หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

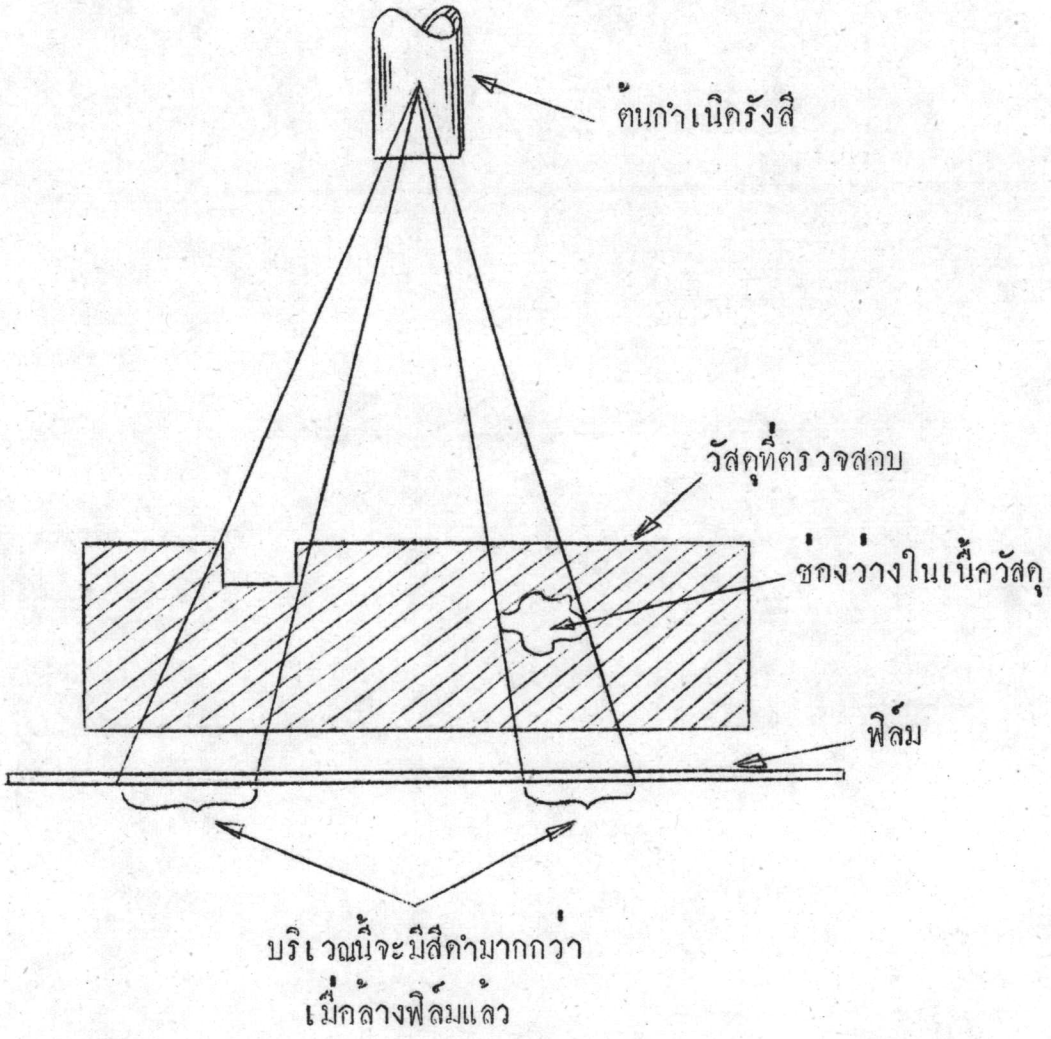
2.1 การตรวจสอบวัสดุโดยใช้รังสี (Radiographic Inspection)

การตรวจสอบวัสดุโดยการถ่ายภาพด้วยรังสี เป็นวิธีการตรวจสอบโครงสร้างภายในที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องทำลายวัสดุที่นำมาทำการตรวจสอบ (Non-Destructive Testing) และเนื่องจากการทดสอบไม่ได้ใช้วิธีการทางเคมี วัสดุที่นำมาทดสอบยังคงมีโครงสร้างทั้งภายนอกและภายในคงเดิม ทั้งยังสามารถบันทึกผลการทดสอบได้ดูเป็นแบบอย่างได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานการผลิตของวัสดุที่จะผลิตขั้นต่อ ๆ ไปได้โดยประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

2.2 การถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography)

เมื่อฉายรังสีผ่านวัสดุที่จะทำการตรวจสอบเนื้อในหรือโครงสร้างภายใน รังสีบางส่วนจะผ่านเนื้อในวัสดุเข้าไป ถ้าวัสดุที่กั้นมีความหนาแน่นต่างกัน หรือมีความหนาต่างกัน หรือประกอบด้วยหลายชิ้นส่วนซึ่งแต่ละชนิดเป็นธาตุต่างชนิดกัน วัสดุที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กันนี้จะมีคุณสมบัติในการกั้นรังสีได้ต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณรังสีที่จะทะลุผ่านเนื้อวัสดุตกลงบนแผ่นฟิล์มที่มารับมีจำนวนไม่เท่ากัน ส่วนใดที่รังสีทะลุผ่านออกมาได้น้อยก็จะเกิดปฏิกิริยาบนแผ่นฟิล์มได้น้อยกว่า ฟิล์มก็จะดำน้อยกว่าส่วนที่ได้รับรังสีมากกว่า ซึ่งความแตกต่างนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible image) เมื่อทำการล้างฟิล์มแล้ว ดังนั้นเมื่อฉายรังสีเอกซ์ผ่านแท่งดินขับจรวด ถ้าการอัดตัวของเนื้อดินขับในแท่งไม่สม่ำเสมอ เช่นมีฟองอากาศ หรือมีรอยร้าวในเนื้อซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ก็จะทำให้ความสามารถในการกั้นรังสีต่างกันไปด้วย กล่าวคือส่วนใดมีรอยแยกหรือฟองอากาศอยู่ก็จะกั้นรังสีได้น้อยกว่าส่วนที่เนื้อดินขับอัดกันแน่นโดยสม่ำเสมอ เมื่อล้างฟิล์มดูแล้วจะเห็นความ

ดำบนแผ่นฟิล์มไม่เท่ากัน คือส่วนที่เป็นรอยแยกหรือฟองอากาศฟิล์มจะดำมากกว่าบริเวณใกล้เคียง ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์
(Diagram of Radiographic Exposure)

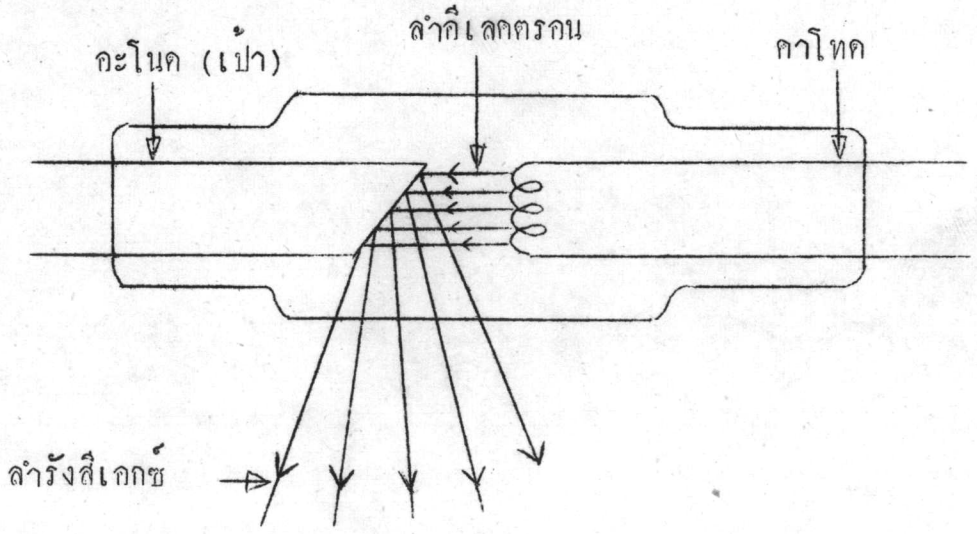
2.3 ต้นกำเนิดรังสี (Source of Radiation)

2.3.1 รังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพมี 2 ชนิด คือ

2.3.1.1 รังสีเอกซ์ เกิดจากอนุภาคที่มีประจุลบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเฉียดนิวเคลียส (Nucleus) ของอะตอม (Atom) ของธาตุมีผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกในนิวเคลียสกับประจุลบของอนุภาคขึ้น ทำให้ทางเดินของอนุภาคลบเปลี่ยนทิศทางไปพร้อมกับพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาเป็นรังสีเอกซ์ ซึ่งมีระดับพลังงานต่อเนื่องกันจากพลังงานต่ำสุดถึงสูงสุด เรียกว่ารังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือเบรมสตราลุง หรือรังสีเอกซ์ขาว (Continuous X-Rays or Bremstralung or White X-Rays) หรือเกิดจากการมีอนุภาก หรือโฟตอน (Photon) ที่มีพลังงานสูงวิ่งชนอนุภาคลบ (Electron) ที่อยู่ในอะตอมของธาตุหลุดไป อีเลคตรอนที่อยู่วงนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะวิ่งเข้ามาบรรจุ แทนที่ว่างนั้นพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีเอกซ์ ซึ่งจะมีพลังงานคงที่เฉพาะตัวสำหรับอะตอมของธาตุแต่ละชนิด เรียกว่ารังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Rays) อำนาจในการทะลุทะลวง (Penetrating power) ของรังสีเอกซ์เป็นอัตราส่วนผกผันกับความยาวคลื่น (Wave length) ของมัน กล่าวคือ รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงจะมีความยาวคลื่นต่ำกว่า แต่จะมีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านเนื้อในของวัสดุสูงกว่ารังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำกว่า

ในปัจจุบันนี้เราใช้รังสีเอกซ์จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-Rays Tube) ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นมาตามลำดับเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ หลอดรังสีเอกซ์ทุกแบบเป็นหลอดแก้วสูญญากาศ ภายในหลอดมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ขั้วบวก เรียกว่า อะโนด หรือเป้าของอีเลคตรอน (Anode or Electron Target) เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ทำด้วยโลหะทองแดง โมลิบดินั่ม เงิน หรือทังสะเตนก็ได้ และขั้วลบ เรียกว่า แคโทด (Cathode) มีลักษณะเป็นขดลวดเล็ก ๆ เป็นไส้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งส่วนมากทำด้วยโลหะทังสะเตน ทั้งนี้เนื่องจากทังสะเตนมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 3370^{o}c จึงทนความร้อนได้ดี ทั้งสองขั้วอยู่ภายในช่องที่เรียกว่า Focusing Cup ในหลอดโดยที่ผิวของ

เป้าทำมุมประมาณ 20° กับแคโทด เมื่อเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage Difference) ระหว่างขั้วทั้งสองของหลอดในลักษณะที่ตกศักย์ไฟฟ้าบวก (Positive high voltage ซึ่งมีค่าสูง ใช้หน่วยเป็นกิโลโวลต์) กับอะโนด และศักย์ไฟฟ้าลบ (Negative high voltage) เข้ากับแคโทด กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแคโทดจะเผาไส้หลอดให้ร้อน อิเลคตรอนของไส้หลอดจะหลุดออกมาอยู่รอบ ๆ ไส้หลอด เมื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองของหลอดสูงมากพอ กลุ่มอิเลคตรอนที่อยู่รอบ ๆ ไส้หลอดก็จะถูกดึงดูดด้วยประจุบวกบนเป้า คือขั้วอะโนดเกิดเป็นลำอิเลคตรอน (Electron beam) จากขั้วลบมายังขั้วบวก ซึ่งอิเลค-ตรอนแต่ละตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปจากแนวเดิมบ้างเมื่อวิ่งมาถึงเป้า เมื่อพิจารณาแบ่งเป้าออกเป็นชั้นบาง ๆ เมื่ออิเลคตรอนแต่ละตัวชนชั้นบนสุดของเป้าจะสูญเสียพลังงานสูงสุดให้เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดในขณะที่ในชั้นต่ำ ๆ ไปของเป้าอิเลคตรอนจะสูญเสียพลังงานมากขึ้นเรื่อย ๆ และบางส่วนก็ถูกเนื้อของอะโนดดูดกลืน (Absorp) เอาไว้บ้างทำให้รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นในช่วงต่ำ ๆ ไปมีความยาวคลื่นมากขึ้นเรื่อย ๆ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะให้รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-Rays) ซึ่งมีระดับพลังงานต่างกันตั้งแต่ต่ำสุดถึงสูงสุดได้



รูปที่ 2.2 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

ถ้าใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ควบคุมหลอดรังสีเอกซ์ให้มีค่าสูงมาก ๆ อิเลคตรอนที่วิ่งจากขั้วลบมายังเป้าบางตัวเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางอาจจะวิ่งไปชนอิเลคตรอนรอบในใกล้ ๆ นิวเคลียส (K or L Shell) ของอะตอมของธาตุที่ทำเป้า อิเลคตรอนที่อยู่รอบนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะวิ่งเข้ามาบรรจุแทนที่ว่างนั้นพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ซึ่งมีระดับพลังงานคงตัวสำหรับธาตุหนึ่ง ๆ ปนออกมาด้วย ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับขั้วของหลอดทั้งสองนี้จะเป็นตัวควบคุม (Control) อัตราเร็ว (Speed) ในการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนในขณะที่กระแสของหลอดซึ่งใช้เป็นมิลลิแอมแปร์นั้นเป็นตัวควบคุมจำนวน (Numbers) ของอิเลคตรอนที่หลุด (Emitted Electron) ออกมาจากไส้หลอด (Filament) กล่าวคือการตั้งมิลลิแอมแปร์ก็คือการปรับคุณภูมิของไส้หลอดให้ได้กระแสของหลอด (คือจำนวนอิเลคตรอน) ดังต้องการนั่นเอง ในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ พลังงานส่วนใหญ่ของอิเลคตรอนจะกลายเป็นความร้อนถึง 99 % อีก 1 % ที่เหลือจะออกมาในรูปรังสีเอกซ์

2.3.1.2 รังสีแกมม่า (Gamma Rays) เป็นรังสีที่ได้จากการสลายตัวของอะตอมของธาตุกัมมันตรังสีโดยธรรมชาติ (Spontaneous Disintegration) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของอะตอมเอง เช่นอะตอมของธาตุเรเดียม (Radium) จะสลายตัวให้รังสีแกมม่า อนุภาคอัลฟ่า (α - particles or helium atoms) และอนุภาคเบต้า (β-particles or electron) อนุภาคอัลฟ่าและเบต้ามีพลังงานต่ำจะถูกดูดกลับ โดยตัวกลางต่าง ๆ ได้โดยง่าย แต่รังสีแกมม่ามีพลังงานสูงมากกว่าล้านอิเลคตรอนโวลต์ขึ้นไปจะส่งผ่านไปได้เป็นระยะไกล ๆ รังสีแกมม่าเกิดจากอะตอมของธาตุที่ไม่อยู่ตัวสลายตัวนี้จะมีพลังงานเฉพาะตัว สำหรับอะตอมของธาตุกัมมันตรังสีนั้น เรียกว่า รังสีแกมม่าเฉพาะตัว (Characteristic γ - Rays) นอกจากนี้รังสีแกมม่าอาจได้จากปฏิกิริยากระตุ้นอะตอมของธาตุ (Activation) โดยการยิงนิวเคลียสของธาตุหนึ่งด้วยอนุภาคไม่มีประจุ (Neutron) ผลก็จะได้รังสีแกมม่าออกมาด้วย ต้นกำเนิดรังสีแกมม่าที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วย รังสีจะใช้ธาตุดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางธาตุที่เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมม่า

ธาตุ	ระดับพลังงาน (kv)	$T_{1/2}$	ความแรงของรังสี r/hr/ci ที่ระยะ 1 ฟุต	ความหนาของเหล็กกล้า (Steel) เป็นนิ้วที่ใช้ในการถ่ายภาพ
Cecium 137	660	37 ปี	4.2	1 - 2.5
Cobolt 60	1160, 1300	5.3 ปี	14.4	1 - 6
Iridium 192	400	74 วัน	5.9	1/2- 2
Thulium 170	54	129วัน	-	1/4- 1/2
Radium 226	1600	1580ปี	9.0	1 - 6

2.3.2 รังสีเอกซ์และรังสีแกมม่ามีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันดังนี้

2.3.2.1 มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (Invisible)

2.3.2.2 เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง คือ 3×10^{10} เซนติเมตร / วินาที

2.3.2.3 ไม่หักเหหรือเปลี่ยนทิศทางในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

2.3.2.4 ถูกดูดกลืนและมีอำนาจในการทะลุทะลวงได้ต่างกัน ในวัสดุต่างชนิดกัน

2.3.2.5 เกิดเป็นรังสีต่อเนื่อง (มีระดับพลังงานตั้งแต่ต่ำสุดถึงสูงสุด เรียกว่ามีการเกิดเป็น Spectrum) และเป็นรังสีเฉพาะตัว (มีระดับพลังงานเฉพาะตัวสำหรับอะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ)

2.3.2.6 เมื่อกระทบกับสารบางชนิดทำให้อะตอมของสารนั้นเกิดการเรืองแสง (Fluorescence or Phosphorescence) หรือเกิดเป็นสีในแร่บางชนิดได้

2.3.2.7 เกิดปฏิกิริยากับฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film) ได้เช่นเดียวกับแสง

2.3.2.8 สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาได้ทั้งเซลเนื้อเยื่อและเซลสืบพันธุ์ ดังนั้นจะต้องมีการป้องกันอันตรายจากรังสีด้วย

2.3.3 หน่วยที่ใช้วัดความแรงของรังสี

2.3.3.1 รังสีเอกซ์ วัดเป็น เรินท์เกน/ชั่วโมง ที่ระยะ 1 เมตร

2.3.3.2 รังสีแกมม่า วัดเป็นอัตราการสลายตัว (Emission Rate) นับเป็น เรินท์เกน/ภูรี/ชั่วโมง ที่ระยะ 1 ฟุต

2.3.4 การใช้ต้นกำเนิดรังสี

การพิจารณาว่าจะใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดใด และระดับพลังงานขั้นใด ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานและวัสดุที่จะทำการตรวจสอบ ในการตรวจสอบคุณภาพของแท่งดินขับควรใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-rays equipment) ทั้งนี้เนื่องจากดินขับมีความหนาแน่นต่ำ และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สามารถเลือกใช้พลังงานของรังสีในระดับต่ำ ๆ ได้สะดวกกว่าต้นกำเนิดรังสีแกมม่า สำหรับรังสีแกมม่าซึ่งต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเล็ก และส่วนมากให้รังสีที่มีพลังงานสูงส่วนมากจึงใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิต และถนอมอาหารโดยการนำผลิตภัณฑ์หรือผลิตผลที่ได้มาฉายรังสี และยังใช้รังสีแกมม่าในการศึกษาเกี่ยวกับความเปลี่ยนแปลงของพืชผล เช่น นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาฉายรังสีด้วยความแรงต่าง ๆ กัน แล้วนำไปปลูกทดลองเพื่อศึกษาผลที่ได้ ซึ่งนักเกษตรกรรมค้นพบว่าข้าวที่ฉายรังสีด้วยความแรงบางระดับมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น กล่าวคือกลายเป็นพันธุ์ข้าวเบา ซึ่งออกรวงเร็วขึ้นโดยที่ต้นข้าวไม่สูงมากนัก นอกจากนี้รังสีแกมม่ายังมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทดสอบคุณภาพของโครงสร้างภายในของสิ่งผลิตชั้นใหญ่ ๆ (Whole Body Testing) ซึ่งมีความหนามาก ๆ ในการเลือกต้นกำเนิดรังสีแกมม่าควรเลือกธาตุที่มีระยะกึ่งชีวิต ($T_{1/2}$) ยาวพอสมควรเพื่อให้ใช้งานได้นาน ๆ โดยไม่ต้องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีบ่อย ๆ

2.4 วัสดุที่จะทำการตรวจสอบ (Specimen or Object)

วัสดุที่จะทำการตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้น จะต้องมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสี (Absorption) และยอมให้รังสีทะลุผ่านไปได้ (Transmission) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ขึ้นกับ

2.4.1 ความแรงของรังสี (Source Strength) รังสีที่มีความแรงมากจะมีความยาวคลื่นสั้น ๆ และมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ดังนั้นถ้าใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์โดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและลบต่ำ ๆ ก็จะได้รังสีเอกซ์ที่มีช่วงความยาวคลื่นยาว อำนาจในการทะลุทะลวงไม่สูง แต่ถ้าให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองสูง ๆ ก็จะได้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นสั้น ๆ ซึ่งมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ซึ่งสามารถทะลุผ่านเนื้อวัสดุไปได้เร็วกว่ารังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นยาว ๆ ดังนั้นถ้าใช้เวลาในการถ่ายภาพเท่ากันฉายผ่านวัสดุชั้นเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นบนฟิล์มก็จะต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณรังสีที่วัสดุดูดกลืนไว้และยอมให้ผ่านไปมีปริมาณไม่เท่ากัน เนื่องจากความแรงของต้นกำเนิดรังสีต่างกันนั่นเอง

2.4.2 ชนิดของวัสดุหรือส่วนประกอบของเนื้อวัสดุ (Composition of the Object) คุณสมบัตินี้ขึ้นกับเลขอะตอมของวัสดุ ในลักษณะที่ธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าจะดูดกลืนรังสีได้น้อยกว่าธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า เช่น แผ่นอลูมิเนียม (Al-13) แผ่นทองแดง (Cu-29) และแผ่นตะกั่ว (Pb-82) ซึ่งมีพื้นที่และน้ำหนักเท่ากัน อลูมิเนียมมีเลขอะตอมน้อยที่สุด และตะกั่วมีเลขอะตอมมากที่สุด พบว่าอลูมิเนียมจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้น้อยที่สุด และตะกั่วจะสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงนิยมใช้แผ่นตะกั่วบุผนังห้องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

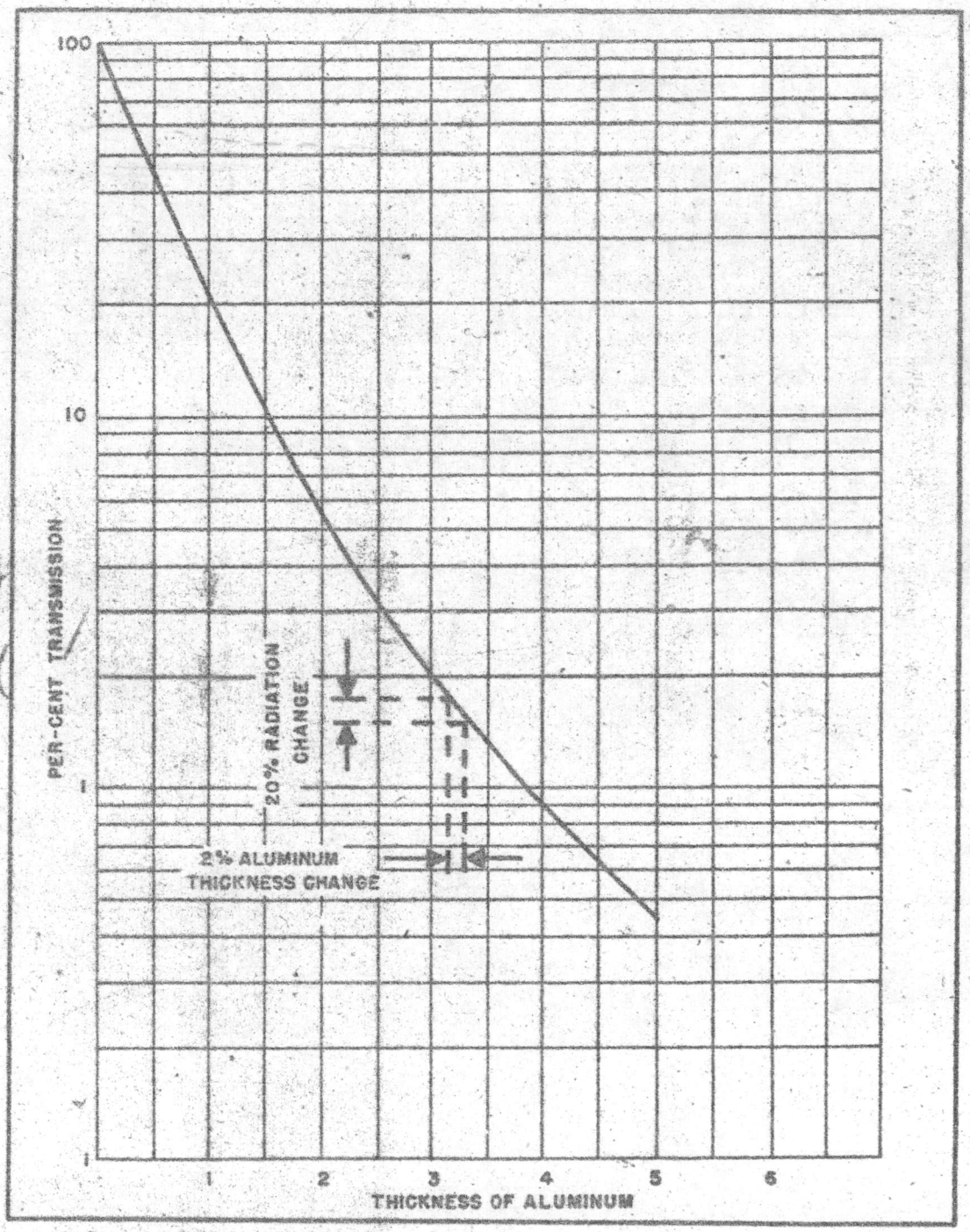
2.4.3 ความหนาและความหนาแน่นของวัสดุ (Thickness and Density of the Object) สำหรับวัสดุชนิดเดียวกันพบว่าวัสดุที่มีความหนามากกว่าจะดูดกลืนรังสีได้มากกว่าวัสดุที่บางกว่า และพบว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะสามารถดูดกลืนรังสีได้มากกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า เช่น น้ำที่มีความหนา 1 นิ้ว

จะดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้มากกว่าน้ำแข็งหนา 1 นิ้ว ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำแข็งในปริมาตรเท่า ๆ กันนั่นเอง

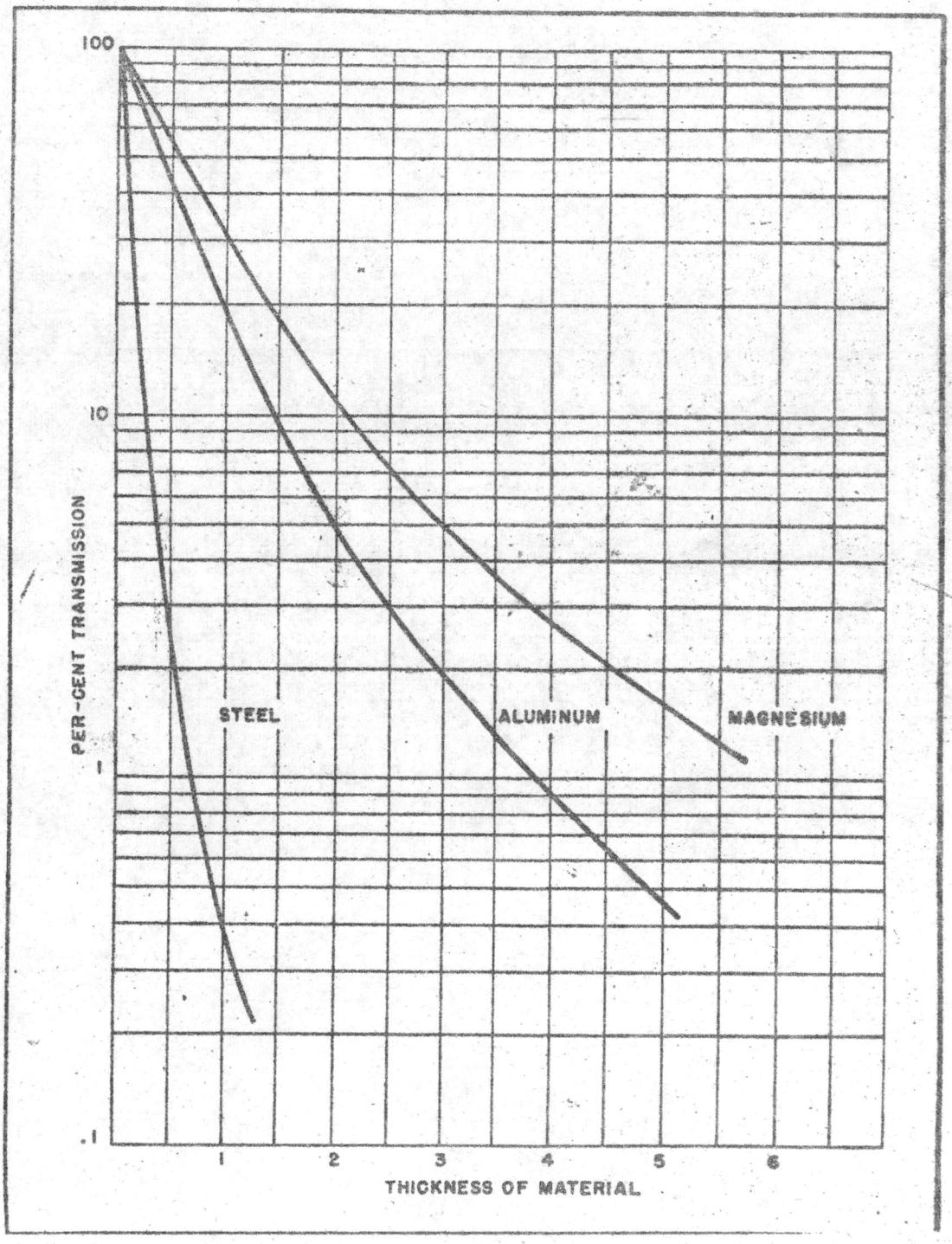
ดังนั้นในการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้น จะต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่จะทำการตรวจสอบ เช่น ค่าเลขอะตอม หรือส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition) ความหนาหรือความยาว และความหนาแน่นของวัสดุ การที่วัสดุมีความสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีแสดงว่าวัสดุนั้นสามารถกั้นรังสีได้ดี ถ้าใช้รังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์พบว่าถ้าวัสดุที่จะทดสอบเป็นวัสดุบาง ๆ (Light Material) หรือมีเลขอะตอมน้อย ๆ จะใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำ ๆ ถ้าเป็นวัสดุหนา ๆ (Heavy Material) หรือมีเลขอะตอมสูง ๆ จะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ โดยทั่วไปแล้วสำหรับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ การเปลี่ยนแปลงความหนาเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีที่จะทะลุผ่านวัสดุไปยังฟิล์มมากแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ จากการทดลองพบว่าแมกนีเซี่ยม (Mg-12) แม้ว่าความหนาจะเปลี่ยนไปถึง 2 % คุณสมบัติในการดูดกลืนและกั้นรังสีแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงบนแผ่นฟิล์มจะมีน้อยกว่าเหล็กกล้า (Steel) ซึ่งจัดเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ จากคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีได้ต่างกันนี้เองจะทำให้สรุปได้ว่า สำหรับความแรงของต้นกำเนิดรังสีเท่า ๆ กัน ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่าจะกั้นรังสีได้ดีกว่า จึงมีตารางเปรียบเทียบความสามารถในการกั้นรังสีของโลหะ ดังตาราง 2.2 (จาก T.O.33B หน้า 5-6)

ตาราง 2.2 แสดงค่าความสามารถในการกั้น (ดูดกลืน หรือAbsorb) รังสีเอกซ์ เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้า 200 kvp. เวลาที่ฉายรังสี 1 นาที

ธาตุหนัก	ความหนา(เป็นนิ้ว)	ธาตุเบา	ความหนา(เป็นนิ้ว)
ตะกั่ว	1/16	อลูมิเนียม	4
ทองแดง	1/2	แมกนีเซียม	5
เหล็กกล้า	3/4		



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านเนื้ออลูมิเนียม เทียบกับความหนาที่เปลี่ยนไป (จาก T.O. 33B หน้า 5-28)

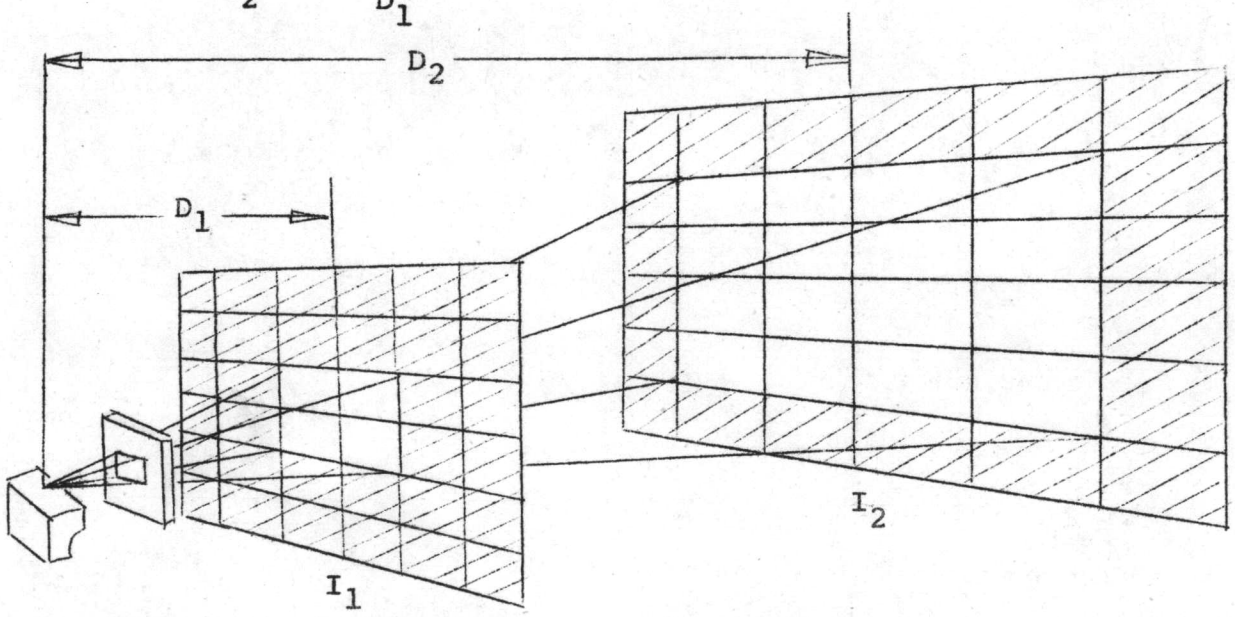


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านเนื้อวัสดุต่างชนิดกัน ในความหนาต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ว่า ถ้าความหนาของวัสดุเปลี่ยนไปเท่า ๆ กัน ธาตุหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีที่ผ่านวัสดุไปมากกว่าธาตุเบา (จาก T.O. 33B หน้า 5-29)

2.5 การจัดวางอุปกรณ์ในการถ่ายภาพด้วยรังสี (Geometric Principles)

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมม่าจะเป็นไปตามกฎของแสง แต่มีข้อแตกต่างจากแสงคือรังสีสามารถทะลุผ่านเนื้อในของวัสดุไปได้ และจะมีการสะท้อนของรังสี (Scattering) ซึ่งอาจเกิดจากเนื้อวัสดุเองหรือเกิดจากผนังห้องที่ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีก็ได้ เมื่อมีวัสดุมาขวางรังสีก็จะเกิดเงาของวัสดุบนฟิล์มที่มารับอยู่ด้านหลังวัสดุ ถ้าวัสดุวางห่างจากต้นกำเนิดรังสีแล้วเงาที่เกิดขึ้นหลังวัสดุจะมีขนาดใหญ่กว่าวัสดุ ซึ่งอัตราการขยายของเงาขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงวัสดุ และฟิล์มที่มารับตามกฎกำลังสองผกผัน คือถ้าระยะทางจากต้นกำเนิดถึงฟิล์มเป็นระยะ D_1 กับ D_2 ซึ่งระยะ D_2 เป็น 2 เท่าของ D_1 จะพบว่าเงาของวัสดุที่ปรากฏบนฟิล์มที่รองรับที่ระยะ D_1 ซึ่งใกล้กว่าจะเล็กกว่าเงาของวัสดุที่ระยะ D_2 พื้นที่เงาของระยะ D_2 จะมากกว่าที่ระยะ D_1 เป็นสี่เท่า ดังนั้นถ้าความเข้มของรังสีที่ตกที่ระยะ D_1 เป็น I_1 และที่ระยะ D_2 เป็น I_2 จะได้ความสัมพันธ์ของกฎกำลังสองผกผันเป็น

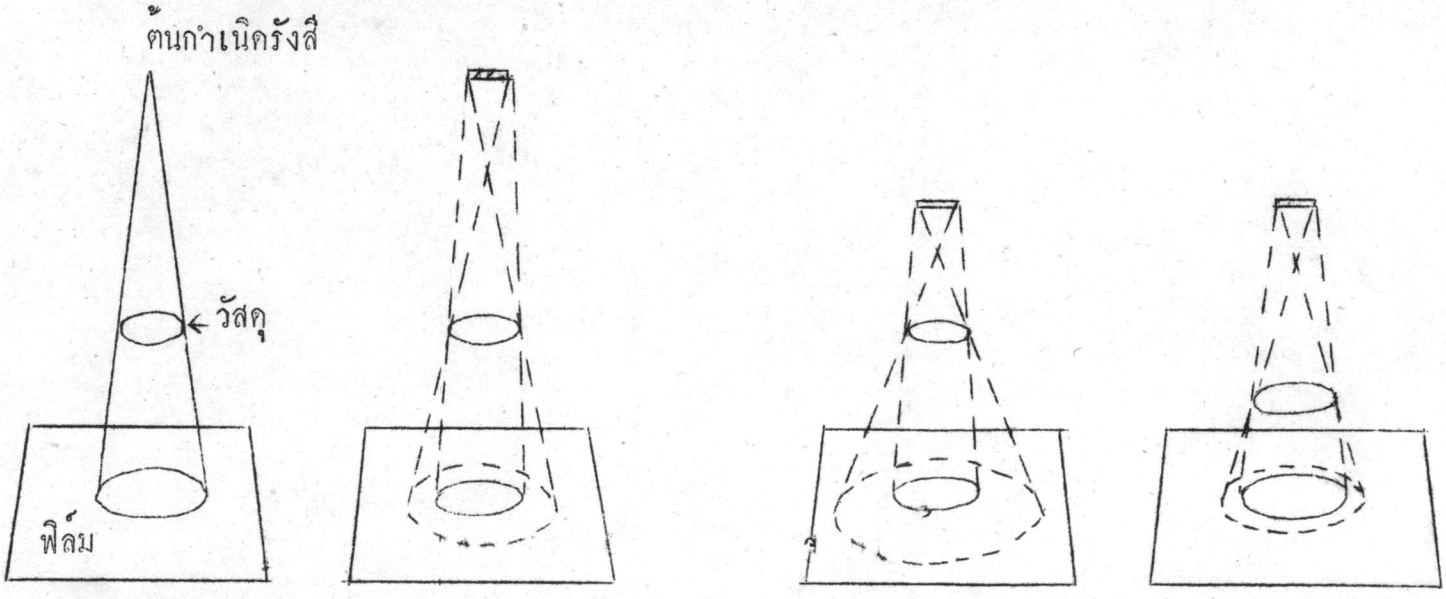
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมของกฎกำลังสองผกผัน

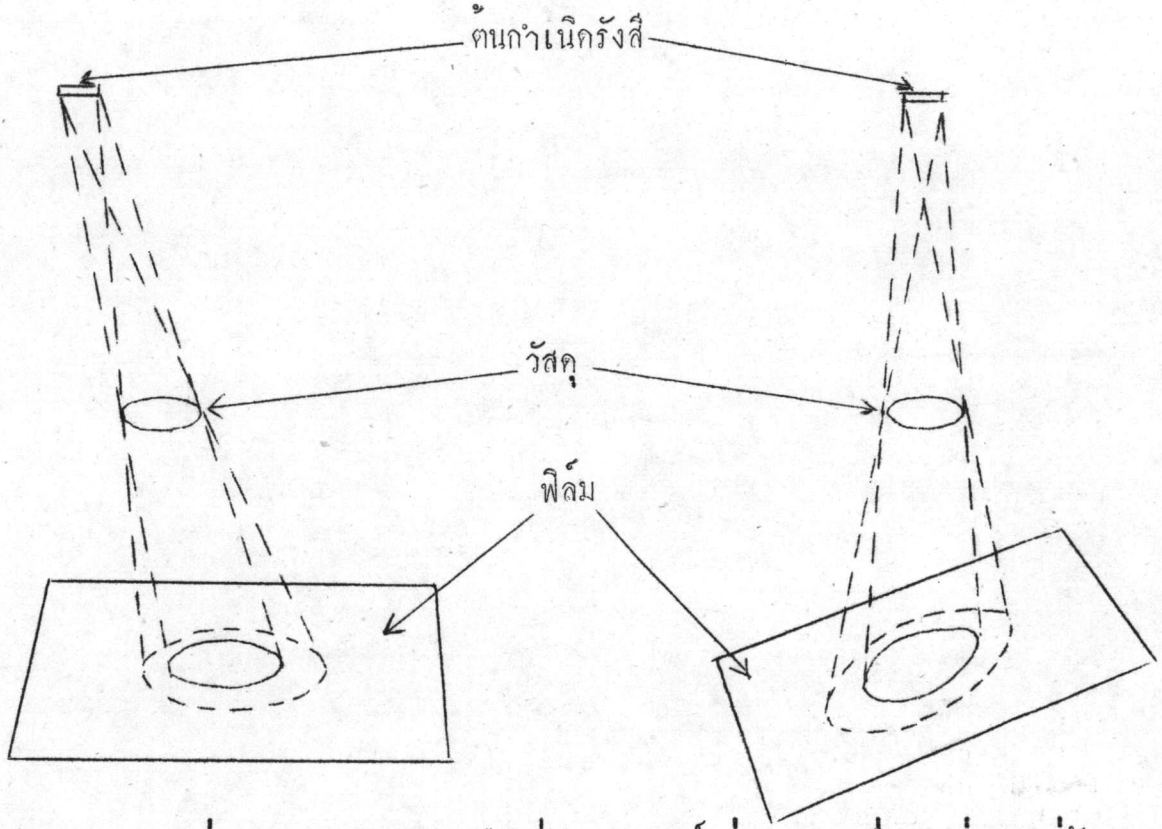
ถ้าเงาของวัสดุที่ปรากฏบนฟิล์มมีขนาดเดียวกับวัสดุ แสดงว่าวัสดุนั้นวางติดกับฟิล์ม หรือต้นกำเนิดรังสีวางห่างจากวัสดุมากที่สุด ซึ่งในกรณีหลังนี้จะต้องใช้ต้นกำเนิดรังสีที่ให้ความเข้มของรังสีสูง ๆ หรือระยะเวลาที่ฉายรังสีจะต้องนาน ๆ ขนาดของเงาบนแผ่นฟิล์มที่เป็นไปตามกฎกำลังสองผกผันจะเป็นเงาที่แท้จริงของวัสดุ (True Projection) ดังนั้นในการจัดวางอุปกรณ์จะต้องปฏิบัติดังนี้

2.5.1 วางวัสดุให้ชิดกับฟิล์ม และใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีขนาดเล็ก การจัดวางวัสดุห่างจากฟิล์ม หรือใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีขนาดใหญ่ จะมีผลต่อเงาของวัสดุที่ปรากฏบนฟิล์มในลักษณะที่ เงาที่เกิดขึ้นจะไม่ใช่เงาของวัสดุเพียงอย่างเดียว แต่จะมีเงาเลือนเพิ่มขนาดเงาของวัสดุขึ้นไปอีก เรียกว่า Penumbra ดังนั้นในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีกประการคือ พื้นที่ของเป้าที่ลำอิเลคตรอนวิ่งเข้ามาชน ซึ่งเรียกบริเวณนั้นว่าจุดโฟคัล (Focal Spot) ซึ่งกล่าวได้ว่าบริเวณจุดโฟคัลนี้เองเป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ ดังนั้นถ้าบริเวณนี้ใหญ่ก็จะมีผลให้เกิดเงาเลือนขึ้นมาได้ทำให้เงาของวัสดุบนแผ่นฟิล์มใหญ่กว่าขนาดที่ควรจะเป็นและความชัดเจนบนของเงาแผ่นฟิล์ม (Image Sharpness) ลดน้อยลงไป ดังรูป 2.6 (บริเวณเส้นประบนฟิล์มเป็นเงาเลือน)



รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบในการจัดวางอุปกรณ์

2.5.2 ต้องวางวัสดุให้ขนานกับฟิล์ม ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้เกิดการบิดเบี้ยว (Distorsion) ของภาพของวัสดุ ซึ่งปรากฏเป็นเงาเลือนบนฟิล์มได้ อีกนัยหนึ่งคือ ต้องให้ต้นกำเนิดรังสีให้รังสีตกตั้งฉากกับวัสดุ และฟิล์มเสมอ มิฉะนั้นจะเกิดเงาเลือนของวัสดุได้เช่นกัน ดังรูป 2.7 (บริเวณเส้นประบนฟิล์มเป็นเงาเลือน)



รูปที่ 2.7 แสดงเงาเลือนที่ปรากฏบนฟิล์มที่รองรับ เมื่อรังสีที่ฉายไม่ตั้งฉากกับผิววัสดุและแผ่นฟิล์ม และเงาเลือนที่ปรากฏบนฟิล์มเมื่อวางวัสดุไม่ขนานกับฟิล์ม

2.6 ฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiograph)

โดยทั่วไปฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทำด้วยแผ่นพลาสติคใสบาง ๆ (Cellulose Acetate) ฉาบไว้ด้วยสารละลายข้น ๆ (Emulsion) ซึ่งประกอบด้วยกาว (Gelatin) และผลึกเงินโบร์ไมด์ (Silver Bromide มีสูตรเคมีเป็น Ag Br) ฉาบไว้ทั้งสองหน้าของแผ่นพลาสติคหนาประมาณ 0.001 นิ้ว ซึ่งสารละลายที่

ฉาบไว้นี้จะไวต่อรังสีมากเมื่อได้รับรังสีแล้วนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มจะมีสีดำ มีสิ่งที่ต้องศึกษาเกี่ยวกับการใช้ฟิล์มดังนี้

2.6.1 ชนิดของฟิล์ม (Types of Film)

ฟิล์มแบ่งตามขนาดของผลึกเงินโบร์ไมด์ (Film Grain) ได้ 5 ชนิดคือ

2.6.1.1 Extra Fine มีขนาดเม็ดผลึก 1 หน่วย

2.6.1.2 Fine มีขนาดเม็ดผลึก 2 หน่วย

2.6.1.3 Medium Fine (High Speed) มีขนาดเม็ดผลึก 6 หน่วย

2.6.1.4 Medium Fine (Screen Type) มีขนาดเม็ดผลึก 4 หน่วย

2.6.1.5 Coarse (High Speed) มีขนาดเม็ดผลึก 7 และ 10 หน่วย

ขนาดของเม็ดผลึกมีหน่วยวัดเป็นไมครอน (Micron ซึ่ง 1 ไมครอน มีความยาวประมาณ 0.00003937 นิ้ว) โดยทั่วไปฟิล์มที่มีเม็ดผลึกเล็กจะให้รายละเอียดของเงาของวัสดุบนฟิล์มได้ดีกว่า ขนาดของเม็ดผลึกเงินโบรไมด์นี้จะมีขนาดคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขั้นดูดรังสีหรือล้างฟิล์มแต่อย่างใด การเลือกใช้ฟิล์มชนิดใดขึ้นอยู่กับความละเอียดของงานที่จะทำ และขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะทำการทดสอบด้วยว่ามีความหนาบางขนาดใด ประกอบด้วยธาตุชนิดใดบ้างเป็นต้น การเลือกใช้ฟิล์มต่างชนิดกันแม้ว่าจะใช้เทคนิคในการถ่ายภาพและล้างภาพเหมือนกันทุกประการย่อมจะให้ผลต่างกันไปด้วย โดยทั่วไปถ้าวัสดุที่จะทำการตรวจสอบมีความหนาแน่นต่ำหรือประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ ซึ่งมีความสามารถในการกั้นรังสีได้ต่ำ จะใช้ฟิล์มที่มีขนาดเม็ดผลึกขนาดเล็ก (Fine หรือ Medium Fine Grain) เพื่อให้ได้รายละเอียดบนฟิล์มมาก แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับความเข้มของต้นกำเนิดรังสีและเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีด้วย

2.6.2 ความไวของฟิล์ม (Film Speed)

ความไวของฟิล์ม เป็นค่าที่บอกถึงความไว (Sensitivity) ของฟิล์มต่อรังสีที่ได้รับ บอกความหมายเป็น "เร็ว" (Higher Speed หรือ Fast Film) หรือ "ช้า" (Low Speed หรือ Slow Film) ความไวของฟิล์มนั้นโดยทั่วไปขึ้นกับขนาดของเม็ดผลึกของเงินโบรไมด์ในลักษณะที่เม็ดผลึกใหญ่กว่าจะไวต่อรังสีมากกว่า ดังนั้นถ้าใช้ฟิล์มที่ไวต่อรังสีมากนั้นจะใช้เวลาในการฉายรังสีน้อยกว่าหรือใช้ความเข้มของรังสีต่ำกว่าและจะให้รายละเอียดของวัสดุบนฟิล์มเมื่อล้างฟิล์มแล้วไม่ค่อยดีนัก (Low Resolution) ในขณะที่ฟิล์มช้ากว่านั้นเวลาในการฉายรังสีนานกว่า และเนื่องจากเม็ดผลึกเล็กกว่าจึงให้รายละเอียดบนฟิล์มได้ดีกว่า (High Resolution) โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตฟิล์มจะมีตารางบอกคุณสมบัติของการใช้ฟิล์มกับงานที่ทำซึ่งจะบอกขนาดของเม็ดผลึกเงินโบรไมด์ หรือบอกความไวของฟิล์มมาด้วย ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความไวของฟิล์มโกดัก

ชนิดของฟิล์ม	ขนาดเม็ดผลึกเงินโบรไมด์	ความไวของฟิล์ม
AA	Fine	6.8
M	Extra Fine	2.2
R	Extra Fine	0.5

2.7 การคำนวณเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี (Exposure Time)

เวลาที่ใช้ในการฉายรังสีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความแรงของต้นกำเนิดรังสี ชนิดและความหนาของวัสดุ ระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม และชนิดของฟิล์ม วัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาต่างกัน หรือวัสดุต่างชนิดกันแม้จะมีความหนาเท่ากัน เมื่อนำมาถ่ายภาพด้วยรังสี โดยใช้เวลาในการฉายรังสีเท่ากันความเข้มของรังสีเท่ากัน ก็ย่อมมี

ความสามารถในการกั้นหรือดูดกลืนรังสีได้ต่างกัน ดังนั้นในการคำนวณหาเวลาในการฉายรังสีจึงกำหนดเอาเหล็กกล้า (Steel) เป็นมาตรฐานในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี โดยการเทียบหาเสียก่อนว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการกั้นรังสีได้เท่ากับเหล็กกล้าหนาเท่าใด ค่าที่ได้เรียก Steel Equivalent Thickness (S.E.T.) โดยที่

$$\text{S.E.T. ของธาตุใด} = M = \frac{\text{ความหนาแน่นของเหล็กกล้า}}{\text{ความหนาแน่นของธาตุนั้น}}$$

ค่า M ที่ได้มีความหมายว่า ธาตุนั้นหนา M นิ้ว จะกั้นรังสีได้เท่ากับเหล็กกล้าหนา 1 นิ้ว

ตัวอย่างเช่น $\text{S.E.T. ของอลูมิเนียม} = \frac{\text{ความหนาแน่นของเหล็กกล้า}}{\text{ความหนาแน่นของอลูมิเนียม}}$

$$= \frac{492}{168} = 2.93$$

หมายความว่า อลูมิเนียมหนา 2.93 นิ้ว จะมีความสามารถในการกั้นรังสีได้เท่ากับเหล็กหนา 1 นิ้ว หน่วยของความหนาแน่นในสูตรจะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน จึงมีการจัดทำตาราง S.E.T. ของโลหะต่าง ๆ ไว้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า S.E.T. ของโลหะ

ธาตุ	ความหนาแน่น (ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต)	S.E.T.
แมกนีเซียม (Mg)	108	4.54
เบอริเลียม (Be)	115	4.27
อลูมิเนียม (Al)	168	2.93
เหล็กกล้า (Steel)	492	1
ทองแดง (Cu)	557	0.884

การใช้ค่า S.E.T. ในการคำนวณเวลาในการฉายรังสีขึ้นกับชนิดของต้นกำเนิดและความแรงของรังสีดังนี้

2.7.1 การคำนวณค่าเวลาในการฉายรังสีของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

ในการคำนวณจะต้องมีกราฟเฉพาะตัว (Characteristic Curve หรือ Exposure Chart) ที่ plot ระหว่างค่า S.E.T. ของธาตุที่เป็นวัสดุที่จะตรวจสอบ กับความเข้มของรังสีเอกซ์ (Exposure) ในศักย์ไฟฟ้า (Kilovoltage)ต่าง ๆ กัน เช่น ถ้าวัสดุที่จะทดสอบเป็นเหล็กกล้าจะมีกราฟเฉพาะตัวดังรูปที่ 2. จากกราฟเฉพาะตัวของเหล็กกล้าในแนวราบเป็นความหนาของเหล็กกล้าที่เปลี่ยนไป แกนตั้งนั้นเป็นแกนแสดงถึงความเข้มของรังสี (Exposure) เส้นกราฟนั้นเป็นการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ กัน

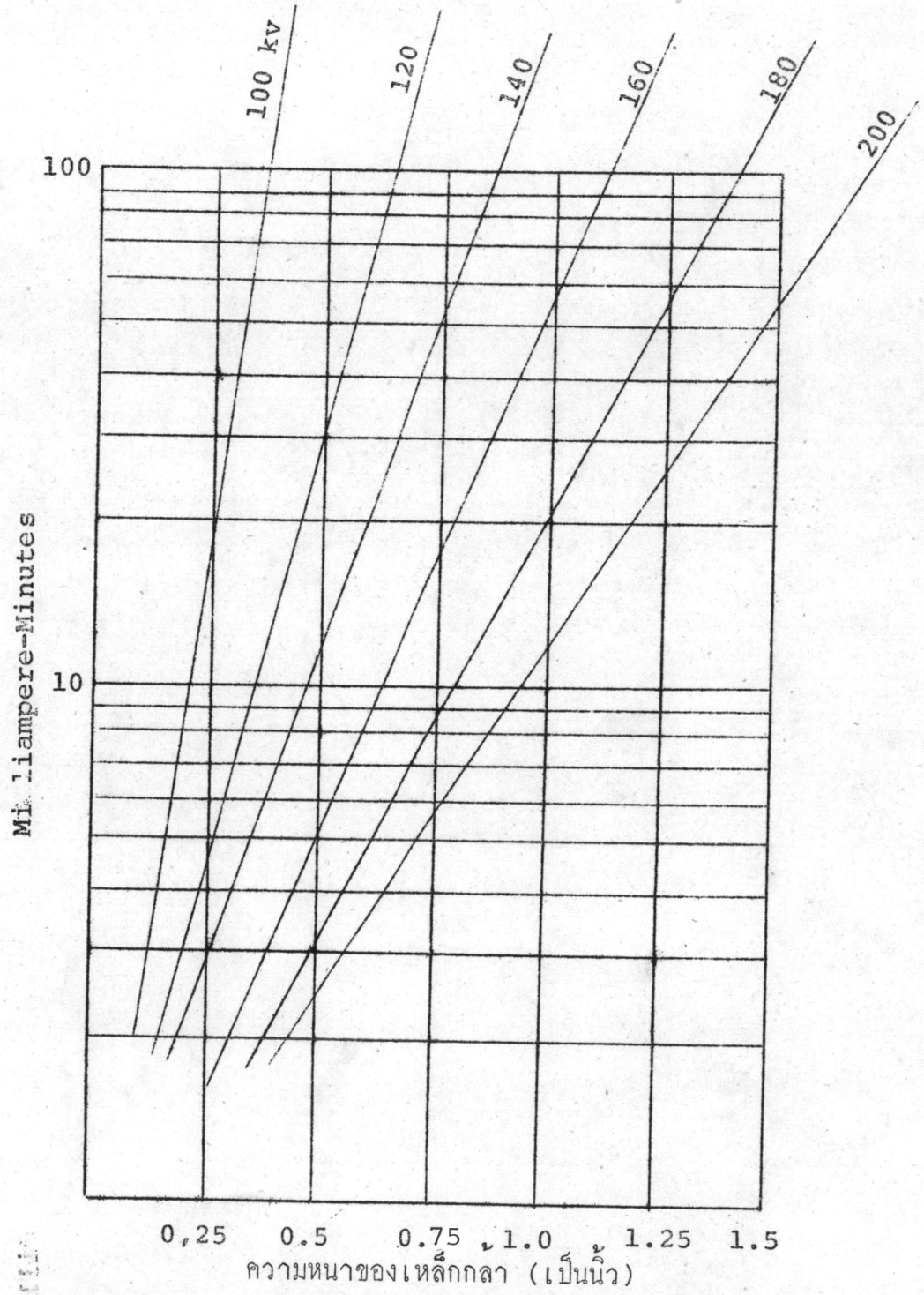
การหาเวลาในการฉายรังสี ต้องทราบ S.E.T. ของวัสดุ (ความหนาของวัสดุ) แล้วพิจารณาว่าจะเลือกใช้ศักย์ไฟฟ้าเท่าใดในความหนานั้น แล้วเลือกกำกระแสที่ใช้ (Milliamperage) ว่าเป็นเท่าใด ก็จะสามารถคำนวณเวลาในการฉายรังสีได้จากสูตร

$$\text{Exposure} = \text{Milliamperage} \times \text{time}$$

$$\text{Exposure Time} = \text{เวลาที่ฉายรังสี เป็นนาที หรือวินาที}$$

$$= \frac{\text{Exposure}}{\text{Milliamperage}} \text{ นาที หรือวินาที}$$

ในการใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์นั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของหลอด (Milliamperage) กับ เวลาที่ใช้ในการฉายรังสี ในลักษณะที่ กระแสของหลอดนั้นเป็นอัตราส่วนผกผันกับเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี กล่าวคือ ถ้าใช้เวลาสั้นจะต้องใช้กระแสสูง ๆ ถ้าใช้เวลายาวจะใช้กระแสต่ำลงมาได้ เนื่องจากกระแสเป็นองค์ประกอบที่ควบคุมความเข้ม (Intensity) ของรังสีเอกซ์ที่ได้ จะได้ความสัมพันธ์ว่า ผลคูณของกระแสและเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพจะคงที่สำหรับการถ่ายภาพให้ได้ผลแบบหนึ่ง ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 2.8 แสดง Characteristic Curve (Exposure Chart) ของเหล็กกล้า (จาก T.O. 33B หน้า 5-30A)

คงที่ และถือว่ากระแสและเวลาที่ฉายรังสีเป็นองค์ประกอบ (Factor)กันเดียวกัน ดังนั้น จะได้สูตรในการคำนวณ เวลาที่ฉายรังสีอันใหม่ถ้ามีการเพิ่มหรือลดกระแส โดยศักย์ไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์คงที่ และผลที่ปรากฏบนฟิล์ม (คือความหนาแน่นหรือ Density ของฟิล์มยังคงเดิม) ดังนี้

เนื่องจาก Mo To = Mn Tn

ดังนั้น $Tn = \frac{Mo\ To}{Mn}$

โดยที่ Mo เป็นค่ากระแสเดิมที่ใช้

Mn เป็นค่ากระแสใหม่

To เป็นเวลาฉายรังสีเดิม

Tn เป็นเวลาฉายรังสีใหม่ โดยใช้กระแส

เมื่อวัสดุที่จะทำการตรวจสอบมีความหนาต่าง ๆ กัน ควรจะเลือกใช้รังสีให้เหมาะสมกับความหนา (S.E.T.) ของวัสดุนั้น เพื่อให้ได้ภาพของวัสดุบนฟิล์มที่ชัดเจน และเหมาะสม ค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมกับระดับความหนาต่าง ๆ จะแสดงด้วยตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงระดับพลังงานของรังสีเอกซ์กับค่า S.E.T.

ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ (kvp)	S.E.T.
150	up to $1\frac{1}{2}$
250	up to 3
400	up to 4
1000	up to 6
2000	up to 8
24000	up to 20

2.7.2 การคำนวณเวลาที่ฉายรังสีจากต้นกำเนิดรังสีแกมม่า

ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีแกมม่าจะใช้ค่า S.E.T. ของวัสดุที่จะทำการตรวจสอบในความหนาของวัสดุนั้น โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$T = \frac{F.A.\ D^2}{S}$$

เมื่อ T = เวลาที่ใช้ในการฉายรังสี (นาที)

F = ค่าคงตัวของฟิล์ม (Film Factor)

A = ค่าคงตัวของตัวกั้นรังสี (Absorber Factor) จากกราฟตามชนิดของธาตุที่ให้รังสีแกมม่า) ดูจากกราฟระหว่างค่า S.E.T. ของวัสดุที่จะตรวจสอบกับรังสีที่ใช้ในความหนานั้น

D = ระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม (เป็นนิ้ว) โดยทั่วไปต้องไม่น้อยกว่า 8 เท่าของความหนาของวัสดุ และต้องยาวกว่าความยาวของเส้นทะแยงมุมของวัสดุที่จะตรวจสอบนั้น

S = ความแรงของต้นกำเนิดรังสี (Source Activity)(เป็น mCi)

ตารางและกราฟที่ใช้ประกอบการคำนวณมีดังนี้

2.7.2.1 ค่าคงตัวของฟิล์ม มีตารางการหาค่า F ตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งผู้ทำการตรวจสอบจะเลือกใช้ฟิล์มชนิดใดมีความหนาแน่นบนฟิล์มเมื่อล้างแล้วเท่าใด ดังตารางที่ 2.6

2.7.2.2 ความแรง (พลังงาน) ของต้นกำเนิดรังสีแกมม่ากับค่า S.E.T. ใช้ในการพิจารณาว่า ถ้าวัสดุที่จะทดสอบมีค่า S.E.T. ในความหนานั้นช่วงใด ควรจะเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีเป็นธาตุใด ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าคงตัวของฟิล์ม (จาก T.O. 33B หน้า 5-32)

ชนิดของฟิล์ม	ค่าคงตัวของฟิล์ม (F)			
	ความหนาแน่น (Density) ของฟิล์ม			
	1.5	2.0	2.5	3.0
High Speed	0.8	1.3	2.1	2.4
Medium Speed	3.6	5.1	6.6	15.0
Slow Speed	15.0	21.0	27.0	34.0

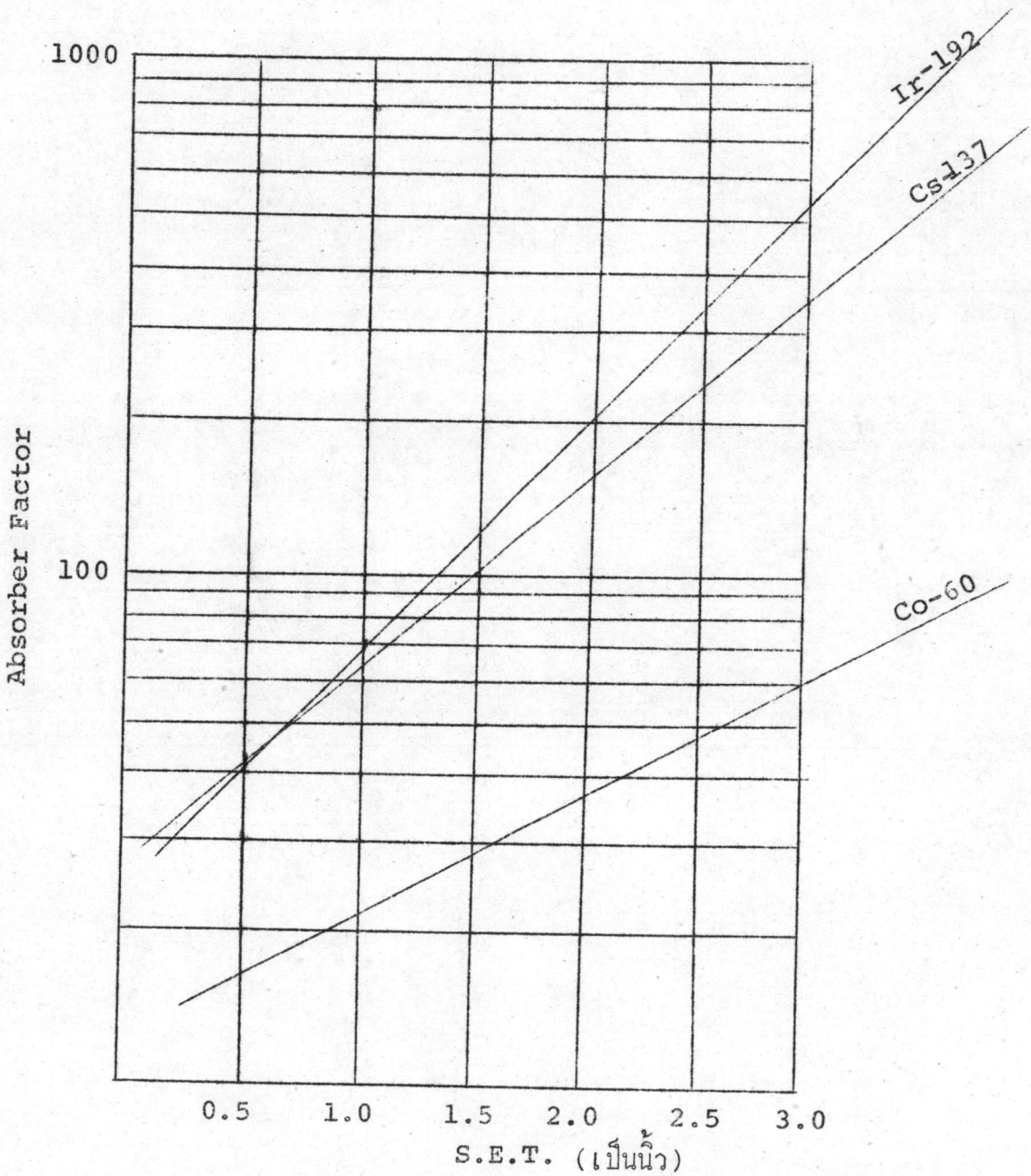
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าS.E.T. (เป็นนิ้ว) กับความแรงของต้นกำเนิดรังสีแกมมาต่าง ๆ กัน (จาก T.O. 33B หน้า 5-33)

ต้นกำเนิดรังสี	ระดับพลังงานเป็น Million electron Volts	S.E.T.	
		ความหนาต่ำสุด	ความหนาสูงสุด
โคบอล (Co-60)	1.17และ 1.33	$1\frac{1}{2}$	7
ซีเซียม (Cs-137)	0.66	5/8	$3\frac{1}{2}$
อีริเดียม(Ir-192)	0.4	3/8	3

สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่วนมากใช้ Ir-192, Cs-137 และ Co-60 ตามค่า S.E.T ของวัสดุที่ทำการตรวจสอบ

2.7.2.3 ค่าคงตัวของตัวกั้นรังสีวัสดุที่จะตรวจสอบ (Absorber Factor) ได้จากกราฟเฉพาะตัว (Characteristic Curve) ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาในระดับพลังงานต่าง ๆ กับค่า S.E.T. ของวัสดุนั้น ดังรูปที่ 2.9

(จาก T.O. 33B หน้า 5-33 A)



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าคงตัวของตัวกั้นรังสีเทียบกับ S.E.T. ของตัวกั้นรังสี โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมม่า

วิธีการหาค่าคงตัวในการกั้นรังสีของวัสดุ (A) นั้นจะต้องใช้ค่า S.E.T. ของวัสดุที่จะตรวจสอบในความหนานั้น เช่น ถ้าวัสดุที่จะทดสอบเป็นอลูมิเนียมหนา 4 นิ้ว ค่า S.E.T. ของอลูมิเนียมเป็น 2.93 นิ้ว ดังนั้นจะได้ค่า S.E.T. ของอลูมิเนียมที่หนา 4 นิ้ว เป็น 4/2.93 = 1.36 นิ้ว ซึ่งจากตารางที่ 2.7 ควรเลือกริเดียม (Ir-192) เป็นต้นกำเนิดรังสี ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 2.9 โดยเลือกดูกราฟของ Ir ที่ค่า S.E.T.ในความหนา 4 นิ้ว ของอลูมิเนียมเป็น 1.36 (ซึ่งเป็นแกนราบ) จะได้ค่าคงตัวในการกั้นรังสี (A) ในแนวดิ่ง

2.8 การล้างฟิล์ม (Processing of the Film)

เมื่อรังสีทะลุผ่านวัสดุที่ทำการตรวจสอบตกลงบนฟิล์ม แต่ละเม็ดผลึกของเงินโบรไมด์จะได้รับรังสีในระดับต่าง ๆ กัน ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงกับผลึกเงินโบรไมด์เหล่านั้น การล้างฟิล์มเป็นวิธีการที่ทำให้ผลึกเงินโบรไมด์ที่ได้รับรังสีเกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยน้ำยาล้างฟิล์ม การล้างฟิล์มแบ่งเป็น ๕ ขั้นตอนดังนี้

2.8.1 ล้างฟิล์มในน้ำยาสร้างภาพ (Developing)

น้ำยาสร้างภาพเรียกว่าDeveloper ประกอบด้วย Metol หรือ Phenodone และ Hydroquinone (ซึ่งบริษัทผู้ผลิตอาจทำเป็นสารละลายหรือผง) ผสมกันในด่าง (Alkali) ซึ่งส่วนมากใช้ Sodium Hydroxide Potassium Hydroxide Sodium Carbonate Potassium Carbonate หรือ Borax ในบางบริษัทจะเติมสารละลาย Sodium Sulphite เพื่อป้องกันมิให้น้ำยาล้างฟิล์มเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับกาซออกซิเจนในอากาศ ทำให้น้ำยาล้างฟิล์มมีอายุการใช้งานได้นานกว่า วิธีการนี้เรียก Preservative and Extending The Life of the Developing Solution เมื่อจุ่มฟิล์มที่ได้รับรังสีลงในน้ำยาล้างฟิล์มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับผลึกเงินโบรไมด์ที่ถูกรังสี โดยน้ำยาจะดึงโบรไมด์ออกมาจากผลึกเหลือแต่ผลึกสีดำของโลหะเงิน (Metallic Silver) ดังนั้นส่วนใดของฟิล์มได้รับรังสีมากก็จะดำมากกว่าส่วนที่ได้รับรังสีน้อยกว่า ถ้าบริเวณใดของฟิล์มไม่ได้รับรังสีเลยก็จะไม่

เกิดความเปลี่ยนแปลงใด ๆ กับผลึกเงินโบรไมด์บนแผ่นฟิล์มเลย ในการล้างฟิล์มจะต้องควบคุมทั้งเวลาที่ล้างฟิล์ม (จุ่มฟิล์มลงใน Developer) และอุณหภูมิของน้ำยาล้างฟิล์ม โดยจะต้องใช้เวลาและอุณหภูมิของน้ำยาให้เป็นไปตามชนิดของน้ำยาตามที่บริษัทผู้ผลิตบ่งไว้ ซึ่งส่วนมากแล้วจะใช้เวลาใกล้เคียงกันถ้าน้ำยามีอุณหภูมิเท่ากัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างเวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์มที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน (68 ^{o}F)(จาก T.O.33B หน้า 5-36)

ชนิดของน้ำยา	เวลาที่ใช้ (นาที)	ชนิดของน้ำยา	เวลาที่ใช้ (นาที)
General Electric Supermix	5	Standard	7
		Ansco Liquidol	5
Kodak Liquid	5	Dupont Concentrate	5

ถ้าอุณหภูมิของน้ำยาเปลี่ยนไป เวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์มจะต้องเปลี่ยนตามไปด้วย ในลักษณะที่ถ้าอุณหภูมิของน้ำยาสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์มจะต้องลดลง ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตน้ำยาจะกำหนดเวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์มที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.9

ดังนั้นในการล้างฟิล์มจะต้องวัดอุณหภูมิของน้ำยา และตั้งเวลาในการล้างฟิล์มตามอุณหภูมิของน้ำยาเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าใช้เวลาในการล้างฟิล์มน้อยเกินไป ปฏิกิริยาดึงโบรไมด์ออกจากผลึกที่ถูกรังสีจะเกิดได้น้อยทำให้ความดำของฟิล์มน้อยเกินไปในลักษณะที่ความแตกต่างระหว่างบริเวณที่ได้รับรังสีมาก กับบริเวณที่ได้รับรังสีน้อยมีน้อยมาก หรือถ้าใช้เวลานานเกินไป ปฏิกิริยาดึงโบรไมด์จากผลึกที่ได้รับรังสีก็จะมีมากเกินไป จนมองไม่เห็นความแตกต่างระหว่างบริเวณที่ได้รับรังสีมากกับรังสีน้อยในลักษณะนี้ ฟิล์มจะดำมากเกินไป ทำให้มองเห็นลายละเอียดบนฟิล์มน้อยมาก ความชัดเจนก็จะลดลงไปด้วย นอกจากนี้น้ำยาล้างฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดตะกอนของเงินสีดำ(Deposite Silver) บนฟิล์มส่วนที่ไม่ได้ถูกรังสีได้ภายหลังช่วงเวลาหนึ่ง (กล่าวคือภายหลังช่วงเวลาที่กำหนดให้ล้างฟิล์ม)

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์ม (ของโกดัก) เมื่ออุณหภูมิของน้ำยาเปลี่ยนไป (Developing Time Versus Temperature) (จากT.O.33B หน้า 5-35)

อุณหภูมิของน้ำยา (^{o}F)	เวลาที่ล้างฟิล์มในน้ำยา Developer (นาที)	
	เวลาที่ใช้ตามปกติ	เวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการล้างฟิล์มครั้งหลัง ๆ
80	3 1/4	6 1/4
76	3 3/4	6 3/4
72	4	7
70	4 1/2	7 1/2
68	5	8
65	5 1/2	8 1/2
63	6	9

ตามอุณหภูมิของน้ำยา) ซึ่งจะทำให้เกิดเงาจาง ๆ ขึ้นเพิ่มไปจากเงาของวัสดุบนฟิล์ม เรียกว่า Fog ซึ่งจะทำให้ความชัดเจนของฟิล์มลดน้อยลงไปอีกในลักษณะที่ความคมของภาพ (Sharpness) จะลดลง ดังนั้นในน้ำยาล้างฟิล์มบางบริษัทจะเติมสารละลายโบรมีน (Br Solution) ลงในน้ำยาล้างฟิล์มด้วย เพื่อป้องกันมิให้เกิด Fog แต่จะต้องเติมด้วยปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโบรมีนสามารถทำให้ปฏิกิริยาของน้ำยาที่มีต่อเม็ดผลึกเงินโบรไมด์ที่ถูกรังสีช้าลงไปได้ น้ำยาล้างฟิล์มเมื่อผสมแล้วจะมีอายุการใช้งานไม่เท่ากันแล้วแต่บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดไว้ ในการล้างฟิล์มครั้งต่อ ๆ ไปจะต้องใช้เวลายาวกว่าครั้งแรกเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีในการเปลี่ยนเงินโบรไมด์เป็น Metallic Silver จะช้าลงเนื่องจากมีโบรไมด์ละลายอยู่ในน้ำยาเป็นจำนวนมากขึ้น ดังนั้นตารางที่ 2.9 จะบอกเวลามากที่สุดที่ใช้ล้างฟิล์มในครั้งหลัง ๆ ภายในอายุการใช้งานของน้ำยาด้วย โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตน้ำยาล้างฟิล์มจะมีตารางเฉพาะที่แสดงค่าความดำของฟิล์ม

(Film Density) ในเวลาและอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดไว้ตามชนิดของฟิล์ม และความเข้มของรังสี ดังรูปที่ 2.10

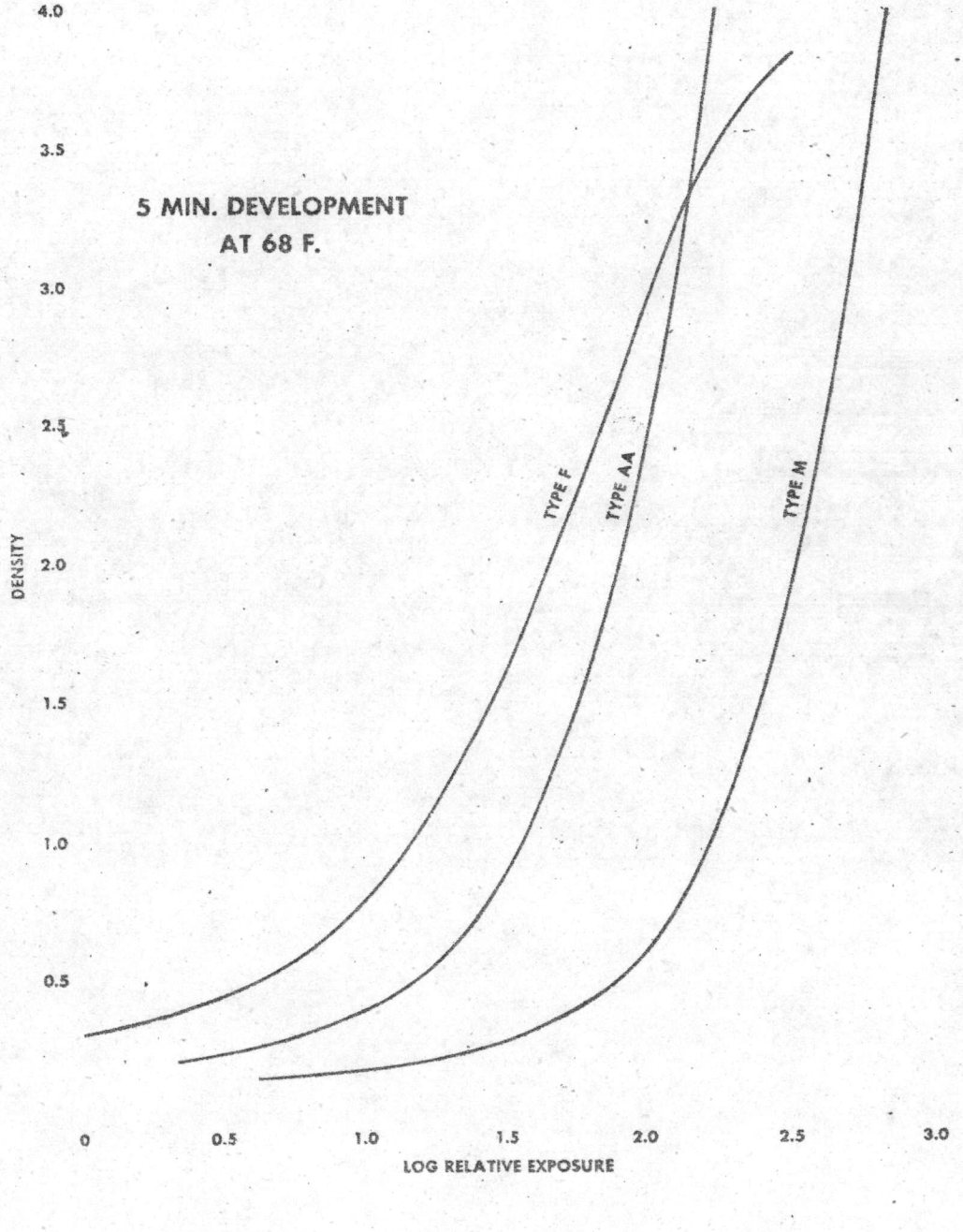
2.8.2 หยุดปฏิกิริยาของน้ำยาล้างฟิล์ม (Short - Stop Bath)

เมื่อจุ่มฟิล์มลงในน้ำยาล้างฟิล์มครบเวลาตามอุณหภูมิของน้ำยาล้างฟิล์มแล้ว จำเป็นจะต้องหยุดปฏิกิริยาของน้ำยาล้างฟิล์มเสียในเวลาสั้นที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดความเปลี่ยนแปลงบนแผ่นฟิล์มต่อไปโดยรีบดึงฟิล์มขึ้นจากอ่างน้ำยาล้างฟิล์ม แล้วรีบจุ่มลงในอ่างสารละลายหยุดปฏิกิริยา (Short-Stop Solution) ซึ่งประกอบด้วยกรดน้ำส้ม (Acetic Acid) หรือกรดกำมะถันอ่อน (Sulphuric Acid) ที่มีอุณหภูมิ 65 - 70 $^{o}_{F}$ ใช้เวลาประมาณ 30-60 วินาที ในอ่าง (เรียกว่า Stop Bath) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงนี้คือน้ำยาหยุดปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดจะทำให้ความเป็นด่างในน้ำยาล้างฟิล์มนั้นหมดไป (Neutralization) ซึ่งจะป้องกันมิให้เกิด Fog ถ้าไม่ใช้น้ำยาหยุดปฏิกิริยานี้อาจใช้วิธีล้างฟิล์มในน้ำที่ไหลผ่านอุณหภูมิของน้ำประมาณ 65^{o}F เป็นเวลาประมาณ 3 นาทีก็ได้

เมื่อผ่านมาถึงขั้นนี้แล้วบนฟิล์มจะมีผลึกเงินสีดำ ซึ่งมีความหนาแน่นของผลึกในแต่ละพื้นที่บนแผ่นฟิล์มไม่เท่ากันในลักษณะที่ส่วนใดถูกรังสีมากกว่าก็จะมีความหนาแน่นของผลึกมากกว่าทำให้มีสีดำกว่าบริเวณที่ได้รับรังสีน้อย และยังคงมีผลึกเงินโบรไมด์ที่บริเวณที่บริเวณที่ไม่ได้รับรังสีตกค้างอยู่บนฟิล์ม

2.8.3 ทำให้ผลึกสีดำของโลหะเงินบนฟิล์มแข็งตัวและอยู่คงที่ (Fixation)

สารละลายหรือน้ำยาที่ใช้เรียกว่า Fixer ประกอบด้วยสารละลาย Hypo (Sodium Thiosulphate) หรือจะใช้สารละลาย Aluminum Thiosulphate ก็ได้ Fixer จะทำหน้าที่ล้างผลึกเงินโบรไมด์ที่ไม่ได้ถูกรังสีออกในขณะเดียวกันจะทำให้ emulsion ซึ่งมีผลึกสีดำของโลหะเงินแข็งตัว โดยทั่วไปเมื่อใช้น้ำหนักเท่ากัน Aluminium Thiosulphate จะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าน้ำยา Hypo ประมาณ 3 เท่า ดังนั้นถ้าต้องการให้ผลึกเงินแข็งตัวเร็ว และล้างผลึกเงิน



Characteristic curves of Kodak Industrial X-ray Film, Types F, AA, and M. Developed 5 minutes at 68 F in Kodak Rapid X-ray Developer or Kodak Liquid X-ray Developer and Replenisher.

รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่า Film Density ของฟิล์มโกดัคชนิดต่าง ๆ (จาก T.O.33B หน้า 5-18

โบรไมด์ออกโดยเร็วแล้วจะใช้น้ำยา Aluminium Thio sulphate ซึ่งจัดเป็น High-Speed Fixing Formula ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเติม Alum หรือ Aluminum หรือ Chloride ลงไปด้วยเพื่อให้ผลึกบนฟิล์มแข็งตัวเร็วขึ้น (สารที่เติมเข้าไปเรียกว่า Hardening Agent) ในขณะที่ Hypo เป็น Regular-Speed Formula ฟิล์มที่ผ่านน้ำยา Fixer แล้ว ผลึกที่เกาะบนแผ่นฟิล์มจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงได้ถึง 85 ^{o}C (175^{o}F) กล่าวได้ง่าย ๆ ก็คือเป็นขั้นที่ทำให้ "ภาพ" บนแผ่นฟิล์มคงตัวอยู่นั่นเอง เวลาที่ใช้ในช่วงนี้ประมาณ 8 นาที โดยที่น้ำยาที่ใช้มีอุณหภูมิประมาณ 65-70^{o}F และในทำนองเดียวกันกับน้ำยาล้างฟิล์ม น้ำยา Fixer จะมีอายุการใช้งานช่วงหนึ่งตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด และเมื่อใช้ไปแล้วในการ Fix ฟิล์มชุดหลัง ๆ จะต้องใช้เวลานานขึ้นอีกเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะความสามารถในการทำปฏิกิริยาของน้ำยาต่อผลึกบนฟิล์มจะลดลง เนื่องจากมีโบรไมด์ออกมาอยู่ในน้ำยามากขึ้น

เมื่อผ่านขั้นนี้ไปแล้ว บนแผ่นฟิล์มจะเหลือแต่ผลึกสีดำของโลหะเงิน

2.8.4 ล้างน้ำยา Fixer ออกจากฟิล์ม (Washing)

ในขั้นนี้จะนำฟิล์มไปล้างน้ำยา Fixer ที่ยังคงติดค้างอยู่บนฟิล์มออกโดยผ่านน้ำที่ไหล ซึ่งมีอุณหภูมิ 65-70^{o}C ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที

ถ้าเป็นงานที่ต้องการรายละเอียดบนฟิล์มสูง เขาจะแบ่งเวลาในการ Fix ภาพเป็น 2 ช่วง ซึ่งจะต้องทำการ Washing ภายหลังการ Fix ทั้งสองครั้ง ส่วนมากเวลาที่ใช้ในช่วงการล้างน้ำยา Fixer จะใช้เวลามากกว่าการทำ Fixing 3 เท่าขึ้นไป เพื่อให้สิ่งต่าง ๆ ที่ติดค้างอยู่บนแผ่นฟิล์มที่ไม่ใช่ metallic silver หลุดออกไปให้มากที่สุด

2.8.5 อบฟิล์มหรือตากฟิล์มให้แห้ง (Drying)

เป็นการทำให้น้ำบนแผ่นฟิล์มระเหยไป โดยนำฟิล์มเข้าตู้อบ (Dry Rack) ก่อนนำเข้าตู้อบอาจนำฟิล์มไปจุ่มในสารละลายของน้ำ และสารเคมีที่ช่วยให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้น (Wetting Agent) เช่น Aerosol Solution เพื่อช่วยให้น้ำระเหยไปได้

เร็วขึ้น ซึ่งเป็นการป้องกันมิให้เกิดรอยด่าง (Formation Water Marks หรือ Streaking) บนแผ่นฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสะอาด และอ่านความหมายบนฟิล์มได้สะดวกกว่า

2.9 การอ่านผลจากฟิล์ม

โดยทั่วไปการอ่านฟิล์มนั้นจะนำฟิล์มไปติด (Clip) กับจอที่สว่าง (Illuminator) เพื่อให้มองเห็นชัดเจน เราเรียกภาพของวัสดุที่ปรากฏบนฟิล์มว่า Radiographic Image ในการอ่านฟิล์ม ถ้าในฟิล์มเห็นรายละเอียดของเนื้อในของวัสดุที่ตรวจสอบได้มาก เราเรียกว่าฟิล์มนั้นมี Good Definition ซึ่งเราสามารถพิจารณาผลที่ได้ 2 ประการ คือ

2.9.1 ความหนาแน่นของผลึกเงินบนแผ่นฟิล์ม (Film Density)

ความหนาแน่นของฟิล์ม ก็คือความดำของฟิล์มเมื่อล้างฟิล์มแล้วนั่นเอง ดังนั้น บริเวณใดดำมากก็เรียกว่ามีความหนาแน่น (ของผลึกเงิน) สูง ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัด เรียกว่า Densitometer โดยทั่วไปฟิล์มควรมีความหนาแน่นในช่วง 1.5 ถึง2.5 จึงจะอ่านผลได้ง่าย ถ้าความหนาน้อยกว่า 0.5 ฟิล์มจะดำน้อยเกินไปจะเห็นความหมายยาก ถ้าความหนาแน่นมากกว่า 3 ฟิล์มจะดำมากเกินไปก็จะอ่านความหมายยากเช่นเดียวกัน

2.9.2 ความชัดเจนของภาพวัสดุบนฟิล์ม (Film Contrast)

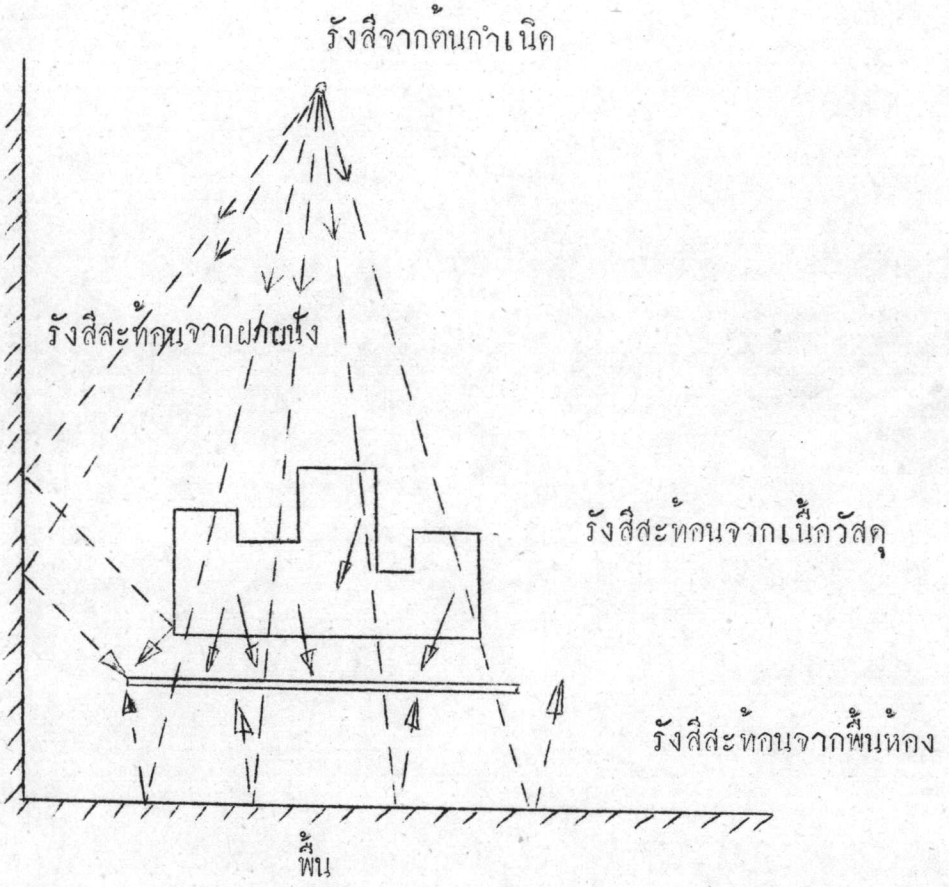
ความชัดเจนของฟิล์ม คือ ความแตกต่างของความดำของฟิล์มในลักษณะที่ความชัดเจนของฟิล์มจะสูงถ้าความแตกต่างของความหนาแน่นบนแผ่นฟิล์มนั้นมีมากในเนื้อที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการถ่ายภาพวัสดุที่มีความหนาต่างกันมาก การที่จะได้ภาพบนฟิล์มชัดเจนจะต้องใช้ฟิล์มสองแผ่นที่มีความไวต่อรังสีต่างกันในลักษณะที่ส่วนที่หนาจะถูกบันทึก (Record) ลงบนฟิล์มที่มีความไวสูงกว่า และส่วนที่บางกว่าจะถูกบันทึกลงบนฟิล์มที่ช้ากว่า ซึ่งจะทำให้มองเห็นรายละเอียดในแต่ละส่วนชัดเจนกว่าการใช้ฟิล์มชนิดใดชนิดหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว

2.10 ความเกี่ยวข้องระหว่างองค์ประกอบในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กับผลที่ปรากฏบนฟิล์ม

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ประกอบด้วย กระแส เวลาที่ฉายรังสี ระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม และค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่งจะมีผลให้ต้องเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เหลือตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ปรากฏบนฟิล์มเมื่อล้างฟิล์มแล้วชัดเจนที่สุด ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.10.1 ผลที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าศักย์ไฟฟ้า

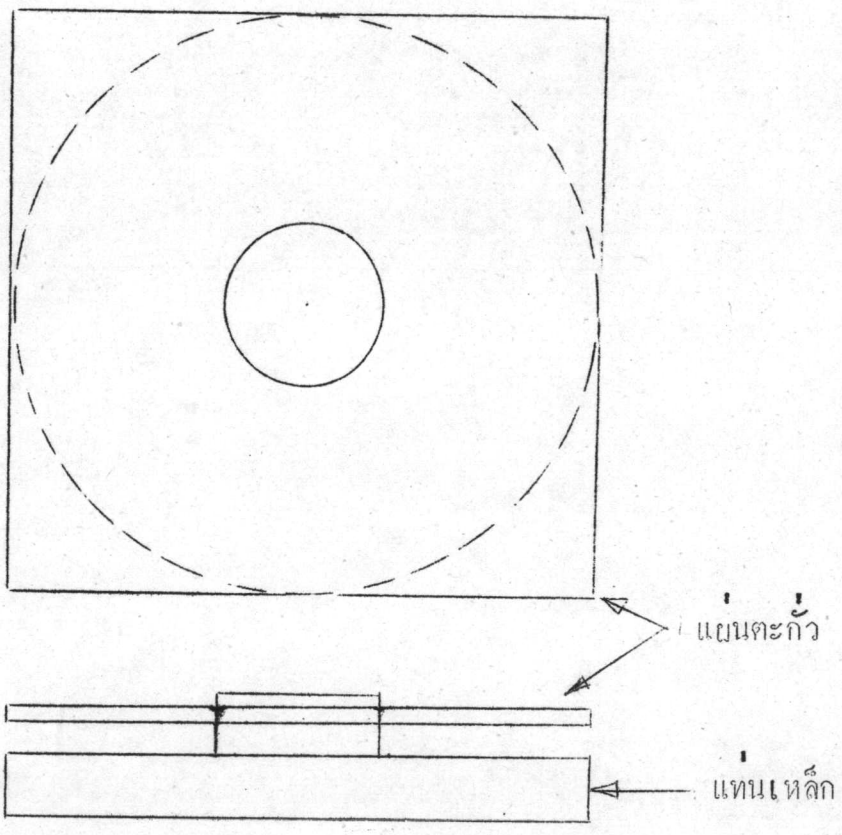
ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นตัวควบคุมอัตราเร็วของอีเลคตรอนที่วิ่งมายังเป้า ถ้าเราให้กระแสของหลอดและเวลาที่ฉายรังสีคงที่ การเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ได้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น และอำนาจในการทะลุทะลวงต่าง ๆ ไป ในลักษณะที่ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นจะได้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นสั้น ๆ และอำนาจในการทะลุทะลวงสูง โดยทั่วไปในการถ่ายภาพด้วยรังสี การใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ จะทำให้ความชัดเจนของภาพของวัสดุบนฟิล์ม (Film Contrast) ลดลง ในขณะที่การลดศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ความชัดเจนของภาพดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวัสดุที่ทำการตรวจสอบมีความหนาแน่นต่ำ หรือมีเลขอะตอมต่ำ หรือมีความหนาไม่มากนักควรจะใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำ ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ (ตั้งแต่ 120 kvp ขึ้นไป) จะมีผลทำให้เกิดรังสีสะท้อน (Scatter Radiation) ของรังสีต้นกำเนิดกับวัสดุหรือกับผนังห้องที่ทำการถ่ายภาพได้ รังสีสะท้อนนี้เกิดขึ้นทุกทิศทุกทางดังรูป 2.11 มีความแรงของรังสีต่ำกว่ารังสีต้นกำเนิด ทำให้ปริมาณรังสีตกลงบนฟิล์มเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงมีผลทำให้ความชัดเจนของวัสดุบนฟิล์มเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวัสดุที่ทำการทดสอบนั้นมีความหนาแน่นต่ำ หรือมีเลขอะตอมต่ำ การเกิดรังสีสะท้อนยังมีมาก ซึ่งมีผลทำให้ความชัดเจนของวัสดุที่ทดสอบนั้นเอง (Object Contrast) ก็ลดลงไปด้วย ซึ่งจะทำให้ภาพที่ปรากฏบนฟิล์มลดลงไปด้วย



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงการเกิดรังสีสะท้อนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ

ดังนั้นถ้าใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นก็มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงขึ้น และยังมีรังสีสะท้อนเกิดขึ้น ทำให้ปริมาณรังสีที่ผ่านวัสดุตกลงบนฟิล์มมีมากขึ้น ถ้าวัสดุนั้นประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ ความหนาแน่นต่ำ หรือไม่หนานักรังสีที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ๆ ก็จะผ่านทะลุวัสดุไปได้โดยง่าย ทำให้เห็นรายละเอียดของเนื้อในวัสดุบนฟิล์มน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณรังสีที่ผ่านวัสดุมายังฟิล์มมีปริมาณใกล้เคียงกัน ทำให้ความแตกต่างของความหนาแน่นของผลึกเงินสีดำในบริเวณต่าง ๆ บนแผ่นฟิล์มมีน้อย เมื่อล้างฟิล์มแล้วภาพของวัสดุบนฟิล์มจึงไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นเพื่อขจัดรังสีสะท้อนจึงนิยมใช้ฉากกั้นรังสี (Screen)

ซึ่งจะใช้ธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ เช่น ตะกั่วซึ่งสามารถกั้นรังสีได้ดีและจะมีรังสีสะท้อนออกมาจากเนื้อในได้น้อย ทั้งยังสามารถดัดแปลงรูปร่างได้เนื่องจากเนื้อตะกั่วอ่อน ในการใช้ตะกั่วเป็นฉากบังรังสีทำได้โดยการนำแผ่นตะกั่ว หรือโลหะผสมของตะกั่ว (Lead Alloy) มาทาบกับแผ่นพลาสติคทั้งสองด้านปิดกั้นรังสีด้านข้างตลอดเรียกว่า Blocking Technique ดังรูป 2.12 ฉากตะกั่วเมื่อได้รับรังสีจะเกิดปฏิกิริยากล่าวคือตะกั่วจะให้อิเลคตรอน เรียกว่า Photo-electron ซึ่งถูกดูดกลืนได้ง่ายโดยน้ำยาเคลือบแผ่นฟิล์ม ทำให้ฟิล์มได้รับรังสีมากขึ้น ดังนั้นจะใช้เวลาในการฉายรังสีเพียงครึ่งหนึ่ง หรือหนึ่งในสามของเวลาที่ไม่ได้ใช้ฉากกำบังรังสีโดยให้ความชัดเจนบนฟิล์มใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเพิ่มหรือลดศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อการใช้เวลาในการฉายรังสีดังตาราง 2.10



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมแสดง Blocking Technique

ตารางที่2.10 แสดงเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีเมื่อมีการเพิ่ม หรือลดศักย์ไฟฟ้า (จาก The Fundamentals of Radiography หน้า 39)

เวลาในการฉายรังสีที่ลดลง	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	
	ใช้ฉากบังรังสี	ไม่ใช้ฉากบังรังสี
25 %	7 %	15 %
50 %	20 %	40 %
75 %	50 %	100 %
เวลาในการฉายรังสีที่เพิ่มขึ้น	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดลง	
	ใช้ฉากบังรังสี	ไม่ใช้ฉากบังรังสี
25 %	5 %	10 %
50 %	10 %	18 %
75 %	13 %	25 %
100 %	16 %	30 %

ในทางการแพทย์นิยมใช้ ฉากบังรังสีอีกชนิดหนึ่ง เป็นฉากที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง เรียก Intensifying Screen หรือFluorescent Screen ทำโดยใช้แผ่นพลาสติคบาง ๆ ฉาบด้วยสารเรืองแสง เช่น Calcium Tungstate โดยที่

$$\text{สัมประสิทธิ์ในการเรืองแสง (Intensification Factor)} = \frac{\text{ความเข้มของรังสีเมื่อใช้ฉากบังรังสี}}{\text{ความเข้มของรังสีเมื่อไม่ใช้ฉากบังรังสี}}$$

จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์นี้จะสูงขึ้น เมื่อความเข้มของรังสีมากขึ้น ดังนั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์นี้สูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรังสีเอกซ์พลังงานสูง ๆ มากระทบฉากจะทำให้ผลึกของสารเรืองแสงให้แสงเรืองออกมา ซึ่งฟิล์มจะรับแสงได้ดีเช่นกัน ดังนั้นฟิล์มจะได้รับรังสีที่ผ่านจากวัสดุเพิ่มขึ้น ถ้าฉาบสารเรืองแสงหนามาก แสงที่เกิดขึ้นจาก

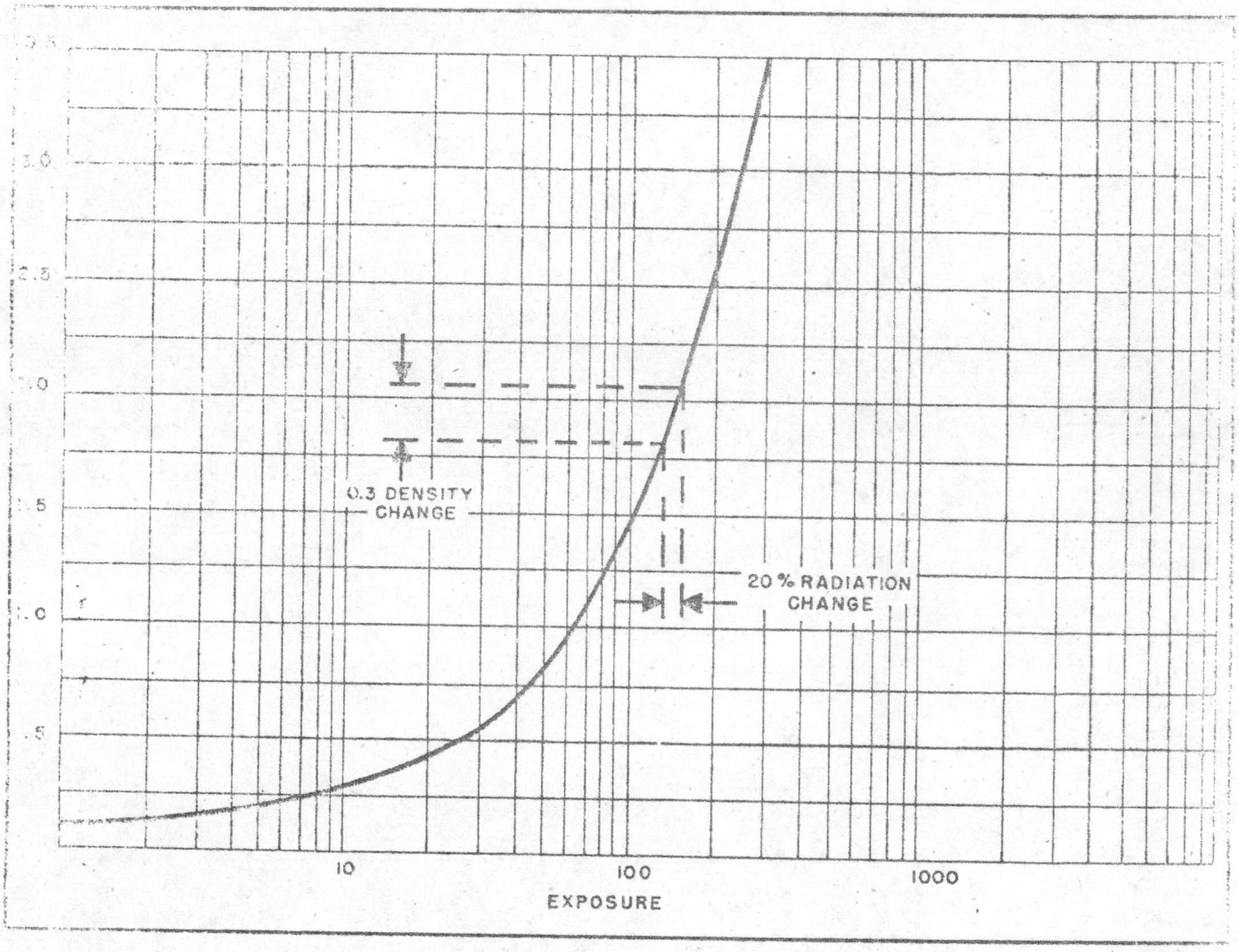
การเรืองแสงของอะตอมของสารที่ฉาบก็จะมีมากขึ้นช่วยเสริมให้เสมือนกับได้รับความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้นเวลาที่ฉายรังสีก็จะต้องลดไปจากเดิม ฉากบังรังสีประเภทนี้สัมประสิทธิ์ในการเรืองแสงขึ้นกับขนาดของผลึกของสารเรืองแสงที่ฉาบบนแผ่นพลาสติค ถ้าผลึกใหญ่ก็จะได้ความเข้มของแสง (เมื่อถูกรังสีเอกซ์) จากฉากมากขึ้น เวลาที่ฉายรังสีก็จะลดลงไปอีก จึงแบ่งความสามารถในการช่วยเสริมรังสีตามขนาดของเม็ดผลึกเป็น slow speed, medium speed และ high speed ซึ่งฉากที่มี slow speed จะทำให้ความคมของภาพวัสดุบนฟิล์มดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากถ้าแสงที่เกิดขึ้นมากเกินไป (ความเข้มของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากใช้กระแสสูงขึ้น) อาจทำให้เกิดเงาจาง ๆ บนฟิล์ม เนื่องจากแสงเรืองนั้นได้ทำให้ความคมของภาพลดลงไปบ้าง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังดีกว่าที่จะไม่ใช้ฉากบังรังสีเลย การใช้ฉายบังรังสีเรืองแสงนี้จะช่วยลดเวลาในการฉายรังสีได้ตามตารางที่ 2.10 โดยที่ฉากกั้นรังสีนั้นเป็น medium speed

2.10.2 ผลที่เกิดขึ้นจากการแปรค่ากระแสของหลอดเอกซ์เรย์ (แปรค่า Exposure)

เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าและระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงฟิล์มคงที่ การเพิ่มกระแสของหลอดนั้นจะทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น แต่อำนาจในการทะลุทะลวงคงเดิม ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นจากไส้หลอดมีจำนวนมากขึ้นก็จะวิ่งไปที่เป้าได้มากขึ้น ความเข้มของรังสีก็จะเพิ่มขึ้น การแบ่งค่ากระแสมีผลทำให้ความดำของฟิล์มเปลี่ยนไป แต่ความชัดเจนไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากความดำของฟิล์ม หรือ Film Density นั้นมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$D = \log \frac{L_i}{L_T} = \frac{\text{ความเข้มของรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี}}{\text{ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกลงบนฟิล์ม}}$$

ดังนั้นการเปลี่ยนกระแสจะทำให้ความดำของภาพบนฟิล์มเปลี่ยนไป ในลักษณะที่กระแสสูงภาพจะดำมากกว่ากระแสต่ำ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระแสของหลอดนั้นเป็นตัวควบคุมความสว่าง (Brightness) ของภาพวัสดุบนฟิล์ม ดังรูปที่ 2.13 เป็นกราฟแสดงว่า



รูปที่ 2.13 **กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของฟิล์มเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแส หรือ** Exposure (จาก T.O.33B หน้า 5-17)

เมื่อค่า Exposure เปลี่ยนแปลงไป (กระแสของหลอดเปลี่ยนไป) ความดำ(Density) ของฟิล์มจะเปลี่ยนไปด้วย

การเปลี่ยนกระแสของหลอดเอกซ์เรย์มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี ในลักษณะที่ความแรงของกระแสที่ใช้เป็นอัตราส่วนผกผันกับเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี กล่าวคือถ้าใช้เวลาในการฉายรังสีสั้น ๆ จะต้องใช้กระแสสูง ๆ เพื่อให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ดังสูตร

$$\frac{Mo}{Mn} = \frac{Tn}{To} \quad \text{หรือ} \quad Mo : Mn = Tn : To$$

Mo = กระแสที่ใช้เดิม

Mn = กระแสที่จะใช้ใหม่

To = เวลาที่ฉายรังสีเดิม

Tn = เวลาที่จะต้องใช้ใหม่ในระดับกระแสที่เปลี่ยนไป

สูตรนี้ใช้สำหรับการเปลี่ยนเวลาที่ฉายรังสี หรือเปลี่ยนกระแสของหลอดเพื่อให้ได้ผลแบบเดิม หรือใกล้เคียงผลเดิมที่ (ใช้กระแส Mo และเวลา To) มากที่สุด

ดังนั้นถ้าเปลี่ยนเวลาในการฉายรังสีเป็น Tn (นาที) จะต้องใช้กระแสใหม่

โดยที่ $Mn = \frac{Mo\ To}{Tn}$ (มิลลิแอมแปร์)

2.10.3 การเปลี่ยนระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม

ถ้าให้ศักย์ไฟฟ้าและกระแสของหลอดเอกซ์เรย์คงที่ การเปลี่ยนระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์มจะทำให้ต้องใช้เวลาในการฉายรังสีนานขึ้น เพื่อจะให้ได้ผลบนฟิล์มเป็นแบบเดิม ดังสูตร

$$\frac{Tn}{To} = \frac{Dn^2}{D_o^2} \quad \text{หรือ} \quad Tn = \frac{To\ Dn^2}{D_o^2}$$

เมื่อ To = เวลาที่ฉายรังสีเดิม

Do = ระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์มเดิม

Tn = เวลาที่ฉายรังสีในระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์มใหม่

Dn = ระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์มระยะใหม่

จากสูตรเนื่องจากเงาของวัสดุที่ปรากฏบนฟิล์มที่ระยะต่าง ๆ กันเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นจากเดิม 1 เท่า เวลาที่ฉายรังสีจะต้องเพิ่มเป็น 4 เท่า จึงจะได้ผลที่ปรากฏบนฟิล์มเป็นแบบเดิม (Film Density คงเดิม)