บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างการใช้เครื่องแปลงสัญญาณภาพเอกซเรย์เป็นดิจิตอล (Computed Radiography; CR) และการใช้ฟิล์ม ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป โดยการศึกษานี้ประกอบด้วยการศึกษา 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การเปรียบเทียบผลของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไประหว่าง 2 ทางเลือก คือจากการใช้วิธี CR กับวิธีฟิล์ม มีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษานำร่อง(Pilot Study)
2. การประเมินความเทียบเคียงกันระหว่าง 2 วิธี ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป
3. เวลาที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปของทั้ง 2 วิธี
4. ความสอดคล้องในการวัดผลการควบคุมคุณภาพฯ

<u>ส่วนที่ 2</u> การเปรียบเทียบต้นทุนในการการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไประหว่าง 2 ทางเลือก คือจากการใช้วิธี CR กับวิธีฟิล์ม มีรายละเอียดดังนี้

1. ต้นทุนทางตรงทั้งหมดของแต่ละหน่วยต้นทุน
2. ต้นทุนทางอ้อมที่กระจายมาจากหน่วยต้นทุนสนับสนุน
3. ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งในแต่ละส่วนของวิธี CR และวิธีฟิล์ม
4. การเปรียบเทียบต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งของแต่ละส่วนระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม
5. การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

ดังนั้นการสรุปผลการวิจัยจะสรุปผลตามหัวข้อดังกล่าว ดังต่อไปนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> **การเปรียบเทียบผลของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไประหว่าง 2 ทางเลือก คือจากการใช้วิธี CR กับวิธีฟิล์ม**

1. การศึกษานำร่อง(Pilot study)

ก. <u>ความสัมพันธ์ระหว่าง Optical Density และ Pixel Value</u>

จากการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง Pixel Value และ Optical Density มีลักษณะเป็นการถดถอยที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear Regression) โดยมีรูปแบบเป็นการถดถอยโพลิโนเมียล (Polynomial Regression) ซึ่งมีตัวแบบเป็นแบบการถดถอยกำลังสาม (Cubic Model) การประมาณค่าตัวอย่างของสมการถดถอยกำลังสาม แสดงดังนี้

$$\text{Optical density} = b_0 + b_1(\text{pixel}) + b_2(\text{pixel})^2 + b_3(\text{pixel})^3$$

จากการพบความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถประมาณค่า Optical Density ได้โดยการแทนค่า Pixel Value ทำให้เกิดผลดังต่อไปนี้

(1) สามารถหาค่าเอกซโพเชอร์ที่เหมาะสมในวิธี CR ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคู่มือการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในปัจจุบัน จะกำหนดให้มีการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการควบคุมคุณภาพฯ ให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่ได้จากการควบคุมคุณภาพฯ ที่มีค่าความดำ (Optical Density) ตามที่คู่มือเหล่านั้นแนะนำไว้สำหรับการควบคุมคุณภาพของแต่ละส่วน ซึ่งกำหนดไว้เฉพาะในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่ใช้ฟิล์มเท่านั้น

(2) สามารถนำผลที่ได้จากการวัดในวิธี CR ซึ่งมีหน่วยเป็น Pixel Value มาทำการประมาณค่าให้เป็นหน่วย Optical Density ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับในวิธีฟิล์ม จึงทำให้เปรียบเทียบกับผลที่วัดจากวิธีฟิล์มได้

ข. <u>ค่าเอกซโพเชอร์สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป</u>

จากการศึกษานำร่องเพื่อหาค่าเอกซโพเชอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ในวิธี CR และวิธีฟิล์ม สามารถสรุปในรูปของอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ในวิธีฟิล์มเทียบกับวิธี CR (ฟิล์ม/CR) เป็นดังนี้

(1) อัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ในวิธีฟิล์มเทียบกับวิธี CR สำหรับการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี และความคงตัวของกระแสหลอด มีค่าเท่ากับ 1

(2) อัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ในวิธีฟิล์มเทียบกับวิธี CR สำหรับการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดเท่ากับ 2.41 เท่า

(3) อัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ในวิธีฟิล์มเทียบกับวิธี CR สำหรับวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่ และขนาดเล็กเท่ากับ 49.11 เท่า และ 46.73 เท่า ตามลำดับ

2. การประเมินความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR และ วิธีฟิล์ม ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป

ผลการประเมินความเทียบเคียงกันของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ทั้ง 4 ส่วน ระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม สรุปได้ดังนี้

ก. การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี ระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม มีความเทียบเคียงกันทั้ง 3 Outcomes ย่อย

ข. การควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดระหว่าง วิธี CR และวิธีฟิล์มมีความเทียบเคียงกัน

ค. การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด ระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม มีความเทียบเคียงกันทั้ง 2 Outcomes ย่อย

ง. การวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม มีความเทียบเคียงกันทั้ง 2 Outcomes ย่อย

จากผลการประเมินความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR และ วิธีฟิล์ม ดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าเครื่องอ่านและแปลงสัญญาณภาพเอกซเรย์เป็นดิจิตอล (Computed Radiography; CR) มีความเทียบเคียงกันกับเมื่อใช้ฟิล์มในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในส่วนของการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี การจัดตัวของกริด ความคงตัวของกระแส

หลอด และการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก จึงสามารถนำเครื่อง CR มาใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ทั้ง 4 ส่วนแทนการใช้ฟิล์มได้

3. เวลาที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปของทั้ง 2 วิธี

จากการบันทึกเวลาที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไประหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม พบว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในแต่ละส่วน ของวิธี CR น้อยกว่าวิธีฟิล์ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.001) โดยพบว่าความแตกต่างที่มากที่สุดของเวลาเฉลี่ยที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพฯ 1 ครั้งระหว่างวิธี CR และวิธีฟิลิม์ คือการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดโดยวิธี CR และวิธีฟิล์มอยู่ในช่วง -288.47 ถึง -247.49 วินาที ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ความสอดคล้องในการวัดผลการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั้ง 4 ส่วน

ความสอดคล้องในการวัดผลการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ระหว่างผู้วัด 2 คน พิจารณาจาก Intra-Class Correlation (ICC) พบว่าความสอดคล้องระหว่าง ผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละประเภทของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป อยู่ในระดับผลตรงกันเกือบสมบูรณ์ (Almost Perfect Agreement)

<u>ส่วนที่ 2</u> การเปรียบเทียบต้นทุนในการการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ระหว่างวิธี CR กับ วิธีฟิล์ม

1. ต้นทุนทางตรงทั้งหมดของแต่ละหน่วยต้นทุน

ก. ต้นทุนทางตรงทั้งหมด สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปของวิธี CR กับ วิธีฟิล์ม ของทั้ง 4 ส่วน แสดงดังตารางที่ 4.27 ประกอบด้วยต้นทุนค่าแรงทางตรง ต้นทุนค่าวัสดุทางตรงและต้นทุนค่าลงทุนทางตรง สรุปได้ดังนี้

(1) จากการวิเคราะห์ต้นทุนทางตรงทั้งหมด สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (n = 52) ด้วยวิธี CR ทั้ง 4 ส่วน พบว่าการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี มีต้นทุนค่าแรงทางตรงมากที่สุด เท่ากับ 2,717.07 บาท ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดมีต้นทุนค่าแรงน้อยที่สุด เท่ากับ 1,950.73 บาท โดยต้นทุนค่าวัสดุทางตรงและต้นทุนค่าลงทุนทางตรงมีมูลค่าเท่ากันสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน เท่ากับ 294.84 บาท และ 561.68 บาท ตามลำดับ

(2) จากการวิเคราะห์ต้นทุนทางตรงทั้งหมด สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (n = 52) ด้วยวิธีฟิล์ม ทั้ง 4 ส่วน พบว่า การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด มีต้นทุนค่าแรงทางตรงมากที่สุดเท่ากับ 2,875.44 บาท ขณะที่การวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่ มีต้นทุนค่าแรงทางตรงน้อยที่สุด เท่ากับ 2,113.14 บาท โดยการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีต้นทุนค่าวัสดุทางตรงเท่ากันและมากที่สุดในการควบคุมคุณภาพฯ โดยวิธีฟิล์มเท่ากับ 9,537.69 บาท ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์มีต้นทุนค่าวัสดุทางตรงน้อยที่สุดเท่ากับ 1,378.89 บาท เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าลงทุนทางตรง พบว่าในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีมูลค่าเท่ากันและน้อยที่สุดเท่ากับ 783.46 บาท ขณะที่การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดมีต้นทุนค่าลงทุนทางตรงมากที่สุด เท่ากับ 1,523.82 บาท

ข. ต้นทุนทางตรงทั้งหมด สำหรับหน่วยงานสนับสนุนทั้งในระดับกองรังสีกรรม และระดับโรงพยาบาล สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ต้นทุนทางตรงทั้งหมดเฉลี่ยต่อเดือนของหน่วยงานสนับสนุนระดับกอง แสดงดังตาราง 4.27 พบว่าต้นทุนรวมทางตรงทั้งหมดเท่ากับ 140,022.42 บาท ประกอบด้วยต้นทุนค่าแรง 127,162.08 บาท ต้นทุนค่าวัสดุ 6,836.55 บาท และต้นทุนค่าลงทุน 6,023.80 บาท

(2) ต้นทุนทางตรงทั้งหมดเฉลี่ยต่อเดือนของหน่วยงานสนับสนุนระดับโรงพยาบาล แสดงดังตาราง 4.28 พบว่าต้นทุนรวมทางตรงทั้งหมดเท่ากับ 584,810.19 บาท ประกอบด้วยต้นทุนค่าแรง 507,430.08 บาท ต้นทุนค่าวัสดุ 24,194.60 บาท และต้นทุนค่าลงทุน 53,185.50 บาท

2. ต้นทุนทางอ้อมที่กระจายมาจากหน่วยต้นทุนสนับสนุน

ก. ต้นทุนทางอ้อมที่กระจายมาจากหน่วยต้นทุนสนับสนุน มายังกิจกรรมการควบคุมคุณภาพฯในวิธี CR

