

2.1 การแผ่รังสีเบตา

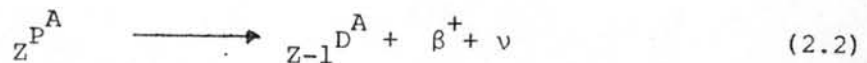
รังสีเบตา (เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี) ซึ่งมีนิวตรอนในนิวเคลียสมากเกินไป หรือน้อยกว่าปกติ การแผ่รังสีเบตาที่พบในธรรมชาติมี 2 แบบ คือ

2.1.1 การสลายตัวโดยการแผ่รังสีเบตาลบ จะพบในกลุ่มนิวไคลด์ที่มีนิวตรอนมากเกินไป (neutron excess) การสลายตัวของนิวไคลด์กลุ่มนี้จะเป็นดังสมการ



เมื่อ	${}_Z^P A$	หมายถึง	นิวเคลียสแม่ (parent nucleus)
	${}_{Z+1}^D A$	"	นิวเคลียสลูก (daughter nucleus)
	β^-	"	อนุภาคเบตาลบ
	$\bar{\nu}$	"	อนุภาคแอนตินิวตริโน (antineutrino)
เช่น	${}^O_{19} \longrightarrow$		${}^F_{19} + \beta^- + \bar{\nu}$

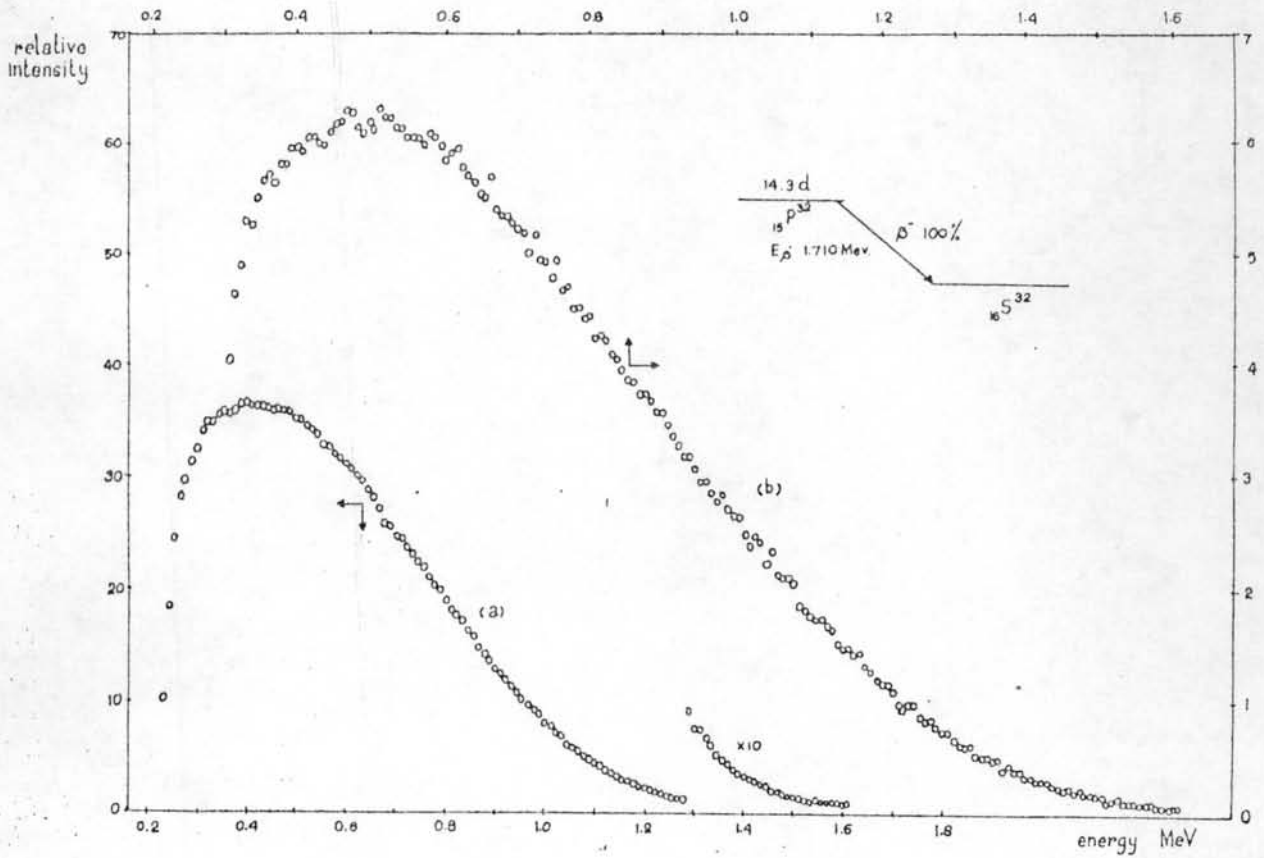
2.1.2 การสลายตัวโดยการแผ่รังสีเบตาบวก จะพบในกลุ่มนิวไคลด์ที่มีนิวตรอนน้อยเกินไป (neutron deficient) การสลายตัวนี้แสดงได้ดังสมการ



เมื่อ	β^+	หมายถึง	อนุภาคเบตาบวก
	ν	"	อนุภาคนิวตริโน (neutrino)



นิวตริโน และแอนตินิวตริโนที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียส ของสารรังสีพร้อมกับรังสีเบตานั้น จะเฉลี่ยพลังงานจากรังสีเบตาไปบางส่วน ทำให้รังสีเบตาแต่ละตัวมีพลังงานแตกต่างกัน ดังนั้นสเปกตรัมของรังสีเบตาจากต้นกำเนิดรังสีแต่ละชนิดจะเป็นแบบต่อเนื่อง (continuous) ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 (4) สเปกตรัมของรังสีเบตาจาก P^{32} วัดโดยใช้พลาสติกซินทิลเลชัน สเปกโตรมิเตอร์

พลังงานสูงสุดจากต้นกำเนิดรังสีเบตาแต่ละชนิด จะมีค่าแตกต่างกันดังแสดงใน
ตาราง 2.1

ตาราง 2.1⁽⁵⁾

พลังงานสูงสุดของต้นกำเนิดรังสีเบตาบางชนิด

ต้นกำเนิดรังสี	พลังงานสูงสุด (MeV)	ครึ่งชีวิต
H ³	0.0186	12.26 ปี
C ¹⁴	0.155	5,730 ปี
Kr ⁸⁵	0.670	10.76 ปี
Cl ³⁶	0.714	3.08 x 10 ⁵ ปี
Tl ²⁰⁴	0.765	3.81 ปี
P ³²	1.710	14.28 วัน
Y ⁹⁰	2.280	64.0 ชั่วโมง
K ⁴²	3.520	12.36 ชั่วโมง

2.2 อันตรกิริยา (interaction) ของรังสีเบตากับสสาร

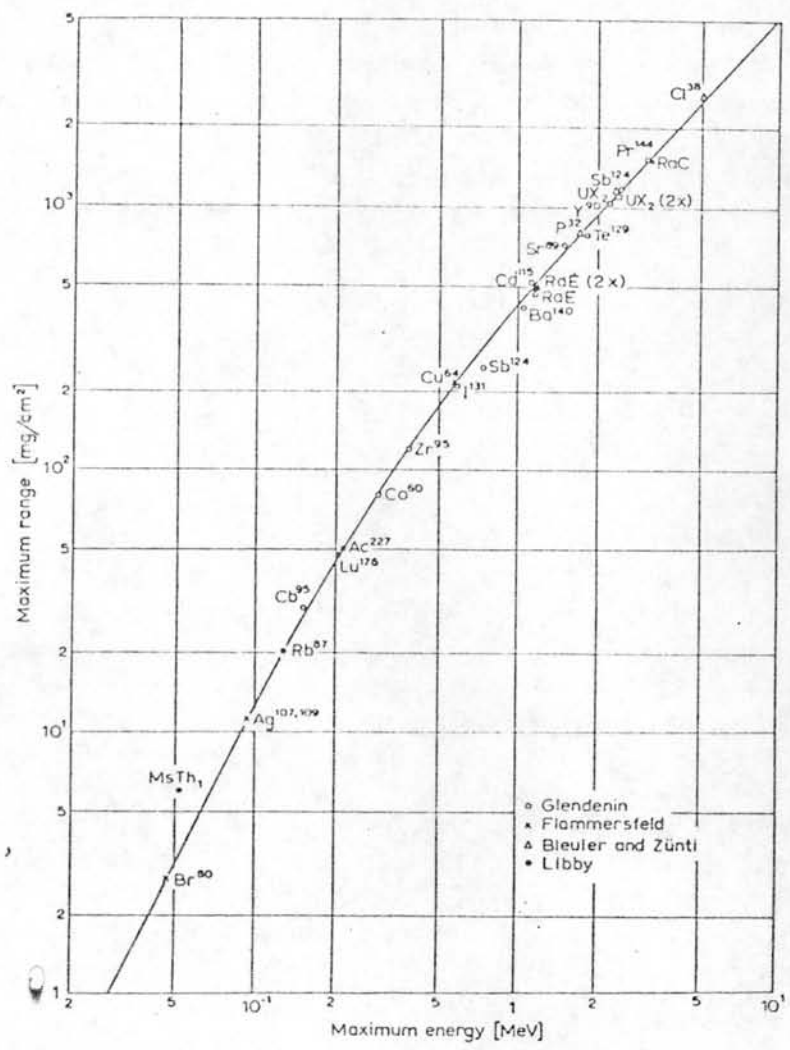
เมื่ออิเล็กตรอน วิ่งผ่านตัวกลางใด ๆ จะเสียพลังงานไปเนื่องจากการชนกับอะตอมของตัวกลาง และการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรามักจะวัดการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่อเนื่องในรูปของพิสัยสูงสุด (maximum range) ของอิเล็กตรอนนั้น อนุภาคเบตาหรืออิเล็กตรอนที่มีพลังงานแตกต่างกัน จะมีพิสัยสูงสุดแตกต่างกัน ได้มีผู้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยสูงสุดกับพลังงานสูงสุดของรังสีเบตาไว้ดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2⁽⁶⁾

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสูงสุดของรังสีเบตา กับ ฟิสิกส์สูงสุด

ผู้ทดลอง	ความสัมพันธ์	เงื่อนไข
N. Feather	$R = 0.543 E_0 - 0.160$	$E_0 > 0.8 \text{ MeV}$
L.E. Glendenin	$R = 0.542 E_0 - 0.133$	$E_0 > 0.8 \text{ MeV}$
	$R = 0.407 E_0^{1.38}$	$0.15 < E_0 < 0.8 \text{ MeV}$
A. Flammersfeld	$R = 0.11(\sqrt{1+22.4E_0^2}-1)$	$0 < E_0 < 3 \text{ MeV}$
E. Bleuler, W. Zünti	$R = 0.571E_0 - 0.161$	$E_0 > 1 \text{ MeV}$

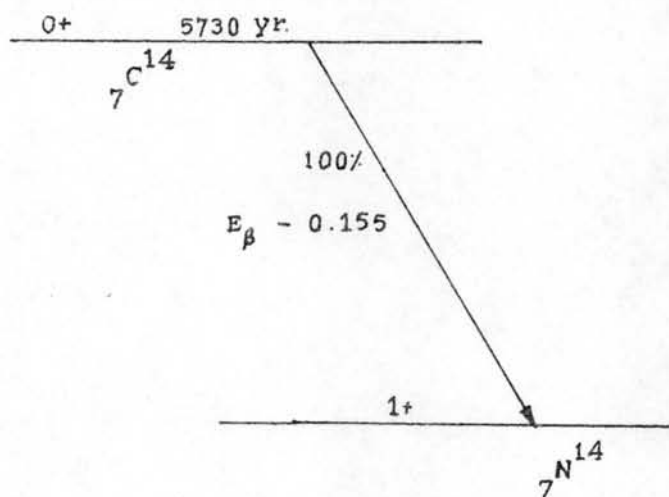
เมื่อ E_0 หมายถึง พลังงานสูงสุดของรังสีเบตา
 R " ฟิสิกส์สูงสุด



รูป 2.2 (6) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสูงสุดของรังสีเบตา กับพิสัยสูงสุด

