หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

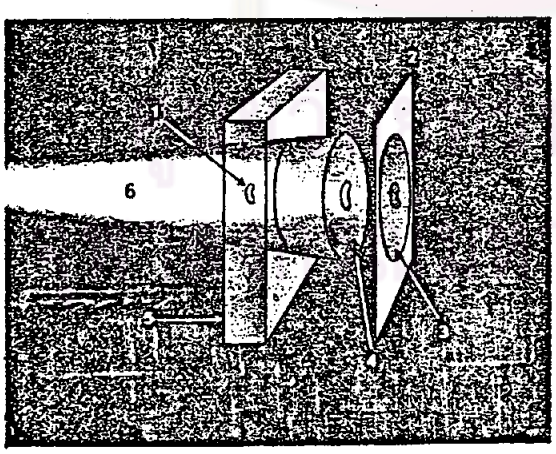
# บทที่ 2

## การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพด้วยรังสี (radiography) หมายถึงวิธีการที่จะทำให้เกิดภาพบนแผ่นฟิล์มโดยใช้รังสี ซึ่งได้แก่รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีนิวตรอน เป็นต้น การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นการถ่ายภาพเนื้อในของชิ้นงาน อาศัยคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสูงของรังสีประกอบกับผลของการดูดกลืนพลังงานในชิ้นงานที่มีความหนาแน่น และส่วนประกอบต่างกัน องค์ประกอบหลักของการถ่ายภาพด้วยรังสีประกอบด้วย

1. ต้นกำเนิดรังสี (radiation source)
2. ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ (object)
3. แผ่นบันทึกภาพ (film or recoder)

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Radiography) จะประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ ชิ้นงานโลหะ และแผ่นฟิล์มบันทึกภาพ ซึ่งแสดงการจัดวางการถ่ายภาพ ดังในรูป 2.1




1. รอยบกพร่อง (defect)
2. ฟิล์ม (film)
3. ภาพที่ปรากฏบนฟิล์ม (film image)
4. ภาพรังสี (radiation image)
5. วัตถุ (object)
6. ลำรังสีเอกซ์ (x-ray beam)

รูปที่ 2.1[3] แสดงลักษณะการจัดอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานที่มีเนื้อสม่ำเสมอ แต่เกิดสิ่งบกพร่องลักษณะเป็นโพรงภายใน จะทำให้ผลการดูดกลืนพลังงานของรังสีเอกซ์ ณ บริเวณนั้นต่างกัน ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านบริเวณโพรงจะสูงกว่า ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบันทึกภาพ ทำให้ผลของความเข้มจากการบันทึกภาพต่างกัน หลังจากการนำฟิล์มผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม เพื่อทำให้เกิดภาพ ภาพที่ปรากฏบนฟิล์มจะแสดงถึงรอยบกพร่องที่อยู่ในเนื้อชิ้นงาน มีลักษณะเป็นเงาดำเลียนแบบรอยบกพร่องนั้น ในทางปฏิบัติการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์นั้นภาพที่เกิดขึ้นจะแตกต่างหรือคลาดเคลื่อนทั้งขนาดและรูปร่างมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับขนาดของจุดโฟกัส ทั้งนี้เนื่องจากภาพถ่ายที่บันทึกได้นั้นเป็นภาพ 2 มิติ เท่านั้น

## 2.1 ชนิดของรังสีเอกซ์[1]

รังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเกิด ดังนี้

### 2.1.1 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray)

เป็นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการที่อิเลกตรอนในวงโคจรชั้นในได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอก หลุดไปจากวงจรโคจรของอะตอม อิเลกตรอนในชั้นถัดไป ซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่าเข้าไปแทนที่ จะปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ ซึ่งมีพลังงานเฉพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิด คือมีพลังงานอยู่ในช่วง 0-140 กิโลอิเลกตรอนโวลท์หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ $8.86\times10^{-2}$ Å ขึ้นไป

### 2.1.2 รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-ray)

เป็นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการที่อนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าของอะตอมด้วยอัตราเร่งสูง แล้วเกิดอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าบริเวณใกล้นิวเคลียสเปลี่ยนทิศทางและลดความเร็วลง เป็นผลให้สูญเสียพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แต่เนื่องจากการสูญเสียพลังงานในแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) จึงทำให้เกิดรังสีเอกซ์ได้หลายค่าแบบต่อเนื่อง และจะมีพลังงานได้สูงสุด ได้เท่ากับพลังงานจลน์ของอนุภาคมีประจุซึ่งหลักการอันนี้นำไปใช้สร้างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ รังสีเอกซ์ต่อเนื่องมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เบรมส์สตราห์ลุง (Bremsstrahlung) ซึ่งแปลว่า Braking radiation

## 2.2 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์[1]

ก. เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ข. ไม่มีประจุ ไม่มีมวล เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง

ค. สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ อำนาจการทะลุทะลวงขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี

ง. ถูกดูดกลืนได้ในตัวกลาง ปริมาณการดูดกลืนจะแปรผกผันกับพลังงานของรังสี แต่จะแปรผันตามความหนาและความหนาแน่นของตัวกลาง

จ. เกิดการสะท้อนในตัวกลางได้

ฉ. เกิดการเรืองแสงได้ ในวัตถุบางชนิด

ช. ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุได้

ซ. มีอันตรกิริยากับฟิล์ม ทำให้ฟิล์มดำ

ฌ. ไม่สามารถมองเห็นและสัมผัสได้ด้วยประสาททั้ง 5 ของมนุษย์

รังสีเอกซ์มีคุณสมบัติทั่วไปเช่นเดียวกับแสง คือความเข้มของรังสีจะลดลงตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) ดังสมการ

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

เมื่อ $I$ คือ ความเข้มของรังสี

$d$ คือ ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี

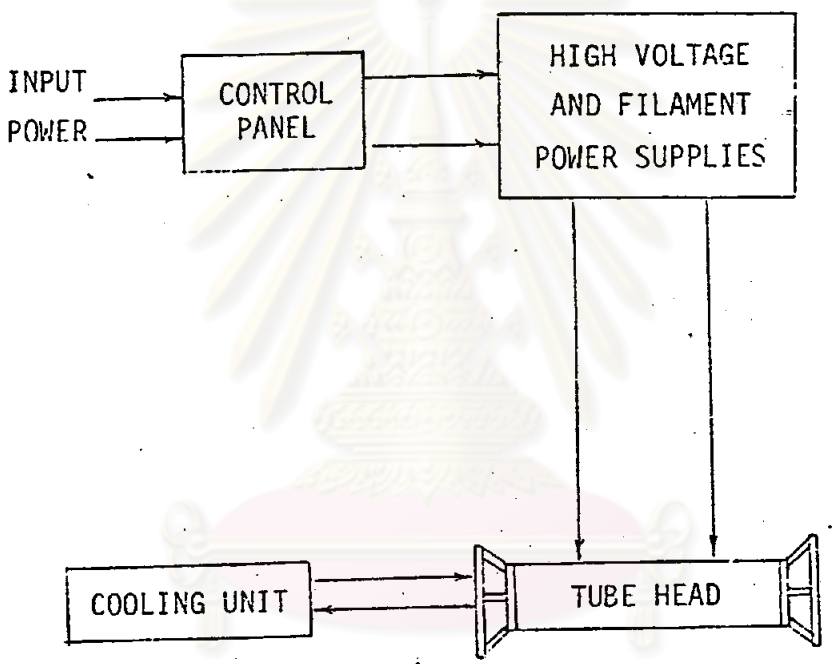
เมื่อให้ $I_1$ และ $I_2$ เป็นความเข้มรังสีที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี $d_1$ และ $d_2$ ตามลำดับจะได้ว่า

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \qquad \ldots\ldots 2.1^{(1.)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

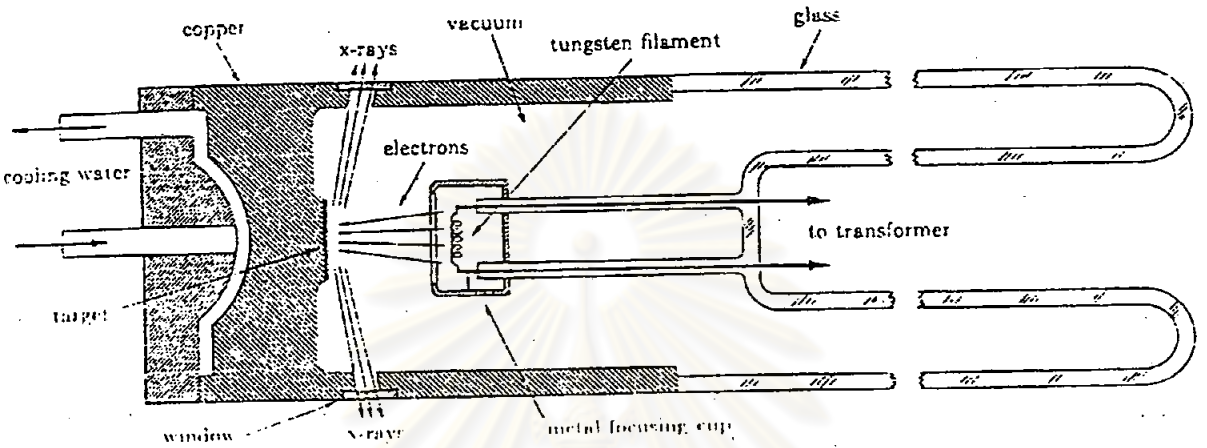
## 2.3 หลอดรังสีเอกซ์

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นรังสีเอกซ์ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว หลอดรังสีเอกซ์จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์สำคัญอื่นๆ อีก 3 ส่วน คือ แผงควบคุม(Control panel) แหล่งจ่ายไฟแรงสูง (High voltage power supply) และแหล่งจ่ายไฟให้ไส้หลอดรังสีเอกซ์ (filament power supply) และระบบระบายความร้อน (cooling system) จึงจะสามารถให้รังสีเอกซ์ออกมาเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้




รูปที่ 2.2[1] แผนภาพแสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

โดยทั่วไปหลอดรังสีจะประกอบไปด้วยขั้วลบ ซึ่งมีไส้หลอดและขั้วบวกเป็นเป้า ทั้งหมดนี้จะอยู่ภายในหลอดสูญญากาศ ซึ่งมักจะทำด้วยแก้วไพเร็กซ์(Pyrex)หรือเซรามิค (Ceramic) ซึ่งมีความคงทนต่อความร้อนและสภาวะสูญญากาศอย่างสูงได้ ดังรูป 2.3




รูปที่ 2.3[4] ลักษณะของหลอดรังสีเอกซ์

2.3.1 ขั้วลบ (cathode)ประกอบไปด้วยไส้หลอดล้อมรอบด้วย Focusing cup ซึ่งทำด้วยเหล็กบริสุทธิ หรือนิเกิลบริสุทธิ ทำหน้าที่เหมือนกับ Electrostatic lens เพื่อบังคับให้อิเลกตรอนพุ่งเป็นลำไปยังขั้วบวก (Anode) ไส้หลอดโดยปกติจะทำด้วยโลหะทังสเตน ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ต่ำ

2.3.2 ขั้วบวก (Anode) ประกอบด้วยเป้าที่ฝังอยู่ภายในโลหะทองแดง ซึ่งจะทำหน้าที่รับความร้อนซึ่งเกิดจากอิเลกตรอนมากระทบเป้า โดยปกติหลอดรังสีเอกซ์มักจะใช้โลหะทังสเตนเป็นเป้า เนื่องจาก

1. สามารถทนความร้อนสูงได้ดีเพราะมีจุดหลอดเหลวสูง
2. รังสีเอกซ์ที่ให้ออกมาจะมีประสิทธิภาพดีเพราะทังสเตนมีน้ำหนักอะตอมสูง

แพลตินัมและทองคำก็สามารถใช้ทำเป็นเป้าได้ด้วย แต่เนื่องจากมีราคาแพงและต้องการระบบระบายความร้อนที่ดีกว่าทังสเตนจึงไม่นิยมใช้ หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม ส่วนมากมักจะใช้น้ำหรือน้ำมันเป็นตัวระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากขั้วบวกของหลอด

หลอดรังสีเอกซ์ จะถูกหุ้มด้วยโลหะอีกชั้นหนึ่ง และระหว่างตัวหลอดกับโลหะจะมีน้ำมันหรือแก๊สเป็นตัวกลางอยู่ด้วย จุดประสงค์เพื่อป้องกันการเกิดศักดาไฟฟ้าสูงชอค (high voltage electrical shock)

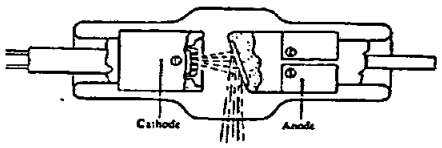
หลอดรังสีเอกซ์ สามารถออกแบบให้ผลิตรังสีเอกซ์ออกมาในทิศทางที่ต้องการได้ ซึ่งทิศทางของลำรังสีเอกซ์นั้น ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขั้วบวกเป็นสำคัญ

2.4 (1) ตัวอย่างชนิดของหลอดรังสีเอกซ์บางแบบมีดังนี้

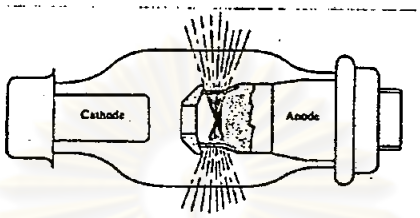
ก. แบบลำรังสีเอกซ์ออกด้านเดียว หรือที่เรียกว่า "Directional tube" ดังภาพในรูปที่ 2.4(ก) ขั้วบวกเอียงทำมุมประมาณ 70 องศา ทำให้ใช้ประโยชน์จากลำรังสีเอกซ์ได้เพียงด้านเดียว

ข. แบบลำรังสีเอกซ์ออกรอบตัว หรือที่เรียกว่า "True radial panoramic tube" ดังภาพในรูปที่ 2.4(ข) ขั้วบวกมีลักษณะคล้ายลิ่ม ลำรังสีเอกซ์กระจายออกได้รอบตัว คือ 360 องศา เมื่อมองจากด้านข้างจะเห็นลำรังสีเอกซ์เป็นรูปกรวยแผ่กระจายออกจากขั้วบวก หลอดรังสีเอกซ์แบบนี้สามารถใช้ถ่ายภาพชิ้นงานหลายชิ้นในคราวเดียว ในกรณีที่ต้องการถ่ายภาพรอยเชื่อมรวมท่อใหญ่ สามารถกระทำได้เพียงการถ่ายภาพครั้งเดียว

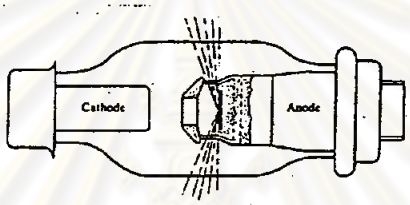
ค. แบบลำรังสีเอกซ์ออกรวมตัว แต่ลำรังสีเอียงหรือที่เรียกว่า "Oblique panoramic tube" ขั้วบวกมีลักษณะแบนราบ ลำรังสีเอกซ์จึงพุ่งออกรวมตัวไปด้านเดียว ดังในภาพรูปที่ 2.4(ค)




(a) Directional x-ray tube




(b) True radial panoramic x-ray tube




(c) Oblique panoramic x-ray tube

รูปที่ 2.4[1] แสดงลักษณะของหลอดรังสีเอกซ์บางแบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดรังสีเอกซ์

1. ความต่างศักย์ ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ จะทำให้อิเลกตรอนมีพลังงานมากน้อยเท่าไร ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่า รังสีเอกซ์จะสามารถทะลุทะลวงได้ดีแค่ไหน

2. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านไส้หลอดจะทำให้ไส้หลอดร้อนและยังทำให้อิเลกตรอนเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ไส้หลอด

3. กระแสไฟฟ้าของหลอดซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิของไส้หลอด โดยปกติจะใช้เป็นมิลลิแอมแปร์

ความเข้มของรังสีเอกซ์ โดยปกติแล้วจะนิยมวัดเป็นหน่วยเรินเก้นท์

## 2.5 [3] สเปคตรัมของรังสีเอกซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า รังสีเอกซ์ที่ออกมาจากหลอดจะมีหลายขนาดคลื่นคล้ายกับแสง ขนาดของคลื่นที่มีค่าต่ำสุดจะเป็นส่วนผกผันกับศักดาไฟฟ้าของหลอด โดย

$$\lambda_{min} = 1239.5/V \qquad ....2.2^{(3)}$$

เมื่อ $\lambda_{min}$ คือ ขนาดของคลื่นของรังสีเอกซ์ที่มีค่าต่ำสุด หน่วยนาโนเมตร

$V$ คือ ศักดาไฟฟ้าของหลอดรังสีเอกซ์ หน่วยกิโลโวลท์

นอกจากศักดาไฟฟ้าและกระแสแล้ว เลขอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า(ขั้วบวก)ยังมีผลต่อความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ได้จากหลอด ดังแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ 2.3