จากตารางที่ 4.29 ถึง 4.33 สรุปได้ว่า ต้นทุนที่หน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนวัสดุทางตรงของการควบคุมคุณภาพในระบบ CR มีค่าเท่ากันในการควบคุมคุณภาพทั้ง 4 ส่วนเท่ากับ 31.49 บาท ขณะที่ต้นทุนที่หน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนค่าแรงของการควบคุมคุณภาพในวิธี CR จะสูงสุดในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์ เท่ากับ 165.41 บาท และต่ำสุดในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด เท่ากับ 118.76 บาท

ข. ต้นทุนทางอ้อมที่กระจายมาจากหน่วยต้นทุนสนับสนุน มายังกิจกรรมการควบคุมคุณภาพฯในวิธีฟิล์ม

จากตารางที่ 4.34 ถึง 4.38 สรุปได้ว่า ต้นทุนที่หน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนวัสดุทางตรงของการควบคุมคุณภาพฯ เมื่อใช้วิธีฟิล์มมีค่าเท่ากันในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลลิเมเตอร์ การจัดตัวของกริด และความคงตัวของกระแสหลอดมีค่าเท่ากับ 208 บาท โดยต้นทุนทางอ้อมที่กระจายไปยังต้นทุนวัสดุทางตรงของการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีมูลค่าเท่ากันและมากที่สุดเท่ากับ 1,098.12 บาท ขณะที่ต้นทุนที่หน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนค่าแรงของการควบคุมคุณภาพในวิธีฟิล์ม จะสูงสุดในการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดเท่ากับ 174.98 บาท และต่ำสุดในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่เท่ากับ 128.65 บาท

เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนตามเกณฑ์กระจายต้นทุน จะพบว่าหน่วยสนับสนุนระดับกอง มีสัดส่วนตามเกณฑ์การกระจายต้นทุนมายังกิจกรรมการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั้ง 4 ส่วน มากกว่าในระดับโรงพยาบาล ทั้งในวิธี CR และ วิธีฟิล์ม

3. ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ในแต่ละส่วนของวิธี CR และ วิธีฟิล์ม

ก. ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ของวิธี CR

จากตารางที่ 4.41 สรุปได้ว่า ในวิธี CR ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์ 1 ครั้ง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 72.75 บาท และน้อยที่สุดในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดเท่ากับ 56.87 บาทต่อ 1 ครั้ง โดยต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ทั้ง 4 ส่วนเท่ากับ 308.74 บาท

เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุ ต้นทุนค่าเสื่อมราคาต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง พบว่าต้นทุนค่าวัสดุและต้นทุนค่าเสื่อมราคา มีค่าเท่ากัน ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน โดยมีค่าเท่ากับ 6.28 บาทต่อครั้งและ 10.80 บาทต่อครั้งตามลำดับ ขณะที่ต้นทุนค่าแรงต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง มีค่าสูงสุดในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์เท่ากับ 55.43 บาทต่อครั้ง และน้อยที่สุดในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดเท่ากับ 39.79 บาทต่อ 1 ครั้ง

ข. ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ของวิธีฟิล์ม

จากตารางที่ 4.41 สรุปได้ว่า ต้นทุนต่อการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดเล็ก 1 ครั้ง มีค่าสูงสุดในวิธีฟิล์มเท่ากับ 265.74 บาท และน้อยที่สุดในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดเท่ากับ 96.39 บาทต่อ 1 ครั้ง โดยต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ทั้ง 4 ส่วนเท่ากับ 851.79 บาท

เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุ ต้นทุนค่าเสื่อมราคาต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง พบว่าในการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดมีต้นทุนค่าแรงและต้นทุนค่าเสื่อมราคามากที่สุดเท่ากับ 58.66 บาทต่อครั้ง และ 29.30 บาทต่อครั้งตามลำดับ โดยในการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีต้นทุนค่าวัสดุเท่ากันและมากที่สุดเท่ากับ 204.53 บาทต่อครั้ง

4. การเปรียบเทียบต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ของแต่ละส่วนระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม

ก. จากตารางที่ 4.42 แสดงอัตราส่วน (Ratio) ของต้นทุนค่าแรง, ค่าวัสดุ และค่าเสื่อมราคาต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR (ฟิล์ม/CR) สรุปได้ดังนี้

(1) อัตราส่วนของต้นทุนค่าแรงต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งในแต่ละส่วน ระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR (ฟิล์ม/CR) มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 1 เท่า โดยอัตราส่วนของต้นทุนค่าแรงต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งทั้ง 4 ส่วน (ฟิล์ม/CR) เท่ากับ 1.12 เท่า

(2) อัตราส่วนของต้นทุนค่าวัสดุต่อการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก 1 ครั้ง ระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR (ฟิล์ม/CR) มีค่าเท่ากันและสูงสุดเท่ากับ 32.57 เท่า ขณะที่อัตราส่วนของต้นทุนค่าวัสดุต่อการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์ 1 ครั้ง (ฟิล์ม/CR) มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.86 เท่า โดยอัตราส่วนของต้นทุนค่าวัสดุต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งทั้ง 4 ส่วน (ฟิล์ม/CR) เท่ากับ 16.01 เท่า

(3) อัตราส่วนของต้นทุนค่าลงทุนต่อการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR (ฟิล์ม/CR) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.71 เท่า ขณะที่อัตราส่วนของต้นทุนค่าลงทุนต่อการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก 1 ครั้ง (ฟิล์ม/CR) มีค่าเท่ากันและต่ำสุดเท่ากับ 1.40 เท่า โดยอัตราส่วนของต้นทุนค่าลงทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งทั้ง 4 ส่วน (ฟิล์ม/CR) เท่ากับ 1.84 เท่า

(4) เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของต้นทุนทั้งหมดต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งในแต่ละส่วน ระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR พบว่าการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่มีอัตราส่วนของต้นทุนทั้งหมด (ฟิล์ม/CR) สูงที่สุดเท่ากับ 4.52 เท่า ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์ มีอัตราส่วนของต้นทุนทั้งหมด (ฟิล์ม/CR) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.47 เท่า โดยอัตราส่วนของต้นทุนทั้งหมดต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งทั้ง 4 ส่วน (ฟิล์ม/CR) เท่ากับ 2.76 เท่า

ข. การประหยัดต้นทุน (Cost Saving) สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง โดยพิจารณาจากผลต่างของต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR แสดงดังตารางที่ 4.43 สรุปได้ว่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่องด้วยวิธี CR ช่วยประหยัด

ต้นทุนได้ 543.05 บาทต่อการควบคุมคุณภาพฯ 1 ครั้ง และเมื่อสมมติให้ความถี่ของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเป็น 3 ครั้งต่อปี จะทำให้สามารถประหยัดต้นทุนได้ 1,629.15 บาทต่อปี สำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่อง

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของต้นทุนค่าแรง, ค่าวัสดุ และค่าเสื่อมราคาต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง พบว่าการควบคุมคุณภาพฯที่ช่วยประหยัดต้นทุนค่าแรงต่อการควบคุมคุณภาพ 1 ครั้งมากที่สุดคือ การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด โดยการควบคุมคุณภาพฯที่ช่วยประหยัดต้นทุนค่าวัสดุต่อการควบคุมคุณภาพ 1 ครั้งมากที่สุดคือ การวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และการควบคุมคุณภาพฯที่ช่วยประหยัดต้นทุนค่าลงทุนต่อการควบคุมคุณภาพ 1 ครั้งมากที่สุดคือ การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด

5. การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

ก. การวิเคราะห์ความไว เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงเฉพาะต้นทุนราคาฟิล์มเพียงตัวแปรเดียว พบว่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่อง ด้วยวิธี CR ช่วยประหยัดต้นทุนได้เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับก่อนทำการวิเคราะห์ความไว กล่าวคือในปี 2552 จะสามารถช่วยประหยัดต้นทุนสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่องเท่ากับ 554.03 บาทต่อการควบคุมคุณภาพฯ 1 ครั้ง และเพิ่มขึ้นเป็น 600.86 บาท ในปี 2556

ข. การวิเคราะห์ความไว เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงเฉพาะต้นทุนค่าแรงของผู้ทำการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเพียงตัวแปรเดียว พบว่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่อง ด้วยวิธี CR ช่วยประหยัดต้นทุนได้เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับก่อนทำการวิเคราะห์ความไว กล่าวคือในปี 2552 จะสามารถช่วยประหยัดต้นทุนสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่องเท่ากับ 549.47 บาทต่อการควบคุมคุณภาพฯ 1 ครั้ง และเพิ่มขึ้นเป็น 576.86 บาท ในปี 2556

ค. การวิเคราะห์ความไว เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงต้นทุนราคาฟิล์มและต้นทุนค่าแรงของผู้ทำการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปไปพร้อมๆ กันทั้ง 2 ตัวแปร พบว่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่อง ด้วยวิธี CR ช่วยประหยัดต้นทุนได้เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับก่อนทำการวิเคราะห์ความไว กล่าวคือในปี 2552 จะสามารถช่วยประหยัดต้นทุนสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนสำหรับเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 เครื่องเท่ากับ 560.45 บาทต่อการควบคุมคุณภาพฯ 1 ครั้ง และเพิ่มขึ้นเป็น 634.66 บาท ในปี 2556

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้วิธี CR มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีฟิล์ม เนื่องจากวิธี CR ให้ผลในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในส่วนของการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี การจัดตัวของกริด ความคงตัวของกระแสหลอด และการวัดขนาดโฟคอลสปอต เทียบเคียงกับการใช้วิธีฟิล์ม ทั้งนี้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปดังกล่าวด้วยวิธี CR ยังช่วย ลดเวลา ลดปริมาณรังสี ลดการนำเข้าวัสดุสิ้นเปลืองทางการแพทย์ได้เป็นจำนวนมาก เช่น ฟิล์ม และน้ำยาล้างฟิล์ม เป็นต้น ให้ความสะดวกและง่ายต่อการควบคุมคุณภาพเนื่องจากมีขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพที่ไม่ยุ่งยาก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายในการอ่านสัญญาณภาพจากแผ่นบันทึกภาพ และประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพฯ เมื่อเทียบกับวิธีฟิล์มอีกด้วย

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยในการศึกษานี้ จะอภิปรายตามหัวข้อของการสรุปผลการวิจัยซึ่งประกอบด้วยการศึกษา 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การเปรียบเทียบผลของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไประหว่าง 2 ทางเลือก คือจากการใช้วิธี CR กับ วิธีฟิล์ม

1. **<u>การศึกษานำร่อง(Pilot Study)</u>**

ก. ความสัมพันธ์ระหว่าง Optical Density และ Pixel Value

ในการศึกษานี้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วย ของ Pixel Value และ Optical Density โดยการถ่ายภาพเอกซเรย์ของ Step Wedge 21 Steps ลงในฟิล์มที่บรรจุในคาสเซทและทำการวัดค่าความดำจำนวน 20 ขั้น (เนื่องจากจากขนาดความกว้างของขั้นที่ 21 ซึ่งเป็นขั้นที่มีความหนาที่สุด จะมีความกว้างน้อยกว่าขั้นอื่น ๆ จึงทำให้การวัดค่าความดำที่กึ่งกลางของขั้นที่ 21 กระทำได้ยากและมีความคลาดเคลื่อนได้มาก ดังนั้นจึงทำการวัดค่าความดำตั้งแต่ ขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 20 รวมวัดค่าความดำจำนวนทั้งสิ้น 20 Steps) ด้วยเครื่อง Densitometer จะได้หน่วยวัดความดำเป็น Optical Density ทั้งหมด 20 ค่า และทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ของ Step Wedge 21 Steps ด้วยค่าเอกซโพเซอร์เดียวกันกับในวิธีฟิล์ม ลงในแผ่นบันทึกภาพที่บรรจุในคาสเซทและทำการวัดค่า Pixel Value ที่ได้ทั้งหมด 20 ค่าด้วยโปรแกรม Image J จากนั้นจึงนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Pixel Value และ Optical Density ซึ่งพบว่ามีลักษณะเป็นการถดถอยที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีรูปแบบเป็นการถดถอยโพลิโนเมียล และมีตัวแบบเป็นแบบการถดถอยกำลังสาม (Cubic Model) โดยมี

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Adjusted R Square) ของ Cubic Model เท่ากับ 0.999 ซึ่งหมายความว่า ตัวแปร pixel, $pixel^2$ และ $pixel^3$ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ 99.9%

โดยการศึกษานี้ใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Pixel Value และ Optical Density ที่แตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Rong และคณะ (2003: 1768-1775) ซึ่งทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของ Pixel Value และ Optical Density โดยการถ่ายภาพเอกซเรย์ของ Step Wedge ลงในฟิล์มที่บรรจุในคาสเซทและทำการวัดค่าความดำของทุกขั้น จากนั้นนำภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่ได้ไปทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ โดยภาพเอกซเรย์ที่ได้ขณะนี้จะถูกเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ แล้วทำการวัดค่า Pixel Value ของทุกขั้น จากนั้นจึงนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Pixel Value และ Optical Density ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรที่แตกต่างจากของ Rong และคณะ (2003: 1768-1775) เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

(1) วิธีการของ Rong และคณะ (2003: 1768-1775) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optical Density จากระบบฟิล์ม กับค่า Pixel Value ที่ได้จากการสแกนภาพเอกซเรย์ฟิล์มที่เป็นอนาลอกให้กลายเป็นดิจิตอล ซึ่งการสแกนภาพจากอนาลอกให้เป็นดิจิตอลนี้อาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จากการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (Digitization Accuracy) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวน bit ที่ใช้ในการแปลงรหัสสัญญาณไฟฟ้าเป็นความสว่าง (Gray Scale) โดยความผิดพลาดนี้แสดงด้วยปริมาณของ Quantitization Error ถ้าการแปลงรหัสข้อมูลที่ใช้จำนวน bit สูงก็จะเกิด Quantitization Error ต่ำ (สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ, 2547: 57) อย่างไรก็ตาม วิธีการของ Rong และคณะ มีวัตถุประสงค์เพื่อการวัดขนาดของ Focal Spot ด้วยการใช้ Slit Camera ซึ่งต้องการให้ได้ค่าความดำสูงสุดของภาพประมาณ 1.40 OD โดยไม่ได้ใช้ค่าความดำมาเป็นตัวตัดสินขนาดของ Focal Spot

(2) เนื่องจากในการศึกษานี้ต้องการเปรียบเทียบผลของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ระหว่างเมื่อใช้ฟิล์มกับเมื่อใช้เครื่อง CR ดังนั้นจึงควรหาความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างหน่วยวัดความดำ (Optical Density) ที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์ฟิล์ม กับหน่วยวัดความเข้ม (Pixel Value) ที่ได้จากภาพเอกซเรย์ดิจิตอลจากเครื่อง CR โดยไม่ใช้เครื่องสแกนเนอร์

ข. ค่าเอกซโพเชอร์สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป

จากการศึกษานำร่องเพื่อหาค่าเอกซโพเชอร์ที่เหมาะสม สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั้ง 4 ส่วน ของทั้งวิธี CR และวิธีฟิล์ม พบว่าอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด การวัดขนาดโฟคอลสปอตเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีฟิล์มกับวิธี CR มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าในการควบคุมคุณภาพเครื่อง เอกซเรย์ทั่วไปดังกล่าวด้วยวิธี

CR จะช่วยยืดอายุการทำงานของหัวหลอดเอกซเรย์ (Tube loading) ได้เนื่องจากใช้ปริมาณรังสีน้อยกว่าวิธีฟิล์ม ผลสรุปดังกล่าวอาจมีเหตุผลมาจากคุณสมบัติของแผ่นบันทึกภาพที่ใช้ในวิธี CR ซึ่งมีความไวในการตรวจจับรังสีเอกซ์ได้ไวกว่าฟิล์ม ทำให้สามารถตรวจจับรังสีในปริมาณรังสีที่ต่ำมากกว่าฟิล์มได้ (สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ, 2547: 57) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Rong และคณะ (2003: 1768-1775) ที่ได้ทำการศึกษาวัดขนาดโฟคอลสปอตโดยการใช้เครื่อง CR, Flat-Panel Based Digital Detectors (FP) กับ Direct-Exposure Film (DF) ด้วยวิธี Slit Camera พบว่าเมื่อใช้ระบบดิจิตอลสามารถลดการใช้ Tube Loading ได้มากกว่าเมื่อใช้ฟิล์มหลายเท่า

โดยอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ใช้ ในวิธีฟิล์มเทียบกับวิธี CR สำหรับการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และความคงตัวของกระแสหลอดมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากวิธีการในการควบคุมคุณภาพทั้ง 2 ส่วน ซึ่งอ้างอิงจากคู่มือการทดสอบคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (จิตต์ชัย สุริยะไชยากรและคณะ, 2539; NCRP Report No. 99, 1995; RMI Quality Assurance in Radiology Handbook, 1987) ไม่ได้มีการระบุมาตรฐานของความดำของภาพไว้ ทั้งนี้การวัดผลของการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์จะเกี่ยวข้องกับการวัดขนาด ดังนั้นเพื่อป้องกันความลำเอียงจึงใช้ค่าเอกซโพเชอร์ที่เท่ากันทั้ง 2 วิธี ขณะที่การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดจะมีการวัดผลของความแตกต่างของความดำของส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ของทั้ง 2 วิธี มาเปรียบเทียบกัน จึงต้องใช้ค่าเอกซโพเชอร์ที่เหมือนกันทั้ง 2 วิธี

2. <u>การประเมินความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR และ วิธีฟิล์ม ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป</u>

จากการสรุปผลการประเมินความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR และ วิธีฟิล์ม ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ทั้ง 4 ส่วนพบว่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนด้วยวิธี CR มีความเทียบเคียงกันกับวิธีฟิล์ม จึงสามารถใช้วิธี CR ทำการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน แทนวิธีฟิล์มได้ (เมื่อวิธี CR ใช้แผ่นบันทึกภาพขนาด 24 x 30 cm^2 และเครื่องอ่านสัญญาณภาพเอกซเรย์เป็นดิจิตอลรุ่น CR Kodak 850) และยังช่วยประหยัดเวลาในการควบคุมคุณภาพฯอีกด้วย ผลสรุปของการประหยัดเวลานี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rong และคณะ (2003: 1768-1775) ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ระบบ CR และ FP ในการวัดขนาดโฟคอลสปอตด้วยวิธี Slit camera จะใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีฟิล์ม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee, Junewick และ Luttenton (2006: 158-159) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ time-saving พบว่า เมื่อใช้ระบบดิจิตอลในการถ่ายภาพเอกซเรย์ที่แผนกฉุกเฉินจะลดเวลาลงได้ 23% เมื่อเทียบกับระบบฟิล์ม

โดยความสอดคล้องระหว่างผู้วัดผลการควบคุมคุณภาพฯ ทั้ง 2 คนอยู่ในระดับผลตรงกันเกือบสมบูรณ์ (Almost Perfect Agreement) อาจเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้วัดผลการควบคุมคุณภาพฯ ได้รับการสอบเทียบความมาตรฐาน (Calibrate) เรียบร้อยก่อนนำมาใช้วัด จึงทำให้เครื่องมือวัดมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และผู้วัดทั้ง 2 คนได้รับการอบรมถึงวิธีการในการวัดเป็นอย่างดี

<u>ส่วนที่ 2</u> การเปรียบเทียบต้นทุนในการการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ระหว่างวิธี CR กับ วิธีฟิล์ม

ก. **ต้นทุนทางตรงทั้งหมดสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปด้วยวิธี** CR พบว่าการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี มีต้นทุนค่าแรงมากที่สุด ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดมีต้นทุนค่าแรงน้อยที่สุด เนื่องจากในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสีใช้เวลาในการควบคุมคุณภาพฯมากที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุดในการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด

ต้นทุนค่าวัสดุทางตรงและต้นทุนค่าลงทุนทางตรงมีมูลค่าเท่ากัน สำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วนเท่ากับ 294.84 บาท และ 561.68 บาท ตามลำดับ เนื่องจากต้นทุนค่าวัสดุทางตรงของวิธี CR ประกอบด้วยค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่อง CR และค่าซ่อมบำรุงเครื่อง CR ซึ่งการคำนวณต้นทุนเหล่านี้คิดเป็นค่าไฟฟ้าต่อการใช้เครื่อง CR ในการอ่านข้อมูล 1 ครั้ง และค่าซ่อมบำรุงของเครื่อง CR ต่อการใช้เครื่อง CR 1 ครั้ง แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ฎ. ดังนั้นเนื่องจากการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน มีจำนวนการใช้เครื่อง CR จำนวนเท่ากัน จึงทำให้ต้นทุนค่าวัสดุทางตรง และต้นทุนค่าลงทุนทางตรง มีมูลค่าเท่ากันสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน

ข. **ต้นทุนทางตรงทั้งหมดสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปด้วยวิธีฟิล์ม** ทั้ง 4 ส่วน พบว่าการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดมีต้นทุนค่าแรงมากที่สุด ขณะที่การวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่มีต้นทุนค่าแรงน้อยที่สุด เนื่องจากในการควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดใช้เวลาในการควบคุมคุณภาพฯมากที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุดในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่

โดยการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่และขนาดเล็กโดยวิธีฟิล์ม มีต้นทุนค่าวัสดุเท่ากันและมากที่สุดเท่ากับ 9,537.69 บาท เนื่องจาก National Electrical Manufacturers Association (1992) แนะนำให้ใช้นอนสกรีนฟิล์มในการวัดขนาดโฟคอลสปอต เนื่องจากจะให้รายละเอียดของภาพชัดเจนกว่า โดยต้นทุนค่าวัสดุนอนสกรีนจะสูงมากเท่ากับ 171.20 บาทต่อแผ่น

ขณะที่สกรีนฟิล์มจะมีต้นทุนเท่ากับ 14.30 บาทต่อแผ่น ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์มีต้นทุนค่าวัสดุน้อยที่สุดเท่ากับ 1,378.89 บาท เนื่องจากในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์ไม่ได้ใช้เครื่องวัดคำวามดำในการวิเคราะห์จึงไม่มีต้นทุนค่าวัสดุในส่วนของแบตเตอรี่สำหรับเครื่องวัดความดำ

เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าลงทุน พบว่าในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีมูลค่าเท่ากันและน้อยที่สุดเท่ากับ 783.46 บาท เนื่องจากในการวัดขนาดโฟคอลสปอตใช้นอนสกรีนฟิล์ม ซึ่งถูกบรรจุไว้ในซองกระดาษพิเศษป้องกันแสงรั่วเข้าไปภายในซองได้ ทำให้ไม่ต้องใช้คาสเซทในการบรรจุฟิล์ม จึงทำให้ไม่มีต้นทุนค่าเสื่อมราคาของคาสเซท และในการวัดขนาดโฟคอลสปอต ไม่ต้องใช้เครื่องวัดความดำจึงไม่มีต้นทุนค่าเสื่อมราคาของเครื่องวัดความดำ ขณะที่การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอดมีต้นทุนค่าลงทุนมากที่สุดเท่ากับ 1,523.82 บาท เนื่องจากมีปริมาณการใช้เครื่องวัดความดำมากที่สุด

ค. ต้นทุนทางอ้อมที่กระจายมาจากหน่วยต้นทุนสนับสนุนมายังกิจกรรมการควบคุมคุณภาพฯ พบว่าต้นทุนที่หน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนวัสดุทางตรงของการควบคุมคุณภาพในวิธี CR มีค่าเท่ากัน ในการควบคุมคุณภาพทั้ง 4 ส่วน เนื่องจากการควบคุมคุณภาพทั้ง 4 ส่วน ใช้ต้นทุนค่าวัสดุทางตรงเท่ากันจึงทำให้สัดส่วนการกระจายต้นทุนจากหน่วยสนับสนุนมายังการควบคุมคุณภาพฯ เท่ากันทั้ง 4 ส่วน

ขณะที่ต้นทุนจากหน่วยสนับสนุนกระจายมายังต้นทุนวัสดุทางตรงในการควบคุมคุณภาพฯเมื่อใช้วิธีฟิล์ม สำหรับการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลลิเมเตอร์ การจัดตัวของกริดและความคงตัวของกระแสหลอดมีค่าเท่ากับ 208 บาท ซึ่งน้อยกว่าที่กระจายไปยังต้นทุนวัสดุทางตรงของการวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เนื่องจากในการวัดขนาดโฟคอลสปอตมีการใช้ต้นทุนค่าวัสดุสูงกว่า จึงมีสัดส่วนการกระจายต้นทุนจากหน่วยสนับสนุนมายังการวัดขนาดโฟคอลสปอตมากกว่า

ง. ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปด้วยวิธี CR พบว่า ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี 1 ครั้งมีค่าสูงสุด และน้อยที่สุดสำหรับการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลสำหรับต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพฯ ที่แตกต่างกันสำหรับวิธี CR คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ เนื่องจากในการควบคุมคุณภาพฯ ทั้ง 4 ส่วน มีต้นทุนวัสดุต่อหน่วยและต้นทุนค่าลงทุนต่อหน่วยเท่ากัน โดยการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสีใช้เวลาเฉลี่ยในการควบคุมคุณภาพฯมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความละเอียดของวิธีการในการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสีซึ่งจะต้องมีการเปิดแสงไฟจากคอลลิเมเตอร์ให้ตรงกับขอบของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า และการวิเคราะห์ผลซึ่งต้องใช้ความละเอียดในการวัดผลทั้ง 3

Outcomes ย่อย จึงทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลมากกว่าการควบคุมคุณภาพฯ ส่วนอื่นๆ มีผลให้การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสีมีต้นทุนค่าแรงมากที่สุด และส่งผลให้ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี 1 ครั้ง มีค่าสูงสุด

ขณะที่การควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด ใช้เวลาเฉลี่ยในการควบคุณภาพฯ น้อยที่สุด เนื่องจากในการวัดความเข้มของแต่ละรูจากภาพเอกซเรย์ดิจิตอลที่ได้จากการควบคุมคุณภาพฯโดยใช้โปรแกรม Image J มีความสะดวกง่ายและรวดเร็ว จึงทำให้การควบคุมคุณภาพส่วนนี้มีต้นทุนค่าแรงน้อยที่สุด และส่งผลให้ต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี 1 ครั้ง มีค่าน้อยสุด

จ. ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปด้วยวิธีฟิล์ม พบว่าต้นทุนต่อการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดเล็ก 1 ครั้ง มีค่าสูงสุดในวิธีฟิล์มเท่ากับ 265.74 บาท เนื่องจากในการวัดขนาดโฟคอลสปอตมีการใช้นอนสกรีนฟิล์มซึ่งมีราคาสูงกว่าสกรีนฟิล์มที่มีขนาดเดียวกันถึง 11.97 เท่า (171.20/14.30) ทั้งนี้สาเหตุที่ต้นทุนในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่น้อยกว่าขนาดเล็ก เนื่องจากในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่ใช้เวลาในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเปื้อนบนแฉกดาวน้อยกว่า เนื่องจากในการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่เห็นรอยเปื้อนบนแฉกดาวได้ง่ายกว่าการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดเล็ก จึงทำการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดใหญ่ใช้เวลาน้อยกว่าการวัดขนาดโฟคอลสปอตขนาดเล็ก

ฉ. การเปรียบเทียบต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้งของแต่ละส่วนระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม

จากการสรุปผลการศึกษา พบว่าอัตราส่วนของต้นทุนค่าแรง, ต้นทุนค่าวัสดุและต้นทุนค่าเสื่อมราคาต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป 1 ครั้ง ของแต่ละส่วน (ฟิล์ม/CR) มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าในวิธี CR มีการใช้ต้นทุนในการควบคุมคุณภาพฯ น้อยกว่าวิธีฟิล์มทั้งทางด้านต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุและต้นทุนค่าลงทุน

โดยความแตกต่างของต้นทุนสำหรับ 2 วิธี ส่วนใหญ่จะมาจากต้นทุนค่าวัสดุ ทั้งนี้เนื่องจากในวิธีฟิล์มจะมีการใช้ต้นทุนค่าวัสดุหลายประเภท ได้แก่ ค่าสกรีนฟิล์ม, ค่านอนสกรีนฟิล์ม, ซองฟิล์ม, แบตเตอรี่สำหรับเครื่อง Densitometer, ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติและเครื่องเปลี่ยนฟิล์มอัตโนมัติ, ค่าน้ำยาล้างฟิล์มและค่าบำบัดมลพิษของน้ำยาล้างฟิล์ม ในขณะที่ต้นทุนค่าวัสดุในวิธี CR ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าสำหรับการทำงานของเครื่อง CR และค่าซ่อมบำรุงสำหรับเครื่อง CR เท่านั้น เหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ต้นทุนค่าวัสดุในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน ด้วยวิธีฟิล์มมีต้นทุนค่าวัสดุสูงกว่าวิธี CR ถึง 16.01 เท่า

การประหยัดต้นทุนค่าวัสดุเมื่อใช้วิธี CR ในการควบคุมคุณภาพฯแทนฟิล์มนี้มีผลอย่างมากต่อการลดการนำเข้าอุปกรณ์สิ้นเปลืองทางการแพทย์ โดยเฉพาะในอนาคตเมื่อโรงพยาบาลในประเทศไทย ได้มีการนำระบบดิจิตอลมาใช้งานทางด้านรังสีวินิจฉัยเพิ่มมากขึ้นทั่วทุกโรงพยาบาล เมื่อสมมติให้ความถี่ของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน เท่ากับ 3 ครั้งต่อปี และจากการสำรวจจำนวนเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในปี 2550 โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์แห่งประเทศไทย พบว่ามีเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปประมาณ 8,000 เครื่อง ดังนั้นการนำวิธี CR มาใช้ในการควบคุมคุณภาพฯแทนฟิล์มจะช่วยให้ประเทศไทยประหยัดต้นทุนได้ถึงปีละ 13,033,200 บาทต่อปี นอกจากนี้ในการใช้วิธี CR ในการควบคุมคุณภาพฯ ไม่ต้องใช้สารเคมีในกระบวนการอ่านภาพทำให้ช่วยลดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เช่น Chromium, Iron, Zinc, Cadmium, Phenol, Cyano complexes, Hydroquinone, Ammonium, Phosphates, Nitrates, Detergents, oils และ tar รวมทั้งความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาล้างฟิล์ม โดยสารเหล่านี้เมื่อปล่อยสู่ระบบนิเวศน์อาจทำให้เกิดมลพิษในระบบนิเวศน์ทางน้ำได้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการศึกษานี้วิเคราะห์หาต้นทุนค่าลงทุนโดยใช้วิธีการคำนวณหาต้นทุนค่าเสื่อมราคาประจำปีในทางบัญชี (Annual Financial Cost) ของอาคารสิ่งก่อสร้างและครุภัณฑ์ ดังนั้นการประหยัดของต้นทุนอาจจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการคำนวณหาค่าต้นทุนค่าลงทุน โดยใช้วิธีการคำนวณหาค่าเสื่อมราคาประจำปีทางเศรษฐศาสตร์ (Annual Economic Cost)

ช. การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงเฉพาะต้นทุนราคาฟิล์มเพียงตัวแปรเดียวโดยให้ตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ และเมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงเฉพาะต้นทุนค่าแรงของผู้ทำการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเพียงตัวแปรเดียวโดยให้ตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ รวมทั้งเมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงต้นทุนราคาฟิล์มและต้นทุนค่าแรงของผู้ทำการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปไปพร้อมๆ กันทั้ง 2 ตัวแปร พบว่าให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับก่อนทำการวิเคราะห์ความไว กล่าวคือ การใช้วิธี CR จะช่วยประหยัดต้นทุนในการควบคุมคุณภาพฯได้เมื่อเทียบกับวิธีฟิล์ม จึงทำให้มีความมั่นใจในผลลัพธ์ที่ได้มากยิ่งขึ้น

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใช้วิธี CR ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีฟิล์มเป็นอย่างมาก ดังนั้นในโรงพยาบาลที่มีการนำเครื่อง CR มาใช้ในการบันทึกภาพเอกซเรย์ผู้ป่วย ก็จะสามารถนำเครื่อง CR มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปได้ ทำให้การควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปสามารถกระทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ลดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการควบคุมคุณภาพ ฯ ปราศจากการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย เนื่องจากในกระบวนการอ่านสัญญาณภาพจากแผ่นบันทึกภาพ โดยเครื่อง CR Reader จะใช้ลำแสง Helium–Neon Laser สแกนไปยังแผ่นบันทึกภาพที่

ได้รับการเอกซเรย์แล้ว เพื่อให้ได้สัญญาณภาพจากแผ่นบันทึกภาพแล้วส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลกลายเป็นภาพเอกซเรย์ดิจิตอล ทำให้ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถลดการนำเข้าของวัสดุสิ้นเปลืองทางการแพทย์ได้เป็นอย่างมาก ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน ด้วยวิธี CR สามารถประหยัดต้นทุนได้เป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์อย่างมาก สำหรับโรงพยาบาลที่ห่างไกล และขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญด้านรังสี เช่น นักฟิสิกส์รังสี และนักรังสีเทคนิคการแพทย์ เป็นต้น ทำให้การควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปอาจเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึง ดังนั้นในโรงพยาบาลที่ห่างไกลและมีการใช้ระบบการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) เช่น โรงพยาบาลของกองทัพบก ซึ่งมีทั้งสิ้น 37 แห่ง กระจายอยู่ทั่วประเทศ มีโครงการใช้ระบบการแพทย์ทางไกล โดยโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าเป็นโรงพยาบาลศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลคนไข้ระหว่างกันและกัน ให้คำปรึกษาในการรักษาและวินิจฉัยโรคของผู้ป่วยให้กับโรงพยาบาลค่ายที่ห่างไกล ทั้งด้านภาพ เช่น ภาพเอกซเรย์ดิจิตอล และเสียง แบบ Real time สามารถรับส่งภาพการผ่าตัดเพื่อปรึกษาได้ทันทีในภาคสนาม ดังนั้นเมื่อมีการนำระบบดิจิตอลมาใช้ในการเอกซเรย์ภาพ จะทำให้เจ้าหน้าที่รังสีที่อยู่ในโรงพยาบาลค่ายซึ่งห่างไกล ที่ได้ผ่านการอบรมให้สามารถปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปได้ เมื่อดำเนินการทดสอบเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปของแต่ละโรงพยาบาลแล้ว ก็จะสามารถส่งภาพเอกซเรย์ดิจิตอลที่ได้จากการทดสอบเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป มายังโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าให้ผู้เชี่ยวชาญด้านรังสี ทำการวิเคราะห์ผลว่าเครื่องเอกซเรย์อยู่ในมาตรฐานหรือไม่ และส่งผลการวิเคราะห์กลับไปโรงพยาบาลค่ายนั้นๆ โดยเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่ไม่ได้มาตรฐานก็ให้ทำการแจ้งบริษัทมาดำเนินการแก้ไขต่อไป

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การใช้เครื่อง CR ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป สามารถช่วยให้การควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเป็นไปอย่างทั่วถึง และเท่าเทียมกัน อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในโรงพยาบาลที่ห่างไกล

ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้แยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน ของทั้ง 2 วิธี มีปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญ คือ ข้อจำกัดในการใช้เครื่องเอกซเรย์ทั่วไป เนื่องจากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่ได้รับการสุ่มเลือกเพื่อทำการควบคุมคุณภาพฯนี้ จะต้องถูกใช้สำหรับบริการเอกซเรย์แก่ผู้ป่วยด้วย นอกจากนี้ในการปฏิบัติการสำหรับการควบคุมคุณภาพฯ จะต้องกระทำทั้ง 2 วิธีสลับกัน โดยทำการควบคุมคุณภาพฯในแต่ละส่วนเป็นคู่ ๆ และในการควบคุมคุณภาพเรื่องการจัดตัวของกริดและความคงตัวของกระแสหลอด จะต้องมีการทำ Optical Density Calibration ทุกวันก่อนทำการควบคุมคุณภาพฯ เพื่อนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Pixel Value และ Optical Density ทำให้มีการเพิ่มเวลาในการใช้เครื่องเอกซเรย์ทั่วไปมากขึ้นในการควบคุมคุณภาพดังกล่าว จึงทำให้การปฏิบัติการสำหรับการควบคุมคุณภาพฯเป็นไปด้วยความลำบาก แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ทำการการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป โดยจัดทำตารางเวลาการทำงานให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

2. ปัญหาในการรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุน เนื่องจากปัจจุบันโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ต้นทุนโรงพยาบาลเป็นรูปธรรม แนวทางแก้ไขปัญหาคือ ทำการวางแผนจัดการอบรมเพื่อให้ความรู้และสร้างความตื่นตัวให้กับองค์กร เพื่อจัดเก็บข้อมูลได้ถูกต้อง รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต้นทุนโรงพยาบาลต่อไป

ข้อเสนอแนะต่อการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าเครื่อง CR สามารถนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปแทนฟิล์มได้ ดังนั้นในโรงพยาบาลที่มีการใช้เครื่อง CR ในการบันทึกภาพเอกซเรย์ดิจิตอลทางการแพทย์สามารถใช้เครื่อง CR เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปได้ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

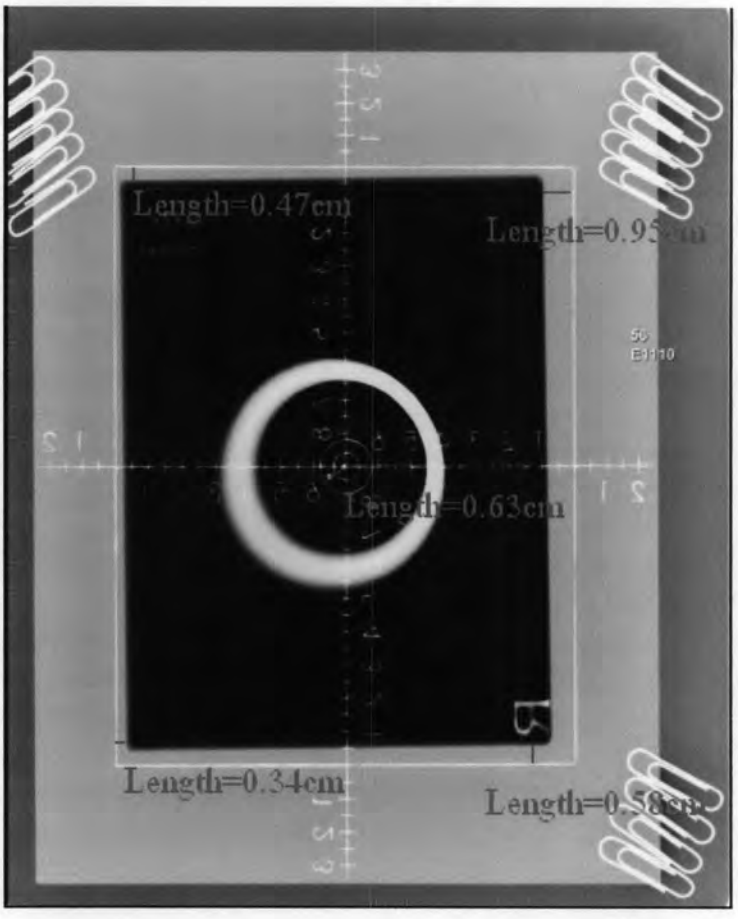
ขั้นตอนที่ 1 วิธีการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน

กระทำตามคู่มือการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป(จิตต์ชัย สุริยะไชยากรและคณะ, 2539; NCRP Report No. 99, 1995; RMI Quality Assurance in Radiology Handbook, 1987) โดยใช้แผ่นบันทึกภาพที่บรรจุในคาสเซทในการบันทึกภาพเอกซเรย์ และใช้เครื่อง CR Reader ในการอ่านสัญญาณภาพเอกซเรย์ดิจิตอลที่ถูกบันทึกไว้ในแผ่นบันทึกภาพ สำหรับค่าเอกซโพเชอร์ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพฯ สามารถอ้างอิงโดยใช้จากการศึกษานำร่องที่ได้จากการศึกษานี้

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ผลการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน

1. การควบคุมคุณภาพการจัดคอลลิเมเตอร์และลำรังสี ใช้โปรแกรม DICOM Image viewer ทำการวัดระยะทางต่างๆ เพื่อวัดผลของทั้ง 3 Outcomes ย่อย ดังนี้

ก. วัดระยะเหลื่อมทั้ง 2 ข้างของด้านกว้างรวมกันและวัดระยะเหลื่อมทั้ง 2 ข้างของด้านยาวรวมกันเพื่อวิเคราะห์ผลการควบคุมคุณภาพของคอลลิเมเตอร์ แสดงดังภาพที่ 5.1 จากภาพจะเห็นได้ว่ามีระยะเหลื่อมของด้านกว้างรวมกัน = 0.34 cm + 0.95 cm = 1.29 cm และมีระยะเหลื่อมของด้านยาวรวมกัน = 0.58 cm + 0.47 cm = 1.05 cm ทั้งนี้มาตรฐานของการควบคุมคอลลิเมเตอร์ (NCRP Report No. 99, 1995) กำหนดให้ระยะเหลื่อมของทั้งด้านกว้างและด้านยาวไม่เกิน 2% ของระยะจากหลอดเอกซเรย์ถึงแผ่นบันทึกภาพ (100 cm) จึงต้องไม่เกิน 2 cm ดังนั้นผลการควบคุมคุณภาพของคอลลิเมเตอร์จึงอยู่ในมาตรฐาน



ภาพที่ 5.1 การวัดระยะเหลื่อมและระยะของจุดขาว 2 จุด

ข. วัดระยะระหว่างจุดขาว 2 จุด เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ของการควบคุมคุณภาพของ Beam Alignment พิจารณารูปที่ 5.1 จะได้ระยะระหว่าง จุด 2 จุด เท่ากับ 0.63 cmจากนั้นจึงนำไปคำนวณหามุมที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนกลางลำรังสีเอกซ์ ซึ่งตามมาตรฐานของ (NCRP Report No. 99, 1995) จะต้องไม่เกิน 3 องศา โดยการคำนวณมุมที่เบี่ยงเบนไปสามารถคำนวณได้โดยสูตรต่อไปนี้

$$\theta = \frac{\tan^{-1}[r(FFD - h - x)]}{FFD(h + x)}$$

เมื่อ FFD คือ ระยะจากFocal Spot ถึงฟิล์ม = 100 cm

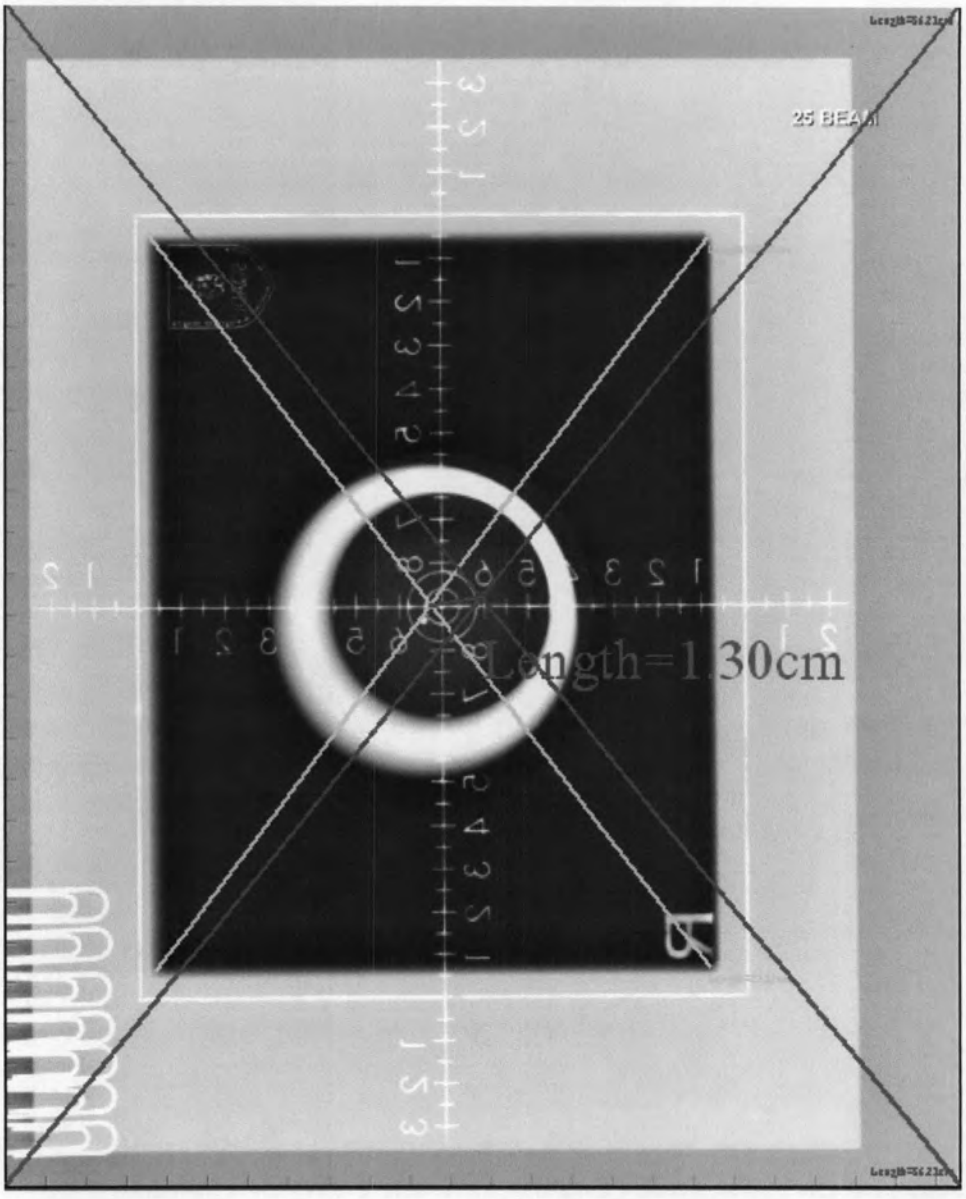
h คือ ความสูงของ Beam Alignment Test = 16 cm

x คือ ระยะจากพื้นเตียงจนถึงถาดใส่ฟิล์ม = 5 cm

r คือ ระยะระหว่างจุดขาว 2 จุดที่ปรากฏบนภาพเอกซเรย์ = 0.63 cm

ดังนั้นมุมเบี่ยงเบนไปจากแนวแกนกลางลำรังสี = 1.36 องศา จึงอยู่ในมาตรฐาน

ค. วัดระยะเบี่ยงเบนของแนวแกนกลางลำรังสีเอกซ์จากจุดกึ่งกลางฟิล์ม เพื่อวิเคราะห์ผลการควบคุมคุณภาพ ของ Alignment of X-ray field and Image Receptor จากภาพที่ 5.2 จะได้ว่าระยะเบี่ยงเบนของแนวแกนกลางลำรังสีเอกซ์จากจุดกึ่งกลางฟิล์มมีค่าเท่ากับ 1.30 cm ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน (NCRP Report No. 99, 1995)



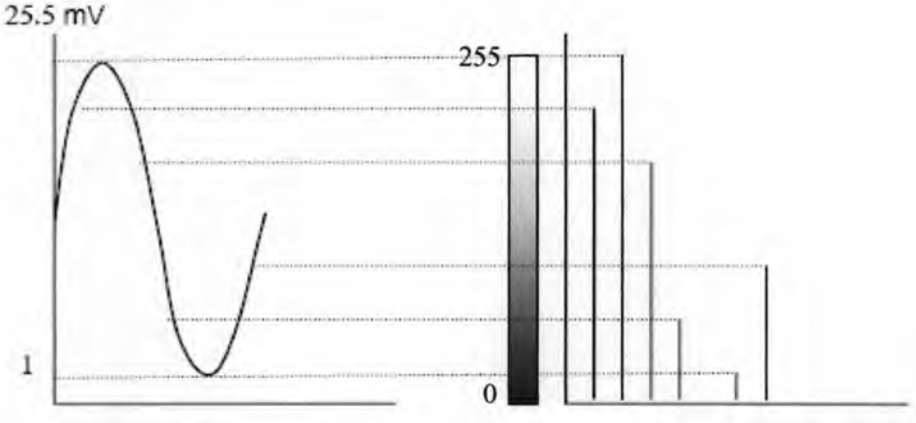
ภาพที่ 5.2 การวัดระยะเบี่ยงเบนของแนวแกนกลางลำรังสีจากจุดกึ่งกลางฟิล์ม

2. การควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริด

เนื่องจากการยอมรับของการได้มาตรฐานการจัดตัวของกริด กำหนดไว้ว่าความดำจากรูกลางมีค่าสูงสุดและความดำของรูถัดไปซ้ายและขวาลดลงจากรูกลางตามลำดับ(NCRP Report No.99, 1995)

ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการควบคุมคุณภาพการจัดตัวของกริดโดยวิธี CR ซึ่งภาพเอกซเรย์ที่ได้จะเป็นภาพดิจิตอล (Digital Image) โดยสัญญาณการสร้างภาพที่ออกจากเครื่องมือสร้างภาพระบบดิจิตอล โดยทั่วไปแล้วตัวตรวจจับสัญญาณจะตรวจจับสัญญาณอนาลอก จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วย A/D Converter (Analog to Digital Converter) โดยอาศัยหลักการพื้นฐานในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากเอาท์พุทของส่วนภาคขยายสัญญาณ ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าที่มีรูปคลื่นแบบ Sine Wave จากนั้นจะตรวจจับสัญญาณแล้วปรับเป็นรูปแบบดิจิตอล โดยความละเอียดของการนับวัดจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิท (Bit) ของการแปลงสัญญาณ เรียกว่า Bit Depth ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกความละเอียดของสัญญาณหรือรายละเอียดของภาพ (Spatial Resolution) ถ้ามีการแปลงสัญญาณระบบ 8 บิท จะให้ความละเอียด 256 ระดับ

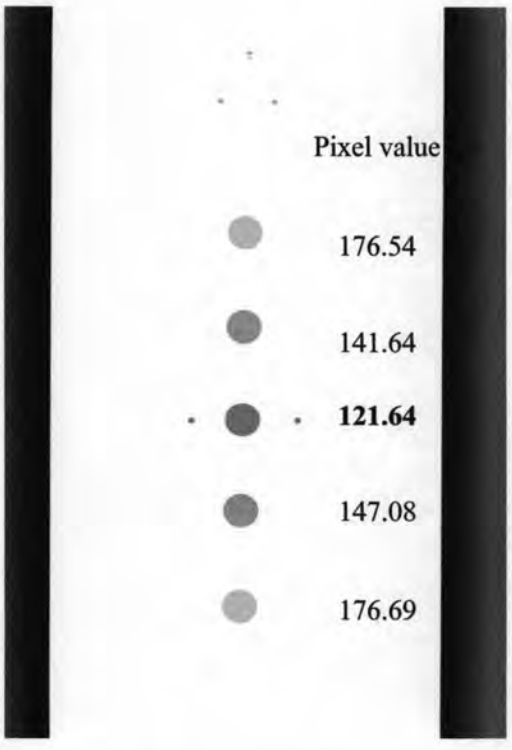
แนวคิดพื้นฐานอย่างง่ายในการแปลงสัญญาณจากนาลอกเป็นดิจิตอล คือสมมติให้สัญญาณที่ได้จากเครื่องมือสร้างภาพ มีสัญญาณดังภาพที่ 5.3 โดยมีสัญญาณไฟฟ้าออกมาตั้งแต่ 0 ถึง 25.5 mV แปลงสัญญาณเป็นค่าดิจิตอลในระบบ 8 บิท ดังนั้นทุกๆ 0.1 mV จะแปลงค่าได้ 1 ระดับ เมื่อใช้เฉดความสว่าง (Gray Scale) เป็นระดับความสว่างที่แทนค่าแต่ละแรงดันทั้ง 256 ระดับ (0 ถึง 255) จะเห็นว่าที่ระดับสัญญาณสูงสุด (25.5 mV) เมื่อแปลงเป็นค่าตัวเลขแบบดิจิตอลจะตรงกับระดับ 255 ซึ่งจะให้เฉดความสว่างสูงสุดโดยจะเห็นภาพเป็นสีขาว(สว่างที่สุด) และที่ตำแหน่ง 0 mV จะเท่ากับระดับตัวเลขแบบดิจิตอลจะตรงกับระดับ 0 ซึ่งจะให้เฉดความสว่างเป็นดำที่สุด (สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ, 2547: 26)



ภาพที่ 5.3 การแปลงสัญญาณไฟฟ้าระบบอนาลอกเป็นระบบดิจิตอล

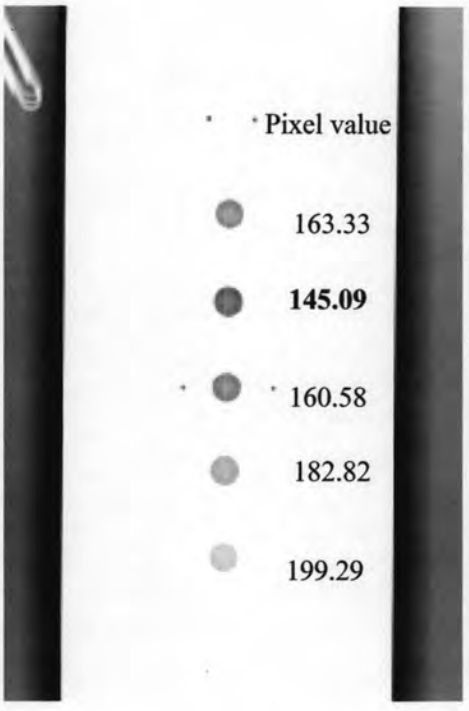
โดยหน่วยของการวัดเฉดความสว่างของภาพดิจิตอล คือ Pixel Value ดังนั้นจากหลักการสร้างภาพในระบบดิจิตอลข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า เฉดความสว่างของภาพดิจิตอลบริเวณที่มีค่า Pixel Value เท่ากับ 255 จะเห็นภาพเป็นสีขาว(สว่างที่สุด) และที่เฉดความสว่างของภาพดิจิตอลบริเวณที่มีค่า Pixel Value เท่ากับ 0 จะเห็นภาพเป็นดำที่สุด นั้นก็คือ บริเวณใดของภาพที่มีค่า Pixel Value ยิ่งมากก็จะเห็นภาพบริเวณนั้นเป็นขาวมาก และ บริเวณใดของภาพที่มีค่า Pixel Value ยิ่งน้อยก็จะเห็นภาพบริเวณนั้นเป็นดำมาก เช่น เมื่อมีการวัดเฉดความสว่างของภาพดิจิตอลทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 วัดค่า Pixel Value ได้เท่ากับ 60, ตำแหน่งที่ 2 วัดค่า Pixel value ได้เท่ากับ 100 และ ตำแหน่งที่ 3 วัดค่า Pixel Value ได้เท่ากับ 150 จากหลักการดังกล่าวสามารถบอกได้ว่า ตำแหน่งที่ 1 จะเห็นภาพเป็นดำที่สุด โดยตำแหน่งที่ 2 จะมีความดำรองลงมา และตำแหน่งที่ 3 จะปรากฏเห็นเป็นขาวที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่ 1 และ 2

ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการจัดตัวของกริด สามารถใช้หลักการดังกล่าวข้างต้นในการวิเคราะห์ผลได้โดยทำการวัดค่า Pixel Value โดยใช้โปรแกรม Image J ที่กึ่งกลางทั้ง 5 รู เมื่อค่า Pixel Value ที่รูกลางมีค่าต่ำสุด (ภาพจะดำสุด) และ ค่า Pixel Value ของรูถัดไปซ้ายและขวาเพิ่มขึ้นจากรูกลาง (ความดำลดลง) ตามลำดับ จะได้ว่าการจัดตัวของกริดอยู่ในมาตรฐาน แสดงดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 การวัดค่า Pixel Value ที่กึ่งกลางของแต่ละรู ที่ให้ผลการจัดตัวของกริด อยู่ในมาตรฐาน เนื่องจากรูที่มีค่า Pixel Value ต่ำสุดอยู่ที่รูกลางและ ค่า Pixel Value ของรูถัดไปซ้ายและขวาเพิ่มขึ้นจากรูกลาง

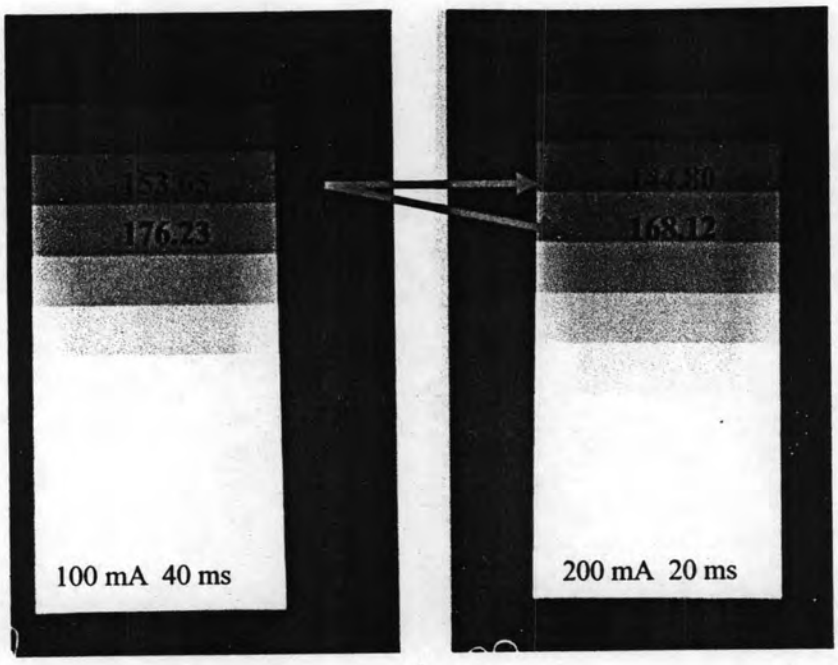
ขณะที่ภาพที่ 5.5 จะเห็นว่ารูที่มีค่า Pixel Value ต่ำที่สุด ไม่ได้อยู่ตรงกลาง จึงสามารถสรุปได้ว่า การจัดตัวของกริดนี้ ไม่อยู่ในมาตรฐาน



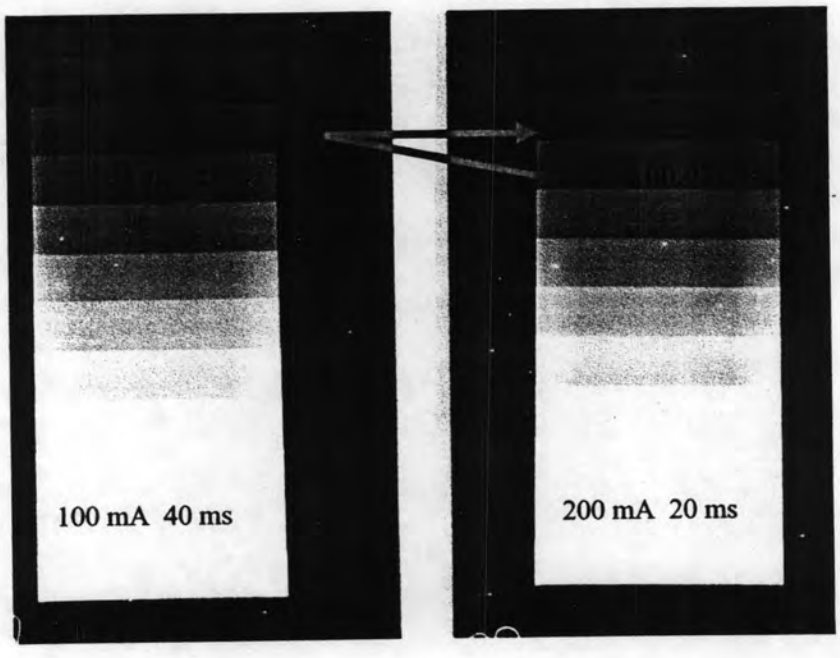
ภาพที่ 5.5 การวัดค่า Pixel Value ที่กึ่งกลางของแต่ละรู ที่ให้ผลการจัดตัวของกริดไม่อยู่ในมาตรฐาน เนื่องจากรูที่มีค่า Pixel Value ต่ำสุดไม่ได้อยู่ที่รูกลาง

3. การควบคุมคุณภาพความคงตัวของกระแสหลอด

เนื่องจาก NCRP Report No.99 (1995) กำหนดการยอมรับความมาตรฐานของความคงตัวของกระแสหลอด โดยพิจารณาจากความดำของแต่ละขั้นในภาพอลูมิเนียมแบบขั้นบันไดทั้งสองภาพ หากความดำในขั้นเดียวกันของทั้งสองภาพ มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1 ขั้น ถือว่าความคงตัวของกระแสหลอดยอมรับได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ความมาตรฐานของความคงตัวของกระแสหลอดด้วยวิธี CR สามารถกระทำได้โดยการวัด Pixel Value โดยใช้โปรแกรม Image J แล้วพิจารณาค่าความแตกต่างของ Pixel Value ถ้ามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1 ขั้น ถือว่าความคงตัวของกระแสหลอดยอมรับได้ แสดงดังภาพที่ 5.6 ขณะที่ภาพที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความคงตัวของกระแสหลอดที่ไม่ได้มาตรฐาน

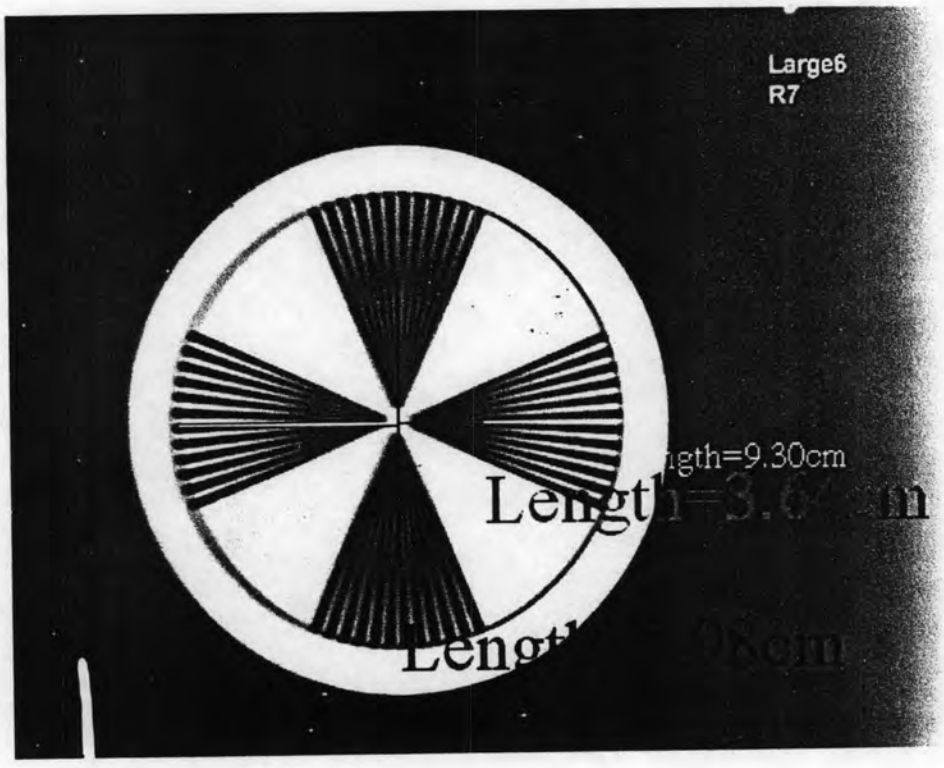


ภาพที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ความคงตัวของกระแสหลอดที่ได้มาตรฐาน เนื่องจากความแตกต่างของความดำในชั้นเดียวกัน ไม่เกิน 1 ชั้น



ภาพที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความคงตัวของกระแสหลอดที่ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากความแตกต่างของความดำในชั้นเดียวกัน เกิน 1 ชั้น

4. การวัดขนาดโฟคอลสปอตทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยใช้โปรแกรม DICOM Image Viewer ทำการระยะทางต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการหาขนาดโฟคอลสปอต พิจารณาภาพที่ 5.8 แสดงตัวอย่างการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเปื้อนของแฉกดาว (DW , DL) และเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทดสอบรูปดาวที่ปรากฏบนภาพเอกซเรย์ดิจิตอล จากการนำไปวัดขนาดโฟคอลสปอตที่กำหนดมาจากโรงงานผู้ผลิตให้มีขนาด 1 mm



ภาพที่ 5.8 การวัดระยะรอยเปื้อนที่เกิดในแนวแอโนด-แคโทด (A-C axis) ของหลอดเอกซเรย์ (DW) = 36.4 mm,ระยะรอยเปื้อนในแนวตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทด (DL) = 59.8 mm รวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทดสอบรูปดาวที่ปรากฏบนภาพเอกซเรย์ดิจอตอล = 93.0 mm

จากภาพที่ 5.8 สามารถหาขนาดโฟคอลสปอตได้ดังสมการต่อไปนี้

$$f = \frac{\theta D}{57.3(M-1)}$$

เมื่อ f คือ ขนาดของโฟคอลสปอตปรากฏ (Apparent Focal Spot)

θ คือ มุมกระจายของแฉกคาวในหน่วยองศา (Spoke Angle) = 2 องศา

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเปื้อนของแฉกคาวในหน่วย mm

M คือ กำลังขยาย คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$M = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทดสอบรูปดาวที่ปรากฏบนฟิล์ม}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทดสอบรูปดาว = 45 mm}} = \frac{93.0 \text{ mm}}{45 \text{ mm}}$$

ดังนั้นขนาดโฟคอลสปอตในแนวแอโนด-แคโทด = $\frac{2 \times (36.4)}{57.3\ (2.067-1)} = 1.19$ mm

และขนาดโฟคอลสปอตในแนวตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทด = $\frac{2 \times (59.8)}{57.3\ (2.067-1)} = 1.96$ mm

เมื่อนำขนาดโฟคอลสปอตที่วัดได้นี้ไปเทียบกับมาตรฐาน NCRP Report No.99 (1995) ซึ่งกำหนดว่าขนาดโฟคอลสปอตที่ระบุจากโรงงานขนาด 1 mm เมื่อทำการวัดแล้วจะยอมรับความมาตรฐานได้เมื่อขนาดโฟคอลสปอตที่วัดได้ในแนวขนานกับแนวแอโนด-แคโทดต้องไม่เกิน 1.40 mm และขนาดโฟคอลสปอตที่วัดได้ในแนวตั้งฉากกับแนวแอโนด-แคโทดต้องไม่เกิน 2.0 mm ดังนั้นขนาดโฟคอลสปอตที่วัดได้จึงอยู่ในมาตรฐาน

จะเห็นได้ว่าการนำวิธี CR มาเป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน แทนฟิล์มนั้น ช่วยให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว ลดต้นทุน และช่วยลดการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ทั้ง 4 ส่วน อีกด้วย

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

เนื่องจากในการศึกษานี้มีข้อจำกัดอยู่ 2 ประการใหญ่ๆ ดังนี้

1. การศึกษาความเทียบเคียงระหว่างวิธี CR และวิธีฟิล์ม ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเพียงเครื่องเดียว แม้ว่าเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปนี้จะถูกเลือกมาโดยวิธีการสุ่ม แต่เครื่องเอกซเรย์เพียงเครื่องเดียว อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้งหมดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำวิธีการศึกษานี้ ไปขยายผลศึกษาในเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปเครื่องอื่นๆ ต่อไป

2. ในการศึกษานี้ได้ทำการคำนวณหาต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน โดยการรวบรวมข้อมูลต้นทุนจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ดังนั้นต้นทุนต่อการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปทั้ง 4 ส่วน อาจมีความแตกต่างได้ในแต่ละสถานพยาบาล โดยเฉพาะในโรงพยาบาลเอกชน ซึ่งอาจจะทำให้พบการประหยัดต้นทุนเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการนำวิธี CR มาใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ดังนั้นเมื่อมีการนำวิธี CR ไปใช้ในโรงพยาบาลที่ให้ความสนใจ จึงควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปขึ้นใหม่

นอกจากนี้ ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปในการศึกษานี้ด้วยวิธี CR ใช้แผ่นบันทึกภาพยี่ห้อ Kodak (Imaging Plate) และเครื่องอ่านสัญญาณภาพเอกซเรย์เป็นดิจิตอล (CR Reader) Model CR Kodak 850 ขณะที่วิธีฟิล์มใช้สกรีน-ฟิล์มชนิดไวแสงสีเขียว (Speed 400) ยี่ห้อ Kodak บรรจุในคาสเซทยี่ห้อ Kodak Model Lanex X-OMAT ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำวิธีการศึกษานี้ ไปขยายผลศึกษาในเครื่อง CR ยี่ห้ออื่นๆ ต่อไปอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ในการนำวิธีการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ศึกษาความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR กับวิธีฟิล์มในการควบคุมคุณภาพเครื่องมือทางการแพทย์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์ในการควบคุมคุณภาพฯ เช่น ในงานบริการผู้ป่วยด้วยรังสีรักษา การควบคุมคุณภาพของคอลลิเมเตอร์ของเครื่องฉายรังสีรักษาผู้ป่วยเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในการฉายรังสีรักษาผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งนั้นจะต้องมีการเปิดพื้นที่แสงไฟบนพื้นผิวให้ครอบคลุมอวัยวะที่ต้องการจะรักษา ซึ่งขอบเขตของลำรังสีที่ปล่อยออกมาควรจะต้องตรงกับพื้นที่แสงไฟ มิเช่นนั้นจะทำให้ผู้ป่วยได้รับรังสีไม่ครอบคลุมรอยโรคที่จะรักษา อาจทำให้ไม่หายหรือมีการเป็นซ้ำได้อีก ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของคอลลิเมเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการฉายรังสีรักษาให้แก่ผู้ป่วย โดยวิธีการดั้งเดิมก็จะใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์เช่นเดียวกับการควบคุมคุณภาพคอลลิเมเตอร์ของเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาถึงความเทียบเคียงกันระหว่างวิธี CR กับ

วิธีฟิล์มในการการควบคุมคุณภาพของคอลลิเมเตอร์ของเครื่องฉายรังสีรักษาผู้ป่วย ซึ่งมีข้อควรคำนึงในเรื่องของ การตอบสนองต่อพลังงาน (Energy Response) ของแผ่นรับภาพของ CR ทั้งนี้เพราะในทางรังสีรักษาใช้รังสีที่มีพลังงานสูงกว่าการใช้เอกซเรย์ทางด้านวินิจฉัย