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (General Purpose X-ray Machine) รวมทั้งเครื่องเอกซเรย์ชนิดพิเศษแบบต่างๆ เช่น Digital Subtraction Angiography (DSA), Computer Radiography (CR), Angiogram, เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 หลอดรังสีเอกซเรย์ [2]

ภายในหลอดรังสีเอกซเรย์ มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1) หลอดแก้วที่ทำจากแก้วไพเรกซ์ ภายในของหลอดจะเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันไม่ได้อิเล็กตรอนที่เร่งออกมาเข้าปะทะกับอากาศ ถ้าอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งออกมานั้นปะทะถูกอากาศจะเกิดการเสียดทานและสูญเสียพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนตัวนั้น

2) ขั้วลบประกอบด้วย ลวดทังสเตนซึ่งถูกเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้า ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมของลวดได้รับพลังงานมากเพียงพอจึงถูกปลดปล่อยออกมาจากขั้วลบ โดยปริมาณรังสีเอกซเรย์จะขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา

3) ขั้วบวกเป็นเป้าประกอบด้วย แผ่นโลหะทังสเตนหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร การที่เลือกใช้ทังสเตนเป็นเป้าเพราะโลหะทังสเตนมีเลขอะตอมสูง (Z=74) ทำให้ประสิทธิ ภาพการเกิดรังสีเอกซเรย์มีค่าสูง ทั้งนี้เพราะกำลังของรังสีจะแปรผันตรงกับเลขอะตอม และนอกจากนี้ทังสเตนมีจุดหลอมเหลวสูงคือ 3370^0C จึงทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีและยังมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและคายความร้อนดี

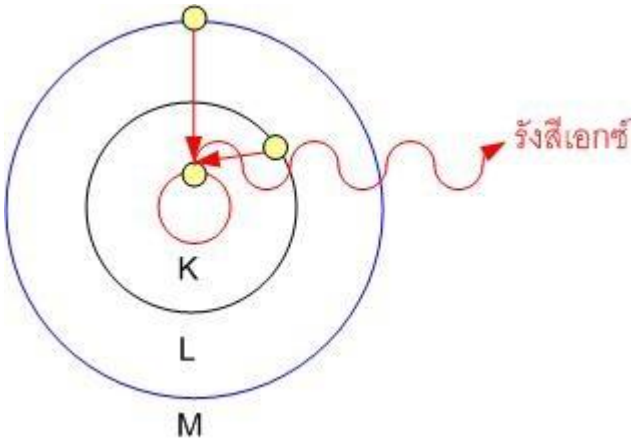
จากรูปที่ 2.2 รังสีเอกซ์เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน เมื่อขั้วลบถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ V_0 อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วลบ จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์จาก V ที่มีค่าสูงวิ่งเข้าชนเป้าโลหะ เมื่ออิเล็กตรอนชนเป้าโลหะจะถูกหยุดไว้ที่เป้าขั้วบวกส่งผลทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวสูญเสียพลังงานจลน์ ซึ่งพลังงานจลน์ที่สูญเสียไปนั้นจะเกิดการเปลี่ยนเป็นรังสีเอกซเรย์ขึ้นมา

2.1.3 ชนิดของรังสีเอกซเรย์ [2]

ภายในหลอดรังสีเอกซเรย์มีการเร่งอิเล็กตรอนไปชนเป้าทังสแตนโดยพลังงานจลน์จะถูกเปลี่ยนเป็นรังสีเอกซเรย์ สามารถแบ่งชนิดของรังสีเอกซเรย์ได้ 2 ชนิดดังนี้

2.1.3.1 รังสีเอกซเรย์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic x – rays)

จากรูปที่ 2.3 อิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์เข้าชนอิเล็กตรอนชั้นของ K อย่างรุนแรงส่งผลให้อะตอมชั้น K หลุดออก เมื่อชั้น K มีช่องว่างส่งผลให้อิเล็กตรอนชั้นต่างๆเคลื่อนเข้ามาแทนอิเล็กตรอนที่หลุดออกไป ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนั้นจะมีพลังงานในการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานนั้นจะทำให้เกิดสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนเป้าทังสเตน ทำให้เกิดการชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรในของเป้า ถ้าพลังงานของอิเล็กตรอนตัวที่วิ่งชนนั้นมีพลังงานที่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรในของเป้า ก็จะสามารถทำให้อิเล็กตรอนวงนั้นหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนจากวงโคจรอื่นที่อยู่ห่างจากนิวเคลียสมากกว่าจะวิ่งเข้าไปแทนที่พร้อมทั้งคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซเรย์ลักษณะเฉพาะ



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซเรย์ลักษณะเฉพาะ [2]

ถ้าพิจารณาถึงการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในชั้น L ไปชั้น K จะมีการคายพลังงานเป็นโฟตอนของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะเส้น K_L คือ

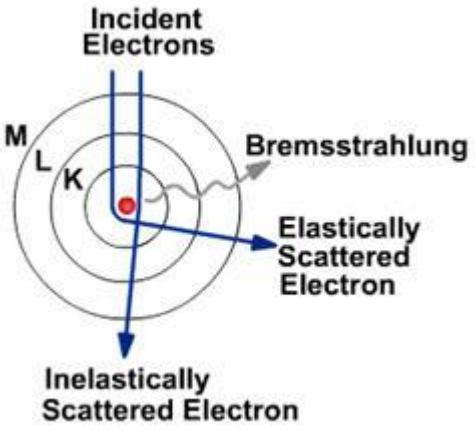
$$E_L - E_K = hf_{KL} = hC / \lambda_{KL}$$

$$E = hC / \lambda \quad (2.1)$$

โดยที่ E คือ พลังงานของรังสี (eV)
f คือ ความถี่ (C / λ)
λ คือ ความยาวคลื่น
C คือ ความเร็วแสง (3×10^8 เมตร/วินาที)
h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ (Plamck Constant)
มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} J•s 4.14×10^{-15} eV•s

2.1.3.2 รังสีเอกซเรย์จากการถูกหน่วง (Bremsstrahlung)

รังสีเอกซเรย์ชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนที่มีค่าพลังงานสูง วิ่งด้วยความเร็วเข้าใกล้นิวเคลียสซึ่งมีประจุบวกทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนทิศทาง หรือมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในลักษณะที่พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนลดลง เป็นเหตุให้มีการแผ่พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน เป็นรังสีเอกซเรย์จากการถูกหน่วง (Bremsstrahlung) ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดรังสีเอกซเรย์จากการถูกหน่วง [2]

เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนที่ชนเป้ามีมากมายและแต่ละตัวสูญเสียพลังงานค่าต่าง ๆ กัน ดังนั้นรังสีเอกซเรย์ที่แผ่ออกมาจะมีสเปกตรัมต่อเนื่อง ส่วนอะตอมของเป้าที่จะรับพลังงานบางส่วนเข้าไปทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ผลก็คือโลหะที่เป็นเป้าร้อนขึ้น อิเล็กตรอนบางตัวอาจชนกับอะตอมของเป้าโดยตรงและหยุดลง ในกรณีนี้พลังงานจลน์ทั้งหมดของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในรูปของรังสีเอกซเรย์ที่มีความถี่ สูงสุด จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะเห็นว่า รังสีเอกซเรย์ที่มีความถี่สูงสุดจะมีพลังงานสูงสุดเท่ากับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนนั้นได้จากการเร่งด้วยความต่างศักย์ V ดังนั้น

$$E_k = hV_{max} = Ev$$

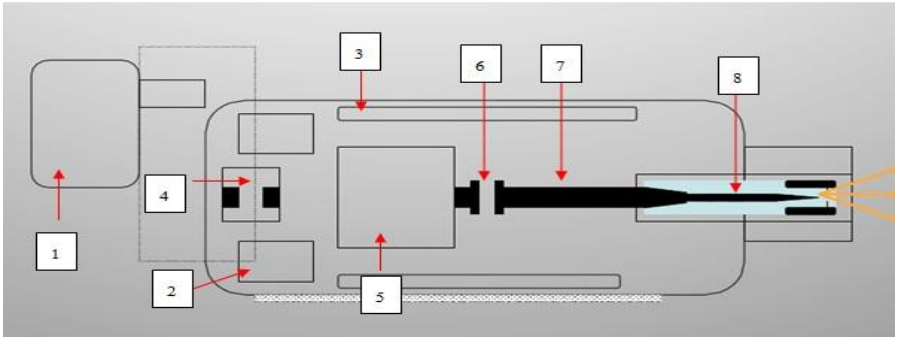
โดยที่

$$V_{max} = c / \lambda_{min}$$

$$hc / \lambda_{min} = eV$$

$$\lambda_{min} = hc / eV \qquad (2.2)$$

2.1.4 เครื่องฉายเอกซเรย์แบบพัลส์



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ภายในของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ รุ่น XRS-4 [3]

จากรูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์ภายในของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ของรุ่น XRS-4 ซึ่งภายในเครื่องฉายรังสีนี้มีอุปกรณ์มากมายโดยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) พลังงานจากแบตเตอรี่มีแรงดันประมาณ 14.4 - 18 โวลต์ ส่งกำลังไฟเข้าสู่ตัวเครื่องฉายเอกซเรย์แบบพัลส์เพื่อส่งผ่านไปยังตัวแปลง

2) ตัวแปลงไฟขนาดเล็กจะทำหน้าที่แปลงแรงดันของแบตเตอรี่จาก 14.4 - 18 โวลต์ ให้มีค่าสูงขึ้นถึง 9,000 - 10,000 โวลต์

3) หลังจากการแปลงแรงดันให้สูงขึ้นจะถูกส่งมายังตัวเก็บประจุ โดยมีหน้าที่เก็บและปล่อยพลังงาน

4) สปาร์คแกป ทำหน้าที่ปล่อยพลังงานผ่านช่องเพื่อเพิ่มระดับพลังงานให้สูงขึ้น และส่งพลังงานเข้าสู่ตัวแปลงขั้นที่สอง

5) ตัวแปลงขั้นที่สองจะทำการแปลงค่าโวลต์ที่ได้รับจากสปาร์คแกปให้ค่าโวลต์มีค่าสูงขึ้นจาก 9,000 - 10,000 โวลต์ เป็น 270,000 -370,000 โวลต์

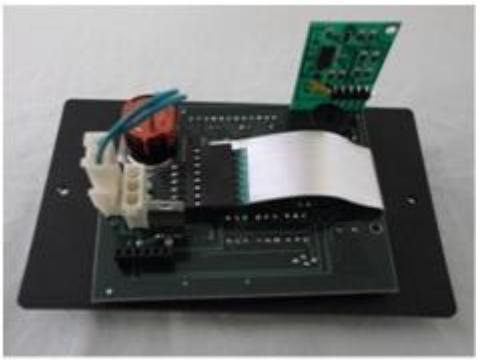
6) สปาร์คแกปขั้นที่สอง ทำหน้าที่รับค่าพลังงานที่แปลงจากตัวแปลงขั้นที่สองมาและปล่อยพลังงาน 270,000 - 370,000 โวลต์ เข้าสู่หลอดฉายรังสีเอกซเรย์

7) หลอดเอกซเรย์รับพลังงานสูงเข้าสู่ภายในหลอดแล้วทำการปล่อยพลังงานสูงไปยังเป้าทังสเตนเพื่อให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าอย่างแรงส่งผลให้รังสีเอกซเรย์ที่ถูกปลดปล่อยออกมามีค่าพลังงานที่สูง

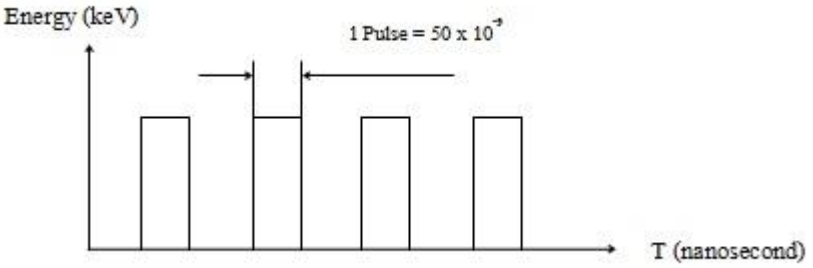
8) เมื่อทำการปล่อยพลังงานที่สูงชนเป้าทังสแตนแล้วนั้นจะเกิดรังสีเอกซเรย์ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกทางด้านหน้าซึ่งมีช่องว่างมีขนาด 3 มิลลิเมตร

2.1.4.1 ลักษณะเฉพาะของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์

โดยตัวเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์ ได้มีการควบคุมค่าพลังงานและกระแสไฟ แต่สามารถกำหนดจำนวนพัลล์ในการฉายรังสีออกไปได้เพียงอย่างเดียว ซึ่งในการปล่อยจำนวนพัลล์แต่ละครั้งจะถูกควบคุมด้วยบอร์ดควบคุม ดังรูปที่ 2.6 บอร์ดมีหน้าที่ปล่อยพัลล์ตามที่ได้กำหนดจำนวนพัลล์ ในการเปิดหนึ่งครั้งพลังงานจะถูกส่งเข้ากระบวนการแปลงโวลท์ให้สูงขึ้นและส่งเข้าหลอดรังสีเอกซเรย์และปล่อยรังสีออกมาก ซึ่งกระบวนการนี้เกิดการขึ้นด้วยความรวดเร็วมาก โดยในการเปิดหนึ่งครั้งจะปล่อยพลังงานในรูปแบบพัลล์ออกมาหนึ่งพัลล์ที่มีความยาวอยู่ที่ 50 นาโนวินาที ดังรูปที่ 2.7 โดยเฉลี่ยตัวเครื่องสามารถปล่อยพัลล์ได้ 15-25 พัลล์ต่อหนึ่งวินาที