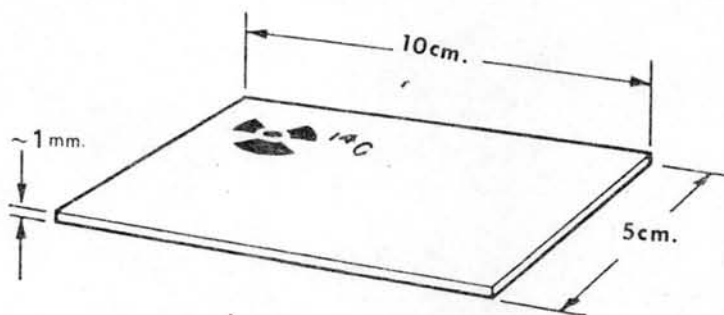
2.3 ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการวิจัย

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็น C^{14} ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีเบตาบริสุทธิ์ (pure beta emitter) ครึ่งชีวิต 5,730 ปี พลังงานสูงสุดของรังสีเบตา 0.155 MeV⁽⁵⁾



รูป 2.3⁽⁵⁾ แผนการสลายตัว (decay scheme) ของ C^{14}

ต้นกำเนิดรังสีเบตาที่ใช้เป็นแผ่นแบบหนาประมาณ 1 มม. กว้าง 5 ซม. ยาว 10 ซม. ทำด้วย poly C^{14} methyl methacrylate ความแรงรังสีเฉพาะ (specific activity) 463 $\mu\text{Ci/gm}$ แผ่นต้นกำเนิดรังสีมีลักษณะดังรูป 2.4



รูป 2.4⁽⁷⁾ แผ่นต้นกำเนิดรังสี C^{14} ที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากพลังงานสูงสุดของรังสีเบตาจาก C^{14} อยู่ในช่วง $0 < E_0 < 3\text{MeV}$ จากตาราง 2.2 จะเห็นว่า เราสามารถจะหาฟิล์มของ C^{14} ได้จาก

$$R = 0.11 (\sqrt{1 + 22.4E_0^2} - 1)$$

พลังงานสูงสุดของรังสีเบตาจาก C^{14} เป็น 0.155 MeV ดังนั้นฟิล์มของ C^{14} จะเป็น

$$\begin{aligned} R &= 0.11 (\sqrt{1 + 22.4(0.155)^2} - 1) \\ &= 0.02642 \quad \text{g/cm}^2 \\ &= 264.2 \quad \text{g/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นในการถ่ายภาพด้วยรังสีเบตาจาก C^{14} ล้ำระตัวอย่างที่ต้องการถ่ายภาพจะต้องมีความหนาไม่เกิน 264 g/m^2

2.4 การถ่ายภาพด้วยรังสี

การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive inspection) ใช้ฟิล์มถ่ายรูป ฟิล์มรังสีเอกซ์ หรือฟิล์มพิเศษเฉพาะงานอื่น ๆ มาเป็นตัวตรวจจับ (detector) รังสีที่ผ่านชิ้นงาน หรือ รังสีจากชิ้นงาน แผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการสร้างภาพ และการคงสภาพมาแล้ว เรียกว่า เรดิโอแกรม (radiogram) ความดำที่ปรากฏบนแผ่นเรดิโอแกรม จะเหมือนหรือต่างกันตามปริมาณรังสีที่ได้รับ ความดำบนแผ่นเรดิโอแกรมนี้เองที่ทำให้แปลความหมายของชิ้นงานนั้นได้

การถ่ายภาพด้วยรังสีประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 อย่าง คือ ต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงานที่จะทำการตรวจสอบ และฟิล์ม

เมื่อพิจารณาทางด้านการจัดตำแหน่ง (geometry) ของต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงานและแผ่นฟิล์มแล้ว เราอาจจัดแบ่งประเภทการถ่ายภาพด้วยรังสีได้ 3 ประเภทดังนี้

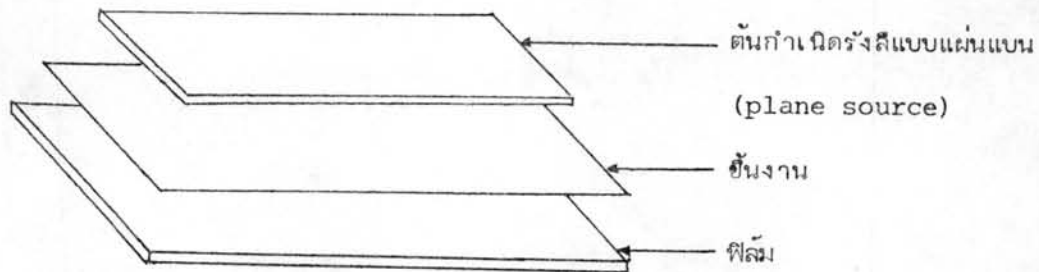
2.4.1 เรดิโอกราฟี เป็นวิธีการถ่ายภาพโดยให้ต้นกำเนิดรังสีอยู่ห่างจากชิ้นงาน โดยปกติมักจะวางชิ้นงานแนบกับแผ่นฟิล์มที่เป็นตัวตรวจลอบ วิธีการนี้มักจะใช้กับการถ่ายภาพด้วย รังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา

2.4.2 ออโตเรดิโอกราฟี (autoradiography) เป็นวิธีการถ่ายภาพโดยใช้รังสีจากชิ้นงานไปอบฟิล์ม ดังนั้นจึงต้องทำให้ชิ้นงานมีสารรังสีปนอยู่ อาจด้วยวิธีใส่สารรังสีเข้าไป เช่น ในสัตว์ หรือ ให้อุตุสารรังสีเข้าไป เช่น ใบไม้ หรืออาจนำไปอบรังสีนิวตรอน เพื่อให้สารบางอย่างในชิ้นงานกลายเป็นสารรังสี เช่น โลหะผสม เป็นต้น จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่แผ่รังสีนี้ไปวางบนแผ่นฟิล์มจึงเป็นตัวตรวจลอบ

2.4.3 คอนแทกต์เรดิโอกราฟี (contact radiography) เป็นวิธีการถ่ายภาพโดยให้ต้นกำเนิดรังสี และแผ่นฟิล์มวางประกบกันคนละด้านของชิ้นงาน หลักการและรายละเอียดของคอนแทกต์เรดิโอกราฟี จะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5

2.5 หลักการทั่วไปในการถ่ายภาพด้วยรังสีเบตาแบบคอนแทกต์เรดิโอกราฟี

การถ่ายภาพด้วยรังสีเบตา เป็นวิธีการที่จะทำให้เกิดภาพขึ้นบนฟิล์ม โดยการผ่านรังสีเบตาไปยังวัตถุที่นำมาตรวจลอบ รังสีที่ทะลุผ่านวัตถุไปได้ จะไปทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ผ่านวัตถุนั้นไปได้



รูป 2.5 แสดงหลักการถ่ายภาพโดยใช้รังสีเบตา ต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงาน และฟิล์มวางซ้อนสัมผัสกัน (contact radiography)

มวลสารของชิ้นงานมีผลต่อการทะลุผ่านของรังสีเบตา ในกรณีนี้ชิ้นงานมีเลขอะตอมต่ำ เราอาจประมาณความเข้มของรังสีเบตาที่ทะลุผ่านชิ้นงานได้ดังนี้ คือ

$$I = I_0 (2)^{-K} \quad (2.3)$$

เมื่อ I = ความเข้มของรังสีเบตาที่ทะลุผ่านชิ้นงาน

I_0 = ความเข้มของรังสีเบตาที่ตกกระทบชิ้นงาน

K = m/h

m = ความหนาของชิ้นงานเป็น g/m^2

h = half thickness ของสารเป็น g/m^2

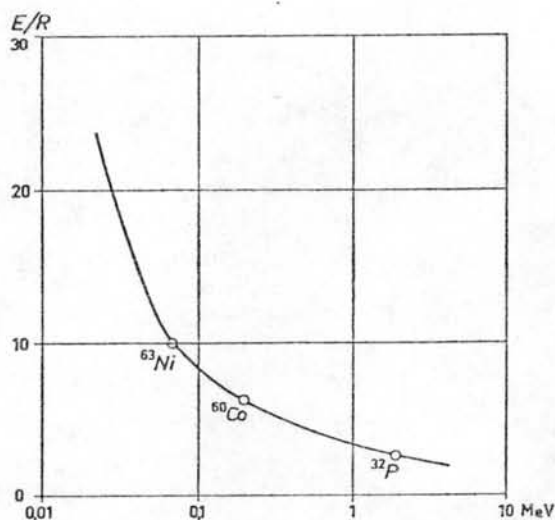
โดยที่ $h = 320E^{1.33} \quad (2.4)$

เมื่อ E = พลังงานของรังสีเบตาเป็น MeV

ในกรณีที่ใช้ C^{14} เป็นต้นกำเนิดรังสีเบตา พลังงานสูงสุดของรังสีเบตาจาก C^{14} เป็น 0.155 MeV ดังนั้น half thickness ของสารสำหรับ C^{14} จะเป็น 26.8 g/m^2

เมื่อรังสีเบตาทะลุผ่านชิ้นงานไปกระทบฟิล์ม จะทำปฏิกิริยากับฟิล์มซึ่งจะมีค่าเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอัตราการสูญเสียพลังงานต่อระยะทาง (E/R) ค่า E/R นี้จะมีค่าสูงที่รังสีเบตามีพลังงานต่ำ และจะลดลงเมื่อรังสีเบตามีพลังงานสูงขึ้น ดังรูป 2.6

อย่างไรก็ตามรังสีเบตามีสเปกตรัมต่อเนื่อง ดังนั้นรังสีเบตาส่วนใหญ่จึงมีพลังงานต่ำกว่าค่าสูงสุดที่บอกไว้ ในการเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสี จะต้องคำนึงถึงรังสีเบตากลุ่มใหญ่ให้เหมาะสมกับประเภทชิ้นงานที่นำมาถ่ายภาพ



รูป 2.6 (8) แสดงอัตราการใช้พลังงานต่อระยะทาง (E/R) ในหน่วย $\frac{\text{MeV}}{\text{g/cm}^2}$ ใน photographic emulsion ของรังสีเบตาจากธาตุต่าง ๆ กัน

2.6 ฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเบตา

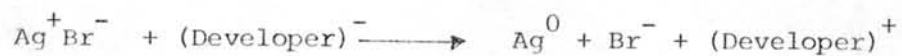
ฟิล์มที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดเอเอ ทำด้วยพลาสติกใส มีผลึกซิลเวอร์เฮไลด์ (silver halide) หนาประมาณ 0.0005 นิ้ว เคลือบอยู่ทั้งสองด้าน ถัดจากสารเคลือบนี้ออกมาเป็นเจลาติน (gelatin) หุ้มไว้ เพื่อป้องกันสารเคลือบมิให้หลุดหรือเป็นรอย สารที่เคลือบฟิล์มทั้งสองด้าน จะช่วยให้ฟิล์มมีความไวต่อรังสีมากขึ้น และทำให้ใช้เวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์น้อยลง แต่ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเบตา เราใช้ฟิล์มเพียงด้านเดียว เนื่องจากรังสีเบตาจาก C^{14} ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นฟิล์มไปยังด้านหลังได้



รูป 2.7⁽⁹⁾ แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มรังสีเอกซ์ชนิดเอเอ

2.7 การทำให้ภาพปรากฏบนฟิล์ม

เมื่อรังสีเบตาผ่านชั้นงานไปทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ เฮไลด์แล้ว ทำให้ซิลเวอร์ เฮไลด์แตกตัวเป็นไอออน โดยจะเกิดขึ้นจำนวนมากน้อยตามปริมาณรังสีที่ตกกระทบฟิล์ม ฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพแล้ว แต่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม เรียกว่า ภาพแฝง (latent image) ซึ่งเราไม่สามารถมองเห็นได้ เราจึงต้องใช้กระบวนการทางเคมีทำให้ภาพปรากฏบนฟิล์มสำหรับนำไปวิเคราะห์ต่อไป

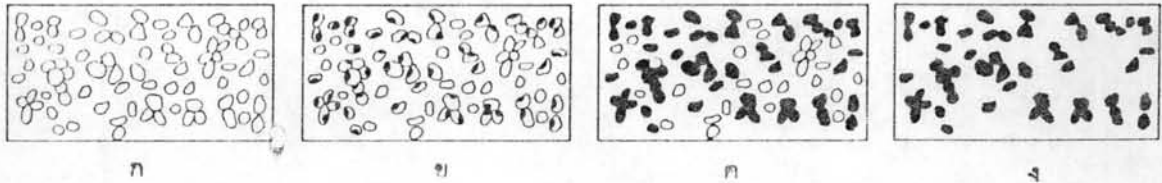


กระบวนการทางเคมี ในการสร้างภาพบนฟิล์มมีดังนี้

1. การสร้างภาพ จะต้องนำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพมาแล้วไปจุ่มในน้ำยาสร้างภาพ (developer) (นาน 4 นาที) เพื่อเปลี่ยนซิลเวอร์ เฮไลด์ ที่ทำปฏิกิริยากับรังสีให้เป็นโลหะสีดำ
2. การหยุดภาพ เมื่อเราสร้างภาพได้ตามต้องการแล้ว นำฟิล์มไปจุ่มในน้ำเพื่อหยุดภาพ (rinse bath) เพื่อล้างน้ำยาสร้างภาพออกไปเสียก่อนที่จะนำฟิล์มไปจุ่มในน้ำยาคงสภาพ

(fixer) (ในขั้นตอนให้ใช้เวลาประมาณ 2 นาที)

3. การคงสภาพ น้ำฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนที่ส่องแล้วไปจุ่มในน้ำยาคงสภาพนาน 3 นาที เพื่อเปลี่ยนซิลเวอร์ เฮไลด์ ส่วนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับรังสีให้เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ก่อนที่จะนำฟิล์มมาจุ่มในน้ำยาคงสภาพ จะต้องแน่ใจว่าเราล้างน้ำยาส่งภาพโดยขั้นตอนที่ส่องหมดแล้ว เพื่อไม่ให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำยาคงสภาพเปลี่ยนไป เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำยาส่งภาพ



รูป 2.8 (9) แสดงการเกิดปฏิกิริยาบนฟิล์มในขั้นตอนการสร้างภาพและคงสภาพ

- ก. แสดงการกระจายของเม็ดซิลเวอร์ เฮไลด์ สีดำเป็นเม็ดที่ถูกรังสี
- ข. เม็ดซิลเวอร์ เฮไลด์ ที่ถูกรังสีทำปฏิกิริยากับน้ำยาส่งภาพ กลายเป็นเม็ดโลหะเงินสีดำ
- ค. หลังจากการสร้างภาพเสร็จสมบูรณ์แล้ว
- ง. เม็ดซิลเวอร์ เฮไลด์ ที่ไม่ถูกรังสี ทำปฏิกิริยากับน้ำยาคงสภาพแล้ว ละลายออกไป

4. การล้างภาพ(washing) นำฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนที่ 3 แล้วไปล้างน้ำเพื่อละลายเอาซิลเวอร์ เฮไลด์ ที่ไม่ถูกรังสี และน้ำยาคงสภาพที่ติดฟิล์มอยู่ออกไปจากฟิล์ม

2.8 ความหนาแน่นของฟิล์ม (film density)

ความดำของภาพที่เกิดขึ้นบนฟิล์มนั้น เรียกว่า ความหนาแน่นของฟิล์ม สามารถวัดได้โดยใช้ เดนซิโตมิเตอร์ (densitometer) ซึ่งตาของคนเราสามารถมองเห็นความแตกต่างบนฟิล์มได้ดีที่ความหนาแน่น เท่ากับ 2

ความหนาแน่นของฟิล์มกำหนดจาก

$$D = \log (I_o / I_t) \tag{2.5}$$

เมื่อ $D =$ ความหนาแน่นของฟิล์ม

$I_o =$ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบฟิล์ม

$I_t =$ " " ที่ผ่านออกจากฟิล์ม

ถ้าแสงผ่านฟิล์มได้เพียง $\frac{1}{10}$ ของแสงที่ตกกระทบ ค่า $I_o : I_t$ จะมีค่าเป็น 10:1
 ดังนั้น $\log (I_o / I_t) = \log 10 = 1$ ซึ่งจะได้ความหนาแน่นของฟิล์มเป็น 1.0 หากแสงที่
 ผ่านออกจากฟิล์มเป็น $1/100$ ของแสงตกกระทบ ความหนาแน่นของฟิล์มจะเป็น 2.0

007617