บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา [1]

การถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography) หมายถึงวิธีการที่จะทำให้เกิดภาพบนอุปกรณ์รับภาพโดยใช้รังสี ซึ่งได้แก่ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และ นิวตรอน เป็นต้น การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นการถ่ายภาพเนื้อในของชิ้นงาน อาศัยคุณสมบัติในการทะลุทะลวงของรังสี ประกอบกับผลของการดูดกลืนพลังงานในชิ้นงาน ที่มีความหนาแน่น และส่วนประกอบต่าง ๆ กัน องค์ประกอบหลักของการถ่ายภาพด้วยรังสี ประกอบด้วย

- ต้นกำเนิดรังสี
- ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ
- อุปกรณ์รับภาพ เช่น ฟิล์ม หรือ กล้องมองภาพ

2.1.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา [1]

ก. เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ข. ไม่มีประจุ ไม่มีมวล เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง

ค. สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ อำนาจการทะลุทะลวงขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี

ง. ถูกดูดกลืนได้ในตัวกลาง ปริมาณการดูดกลืน จะแปรผกผันกับพลังงานของรังสี แต่จะแปรผันตรงกับความหนา และความหนาแน่นของตัวกลาง

จ. เกิดการสะท้อนในตัวกลางได้

ฉ. เกิดการเรืองแสงได้ในวัตถุบางชนิด

ช. ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุได้

รังสีแกมมามีคุณสมบัติเช่นเดียวกับแสง คือ ความเข้มของรังสี จะลดลงตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) ดังสมการ

$$I \propto \frac{1}{d^2}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของรังสี

d คือ ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี

เมื่อให้ I_1 และ I_2 เป็นความเข้มรังสีที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี d_1 และ d_2 ตามลำดับจะได้ว่า

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

2.1.2 การลดทอนของรังสี [1]

รังสีเอกซ์ และ รังสีแกมมา เกิดอันตรกิริยากับสสารต่าง ๆ รวมทั้งอากาศที่ผ่านตัวกลางนั้น ๆ ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาณรังสีที่จะใช้ตรวจสอบชิ้นงาน ลดลงจากปริมาณรังสีที่ออกจากต้นกำเนิดรังสี เมื่อผ่านชิ้นงานไปแล้วก็ยังเปลี่ยนไปอีก ดังนั้นปริมาณรังสีที่ลดลง เนื่องจากชนิดของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก

การลดลงของรังสีจะมีค่าเท่าใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้ม และ พลังงานของรังสีรวมทั้งความหนา และ โครงสร้างของอะตอมของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ

ความเข้มของรังสีเมื่อผ่านวัสดุไปแล้ว จะมีการลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) โดยขึ้นกับความหนาของวัสดุที่กั้นรังสี ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง

I_0 คือ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบวัตถุตัวอย่าง

μ คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น (Linear Absorption Coefficient)

x คือ ความหนาของชิ้นงาน

ค่าความหนาของวัสดุใด ๆ ที่สามารถกั้นรังสีเอกซ์ หรือ รังสีแกมมาให้มีความเข้มลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง เรียกว่า Half Value Layer (HVL)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

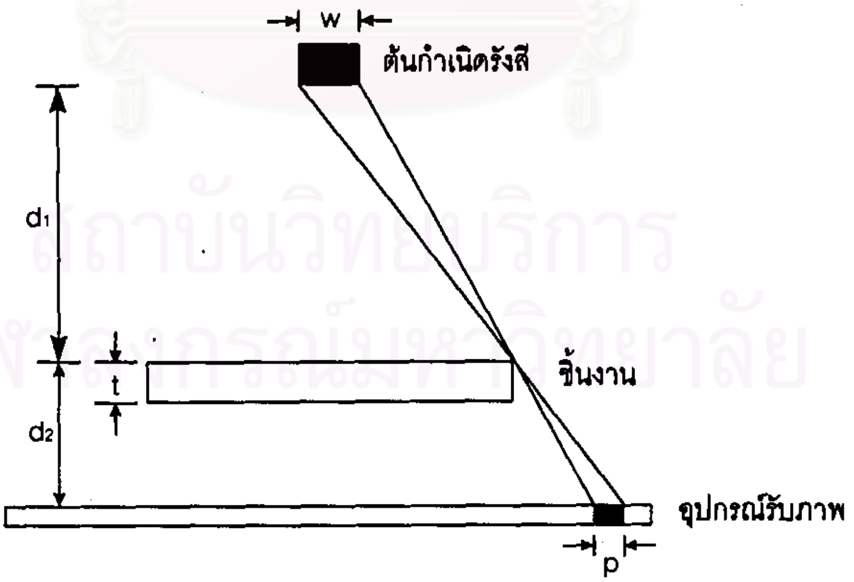
2.1.3 ทฤษฎีของการเกิดภาพ

ภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสี เรียกว่า ภาพถ่ายรังสี (Radiograph) จะคล้ายกับภาพที่ปรากฏบนจอเมื่อนำวัตถุทึบแสงไปบังแสงไว้ แต่รังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ ในขณะที่แสงไม่สามารถทะลุทะลวงได้ แต่กฎของการเกิดเงาตามหลักเรขาคณิตสามารถนำมาใช้กับรังสี และ แสงได้ โดยที่ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และ แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ซึ่งสิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญในอันที่จะทำให้ภาพคมชัดหรือไม่

การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมานี้คุณภาพของภาพถ่ายจะดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับ เทคนิคของการถ่ายภาพด้วยรังสีในทางปฏิบัตินั้น ภาพถ่ายที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ 4 ประการคือ มีความคมชัด มีความเปรียบต่างสูง มีความดำพอเหมาะ และมีความบิดเบือนน้อยที่สุด

2.1.3.1 ความคมชัด (Sharpness Definition) [2]

หมายความว่า ภาพถ่ายที่ได้ต้องไม่มัว (blur) มีเงา (penumbra) น้อยที่สุด ความคมชัดของภาพที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับการจัดวางของต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงาน และ อุปกรณ์รับภาพ ในลักษณะทางเรขาคณิต เป็นองค์ประกอบ (Geometric Factor)



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดวางต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงาน และ อุปกรณ์รับภาพในการถ่ายภาพด้วยรังสี

เมื่อ w คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นกำเนิดรังสี

t คือ ความหนาของชิ้นงาน

p คือ ขนาดของเงาที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์รับภาพ

d_1 คือ ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน

d_2 คือ ระยะจากผิวหน้าชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพ

จากเรขาคณิตจะได้ว่า

$$p = w\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

แสดงว่าขนาดของ p ขึ้นอยู่กับขนาดของต้นกำเนิดรังสี ระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน และ ระยะระหว่างชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพ ตามปกติแล้วมนุษย์เราไม่สามารถแจกแจงเงาที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรได้ การที่จะทำให้ขนาดของเงามีค่าน้อยคือ การทำให้ภาพมีความคมชัดนั้น จะกระทำได้โดย

ก. ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีขนาดเล็ก

ข. ให้ระยะห่างจากชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยวางชิ้นงานให้ติดกับอุปกรณ์รับภาพ จะได้ d_2 เท่ากับความหนาของชิ้นงาน

ค. ให้ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานมีค่ามาก

กล่าวคือ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วงเป็นเซ็นติเมตรส่วนขนาดของจุดโฟกัสอยู่ในช่วงมิลลิเมตรเท่านั้น

ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานนั้น ในทางปฏิบัติ เราสามารถประมาณได้โดยใช้ระยะห่างอย่างน้อยเท่ากับ 8 เท่าของความหนาของชิ้นงาน และวางชิ้นงานติดกับอุปกรณ์รับภาพ นั่นคือ

$$d_1 \geq 8t$$

หรือจะใช้การคำนวณระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานน้อยที่สุด ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_1(\min) = \frac{w}{p}(t)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $d_t(min)$ คือ ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน

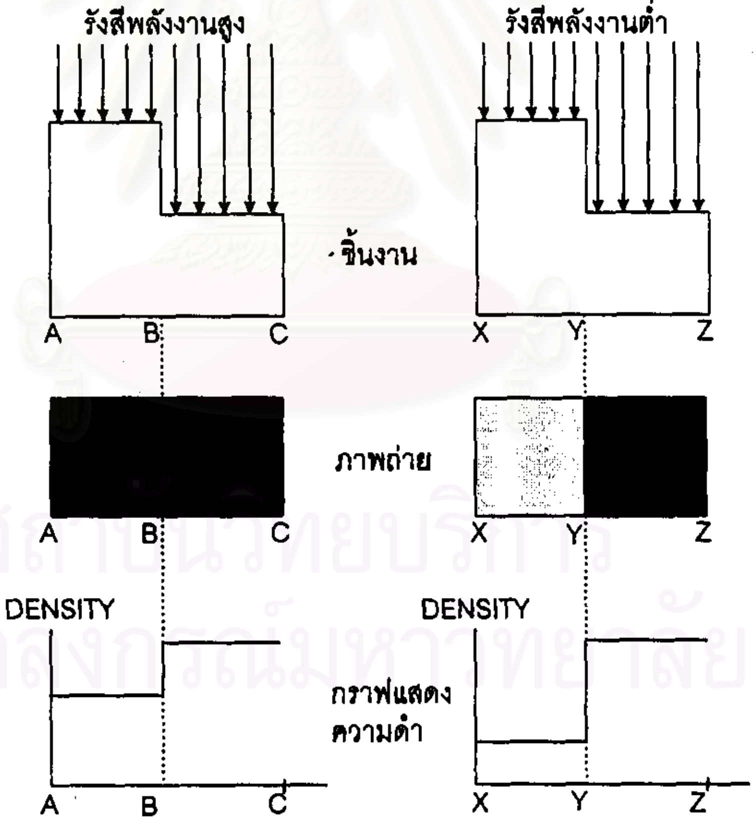
t คือ ความหนาของชิ้นงาน

p คือ ขนาดของเงา

2.1.3.2 ความเปรียบต่างของภาพสูง (High Contrast) [2]

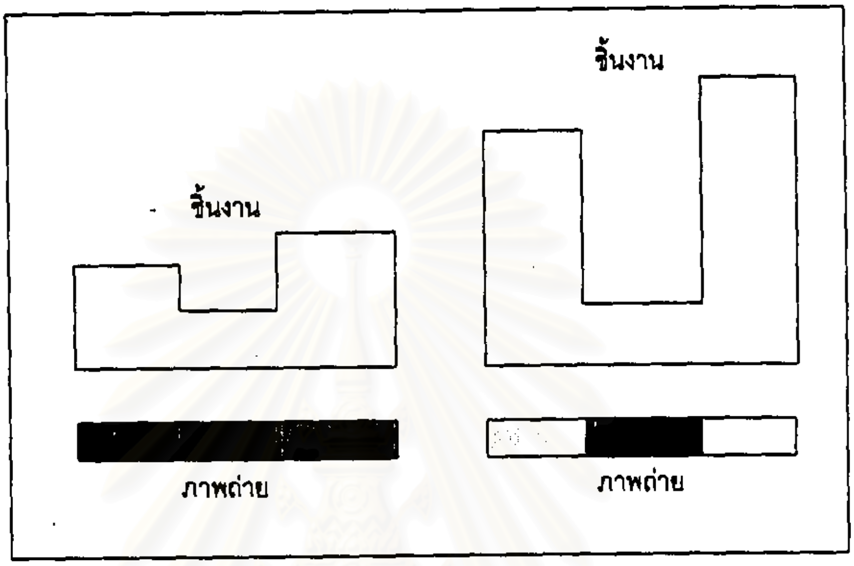
ความหมาย คือ มีความแตกต่างความดำระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ บนอุปกรณ์รับภาพสูง ในด้านของความเปรียบต่างของภาพนั้น อิทธิพลที่ทำให้ความเปรียบต่างของภาพมากหรือน้อย เป็นอิทธิพลของต้นกำเนิดรังสีที่ได้จากพลังงานของรังสี และ อิทธิพลของตัวชิ้นงาน

พลังงานของต้นกำเนิดรังสี จะมีผลต่อความเปรียบต่างของภาพ โดยรังสีที่มีพลังงานต่ำ จะให้ภาพที่มีความเปรียบต่างสูงกว่ารังสีที่มีพลังงานสูงดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบความเปรียบต่างของภาพถ่ายด้วย รังสีพลังงานสูงและพลังงานต่ำ [2]

ในส่วนของวัตถุชิ้นงานที่มีอิทธิพลต่อความเปรียบต่างของภาพ คือ ชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน โดยที่ชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันมากจะมีความเปรียบต่างของภาพสูงกว่าชิ้นงานที่มีความแตกต่างความหนาน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.3



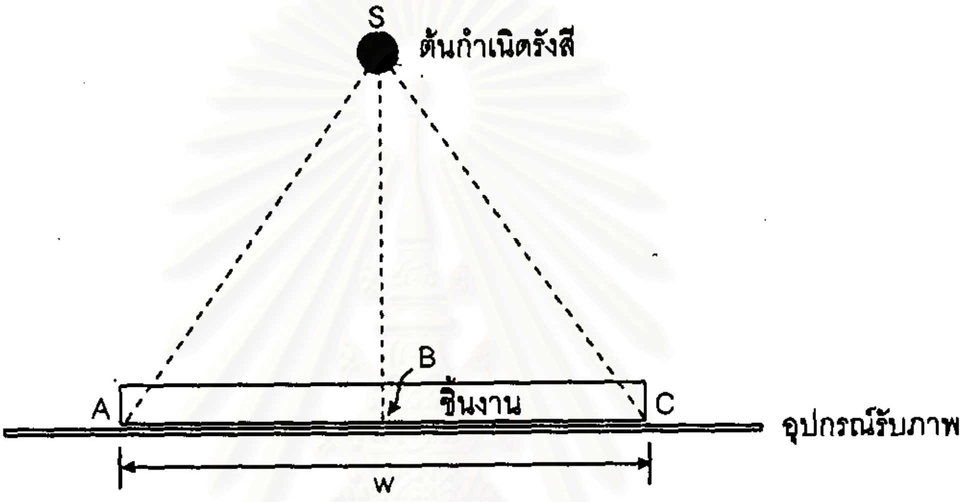
รูปที่ 2.3 แสดงภาพชิ้นงานที่ความแตกต่างของความหนามากและน้อย[2]

2.1.3.3 ความดำพอเหมาะ (Adequate Density)

หมายความว่า ภาพต้องไม่ดำ หรือ จางจนเกินไป ความดำของภาพถ่ายที่ดีอยู่ในช่วงประมาณ 1.2 ถึง 4.0 และอิทธิพลที่ผลต่อความดำของภาพถ่าย คือ ความแรงของรังสี ระยะจากชิ้นงานถึงต้นกำเนิดรังสี ถ้ามีระยะมากจะทำให้ ความแรงของรังสีลดลงภาพถ่ายที่ได้จะจางลง และถ้าวางใกล้มาก จะทำให้ภาพถ่ายมีความดำมาก ดังนั้น การวางต้นกำเนิดรังสี ให้มีระยะห่างระหว่างชิ้นงานถึงต้นกำเนิดรังสีจะต้องคำนึงถึงความแรงของต้นกำเนิดรังสีด้วย เพื่อจะให้ได้ภาพถ่ายที่มีความดำพอเหมาะ

ปัจจัยอีกประการหนึ่งก็คือ อิทธิพลของความกว้างของชิ้นงาน ต่อระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับอุปกรณ์รับภาพ นอกจากความหนาของชิ้นงานจะมีผลต่อการจัดระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับชิ้นงานแล้ว ความกว้างของชิ้นงานก็มีผลอย่างมาก จึงต้องพิจารณาด้วย ในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าระยะ SA และ SC เมื่อเทียบกับ SB แล้ว SB จะสั้นกว่า ดังนั้นความเข้มรังสีที่จุด B จะสูงกว่าจุดอื่น ๆ และจุดที่มีความเข้มรังสีน้อยที่สุด คือ ที่จุด A และ C ถ้าชิ้นงานมีความกว้างมากความเข้มรังสีบนอุปกรณ์รับภาพก็จะยิ่งแตกต่างกันมาก (โดยคิดว่าชิ้นงานหนาเท่า

กันตลอด) ซึ่งจะมีผลทำให้ความดำของภาพไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือตรงกลางภาพจะดำที่สุด และจางลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของภาพ การแก้ปัญหานี้กระทำได้โดยจัดให้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับอุปกรณ์รับภาพมีค่ามาก เพื่อจะได้ความเข้มรังสีที่จุดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในทางปฏิบัติ เราต้องจัดให้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับอุปกรณ์รับภาพมีค่าอย่างน้อยเท่ากับความกว้างสูงสุดของชิ้นงาน ดังนั้นระยะ SB จะต้องเท่ากับ w ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของความกว้างของชิ้นงานต่อระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับอุปกรณ์รับภาพ [2]

2.1.3.4 การบิดเบือนของภาพ (Distortion)[1]

อุปกรณ์รับภาพที่ใช้อยู่ในแนวขนานกับชิ้นงานที่จะถ่าย ภาพที่เกิดขึ้นจะไม่มีการบิดเบือนเลยไม่ว่าจะเปลี่ยนมุมของรังสีที่จะกระทบชิ้นงานเป็นมุมเท่าใดก็ตาม และอัตราการขยายของภาพที่เกิดขึ้นก็จะไม่แตกต่างกันด้วย เนื่องจากระยะของภาพถึงต้นกำเนิดรังสีต่อระยะของชิ้นงานถึงต้นกำเนิดรังสี ไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามถ้าแนวของชิ้นงานไม่ขนานกับอุปกรณ์รับภาพแล้ว ภาพจะเกิดการบิดเบือนขึ้น เนื่องจากอัตราการขยายของภาพแตกต่างกันระหว่างรังสีที่ผ่านไปยังจุดสองจุดในชิ้นงานเดียวกัน เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ภาพที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพด้วยรังสีบิดเบือนไปจากของจริง ดังนั้นรูปร่างที่ดีของชิ้นงานจึงควรมีแนวที่ขนานกับอุปกรณ์รับภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความบิดเบือนของภาพ ที่เกิดขึ้นจะเป็นผลเนื่องจากการไม่ขนานกันของชิ้นงาน

และอุปกรณ์รับภาพโดยตรง ถ้าความไม่ขนานกันมีน้อย ความบิดเบือนก็น้อยในทางกลับกันถ้ามากความบิดเบือนก็มากตามไปด้วย

ดังนั้นจะไม่มีภาพที่บิดเบือนใดเลยที่ขนานกับแนวของชิ้นงาน ความบิดเบือนที่เกิดขึ้นจะมีผลเนื่องจาก Cosine ของมุมระหว่างลำรังสีกับผิวของชิ้นงานโดยตรง ตัวอย่างเช่น มีชิ้นงานรูปวงกลมสองชิ้นงาน ขนานกันกับอุปกรณ์รับภาพที่รองรับอยู่ด้านล่าง แต่ระยะทางระหว่างชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพไม่เท่ากันจะทำให้เกิดภาพวงกลมที่แยกจากกันสองวง หรือภาพของชิ้นงานที่เกิดขึ้นใหม่คงเกี่ยวเนื่องจากภาพวงกลมสองวงเกยกัน และยังขึ้นกับทิศทางรังสีด้วย ในการใช้งานจริง ๆ ภาพที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะปรากฏเป็นขอบเขตที่แสดงให้เห็นว่ามีความดำของภาพมากหรือน้อยกว่าบริเวณอื่น โดยขึ้นอยู่กับว่าบริเวณนั้นจะดูดกลืนรังสีได้มากหรือน้อยกว่าบริเวณอื่น ตัวอย่างเช่น ภาพที่เกิดขึ้นจากช่องว่างที่อยู่ในชิ้นงาน จะดำกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากว่าดูดกลืนรังสีไว้น้อยกว่าบริเวณอื่น

2.2 อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร

นิวตรอนเป็นอนุภาคไม่มีประจุ จึงไม่เกิดปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน แต่จะเกิดการชนกับนิวเคลียสของอะตอม โดยอาจเป็นการชนที่มีการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastic Scattering) หรือการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Scattering) นอกจากนั้นนิวตรอนอาจถูกจับยึด (Capture) หรือถูกดูดกลืน (Absorb) โดยนิวเคลียส ซึ่งเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาแบบปลดปล่อยโปรตอน (n,p) ปฏิกิริยาแบบปลดปล่อยนิวตรอน (n,2n) ปฏิกิริยาแบบปลดปล่อยรังสีอัลฟา (n,α) หรือ ปฏิกิริยาแบบปลดปล่อยรังสีแกมมา (n,γ) ติดตามมา

โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับสสาร สามารถแสดงเป็นปริมาณในรูปของความน่าจะเป็น เรียกว่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยา (Cross-section) มีค่าเป็นพื้นที่และหน่วยเฉพาะเรียกว่า บาร์น (barn) โดย 1 บาร์นมีค่าเท่ากับ 10^{-24} ตารางเซ็นติเมตร ภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละไอโซโทปของธาตุ ขึ้นกับพลังงานของนิวตรอนที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปนิวตรอนพลังงานต่ำ มีค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่านิวตรอนพลังงานสูง

เมื่อนิวตรอนผ่านเข้าไปในวัตถุตัวอย่าง อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร จะทำให้ความเข้มของนิวตรอนลดลงตามระยะทาง ดังสมการที่ (1) และสามารถเขียนในรูปของสมการเอกซโปเนนเชียลได้ดังสมการที่ (2)

$$-\frac{d\phi}{dx} = \phi\sigma N \quad \text{.........................} (1)$$

เมื่อ ϕ เป็น ฟลักซ์ของนิวตรอน หรือจำนวนอนุภาคนิวตรอนต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา ($n/cm^2.s$)

x เป็น ความหนาของวัตถุตัวอย่าง (cm)

σ เป็น ภาคตัดขวางจุลภาค (Microscopic Cross-section ; cm^2)

N เป็น จำนวนนิวไคลด์ต่อปริมาตร (cm^{-3}) ของธาตุในวัตถุตัวอย่าง

$$\phi = \phi_0 e^{-N\sigma x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

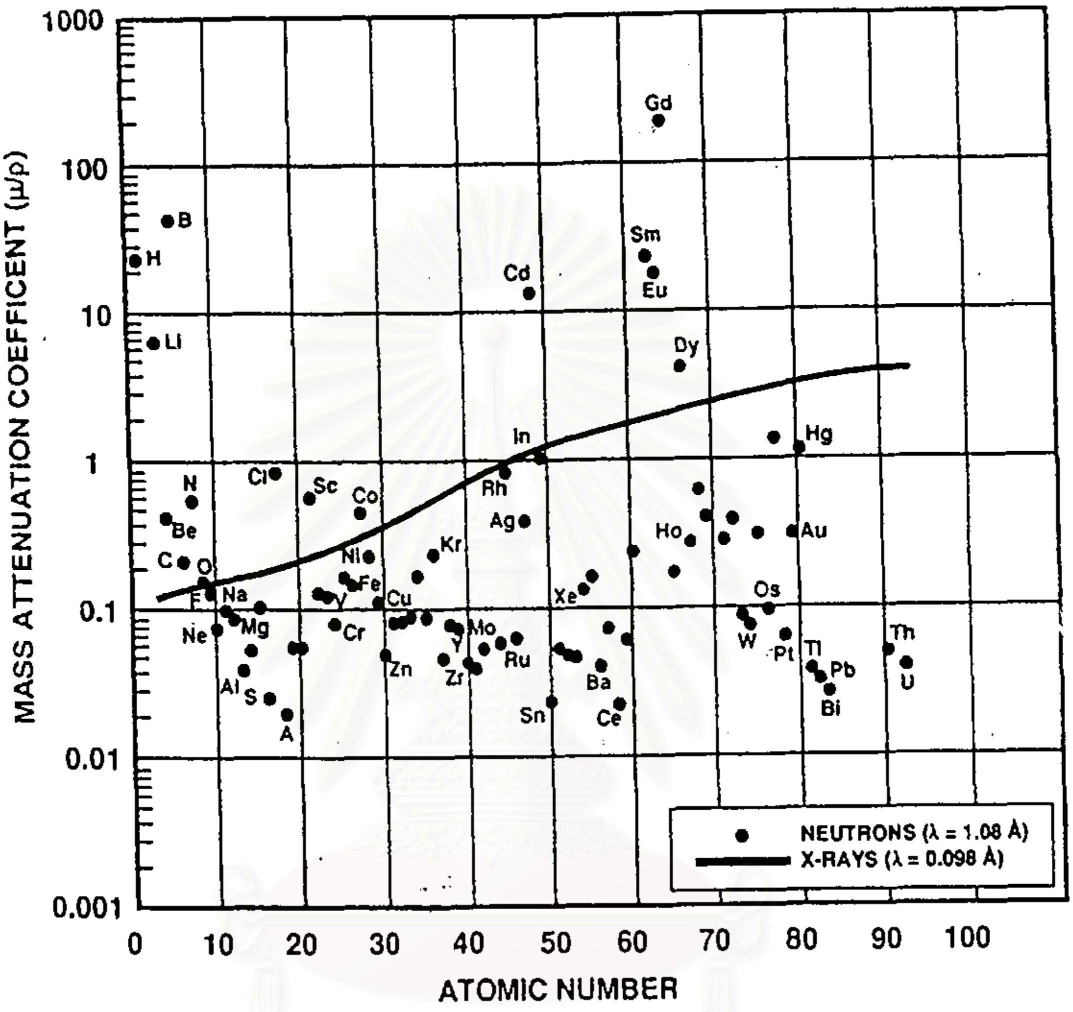
เมื่อ ϕ เป็นความเข้มนิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง ($n/cm^2.s$)

ϕ_0 เป็นความเข้มนิวตรอนที่ตกกระทบวัตถุตัวอย่าง ($n/cm^2.s$)

ผลคูณของ $N\sigma$ เรียกว่าภาคตัดขวางมหภาค (Macroscopic Cross-section) ใช้สัญญลักษณ์ $\sum$ เป็นค่าแสดงพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยากับนิวตรอนของวัตถุขนาด 1 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร สำหรับวัตถุที่มีความหนาแน่น ρ g/cm^3 จะมีสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient) ดังสมการที่ 3

$$\mu_m = \frac{\Sigma}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

μ_m เป็นค่าแสดงโอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับนิวตรอนของวัตถุขนาด 1 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อหน่วยความหนาแน่น ซึ่งทำให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างวัตถุที่ต่างสถานะกัน เช่น แกสมีค่า μ_m ต่ำกว่าของแข็งมาก จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับธาตุที่มีเลขอะตอมใกล้กัน ขณะที่นิวตรอนมีสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลไม่สัมพันธ์กับเลขอะตอมของธาตุ และมีค่าแตกต่างกันมากในบางธาตุที่มีค่าเลขอะตอมใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับเลขอะตอมของธาตุต่าง ๆ สำหรับรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา และ นิวตรอน [3]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสารเกิดขึ้นที่นิวเคลียสของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation) ต่อนิวตรอนขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของแต่ละธาตุ ซึ่งไม่สัมพันธ์กับมวลอะตอม ส่วนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมากับสสารเกิดขึ้นที่

อิเล็กตรอนในวงโคจร สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีจึงขึ้นอยู่กับมวลอะตอมของธาตุ ดังนั้น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงให้รายละเอียดของภาพแตกต่างจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา โดย

- นิวตรอนทำปฏิกิริยาและถูกดูดกลืนได้ดีกับวัสดุธาตุเบา เช่น น้ำ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบโบรอน ลิเทียม และ ในธาตุหนักบางชนิด เช่น แคดเมียม แกโดลิเนียม เป็นต้น
- นิวตรอนสามารถทะลุผ่านวัสดุธาตุหนักได้ดี เช่น เหล็ก ตะกั่ว ทังสะเตน
- นิวตรอนมีอัตรกิริยากับไอโซโทปของธาตุเดียวกันต่างกันด้วย ทำให้การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนสามารถแยกแยะไอโซโทปของธาตุได้

ด้วยข้อจำกัดบางประการของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และ การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา เช่น ในกรณีที่มีธาตุเบาอยู่ปนหรือถูกห่อหุ้มด้วยธาตุหนัก การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ จะไม่สามารถเห็นภาพในส่วนที่เป็นธาตุเบาได้ หรือเห็นได้ไม่ดี การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน สามารถช่วยให้ภาพถ่ายด้วยรังสีในส่วนที่เป็นธาตุเบาสมบูรณ์ชัดเจนขึ้นมาก แม้จะอยู่ปะปน หรือถูกห่อหุ้ม ด้วยธาตุหนัก

2.3.1 หลักการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน [4]

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Testing ; NDT) โดยการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography) วิธีหนึ่ง กระบวนการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน มีลักษณะเดียวกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และการถ่ายภาพรังสีแกมมา

เมื่อลำนิวตรอนกระทบกับวัตถุตัวอย่าง จะมีความเข้มเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอันตรกิริยาการดูดกลืน (Absorption) และการกระเจิง (Scattering) ระหว่างนิวตรอนกับวัตถุ ความเข้มของนิวตรอนที่ลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และความหนาของวัสดุภายในวัตถุตัวอย่าง ภาพถ่ายที่ได้จึงแสดงโครงสร้างภายใน ตามความเข้มของนิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่างออกมา

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนต่างกับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และ แสง เนื่องจากนิวตรอนเกิดปฏิกิริยากับอุปกรณ์รับภาพได้น้อยมาก การบันทึกภาพจึงจำเป็นต้องใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ทำจากวัสดุที่มีภาคตัดขวางต่อการเกิดปฏิกิริยานิวตรอนสูง ทำหน้าที่ดูดกลืนนิวตรอน แล้วปล่อยรังสี อนุภาค หรือ แสง ที่เกิดปฏิกิริยากับวัสดุรับภาพได้ดี ทำให้เกิดภาพขึ้นตามความเข้มของนิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง

2.3.2 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

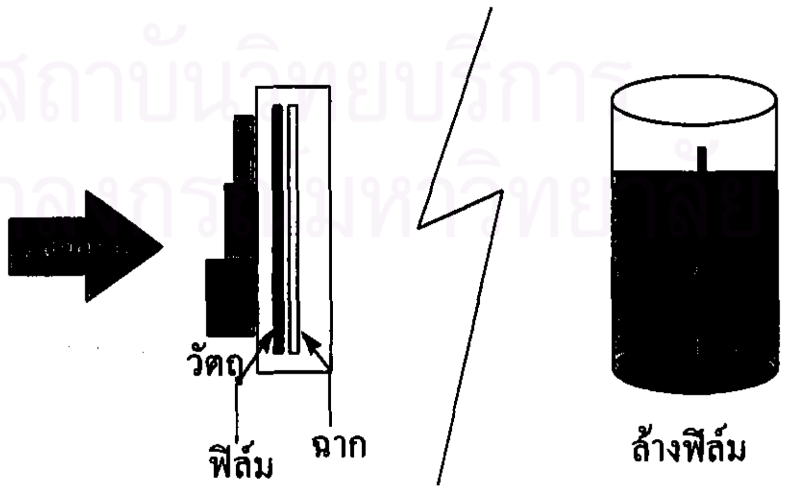
การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนแบ่งตามกระบวนการในการบันทึกภาพได้หลายวิธี แต่ละวิธีใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน และการบันทึกภาพที่แตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีการในการถ่ายภาพขึ้นอยู่กับฟลักซ์ของนิวตรอน พลังงานของนิวตรอน วัตถุตัวอย่างที่ต้องการถ่ายภาพ ความแรงของรังสีแกมมาบริเวณที่ทำการถ่ายภาพ และ คุณภาพของภาพ

2.3.2.1 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยบันทึกภาพด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์ หรือ ฟิล์ม ถ่ายรูป

เป็นกระบวนการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่ใช้เป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ฟิล์มที่ถ่ายภาพแล้วนำไปล้างโดยกระบวนการล้างฟิล์มเช่นเดียวกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ปริมาณนิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่างจะแสดงเป็นความดำของฟิล์ม การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยบันทึกภาพด้วยฟิล์มรังสีเอกซ์ มี 2 วิธี ได้แก่

(1) การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง (Direct Method)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้วิธีถ่ายตรง เป็นการถ่ายภาพโดยการประกบฉากเปลี่ยนนิวตรอนไว้ด้านหลังฟิล์มบันทึกภาพ เพื่อไม่ให้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนบดบังลำนิวตรอน (Self Absorption) แล้ววางไว้ด้านหลังวัตถุตัวอย่างที่ตำแหน่งของลำนิวตรอนขณะทำการถ่ายภาพ



รูปที่ 2.6 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง

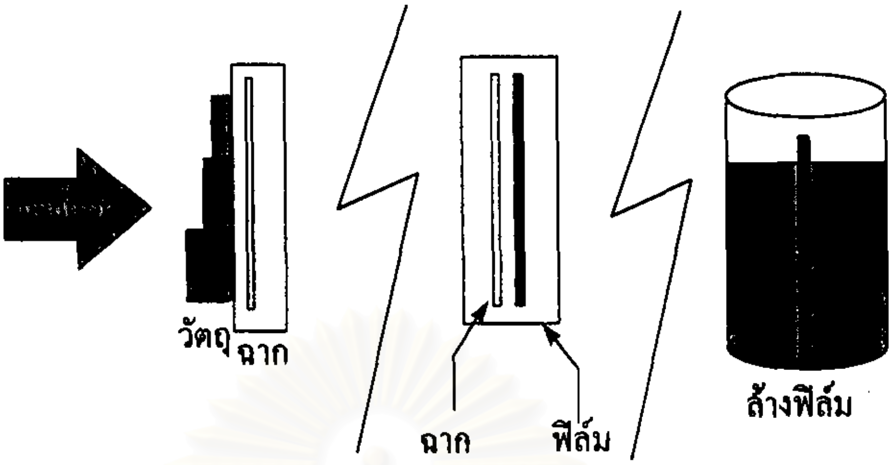
นิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง และตกกระทบฉากเปลี่ยนนิวตรอน จะถูกดูดกลืนแล้วฉากเปลี่ยนนิวตรอนจะปลดปล่อยรังสี หรือ อนุภาคออกมาในทันที กระบวนการสร้างภาพแฝงบนฟิล์ม เกิดขึ้นขณะที่ทำการถ่ายภาพอยู่ในตำแหน่งของลำนิวตรอน ฉากเปลี่ยนนิวตรอนจึงเป็นชนิดที่ปลดปล่อยรังสีออกมาแบบฉับพลัน (Prompt) เมื่อดูดกลืนนิวตรอนเช่น ฉากโลหะแกโดลิเนียม (Gd) ฉากโลหะแคดเมียม (Cd) และฉากเรืองแสง (Scintillator Screen)

กระบวนการเกิดภาพ เมื่อฉากโลหะแกลิโดเนียมเป็นฉากเปลี่ยนนิวตรอน เกิดจากที่แกโดลิเนียมดูดกลืนนิวตรอน แล้วปลดปล่อยอนุภาคอิเล็กตรอน (Conversion -electron) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ทำให้เกิดภาพแฝง (Latent image) ตามความเข้มของอิเล็กตรอน ฟิล์มที่ใช้ในการบันทึกภาพได้แก่ฟิล์มรังสีเอกซ์ ส่วนกระบวนการเกิดภาพเมื่อใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดเรืองแสง เกิดการดูดกลืนนิวตรอนของโบรอน-10 หรือ ลิเทียม-6 แล้วปลดปล่อยอนุภาคอัลฟาไปทำปฏิกิริยากับสังกะสีซัลไฟล์ ทำให้ปลดปล่อยแสงออกมาทำปฏิกิริยากับฟิล์ม การบันทึกภาพใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ หรือ ฟิล์มถ่ายรูป

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง สามารถทราบผลได้เร็ว แต่มีข้อจำกัดในกรณีที่ตำแหน่งทำการถ่ายภาพ หรือวัตถุตัวอย่างที่ต้องการถ่ายภาพมีรังสีแกมมาสูง ความเข้มของรังสีแกมมาจะทำปฏิกิริยากับฟิล์มทำให้ความเปรียบต่างและความคมชัดของภาพลดลง

(2) การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด (Transfer Method)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด เป็นการถ่ายภาพโดยวางเฉพาะฉากเปลี่ยนนิวตรอน ไว้ด้านหลังวัตถุตัวอย่างขณะทำการถ่ายภาพ นิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่างจะทำปฏิกิริยากับฉากเปลี่ยนนิวตรอน ทำให้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนมีกัมมันตภาพรังสี เกิดขึ้นแต่ละตำแหน่งบนฉากเปลี่ยนนิวตรอนขึ้นกับความเข้มของนิวตรอนที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง เมื่อนำ ฉากเปลี่ยนนิวตรอนไปประกบกับฟิล์ม รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะทำปฏิกิริยาและสร้างภาพขึ้นบนฟิล์ม



รูปที่ 2.7 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด

ขณะที่ทำการถ่ายภาพฉากเปลี่ยนนิวตรอนจะมีกัมมันตภาพรังสีเพิ่มมากขึ้น ตามเวลาที่ได้รับนิวตรอน ในลักษณะของสมการเอกซโพเนนเชียล ดังสมการ

$$A = \phi N \sigma (1 - e^{-\lambda t})$$

เมื่อ A คือ กัมมันตภาพรังสีของฉากเปลี่ยนนิวตรอน

ϕ คือ ฟลักซ์ของนิวตรอนที่ตกกระทบฉากเปลี่ยนนิวตรอน

σ คือ ภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาของฉากเปลี่ยนนิวตรอน

N คือ จำนวนอะตอมของเป้า

t คือ เวลาในการถ่ายภาพ

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของฉากเปลี่ยนนิวตรอน

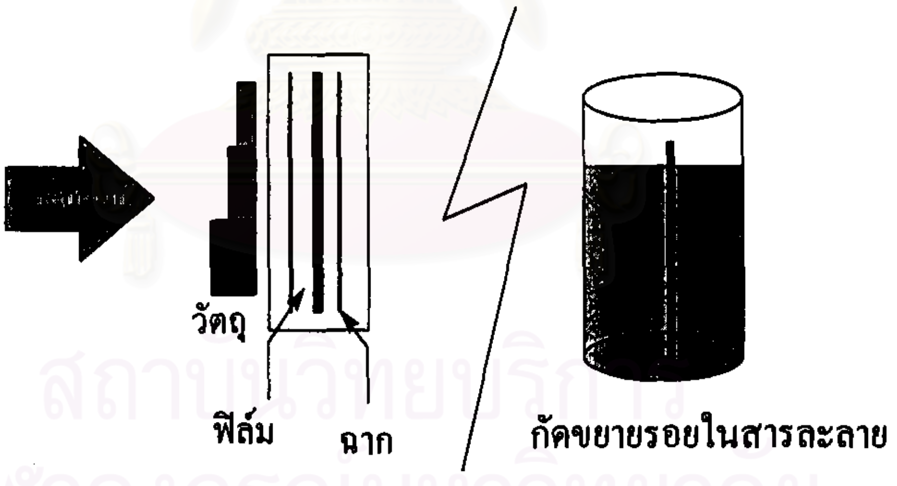
กัมมันตภาพรังสีที่เหมาะสมในการทำให้เกิดภาพบนฟิล์ม จึงขึ้นอยู่กับฟลักซ์ของนิวตรอน วัสดุที่ใช้ทำฉากเปลี่ยนนิวตรอน และ เวลาในการถ่ายภาพ

ฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยวิธีถ่ายทอด ได้แก่ ฉากโลหะดิสโปเซียม (Dy) ฉากโลหะอินเดียม (In) และฉากโลหะทองแดง (Au) เป็นต้น รังสีที่ปลดปล่อยออกจากโลหะแต่ละชนิดมีกัมมันตภาพรังสีจำกัด ตามครึ่งชีวิตของแต่ละไอโซโทป การบันทึกภาพจึงจำเป็นต้องใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดความเร็วสูง

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด ประกอบด้วยขั้นตอนการทำให้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนมีกัมมันตภาพรังสี และปลดปล่อยรังสีออกมา เพื่อสร้างภาพให้เกิดบนฟิล์ม เวลาในการถ่ายภาพจึงมากกว่าการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง แต่มีข้อดีตรงที่สามารถถ่ายภาพได้ในบริเวณที่มีรังสีแกมมา หรือวัตถุตัวอย่างที่มีกัมมันตภาพรังสี เนื่องจากฉากเปลี่ยนนิวตรอนไม่ทำปฏิกิริยากับรังสีแกมมา

2.3.2.2 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ (Track -Etch Method)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ มีกระบวนการถ่ายภาพ เช่นเดียวกับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง โดยมีข้อแตกต่างกันที่ฉากเปลี่ยนนิวตรอนผลิตจากวัสดุที่ดูดกลืนนิวตรอนแล้วปลดปล่อยอนุภาคอัลฟา เรียกว่า เกิดปฏิกิริยา (n,α) การบันทึกภาพใช้ฟิล์มพลาสติก เช่น ฟิล์มไนโตรเซลลูโลส หรือ ฟิล์ม โพลีคาร์บอเนต อนุภาคอัลฟาจะทำปฏิริยากับฟิล์มทำให้เกิดรอย (Track) ขนาดเล็กเกิดภาพแฝง ซึ่งสามารถทำให้มองเห็นภาพได้ เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างกัดขยายรอย (Etching) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



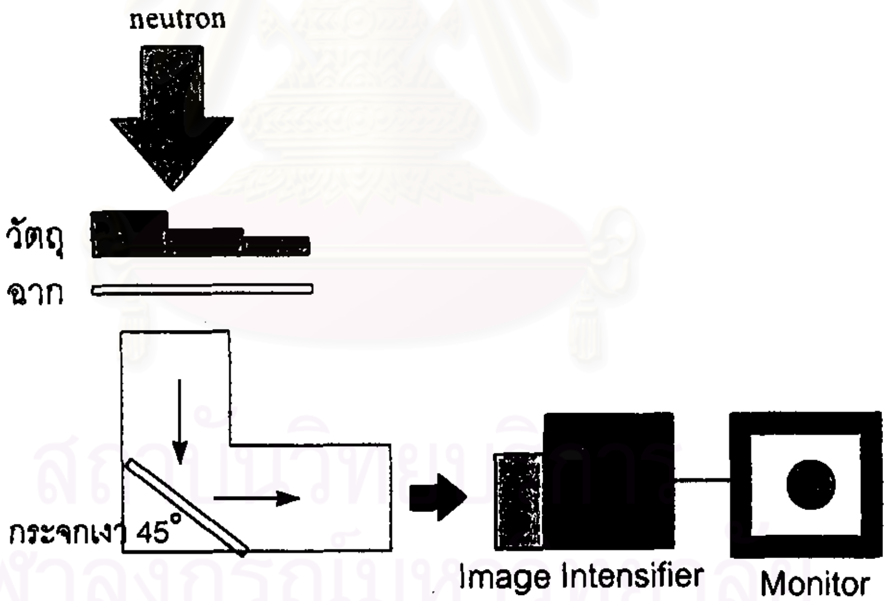
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.8 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ [5]

2.3.2.3 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพ [6]

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพสามารถถ่ายภาพที่เป็นลักษณะภาพนิ่ง (Static Image) และ ภาพเคลื่อนไหว (Dynamic Image) ได้ทั้ง 2 แบบ จะแสดงผลในลักษณะแบบ Real - Time โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ซึ่งการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยทั่วไป จะใช้เวลาในการถ่ายภาพเกิน 1 นาที แต่การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพจะลดเวลาในการถ่ายภาพลง โดยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ และอุปกรณ์บันทึกภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแบบเรืองแสงที่มีประสิทธิภาพสูง เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ (Image Intensifier) เพื่อให้สามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยกล้องโทรทัศน์ หรือ กล้องวีดีโอได้ แต่ภาพที่ได้จะขาดความคมชัดไปบ้าง เมื่อเปรียบเทียบกับการถ่ายภาพด้วยฟิล์ม

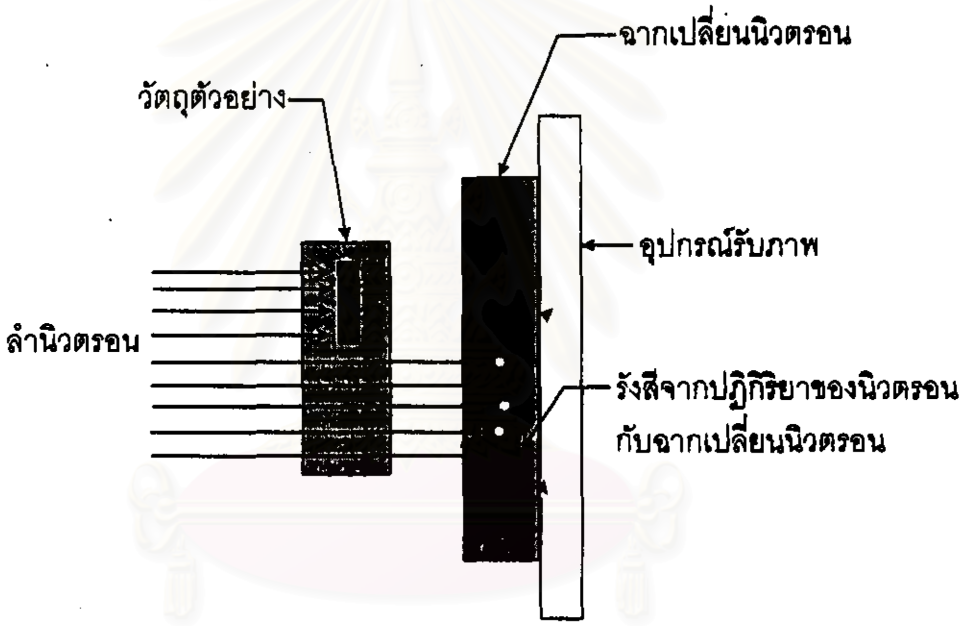


รูปที่ 2.9 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายภาพ

2.4 ฉากเปลี่ยนนิวตรอน (Neutron Converter Screen)

อุปกรณ์รับภาพแต่ละชนิดที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนไม่ไวต่อนิวตรอน จึงไม่สามารถใช้บันทึกความเข้มของนิวตรอนที่ผ่านตัวอย่างมาได้โดยตรง

การทำให้เกิดภาพบนอุปกรณ์รับภาพในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของนิวตรอนให้เป็นรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีอัลฟา หรือรังสีเบตา ตามชนิดของฉาก รังสีที่ปลดปล่อยออกจากฉากเปลี่ยนนิวตรอนจึงเป็นรังสี ทุติยภูมิ (Secondary Radiation) ซึ่งเป็นรังสีที่สามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดภาพบนอุปกรณ์รับภาพได้



รูปที่ 2.10 กระบวนการถ่ายภาพโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน

วัสดุที่ใช้ทำฉากเปลี่ยนนิวตรอน ประกอบด้วยธาตุที่มีค่าภาคตัดขวางในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนสูง และปลดปล่อยรังสีที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับอุปกรณ์รับภาพได้ดังตารางที่ 2.1 แสดงธาตุที่ใช้เป็นวัสดุในการทำฉากเปลี่ยนนิวตรอน และรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากการทำปฏิกิริยากับนิวตรอน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำฉากเปลี่ยนนิวตรอน [7]

วัสดุ	ปฏิกิริยา	ภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยากับนิวตรอน (barn)	ครึ่งชีวิต	รังสีที่ปลดปล่อย	พลังงานของรังสี (MeV)
ลิเทียม	$^{6}Li(n,\alpha)^{3}H$	941	Prompt	α T	2.05 2.74
โบรอน	$^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$	3838	Prompt	α Li	1.47 0.84
โรเดียม	$^{103}Rh(n,\gamma)^{104}Rh$ $^{103}Rh(n,n)^{103m}Rh$ $^{103}Rh(n,\gamma)^{104m}Rh$	1454 11	43 s 57m 4.4m	β X-ray β	2.41 0.02 0.5
เงิน	$^{107}Ag(n,\gamma)^{108}Ag$ $^{109}Ag(n,\gamma)^{110}Ag$ $^{109}Ag(n,\gamma)^{110m}Ag$	38 91 3	2.4m 24.5 s 254d	β β β	1.64 , 0.43 2.87 1.5
แคดเมียม	$^{113}Cd(n,\gamma)^{114}Cd$	20600	Prompt	γ	9
อินเดียม	$^{115}In(n,\gamma)^{116}In$ $^{115}In(n,\gamma)^{116m}In$	45 154	14 s 54m	β β	3.3 , 0.44 1.0 , 0.42
ซามาเรียม	$^{149}Sm(n,\gamma)^{150}Sm$ $^{152}Sm(n,\gamma)^{153}Sm$	40140 206	Prompt 46.7h	γ β	 0.8 , 0.1
แกโดลิเนียม	$^{155}Gd(n,\gamma)^{156}Gd$ $^{157}Gd(n,\gamma)^{158}Gd$	60900 254000	Prompt Prompt	electron electron	0.14 0.13
ดิสโปรเซียม	$^{164}Dy(n,\gamma)^{165}Dy$ $^{164}Dy(n,\gamma)^{165m}Dy$	800 2000	2.3h 1.26m	β β	1.29 , 0.095 1.04 , 1.108
ทอง	$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$	98.65	2.7d	β	0.962,0.412

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพของฉากเปลี่ยนนิวตรอนในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วปลดปล่อยรังสีออกมา นอกจากขึ้นกับวัสดุที่ใช้แล้ว ความหนาของฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น จะสามารถดูดกลืนนิวตรอนแล้วปลดปล่อยรังสีได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ภาพมีความดำมากขึ้นด้วย

การใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่มีความหนามากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนสูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันความหนาของฉากเปลี่ยนนิวตรอน ก็ทำให้ความคมชัดของภาพลดลงด้วย การเลือกความหนาของฉากเปลี่ยนนิวตรอนจึงขึ้นกับ ฟลักซ์ของนิวตรอน ระยะเวลาที่ต้องการในการถ่ายภาพ ความคมชัดของภาพ รวมทั้งความสะดวกในการดูแลรักษา และการใช้งานของฉากเปลี่ยนนิวตรอน

ฉากเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยทำหน้าที่ในการเปลี่ยนนิวตรอนให้อยู่ในรูปที่สามารถทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์รับภาพได้ซึ่งในที่นี้คือกล้องมองภาพนิวตรอน ผลผลิตจากฉากเปลี่ยนนิวตรอน หรือรังสีทุติยภูมิ จะมีผลต่อความเข้มของภาพถ่ายสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน ฉากที่ใช้จะเป็นฉากเรืองแสง

ฉากเรืองแสง เป็นฉากที่ให้ความไวในการถ่ายภาพสูงใช้ได้ดีแม้กับต้นกำเนิดนิวตรอนที่มีความเข้มของนิวตรอนต่ำ ๆ ฉากเรืองแสงประกอบด้วย สารดูดกลืนนิวตรอน และสารเรืองแสง (Phosphor) สารดูดกลืนนิวตรอนที่นิยมใช้ได้แก่ ลิเทียม-6 และ โบรอน-10 เนื่องจากภายหลังเกิดปฏิกิริยาดูดกลืนนิวตรอนแล้ว จะให้อนุภาคอัลฟาพลังงานสูงแต่มีพิสัยต่ำ ดังปฏิกิริยา

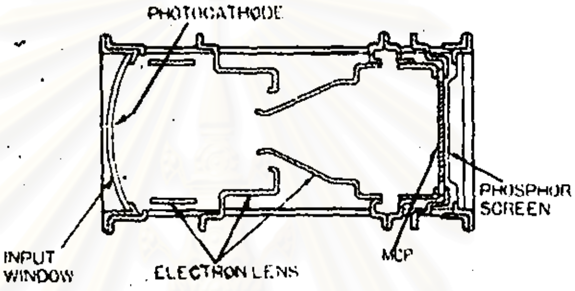
$$^{6}_{3}\mathrm{Li} \;+\; ^{1}_{0}\mathrm{n} \;\rightarrow\; ^{3}_{1}\mathrm{H}(2.675\ \mathrm{MeV}) \;+\; ^{4}_{2}\mathrm{He}(2.111\ \mathrm{MeV})$$

ส่วนสารเรืองแสงที่นิยมใช้ คือ สังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) ซึ่งจะให้แสงออกมาในช่วงแสงสีน้ำเงินความยาวคลื่นประมาณ 450 นาโนเมตร ภายหลังการถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคอัลฟา จากลิเทียม-6 ปฏิกิริยาการเกิดภาพบนกล้องมองภาพนิวตรอนของฉากเรืองแสง คือ เมื่อนิวตรอนทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างไปกระทบด้านหน้าของกล้องมองภาพ นิวตรอนจะทำปฏิกิริยากับ ลิเทียม-6 ทำให้เกิดอนุภาคอัลฟา กับ ทริตอน โดยที่อนุภาคอัลฟาเมื่อตกกระทบสังกะสีซัลไฟด์จะเกิดการเรืองแสงขึ้นผ่านอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ (Image Intensifier) ทำให้มองเห็นภาพบนจอมองภาพได้

2.5 อุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ (Image Intensifier) [8]

อุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยาย หรือทวีความเข้ม แสงที่ผ่านกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสีและนิวตรอน สามารถมองเห็นได้ด้วยตาหรือกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ทำให้มองเห็นภาพวัตถุได้โดยตรงในที่มืด ที่มีค่าความสว่างต่ำมากถึง 0.05 มิลลิลักซ์

ส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ คือ Photocathode Microchannel Plate (MCP) และจอมองภาพ (Phosphor Screen) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.11



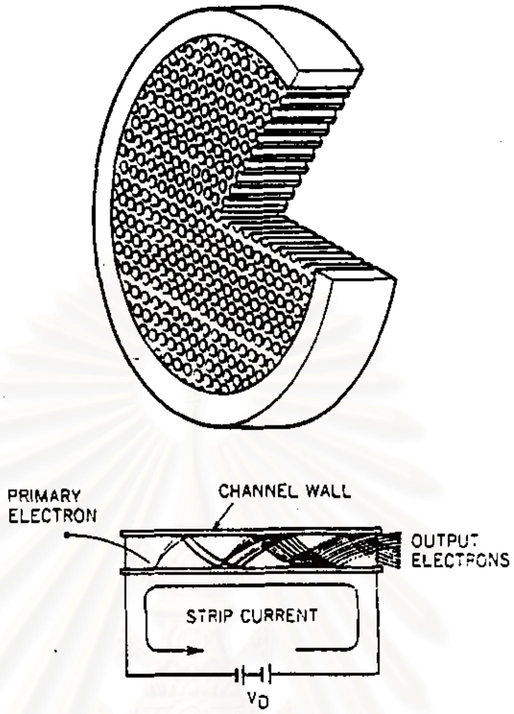
รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ [8]

ก. Photocathode

เป็นส่วนที่อยู่ด้านหน้าของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นอิเล็กตรอน วัสดุที่ใช้ทำ คือ Multi alkali ในกลุ่ม Cs-Te ส่วนใหญ่จะทำจาก Multi alkali มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 - 25 มิลลิเมตร หนาประมาณ 1 - 3 มิลลิเมตร

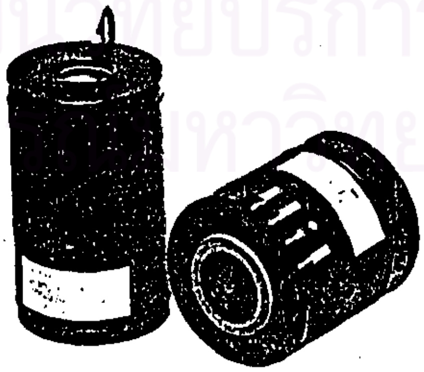
ข. Microchannel Plate (MCP)

เป็นตัวทวีคูณอิเล็กตรอนชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นท่อ หรือ รูปแตรทำด้วยแก้ว (Hallow Glass) ซึ่งเมื่อจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (High voltage power supply) ให้กับปลายท่อ จะเกิดการแบ่งศักดาไฟฟ้าด้วยความต้านทานของผนังแก้วเอง และพื้นผิวบริเวณต่อเนื่องตามความยาว จะทำหน้าที่ทวีคูณปริมาณอิเล็กตรอน ด้วยผลของการเกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ภายใต้การทำงานในภาชนะสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 2.12 ตัวทวีคูณอิเล็กตรอนที่ใช้ มีทั้งที่เป็นอุปกรณ์ขยายอิเล็กตรอนแบบเดี่ยว และแบบคู่ จัดเป็นแบบลักษณะหลายท่อหลอมผนังร่วมกันคล้ายรังผึ้ง ซึ่งประยุกต์ใช้ในงานสร้างภาพที่ต้องการความไวสูง



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนต่าง ๆ ของ Microchannel Plate (MCP) [8]

อุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ คือ แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงมักทำให้อยู่ในลักษณะที่เคลื่อนย้าย ได้สะดวกดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ [8]

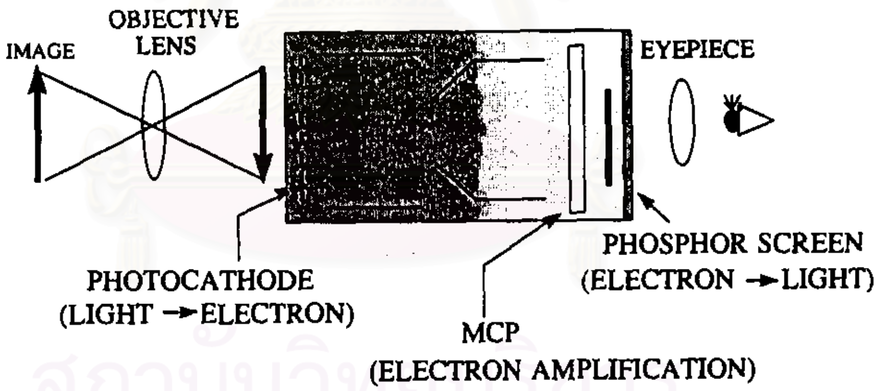
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. จอมองภาพ

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอิเล็กตรอนให้เป็นแสง ทำจาก Borosilicate หรือ Fiber optic มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 - 25 มิลลิเมตร และความหนา ประมาณ 4 - 10 มิลลิเมตร

การทำงานของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีหรือนิวตรอน ภาพของวัตถุที่เกิดขึ้นบนฉากเปลี่ยนนิวตรอนจะตกกระทบกับด้านหน้าของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ ซึ่งเป็นส่วนของ Photocathode ทำให้แสงที่ตกกระทบเปลี่ยนไปเป็นอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า (Electric Field) บังคับให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนเข้าสู่ช่องของ Microchannel Plate (MCP) แต่ละช่องที่ติดตั้งอยู่ด้านใน โดยที่ MCP จะทำหน้าที่ ขยายจำนวนอิเล็กตรอนให้มีมากขึ้นกระตุ้นฉากเรืองแสงซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอิเล็กตรอนให้เป็นแสงอีกทีหนึ่ง และทำให้สามารถมองเห็นภาพได้โดยผ่านจอมองภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ [8]