

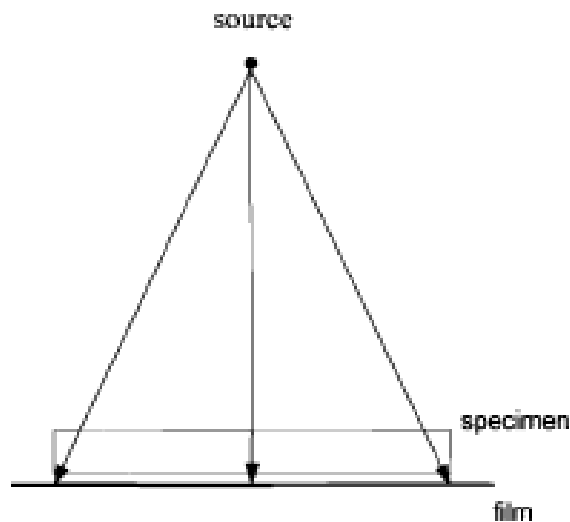
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ด้วยกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้น จะมี 2 กระบวนการหลักๆ ในการที่จะทำให้การตรวจสอบมีคุณภาพ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. กระบวนการถ่ายภาพรังสี
2. กระบวนการล้างฟิล์ม

2.1 กระบวนการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ด้วยกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสี

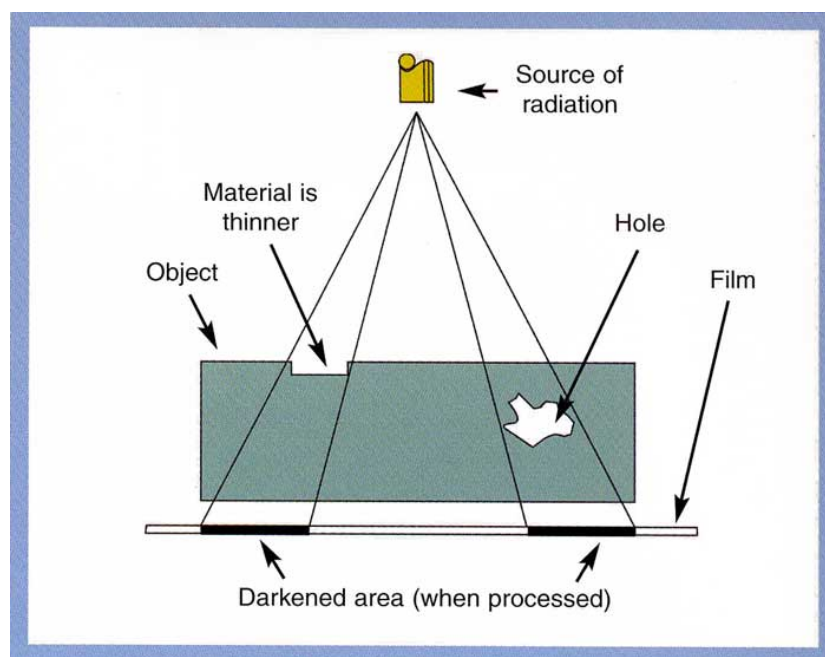
เป็นการทดสอบโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่มีความถี่สูง จากต้นกำเนิดรังสี (Ray-source) ผ่านชิ้นงาน ซึ่งอาจทำจากวัสดุชนิดต่างๆ โดยอาศัยหลักการ การดูดซับ (Absorb) พลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุ หรือการที่วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ซึ่งกระบวนการถ่ายภาพรังสีมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ต้นกำเนิดรังสี (Source) ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ และฟิล์ม ดังแสดงตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบสำคัญในการถ่ายภาพรังสี [2]

โดยที่บริเวณใดที่ชิ้นงานหนาจะสามารถดูดซับรังสีไว้ได้มาก ฟิล์มจึงได้รับรังสีที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารไวแสงได้น้อย ในทางตรงกันข้ามบริเวณที่ชิ้นงานบาง รังสีสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารไวแสง

ได้มาก เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม (กระบวนการสร้างภาพ) บริเวณที่ฟิล์มได้รับรังสีมากจะมีความเข้มที่มากกว่า และบริเวณที่ฟิล์มได้รับรังสีน้อย จะมีความเข้มที่ต่ำกว่า ในกรณีที่มีความไม่ต่อเนื่องในชิ้นงาน ซึ่งความไม่ต่อเนื่องส่วนใหญ่เป็นช่องว่าง หรือเป็นสิ่งที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าชิ้นงาน จึงเปรียบเสมือนว่าชิ้นงานบริเวณนั้นบางกว่าชิ้นงานรอบข้าง ดังนั้นจึงสามารถสังเกตเห็นเป็นรอยที่มีสีเข้มกว่าบริเวณรอบข้าง จึงทำให้สามารถสังเกตหรือตรวจสอบได้ว่าบริเวณนั้นมีความไม่ต่อเนื่องซ่อนอยู่ เช่น มีโพรงอากาศอยู่ภายใน (Porosity) ทำให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงบริเวณที่เป็นโพรงไปได้มากกว่า และทำปฏิกิริยากับสารไวแสงที่เคลือบอยู่บนฟิล์มได้มากกว่าส่วนอื่น เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้วก็จะมีความเข้มมากกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดภาพขึ้นบนฟิล์ม [3]

ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีจึงเป็นการแปรผลจากเงาของภาพ (Shadow picture) จากชิ้นงาน ที่ปรากฏอยู่บนฟิล์มนั่นเอง ข้อสังเกตคือ ภาพของความไม่ต่อเนื่องที่ปรากฏบนฟิล์มเป็นภาพที่เกิดจากการฉาย ดังนั้นจึงมีสภาพเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้ไม่สามารถบอกถึงความลึกของความไม่ต่อเนื่องได้

2.1.1 การดูดซับรังสี

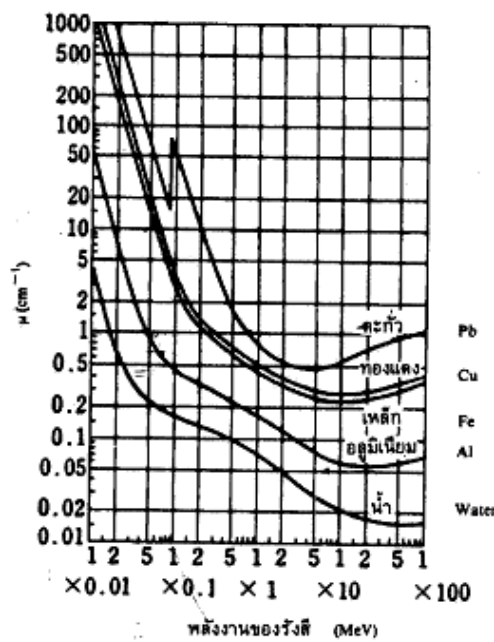
รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา มีสภาพเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยทางไกลๆ ก่อนที่จะหมดพลังงาน ความเข้มของรังสีย่อมลดลงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุ โดยที่วัสดุแต่ละชนิดมี

ความสามารถในการดูดซับรังสีแตกต่างกัน สำหรับวัสดุชนิดเดียวกัน ความสามารถในการดูดซับรังสีขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุนั้น โดยมีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ดังสมการที่ 2.1

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

- โดยที่
- I คือ ความเข้มของรังสีเมื่อผ่านวัสดุ
 - I_0 คือ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ
 - μ คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี
 - t คือ ความหนาของวัสดุ
 - e คือ ค่าคงที่ (Natural Exponential)

สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี มีค่าคงที่เมื่อพิจารณาจากชนิดของวัสดุ แต่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อพิจารณาจากระดับพลังงานของรังสี ในกรณีของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อรังสีมีระดับพลังงานต่ำลง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3 เป็นกราฟแสดงค่าของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของน้ำ อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง และตะกั่ว ที่ระดับพลังงานต่างๆ



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี กับพลังงานของรังสี [4]

ซึ่งทำการฉายรังสีที่มีพลังงานระหว่าง 0.01 MeV ถึง 100 MeV ซึ่งจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเป็วัสดุใดก็ตาม ถ้าระดับพลังงานที่มีค่าสูงอยู่แล้ว สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจะมีแนวโน้มในทางที่ต่ำลง ซึ่ง

แสดงว่า เมื่อทำให้ระดับพลังงานของรังสีสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุนั้น ได้มากขึ้น ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในสมการที่ 2.1

เมื่อพิจารณาเส้นโค้งในกรณีของเหล็กเป็นตัวอย่าง ที่ตำแหน่งพลังงานมีค่า 10 MeV ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจะมีค่าที่ต่ำที่สุด หลังจากนั้นแล้วไม่ว่าจะเพิ่มค่าระดับพลังงานมากเท่าไร ถ้าเกินค่า 10 MeV จะพบว่าจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีมีค่าที่เพิ่มขึ้น แล้วถ้าวัสดุที่รังสีตกกระทบเป็นชนิดเดียวกันแล้ว ยิ่งความยาวคลื่น มีค่ามากเท่าใด ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน ก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ถ้าความยาวคลื่นมีค่าเท่ากัน วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนก็จะยิ่งมีค่าสูงตามไปด้วย

2.1.2 ความหนาครึ่งค่า (Half Value Layer, HVL)

โดยทั่วไปแล้วปริมาณรังสีที่ลดลงเมื่อผ่านวัสดุใดๆจะนิยมนบอกในรูปของความหนา HVL ซึ่งหมายถึงความหนาของวัสดุที่รังสีทะลุผ่านแล้วทำให้ความเข้มหรือปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุนั้น ลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มที่ตกกระทบ ซึ่งจะมีหน่วยเป็นความยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และระยะจากแหล่งกำเนิดรังสี ถึงชั้นงานที่ทำการทดสอบ จะมีผลต่อค่าความหนา HVL ด้วย ซึ่งถ้าระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชั้นงานที่ทดสอบ มีค่าที่มากขึ้น จะทำให้ความหนา HVL ของวัสดุที่ทดสอบนั้นมีค่าน้อย เนื่องจากระยะห่างที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณรังสีที่ส่งไปยังชั้นงานทดสอบมีค่าที่ลดลง ส่วนสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานที่ใช้ ถ้ามีการเพิ่มค่าระดับพลังงานที่ตกกระทบวัสดุที่สูงขึ้น จะทำให้ ความหนา HVL ของวัสดุนั้นสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าความหนาครึ่งค่าจะแปรผกผันกับสัมประสิทธิ์ดูดกลืน ซึ่งจากสมการที่ 2.1 ถ้าให้ค่าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบมีค่าเท่ากับ 1.0 และความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านชั้นงาน มีค่าลดลงครึ่งหนึ่งคือ 0.5

จากสมการที่ 2.1 เมื่อแทนค่า $i = 0.5$ และค่า $i_0 = 1.0$ จะได้สมการ

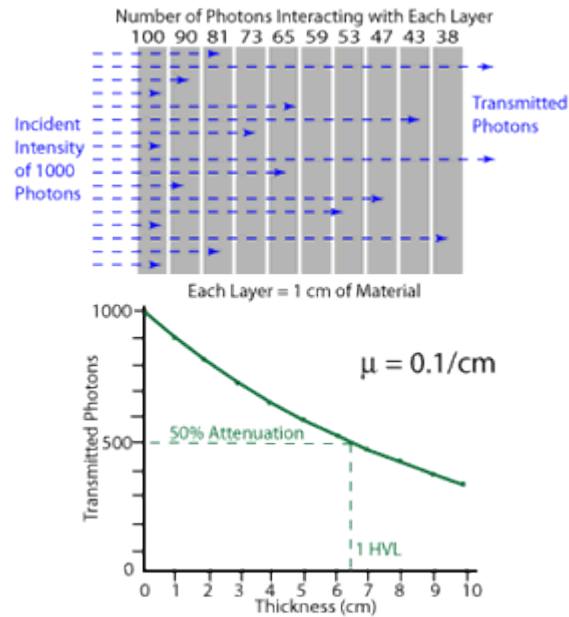
$$0.5 = 1.0 * e^{(-\mu t)} \quad (2.2)$$

โดยที่ μ คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน หรือสัมประสิทธิ์การดูดซึม (1/cm)
 t คือ ความหนาของวัสดุที่ใช้การทดสอบ (cm)
 e คือ ค่าคงที่ (Natural Exponential)

สมการแสดงความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.2 ถ้าให้ความหนาของวัสดุเป็นความหนา HVL

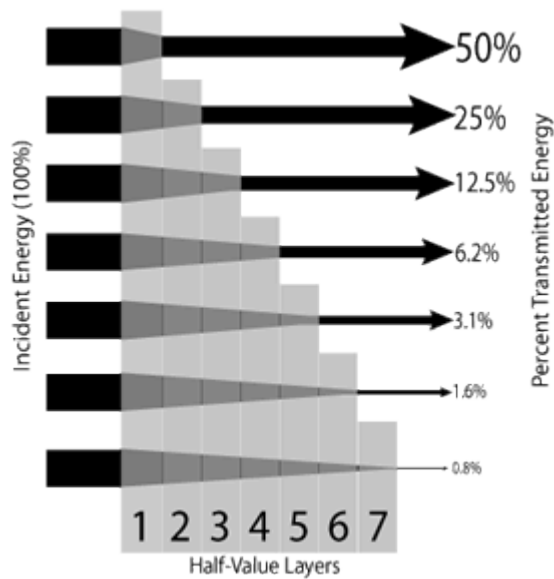
$$\text{HVL} = 0.693/\mu \quad (2.3)$$

โดยที่ μ คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน หรือสัมประสิทธิ์การดูดซึม (1/cm)
 HVL คือ ค่าความหนาครึ่งค่า (cm)



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์การส่งผ่านรังสีและค่าความหนา HVL [5]

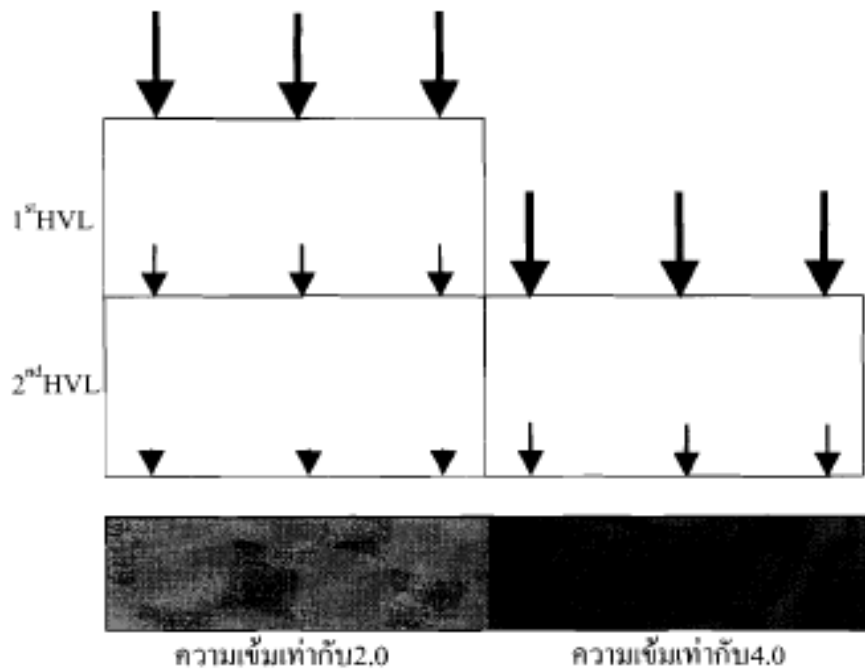
จากสมการที่ 2.3 เป็นสมการที่นิยมใช้ในงานฉายรังสีมาก เนื่องจากเป็นสมการที่มีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากนัก ที่ไว้ใช้คำนวณหาความหนาของวัสดุที่จะทำให้ความเข้มของรังสีลดลงครึ่งหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วค่าความหนา HVL ในวัสดุเดียวกันจะมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากเกิดการกระเจิงของรังสี เมื่อผ่านความหนาของ HVL ชั้นแรก ดังนั้น จะทำให้ค่าความหนา HVL ชั้นที่สองมีค่าที่น้อยกว่าค่าความหนา HVL ชั้นแรก และจากรูปที่ 2.5 แสดงถึงอัตราการลดลงของความเข้มของรังสี ในแต่ละช่วงความหนาของค่าความหนา HVL โดยไม่คำนึงถึงการกระเจิงของรังสีที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงการลดลงของพลังงานในแต่ละช่วงความหนา HVL [5]

