

การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์
ที่บันทึกภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลสำหรับคัดกรองของเหลว



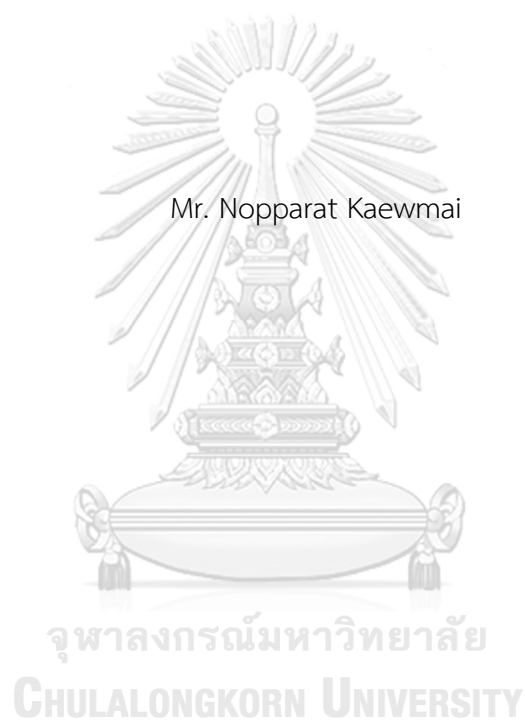
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF X-RAY IMAGING TECHNIQUE
RECORDED BY DIGITAL CAMERA FOR LIQUID SCREENING

Mr. Nopparat Kaewmai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

นพรัตน์ แก้วใหม่ : การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่บันทึกภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลสำหรับคัดกรองของเหลว (DEVELOPMENT OF X-RAY IMAGING TECHNIQUE RECORDED BY DIGITAL CAMERA FOR LIQUID SCREENING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รศ. สมยศ ศรีสถิตย์, หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับคัดกรองของเหลวติดไฟจากการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองรังสีเป็นฉากรับภาพถ่ายรังสีและควบคุมกล้องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่าน USB ภาพถ่ายด้วยรังสีของของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่บรรจุในขวดพลาสติกบางทรงเหลี่ยมความกว้าง 6 เซนติเมตร โดยใช้ค่าความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ระหว่าง 90 -160 กิโลโวลต์ ภาพถ่ายด้วยรังสีถูกวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งใช้เทคนิคการคำนวณหาค่าและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวใด ๆ เทียบกับของน้ำที่ถูกถ่ายภาพด้วยปริมาณรังสีเอกซ์ด้วยเงื่อนไขเดียวกัน จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการถ่ายภาพและซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้คัดแยกของเหลวชนิดติดไฟและของเหลวชนิดที่ไม่ติดไฟได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถนำเทคนิคนี้ไปพัฒนาต่อยอดในงานด้านรักษาความมั่นคงปลอดภัยให้เกิดความรวดเร็วมากยิ่งขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีนิวเคลียร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5970206721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: X-RAY RADIOGRAPHY / LIQUID SCREENING / ATTENUATION COEFFICIENT / DEVELOPMENT OF X-RAY IMAGING TECHNIQUES

NOPPARAT KAEWMAI: DEVELOPMENT OF X-RAY IMAGING TECHNIQUE RECORDED BY DIGITAL CAMERA FOR LIQUID SCREENING. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMYOT SRISATIT, pp.

This study aims to Development of X-ray imaging techniques by using digital camera for screening of flammable liquids by attenuation coefficient. The image viewing system was composed of a digital camera coupled with an x-ray fluorescent screen. The camera was equipped with software to control setting of the camera via a USB cable, which allows the images to be captured of various liquids contained in a 6 cm thickness of plastic bottle. Using the voltage of the X-ray generator between 90-160 kV, radiographic images were analyzed by developed computer software. By applied the normalization technique, to calculate the attenuation coefficient of any liquids compared to the water being processed in the same exposure condition. The results of the experiment, improved shooting techniques and software can be distinguished between flammable liquids and non-flammable liquids. This technique can be used to improve the security of your work faster.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยหัวข้อ การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่บันทึกภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลสำหรับคัตกรองของเหลว ในครั้งนี้ ได้รับความร่วมมือและการให้ความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบิดา มารดา และญาติมิตรที่คอยให้กำลังใจในสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ. สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำสอนให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้ในสิ่งใหม่ ๆ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ด้านที่เกี่ยวข้องได้อย่างดีเยี่ยม และที่สำคัญขอขอบพระคุณที่อาจารย์คอยสนับสนุนงานด้านวิชาการต่าง ๆ อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นการสร้างโอกาสและพัฒนาศักยภาพของผู้ทำวิจัยได้ดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. พงษ์แพทย์ เฟ่งวานิชย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ประธานกรรมการภายในในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ที่ให้คำชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัยให้สอดคล้องกับความต้องการและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว กรรมการภายนอกในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาให้คำแนะนำและตอบปัญหาข้อสงสัยต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อ.ดร. รวิวรรณ กฤษณานูวัตร์ กรรมการภายในในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาในการสนับสนุนงานด้านวิชาการและสอบวิทยานิพนธ์ งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนทั้งงานด้านวิชาการ บริการวิชาการ สนับสนุนเทคนิคและอุปกรณ์ ตลอดจนให้คำแนะนำช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	7
บทที่ 1 บทนำ	14
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์	15
1.3 ขอบเขต	15
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	15
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.1 ทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้อง	17
2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาต่อวัตถุ.....	17
2.1.2 สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี (attenuation coefficient).....	20
2.1.3 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์	21
2.1.4 การถ่ายภาพด้วยรังสี	24
2.1.5 แผ่นเรืองรังสีเอกซ์.....	27
2.1.6 กล้องดิจิทัล.....	28
2.1.7 การประยุกต์ใช้รังสีในงานด้านความมั่นคงปลอดภัย.....	30
2.2 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
2.2.1 X-RAY ATTENUATION COEFFICIENTS OF ELEMENTS AND MIXTURES.....	33
2.2.2 X-ray Attenuation Coefficients From 10 keV to 100 MeV.....	33

2.2.3 Radiation Dose Reduction by Water Shield.....	33
2.2.4 Investigation of a threat liquid using x-ray imaging technique.....	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์	35
3.1.2 อุปกรณ์รับภาพและบันทึกภาพ.....	36
3.1.3 ภาชนะบรรจุตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยรังสี	36
3.1.4 ของเหลวตัวอย่าง.....	37
3.1.5 แผ่นเรืองรังสี	38
3.2 การสร้างชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ	38
3.3 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	41
3.3.1 หลักการทำงานและแผนผังการทำงานของโปรแกรม	41
3.3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของโปรแกรม.....	42
3.4 การทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี.....	48
3.5 การศึกษาผลความทำซ้ำของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์.....	49
3.6 การทดลองถ่ายภาพตัวอย่างของเหลว.....	50
3.6.1 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ.....	50
3.6.2 การทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวต่างชนิดกันที่ ความต่างศักย์เดียวกัน.....	51
3.6.3 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวที่สนใจและสรุปผลการ คัดกรอง	52
3.7 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่าย	53
3.7.1 การอ่านค่า I_0 ด้วยโปรแกรมส่วนที่ 1.....	53
3.7.2 การหาค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของภาชนะ μ_x ด้วยโปรแกรมส่วนที่ 2	55

3.7.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำด้วยโปรแกรมส่วนที่ 3	56
3.8 การวัดคุณสมบัติอื่น ๆ ของของเหลว	58
3.8.1 การวัดความหนาแน่นของของเหลว	58
3.8.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา.....	60
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	62
4.1 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี	62
4.2 การศึกษาผลความทำซ้ำของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์.....	64
4.3 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ	68
4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวต่างชนิดกันที่ ความต่างศักย์เดียวกัน	70
4.5 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวใด ๆ และสรุปผลการคัต กรอง	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.1 การสร้างเครื่องมือรับภาพในกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และเก็บภาพในรูปแบบ ดิจิทัล (Digital photo)	74
5.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่าย ด้วยรังสีเอกซ์ของของเหลว.....	74
5.3 การทดลองคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากของเหลวชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบ กับน้ำบริสุทธิ์.....	76
5.4 ข้อเสนอแนะ	76
รายการอ้างอิง	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	80

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์	18
รูปที่ 2.2 คอมป์ตันเอฟเฟกต์	19
รูปที่ 2.3 แพร่โพรดักชัน	19
รูปที่ 2.4 การทะลุผ่านวัตถุของรังสีเอกซ์และแกมมาทำให้มีความเข้มรังสีลดลง	21
รูปที่ 2.5 การเกิดรังสีเอกซ์จาก Bremstrahlung และ characteristic X-rays.....	22
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบ stationary anode	23
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบ rotating anode	24
รูปที่ 2.8 ฟิล์มเอกซเรย์และคาสเซ็ท	25
รูปที่ 2.9 การสร้างภาพโดยใช้แผ่นเรืองรังสีและกล้องวิดีโอ	26
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์การสร้างภาพคอมพิวเตอร์ หรือ CR	26
รูปที่ 2.11 หัววัดสำหรับการสร้างภาพดิจิทัล	27
รูปที่ 2.12 โครงสร้างและองค์ประกอบของกล้องดิจิทัล	29
รูปที่ 2.13 (ก) การตั้งค่า $f/5.6$ ได้ภาพฉากหลังเบลอ (ข) การตั้งค่า $f/32$ ได้ภาพฉากหลังคมชัด ...	30
รูปที่ 2.14 CMOS อุปกรณ์รับภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องดิจิทัล.....	30
รูปที่ 2.15 ภาพจำลองการติดตั้งหัววัดรังสีเพื่อตรวจสอบตู้คอนเทนเนอร์	31
รูปที่ 2.16 การใช้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ตรวจสอบรูปร่างลักษณะทางกายภาพ	32
รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายด้วยรังสีรบบรรทุกและตู้ขนส่งสินค้า	32
รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku รุ่น RF-200EGM2.....	35
รูปที่ 3.2 กล้องดิจิทัล Canon รุ่น 1100D.....	36
รูปที่ 3.3 ขวดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง.....	37
รูปที่ 3.4 แผนผังการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้กล้องดิจิทัล	39

รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ.....	40
รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของโปรแกรม.....	42
รูปที่ 3.7 หน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรม.....	43
รูปที่ 3.8 หน้าต่างเมนูย่อยส่วนที่ 1	43
รูปที่ 3.9 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 2 การหาค่าปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของขวด	46
รูปที่ 3.10 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 3 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ.....	47
รูปที่ 3.11 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวและสรูปผล....	48
รูปที่ 3.12 หน้าจอคอมพิวเตอร์ควบคุมกล้องถ่ายภาพดิจิทัลผ่านสาย USB	52
รูปที่ 3.13 การถ่ายภาพที่ห้องเอกซเรย์	53
รูปที่ 3.14 หน้าจอการอ่านค่าความเข้มในบริเวณ ROI ขณะไม่มีวัตถุ ณ ตำแหน่ง C และค่าความเข้มเฉลี่ยระหว่าง L และ R.....	54
รูปที่ 3.15 หน้าจอการอ่านค่าภาพถ่ายขวดหรือภาชนะเปล่าที่มีความกว้างแน่นอน	55
รูปที่ 3.16 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ.....	56
รูปที่ 3.17 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวและสรูปผล.....	57
รูปที่ 3.18 การวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว	59
รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา 122 keV กับ รังสีเอกซ์ 120 kV	60
รูปที่ 3.20 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา	61
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความเข้มของภาพจากการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี	63
รูปที่ 4.2 ความเป็นเชิงเส้นของความเข้มจากภาพทดสอบความไวแผ่นเรืองรังสี ช่วงความต่างศักย์ระหว่าง 90 ถึง 160 kV.....	63
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลของน้ำที่ความต่างศักย์ 100 kV (ซ้าย) และ 160 kV (ขวา)	64
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 90 kV	66
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 120 kV.....	67

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 150 kV.....	68
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ ซึ่งอ่านค่า มาจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....	69
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่าง ที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV.....	71
รูปที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของ unknown 1, 2 และ 3 ที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV.....	73



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ความหนาแน่นของของเหลวตัวอย่าง	59
ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มของภาพจากการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี.....	62
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 90 kV.....	65
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 120 kV.....	66
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 150 kV.....	67
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของน้ำที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ ซึ่งอ่านค่ามาจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	69
ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่างที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV.....	70
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวไม่ทราบชนิด (unknown)	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การใช้ประโยชน์จากนิวเคลียร์และรังสีในงานด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security) และด้านการตรวจสอบวัตถุโดยไม่ทำลาย (Non-Destruction Test) ได้รับความนิยมนับเป็นอย่างมากในปัจจุบัน หนึ่งในเทคนิคการตรวจสอบโดยใช้รังสีคือ การใช้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบรูปร่างและคุณลักษณะจำเพาะของวัตถุ ในการวิเคราะห์วัตถุของแข็งนั้นจะอาศัยหลักการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างทางกายภาพของวัตถุเป็นสำคัญ ยกตัวอย่าง เช่น มีด กรรไกร อาวุธปืน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่วนวัตถุของเหลวนั้นจะสามารถระบุได้เพียงว่าเป็นของเหลวเท่านั้นไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นของเหลวชนิดใดหรือเป็นของเหลวที่เป็นอันตรายหรือไม่ โดยปกติแล้วในการโดยสารเครื่องบินพาณิชย์ไม่อนุญาตให้พกพาของเหลวเกินปริมาณที่กำหนดขึ้นเครื่องบินโดยเด็ดขาด จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบกระเป๋าสัมภาระที่ผู้โดยสารจะพกติดตัวขึ้นเครื่อง การเอกซเรย์กระเป๋าจึงมีบทบาทสำคัญยิ่งเพราะช่วยให้เจ้าหน้าที่ใช้เวลาตรวจสอบกระเป๋าได้อย่างรวดเร็ว แต่ในภาพเอกซเรย์ที่เครื่องสแกนกระเป๋าแสดงนั้นไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นของเหลวชนิดใด หากมีการแอบพกของเหลวที่เป็นอันตรายอย่างเช่นวัตถุไวไฟต่าง ๆ ในปริมาณที่เล็กน้อยก็มีโอกาสหลุดรอดจากการตรวจสอบเข้าไปได้ เพราะลักษณะทางกายภาพของของเหลวอันตรายหลายชนิดคล้ายคลึงกับของเหลวทั่วไป ไม่สามารถแยกแยะได้ด้วยตาเปล่าหรือจากภาพถ่ายทางรังสี หากต้องการตรวจสอบต้องมีวิธีการตรวจสอบเพิ่มเติมอื่น ๆ เช่น การทดสอบทางเคมี การทดสอบโดยกระบวนการหาสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีพร้อมระบบวัดรังสี เป็นต้น ในการทดสอบเพิ่มเติมเหล่านั้นจำเป็นต้องมีการเพิ่มกระบวนการ เครื่องมือและเวลาในการทดสอบเพิ่มเติม ซึ่งในบางกรณีอาจจะไม่สะดวกด้วยข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่ เวลา และอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ต่าง ๆ

ด้วยองค์ความรู้และอุปกรณ์ที่เรามีใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสี เราสามารถขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้งานที่นอกเหนือไปจากการถ่ายภาพแล้ววิเคราะห์รูปร่างลักษณะทางกายภาพให้เป็นการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเพื่อจำแนกของเหลวที่ถูกถ่ายภาพด้วยรังสีออกเป็นประเภทที่สนใจได้

ในกระบวนการสร้างภาพถ่ายด้วยรังสีนั้นองค์ประกอบหลักสองส่วน ส่วนแรกคือต้นกำเนิดรังสีนั่นก็คือเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยมีการใช้งานกันในภาคอุตสาหกรรมและหน่วยงานทั้งรัฐและเอกชนทั่วไป ส่วนที่สองคืออุปกรณ์รับภาพและสร้างภาพ เช่น ฟิล์มเอกซเรย์ แผ่นรับภาพ (Imaging

Plates) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการที่จะนำมาซึ่งภาพถ่ายด้วยรังสีนั้นก็มีความสัมพันธ์ในเรื่องของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างภาพเช่นเดียวกัน

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาวิธีการตัดกรองของเหลวด้วยเทคนิคการหาค่าและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ โดยทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของของเหลวเพื่อใช้หาข้อสรุปว่าของเหลวที่ทำการวิเคราะห์นั้นเป็นของเหลวชนิดใด และเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากกระบวนการสร้างภาพเพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปใช้จริงได้จึงใช้เทคนิคการเก็บภาพถ่ายด้วยการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั่วไปร่วมกับอุปกรณ์ประยุกต์จากวัสดุหาง่าย ซึ่งประโยชน์จากงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการตรวจสอบวัตถุของเหลวโดยไม่ต้องใช้กระบวนการทางเคมีหรืออื่น ๆ เพิ่มเติมได้อย่างรวดเร็วและเสียค่าใช้จ่ายน้อย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับการตัดกรองของเหลวจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และตัดกรองของเหลวจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ โดยเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำบริสุทธิ์

1.3 ขอบเขต

3.1 สร้างเครื่องมือรับภาพในกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และเก็บภาพในรูปแบบดิจิทัล (Digital photo) ของของเหลวชนิดต่าง ๆ ทั้งชนิดที่ติดไฟและไม่ติดไฟ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง เบนซิน ดีเซล ไบโอดีเซล น้ำมันพืช เครื่องดื่มบางชนิด เป็นต้น โดยใช้ความหนาของตัวอย่าง 6 เซนติเมตร ช่วงความต่างศักย์ 90 – 160 kV

3.2 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของของเหลว

3.3 ทดลองคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากของเหลวชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายภาพด้วยรังสี การประยุกต์ใช้นิวเคลียร์และรังสีด้านการรักษา ความมั่นคงปลอดภัย การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.2 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ โดยใช้เทคนิควิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างเทียบกับน้ำบริสุทธิ์

1.4.3 สร้างเครื่องมือรับภาพในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และเก็บภาพในรูปแบบดิจิทัล (Digital photo) ของของเหลวชนิดต่าง ๆ โดยใช้ความหนาของเหลว 6 เซนติเมตร

1.4.4 ทำการทดลองถ่ายภาพตัวอย่างของเหลวหลากหลายชนิด แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์และคัดกรองของเหลวชนิดต่าง ๆ ว่าเป็นของเหลวชนิดที่ติดไฟได้หรือไม่

1.4.5 สรุปพร้อมนำเสนอโปรแกรมและเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับการคัดกรองของเหลวจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับการคัดกรองของเหลวจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

1.5.2 ได้โปรแกรมวิเคราะห์และคัดกรองของเหลวจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ โดยเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้รวบรวมทฤษฎีเกี่ยวกับรังสีและคุณสมบัติของรังสี การถ่ายภาพด้วยรังสี และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย รวมทั้งข้อมูลงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เพื่อให้รู้จักอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพด้วยรังสีและเข้าใจหลักการเบื้องต้นของการถ่ายภาพด้วยรังสี รวมถึงการนำเสนอข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาต่อวัตถุ

นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Roentgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์เมื่อปี ค.ศ. 1985 เมื่อแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยแบเรียมพลาทิโน-ไซยาไนด์ (barium platinocyanide) เกิดเรืองแสงขึ้นเมื่อได้รับรังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่น 0.01-10 นาโนเมตร ที่เดินทางผ่านไปสู่อากาศได้ [1]

นับจากนั้นนักวิจัยก็ได้ศึกษาวิจัยกันมาอย่างต่อเนื่องทำให้เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า รังสีเอกซ์และรังสีแกมมามีคุณสมบัติที่เหมือนกัน ส่วนสำคัญที่เป็นตัวแบ่งแยกระหว่างรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาคือ ต้นกำเนิดรังสี รังสีแกมมาเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากนิวเคลียสของอะตอมของธาตุที่ไม่เสถียร (nuclei) ส่วนรังสีเอกซ์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนหรือการเกิดอันตรกิริยาบริเวณวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอม มีการประยุกต์ใช้รังสีเอกซ์ในงานด้านต่าง ๆ เรื่อยมา ในทางการแพทย์ใช้รังสีเอกซ์ในการวินิจฉัยและรักษา ทางเภสัช

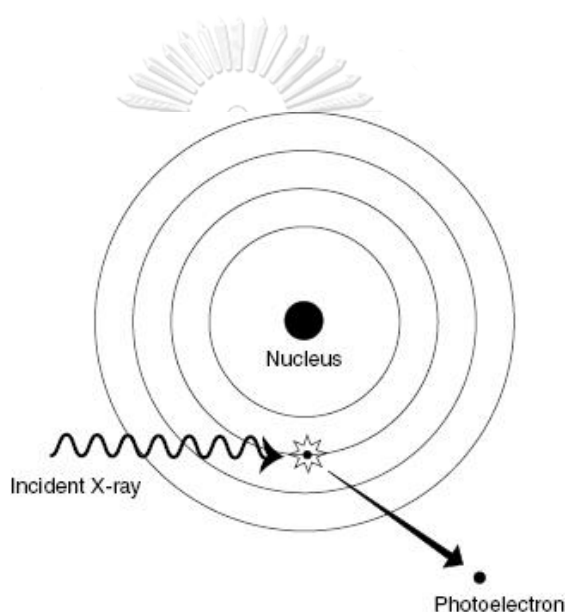
เนื่องจากคุณสมบัติเหมือนกันของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ในการอธิบายเนื้อหาหลังจากนี้จะใช้คำคำว่า “รังสีแกมมา” ซึ่งหมายความรวมถึงรังสีเอกซ์ด้วยเช่นกัน รังสีแกมมามีการเกิดอันตรกิริยาต่อวัตถุมากมายหลายแบบ แต่มีอันตรกิริยาที่สำคัญที่มีความสำคัญต่อการคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (photoelectric effect) คอมป์ตันเอฟเฟกต์ (Compton effect) และแพร์โปรดักชัน (pair production)

1. โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์

โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ เป็นปรากฏการณ์ที่รังสีแกมมาเกิดอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลางแล้วรังสีแกมมาหายไปและมีอิเล็กตรอนของอะตอมหลุดออกมาแทน เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron)” ในปรากฏการณ์นี้อะตอมจะยังคงอยู่และได้รับพลังงานไปเพียงเล็กน้อย นั่นคือส่วนของพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนตัวที่หลุดออกมานั้นเอง รังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานทั้งหมดไปยังอิเล็กตรอนตัวที่เกิดอันตรกิริยาแล้วรังสีแกมมาก็หายไป

พลังงานที่เหลือจากการทำให้อิเล็กตรอนหลุดจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา นั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาหักลบกับพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างนิวเคลียสอะตอมกับอิเล็กตรอนตัวนั้น