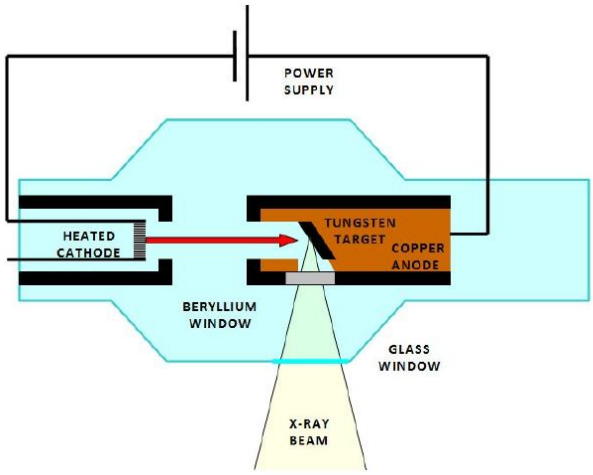


รูปที่ 2.6 บอร์ดควบคุมการปล่อยพัลล์ [3]



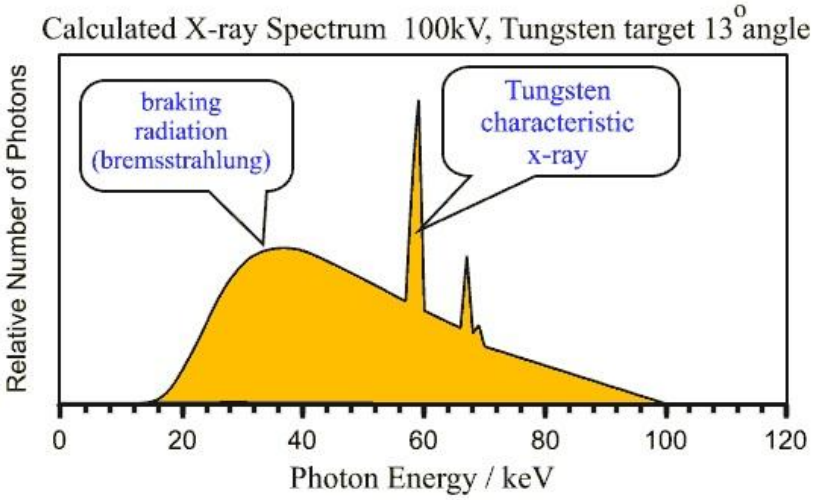
รูปที่ 2.7 ช่วงจังหวะการฉายเอกซเรย์พัลล์

2.1.5 เครื่องฉายเอกซเรย์แบบทั่วไป



รูปที่ 2.8 หลอดเอกซเรย์ของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป [3]

จากรูปที่ 2.8 หลักการในการฉายรังสีเอกซเรย์เกิดขึ้นภายในหลอดที่เป็นแบบสูญญากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานในการชนกับอะตอมของอากาศ กระบวนการเกิดขึ้นจากการให้พลังงานไฟฟ้าทำให้ขดลวดร้อนขึ้นทำให้อิเล็กตรอนของลวดนั้นพุ่งไปชนกับเป้าทังสเตน เมื่ออิเล็กตรอนชนกับเป้าทังสเตนทำให้อิเล็กตรอนของเป้าทังสเตนเกิดการเคลื่อนย้ายและคายรังสีเอกซเรย์ออกมา ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป [4]

2.1.6 หลักการเกิดภาพในการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์

หลักการเกิดภาพในการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเกิดภาพบนฟิล์ม และ การเกิดภาพแบบดิจิทัล โดยภาพแบบดิจิทัลจะประกอบด้วย แผ่นรับภาพแบบตัวตรวจจับ (Direct Digital Radiography: DR) และ แผ่นรับภาพแบบอิเมจเพลท (Computer Radiography: CR)

2.1.6.1 หลักการเกิดภาพบนฟิล์ม (Latent image formation) [5]

ภาพแฝง (Latent Image) เป็นภาพที่มองไม่เห็นบนฟิล์มเอกซเรย์เกิดขึ้นหลังจากที่ฟิล์มได้รับรังสีเอกซเรย์หรือแสง และยังไม่ผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ผลึกเงินโบรไมน์ (Silver Bromine) จะเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อได้รับปริมาณรังสีเอกซเรย์หรือแสงที่เพียงพอ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านน้ำยาสร้างภาพในกระบวนการล้างฟิล์ม อย่างไรก็ตามถ้าต้องการให้มีจำนวนอิเล็กตรอนที่ได้จากโบรไมด์อิออนมีมากเพียงพอปริมาณรังสีจะต้องมากเป็นพันล้านเท่า กระบวนการล้างฟิล์มเป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อขจัดโมเลกุลของซิลเวอร์โบรไมด์ (Silver Bromine, AgBr) ที่ไม่ได้รับรังสีออกจากชั้นอิมัลชัน ผลสุดท้ายจะได้ภาพที่มีพื้นที่ที่ได้รับรังสีเป็นสีดำและเทา ส่วนพื้นที่ที่ไม่ได้รับรังสีจะใส ทำให้เราสามารถมองเห็นเป็นภาพได้ถ้าทิ้งฟิล์มไว้ในที่ที่มีแสงสว่าง ฟิล์มจะกลายสภาพเป็นสีดำในที่สุด โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฟิล์มจะมีสีดำทั่วทั้งแผ่นและไม่มีภาพที่จะมองเห็นได้ สารเคมีในน้ำยาสร้างภาพทำหน้าที่ปล่อยอนุภาคอิเล็กตรอนเพื่อทำให้ประจุอิออนเงิน (Ag+) ในอิมัลชันเป็นกลางทางประจุจึงช่วยเร่งกระบวนการนี้ให้เกิดกับฟิล์มให้เร็วขึ้นอย่างมากโดยต้องการปริมาณรังสีลดลง

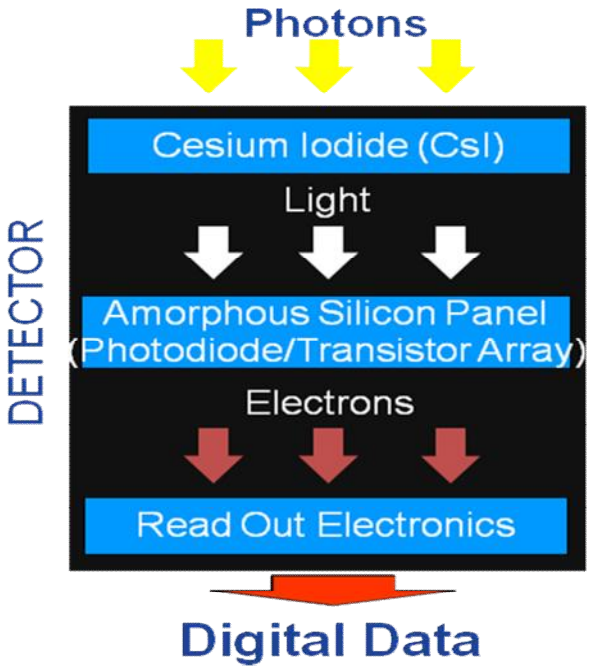
2.1.6.2 หลักการเกิดภาพแบบดิจิทัล

2.1.6.2.1 เอกซเรย์ดิจิตอลแบบ DR (Digital Radiography) [6]

ระบบนี้ไม่ต้องมีแผ่นรับภาพแบบอิมเมจเพท แต่ออกแบบให้มี เซ็นเซอร์(Sensor) หรือ เครื่องตัวจับ (Detector) เป็นแผ่นขนาดใหญ่ เรียกว่า แผ่นตรวจจับ (Flat Panel Detector) แทนถาดรับฟิล์มเลย ซึ่งแผ่นตรวจจับเหล่านี้เมื่อได้รับรังสีจะแปลงพลังงานรังสีไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยตรง จากนั้นจะส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าเครื่องประมวลผลภาพ ได้ภาพออกมาทันทีภายในเวลาไม่กี่วินาที โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อ่านข้อมูล (Reader) แบบ CR ซึ่งระบบนี้เป็นระบบใหม่ล่าสุด เรียกว่า Direct Digital Radiography (DDR) ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องจตัวจับ ชนิด a-Se TFT หรือ Amorphous Selenium Thin Film Transistors นอกจากนี้แล้ว ยังมีอีกระบบที่ เรียกว่า Indirect Digital Radiography (IDR) ซึ่งจะใช้ Detector ที่มีตัวเรืองแสงประเภท ซีเซียมไอโอไดด์ (Cesium Iodide ,(CsI(Tl))) ที่กระตุ้นโดยทอเรียม

เพื่อให้มีความไวในการรับรังสี วางไว้ก่อนชั้น TFT เมื่อได้รับรังสีชั้นของซีเซียมไอโอไดด์จะเกิดปฏิกิริยาเรืองแสงขึ้น และมี โฟโตรไดโอด (Photodiode) คอยรับความเข้มแสงที่เกิดจากการเรืองแสงของผลึกซีเซียมไอโอไดด์ จากนั้นโฟโตรไดโอดจะทำการส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลภาพต่อไป สำหรับตัวตรวจจับของเครื่อง DR ทั้งแบบ DDR และ IDR จะประกอบด้วยจำนวนเซ็นเซอร์เล็กๆ ที่ถูกติดตั้งไว้เต็มทั่วทั้งแผ่นฉากรับภาพ ซึ่งแต่ละจุดจะมีขนาดของพิกเซลที่มีขนาดเล็กมากประมาณ 50-300 Micron

ในหลักการทำงานของฉากรับรังสี ในชั้นของซีเซียมไอโอไดร เมื่อได้รับรังสีเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านจากชิ้นงานมาจะทำการแปลงรังสีเอกซเรย์ จะทำให้เกิดการเรืองแสงและจะส่งผ่านเข้าสู่ชั้นของแผ่นอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Panel) ในชั้นนี้จะมีหน้าที่ดูดซับแสงที่ถูกส่งผ่านแล้วทำการแปลงแสงให้อยู่ในรูปแบบอิเล็กตรอน และส่งอิเล็กตรอนเข้าชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะทำการแปลงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปภาพโดยจะแสดงเป็นภาพสีเทา (Grayscale Image) ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลดาต้าที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.10

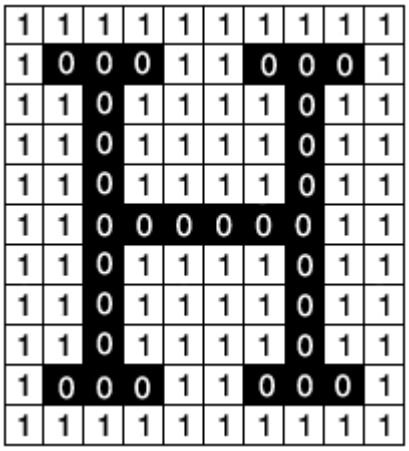


รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของฉากรับรังสีแบบดิจิทัล [6]

2.1.6.2.2 ภาพแบบดิจิทัล (Digital Image) [7]

ภาพดิจิทัลนั้นจะมีส่วนประกอบ ได้แก่ ความละเอียดในการแสดงผลของภาพ (Resolution), มิติของพิกเซล (Pixel Dimension), ความลึกของสี (Bit Depth), ภาพสีเทา (Grayscale Image)

ภาพแบบดิจิทัล หมายถึง การจับภาพจากสิ่งแวดล้อม หรือ ทำสำเนาภาพจากเอกสารให้อยู่ในรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ เช่น รูปถ่าย เอกสารที่เขียนด้วยมือ เอกสารพิมพ์ และพิมพ์เขียว เป็นต้น โดยดิจิทัลอิมเมจจะอยู่ในรูปของแผ่นตารางโดยแต่ละช่องจะเป็นส่วนหนึ่งของภาพหรืออักษร เรียกแต่ละจุดหรือช่องนั้นว่า พิกเซล (Pixel) ซึ่งในแต่ละพิกเซลจะถูกกำหนดให้มีระดับของความเข้ม (สีดำ สีขาว สีเทาหรือสีอื่นๆ) ซึ่งแสดงให้อยู่ในรูปของ รหัส เลขฐานสอง (Binary) จะมีตัวเลข 0 และ 1 ซึ่งในแต่ละพิกเซลก็จะแทนด้วย เลขโดดฐานสอง (Binary Digital, Bits) จะถูกเก็บอย่างเป็นลำดับในคอมพิวเตอร์และ โดยทั่วไปจะถูกลดขนาดลงด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์จะทำการบีบอัดให้มีขนาดที่เล็กลง ในแต่ละบิตจะถูกแปลและอ่านโดยคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนาล็อก ซึ่งจะเป็นรูปภาพหรือ แผ่นพิมพ์ ดังรูปที่ 2.11 เป็นภาพแบบ 2 สี ที่แสดงให้เห็นว่าแต่ละพิกเซลจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 แสดงเป็นสีดำ และ 1 แสดงเป็นสีขาว



รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งสีของแต่ละพิกเซลของภาพดิจิทัล [7]

ความละเอียดในการแสดงผลของภาพ (Resolution) เป็นความสามารถในการปรับระยะการแสดงความละเอียดของภาพดิจิทัลระยะห่างของความถี่ในการแสดงภาพ (ความถี่ในการทำ Sampling) จะถูกระบุในรูปของความละเอียดในการแสดงผลของภาพ ซึ่งหมายถึง จุดต่อนิ้ว (Dot Per Inch: DPI) หรือ พิกเซลต่อนิ้ว (Pixels Per Inch: PPI) เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกหรือบ่งบอกว่ามีการแสดงภาพอยู่ที่ระดับ ความละเอียดในการแสดงผลของภาพ ที่เท่าไร แต่อยู่ในขอบเขตจำกัด การเพิ่ม ความถี่ในการ Sampling ก็เป็นการเพิ่มความละเอียดในการแสดงผลของภาพ ด้วยเช่นกัน

มิติของพิกเซล (Pixel Dimension) เป็นการวัดขนาดทั้งในทางแนวนอนและแนวตั้งของภาพที่ปรากฏเป็นพิกเซล ซึ่งบางครั้งอาจจะถูกกำหนดในรูปของความกว้างและความสูงโดยบอกเป็นจุดต่อนิ้ว สำหรับกล้องดิจิทัลก็มีมิติของพิกเซลเหมือนกัน การระบุจำนวนพิกเซลแนวตั้งและแนวนอนเสมือนเป็นการระบุ ความละเอียดในการแสดงผลของภาพด้วย ตัวอย่างเช่น ขนาดของภาพ 4”x 6” ที่ 100 จุดต่อนิ้ว ดังนั้นความละเอียดในการแสดงภาพอยู่ที่ 400 x 600 พิเซล

ความลึกของสี (Bit Depth) คือ การกำหนดตัวเลขจำนวนของบิต ที่ใช้ระบุแต่ละพิกเซล ค่าบิต ยิ่งมากก็จะมีลำดับชั้นสีมากเช่นกัน ในการใช้แสดงภาพ ดิจิทัล อาจจะแสดงได้ทั้ง ขาว ดำ หรือไล่เฉดสี หรือสีอื่นๆ

ภาพสีเทา (Grayscale Image) เป็นการเรียงของพิกเซล ที่ใช้ข้อมูลแบบหลายบิต (Multiple Bits) อยู่ในช่วงระหว่าง 2- 8 บิต หรือมากกว่านั้น ยกตัวอย่างที่ 2 บิต จะมีภาพทั้งหมด 4 รูปแบบสี ได้แก่ 00 01 10 และ 11 ซึ่งจะแบ่งโทนสีได้ดังนี้ 00 คือสีดำ, 11 คือสีขาว, 01 คือดำเทา และ 10 คือเทาสว่าง ถ้าความลึกของสีที่ 2 บิต จะมีจำนวนโทนสีเท่ากับ 4 เฉดสี ที่ 8 บิต จะมีโทนสีอยู่ทั้งหมด 256 เฉดสี ในการจำแนกเฉดสีแต่ละพิกเซล นั้นสามารถคำนวณได้จากเลขฐานสองยกกำลังด้วยจำนวนของความลึกของสี จะสามารถทราบถึงจำนวนของสีที่เกิดขึ้นในแต่ละ Pixel นั้นได้

1 bit (2^1)	=	2	สี
2 bits (2^2)	=	4	สี
3 bits (2^3)	=	8	สี
4 bits (2^4)	=	16	สี
8 bits (2^8)	=	256	สี
14 bits (2^{14})	=	16,384	สี
16 bits (2^{16})	=	65,536	สี
24 bits (2^{24})	=	16.7 ล้าน	สี

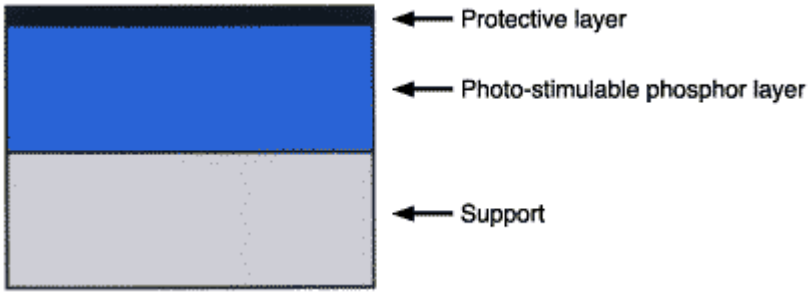
2.1.6.2.3 เอกซเรย์ดิจิตอลแบบแผ่นภาพอิมเมจเพลท (Image Plate, Digital Radiography) [8]

แผ่นภาพอิมเมจเพลท (Image Plate) เป็นวัสดุบันทึกภาพชนิดใหม่ คล้ายกับฟิล์มที่ใช้บันทึกภาพที่ถ่ายด้วยรังสี ทำจากวัสดุเรืองแสงที่สามารถเก็บพลังงานของรังสีที่ได้รับเอาไว้ แล้วนำมาสแกนด้วยแสง

เลเซอร์ ซึ่งจะคายพลังงานโดยเรืองแสงออกมา เทคโนโลยีของสารเรืองแสงนี้ มีการประยุกต์ใช้ครั้งแรกทางการแพทย์ ในงานด้านรังสีวินิจฉัย โดยใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซเรย์ จากนั้นได้มีการประยุกต์ใช้ ในวงกว้างออกไป ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แผ่นภาพได้ถูกผลิตขึ้นด้วยสารเรืองแสงชนิดพิเศษ ประกอบด้วยวัสดุที่เปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับรังสี แสง UV ลำอิเล็กตรอน ความร้อน แรงกระแทก หรืออาจกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีในบางกรณี โดยทั่วไปวัสดุชนิดนี้ เรียกว่า วัตถุเรืองแสง (Fluorescent Substances) มีลักษณะเป็นผง ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อถูกกระตุ้นบางอย่าง เช่น รังสี แสงที่เปล่งออกมา จะหมดลงทันทีที่หยุดการกระตุ้น ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การวาวแสง (Phosphorescence) สารเรืองแสงบางชนิด ยังเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อหยุดการกระตุ้นแล้ว ซึ่งเรียกว่า การเรืองแสง (Fluorescence) ในการเปล่งแสง (Luminescence) จะสามารถแบ่งได้สองแบบ คือการวาวแสง และ การเรืองแสง

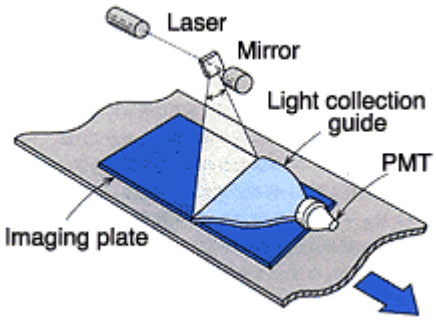
ในการพัฒนาสารเรืองแสง หรือ ฟอสเฟอร์ (Phosphor) นั้น มีการพิจารณาคุณสมบัติในการเปล่งแสงทั้งแบบวาวแสง และแบบเรืองแสง เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท มีการศึกษาวิจัย ทั้งการปรับสัดส่วนองค์ประกอบของสารเรืองแสง และขั้นตอนในกระบวนการผลิต สารเรืองแสงที่ใช้ในการผลิต มีคุณสมบัติในการเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยรังสี (Photo Stimulated Luminescence, PSL) ซึ่งแตกต่างจาก การเรืองแสง (Fluorescent) และการวาวแสง (Phosphorescent) ปรากฏการณ์ของ PSL ค้นพบโดย Becquerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ตอนกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ วัตถุถูกกระตุ้นครั้งแรกด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เช่น รังสี และจะเปล่งแสงออกมา เมื่อถูกกระตุ้นครั้งที่สอง ด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น ปรากฏการณ์ PSL ไม่ได้รับความสนใจ จนกระทั่งปลายสงครามโลกครั้งที่สอง มีการพัฒนาไปใช้ในการตรวจวัดรังสีอินฟราเรด ของนักวิจัยในกองทัพญี่ปุ่น และใช้บันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีในสหรัฐอเมริกา ในปี 1947 แผ่นภาพ จึงมีการใช้บันทึกภาพจากรังสีเอกซเรย์ โดยใช้หลักการพื้นฐาน มาจากปรากฏการณ์ของ PSL ในการเก็บข้อมูลที่มาจากรังสี แล้วคายออกมาในรูปของแสง

หลักการของแผ่นภาพ มีลักษณะเป็นแผ่นบันทึกภาพที่มีความยืดหยุ่น ประกอบด้วยผลึกสารเรืองแสงขนาดเล็ก (ขนาดผลึกประมาณ 5 mm) เป็นสารประกอบ แบเรียม ฟูลโอโบมาย (Barium Fluorobromide) ที่เจือด้วย ไบแวแลนท์ ยูโรเปียม (Bivalent Europium) เล็กน้อย ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเปล่งแสง (Luminescence Center) มีสูตรโมเลกุลเป็น BaFBr: Eu^{2+}เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์ม โพลิเอสเตอร์ (Polyester) ทำให้มีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นภาพ [8]

การถ่ายภาพชิ้นงานบนแผ่นภาพมีวิธีการคล้ายกับการถ่ายภาพโดยใช้ฟิล์ม ซึ่งแผ่นภาพที่ถ่ายภาพแล้วจะนำไปสแกนด้วยแสงเลเซอร์ โดยมีตัวอ่านค่าความละเอียดสูง จะสามารถเก็บรายละเอียดของแสงที่เปล่งจากฟอสเฟอร์ ดังรูปที่ 2.13 แผ่นภาพที่ฉายรังสีแล้ว เมื่อสแกนด้วยลำแสงเลเซอร์ PSL ที่เปล่งออกมาจะถูกอ่านและส่งผ่าน Photomultiplier Tube (PMT) ไปยังส่วนอ่านความเข้มแสง และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 การสแกนเพื่ออ่านภาพตามปริมาณรังสีจากแผ่นภาพ [8]

การอ่านความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา สามารถปรับค่าความละเอียดได้ตั้งแต่ 5 ถึง 40 พิกเซลต่อมิลลิเมตร (Pixels Per mm) ช่วงของความไวของสี (Sensitivity Range) และความไวของสีในการอ่าน (Reading Sensitivity) สามารถปรับค่าได้ แสงจาก PSL ที่เปล่งออกมาอยู่ในช่วงแสงสีน้ำเงินม่วง (400 nm) จะถูกอ่านและส่งไปยัง Photo-Multiplier Tube (PMT) เมื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว จะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งปรับค่าได้ระหว่าง 8 -16 bit ในส่วนของการวิเคราะห์แผ่นภาพ (Image Analysis) และการประมวลผลข้อมูล (Data Processing) จะทำงานบนจอแสดงผล (CRT) ภาพที่ปรับแต่งแล้ว (Process) สามารถพิมพ์เป็นภาพสีหรือขาวดำ ภาพที่ได้สามารถประยุกต์ใช้ในการ

วัดปริมาณรังสี โดยแสดงรายละเอียดของปริมาณรังสีแต่ละจุดบนภาพได้แผ่นภาพ สามารถลบภาพเดิมด้วยแสง และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.1.7 เอกซ์โพเชอร์ [9]

ความเข้มที่เหมาะสมของภาพถ่าย เกิดจากการเลือกใช้ระดับพลังงานและปริมาณของรังสีที่เหมาะสมและองค์ประกอบอื่นๆของการถ่ายภาพรังสี ในการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์ เมื่อกำหนดค่ากิโลโวลท์ที่จะใช้ในการถ่ายภาพรังสีแล้ว ต้องทำการกำหนดปริมาณของรังสีที่ใช้ โดยปริมาณรังสีที่ใช้จะเรียกว่าเอกซ์โพเชอร์ (Exposure) เกิดจากผลคูณกันระหว่างค่ามิลลิแอมป์และเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี ดังสมการที่ 2.3

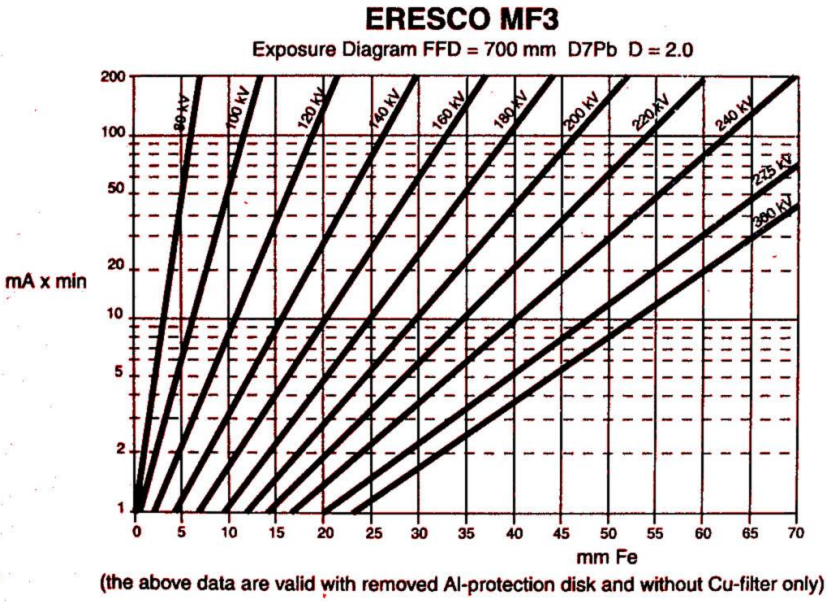
$$E = mA \times t \qquad (2.3)$$

โดยที่ E คือ เอกโพเชอร์ (mA·min)

mA คือ มิลลิแอมป์ (mA)

t คือ เวลา (min)

การกำหนดค่าเอกซ์โพเชอร์อาจใช้ความชำนาญจากประสบการณ์ หรือจากการลองผิดลองถูกกับชิ้นงาน ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ให้ผลดีนัก จึงได้มีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซ์โพเชอร์และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายภาพรังสี กราฟนี้เรียกว่าเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท (Exposure Chart) ดังแสดงในรูปที่ 2.14

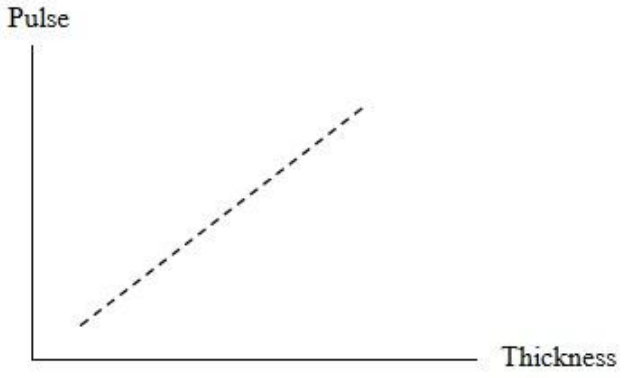


รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท (Exposure chart) [10]

จากรูปที่ 2.14 เป็นกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์บนฟิล์ม ที่มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง มิลลิแอมป์ x เวลา กับความหนา ที่ค่าพลังงาน kV ในระดับต่างๆ โดยมีค่าระยะแหล่งกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม อยู่ที่ 700 มิลลิเมตร และมีค่าความเข้มของฟิล์มอยู่ที่ 2.0 ในขั้นตอนการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทนั้นจะต้องมีกระบวนการล้างฟิล์มเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อที่จะนำฟิล์มจากการฉายรังสีเอกซเรย์มาทำการวัดความเข้มที่ได้แต่ละช่วงความหนา เพื่อจะหาค่าความเข้มที่นำมาใช้ในกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท ในกระบวนการดังกล่าวมีความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากมีหลากหลายปัจจัย เช่น คุณภาพของน้ำยาล้างฟิล์ม อุณหภูมิของน้ำยา ระยะเวลาในการล้าง และระดับแสงสว่างในห้องล้างฟิล์ม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบที่จะเปลี่ยนแปลงต่อค่าความเข้มของกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทได้

ปัจจุบันจึงได้มีการสร้างฉากรับรังสีแบบดิจิทัลที่สามารถนำฉากรับนำไปสแกนเข้าคอมพิวเตอร์ หรืออ่านค่าได้ด้วยตัวเองแล้วส่งเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการลดขั้นตอนในกระบวนการล้างฟิล์ม ดังนั้นกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทแบบทั่วไปของการถ่ายภาพแบบดิจิทัล จะมีลักษณะความสัมพันธ์ที่เหมือนกันกับกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของฟิล์ม ดังรูปที่ 2.14 แต่ความความเข้มนั้นจะเปลี่ยนเป็นค่าจำแนกเฉดสีเทาแทน

ในด้านของกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของพัลส์เอกซเรย์นั้นจะมีความแตกต่างกับแบบทั่วไป เนื่องจากตัวเครื่องฉายรังสีนั้นได้มีการกำหนดค่ากิโลโวลต์ และกระแสไฟไว้ ทำให้ไม่สามารถที่จะทำการปรับค่าดังกล่าวได้ แต่สามารถปรับได้เพียงจำนวนพัลส์ที่จะใช้ในการฉายรังสีได้เท่านั้น ดังนั้นกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทจะมีลักษณะความสัมพันธ์ในระหว่างจำนวนพัลส์กับความหนาชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของพัลส์เอกซเรย์

2.1.8 ความไม่คมชัดเรขาคณิต (U_g)

ระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงฉากรับรังสีหรือชิ้นงานทดสอบที่มีระยะน้อย จะส่งผลทำให้พลังงานของรังสีทะลุผ่านชิ้นงานได้มากขึ้นซึ่งหมายถึงการใช้ระยะเวลาในการฉายรังสีที่ลดน้อยเช่นกัน แต่การที่ชิ้นงานได้รับพลังงานรังสีที่มากนั้นจะส่งผลต่อค่าความไม่คมชัดของภาพดังสมการที่ 2.4

$$U_g = (F * s/ d) \quad (2.4)$$

โดยที่ U_g คือ ความไม่คมชัดเรขาคณิต

F คือ ขนาดของต้นกำเนิดรังสี (มิลลิเมตร)

s คือ ระยะจากผิวชิ้นงานถึงฉากรับรังสี (มิลลิเมตร)

d คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

จากสมการ ถ้าระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานทดสอบมีค่าน้อย จะทำให้ค่าความไม่คมชัดของฟิล์มยิ่งมีค่าที่สูง ดังนั้นระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานที่จะทดสอบควรมีระยะที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความไม่คมชัดภาพสามารถยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดค่าสูงสุดของความไม่คมชัดทางเรขาคณิต [11]

ความหนาของชิ้นงาน (นิ้ว) / (มิลลิเมตร)	ค่าสูงสุดของความไม่คมชัดที่ยอมรับได้ (นิ้ว) / (มิลลิเมตร)
ต่ำกว่า 2 / (50)	0.020 / (0.51)
2 ถึง 3 / (50 – 70)	0.030 / (0.76)
จาก 3 ถึง 4 / (75 – 100)	0.040 / (1.02)
หนากว่า 4 / (100)	0.070 / (1.78)

2.1.9 ความไวในการตรวจสอบโดยใช้ภาพถ่ายรังสี [12]

ความไว (Sensitivity) ของการตรวจสอบหมายถึงความสามารถในการตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดต่างๆได้ ถ้าค่าที่ได้นั้นมีความไวสูงความสามารถในการตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดเล็กมาได้ดี โดยจะทำการวัดความไวจากการใช้แผ่นโลหะบางทำเป็นชิ้นเล็กๆ หรือเส้นลวดขนาดเล็ก โดยในตามมาตรฐานของ ASME ได้กำหนดขนาดของแผ่นบางและเส้นลวด ในการวัดค่าความไวนั้นจะคำนวณจากแผ่นหรือเส้นที่เล็กที่สุดบนภาพถ่ายรังสีได้จาก

$$S\% = (IQI_{min} / T) \times 100 \quad (2.5)$$

โดยที่ S% คือ เปอร์เซ็นต์ความไว

IQI_{min} คือ ความหนาแผ่นบาง

T คือ ความหนาชิ้นงาน

2.1.10 ตัววัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสี (Image Quality Indicator IQI)

เพื่อที่จะให้ความมั่นใจได้ว่าคุณภาพของภาพถ่ายรังสีมีคุณภาพที่ดี ที่สามารถตัดสินลักษณะรอยความบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ จึงได้มีการใช้ Indicator เป็นมาตรฐานของ ASME วางทับลงบนบริเวณรอยเชื่อม โดยจะต้องห่างจากขอบชิ้นงานเข้ามาด้านในขนาด 1 นิ้ว ก่อนการถ่ายภาพ เรียกว่า Image Quality Indicator

Image Quality Indicator (IQI) ใช้ตรวจสอบความไวในการทดสอบ (Sensitivity) คือความสามารถในการตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ในฟิล์ม ในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรมใช้ไอคิวไอ เป็นตัวที่ใช้วัดความไวในการทดสอบ หรือเป็นตัวใช้วัดระดับคุณภาพของเทคนิคการถ่ายภาพ บางครั้งเรียกว่าเพนเนตรามิเตอร์ (Penetrameter) มีอยู่หลายลักษณะตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ เช่น Duplex Wire ของประเทศอังกฤษ แบบ Step/Hole ของประเทศฝรั่งเศสแต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

1) ไอคิวไอตามมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางและมีรู 3 รูที่ขนาดต่างกัน

2) ไอคิวไอตามมาตรฐานประเทศเยอรมันที่มีลักษณะเป็นแบบเส้นลวด

ตารางที่ 2.2 ขนาดความโตของเส้นลวดตัววัดคุณภาพ Set A [11]

IQI Set A	
ขนาดความโตของลวด (นิ้ว) / (มิลลิเมตร)	หมายเลขของเส้นลวด
0.0032 / (0.08)	1
0.004 / (0.10)	2
0.005 / (0.13)	3
0.0063 / (0.16)	4
0.008 / (0.20)	5
0.010 / (0.25)	6

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ IQI ตามมาตรฐาน ASME Sec. V ซึ่งมีการกำหนดขนาดความโตของเส้นลวดแต่ละเส้นดังตารางที่ 2.2 และการเลือก IQI วัดคุณภาพของชิ้นงานต้องเลือกตามความหนาของชิ้นงานนั้นๆซึ่งได้กำหนดเป็นไปตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเลือก ตัววัดคุณภาพตามความหนาของชิ้นงาน [11]

การเลือก IQI	
ขนาดความหนาของชิ้นงาน (นิ้ว) / (มิลลิเมตร)	เส้นลวดที่จำเป็นต้องเห็น
ต่ำกว่า 0.25 / (6.4)	5
0.25 - 0.375 / (6.4 - 9.5)	6
0.375 - 0.50 / (9.5 - 12.7)	7
0.50 - 0.75 / (12.7 - 19.0)	8

2.1.11 กำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) [13]

กำลังสองผกผันเป็นกฎทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี โดยจะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีและระยะทาง กฎกำลังสองผกผันมีหลักการคือ “ความเข้มของรังสีลดลงสี่เท่าเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีเพิ่มขึ้นสองเท่า” แสดงเป็นสมการได้โดย

$$I_0 / I_1 = (D_1 / D_0)^2 \qquad (2.6)$$

โดยที่ I_0 คือ ความเข้มของรังสีที่ระยะ D_0

I_1 คือ ความเข้มของรังสีที่ระยะ D_1

D_0 คือ ระยะทางใหม่

D_1 คือ ระยะทางเดิม

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์นั้นยังไม่เป็นที่นิยมแพร่ในประเทศไทย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีราคาค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดในการใช้งาน ส่งผลให้งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์มีน้อยมาก แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น เพื่อให้รังสีทะลุผ่านชิ้นงานที่มีความหนาได้มากขึ้น ซึ่งงานวิจัยของ Adili and Franck [14] ได้ทำการดูลักษณะรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ที่ฉายผ่านช่องว่างขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่มีสนามแม่เหล็กต่ำ เพื่อวัดลักษณะของรังสีที่เกิดขึ้น ผลที่ได้รับทำให้ทราบถึงลักษณะช่วงเวลาของพัลส์อยู่ที่ 50 นาโนวินาทีต่อหนึ่งพัลส์ ในการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์นั้นจึงมีความไวมาก และในการ

ถ่ายภาพด้วยรังสีนั้นต้องมีเรื่องของคุณภาพของภาพถ่าย ในงานวิจัยของGlenn M. Light [15] ได้ทำการทดสอบถึงคุณลักษณะระหว่างรังสีแกมมากับพัลส์เอกซเรย์ในการตรวจสอบท่อ Schedule 40 โดยมีขนาดความกว้างของท่ออยู่ที่ 76 - 406 มิลลิเมตร และมีความหนาที่ 6 และ 10 มิลลิเมตร ในการทดลองรังสีแกมม่าใช้ฟิล์มในการตรวจสอบ และในด้านของพัลส์ใช้ฉากรับภาพดิจิทัลแบบประมวลผลในทันที่ (Real time)ในการตรวจสอบ โดยผลการทดลองแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาและพัลส์เอกซเรย์สามารถตรวจสอบพบรอยความไม่ต่อเนื่องและมีความไวในการตรวจสอบพบตัววัดคุณภาพของภาพถ่ายเซต B สามารถตรวจพบทุกเส้นของตัววัดคุณภาพ. ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้ทำการทดลองเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์กับฟิล์ม ผลที่ได้รับจำนวนครั้งในการฉายและระยะเวลามีมากกว่าแบบทั่วไปถึง 3 เท่า ดังนั้นฟิล์มถึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้คู่กับเอกซเรย์แบบพัลส์ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่ทำเรื่องของการเปรียบเทียบเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์และแบบทั่วไป เพื่อที่จะศึกษาถึงคุณลักษณะของเอกซเรย์แบบพัลส์กับแบบทั่วไปว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท การใช้งานของกราฟ และเปรียบเทียบลักษณะ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในการถ่ายภาพรังสีในอุตสาหกรรมได้