$$I_{cont.} \propto (mA)\ (kV)^2\ (Z) \qquad ....2.3^{(1)}$$

เมื่อ $I_{cont.}$ คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์

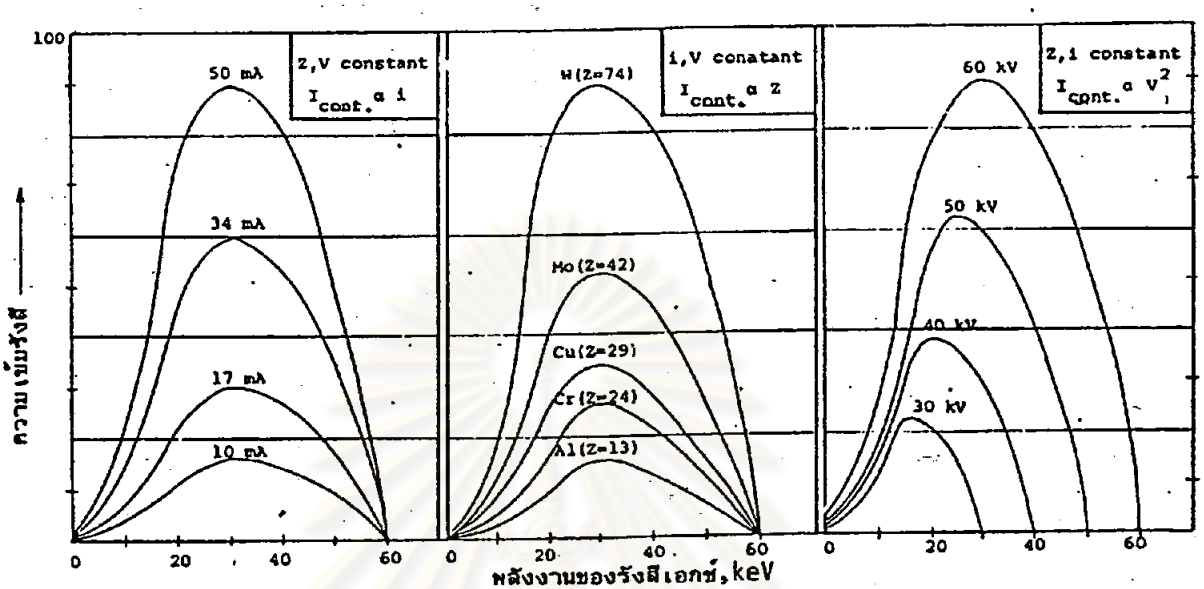
$mA$ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดรังสีเอกซ์เป็นมิลลิแอมป์

$kV$ คือ ค่าศักดาไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบเป็นกิโลโวลท์

และ $Z$ คือ เลขอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า (ขั้วบวก)

จากสมการ 2.3 จะเห็นว่า ถ้าเลขอะตอมของธาตุที่เป็นเป้าสูง ความเข้มของรังสีก็จะสูงขึ้นด้วย

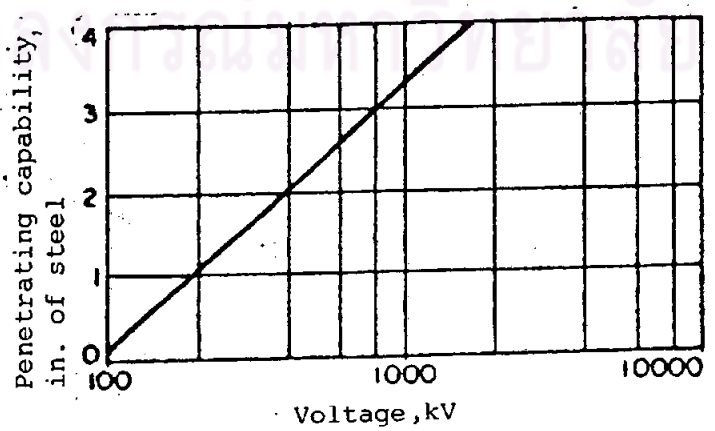
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




(ก) อิทธิพลของกระแส (ข) อิทธิพลของเลขอะตอมของเป้า (ค) อิทธิพลของค่าความต่างศักย์

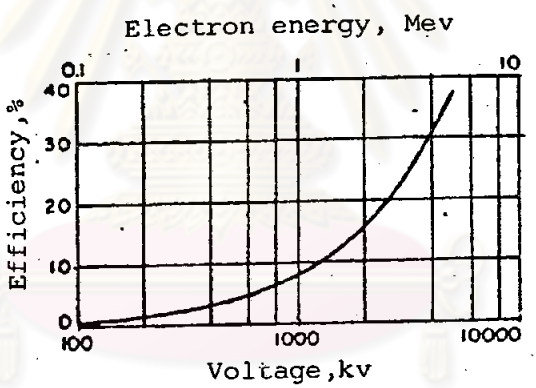
รูปที่ 2.5[1] แสดงผลของกระแสไฟฟ้า ศักดาไฟฟ้าและเลขอะตอมของธาตุที่เป็นขั้วบวก ที่มีต่อสเปคตรัมของรังสีเอกซ์ที่ได้จากหลอดรังสีเอกซ์

ขนาดของคลื่นของรังสีเอกซ์เป็นสิ่งสำคัญมากกล่าวคือ ถ้ารังสียิ่งมีขนาดของคลื่นสั้นมากเท่าใด ก็จะมีอำนาจทะลุทะลวงมากขึ้นเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยจะแสดงถึงความสามารถในการทะลุทะลวงของรังสี (หน่วยเป็นนิ้วของเหล็ก) เมื่อศักดาไฟฟ้าของหลอดรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นก็จะมีอำนาจทะลุทะลวงผ่านเหล็กได้หนาขึ้น




รูปที่ 2.6[3] แสดงศักดาไฟฟ้าของหลอดรังสีเอกซ์มีผลต่อการทะลุทะลวงของรังสี

พลังงานของอิเลกตรอนที่เกิดส่วนมากจะสูญเสียกลายเป็นความร้อนมากกว่าที่จะเปลี่ยนไปเป็นรังสีเอกซ์ ดังนั้นประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นรังสี จะแสดงในรูปเปอร์เซนต์ของพลังงานของอิเลกตรอนที่จะเปลี่ยนเป็นรังสี เมื่อพลังงานของอิเลกตรอนหรือศักดาไฟฟ้าของหลอดเปลี่ยนไป (จากรูปที่ 2.7) คือ เมื่อพลังงานของอิเลกตรอนค่าต่ำๆ (ค่าศักดาไฟฟ้าของหลอดประมาณ 100-200 กิโลโวลท์) มี 1% เท่านั้นที่เป็นรังสี อีก 99% ที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นความร้อนสูญเสียไป แต่เมื่อพลังงานอิเลกตรอนสูงขึ้น (มากกว่า 1 Mev. ) ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงเป็นรังสีก็จะดีขึ้น คือจะเปลี่ยนรังสี 7% ที่ 1 Mev. และ 35% ที่ 5 Mev. เป็นต้น ดังนั้นเมื่อต้องการรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูงจึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะกำเนิดรังสีสูงตามไปด้วย




รูปที่ 2.7 [3] แสดงให้เห็นถึงค่าศักดาไฟฟ้ามีผลต่อรังสีที่จะให้ออกมา

## 2.6 การลดความเข้มของรังสี

รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เกิดอันตรกิริยากับสสารต่างๆ รวมทั้งอากาศขณะที่ผ่านตัวกลางนั้นๆ ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาณรังสีที่จะใช้ตรวจสอบชิ้นงานลดลงจากปริมาณรังสีที่ออกจากต้นกำเนิดเมื่อผ่านชิ้นงานไปแล้วก็ยังเปลี่ยนไปอีก ดังนั้นปริมาณรังสีที่ลดลงเนื่องจากชนิดของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก

การลดลงของปริมาณรังสีจะมีเท่าใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มและพลังงานของรังสีรวมทั้งความหนาและโครงสร้างของอะตอมของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ

ความเข้มของรังสีเมื่อผ่านวัสดุไปแล้วจะมีการลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) โดยขึ้นกับความหนาของวัสดุที่กั้นรังสี ดังแสดงในสมการ 2.4

$$I = I_o \exp.(-\mu t) \quad \ldots 2.4^{(3)}$$

เมื่อ $I$ คือ ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุ หน่วยคูรี่ เรินเก้นท์

$I_o$ คือ ความเข้มของรังสีตอนเริ่มต้น(ก่อนผ่านวัสดุ)หน่วยคูรี่ เรินเก้นท์

$\mu$ คือ ค่าคงที่ของแต่ละวัสดุโดยเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุและพลังงานของรังสีที่มากระทบเรียกว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น(linear-absorption coefficient) มีหน่วยเป็นส่วนกลับของความยาว เช่น ซม$^{-1}$

$t$ คือ ความหนาของชิ้นงาน หน่วย ซม. หรือ นิ้ว

ค่าความหนาของวัสดุใดๆ ที่สามารถกั้นรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาให้มีความเข้มลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งเรียกว่า half value layer หรือเรียกย่อๆว่า HVL และจะเรียกความหนาของวัสดุที่สามารถกั้นรังสีให้มีความเข้มลดลง 10 เท่าว่าtenth value layer หรือ TVL.

## 2.7[3] สมมูลย์ของการถ่ายภาพด้วยรังสี

โลหะแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดสามารถเทียบความหนาซึ่งกันและกันได้ ในแต่ละพลังงาน เช่น ที่ศักดาไฟฟ้า 150 กิโลโวลท์ ตะกั่วหนา 1 นิ้วจะเท่ากับเหล็กหนา 14 นิ้ว แต่ที่ 1000 กิโลโวลท์ ตะกั่วหนา 1 นิ้ว จะเท่ากับเหล็กหนา 5 นิ้ว เท่านั้น ค่า สมมูลย์ของการถ่ายภาพด้วยรังสี(Absorption equivalence factor) ของโลหะหลายชนิดจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ตารางนี้จะใช้ได้ดีกับโลหะทั่วไป เช่น

เหล็กหรืออลูมิเนียม เวลาที่ใช้ในการถ่ายรังสีของโลหะอื่นๆ สามารถหาได้ โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ในการถ่ายรังสีของพื้นๆ ทั่วไปเทียบกันโดยใช้ความหนาเท่ากันคูณด้วย Radiographic equivalence facter ที่ได้จากการทดลองกับโลหะชนิดนั้นจริงๆ

ตารางที่ 2.1[3] ค่า Radiographic Absorption, Equivalence โดยประมาณของโลหะชนิดต่างๆ เมื่อให้เหล็กเป็นตัวเปรียบเทียบ

Approximate Radiographic Absorption Equivalence for Various Metals

| Material | X-rays, kv | | | | | X-rays, Mev | | | Gamma rays | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 50 | 100 | 150 | 220 | 400 | 1 | 2 | 4 to 25 | Ir-192 | Cs-137 | Co-60 | Ra |
| Magnesium | 0.6 | 0.6 | 0.05 | 0.08 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Aluminum | 1.0 | 1.0 | 0.12 | 0.18 | ... | ... | ... | ... | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.40 |
| Aluminum alloy 2024 | 2.2 | 1.6 | 0.16 | 0.22 | ... | ... | ... | ... | 0.35 | 0.35 | 0.35 | ... |
| Titanium | ... | ... | 0.45 | 0.35 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Steel | ... | 12.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 18-8 stainless steel | ... | 12.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Copper | ... | 16.0 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | ... | ... | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Zinc | ... | ... | 1.4 | 1.3 | 1.3 | ... | ... | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Brass(a) | ... | ... | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Inconel alloys | ... | 16.0 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Zirconium | ... | ... | 2.3 | 2.0 | ... | 1.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Lead | ... | ... | 14.0 | 12.0 | ... | 6.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 3.2 | 2.3 | 2.0 |
| Uranium | ... | ... | ... | 25.0 | ... | ... | ... | 3.9 | 12.6 | 5.6 | 3.4 | ... |

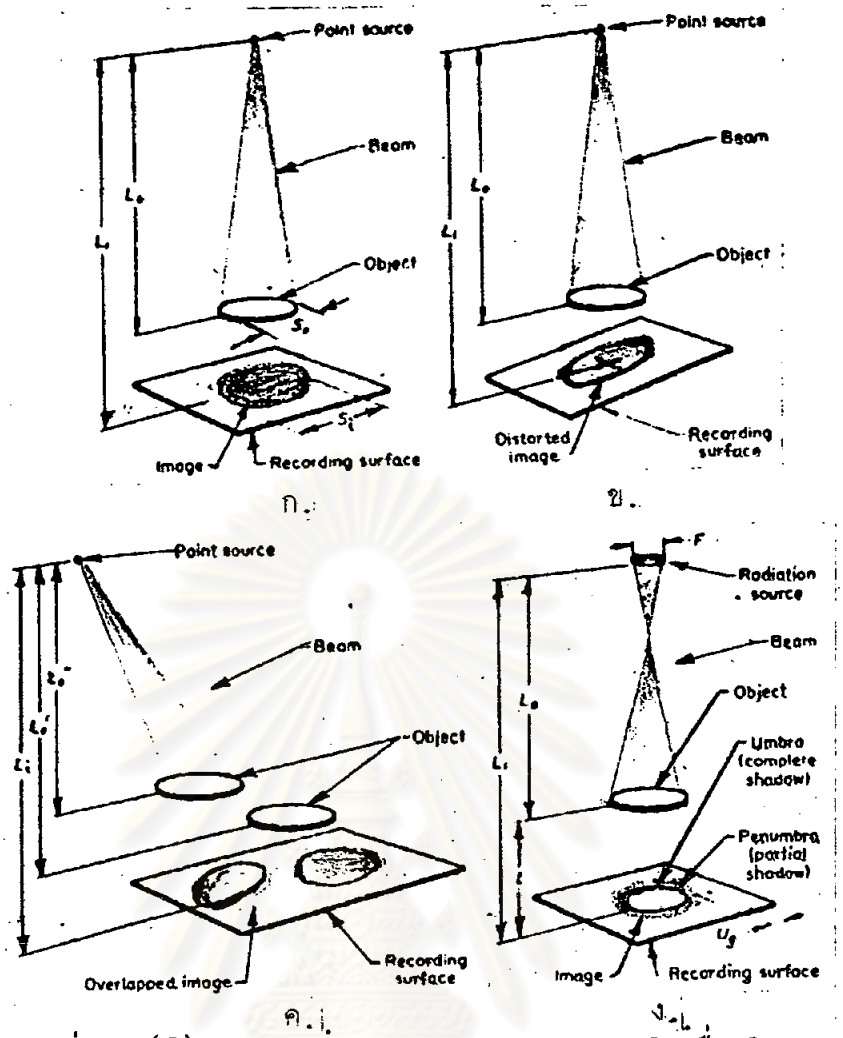
(a) Containing no tin or lead; absorption equivalence is greater than these values when either element is present.

## 2.8 <u>ทฤษฎีของการเกิดภาพ</u>

ภาพที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ จะคล้ายกับภาพที่ปรากฏบนจอเมื่อนำเอาวัตถุทึบแสงไปบังแสงไว้ แต่รังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ในขณะที่แสงไม่สามารถทะลุทะลวงได้ แต่กฎของการเกิดเงาตามหลักเรขาคณิตสามารถนำมาใช้กับรังสีและแสงได้ โดยที่ว่ารังสีเอกซ์ รังสีแกมมาและแสงจะเดินเป็นเส้นตรง ซึ่งสิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญในอันที่จะทำให้ภาพคมหรือไม่ ความสัมพันธ์ระหว่างต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงานและฉากจะพิจารณาได้จากลักษณะใหญ่ๆ 3 ประการของภาพที่เกิดขึ้น คือ ความคมหรือไม่คมชัดของภาพ อัตราการขยายของภาพและความบิดเบือนของภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

013638

I 17397236




รูปที่ 2.8[3] แสดงผลของความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตเมื่อเกิดภาพของภาพถ่ายด้วยรังสี

2.8.1[3] สาเหตุที่ทำให้ภาพไม่คมชัด

ในทางปฏิบัติแล้วต้นกำเนิดรังสีใดๆก็ตามจะใหญ่เกินไปจนไม่สามารถเรียกเป็นจุดได้ หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้กันมากจะมีขนาด จุดโฟกัส (focal spot) อยู่ระหว่าง $2\times2$ (มม.)$^2$ จนถึง $5\times5$ (มม.)$^2$ แม้แต่รังสีที่มีพลังงานสูงมากๆ ก็มีขนาด จุดโฟกัส ในช่วงนี้เช่นกัน ดังนั้น ขนาดของจุดโฟกัสที่มีโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.0 มม. ส่วนรังสีแกมมาจะมีขนาดแตกต่างกันที่ใช้กันอยู่มากมายขึ้นอยู่กับความแรงของรังสี และความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2.5 มม.

ตามนิยามของการถ่ายภาพด้วยรังสี ความสัมพันธ์ทางด้านเรขาคณิตจะเปลี่ยนไปตามขนาดของต้นกำเนิดรังสี ระยะทางจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี และระยะทาง

จากวัสดุบันทึกภาพไปยังชิ้นงาน จากรูปที่ 2.8 (ง) เมื่อต้นกำเนิดรังสีทำให้ภาพเกิดบนวัสดุบันทึกภาพแล้ว ส่วนของภาพที่ชัดเจนเรียกว่า อัมบรา(umbra) ส่วนของภาพที่ไม่ชัดเจนอยู่วงนอกเรียกว่า เพนัมบรา(penumbra) อัตราของความไม่คมชัดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับความกว้างของ เพนัมบรา ซึ่งสามารถแสดงได้ในทางคณิตศาสตร์จากหลักของสามเหลี่ยมคล้ายคือ

เมื่อ $U_g = Ft/L_o$ ....2.5(3)

$U_g$ คือ ความไม่คมชัดที่เกิดขึ้น

$F$ คือ ขนาดของ จุดโฟกัส หรือขนาดของต้นกำเนิดรังสี

$t$ คือ ระยะทางจากวัสดุบันทึกภาพไปยังชิ้นงาน

$L_o$ คือ ระยะทางจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี

ค่า t เป็นความแตกต่างระหว่างระยะจากฟิล์มไปยังต้นกำเนิดรังสี($L_i$) และระยะจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี($L_o$) ดังนั้น สมการที่ 2.5 อาจเขียนใหม่ได้ดังนี้ คือ

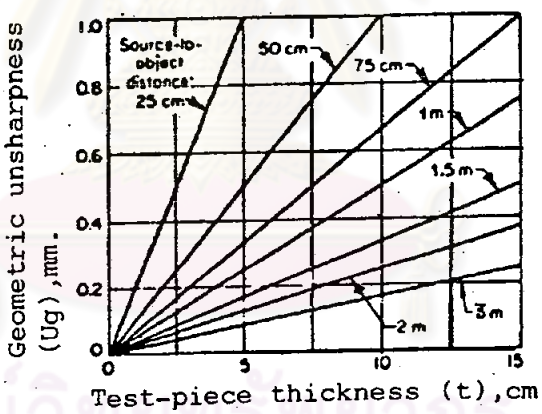
$$U_g = F(L_i-L_o) / L_o \quad ...2.6(3)$$

ขนาดของ เพนัมบรา หรือขนาดของความไม่คมชัดจะสามารถทำให้ลดลงได้โดยเพิ่มระยะจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสีให้มากขึ้น ลดขนาดของ จุดโฟกัส หรือลดระยะทางจากวัสดุบันทึกภาพไปยังชิ้นงานลง ในทางปฏิบัติขนาดของต้นกำเนิดรังสีจะคิดจากลักษณะของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์หรือขนาดของรังสีแกมมา และระยะทางจากฟิล์มไปยังชิ้นงานจะทำให้น้อยที่สุดโดยการติดฟิล์มให้ชิดกับชิ้นงาน ดังนั้นจะเหลือสิ่งเดียวที่ทำให้เปลี่ยนแปลงได้ คือ ระยะทางจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี ซึ่งจะมีผลมากกับเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี ดังนั้น ผู้ทำการถ่ายภาพด้วยรังสี จะต้องเลือกวิธีการที่จะทำให้ภาพคมชัดที่สุดโดยเสียค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องน้อยที่สุดด้วย

ความไม่คมชัดของภาพที่เกิดขึ้นจากลักษณะทางเรขาคณิต เป็นองค์ประกอบอันหนึ่งในหลายๆอันของความไม่คมชัดของภาพ และโดยปกติแล้วลักษณะทางเรขาคณิตจะเป็นต้นเหตุให้เกิดความไม่คมชัดมากที่สุด เมื่อไม่คำนึงถึงระยะทางระหว่างผิวของฟิล์มและผิว

ของชิ้นงานนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกันตามขนาดของชิ้นงานแล้วค่าความไม่คมชัดทางเรขาคณิตจะสามารถคำนวนได้กับทุกๆ ต้นกำเนิดรังสีและยังสามารถแสดงได้เป็นกราฟระหว่างความไม่คมชัด ( $U_g$ ) ต่อความหนาของชิ้นงาน ( t ) โดยเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี ( $L_0$) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. และจะเป็นประโยชน์มากถ้าเตรียมกราฟดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 สำหรับทุกๆ สมการที่ใช้

ในการใช้งานจริงๆ ค่าความไม่คมชัดที่มากที่สุดจะต้องทำให้น้อยกว่าค่าที่เราทราบแล้ว เพื่อที่จะหาขนาดและแบบของสิ่งบกพร่องได้แน่นอน การถ่ายภาพด้วยรังสีจะพิจารณาระยะทางระหว่างชิ้นงานไปยังแหล่งรังสีให้น้อยที่สุด จากสมการที่ 6 ที่ค่า $L_0$นั้น ( $U_g$ ) จะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะใช้พิจารณาแบบและขนาดของสิ่งบกพร่อง ถ้าสิ่งบกพร่องของชิ้นงานที่อยู่ไกลที่สุดจากฟิล์มสามารถเห็นได้ สิ่งบกพร่องที่อยู่ใกล้กับฟิล์มก็ยิ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น




รูปที่ 2.9[3] ความสัมพันธ์ของความไม่คมชัดทางเรขาคณิตกับระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีไปยังชิ้นงาน

2.8.2 <u>อัตราการขยายของภาพ</u>

ภาพของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะต้องห่างจากต้นกำเนิดรังสีมากกว่าระยะทางจากต้นกำเนิดรังสีไปยังชิ้นงานเสมอ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8(ก) ขนาดของภาพที่เกิดขึ้นจะใหญ่กว่าขนาดของชิ้นงาน ดังนั้นขนาดของภาพหรืออัตราการขยายของภาพจะสามารถคำนวนได้จาก

$$M = S_i/S_o = L_i/L_o \quad \ldots.2.7^{(3)}$$

เมื่อ M คือ อัตราการขยายของภาพ (Degree of Enlargment or Magnification)

$S_i$ คือ ขนาดของภาพ หน่วย ฟุต นิ้ว ซม.

$S_o$ คือ ขนาดของชิ้นงาน หน่วย ฟุต นิ้ว ซม.

$L_i$ คือ ระยะทางจากภาพไปยังต้นกำเนิดรังสี หน่วย ฟุต นิ้ว ซม.

$L_o$ คือ ระยะทางจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี หน่วย ฟุต นิ้ว ซม.

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นงานโดยสัมพันธ์กับต้นกำเนิดรังสีและฟิล์มจะมีผลกับขนาดของภาพที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น ระยะทางจากภาพไปยังต้นกำเนิดรังสี($L_i$) ลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างชิ้นของงานและภาพแล้วขนาดของภาพ($S_i$) จะเพิ่มขึ้นในทางกลับกัน ถ้าระยะทางจากชิ้นงานไปยังต้นกำเนิดรังสี ($L_o$) เพิ่มขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะทางจากภาพไปยังต้นกำเนิดรังสีหรือ $L_i$ คงที่แล้ว ขนาดของภาพ ($S_i$) จะลดลง

โดยปกติผลของอัตราการขยายของภาพที่เกิดขึ้นจะมีน้อยในการถ่ายภาพด้วยรังสี เนื่องจากฟิล์มมักจะต้องวางติดชิ้นงานเสมอ เพื่อที่จะทำให้ความไม่คมชัดของภาพน้อยที่สุด แต่ถึงแม้จะใช้วิธีการแบบนั้นแล้ว ภาพที่เกิดขึ้นก็ยังมีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานอยู่ ผลของอัตราการขยายของภาพนี้จะเกิดมากที่สุดเมื่อระยะทางระหว่างภาพและต้นกำเนิดรังสีสั้นที่สุด

ประโยชน์ของอัตราการขยายของภาพจะได้แก่ เมื่อนำชิ้นงานมาชิดแหล่งรังสีมากๆ รายละเอียดบางอย่างที่มองไม่เห็นก็สามารถมองเห็นได้ เทคนิคจะถูกใช้ในไมโครราดิโอกราฟี่ (microradiography) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีผลจากความไม่คมชัดของภาพต้นกำเนิดรังสีจึงต้องมีขนาดของจุดโฟกัสเล็กๆ จึงจะสามารถให้อัตราการขยายภาพได้ดี ยกตัวอย่างเช่น ขนาดของจุดโฟกัส จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอนจึงจะใช้ได้ในไมโครราดิโอกราฟี

2.8.3 การบิดเบือนของภาพ

ฟิล์มที่ใช้อยู่ในแนวขนานกับชิ้นงานที่จะถ่าย ภาพที่เกิดขึ้นจะไม่มีการบิดเบือนเลย ไม่ว่าจะเปลี่ยนมุมของรังสีที่จะกระทบชิ้นงานเป็นมุมเท่าใดก็ตาม และอัตราการขยายของภาพที่เกิดขึ้นก็จะไม่แตกต่างกันด้วย เนื่องจากระยะ $L_i/L_0$ ไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8(ข) ถ้าแนวของชิ้นงานไม่ขนานกับแนวของฟิล์มแล้ว ภาพจะเกิดการบิดเบือนขึ้น เนื่องจากอัตราการขยายของภาพแตกต่างกันระหว่างรังสีที่ผ่านไปยังจุดสองจุดในชิ้นงานเดียวกัน เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ภาพที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพด้วยรังสีบิดเบือนไปจากของจริง ดังนั้นรูปร่างที่ดีของชิ้นงานจึงควรมีแนวที่ขนานกับฟิล์มมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความบิดเบือนของภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นผลเนื่องจากการไม่ขนานกันของชิ้นงานและฟิล์มโดยตรง ถ้าการไม่ขนานกันมีน้อยความบิดเบือนก็น้อยในทางกลับกันถ้ามากความบิดเบือนก็มากตามไปด้วย

ดังนั้นจะไม่มีภาพที่บิดเบือนใดเลยที่ขนานกับแนวของชิ้นงาน ความบิดเบือนที่เกิดขึ้นจะมีผลเนื่องจาก Cosine ของมุมระหว่างลำรังสีกับผิวของชิ้นงานโดยตรง ตัวอย่างเช่น มีชิ้นงานรูปวงกลมสองชิ้นงานขนานกันกับฟิล์มรองรับอยู่ด้านล่าง แต่ระยะทางระหว่างชิ้นงานถึงฟิล์มไม่เท่ากันจะทำให้เกิดภาพวงกลมที่แยกจากกันสองวง หรือภาพของชิ้นงานที่เกิดขึ้นใหม่คงเกี่ยวเนื่องจากภาพวงกลมสองวงเกยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ค) และยังขึ้นกับทิศทางของรังสีด้วย ในการใช้งานจริงๆ ภาพที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะปรากฏเป็นขอบเขตที่แสดงให้เห็นว่ามีความดำของฟิล์มมากกว่าหรือน้อยกว่าบริเวณอื่น โดยขึ้นอยู่กับว่าบริเวณนั้นจะดูดกลืนรังสีได้มากหรือน้อยกว่าบริเวณอื่น ตัวอย่างเช่น ภาพที่เกิดขึ้นจากช่องว่างที่อยู่ในชิ้นงาน (Void or Cavities) จะต่ำกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากว่าดูดกลืนรังสีไว้น้อยกว่าบริเวณอื่น

ในทางปฏิบัติ ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงฟิล์ม นิยมเรียกย่อๆว่า SFD สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งย่อมาจาก source-to-film distance สำหรับหลอดรังสีเอกซ์เรียกว่า FFD ย่อมาจาก focus-to-film distance

การถ่ายภาพด้วยรังสีพึงระลึกเสมอว่า การเลือกใช้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับฟิล์มมากๆ เพื่อให้ได้ขนาดของเงาน้อยที่สุดนั้น จะต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการถ่ายภาพ (exposure time) ด้วย เพราะความเข้มของรังสีจะลดลงตามกฎกำลังสองผกผัน ถ้าระยะห่างมากเวลาในการถ่ายภาพจะมากขึ้นตามไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย