

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

พื้นฐานเอกซเรย์เพื่อการแพทย์

1. พัฒนาการของเอกซเรย์

เนื้อหาส่วนนี้รวบรวมมาจากเอกสารการสอนเรื่อง คู่มือเอกซเรย์เทคนิค โดย ผศ. วัชริน นวพันธุ์, โรงพยาบาลศิริราช มหาวิทยาลัยมหิดล และเอกสารประกอบการอบรม Basic Radiology & Artifacts on films ครั้งที่ 17 พฤษภาคม, 2548

ประวัติโดยย่อ

เมื่อปี 1852 Sir John Herschel ได้พบสารเคมีชื่อ "Hypo" และได้นำมาทำน้ำยา "Fixer" สำหรับล้างฟิล์มถ่ายรูป Roentgen ประกาศการค้นพบ "New Rays" ในปี 1895 เขาศึกษาและทดลองอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีชนิดใหม่ที่ค้นพบ และถ่ายเอกซเรย์รูปแรกเป็นรูปมือของเขาเอง การทดลองนี้เป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำเอา "New Rays" หรือ "X-Rays" มาใช้ทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมต่อไป Roentgen ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1901

ในช่วงปี 1895 – 1901 หลังการค้นพบของ Roentgen ก็ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายคน คิดค้น, ผลิตหลอดเอกซเรย์ และ Intensifying Screen ในปี 1814 บริษัทอีสต์แมนโกดัก ได้ผลิตฟิล์มเอกซเรย์ซึ่งฉาบ Emulsion ด้านเดียวได้สำเร็จ ทำให้ได้ภาพถ่ายที่มีความละเอียดคมชัดมากขึ้น อย่างไรก็ตามการพัฒนายังดำเนินต่อไป Dr.Bucky ได้ประดิษฐ์ Grid เพื่อลด Scatter Radiation เมื่อปี 1922 และในปี 1935 Grossman แพทย์ชาวเยอรมันได้ศึกษาเรื่อง Tomogram ทำให้เกิดการตื่นตัวในเรื่อง Tomography ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของหลอดเอกซเรย์ได้หลายแบบ เช่น Linear, Circular และ Spiral

ในปี 1958 บริษัทอีสต์แมนโกดัก ได้สร้างเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ ใช้ชื่อว่า "X-Omat" โดยให้ฟิล์มวิ่งไประหว่างลูกกลิ้ง ในตลอดกระบวนการล้างฟิล์มทั้งหมดจนกระทั่งฟิล์มแห้ง ใช้เวลาทั้งหมด 6 นาที ต่อมา มีการผลิตฟิล์มชนิดที่ base ของฟิล์มทำด้วย Polyester ทำให้เวลาล้างสั้นขึ้น ปัจจุบัน

เครื่องล้างฟิล์มได้มีการพัฒนาให้สามารถล้างฟิล์มได้โดยไม่ต้องใช้ห้องมืด เช่น ระบบ Daylight System ของโกดัก

การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องทำให้ได้หลอดเอกซเรย์ที่มีคุณภาพดีขึ้นเรื่อย ๆ ช่วยให้เวลาในการถ่ายฟิล์มสั้นลงจากนาที่ลดลงเหลือเป็นเศษส่วนของวินาที ทำให้รังสีแพทย์ และ รังสีเทคนิคทำงานได้คล่องตัวขึ้นในขณะที่เครื่องเอกซเรย์มีขนาดลดลง และติดตั้งได้ง่ายขึ้น

การเกิดเอกซเรย์

1. ใ้หลอดของหลอดเอกซเรย์ จะถูกทำให้ร้อนจัด เพื่อจะให้เกิดกลุ่มของอิเล็กตรอนกระโดดออกมาอยู่รอบ ๆ ขดลวด
2. กลุ่มของอิเล็กตรอนที่ออกันอยู่บริเวณ Cathode นี้ ถ้าทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่าง Cathode (-) และ Anode (+) ขึ้นจะเป็นกำลังเร่งให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหาขั้วบวกด้วยความเร็วสูง
3. เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งกระแทกเป้าที่ขั้วบวก อิเล็กตรอนเมื่อถูกชลความเร็วลง จนเกือบหยุดก็จะคายพลังงานบางส่วนกลายเป็นเอกซเรย์ และเมื่อหยุดลงกระทันหัน พลังงานก็จะเปลี่ยนเป็นความร้อน และเอกซเรย์ เอกซเรย์ที่ได้จะมีประสิทธิภาพมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับ KV ที่ใช้ ที่ประมาณ 100 KV จะได้เอกซเรย์ประมาณ 1% ที่เหลือ 99% กลายเป็นความร้อนสะสมอยู่ใน Anode
4. การเกิดเอกซเรย์ บริเวณ Focus จะเกิดทุกทิศทุกทาง แต่ลำแสงเอกซเรย์จะถูกทำให้ผ่านบริเวณหน้าต่างหลอดได้ทีเดียวเท่านั้น ซึ่งเอกซเรย์ที่ผ่านออกมาจะมีประมาณ 1/10 ของ Radiation ทั้งหมด นอกนั้นจะถูกดูดซึมด้วยแผ่นตะกั่วซึ่งหุ้มอยู่รอบ ๆ หลอด

ปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วยในการสร้างภาพแบบ Electronic Image โดยใช้แสง Laser ที่มีต้นกำเนิดแสงจาก "Helium Neon" ผลิตโดยบริษัทอีสต์แมนโกดัก ภาพ Electronic Image นี้จะถูกบันทึกเก็บไว้ใน Memory ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ถ้าแพทย์ต้องการดูบันทึกการตรวจก็จะป้อนข้อมูลเข้าเครื่อง ภาพจะปรากฏทางจอทีวี และบันทึกภาพบนฟิล์ม โดยให้แสง Laser

2. รังสีคืออะไร

รังสี หรือ “Rays” (เรย์) หรือ “Radiation” (เรดิเอชัน) หมายถึง ชนิดของรังสี หรืออนุภาคที่มีพลังงานสูงพอที่จะไปก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสสารที่มันผ่านไม่ได้ ไม่ว่าจะด้วยวิธีการโดยตรง หรือ โดยอ้อม ได้แก่ รังสีเอกซ์ (X-rays), รังสีแกมมา (Gamma rays), รังสีนิวตรอน (Neutron rays), โปรตอน (Proton), อิเล็กตรอน (Electron) ซึ่งเราสามารถแบ่งรังสีได้หลายแบบคือ

- 1) แบ่งรังสีตามแหล่งกำเนิด
 - รังสีในธรรมชาติ เช่น คอสมิกเรย์ (Cosmic rays), รังสีความร้อน (Heat), รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet)
 - รังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ ฯลฯ
- 2) แบ่งรังสีตามลักษณะของพลังงานรังสี
 - รังสีลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) เช่น คลื่นไมโครเวฟ, อินฟราเรด, UV, X-Rays, แกมมาเรย์, คอสมิกเรย์
 - รังสีที่เป็นกระแสของอนุภาคความเร็วสูง (Subatomic Particle Radiation) ประกอบด้วย รังสีแอลฟา, รังสีเบต้า, รังสีนิวตรอน
- 3) รังสีแบ่งตามความสามารถในการทำให้เกิดอันตรกิริยาต่างๆ ในสสาร (Interaction)
 - รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน (Non-Ionizing radiation) ได้แก่ คลื่นวิทยุ, ไมโครเวฟ, อินฟราเรด, แสงสว่าง ซึ่งพบในธรรมชาติ
 - รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (Ionizing radiation) ได้แก่ เอกซเรย์, คอสมิกเรย์, รังสีแอลฟา, รังสีเบต้า, รังสีนิวตรอน ซึ่งเกิดได้จาก สารกัมมันตรังสีสลายตัว, ปฏิกริยาภายในนิวเคลียส, การเปลี่ยนแปลงวงโคจรของอิเล็กตรอนของนิวเคลียส และต้นกำเนิดรังสีนอกลูกโลก (คอสมิกเรย์)

ตารางแสดงระดับรังสีโดยเฉลี่ยที่มนุษย์ได้รับในรอบปี

ต้นกำเนิดรังสี	ระดับรังสี mSv/yr รังสีจากธรรมชาติ	เปอร์เซ็นต์
กาซเรดอน	2.0	55
รังสีคอสมิก	0.27	8
รังสีจากพื้นผิวโลก	0.28	8
รังสีจากภายในร่างกาย	0.39	11
รวมรังสีจากธรรมชาติ	3.00	82
รังสีจากกิจกรรมของมนุษย์		
การเอกซเรย์ทางการแพทย์	0.39	11
การใช้งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์	0.14	4
ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน	0.1	3
สถานปฏิบัติงานทางรังสี	น้อยกว่า 0.01	0.03
ขบวนการผลิตเชื้อเพลิงฯ	น้อยกว่า 0.01	0.03
ฝุ่นกัมมันตรังสี	น้อยกว่า 0.01	0.03
อื่นๆ	น้อยกว่า 0.01	0.03
รวมรังสีจากกิจกรรมของมนุษย์	0.63	18
รวมรังสีที่มนุษย์ได้รับ	3.6	100

3. ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

เนื่องจากรังสีเป็นพลังงาน ดังนั้นเมื่อมันกระทบต่อวัสดุ และสิ่งไม่มีชีวิตย่อมเกิดผลกระทบขึ้นได้ ซึ่งจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ชนิดของรังสี พลังงานของรังสี ปริมาณของรังสี และชนิดของอวัยวะที่รังสีตกกระทบ

รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออนส่วนใหญ่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในรูปของความร้อน ในขณะที่รังสีที่ก่อให้เกิดไอออนให้ผลต่อสิ่งมีชีวิต โดยทำให้อะตอม/โมเลกุลของเซลล์ มีการแตกตัวเป็นไอออน และทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งโครงสร้างของเซลล์ และระบบ

การทำงานของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปด้วย และเกิดอาการผิดปกติในร่างกายขึ้น รังสีแต่ละชนิดนั้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตไม่เหมือนกัน ซึ่งในทางวิชาการได้มีการศึกษาถึงความรุนแรงของ ผลกระทบดังกล่าว สรุปได้ดังตารางทางขวา

อวัยวะ	ปัจจัยน้ำหนักของผลกระทบจากรังสี
อวัยวะสืบพันธุ์	0.20
ไขกระดูก	0.12
ลำไส้	0.12
ปอด	0.12
กระเพาะ	0.12
ถุงน้ำดี	0.05
เต้านม	0.05
ตับ	0.05
หลอดอาหาร	0.05
ต่อมธัยรอยด์	0.05
ผิวหนัง	0.01
กระดูก	0.01
อื่นๆ	0.05

ทั้งนี้โดยที่เซลล์ เนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆ แต่แต่ละส่วนในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อรังสีแตกต่างกันไป ดังนั้นแม้มนุษย์ได้รับรังสีทั่วร่างกาย แต่ผลที่เกิดขึ้นต่ออวัยวะต่างๆ กันจะไม่เท่ากันดังตารางด้านซ้าย

จากที่ทราบแล้วว่ารังสีก่อให้เกิดอันตรายได้ คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสีได้ตีพิมพ์เอกสารฉบับ ICRP 60 ในปี พ.ศ. 2533 เสนอหลักการปฏิบัติงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับรังสีให้ได้รับพลังงานรังสีในระดับต่ำสุดเท่าที่เชื่อว่าจะยอมให้รับได้ คือ "ALARA" (As Low As Reasonably Achievable)

4. รังสีเอกซ์ (X-RAY)

รังสีเอกซ์ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เกิดจากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนความเร็วสูงให้วิ่งเข้าชนเป้า ซึ่งทำจากโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง โดยจะเกิดรังสีเอกซ์ขึ้นประมาณ 1% ของพลังงานที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนเป้า

4.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

1. มีอำนาจทะลุทะลวง (Penetrating Power)
2. สามารถทำให้สารบางชนิดเรืองแสงได้
3. สามารถทำให้เกิดภาพบนตัวรับ
4. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา
5. ทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซได้
6. เมื่อผ่านสารใด ๆ สามารถทำให้เกิดรังสีกระเจิงได้ (Scatter radiation)

4.2 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซเรย์

4.2.1 หลอดเอกซเรย์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

- 1) ไส้หลอด (Filament หรือ Cathode) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอน
- 2) พลังงานที่ใช้เร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูง เพื่อเข้าชนเป้า (target) โดยปรกติทางการแพทย์ใช้กัน ประมาณ 40-150 กิโลโวลท์ (KV)
- 3) โฟกัสควบคุมลำอิเล็กตรอนให้วิ่งชนเป้า
- 4) เป้า (Target หรือ Anode) โดยมากทำจาก Tungsten ผสม Rhenium เพื่อให้มีจุดหลอมเหลวสูง โดยเป้าจะยึดติดกับแกนโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี เพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นออกไปภายนอกหลอดเอกซเรย์

ภายในหลอดเอกซเรย์จะมีคุณสมบัติเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอน และหลอดเอกซเรย์จะบรรจุภายใน (Housing) ที่มีน้ำมันบรรจุอยู่เพื่อระบายความร้อน

หลอดเอกซเรย์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้ หลอดเอกซเรย์แบบเป้านิ่ง และหลอดเอกซเรย์แบบเป้าเคลื่อนที่

4.2.2 High Tension Transformer

เป็นชุดหม้อแปลงศักย์ไฟฟ้าสูง เพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าไปเร่งอิเล็กตรอนให้ชนเป้า โดยหม้อแปลงไฟฟ้านี้จะบรรจุอยู่ในถังน้ำมัน เพื่อเป็นฉนวนป้องกัน

นอกจากนี้อาจจะประกอบด้วยชุด Switching เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนหลอดเอกซเรย์ที่จะใช้งาน ในกรณีที่มีมากกว่า 1 หลอด

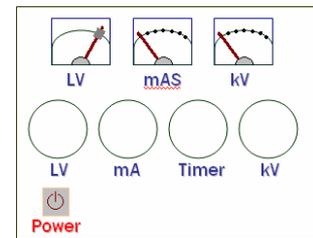
ต้องการ

4.2.3 ชุดควบคุมลำรังสีเอกซ์ (Collimator) ใช้บังคับรังสีเอกซ์ให้ออกเฉพาะบริเวณที่

4.2.4 ชุดควบคุมปริมาณรังสีเอกซ์ (X-Ray control console) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ

ดังนี้

- 1) Power switch
- 2) Line compensator and line indicator
- 3) mA selector and mAs meter
- 4) kV selector and kV meter
- 5) Timer selector



4.2.5 เตียงเอกซเรย์ มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ แต่โดยทั่วไปจะเห็นมี 2 แบบ คือ Bucky Table และ $90^\circ / 15^\circ$ R/F Table

4.2.6 การดูดซึมของรังสีเอกซ์เรย์ (X-Ray Absorbption) สารทุกชนิดจะมีค่าความดูดซึมรังสีเอกซ์ไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ

- 1) ความหนาของส่วนที่รังสีเอกซ์ผ่าน
- 2) ความหนาแน่น
- 3) ความต่างศักย์ทางรังสีเอกซ์ (ค่า kV)
- 4) Contrast media

4.2.7 ความขาว – ดำ ของภาพรังสีเอกซ์ (Contrast)

คือ ความแตกต่างของความขาว – ดำ บนภาพรังสีเอกซ์ ซึ่งมีผลมาจาก

- 1) ความต่างศักย์ของรังสีเอกซ์ (ค่า kV)
- 2) mAS (mA x S)
- 3) Scatter radiation รังสีกระเจิงซึ่งเกิดขึ้นมีรังสีเอกซ์ผ่านไปยังบนสารหรืออวัยวะภายในร่างกาย โดยเราสามารถลดรังสีกระเจิงได้จาก ใช้พื้นที่ในการถ่ายภาพเฉพาะส่วนที่ต้องการ, การใช้กริด (Grid), หรือใช้วัสดุที่ไปรับรังสี เช่น ผ้า, พลาสติก ฯลฯ กัดส่วนที่จะถ่ายภาพ

- 4) การเลือกใช้ฟิล์ม เช่น LOW FOG, HIGH CONTRAST FILM ฯลฯ
- 5) การล้างฟิล์ม และคุณสมบัติของน้ำยาที่ใช้
- 6) การเลือกใช้ตู้ดูฟิล์มที่เหมาะสม

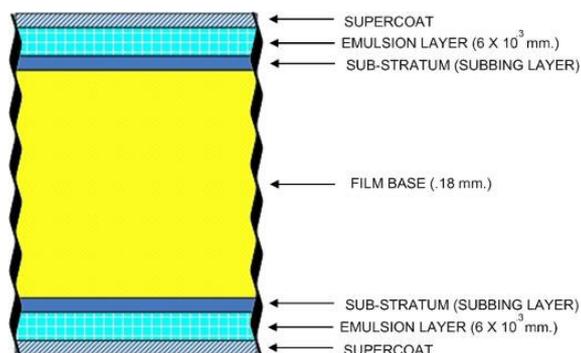
4.2.8 ความคมชัดของภาพรังสีเอกซ์ (Sharpness)

- 1) ขนาด และผิวหน้าของ Focal spot
- 2) ระยะ Focus – skin distance โดยปรกติจะใช้ ~ 90 ซม.
- 3) ระยะ Object – Film Distance
- 4) Intensify screen
- 5) Distortion คือ การบิดเบือนของภาพ เนื่องจากส่วนที่จะถ่ายไม่สามารถจัดให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับลำรังสีเอกซ์

5. ฟิล์ม

5.1 ฟิล์มประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ต่อไปนี้ (ดังภาพที่ 1)

1. Film Base
2. Sub-stratum Layer หรือ Subbing Layer
3. Emulsion Layer
4. Supercoat



ภาพที่ 1 ภาพแสดงส่วนประกอบของฟิล์มเอกซเรย์

5.1.1 Film Base

ในยุคเริ่มแรกในการผลิตฟิล์มสำหรับถ่ายภาพ ได้มีการพัฒนาการใช้ Base ของฟิล์มต่างๆ กัน ในยุคเริ่มแรกใช้กระดาษทำเป็น Base จากนั้นได้พัฒนามาใช้ Base เป็นสารพวก Nitrate ซึ่งมีข้อเสียตรงที่สารชนิดนี้ติดไฟได้ง่าย ภายหลังได้มีการพัฒนามาใช้ Base เป็นสารพวก Cellulose Tri-Acetate และล่าสุดใช้สาร Polyester แทน ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย, ไม่ติดไฟ, ไม่ยืดหรือหด ทำให้รักษาขนาดของฟิล์มคงที่เสมอ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติให้แสงทะลุผ่านได้ดี โดยปกติแล้ว Base ของฟิล์มจะมีความหนาประมาณ 0.18 มม.

5.1.2 Sub-stratum Layer หรือ Subbing Layer

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดชั้นอิมัลชัน (Emulsion Layer) เข้ากับ Film Base

5.1.3 ชั้นอิมัลชัน (Emulsion Layer)

ชั้นนี้ประกอบด้วยผลึกของเงินเฮไลด์ (Silver Halide Grain) ผสมกับเจลาติน (Gelatin) เงินเฮไลด์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ พวกเงินโบรไมด์ (Silver Bromide AgBr), เงินคลอไรด์ (Silver Chloride, AgCl) และ เงินไอโอดีน (Silver Iodide, AgI) ชั้นนี้หนา 0.006 มม.

เงินโบรไมด์

เป็นเงินเฮไลด์ที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตทั้งฟิล์มถ่ายภาพ และฟิล์มเอกซเรย์ รวมทั้งผลิตกระดาษโบรไมด์ สำหรับใช้ในด้านการอัดภาพขยาย โดยปกติแล้วมักจะผสมเงินคลอไรด์ หรือ เงินไอโอดีนด้วยในปริมาณเล็กน้อย กระดาษอัดภาพบางชนิดก็ถูกฉาบด้วยส่วนผสมของเงินโบรไมด์ และเงินคลอไรด์ ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า กระดาษคลอโรโบรไมด์ ซึ่งให้ภาพน้ำตาลดำ

เงินคลอไรด์

อิมัลชันที่ผสมด้วยเงินคลอไรด์มีผลดีในการทำปฏิกิริยากับดีเวลลอปเปอร์ (Developer) และ ฟิกเซอร์ (Fixer) ได้เร็ว อย่างไรก็ตาม การใช้เงินคลอไรด์ ก็มีข้อเสียคือ มีความไวต่อแสงต่ำกว่า

อิมัลชันที่ผสมด้วยเงินโบรไมด์ เงินคลอไรด์ใช้ในการผลิตกระดาษอัดสำหรับทำ Contact Printing ซึ่งให้ภาพสีน้ำตาล

เงินไอโอดิด

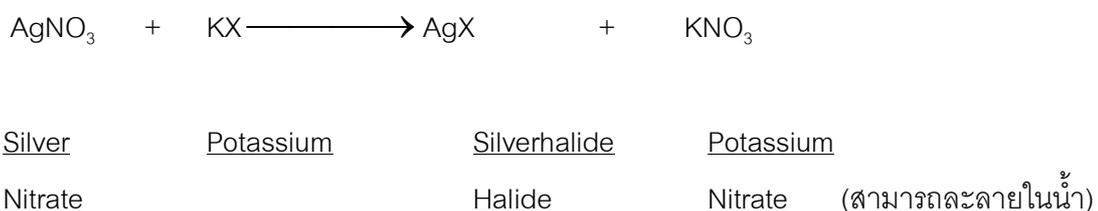
อิมัลชันของฟิล์มความเร็วสูง (High Speed) รวมทั้งฟิล์มเอกซเรย์มักจะมีส่วนผสมของเงินไอโอดิดปริมาณเล็กน้อยคือ 2% ของเงินโบรไมด์ การผสมเงินไอโอดิดลงไปจะเพิ่มความไวของอิมัลชัน แต่อย่างไรก็มีผลเสียคือ ต้องใช้เวลามากขึ้นในการล้างฟิสิกส์ออกจากอิมัลชันด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของเงินไอโอดิดที่ไม่สามารถผสมกับเจลาติน เพื่อผลิตอิมัลชันได้ ถ้าไม่ผสมกับเงินโบรไมด์ หรือ เงินไอโอดิด

5.1.4 ชั้น Supercoat

เป็นส่วนของชั้นเจลาติน (Gelatin) บางๆและใสเคลือบอยู่บนชั้นของอิมัลชัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อชั้นอิมัลชัน และทำให้ผิวของฟิล์มมีความเงามัน ซึ่งทำให้ฝุ่นไม่เกาะและลดรอยขีดข่วน

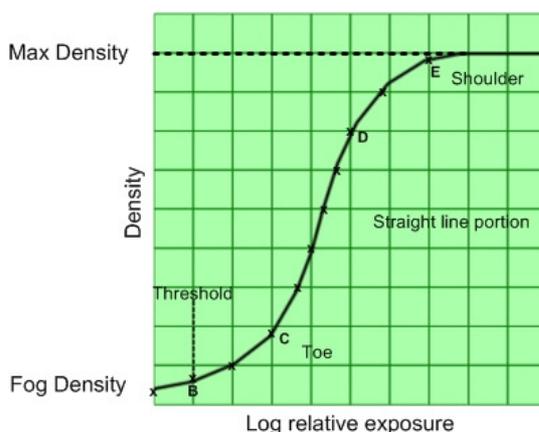
5.2 กระบวนการผลิตเงินเฮไลด์ (Silver Halide)

เงินเฮไลด์สามารถเตรียมได้โดยการผสมเงินไนเตรด (Silver Nitrate) ลงในสารละลายของโปแตสเซียมเฮไลด์ (Potassium Halide) เช่น โปแตสเซียมโบรไมด์ (Potassium Bromide), โปแตสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride) และ โปแตสเซียมไอโอดิด (Potassium Iodide) ซึ่งละลายอยู่ในเจลาติน จะได้ผลึกของเงินเฮไลด์ และ โปแตสเซียมไนเตรด ตามปฏิกิริยาเคมี ที่เกิดขึ้นดังนี้



5.3 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม (THE CHARACTERISTIC CURVE)

กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มมักเรียกว่า “H&D Curve” ซึ่งย่อมาจาก “Hurter & Driffield Curve” เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์ม (Film Density) กับ Log ของค่าเรเลทีฟ เอกซ์โพเชอร์ (Relative Exposure) ดังรูปที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงภาพของ Characteristic Curve หรือ H & D Curve

กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. FOG DENSITY หรือ BASE FOG (DENSITY) คือ ความดำของฟิล์ม เนื่องจาก Base ของฟิล์ม แม้ว่าฟิล์มนั้นจะไม่ถูกแสงหรือรังสีก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว เราไม่สามารถผลิตฟิล์มที่มีความดำของฟิล์ม (DENSITY) เท่ากับศูนย์ได้แม้ว่าเราจะล้างเอาอิมัลชันออกหมดก็ตาม Fog Density นี้จะอยู่ในช่วง A-B ของกราฟฟิล์มที่ดีจะต้องมีค่า Fog Density หรือ Base Fog ต่ำที่สุด
2. ค่า THRESHOLD (THRESHOLD VALUE) คือค่าความดำของฟิล์มที่เริ่มเปลี่ยนแปลง (จุด B) ค่า Threshold Value นี้จะมีค่าความดำของฟิล์มสูงกว่าค่า Base Fog เล็กน้อย
3. ฐานของกราฟ (TOE OF THE CURVE) คือ ตำแหน่งของกราฟที่ให้ความดำของฟิล์มในช่วงประมาณ 0.1 ถึง 0.5 จากภาพ ที่ 2 ฐานของกราฟจะอยู่ในช่วง B ถึง D
4. ส่วนที่เป็นเส้นตรง (STRAIGHT LINE PORTION) คือ ช่วงของกราฟที่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นส่วนที่จะบอกค่าคอนทราสต์ (Contrast) ของฟิล์มจากภาพที่ 2 จะอยู่ในช่วง C ถึง D

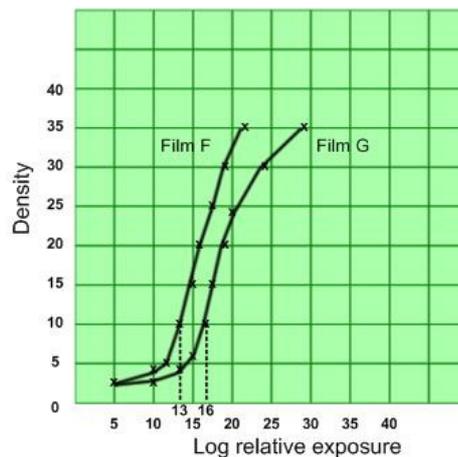
5. ไหล่ของกราฟ (SHOULDER) คือ ช่วงที่ความดำของฟิล์มเริ่มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จนถึงไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าค่า Relative Exposure จะเพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็ตาม

ข้อบ่งชี้คุณสมบัติของฟิล์ม

กราฟแสดงคุณสมบัติของฟิล์ม (Characteristic Curve) สามารถบอกคุณสมบัติของฟิล์ม เกี่ยวกับความไวของฟิล์ม (Speed), ค่าคอนทราสต์ (Contrast), ค่าละติจูด (Latitude), ค่า Fog Density และค่าความดำสูงสุดของฟิล์ม (Maximum Density) ดังภาพที่ 2

5.4 ความไวของฟิล์ม (Film Speed)

การเปรียบเทียบความไวของฟิล์ม นิยมวัดจากที่ตำแหน่งค่าความดำของฟิล์มเท่ากับ 2.0 จากภาพที่ 3 จะเห็นว่าฟิล์ม F มีความไวของฟิล์มมากกว่าฟิล์ม G



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความไวของฟิล์มโดยใช้ H&D Curve

Ag = เงิน (Silver)

NO₃ = อนุมูลไนเตรด (Nitrate Radical)

K = Potassium

X = อนุมูลเฮไลด์ (อนุมูลของคลอไรด์, อนุมูลโบรมไนด์ หรืออนุมูลไอโอดไนด์)

ขนาดของผลึกเงินเฮไลด์ และความแตกต่างของขนาดของผลึกเงินไอโอไดด์ที่ได้จะถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของเจลาติน, อัตราความเร็วในการผสม และจำนวนของเงินไนเตรดที่ผสมลงไป ในสารละลายของโปแตสเซียมไนเตรดในเจลาติน

หมายเหตุ : - ความไวของฟิล์ม (Sensitivity) ขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกเงินเฮไลด์
- คอนทราสต์ของฟิล์ม (Contrast) ขึ้นอยู่กับช่วงความแตกต่างกันของขนาดผลึกเงินเฮไลด์
ในอิมัลชัน

การแบ่งชนิดของฟิล์มเอกซเรย์

ก. แบ่งตาม “การใช้” หรือ “ไม่ใช้” คู่กับ “SCREEN”

1. “SCREEN-FILM” คือ ฟิล์มที่ต้องใช้คู่กับ “CASSETTE” ที่ติดกับ “SCREEN”
 - ให้ค่า “EXPOSURE” ต่ำกว่า “NON-SCREEN FILM” ทำให้ผู้ป่วยรับรังสีน้อยลง
 - ความคมชัดต่ำกว่า “NON-SCREEN FILM”
 - เหมาะสำหรับงานเอกซเรย์ทั่วไป
 - ชั้น “EMULSION” บาง ใช้เวลาในการล้างเร็วขึ้น
2. “NON-SCREEN FILM” คือ ฟิล์มที่ไม่ต้องใช้กับ “SCREEN”
 - ต้องให้ค่า “EXPOSURE” สูง ทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีมาก
 - ปัจจุบัน มีการใช้ฟิล์มนี้ในการศึกษาและวิจัย

ข. แบ่งตามการฉาบ “EMULSION”

1. “SINGLE COATED EMULSION” เป็นฟิล์มเอกซเรย์ที่ฉาบ “EMULSION” ด้านเดียว ใช้สำหรับทำ “X-RAY COMPUTER”, “X-RAY ULTRASOUND” และ “MAMMOGRAPHY” เป็นต้น
2. “DOUBLE COATED EMULSION” เป็นฟิล์มเอกซเรย์ที่ฉาบ “EMULSION” สองด้าน ใช้สำหรับทำเอกซเรย์ ทั่วไป

ค. แบ่งตาม “ความไวแสง” ของฟิล์ม

1. फिल्मที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน (BLUE SENSITIVE FILM) ใช้ในงานเอกซเรย์ทั่ว ๆ ไป มักใช้คู่กับ “SCREEN” ที่เรืองแสงสีน้ำเงิน (BLUE LIGHT EMITTING SCREEN) แต่สามารถใช้คู่กับ SCREEN ที่เรืองแสงสีเขียว (GREEN LIGHT EMITTING SCREEN) และให้ภาพที่ดีกว่าด้วย

2. फिल्मที่ไวต่อแสงสีเขียว (GREEN SENSITIVE FILM) ปัจจุบันนี้กำลังเริ่มนำเข้ามาใช้ในงานรังสีทั่วไป เพราะสามารถให้ภาพคมชัดมากที่สุด และ ลด “EXPOSURE” ลงได้มากกว่า 50 % เมื่อเทียบกับปกติ โดยต้องใช้คู่กับ “SCREEN” ที่เรืองแสงสีเขียวด้วย (GREEN LIGHT EMITTING SCREEN)

5.5 การแบ่งชนิดของ “SCREEN”

“SCREEN” มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวๆ ติดทั้งสองด้านของ “CASSETTE” แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. “BLUE LIGHT EMITTING SCREEN” หมายถึง “SCREEN” ที่เรืองแสงสีน้ำเงิน ต้องใช้คู่กับฟิล์มเอกซเรย์ชนิด BLUE SENSITIVE FILM เท่านั้น

2. “GREEN LIGHT EMITTING SCREEN” หมายถึง “SCREEN” ที่เรืองแสงสีเขียว โดยจะใช้คู่กับฟิล์มเอกซเรย์ที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน หรือ สีเขียวก็ได้ ถ้าใช้คู่กับฟิล์มที่ไวต่อแสงสีเขียวจะให้ภาพที่คมชัด และรายละเอียดของภาพดีมาก รวมทั้งผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีน้อยลงมาก

5.6 การเก็บฟิล์มเอกซเรย์

การเก็บฟิล์มเอกซเรย์ที่ถูกต้อง ควรปฏิบัติดังนี้

1. ควบคุมที่อุณหภูมิ ระหว่าง $50^{\circ}\text{F} - 70^{\circ}\text{F}$ ($10^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}$)
2. ห้องเก็บฟิล์มควรมีความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่าง 30 – 50 %
3. ต้องเก็บฟิล์มเอกซเรย์ห่างจากน้ำมันระเหยและก๊าซบางชนิดเช่น FORMALDEHYDE, HYDROGEN SULPHIDE และ AMMONIA
4. ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้กล่องฟิล์มถูกระแทก หรือ วางกล่องฟิล์มซ้อนกัน
5. ควรเก็บฟิล์มให้ห่างจากห้องเอกซเรย์ ห้องที่บรรจุสารกัมมันตภาพรังสี

5.7 กระบวนการล้างฟิล์มเอกซเรย์ด้วยมือ (MANUAL PROCESSING)

กระบวนการล้างฟิล์มเอกซเรย์ด้วยมือ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. DEVELOPMENT
2. RINSING
3. FIXING
4. WASHING
5. DRYING

5.7.1 DEVELOPMENT หมายถึง ขั้นตอนการสร้างภาพของฟิล์มเอกซเรย์ประกอบด้วยสารเคมี (DEVELOPING AGENT) ที่มีสภาพเป็นด่าง โดยปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนการสร้างภาพ ได้แก่

1. เวลาในการสร้างภาพ (TIME) ปกติใช้ 4 นาที ที่อุณหภูมิ 20 °C (68 °F)
2. อุณหภูมิของน้ำยา (TEMPERATURE) ปกติใช้ที่อุณหภูมิ 20 °C ในเวลา 4 นาที
3. การเขย่า (AGITATION)
4. การรักษาระดับของน้ำยา (REPLENISHMENT)

5.7.2 RINSING หมายถึง กระบวนการที่หยุดการสร้างภาพ โดยใช้ “ACID STOP BATH” ซึ่งมีความเข้มข้น 1.5-3% ของ “ACETIC ACID” ถ้าไม่มี “RINSE “ จะทำให้เกิด “DICHROIC FOG” บนฟิล์ม, ความเป็นด่างในถัง “FIXER” และ รอยเปื้อนบนฟิล์มได้ ปัจจุบัน ในงานรังสีทั่วไป ใช้ “น้ำ” แทน “ACID STOP BATH”

5.7.3 FIXING

หมายถึง ขั้นตอนการคงสภาพของภาพ ประกอบด้วยสารเคมีที่มีสภาพเป็นกรด ที่รู้จักกันดี คือ “SODIUM THIOSULPHATE” หรือ “HYPO” โดย ปัจจัยที่มีผลต่อการคงสภาพของภาพ ได้แก่

1. เวลาที่ใช้ล้างฟิล์ม (TIME)
2. อุณหภูมิที่ใช้ล้างฟิล์ม (TEMPERATURE)
3. การเขย่าฟิล์ม (AGITATION)
4. ระดับการเสริมน้ำยา (REPLENISHMENT)

5.7.4 WASHING หมายถึง กระบวนการล้างเอาเกลือ และ สารเคมีอื่น ๆ ออกจากฟิล์ม ถ้า ไม่มีขั้นตอนนี้ ทำให้ฟิล์มเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาล (YELLOW-BROWN STAIN)

5.7.5 DRYING หมายถึง กระบวนการที่ทำให้ฟิล์มแห้ง มักจะใส่ในตู้อบฟิล์ม

5.8 ห้องล้างฟิล์ม

ควรมีขนาดของห้องที่เหมาะสมประมาณ 2x2 เมตรขึ้นไป มีพัดลมระบายอากาศแบบที่สามารถป้องกันแสงจากภายนอกได้ และ ควรมีไฟที่ให้ความสว่างในขณะที่ไม่ล้างฟิล์ม

อุปกรณ์ที่จำเป็นภายในห้องมี

1. เครื่องพิมพ์หรือผู้ปวยลงบนฟิล์ม (I.D. printer)
2. ถังล้างฟิล์ม (Processing tank)
3. Hanger
4. ตู้เก็บฟิล์มที่ยังไม่ได้ถ่าย
5. Safelight
6. โต๊ะสำหรับทำงาน

5.8.1 การล้างฟิล์มเอกซเรย์ (Manual Processing)

1. ขบวนการสร้างภาพ(Developing) เป็นขบวนการที่เปลี่ยน AgBr บนฟิล์มเอกซเรย์ที่ถูกรังสีเอกซ์แล้วให้เป็น metallic silver ซึ่งอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อการเกิดภาพ โดยปกติในการล้างฟิล์มจะใช้อุณหภูมิในการล้าง คือ 68°F (20°C) และใช้เวลาในการล้าง 4 นาที

5.8.2 ชนิดของน้ำยาล้างฟิล์มดีเวลอปเปอร์

1. ชนิดเป็นน้ำบรรจุในขวดพลาสติก มีความเข้มข้นสูง ใช้น้ำประปาทั่วไปผสมได้
2. ชนิดผง จำเป็นต้องใช้น้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 52 °C

3. Rinse เป็นการหยุดขบวนการสร้างภาพ โดยการล้างสภาวะการเป็นต่างของฟิล์ม ที่ผ่านจากการล้างดีเวลลอปเปอร์ หรือบางที่เรียกขบวนการนี้ว่า acid stop bath ปรกติจะใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

4. ขบวนการทำฟิล์มให้คงสภาพ (Fixing) เป็นขบวนการล้างฟิล์มเพื่อให้ฟิล์มคงสภาพอยู่ โดยการล้างเอา AgBr ที่ไม่โดนแสงเอกซเรย์ออกจากฟิล์ม และทำให้ metallic silver คงสภาพถาวร นอกจากนี้ในน้ำยาฟิกเซอร์ยังมีตัว hardener เพื่อทำให้ gelatin หดตัวเพื่อป้องกันการถูกทำลายจากการหักงอ, ความร้อน นอกจากนี้ยังช่วยทำให้ฟิล์มแห้งเร็วขึ้น เวลาในการล้างน้ำยาฟิกเซอร์ปรกติจะใช้ประมาณ 5 – 10 นาที ขึ้นอยู่กับ ชนิดของน้ำยา ความเข้มข้นของน้ำยา คุณหมุมิของน้ำยา ชนิดของฟิล์มที่ใช้ และการเขย่าขณะอยู่ในน้ำยา (Agitation)

การล้างน้ำ (Washing) คือ ขบวนการที่นำฟิล์มที่ผ่านการล้างด้วย fixer มาล้างน้ำเพื่อ

- Argentothiosulphate ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของ fixer ซึ่งถ้ามี จะทำให้ฟิล์มเหลือง
- Sodiumthiosulphate
- สารเคมีจากน้ำยา fixer

การเสื่อมของน้ำยาล้างฟิล์ม เกิดขึ้นเนื่องจาก

- การล้างฟิล์ม เนื่องจากเกิด Oxidized developing agent; สารเคมีตัวอื่นเพิ่มขึ้น
- เมื่ออยู่เฉย ๆ จะ Oxidized กับอากาศเกิด Oxidized developing agent

การเสริมน้ำยา (Replenishment) เป็นการเติมน้ำยาเสริม (Replenisher) เพื่อยืดอายุของน้ำยาล้างฟิล์ม และเสริมส่วนที่พร่องไปในขณะที่ใช้งาน

6. น้ำยาล้างฟิล์ม

ส่วนประกอบของ Developer

1. Metol – Hydroquinone (Phinidone ใน automatic processing)
2. Sodium Carbonate (sodium hydroxide, potassium carbonate, potassium hydroxide) ทำตัวเป็น accelerator ช่วยเร่งปฏิกิริยาของ Metol และ Hydroquinone ใช้ทำงานที่ pH ประมาณ 10 – 11.5
3. Restrainer ใช้ KBr หรือ Benzotriazole ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาไม่ให้ Metol และ Hydroquinone ทำปฏิกิริยากับ Ag – halide grain ที่ไม่โดนแสง
4. Preservative เนื่องจาก developer oxidize ได้ง่ายเมื่อโดน O_2 ในอากาศเพื่อจะให้ใช้ได้นาน และน้ำยาไม่เปลี่ยนสี ต้องปิดฝาถังไว้เสมอ รวมทั้งใส่สารเพื่อให้ออกซิเดชัน ลดน้อยลง preservative ที่ใช้ได้แก่ $NaSO_3$
5. Solvent – Water
6. Buffer Solution เพื่อช่วยปรับสภาวะการเป็นกรด – ด่าง ของน้ำยาให้คงที่ Buffer agent ที่ใช้จะเป็นคู่ คือ Sodium carbonate + Sodium bicarbonate หรือ Boric acid + Sodium hydroxide

ส่วนประกอบของสารเคมีใน Fixer

1. Sodium Thiosulphate (“hypo”)
Silver bromide + Sodium thiosulphate \rightarrow Sodium salt ของ Monoargento dithiosulphuric acid + Sodium bromide compound salt
เกลือนี้จะละลายน้ำได้ทำให้ละลายหลุดออกจากฟิล์ม base ไป
2. Acid
Sodium thiosulphate จะทำงานได้ activity สูง เมื่ออยู่ในภาวะเป็นกรด อีกทั้งในสภาพเช่นนี้ จะหยุดปฏิกิริยาของ developer ลงด้วยกรดที่ใช้ คือ acetic acid การใช้กรดแรงกว่านี้จะทำให้ thiosulphate เกิดการรวมตัวทำให้เกิดตะกอน Sulohur ได้
3. Stabilizer Sodium Sulphite เพื่อป้องกันการ decompose ของ thiosulphate
4. Buffer ใช้ Acetic acid + Sodium acetate

5. Hardener Emulsion Layer ของ film เมื่อ absorb น้ำมาก ๆ ขณะล้างฟิล์มจะบวมตัวขึ้นหนาหลายเท่าของขณะที่แห้ง ๆ ดังนั้นเพื่อป้องกัน physical damage จึงต้องใช้ harden ช่วย สารเคมีที่ใช้คือ Chrome alum หรือ Potassium alum

ประโยชน์จากการเพิ่ม Hardener ลงใน Fixer คือ

- สามารถใช้ drier ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อต้องการให้ฟิล์มแห้งเร็ว
- เวลาการอบแห้งลดลง
- ไม่มีการถูกทำลายบนผิวของแผ่นฟิล์ม

6. ตัวทำละลาย - น้ำ

7. Anti - sludging Agent ป้องกันการเกิดตะกอนลอยขาว ๆ เนื่องจากระดับ PH สูงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ hardener ร่วมด้วย Anti - sludging Agent ที่ใช้คือ Boric acid