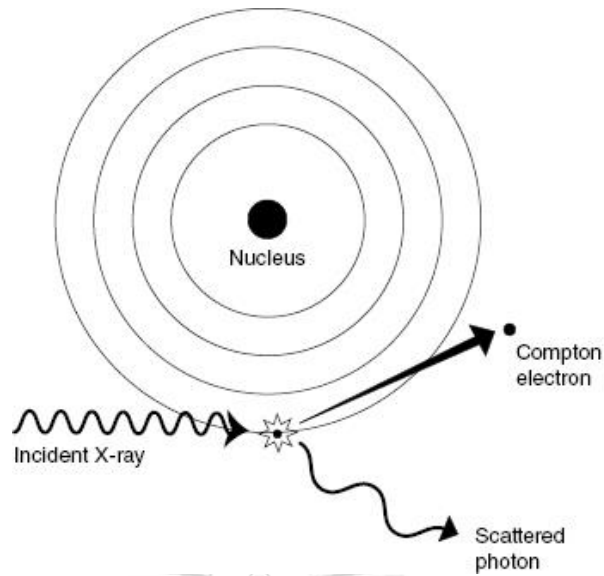
หากรังสีแกมมาทำอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนวงโคจรที่อยู่ด้านในแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปตำแหน่งช่องว่างในวงโคจรนั้นจะถูกแทนที่โดยอิเล็กตรอนวงถัดออกไปซึ่งมีพลังงานสูงกว่า อิเล็กตรอนตัวที่เข้ามาแทนที่จะปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อลดระดับพลังงานให้เท่ากับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรที่หลุดออกไปเสียก่อน พลังงานที่ปลดปล่อยออกมานั้นอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ ที่เรียกว่า “รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (characteristic X-rays)” [2] ซึ่งมีพลังงานเฉพาะแต่ ละธาตุ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 2.1 โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ [3]

2. คอมป์ตันเอฟเฟกต์

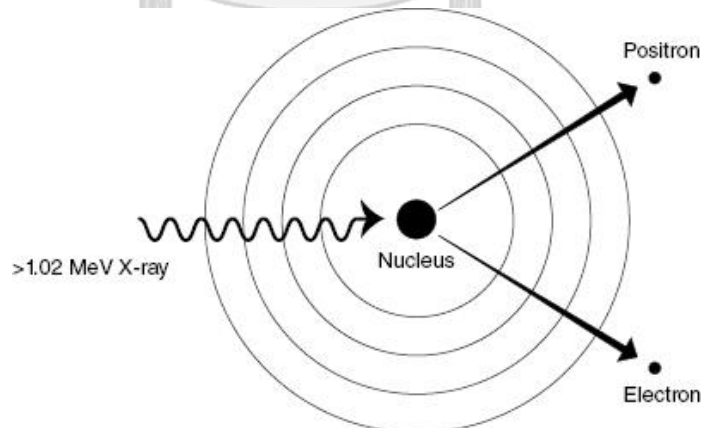
คอมป์ตันเอฟเฟกต์ (Compton effect) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)” เป็นการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์หรือแกมมา กับอิเล็กตรอน เป็นการชนแบบยืดหยุ่น หลังจากที่เกิดการชนแล้วรังสีแกมมาจะยังคงอยู่แต่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เรียกว่า “scattered photon” การชนกันรังสีแกมมาจะสูญเสียพลังงานบางส่วนไปให้กับการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนและบางส่วนกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกไป (recoiling electron, Compton electron)



รูปที่ 2.2 คอมป์ตันเอฟเฟกต์ [3]

3. แพร่โพรดักชัน

สำหรับปรากฏการณ์นี้รังสีแกมมาที่เข้าชนอะตอมสสารจะหายไปและเกิดคู่ของอิเล็กตรอนขึ้นมาแทน ซึ่งอิเล็กตรอนทั้งคู่จะประกอบด้วยอิเล็กตรอนประจุบวกหรือโพสิตรอน (positron) และอิเล็กตรอนประจุลบหรือเนกเกตรอน (negatron) ทั้งคู่จะมีทิศทางในตรงกันข้าม พลังงานของอิเล็กตรอนทั้งสองมีค่าเท่ากับ 1.02 MeV ปรากฏการณ์แพร่โพรดักชันนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากพลังงานรังสีแกมมาที่เข้าชนมีค่าน้อยกว่านี้



รูปที่ 2.3 แพร่โพรดักชัน [3]

2.1.2 สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี (attenuation coefficient)

รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา มีคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัตถุตัวกลางได้สูง โดยวัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำรังสีจะสามารถทะลุผ่านได้ดีกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง ตัวอย่างเช่น รังสีแกมมาสามารถทะลุผ่านพลาสติกได้ดีกว่าเหล็ก เป็นต้น เหตุที่รังสีแกมมาสามารถทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงได้ยากเนื่องมาจากรังสีบางส่วนเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในอะตอมของวัตถุตัวกลาง จึงเกิดการสูญเสียพลังงานหรือเปลี่ยนทิศทางไปและอาจไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุตัวกลางออกมาได้ ดังนั้นปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางใด ๆ จะมีค่าลดลงจากเดิมโดยอัตราส่วนที่ลดลงจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิด ความหนาแน่นของวัตถุ และความหนาของวัตถุนั้น ๆ

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้น (linear attenuation coefficients) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์อักษรภาษากรีก “ μ ” เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่บ่งบอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปของความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุใด ๆ อันเป็นผลเนื่องมาจากอันตรกิริยาของรังสีกับอะตอมของวัตถุตัวกลาง ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า ต่อไปนี้จะเรียกเพียงสั้น ๆ ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

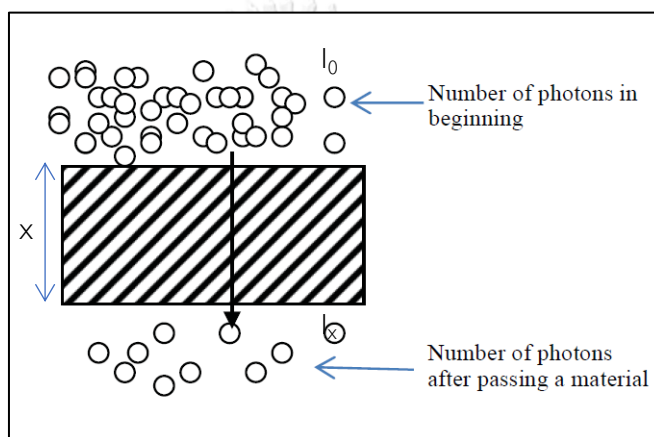
ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีมีหน่วยต่อความหนา เช่น ต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วความหนาดังกล่าวใช้หน่วยเซนติเมตรหรือมิลลิเมตรแต่อัตราการลดทอนรังสียังสามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัตถุตัวกลางกับโฟตอนได้อีกด้วย เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล” (mass attenuation coefficient) โดยค่าดังกล่าวมาจากการหารค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้นด้วยความหนาแน่นของวัตถุตัวกลางที่รังสีทะลุผ่าน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “ μ_p ” หน่วยของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม เขียนได้เป็น cm^2/g

เนื่องจากการลดทอนรังสีขึ้นอยู่กับโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับอะตอมของตัวกลาง ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีโดยตรงจึงได้แก่ คุณสมบัติของลำรังสี (พลังงานและ จำนวนโฟตอน) ความหนาแน่น สถานะ เลขอะตอมของธาตุดูดซับประกอบและความหนาของวัตถุตัวกลาง โดยรังสีพลังงานสูงมีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาได้น้อย สามารถทะลุผ่านได้มากกว่า ตัวกลางที่มีค่าเลขอะตอมสูงจะสามารถลดทอนรังสีได้มากกว่า และความหนาของวัตถุที่มากขึ้นจะสามารถลดทอนรังสีได้มากขึ้นเช่นกัน

จากผลการศึกษาและทดลองวัดการลดทอนของรังสีเอกซ์พลังงานเดียวและรังสีแกมมา มีผลลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีตกกระทบและทะลุผ่านได้ดังนี้

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

- โดย I_0 คือ ความเข้มรังสีตกกระทบวัตถุตัวกลาง
 I_x คือ ความเข้มรังสีเมื่อผ่านตัวกลางความหนา x
 x คือ ความหนาของตัวกลาง
 e คือ ฐานของ natural logarithm
 μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี



รูปที่ 2.4 การทะลุผ่านวัตถุของรังสีเอกซ์และแกมมาทำให้มีความเข้มรังสีลดลง

เมื่อรังสีเอกซ์หรือแกมมาทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนา x ค่าหนึ่งแล้วทำให้ความเข้มรังสีลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของรังสีตกกระทบ ความหนาค่านั้นจะถูกเรียกว่า “ความหนาครึ่งค่า (half-value layer, HVL)” ถ้าหากความเข้มลดลงเหลือ 1 ใน 10 เท่า จะเรียกความหนานั้นว่า “tenth-value layer, TVL”

2.1.3 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ถูกผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยการเร่งอิเล็กตรอนที่ผลิตจากไส้หลอดรังสีเอกซ์ด้วยแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง หรือศักดาไฟฟ้าสูงให้ชนเป้าโลหะที่เป็นธาตุหนักจนเกิดการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนและคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์

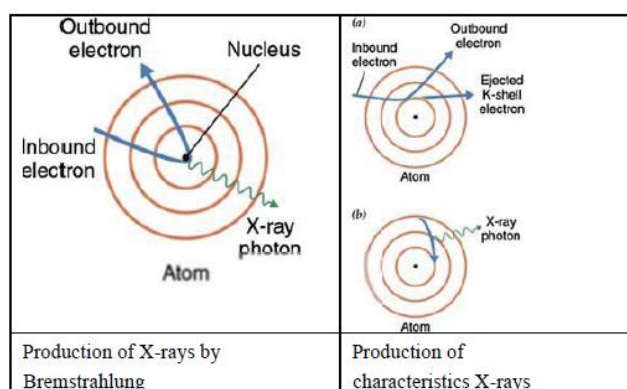
ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ มี 4 ส่วน ได้แก่ หลอดรังสีเอกซ์ แหล่งจ่ายไฟฟ้า ความต่างศักย์สูง เครื่องหล่อเย็น และเครื่องควบคุม

หลอดรังสีเอกซ์ นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ทำหน้าที่ในการกำเนิดรังสีเอกซ์ หลักการทำงานของหลอดรังสีเอกซ์จะอาศัยการเผาไส้หลอดให้ร้อน อิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากบริเวณไส้หลอดรังสีเอกซ์ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงเข้าไปในหลอดรังสีเอกซ์อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยความเร็วสูงตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเป้าโลหะที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้นได้ หลอดรังสีเอกซ์แบ่งเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของขั้วแอโนด (anode) ได้แก่

stationary anode เป็นหลอดรังสีเอกซ์ชนิดขั้วแอโนดอยู่กับที่ ใช้กับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีกำลังการผลิตรังสีไม่สูงมากนัก เช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สำหรับงานทันตกรรม เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบเคลื่อนที่ (mobile หรือ portable unit)

rotating anode เป็นหลอดรังสีเอกซ์ชนิดขั้วแอโนดเป็นจานหมุนเพื่อช่วยในการระบายความร้อน หลอดรังสีเอกซ์แบบนี้มีกำลังสูง สามารถผลิตรังสีเอกซ์พลังงานสูง ๆ ได้ เหมาะแก่การปฏิบัติงานในการถ่ายภาพด้วยรังสีทั่วไป เช่น การถ่ายภาพรังสีวินิจฉัยในทางการแพทย์ เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สำหรับถ่ายภาพทางอุตสาหกรรม เป็นต้น

รังสีเอกซ์สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ด้วยการเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงด้วยศักย์ไฟฟ้าสูงชนเป้าโลหะ (focal spot) แล้วให้รังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งมีสองชนิด ได้แก่ 1. รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือ เบรมสตราห์ลุง (Bremsstrahlung) เป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานแบบต่อเนื่อง เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอมของเป้าโลหะแล้วเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมให้พลังงานออกมาในรูปแบบโฟตอนรังสี 2. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) เกิดจากการหลุดออกไปของอิเล็กตรอนวงโคจรชั้นเค (K-shell) แล้วเกิดการแทนที่จากอิเล็กตรอนวงนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปแบบโฟตอนรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นบริเวณเป้าโลหะจะถูกทำให้พุ่งออกมาทางหน้าต่างของหัวหลอดรังสีเอกซ์



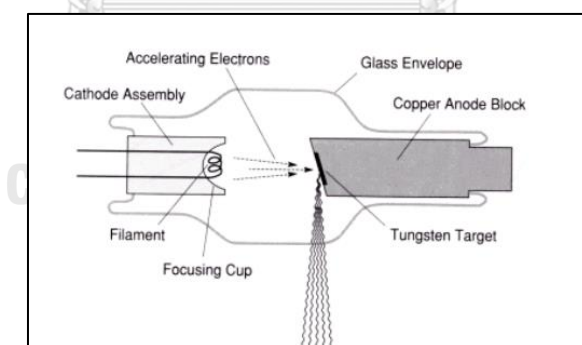
รูปที่ 2.5 การเกิดรังสีเอกซ์จาก Bemstrahlung และ characteristic X-rays

รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นบริเวณเป้าของหลอดรังสีเอกซ์จะมีพลังงานต่อเนื่องตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงสูงสุด ซึ่งเท่ากับพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง จึงเรียกรังสีเอกซ์ชนิดนี้ว่า “รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง” หรือนิยมเรียกว่า “เบรมส์ชตราลุง” [2][4]

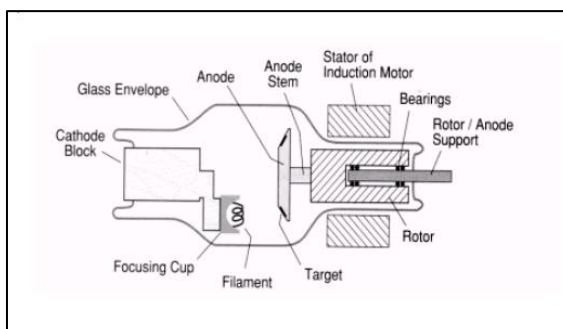
จำนวนของอิเล็กตรอนที่ผลิตได้จากไส้หลอดรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าให้แก่ไส้หลอด โดยปกติค่ากระแสที่จ่ายให้แก่ไส้หลอดจะอยู่ในระดับมิลลิแอมแปร์ (mA) ทั้งนี้เครื่องกำเนิดรังสีแต่ละประเภทจะใช้กระแสในการผลิตอิเล็กตรอนที่แตกต่างกันไป ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นตัวกำหนดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผลิตได้ ส่วนพลังงานของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงที่จ่ายให้แก่หลอดรังสีเอกซ์ อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยไฟฟ้าความต่างศักย์สูงจะมีพลังงานสูงตามไปด้วยและสามารถผลิตรังสีเอกซ์ต่อเนื่องพลังงานสูงสุดเท่ากับศักย์ไฟฟ้าสูงที่จ่ายให้แก่หลอดรังสีเอกซ์ด้วย เช่น จ่ายไฟฟ้าความต่างศักย์สูงเท่ากับ 160 กิโลโวลต์ (kV) จะสามารถผลิตรังสีเอกซ์ต่อเนื่องพลังงานสูงสุดเท่ากับ 160 keV

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สำหรับถ่ายภาพในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงและค่ากระแสในการผลิตอิเล็กตรอนต่ำ ๆ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 200 กิโลโวลต์ 2 มิลลิแอมแปร์

เพื่อความสะดวกในการเขียน ในเล่มวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สัญลักษณ์ “kV” ในการกำกับหน่วยความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และใช้สัญลักษณ์ “mA” แทนค่ากระแสของหลอดรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบ stationary anode



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบ rotating anode

2.1.4 การถ่ายภาพด้วยรังสี

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดสำหรับการตรวจสอบโดยไม่ทำลายส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือสิ่งของ เนื่องจากรังสีเอกซ์มีพลังงานสูงจึงสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ดี ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมาจึงอาศัยความสามารถในการทะลุผ่านวัสดุของรังสีนี้ประกอบกับคุณสมบัติการลดทอนรังสีของวัสดุทำให้สามารถสร้างภาพถ่ายด้วยรังสีได้ โดยมีหลักการคือ ฉายรังสีเอกซ์หรือแกมมาทะลุผ่านชิ้นงานแล้วใช้อุปกรณ์รับรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุ เปลี่ยนเป็นภาพถ่ายทางรังสี

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 4 ประการ ได้แก่ 1. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ 2. ตัวแปลงรังสี (converter) 3. ตัวรับภาพ (image receptor/image medium) 4. ตัวห่อหุ้มตัวรับภาพ เพื่อป้องกันรังสีจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ โดยรอบรบกวนตัวรับภาพซึ่งอาจจะทำให้ภาพที่ถ่ายมาได้ แล้วนั้นผิดเพี้ยนหรือเสียหายได้

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ ได้แก่หลอดรังสีเอกซ์ จะถูกจำกัดทิศทางให้ออกจากหลอดรังสีเอกซ์ทางหน้าต่างของหลอดรังสีเอกซ์ผ่านการกรองด้วยแผ่นโลหะบางชนิดเพื่อเป็นการกรองรังสีเอกซ์พลังงานต่ำมาก ๆ ทิ้งไปซึ่งรังสีเอกซ์พลังงานต่ำนั้นส่งผลกระทบต่อความคมชัดของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ แตกต่างจากการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาที่ไม่มีการกรองรังสีเนื่องจากว่ารังสีแกมมาเป็นรังสีที่มีพลังงานเฉพาะอยู่แล้วไม่มีพลังงานต่ำเนื่องจากต่ำสุดไปสูงสุดเหมือนรังสีเอกซ์ที่ถูกผลิตจากหลอดรังสีเอกซ์ แผ่นโลหะที่ใช้กรองรังสีเรียกว่า “ฟิลเตอร์ (filter)” ส่วนใหญ่แล้วเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้งานโดยทั่วไปมักใช้ฟิลเตอร์เป็นแผ่นอลูมิเนียม แต่สำหรับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพอุตสาหกรรมอาจมีการเพิ่มแผ่นโลหะชนิดอื่นเข้าไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเครื่องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในทางอุตสาหกรรม มีกำลังของเครื่อง 200 kV กระแสหลอด 2 mA และฟิลเตอร์ประกอบด้วย อะลูมิเนียมและเบอริเลียม

หลังจากที่ได้รังสีเอกซ์ออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์แล้ว กระบวนการถ่ายภาพต้องจัดทิศทาง การถ่ายภาพวัตถุได้ โดยให้หลอดรังสีเอกซ์อยู่ตรงข้ามกับอุปกรณ์รับภาพ

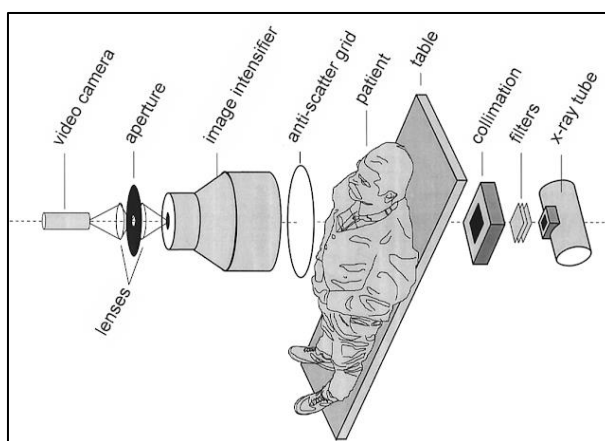
หลังจากรังสีเอกซ์ทะลุผ่านชิ้นงานออกมาแล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นภาพถ่ายได้นั้นต้องอาศัย อุปกรณ์รับภาพ (ประกอบด้วยตัวแปลงรังสี ตัวรับภาพและตัวทอหุ้มตัวรับภาพ) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากรังสีให้ออกมาเป็นภาพถ่ายทางรังสี กระบวนการสร้างภาพที่นิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การใช้แผ่นฟิล์ม (screen – film technique) การใช้แผ่นเรืองรังสีและกล้องวิดีโอ (fluoroscopy) การสร้างภาพคอมพิวเตอร์ (computed radiography, CR) และการสร้างภาพดิจิทัล (digital radiography, DR)

การสร้างภาพโดยใช้ฟิล์มนั้นคล้ายกับการถ่ายรูปในสมัยก่อน โดยแผ่นฟิล์มที่เรียกว่า “ฟิล์มเอกซเรย์” มีคุณสมบัติไวต่อรังสีและแสง ดังนั้นในฟิล์มสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีในทางการแพทย์มักจะมีแผ่นเรืองรังสีแนบอยู่ภายในด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างภาพบนฟิล์มให้ดีขึ้น แผ่นเรืองรังสีจะเปล่งแสงสว่างที่ตามองเห็นได้ออกมาเมื่อแผ่นได้รับพลังงานจากรังสี จากนั้นแสงสว่างดังกล่าวจะช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาบนฟิล์มเอกซเรย์ จะกล่าวถึงรายละเอียดของแผ่นเรืองรังสีในหัวข้อถัดไป หลังจากทำการถ่ายภาพแล้วจำเป็นต้องนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มเสียก่อนจึงจะได้ภาพถ่ายด้วยรังสี ในการถ่ายภาพทางอุตสาหกรรมนั้นนอกจากจะใช้รังสีเอกซ์แล้วในกรณีที่ต้องการถ่ายภาพวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงมาก ๆ หรือมีความหนาแน่นสูงมาก ยังใช้รังสีแกมมาในการถ่ายภาพด้วย เช่น ถ่ายภาพท่อเหล็ก ถังแก๊ส รอยเชื่อมท่อ เป็นต้น ซึ่งมีกระบวนการถ่ายภาพเช่นเดียวกันกับการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เพียงแต่เปลี่ยนชนิดรังสีเท่านั้น



รูปที่ 2.8 ฟิล์มเอกซเรย์และคาสเซ็ท [5]

การสร้างภาพโดยใช้แผ่นเรืองรังสีและกล้องวิดีโอ เป็นการสร้างภาพแบบเรียลไทม์ (real time) นิยมใช้ในทางการแพทย์สำหรับวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับช่องท้องและการใช้ร่วมในการผ่าตัด เพื่อสังเกตการณ์ ระบบนี้ประกอบไปด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์และอุปกรณ์รับภาพที่ภายในมีกล้องวิดีโอ และแผ่นเรืองรังสี เมื่อถ่ายภาพรังสีหลังจากที่ผ่านวัตถุแล้วจะตกกระทบแผ่นเรืองรังสีเกิดเป็นภาพสว่างขึ้นจากนั้นกล้องวิดีโอจะบันทึกและส่งภาพแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์



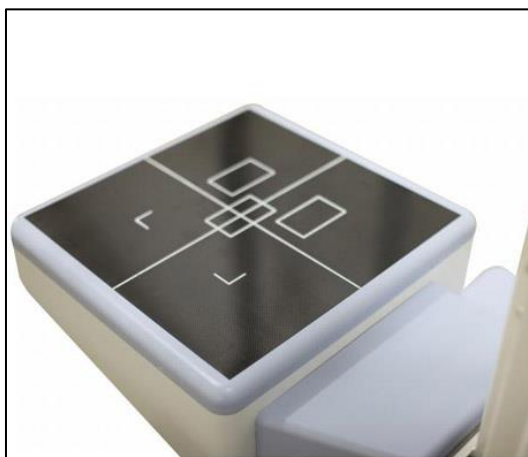
รูปที่ 2.9 การสร้างภาพโดยใช้แผ่นเรืองรังสีและกล้องวิดีโอ [6]

การสร้างภาพคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยแผ่นรับภาพคล้ายฟิล์มเอกซเรย์แต่ภายในเป็นแผ่นฟอสฟอรัส (phosphor) แผ่นรับภาพชนิดนี้มักถูกเรียกย่อ ๆ ว่า CR หรือ imaging plate กระบวนการถ่ายภาพจะคล้ายกับการใช้ฟิล์ม แต่แตกต่างกันตรงที่แผ่น CR สามารถอ่านดูภาพแล้วสั่งพิมพ์ภาพได้จากเครื่องอ่านและสามารถล้างข้อมูลแล้วใช้ซ้ำได้



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์การสร้างภาพคอมพิวเตอร์ หรือ CR

การสร้างภาพดิจิทัล เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่เกิดภาพแบบเรียลไทม์ โดยใช้อุปกรณ์รับภาพที่ประกอบขึ้นจากหัววัดรังสีจำนวนมากเรียงแถวกันเป็นพื้นที่รับรังสีและส่งสัญญาณไปแปรผลยังคอมพิวเตอร์แล้วแสดงภาพออกมา ระบบนี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัย จึงมีราคาค่อนข้างสูง นิยมใช้ในทางการแพทย์



รูปที่ 2.11 หัววัดสำหรับการสร้างภาพดิจิทัล [7]

2.1.5 แผ่นเรืองรังสีเอกซ์

แผ่นเรืองรังสีเอกซ์ ต่อไปนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่า “แผ่นเรืองรังสี” เป็นอุปกรณ์สำคัญมากในงานถ่ายภาพด้วยรังสี เนื่องจากว่าเราไม่สามารถมองเห็นรังสีหรือใช้วัสดุใด ๆ ที่ทำปฏิกิริยาต่อรังสีโดยตรงแล้วทำให้เกิดภาพอย่างสมบูรณ์ได้ การสร้างภาพถ่ายด้วยรังสีที่ใช้เทคนิคฟิล์มซึ่งฟิล์มเอกซเรย์ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อรังสีได้แต่ก็ไม่อาจเพียงพอสำหรับการสร้างภาพถ่ายด้วยรังสีที่สมบูรณ์ได้ ยังคงต้องใช้ฟิล์มควบคู่กับแผ่นเรืองรังสีด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีให้กลายเป็นภาพที่สมบูรณ์มากที่สุด

แผ่นเรืองรังสีทำจากสารประกอบบางอย่าง เช่น โซเดียมไอโอไดด์ สารฟอสฟอร์ เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นเรืองรังสีก็คือ จะดูดซับโฟตอนรังสีเอกซ์แล้วเปลี่ยนให้กลายเป็นแสงสว่างที่ตามองเห็นได้

โครงสร้างของแผ่นเรืองรังสี มีดังนี้

1. base - ฐาน
2. reflecting layer/absorptive layer - ชั้นสะท้อน
3. phosphor - ชั้นฟอสฟอร์
4. protective layer - ชั้นป้องกันความเสียหาย

ในส่วนของสารฟอสฟอรัสจะมีหลายชนิด ได้แก่ [8]

1. ชนิดแคลเซียมทังสเตต - calcium tungstate (CaWO_4) : ให้แสงสีน้ำเงิน
2. ชนิดแลนทานัม ออกซีโบรไมด์ - lanthanum oxybromide (LaOBr) : ให้แสงสีน้ำเงิน
3. ชนิดแกดโดลิเนียม ออกซีซัลไฟด์ - gadolinium oxysulfide ($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$) : ให้แสงสีเขียว

2.1.6 กล้องดิจิทัล

การถ่ายภาพได้ถูกคิดค้นขึ้นและมีวิวัฒนาการมายาวนาน มีการใช้ฟิล์มในการรับภาพแล้วนำฟิล์มไปเข้ากระบวนการล้างฟิล์มเพื่อสร้างรูปถ่ายลงบนกระดาษ ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ใช้งานฟิล์มถ่ายรูปก็ยังมีนักวิจัยพยายามหาหนทางถ่ายภาพโดยไม่ใช้ฟิล์มเรื่อยมา จนกระทั่งมีผู้คิดค้นกล้องดิจิทัลสมบูรณ์แบบได้และผลิตรออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แต่ก็ยังคงมีได้แพร่หลาย ยังคงใช้แค่ในวงการทหาร วิทยาศาสตร์ การสื่อสาร และการแพทย์เท่านั้น จนกระทั่งปี พ.ศ. 2529 บริษัท Nikon ประเทศญี่ปุ่นได้เปิดตัวกล้องดิจิทัลเอสแอลอาร์ (Single-lens Reflex, SLR) ซึ่งเป็นกล้องถ่ายรูปที่ไม่ใช้ฟิล์ม (film less) มีตัวรับภาพเป็นสารกึ่งตัวนำทำหน้าที่บันทึกภาพแทนฟิล์ม กล้องดิจิทัลที่นำเสนอใหม่เรียกว่า “DSLR (Digital Single-Lens Reflex)” หลังจากนั้นการใช้งานกล้อง DSLR ก็กลายเป็นเรื่องปกติในหมู่ผู้บริโภค กล้องถ่ายรูปส่วนใหญ่ในเชิงพาณิชย์ถูกเปลี่ยนเป็นระบบดิจิทัล เนื่องจากข้อดีของกล้องดิจิทัลคือ ไม่ต้องใช้ฟิล์ม ลดค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงเรื่องฟิล์มเสียหาย รวมถึงข้อดีของไฟล์ภาพดิจิทัลที่สามารถบริหารจัดการถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถเก็บไฟล์ภาพไว้ในคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่เกิดความเสียหายใด ๆ แก่ภาพและยังสามารถพิมพ์ภาพออกมาได้ตามต้องการโดยไม่เกิดความเสียหายต่อไฟล์ภาพต้นฉบับ กล้องประเภท DSLR สามารถบันทึกภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวลงบนหน่วยความจำประเภท SD Card ปัจจุบันกล้องดิจิทัลถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงจนติดตั้งในอุปกรณ์สื่อสารและอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แทบทุกชนิด เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แลปทอป ยานยนต์ต่าง ๆ เป็นต้น

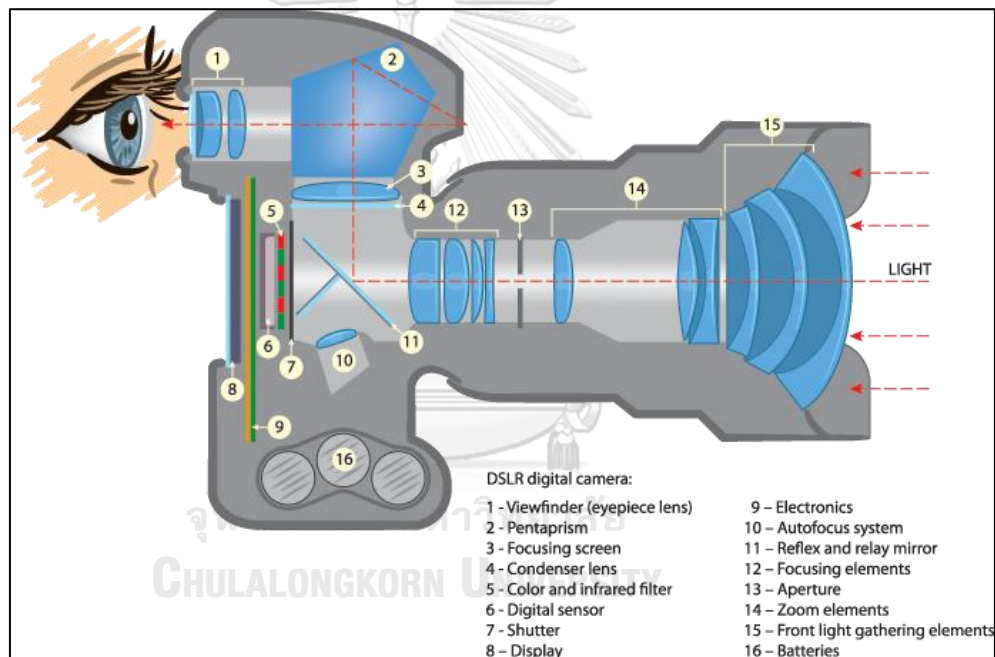
ส่วนประกอบหลักของกล้องดิจิทัลชนิด DSLR ได้แก่ ชุดเลนส์ (lens) รูรับแสง (aperture) กระจกสะท้อนแสง (mirror) ตัวรับภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronics sensor) หน้าจอแสดงผล (display) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (electronics part) และแบตเตอรี่ (battery)

พารามิเตอร์หลักของกล้องดิจิทัลที่ต้องปรับให้สอดคล้องกับปริมาณแสงจาก ได้แก่ ค่าความไวต่อแสงของอุปกรณ์รับภาพ (image sensor's sensitivity to light, ISO speed) ค่ารูรับแสง (aperture, F) ความเร็วชัตเตอร์ (shutter speed)

ค่าความไวต่อแสงของอุปกรณ์รับภาพ มักจะถูกเรียกสั้น ๆ ว่าค่า ISO ค่านี้เป็นตัวบ่งบอกถึงความไวต่อแสงสว่างของอุปกรณ์รับภาพในกล้องดิจิทัล หากตั้งค่าที่มีตัวเลขมาก แสดงถึงความไว

สูงตบสนองต่อแสงน้อย ๆ ได้ดี เหมาะสำหรับการถ่ายภาพในบริเวณที่มีแสงน้อยหรือในที่มืด แต่การเพิ่มค่า ISO มากเกินไปก็ส่งผลต่อสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องตั้งค่าให้เหมาะสม

ค่ารูรับแสง ในหน้าจอแสดงผลของกล้องดิจิทัลหรือในคู่มือการใช้งานกล้องดิจิทัล พารามิเตอร์นี้จะใช้ชื่อย่อ “f/number” ค่านี้จะเป็นการเปิดความกว้างของรูรับแสงหากเปิดมากเกินไปภาพก็จะสว่างจ้าจนไม่เห็นรายละเอียด หากเปิดน้อยเกินไปภาพก็จะมีจุดจนไม่เห็นรายละเอียดเช่นกัน อีกหน้าที่หนึ่งของพารามิเตอร์นี้คือการปรับความลึกของภาพ (Depth of Field) หากตั้งค่าต่ำวัตถุที่อยู่ใกล้เลนส์กล้องจะมีความคมชัดมากกว่าฉากหลัง หากตั้งเป็นค่าที่สูงจะได้ภาพฉากหลังชัดขึ้น เทียบเท่าวัตถุที่อยู่ใกล้เลนส์กล้อง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 โครงสร้างและองค์ประกอบของกล้องดิจิทัล [9]

ความเร็วชัตเตอร์ เป็นการตั้งค่าเวลาในการเปิดหน้ากล้องให้สามารถรับแสงเป็นเวลานานเท่าใด หากตั้งค่าน้อยจะได้ภาพมืดความเข้มแสงของภาพน้อย หากตั้งค่านานจะได้ภาพที่มีความสว่างมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ISO และ f/number ด้วย ยกตัวอย่างเช่น 5” หมายถึง 5 วินาที จะได้ภาพที่มีความสว่างกว่า 0”5 หมายถึง 0.5 วินาที

ทั้งนี้พารามิเตอร์หลักทั้งสามค่านี้จำเป็นต้องตั้งค่าให้สอดคล้องซึ่งกันและกัน โดยให้เหมาะสมกับสภาพแสง รายละเอียดภาพที่ต้องการ และความเหมาะสมด้านเวลาในการถ่ายภาพด้วย

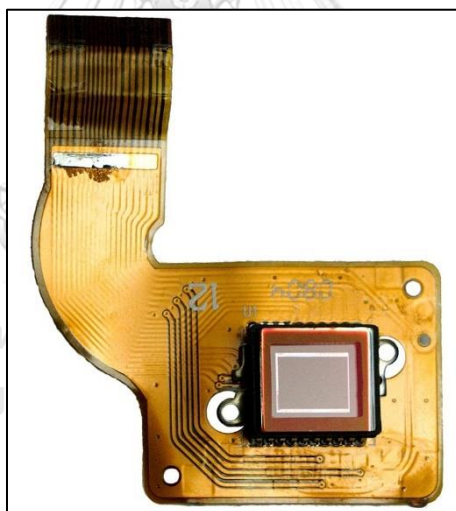


(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 (ก) การตั้งค่า $f/5.6$ ได้ภาพฉากหลังเบลอ (ข) การตั้งค่า $f/32$ ได้ภาพฉากหลังคมชัด



รูปที่ 2.14 CMOS อุปกรณ์รับภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องดิจิทัล

2.1.7 การประยุกต์ใช้รังสีในงานด้านความมั่นคงปลอดภัย

งานด้านความมั่นคงปลอดภัย (security) เป็นงานที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหน่วยงานที่มีความเสี่ยงต่อการถูกคุกคามสูง เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ สนามบิน สถานทูต หรือแม้แต่องค์กรเอกชนใหญ่ ๆ ต่างก็ให้ความสำคัญกับระบบรักษาความมั่นคงปลอดภัยอยู่ไม่น้อย พื้นฐานของการรักษาความปลอดภัยเริ่มต้นจากการใช้คน เช่น เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย (รปภ.)

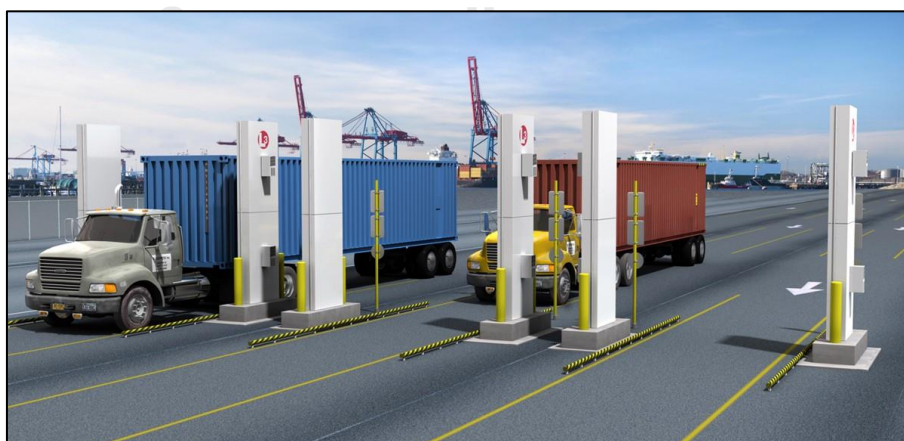
ทหาร ตำรวจ เป็นต้น คนเป็นเครื่องมือรักษาความปลอดภัยที่ดีเยี่ยม เพราะสามารถสื่อสาร แยกแยะ และใช้วิจารณญาณในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามคนก็มีขีดจำกัดที่เกี่ยวกับงานด้านความมั่นคงปลอดภัย เช่น คนมีขีดจำกัดเรื่องการทำงานแข่งกับเวลา มีโอกาสประมาทเลินเล่อ มีขีดจำกัดในการมองเห็น เป็นต้น ดังนั้นงานด้านความมั่นคงปลอดภัยจึงมีเครื่องมือช่วยหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกให้แก่เจ้าหน้าที่และเป็นระบบคอมพิวเตอร์ช่วยบริหารจัดการ เช่น กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว ระบบสแกนลายนิ้วมือ เครื่องตรวจจับโลหะ เครื่องเอกซเรย์กระเป๋า ระบบวัดรังสี เป็นต้น

การนำเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์และรังสีมาใช้ในงานด้านความมั่นคงปลอดภัยถือเป็นการเปิดศักยภาพในการเฝ้าระวัง ตรวจจับสิ่งของต้องสงสัยที่เป็นสิ่งต้องห้ามสำหรับกิจกรรมหรือสถานที่นั้น ๆ

อุปกรณ์รักษาความปลอดภัยที่มักพบเห็นบ่อยครั้ง อย่างเช่นเครื่องเอกซเรย์กระเป๋าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบเอกซเรย์ในตัว (cabinet x-ray systems) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันทั่วไปในการรักษาความปลอดภัย ส่วนใหญ่เรามักจะพบเห็นตามสนามบิน (อุปกรณ์ที่บรรจุในหีบห่อหรือกระเป๋าสัมภาระจะถูกเอกซเรย์) ระบบเอกซเรย์กระเป๋าจะใช้รังสีเอกซ์ปริมาณต่ำมากและพลังงานไม่สูงมากไป (ประมาณหนึ่งในสิบของการได้รับรังสีพื้นหลังในธรรมชาติ) ปริมาณรังสีนี้จะไม่เป็นอันตรายต่ออาหาร เครื่องดื่ม ฟิล์มของกล้องถ่ายรูปความเร็วต่ำ แหล่งกำเนิดรังสีและลำรังสีนี้ถูกป้องกันไม่ให้เล็ดรอดออกมามาก มีค่าที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่เดินไปมาอยู่ในบริเวณสถานที่ทำงาน 8 ถึง 10 ชั่วโมง

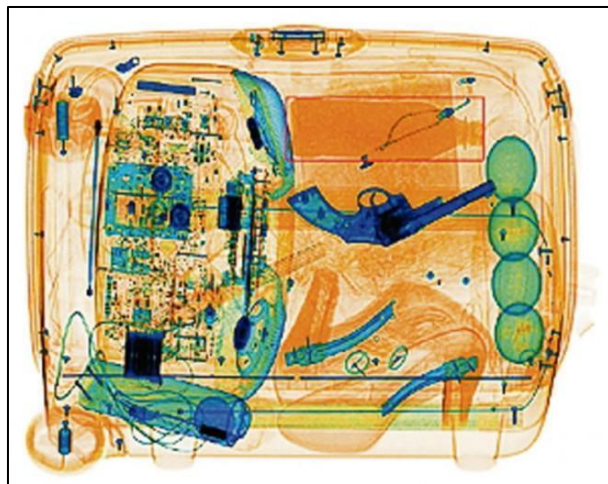
เครื่อง CT (computed tomography) ใช้เพื่อสแกนกระเป๋าเดินทางของคุณที่สนามบินและบางครั้งจะสแกนหาสินค้าที่เข้ามาบนเครื่องบินหรือเรือ เครื่อง CT ปล่อยรังสีเอกซ์และมีความปลอดภัยเท่ากับระบบ x-ray ของตู้ที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณรังสีที่ฉายลงแผนเรื่องรังสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

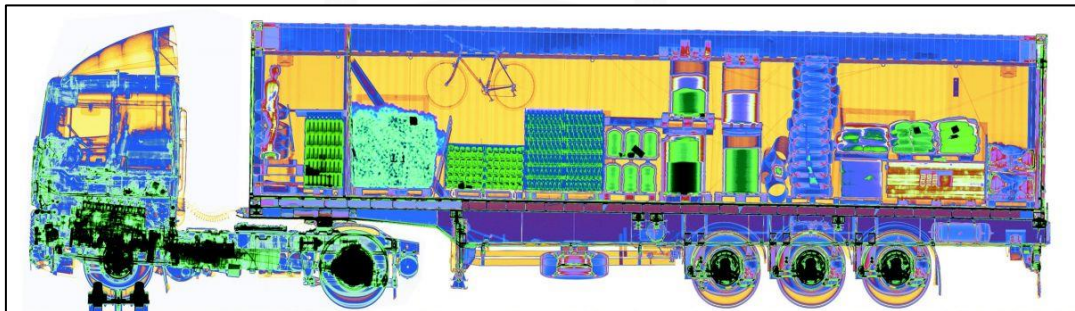


รูปที่ 2.15 ภาพจำลองการติดตั้งหัววัดรังสีเพื่อตรวจสอบตู้คอนเทนเนอร์

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เห็นภาพว่า งานความมั่นคงปลอดภัยหลัก ๆ แล้วจะนำความรู้เกี่ยวกับการถ่ายภาพด้วยรังสีไปประยุกต์ใช้งาน เพียงแต่มีการพัฒนาต่อยอดให้เหมาะสมกับงานของแต่ละหน่วยงาน การถ่ายภาพวัตถุของแข็งจะเป็นการวิเคราะห์จากลักษณะภายนอกกว่าตรงกับฐานข้อมูลหรือมีรูปร่างต้องสงสัยหรือไม่ สำหรับการวิเคราะห์จำแนกของเหล่านั้นยังคงต้องใช้คนเป็นตัวช่วยในการสังเกต แยกแยะ ตัดสินใจ และตรวจสอบอย่างละเอียดอีกชั้น



รูปที่ 2.16 การใช้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ตรวจสอบรูปร่างลักษณะทางกายภาพ [11]



รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายด้วยรังสีรถบรรทุกและตู้ขนส่งสินค้า [12]

2.2 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 X-RAY ATTENUATION COEFFICIENTS OF ELEMENTS AND MIXTURES

(Daphne F. JACKSON and D.J. HAWKES) [13]

ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของธาตุบริสุทธิ์และสารประกอบ มีการกล่าวถึงสมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเพื่อที่จะอธิบายและปรับแก้สมการให้ถูกต้อง อธิบายเกี่ยวกับ โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์และสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์อย่างละเอียด งานวิจัยนี้จึงมีประโยชน์ต่อการศึกษาทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอกซ์ทะลุผ่านธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ การนำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

2.2.2 X-ray Attenuation Coefficients From 10 keV to 100 MeV

(Gladys White Grodstein) [14]

ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์และแกมมาจาก 0.01 ถึง 100 MeV ของวัสดุที่นำเสนอทั้งหมด 29 ชนิด นำเสนอโอกาสของการเกิดอันตรกิริยาพื้นฐานที่จะเกิดขึ้นระหว่างโฟตอนรังสีกับสสารที่เป็นตัวกลาง กระบวนการเกี่ยวกับการลดทอนรังสีของรังสีลำแคบ (narrow-beam attenuation) กระบวนการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสี ได้รวบรวมรายละเอียดของการทดลองและทฤษฎีต่าง ๆ ไว้ด้วย นอกจากนี้ยังได้เสนอข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณกับผลจากการทดลองด้วย

2.2.3 Radiation Dose Reduction by Water Shield

(Jahan Zeb, Waheed Arshed, S. Salman Ahmad) [15]

รายงานนี้เป็นคู่มือปฏิบัติการของซอฟต์แวร์ พัฒนาขึ้นที่กองฟิสิกส์สุขภาพ (HPD) สถาบันนิวเคลียร์ของปากีสถานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (PINSTECH) ประเทศปากีสถาน ซึ่งพิจารณาไปที่โฟตอนที่มีพลังงานอยู่ช่วง 0.5 ถึง 10 MeV เพื่อคำนวณความหนาของกำบังรังสีโดยใช้น้ำ จากการศึกษาคู่มือนี้ทำให้เข้าใจและเห็นภาพสำหรับการลดทอนรังสีของน้ำมากขึ้น

2.2.4 Investigation of a threat liquid using x-ray imaging technique

(Nurhani binti Sulaiman, Somyot Srisatit) [16]

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เพื่อทำการเปรียบเทียบค่ากับน้ำ โดยในการศึกษาวิจัยได้ทำการเปลี่ยนค่าความหนาของตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแยกแยะของเหลวได้โดยมีเกณฑ์เปรียบเทียบคือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยรายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง การสร้างชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และหลักการทำงานของโปรแกรม การทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี ขั้นตอนการถ่ายภาพของเหลวตัวอย่าง ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายด้วยรังสี และการวัดคุณสมบัติอื่น ๆ ของของเหลว

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีแบบเรียลไทม์โดยใช้แผ่นเรืองรังสีร่วมกับกล้องดิจิทัล ระบบถ่ายภาพประกอบด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ระบบรับภาพและบันทึกภาพเป็นแผ่นเรืองรังสีทำงานร่วมกับกล้องดิจิทัล

3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

ในการทำวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku รุ่น RF-200EGM2 ปรับความต่างศักย์ในการผลิตรังสีเอกซ์ได้ระหว่าง 70 ถึง 200 kV กระแสไฟฟ้าของไส้หลอดรังสีเอกซ์ 2 mA ใช้หลอดรังสีเอกซ์แบบ rotating anode



รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ Rigaku รุ่น RF-200EGM2

3.1.2 อุปกรณ์รับภาพและบันทึกภาพ

อุปกรณ์รับภาพและบันทึกภาพสำหรับงานวิจัยนี้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะประกอบด้วยกล่องไม้ปิดที่บรรจุฉากติดตั้งแผ่นเรืองรังสีและกล้องดิจิทัลเป็นตัวบันทึกภาพจากแผ่นเรืองรังสีโดยกล้องดิจิทัลควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB เพื่อบันทึกภาพจากแผ่นเรืองรังสีเป็นไฟล์ภาพดิจิทัล (digital photos) ลงในคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาอ่านค่าความเข้มของภาพ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้กล้องดิจิทัล Canon รุ่น 1100D ความละเอียดของตัวรับภาพ (sensor resolution) 12 ล้าน พิกเซล ซึ่งเป็นชนิด CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) มีความไวต่อแสง (Light Sensitivity, ISO) 100-6400 โดยในการวิจัยนี้ตั้งค่า ISO ไว้ที่ 800 ตั้งค่ารูรับแสง (Aperture, F) 4.0 และตั้งค่าความเร็วของชัตเตอร์ (shutter speed) 1 วินาที



รูปที่ 3.2 กล้องดิจิทัล Canon รุ่น 1100D

3.1.3 ภาชนะบรรจุตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยรังสี

ภาชนะที่ใช้บรรจุของเหลวตัวอย่างเพื่อทำการทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีนั้นต้องเป็นภาชนะที่ทำด้วยวัสดุความหนาแน่นต่ำเพราะส่งผลกระทบต่อภาพถ่ายด้วยรังสีของตัวอย่างน้อยที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ขวดพลาสติกบางทรงสี่เหลี่ยมมีด้านกว้างเท่ากับ 6 เซนติเมตร จำนวน 4 ใบ ติดหมายเลข 1 ถึง 4 ขวดพลาสติกถูกบรรจุด้วยของเหลวตัวอย่างที่ละชนิดสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีหนึ่งภาพ ในการเปลี่ยนชนิดของตัวอย่างมีการทำความสะอาดขวดพลาสติกอย่างดีและเป่าด้วยลมร้อนเพื่อกำจัดความชื้น

สำหรับการทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในงานวิจัยนี้ทั้งหมดใช้ภาชนะบรรจุตัวอย่างเป็นขวดพลาสติกนี้ โดยออกแบบฐานวางขวดตัวอย่างที่ด้านหน้ากล่องไม้อัดรูปฉากให้พอดีกับขนาดของ

ขวดเพื่อให้เป็นการแน่ใจว่าการเปลี่ยนวัตถุตัวอย่างในกระบวนการถ่ายภาพจะวางไว้ตำแหน่งเดิมเสมอ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับกระบวนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี



รูปที่ 3.3 ขวดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4 ของเหลวตัวอย่าง

1. ของเหลวที่นำมาทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีมี 10 ชนิด ได้แก่
 1. น้ำมันเบนซินแก๊สโซฮอล์ 91 (Gasohol 91)
 2. น้ำมันเบนซินแก๊สโซฮอล์ 95 (Gasohol 95)
 3. น้ำมันดีเซล (Diesel)
 4. น้ำมันดีเซลพรีเมียม (Premium Diesel)
 5. เอทานอลบริสุทธิ์ 95% (Ethyl alcohol 95%, C_2H_5OH)
 6. น้ำมันพืช (น้ำมันปาล์ม)
 7. น้ำดื่มบรรจุขวด PET
 8. น้ำเกลือล้างแผล (Normal Saline Solution, $NaCl$ 0.9 g/ 100 mL)
 9. น้ำผึ้งแท้
 10. น้ำปลาแท้ (ส่วนผสม: ปลาไส้ตัน 66%, เกลือ 29%, น้ำตาล 5%)
2. ตัวอย่างของเหลว unknown 3 ชนิด ได้แก่ unknown 1 unknown 2 และ unknown 3

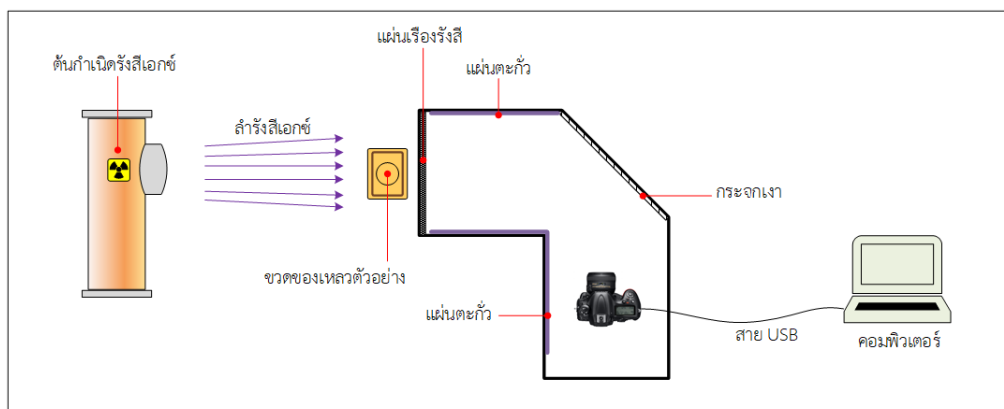
3.1.5 แผ่นเรืองรังสี

ในการทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้แผ่นเรืองรังสีชนิดแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (gadolinium oxysulfide, Gd_2O_2S) เป็นตัวแปลงรังสี แผ่นเรืองรังสีนี้มีลักษณะเป็นแผ่นคล้าย ๆ แผ่นพลาสติกสีขาว ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติเรืองแสงเมื่อถูกรังสีเอกซ์ตกกระทบ แผ่นเรืองรังสีถูกติดตั้งไว้ในชุดอุปกรณ์รับภาพ ซึ่งเป็นกล่องปิดทึบไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ดังนั้นจึงสามารถใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพที่เกิดจากการเรืองแสงของแผ่นเรืองรังสีนี้ได้

3.2 การสร้างชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์รับภาพเสียก่อน ต่อจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการสร้างภาพเพื่อให้ได้มาซึ่งภาพถ่ายด้วยรังสี จากที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 2 เกี่ยวกับอุปกรณ์รับภาพต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าการใช้ระบบดิจิทัลเป็นการสะดวกแต่จะต้องมีอุปกรณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อนและราคาสูง ในการวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการประยุกต์ใช้งานที่สะดวกและในราคาต้นทุนที่ต่ำ ดังนั้นจึงเลือกใช้การถ่ายภาพแบบดิจิทัลและพัฒนาวิธีถ่ายภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลที่สามารถหาได้ในท้องตลาดทั่วไป

ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพนี้ ประกอบด้วยแผ่นเรืองรังสีติดตั้งในกล่องที่บุรูปฉากทำด้วยไม้อัดและบุด้วยตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตร กระจกเงาสะท้อนแสงติดตั้งในมุม 45 องศา กล้องถ่ายภาพดิจิทัลติดตั้งบนชุดฐานรับที่ออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้และควบคุมกล้องด้วยคอมพิวเตอร์ที่อยู่นอกห้องเอกซเรย์ผ่านสาย USB ดังแผนภาพในรูปที่ 3.4 สำหรับการวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเพื่อใช้ถ่ายภาพ เนื่องจากการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับอุปกรณ์ที่ผู้ใช้มีไว้ในครอบครองอยู่แล้ว ซึ่งเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์มีใช้งานกันอยู่มากทั้งในภาครัฐและเอกชน

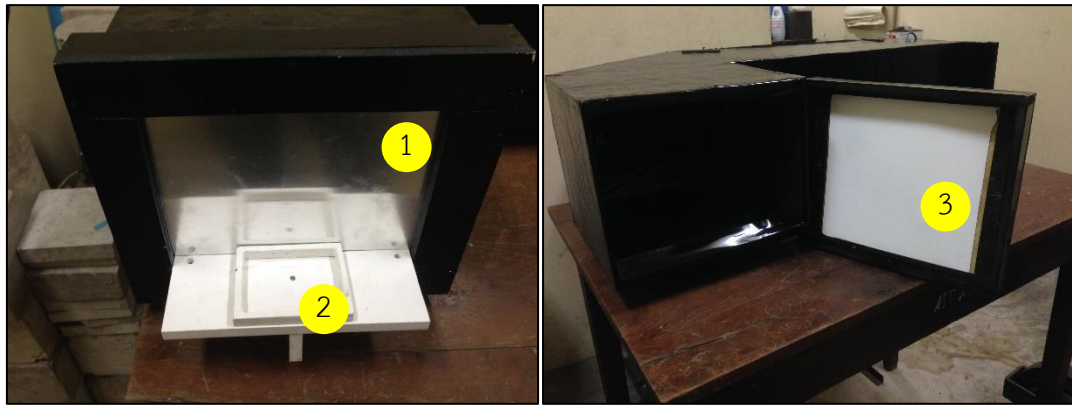


รูปที่ 3.4 แผนผังการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้กล้องดิจิทัล

หลักการทำงานของชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพนี้คือ เมื่อลำรังสีเอกซ์ที่ถูกผลิตออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์ถูกปรับทิศทางมายังขวดบรรจุของเหลวตัวอย่างซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าของกล่องไม่ปิดทึบ ผ่านหน้าต่างซึ่งทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง ตกกระทบยังแผ่นเรืองรังสีที่อยู่ด้านในถัดจากแผ่นอลูมิเนียม จากนั้นแผ่นเรืองรังสีจะเกิดการเรืองแสงขึ้นเป็นภาพเงาของวัตถุตัวอย่าง แสงสว่างจากภาพดังกล่าวจะสะท้อนผ่านกระจกเงาซึ่งวางทำมุม 45 องศา กับแผ่นเรืองรังสี เข้าสู่กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB ถ่ายภาพและส่งภาพมายังคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ในการตั้งอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะต้องปรับตำแหน่งของหลอดรังสีเอกซ์ให้อยู่ในระดับเดียวกันกับกล่องรูปฉากเพื่อให้ลำรังสีตั้งฉากกับวัตถุตัวอย่างให้ได้มากที่สุด และตำแหน่งของหลอดรังสีเอกซ์ต้องถูกตรึงไว้ห้ามขยับจนกว่าจะจบกระบวนการถ่ายภาพที่เกี่ยวข้องตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมกล้องดิจิทัลวางไว้ที่ด้านนอกห้องเอกซเรย์พร้อมกับเครื่องควบคุมเอกซเรย์ โดยควบคุมกล้องดิจิทัลผ่านสาย USB



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ

(ก) หมายเลข 1- แผ่นอลูมิเนียมบางเป็นหน้าต่างสำหรับให้รังสีเข้าไปในกล่องไม้ปิดทึบ

หมายเลข 2 - ที่วางขวดตัวอย่าง

(ข) หมายเลข 3 - แผ่นเรืองรังสี

(ค) หมายเลข 4 - กระจกเงา หมายเลข 5 - แผ่นตะกั่วบุโดยรอบ

(ง) กล้องดิจิทัลวางบนรางเลื่อนสามารถปรับระยะได้

3.3 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลังจากที่ได้อุปกรณ์ถ่ายภาพเพื่อเก็บภาพถ่ายด้วยรังสีแล้ว จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ประมวลผล และสรุปกลุ่มของของเหลวตัวอย่าง ในการวิจัยนี้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา Visual Basic ซึ่งเป็นภาษาเขียนโปรแกรมพื้นฐานและง่ายต่อการเข้าใจ

3.3.1 หลักการทำงานและแผนผังการทำงานของโปรแกรม

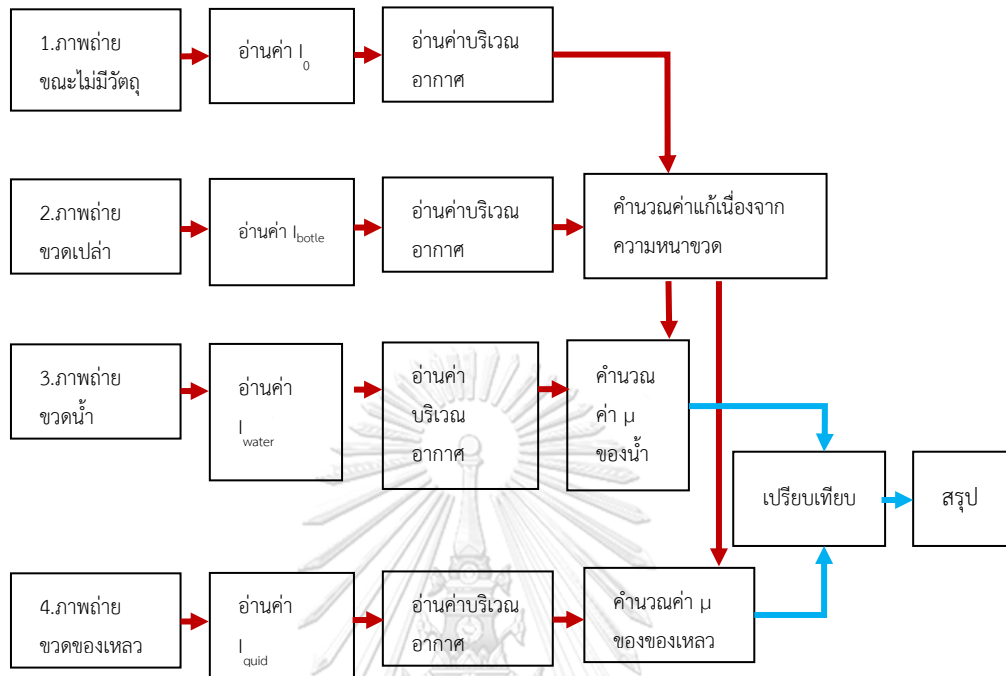
การทำงานของโปรแกรมอาศัยค่าพารามิเตอร์จากภาพดิจิทัล กล่าวคือรูปภาพดิจิทัลที่ถูกบันทึกมาจากกล้องดิจิทัลจะมีคุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญคือความเข้มของแต่ละจุดภาพหรือพิกเซล ซึ่งค่าความเข้มนี้แปรผันตรงกับค่าแสงสว่างจากภาพจริงที่ถูกบันทึกมา ภาพที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ทดลองนี้เป็นภาพที่เกิดจากรังสีเอกซ์ทำอันตรกิริยากับแผ่นเรืองรังสีเปล่งแสงออกมาแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นเรืองรังสีนั้น ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ความเข้มของจุดภาพในภาพถ่ายด้วยรังสีจึงแปรผันตรงกับปริมาณรังสีด้วยเช่นกัน โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้จึงใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นสำคัญ กล่าวคือ โปรแกรมจะอ่านค่าความเข้มของบริเวณที่สนใจในภาพ ซึ่งจะเป็นตัวเลขในระดับ 0-255 แปรผันตามปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นเรืองรังสี ตัวเลขที่ถูกอ่านค่าออกมาจากโปรแกรมนั้นจะเป็นตัวแทนของความเข้มรังสีที่แท้จริงด้วย นำตัวเลขแสดงค่าความเข้มนี้เข้าสู่สมการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีตามสมการที่ 2.1

ในการแสวงหาข้อมูลเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่ถูกต้องนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในตำแหน่งเดียวกันในขณะที่มีวัตถุตัวกลางกับไม่มีวัตถุตัวกลาง แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถกระทำเช่นนั้นได้ ดังนั้นจึงออกแบบโปรแกรมสำหรับการคำนวณภาพจากการถ่ายภาพหลายครั้งแล้วนำค่าความเข้มภาพเหล่านั้นมาทำการปรับแก้ให้สอดคล้องกัน (normalize) โดยการเก็บความเข้มภาพจากบริเวณที่เป็นอากาศทั้งสองข้างของขวดตัวอย่างเพื่อทำการคำนวณปรับแก้ สาเหตุที่ต้องมีการปรับแก้เพราะการผลิตรังสีเอกซ์ในแต่ละครั้งมีปริมาณที่ไม่เท่ากันทำให้ค่า I_0 เปลี่ยนแปลงไปด้วยในแต่ละครั้ง

ดังนั้นการถ่ายภาพที่ความต่างศักย์ใด ๆ จึงออกแบบให้มีการถ่ายภาพสี่ครั้ง ได้แก่

1. ถ่ายภาพในขณะที่ไม่มีวัตถุใด ๆ เพื่อเก็บค่า I_0
2. ถ่ายภาพขวดเปล่า เพื่อทำการคำนวณค่าแก้เนื่องจากความหนาของขวด
3. ถ่ายภาพขวดน้ำ เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำเพื่อเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิง
4. ถ่ายภาพขวดของเหลวที่สนใจ เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีและเปรียบเทียบกับของน้ำแล้วสรุปผลว่าเป็นของเหลวในกลุ่มที่เป็นของเหลวติดไฟหรือไม่

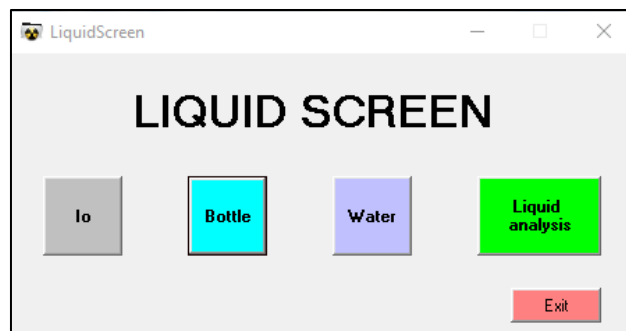
ขั้นตอนและหลักการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังแผนผังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

3.3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของโปรแกรม

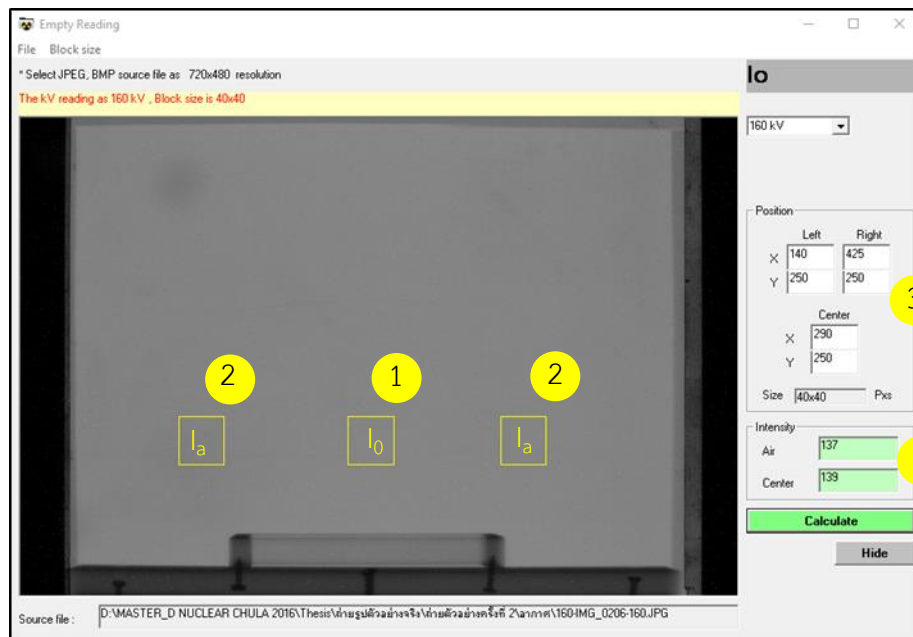
จากแผนผังการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 3.6 โปรแกรมที่ออกแบบมีการทำงานเป็นสี่ส่วน โดยจะมีหน้าต่างเมนูหลักเป็นหน้าต่างเริ่มต้น ในหน้าต่างเมนูหลักสามารถเรียกเมนูย่อยทั้งสี่ส่วนขึ้นมาได้โดยอิสระ



รูปที่ 3.7 หน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรม

การทำงานของเมนูย่อยทั้งสี่ส่วนอธิบายโดยละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 การอ่านค่าความเข้มจากภาพถ่ายขณะไม่มีวัตถุ



รูปที่ 3.8 หน้าต่างเมนูย่อยส่วนที่ 1

อธิบายรูปที่ 3.8 หน้าต่างโปรแกรมส่วนที่ 1 ในหน้าต่างนี้เป็นการอ่านค่าความเข้มของภาพในขณะที่ไม่มีวัตถุ เพื่อเก็บข้อมูลความเข้ม ณ ตำแหน่งกึ่งกลาง (หมายเลข 1) ไว้เป็นค่า I_0 หมายเลข 2 เป็นการอ่านค่าความเข้มในตำแหน่งด้านข้างของภาพซึ่งจะตรงกับบริเวณด้านนอกขอบใส่ตัวอย่าง เมื่อถึงหน้าต่าการทำงานในเมนูถัดไป โดยความเข้มของกรอบสี่เหลี่ยมที่สนใจ (ROI) หมายเลข 2 ทั้งสองพื้นที่จะนำค่ามาเฉลี่ยกันแล้วบันทึกค่าเป็นตัวแปร I_a ไว้สำหรับการปรับแก้ค่า (normalize) เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการผลิตรังสีเอกซ์ของเครื่องกำเนิดรังสี (ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5 และต่อไปนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่า “การปรับแก้ค่า”) สำหรับหมายเลข 3 เป็นส่วนรับข้อมูลระบุตำแหน่งของ ROI เพื่อให้อ่านค่าความเข้ม ณ ตำแหน่งเดียวกันกับส่วนการทำงานอื่น ๆ ของโปรแกรม ส่วนหมายเลข 4 แสดงข้อมูลความเข้มของ ROI ทั้งสามตำแหน่ง

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ภาพถ่ายขอบเปล่าเพื่อหาค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของขอบ (μ_{1x})

ในการถ่ายภาพของเหลวนั้นจำเป็นต้องบรรจุของเหลวในภาชนะ กรณีนี้คือขวดพลาสติก โดยกำหนดให้ขวดพลาสติกมีความหนาแน่นเป็น x มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเป็น μ_1 ซึ่งความหนาแน่นจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลว (μ_2) ที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาแน่นเพิ่มเติมเพื่อให้คำนวณได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของของเหลวมากที่สุด โดยจะทำการหาค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาแน่นของขวดที่อยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของขวดคูณกับความหนาแน่น ($\mu_1 x$)

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีตามสมการ 2.1 นั้นจะต้องใช้ค่าความเข้มภาพ ณ ตำแหน่งเดียวกันประกอบด้วยค่า I_0 (ก่อนรังสีทะลุผ่านขวดเปล่า) และ I_x (หลังรังสีทะลุผ่านขวดเปล่า) ในทางปฏิบัติไม่สามารถบันทึกค่า I_0 และ I_x พร้อมกันได้ จึงต้องมีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สองครั้งและบันทึกค่าทีละค่าจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ทั้งสองภาพตามลำดับ แต่การผลิตรังสีเอกซ์ในแต่ละครั้งนั้นมีค่าเอกซ์โพสเซอร์ (ปริมาณรังสี) ที่ไม่เท่ากัน ดังอธิบายในหัวข้อ 3.5 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่าความเข้มที่อ่านได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ครั้งที่สองให้สอดคล้องกับครั้งแรกเสียก่อน โดยใช้วิธีปรับค่าความเข้มจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ครั้งที่สองเทียบกับครั้งแรก

ในภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ครั้งที่สอง กำหนดให้ I_{ax} หมายถึงค่าความเข้มเฉลี่ยของภาพถ่าย x ที่ตำแหน่งด้านข้างของขวด และความเข้มของรังสีเอกซ์ ณ ตำแหน่งกลางขวดมีค่าเป็น I_x (รูปที่ 3.9) และในกระบวนการปรับแก้ค่าเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการผลิตรังสีเอกซ์แต่ละครั้งนั้นจะปรับแก้ค่า I_x จากรูปที่ 3.9 ให้สอดคล้องกับ I_0 จากรูปที่ 3.8 โดยเปรียบเทียบ I_{ax} ในการถ่ายภาพครั้งที่สองกับ I_a จากการถ่ายภาพครั้งแรก ด้วยการหาอัตราส่วน I_{ax}/I_a เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่า I_x ให้สอดคล้องกับความเข้มของภาพถ่ายครั้งแรก ดังสมการที่ 3.1

$$I_x (\text{correct}) \approx \frac{I_x \times I_a}{I_{ax}} \quad (3.1)$$

เมื่อ $I_x (\text{correct})$ คือ ค่าความเข้มบริเวณกลางภาพขวดหนา x ที่ปรับแก้ค่าแล้ว
 I_x คือ ค่าความเข้มที่อ่านได้จากบริเวณกลางขวดก่อนการปรับแก้ค่า
 I_a คือ ค่าความเข้มเฉลี่ยที่ตำแหน่งด้านข้างของขวดในภาพถ่ายครั้งแรก (ไม่มีวัตถุ)

I_{ax} คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มตำแหน่งด้านข้างของขวดที่สนใจจากภาพถ่ายครั้งที่สอง

จากสมการที่ 2.1 ดังนั้นจึงแทนค่า I_x ด้วย $I_{x(correct)}$ และเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$I_{x(correct)} = I_0 e^{-\mu_1 x} \quad (3.2)$$

ดังนั้น

$$\mu_1 x = \ln\left(\frac{I_0}{I_{x(correct)}}\right)$$

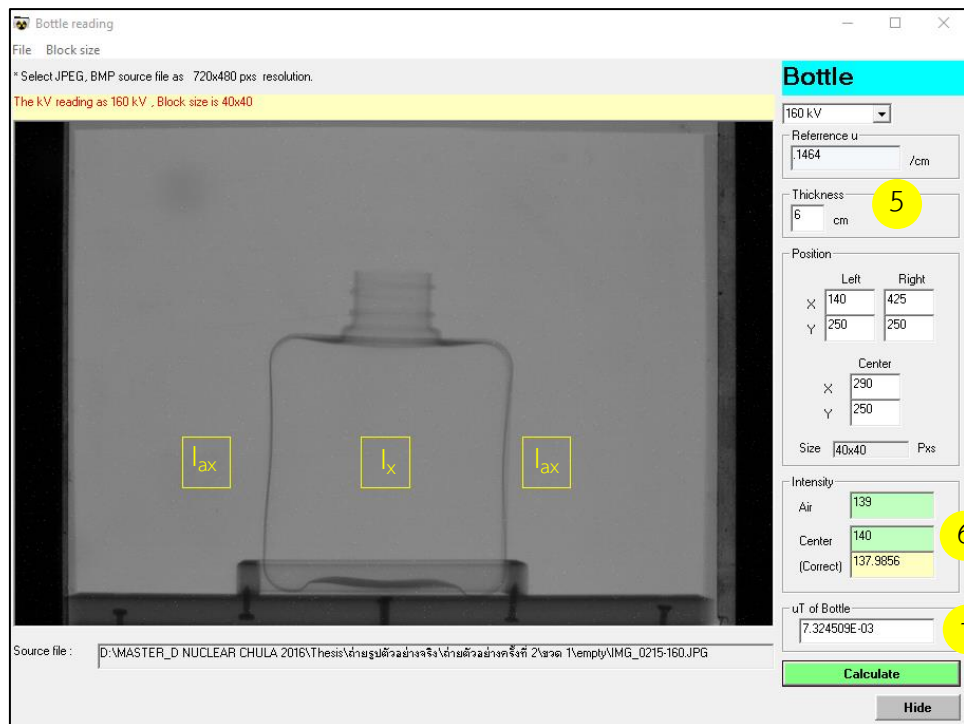
$$\mu_1 x = \ln\left(\frac{I_0}{\frac{I_x \times I_a}{I_{ax}}}\right)$$

นั่นคือ

$$\mu_1 x = \ln\left(\frac{I_0 \times I_{ax}}{I_x \times I_a}\right) \quad (3.3)$$

เมื่อ $\mu_1 x$ คือ ค่าปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาขวด
 I_0 คือ ค่าความเข้มตำแหน่งกลางภาพ ที่อ่านได้จากภาพถ่ายที่ไม่มีวัตถุ (หมายเลข 1)

ค่า $\mu_1 x$ ในสมการที่ 3.3 นั้นจะนำไปใช้เป็นค่าปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาขวดในขั้นตอนหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวในโปรแกรมต่อไป



รูปที่ 3.9 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 2 การหาค่าปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของขวด

อธิบายรูปที่ 3.9 ในกระบวนการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.1 นั้นจำเป็นต้องมีค่าความหนาของวัตถุค่าหนึ่ง ดังนั้นในโปรแกรมส่วนที่ 2 จึงมีช่อง (หมายเลข 5) สำหรับรับค่าความหนาของตัวอย่าง (thickness) ค่าความเข้มที่อ่านได้จาก ROI ต่าง ๆ จะแสดงไว้บนหน้าต่างโปรแกรมนี้ด้วย (หมายเลข 6) และแสดงผลค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของขวด μ_x (หมายเลข 7)

ส่วนที่ 3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

จากการศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าของเหลวที่สามารถติดไฟได้ทุกชนิดมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำและยังมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีน้อยกว่าน้ำอีกด้วย [16] ดังนั้นการจำแนกของเหลวชนิดติดไฟได้และไม่ติดไฟอาจทำได้โดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวนั้น ๆ เทียบกับของน้ำ ดังนั้นในโปรแกรมส่วนที่ 3 นี้จึงเป็นส่วนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบและสรุปผลในส่วนที่ 4 ของโปรแกรม โดยมีหลักการคิดดังนี้

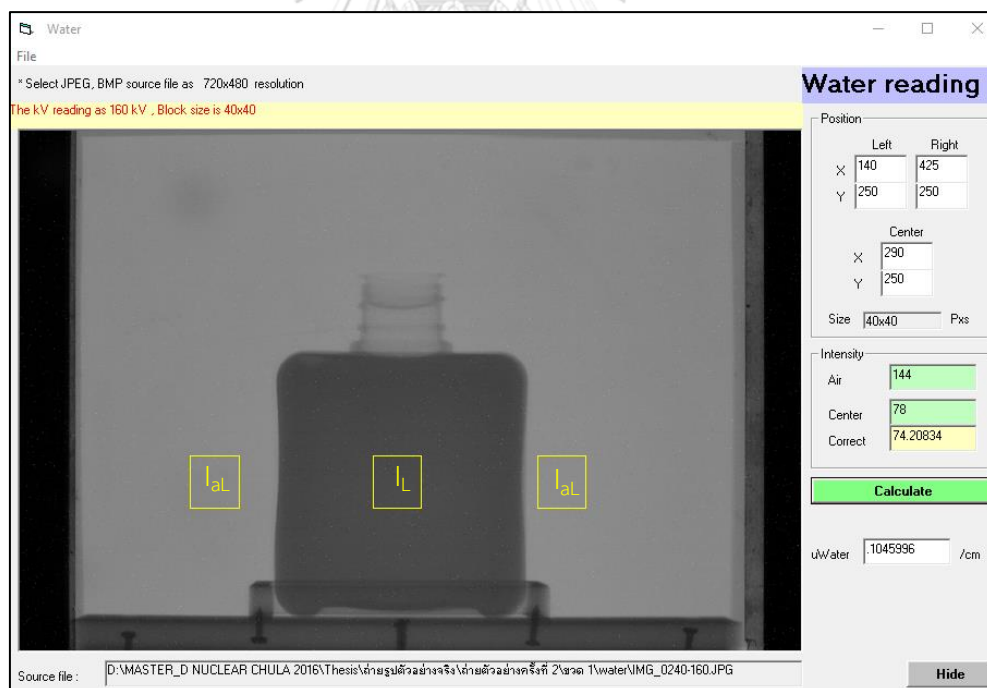
หากวัตถุที่ถ่ายภาพเป็นน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี μ_1 บรรจุในขวดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี μ_2 และขวดมีความหนาของขวดเท่ากับ x มีความกว้างเท่ากับ L (ค่านี้จะประมาณว่าเป็นความหนาของของเหลวด้วย) ดังนั้นการลดทอนรังสีตามสมการ 3.2 สามารถเขียนใหม่เป็นดังนี้

$$I_{L(\text{correct})} = I_0 e^{-(\mu_1 x + \mu_2 L)} \quad (3.4)$$

ดังนั้น

$$\mu_2 = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{I_0 e^{-\mu_1 x}}{I_{L(\text{correct})}} \right) \quad (3.5)$$

เมื่อ μ_2 คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ
 $\mu_1 x$ คือ ค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของขวด (ใช้สมการ 3.3)
 $I_{L(\text{correct})}$ คือ ค่าความเข้มบริเวณกลางภาพขวดบรรจุน้ำที่ปรับแก้ค่าแล้วโดยใช้รูปแบบสมการ 3.1

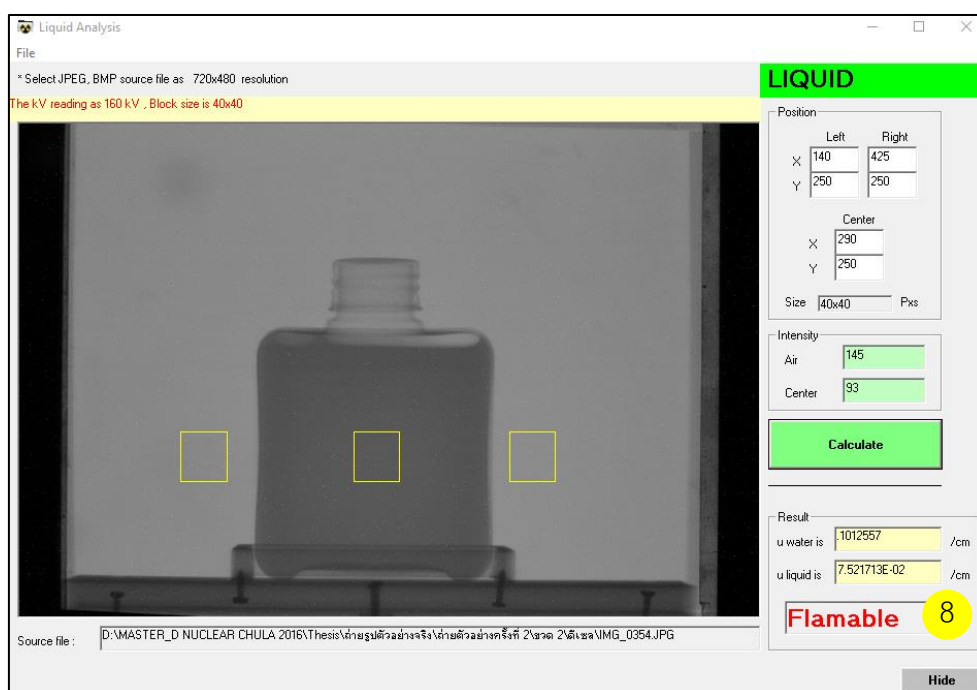


รูปที่ 3.10 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 3 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

ส่วนที่ 4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวและสรุปผล

ในการทำงานของโปรแกรมส่วนนี้จะมีความคล้ายคลึงกับส่วนที่ 3 มีหลักการวัดและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเหมือนกัน แต่โปรแกรมในส่วนนี้เพิ่มเติมการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของเหลวที่คำนวณได้กับค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำจากที่คำนวณได้ในส่วนที่ 3 และสรุปผลว่าเป็นของเหลวชนิดติดไฟได้หรือไม่ (หมายเลข 8 ในรูปที่ 3.11)

โปรแกรมทั้งสี่ส่วนแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไว้บนหน้าต่างให้ผู้ใช้งานทราบค่าด้วย



รูปที่ 3.11 หน้าต่างเมนูส่วนที่ 4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวและสรุปผล

3.4 การทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี

แผ่นเรืองรังสีมีคุณสมบัติในการเรืองแสงเมื่อโดนรังสีโดยความสว่างแปรผันตามปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนแผ่นเรืองรังสี แต่ด้วยขีดจำกัดการทำงานจะมีการอิ่มตัวที่ปริมาณรังสีสูงระดับหนึ่ง เมื่อมีรังสีตกกระทบบสูงเกินกว่าขีดจำกัดนั้นความสว่างของแสงที่เรืองขึ้นมาก็จะไม่แปรผันตามปริมาณรังสีนั้นอีกต่อไป สำหรับการวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีที่สามารถตั้งค่าความต่างศักย์ฉายรังสีเอกซ์ตั้งแต่ 70-200 kV ดังนั้นเพื่อความมั่นใจว่าจะได้ค่าที่แม่นยำที่สุดควรใช้ความต่างศักย์ในช่วงที่แผ่นเรืองรังสีมีแนวโน้มการตอบสนองต่อรังสีอย่างเป็นเชิงเส้นที่สุดโดยการทดสอบฉายรังสีที่ความต่างศักย์ตั้งแต่ 70-200 kV

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ติดแผ่นเรืองรังสีไว้ภายในกล่องปิดทึบรูปตัวแอลที่สร้างขึ้นมา โดยมีกล้องดิจิทัลและคอมพิวเตอร์เป็นชุดบันทึกภาพ
2. เลือกระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์กับชุดอุปกรณ์รับภาพ (แผ่นเรืองรังสี) เท่ากับ 120 เซนติเมตร ระยะห่างค่านี้อาจใช้ตลอดการทดลองถ่ายภาพในงานวิจัยนี้ เหตุผลที่เลือกใช้ระยะห่าง 120 เซนติเมตรเนื่องจากป้องกันปริมาณรังสีสูงเกินกว่าขีดจำกัดการตอบสนองของแผ่นเรืองรังสี และเพื่อลดผลกระทบเนื่องจากรังสีรูปพัด ซึ่งเป็นปัญหาเรื่องลำรังสีไม่สม่ำเสมอในกรณีที่ตั้งกำเนิดรังสีอยู่ใกล้กับฉากรับภาพมากเกินไป
3. ฉายรังสีไปยังชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ โดยใช้ความต่างศักย์ตั้งแต่ 70-200 kV แต่แต่ละครั้งใช้เวลา 5 วินาที บันทึกภาพ และตั้งค่ากล้องดิจิทัล ดังนี้ Shutter = 1", F = 4.0, ISO = 800
4. ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นอ่านค่าความเข้มของภาพที่บันทึก
5. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับค่าความเข้มของภาพ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นเรืองรังสีที่ใช้ในการทดลองนี้มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีที่ความต่างศักย์ช่วง 70-200 kV ค่อนข้างเป็นแบบเชิงเส้นและไม่เกิดการอิ่มตัวของความเข้มของภาพ โดยมีการตอบสนองที่เป็นเชิงเส้นที่สุดอยู่ในช่วง 90 ถึง 160 kV ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกทดลองที่ความต่างศักย์ช่วง 90 ถึง 160 kV

3.5 การศึกษาผลความทำซ้ำของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เนื่องจากการผลิตรังสีเอกซ์นั้นประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ กระแสไฟ (mA) สำหรับป้อนให้แก่หลอดเอกซเรย์เพื่อกำเนิดอิเล็กตรอน ไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (kV) สำหรับเร่งอิเล็กตรอนให้ชนเป้า และเวลาในการฉายรังสี (sec. หรือ min) ในเครื่องกำเนิดรังสีแต่ละเครื่องสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ได้ตามเหมาะสม ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่า kV ขึ้นหรือลงแล้วปรับกลับมายังค่าเดิมเครื่องกำเนิดรังสีส่วนใหญ่จะมีค่าความต่างศักย์ที่จ่ายแก่หลอดเอกซเรย์จริงต่างจากเดิมเล็กน้อย อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟ (ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์) ที่เป็นแหล่งพลังงานให้แก่เครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูงทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (Peak Generating Potential, kVp) ให้แก่หลอดเอกซเรย์เพื่อเร่งอิเล็กตรอนว่ามีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่ หากสังเกตไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ภายในอาคารบ้านเรือน ถึงแม้จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 220 โวลต์ แต่ในความเป็นจริงนั้นความต่างศักย์นี้จะไม่เท่ากันตลอดเวลา จะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลาและสถานที่ มีการกระเพื่อมขึ้นลงของศักย์ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา อาจจะในเสี้ยววินาทีหรือช่วงนาทีกี่ตามเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดรังสีโดยตรง เมื่อมีการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยตั้ง

ค่าพารามิเตอร์เท่าเดิมแต่ผลลัพธ์ของปริมาณรังสีที่เครื่องกำเนิดรังสีทำได้นั้นจะมีค่าแตกต่างกันไป จากเดิมเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น หากช่วงที่กระแสไฟฟ้ามีความต่างศักย์กระแสเพิ่มขึ้นปริมาณรังสีก็จะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยได้ถึงแม้ตั้งค่าความต่างศักย์ที่เครื่องกำเนิดรังสีเป็นค่าเดียวกันก็ตาม ในทางตรงกันข้ามหากความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลงในทางที่ลดลงปริมาณรังสีที่ได้ก็จะลดลงเล็กน้อยตาม

อีกประการหนึ่งเครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้ถ่ายภาพในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องจ่ายความต่างศักย์สูงเป็นแบบ 1 เฟส เต็มลูกคลื่น (1-phase full pulse) มีการจัดเรียงกระแสโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งช่วงเวลาที่เฟสของไฟฟ้าเปลี่ยนไปจะทำให้ความต่างศักย์ลดลงเล็กน้อย ทำให้การผลิตรังสีเอกซ์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในแต่ละเสี้ยววินาทีด้วยเช่นกัน

รังสีเอกซ์เกิดขึ้นโดยการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากไส้หลอดเอกซเรย์ด้วยความร้อนแล้วเร่งอิเล็กตรอนด้วยศักย์ไฟฟ้าสูงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้วิ่งชนเป้าโลหะแล้วเกิดเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุดตามค่า kV ที่ตั้งไว้ ดังนั้นปริมาณการผลิตรังสีเอกซ์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณอิเล็กตรอนที่ผลิตขึ้นได้ ความต่างศักย์ ณ ขณะใด ๆ และโอกาสทางสถิติที่อิเล็กตรอนจะทำอันตรกิริยากับอะตอมของเป้าโลหะด้วย ดังนั้นการผลิตรังสีเอกซ์ในแต่ละครั้งจึงมีค่าไม่เท่ากันแต่จะมีค่าใกล้เคียงกันเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดรังสีที่เหมือนกันทุกประการก็ตาม เพื่อทดสอบให้มั่นใจว่าการผลิตรังสีเอกซ์ของเครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้ในการวิจัยนี้มีค่าสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์ที่รับได้จึงต้องทำการศึกษาค้นคว้าทำความเข้าใจของเครื่องกำเนิดรังสี โดยวัดความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 90, 120 และ 150 kV ค่าละ 10 ครั้ง ได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สามารถผลิตรังสีออกมาในแต่ละครั้งทำให้เกิดความเข้มของภาพได้ใกล้เคียงกัน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าปริมาณรังสีเท่ากันทุกครั้ง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่าในกระบวนการอ่านค่าความเข้มของภาพด้วย

3.6 การทดลองถ่ายภาพตัวอย่างของเหลว

3.6.1 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

ขั้นตอนการทดลองได้แก่ ถ่ายภาพขวดบรรจุน้ำที่ความต่างศักย์ตั้งแต่ 90 ถึง 160 kV โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ตั้งระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงอุปกรณ์รับภาพ 120 เซนติเมตร
2. การตั้งค่ากล้องดิจิทัล ดังนี้ Shutter = 1", F = 4.0, ISO = 800
3. ถ่ายภาพด้วยความต่างศักย์ 90 ถึง 160 kV ของขวดหมายเลข 1 ถึง 4

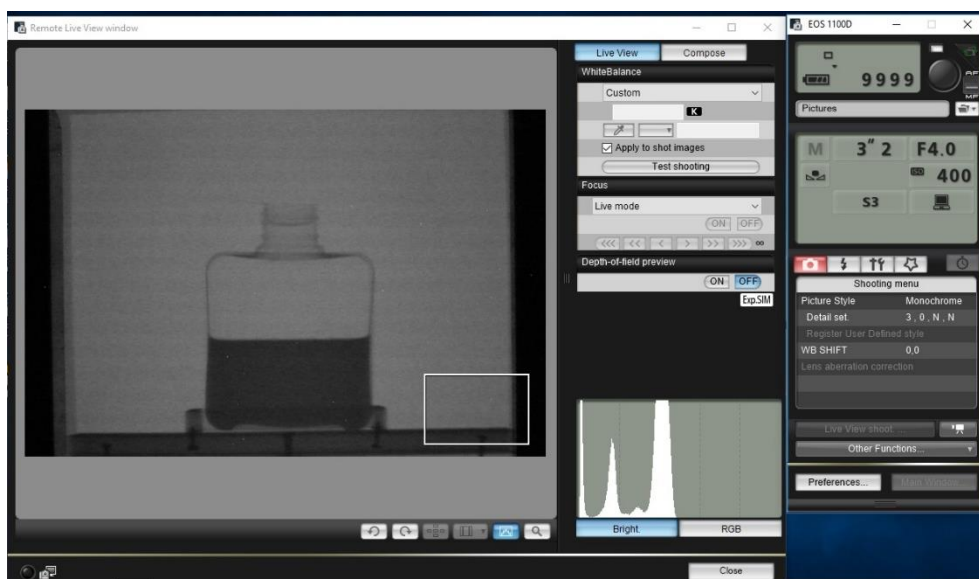
4. นำภาพถ่ายที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำจากขวดทั้ง 4 ใบ ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา

3.6.2 การทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวต่างชนิดกันที่ความต่างศักย์เดียวกัน

ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงเกี่ยวกับการถ่ายภาพของเหลวด้วยรังสีเอกซ์นั้น สามารถเลือกทำเฉพาะความต่างศักย์ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ซึ่งการทดลองในเบื้องต้นแสดงผลให้เห็นว่าในระหว่างความต่างศักย์ 70 ถึง 200 kV นั้น ระบบถ่ายภาพและโปรแกรมวิเคราะห์สามารถใช้งานได้ทั้งหมด การตอบสนองของแผ่นเรืองรังสีดี ดังนั้นการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวชนิดต่าง ๆ จำนวน 10 ชนิด ดังที่ได้เตรียมไว้จึงเลือกใช้ค่าความต่างศักย์เพียง 3 ค่า ซึ่งเป็นค่าความต่างศักย์ที่อยู่ในช่วงที่มีการตอบสนองของแผ่นเรืองรังสีอย่างเป็นเชิงเส้นที่สุด นั่นคือช่วง 90 ถึง 160 kV การทดลองในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกค่าความต่างศักย์ 90, 130 และ 160 kV

ขั้นตอนนี้เป็นารถ่ายภาพขวดบรรจุของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV โดยมีขั้นตอนการตั้งค่าต่าง ๆ ดังนี้

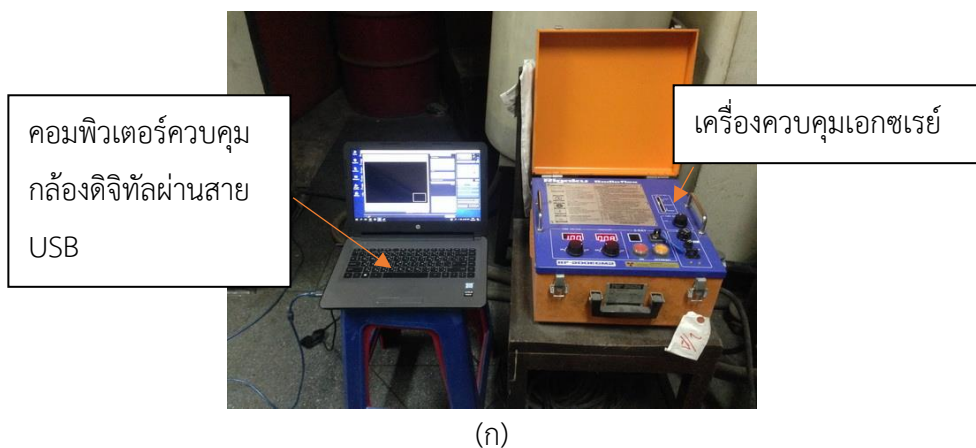
1. ตั้งระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงอุปกรณ์รับภาพ 120 เซนติเมตร
2. การตั้งค่ากล้องดิจิทัล ดังนี้ Shutter = 1", F = 4.0, ISO = 800
3. ถ่ายภาพขณะไม่มีวัตถุด้วยความต่างศักย์ 90 ถึง 160 kV
4. ถ่ายภาพขวดเปล่าด้วยความต่างศักย์ 90 ถึง 160 kV ใช้ขวดหมายเลข 1 ในการทดสอบเพียงใบเดียวเท่านั้น
5. ถ่ายภาพขวดบรรจุของเหลวตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ด้วยความต่างศักย์ 90 ถึง 160 kV โดยใช้ขวดหมายเลข 1
6. นำภาพถ่ายที่ได้มาคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา



รูปที่ 3.12 หน้าจอคอมพิวเตอร์ควบคุมกล้องถ่ายภาพดิจิทัลผ่านสาย USB

3.6.3 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวที่สนใจและสรุปผลการตัดกรอง

การทดลองนี้เป็นการจำลองการประยุกต์ใช้งานตัดกรองของเหลวไม่ทราบชนิด ไม่ทราบความหนาแน่นและคุณสมบัติอื่นใด ผู้ทำวิจัยได้จัดหาของเหลวสามชนิดที่ไม่ได้อยู่ในรายการของเหลวตัวอย่างทั้ง 10 ชนิดที่ใช้ในการทดลองก่อนหน้านี้ ได้แก่ น้ำมันก๊าด (kerosene) แอลกอฮอล์ 70% สำหรับล้างแผล และเครื่องตีม้อดลม สมมติว่าเราไม่ทราบชนิดของของเหลวดังกล่าว จึงเรียกของเหลวทั้งสามชนิดว่า unknown 1 unknown 2 และ unknown 3 ตามลำดับ นำของเหลวไม่ทราบชนิดทั้งสามไปถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV แล้วนำภาพไปวิเคราะห์ตามกระบวนการ เพื่อทดสอบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะสามารถตัดกรองของเหลวทั้งสามชนิดนี้ว่าเป็นของเหลวชนิดติดไฟได้หรือไม่ และเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทำการเก็บไว้จากผลการทดลองกับของเหลวตัวอย่างทั้ง 10 ชนิดก่อนหน้านี้แล้วจะสามารถคาดเดาคุณสมบัติใกล้เคียงกับของเหลวตัวอย่างชนิดใดได้หรือไม่



รูปที่ 3.13 การถ่ายภาพที่ห้องเอกซเรย์

(ก) บริเวณเครื่องควบคุมเอกซเรย์อยู่ด้านนอกห้องเอกซเรย์

(ข) ภาพด้านในห้องเอกซเรย์ขณะเตรียมถ่ายภาพ

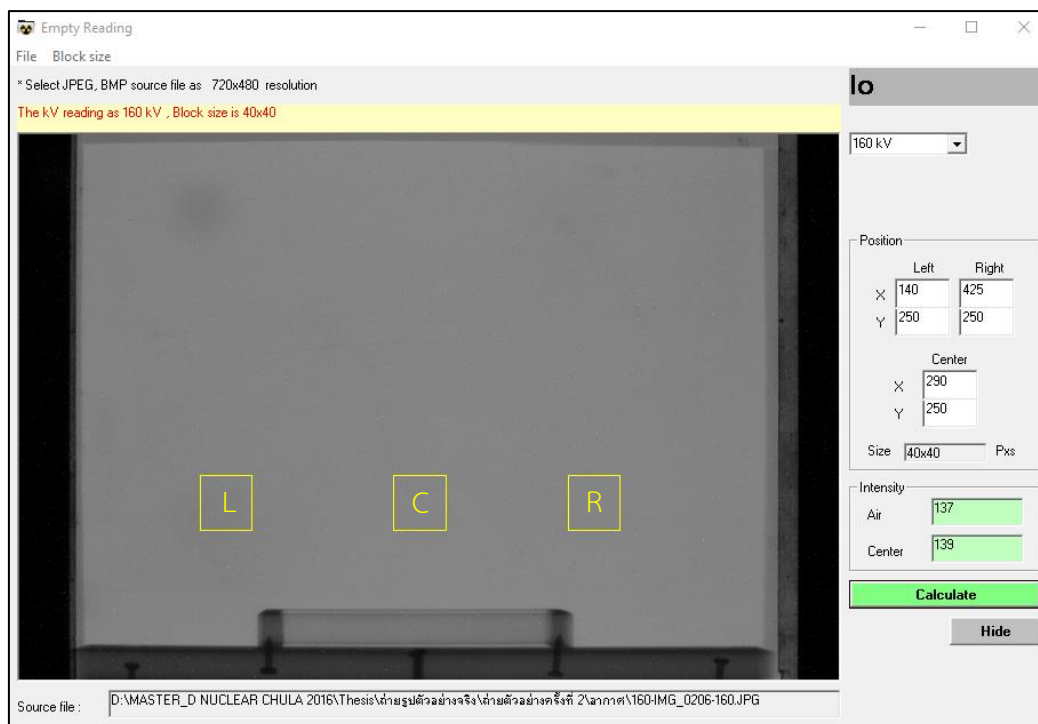
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองนี้จำเป็นต้องใช้การทำงานของโปรแกรมครบทั้ง 4 ส่วนและยังต้องถ่ายภาพให้ครบทั้งสี่กระบวนการได้แก่ ถ่ายภาพขณะไม่มีวัตถุ ถ่ายภาพขวดเปล่า ถ่ายภาพขวดบรรจุน้ำ และถ่ายภาพขวดบรรจุของเหลวที่สนใจ อีกด้วย

3.7 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่าย

3.7.1 การอ่านค่า I_0 ด้วยโปรแกรมส่วนที่ 1

ตัวแปร I_0 นี้ใช้แทนรังสีตกกระทบบก่อนที่จะทะลุผ่านวัตถุ

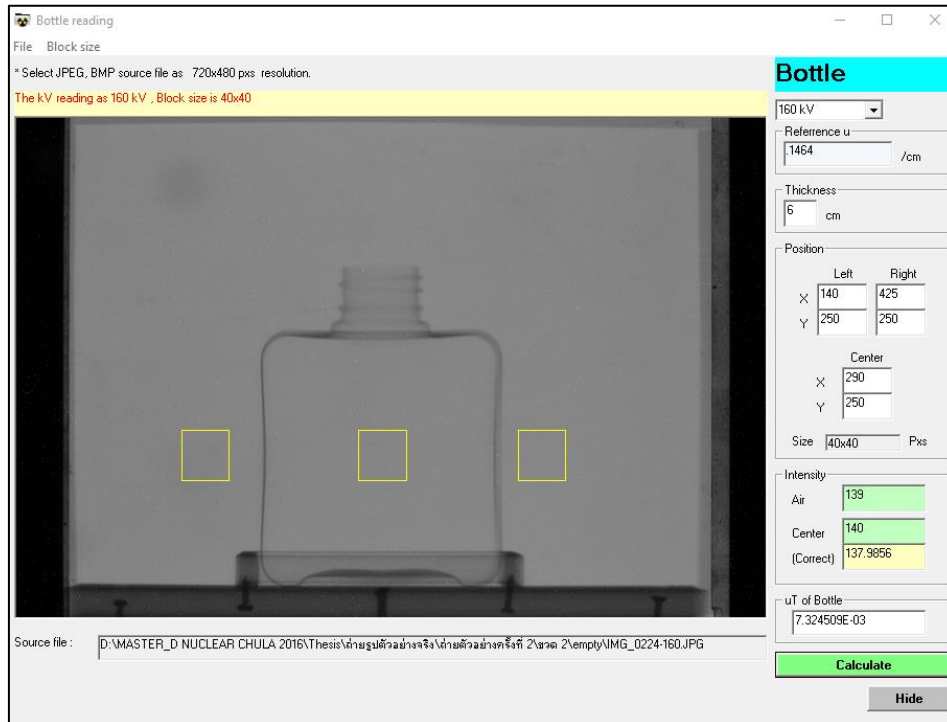


รูปที่ 3.14 หน้าจอการอ่านค่าความเข้มในบริเวณ ROI ขณะไม่มีวัตถุ ณ ตำแหน่ง C และค่าความเข้มเฉลี่ยระหว่าง L และ R

ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เปิดการทำงานส่วนที่ 1 ของโปรแกรมและนำเข้าไฟล์ภาพที่ถ่ายในขณะไม่มีวัตถุด้วยความต่างศักย์ที่กำหนดไว้
2. เลือกตำแหน่งการวาง ROI ที่เหมาะสม (โปรแกรมถูกตั้งค่าไว้ตรงกึ่งกลางของภาพขวัดขนาด 6 เซนติเมตรเป็นค่าเริ่มต้นเสมอ) หากต้องการเลื่อนเพื่อปรับตำแหน่งให้เหมาะสมแก่ภาพถ่ายที่นำเข้ามาในโปรแกรมก็สามารถปรับได้โดยป้อนค่าแนวแกน X และแกน Y ของ ROI ที่ต้องการ
3. กดปุ่ม Calculate เพื่ออ่านค่าความเข้มของภาพ ณ ROI ตรงกึ่งกลาง (ตำแหน่ง C) และค่าเฉลี่ยของ ROI จากด้านข้าง (ตำแหน่ง L และ R) เสร็จสิ้นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนแรก จะได้ค่าความเข้ม ตรงกลางและด้านข้างของภาพขณะไม่มีวัตถุในตัวแปรของโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว

3.7.2 การหาค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของภาชนะ μx ด้วยโปรแกรมส่วนที่ 2



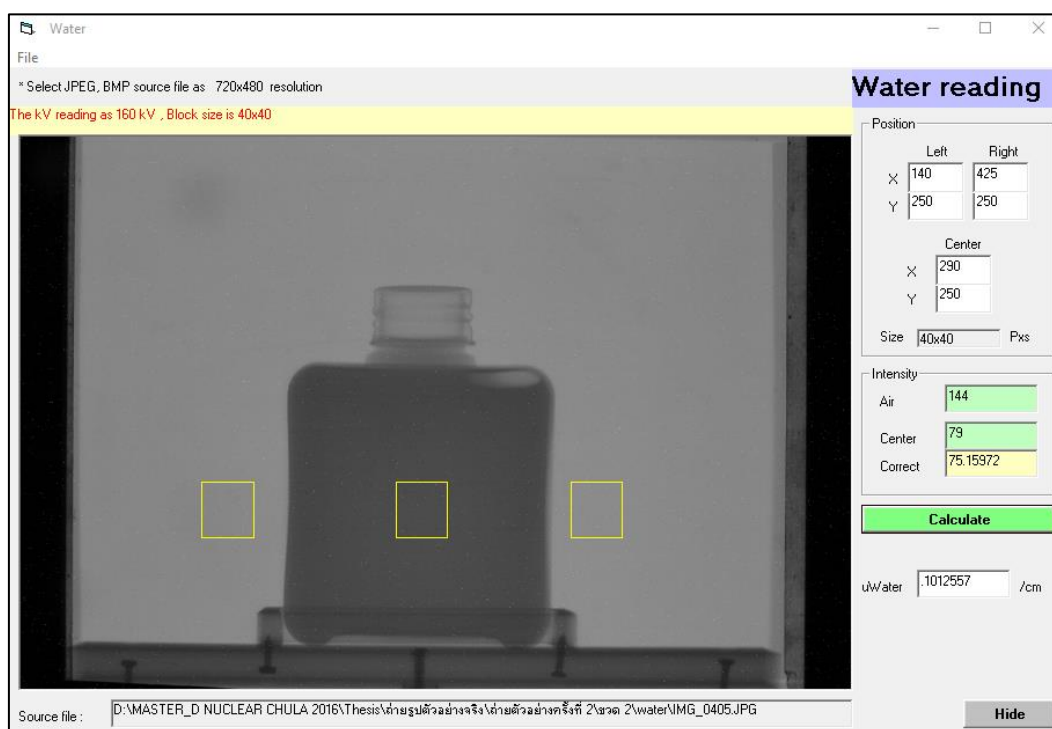
รูปที่ 3.15 หน้าจอการอ่านค่าภาพถ่ายขดหรือภาชนะเปล่าที่มีความกว้างแน่นอน

ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เปิดการทำงานส่วนที่ 2 ของโปรแกรมและนำเข้าไฟล์ภาพที่ถ่ายขดเปล่าด้วยความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ตามภาพในขณะไม่มีวัตถุ
2. ในส่วนนี้โปรแกรมจะให้ป้อนค่าความหนา x ของของเหลวที่จะทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีในช่อง thickness ในที่นี้คือความกว้างของขดตัวอย่าง (6 เซนติเมตร)
3. ตำแหน่ง ROI จะถูกตั้งให้ตรงกับที่เลือกไว้ในส่วนแรกโดยอัตโนมัติเพื่อเป็นการลือคตำแหน่งที่ทำการอ่านค่าแล้ว
4. กดปุ่ม Calculate เพื่อให้ได้ค่าแก้ผลกระทบเนื่องจากความหนาของผิวขดหรือภาชนะบรรจุ ส่วนนี้จะทำการปรับแก้ (normalize) ค่าความเข้มที่อ่านได้กับค่า I_0 ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 เป็นการจบการทำงานในส่วนนี้

3.7.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำด้วยโปรแกรมส่วนที่ 3

ในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำเพื่อเก็บเป็นค่าอ้างอิงในการสรุปประเภทของของเหลวในส่วนถัดไป



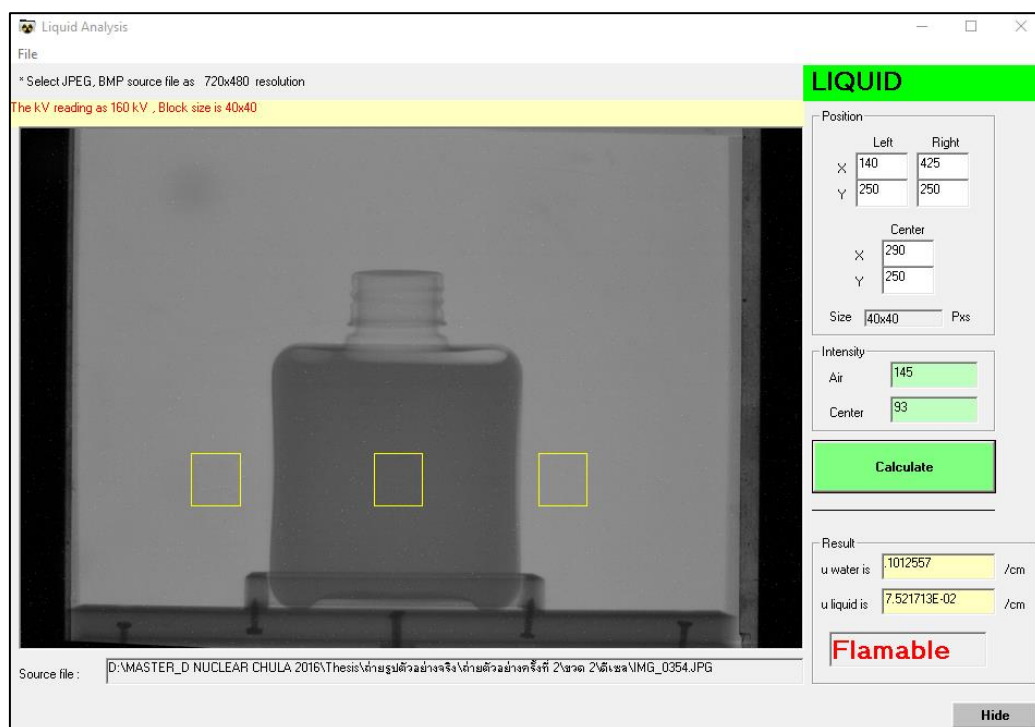
รูปที่ 3.16 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เปิดการทำงานส่วนที่ 3 ของโปรแกรมและนำเข้าไฟล์ภาพที่ถ่ายขวดบรรจุน้ำด้วยความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ตามภาพในขณะไม่มีวัตถุ
2. ตำแหน่ง ROI จะถูกตั้งให้ตรงกับที่เลือกไว้ในส่วนแรกโดยอัตโนมัติเพื่อเป็นการลือคตำแหน่งที่ทำการอ่านค่าแล้ว
3. กดปุ่ม Calculate เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ ในการทำงานของโปรแกรมส่วนนี้จะทำการปรับแก้ ค่าความเข้มที่อ่านได้กับค่า I_0 ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 ด้วยเช่นกัน

3.7.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวที่สนใจและสรุปผลการคัดกรองด้วยโปรแกรมส่วนที่ 4

กระบวนการทำงานในขั้นตอนนี้จะเหมือนกับส่วนโปรแกรมที่ 3 ก่อนหน้าเพียงแต่จะมีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวที่คำนวณได้เทียบกับของน้ำแล้วสรุปผล



รูปที่ 3.17 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของเหลวและสรุปผล

ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เปิดการทำงานส่วนที่ 4 ของโปรแกรมและนำเข้าไฟล์ภาพที่ถ่ายขอบบรรจุของเหลวด้วยความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ตามภาพในขณะไม่มีวัตถุ
2. ตำแหน่ง ROI จะถูกตั้งให้ตรงกับที่เลือกไว้ในส่วนแรกโดยอัตโนมัติเพื่อเป็นการลือคตำแหน่งที่ทำการอ่านค่าแล้ว
3. กดปุ่ม Calculate เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลว และได้ข้อสรุปว่าของเหลวที่นำมาทดสอบนั้นเป็นของเหลวชนิดติดไฟหรือไม่ ในการทำงานของโปรแกรมส่วนนี้ จะทำการปรับแก้ค่าความเข้มที่อ่านได้กับค่า I_0 ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 ด้วยเช่นกัน

3.8 การวัดคุณสมบัติอื่น ๆ ของของเหลว

3.8.1 การวัดความหนาแน่นของของเหลว

ของเหลวตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองทั้ง 10 ชนิด ถูกนำไปทำการวัดค่าความหนาแน่นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ขวดพิกโนมิเตอร์

ขวดพิกโนมิเตอร์ (pycnometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับหาค่าความหนาแน่นของของเหลว โดยทั่วไปแล้วขวดพิกโนมิเตอร์ ทำด้วยแก้วลักษณะคล้ายขวดวัดปริมาตร ฝาที่ใช้ปิดก็ทำด้วยแก้ว เช่นเดียวกันซึ่งมีลักษณะพิเศษคือมีท่อขนาดเล็ก (capillary tube) จากด้านบนผ่านถึงสารละลายภายในขวดพิกโนมิเตอร์ เพื่อให้อากาศที่อยู่ในของเหลวสามารถเคลื่อนที่ออกไปยังด้านบนได้ การใช้จะใช้น้ำบริสุทธิ์ หรือ สารปรอท เป็นสารมาตรฐาน ในการเปรียบเทียบกับสารตัวอย่างอื่นที่เราต้องการหาค่าความหนาแน่น แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง การคำนวณหาค่าความหนาแน่นโดยใช้ความสัมพันธ์ $D=M/V$, ค่าความหนาแน่น = มวล (กรัม) / ปริมาตร (มิลลิลิตร)

ขวดพิกโนมิเตอร์ ยังสามารถประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น ดิน เซรามิก ได้ เช่นเดียวกัน ทำได้โดยการใส่ตัวอย่างของแข็งลงไปขวดพิกโนมิเตอร์ จะได้น้ำหนักของดิน หลังจากนั้นเติมน้ำหรือของเหลวที่ทราบความหนาแน่น (ของเหลวนี้จะต้องไม่ละลายตัวอย่าง) นำไปชั่งน้ำหนัก จะทำให้ทราบถึงน้ำหนักของของแข็งที่เข้าไปแทนที่น้ำ และสามารถคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ หรือค่าความหนาแน่นได้

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ = ความหนาแน่นของวัตถุ / ความหนาแน่นของน้ำ

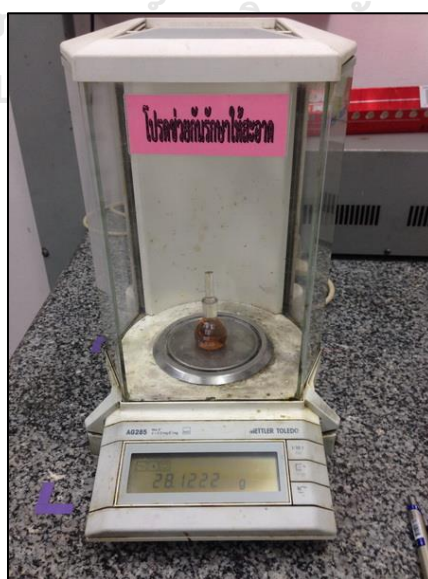
$$= \text{ความหนาแน่นของวัตถุ} / 1$$

นั่นคือ ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ = ความหนาแน่นของวัตถุ

ในการทดลองหาค่าความหนาแน่นของของเหลวตัวอย่างในครั้งนี้ ใช้ขวดพิกโนมิเตอร์ ปริมาตรเท่ากับ 10.24 มิลลิลิตร น้ำหนักขวด 16.1559 กรัม ได้ผลดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ความหนาแน่นของของเหลวตัวอย่าง

ลำดับ ที่	ของเหลว	น้ำหนัก รวมขวด (g)	น้ำหนัก ของเหลว (g)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)
1	แก๊สโซฮอล 91	23.7300	7.5741	0.7397
2	แก๊สโซฮอล 95	23.8232	7.6673	0.7488
3	น้ำมันก๊าด	24.2316	8.0757	0.7886
4	เอทานอล	24.4143	8.2584	0.8065
5	ดีเซลพรีเมียม	24.5492	8.3933	0.8197
6	ดีเซล	24.6831	8.5272	0.8327
7	แอลกอฮอล์ 70%	25.1630	9.0071	0.8796
8	น้ำมันพืช	25.4670	9.3111	0.9093
9	น้ำดื่ม	26.3395	10.1836	0.9945
10	น้ำเกลือล้างแผล	26.4141	10.2582	1.0018
11	น้ำปลา	28.1224	11.9665	1.1686
12	น้ำผึ้ง	30.7725	14.6166	1.4274



รูปที่ 3.18 การวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว

3.8.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา ใช้ต้นกำเนิดรังสี โคบอลต์-57 (Co-57) ข้อมูลจาก safety data sheet บางส่วนดังนี้

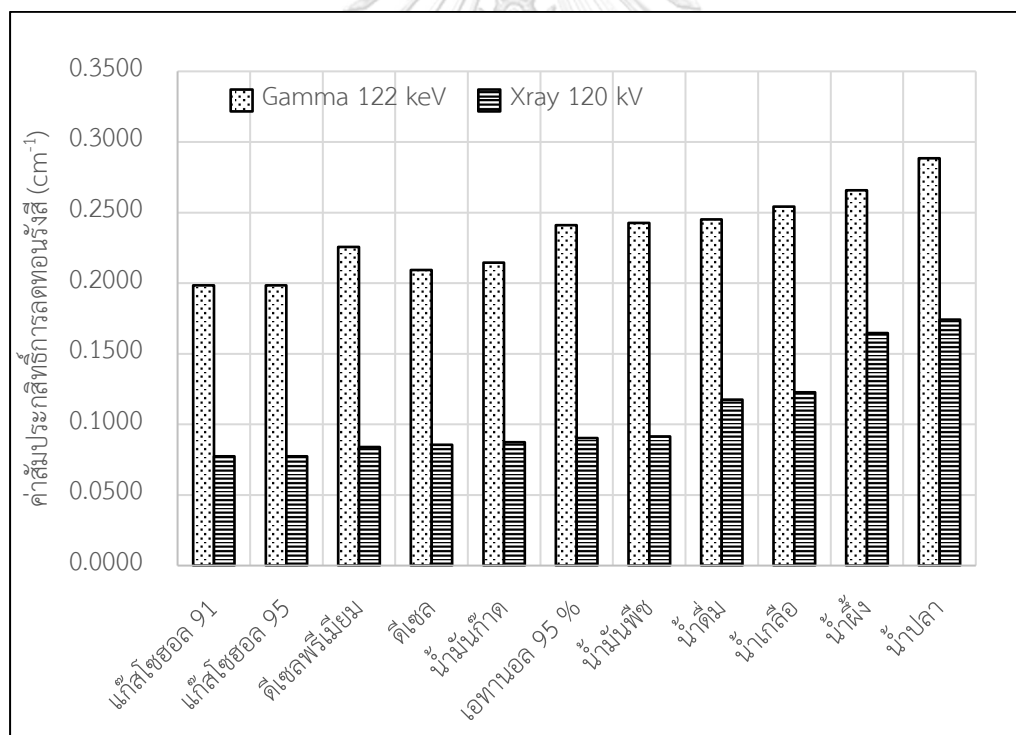
Radiation: Gamma & X-ray: 6-7 keV (56% abundance), 122 keV (85%), 136 keV (11%), 14 keV (9%)

Electrons: 0.7 keV (249% abundance), 6-7 keV (175%),

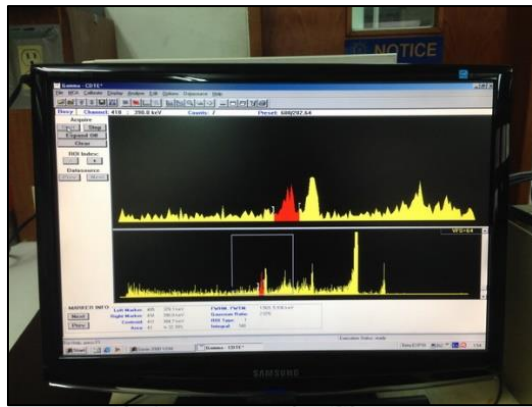
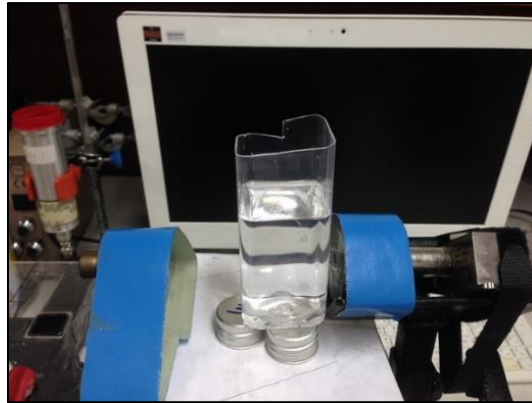
Gamma Constant: 4.09×10^{-5} mSv/hr per MBq at 1 m (0.151 mrem/hr per mCi @ 1m)¹

Half-Life [T_{1/2}]: Physical T_{1/2}: 270.9 days¹ Biological T_{1/2}: ~ 9.3 days² Effective T_{1/2}: ~ 9.0 days

Specific Activity: 8.43×10^3 Ci/g [3.12×10^{14} Bq/g]



รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา 122 keV กับ รังสีเอกซ์ 120 kV



รูปที่ 3.20 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแกมมา

บทที่ 4

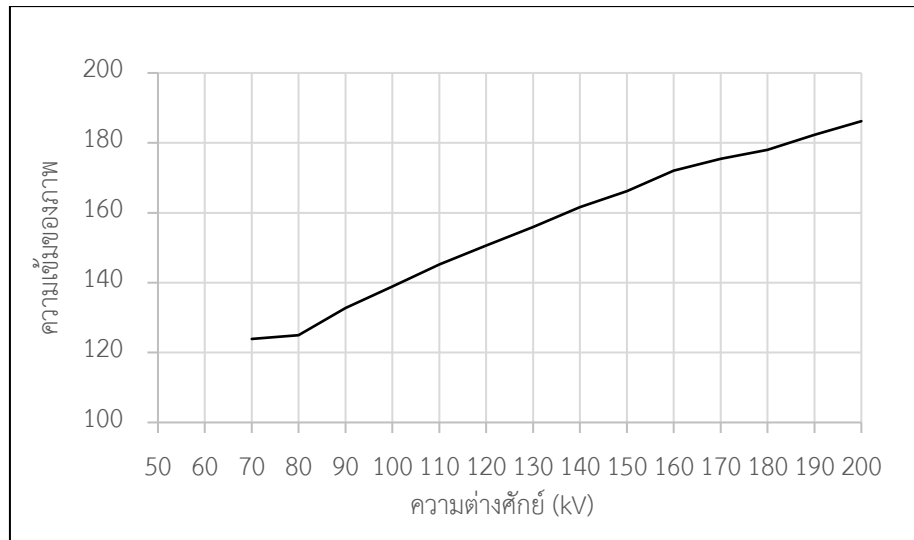
ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี

จากการทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ความต่างศักย์ตั้งแต่ 70 ถึง 200 kV ลงบนแผ่นเรืองรังสีและอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสองครั้ง โดยใช้ ROI ตำแหน่งกลางอ่านค่าจากภาพ ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ที่ผลิตโดยความต่างศักย์ในช่วง 70 ถึง 200 kV เป็นแบบเชิงเส้น และมีช่วงที่เป็นเชิงเส้นมากที่สุดคือระหว่างความต่างศักย์ 90 ถึง 160 kV มีค่า $R^2 = 0.9986$ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความต่างศักย์ช่วงนี้ในการศึกษาวิจัยนี้ทั้งหมด

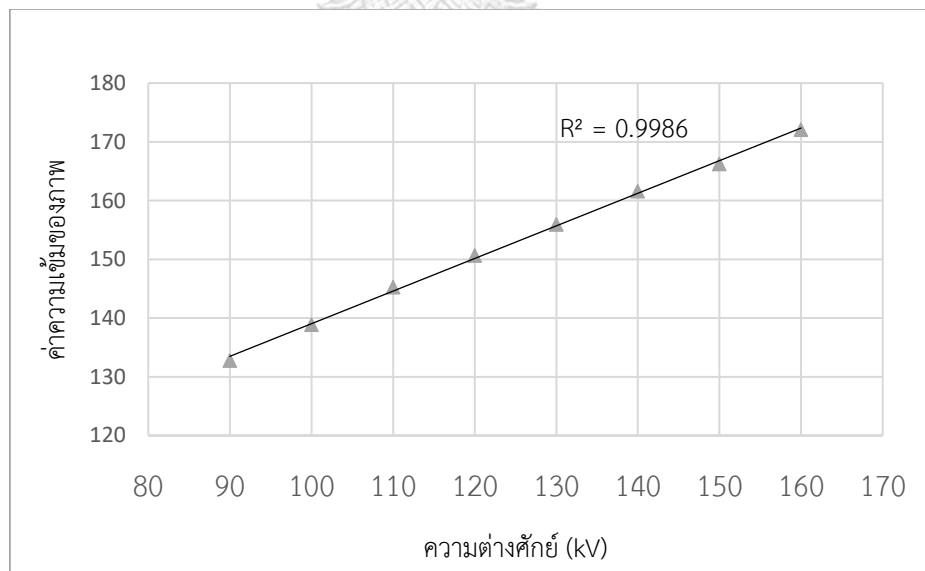
ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มของภาพจากการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี

kV	ความเข้มของภาพ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
70	124	124
80	125	125
90	133	132
100	139	140
110	145	147
120	151	151
130	156	157
140	162	161
150	166	167
160	172	171
170	175	176
180	178	179
190	182	183
200	186	186



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความเข้มของภาพจากการทดสอบความสว่างของแผ่นเรืองรังสี

จากรูปที่ 4.1 พบว่าถึงแม้จะตั้งค่าความต่างศักย์เท่ากันแต่ปริมาณรังสีที่ผลิตออกมาจะไม่เท่ากันเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดเอกซเรย์ อย่างไรก็ตามจะมีผลกระทบไม่มากนัก จึงอาจแก้ไขด้วยการปรับแก้ค่าความเข้ม (normalization) ดังกล่าว



รูปที่ 4.2 ความเป็นเชิงเส้นของความเข้มจากภาพทดสอบความไวแผ่นเรืองรังสี

ช่วงความต่างศักย์ระหว่าง 90 ถึง 160 kV

จากรูปที่ 4.2 พบว่าพลังงานรังสีเอกซ์ในช่วงที่เหมาะสมคือค่าที่อยู่ในช่วง 90 kV ถึง 160 kV ดังนั้นสามารถเลือกใช้ความต่างศักย์ในช่วงนี้เพื่อการทดลองได้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยยะ



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลของน้ำที่ความต่างศักย์ 100 kV (ซ้าย) และ 160 kV (ขวา)

จากรูปที่ 4.3 แสดงความแตกต่างของความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อความต่างศักย์มากให้ความสว่างของภาพมากกว่าภาพถ่ายที่ใช้ความต่างศักย์น้อยกว่า

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองวัดความสว่างของแผ่นเรืองรังสีในช่วงความต่างศักย์ที่เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ทำได้ช่วง 70 ถึง 200 kV ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าแผ่นเรืองรังสีที่ใช้นี้มีช่วงการตอบสนองที่กว้างและเป็นเชิงเส้น สามารถตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานที่กว้างได้เป็นอย่างดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นของเหลวซึ่งมีความหนาแน่นไม่มากและใช้ความหนาของตัวอย่างเพียง 6 เซนติเมตรเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความต่างศักย์สูง ๆ เพื่อผลิตเอกซเรย์พลังงานสูงมาใช้ ดังนั้นจากการพิจารณากราฟความสว่างของแผ่นเรืองรังสีแล้วช่วงความต่างศักย์ระหว่าง 90 ถึง 160 kV เป็นช่วงที่แผ่นเรืองรังสีให้ความเข้มภาพออกมาเป็นเชิงเส้นที่สุด ถือเป็นช่วงที่เหมาะสมในการเลือกใช้ศึกษาวิจัย

4.2 การศึกษาผลความทำซ้ำของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

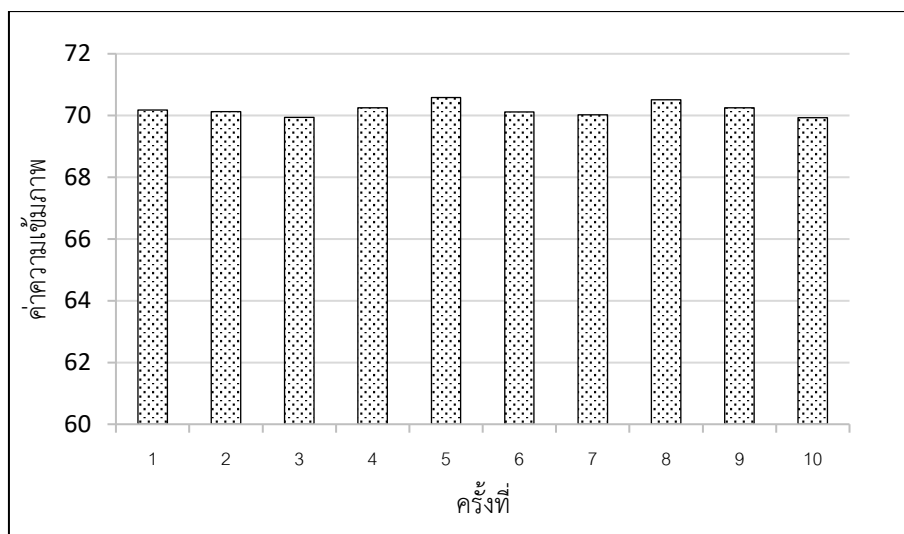
จากการทดลองถ่ายภาพขดบรรจุน้ำด้วยความต่างศักย์ 90, 120 และ 150 kV ค่าละ 10 ครั้ง แล้วใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นอ่านค่าความเข้มภาพเพื่อทดสอบผลความทำซ้ำของเครื่องกำเนิดรังสี

และระบบถ่ายภาพที่มีความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใด ได้ผลความเข้มเฉลี่ยของภาพจากการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 ถึง 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 90 kV

ครั้งที่	ความเข้มภาพ
1	70.17
2	70.13
3	69.94
4	70.25
5	70.58
6	70.12
7	70.02
8	70.51
9	70.25
10	69.93
ค่าเฉลี่ย	70.20

จากข้อมูลผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 90 kV ในตารางที่ 4.2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2178 คิดเป็นร้อยละ 0.31 ของค่าเฉลี่ย

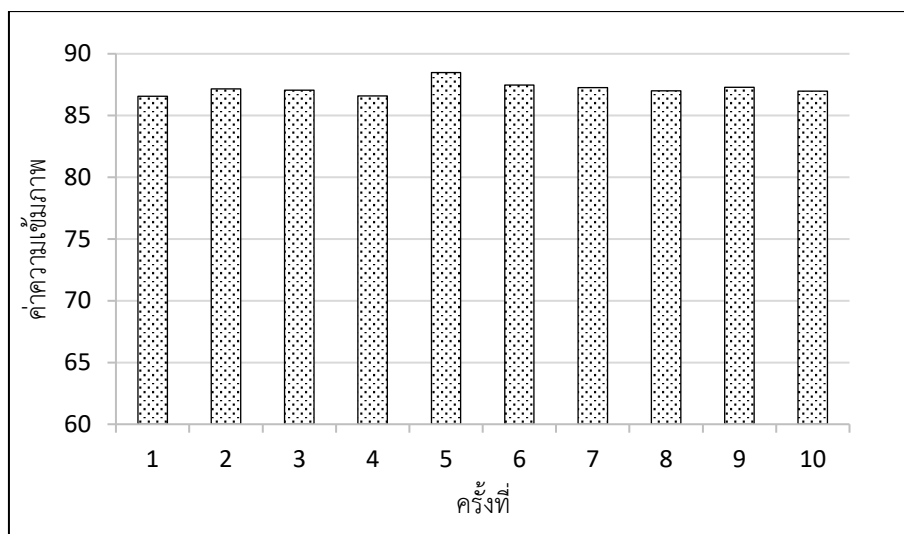


รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 90 kV

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 120 kV

ครั้งที่	ค่าความเข้มภาพ
1	86.56
2	87.15
3	87.06
4	86.59
5	88.47
6	87.47
7	87.27
8	87.00
9	87.29
10	86.97
ค่าเฉลี่ย	87.20

จากข้อมูลผลความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 120 kV ในตาราง 4.3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.5371 คิดเป็นร้อยละ 0.62 ของค่าเฉลี่ย

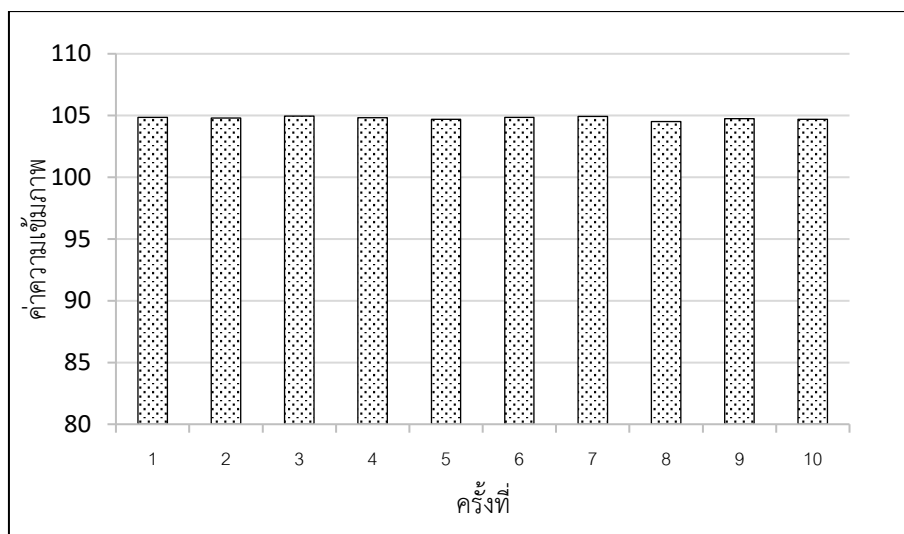


รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 120 kV

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 150 kV

ครั้งที่	ความเข้มภาพ
1	104.86
2	104.79
3	104.95
4	104.83
5	104.69
6	104.84
7	104.93
8	104.52
9	104.75
10	104.69
ค่าเฉลี่ย	104.80

จากข้อมูลผลความทำซ้ำที่ความต่างศักย์ 150 kV ในตารางที่ 4.4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 104.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1279 คิดเป็นร้อยละ 0.12 ของค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 150 kV

อภิปรายผลการวิจัย

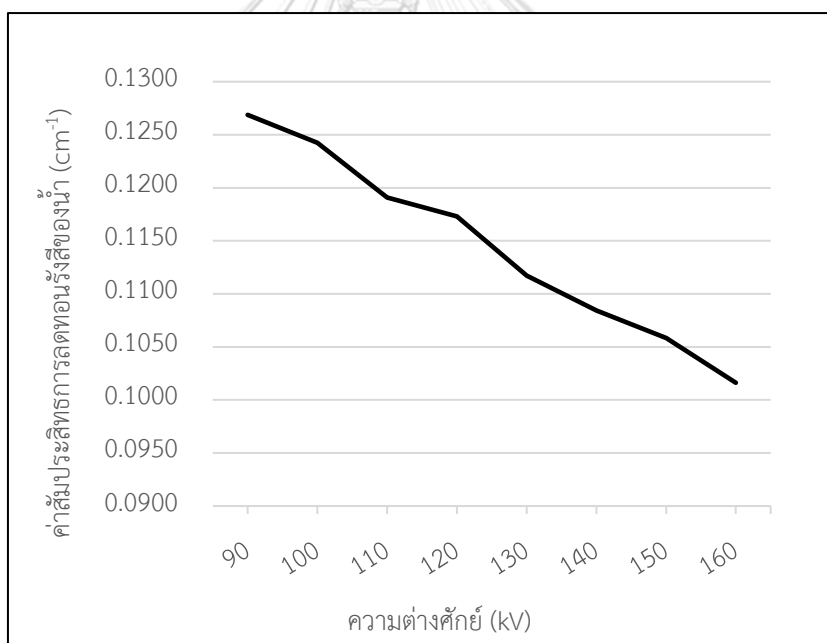
ผลการทดสอบความทำซ้ำที่ได้จากการทดลองที่ความต่างศักย์ 90, 120 และ 150 kV มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเทียบกับค่าเฉลี่ยแล้วมีค่าสูงสุดเพียงร้อยละ 0.62 ของค่าเฉลี่ยเท่านั้น นั่นแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดรังสีรวมทั้งระบบถ่ายภาพด้วยเทคนิคที่เลือกใช้นี้ให้ความเที่ยงตรงเป็นอย่างดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการออกแบบพัฒนาโปรแกรมคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีก็ยังคงให้ความสำคัญกับความไม่สม่ำเสมอในการผลิตรังสีเอกซ์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ไม่ลดน้อยลง ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมจึงต้องมีการวัดค่าความเข้มของภาพบริเวณด้านข้างของทุกภาพเพื่อทำการปรับแก้ค่าความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีทุกภาพในกระบวนการเดียวกันให้มีความเข้มสอดคล้องกับความเข้มในภาพถ่ายแรกที่ใช้อ้างอิงเสียก่อนถึงจะคำนวณค่าอื่น ๆ ต่อไป

4.3 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

จากการทดลองถ่ายภาพขูดบรรจุน้ำด้วยความต่างศักย์ตั้งแต่ 90 ถึง 160 kV และใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของน้ำตามกระบวนการของโปรแกรมที่ออกแบบ ดังที่ได้กล่าวถึงวิธีทำงานไปแล้วในบทที่ 3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำใช้โปรแกรมในส่วนของ 1, 2 และ 3 เท่านั้น ในโปรแกรมส่วนของ 4 เป็นขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวอื่น ๆ จึงไม่จำเป็นต้องใช้งานโปรแกรมส่วนนั้น ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.5 และกราฟในรูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำในแต่ละขวดมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของน้ำที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ ซึ่งอ่านค่ามาจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ความต่างศักย์ (kV)	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ (cm^{-1})
90	0.1269
100	0.1242
110	0.1191
120	0.1173
130	0.1117
140	0.1084
150	0.1058
160	0.1016



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ ซึ่งอ่านค่ามาจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวต่างชนิดกันที่ความต่างศักย์เดียวกัน

จากการทดลองถ่ายภาพของเหลวตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด แล้วใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่างที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV

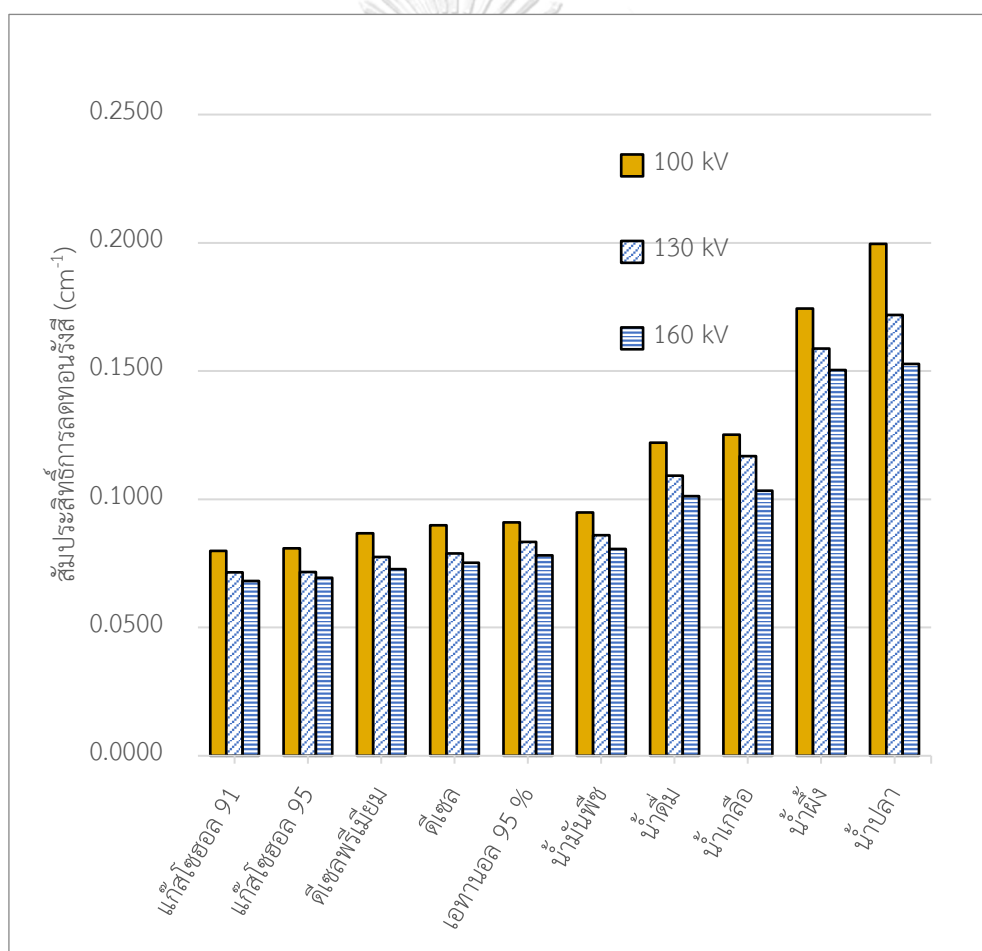
ชนิดของเหลว	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี (cm ⁻¹)		
		100 kV	130 kV	160 kV
แก๊สโซฮอล์ 91	0.7397	0.0799	0.0715	0.0682
แก๊สโซฮอล์ 95	0.7488	0.0809	0.0716	0.0694
ดีเซลพรีเมียม	0.8197	0.0867	0.0776	0.0728
ดีเซล	0.8327	0.0898	0.0788	0.0752
เอทานอล 95 %	0.8065	0.0909	0.0834	0.0782
น้ำมันพืช	0.9093	0.0948	0.0860	0.0807
น้ำดื่ม	0.9945	0.1221	0.1092	0.1013
น้ำเกลือ	1.0018	0.1252	0.1168	0.1034
น้ำผึ้ง	1.4274	0.1743	0.1587	0.1504
น้ำปลา	1.1686	0.1996	0.1719	0.1528

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองข้างต้น ได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของของเหลวตัวอย่างที่ค่าความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวแต่ละชนิดมีค่าลดลงเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความต่างศักย์สูงขึ้นสามารถผลิตรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงขึ้น รังสีเอกซ์พลังงานสูงกว่าสามารถทะลุผ่านของเหลวตัวอย่างได้ง่ายกว่า นั่นหมายถึงของเหลวชนิดเดียวกันนั้นมีความสามารถลดทอนรังสีเอกซ์ได้ลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์มีค่าเพิ่มขึ้น และสำหรับของเหลวต่างชนิดกันเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่ความต่างศักย์เดียวกันแล้วปรากฏว่าของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีมากกว่า

ของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อย แต่มีของเหลวหนึ่งชนิดที่ไม่เป็นไปตามแนวโน้มดังกล่าว นั่นคือน้ำปลา น้ำปลามีความหนาแน่น 1.1686 g/cm^3 ซึ่งน้อยกว่าน้ำผึ้งที่มีความหนาแน่น 1.4274 g/cm^3 แต่น้ำปลามีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่มากกว่าน้ำผึ้ง

จากการเปรียบเทียบแล้วพบว่าของเหลวตัวอย่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีและความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำเป็นสารชนิดที่ติดไฟได้ทั้งหมด ซึ่งได้แก่ น้ำมันเบนซินแก๊สโซฮอล์ 91 เบนซินแก๊สโซฮอล์ 95 ดีเซลพรีเมียม ดีเซล เอทานอล 95% และน้ำมันพืช ส่วนของเหลวที่มีค่าสัมประสิทธิ์และความหนาแน่นมากกว่าน้ำเป็นของเหลวทั่วไปที่ไม่ติดไฟได้แก่ น้ำเกลือ น้ำผึ้ง และน้ำปลา



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่างที่มีความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV

ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวจำพวกน้ำมันชนิดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันเป็นอย่างมากทำให้มีโอกาสที่เทคนิคการถ่ายภาพและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้อาจจะไม่สามารถจำแนกชนิดของน้ำมันเหล่านั้นได้อย่างแน่ชัด

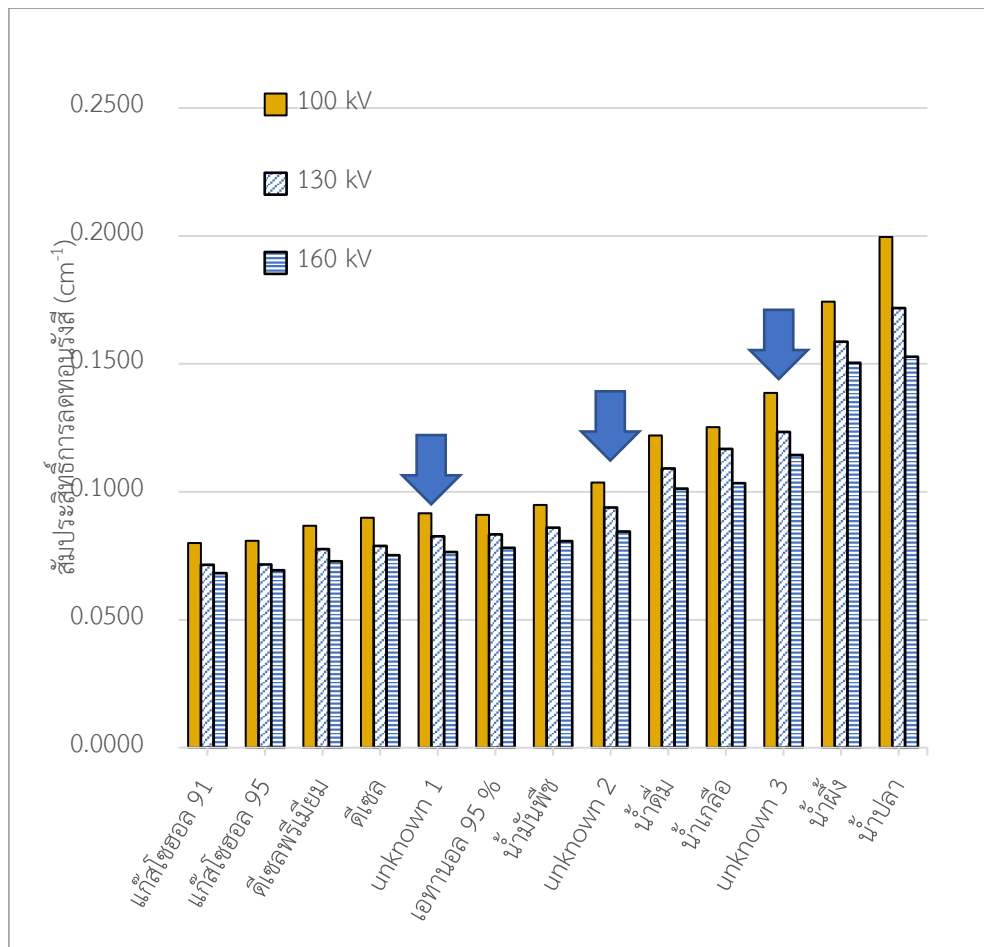
ดังนั้นจึงสามารถใช้การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวต่าง ๆ เทียบกับของน้ำในการคัดกรองของเหลวในเบื้องต้นได้

4.5 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวใด ๆ และสรุปผลการคัดกรอง

จากการทดลองถ่ายภาพและหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลว 3 ชนิดที่อยู่นอกเหนือจากรายการของเหลวตัวอย่าง 10 ชนิด ที่ได้ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีไปในการทดลองหัวข้อ 3.6.2 พบว่าโปรแกรมสามารถจำแนกของเหลวทั้ง 3 ชนิดออกเป็นประเภทที่ติดไฟได้และไม่ติดไฟได้อย่างถูกต้อง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวเทียบกับน้ำ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวไม่ทราบชนิด (unknown)

ชนิดของเหลว	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี (cm^{-1})		
	100 kV	130 kV	160 kV
unknown 1	0.0917	0.0826	0.0765
unknown 2	0.1036	0.0939	0.0844
unknown 3	0.1387	0.1234	0.1145
น้ำ	0.1221	0.1092	0.1013



รูปที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของ unknown 1, 2 และ 3 ที่ความต่างศักย์ 100, 130 และ 160 kV

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า โปรแกรมสามารถจำแนกประเภทของเหลวชนิดติดไฟและไม่ติดไฟได้อย่างถูกต้อง โดยยึดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำเป็นตัวเปรียบเทียบ unknown 1 และ 2 คือ น้ำมันก๊าด และแอลกอฮอล์ 70% ซึ่งเป็นของเหลวที่สามารถติดไฟได้ โปรแกรมสามารถระบุได้ว่าเป็นของเหลวชนิดติดไฟได้อย่างถูกต้อง unknown 3 คือ เครื่องดื่มอัดลม ซึ่งไม่ใช่ของเหลวที่ติดไฟได้ โปรแกรมก็สามารถระบุได้ว่าไม่ใช่ของเหลวชนิดติดไฟ การทดลองนี้ทำการทดลองที่ความต่างศักย์ 3 ค่า และผลที่ได้สอดคล้องกันในทุกค่าความต่างศักย์ที่ใช้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

เนื้อหาในบทสรุปนี้ จะอธิบายแยกเป็นส่วน ๆ ตามขอบเขตการวิจัย ได้แก่ การสร้างเครื่องมือถ่ายภาพและพัฒนาเทคนิค การออกแบบพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการทดลองใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่าง

5.1 การสร้างเครื่องมือรับภาพในกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และเก็บภาพในรูปแบบดิจิทัล (Digital photo)

ในการออกแบบเครื่องมือรับภาพนั้นเลือกใช้เทคนิคฟลูออโรสโคปี โดยเทคนิคการใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ ในการออกแบบนั้น ชุดอุปกรณ์ถูกบรรจุในกล่องไม้ปิดทึบเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้ารบกวนภาพถ่าย แผ่นเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแคลด์โทลิเนียมออกซีซัลไฟด์ถูกนำมาใช้งานร่วมกับกล้องดิจิทัล Canon รุ่น 1100D ซึ่งควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB ได้ กล่องไม้ที่ใช้มีลักษณะเป็นรูปตัวแอล (L-shape) ขนาดหน้าตัดของกล่องไม้เท่ากับ 25 ซม. x 25 ซม. ปลายด้านหนึ่งเป็นหน้าต่างสำหรับทางเข้าของรังสีเอกซ์ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร มีประโยชน์สองประการ ได้แก่ ประการแรกแผ่นอลูมิเนียมสามารถช่วยกรองรังสีบางส่วนได้ทำให้ลำรังสีเอกซ์มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และประการที่สองป้องกันแสงสว่างภายนอกเข้ารบกวนภาพถ่าย

การใช้เทคนิคนี้เป็นการสะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากการสร้างภาพมีกระบวนการที่รวดเร็วมาก การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพียงไม่กี่วินาทีระบบจะสามารถถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลและเก็บเป็นไฟล์ภาพดิจิทัลบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ได้ทันที ไม่เสียเวลาในการถ่ายภาพ และไม่เสียค่าใช้จ่ายกับวัสดุสร้างภาพ เช่น ฟิล์มหรือระบบสร้างภาพคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องอ่าน เป็นต้น

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ เครื่องมือรับภาพและบันทึกภาพนี้สามารถใช้งานได้ดี ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางแผนไว้ ทำให้การถ่ายภาพสำเร็จลุล่วงด้วยดี

5.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของของเหลว

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำควบคู่ไปกับการทดลองถ่ายภาพในเบื้องต้น เพื่อออกแบบวิธีการและปรับปรุงกระบวนการการทำงานของโปรแกรมให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคตด้วย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา Visual basic 6.0 เป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย โดยการออกแบบโปรแกรมในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีน้ำอาศัยพื้นฐานทางนิวเคลียร์และรังสีเป็นสิ่งสำคัญ หลักการทำงานที่สำคัญคือการวัดความเข้มของภาพดิจิทัลที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์บนแผ่นเรืองรังสี ซึ่งความเข้มของภาพนี้แปรผันตรงกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบนแผ่นเรืองรังสีนี้ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของภาพเหล่านั้นเป็นตัวแทนของความเข้มรังสีได้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบพัฒนาขึ้นมาประกอบด้วยส่วนการทำงานหลัก 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 การถ่ายภาพในขณะที่ไม่มีวัตถุเพื่อวัดค่าความเข้มตกกระทบ I_0

ส่วนที่ 2 การถ่ายภาพภาชนะเปล่า เพื่อทำการหาค่าแก้ผลกระทบของความหนาของภาชนะ

ส่วนที่ 3 การถ่ายภาพน้ำที่บรรจุในภาชนะเดียวกันกับที่ใช้ในส่วนที่ 2 ของโปรแกรม เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของน้ำ

ส่วนที่ 4 การถ่ายภาพของเหลวตัวอย่างเพื่อทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของเหลวตัวอย่างและเปรียบเทียบกับค่าของน้ำที่ได้จากส่วนที่ 3 ของโปรแกรม

จากการทดลองโปรแกรมที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่ได้นั้นเป็นเพียงค่าที่เกิดจากการทดลองด้วยกระบวนการนี้เท่านั้น ไม่มีการแก้ค่าด้วยสมการที่ซับซ้อนแต่อย่างใด ดังนั้นจึงไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่แท้จริง แต่เป็นเพียงค่าที่ได้จากกระบวนการวัดและใช้เปรียบเทียบเพื่อคัดกรองชนิดของของเหลว

สาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของของเหลวหรือวัสดุอื่นใด ไม่มีผู้นิยมทำการวัดและแสดงไว้เป็นค่ามาตรฐานนั้นเนื่องมาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีแปรผันตามพลังงานของรังสี แต่รังสีเอกซ์ที่ถูกผลิตจากหลอดรังสีเอกซ์เป็นรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง มีสเปกตรัมพลังงานที่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุเป็นค่าที่แน่ชัดได้เพราะรังสีเอกซ์ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดรังสีแต่ละเครื่องมีรูปแบบสเปกตรัมพลังงานไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะถูกผลิตด้วยค่าความต่างศักย์สูงสุด (kVp) เดียวกันก็ตาม

การประยุกต์ใช้เทคนิคที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ในอนาคต สามารถทำได้โดยใช้หลักการเดียวกันนี้กับชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องกำเนิดรังสีใด ๆ ที่เหมาะสมและจัดหาได้ และผลการวัดด้วยเทคนิคเดียวกันนี้กับชุดอุปกรณ์นั้น ๆ ก็จะเป็นผลการประยุกต์ใช้งานเฉพาะเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นั้นกับชุดระบบอุปกรณ์นั้น ๆ ไม่สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีมาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยนี้หรือผลจากการประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดรังสีเครื่องอื่น ๆ แต่ทุกระบบจะสามารถคัดกรองของเหลวได้ด้วยกระบวนการที่ได้นำเสนอในผลงานวิจัยนี้

5.3 การทดลองคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจากของเหลวชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ น้ำบริสุทธิ์

จากผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของของเหลวตัวอย่างตามกระบวนการของโปรแกรมที่ได้ออกแบบพัฒนาขึ้นมา พบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ได้ โดยอาศัยการวัดความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ในแต่ละตำแหน่งในภาพและคำนวณด้วยทฤษฎีการลดทอนรังสี โดยใช้สมการ 2.1 เป็นสมการหลัก นอกจากนั้นยังมีการแก้ค่าผลกระทบต่าง ๆ เช่นผลกระทบเนื่องจากความหนาของขวด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่คำนวณได้เป็นค่าที่เกิดจากรังสีเอกซ์พลังงานต่อเนื่อง มิได้มีแค่อำนาจรังสีพลังงานที่ระบุตามค่าสูงสุดที่ผลิตได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำค่าที่ได้จากการคำนวณนี้ไปเป็นค่าอ้างอิงได้ ใช้เพียงเพื่อการเปรียบเทียบในโปรแกรมคัดกรองของเหลวนี้เท่านั้น ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าของเหลวแต่ละชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าของน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมแล้วพบว่า ของเหลวที่ประกอบด้วยสารที่สามารถติดไฟได้มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีน้อยกว่าน้ำและมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำด้วยเช่นกัน ส่วนของเหลวทั่วไปซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีมากกว่าน้ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่ได้จากการทดลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นเกณฑ์ตัดสินเพื่อคัดกรองของเหลวชนิดติดไฟออกจากของเหลวทั่วไปได้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในงานด้านการรักษาความมั่งคั่งปลอดภัยเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องป้องกันมิให้มีการลักลอบนำของเหลวอันตรายเหล่านี้เข้ามาก่อเหตุในสถานที่ที่มีความเสี่ยงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ข้อเสนอแนะ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. วิธีทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีกระบวนการที่ต้องเทของเหลวออกจากขวดเดิม หากจะนำไปประยุกต์ใช้งานให้สะดวกมากยิ่งขึ้นก็สามารถหาขวดที่มีลักษณะใกล้เคียงกับขวดของเหลวต้องสงสัยให้มากที่สุด ใช้ในส่วนการทำงานที่ 1-3 ของโปรแกรม (ข้อเสียคือต้องมีขวดจำนวนหลากหลายแบบ และผลที่ได้จะมีโอกาสผิดพลาดสูงมากขึ้น)

2. เพื่อเป็นการลดขั้นตอนการทำงาน สามารถรวมขั้นตอนการทำงานส่วนที่ 3 และ 4 (การถ่ายภาพขวดน้ำและขวดของเหลวตัวอย่าง) เข้าด้วยกันได้ โดยพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องกับวิธีที่ใช้

3. หากใช้เครื่องเอกซเรย์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงขึ้นก็อาจจะทำให้ผลการทดลองมีค่าแม่นยำมากขึ้น รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน หากมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงก็จะทำให้ผลการทดลองแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น



รายการอ้างอิง

- [1] Kelkar, S.M. Using X-ray Imaging Techniques to Determine Density of Foods. Doctoral dissertation. Purdue University, 2013.
- [2] กัจจกร มนุญปิฎุ และคนอื่น ๆ. ศัพทานุกรมนิวเคลียร์, 2. โรงพิมพ์ สกสค.: สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2552.
- [3] Radiation Interactions with Tissue. Radiology Key. [Online]. 2016. Available from : <https://radiologykey.com/4-radiation-interactions-with-tissue> [2018,Jun 21]
- [4] นเรศร์ จันทน์ขาว. การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาสำหรับงานอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสอนวิชาการสร้างภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [5] [Online]. 2016. Available from : <http://www.thepinsta.com/2-film-mdash-screen-radiography-musculoskeletal-key> [2018,Jun 21]
- [6] Application of Fluoroscopy. Fluoroscopy Lover. [Online]. 2013. Available from : <http://fluoroscopylover.blogspot.com/2013/05/application-of-fluoroscopy.html> [2018,Jun 21]
- [7] NOVA MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY CO.,LTD. World's Best Valued CCD DR Detector. [Online]. 2009. Available from : <http://www.nova-medical.com/detector.htm> [2018,Jun 21]
- [8] Bell, D.J., Goel, A., et al. Intensifying screen. [Online]. Available from : <https://radiopaedia.org/articles/intensifying-screen> [2018,Jun 21]
- [9] What is a DSLR Camera?. [Online]. Available from : <https://aperlust.com/photography/what-is-a-dslr-camera> [2018,Jun 21]

- [10] Ccd-sensor.jpg. [Online]. 2007. Available from : https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_camera#/media/File:Ccd-sensor.jpg [2018,Jun 21]
- [11] HOW DOES AIRPORT SECURITY SPOT CONTRABAND IN BAGGAGE X-RAYS? [Online]. 2015. Available from : <https://radiologykey.com/4-radiation-interactions-with-tissue> [2018,Jun 21]
- [12] Smiths Detection's HCV marketing manager. Simon Gradassi compares container scanning systems and argues for a step-by-step approach to implementation. [Online]. 2004. Available from : http://www.portstrategy.com/news101/port-operations/safety-and-security/revealing_all [2018,Jun 21]
- [13] Jackson, D.F., and Hawkes, D.J. X-RAY ATTENUATION COEFFICIENTS OF ELEMENTS AND MIXTURES. PHYSICS REPORTS (Review Section of Physics Letters) 70. 3 (1981) : 169-233.
- [14] Grodstein, W., G. X-ray Attenuation Coefficients From 10 kev to 100 Mev. NBS Circular. 583. (1957)
- [15] Zeb, J., Arshed, W., and Ahmad, S.S. Radiation Dose Reduction by Water Shield. Pakistan Institute of Nuclear Science & Technology, Directorate of Systems & Services. Health Physics Division. Islamabad. (Unpublished Manuscript)
- [16] Sulaiman, NB., and Srisatit, S. Investigation of a threat liquid using x-ray imaging technique. Chulalongkorn University.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพนรัตน์ แก้วใหม่

เกิดวันที่ 22 พฤศจิกายน 2528

สถานที่เกิด น่าน

วุฒิการศึกษา: วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2551

ประสบการณ์ทำงาน

2551 – 2555 : นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

2555 - ปัจจุบัน : นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY