# บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบดำเนินงานวิจัยวิธีการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย, การใช้ค่าระดับพลังงานในการทดลอง, การวัดความเข้มของภาพถ่าย, การบันทึกผลและนำผลมาวิเคราะห์

โดยขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยแบ่งออกได้ดังนี้

1) ศึกษารายละเอียดและข้อจำกัดของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป
2) ศึกษารายละเอียดและข้อจำกัดของฉากรับภาพแบบดิจิทัล
3) ออกแบบและเตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์
4) กำหนดระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงฉากรับภาพถ่าย โดยการทดลองหาระยะเริ่มต้น
5) กำหนดค่าพลังงานที่ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป
6) ดำเนินการทดลองการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป
7) บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวัดค่าเข้มของภาพถ่ายในคอมพิวเตอร์
8) กำหนดค่าความเข้มของภาพถ่าย เพื่อนำไปสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ชาร์ท
9) สร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ชาร์ทของการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป
10) นำกราฟทั้งสองมาวิเคราะห์และทำการเปรียบเทียบ ลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ

ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยนี้ได้ทำการอธิบายอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์ ประกอบด้วย เครื่องถ่ายภาพรังสีแบบพัลล์และแบบทั่วไป ฉากรับรังสีแบบดิจิทัล ชิ้นงานขั้นบันได ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงฉากรับภาพ การคำนวณค่าความไม่คมชัดเรขาคณิต ตัววัดคุณภาพของภาพถ่าย ในลำดับต่อไป

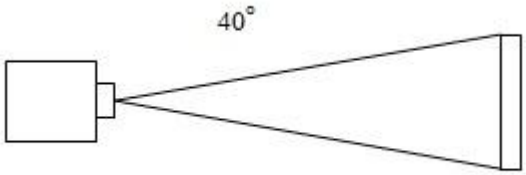
# 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบภาพถ่ายรังสี

## 3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ (Pulse X-ray Source)

เครื่องฉายรังสีเอกซเรย์ที่ใช้ในการทดลอง ยี่ห้อ GE รุ่น XRS-4 ดังรูปที่ 3.1 ขนาดของแหล่งกำเนิดรังสีมีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าพลังงานอยู่ที่ 370 kV โดยตัวเครื่องสามารถสร้างจำนวนพัลส์ตั้งแต่ 1-99 พัลส์ต่อหนึ่งรอบการทำงาน ซึ่งถูกจำกัดการปล่อยจำนวนพัลส์อยู่ที่ 200 พัลส์ภายในช่วงเวลา 4 นาที มีมุมกางของรังสี (Beam Angle) อยู่ที่ 40 องศา ดังรูปที่ 3.2

**รูปที่ 3.1** เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ XRS-4 [16]

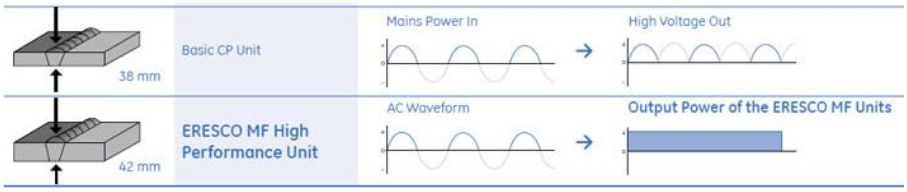



**รูปที่ 3.2** มุมของเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์

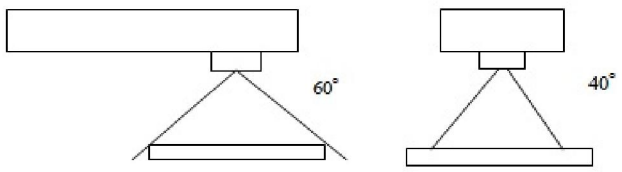
### 3.1.1.2 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป (Conventional X-ray Source)

เครื่องฉายรังสีเอกซเรย์ที่ใช้ในการทดลอง ยี่ห้อ GE รุ่น MF3 ดังรูปที่ 3.3 ขนาดของแหล่งกำเนิดรังสี (Focal Spot Size) มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 200 kV และ กระแสสูงสูดอยู่ที่ 4.5 mA ในการปล่อยรังสีเอกซเรย์ของตัวเครื่องถูกปล่อยด้วยความถี่ 20 kHz ส่งให้ลักษณะของคลื่นมีความเรียบเป็นแนวเส้นตรงซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยรังสีเอกซเรย์แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.4 มีมุมกางรังสี (Beam Angle) อยู่ที่ 40 องศาในแนวแกนตั้งและ 60 องศาในแนวแกนนอน ดังรูปที่ 3.5 เครื่องกำเนิดรังสีควบคุมโดยชุดควบคุมเครื่องฉาย ดังรูปที่ 3.6 ตัวเครื่องตั้งอยู่ภายในห้องปลอดรังสี ซึ่งมีผนังคอนกรีตเสริมเหล็กมีความหนาอยู่ที่ 1 ฟุต

**รูปที่ 3.3** เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป [17]




**รูปที่ 3.4** ลักษณะคลื่นเอกซเรย์ของเครื่องฉายรังสีแบบทั่วไป [16]




**รูปที่ 3.5** มุมรังสีของเครื่องฉายเอกซเรย์แบบทั่วไป

**รูปที่ 3.6** ชุดควบคุมเครื่องฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป

### 3.1.2 ฉากรับรังสีเอกซเรย์ (Direct Radiography, DR)

ฉากรับรังสีเอกซเรย์ที่ใช้ในการทดลอง ยี่ห้อ GE รุ่น DXR250C-W ดังรูปที่ 3.8 โดยมีคุณสมบัติของฉากรับ ขนาดความกว้าง X ยาว ของฉากรับอยู่ที่ 203 X 203 มิลลิเมตร มีระดับความลึกของสีอยู่ที่ 14 Bit depth สามารถจำแนกเฉดสีเทา (Grayscale) อยู่ที่ 16,384 เฉดสีต่อหนึ่งช่อง และเวลาในการเปิดฉากรับรังสีอยู่ที่ 150 วินาที ดังตารางที่ 3.1

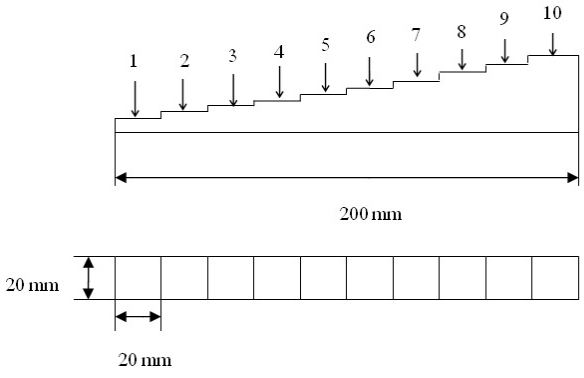
**รูปที่ 3.7** ฉากรับรังสีเอกซเรย์แบบดิจิทัล [18]

**ตารางที่ 3.1** คุณสมบัติของฉากรับรังสีแบบดิจิทัล [17]

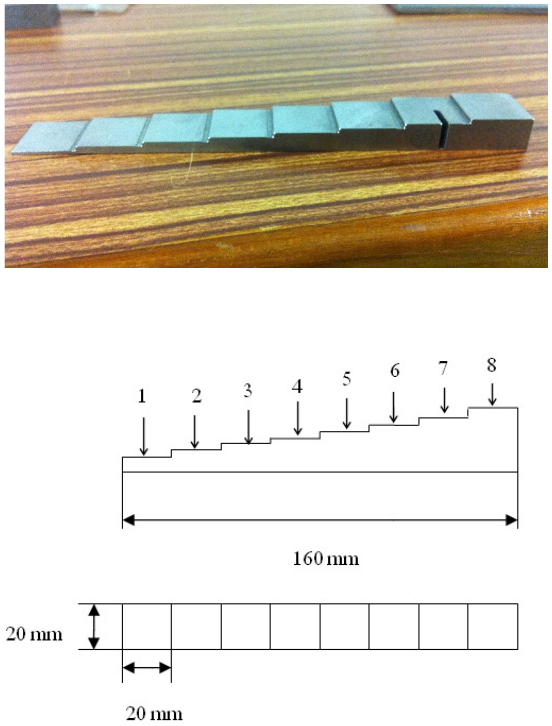
| ยีห้อ GE รุ่น DXR250C-W | | |
|---|---|---|
| กว้าง X ยาว | 203 X 203 มิลลิเมตร | |
| ระยะเวลาในการเปิดฉากรับ | 150 | วินาที |
| ความละเอียด | 14 | บิต |
| จำแนกเฉดสีเทา | 16,384 | เกรย์สเกล |
| ขนาดของพิกเซล | 200 | ไมโครเมตร |

### 3.1.3 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบในการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นชิ้นงานลักษณะขั้นบันได (Step Wedge) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน A257 มีความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร มีขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8 และชิ้นงานชิ้นที่สอง มีความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 8 มิลลิเมตร มีขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.9



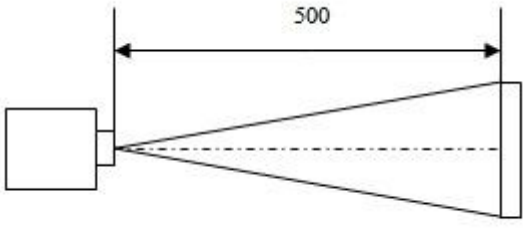

**รูปที่ 3.8** ชิ้นงานขั้นบันได ความหนา 1-10 มิลลิเมตร




**รูปที่ 3.9** ชิ้นงานขั้นบันได ความหนา 1-8 มิลลิเมตร

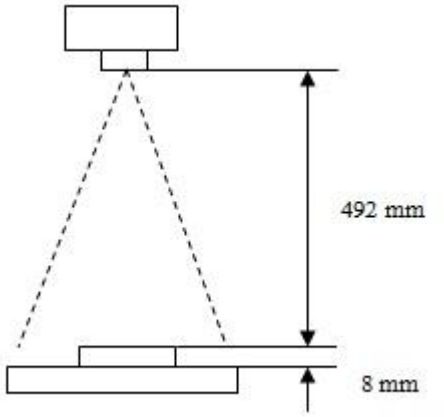
### 3.1.4 การกำหนดระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี ถึงฉากรับรังสีแบบดิจิทัล (SID)

ในการทดลองได้มีการกำหนดใช้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงฉากรับรังสีแบบดิจิทัล (SID) มีค่าเท่ากับ 500 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เนื่องจากเป็นระยะเริ่มต้นที่รังสีเอกซเรย์คลอบคลุมเต็มพื้นที่บริเวณหน้าฉากรับรังสี ค่าระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงฉากรับรังสีแบบดิจิทัล (SID) สามารถนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความไม่คมชัดเรขาคณิต ($U_g$) เพื่อควบคุมคุณภาพของระยะห่างที่เหมาะสมตามมาตรฐานของ ASME Sec. V โดยระยะดังกล่าวจะเป็นระยะที่ถูกใช้ในการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์และแบบทั่วไป




**รูปที่ 3.10** แสดงระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีถึงฉากรับรังสีแบบดิจิทัล

### 3.1.5 การคำนวณความไม่คมชัดเรขาคณิต (Geometry unsharpness, $U_g$)




**รูปที่ 3.11** แสดงระยะห่างระหว่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงผิวชิ้นงาน

จากรูปที่ 3.11 เราสามารถคำนวณค่าความไม่คมชัดเรขาคณิต ได้จากสมการที่ 2.7

$$U_g = (F * s) / d$$

$$U_g = (3 \times 8) / 492$$

$$= 0.048 \text{ มิลลิเมตร}$$

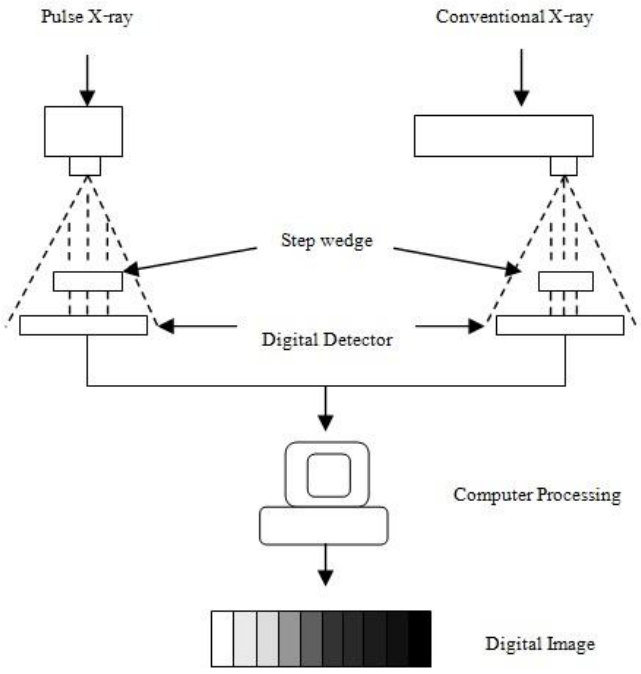
ค่า $U_g$ ที่ได้นำไปเปรียบเทียบค่าที่สามารถยอมรับได้จาก ตาราง 2.1 ผลที่ได้รับคือ มีค่าน้อยกว่า 0.51 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

### 3.1.6 ตัววัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสี (Image Quality Indicator IQI)

ในการวัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสีต้องใช้ตัววัดเป็นตัวกำหนดคุณภาพเพื่อควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันซึ่งตัววัดคุณภาพของภาพถ่ายนี้สามารถคำนวณหาความไวในการตรวจภาพถ่ายรังสีได้จากเส้นที่เล็กสุดของตัววัดที่มองเห็นบนภาพถ่ายนั้นๆ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ชนิดเส้นลวด (Wire Type) ชุด A มีเส้นลวดทั้งหมด 6 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นเล็กสุดอยู่ที่ 0.08 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใหญ่สุดอยู่ที่ 0.25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.12

**รูปที่ 3.12** ตัววัดคุณภาพของภาพถ่ายรังสี

ขั้นตอนในการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป ดังรูปที่ 3.13 ทำการฉายรังสีเอกซเรย์ในระดับจำนวนพัลล์และพลังงานในระดับต่างๆลงบนชิ้นงานขั้นบันได โดยฉากรับรังสีแบบดิจิทัลวัดรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานในความหนาระดับต่างๆ ซึ่งได้ทำการประมวลและส่งภาพถ่ายเป็นชุดข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ตัวโปรแกรมจะแสดงภาพถ่ายแบบดิจิทัลออกมาบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการตรวจสอบหาจุดบกพร่องของวัสดุหรือความเข้มในระดับความหนาต่างๆได้ ซึ่งโปรแกรมสามารถปรับระดับความสว่างของของภาพถ่ายเพื่อให้สะดวกแก่การมองบนหน้าจอได้ แต่ไม่สามารถปรับระดับความเข้มหรือการจำแนกเฉดสีเทาของภาพได้




**รูปที่ 3.13** ขั้นตอนในการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลล์และแบบทั่วไป

### 3.1.7 ขั้นตอนการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ท

ขั้นตอนในการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทของการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์ ดังรูปที่ 3.14 และแบบทั่วไป ดังรูปที่ 3.15

การสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทเอกซเรย์แบบพัลส์

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ แหล่งกำเนิดรังสี, ชิ้นงานขั้นบันได 1-10 mm, ฉากรับรังสีแบบดิจิทัล
2. กำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงฉากรับ (SID) ที่ 500 มิลลิเมตร
3. กำหนดจำนวนพัลส์ที่ต้องการสร้าง
4. ทำการฉายรังสีเอกซเรย์ตามจำนวนพัลส์ที่ต้องการสร้าง
5. ทำการวัดค่าความเข้มของภาพ และดูความเข้มที่กำหนดว่าอยู่ ณ บริเวณความหนาที่เท่าไหร่
6. ทำการบันทึกความหนาที่ได้ความเข้มที่กำหนด
7. ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์ (แกนY)กับความหนาของชิ้นงาน(แกนX)

**รูปที่ 3.14** ลำดับขั้นตอนในการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทแบบพัลส์

การสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทเอกซเรย์แบบทั่วไป

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ แหล่งกำเนิดรังสี, ชิ้นงานขั้นบันได 1-8, ฉากรับรังสีแบบดิจิทัล
2. กำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงฉากรับ (SID) ที่ 500 มิลลิเมตร
3. กำหนดระดับพลังงาน (kV) ที่ต้องการสร้าง
4. กำหนดค่า mA และระยะเวลาในการฉายโดยแบ่งเป็น 4 ช่วง (5,10,15 วินาที เป็นต้น )
5. ทำการฉายรังสีเอกซเรย์ตามระดับพลังงานที่ต้องการสร้าง
6. ทำการวัดค่าความเข้มของภาพ และดูความเข้มที่กำหนดว่าอยู่ ณ บริเวณความหนาที่เท่าไหร่
7. ทำการบันทึกความหนาที่ได้ความเข้มที่กำหนดตามระดับพลังงานที่กำหนด
8. ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง mA·sec (แกน Y)กับความหนาของชิ้นงาน(แกนX)

**รูปที่ 3.15** ลำดับขั้นตอนในการสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ชาร์ทแบบทั่วไป

## 3.2 ปริมาณและพลังงานของรังสีที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 ปริมาณรังสีในการทดลองฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์

ในการทดลองการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์จะทำการฉายรังสีเป็นพัลส์ตั้งแต่ 10 ถึง 99 โดยทำการเพิ่มจำนวนพัลส์ขึ้นที่ละ 10 พัลส์ต่อการฉายหนึ่งครั้ง ดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** จำนวนพัลส์ที่ใช้ในการฉายรังสีเอกซเรย์

| จำนวนครั้ง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนพัลส์ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 99 |

### 3.2.2 ค่าระดับพลังงานและปริมาณในการทดลองฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป

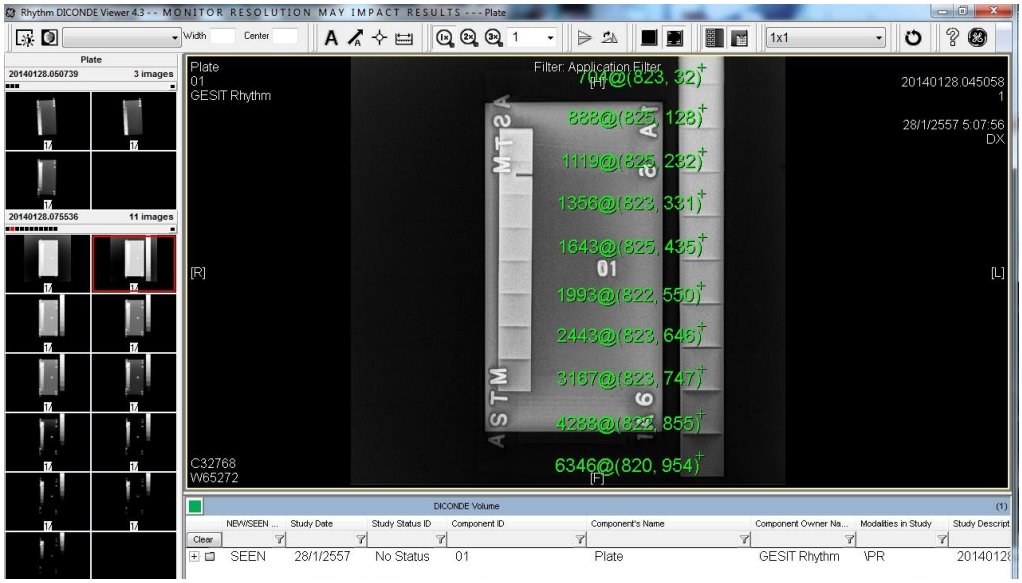
ในการทดลองการฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไปจะทำการฉายรังสีที่ระดับพลังงาน 100, 120, 140, 160 kV, 0.5 mA ซึ่งในการทดลองเหตุผลที่ใช้ 0.5 mA เพราะฉากรับแบบดิจิทัลสามารถทราบและแปลภาพถ่ายได้แม้ปริมาณโฟตอนจะทะลุผ่านชิ้นงานเพียงเล็กน้อย โดยกำหนดระยะเวลาในการฉายดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** ค่าระดับพลังงาน ปริมาณและระยะเวลาในการฉายรังสี

| ระดับพลังงาน (kV) | 100 kV | 120 kV | 140 kV | 160 kV |
|---|---|---|---|---|
| เวลา (วินาที) | 5 | 5 | 2 | 2 |
| | 10 | 10 | 4 | 4 |
| | 15 | 15 | 6 | 6 |
| | 20 | 20 | 8 | 8 |
| | | | 10 | 10 |

## 3.3 การวัดความเข้มของภาพถ่ายแบบดิจิทัล

ในการวัดความเข้มของภาพถ่ายรังสีแบบดิจิทัล ได้ใช้โปรแกรมชื่อ Rhythm DICONDE Viewer 4.3 เป็นซอฟแวร์ลิขสิทธิ์ของบริษัท GE ที่ใช้ในการวัดความเข้มของภาพถ่ายจะทำการวัดความเข้มจากจุดกึ่งกลางของชิ้นงานแต่ละความหนาต่างๆ ดังรูปที่ 3.16 โดยในการกำหนดค่าความเข้มหรือการจำแนกเฉดสีเทา (Grayscale) ของภาพถ่ายแบบดิจิทัลนั้นได้ทำการเปรียบเทียบความเข้มของฟิล์มจากมาตรฐาน ASME Section V Article 2 Edition 2013 กล่าวถึงความเข้มของฟิล์มสูงสุดอยู่ที่ 4.0 Density และความเข้มที่เหมาะต่อการแปรผลจากฟิล์มอยู่ที่ 2.5 Density หรือ 62.5% ของความเข้มทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเทียบความเข้มของฟิล์มกับภาพถ่ายดิจิทัลที่ 62.5% จะได้ค่าความเข้มของภาพถ่ายอยู่ที่ 10,240 Grayscale และเพื่อให้ง่ายในการใช้งานจึงกำหนดค่าความเข้มให้อยู่ที่ 10,000 Grayscale ดังตารางที่ 3.4




**รูปที่ 3.16** ตัวอย่างการวัดความเข้มของภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์

**ตารางที่ 3.4** เปรียบเทียบค่าความเข้มฉากรับภาพกับฟิล์ม

| | ฉากรับรังสี (14 บิต) | ฟิล์ม |
|---|---|---|
| ความเข้ม | Grayscale | Density |
| 100% | 16,384 | 4.00 |
| 62.5% | 10,240 | 2.50 |
| 50% | 8,192 | 2.00 |

## 3.4 การบันทึกผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บันทึกผลโดยทำการวัดความเข้มของภาพถ่ายแบบดิจิทัลตามระดับจำนวนพัลส์และพลังงานตามความหนาต่างๆ จะทำการบันทึกผลค่าความเข้มแต่ละช่วงความหนาต่าง ดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 เพื่อที่จะนำไปสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ชาร์ทที่มีระดับความเข้มอยู่ที่ 10,000 Grayscale นำกราฟเอกซ์โพเซอร์ชาร์ทที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลองถึงคุณลักษณะและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกิดขึ้น โดยจะนำกราฟทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกันเพื่อดูความแตกต่างระหว่างการฉายรังสีแบบพัลส์กับแบบทั่วไป เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในงานอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

**ตารางที่ 3.5** ตารางบันทึกค่าความเข้มของการฉายรังสีเอกซเรย์แบบพัลส์

| | Pulse X-ray | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thickness | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 99 |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |

**ตารางที่ 3.6** ตารางบันทึกค่าความเข้มของการฉายรังสีเอกซเรย์แบบทั่วไป

| 100 kV | Time | Thickness (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mAs | sec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2.5 | 5 | | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | | |
| 7.5 | 15 | | | | | | | | |
| 10 | 20 | | | | | | | | |
| 120 kV | Time | Thickness (mm) | | | | | | | |
| mAs | sec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2.5 | 5 | | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | | |
| 7.5 | 15 | | | | | | | | |
| 10 | 20 | | | | | | | | |

| 140 kV | Time | Thickness (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mAs | sec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0.5 | 1 | | | | | | | | |
| 1 | 2 | | | | | | | | |
| 2 | 4 | | | | | | | | |
| 3 | 6 | | | | | | | | |
| 4 | 8 | | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | | |

| 160 kV | Time | Thickness (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mAs | sec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 2 | | | | | | | | |
| 2 | 4 | | | | | | | | |
| 3 | 6 | | | | | | | | |
| 4 | 8 | | | | | | | | |
| 5 | 10 | | | | | | | | |