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าความหนา HVL เป็นค่าความหนาของวัสดุที่ทำให้ปริมาณของรังสี หรือความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านมีค่าลดลงครึ่งหนึ่ง ในกรณีที่เป็นงานภาพถ่ายรังสี จะสามารถประมาณค่าความหนา HVL ของชิ้นงานที่ทดสอบได้จากความสัมพันธ์ของความเข้ม หรือปริมาณรังสีที่ตกกระทบไปยังฟิล์ม และวัดความเข้มของฟิล์มที่เกิดขึ้นบนฟิล์ม หลังผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว โดยค่าความเข้มจะลดลงเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับค่าความหนา HVL หรือความหนาของวัสดุที่ดูดกลืนความเข้มหรือปริมาณของรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานทดสอบ ที่ทำให้เกิดความเข้มบนฟิล์มเท่ากันกับการฉายรังสี โดยไม่มีการดูดกลืนรังสีด้วยการลดค่าเอกซ์โพเชอร์ หรือปริมาณของรังสีลงครึ่งหนึ่ง

ดังนั้น ค่าความหนา HVL จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มของฟิล์มที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี การลดลงของความเข้มของฟิล์มที่รังสีทะลุผ่านถึง จะเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับค่าความหนา HVL เช่น ถ้าต้องการฉายรังสีบนชิ้นงานทดสอบที่เป็นอลูมิเนียม โดยที่ให้อลูมิเนียมมีค่าความหนา HVL เท่ากับ 7 มิลลิเมตร โดยใช้ค่าเอกซ์โพเชอร์ที่ให้ความเข้มฟิล์มเท่ากับ 4.0 และเมื่อเพิ่มค่าความหนา HVL เป็นสองเท่า คือ 14 มิลลิเมตร จะให้ความเข้มฟิล์มเท่ากับ 2.0 ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนา HVL และความเข้มบนฟิล์ม

2.1.3 ความเข้ม (Density)

ความเข้มของฟิล์ม(Density) ที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีเป็นค่าที่วัดได้โดยการส่องแสงผ่านฟิล์ม แล้วหาอัตราส่วนของความเข้มของแสง ก่อนผ่านฟิล์มต่อ ความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านฟิล์ม ดังแสดงในสมการที่ 2.4

สมการที่ 2.4 แสดงการหาค่าความเข้มของฟิล์ม

$$D = \text{Log}_{10}(I_0/I_1) \quad (2.4)$$

- โดยที่ D คือ ความเข้มของฟิล์ม
 I_0 คือ ความเข้มของรังสีก่อนผ่านฟิล์ม
 I_1 คือ ความเข้มของรังสีเมื่อผ่านฟิล์ม

ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเข้มของฟิล์มเรียกว่า Densitometer โดยความแตกต่างของความเข้มที่สามารถแยกแยะได้ด้วยสายตา ต้องมีความเข้มของฟิล์มที่แตกต่างกันเกินกว่า 0.02 ถึงจะสามารถ

แยกแยะความหนาวัสดุหรือรอยตำหนิได้ กล่าวคือ ความหนาวัสดุที่ต่างกันน้อยสุด หรือขนาดตำหนิเล็กสุดจะต้องมีค่าประมาณ 2% ของความหนาชิ้นงานที่จะทดสอบ ถึงจะแยกแยะได้ ค่าความเข้มของฟิล์มที่สามารถยอมรับได้ในหลายๆมาตรฐาน จะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 1.8 - 4.0 ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างตามมาตรฐาน ASME Section V Article 2 Edition 2007 ซึ่งการวัดความเข้มของฟิล์มในกรณีที่เป็นแบบฟิล์มเดี่ยว ความเข้มที่สามารถยอมรับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.8 - 4.0 ในกรณีที่ทำกรฉายรังสีด้วยรังสีเอกซเรย์ และ 2.0 - 4.0 ในกรณีที่ทำกรฉายรังสีด้วยแกมมาเรย์ ในการวิเคราะห์แบบซ้อนฟิล์ม ความเข้มของฟิล์มแต่ละฟิล์มที่ทำกรวัดจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.3 และมากที่สุดไม่เกิน 4.0 ทั้งการวัดแบบฟิล์มเดี่ยว และการวัดแบบซ้อนฟิล์ม โดยสามารถที่จะยอมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ ± 0.05 ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากเครื่องมือที่ใช้ทำกรวัด

2.1.4 ความสว่างของตู้ไฟสำหรับการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี

ความสว่างของตู้ไฟสำหรับการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี ควรมีความสว่างมากพอที่ทำให้ความสว่างของแสงที่ผ่านฟิล์มมีค่าต่ำสุดคือ 30 cd/m^2 ส่วนค่าที่นิยมใช้งานคือ 100 cd/m^2 แสงสว่างที่ใช้ควรเป็นแสงขาวที่มีความสว่างสม่ำเสมอ การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี ควรทำในห้องมืดพอสมควรแต่ไม่จำเป็นต้องมืดสนิท และสามารถใช้เวลาฉาย 3 - 4 เท่า ช่วยในการตรวจสอบได้ ก่อนการตรวจสอบ ควรเว้นระยะเวลาให้สายตากลับคืนกับความสว่างในห้องตรวจสอบก่อน

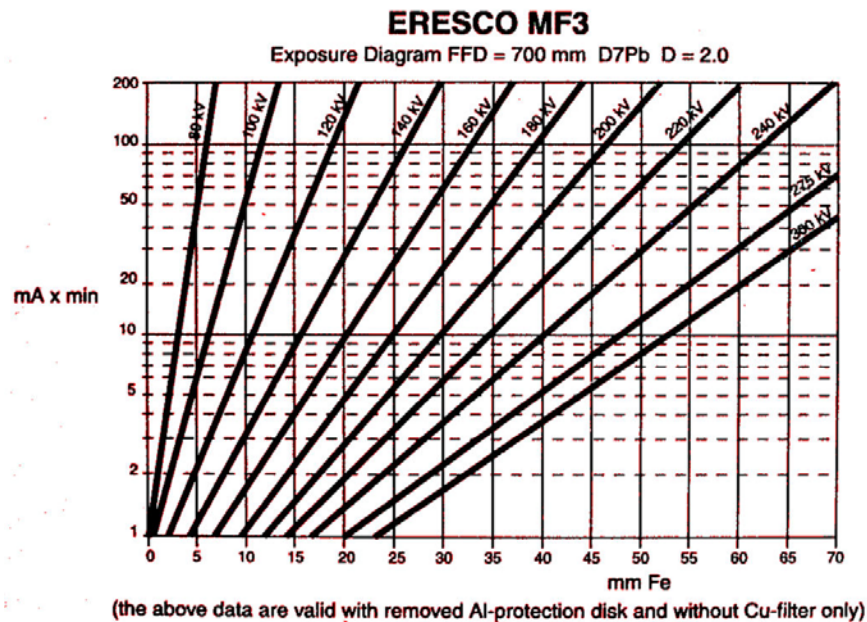
2.1.5 เอกซ์โพเชอร์

ความเข้มที่เหมาะสมของฟิล์ม เกิดจากการเลือกใช้ระดับพลังงานและปริมาณของรังสีที่เหมาะสมกับองค์ประกอบอื่นๆของการถ่ายภาพรังสี ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับการปรับความเร็วหน้ากล้องและขนาดรูรับแสงของกล้องถ่ายรูป สำหรับการถ่ายภาพรังสี เมื่อกำหนดค่ากิโลโวลท์ที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีแล้ว ต้องทำการกำหนดปริมาณของรังสีที่ใช้ โดยที่ปริมาณรังสีที่ใช้นี้เรียกว่า เอกซ์โพเชอร์ (Exposure) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างมิลลิแอมป์และเวลาในการฉายรังสีโดยที่

$$E = \text{mA} \times t \quad (2.5)$$

โดยที่ E คือ เอกซ์โพเชอร์ (mA.min)
 mA คือ มิลลิแอมป์ (mA)
 t คือ เวลา (min)

การกำหนดค่าเอกซ์โพเชอร์อาจใช้ความชำนาญจากประสบการณ์ หรือจากการลองผิดลองถูกกับ
 ชิ้นงาน ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ให้ผลดีนัก จึงได้มีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซ์โพเชอร์
 และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายภาพรังสี กราฟนี้เรียกว่าเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท (Exposure Chart)
 ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท (Exposure chart) [6]

เอกซ์โพเชอร์ชาร์ทมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของการถ่ายภาพรังสีดังต่อไปนี้

1. ชนิดของเครื่องกำเนิดรังสี (หรือสารกัมมันตรังสี)
2. แผ่นกรองรังสี (Filter)
3. ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม (Source to Film Distance: SFD)
4. ชนิดของวัสดุชิ้นงาน
5. ชนิดของ Intensifying Screen
6. ชนิดของฟิล์ม
7. ความเข้มที่ต้องการ
8. ขบวนการล้างฟิล์ม

2.1.6 ตัวประกอบความหนาสมมูล

ตัวประกอบความหนาสมมูล (Equivalent Thickness Factor) ใช้ในการปรับค่าเอกซโพเชอร์สำหรับชิ้นงานที่เป็นวัสดุต่างชนิดกัน เมื่อเทียบกับชนิดของวัสดุของเอกซโพเชอร์เดิม ซึ่งการใช้งานตัวประกอบความหนาสมมูลเป็นค่าโดยประมาณ โดยที่ค่าตัวประกอบความหนาสมมูล แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าตัวประกอบความหนาสมมูล [7]

วัสดุ	รังสีเอกซ์ kV						รังสีแกมมา	
	50	100	150	200	250	300	Ir-192	Co-60
แมกนีเซียม	0.034	0.05	0.055	0.071	-	-	-	-
อลูมิเนียม	0.057	0.077	0.125	0.159	0.182	0.192	0.333	-
เหล็ก	1	1	1	1	1	1	1	1
ทองแดง	1.33	1.47	1.43	1.37	1.47	1.53	1.11	1.11
ทองเหลือง	-	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.11	1.11
ตะกั่ว	5.26	8.33	11.11	13.33	15.38	16.67	4	1.54

2.1.7 การเลือกค่าพลังงานในการทดสอบ

ในกรณีที่ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีในชิ้นงานทดสอบ ที่มีความหนาแตกต่างกัน การเลือกใช้ค่าระดับพลังงานในการถ่ายภาพด้วยรังสี ยังมีความสำคัญเพิ่มขึ้นไปอีก ซึ่งตัวแปรหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือถ้าใช้ค่าระดับพลังงานที่ต่ำ จะทำให้ค่าช่วงความเข้มของฟิล์มที่เหมาะสมกับการใช้งาน (Latitude) มีช่วงที่ต่ำลง ถ้าใช้ค่าพลังงานที่สูง จะทำให้ค่าช่วงความเข้มของฟิล์มที่เหมาะสมกับการใช้งาน (Latitude) มี

ช่วงที่สูงขึ้น ซึ่งสมการที่ 2.6 และตารางที่ 2.2 จะใช้ในการคำนวณ เพื่อเลือกค่าระดับพลังงานในการถ่ายภาพด้วยรังสี ที่ความหนาต่างๆของชิ้นงานทดสอบได้ นอกจากนี้แล้วยังมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาอีก ก็คือ การเลือกใช้ค่าระดับพลังงานที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า 150 kV เนื่องจากในช่วงนี้ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับรังสี (Absorption Coefficient) มีการแปรค่าอย่างรวดเร็วมาก ทำให้มีผลต่อความไวในการตรวจสอบมาก และการใช้ค่าระดับพลังงานที่มีค่าไม่เกิน 150 kV นั้น ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ฉากโลหะช่วยเพิ่มความเข้ม เพราะจะเป็นการเพิ่มเวลาในการฉายรังสีให้นานขึ้น แต่ถ้าในช่วงระดับพลังงาน 200-400 kV ความแตกต่างของค่าพลังงานในช่วง 30-40 kV จึงจะมีผลต่อความไวในการตรวจสอบ และในช่วงระดับพลังงานสูงมากๆ การเลือกใช้ระดับพลังงานจะไม่มีผลต่อความไวในการตรวจสอบ เช่นการถ่ายภาพรังสีที่ 2 MV หรือ 10 MV พบว่า มีความไวในการตรวจสอบเท่ากัน ดังนั้นการทดสอบที่ย่านพลังงานต่ำกว่าช่วง 150 kV จึงมีสมการที่ได้คำนวณค่าพลังงานที่จะทดสอบดังแสดงดังต่อไปนี้

$$kV = A + Bt \quad (2.6)$$

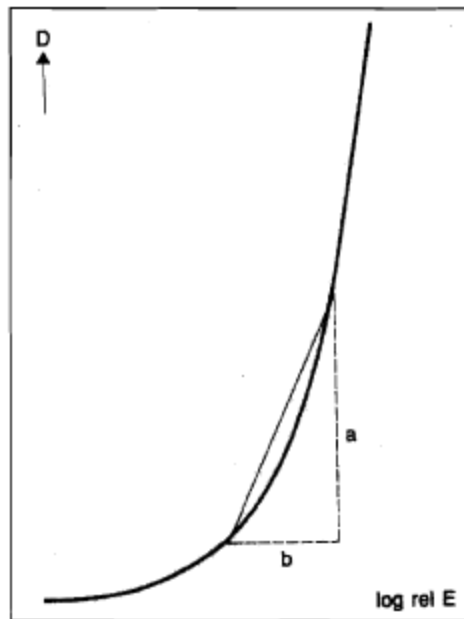
- โดยที่ kV คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี
 A คือ ค่าคงที่ ที่ใช้ในการคำนวณ
 B คือ ค่าคงที่ ที่ใช้ในการคำนวณ
 t คือ ความหนาของชิ้นงานที่จะทดสอบ (mm)

ตารางที่ 2.2 แสดงการเลือกใช้ค่าคงที่ เพื่อใช้สำหรับการเลือกใช้ค่าพลังงาน ในช่วงต่ำกว่า 150 kV [8]

ค่าคงที่	อคูมิเนียม(mm)		เหล็ก (mm)	
	0.5-5.0	5.0-50.0	0.5-5.0	5.0-50.0
A	20	40	40	80
B	5	1.5	10	5

2.1.8 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของฟิล์ม

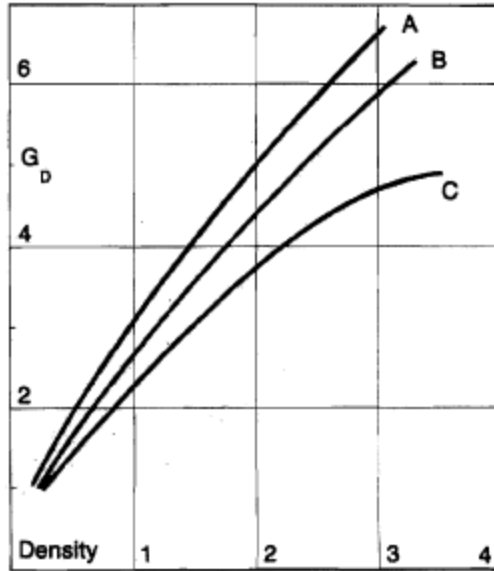
เส้นโค้งลักษณะเฉพาะ (Characteristic Curve) เป็นเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของภาพถ่ายรังสีและค่าล็อกเอกซ์โพเชอร์สัมพัทธ์ ซึ่งเส้นโค้งนี้สามารถที่จะอธิบายคุณลักษณะหลายประการเช่น เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของฟิล์มใดที่มีความชันสูงกว่าอีกฟิล์มหนึ่ง หมายถึงฟิล์มนั้นเป็นฟิล์มที่มีคอนทราสต์สูงกว่า ซึ่งจากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า เส้นที่เกิดจากเส้นตรง a/b ซึ่งเป็นจุดที่อยู่บนเส้นโค้งลักษณะเฉพาะ เป็นการแสดงถึงค่าเฉลี่ยของฟิล์มคอนทราสต์ของเส้นโค้งลักษณะเฉพาะในบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นตรง a/b ซึ่งตามมาตรฐาน ISO(ISO/DIS7004) จะแนะนำค่าเฉลี่ยของฟิล์มคอนทราสต์ในช่วงของความเข้มฟิล์มที่ 1.50-3.50 ตามมาตรฐานลักษณะเฉพาะของฟิล์ม และในส่วนของเส้นตรง a จะแสดงถึงช่วงความกว้างของฟิล์มหรือช่วงความหนาที่แตกต่างกันที่สามารถตรวจสอบได้ (Latitude) ซึ่งยิ่งเส้นตรง a ยาวเท่าไรยิ่งสามารถตรวจสอบช่วงความหนาที่แตกต่างกันได้มากขึ้นด้วย แต่จะทำให้คอนทราสต์ต่ำลง



รูปที่ 2.8 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะที่แสดงคอนทราสต์เฉลี่ย [9]

จากเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของฟิล์มสามารถที่แสดงความสัมพันธ์ของคอนทราสต์ และความเข้มของฟิล์มแต่ละชนิดได้โดยฟิล์มที่มีเกรนที่ละเอียดขึ้นจะมีคอนทราสต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 2.9 A คือ ฟิล์มที่มีเกรนละเอียดมาก B คือฟิล์มที่มีเกรนละเอียด C คือฟิล์มที่มีเกรนละเอียดปานกลาง จะเห็นได้ชัดเจนว่า

คอนทราสต์ที่ดีขึ้น จะ ได้จากการเพิ่มขึ้นของความเข้ม และฟิล์มที่มีเกรนที่ละเอียดขึ้นจะมีคอนทราสต์ที่ดีกว่า ซึ่งในข้อกำหนดและแนวทางปฏิบัตินิยมให้ความเข้มอยู่ระหว่าง 2.0 และ 3.0 ในบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับคอนทราสต์ [9]

จากรูปที่ 2.9 จะพบว่าค่าของความเข้มที่น้อยลงจะส่งผลต่อการลดลงของคอนทราสต์ของฟิล์มด้วย เมื่อพิจารณาความเข้มของฟิล์มที่ค่า 3.0 จะเห็นว่าความเข้มที่น้อยลงจะทำให้อัตราส่วนของคอนทราสต์ลดลงด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของฟิล์มที่ 3.0 ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงการลดลงของคอนทราสต์เมื่อลดความเข้มของฟิล์ม [9]

Density	Film Contrast as a% of Value at Density 3.0
3	100
2.5	85
2	71
1.5	54
1	35

2.1.9 ชนิดของฟิล์ม

ฟิล์มที่ใช้ในการขบวนการการถ่ายภาพด้วยรังสี สามารถที่จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นชนิดที่ผลิตขึ้นมาใช้งานกับฉากเรืองแสง ซึ่งจะเรืองแสงได้เมื่อได้สัมผัสกับรังสี และจะทำให้ลดเวลาในการฉายรังสีลง ฟิล์มกลุ่มนี้จะใช้งานสำหรับทางการแพทย์

กลุ่มที่ 2 เป็นชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อการใช้งานโดยไม่มีฉากเรืองแสง แต่เหมาะกับฉากเพิ่มความเข้มที่ทำจากโลหะ ซึ่งฟิล์มในกลุ่มนี้จะใช้ในการฉายรังสีในงานอุตสาหกรรม

กลุ่มที่ 3 เป็นฟิล์มที่ผลิตขึ้นมาใช้งานเฉพาะทาง เช่นฟิล์มที่เคลือบสารไวแสงมาด้านเดียว เพื่อให้ความคมชัดพิเศษ หรือใช้กับรังสีอื่นที่ไม่ใช่รังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา

ซึ่งจากที่กล่าวมาจะขงพุดถึงฟิล์มในกลุ่มที่ 2 เท่านั้น ซึ่งเป็นฟิล์มที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยฟิล์มที่ใช้งานทางด้านถ่ายภาพด้วยรังสีสำหรับในงานอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกคร่าวๆ เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ฟิล์มเม็ดละเอียดมาก (Ultra Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของ เกรนเล็กและละเอียดมาก จึงให้ภาพที่ละเอียดมากมีความไวแสงที่ต่ำมาก (Vary Low Speed) ใช้เวลาในการถ่ายภาพนาน
2. ฟิล์มเม็ดละเอียด (Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของ เกรน ละเอียด ให้รายละเอียดที่ดีมีความไวแสงต่ำ (Low Speed)
3. ฟิล์มเม็ดปานกลาง (Medium Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของ เกรน ปานกลาง มีความไวแสงปานกลาง (Medium Speed)
4. ฟิล์มเม็ดหยาบ (Coarse Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของ เกรน หยาบ มีความไวแสงสูง (High Speed) ใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ได้มีการแบ่งชนิดของฟิล์มออกเป็นมาตรฐานต่างๆเช่น สมาคมทดสอบวัสดุของอเมริกา (ASTM) ได้แบ่งชนิดของฟิล์มออกเป็นสี่ประเภท ตามที่แสดงในตารางที่ 2.4 และ มาตรฐานของประเทศเยอรมัน (DIN) ได้แบ่งสามารถที่จะแบ่งชนิดของฟิล์มออกเป็นสามประเภทตามที่แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงการแบ่งชนิดของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM SE94 [10]

Film Type	Film Characteristics		
	Speed	Contrast	Graininess
1	Low	Very high	Very high
2	Medium	High	Fine
3	High	Medium	Coarse
4(a)	Very High (b)	Very High (b)	(c)
	Medium (d)	Medium (d)	Medium (d)

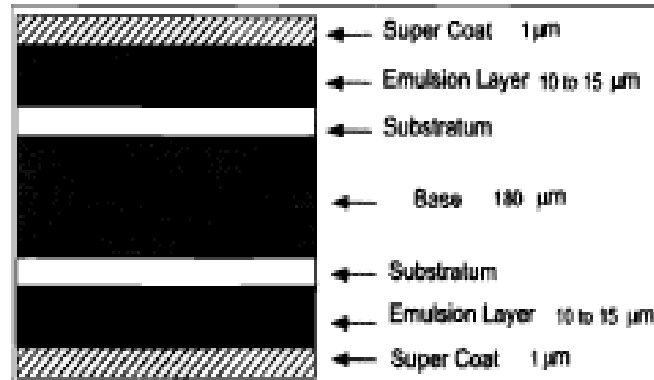
- หมายเหตุ:
- (a) โดยปกติจะใช้กับฉากเรืองแสง
 - (b) เมื่อใช้กับฉากเรืองแสง
 - (c) เป็นคุณลักษณะเฉพาะของฉากเรืองแสง
 - (d) เมื่อใช้ร่วมกับฉากตะกั่วหรือไม่ใช้ก็ได้

ตารางที่ 2.5 แสดงการแบ่งชนิดของฟิล์มตามมาตรฐาน DIN 54 111 [11]

Film class	Description
GI	Very Fine Grain
GII	Fine Grain
GIII	Medium Grain

2.1.10 ส่วนประกอบของฟิล์ม

ส่วนประกอบของฟิล์มจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของฟิล์ม [2]

1. ฐานหรือแผ่นรอง (Base) เป็นแผ่นพลาสติกบางใส เป็นแกนของแผ่นฟิล์ม ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ (Polyester) เนื่องจากทำให้ฟิล์มแข็งแรง โค้งงอได้ เก็บได้นาน นึกขาดยาก ไม่ดูดความชื้น มีความหนาประมาณ 180 μm . เป็นแกนกลางให้ส่วนอื่นๆยึดไว้เท่านั้น
2. อิมัลชัน (Emulsion) เป็นชั้นที่มีส่วนผสมของสารที่มีความไวต่อแสง รังสี ความร้อน สารเคมีเคลือบอยู่ มีความหนาประมาณ 10-15 μm . ประกอบด้วย Silver Bromide (AgBr) ประมาณ 95% (90-99%) และ Silver Iodide (AgI) = 5% (10-1%) (ฟิล์มบางชนิดอาจใช้ AgCl แทน AgI) และมักผสมกับเจลาติน เนื่องจากช่วยให้เจลาตินดูดน้ำจากน้ำยาล้างฟิล์ม ทำให้เจลาตินบวม เปิดทางให้สารเคมีจากน้ำยาเข้าไปทำปฏิกิริยากับโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มได้ง่าย นอกจากนั้นยังรักษาสาร AgBr ให้แขวนตะกอนและป้องกันการแยกออกเป็นอิสระของผลึกได้ง่าย โดยที่อิมัลชันนั้นจะทำหน้าที่สร้างภาพให้กับฟิล์ม เมื่อมีรังสีมาตกกระทบ
3. ชั้นซับสตราตัม (Substratum) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างอิมัลชันกับแผ่นรอง เป็นชั้นของการช่วยยึดอิมัลชันให้ติดกับ Base
4. ชั้นนอกสุด (Super Coat) เป็นชั้นบางใส ทำให้เจลาตินแข็งตัว เคลือบอยู่บนอิมัลชัน ป้องกันไม่ให้เสียหาย ปกติผิวของชั้น Super Coat จะต้องเรียบและแข็ง แต่ไม่ควรแข็งมาก เพราะสารเคมีจะทำปฏิกิริยากับผลึก Ag^+ ได้ยาก ทำหน้าที่เคลือบป้องกันการขีดข่วน ซึ่งเป็นชั้นของเจลาติน (Gelatin) เพื่อป้องกันการขีดข่วน

2.1.11 การเกิดภาพบนฟิล์ม

เมื่อฟิล์มถูกแสงหรือรังสี ก่อนการล้างฟิล์ม เราไม่สามารถมองเห็นภาพบนฟิล์มได้ ซึ่งภาพที่เกิดขึ้นบนฟิล์มที่เราไม่สามารถมองเห็นนี้ เรียกว่าภาพแฝง (Latent Image) เมื่อนำฟิล์มจุ่มลงในน้ำยาสร้างภาพ (Developer) Ag⁺ จะถูก Reduce ไปเป็นโลหะเงินสีดำ ดังนั้นส่วนของฟิล์มที่ถูกโลหะมากจะมีสีดำ เมื่อจุ่มฟิล์มลงในน้ำยาจับภาพ (Fixer) AgBr ที่ไม่ถูกรังสีหรือไม่ได้แตกตัวเป็นไอออน จะถูกล้างออกจากฟิล์ม ดังนั้นบริเวณที่ไม่ถูกรังสีเลยจะใส

2.1.12 ความไม่คมชัดเรขาคณิต (Ug)

ถ้าระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงฟิล์มหรือชิ้นงานทดสอบนั้นมีระยะน้อย จะทำให้ชิ้นงานได้รับพลังงานรังสีมากและเวลาที่ใช้ในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีน้อยลง แต่การชิ้นงานได้รับพลังงานรังสีที่มากนั้นจะส่งผลต่อค่าความไม่คมชัดของภาพดังสมการดังนี้

$$U_g = (F * s / d) \quad (2.7)$$

- โดยที่ U_g คือ ความไม่คมชัดเรขาคณิต
 F คือ ขนาดของต้นกำเนิดรังสี (mm)
 s คือ ระยะจากผิวชิ้นงานถึงฟิล์ม (mm)
 d คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานทดสอบ (mm)

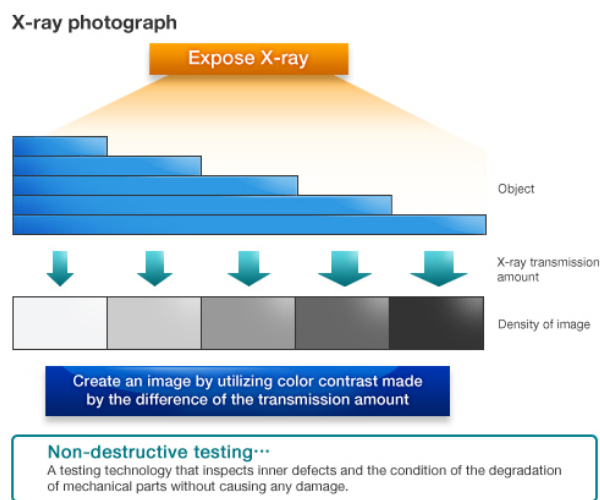
จากสมการ ถ้าระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานทดสอบมีค่าน้อย จะทำให้ค่าความไม่คมชัดของฟิล์มยังมีค่าที่สูง ดังนั้นระยะจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานที่จะทดสอบควรมีระยะที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความไม่คมชัดภาพสามารถยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขนาดค่าสูงสุดของความไม่คมชัดทางเรขาคณิต

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)

2.1.13 ละติจูด (Latitude)

ละติจูด คือ ความสามารถในการบันทึกภาพที่มีความแตกต่างกันของความหนา เอาไว้ในฟิล์มเดียวกันได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายถึง ช่วงความกว้างของความเข้มที่แตกต่างกันบนฟิล์ม ที่สามารถตรวจสอบได้ หรืออยู่ในช่วงมาตรฐานการยอมรับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ อ้างอิงมาตรฐานจาก ASME ซึ่งมาตรฐาน ASME ได้กำหนดไว้ว่า ความเข้มของฟิล์มนั้น จะต้องมีความเข้มไม่น้อยกว่า 1.8 และไม่เกิน 4.0 ของการทดสอบแบบฟิล์มเดี่ยว (Single film) แต่ถ้าทดสอบแบบหลายฟิล์ม จะต้องมีความเข้มในแต่ละฟิล์มไม่น้อยกว่า 1.3



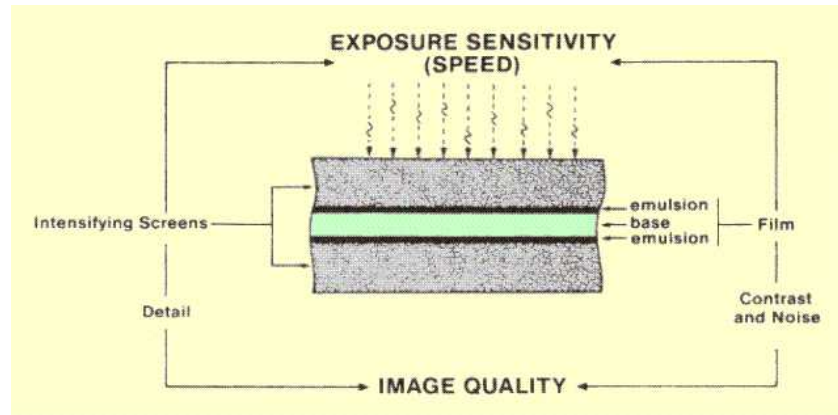
รูปที่ 2.11 ความแตกต่างในการบันทึกภาพที่มีความหนาแตกต่างกันของความหนา [12]

2.1.14 วิธีการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี

โดยทั่วไปในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีนั้น จะใช้การทดสอบแบบฟิล์มเดี่ยว ซึ่งปัญหาที่พบในการทดสอบแบบฟิล์มเดี่ยวก็คือ ความเข้มของฟิล์มไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะพบในการทดสอบชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน ทำให้ความเข้มที่ได้นั้นไม่สามารถแปรผลในฟิล์มเดี่ยวกันได้ ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้ในการทดสอบกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันหลากหลายวิธี ดังนี้

1. การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีแบบซ้อนฟิล์ม โดยในการทดสอบจะใช้ได้ทั้งฟิล์มความไวแสงแตกต่างกัน และความไวแสงเท่ากัน ซึ่งในการทดสอบนั้น จะบรรจุฟิล์มเข้าไปในระหว่าง

Intensifying screen มากกว่า 1 แผ่น แต่เทคนิคแบบฟิล์มเดี่ยว จะบรรจุฟิล์มเพียง 1 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การบรรจุฟิล์ม ของเทคนิคแบบฟิล์มเดี่ยว [13]

2. การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะใช้เอกซ์โพเซอ์ในส่วนที่ความหนามากที่สุดและครั้งที่สองจะใช้เอกซ์โพเซอ์ในส่วนที่บางที่สุดแล้วทำการวิเคราะห์ผลร่วมกัน
3. การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้วัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับรังสีที่เท่ากับวัสดุที่ทดสอบวางบนส่วนที่บางของวัสดุที่จะทดสอบเพื่อให้ชิ้นงานมีความหนาเท่ากันแล้วทำการถ่ายภาพด้วยรังสีครั้งเดียว
4. การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีใช้แผ่นกรองรังสีที่ทำจากวัสดุที่มีการดูดซับรังสีที่สูงเช่นทองแดง ตะกั่ว ดินบุก
5. การทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่ใช้ฉากเรืองแสง โดยฟิล์มจะออกแบบมาใช้กับฉากเรืองแสง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี 2 วิธี คือ วิธีการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีแบบฟิล์มเดี่ยว (Single film) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้งานโดยทั่วไป และวิธีการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีแบบซ้อนฟิล์ม (Double film) ทั้งในกรณีที่ใช้ฟิล์มความไวแสงแตกต่างกัน และความไวแสงเท่ากัน

2.2 กระบวนการล้างฟิล์ม

ภายหลังจากการถ่ายภาพรังสี จะยังไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากภาพที่เกิดขึ้นยังอยู่ในลักษณะของภาพแฝง(Latent Image) ต้องนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนภาพแฝงให้เป็นภาพที่สามารถมองเห็นได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า การล้างฟิล์ม(Film Processing) ซึ่งกระบวนการนี้นับได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสี จึงต้องมีการควบคุมกระบวนการล้างฟิล์มให้ถูกต้องที่สุด โดยที่การล้างฟิล์มต้องทำในห้องมืด ที่มีการควบคุมความสว่างภายในห้องมืดที่เหมาะสม และยังคงจัดระบบภายในห้องมืด เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ อันอาจทำให้ภาพถ่ายรังสีนั้นเกิดการเสียหายได้ ซึ่งกระบวนการล้างฟิล์มที่ทำให้เห็นภาพบนฟิล์มนั้นเกิดจากปฏิกิริยาเคมี โดยที่การล้างฟิล์มนั้นจะต้องควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลา ความเข้มข้นของน้ำยาล้างฟิล์ม ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้ฟิล์มมีคุณภาพมากที่สุด

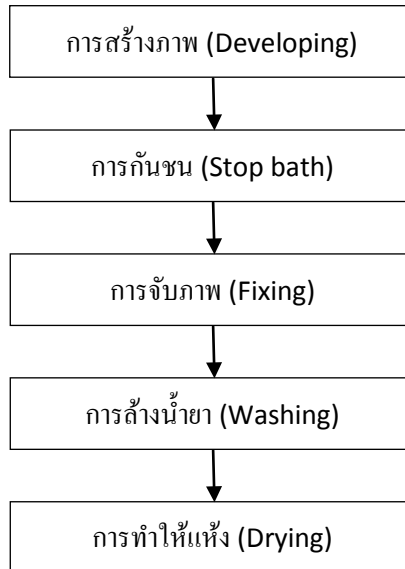
2.2.1 การเตรียมการก่อนการล้างฟิล์ม

เนื่องจากการล้างฟิล์มต้องทำในสภาวะที่มีแสงสว่างน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องเตรียมการก่อนการล้างฟิล์มให้ถูกต้อง ก่อนที่จะทำการดับไฟแสงสว่าง และนำฟิล์มออกมาจากซองฟิล์ม โดยขั้นตอนการเตรียมการ ก่อนการล้างฟิล์มมีดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบระดับของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ โดยที่ระดับของสารเคมีจะต้องไม่ล้นออกนอกภาชนะบรรจุ เมื่อสารเคมีกระเพื่อมจากการล้างฟิล์ม และต้องมีระดับที่ท่วมฟิล์มมิด เพื่อให้ฟิล์มได้สัมผัสกับสารเคมีได้อย่างทั่วถึง
2. กวนสารเคมีให้เข้ากันทั่ว เนื่องจากสารเคมีที่ไม่ได้ใช้งานช่วงระยะเวลาหนึ่ง สารเคมีจะตกตะกอน จึงต้องทำการกวนสารเคมีให้เข้ากัน จึงจะทำให้สารเคมีสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
3. ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำโดยที่อัตราการไหลที่เหมาะสม คือระหว่าง 4 ถึง 8 เท่า ของปริมาตรถึงต่อชั่วโมง
4. ตรวจสอบอุณหภูมิของสารเคมี ซึ่งมักควบคุมไว้ที่ 20°C แต่ในเขตร้อนอาจมีอุณหภูมิสูงกว่านี้ได้บ้าง
5. จากอุณหภูมิของสารเคมีที่ได้จากหัวข้อที่ 4 ให้คำนวณเป็นเวลาที่ใช้ในกระบวนการล้างฟิล์ม และเตรียมนาฬิกาจับเวลาให้เรียบร้อย โดยทั่วไปจะใช้เวลาในสารสร้างภาพ 5 นาทีที่ 20°C
6. เตรียมบริเวณสำหรับถอดฟิล์ม ออกจากซองฟิล์ม โดยต้องทำความสะอาดให้ปราศจากฝุ่น และคราบสารเคมี รวมทั้งทำความสะอาดอุปกรณ์ประกอบ เช่น ที่แขวนฟิล์มด้วย

7. ล้างมือให้สะอาดและเช็ดให้แห้ง

2.2.2 ขั้นตอนของกระบวนการล้างฟิล์ม



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนในกระบวนการล้างฟิล์ม

1. การสร้างภาพ (Development) เป็นการ Reduce AgBr ที่ถูกรังสี ให้เป็น โลหะเงินสีดำ การสร้างภาพนี้ ตามปกติใช้เวลาประมาณ 5 นาที อุณหภูมิ 68°F (20°C) ใช้สารละลายที่เป็นด่าง โดยจะสามารถทำได้โดยการแช่ฟิล์มลงในสารสร้างภาพ (Developing agent) สารเคมีที่ใช้แสดงดังในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงสารเคมีและหน้าที่ของสารสร้างภาพ

สารเคมี	หน้าที่
Phinidone	สร้างสีเทาอย่างรวดเร็ว
Hydroquinone	สร้างสีดำใช้เวลานาน
Sodium carbonate	ตัวเร่งปฏิกิริยา
Potassium bromide	ป้องกันการทำปฏิกิริยาของผลึกสารไวแสงที่ไม่ได้รับรังสี
Sodium Sulfate	สารกันเสีย
Water	ตัวทำละลาย

ความเข้มของฟิล์มเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมี 2 ชนิด คือ Phenidone ซึ่งสร้างความเข้มต่ำ(สีเทา) ในเวลาที่รวดเร็ว และ Hydroquinone สร้างความเข้มสูง(สีดำ) แต่ใช้เวลานาน ดังนั้น ความเข้มของฟิล์มจึงเป็นผลรวมของการทำปฏิกิริยาของสารเคมีทั้ง 2 ชนิด เมื่อทำการจุ่มฟิล์มลงในสารสร้างภาพ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำให้ผลึกสารไวแสงที่ได้รับรังสีแล้วเปลี่ยนเป็นสีดำ ซึ่งความเข้มที่เกิดขึ้น จะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการจุ่มฟิล์มลงในสารสร้างภาพ ซึ่งใช้เวลา 5 นาทีที่ 20°C หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ สารเคมีจะมีอัตราการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันไป ซึ่งการใช้เวลานานเกินไป ย่อมทำให้ฟิล์มมีความเข้มสูงมากเกินไป (Over Developing) ส่วนเวลาที่เร็วเกินไป อาจไม่สามารถทำให้ฟิล์มเกิดความเข้มได้เพียงพอ อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงกว่า 25°C เนื่องจากจะทำให้ฟิล์มเกิดการหมองคล้ำ และไม่ต่ำกว่า 18°C เนื่องจากการสร้างภาพ ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ ขั้นตอนของการสร้างภาพ ควรทำการเขย่าฟิล์ม ในสารสร้างภาพ เป็นจังหวะๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของขบวนการ เพื่อเป็นการกำจัดฟองอากาศที่เกาะอยู่บนแผ่นฟิล์ม และเป็นการหมุนเวียนสารสร้างภาพใหม่ เข้ามาทำปฏิกิริยา หลังจากการใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง สารสร้างภาพจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาลดต่ำลง จึงควรเติมสารสร้างภาพใหม่เพื่อให้ได้ความเข้มขึ้น และระดับของสารสร้างภาพที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม สารสร้างภาพที่ไม่ได้ใช้งานก็สามารถเสื่อมสภาพไปได้เอง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศ โดยทั่วไปสารสร้างภาพมีอายุการใช้งานไม่เกิน 1 เดือน จะต้องทำการผสมหรือเตรียมสารใหม่

- การเขย่าฟิล์ม (Agitation) การเขย่าในทุกขั้นตอนของกระบวนการล้างฟิล์มนั้น ควรทำทุกๆ นาที ในระหว่างการสร้างภาพ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การสร้างภาพ เป็นไปอย่างทั่วถึงตลอดทั้งฟิล์ม

2.การกั้นชน (Stop Bath) ในขั้นตอนการทำงานควรมีการเขย่าฟิล์ม เนื่องจากสารสร้างภาพเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง และสารเคมีในขั้นตอนฟิสิกเซอร์มีฤทธิ์เป็นกรด ดังนั้นหากนำฟิล์มจากการจุ่มในสารสร้างภาพ ผ่านลงในฟิสิกเซอร์โดยตรง ย่อมทำให้ฟิสิกเซอร์เกิดการปนเปื้อนและเสื่อมสภาพเร็วขึ้น ดังนั้นก่อนขั้นตอนของฟิสิกเซอร์ จึงควรจุ่มฟิล์มลงในสารเคมีที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนได้ เพื่อชะล้างสารละลาย จากขั้นตอนการสร้างภาพ ที่ตกค้างอยู่ในชั้น Emulsion ของฟิล์ม หรือทำให้เป็นกลาง (Neutralize) หลังการ สร้างภาพ โดยที่สารนี้สามารถเตรียมขึ้นได้จากกรดอะซิติกชนิดกลีต 2.5 ml. ต่อน้ำ 1 ลิตร ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ 30 วินาที นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำสะอาดที่มีการหมุนเวียน โดยใช้เวลา 1-2 นาที

3.การจับภาพ (Fixing) เป็นการชะล้าง AgBr ที่ไม่ได้ถูกรังสีออกจากแผ่นฟิล์ม ช่วยทำให้เงาติดในฟิล์มอยู่ตัว และช่วยทำให้สารละลาย สร้างภาพ ที่ตกค้างอยู่มีสภาพเป็นกลาง สารละลายที่ใช้มีสภาพเป็นกรด เวลาที่ใช้ต้องไม่ต่ำกว่า 3 นาที โดยที่ไม่ควรเกิน 15 นาที และควรเขย่าฟิล์มประมาณ 10 วินาที ในครั้งแรกและอีกครั้งในตอนท้ายของนาทีแรก

หน้าที่ของสารฟิกเซอร์(Fixer) คือ

1. หยุดการทำงานของสารสร้างภาพ
2. กำจัดสารไวแสงที่ไม่ได้รับรังสี (ไม่ทำปฏิกิริยากับสารสร้างภาพ)
3. ทำให้สารเคลือบแข็งตัว

4.การล้างน้ำ (Washing) ขั้นตอนนี้เป็นการล้างฟิกเซอร์ออกจากแผ่นฟิล์ม เพื่อป้องกันสารฟิกเซอร์ตกค้าง ซึ่งเป็นผลเสียกับฟิล์ม การล้างน้ำต้องใช้น้ำสะอาดที่มีการหมุนเวียนอย่างสม่ำเสมอ เป็นเวลา 15-30 นาที หากนานกว่านี้จะทำให้สารเคลือบหลุดออกได้ น้ำที่ใช้ไม่ควรมียูทิลิตี้สูงกว่า 25°C ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสารเคลือบได้ และไม่ควรมียูทิลิตี้ต่ำกว่า 15°C เนื่องจากไม่สามารถละลายสารฟิกเซอร์ออกจากฟิล์มได้

5.การทำแห้ง (Drying) โดยใช้การผึ่งฟิล์มในอากาศที่อุณหภูมิปกติ จนถึงการอบฟิล์มในตู้ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 140°F (60°C) โดยมีพัดลมเป่าอากาศร้อนหมุนวนอยู่

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีรพงศ์ สุพลเสรษฐ [14] จุดประสงค์ในการทดลองนั้น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อละติจูดของการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งในการทดสอบนั้นใช้รังสีเอกซ์เรย์ ถ่ายภาพรังสีที่ชิ้นงานแบบขั้นบันได โดยวัสดุทำจากเหล็กกล้า ผลการทดลองพบว่า พลังงาน (kV), เทคนิคในการถ่ายภาพ และความหนาที่แตกต่างกัน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อละติจูดของการถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งการทดลองนี้ไม่ได้นำเสนอถึงการนำไปประยุกต์ใช้ และการศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพแบบซ้อนฟิล์มโดยตรง

พัฒนพงษ์ ปัญญาแก้ว [15] จุดประสงค์ในการทดลองนั้น เพื่อศึกษาหาเทคนิคที่เหมาะสมในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีความหนาต่างกัน ในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีจะใช้รังสีเอกซ์ กับชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นแบบขั้นบันได (Step wedge) วัสดุทำจากอลูมิเนียมที่มีความหนาตั้งแต่ 4-32 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่า พลังงานที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในแต่ละเทคนิคที่ค่าพลังงาน 90 kV จะมีช่วงความเข้มฟิล์มที่ใช้แปลผลกว้างที่สุด โดยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีแบบซ้อนฟิล์มโดยใช้ฟิล์มความไวแสงของฟิล์มต่างกันที่ควบคุมค่าเอกซ์โพเซเจอร์ โดยฟิล์มที่มีความไวแสงต่ำ จะได้ช่วงความเข้มที่สามารถแปรผลได้มากที่สุด ซึ่งการทดลองนี้ ไม่ได้นำเสนอถึงการนำไปประยุกต์ใช้ และการศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพแบบซ้อนฟิล์มโดยตรง

Holmstrom [16] จุดประสงค์ในการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของคอนทราส และช่วงความกว้าง (Latitude) ในการตรวจสอบ เมื่อระดับพลังงานที่ใช้ในการตรวจสอบเปลี่ยนไป ในการตรวจสอบแผ่นเหล็กหนาน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร โดยใช้รังสีเอ็กซ์ ค่าพลังงานตั้งแต่ 140 - 280 kV ใช้ช่วงพลังงานต่างกันแต่ละครั้งเพิ่ม 20 kV และใช้ฟิล์มที่มีความไวแสงที่ต่างกัน ชี้นงานทดสอบเป็นเหล็กที่มีความหนาต่างกัน คือ 2.6 4.8 และ 6.6 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลอง สามารถนำไปประมาณค่าระดับพลังงานค่าเอกซ์โพเซอร์ ที่จะใช้ในฟิล์มแต่ละชนิด เพื่อให้ได้คอนทราส และช่วงความกว้างของการตรวจสอบที่ต้องการ ซึ่งการทดลองนี้ไม่ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อละติจูด และไม่ได้มีการสรุปผลออกมาเป็นตารางเพื่อนำประยุกต์ใช้ในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสี

พิสิษฐ์ วิชานนะ และคณะ [17] จุดประสงค์ในการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบบค่า kV ต่อความไวในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้รังสีเอ็กซ์โดยทำการทดลองที่ค่าพลังงาน 60kV 80kV และ 100kV สำหรับวัสดุอะลูมิเนียมทั้งฟิล์ม AA400 และ MX125 ที่ค่าพลังงาน 120kV 140kV และ 160kV สำหรับวัสดุเหล็กทั้งฟิล์ม D7 และ MX125 ทำการล้างฟิล์มโดยควบคุมความเข้มที่ประมาณ 2.0 แล้วนำไปผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า kV และ IQI Sensitivity ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่า 60kV และ 120kV คือใช้ค่าพลังงานที่ต่ำจะทำให้ความไวในการตรวจสอบสูงกว่าการใช้ค่าพลังงานที่สูง และฟิล์ม MX125 จะเห็นความคมชัดของเส้นตัววัดคุณภาพได้ชัดกว่าฟิล์ม D7 และ AA400 ซึ่งการทดลองนี้ ศึกษาเพียงผลกระทบบของพลังงาน (kV) และใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบฟิล์มเดี่ยว ไม่ได้ศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพแบบซ้อนฟิล์ม

Hayward และ Currie [18] จุดประสงค์ในการทดลองนั้น เพื่อศึกษาถึงความไวในการตรวจสอบ และคอนทราสในการทดสอบ โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีที่ต่างกัน ในการทดลองใช้เทคนิคต่างๆในการถ่ายภาพด้วยรังสีกับชิ้นงานทดสอบมีรอยแตกร้าวหลายๆขนาดบนชิ้นงาน ซึ่งรังสีที่ใช้แหล่งกำเนิดที่ต่างกัน คือ รังสีเอ็กซ์, อีเรเดียม 192 (Ir 192) และ เซเรเนียม 75 (Se 75) โดยศึกษาถึงผลของระดับพลังงานในการฉายรังสีทั้ง 3 ประเภทที่ส่งผลต่อความไวในการตรวจสอบ และคอนทราส ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มที่ฉายด้วยรังสีเอ็กซ์จะมีความไวในการตรวจสอบ และคอนทราสที่ดีกว่า คือเห็นรอยแตกร้าวบนชิ้นงานได้ทั้งหมด แต่ถ้าเทียบกับรังสีแกมมาด้วยกัน พบว่า เซเรเนียม 75 จะมีความไวในการตรวจสอบ และคอนทราสดีกว่าอีเรเดียม 192 แต่ จะไม่เห็นรอยร้าวชัดเจนเมื่อเทียบกับรังสีเอ็กซ์ ซึ่งการทดลองนี้ เป็นการศึกษาถึงความแตกต่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสี ไม่ได้ศึกษาถึงความสามารถในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน