บทที่ 3

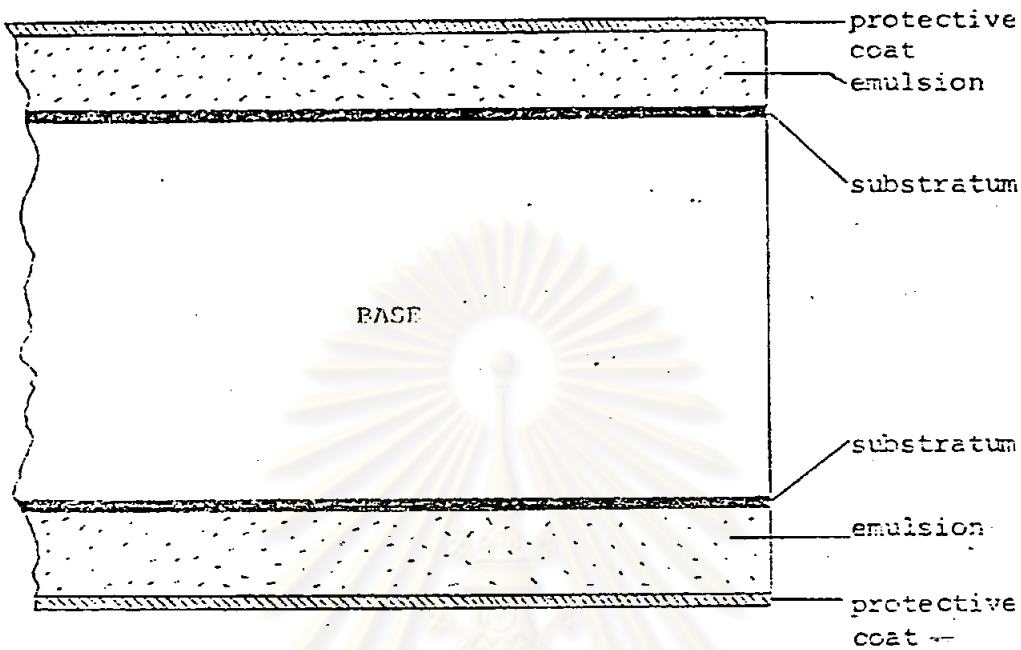
กระบวนการบันทึกภาพ

รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เมื่อผ่านชิ้นงานไปแล้วสามารถบันทึกไว้ได้โดยใช้ 1. แผ่นบันทึกภาพถาวร 2. แผ่นบันทึกภาพชั่วคราว 3. เครื่องวัดอ่านออกมา 4. เครื่องมือวัดออกมาเป็นกราฟ โดยส่วนมากแล้วการถ่ายภาพด้วยรังสี จะใช้แผ่นบันทึกภาพถาวร ซึ่งได้แก่ฟิล์มรังสีเอกซ์ กระดาษสำหรับถ่ายภาพด้วยรังสี หรือกระดาษที่มีความไวต่อประจุไฟฟ้า ซึ่งใช้ในวิธีซีรอเรดิโอกราฟฟิก (Xeroradiographic) ส่วนแผ่นบันทึกภาพชั่วขณะได้แก่ จอภาพฟลูออเรสเซนต์ หรือด้วยตัวขยายภาพ (Fluorescent screen or image amplifier) นอกจากจะให้ภาพที่แตกต่างจากแผ่นบันทึกภาพถาวรและยังบันทึกภาพชั่วขณะภาพที่เกิดแบบนี้เรียกว่า ภาพที่เกิดจากการเรืองแสง (fluoroscopic images) อุปกรณ์บันทึกอีกอย่างหนึ่งจะวัดปริมาณรังสีออกมาเป็นเส้นหรือเป็นกราฟ ไม่ได้ออกมาเป็นภาพ แต่ในปัจจุบันฟิล์มรังสีเอกซ์เป็นวัสดุบันทึกภาพที่นิยมใช้กันมากที่สุด (แต่ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้กระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพ)

3.1 วัสดุที่ใช้ในการบันทึกภาพ

3.1.1 [5] ฟิล์มรังสีเอกซ์

ฟิล์มรังสีเอกซ์เป็นแผ่นบันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีไว้ได้อย่างถาวร ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลายฟิล์มที่บันทึกภาพของชิ้นงานไว้ และได้ผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว เรียกว่า "ราดิโอกราฟ" (Radiograph) ส่วนประกอบของเนื้อฟิล์มแบ่งออกเป็นชั้นๆได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1[5] แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มรังสีเอกซ์

3.1.1.1 ชั้นกลาง (base) เป็นแผ่นพลาสติกบางใส ทำด้วยเซลลูโลสไทรอาซิเตท (cellulose triacetate) หรือโพลีเอสเตอร์ (polyester) มีความหนาประมาณ 0.8 มม. หรือน้อยกว่านี้ลงมา เป็นแกนกลางที่จะให้ส่วนอื่นๆ ยึดเกาะ

3.1.1.2 ชั้นนอกสุด เป็นส่วนของชั้นเจลาติน (gelatin) บางๆ ทำหน้าที่ปกคลุมชั้นถัดลงมา เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อชั้นอิมัลชัน (emulsion)

3.1.1.3 ชั้นอิมัลชัน (emulsion) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากชั้นเจลาตินเข้าไป ประกอบด้วยผลึกของเงินโบรไมด์ (silver bromide, AgBr) ผสมกับเจลาติน ซึ่งมักมีเงินไอโอไดด์ (silver iodide, AgI) ผสมอยู่เล็กน้อยเพื่อเพิ่มความไวของฟิล์ม ชั้นนี้เป็นชั้นที่บันทึกภาพ มีความหนาประมาณ 0.025-0.130 มิลลิเมตร

3.1.1.4 ชั้นซับสตราตรัม (substratum) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดชั้นอิมัลชันเข้ากับแผ่นพลาสติกใสที่เป็นแกนกลาง

ลักษณะของฟิล์มที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 เป็นฟิล์มแบบสองหน้า"Double coated film" ทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการถ่ายน้อยลงกว่าฟิล์มแบบหน้าเดียวถึง 2 เท่า

3.1.1.5 ชนิดของฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี

ฟิล์มที่ใช้งานทางด้านถ่ายภาพด้วยรังสี แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามขนาดผลึกเงินโบรไมด์

1. ฟิล์มเม็ดละเอียดมาก (Ultra Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ละเอียดมาก จึงให้ภาพที่มีรายละเอียดดีมาก มีความไวช้ามาก (very slow speed) จึงต้องใช้เวลาถ่ายภาพนาน

2. ฟิล์มเม็ดละเอียด(Fine Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ละเอียด ให้รายละเอียดได้ดี มีความไวช้า (slow speed)

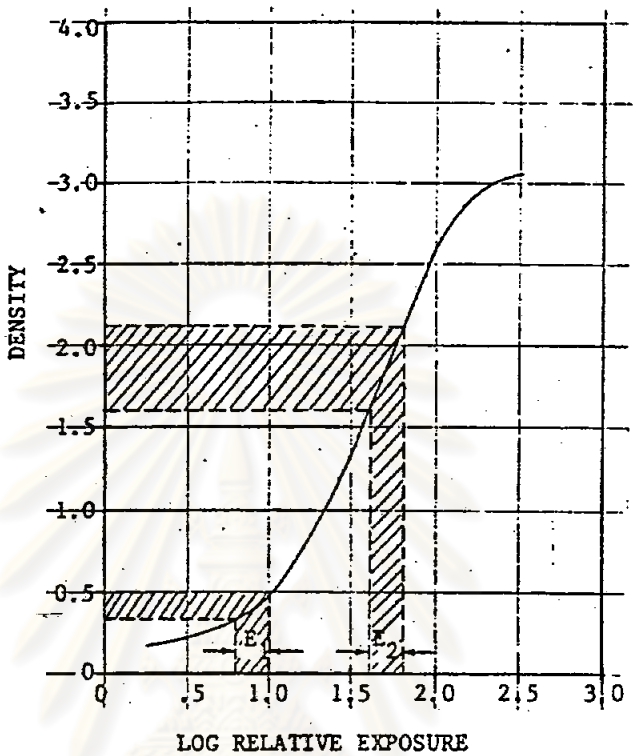
3. ฟิล์มเม็ดปานกลาง (Medium Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์ปานกลาง มีความไวปานกลาง (medium speed)

4. ฟิล์มเม็ดหยาบ (Coarse Grain) เป็นฟิล์มที่มีผลึกของเงินโบรไมด์หยาบมีความไวสูง (high speed) ให้รายละเอียดไม่ดีเท่าฟิล์มทั้งสามชนิดแรก แต่ใช้เวลาในการถ่ายน้อยกว่า ฟิล์มสามชนิดแรก

ในทางปฏิบัติถ้าเป็นงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากมายนัก จะนิยมใช้ฟิล์มที่มีความไวสูง เพื่อประหยัดเวลาในการถ่าย แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องการรายละเอียดมากๆ จึงจะเลือกใช้ฟิล์มที่มีผลึกเม็ดเงินโบรไมด์ที่ละเอียดมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.6 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม (Film Characteristic Curve)



รูปที่ 3.2[1] กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม

กราฟที่ใช้แสดงคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์ม เรียกว่า H & D Curve ซึ่งย่อมาจาก Hurter & Driffield Curve เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์ม (film density) กับค่าของล้อกรีเลทีฟ เอ็กซ์โพเชอร์(log ralative exposure)

ความดำของฟิล์มเป็นค่าที่วัดได้โดยการส่องแสงผ่านฟิล์ม แล้วหาอัตราส่วนของความเข้มของแสงก่อนผ่านฟิล์ม ต่อความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านฟิล์ม ในเทอมของค่าล้อก (log) เครื่องวัดความดำของฟิล์มเรียกว่า เดนซิโตมิเตอร์ (densitometer)

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของแสงก่อนผ่านฟิล์ม

I_1 คือ ความเข้มของแสงเมื่อผ่านฟิล์ม

D คือ ค่าความดำของฟิล์ม

จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ว่า

$$D = \log \frac{I_0}{I_1} \quad ....3.1^{(1)}$$

จากรูปที่ 3.2 ค่าของล้อกรีเลทีฟเอกซ์โพเชอร์ นั้นคำว่า เอกซ์โพเชอร์ หมายถึง ผลคูณของค่าที่ควบคุมความเข้มรังสีกับเวลาในการถ่ายภาพ

ในการถ่ายภาพของรังสีเอกซ์ ค่ากระแส(ในเทอมของมิลลิแอมแปร์)เป็นค่าที่ควบคุมความเข้มรังสีเอกซ์ ดังนั้นค่าเอกซ์โพเชอร์ จึงมีหน่วยเป็น "มิลลิแอมแปร์-นาที (milliampere-minute, mA-min) หรือ "มิลลิแอมแปร์-วินาที(milliampere-second, mA-sec)

เมื่อ I คือ ค่ากระแสของหลอดรังสีเอกซ์ (mA)

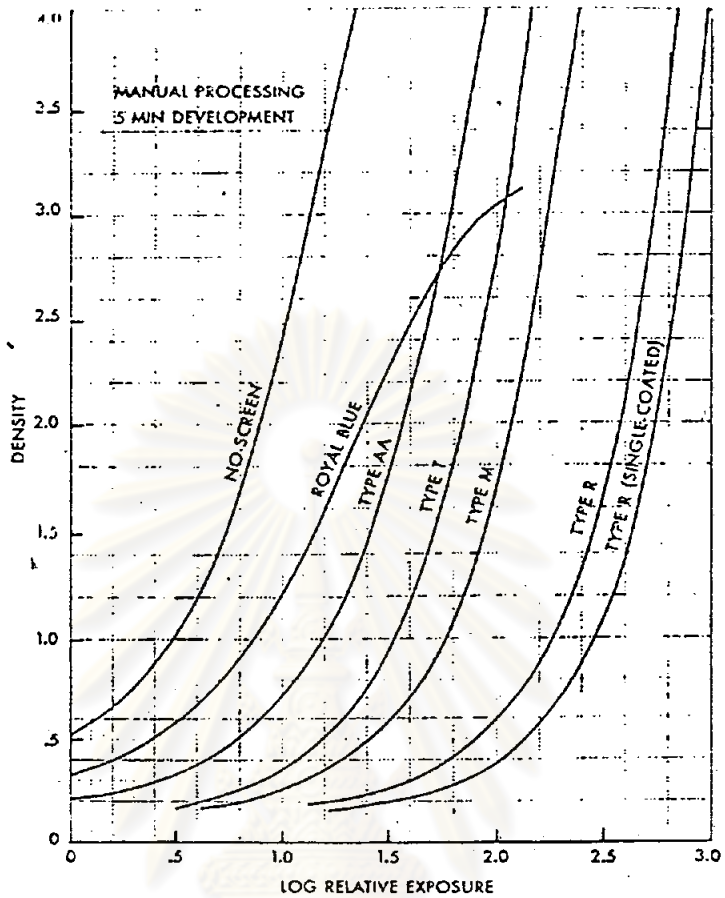
t คือ เวลาในการถ่ายภาพ (min,sec)

E คือ ค่าเอกซ์โพเชอร์ (mA-min,mA-sec)

จะได้ว่า

$$E = It \quad ....3.2^{(1)}$$

จากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่า ค่าเอกซ์โพเชอร์ในช่วง E_1 เมื่อเทียบกับช่วง E_2 ในช่วง E_2 จะให้ความดำที่แตกต่างกันมากกว่า เรียกว่า ภาพที่ให้คอนทราสต์ (contrast) สูงกว่า (คอนทราสต์ หมายถึง ความแตกต่างของความดำบนฟิล์ม) ดังนั้น การถ่ายภาพโดยใช้ค่าเอกซ์โพเชอร์ ในช่วง E_2 จึงดีกว่าในช่วง E_1 เพราะให้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพดีกว่า



รูปที่ 3.3[5] กราฟคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มรังสีเอกซ์ ของบริษัทโกดัก ชนิดต่างๆ

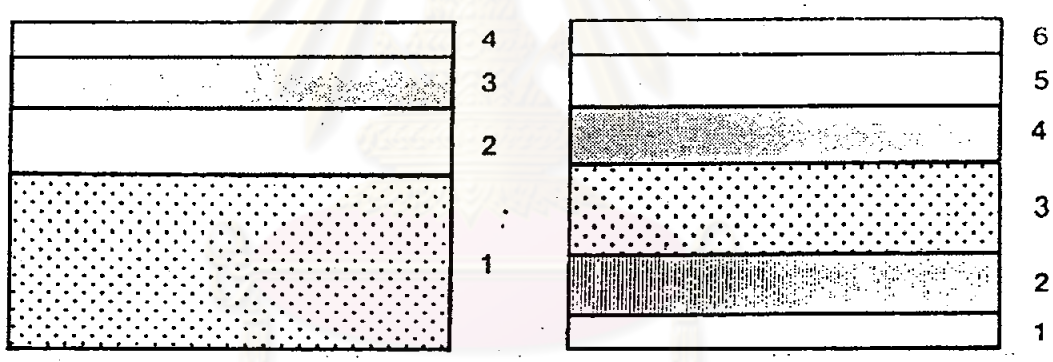
3.1.2 กระดาษอัดรูป[2] (photographic paper)

กระดาษอัดรูปมีสารไวแสงที่มีโครงสร้างคล้ายกับฟิล์ม แต่ว่าความไวแสงของกระดาษอัดรูปจะต่ำกว่ามาก เนื้อภาพละเอียดกว่า และมีความไวต่อแสงสีจำกัดอยู่แค่เพียงแสงสีน้ำเงินเท่านั้น จึงสามารถทำงานในห้องมืดที่มีไฟนิรภัยสีส้มได้ สารไวแสงของกระดาษอัดรูปส่วนใหญ่ใช้เกลือเงินโบรไมด์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ดังนั้นมักจะเรียกกระดาษอัดรูปว่ากระดาษโบรไมด์ อันที่จริงแล้วกระดาษอัดรูปมีทั้งแบบที่มีสารไวแสงที่ใช้เกลือเงินคลอไรด์ เกลือเงินโบรไมด์ และทั้งสองอย่างปนกัน สารไวแสงนี้ฉาบอยู่บนกระดาษสีขาวหรือกระดาษที่มีสี หรือกระดาษที่อาบผิวด้วยยางหรือพลาสติกโปร่งแสงลินิน เป็นต้น

3.1.2.1 ลักษณะโครงสร้างของกระดาษอัดรูป

ลักษณะโครงสร้างของกระดาษอัดรูป ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ๆตามลักษณะของฐานรองรับภาพ ดังนี้

ก. กระดาษอัดรูปแบบธรรมดา (รูปที่ 3.4 ก.) ฐานภาพทำด้วยกระดาษเยื่อไม้ที่มีคุณภาพสูง (ก.1) ผิวหน้าฉาบไว้ด้วยแบริตาหรือแบเรียมซัลเฟต (ก.2) เพื่ออุดรูกระดาษทำให้พื้นผิวเรียบ และเพิ่มความสามารถในการสะท้อนแสงที่ผิวให้มากยิ่งขึ้น ชั้น (ก.3) เป็นสารไวแสง ส่วนชั้นบนสุด (ก.4) เป็นชั้นที่ฉาบไว้ด้วยเจลาตินเพื่อป้องกันริ้วรอยที่อาจจะเกิดขึ้นจากการขีดข่วน



ก. ข.

รูปที่ 3.4[2] รูปแสดงการเปรียบเทียบกระดาษขยายภาพแบบธรรมดา ก. และแบบสมัยใหม่ที่ฐานภาพเป็นกระดาษอาบพลาสติก ข.

ข. กระดาษอัดรูปสมัยใหม่ ที่ฐานภาพเป็นกระดาษอาบพลาสติกพวกโพลิเอธิลีน (polyethylene)(ข.1) คือชั้นที่ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (ข.2) ชั้นพลาสติก (ข.3) ชั้นกระดาษ (ข.4) พลาสติก (ข.5) เป็นชั้นของสารไวแสง (ข.6) เจลาตินที่ป้องกันการขีดข่วน กระดาษแบบนี้ มักใช้รหัสย่อว่าRC paper (RC ย่อมาจากคำว่า resin coated) กระดาษแบบนี้จะใช้เวลาในการชะน้ำสั้น เพราะน้ำซึมเข้าไปไม่ถึงกระดาษ และเมื่อแห้งแล้วจะไม่โค้งงอเหมือนกระดาษรุ่นเก่า

3.1.2.2 การเลือกใช้กระดาษอัดรูป ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การเลือกใช้กระดาษอัดรูป ควรจะพิจารณาถึงคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการ คือ

3.1.2.2.1 ความไวแสง ความไวแสงจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารไวแสง ซึ่งอาจจำแนกได้ เป็น 3 พวก คือ

ก. สารไวแสงที่ประกอบด้วยเกลือเงินคลอไรด์อย่างเดียว เช่นกระดาษอัดรูปพวก ลูเพกซ์ (lupex) และคอนแทคโทน (contactone) ของบริษัทอ๊กฟ่า AZO ของบริษัทโกดัก เป็นต้น กระดาษพวกนี้มีความไวแสงต่ำ

ข. สารไวแสงที่ประกอบด้วยเกลือเงินคลอไรด์โบรไมด์ หมายความว่าในผลึกแต่ละผนึกจะประกอบด้วยอนุภาคของเงินคลอไรด์และเงินโบรไมด์อยู่รวมกัน เช่น กระดาษพวก รอยัล โบร์เมสโก (Royal Bromesko) ของบริษัทโกดัก และพอร์ติกา (Portriga Rapid) ของบริษัทอ๊กฟ่า เป็นต้น กระดาษพวกนี้จะมีความไวแสงปานกลาง

ค. สารไวแสงที่ประกอบด้วยเกลือเงินโบรไมด์ แต่ไม่ได้หมายความว่า จะมีเฉพาะผลึกเกลือเงินโบรไมด์อย่างเดียว แต่จะมีเกลือเงินไอโอไดด์ผสมอยู่เล็กน้อย เพราะถ้ามีเฉพาะเกลือเงินโบรไมด์อย่างเดียว ความดำของภาพจะไม่สูงเท่าที่ต้องการ กระดาษชนิดนี้จะมีความไวแสงสูง คือจะมีความไวแสงสูงกว่า ชนิดแรก ประมาณ 100 เท่า กระดาษอัดรูปชนิดนี้ ได้แก่ โบรวีรา(Brovira)ของบริษัทอ๊กฟ่า โกดาโบรไมด์ (Kodabromide) ของบริษัทโกดัก เป็นต้น

3.1.2.2.2 สีของภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษอัดรูป จะขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆต่อไปนี้

ก. ชนิดของสารไวแสงสารไวแสงที่ประกอบด้วยเกลือเงินคลอไรด์ คลอโรโบรไมด์ และโบรไมด์ จะให้ภาพที่มีสีดำแกมน้ำตาลแกมเหลือง สีดำแกมน้ำตาล และสีดำเป็นกลางตามลำดับ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าสารไวแสงที่ประกอบด้วยเกลือ

เงินคลอไรด์ จะให้น้ำหนักของสีอุ่น (warm tone) ส่วนพวกเกลือเงินโบรไมด์จะให้น้ำหนักของสีเย็น (cold tone) ส่วนพวกคลอโรโบรไมด์จะให้น้ำหนักของสีอยู่ระหว่างสองชนิดแรก การที่สารไวแสงแต่ละชนิดให้น้ำหนักของภาพต่างกัน เป็นเพราะว่าขนาดของผลึกของเงินในกระดาษพวกเงินโบรไมด์มีขนาดใหญ่จะเห็นเป็นสีดำ ในกระดาษอัดพวกเกลือเงินคลอไรด์จะมีผลึกของเงินเล็กกว่าจึงเห็นเป็นสีน้ำตาล

ข.สีกระดาษซึ่งเป็นฐานรองรับภาพ สีของกระดาษที่นำมาใช้เป็นฐานจะมีอิทธิพลต่อสีของภาพเช่นสีงาช้าง หรือสีครีม จะให้ภาพที่มีสีน้ำตาลแกมเหลือง แต่ถ้าใช้กระดาษสีขาวจะให้ภาพสีดำ เป็นต้น

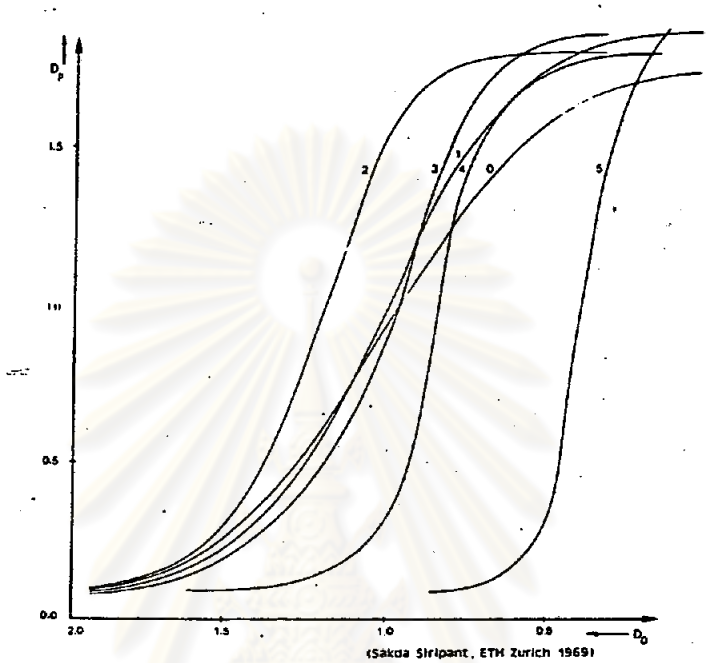
ค.ชนิดของน้ำยาสร้างภาพ (developer) ตัวอย่างเช่น Kodak Velox paper ซึ่งมีสีดำแกมน้ำเงิน(very cold blue black tone)และ Kodabromide paper ซึ่งมีสีดำปกติถ้านำกระดาษสองชนิดนี้ไปล้างในน้ำยาสร้างภาพที่ให้สีของภาพอุ่น(warm tone developer) ภาพถ่ายที่ได้จะมีสีอุ่นแทนที่จะได้สีเย็นเหมือนลักษณะเดิมของกระดาษ แต่ถ้าใช้น้ำยาสร้างภาพ Dektol ล้างกระดาษอัดรูป Kodabromide paper จะได้ภาพออกมาเป็นภาพสีเย็นโดยน้ำหนักสีของภาพจะดำสนิท

3.1.2.2.3 คอนทราสต์ (contrast)

คอนทราสต์ของกระดาษอัดรูปหมายถึงสเกลการฉายแสงที่ต้องใช้เพื่อทำให้ภาพถ่ายมีน้ำหนักสีของภาพจากขาวถึงดำสุด (สเกลของการฉายแสงหมายถึงค่าล้อกของการฉายแสง) คือถ้าสเกลของการฉายแสงของกระดาษอัดรูปชนิดใดสั้นที่สุดกระดาษอัดรูปชนิดนั้นจะมีคอนทราสต์สูงที่สุด คอนทราสต์ของกระดาษอัดรูป มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าขั้นหรือเกรด (grade) กระดาษอัดรูปเกรดสูงและต่ำมีความหมายว่ากระดาษนั้นมีคอนทราสต์สูงหรือต่ำ

กระดาษอัดรูปมักมี 6 เกรด คือ เกรด 0,1,2,3,4, 5, หรือนุ่มมาก (very soft) นุ่ม (soft) พิเศษ (special) ปกติ (normal) แข็ง (hard) และแข็งมาก (very hard) กระดาษอัดรูปทั้ง 6 เกรด

แสดงให้เห็นในรูป 3.5



รูปที่ 3.5[2] กราฟแสดงคอนทราสต์ของกระดาษอัดรูปเกรดต่างๆ

3.1.3 [2] ความดำสูงสุดของกระดาษอัดรูป

ค่าความดำสูงสุดของกระดาษอัดรูปจะมีขอบเขตจำกัด ไม่ว่าจะมีการฉายแสงหรือการสร้างภาพจะนานเท่าใดก็ตาม ค่าความดำสูงสุดของกระดาษอัดรูปที่ได้รับการฉายแสงและสร้างภาพนานเต็มที่ เรียกว่า "ค่าความดำสูงสุด"

ค่าความดำสูงสุดของกระดาษอัดรูปขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของกระดาษ คือเมื่อแสงตกกระทบผิวของกระดาษแล้วจะมีการสะท้อนแสง 3 แบบ คือ

3.1.3.1 แสงสะท้อนที่ผิวของเจลาตินที่ห่อหุ้มผลึก ของเงินอยู่

3.1.3.2 แสงสะท้อนที่ผลึกของเงิน

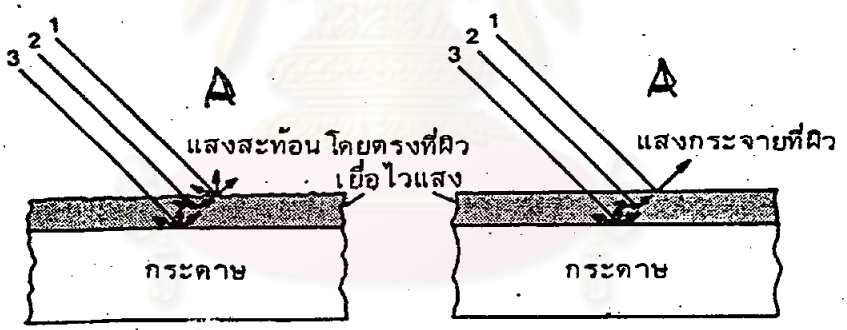
3.1.3.3 แสงส่วนที่เหลือจะสะท้อนที่ผิวของกระดาษหรือที่ชั้นแบเรียมซัลเฟต ผลรวมของปริมาณแสงสะท้อนต่อปริมาณแสงตกกระทบ คือค่าแฟคเตอร์ของการสะท้อน

เมื่อ D คือ ความดำของภาพบนกระดาษ

R คือ ค่าแฟคเตอร์ของการสะท้อน

ได้ว่า $$D = \log \frac{1}{R} \qquad \ldots.3.3^{(2)}$$

ถ้าเพิ่มการฉายแสงบนกระดาษ ปริมาณเงินในภาพจะมากขึ้น ถ้าไม่คิดการสะท้อนแสงจากฐานรองรับ แต่คิดเฉพาะการสะท้อนแสงจากผิวเจลาตินและจากผลึกเดี่ยวๆ ของเงิน ค่าการสะท้อนแสงจากผิวเจลาตินและผลึกเดี่ยวๆนี้ ใช้สำหรับกำหนดขอบเขตของความดำสูงสุดได้



ก.กระดาษผิวด้าน ข.กระดาษผิวมัน

รูปที่ 3.6[2] แสดงการสะท้อนแสงที่ผิวของกระดาษสองแบบที่มีลักษณะของผิวต่างกัน

ค่าการสะท้อนแสงจากผิวของสารไวแสงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผิวของภาพถ่ายการดูภาพถ่ายโดยปกติแล้วแสงจากภาพถ่ายที่เข้าสู่ตาและทำให้มองเห็นภาพอย่างดีนั้นเป็นแสงกระจาย แสงสะท้อนจากกระดาษที่มีผิวมัน จะเป็นแสงสะท้อนแบบตรง ดังนั้นแสงจากผิวกระดาษมันที่เข้าสู่ตา มีแสงกระจายน้อยมากจึงมีความดำสูง ค่าความดำสูงสุดของกระดาษผิวมัน จะมีค่าเกือบ 2.0

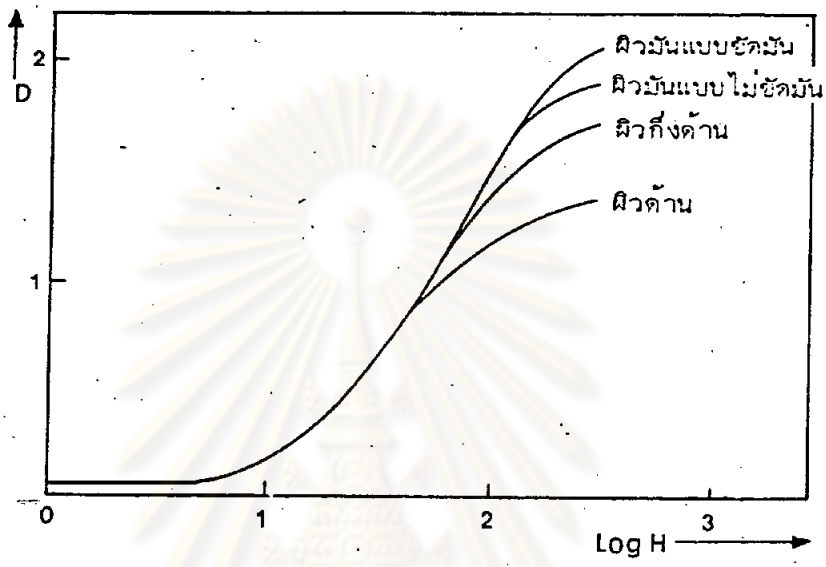
การสะท้อนแสงบนกระดาษผิวด้าน (รูป 3.6 ก.) แสงที่สะท้อนจะเป็นแสงกระจายเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นแสงสะท้อนจากผิวกระดาษรวมกับแสงสะท้อนจากหลึกเงิน จึงผ่านเข้าตามากกว่าของกระดาษมัน (รูปที่ 3.6 ข.) ดังนั้นความดำสูงสุดของกระดาษด้านจึงค่อนข้างต่ำ ส่วนกระดาษพวกกึ่งด้าน จะมีค่าความดำสูงสุดอยู่ระหว่างกระดาษทั้งสองชนิดดังกล่าวแล้ว ตัวเลขที่แสดงค่าความดำสูงสุดของกระดาษ ที่มีพื้นผิวต่างกัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 (2) ค่าความดำสูงสุดของกระดาษอัดรูป ชนิดต่างๆ

ลักษณะพื้นผิวกระดาษ	ความดำสูงสุด
กระดาษผิวมันและขัดมัน	1.85-2.0
กระดาษผิวมันและไม่ขัดมัน	1.80
กระดาษผิวกึ่งด้าน	1.65
กระดาษผิวด้าน	1.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงค่าความดำสูงสุดของกระดาษที่มีพื้นผิวต่างๆกัน ได้แสดงในรูป 3.7



D คือ ความดำบนกระดาษ

H คือ ค่าการฉายแสง = ความเข้มของการส่องสว่าง(ลักซ์)×เวลา (วินาที)

รูปที่ 3.7[2] กราฟแสดงค่าความดำสูงสุดของกระดาษที่มีพื้นผิวต่างๆกัน

3.1.4[2] ลักษณะผิวหน้ากระดาษ

ลักษณะผิวหน้ากระดาษอัดรูป ขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญสองประการ คือ

3.1.4.1 ความหยาบละเอียดของผิวกระดาษ กระดาษมีผิวหน้าหยาบละเอียดไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตกระดาษ อาจจำแนกได้ 3 พวก คือ

ก. กระดาษผิวเรียบละเอียด มักจะมีผิวมันเพราะถูกรีดให้มีผิวเรียบระหว่างกระบวนการผลิต

ข. กระดาษผิวกึ่งเรียบกึ่งหยาบ ได้ถูกขัดผิวให้ไม่เรียบมากนัก

ค. กระดาษผิวหยาบ ถูกขัดสีด้วยลูกกลิ้งผิวหยาบ

3.1.4.2 ความเงา เกิดจากชั้นบางๆ ของเจลาติน ที่ฉาบอยู่ที่ผิวชั้นบนสุดของกระดาษอัดรูป ถ้าเป็นกระดาษที่มีผิวเรียบละเอียดและมัน เมื่อทำให้แห้งด้วยเครื่องขัดมัน ผิวหน้าจะมีความเงาสูงและมีความดำสูงมาก แต่ถ้านำกระดาษที่มีผิวมันไปทำให้แห้งโดยหันด้านเยื่อไวแสงเข้าหาผ้าใบของเครื่องขัดมัน ผิวหน้าของภาพจะด้าน

3.1.5 สีและความหนาของฐานรองรับภาพที่เป็นกระดาษ

สีของกระดาษที่ใช้ทำฐานรองรับภาพมีอิทธิพลต่อช่วงน้ำหนักของสีในภาพถ่ายเช่นสีงาช้างจากอ่อนถึงแก่ หรือสีครีมจะให้น้ำหนักของสีอุ่น(warm tone) ส่วนสีขาวบริสุทธิ์ จะให้น้ำหนักของสีเป็นสีเย็น(cold tone)

ความหนาของกระดาษอัดรูป แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่คือ กระดาษแบบบาง(single weight) และกระดาษแบบหนา(double weight) ซึ่งความหนามีผลต่อการคงทนในการเก็บรักษากระดาษอัดรูป คือกระดาษแบบหนาจะมีความคงทนกว่ากระดาษแบบบาง

3.2 การสร้างเส้นกราฟที่ช่วยในการถ่ายภาพด้วยรังสี

3.2.1 กราฟที่ช่วยในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์เป็นแผ่นบันทึกภาพ

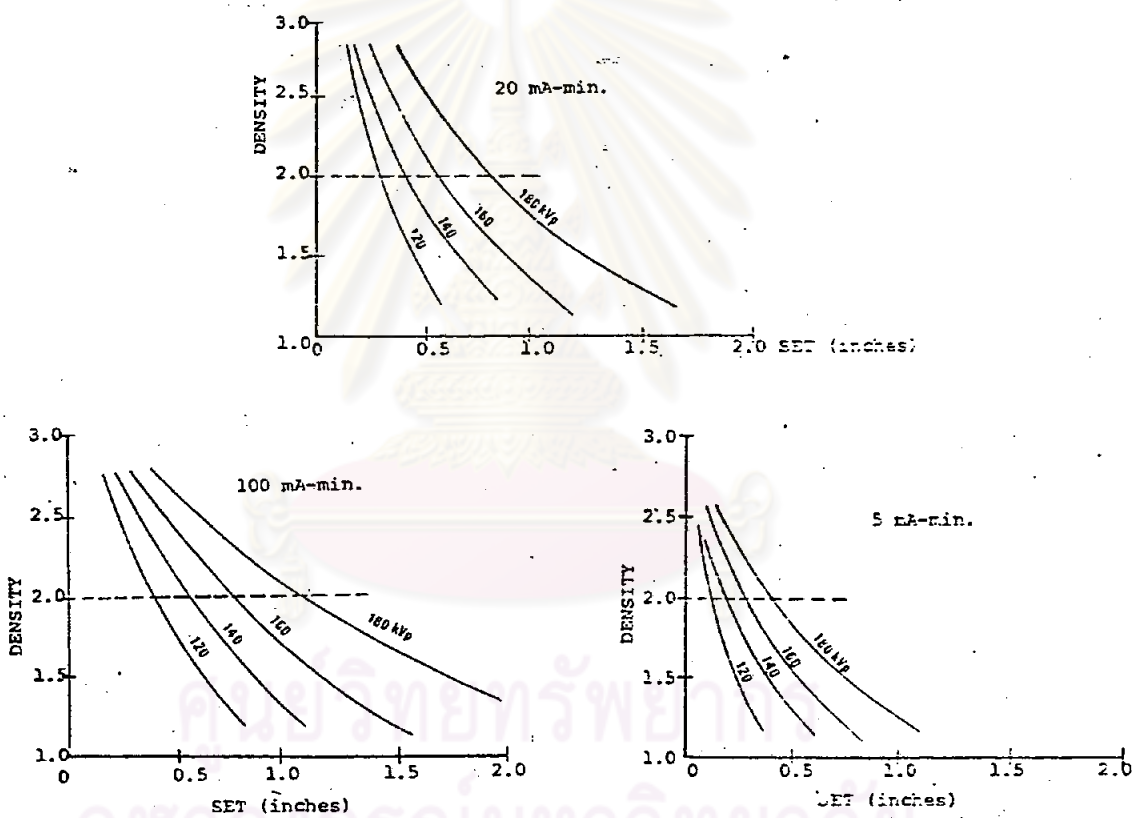
โดยปกติผู้ผลิตเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์จะให้กราฟเอกซ์โพเซอร์ที่ใช้เฉพาะกับเครื่องนั้น แต่กราฟที่ให้เป็นค่าประมาณเท่านั้น ความดำของฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีผลมาจากปริมาณและพลังงานของรังสี การล้างฟิล์ม จำนวนและแบบของการกรองรังสี ฉากและรังสีที่สะท้อนกลับ

แม้ว่ากราฟเอกซ์โพเซอร์ที่ให้มาพร้อมกับเครื่องจะช่วยในการทำงานได้ แต่กราฟที่ถูกต้องจริงๆ ซึ่งทำได้จากการทำงานของหลอดรังสีเอกซ์ในเวลาปกติก็ควรจะทำไว้โดยวิธีง่ายๆ ดังต่อไปนี้

1. ทำแบบชิ้นงานให้มีความหนาต่างๆกันหรือใช้เหล็กรูปขั้นบันได(step wedge) แล้วถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ใช้การถ่ายรังสีหลายๆ ค่าและศักดาไฟฟ้าของหลอดต่างๆ กัน

2. ทำการล้างฟิล์มโดยให้มีสภาพแวดล้อมของการล้างเหมือนกันทุกครั้ง

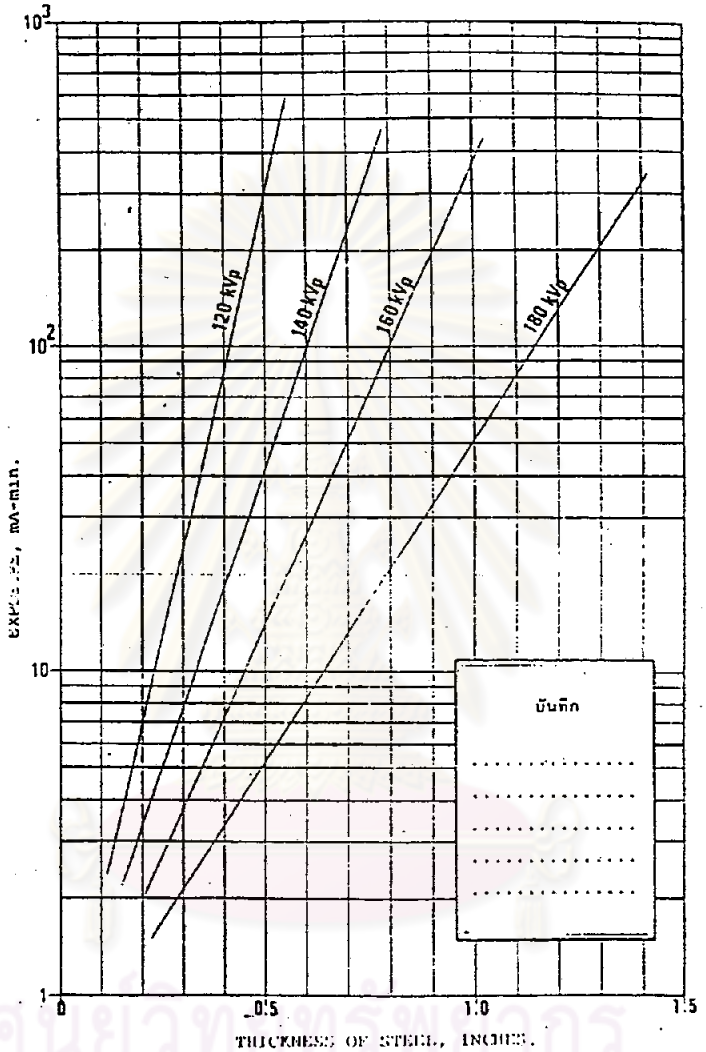
3. จากความดำที่แตกต่างกันที่ได้จากความหนาต่างๆ พิจารณาความดำและความหนาซึ่งมีค่าถูกต้องที่สุดกับความดำของฟิล์มที่จะใช้งานประจำในขั้นนี้จำเป็นต้องใช้เดนซิโตมิเตอร์วัดหาความดำของฟิล์ม (โดยทั่วไปนิยมใช้ความดำที่ 2.0 เป็นความดำมาตรฐานสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรม) ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8[1] แสดงขั้นตอนการหากราฟเอกซ์โพเชอร์

4. ใช้ความหนาที่หาได้จากในข้อ 3 ศักดาไฟฟ้าของหลอด(กิโลโวลท์) และเอกซ์โพเชอร์(มิลลิแอมป์-วินาที หรือ มิลลิแอมป์-นาที) ของฟิล์มที่ได้ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับเอกซ์โพเชอร์บนกระดาษเซมิล็อก

5. ลากเส้นเชื่อมจุดต่างๆ โดยมีศักดาไฟฟ้าคงที่บนแต่ละเส้นสำหรับเครื่องรังสีเอกซ์แต่ละเครื่อง ชนิดของฟิล์ม และเทคนิคการล้างฟิล์ม ถ้าชนิดของฟิล์มแตกต่างไป การมีฉากหรือไม่มีฉากจะต้องทำกราฟขึ้นมาใหม่อยู่เสมอ ดังแสดงในรูป 3.9



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9[1] กราฟเอกซ์โพเชอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ โดยใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์เป็นแผ่นบันทึกภาพ

กราฟที่เตรียมขึ้นจะใช้ได้ดีกับชิ้นงานที่มีความหนาสม่ำเสมอ เมื่อมีชิ้นงานหนาไม่สม่ำเสมออาจจะต้องมีการแก้ไขเอกซ์โพเชอร์หรือระยะทางจากฟิล์มไปยังชิ้นงานเสียใหม่เพื่อให้ได้ภาพที่ดี

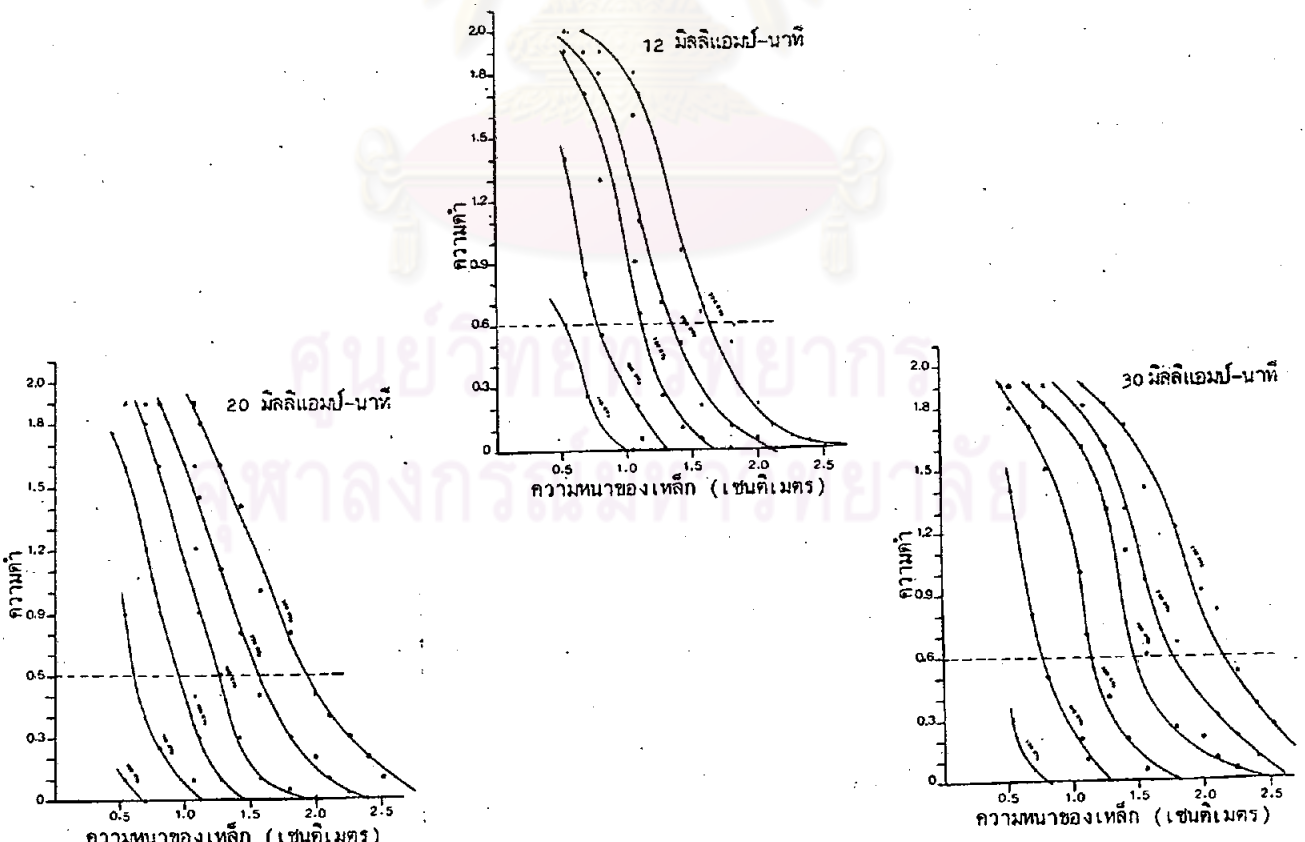
3.2.2 กราฟที่ช่วยในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพ

การทำกราฟเอกซ์โพเชอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยกระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพมีขั้นตอนคล้ายกับการทำกราฟเอกซ์โพเชอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์เป็นแผ่นบันทึกภาพ คือ

1. ทำแบบชิ้นงานให้มีความหนาต่างๆ กัน หรือใช้เหล็กรูปขั้นบันได(step wedge) แล้วถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพ ใช้การถ่ายรังสีหลายๆ ค่าและศักดาไฟฟ้าของหลอดต่างๆ กัน

2. การล้างกระดาษอัดรูปต้องปรับสภาพแวดล้อมให้มีสภาพเหมือนกันทุกครั้ง

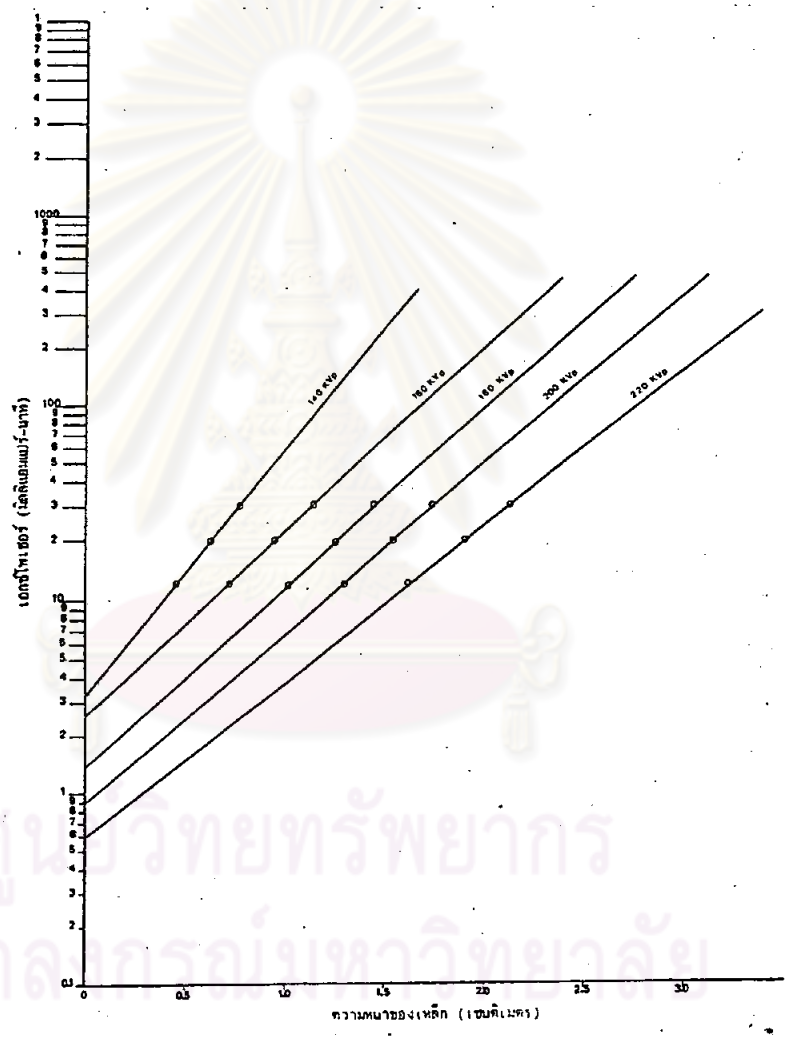
3. วัดความดำของแต่ละชั้นความหนาที่แตกต่างกัน โดยใช้เกรย์สเกล (gray scale) เป็นตัวเทียบเพื่อวัดความดำ พิจารณาความดำที่จะใช้งานประจำและเหมาะสมกับกราฟที่ได้ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ที่ 0.6 เป็นความดำมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 3.10 กราฟขั้นตอนการหากราฟเอกซ์โพเชอร์โดยใช้กระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพ

4. ใช้ความหนาที่หาได้จากข้อ 3 ศักดาไฟฟ้าของหลอด (กิโลโวลท์)และเอกซ์โพเชอร์(มิลลิแอมป์-วินาที หรือ มิลลิแอมป์-นาที) ของกระดาษอัดรูปที่ได้พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับเอกซ์โพเชอร์บนกระดาษเซมิล้อก

5. ลากเส้นเชื่อมจุดต่างๆ โดยมีศักดาไฟฟ้าคงที่บนแต่ละเส้นสำหรับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แต่ละเครื่องชนิดของกระดาษอัดรูป และเทคนิคการล้างรูป ถ้าชนิดของกระดาษแตกต่างไป การมีฉากหรือไม่มีฉากจะต้องทำกราฟขึ้นมาใหม่อยู่เสมอ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟเอกซ์โพเชอร์ของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ โดยใช้กระดาษอัดรูปเป็นแผ่นบันทึกภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ฉากที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี (3)

ฉากที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งจะติดกับฟิล์มระหว่างการถ่ายรังสีมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ฉากโลหะซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นฉากตะกั่ว และฉากฟลูออเรสเซนต์ หรือฉากเรืองแสง ถ้านำฉากทั้งสองชนิดมาใช้รวมกันจะเรียกว่า ฉากฟลูออโรเมทัลลิก จุดประสงค์ในการใช้ฉากเพื่อเพิ่มความดำและความคมชัดของฟิล์ม โดยการเพิ่มความเข้มของรังสีที่ตกลงบนฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ลดเวลาในการถ่ายลงด้วย ฉากโลหะยังช่วยกรองรังสีที่เกิดจากการสะท้อนด้วย ซึ่งทำให้ความคมชัดเพิ่มมากกว่าเดิม

3.3.1 ฉากตะกั่ว

หน้าที่สำคัญของฉากตะกั่วซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากคือ ช่วยเพิ่มความเข้มและกรองรังสี ตะกั่วจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีที่มากเกินไปได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่น ปริมาณการดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นกับพลังงานของรังสีที่จะทะลุทะลวงวัสดุได้ รังสีที่มีพลังงานสูง จะผ่านตะกั่วได้ดีกว่ารังสีพลังงานต่ำ หรือในทางกลับกันรังสีพลังงานต่ำจะถูกตะกั่วดูดกลืนได้ดีกว่าพลังงานสูง เนื่องจากรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของชิ้นงานจะมีพลังงานต่ำกว่ารังสีที่ตกกระทบ ตะกั่วจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีส่วนที่ไม่ต้องการนี้ออกไป และยังดูดกลืนรังสีบางส่วนที่จะทำให้เกิดภาพด้วย ผลอันนี้เรียกว่า การกรองรังสี ฉากตะกั่วจะมีส่วนผสมเป็นโลหะผสมของตะกั่ว มี ตะกั่ว 94% พลวง 6% เหตุที่ต้องใช้พลวงผสมเพราะโลหะผสมระหว่างตะกั่วกับพลวงจะมีความแข็งมากกว่าและป้องกันการขีดข่วนได้ดีกว่าตะกั่วบริสุทธิ์

3.3.1.1 การกรองรังสีที่เกิดจากการสะท้อน

รังสีที่สะท้อนจะเกิดจากการสะท้อนในชิ้นงานเป็นส่วนใหญ่ (เป็นการสะท้อนภาพใน) หรือพื้นซึ่งฟิล์มนั้นวางอยู่ขณะทำการถ่ายรังสี (เป็นการสะท้อนกลับ) ดังนั้นจึงต้องมีการกรองเอารังสีทั้งสองแบบออกไปโดยใช้ฉาก 2 อัน ฉากที่อยู่ระหว่างชิ้นงานและแหล่งรังสีจะเรียกว่า ฉากด้านหน้า ฉากที่อยู่หลังฟิล์มจะเรียกว่า ฉากด้านหลัง ฉากทั้งสองจะทำหน้าที่กำบังรังสีที่เกิดจากการสะท้อน

ในทางปฏิบัติบางครั้งฉากด้านหน้าจะบางกว่าฉากด้านหลัง เนื่องจากรังสีส่วนที่จะทำให้เกิดภาพจะผ่านฉากนี้ก่อน โดยปกติฉากตะกั่วด้านหน้าจะหนาประมาณ 0.005 หรือ 0.010 นิ้ว แต่อาจจะหนาหรือบางกว่านี้ก็ได้ แล้วแต่ชนิดของชิ้นงาน และพลังงานของรังสีที่ใช้ หน้าที่ของฉากด้านหลังคือ ดูดกลืนรังสีที่สะท้อนกลับ ฉากด้านหลังจะมีขนาดความหนาเท่าใดขึ้นอยู่กับว่าความหนาเท่าใดจะให้ผลดีที่สุด แต่โดยทั่วไปความหนาของฉากด้านหน้าและด้านหลังจะเท่ากัน

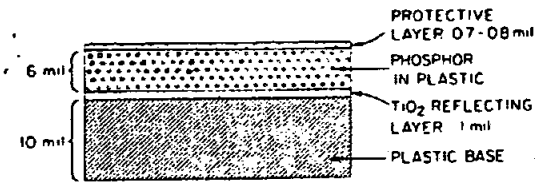
ในการถ่ายภาพด้วยรังสีกับวัสดุที่บางหรือมีความหนาแน่นน้อย ซึ่งจะต้องใช้รังสีที่มีพลังงานต่ำ ดังนั้นการทำจึงต้องมีการระมัดระวังเพื่อไม่ให้ฉากด้านหน้ากรองรังสีมากเกินไป การที่รังสีถูกกรองมากเกินไปจะมีผลกับความคมชัดของชิ้นงาน

3.3.1.2 การเพิ่มความเข้มของรังสี

เมื่อตะกั่วถูกกระตุ้นโดยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ตะกั่วจะให้อิเลกตรอนออกมาจำนวนของอิเลกตรอนที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของโฟตอนของรังสีที่ผ่านชิ้นงานและตกลงบนฉาก อิเลกตรอนที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกริยากับผลึกเกลือเงินบนฟิล์ม ดังนั้นจากการล้างฟิล์มแล้วความดำของฟิล์มจะมากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ใช้ฉากตะกั่ว การเพิ่มความเข้มไม่เพียงแต่เพิ่มความเข้มทั้งหมดของฟิล์มเท่านั้นแต่ยังทำให้เวลาในการถ่ายภาพรังสีลดลงด้วย อีกทั้งยังทำให้ความชัดเจนของฟิล์มมีมากขึ้นซึ่งมีผลให้สามารถตรวจสอบสิ่งบกพร่องขนาดเล็กๆ ได้ดีขึ้น

3.3.2 ฉากเรืองแสง (fluorescence screens)[6]

เป็นฉากที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสี โดยจะให้แสงเหนือม่วง แสงสีน้ำเงินหรือแสงสีเขียวออกมา เมื่อมีรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีความยาวคลื่นสั้นมากระตุ้น สารประกอบที่มีอยู่ในฉากซึ่งได้แก่ แคลเซี่ยมทังสเตทหรือแบเรี่ยมตะกั่วซัลเฟต เป็นปริมาณเล็กน้อยในสารเคมีเรียกว่า ฟอสฟอร์ โดยจะให้แสงเหนือม่วงออกมาซึ่งไวต่อกระดาษอัดรูป ฉากเรืองแสง แบ่งเป็นชั้นๆ ได้ดังนี้



Par speed x-ray intensifying screen
cross section)

รูปที่ 3.12[6] แสดงภาพตัดขวางของฉากเรืองแสง

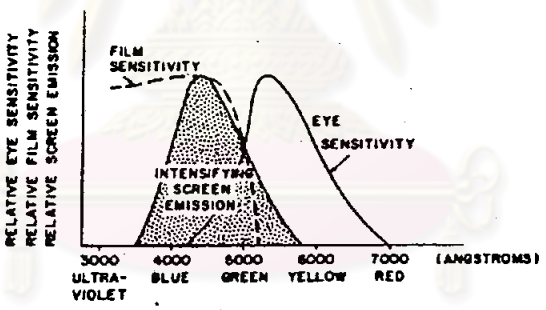
1. ชั้นฐาน(base) เป็นกระดาษการ์ดอย่างหนาและมีคุณภาพดีหรือพวกโพลีเอสเตอร์พลาสติก(polyester plastic) โดยแต่ละบริษัทที่ผลิตจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น บริษัท ดูปองต์ เรียกว่า "Mylar" บริษัท โกดัก เรียกว่า "Estar"เป็นต้น โดยชั้นฐานนี้ จะมีความหนาประมาณ 7-10 มิล

2. ชั้นรีเฟลคติ้ง โค้ต(reflecting coat) เป็นชั้นที่ฉาบไว้บนชั้นฐาน (base)และอยู่ใต้ชั้น phosphor layer เพื่อป้องกันการสูญเสียแสงที่เกิดจากชั้นฟอสฟอร์ในทิศทางที่จะออกสู่ด้านฐาน โดยสารที่ฉาบอยู่ซึ่งเป็นสารประกอบพวก ไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) จะสะท้อนแสงที่ออกมากลืนสู่ทิศทางตรงข้าม ชั้นนี้จะมีความหนาประมาณ 1 มิล

3. ชั้นฟอสฟอร์ (phosphor layer) จะอยู่เหนือชั้นรีเฟลคติ้ง โค้ต ขึ้นมาเป็นสารเคมีที่ประกอบไปด้วยผลึกฟอสฟอร์(phosphor crystals) ซึ่งมีคุณสมบัติให้แสงสีน้ำเงินหรือเขียวออกมาเมื่อถูกกระตุ้นจากรังสีความยาวคลื่นสั้น ผลึกของสารเคมีพวกนี้จะเป็นผงละเอียดผสมกับสารเคลือบเพื่อให้จับกันแน่น จากนั้นก็เคลือบลงบนกระดาษการ์ด ที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ฉาบอยู่ ชั้นฟอสฟอร์นี้จะมีความหนาประมาณ 4 ถึง 6 มิล ขึ้นอยู่กับว่า จะเป็นฉากที่มีความไวมากหรือน้อยกับฟิล์ม คือถ้าหากให้มีความไวมากชั้นฟอสฟอร์ก็จะหนาขึ้น

สารประกอบแคลเซี่ยมทังสเตท($CaWO_4$)ในฟอสฟอร์เป็นสารประกอบชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพของรังสีเอกซ์ ฉากเรืองแสงที่มีแคลเซี่ยมทังสเตทถูกผลิตมาใช้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1896 ในประเทศอังกฤษและเยอรมันนี และถูกผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ.1912

สารประกอบแคลเซี่ยมทังสเตท เมื่อเริ่มผลิตใช้ใหม่ๆ จะไม่ค่อยมีความคงทนและผลิตได้ยาก เพราะแคลเซี่ยมทังสเตทได้จากการหลอมโซเดียมทังสเตทกับแคลเซี่ยมคลอไรด์ภายใต้การควบคุมให้เป็นไปตามเงื่อนไขอย่างระวังยิ่ง โดยแคลเซี่ยมทังสเตทจะให้แสงเหนือม่วง ในช่วงแสงสีน้ำเงินหรือสีเขียว ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 3,500 Å ถึง 5,800Å (1 Angstrom = 0.0001μ = 0.00000001 cm) และจะมี peak wavelength ที่ประมาณ 4,300 Å (430 nm) ซึ่งตามนุษย์ธรรมดาสามารถมองเห็นได้เป็นแสงสีม่วง ดังรูปที่ 3.13



The spectral emission of a calcium tungstate x-ray intensifying screen compared to the spectral sensitivity of x-ray film and of the eye

รูปที่ 3.13[6] แสดงการเปรียบเทียบสเปคตรัมของฉากเรืองแสงที่มีสารประกอบแคลเซี่ยมทังสเตท สเปคตรัมของความไวของฟิล์มรังสีเอกซ์ สเปคตรัมของความไวในการมองเห็นแสงของตามนุษย์

ต่อมาได้มีการพัฒนาปรับปรุงการผลิตฟอสฟอร์ โดยการเติมแรเอิร์ทที่เหมาะสมลงไปเพื่อให้เกิดแสงที่มีผลที่ดีต่อฟิล์มแต่ละชนิด โดยเทคนิคใหม่ๆเหล่านี้ เริ่มเกิดขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1973 ด้วยเทคโนโลยีใหม่ๆจึงทำให้อัตราเพิ่มความเข้มของรังสีซึ่งเดิมอยู่ในช่วง 2-5 เท่า เพิ่มขึ้นเป็น 2-25 เท่า เมื่อใช้ฉากเรืองแสงในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

ดังนั้นจากการที่ฟอสฟอร์ได้รับการพัฒนาด้วยเทคโนโลยีใหม่ๆจึงทำให้สามารถนำฉากเรืองแสงมาใช้ร่วมกับกระดาษอัดรูปในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

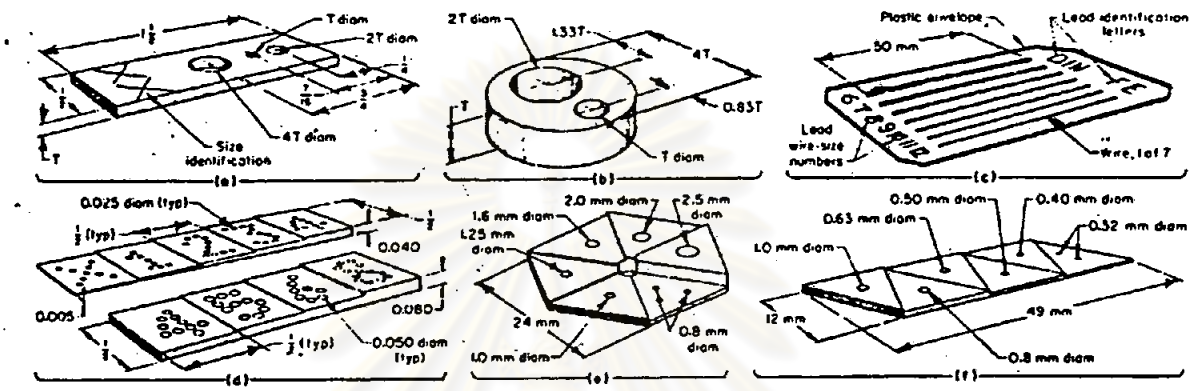
3.3.3 ฉากแบบฟลูออโรเมททัลลิก (fluorometallic screens)

ฉากแบบนี้จะประกอบไปด้วยฉากตะกั่ววางอยู่ด้านใดด้านหนึ่งประกบติดกับฉากฟลูออเรสเซนต์ จุดประสงค์เพื่อ (1) ตะกั่วจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีที่เกิดจากการสะท้อนไว้ (ขณะที่ฉากฟลูออเรสเซนต์ทำไม่ได้) (2) ฉากฟลูออเรสเซนต์จะช่วยเพิ่มความเข้มรังสีที่จะตกลงบนฟิล์ม เพื่อทำให้ระยะเวลาในการถ่ายรังสีสั้นลง ฉากแบบนี้สามารถลดเวลาในการถ่ายรังสีลงได้ถึง 9 เท่า แต่จะต้องใช้ฟิล์มที่ผลิตมาเพื่อใช้กับฉากชนิดนี้โดยเฉพาะ

3.4[3] พีนีตรามิเตอร์ (Penetrameters)

พีนีตรามิเตอร์ หรือ image - quality indicator หรือที่นิยมเรียกว่า IQI จะต้องมีลักษณะดูดกลืนรังสีเหมือนชิ้นงานที่จะตรวจสอบทุกประการ มีขนาดและรูปร่างแน่นอน พีนีตรามิเตอร์จะวางอยู่บนชิ้นงานหรืออยู่บนบล็อกของวัสดุที่เหมือนกับชิ้นงาน โดยปกติพีนีตรามิเตอร์มักจะวางอยู่ในตำแหน่งของชิ้นงานที่มีความหนามากที่สุดและมีระยะทางระหว่างชิ้นงานไปยังฟิล์มหรือกระดาษอัดรูปมากที่สุด และวางอยู่ที่มุมนอกสุดของลำรังสีที่ฉายลงมา จากตำแหน่งนี้ความคมชัดที่เกิดขึ้นของพีนีตรามิเตอร์จะเป็นการวัดคุณภาพของภาพที่เกิดขึ้น ภาพของพีนีตรามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่บนฟิล์มหรือกระดาษอัดรูปจะถูกประเมินค่าอยู่เสมอระหว่างการอ่านผลเพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าภาพที่เกิดขึ้นมีความไว ความกระจ่างชัดถูกต้อง

พีนีตรามิเตอร์ จะออกแบบไว้มีรูปร่างต่างๆกัน ดังแสดงในรูป 3.14



รูปที่ 3.14[3] แบบต่างๆของพีนีตรามิเตอร์

<u>โดยปกติพีนีตรามิเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้</u>

1. วัสดุที่ใช้ประกอบพีนีตรามิเตอร์ต้องเป็นชนิดเดียวกับชิ้นงาน หรือมีลักษณะการดูดกลืนทางรังสีเหมือนกับชิ้นงาน

2. ในการใช้งานปกติพีนีตรามิเตอร์จะติดไว้ตรงๆ ที่ผิวหน้าชิ้นงานด้านที่โดนรังสี ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดเล็ก หรือมีรูปร่างไม่เหมาะสมที่จะติดพีนีตรามิเตอร์ ก็จะใช้วิธีวาง พีนีตรามิเตอร์บนบล็อกหรือถูกหมุนให้มีระดับเดียวกับชิ้นงานโดยใช้วัสดุที่มีส่วนผสมและมีความหนาเหมือนชิ้นงาน แต่เมื่อจะถ่ายภาพด้วยรังสีกับท่อพีนีตรามิเตอร์ ก็อาจจะติดอยู่บนผิวของท่อด้านที่ติดกับฟิล์มได้

3. ตำแหน่งที่จะวางพีนีตรามิเตอร์ จะต้องไม่ไปบังพื้นที่ที่จะตรวจสอบของชิ้นงาน

4. ภาพของพีนีตรามิเตอร์จะถูกถ่ายออกมาพร้อมกับภาพของชิ้นงานบนฟิล์ม หรือกระดาษอัดรูป การพิจารณาพีนีตรามิเตอร์จะแยกออกจากภาพของชิ้นงานเพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่าภาพที่เกิดบนฟิล์มหรือกระดาษอัดรูปมีคุณภาพดี

5. ระดับที่แสดงคุณภาพของภาพโดยปกติจะแสดงด้วยขนาดที่เล็กที่สุดของสิ่งที่อยู่ในพีนีตรามิเตอร์ (เช่น ขนาดของรู หรือขนาดของเส้นลวด) ที่จะเห็นอยู่บนฟิล์มหรือกระดาษอัดรูป

6. พีนีตรามิเตอร์จะไม่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบขนาดของสิ่งบกพร่อง

โดยปกติแล้วแม้จะไม่มีข้อกำหนดให้ใช้พีนีตรามิเตอร์ แต่ในการทำงานจริงๆ ก็ควรจะมีพีนีตรามิเตอร์ไว้เพื่อจะได้แน่ใจในคุณภาพของภาพที่ได้ พีนีตรามิเตอร์ที่ใช้เป็นมาตรฐานบางชนิดจะมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 Ploque - Type Penetrameter

เป็นวัสดุแผ่นเล็กๆ ความหนาสม่ำเสมอโดยเจาะรูผ่านตลอดพีนีตรามิเตอร์แบบนี้ ออกแบบเป็นมาตรฐานโดย ASTM และ ASME (American Society for Testing Material & American Society of Mechanical Engineer) สำหรับพีนีตรามิเตอร์ที่มีความหนาตั้งแต่ 0.005 - 0.050 นิ้ว ดังแสดงในรูป 3.14 (a) เส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่อยู่ในแผ่นจะมีขนาด T, 2T และ 4T โดยที่ T คือความหนาของแผ่นพีนีตรามิเตอร์ เมื่อความหนาของพีนีตรามิเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 0.006 - 0.060 นิ้ว ลักษณะก็ยังเป็นแผ่นเหมือนเดิม แต่ถ้าหนามากกว่า 0.180 นิ้ว พีนีตรามิเตอร์จะออกแบบให้เป็นรูปวงกลมดังที่แสดงในรูปที่ 3.14 (b)

คุณภาพของภาพที่มีอัตราความไวแตกต่างกัน จะวัดได้โดยใช้พีนีตรามิเตอร์ที่เป็นแผ่นมีความหนาต่างๆกัน ความไวในการตรวจสิ่งบกพร่องโดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปความหนาของพีนีตรามิเตอร์ (ซึ่งเป็น % ของความหนาชิ้นงาน)และการหาค่าจะพิจารณา

จากรูที่เล็กที่สุดที่จะเห็นได้บนฟิล์ม ตัวอย่างเช่น คุณภาพของภาพระดับ 2-2T จะทำให้ทราบว่าความหนาของพีนีตรามิเตอร์จะเท่ากับ 2% ของความหนาชิ้นงาน และรูขนาด 2T จะสามารถเห็นได้ ถ้าต้องการคุณภาพของภาพขนาด 1 - 1T แสดงว่าความหนาของพีนีตรามิเตอร์จะเท่ากับ 1% ของความหนาชิ้นงานและรูขนาด 1T จะสามารถเห็นได้ ในด้านอื่น คุณภาพของภาพอาจจะแสดงเป็นเปอร์เซนต์ โดยเฉพาะก็ได้ ในระบบของASTM และ ASME ความไวในการตรวจสิ่งบกพร่องที่เหมาะสมกันเป็น เปอร์เซนต์ จะเทียบกับการเห็นรูปขนาด 2T ตารางที่ 3.2 จะแสดงความไวของภาพในระดับต่างๆกัน

ตารางที่ 3.2[3] แสดงความไวในการตรวจวัดระดับต่างๆของพีนีตรามิเตอร์ แบบของ ASTM & ASME และของพีนีตรามิเตอร์ แบบ DIN

Equivalent Sensitivities of Various Standard ASTM or ASME Sensitivity Levels(a)

Image-quality level	Penetrameter thickness, % of test-piece thickness	Smallest visible hole size	Equivalent sensitivity, %
1-1T	1	1T	0.7
1-2T	1	2T	1.0
2-1T	2	1T	1.4
2-2T	2	2T	2.0
2-4T	2	4T	2.8
4-2T	4	2T	4.0

(a) Equivalent sensitivity is a percentage equivalent for penetrameter thickness in which 2T is the smallest distinguishable hole size. For instance, 1-1T is equivalent to 0.7-2T.

Specification of Deutsche Industrie Norm (DIN) for Minimum Image Quality and Equivalent-Sensitivity Range for Each Range of Test-Piece Thickness(a)

Test-piece thickness, mm	High-sensitivity level (category 1)		Normal-sensitivity level (category 2)	
	Wire No., DZ	Equivalent sensitivity, %	Wire No., DZ	Equivalent sensitivity, %
>0, ≤6	16	1.7 min	14	2.7 min
>6, ≤8	15	2.0-1.6	13	3.3-2.5
>8, ≤10 ...	14	2.0-1.6	12	3.1-2.5
>10, ≤16 ..	13	2.0-1.3	11	3.2-2.0
>16, ≤25 ..	12	1.6-1.0	10	2.5-1.6
>25, ≤32 ..	11	1.3-1.0	9	2.0-1.6
>32, ≤40 ..	10	1.3-1.0	8	2.0-1.6
>40, ≤50 ..	9	1.3-1.0	7	2.0-1.6
>50, ≤80 ..	8	1.3-0.8	6	2.0-1.3
>80, ≤200 .	7	1.0-0.4	..	...
>80, ≤150 .	..	...	5	1.6-0.8
>150, ≤170 ..	...		4	1.1-0.9
>170, ≤180 ..	..	....	3	1.2-1.1
>180, ≤190 ..	..	...	2	1.4-1.3
>190, ≤200 ..	..	...	1	1.7-1.6

(a) Minimum image quality is expressed as wire number (DZ) of thinnest wire distinguishable in radiograph.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 พีนีตรามิเตอร์แบบเส้นลวด (Wire-type Penetrameter)

พีนีตรามิเตอร์แบบนี้ใช้กันมากในยุโรป มีลักษณะเป็นเส้นลวดเป็นมาตรฐานของ Deutsche Industrie Norm (DIN 54109) ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นลวด 16 เส้น ของโลหะ 3 ชนิด คือ เหล็ก อลูมินัม และทองแดง เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดจะลดลงจาก 3.20 มม. (ลวดเบอร์ 1) ถึง 0.10 มม. (ลวดเบอร์ 16) พีนีตรามิเตอร์แบบนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดอยู่ในแผ่นพลาสติกใส 3 ชุด ในแต่ละแผ่นจะมีเส้นลวดอยู่ 7 เส้น แผ่นแรกจะมีเส้นลวดเบอร์ 1-7 (ø 3.20 มม. - 0.80 มม.) แผ่นที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 จะมีเส้นลวดเบอร์ 6-12 (ø 1.00 มม.-0.25 มม.) แผ่นที่สามจะมีเส้นลวดเบอร์ 10-16 (ø 0.40 - 0.10 มม.)

ในระบบของ DIN นี้ คุณภาพของภาพจะกำหนดจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดที่เล็กที่สุดที่เห็นในฟิล์มหลังจากถ่ายภาพด้วยรังสี คุณภาพของภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 ความไวสูงและประเภทที่ 2 ความไวปกติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 แสดงถึงเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของลวดที่สามารถปรากฏลงบนฟิล์มของแต่ละช่วงความหนาชิ้นงาน (กำหนดขนาดเส้นลวดเป็น B2) จนถึงความหนา 200 มม. และยังแสดงถึงความไวในการตรวจสิ่งบกพร่อง โดยหาได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของลวดหารด้วยความหนาของชิ้นงานที่เหมาะกับขนาดของลวดนั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบของ ASTM แล้ว ระบบของ DIN จะไม่ค่อยให้ความไวในการตรวจสิ่งบกพร่องคงที่นัก ความไวจะแปรเปลี่ยนไปตามความหนาของชิ้นงานในแต่ละช่วง และช่วงของความไวที่เกิดขึ้นจะไม่คงที่สำหรับชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2

สมการที่ใช้หาความไวโดยใช้ DIN

$$\text{ความไว} = \frac{\text{ขนาดเส้นลวดเล็กที่สุดที่มองเห็น} \times 100\ \%}{\text{ความหนาของชิ้นงาน}}$$

....3.4(2)

3.4.3 ฟีนีตรามิเตอร์รูปขั้นบันได(Stepwedge Penetrameter)

เป็นฟีนีตรามิเตอร์ที่มีลักษณะที่เป็นขั้นบันได จะใช้ประโยชน์เฉพาะการพิจารณาความสามารถของการถ่ายภาพด้วยรังสีกับชิ้นงานที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงไปไม่สามารถใช้หาผลของความไม่คมชัดทางเรขาคณิตซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาคุณภาพของภาพได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าแผ่นเหล็กขั้นบันได(stepwedge) ถูกดัดแปลงโดยเจาะรูบนแผ่นแต่ละชั้น จะทำให้เหล็กขั้นบันได มีความไวต่อความไม่คมชัดของภาพทางเรขาคณิตได้ ฟีนีตรามิเตอร์ชนิดนี้ออกแบบโดย British Welding Research Association (BWRA) และFrench Navy (AFNOR) ในการออกแบบ BWRA รูปที่ 3.14(d) รูที่ปรากฏอยู่บนเหล็กขั้นบันได จะมีขนาดเดียวกัน 0.025 นิ้ว สำหรับเหล็กขั้นบันได ที่มีความหนาตั้งแต่ 0.005 - 0.040 นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.050 นิ้ว สำหรับเหล็กขั้นบันไดที่มีความหนาตั้งแต่ 0.040 - 0.080 นิ้ว เหล็กขั้นบันไดของ AFNOR (รูปที่ 3.14(e) และ 3.14(f)) จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเท่ากันแต่ละความหนา เหล็กขั้นบันไดของ AFNOR จะมีอยู่ 4 ขนาด ดังต่อไปนี้

ลำดับที่	ความหนาของเหล็กขั้นบันได(มม)
1.	0.125, 0.16, 0.20, 0.25, 0.32, 0.40
2.	0.32, 0.40, 0.50, 0.63, 0.80, 1.00
3.	0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 2.50
4.	2.00, 2.50, 3.20, 4.00, 5.00, 6.00

ฟีนีตรามิเตอร์ทั้ง 4 ขนาด จะใช้ตรวจชิ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 4-300 มม. ขนาดที่ 3 เป็นรูปหกเหลี่ยม แสดงไว้ในรูปที่ 3.14 (e) และขนาดที่ 2 เป็นรูปดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.14(f)

ทั้งฟีนีตรามิเตอร์ของ BWRA และ AFNOR จะให้ความไวต่อภาพได้ดีเท่ากับความคมชัดซึ่งจะต้องเห็นรูของขั้นบันไดบนฟิล์ม เนื่องจากภาพที่ปรากฏบนฟิล์มจะพิจารณาจากการมองเห็นชั้นและรูที่อยู่ในฟีนีตรามิเตอร์ เมื่อความคมชัดของภาพดี แต่ความไวในการ

ตรวจไม่ดี ภาพที่เกิดบนฟิล์มจะเห็นจำนวนชั้นมากกว่ารู ขีดจำกัดอันหนึ่งของ AFNOR ฟีนีตรามิเตอร์ คือขนาดของรูที่เล็กที่สุดสามารถเปรียบเทียบกับขนาดของเกรนของฟิล์มได้ ในบางครั้งจะไม่ง่ายนักที่จะมองเห็นรูที่มีอยู่ในฟีนีตรามิเตอร์นั้น การแก้ทำได้โดยเจาะรูในฟีนีตรามิเตอร์ที่บางที่สุดเพิ่มขึ้นเป็น 2 รู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย