บทที่ 2

ทฤษฎี

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองและวิจัยเป็นข้อ ๆ ไปตามลำดับดังนี้

2.1 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive testing)

การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NDT) คือการตรวจสอบที่หลังจากการตรวจสอบแล้ว ชิ้นที่ทดสอบจะไม่มีการเสียหายใด ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้การตรวจสอบกับชิ้นงานจริง เพื่อตรวจสอบดูถึงคุณภาพของชิ้นงานต่างๆ

NDT มีวิธีการตรวจสอบอยู่หลายวิธี ตั้งแต่การตรวจสอบโดยใช้สายตา ซึ่งไม่ต้องใช้อุปกรณ์อะไรเป็นพิเศษ ไปจนกระทั่งการตรวจสอบที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงมาก และ NDT นั้นมีนับเป็นร้อย ๆ วิธี แต่ที่สำคัญที่จะขอกล่าวโดยย่อ ๆ มี 4 วิธีคือ

2.1.1 การตรวจสอบด้วยอัลตร้าโซนิก

หลักการทำงาน คลื่นเสียงที่ใช้การตรวจสอบ คือ คลื่นเสียงความถี่สูง โดยทั่วไปจะอยู่ในระหว่างช่วง 1 ถึง 15 MHz ซึ่งจะได้จากหัวตรวจสอบ (Probe) หัวตรวจสอบนี้จะทำหน้าที่ทั้งส่งและรับคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเสียงถูกส่งเข้าไปในชิ้นงาน ก็จะต้องใช้เวลาในการเดินทางเข้าไปในเนื้อวัสดุ และเมื่อไปกระทบตั้งฉากกับผิวด้านหลัง หรือกับสิ่งบกพร่องใด ๆ ก็จะสามารถสะท้อนกลับมายังหัวตรวจสอบ ซึ่งเรียกการสะท้อนกลับมานี้ว่า เอคโค (Echo) เครื่องอัลตร้าโซนิกจะวัดเวลาในการเดินทางของคลื่นเสียงตั้งแต่เริ่มต้นจนสะท้อนกลับมาที่เดิม และแสดงให้เห็นบนจอ CRT ตัวอย่างการใช้งานของวิธีอัลตร้าโซนิกในงานด้านต่าง ๆ เช่น การวัดความหนาของท่อถัง การหาสิ่งบกพร่องภายใน และผิวของชิ้นงาน การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม การตรวจสอบการติดกันของวัสดุสองชนิด

ข้อดีของการตรวจสอบด้วยอัลตร้าโซนิกคือ สามารถตรวจสอบกับชิ้นงานที่มีความหนามาก ๆ ได้ ทราบความลึกของสิ่งบกพร่อง ทราบผลรวดเร็ว ไม่มีอันตราย

ข้อเสีย เช่น ชิ้นงานที่มีความหนาไม่มากตรวจได้ลำบาก ผู้ตรวจสอบต้องมีความชำนาญสูง การวิเคราะห์ยาก และอุปกรณ์เครื่องมือราคาแพง

2.1.2 การตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสี

หลักการทำงาน ชิ้นงานที่ต้องตรวจสอบจะถูกจัดให้อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีและฟิล์ม รังสีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะเป็นรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา รังสีนี้จะมีคุณสมบัติสามารถผ่านเข้าไปในวัสดุได้ วัสดุจะสามารถดูดกลืนรังสีไว้ได้ส่วนหนึ่ง มากน้อยขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน รังสีที่ผ่านออกมาจากชิ้นงานก็จะไปกระทบกับฟิล์ม และหลังจากนำฟิล์มไปทำกระบวนการล้างแล้ว บริเวณที่ถูกรังสีก็กลายเป็นสีดำ โดยความดำ ของแต่ละจุดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน โดยบริเวณที่เป็นสิ่งบกพร่องจะมีความขาวมากกว่าบริเวณที่มีความสมบูรณ์

ข้อดีของการตรวจสอบวิธีนี้คือ ฟิล์มสามารถใช้เป็นหลักฐานถาวรได้ การทำงานและการวิเคราะห์ผลง่ายกว่าการใช้อัลตร้าโซนิก บุคลากรไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญสูง

ข้อเสียก็คือ อันตรายจากการรับรังสี ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง รวมทั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์มีราคาแพงมาก และไม่ทราบถึงความบกพร่อง

2.1.3 การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก

หลักการทำงาน การตรวจสอบวิธีนี้ทำได้โดยการทำให้ชิ้นงานเป็นแม่เหล็ก เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กไหลเข้าไปในชิ้นงาน ถ้าบริเวณหรือใต้ผิวเล็กน้อยของชิ้นงานมีจุดบกพร่อง เส้นแรงแม่เหล็กก็จะไม่สามารถไหลผ่านไปอย่างสะดวก บริเวณนั้นก็จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กรั่ว (Leakage flux) และทำให้จุดนั้นเป็นเหมือนขั้วแม่เหล็ก จึงสามารถดูดผงเหล็กได้ ซึ่งเมื่อผงเหล็กถูกดูดมารวมตัวกันที่จุดนี้มาก ก็จะทำให้สามารถมองเห็นจุดบกพร่องด้วยสายตาได้ การสร้างสนามแม่เหล็กในชิ้นงานนั้นมีหลายวิธี เช่น การให้การให้กระแสไหลเข้าไปในชิ้นงานโดยตรง หรือการให้สนามแม่เหล็กไหลเข้าไปในชิ้นงาน

ข้อดีของวิธีนี้คือ รวดเร็ว ไม่ยุ่งยาก ไม่มีอันตราย ราคาถูก บุคคลากรไม่จำเป็นต้องชำนาญมาก

ข้อเสียคือ สามารถตรวจสอบได้กับวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกเท่านั้น ได้แก่ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ สิ่งบกพร่องที่ตรวจได้ก็เป็นเฉพาะบริเวณผิวและใต้ผิวเล็กน้อยเท่านั้น

2.1.4 การตรวจสอบสารแทรกซึม

หลักการทำงาน สิ่งบกพร่องที่จะสามารถตรวจพบได้นั้นจะเป็นสิ่งที่บกพร่องเฉพาะที่ผิวเท่านั้น แต่สามารถใช้ตรวจสอบได้กับวัสดุแทบทุกชนิด ยกเว้นวัสดุที่ผิวมีลักษณะเป็นรูพรุนในการตรวจสอบ อันดับแรกจะต้องทำความสะอาดผิวของชิ้นงานให้ปราศจากคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการฉีดสารแทรกซึมทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้สารแทรกซึมเข้าไปในสิ่งบกพร่อง สำหรับสารแทรกซึมที่เหลืออยู่บนผิวให้กำจัดออก จากนั้นฉีดสาร Developer ลงบนชิ้นงาน สารนี้จะมีความสามารถในการดูดสารแทรกซึมซึ่งอยู่ในสิ่งบกพร่องให้ออก จนทำให้สามารถมองเห็นด้วยตาได้

ข้อดี คือ ไม่ยุ่งยาก ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ไม่มาก สามารถตรวจสอบกับวัสดุได้แทบทุกชนิด และสามารถตรวจได้ดีกับวัสดุที่มีรูปร่างซับซ้อน

ข้อเสีย คือ ตรวจสอบได้เฉพาะสิ่งบกพร่องที่ผิว ซึ่งหมายถึงต้องเข้าถึงผิวทั้งหมดได้ ตรวจสอบกับชิ้นงานได้เฉพาะช่วงอุณหภูมิ 5-55 ^{0}C

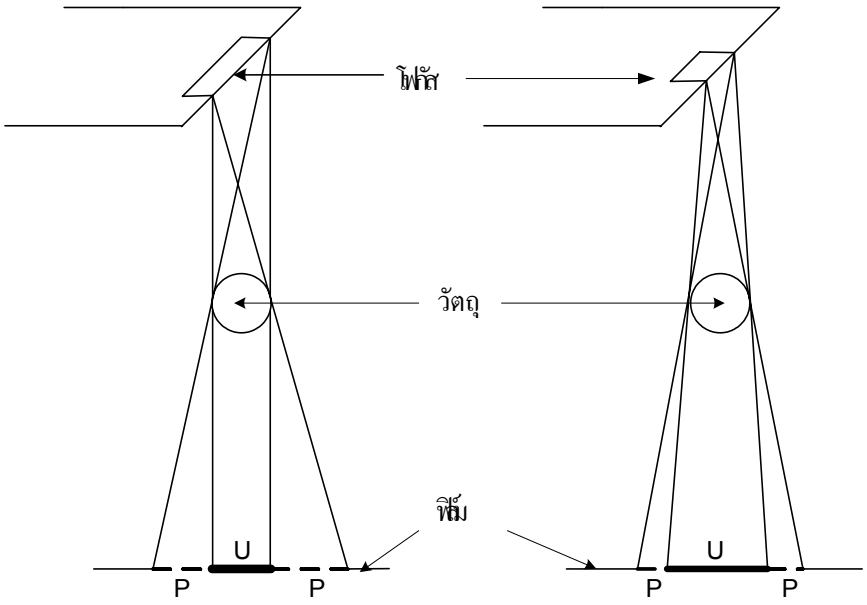
โดยในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้เทคนิคการตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสีเอกซ์

2.2 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีให้มีคุณภาพดี

ภาพรังสีที่ใช้เพื่อวิเคราะห์จะให้ผลถูกต้องแม่นยำ ควรต้องมีคุณภาพของภาพรังสี โดยคุณภาพของภาพรังสี หมายถึง ความคมชัดของรายละเอียดของภาพที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สาเหตุสำคัญที่บ่งบอกคุณภาพ คือ

2.2.1 ความคมชัดของภาพบนแผ่นฟิล์ม (Definition) หมายถึง ความคมชัดของลายเส้นตลอดจนรายละเอียดเล็ก ๆ ที่มองเห็นได้ชัดเจนบนภาพ ขึ้นอยู่กับสาเหตุต่าง ๆ ต่อไปนี้

2.2.1.1 ขนาดของโฟกัส ควรใช้โฟกัสขนาดเล็กดังแสดงให้เห็นในภาพประกอบที่ 2.1



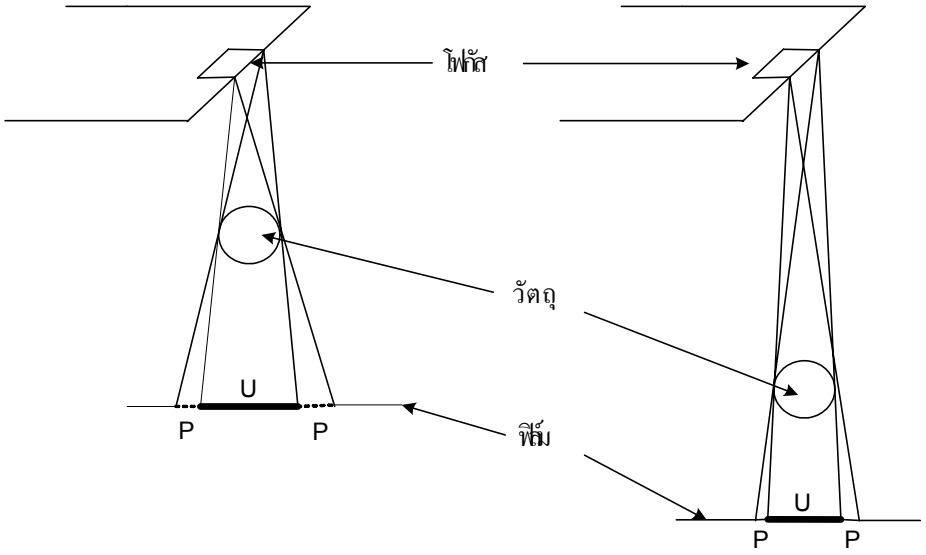
รูป ก. รูป ข.

ภาพประกอบที่ 2.1 การเปรียบเทียบขนาดของโฟกัส

จากภาพประกอบที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของโฟกัส โดยที่รูป ก.มีขนาดโฟกัสใหญ่กว่ารูป ข. แต่ระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์ม (Focus-Film distance , FFD) เท่ากัน ระยะจากวัตถุไปยังฟิล์ม (Object-Film distance ,OFD) และขนาดของวัตถุเท่ากัน เมื่อรังสีจากโฟกัสตกเฉียงผ่านรอบ ๆ ขอบของวัตถุในจุดต่าง ๆ กันจะทำให้เกิดภาพจริง (Umbra ,U) และขอบเงาขยายของภาพ (Penumbra, P) ซึ่งขอบเงานี้ทำให้ภาพขาดความคมชัดของรายละเอียด ดังนั้นถ้าเงาขยายมีมากภาพจะลดความคมชัดลง จากการเปรียบเทียบของรูปข้างต้น

สรุปได้ว่าถ้าใช้โฟกัสขนาดเล็กจะให้ภาพที่มีความคมชัดและรายละเอียดดีกว่าโฟกัสขนาดใหญ่

2.2.1.2 ระยะจากโฟกัสมายังฟิล์ม ควรใช้ระยะยาวดังภาพประกอบที่ 2.2



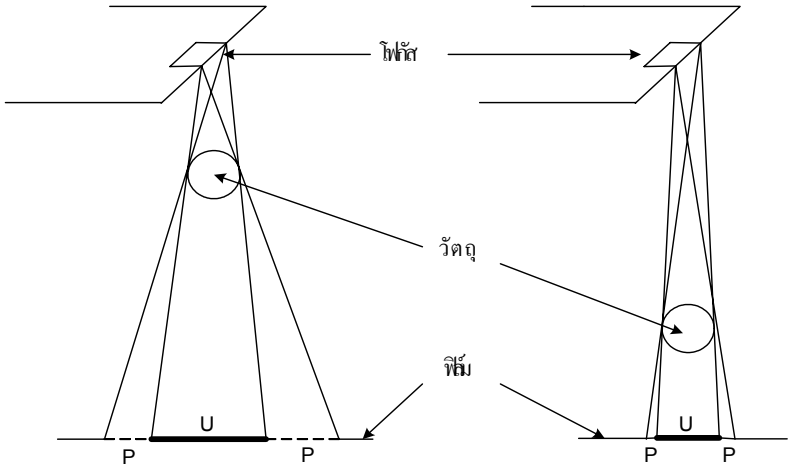
รูป ก. รูป ข.

ภาพประกอบที่ 2.2 การเปรียบเทียบระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์ม

จากภาพประกอบที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์ม รูป ก. มีระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์มสั้นกว่า รูป ข. แต่มีระยะทางจากวัตถุมายังฟิล์มเท่ากัน ขนาดของโฟกัสเท่ากันขนาดของวัตถุเท่ากัน เมื่อรังสีจากโฟกัสตกผ่านวัตถุทำให้เกิดภาพบนฟิล์ม จากรูป ก. จะได้ขนาดของภาพและเงาขยายใหญ่กว่ารูป ข.

สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ภาพที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกับของจริงและมีความคมชัดของรายละเอียด ควรใช้ระยะจากโฟกัสมายังฟิล์มยาว

2.2.1.3 ระยะจากวัตถุมายังฟิล์ม ควรใช้ระยะสั้นที่สุดดังภาพประกอบที่ 2.3



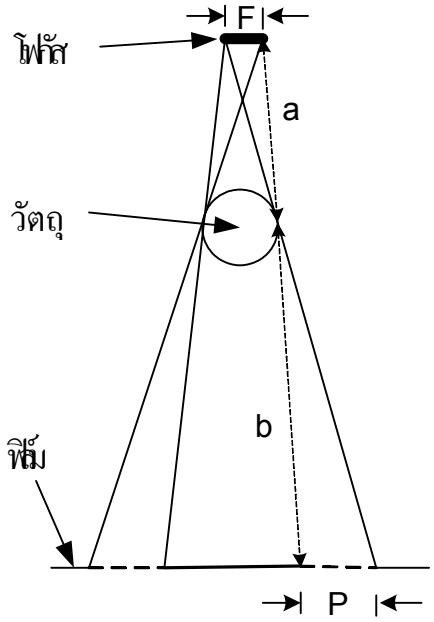
รูป ก. รูป ข.

ภาพประกอบที่ 2.3 การเปรียบเทียบระยะจากวัตถุมายังฟิล์ม

จากภาพประกอบที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะจากวัตถุมายังฟิล์ม รูป ก. มีระยะจากวัตถุมายังฟิล์มยาวกว่ารูป ข. แต่ระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์มเท่ากัน ขนาดโฟกัสเท่ากัน ขนาดวัตถุเท่ากัน เมื่อรังสีจากโฟกัสตกผ่านวัตถุทำให้เกิดภาพบนฟิล์ม จากรูป ก. จะได้ขนาดของภาพและเงาขยายขอบภาพใหญ่กว่ารูป ข.

สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ภาพที่ได้มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับของจริงและมีความคมชัดของรายละเอียดควรจะใช้ระยะจากวัตถุมายังฟิล์มสั้นที่สุด

หลักการหาเงาขยายของภาพ คือ



ภาพประกอบที่ 2.4 การคำนวณหาขนาดเงาขยายของภาพ

$$\frac{P}{F} = \frac{b}{a}$$

หรือ $$P = \frac{Fb}{a}$$

เมื่อ P คือ ขนาดของเงาขยาย

F คือ ขนาดของโฟกัส

a คือ ระยะจากโฟกัสมายังวัตถุ

b คือ ระยะจากวัตถุมายังฟิล์ม

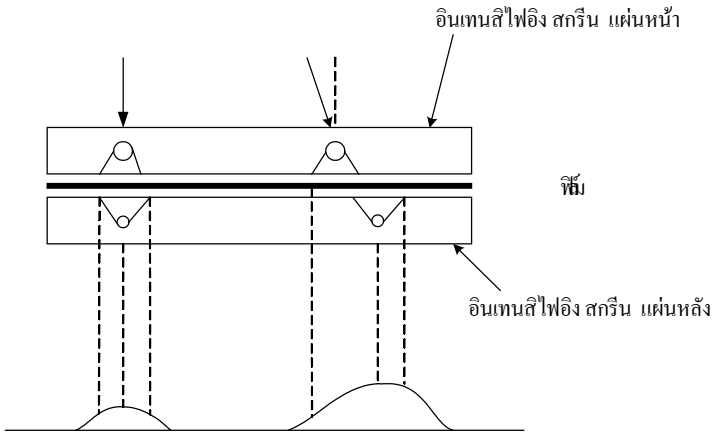
2.2.1.4 ภาพไหว คือ ความไม่คมชัดของภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุหรือหลอดเอ็กซเรย์หรือฟิล์มมีการเคลื่อนไหวขณะถ่ายภาพ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่เกิดภาพไหวควรปฏิบัติดังนี้

ก. ตรึงหรือรัดส่วนที่จะถ่ายภาพให้อยู่นิ่งเรียกว่า อิมโมบิไลเซชัน (Immobilization)

ข. ใช้เวลาในการถ่ายภาพให้สั้นที่สุด โดยใช้ฟิล์มที่มีความไวสูงหรือใช้อินเทนสิไฟอิง สกรีน (Intensifying screen) ที่ความไวสูง

2.2.1.5 อินเทนสิไฟอิง สกรีน ความไม่คมชัดของภาพที่เกิดจากอินเทนสิไฟอิง สกรีน มีหลายสาเหตุ คือ

ก. จากองค์ประกอบของสกรีน คือ สกรีนประกอบด้วยผลึกของสารเรืองแสง สกรีนที่มีความไวมากผลึกสารเรืองแสงมีขนาดใหญ่ขึ้นและฉาบด้วยสารเรืองแสงหนาขึ้น ดังนั้นตัวผลึกเองจะปรากฏเป็นเงาบนภาพได้ แม้ว่าผลึกนี้จะเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นแต่เมื่อรวมกันมาก ๆ ก็จะปรากฏเป็นเงาซึ่งทำลายความคมชัดได้นอกจากนี้ผลึกสารเรืองแสงของอินเทนสิไฟอิงสกรีน แผ่นหน้าและแผ่นหลังที่อยู่ไม่ตรงกันทำให้เกิดภาพเหลื่อมของผลึกหน้าและผลึกหลัง ภาพที่ได้จึงมีเงาเหลื่อม (Parallax blurring) ภาพจึงขาดความคมชัด ดังภาพประกอบที่ 2.5 โดยเฉพาะถ้าเอียงลำแสงเกิน 25 องศา



ภาพประกอบที่ 2.5 การเกิดภาพเหลื่อม

ข. จากสาเหตุภายนอก เช่น ฟิล์มกับสกรีนไม่แนบกันในคาสเสท ทำให้ฟิล์มรับแสงจากสกรีนไม่สม่ำเสมอ ความชัดเจนจึงไม่เท่ากัน หรือเนื่องจากรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่อยู่ในรูปแบบเดียวกันคือมีกำลังทะลุทะลวงไม่เท่ากัน ที่มีกำลังทะลุทะลวงต่ำจะถูกดูดซึมไปก่อนที่จะถึงสกรีน บางส่วนผ่านไปถึงสกรีนได้ สกรีนจึงเปล่งแสงให้ฟิล์มไม่สม่ำเสมอกัน ความชัดเจนของภาพจึงไม่เท่ากัน

ดังนั้นถ้าต้องการภาพที่มีความชัดเจนของรายละเอียดควรใช้ นันสกรีนฟิล์ม ซึ่งต้องใช้เวลาในการถ่ายนานเสี่ยงต่อการเกิดภาพไหวได้เพราะไม่มีสกรีนเป็นตัวผลิตแสงธรรมดาช่วย ใช้รังสีเอกซ์โดยตรงเพียงอย่างเดียวจึงต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสม

2.2.2 ความดำของภาพบนแผ่นฟิล์ม (Density) หมายถึง ความดำของภาพที่ปรากฏบนฟิล์ม เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีเอกซ์กระทบกับสารเงินของฟิล์ม เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มจะเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะเงินเล็ก ๆ สีดำ ส่วนไหนของฟิล์มได้รับรังสีเอกซ์มากก็จะดำมาก ส่วนไหนรับน้อยก็จะดำน้อย ส่วนไหนไม่ถูกเลยก็จะขาว ความดำของฟิล์มจึงขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีเอกซ์ที่ฟิล์มได้รับ ทั้งนี้จะต้องล้างฟิล์มโดยวิธีมาตรฐานจึงจะได้ผลแน่นอน ความดำของภาพใช้วัดด้วยเครื่องเดนสิโตมิเตอร์(Densitometer) หรือหาได้จากหลักที่ว่า

$$D = \log \frac{I_i}{I_t}$$

เมื่อ D คือ ค่าความดำ

I_i คือ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบฟิล์ม

I_t คือ ความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านฟิล์ม

ภาพรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยควรมีค่าความดำของภาพอยู่ในช่วง 0.2 – 2 ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ต้องการตรวจ สาเหตุที่เกี่ยวข้องกับความดำของภาพ คือ

2.2.2.1 กิโลโวลเตจ (Kilovoltage) ถ้าค่ากิโลโวลเตจสูงภาพจะดำเพราะเมื่อใช้กิโลโวลเตจสูงขึ้นอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีเอกซ์จะมีมาก สามารถผ่านไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้มาก ภาพจึงมีความดำภาพรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยมักจะใช้ไม่เกิน 80 กิโลโวลเตจ ถ้าใช้เกินกว่านี้จะเพิ่มรังสีกระจัดกระจายทำให้ภาพฝ้ามัวมีความดำเกินความต้องการแต่ช่วยลดรังสีกระจัดกระจายได้โดยใช้กริดหรือใช้ air gap technique

2.2.2.2 มิลลิแอมแปเรจ (milliamperage , mA) ถ้ามิลลิแอมแปเรจสูงภาพจะดำเพราะค่ามิลลิแอมแปเรจเป็นตัวควบคุมปริมาณรังสีในหนึ่งหน่วยเวลา

2.2.2.3 ระยะเวลาในการถ่ายภาพ(Exposure time) ถ้าใช้เวลาในการถ่ายภาพนานภาพจะดำเพราะเพิ่มเวลาของการทำปฏิกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับฟิล์มได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการถ่ายภาพสัมพันธ์กับค่ามิลลิแอมแปเรจ-เซคกัน (mAs) คือถ้าต้องการลดเวลาในการถ่ายภาพให้เพิ่มค่ามิลลิแอมแปเรจ เพื่อให้ฟิล์มได้รับปริมาณรังสีเท่าเดิม เช่น

ก. ใช้ กระแส 100 mA เวลา 0.1 s ค่า mAs = 100 x 0.1 = 10

ข. ใช้ กระแส 400 mA เวลา 0.025 s ค่า mAs = 400 x 0.025 = 10

จากค่าทั้งสองได้ปริมาณรังสี 10 เท่ากัน แต่เพิ่มลดเวลาได้ตามความต้องการโดยเพิ่มหรือลดค่า mA ให้สัมพันธ์กัน ได้เป็นหลักดังนี้

$$I_1 s_1 = I_2 s_2$$

เมื่อ I_1 คือ มิลลิแอมแปเรจเดิม

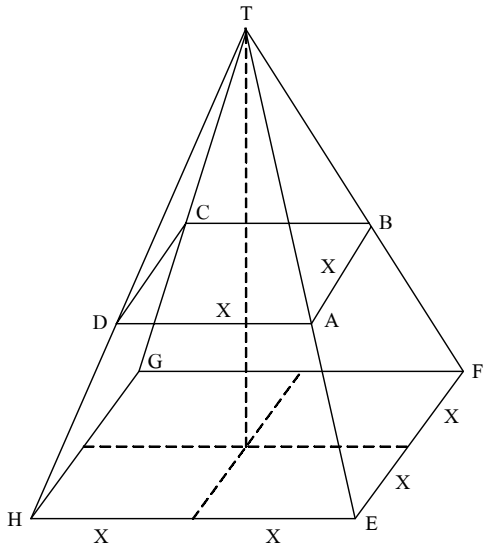
I_2 คือ มิลลิแอมแปเรจใหม่

s_1 คือ มิลลิแอมแปเรจเดิม

s_2 คือ มิลลิแอมแปเรจใหม่

ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์เมื่อต้องการใช้เวลาในการถ่ายภาพสั้นๆ เลี่ยงการเกิดภาพไหว

2.2.2.4 ระยะทาง ถ้าใช้ระยะทางจากโฟกัสมายังฟิล์มยาวภาพจะขาวเพราะรังสีเอกซ์เมื่อออกจากโฟกัสจะบานปลายออกทำให้ปริมาณรังสีซึ่งมีค่าเท่าเดิมกระจายไปบนพื้นที่ที่กว้างขึ้น ความเข้มของรังสีจึงลดลง



ภาพประกอบที่ 2.6 การเปรียบเทียบความเข้มของแสงโดยใช้กฎกำลังสองผกผัน

จากภาพประกอบที่ 2.6 ให้ T เป็นจุดกำเนิดแสงโดยจำกัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แล้วบานปลายออกไปโดยแบ่งเป็น 2 ระดับคือระดับสี่เหลี่ยมจัตุรัส ABCD และ EFGH โดยอยู่ในแนวกึ่งกลางของลำแสง สมมติให้ระดับ EFGH อยู่ห่างจาก T เป็น 2 เท่าของระดับ ABCD ดังนั้นเส้นขอบของ EFGH เป็น 2 เท่าของ ABCD เช่นด้าน HE เป็น 2 เท่าของด้าน DA เนื่องจากสามเหลี่ยม THE และ TDA คล้ายกันเพราะฉะนั้นด้านที่คล้ายกันจะเป็นอัตราส่วนกันสมมติว่าด้านแต่ละด้านของ ABCD มีความยาว X ดังนั้นด้านของ EFGH ยาวเท่ากับ 2X

พื้นที่ของระดับ ABCD = $X * X = X^2$

ดังนั้น พื้นที่ของระดับ EFGH = $2X * 2X = 4X^2$

หรือ พื้นที่ของระดับ EFGH เป็น 4 เท่าของพื้นที่ของระดับ ABCD

สรุปได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า พื้นที่จะขยายเป็น 4 เท่า ทำให้ความเข้มของรังสีลดลงเหลือ $\frac{1}{4}$ เป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน คือ ความเข้มหรือปริมาณรังสีในหนึ่งหน่วยเวลาจะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสอง ทั้งนี้ต้องให้แฟกเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมีค่าคงที่ เปลี่ยนแปลงเฉพาะระยะทางเท่านั้น

$$\frac{I}{i} = \frac{d^2}{D^2}$$

เมื่อ i คือ ปริมาณรังสีในหนึ่งหน่วยเวลาระยะที่ 1
I คือ ปริมาณรังสีในหนึ่งหน่วยเวลาระยะที่ 2
d คือ ระยะทางจากโฟกัสช่วงที่ 1
D คือ ระยะทางจากโฟกัสช่วงที่ 2

2.2.2.5 ความหนาและความหนาแน่น ถ้าสิ่งที่นำมาถ่ายภาพรังสีมีความหนามากหรือความหนาแน่นมากภาพที่ได้จะมีความดำน้อย แต่ถ้าสิ่งที่นำมาถ่ายภาพรังสีมีความหนาน้อยหรือความหนาแน่นน้อยภาพที่ได้จะมีความดำมาก โดยเปรียบเทียบกันเมื่อให้ค่าปริมาณรังสีที่เท่ากัน

2.2.3 ความแตกต่างระหว่างความขาวและความดำบนแผ่นฟิล์ม (Contrast) หมายถึง ลักษณะโทนสีที่ปรากฏถ้าคอนทราสดีจะแยกให้เห็นส่วนต่าง ๆ ของภาพชัดเจนทำให้ภาพมีคุณภาพดี

2.2.3.1 ประเภทของคอนทราสแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. คอนทราสต่ำ (Low contrast) หมายถึง ความขาวและความดำบนแผ่นฟิล์มแตกต่างกันน้อย สมมติถ้านำความขาวและความดำของแต่ละแห่งบนฟิล์มมาวางเรียงกันโดนเริ่มจากขาวแล้วเข้มขึ้นเป็นสีเทาแล้วค่อย ๆ เข้มขึ้นจนเป็นสีดำก็จะได้ระยะทางยาวมาก เพราะความแตกต่างของแต่ละช่วงน้อย

ข. คอนทราสสูง (High contrast) หมายถึง ความขาวและความดำบนแผ่นฟิล์มแตกต่างกันมาก สมมติถ้านำความขาวและความดำของแต่ละแห่งบนฟิล์มมาวางเรียงกันโดยเริ่ม

จากขาวแล้วเข้มขึ้นเป็นสีเทาแล้วค่อย ๆ เข้มขึ้นจนเป็นสีดำก็จะได้ระยะทางสั้น เพราะแต่ละช่วงมีความแตกต่างมาก

2.2.3.2 คอนทราสของภาพรังสีเรียกว่า Radiographic contrast เกิดขึ้นเนื่องจาก

ก. Subject contrast หมายถึง คอนทราสที่มีผลจากตัววัตถุหรือตัวผู้ป่วยเองคือมีความหนาบาง และความหนาแน่นของส่วนประกอบภายในไม่เท่ากัน รังสีเอกซ์จึงผ่านไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้ไม่เท่ากันทำให้เห็นความแตกต่างของส่วนต่างๆบนฟิล์มได้ โดยมีสาเหตุมาจาก

1. คุณภาพของรังสี หมายถึง ความสามารถในการทะลุทะลวงของรังสีเอกซ์ คือถ้าใช้กิโลโวลเตจต่ำความสามารถในการทะลุทะลวงน้อย ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของภาพชัดเจน เรียกว่า ภาพมีคอนทราสสูง แต่ถ้าใช้กิโลโวลเตจสูงความสามารถในการทะลุทะลวงมาก รังสีเอกซ์ทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้ไม่ต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของภาพน้อย เรียกว่า ภาพมีคอนทราสต่ำ

2. รูปร่างลักษณะของวัตถุ เนื่องจากสิ่งที่นำมาถ่ายภาพรังสี ซึ่งอาจมีความหนาและความหนาแน่นไม่เท่ากัน รังสีเอกซ์จึงทะลุทะลวงผ่านไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มไม่เท่ากันทุกส่วน ทำให้สามารถแยกความแตกต่างภายในของวัตถุได้

3. รังสีกระจัดกระจาย เป็นรังสีส่วนเกินทำให้ภาพเสียคอนทราสเพราะเกิดความฝ้ามัว แต่สามารถขจัดได้โดยใช้เครื่องมือสำหรับขจัดรังสีกระจัดกระจาย

4. ความฝ้ามัว ทำให้ภาพเสียคอนทราสอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือรังสีกระจัดกระจายที่ทำปฏิกิริยากับฟิล์มก่อนหรือหลังการถ่ายภาพ

ข. film contrast หมายถึง คอนทราสที่มีผลจากขบวนการบันทึกภาพได้แก่ชนิดของอินเทนสิไฟอิง สกรีนและการล้างฟิล์ม คือ

1. ฟิล์มแต่ละชนิดจะให้คุณภาพและคอนทราสของภาพไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอิมัลชัน ซึ่งมีความไวไม่เท่ากัน แบ่งเป็นชนิดที่ให้คอนทราสต่ำ ให้คอนทราสปานกลางและให้คอนทราสสูง เพื่อให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

2. อินเทนสิไฟอิง สกรีน เมื่อได้รับรังสีเอกซ์จะให้แสงสีน้ำเงินทำปฏิกิริยากับฟิล์ม 98 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่านี้ โดยใช้รังสีเอกซ์เพียง 2 เปอร์เซ็นต์หรือน้อยกว่านี้ ดังนั้นการบันทึกภาพส่วนใหญ่จึงอาศัยแสงสีน้ำเงินจากอินเทนสิไฟอิง สกรีน คุณภาพและคอนทราส

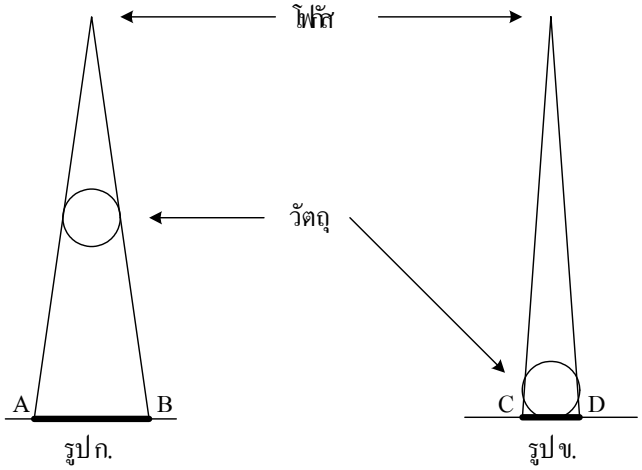
ของภาพจึงขึ้นอยู่กับชนิดของอินเทนสิไฟอิง สกรีน ถ้าอินเทนสิไฟอิง สกรีน มีความไวมากจะให้ภาพที่มีคอนทราสสูง

3. การล้างฟิล์ม มีผลต่อคอนทราส คือ ถ้าน้ำยาล้างฟิล์มมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งจะให้คอนทราสสูงกว่าเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งโดยต้องใช้เวลา และอุณหภูมิมาตรฐานเดียวกัน นอกจากนี้การเขย่าฟิล์มในขณะล้างจะช่วยให้ภาพมีคอนทราสดีเพราะน้ำยาทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้ทั่วถึง

2.2.4 ความผิดเพี้ยนของภาพบนแผ่นฟิล์ม (Distortion) หมายถึง ภาพที่ได้มีขนาดหรือรูปร่างผิดไปจากของจริง ภาพจึงมีคุณภาพไม่สมบูรณ์ สาเหตุเกิดจากการวางวัตถุ ฟิล์มและหลอดเอ็กซเรย์ไม่สัมพันธ์กันและไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ดิสทอชันที่มีผลต่อคุณภาพของภาพรังสี คือ

2.2.4.1 ความเพี้ยนของขนาด (Size distortion) หมายถึง ภาพที่มีขนาดใหญ่กว่าของจริงมีเงาขยายมากทำให้ภาพขาดความคมชัด สาเหตุที่เกี่ยวข้อง คือ

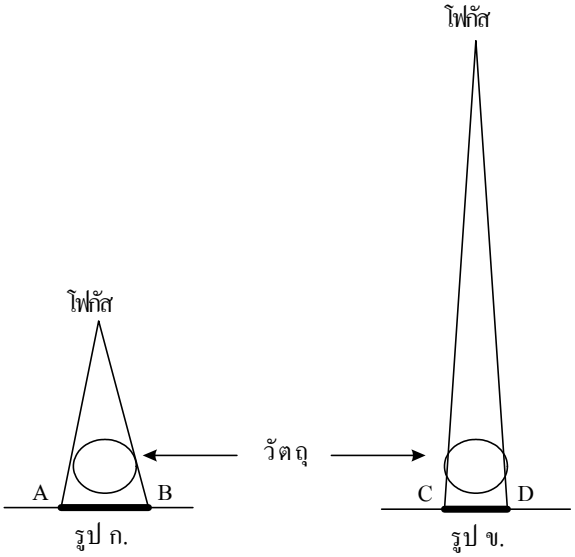
ก. ระยะจากวัตถุมายังฟิล์ม(OFD) เนื่องจากรังสีเอกซ์เดินทางเป็นเส้นตรงจากโฟกัสแล้วบานปลายออกไปทุกทิศทางเป็นรูปกรวย ดังนั้นถ้านำวัตถุเข้าใกล้ต้นกำเนิดแสงขนาดเงาของภาพจะใหญ่ขึ้น แต่ถ้านำวัตถุใกล้หรือชิดกับฟิล์มขนาดเงาของภาพจะใขนาดใกล้เคียงหรือเท่ากับของจริง ดังภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 การเปรียบเทียบภาพที่มีขนาดผิดไปจากของจริงเนื่องจาก OFD

จากภาพประกอบที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่มีขนาดผิดไปจากของจริง เนื่องจาก OFD จากรูป ก. วางวัตถุไว้ใกล้กับโฟกัสหรือต้นกำเนิดแสงแต่ห่างจากฟิล์ม ภาพที่ได้จากรูป ก. จะมีขนาดใหญ่กว่าภาพที่ได้จากรูป ข. ซึ่งวางวัตถุไว้ห่างจากโฟกัสแต่ชิดกับฟิล์ม ทั้งนี้ต้องให้ขนาดของโฟกัสเท่ากัน ขนาดของวัตถุเท่ากัน และระยะจากโฟกัสกับฟิล์มเท่ากัน สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ภาพมีขนาดเท่าของจริงต้องวางวัตถุให้ชิดกับฟิล์ม

ข. ระยะจากโฟกัสมายังฟิล์ม(FFD) คือ ถ้าใช้ระยะโฟกัสมายังฟิล์มยาวภาพที่ได้จะมีขนาดเท่าของจริง

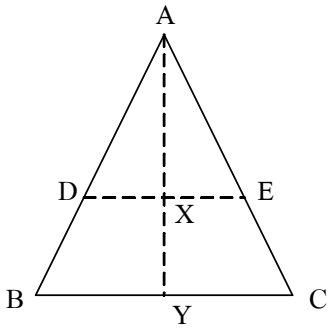


ภาพประกอบที่ 2.8 การเปรียบเทียบภาพที่มีขนาดผิดไปจากของจริงเนื่องจาก FFD

จากภาพประกอบที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่มีขนาดผิดไปจากของจริง เนื่องจาก FFD จากรูป ก. ใช้ระยะจากฟิล์มมายังโฟกัสสั้นภาพที่ได้จึงมีขนาดใหญ่กว่าภาพที่ได้จากรูป ข. ซึ่งใช้ระยะโฟกัสมายังฟิล์มยาว

สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ภาพมีขนาดเท่าของจริงต้องใช้ระยะจากโฟกัสมายังฟิล์มยาว

หลักการคำนวณหาการขยายของภาพ อาศัยหลักดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.9 การคำนวณหาการขยายของภาพ

$$\frac{BC}{DE} = \frac{FFD}{OFD}$$

เมื่อ A คือ ต้นกำเนิดแสง
DE คือ ความกว้างของวัตถุ
BC คือ ความกว้างของภาพ
AX คือ ระยะจากต้นกำเนิดแสงไปยังวัตถุ (OFD)
AY คือ ระยะจากต้นกำเนิดแสงไปยังภาพ (FFD)

2.2.4.2 ความเพี้ยนของรูปร่าง (Shape distortion) หมายถึง ภาพรังสีที่มีรูปร่างผิดไปจากของจริง สาเหตุเนื่องจากการวางวัตถุ ฟิล์ม และหลอดเอ็กซเรย์ไม่สัมพันธ์กัน เช่น เอียงหลอดเอ็กซเรย์ หรือเอียงผู้ป่วย ทำให้ภาพมีลักษณะยืดยาวเกินความเป็นจริง แต่บางครั้งดิสทอชันมีความจำเป็นต่อการถ่ายภาพรังสีเพื่อเลี่ยงไม่ให้เงาของส่วนที่ต้องการถูกบังโดยเงาของส่วนอื่นๆ

สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ภาพมีความคมชัดและคุณภาพดีต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดดิสทอชันของขนาดและรูปร่าง โดย

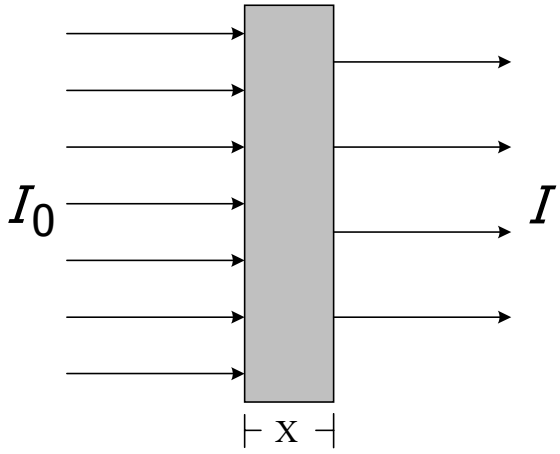
ก. วางวัตถุให้ชิดกับฟิล์ม

ข. ใช้ระยะจากโฟกัสไปยังฟิล์มยาว

ค. ให้หลอดเอ็กซเรย์ วัตถุ และฟิล์มอยู่ในแนวเดียวกันไม่เอียงสิ่งหนึ่งสิ่งใด

2.3 การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสสาร

การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสสารเป็นฟังก์ชันแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ขึ้นกับความหนาแน่นของตัวดูดกลืนและระยะทางที่รังสีเอกซ์พุ่งผ่าน ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert)



ภาพประกอบที่ 2.10 การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสสาร

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

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์ก่อนผ่านวัตถุ

I คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์หลังผ่านวัตถุ

μ' คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล มีค่าเท่ากับ $\frac{\mu}{\rho}$ มีหน่วยเป็น $\frac{cm^2}{g}$

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็น $\frac{g}{cm^3}$

X คือ ความหนาของวัตถุ มีหน่วยเป็น cm