

การพัฒนาระบบมองภาพทรงสี่สูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกล



นายสมาน อิงไธสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

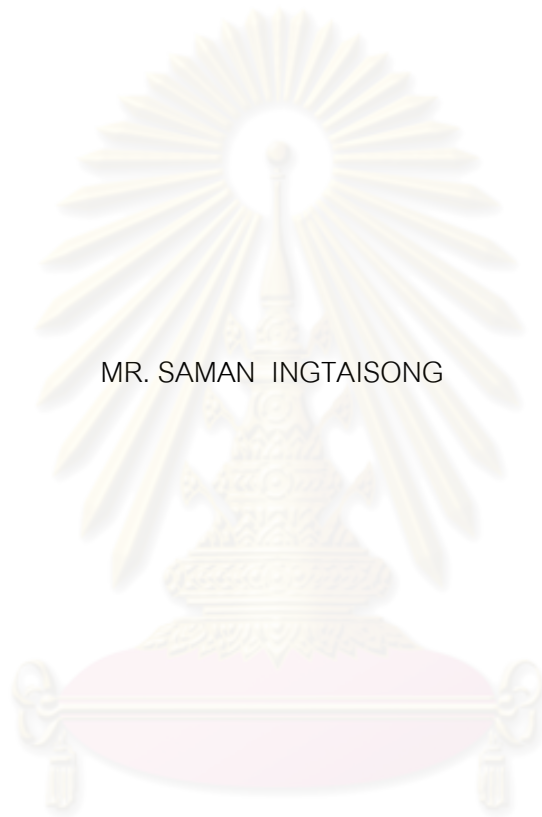
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A HIGH RADIATION RESISTANT VISUALISING SYSTEM FOR UNDER WATER
REMOTE INSPECTION

MR. SAMAN INGTAISONG



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบมองภาพทรงสี่สูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำ
ควบคุมระยะไกล

โดย

นายสมาน อิงไรสง

สาขาวิชา

นิเวศียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

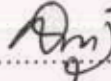
ดร. ชนาธิป ทิพยกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศธีรณรงค์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สัญชัย นิลสุวรรณโฆสิต)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ชนาธิป ทิพยกุล)


.....กรรมการ
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. แสนสุข เวชชการันย์)

สมาน อิงไธสง : การพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำ
ควบคุมระยะไกล (DEVELOPMENT OF A HIGH RADIATION RESISTANT
VISUALISING SYSTEM FOR UNDER WATER REMOTE INSPECTION)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :
ดร. ชนาธิป ทิพยกุล, 99 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงแบบประหยัดสำหรับงาน
ตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงใช้แล้วใต้น้ำในงานบำรุงรักษาเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 โดย
ออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เลือกใช้กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก
ความละเอียดภาพ 2 ล้านพิกเซล ซึ่งมีความไวต่อรังสีต่ำ สามารถส่งสัญญาณภาพผ่านพอร์ตยู
เอสบี พร้อมแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ในการลดปริมาณพิกเซลสว่าง (Hot pixel) ที่รบกวน
พื้นหลังภาพจากผลของรังสีต่อแผ่นรับภาพ ใช้ตะกั่วกำบังรังสีร่วมกับระบบมองภาพแบบกระจก
ทำมุมสะท้อนเพื่อเลี่ยงการรับรังสีของกล้องโทรทัศน์ตรง ความเหมาะสมของขนาดกำบังรังสี
ประเมินด้วยวิธีการที่แม่นยำ โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S ในการคำนวณผลผลิตฟิชชัน
จากการเผาผลาญของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในแท่ง เพื่อประเมินซอร์สเทอม (Source term) สำหรับ
ใช้ประกอบการออกแบบกำบังรังสีด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX

จากการพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงทำให้ได้ระบบที่มีขนาด 11.5 x 11.5 x 18.0
เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม สามารถทนต่อการรั่วซึมในการใช้งานใต้น้ำที่ความลึก
5 เมตร ผลทดสอบการมองภาพพบว่าคุณภาพของภาพสูงเพียงพอสำหรับการตรวจด้วยสายตา
สามารถมองเห็นรอยตำหนิและหมายเลขที่ทำเครื่องหมายบนแท่งเชื้อเพลิงขนาดประมาณ 0.4
เซนติเมตรได้ และการใช้ตะกั่วกำบังรังสีกล้องโทรทัศน์หนา 2 เซนติเมตรที่ระดับอัตราปริมาณรังสี
160 mGy/h พบว่ามีพื้นที่รบกวนจากพิกเซลสว่างเพียง 0.012 % นอกจากนี้ระบบมองภาพทนรังสี
สูงยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานปฏิบัติการรังสีสูงอื่นได้อีกด้วย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต.....ศมาน อิงไธสง
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....ศกย
ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....ศกย อิงทว

5070628021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS:DOSE RATE/ CMOS VIDEO CAMERA/ X-RAY/ GAMMA RAY/ HOT PIXEL

SAMAN INGTAISONG : DEVELOPMENT OF A HIGH RADIATION RESISTANT VISUALISING SYSTEM FOR UNDER WATER REMOTE INSPECTION.

ADVISOR : ASST. PROF.SUVIT PUNNACHAIYA, CO-ADVISOR : CHANATIP TIPAYAKUN, D.Sc.,99 pp.

This research aimed to develop an economical high radiation resistant visualizing system for periodic underwater inspection of spent fuel elements of the Thai Research Reactor-1/Modification 1. The structural design was intended to have compact size and light weight. The small size, low radiation response, digital CMOS color CCTV camera with image resolution of 2 Megapixels and USB port interface to display on computer was selected. Hot pixels occurring from radiation effect on the image sensor which interfere the video image background was reduced by lead shielding and mirror reflection viewing to prevent direct exposed to the camera. Appropriate size of lead shield was designed by using computer codes i.e., ORIGEN-S for fission product inventory calculation and MCNPX for shielding design using the source term from the ORIGEN-S calculation.

From this development, a high radiation resistant visualizing system with the dimension of 11.5 x 11.5 x 18.0 cm and 10 kg in weight was achieved and it was capable to operate under 5 m deep water without water leakage. From the observation of image quality, small defect and marking number of 0.4 cm size on the fuel element could be detected by visual inspection. By employing 2 cm camera lead shield, the operation at 160 mGy/h dose rate found the hot pixel area of 0.012%. Besides, the system could be also applied for other high level operations.

Department : ..Nuclear Technology.....	Student's Signature
Field of Study : ..Nuclear Technology.....	Advisor's Signature
Academic Year :2010.....	Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา และองค์ความรู้ต่าง ๆ ให้คำปรึกษาแนะนำทั้งวิชาการและการดำรงชีวิตที่ดี และดร. ชนาธิป ทิพยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่คอยช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ สนับสนุนทุนการศึกษาในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับสถาบันฯ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ทุกท่าน เพื่อนๆร่วมรุ่นทุกคนที่มีส่วนร่วมทั้งทางตรงและทางอ้อมในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณฝ่ายงานวิศวกรรมที่สนับสนุนอุปกรณ์ประกอบงานวิจัย ขอขอบคุณศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ โดยเฉพาะขอบคุณหัวหน้างานกับผู้ร่วมงานฝ่ายงานตรวจสอบไม่ทำลายที่สนับสนุนเครื่องมือและช่วยเสียสละเวลาทำงานทดแทนเพื่อให้โอกาสทำงานวิจัยโดยสะดวก

ขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่มีส่วนสำคัญจนงานวิจัยสำเร็จและเจ้าหน้าที่ บุคลากรอื่นๆ ทั้งหมดที่มีส่วนร่วมในงานครั้งนี้ รวมถึงญาติพี่น้องทุกๆคนที่มีส่วนร่วม ให้ความสนับสนุนกำลังใจ กำลังใจช่วยเหลือจนสำหรับงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบลำลึกบุญคุณพ่อกับแม่ ที่ให้ชีวิตมาเป็นทุนและคอยอบรมสั่งสอน ให้เป็นคนดี มีกำลังใจ ให้กตัญญู ให้ต่อสู้ชีวิตต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรมอด.....	6
2.2 อุปกรณ์รับภาพของกล้องโทรทัศน์.....	8
2.3 ความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS	11
2.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์รับภาพ CCD และอุปกรณ์รับภาพ CMOS...	12
2.5 การเกิด Noise, Hot Pixel และ Dead Pixel ในอุปกรณ์รับภาพ.....	13
2.6 ผลของ Hot Pixel และ Noise ที่มีต่อภาพ.....	14
2.7 ผลของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์วงจรมอด.....	14
2.8 การออกแบบกำบังรังสีด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โล.....	16
3 การพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้นำควบคุมระยะไกล....	20
3.1 การออกแบบระบบมองภาพทนรังสีสูง.....	20
3.2 การคัดเลือกกล้องโทรทัศน์วงจรมอดที่เหมาะสมในการใช้งาน.....	22
3.3 การออกแบบกำบังรังสีกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	23

บทที่	หน้า
3.3.1 การสร้างแบบจำลองสำหรับการคำนวณ Burn-up ของแท่งเชื้อเพลิง TRIGA.....	23
3.3.2 การคำนวณการใช้งานเชื้อเพลิงโดยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S...	24
3.3.3 การนำผลการคำนวณ Source term มาใช้สำหรับการออกแบบกำบังรังสี.....	27
3.3.4 การคำนวณกำบังรังสีตะกั่วห่อหุ้มเครื่องโทรทัศน์.....	27
3.4 การออกแบบอุปกรณ์ประกอบของระบบมองภาพ.....	30
3.4.1 ระบบกำบังรังสีของกล้องโทรทัศน์.....	30
3.4.2 ระบบส่องสว่างเพื่อการมองภาพ.....	32
3.4.3 โครงห่อหุ้มระบบมองภาพกันน้ำ.....	33
3.4.4 กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพ.....	34
3.5 การประกอบระบบมองภาพทนรังสี.....	35
4 การดำเนินงานและผลการวิจัย.....	38
4.1 การทดสอบผลของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	38
4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง.....	38
4.1.2 การทดสอบผลของรังสีเอกซ์.....	39
4.2 การทดสอบผลของรังสีรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	49
4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ.....	50
4.2.2 การทดสอบผลของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60.....	50
4.3 การวัดอัตราปริมาณรังสีจากแท่งเชื้อเพลิงที่จะตรวจสอบ.....	55
4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ.....	56
4.3.2 การวัดอัตราปริมาณรังสีจากแท่งเชื้อเพลิง.....	56
4.4 การทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพใต้น้ำทนรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น.....	57
4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ.....	57
4.4.2 การทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพ.....	58
4.4.3 การทดสอบผลของรังสีต่อคุณภาพสีของกล้อง.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างอุปกรณ์รับภาพ CCD และ อุปกรณ์รับภาพ CMOS	11
2.2	แสดงผลของรังสีแกมมาต่ออุปกรณ์รับภาพ CCD	15
2.3	ผลของรังสีโปรตอนต่ออุปกรณ์รับภาพ CCD	16
3.1	แสดงข้อมูลเปรียบเทียบของกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	23
3.2	ส่วนประกอบเนื้อเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชนิด 8.5% wt. ของเครื่องปฏิกรณ์ ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1.....	24
3.3	โฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตฟิชชัน ที่อยู่ภายในเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์ ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 ตามระดับพลังงาน.....	25
3.4	ร้อยละของความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่เมื่อลดทอนด้วยกำบังรังสีที่มีความหนาของ ตะกั่วต่างๆ กัน (คำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX).....	29
3.5	รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมองภาพ	36
4.1	เปรียบเทียบผลของพลังงานรังสีเอกซ์กับจำนวนฟิชชันที่รบกวนกล้องโทรทัศน์ ชนิดซีมอส-ขนาดเล็ก.....	40
4.2	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของ บริษัท A	42
4.3	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของ บริษัท B	43
4.4	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของ บริษัท C.....	44
4.5	เปรียบเทียบผลของอัตราปริมาณรังสีกับจำนวนฟิชชันที่รบกวนจากผลของรังสีเอกซ์.....	45
4.6	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก ของบริษัท A.....	47
4.7	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก ของบริษัท B.....	48
4.8	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำบังโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก ของบริษัท C	49

ตารางที่	หน้า	
4.9	เปรียบเทียบผลของอัตราปริมาณรังสีกับจำนวนฟิสิกเซลล์ว่างจากผลของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60.....	51
4.10	ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A.....	53
4.11	ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท B	54
4.12	ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท C	55
4.13	ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีที่แท่งเชื้อเพลิงหมายเลข 8576 ระยะห่างจากหัววัด 30 เซนติเมตร.....	57
4.14	เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 50 – 300 kV ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์.....	59
4.15	เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสี 85 – 950 mGy/h ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์.....	60
4.16	เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 80 – 960 mGy/h ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์.....	61
4.17	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี.....	63
4.18	ผลการรบกวนของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี.....	64
4.19	ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี.....	65
4.20	ผลการรบกวนของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี.....	66

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนภาพของระบบโทรทัศนวงจรปิดชนิดภาพขาวดำ.....	6
2.2	แผนภาพของระบบกล้องโทรทัศนวงจรปิดชนิดภาพสี.....	7
2.3	แผนภาพของการผสมสัญญาณภาพในระบบส่งโทรทัศนสี.....	7
2.4	สัดส่วนสีมาตรฐานและองค์ประกอบสัญญาณภาพสีคอมโพสิต.....	8
2.5	โครงสร้างของกล้องโทรทัศนสีสำหรับวงจรปิดขนาดเล็ก.....	8
2.6	โครงสร้างภายในของอุปกรณ์รับภาพชนิด CCD	9
2.7	อุปกรณ์รับภาพ CCD.....	9
2.8	โครงสร้างภายในของอุปกรณ์รับภาพ CMOS.....	10
2.9	อุปกรณ์รับภาพ CMOS.....	10
2.10	ความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS.....	12
2.11	โครงสร้างของวงจรพิกเซลแต่ละจุดบนแผ่นรับภาพซีมอส.....	13
2.12	ภาพจากกล้องโทรทัศนทำงานขณะปิดฝาครอบเลนส์.....	14
2.13	ลักษณะทั่วไปขององค์ประกอบการคำนวณกำลังรังสี.....	17
3.1	แผนภาพระบบมองภาพทงรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำ	21
3.2	แผนภาพโครงสร้างของระบบกล้องมองภาพใต้น้ำ	21
3.3	Spectrum ของฟोटอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตฟิชชัน ที่อยู่ภายใน เชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์วิจัย ปปว.-1/1 ที่เวลาหลังจากหยุดเดินเครื่องทันที.....	26
3.4	อัตราการปลดปล่อยฟोटอนที่เวลาต่างๆ หลังจากหยุดเดินเครื่อง.....	26
3.5	แบบจำลองของการกำบังรังสีระบบมองภาพใต้น้ำที่สร้างด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX	28
3.6	กราฟร้อยละของความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่เมื่อลดทอนด้วยกำบังรังสีที่มีความ หนาของตะกั่วต่างๆ กัน (คำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX).....	29
3.7	แผนภาพรูปทรงเรขาคณิตของกำบังรังสีกล้องโทรทัศนที่ออกแบบ.....	31
3.8	กำบังรังสีกล้องโทรทัศนที่สร้างขึ้น.....	31
3.9	ไดโอดเปล่งแสงสำหรับส่องสว่างเพื่อการมองภาพที่ติดตั้งรอบระบบมองภาพ.....	32
3.10	อุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสง.....	33
3.11	ปะเก็นซิลิโคนสำหรับผนึกกันน้ำ.....	33

ภาพที่	หน้า
3.12 กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพที่สร้างขึ้น.....	34
3.13 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมองภาพทรวงสีสูงที่สร้างขึ้น.....	35
3.14 โครงสร้างภายในของระบบมองภาพทรวงสีสูง.....	37
3.15 โครงสร้างภายนอกเมื่อประกอบสมบูรณ์.....	37
4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ศึกษาผลของพลังงานของรังสีเอกซ์ที่มีต่อกล้องโทรทัศน์	39
4.2 การทำภาพนิ่งโดยใช้โปรแกรม Fast Stone Capture	39
4.3 กราฟตอบสนองพลังงานของรังสีเอกซ์ 20 ถึง 300 kV ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิด ซีมอสขนาดเล็ก.....	41
4.4 กราฟตอบสนองอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ 85 ถึง 950 mGy/h ต่อกล้องโทรทัศน์ ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	46
4.5 แผนภาพการจับอุปกรณ์ผลของรังสีแกมมาต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอส	50
4.6 กราฟตอบสนองอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ 50 ถึง 960 mGy/h ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก.....	52
4.7 แผนภาพแสดงตำแหน่งวัดอัตราปริมาณรังสีของแท่งเชื้อเพลิง.....	56
4.8 ภาพแสดงการจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบผลของรังสีแกมมา.....	59
4.9 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 50 kV ถึง 300 kV ต่อ ระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์.....	60
4.10 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตรา ปริมาณรังสี 85 ถึง 950 mGy/h ต่อระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบัง รังสีให้กล้องโทรทัศน์.....	61
4.11 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสี 80 ถึง 960 mGy/h ต่อระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้ กล้องโทรทัศน์.....	62
4.12 การดำเนินการติดตั้งระบบมองภาพเพื่อทดลองตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว..	68
4.13 การทดลองปรับเปลี่ยนความสว่างแสงเพื่อทดสอบความชัดเจนของภาพจาก กล้องโทรทัศน์.....	68
1.14 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงด้านบนในแต่ละมุมแสง.....	69
4.15 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงบริเวณกลางแท่งในแต่ละมุมแสง.....	69
4.16 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงด้านปลายในแต่ละมุมแสง.....	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิบัติงานซ่อมบำรุงและงานเฝ้าติดตามในพื้นที่ปฏิบัติการรังสีสูง เช่น งานซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยปว.-1/1 การเฝ้าติดตามและซ่อมบำรุงเครื่องฉายรังสีแกมมา ตลอดจนการตรวจตราด้านความปลอดภัยบริเวณเก็บสารกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีสูง เป็นต้น เป็นงานกิจวัตรที่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการมองเห็นสำหรับการปฏิบัติงานลักษณะควบคุมระยะไกลที่บริเวณเป้าหมายหรือในห้องกำบังรังสี เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งเป็นไปตามหลักการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยทางรังสี (ALARA) การปฏิบัติงานดังกล่าวจำเป็นต้องมีกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่ออกแบบให้มีลักษณะพิเศษเฉพาะ โดยสามารถทนต่อการทำลายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำของรังสีระดับสูง และลดการเกิดสัญญาณรบกวนภาพอันเนื่องมาจากผลของรังสี สามารถช่วยในการมองเห็นได้ในหลายทิศทางจากบริเวณที่ปลอดภัยและในบางโอกาสอาจต้องมีการตรวจสอบได้น้ำ ดังนั้นอุปกรณ์กล้องวงจรปิดที่ใช้นอกจากจะต้องทนต่อรังสี ควบคุมระยะไกลได้สะดวกและให้ภาพที่ชัดเจนแล้วยังต้องทนแรงดันสภาพได้น้ำพร้อมทั้งกันน้ำได้ด้วย

ประเทศไทยมีการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยปว.-1/1 เพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ติดต่อกันมานานกว่าสี่สิบปี การบำรุงรักษาตามวาระให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยปว.-1/1 นับว่าเป็นงานสำคัญอย่างยิ่ง การตรวจสอบสภาพแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์หลังจากผ่านการใช้งานมาในรอบระยะเวลาหนึ่งด้วยสายตา (Visual Inspection) จะกระทำได้น้ำโดยผ่านกล้องโทรทัศน์วงจรปิด เพื่อตรวจหาจุดบกพร่อง หรือชำรุดอันจะก่อให้เกิดความเสียหาย ระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกลจึงเป็นอุปกรณ์สำคัญ กล้องโทรทัศน์ที่ดัดแปลงให้อยู่มีความไวแสงต่ำจึงต้องการหลอดไฟฟ้ากำลังส่องสว่างสูง ทำให้มีขนาดใหญ่และไม่สามารถใช้กับงานซ่อมบำรุงบริเวณพื้นที่แคบได้

จากความสำคัญของระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกลนั้นหน่วยงานสามารถนำเข้ามาจากผู้ผลิตต่างประเทศได้ แต่มีราคาสูงและมักมีอุปสรรคด้านการบำรุงรักษา ดังนั้นเพื่อเป็นการพึ่งพาตนเองด้านเทคนิคจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาระบบ

มองภาพทนรังสีสูง สำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกลแบบประหยัด ที่มีลักษณะเฉพาะดังกล่าวที่บำรุงรักษาง่ายและเหมาะกับงานที่ปฏิบัติกันอยู่

ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีกล้องโทรทัศน์สำหรับงานด้านการปกป้องทรัพย์สิน (Home Security) ได้มีการผลิตกล้องขนาดเล็กที่ความไวแสงสูงและสมรรถนะสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการได้ โดยจะต้องคัดเลือกรูปแบบ ทดสอบหาข้อมูลการทนต่อรังสี และผลกระทบของรังสีต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของกล้องรุ่นใหม่พร้อมทั้งออกแบบอุปกรณ์ควบคุมที่จำเป็นประกอบการทำงาน เพื่อนำมาใช้ในงานพัฒนานี้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 คัดเลือกสมรรถนะของกล้องโทรทัศน์ขนาดเล็กและทดสอบผลกระทบของรังสีเพื่อความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน

1.3.2 ออกแบบและสร้างระบบมองภาพที่สามารถทนอัตราปริมาณรังสีแกมมา 10^4 Gy/h และ ทนแรงดันได้น้ำไม่น้อยกว่า 5 เมตร

1.3.3 ออกแบบและสร้างระบบกลไกควบคุมการขับเคลื่อนและปรับทิศทางการมองภาพระยะไกลพร้อมส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์

1.3.4 ทดสอบสมรรถนะระบบมองภาพที่พัฒนาขึ้นจากสภาพใช้งานจริง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าเอกสารรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 คัดเลือกและทดสอบกล้องโทรทัศน์ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการประยุกต์ในการใช้งานด้านรังสีสูง

1.4.3 ออกแบบและสร้างระบบมองภาพให้ทนต่อรังสีและกันน้ำพร้อมส่งสัญญาณไปแสดงภาพยังคอมพิวเตอร์

1.4.4 ออกแบบและสร้างระบบกลไกควบคุมการขับเคลื่อนและปรับทิศทางการมองเห็นระยะไกล

1.4.5 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในสถานที่ปฏิบัติการรังสีสูง

1.4.6 สรุปผลงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบระบบมองเห็นที่ทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำ เพื่อรองรับการปฏิบัติงานบริเวณรังสีสูง ได้แก่ การตรวจสอบซ่อมบำรุงแกนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ การตรวจบำรุงรักษาแผงต้นกำเนิดรังสีใต้น้ำ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ.2539 R.E. Sharp, S.L. Peter and D.R. Garlick ได้ทำวิจัยเรื่อง Radiation tolerance of current CCD based CCTV cameras [1] โดยพัฒนาระบบกล้องโทรทัศน์ที่สามารถทนปริมาณรังสีได้ในระดับ 1 MGy ประกอบด้วยชุดควบคุม ตัวกล้อง และจอมอนิเตอร์ ซึ่งกล้องออกแบบเป็นพิเศษด้วยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทนต่อรังสี ตัวกล้องมีความละเอียดของภาพ 600 เส้น มีความไวต่อแสง 10 ลักซ์ มีไฟส่องสว่าง เป็นหลอดฮาโลเจน ใช้สายทนรังสีขนาดความยาว 100 เมตร สามารถทนความดันใต้น้ำได้ 5 kgs/ cm² ซึ่งกล้องที่พัฒนาขึ้นนำไปใช้ประโยชน์ในงานซ่อมบำรุงของเครื่องปฏิกรณ์ PHWRs 220/500 MWe และการติดตั้งแกนปฏิกรณ์แบบทรงกลม MAPS-2 ในการทดสอบผลของรังสีต่อระบบกล้อง พบว่าอัตราปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับภาพ CCD ได้รับจะมีผลต่อสัญญาณรบกวนภาพมากและต้องมีการพิจารณาผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. ปี พ.ศ. 2545 R.K. Puri, A.K. Hurray, M. Padamanabhan, H.M. Bapat&Manjit Singh, Indigenous ได้ทำวิจัยเรื่อง Development of Miniature Underwater Radiation Resistant CCTV Camera for Remote Inspection of Coolant Channels PHWRs [2] ซึ่งเป็นงานวิจัยภายใต้โครงการ IX-Plan เพื่อพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคที่ช่วยในการซ่อมบำรุงระบบระบายความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์แบบ PHWR ในส่วนของท่อระบายความร้อนระหว่างการใช้งาน จึงได้เกิดการสร้างกล้องที่ใช้ใต้น้ำซึ่งทนต่อรังสีขึ้นเป็นกล้องวงจรปิดที่มีราคาประหยัด ระบบกล้องมีส่วนประกอบ คือ ตัวกล้อง (Head unit) ชนิดหลอดวิดีโอความไว 10 ลักซ์ กับระบบควบคุม CCU (Camera Control Unit)

โดยการออกแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยชิ้น ผลการพัฒนาพบว่ากล้องสามารถรองรับการทำงานที่ระดับอัตราปริมาณรังสี 10^6 rad/h ปริมาณรังสีสะสม 10^8 rads

3. ปี พ.ศ. 2549 Zdenek Barton และ Radimir Vrba ได้ทำการศึกษาเรื่อง CCD image sensor degradation by X-ray radiation [3] โดยใช้อุปกรณ์รับภาพ CCD รุ่น FTT1010-M แบบสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise) ช่วงการตอบสนองสัญญาณกว้าง (High dynamic range) ขนาดความละเอียดภาพที่ 1 Megapixel ในการทดลองได้ฉายรังสีเอกซ์กับอุปกรณ์รับภาพ CCD ที่ใหม่ไม่เคยรับรังสี พร้อมทั้งสังเกตการตอบสนองจากการอ่านข้อมูลในแต่ละพิกเซลขนาด 12 บิต และนำไปเก็บใน SDRAM สำหรับภาพที่นำมาทดสอบแบ่งเป็นภาพที่มีความสว่างมากเปรียบเทียบกับภาพที่มีความสว่างน้อย โดยเพิ่มปริมาณรังสีเป็น 22.5 rad แปรเปลี่ยนจาก 3 ชั่วโมง ไปจนถึง 18 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการรับภาพของอุปกรณ์รับภาพ CCD ลดลง (Degradation) อย่างรวดเร็ว จนถึงระดับที่จะไม่สามารถรับการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของแสงได้ เมื่อเวลาผ่านไป 87 วัน ปริมาณรังสีรวม 112 rad

4. ปี 2549 Leo H. C. Braga , Suzana Domingues, Milton F. Rocha Jr., Leonardo B. Sa´ , Fernando S. Campos , Filipe V. Santos ,Antonio C. Mesquita, Ma´rio V. Silva and Jacobus W. Swart. ได้ทำการศึกษาเรื่อง Layout Techniques for Radiation Hardening of Standard CMOS Active Pixel Sensors [4] เป็นการศึกษาผลการจัดรูปแบบซีมอสมาตรฐานสำหรับงานด้านรังสีสูง โดยทดลองกับซีมอสมาตรฐานแบบแถวขนาด 0.35 ไมโครเมตร และซีมอสแบบวงจรรวมโครงสร้าง 64×64 แถว ขนาดแถวละ 25 ไมโครเมตร ในสี่รูปแบบ โครงสร้างที่แตกต่าง สำหรับผลการทดสอบ จะเห็นว่า การจัดรูปแบบโครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบเรขาคณิต กับแบบวงแหวน จะช่วยป้องกันให้ซีมอสสามารถทนรับปริมาณรังสีได้ขนาด 500 krad ซึ่งมากกว่าความต้องการในการทดลองถึง 2 เท่า

5. ปี พ.ศ. 2550 Vincent Goffona, Pierre Magnana, Fr´ed´eric Bernard, Guy Rolland, Olivier Saint-Pe, Nicolas Huger, and Franck Corbi`ere. ได้ทำการศึกษาเรื่อง Ionizing Radiation Effects on CMOS Imagers Manufactured in Deep Submicron Process [5] โดยนำเสนอการศึกษาโครงสร้างส่วนประกอบของอุปกรณ์รับภาพซีมอส ที่ผลิตในกระบวนการ submicron สำหรับการถ่ายภาพ โดยได้ออกแบบชิปทดสอบที่ทำจากหนึ่งอาเรย์ 128×128 pixel ถึง ขนาด 3T pixel ด้วยขนาดจุด 10 ไมโครเมตร โดยแยกกันมากกว่า 120 โครงสร้าง ทั้งที่เป็น โฟโตไดโอด กับ มอสเฟต อุปกรณ์ทั้งหมดเหล่านี้ถูกนำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 100 krad

พบว่าผลของรังสีมีความสัมพันธ์ต่อการการตอบสนองของความสว่างและความมืดของเซนเซอร์รับภาพ (Pixel sensor) ส่วนใหญ่เซนเซอร์รับภาพจะเกิดการลดคุณภาพ (degradation) ผลการศึกษาพบว่าความหนาบริเวณปลอดพาหะมีความสัมพันธ์ต่อการลดคุณภาพความไวแสง

6. ปี พ.ศ. 2545 Jiaming Tan, Bernhard Buttgen and Albert J. P. Theuwissen ได้ศึกษาเรื่อง X-Ray Radiation Effects on CMOS Image Sensor In-Pixel Devices [6] นำเสนอผลการศึกษาอุปกรณ์รับภาพซีมอส CMOS Image Sensor (CIS) ปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายจากกลุ่มสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้า และขยายการใช้งานสู่ทางการแพทย์เนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าอุปกรณ์รับภาพ CCD ในเรื่องของการใช้พลังงานต่ำ, ราคาต่ำ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ผลการศึกษาดังกล่าวนี้แสดงถึงผลกระทบของรังสีต่อซีมอสแบบ 3 ทรานซิสเตอร์ Transistor Active Pixel Sensors (3T APS) เปรียบเทียบกับแบบ 4 ทรานซิสเตอร์ 4T APS โดยข้อสรุปส่วนใหญ่ชี้ไปที่ผลกระทบปริมาณรวมของรังสีต่อจุดส่องสว่างพบว่าผลกระทบต่อซีมอสแบบ 4T APS จะมีผลน้อยมาก นำไปสู่การพัฒนาอุปกรณ์รับภาพ ขนาด $0.18 \mu\text{m}$ 4T APS ในระบบกล้องที่ทันสมัย



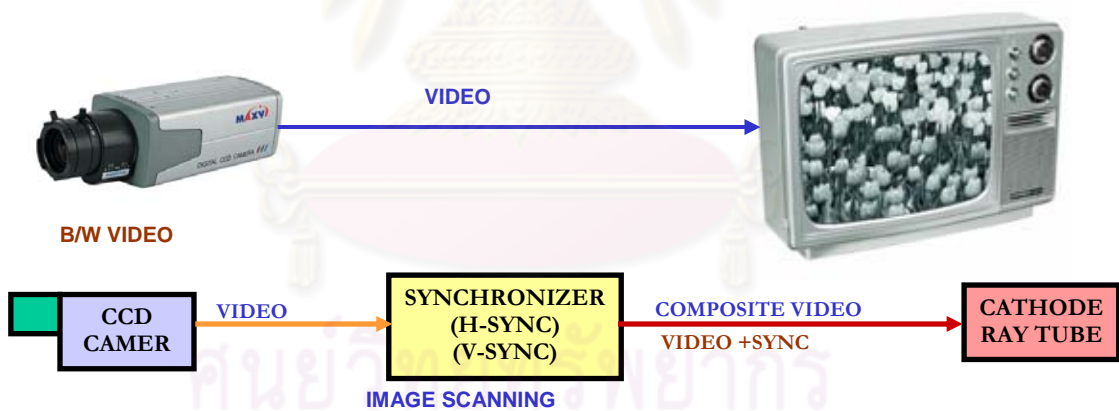
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด

ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television (CCTV) System หรือ Video Surveillance System) คือ ระบบการบันทึกภาพเคลื่อนไหวที่ถูกจับภาพโดยกล้องวงจรปิด ซึ่งเป็นระบบสำหรับการใช้เพื่อการรักษาความปลอดภัยหรือใช้เพื่อการสอดส่องดูแลเหตุการณ์หรือสถานะการณ์ต่างๆ ที่นอกเหนือจากการรักษาความปลอดภัย ระบบโทรทัศน์วงจรปิดได้ติดตั้งครั้งแรกโดยบริษัท Siemens ที่เมือง Peenemünde ประเทศเยอรมนีในปี ค.ศ. 1942 ต่อมาการใช้โทรทัศน์วงจรปิดได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นใน ธนาคาร สถานที่ราชการ ที่สาธารณะ หรือแม้กระทั่งบริษัทห้างร้านต่างๆ [7] จนกระทั่งงานด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานระยะไกลเช่น งานด้านรังสีสูง งานกู้วัตถุระเบิด และงานที่เสี่ยงต่ออันตราย เป็นต้น โครงสร้างของระบบโทรทัศน์วงจรปิดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ กล้องโทรทัศน์ สายส่งสัญญาณ และจอแสดงภาพโทรทัศน์ ดังในแผนภาพภาพที่ 2.1

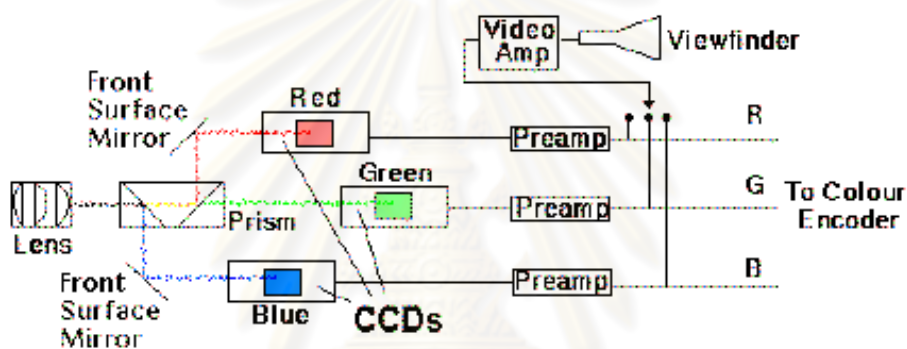


ภาพที่ 2.1 แผนภาพของระบบโทรทัศน์วงจรปิดชนิดภาพขาวดำ

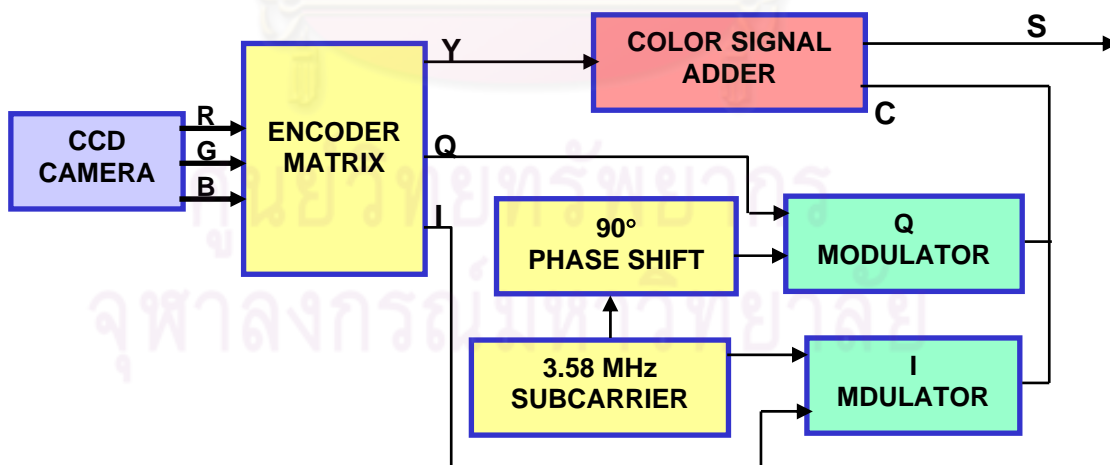
ระบบโทรทัศน์เป็นระบบส่งสัญญาณภาพระยะไกล ที่ต้องอาศัยเทคนิคการสแกนสัญญาณภาพของกล้องโทรทัศน์ จากจุดภาพ (Pixel) เป็นเส้นภาพแนวนอน/แนวตั้งประกอบกันเป็นกรอบภาพต่อเนื่องในลักษณะภาพเคลื่อนไหว ระบบรับสัญญาณภาพนั้นจอโทรทัศน์จะแสดงภาพด้วยระบบสแกนเข้าจังหวะกับการสแกนของกล้องโทรทัศน์ ดังนั้นระบบส่งโทรทัศน์จึงต้องส่งทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเข้าจังหวะในแนวนอนและแนวตั้ง (H-sync, V-sync) มายังระบบรับโทรทัศน์และเพื่อความสะดวกในการส่งสัญญาณระยะไกล จึงมีการรวมสัญญาณภาพและ

สัญญาณเข้าจ้งหะเป็นชุดสัญญาณเดียวกัน เรียกว่า สัญญาณภาพคอมโพสิต (Composite video signal)

ในระยะแรกระบบกล้องโทรทัศน์และจอแสดงภาพจะเป็นระบบขาวดำ (Black and white TV system) ต่อมาได้วิวัฒนาการเป็นระบบโทรทัศน์สี (Color TV system) ซึ่งกล้องโทรทัศน์สีจะต้องส่งสัญญาณภาพที่เกิดจากการแยกองค์ประกอบแม่สีแสง (RGB) ที่เกิดจากจุดรับภาพของอุปกรณ์รับภาพด้วยระบบสแกนภาพในกล้องโทรทัศน์ดังแผนภาพภาพที่ 2.2 ผ่านระบบผสมสัญญาณภาพสีในกระบวนการเข้ารหัสสัดส่วนสีมาตรฐานดังแผนภาพภาพที่ 2.3 ในรูปสัญญาณภาพสีคอมโพสิต (S) ซึ่งต้องมีสัญญาณเข้าจ้งหะในการถอดรหัสสัญญาณภาพสีในระบบจอภาพโทรทัศน์สี ดังแสดงสัดส่วนสีมาตรฐานและองค์ประกอบสัญญาณภาพสีคอมโพสิตในภาพที่ 2.4

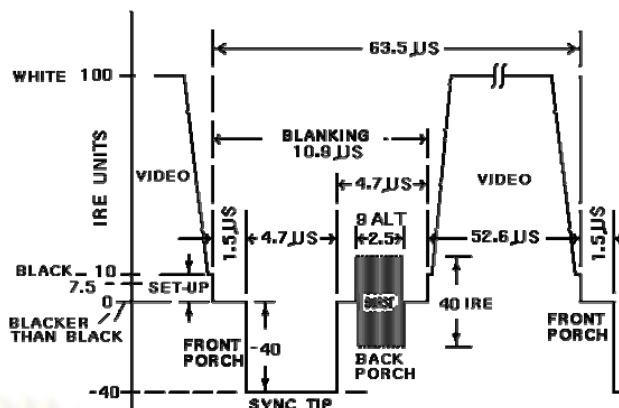


ภาพที่ 2.2 แผนภาพของระบบกล้องโทรทัศน์วงจรมอดูลาปิดชนิดภาพสี



ภาพที่ 2.3 แผนภาพของการผสมสัญญาณภาพในระบบส่งโทรทัศน์สี

Luminance Signal
 $Y = aR + aG + aB$
Chrominance Signal
 $Q = a(R-Y) + a(B-Y)$
 $I = a(R-Y) - a(B-Y)$
White Color (Day light)
 $Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$



ภาพที่ 2.4 สัดส่วนสีมาตรฐานและองค์ประกอบสัญญาณภาพสีคอมโพสิต [8]

โครงสร้างของกล้องโทรทัศน์สีประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้ ระบบเลนส์ อุปกรณ์รับภาพสี่ระบบสแกนภาพ ระบบผสมสัญญาณภาพสีและระบบขับสัญญาณวิดีโอโทรทัศน์สีคอมโพสิต บรรจุในโครงกล้อง ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันกล้องโทรทัศน์สีสำหรับระบบโทรทัศน์วงจรมีขนาดเล็กและราคาถูกลงมาก ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 นอกจากนี้ยังมีระบบส่งสัญญาณภาพแบบดิจิทัลที่ออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อสัญญาณได้โดยตรงกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ทำให้ง่ายต่อการแสดงภาพและการบันทึกภาพ ตลอดจนการใช้โปรแกรมปรับแต่งเสริมคุณภาพของภาพให้ชัดเจนได้ ส่วนประกอบสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทรทัศน์ คือ อุปกรณ์รับภาพ

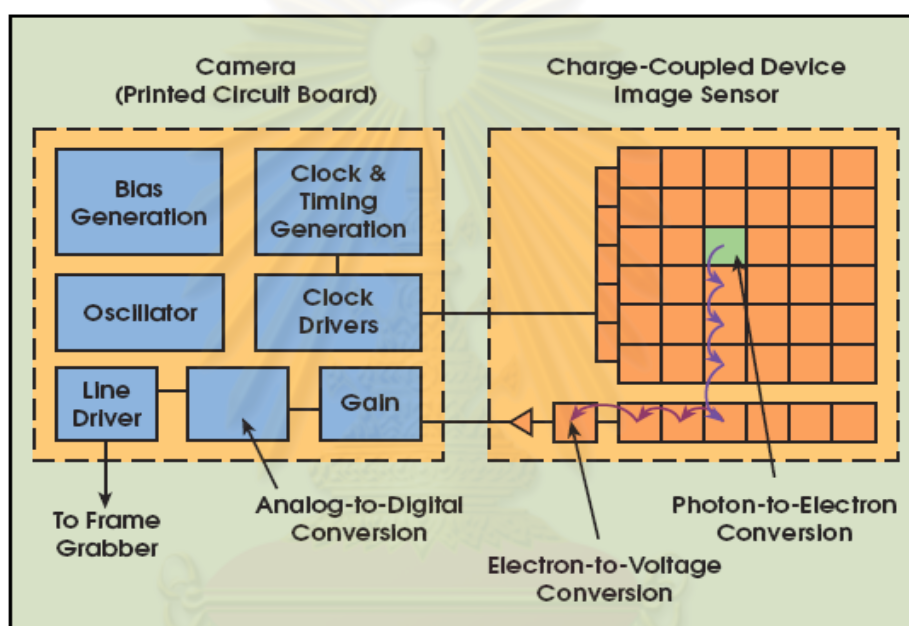


ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกล้องโทรทัศน์สีสำหรับวงจรมีขนาดเล็ก

2.2 อุปกรณ์รับภาพของกล้องโทรทัศน์

อุปกรณ์รับภาพเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตมาจากซิลิคอน มีหน้าที่เปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ปัจจุบันเทคโนโลยีอุปกรณ์รับภาพแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์รับภาพชนิด Charge Coupled Device (CCD) และ Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) [9] ในอุปกรณ์รับภาพจะประกอบด้วยเซนเซอร์รับแสงจำนวนมาก เพื่อกำเนิดจุดภาพ

หรือ พิกเซล (Pixel, Picture Element) ในภาพที่ 2.6 แสดงแผนภาพโครงสร้างภายในของอุปกรณ์รับภาพชนิด CCD เมื่อแต่ละจุดภาพได้รับโฟตอนแสง จะเปลี่ยนโฟตอนแสงไปเป็นประจุไฟฟ้าตามสัดส่วนปริมาณความเข้มแสง จากนั้นประจุเหล่านั้นจะถูกถ่ายโอนไปยังส่วนส่งสัญญาณทางออก (Output) เพื่อนำไปแปลงเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าในลักษณะสัญญาณแอนะล็อก (Analog) รออยู่ที่ส่วนบัฟเฟอร์ (Buffer) ข้อมูล ก่อนที่จะแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital) และส่งออกจากอุปกรณ์ชิป (Chip) โดยตัวรับแสงทุกเซลล์จะให้สัญญาณทางออกที่มีความสม่ำเสมอสูง ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพโทรทัศน์ รูปร่างของอุปกรณ์รับภาพ CCD ในกล่องถ่ายภาพโทรทัศน์แสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างภายในของ อุปกรณ์รับภาพชนิด CCD

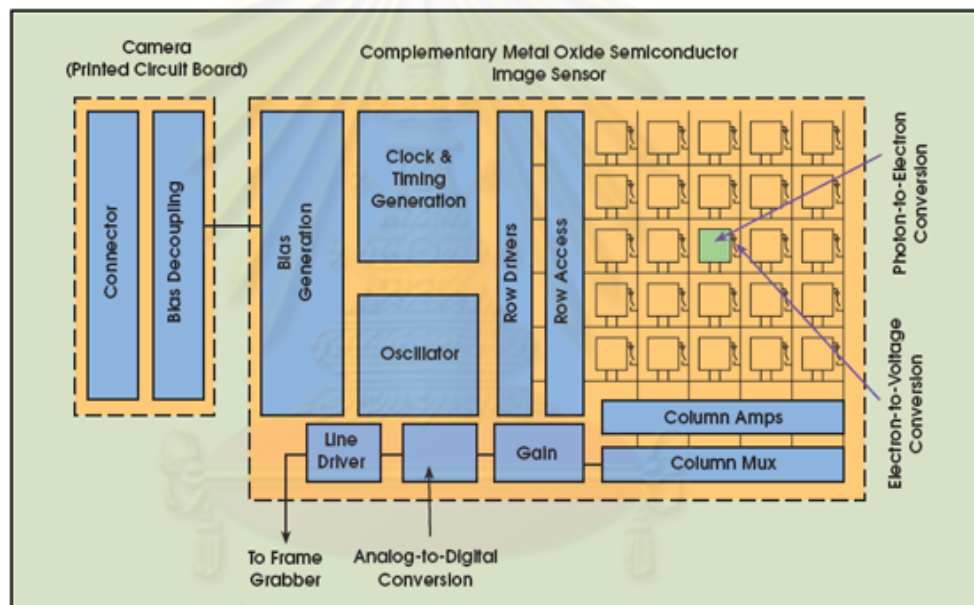


ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์รับภาพ CCD

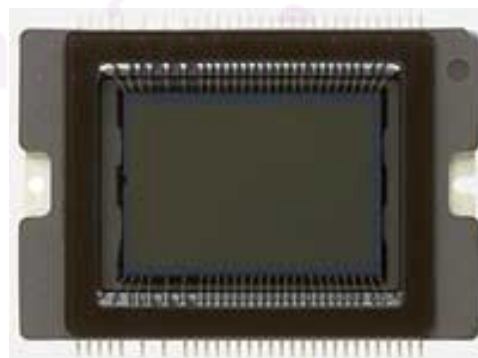
สำหรับอุปกรณ์รับภาพชนิด CMOS ซึ่งมีแผนภาพโครงสร้างอุปกรณ์ในภาพที่ 2.8 นั้น เป็นอุปกรณ์รับภาพที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า อุปกรณ์รับภาพ CCD โดยแต่ละพิกเซลของอุปกรณ์

รับภาพ CMOS ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ไวแสงแปลงประจุเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ในตัวเอง ส่งสัญญาณออกจากบริเวณพื้นที่เซนเซอร์ไวแสงในรูปแมทริกซ์ (Matrix) ผ่านส่วนขยายสัญญาณ ก่อนเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัลส่งออกจาก chip จากเทคโนโลยีการแปลงสัญญาณที่เพิ่มเข้าไปในอุปกรณ์รับภาพ ช่วยให้แต่ละพิกเซลสามารถทำการแปลงปริมาณประจุไฟฟ้าเป็นระดับศักย์ไฟฟ้าได้เอง มีผลให้ความเร็วในการแปลงสัญญาณเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ในการรับแสงลดน้อยลง ทำให้ความสม่ำเสมอของสัญญาณไม่ค่อยดี แต่จะจับภาพเคลื่อนไหวได้รวดเร็ว รูปร่างของอุปกรณ์รับภาพ CMOS แสดงในภาพที่ 2.9

ในทางปฏิบัติการเลือกชนิดของกล้องโทรทัศน์ให้เหมาะกับงานจึงจำเป็นต้องการพิจารณาข้อเปรียบเทียบของอุปกรณ์รับภาพ แต่ละชนิดที่ใช้ในกล้องโทรทัศน์นั้นๆ คุณสมบัติของข้อแตกต่างของอุปกรณ์รับภาพ CCD และอุปกรณ์รับภาพ CMOS เปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างภายในของ อุปกรณ์รับภาพ CMOS



ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์รับภาพ CMOS

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างอุปกรณ์รับภาพ และ CCD อุปกรณ์รับภาพ CMOS

รายการ	CCD	CMOS
Signal Out of pixel	Electron Packet	Voltage
Signal Out of Chip	Voltage (Analog)	Bits (Digital)
Signal Out of Camera	Bits (Digital)	Bits (Digital)
Fill Factor	High	Moderate
Amplifier Mismatch	N/A	Moderate
System Noise	Low	Moderate to High
System Complexity	High	Low
Sensor Complexity	Low	High
Camera Comments	PCB+ Multiple Chip + Lens	Chip + Lens
Responsibility	Moderate	Slightly better
Dynamic Range	High	Moderate
Uniformity	High	Low to Moderate
Uniform Shuttering	Fast, Common	Poor
Speed	Moderate to High	Higher
Windowing	Limited	Extensive
Anti-blooming	High to None	High
Biasing and Clocking	Multiple, Higher Voltage	Single, Low- Voltage

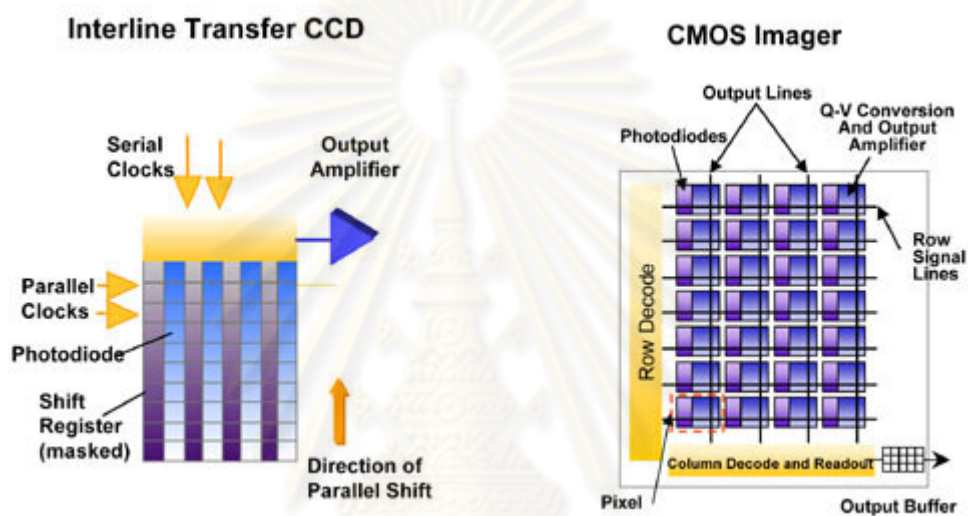
2.3 ความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS

กล้องโทรทัศน์ในปัจจุบันนั้นจะนิยมใช้เซนเซอร์รับภาพอยู่ 2 แบบ คือ CCD และ CMOS โดยจะเป็นการนำเทคโนโลยีจากกล้องดิจิทัลทั่วไปมาประยุกต์ใช้ ซึ่งความแตกต่างของเซนเซอร์รับภาพ 2 แบบ แสดงในภาพที่ 2.10 สรุปได้ดังนี้

1. CCD (Charge Coupled Device) : เป็นเซนเซอร์รับภาพชนิดที่มีเทคโนโลยีใหม่กว่า ให้คุณภาพของภาพที่สูงกว่า มีความไวในการรับภาพสูงกว่า มีอัตราการสูญเสียเม็ดสีน้อยกว่า สามารถรองรับการถ่ายภาพในที่ๆ มีแสงน้อยได้ดีกว่า แต่ข้อด้อยก็คือ มีต้นทุนในกระบวนการผลิตสูงกว่า และ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแบตเตอรี่มากกว่า ซึ่ง CCD

มักจะถูกนำไปใช้กับ โทรศัพท์มือถือที่เน้นฟังก์ชันการถ่ายภาพ ซึ่งมีผลให้ราคาของตัวเครื่องสูงขึ้นตามไปด้วย

2. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) : เป็นเซนเซอร์รับภาพชนิดที่มักจะถูกเลือกนำไปใช้กับ โทรศัพท์มือถือ ที่มีราคาไม่แพง มีคุณสมบัติความไวในการรับแสงที่ต่ำกว่า ดังนั้นเวลาอยู่ในสถานที่ๆ มีแสงน้อย จะให้เกิด Noise หรืออาการพวามัวมากกว่า มีอัตราการสูญเสียเม็ดสีมากกว่า แต่ข้อดี คือ ใช้พลังงานต่ำกว่า และมีขนาดของระบบการทำงานที่เล็กกว่า



ภาพที่ 2.10 ความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS

2.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์รับภาพ CCD และอุปกรณ์รับภาพ CMOS

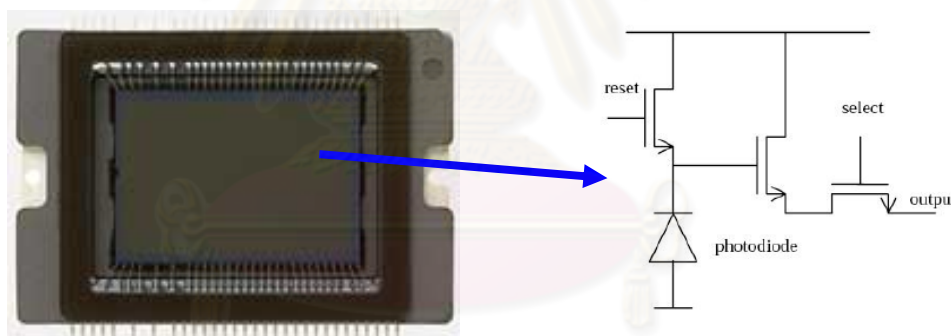
1. อุปกรณ์รับภาพ CCD มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าอุปกรณ์รับภาพ CMOS
2. ในขนาดพื้นที่เท่ากันอุปกรณ์รับภาพ CCD จะมีความไวแสงสูงกว่า CMOS เพราะมีส่วนที่รับแสงได้มาก เนื่องจากลักษณะภายในอุปกรณ์รับภาพ CCD
3. อุปกรณ์รับภาพ CMOS มีความเร็วในการทำงานมากกว่าอุปกรณ์รับภาพ CCD เนื่องจากเซลล์รับแสงแต่ละตัวแปลงสัญญาณโดยตรง
4. คุณภาพด้านภาพของอุปกรณ์รับภาพ CCD จะดีกว่าอุปกรณ์รับภาพ CMOS เนื่องจากมีความละเอียดมากกว่า ให้จุดภาพที่คมชัดกว่า ให้สีที่เหมือนจริงมากกว่า
5. อุปกรณ์รับภาพ CCD มีอัตราสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to noise ratio) สูงกว่า จึงมีสัญญาณรบกวนภาพน้อยกว่า CMOS
6. อุปกรณ์รับภาพ CCD มีช่วงตอบสนองของคลื่นแสงกว้างกว่า คือ สามารถรับแสงได้ตั้งแต่ช่วงแสงเหนือม่วง (Ultraviolet - UV) ไปจนถึงแสงใต้แดง (Infrared - IR)

7. อุปกรณ์รับภาพ CCD ใช้พลังงานมากกว่าอุปกรณ์รับภาพ CMOS เนื่องจากต้องมีวงจรถ่ายโอนประจุและแปลงสัญญาณเพิ่มในระบบ

นอกจากนี้อุปกรณ์รับภาพ CCD ยังมีข้อได้เปรียบกว่าอุปกรณ์รับภาพ CMOS อีก คือเรื่องความแรงของสัญญาณ เนื่องจากอุปกรณ์รับภาพ CCD มี S/N ต่ำกว่าอุปกรณ์รับภาพ CMOS จึงมีสัญญาณที่มารบกวนน้อยกว่า สามารถส่งสัญญาณไปได้ในระยะที่ไกลมากกว่า โดยที่ยังรักษาคุณภาพของภาพไว้ได้ หมายถึงกล้องโทรทัศน์ที่ใช้อุปกรณ์รับภาพ CCD สามารถเดินสายสัญญาณได้ไกลกว่ากล้องโทรทัศน์ที่ใช้อุปกรณ์รับภาพ CMOS ทำให้ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมใดๆ ขั้วสัญญาณ

2.5 การเกิด Noise, Hot Pixel และ Dead Pixel ในอุปกรณ์รับภาพ

ไม่ว่าจะเป็นกล้องโทรทัศน์ชนิดใดโครงสร้างของพิกเซลของแผ่นรับภาพแต่ละจุดจะมีลักษณะเป็นโฟโตไดโอดสามารถทำงานคล้ายกับหัววัดรังสีกึ่งตัวนำได้ จากภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของวงจรพิกเซลแต่ละจุดบนแผ่นรับภาพซีมอส ดังนั้นเมื่อพิกเซลได้รับความร้อนหรือรังสีจะก่อให้เกิดสัญญาณกระแสกับสัญญาณที่รับจากภาพ ก่อให้เกิดสิ่งรบกวนมีผลต่อภาพ



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของวงจรพิกเซลแต่ละจุดบนแผ่นรับภาพซีมอส

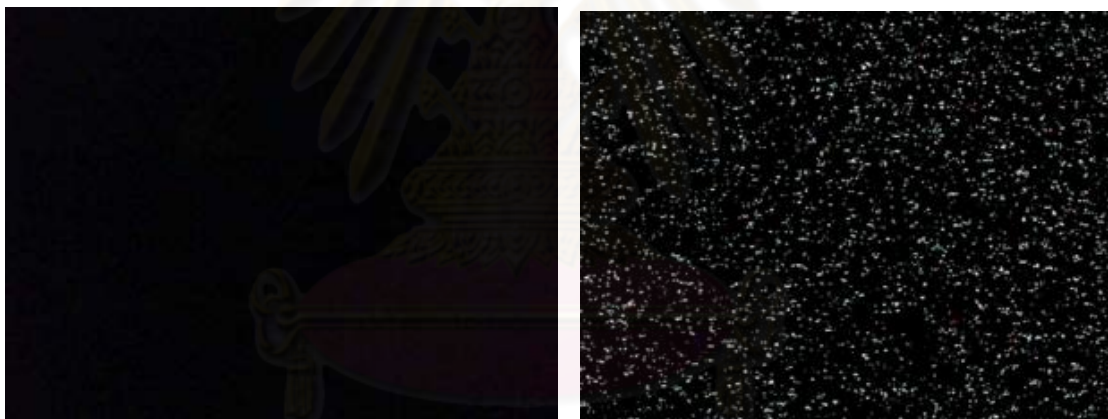
การเกิดสัญญาณที่มีผลรบกวนภาพแบ่งออกได้ ดังนี้

1. Noise ลักษณะเป็นจุดหรือจ้ำเล็กๆ ที่มีความสว่างไม่มากกระจายเต็มภาพ มีสาเหตุได้หลายประการ เช่น การอ่านสัญญาณไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้พิกเซลไวแสงมีความร้อนสูง สภาพอากาศร้อน พิลเตอร์ที่ใช้บนหน้าพิกเซลไวแสงกรองแสงไม่เท่ากัน เป็นต้น
2. Stuck pixel เกิดจากพิกเซลบางส่วนเป็นจุดสว่างขึ้นมา โดยไม่ขึ้นกับความไวแสงจนเข้าใจผิดว่าเป็น Dead Pixel ทั้งที่เกิดชั่วคราว
3. Dead pixel เกิดจากพิกเซลเสียหายจากการรับปริมาณรังสีสูง ทำให้ไม่สร้างสัญญาณภาพได้ กลายเป็นจุดสีดำในภาพถาวร

4. Hot pixel ลักษณะเป็นจุดหรือจ้ำเล็กๆ สว่างกระจายเต็มภาพ เป็นผลจากการที่พิกเซลได้รับรังสีจนเกิดสัญญาณกระแสในตัวกลายเป็นพิกเซลสว่าง ลักษณะเป็นจุดสว่างของกลุ่ม pixel อาจเป็นสีน้ำเงิน สีแดง หรือเขียว ขึ้นกลับพิกเซลที่ได้รับรังสีเป็นของพิกเซลสีใด

2.6 ผลของ Hot Pixel และ Noise ที่มีต่อภาพ

Noise และ Hot pixel ที่เกิดขึ้นจะเป็นความสกปรกบนพื้นภาพ ตามปกติแล้วจะมีการเกิด Hot pixel และ Noise เล็กน้อยเสมอจากผลของความร้อนและปริมาณรังสีในระดับแบกกราวด์ ถ้าไม่สังเกตดูจะไม่สามารถเห็น เนื่องจากมีปริมาณน้อยจึงกลมกลืนไปกับโทนสี แต่ในบริเวณรังสีสูงจะเกิด Hot pixel จำนวนมากจนเห็นได้ชัดและรบกวนคุณภาพของภาพ ในรูปที่ 2.12 เป็นการทดสอบแสดงภาพจากกล้องโทรทัศน์ทำงานขณะปิดฝาครอบเลนส์ กรณีภาพ 2.12 ก. เมื่อถ่ายภาพในบริเวณที่ไม่มีการรบกวนพื้นหลังภาพจนมืดสนิท กรณีภาพที่ 2.12 ข. เมื่อถ่ายภาพในบริเวณที่บริเวณรังสีสูงพื้นหลังภาพจะถูกรบกวนจนกระทบต่อคุณภาพของภาพ



(ก) ไม่มีการรบกวน (ข) เกิด Hot pixel จากผลของรังสี
ภาพที่ 2.12 ภาพจากกล้องโทรทัศน์ทำงานขณะปิดฝาครอบเลนส์

2.7 ผลของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

ได้มีการศึกษาพบว่าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทุกชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือเกิดการเสียหายเมื่อได้รับปริมาณรังสีสะสมระดับสูง หรือแม้แต่โครงสร้างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับรังสีตกกระทบจะเกิดกระแสรั่วไหล (Leakage current) ขึ้น ด้วยเหตุนี้การนำกล้องโทรทัศน์มาใช้ในบริเวณระดับรังสีสูงจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์วงจรปิดตั้งแต่ระดับปริมาณรังสีไม่สูงมากก่อให้เกิด Hot pixel จนถึงปริมาณรังสีสูงถึงระดับการเกิด

Dead pixel ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายฉบับได้แสดงให้เห็นถึง ผลกระทบของรังสีที่มีต่อ ส่วนประกอบของกล้อง ได้แก่ เลนส์ อุปกรณ์รับภาพ สายส่งสัญญาณและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ผลกระทบของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์ดังกล่าวจะมีผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณและผล ต่ออุปกรณ์ใด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลรังสีต่ออุปกรณ์รับภาพ CCD โดยได้ทดลองการ ฉายรังสีโปรตอนและรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 บนอุปกรณ์รับภาพ CCD ที่ปริมาณรังสีในระดับ ก่อให้เกิดการแตกตัวประจุ (Total Ionizing Dose) จนถึงระดับปริมาณรังสีสะสมที่ทำให้เกิดความ เสียหาย (Displace Damage Dose) ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์รับ ภาพชนิด CCD [10] ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบมองภาพทรวงรังสีสูง สำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกล ด้วยกล้องโทรทัศน์ที่ใช้อุปกรณ์รับภาพชนิด CCD

จากการทดสอบด้วยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยแปรเปลี่ยนปริมาณรังสี จาก 0 krad (Si), 7 krad (Si), 20 krad (Si), 50 krad (Si), 70 krad (Si) และ 10^{11} krad (Si) ผลกระทบที่เกิดขึ้นแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 2.2 ส่วนการทดลองฉายรังสีด้วยแหล่งโปรตอน พลังงาน 10.8 MeV แปรเปลี่ยนปริมาณรังสีจาก 0 Proton/cm², 10^9 Proton/cm², 3×10^9 Proton/cm², 10^{10} Proton/cm², 3.4×10^9 Proton/cm² และ 10^{10} Proton/cm² ผลกระทบที่เกิดขึ้น แสดงเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่ากระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นและเมื่อความเข้มของ โปรตอนถึงระดับ 10^{11} Proton/cm² อุปกรณ์รับภาพจะเกิดความเสียหายถาวร

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของรังสีแกมมาต่ออุปกรณ์รับภาพ CCD

Parameter	Accumulated Ionizing Dose (krad(Si))					
	0	7	20	50	70	10^{11}
Saturation Output Voltage (mV)	550	563.1	556.1	550.4	592.2	Function Failure
RMS noise (mV)	0.11	0.289	0.426	0.430	0.426	
Dynamic Range (dB)	73.6	65.8	62.3	62.1	62.8	
Noise Equivalent Exposure (Lx)	0.0081	0.021	0.025	0.033	0.036	
Saturation Equivalent Exposure (Lx)	34	36.9	35.9	36.1	18.2	
Fixed Pattern Noise (mV)	0.29	0.39	0.53	0.765	1.098	
Photon response Non-Uniformity (%)	4.59	4.56	4.70	4.58	1.878	
Vertical CTV (%)	99.9991	99.9991	99.9991	99.9992	99.9996	
Dark signal (mV)	4.37	3.73	1.80	7.42	43.47	

ตารางที่ 2.3 ผลของรังสีโปรตอนต่ออุปกรณ์รับภาพ CCD

Parameter	Fluence of proton (Proton/cm ²)				
	0	10 ⁹	3×10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹
Saturation Output Voltage (mV)	599.9	602.7	603.4	603.6	Function Failure
RMS noise (mV)	0.23	0.322	0.314	-1)	
Dynamic Range (dB)	68.3	65.4	65.7	-1)	
Noise Equivalent Exposure (Lx)	0.019	0.024	0.0252	-1)	
Saturation Equivalent Exposure (Lx)	41.35	41.97	43.29	-1)	
Fixed Pattern Noise (mV)	0.271	0.36	0.47	0.776	
Photon response Non-Uniformity (%)	4.04	3.97	3.94	-1)	
Vertical CTV (%)	99.999	-1)	-1)	99.9877	
Dark signal (mV)	4.6	5.05	4.14	17.5	

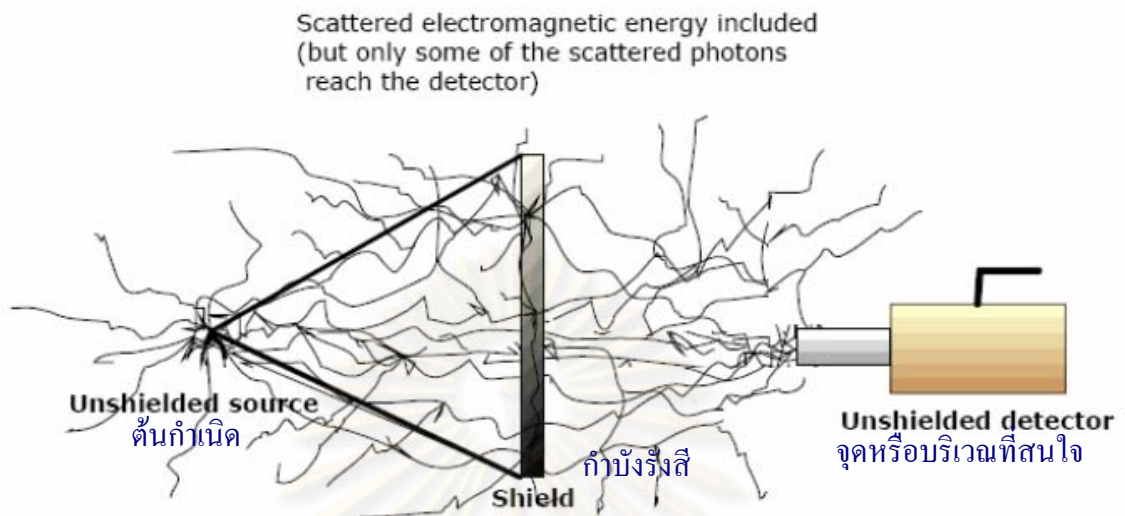
หมายเหตุ -1) ไม่มีการวัดค่า

2.8 การออกแบบกำบังรังสีด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โล

จากที่กล่าวแล้วว่ารังสีมีผลกระทบต่ออุปกรณ์รับภาพและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในแง่การรบกวนสัญญาณภาพ จนถึงขั้นปริมาณรังสีสะสมสูงจนทำให้อุปกรณ์เสียหาย ดังนั้นการนำกล้องโทรทัศน์ไปใช้งานในบริเวณที่มีระดับรังสีสูงจึงต้องลดระดับปริมาณรังสีโดยใช้เครื่องกำบังรังสี วัสดุกำบังรังสี คือ วัสดุที่ใช้ห่อหุ้ม หรือใช้กั้นลำรังสีเพื่อลดปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดรังสี

ในการใช้งานกล้องโทรทัศน์บริเวณรังสีแกมมาจะต้องใช้เครื่องกำบังรังสีลดทอนปริมาณรังสี การออกแบบกำบังรังสีจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาปริมาณรังสีที่ลดลงเนื่องจากการสูญเสียพลังงานเมื่อรังสีเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างๆ (Radiation Transport) โดยเมื่อรังสีเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีและตัวกลางนั้นๆ เช่น เมื่อรังสีแกมมาวิ่งผ่านตัวกลางจะเกิดอันตรกิริยาที่สำคัญได้แก่ Photoelectric absorption, Compton scattering และ Pair production ซึ่งผลของอันตรกิริยาเหล่านี้จะทำให้ปริมาณรังสีลดลงและนอกจากนี้ยังทำให้การกระจายตัวของพลังงาน (Energy Spectrum) ของรังสีแกมมามีความแตกต่างไปจากเดิม องค์ประกอบตัวแปรในการคำนวณกำบังรังสีโดยทั่วไปจะประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสี วัสดุกำบังรังสี และจุดหรือบริเวณที่สนใจ ดังในภาพที่ 2.13 โดยต้นกำเนิดรังสีอาจเป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุด

(Point source) ต้นกำเนิดรังสีแบบเส้น (Line source) ต้นกำเนิดรังสีแบบพื้นที่ (Area source) หรือต้นกำเนิดรังสีแบบปริมาตร (Volumetric source)



ภาพที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปขององค์ประกอบการคำนวณกำบังรังสี

กรณีการคำนวณกำบังรังสีสำหรับรังสีแกมมาเมื่อทราบค่าฟลักซ์ของรังสีแกมมาในบริเวณที่สนใจ จะทำให้ทราบปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed Dose) ได้โดยการคูณกับค่า Response Function ตามสมการ 2.1 [11]

$$X = \int_E R_x(E)\phi(E)dE \dots\dots\dots (2.1)$$

- E = พลังงานของรังสี
- $R_x(E)$ = Response Function ในการเปลี่ยนจากค่าฟลักซ์ของรังสีแกมมาเป็นค่าปริมาณรังสีดูดกลืนซึ่งขึ้นกับพลังงาน
- $\phi(E)$ = ค่าฟลักซ์ของรังสีแกมมาในบริเวณที่สนใจ
- X = ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed Dose)

ทั้งนี้เทคนิคมอนเตคาร์โล (Monte-Carlo) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้คำนวณหาค่าฟลักซ์ของรังสีในบริเวณที่สนใจได้และได้รับความนิยมการประยุกต์ใช้งานคำนวณกำบังรังสีทั่วไป เนื่องจากสามารถคำนวณการเคลื่อนที่ของรังสีในรูปทรงที่ซับซ้อนและสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีในลักษณะพลังงานต่อเนื่องได้ (Continuous Energy) ได้โดยไม่ต้องมีการประมาณรูปทรงและประมาณพลังงาน ดังนั้นจึงมีความแม่นยำสูง [12] ซึ่งเทคนิค

มอนเตคาร์โลเป็นวิธีการจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีโดยตรงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ หลักการใช้เทคนิคมอนเตคาร์โลจะทำการจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีใดๆ เสมือนกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยจะจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคครั้งละหนึ่งอนุภาคและติดตามเส้นทางและพลังงานของอนุภาคนั้นจนกว่าจะถูกดูดซับหรือหลุดออกจากบริเวณที่สนใจ การจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โลสามารถติดตามเคลื่อนที่ของรังสีจำนวนมากเนื่องจากเป็นเทคนิคที่นำวิธีการทางสถิติมาใช้ การจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลางด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โลจะใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ของเหตุการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้มาใช้ในการเลือกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่ทำการคำนวณ

การเลือกเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการเคลื่อนที่ของรังสีจะนำเลขสุ่ม (Random number) มาใช้ร่วมกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น เช่น ที่จุดใดจุดหนึ่งในตัวกลางเมื่อรังสีเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางจะใช้ค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในการเกิดอันตรกิริยาที่อาจเกิดขึ้นได้ ณ จุดนั้นมาใช้สำหรับเลือกว่ารังสีจะเกิดอันตรกิริยาแบบใดกับตัวกลางกรณีของการเคลื่อนที่ของรังสีแกมมามีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางได้ 3 ชนิดคือ Photoelectric effect, Compton Scattering และ Pair production และสมมุติว่ามีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละอันตรกิริยาดังนี้

$P_{pe} = a$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิด Photoelectric effect

$P_{ct} = b$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิด Compton scattering

$P_{pp} = c$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิด Pair production

เทคนิคมอนเตคาร์โลจะใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นมาคำนวณฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative density function) ดังนี้

$C_{pe} = \frac{a}{a+b+c}$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมของการเกิด Photoelectric effect

$C_{ct} = \frac{b}{a+b+c}$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมของการเกิด Compton scattering

$C_{pp} = \frac{c}{a+b+c}$; ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมของการเกิด Pair production

เมื่อทำการสุ่มตัวเลข (n) ระหว่าง 0 ถึง 1 และเปรียบเทียบกับค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสมจะสามารถเลือกอันตรกิริยาได้ดังนี้

- เมื่อ $0 \leq n < \frac{a}{a+b+c}$ จะเลือกการเกิดอันตรกิริยาชนิด Photoelectric effect
- เมื่อ $\frac{a}{a+b+c} \leq n < \frac{a+b}{a+b+c}$ จะเลือกการเกิดอันตรกิริยาชนิด Compton scattering
- เมื่อ $\frac{a+b}{a+b+c} \leq n < 1$ จะเลือกการเกิดอันตรกิริยาชนิด Pair production

กระบวนการในเทคนิคมอนเตคาร์โลจะมีการใช้เลขสุ่มสำหรับการเลือกเหตุการณ์ต่างๆ ที่มีความสุ่มโดยธรรมชาติเช่น การเลือกพลังงานของรังสีจะเกิดขึ้น การเลือกทิศทางของรังสีที่จะเคลื่อนที่ไป การเลือกอันตรกิริยาที่จะเกิดขึ้น เป็นต้น

เมื่อรังสีที่ติดตามเคลื่อนที่ผ่านจุดหรือบริเวณที่สนใจแต่ละครั้งจะทำการคำนวณระยะทางที่รังสีที่เคลื่อนที่ ผ่านในบริเวณที่สนใจ (Track length) เพื่อนำมาคำนวณค่าฟลักซ์ของรังสีตามสมการ 2.2 ดังนี้

$$\phi = \sum_i \left[W \frac{T_i}{V} \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

- T_i = ระยะทางที่รังสีที่เคลื่อนที่ผ่านในบริเวณที่สนใจ (Track length)
- V = ปริมาตรของบริเวณที่สนใจ
- W = ค่าถ่วงน้ำหนักของรังสี (ปกติจะเท่ากับ 1)
- i = จำนวนครั้งที่รังสีที่ติดตามเคลื่อนที่ผ่านจุดหรือบริเวณที่สนใจ

เนื่องการจำลองด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โลจะทำการจำลองการเคลื่อนที่ของรังสีจำนวนมากและนำผลค่าฟลักซ์ที่คำนวณได้มาหาค่าเฉลี่ยเป็นผลลัพธ์เชิงสถิติต่อไป ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจำลองด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โลจะประกอบด้วยค่าเฉลี่ย (Mean value) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยปกติจะนิยมคำนวณให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย และเพื่อที่จะลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานให้น้อยกว่าค่าดังกล่าวจะต้องกำหนดจำนวนของรังสีที่จำลองให้มีปริมาณมากเพียงพอ

บทที่ 3

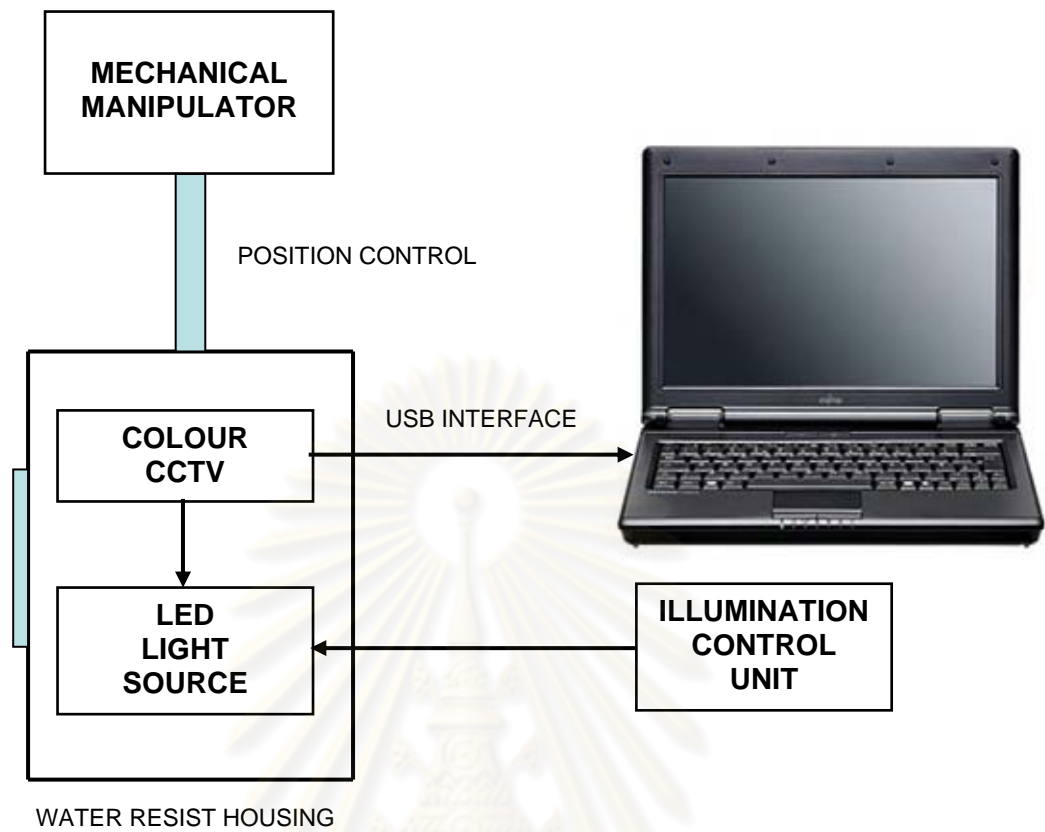
การพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกล เพื่อใช้สำหรับสนับสนุนการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงและงานเฝ้าติดตามในพื้นที่ปฏิบัติการรังสีสูง เช่น งานซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยปว.-1/1 การเฝ้าติดตามและซ่อมบำรุงเครื่องฉายรังสีแกมมา ตลอดจนการตรวจตราด้านความปลอดภัยบริเวณเก็บสารกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีสูง เป็นต้น การปฏิบัติงานดังกล่าวจำเป็นต้องมีกล้องโทรทัศน์วงจรมืดที่ออกแบบให้มีลักษณะพิเศษเฉพาะ โดยสามารถทนต่อการทำลายของรังสีระดับสูง ปรากฏจากสัญญาณรบกวนภาพอันเนื่องมาจากผลของรังสี สามารถช่วยในการมองเห็นได้ในหลายทิศทางจากบริเวณที่ปลอดภัยและในบางโอกาสอาจต้องมีการตรวจสอบใต้น้ำ การวิจัยและพัฒนา มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

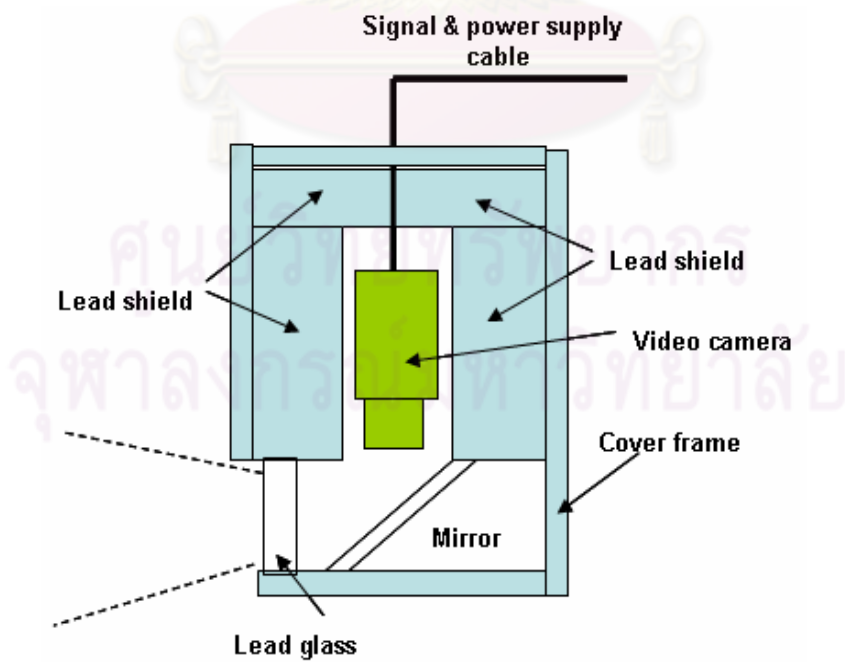
1. การออกแบบระบบมองภาพทนรังสีสูง
2. การคัดเลือกกล้องโทรทัศน์วงจรมืดที่เหมาะสมในการใช้งาน
3. การออกแบบกำลังรังสีสำหรับกล้องโทรทัศน์
4. การออกแบบอุปกรณ์ประกอบของระบบมองภาพ
5. การประกอบระบบมองภาพ

3.1 การออกแบบระบบมองภาพทนรังสีสูง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบข้อมูลทางเทคนิคในการพัฒนาระบบมองภาพทนรังสีสูง เนื่องจากปัญหาที่ผ่านมามีพบว่าขนาดตัวกล้องทั่วไปมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีราคาสูงและมีปัญหาในเรื่องการซ่อมบำรุงและการหาอุปกรณ์ทดแทน จึงเกิดแนวคิดที่จะนำกล้องโทรทัศน์วงจรมืดขนาดเล็กมาออกแบบระบบมองภาพแบบประหยัดให้มีสมรรถนะตรงกับความต้องการที่แท้จริง ด้วยการออกแบบโครงสร้างระบบให้มีความสามารถทนต่อรังสี ทำงานใต้น้ำและสามารถควบคุมการปรับตำแหน่งระยะไกลได้ โดยมีขนาดกระทัดรัดเคลื่อนย้ายง่าย ด้วยข้อมูลความต้องการดังกล่าวจึงได้ออกแบบระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกลดังแสดงในภาพที่ 3.1 และออกแบบโครงสร้างในส่วนระบบกล้องมองภาพใต้น้ำดังในภาพที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบ 4 ส่วนได้แก่ กล้องโทรทัศน์วงจรมืดชนิดภาพสี อุปกรณ์กำลังรังสี ระบบมองภาพด้วยกระจกสะท้อน ระบบไฟส่องสว่าง โครงห่อหุ้มกันน้ำและสายส่งสัญญาณภาพ



ภาพที่ 3.1 แผนภาพระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำ



ภาพที่ 3.2 แผนภาพโครงสร้างของระบบกล้องมองภาพใต้น้ำ

จากโครงสร้างในภาพที่ 3.2 มีปัจจัยสำคัญทางเทคนิค คือ ระบบกล้องโทรทัศน์ต้องมีความสมบูรณ์ในส่งสัญญาณระยะไกลได้อย่างน้อย 5 เมตร เพื่อแสดงภาพบนไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ตัวกล้องโทรทัศน์ต้องติดตั้งแข็งแรงไม่สั่นไหวขณะเคลื่อนตำแหน่งและต้องห่อหุ้มด้วยตะกั่วกำบังรังสีเพื่อลดการรบกวนพื้นภาพจาก Hot pixel ที่เกิดจากผลของรังสี ใช้เทคนิคการมองภาพผ่านช่องกระจกผ่านแผ่นกระจกสะท้อนภาพ โครงสร้างที่ห่อหุ้มระบบกล้องต้องมีน้ำหนักเบา มีผนังกันน้ำและทนการเกิดสนิม นอกจากนี้ต้องมีกลไกควบคุมการเปลี่ยนมุมมองภาพได้น้ำด้วยระบบกล สำหรับการคัดเลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบจะต้องเป็นวัสดุที่สามารถจัดหาและสร้างขึ้นได้ง่าย

3.2 การคัดเลือกกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่เหมาะสมในการใช้งาน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก เนื่องจากมีราคาประหยัดและมีความไวต่อรังสีน้อยกว่ากล้องโทรทัศน์ชนิด CCD จึงน่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้ โดยได้เลือกกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสจากผู้ผลิต 3 บริษัทที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และมีความสมบัติความละเอียดภาพ ความไวต่อแสง ระบบเลนส์เหมาะสมกับงาน เพื่อนำมาทดลองศึกษาข้อมูลผลของรังสีต่อแผ่นรับภาพซีมอส ดังได้ผลการทดลองในข้อ 4.1

การพิจารณาเลือกกล้องโทรทัศน์มาออกแบบระบบมองภาพมีหลักการดังนี้

- ก) ความไวต่อการถูกรบกวนพื้นหลังภาพจากผลของรังสีที่ทำให้เกิดพิกเซลสว่าง (Hot pixel) ขณะทำงานที่ระดับอัตราปริมาณรังสีเดียวกัน (ความไวต่ำ)
- ข) ความละเอียดของการแสดงภาพสูง (จำนวนพิกเซลที่สูง)
- ค) อัตราการแสดงผลเป็นภาพต่อเวลา (ภาพต่อวินาทีสูง)
- ง) ความสมบูรณ์ในส่งสัญญาณระยะไกล (อย่างน้อย 5 m)
- จ) ราคาที่ไม่สูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับกล้องโทรทัศน์สมรรถนะสูง
- ฉ) ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

จากข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของกล้องโทรทัศน์วงจรปิดขนาดเล็กจากผู้ผลิต 3 บริษัทในภาคผนวก ก. ประกอบกับผลการทดลองการตอบสนองผลกระทบของรังสีและการทดสอบความสมบูรณ์ในการส่งสัญญาณระยะไกล ได้นำมาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 3.1 เมื่อพิจารณาข้อมูลเชิงเทคนิคพบว่ากล้องชนิด C มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบมองภาพทวารังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกล โดยระดับอัตราปริมาณรังสีที่ยอมรับ

ให้กล้องทำงานโดยไม่กระทบต่อคุณภาพของภาพเลือกที่ระดับต่ำกว่า 50 mGy/h ในกรณีของรังสีแกมมา

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบของกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก

กล้องของ บริษัท	ราคา (บาท)	ความละเอียดภาพ (ล้านพิกเซล)	อัตราการ แสดงผล (ภาพต่อวินาที)	ระยะส่ง สัญญาณ (เมตร)	จำนวนพิกเซลสว่าง ที่อัตราปริมาณรังสี 50 mGy/h
A	700	1-3	30	4.5	11
B	540	2-10	30	4.8	7
C	390	2-16	60	5.0	6

3.3 การออกแบบกำบังรังสีกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก

การออกแบบการป้องกันรังสีแก่ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องโทรทัศน์และลดการเกิดพิกเซลสว่าง(Hot pixel) ที่รบกวนพื้นภาพของระบบกล้องโทรทัศน์เพื่อใช้งานซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 อาศัยการอ้างอิงข้อมูลอัตราปริมาณรังสีของแท่งเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย TRIGA เพื่อให้ทราบค่าความแรงรังสีที่ต้องป้องกัน การที่จะได้มาซึ่งความแรงรังสีของแท่งเชื้อเพลิงจะต้องใช้ทฤษฎีการคำนวณ burn-up ของแท่งเชื้อเพลิงดังรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การสร้างแบบจำลองสำหรับการคำนวณ burn-up ของแท่งเชื้อเพลิง TRIGA

ในการคำนวณ burn-up ของแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 ได้ใช้รหัสคอมพิวเตอร์ (Computer code) ที่ชื่อว่า ORIGEN-S ซึ่งเป็นรหัสคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ การเกิดผลผลิตฟิชชัน (Fission product) และการประเมินเทอมต้นกำเนิดรังสี (Source term) จากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ทั้งนี้รหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S เป็นรหัสคอมพิวเตอร์ย่อยภายในชุดรหัสคอมพิวเตอร์ SCALE (Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation) ซึ่งพัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการ OAK RIDGE และได้รับความนิยมสำหรับใช้วิเคราะห์ทางนิวเคลียร์โดยเฉพาะการประเมินเพื่อขอใบอนุญาต

การคำนวณ burn-up แท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 เพื่อใช้เป็น Source term สำหรับการออกแบบกำบังรังสีจะทำการจำลองแท่งเชื้อเพลิง 1 แท่ง เนื่องจากการตรวจสอบเชื้อเพลิงจะทำการตรวจสอบที่ละแท่ง ดังนั้นต้นกำเนิดรังสีสำหรับการกำบังรังสีของระบบมองภาพได้นี้จะมาจากแท่งเชื้อเพลิงจำนวน 1 แท่งเท่านั้น แบบจำลองของการ burn-up

แท่งเชื้อเพลิงชนิด 8.5% wt. ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 โดยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S มีส่วนประกอบของเนื้อเชื้อเพลิง $\text{UZrH}_{1.6}$ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบเนื้อเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชนิด 8.5% wt. ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1

ไอโซโทป	น้ำหนัก (กรัม)
Zr-90	1033.0
Zr-91	227.7
Zr-92	351.9
Zr-94	364.4
Zr-96	59.96
H-1	36.00
U-238	154.0
U-235	38.51

การคำนวณนี้จะประเมินการใช้งานเชื้อเพลิงที่ค่าสูงสุดที่ 60.0 GWD/MTU ซึ่งในปัจจุบันเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 มีค่าการใช้งานสูงสุดที่ประมาณ 55 GWD/MTU ดังนั้นผลการคำนวณที่ได้จะเป็นการประเมินแบบอนุรักษ์นิยม (Conservative) สำหรับปริมาณสารกัมมันตรังสีภายในแท่งเชื้อเพลิง นอกจากนี้แบบจำลองจะประเมินปริมาณของผลผลิตฟิชชันและความแรงรังสี ณ เวลาต่างๆ หลังจากหยุดการเดินเครื่อง โดยได้ประเมินที่เวลาหลังจากหยุดเดินเครื่องทันทีจนถึง 1 เดือนหลังจากหยุดเดินเครื่อง

3.3.2 การคำนวณการใช้งานเชื้อเพลิงโดยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S

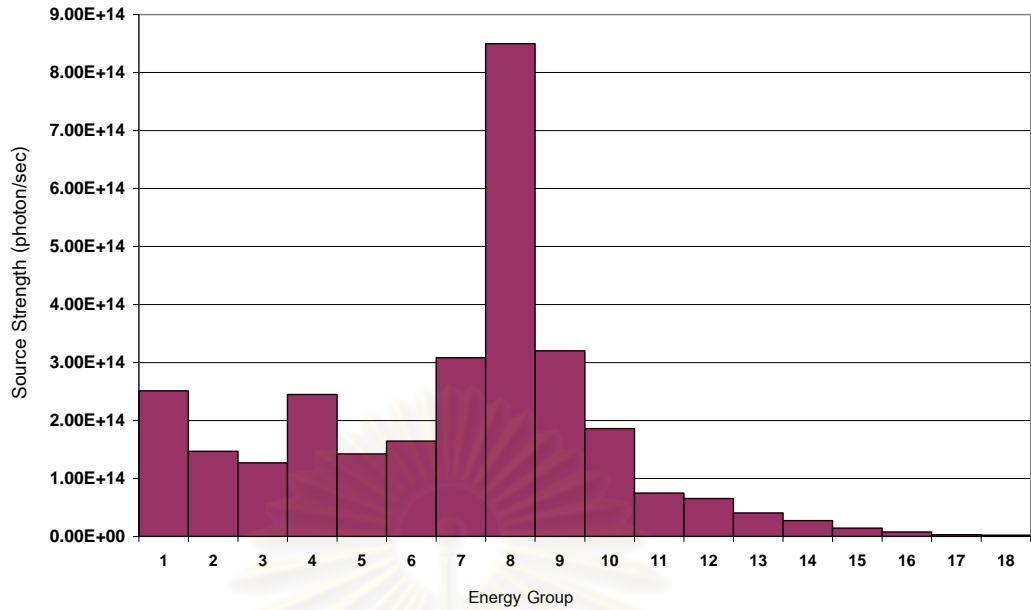
การคำนวณการใช้งานเชื้อเพลิงโดยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S ให้ผลลัพธ์เป็นปริมาณของธาตุ actinide และปริมาณของผลผลิตฟิชชัน รวมทั้งอัตราการปลดปล่อยโฟตอนเป็นเวลาต่างๆ หลังจากหยุดเดินเครื่อง อย่างไรก็ตามเนื่องจากธาตุ actinide และผลผลิตฟิชชันที่เกิดขึ้นภายในแท่งเชื้อเพลิงมีความหลากหลายและประกอบด้วยไอโซโทปจำนวนหลายร้อยชนิด ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการนำผลการคำนวณจากรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S ไปใช้เป็น Source term สำหรับการคำนวณอื่นๆ รหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S ได้ทำการแบ่งกลุ่มของโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตฟิชชันตามระดับพลังงาน โดยได้แบ่งออกเป็น 18 กลุ่มพลังงานครอบคลุมระดับพลังงานตั้งแต่ 20 keV – 10 MeV

ผลการคำนวณการใช้งานเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 โดยรหัส คอมพิวเตอร์ ORIGEN-S เป็นไปตามตารางที่ 3.3 และสเปกตรัมฟิสิกส์ในภาพที่ 3.3

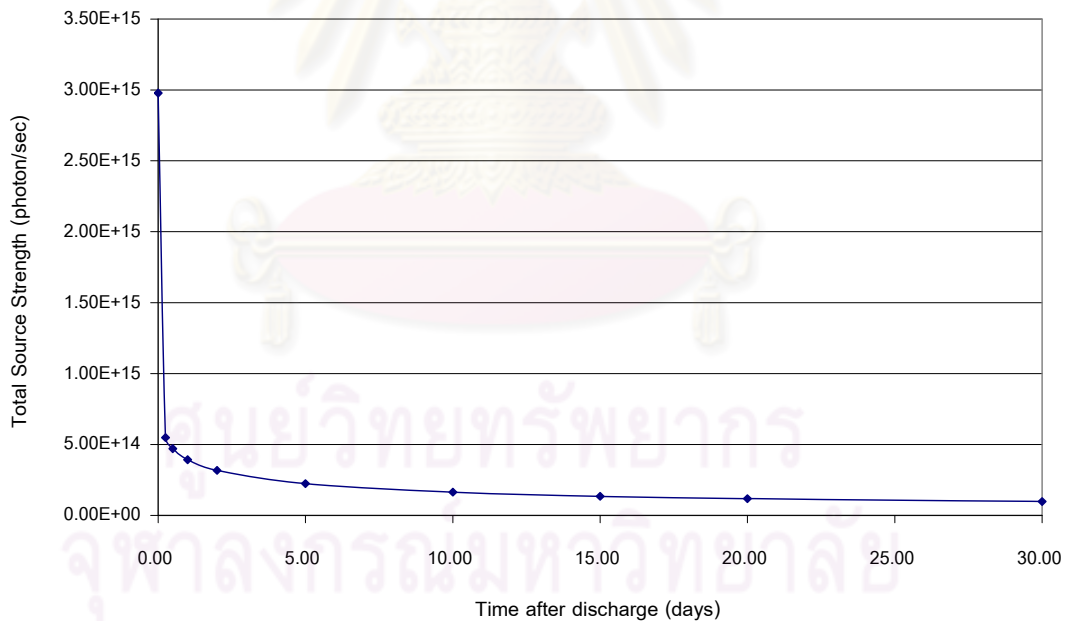
นอกจากนี้อัตราการปลดปล่อยฟิสิกส์จากผลผลิตฟิสิกส์ที่อยู่ในเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 ยังขึ้นกับเวลาที่ผ่านไปหลังจากการหยุดเดินเครื่อง เนื่องจากการสลายตัวของผลผลิตฟิสิกส์ ผลการคำนวณอัตราการปลดปล่อยฟิสิกส์ที่เวลาต่างๆ หลังจากหยุดเดินเครื่องเป็นไปตามภาพที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ฟิสิกส์ที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตฟิสิกส์ ที่อยู่ในเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 ตามระดับพลังงาน

กลุ่มพลังงานที่	ช่วงพลังงานของฟิสิกส์ (MeV)	Source strength (ฟิสิกส์วินาที)
1	2.00E-02 - 3.50E-02	2.51x10 ¹⁴
2	3.50E-02 - 5.00E-02	1.47x10 ¹⁴
3	5.00E-02 - 7.50E-02	1.27x10 ¹⁴
4	7.50E-02 - 1.25E-01	2.45x10 ¹⁴
5	1.25E-01 - 1.75E-01	1.43x10 ¹⁴
6	1.75E-01 - 2.50E-01	1.65x10 ¹⁴
7	2.50E-01 - 4.00E-01	3.09x10 ¹⁴
8	4.00E-01 - 9.00E-01	8.50x10 ¹⁴
9	9.00E-01 - 1.35E+00	3.20x10 ¹⁴
10	1.35E+00 - 1.80E+00	1.86x10 ¹⁴
11	1.80E+00 - 2.20E+00	7.50x10 ¹⁴
12	2.20E+00 - 2.60E+00	6.54x10 ¹³
13	2.60E+00 - 3.00E+00	4.09x10 ¹³
14	3.00E+00 - 3.50E+00	2.74x10 ¹³
15	3.50E+00 - 4.00E+00	1.44x10 ¹³
16	4.00E+00 - 4.50E+00	7.95x10 ¹²
17	4.50E+00 - 5.00E+00	3.09x10 ¹²
18	5.00E+00 - 1.00E+01	2.29x10 ¹²



ภาพที่ 3.3 Spectrum ของโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผลผลิตฟิชชัน ที่อยู่ภายในเชื้อเพลิง เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปว.-1/1 ที่เวลาหลังจากหยุดเดินเครื่องทันที



ภาพที่ 3.4 อัตราการปลดปล่อยโฟตอนที่เวลาต่างๆ หลังจากหยุดเดินเครื่อง

จะเห็นได้จากภาพที่ 3.4 ว่าอัตราการปลดปล่อยโฟตอนหลังจากหยุดเดินเครื่องใหม่ๆ จะมีอัตราสูงและลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอโซโทปรังสีภายในแท่งเชื้อเพลิงส่วนที่มีครึ่งชีวิตสั้น สลายตัวไป โดยเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 0.25 วัน (6 ชั่วโมง) อัตราการปลดปล่อยโฟตอนจะลดลง ประมาณ 6 เท่า

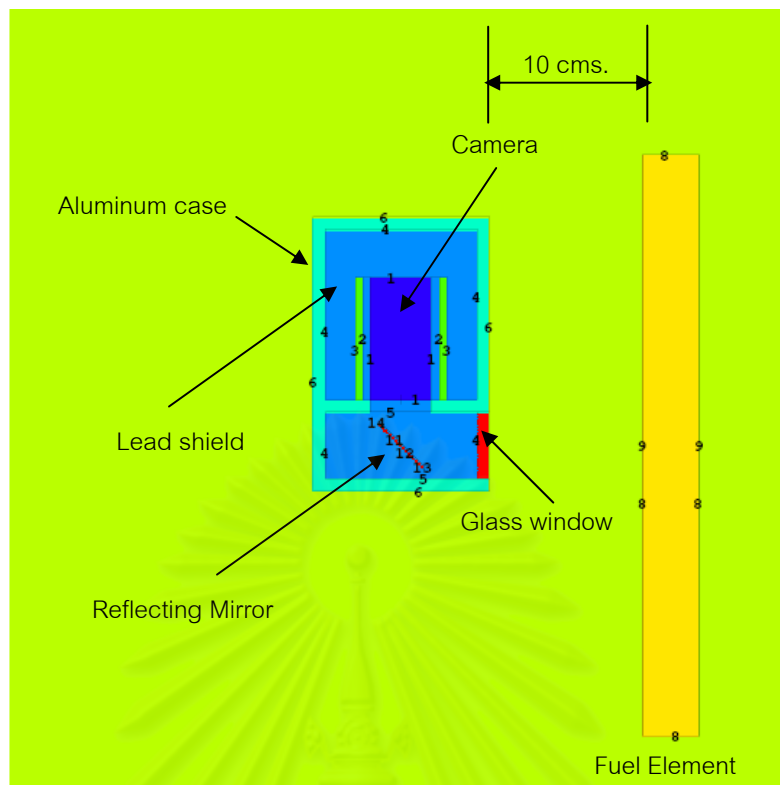
3.3.3 การนำผลการคำนวณ Source term มาใช้สำหรับการออกแบบกำบังรังสี

จากผลการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S จะได้ Source term สำหรับนำมาใช้ในการออกแบบกำบังรังสีสำหรับระบบมองภาพใต้น้ำ ทั้งนี้จะใช้อัตราการปลดปล่อยฟิสิกส์ตอนที่เวลาหลังจากหยุดเดินเครื่องทันทีเนื่องจากเป็น Source term ที่มีความแรงแรงรังสีสูงสุดที่เป็นไปได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงจะทำหลังจากกิจกรรมซ่อมบำรุงอื่นๆ ซึ่งจะใช้เวลาไม่น้อยกว่า 10 วันหลังจากหยุดเดินเครื่อง การเลือกใช้อัตราการปลดปล่อยฟิสิกส์ตอนที่เวลาหลังจากหยุดเดินเครื่องทันทีจะทำให้ได้กำบังรังสีที่สามารถใช้งานได้ในกรณีที่ต้องตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงทันทีหลังจากหยุดเดินเครื่อง

3.3.4 การคำนวณกำบังรังสีตะกั่วห่อหุ้มกล่องโทรทัศน์

การออกแบบกำบังรังสีสำหรับระบบมองภาพใต้น้ำในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะลดความแรงแรงรังสีจากระดับที่วัดได้ประมาณ 160 mGy/h ที่ตำแหน่งใช้งาน ให้กล่องโทรทัศน์ภายในระบบมองภาพใต้น้ำที่คัดเลือกจากข้อ 3.2 ได้รับความแรงแรงรังสีไม่เกิน 50 mGy/h หรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งได้ว่าให้สามารถลดความความแรงแรงรังสีลงให้เหลือไม่เกินประมาณ 30% ของความแรงแรงรังสีเมื่อไม่มีกำบังรังสี โดยปกติการออกแบบกำบังรังสีสำหรับงานหลายประเภทอาจสามารถเพื่อความหนาของกำบังรังสีได้มากหากมีพื้นที่เพียงพอ แต่สำหรับระบบมองภาพใต้น้ำมีปัจจัยอื่นๆที่ควรคำนึงเพิ่มเติม เช่น กำบังรังสีควรมีขนาดและน้ำหนักไม่มากจนเกินไปจนทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งานและค่าใช้จ่ายของระบบสูงเกินไป ดังนั้นจึงการออกแบบกำบังรังสีต้องมีการประเมินขนาดของกำบังรังสีอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่แม่นยำ สำหรับงานวิจัยนี้การคำนวณกำบังรังสีจะนำรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX ซึ่งเป็นรหัสคอมพิวเตอร์ที่คำนวณการเคลื่อนที่ของรังสี (Radiation Transport) ด้วยเทคนิคมอนเตคาร์โล

การคำนวณกำบังรังสีกระทำโดยการสร้างแบบจำลองชนิด 3 มิติของระบบมองภาพใต้น้ำด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX ขึ้น โดยมีขนาดและรูปร่างตามที่ออกแบบไว้ การสร้างแบบจำลองจะนำ Source term ที่ได้จากการประเมินด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ ORIGEN-S มาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีในแบบจำลองของระบบมองภาพใต้น้ำ ภาพที่ 3.5 แสดงแบบจำลองของระบบมองภาพใต้น้ำที่สร้างด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX



ภาพที่ 3.5 แบบจำลองของการกำบังรังสีระบบมองภาพใต้น้ำที่สร้างด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX

ความแรงรังสีที่กล้องได้รับจะคำนวณได้จากผลคูณระหว่างค่าฟลักซ์ของฟิสิกส์ของฟิสิกส์ตามกลุ่มพลังงานต่างๆ ภายในปริมาตรของกล้องกับค่า dose conversion factor ที่รายงานไว้ใน ANSI/ANS-6.1.1-1977 [13] ซึ่งในแบบจำลองของระบบมองภาพใต้น้ำนี้จะทำการคำนวณค่าฟลักซ์ของฟิสิกส์ตามกลุ่มพลังงานเดียวกันกับกลุ่มพลังงานของค่า dose conversion factor ตามเอกสารอ้างอิง [13] และจะใส่ค่า dose conversion factor ในไฟล์แบบจำลองเพื่อคูณกับค่าฟลักซ์ของฟิสิกส์ ซึ่งจะทำได้ความแรงรังสีที่กล้องโทรทัศน์ได้รับเป็นผลลัพธ์จากรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX ทั้งนี้ในการคำนวณกำบังรังสีในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความหนาของกำบังรังสีเพื่อประเมินหาความหนาของตะกั่วที่สามารถลดความแรงรังสีลงเหลือไม่เกินกว่า 30% ของความแรงรังสีเมื่อไม่มีกำบังรังสี โดยทดลองเพิ่มความหนาของตะกั่วครั้งละ 0.5 เซนติเมตร

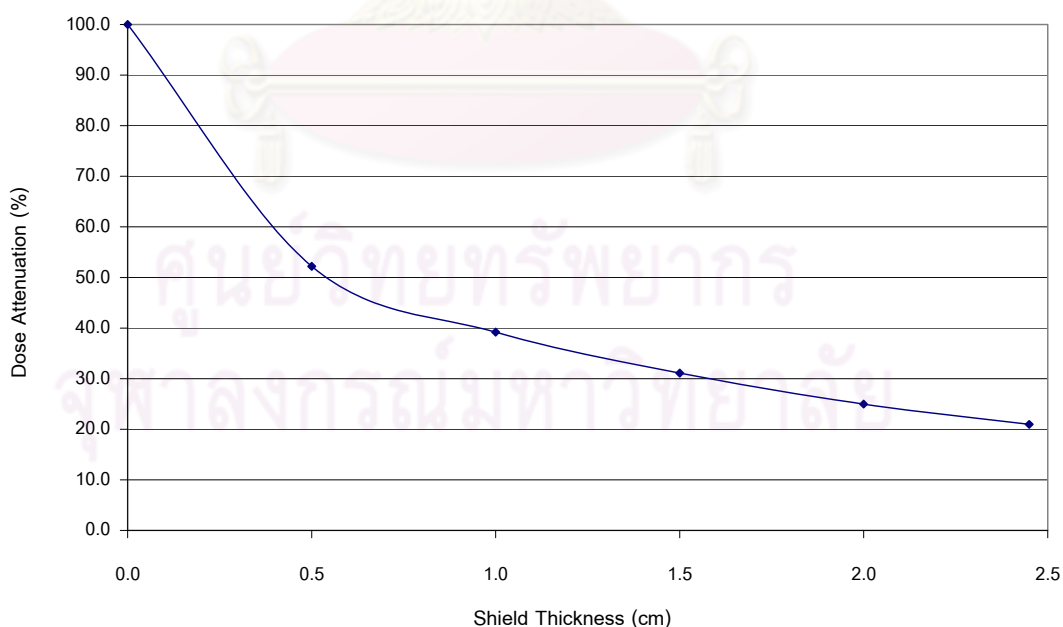
การประเมินความหนาของกำบังรังสีสำหรับระบบมองกล้องใต้น้ำจะพิจารณาจากร้อยละของร้อยละความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่ ดังนั้นการแสดงผลของการคำนวณรังสีจะแสดงในรูปของร้อยละความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่ซึ่งคิดจาก

$$\text{ร้อยละความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่ (\%)} = \frac{\text{ความแรงรังสีเมื่อมีกำบังรังสี}}{\text{ความแรงรังสีเมื่อไม่มีกำบังรังสี}} \times 100$$

ตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณกำบังรังสีระบบมองภาพได้นำด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX โดยแสดงเป็นร้อยละของความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่เมื่อลดทอนด้วยกำบังรังสีที่มีความหนาต่างๆ กัน

ตารางที่ 3.4 ร้อยละของความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่เมื่อลดทอนด้วยกำบังรังสีที่มีความหนาของตะกั่วต่างๆ กัน (คำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX)

ความหนาของตะกั่ว (เซนติเมตร)	ร้อยละความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่ (%)
0.0	100
0.5	52.2
1.0	39.2
1.5	31.1
2.0	25.0
2.5	21.0



ภาพที่ 3.6 กราฟร้อยละของความแรงรังสีที่ยังเหลืออยู่เมื่อลดทอนด้วยกำบังรังสีที่มีความหนาของตะกั่วต่างๆ กัน (คำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX)

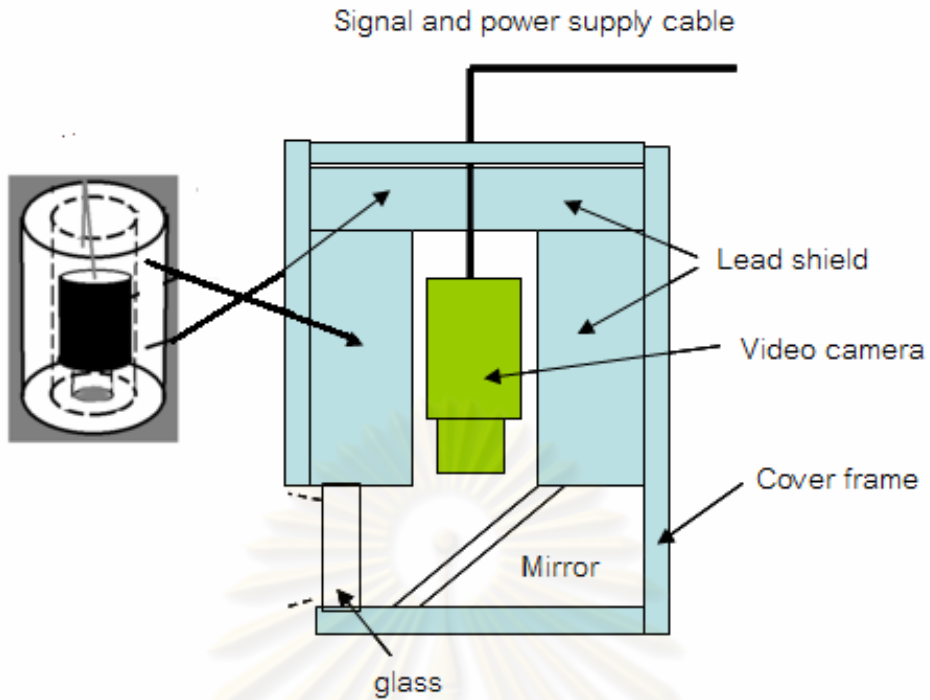
จากผลการคำนวณตามกราฟในภาพที่ 3.6 จะพบว่าความหนาของกำบังรังสีที่ประมาณ 1.6 เซนติเมตร จะทำให้ความแรงรังสีลดลงได้ไม่น้อยกว่า 30% แต่อย่างไรก็ตามสำหรับระบบมองภาพใต้น้ำนี้ได้เลือกใช้ความหนาของกำบังรังสีที่มากกว่า 1.6 เซนติเมตร เล็กน้อยสำหรับเพื่อในกรณีของความไม่แน่นอนจากการวัดรังสีและความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกความหนาของกำบังรังสีสำหรับระบบมองภาพใต้น้ำที่ 2 เซนติเมตร ซึ่งเป็นการเลือกความหนาของกำบังรังสีเผื่อจากการคำนวณไปอีกประมาณ 25%

3.4 การออกแบบอุปกรณ์ประกอบของระบบมองภาพ

อุปกรณ์ประกอบของระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกล ที่ต้องออกแบบและสร้าง ได้แก่ ระบบกำบังรังสีของกล้องโทรทัศน์ ระบบส่องสว่างเพื่อการมองภาพ โครงห่อหุ้มระบบมองภาพกันน้ำ และกลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพ มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

3.4.1 ระบบกำบังรังสีของกล้องโทรทัศน์

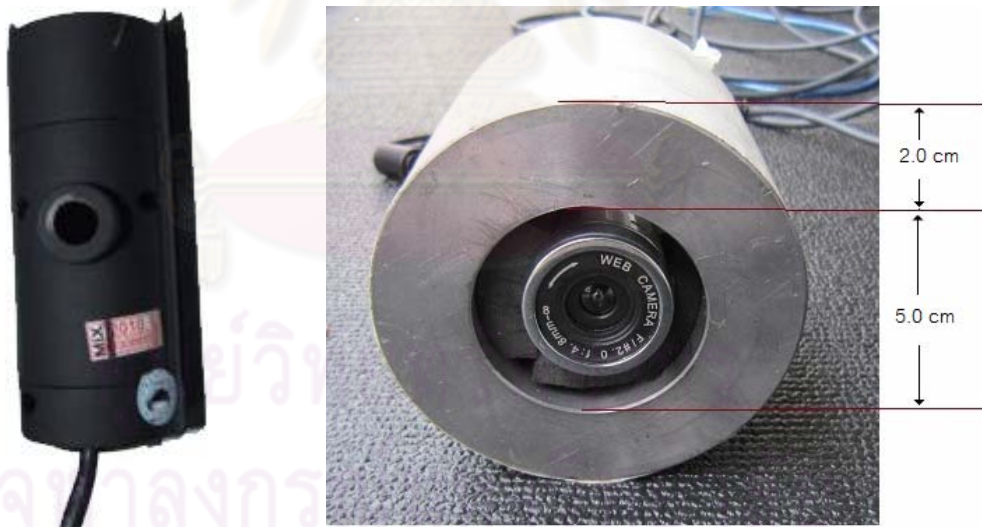
ระบบกำบังรังสีทำหน้าที่ลดทอนอัตราปริมาณรังสีจากบริเวณปฏิบัติงานให้เข้าสู่อุปกรณ์รับภาพและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของกล้องโทรทัศน์ให้ต่ำมากเพื่อลดการเกิดฟิสิกส์และ noise ครอบคลุมพื้นหลังภาพ จากความต้องการดังกล่าวสามารถออกแบบโครงสร้างตามรูปทรงเรขาคณิตของกำบังรังสี ซึ่งสอดคล้องกับการติดตั้งกล้องโทรทัศน์ดังแผนภาพที่ 3.7 โดยในการออกแบบจะเลือกใช้ตะกั่วเป็นวัสดุกำบังรังสี และความหนาของวัสดุได้จากผลการคำนวณและการทดลองเพื่อคัดเลือกกล้องในข้อ 3.2 โดยกล้องโทรทัศน์ของบริษัท C แสดงในภาพที่ 3.8 (ก) หลังการออกแบบได้จัดสร้างกำบังรังสีกล้องโทรทัศน์ขึ้น มีขนาดความสูง 8.0 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางในและนอก 5.0 และ 9.0 เซนติเมตร ตามลำดับและมีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม นำมาประกอบกับกล้องโทรทัศน์ดังในภาพที่ 3.8 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.7 แผนภาพรูปทรงเรขาคณิตของกำบังรังสีกล้องโทรทัศน์ที่ออกแบบ



(ก) กล้องโทรทัศน์ที่เลือก

(ข) ภาพถ่ายกล้องโทรทัศน์ที่บรรจุในกำบังรังสี

ภาพที่ 3.8 กำบังรังสีกล้องโทรทัศน์ที่สร้างขึ้น

3.4.2 ระบบส่องสว่างเพื่อการมองภาพ

ระบบส่องสว่างเพื่อการมองภาพเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสงที่มีคุณสมบัติให้แสงในย่านแสงสีขาว ใช้พลังงานต่ำ อายุการใช้งานยาว ราคาประหยัด โดยจัดไดโอดเปล่งแสงจำนวน 24 ตัว ติดตั้งที่ด้านข้างตัวกล้องสามารถกระจายแสงครอบคลุมพื้นที่มุมมองของระบบ ไดโอดเปล่งแสงสำหรับส่องสว่างเพื่อการมองภาพที่ติดตั้งรอบระบบมองภาพแสดงในภาพที่ 3.9 ในการปรับความสว่างสามารถควบคุมการส่องสว่างได้จากอุปกรณ์ควบคุมผ่านสายเคเบิลดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 ไดโอดเปล่งแสงสำหรับส่องสว่างเพื่อการมองภาพที่ติดตั้งรอบระบบมองภาพ



ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสง

3.4.3 โครงห่อหุ้มระบบมองภาพกันน้ำ

เนื่องจากระบบมองภาพจำเป็นต้องใช้งานใต้น้ำเพื่อการสนับสนุนงานซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 จึงต้องออกแบบให้สามารถกันน้ำได้ ในการออกแบบวัสดุตัวโครงเลือกใช้อะลูมิเนียมหนา 0.8 เซนติเมตร เนื่องจากน้ำหนักเบาและทนต่อการเกิดสนิม ส่วนปะเก็นผนังกันน้ำต้องพิจารณาวัสดุที่ค่อนข้างทนต่อรังสีได้เลือกใช้แผ่นยางซิลิโคนหนา 0.2 เซนติเมตร ตัดตามขนาดพื้นที่ของกรอบโครงและกระจกมอง ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ปะเก็นซิลิโคนสำหรับผนังกันน้ำ

3.4.4 กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพ

กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพ ของกล้องวงจรปิดออกแบบให้ถอดประกอบและติดตั้งง่าย จึงเลือกใช้กระบวนการทางกลในลักษณะก้านต่อตัวระบบมองภาพเชื่อมต่อกับกลไกการปรับที่สามารถควบคุมการปรับทิศทาง ซ้าย-ขวา กับทิศทางขึ้น-ลง ขณะทำงานได้น้ำวัสดุ ก้านต่อตัวระบบมองภาพจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ติดตั้งและท่อนำสายเคเบิลสัญญาณมาเชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์ ในการออกแบบวัสดุเลือกใช้ท่อสแตนเลสชนิดบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร ยาว 5.5 เมตร แบ่งย่อยเป็น 3 ท่อน เชื่อมต่อกันด้วยระบบเกลียว ออกแบบให้ยึดเกาะกับกลไกปรับทิศทางและตำแหน่งมองภาพ มีน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพที่สร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 3.12



(ก) ก้านต่อระบบมองภาพ

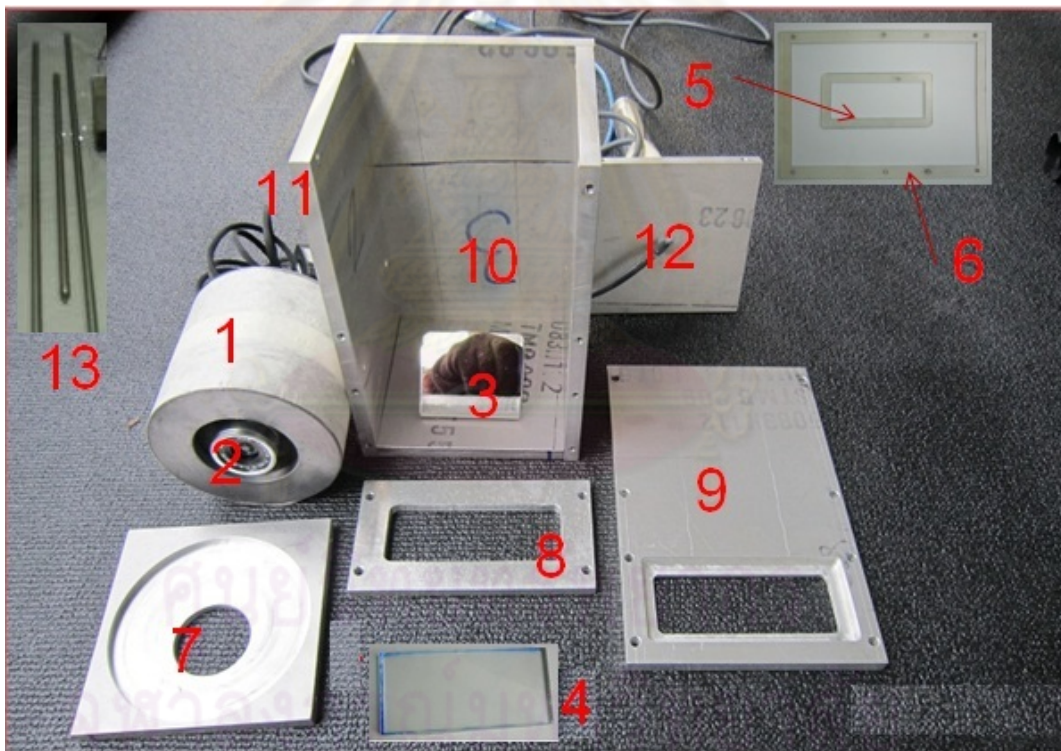
(ข) เกลียวข้อต่อ

(ค) ระบบมองภาพ

ภาพที่ 3.12 กลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมองภาพที่สร้างขึ้น

3.5 การประกอบระบบมองภาพทนรังสี

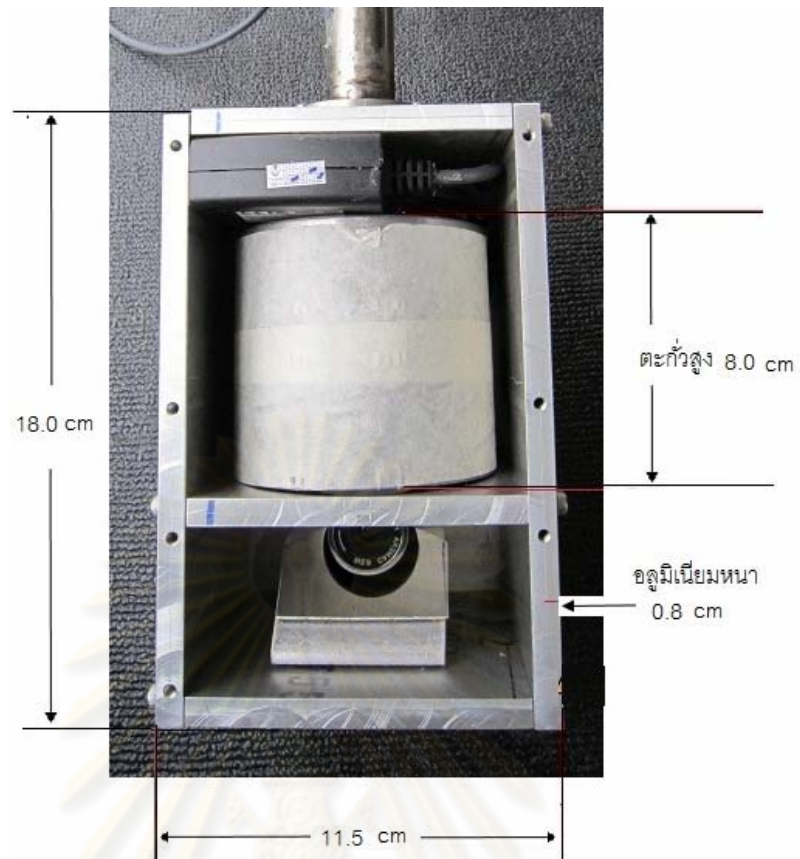
ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมองภาพทนรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกลที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วยรายการดังปรากฏในตารางที่ 3.4 และชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมองภาพทนรังสีสูงที่สร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 3.13 ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นได้นำมาประกอบเป็นระบบที่สมบูรณ์ โดยแสดงการติดตั้งภายในโครงห่อหุ้มในภาพที่ 3.14 และการประกอบโครงห่อหุ้มภายนอกสมบูรณ์เป็นระบบแสดงในภาพที่ 3.15 ผลการพัฒนาระบบพบว่าระบบมองภาพมีขนาดสัดส่วน 11.5 x 11.5 x 18.0 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) น้ำหนักรวมกลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่ง 10 กิโลกรัม ความยาวเคเบิล 6 เมตร ก้านกลไกควบคุมทิศทางและตำแหน่งมีความยาว 5.5 เมตร จากระบบที่ประกอบสมบูรณ์แล้วจะนำไปทดสอบสมรรถนะของระบบต่อไป



ภาพที่ 3.13 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมองภาพทนรังสีสูงที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 3.5 รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมอภาพ

รายการชิ้นส่วน	ขนาด (เซนติเมตร) / น้ำหนัก (กิโลกรัม)
1. ตะกั่วกำบังรังสี	9.0 x 2.0 x 8.0 (เส้นผ่าศูนย์กลาง x หนา x สูง) น้ำหนัก 8 กิโลกรัม
2. กล้องโทรทัศน์วงจรปิด	3.0 x 5.0 (เส้นผ่าศูนย์กลาง x ยาว)
3. กระจกสะท้อนภาพ	3.0x5.0x 0.2 (กว้าง x ยาว x หนา)
4. กระจกช่องมอภาพ	9.5x4.0x0.5 (กว้าง x ยาว x หนา)
5. ประเก็นกระจกช่องมอภาพ	9.5x4.0x0.2 (กว้าง x ยาว x หนา)
6. ประเก็นกรอบโครงด้านหน้า	11.5x18.0x0.2 (กว้าง x ยาว x สูง)
7. แผ่นรองรับระบบกล้อง	10.0x10.0 (กว้าง x ยาว)
8. แผ่นกรอบช่องมอ	3.0x8.0 (กว้าง x ยาว)
9. แผ่นโครงด้านหน้า	11.5x18.0 (กว้าง x ยาว)
10. แผ่นโครงด้านหลัง	11.5x18.0 (กว้าง x ยาว)
11. แผ่นโครงด้านข้าง	10.0x18.0 (กว้าง x ยาว)
12. แผ่นโครงด้านบน	10.0x10.0 (กว้าง x ยาว)
13. ก้านต่อตัวกล้องมอภาพ	5.5 เมตร



ภาพที่ 3.14 โครงสร้างภายในของระบบมองภาพทังสเตนรังสีสูง



ภาพที่ 3.15 โครงสร้างภายนอกเมื่อประกอบสมบูรณ์

บทที่ 4

การดำเนินงานและผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การทดสอบผลของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์สีวงจรปิดชนิดซีมอสขนาดเล็กเพื่อคัดเลือกไปประยุกต์ใช้ในระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูง และการทดลองผลของรังสีหลังออกแบบกำลังรังสีต่อหุ้มกล้องโทรทัศน์ ทดสอบการทำงานของระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้นที่บริเวณปฏิบัติการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.- 1/1 มีลำดับขั้นดังนี้

- ก. การทดสอบผลของรังสีรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก
- ข. การทดสอบผลของรังสีรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ต่อกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก
- ค. การวัดอัตราปริมาณรังสีจากแท่งเชื้อเพลิงที่จะตรวจสอบ
- ง. การทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น
- จ. การทดสอบการทำงานของระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น

4.1 การทดสอบผลของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก

การทดสอบผลของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กจากผู้ผลิต 3 บริษัทที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เป็นการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลผลของรังสีต่อแผ่นรับภาพชนิดซีมอสของกล้องโทรทัศน์ก่อให้เกิดฟิสิกส์ของรังสีต่อแผ่นรับภาพหลังภาพ ลำดับแรกเป็นการทดสอบผลของรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองผลของพลังงานและส่วนที่สองผลของอัตราปริมาณรังสี ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

เครื่องมือสำหรับการศึกษาค้นคว้าผลของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสประกอบด้วย

1. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของ GE inspection technologies รุ่น ERESO MF3 ขนาด 300 kV
2. หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) NaI(Tl) ขนาด 5 × 5 เซนติเมตร
3. เครื่องวัดปริมาณรังสีของ ANZEIGER 6 รุ่น FH440F3
4. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมบันทึกภาพและอ่านข้อมูลภาพ
5. กล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท A

6. กล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท B
7. กล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท C

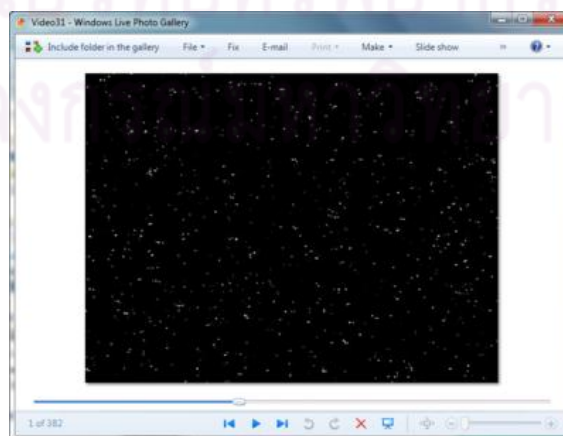
4.1.2 การทดสอบผลของรังสีเอกซ์

ก) ศึกษาผลของพลังงานของรังสีเอกซ์

จัดอุปกรณ์ดังแผนภาพภาพที่ 4.1 โดยติดตั้งกล้องโทรทัศน์ในสภาพปิดหน้ากล้องและจัดหัววัดรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสีในระดับเดียวกับแนวลำรังสี ที่ระยะห่างระหว่างกล้องโทรทัศน์กับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เท่ากับ 250 เซนติเมตร ในการทดสอบผลของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำหนดกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก 3 บริษัท ทำโดยแปรเปลี่ยนพลังงานเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ตั้งแต่ 20 kV ถึง 300 kV ที่กระแสคงที่ 1 mA ในแต่ละค่าพลังงานบันทึกภาพเคลื่อนไหวยาน 15 วินาที พร้อมวัดอัตราปริมาณรังสี เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์สว่างที่รบกวนภาพ



ภาพที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ศึกษาผลของพลังงานของรังสีเอกซ์ที่มีต่อกำหนดกล้องโทรทัศน์

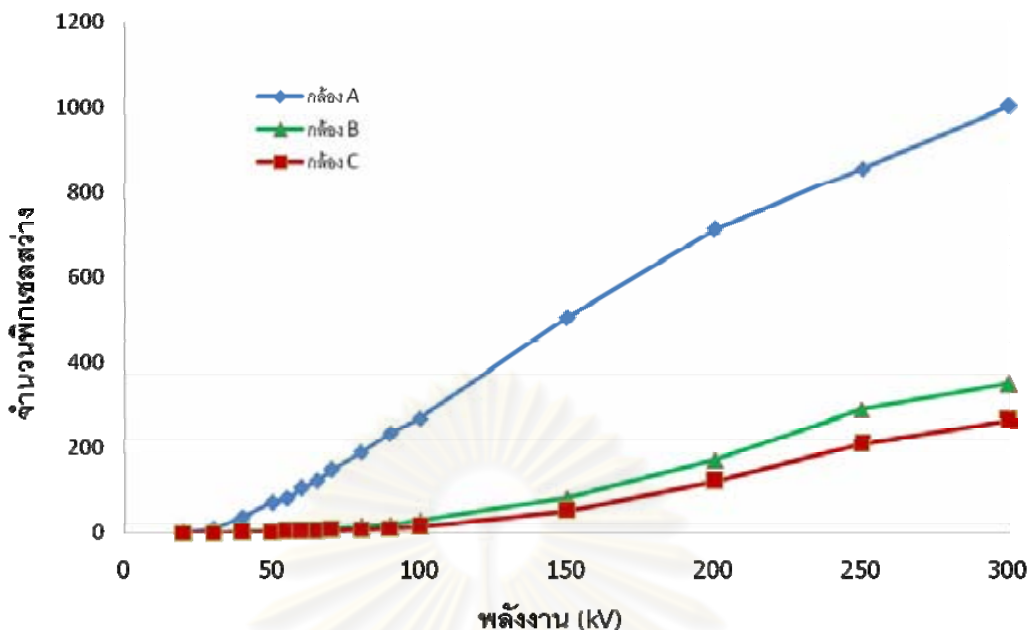


ภาพที่ 4.2 การทำภาพนิ่งโดยใช้โปรแกรม Fast Stone Capture

การวิเคราะห์ผลทำโดยนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวไปสร้างภาพนิ่งดังภาพที่ 4.2 ด้วยโปรแกรม Fast Stone Capture เพื่อนำภาพนิ่งที่แต่ละพลังงานมาประมวลผลการรบกวนโดยใช้โปรแกรมประมวลผล อิมเมจเจ (Image J) โดยทำการสร้างภาพนิ่งทั้งหมด 5 ภาพ ต่อ 1 พลังงาน และนับจำนวนพิกเซลสว่างเฉลี่ยในแต่ละภาพทั้งหมด 5 ครั้ง พร้อมทั้งคำนวณหาพื้นที่การรบกวนจากพิกเซลสว่าง ได้ผลการทดสอบกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสทั้ง 3 บริษัท เป็นไปตามตารางที่ 4.1 และกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของพลังงานของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์ดังกล่าวดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลของพลังงานรังสีเอกซ์กับจำนวนพิกเซลสว่างที่รบกวนกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก

พลังงาน (keV)	กล้องโทรทัศน์บริษัท A		กล้องโทรทัศน์บริษัท B		กล้องโทรทัศน์บริษัท C	
	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference
20	1	0.000	1	0.000	0	0.000
30	10	0.003	1	0.000	0	0.000
40	37	0.012	3	0.001	1	0.000
50	71	0.023	4	0.001	3	0.001
55	81	0.026	6	0.002	4	0.001
60	105	0.034	7	0.002	4	0.001
65	121	0.039	7	0.002	5	0.001
70	147	0.048	11	0.004	6	0.002
80	188	0.061	14	0.005	9	0.003
90	234	0.076	19	0.006	11	0.004
100	268	0.087	29	0.009	15	0.005
150	505	0.164	82	0.027	52	0.017
200	712	0.232	170	0.055	122	0.040
250	857	0.279	291	0.095	209	0.068
300	1002	0.326	350	0.114	264	0.086




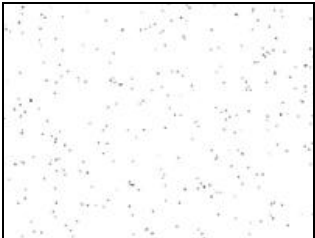

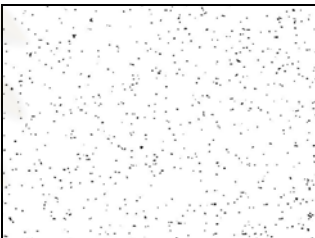

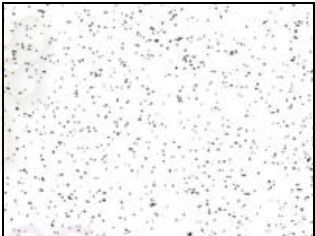
ภาพที่ 4.3 กราฟตอบสนองของพลังงานของรังสีเอกซ์ 20 ถึง 300 kV ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก

จากกราฟตอบสนองของพลังงานของรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสในภาพที่ 4.3 พบว่ากล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กทั้ง 3 บริษัทตอบสนองต่อของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากันมีความแตกต่างกัน โดยกล้องโทรทัศน์บริษัท B และ C ตอบสนองแตกต่างกันเล็กน้อย แต่กล้องโทรทัศน์บริษัท A ตอบสนองสูงกว่ามาก ทั้งนี้มีผลมาจากโครงห่อหุ้มตัวกล้องโทรทัศน์ชนิด A เป็นพลาสติก ในขณะที่กล้องโทรทัศน์บริษัท B และ C มีโครงห่อหุ้มเป็นอลูมิเนียม

ในการพิจารณาพลังงานของรังสีเอกซ์ (โฟตอน) ที่สามารถก่อให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนในฟลักเชลของอุปกรณ์รับภาพและกลายเป็นฟลักเชลสว่างในกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก เริ่มต้นที่ประมาณ 40 -50 keV





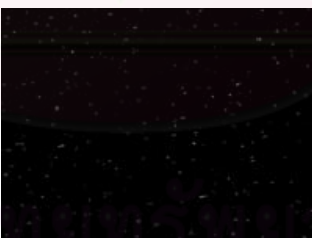

พร้อมกันนี้ได้เลือกข้อมูลภาพจากผลการทดลองที่พลังงาน 100, 200 และ 300 kV มาเปรียบเทียบให้เห็นผลการรบกวนของฟลักเชลสว่างบนพื้นหลังภาพจากกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A, B และ C ดังตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำลังโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A

พลังงานของรังสีเอกซ์ (kV)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
200		
300		




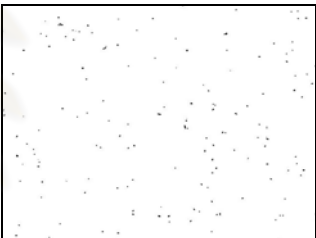

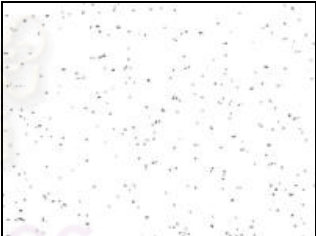
ศูนย์วิทยุทวพยากว
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกล้องโทรทรรศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก
ของบริษัท B

พลังงานของรังสีเอกซ์ (kV)	ภาพพิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
200		
300		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ต่อกำลังโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท C

พลังงานของรังสีเอกซ์ (kV)	ภาพฟลักเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
200		
300		

ศูนย์วิทยุทวพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

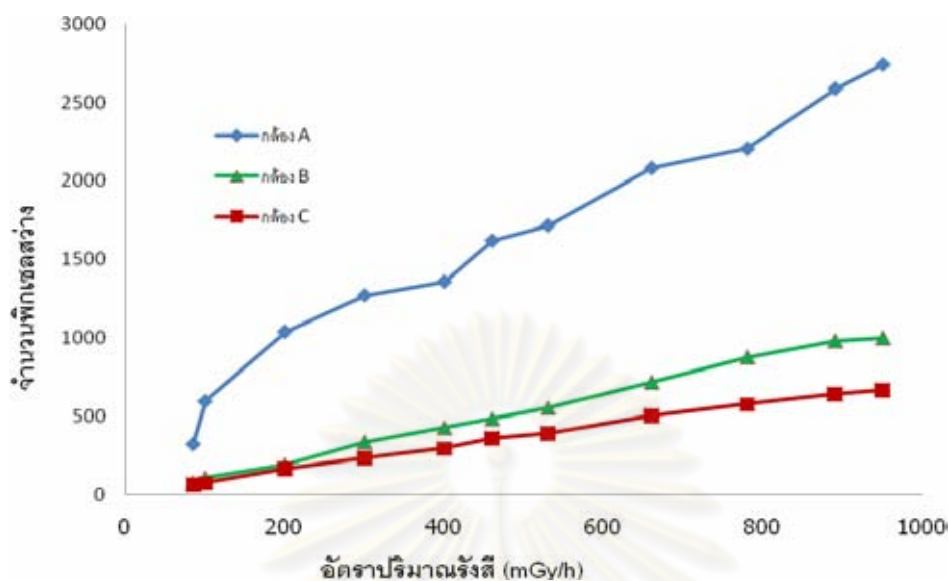
ข) ศึกษาผลของอัตราปริมาณรังสี

จัดอุปกรณ์และติดตั้งกล้องโทรทัศน์ในสภาพปิดหน้ากล้องและจัดหัววัดรังสีในระดับเดียวกับแนวลำรังสี ที่ระยะห่างระหว่างกล้องโทรทัศน์กับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เท่ากับ 250 เซนติเมตร เช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 ก. ทำการทดสอบผลของรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 300 kV คงที่ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก 3 บริษัท โดยแปรเปลี่ยนกระแสเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ตั้งแต่ 0.5 mA ถึง 1.4 mA ในแต่ละค่ากระแสบันทึกภาพเคลื่อนไหวนาน 15 วินาที พร้อมบันทึกอัตราปริมาณรังสี เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ปริมาณฟิสิกเซลสว่างที่รบกวนภาพ

การวิเคราะห์ผลทำโดยนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวไปสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Fast Stone Capture เพื่อนำภาพนิ่งในแต่ละอัตราปริมาณรังสีมาประมวลผลการรบกวนโดยใช้โปรแกรมประมวลผล อิมเมจเจ (Image J) โดยทำการสร้างภาพนิ่งทั้งหมด 5 ภาพ ต่อ 1 พลังงาน และนับจำนวนฟิสิกเซลสว่างเฉลี่ยในแต่ละภาพทั้งหมด 5 ครั้ง และคำนวณหาพื้นที่การรบกวนจากฟิสิกเซลสว่าง ได้ผลการทดสอบกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสทั้ง 3 บริษัท เป็นไปตามตารางที่ 4.5 และกราฟความสัมพันธ์ของอัตราปริมาณรังสีและปริมาณฟิสิกเซลสว่างเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลของอัตราปริมาณรังสีกับจำนวนฟิสิกเซลสว่างจากผลของรังสีเอกซ์

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	กล้องโทรทัศน์บริษัท A		กล้องโทรทัศน์บริษัท B		กล้องโทรทัศน์บริษัท C	
	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference
85	324	0.105	77	0.025	64	0.021
100	597	0.194	106	0.035	74	0.024
200	1040	0.339	191	0.062	166	0.054
300	1271	0.414	337	0.110	233	0.076
400	1358	0.442	427	0.139	294	0.096
460	1620	0.527	483	0.157	358	0.117
530	1716	0.559	555	0.181	389	0.127
660	2081	0.677	718	0.234	502	0.163
780	2205	0.718	878	0.286	576	0.188
890	2586	0.842	983	0.320	639	0.208
950	2740	0.892	1001	0.326	667	0.217




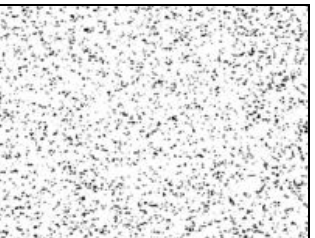
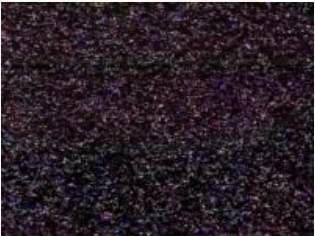
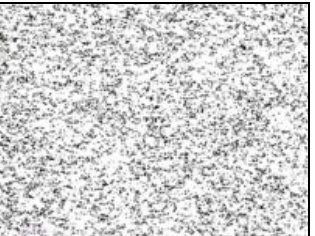


ภาพที่ 4.4 กราฟตอบสนองของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ 85 ถึง 950 mGy/h ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก

จากกราฟตอบสนองของอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสในภาพที่ 4.4 พบว่าก้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กทั้ง 3 บริษัทตอบสนองต่อของรังสีเอกซ์ที่พลังงานของรังสีเท่ากันและอัตราปริมาณรังสีต่างๆ มีความแตกต่างกัน โดยก้องโทรทัศน์บริษัท B และ C ตอบสนองแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ก้องโทรทัศน์บริษัท A ตอบสนองสูงกว่ามาก ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการทดลองในข้อ 4.1.1 ก. โดยพื้นที่การรบกวนจากฟีกเซลล์สว่างของก้องโทรทัศน์บริษัท A ที่อัตราปริมาณรังสี 950 mGy/h คิดเป็นพื้นที่ 0.892 % และจะเห็นว่าปริมาณฟีกเซลล์สว่างแปรเพิ่มตามอัตราปริมาณรังสีเป็นสัดส่วนเชิงเส้น




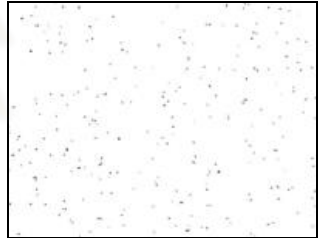


พร้อมกันนี้ได้เลือกข้อมูลภาพจากผลการทดลองที่อัตราปริมาณรังสี 100, 300 และ 950 mGy/h มาเปรียบเทียบให้เห็นการรบกวนของฟีกเซลล์สว่างบนพื้นหลังภาพจากก้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A, B และ C ดังตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำลังโทรทัศน์สีซีมอสขนาด
เล็กของบริษัท A

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
300		
950		



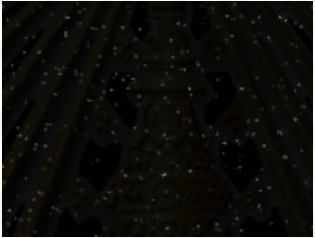
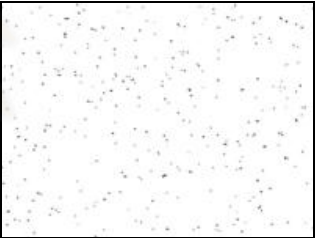


ศูนย์วิทยุทวพยาก
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่ระดับอัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกลิ้งโทรทัศน์สีซีมอส ขนาดเล็กของบริษัท B

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
300		
950		

ศูนย์วิทยุทวพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำลังโทรทัศน์สีที่มีมอสนขนาดเล็กของบริษัท C

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
100		
300		
950		

4.2 การทดสอบผลของรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 ต่อกำลังโทรทัศน์สีชนิดที่มีมอสนขนาดเล็ก

การทดสอบผลของรังสีแกมมาพลังงานสูงต่อกำลังโทรทัศน์สีชนิดที่มีมอสนขนาดเล็กจากผู้ผลิต 3 บริษัทที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เป็นการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลผลของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ความแรงรังสี 15 คูรี ซึ่งมีพลังงาน 1.17 MeV และ 1.33 MeV ต่อแผ่นรับภาพชนิดที่มีมอสนของกล้องโทรทัศน์ก่อให้เกิดฟิสิกเซลสว่างรบกวนพื้นหลังภาพ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบผลของรังสีแกมมาต่อกล้องโทรทัศน์ประกอบด้วย

1. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ความแรงรังสี 15 คูรี
2. อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา
3. หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดต์ (ทาลเลียม) NaI(Tl) ขนาด 5×5 เซนติเมตร
4. เครื่องวัดปริมาณรังสีของ ANZEIGER 6 รุ่น FH440F3
5. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมบันทึกภาพและอ่านข้อมูลภาพ
6. กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท A
7. กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท B
8. กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กบริษัท C

4.2.2 การทดสอบผลของรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60

จัดอุปกรณ์ดังแผนภาพภาพที่ 4.5 ติดตั้งกล้องโทรทัศน์ในสภาพปิดหน้ากล้องและจัดหัววัดรังสีในระดับเดียวกับแนวลำรังสี ที่ระยะห่างเริ่มต้นระหว่างกล้องโทรทัศน์กับต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 มีระยะ 40 เซนติเมตร การทดสอบผลของรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก 3 บริษัท ทำโดยแปรเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง 40 – 200 เซนติเมตร ช่วงละ 5 เซนติเมตร เพื่อแปรเปลี่ยนอัตราปริมาณรังสีที่ระดับต่างๆ ในแต่ละระดับอัตราปริมาณรังสีบันทึกภาพเคลื่อนไหวนาน 15 วินาที พร้อมวัดอัตราปริมาณรังสี เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์สว่างที่รับกวนภาพ

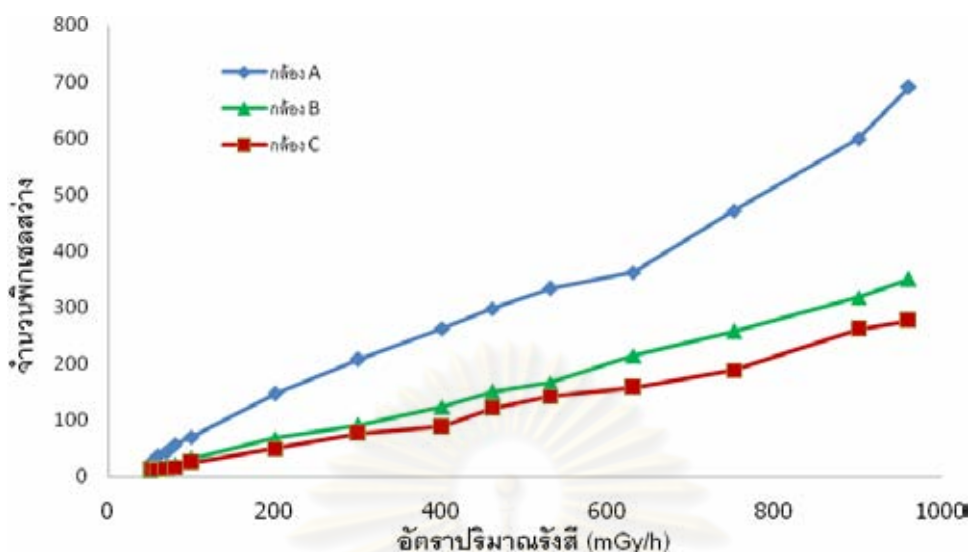


ภาพที่ 4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ผลของรังสีแกมมาต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอส

การวิเคราะห์ผลทำโดยนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวไปสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Fast Stone Capture เพื่อนำภาพนิ่งที่แต่ละอัตราปริมาณรังสีมาประมวลผลการรบกวนโดยใช้โปรแกรมประมวลผล อิมเมจเจ (Image J) โดยทำการสร้างภาพนิ่งทั้งหมด 10 ภาพ ต่อ 1 พลังงาน และนับจำนวนพิกเซลสว่างเฉลี่ยที่เกิดจากรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ในแต่ละภาพทั้งหมด 5 ครั้ง และคำนวณหาพื้นที่การรบกวนจากพิกเซลสว่าง ได้ผลการทดสอบกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กทั้ง 3 บริษัท เป็นไปตามตารางที่ 4.9 และกราฟความสัมพันธ์ของอัตราปริมาณรังสีและปริมาณพิกเซลสว่างเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลของอัตราปริมาณรังสีกับจำนวนพิกเซลสว่างจากผลของรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60

อัตราปริมาณรังสี mGy/h	กล้องโทรทัศน์บริษัท A		กล้องโทรทัศน์บริษัท B		กล้องโทรทัศน์บริษัท C	
	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference	No. of hot pixel	% interference
50	24	0.008	11	0.003	12	0.004
55	29	0.009	13	0.004	12	0.004
60	36	0.012	16	0.005	13	0.004
70	44	0.014	20	0.006	15	0.005
80	57	0.019	21	0.007	17	0.005
100	70	0.023	32	0.010	25	0.008
200	147	0.048	69	0.022	50	0.016
300	208	0.068	91	0.030	77	0.025
400	263	0.086	124	0.040	88	0.029
460	297	0.097	151	0.049	121	0.039
530	333	0.108	166	0.054	142	0.046
630	362	0.118	215	0.070	158	0.051
750	471	0.153	258	0.084	188	0.061
900	599	0.195	318	0.208	261	0.085
960	690	0.225	350	0.217	276	0.090



ภาพที่ 4.6 กราฟตอบสนองของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ 50 ถึง 960 mGy/h ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก





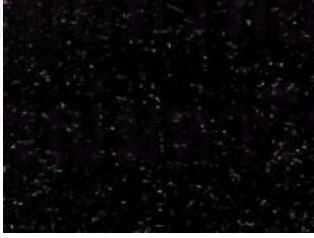

จากกราฟตอบสนองของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ 50 ถึง 960 mGy/h ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กในภาพที่ 4.6 พบว่ากล้องโทรทัศน์ขนาดเล็กทั้ง 3 บริษัทตอบสนองต่อรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากันมีความแตกต่างกัน โดยกล้องโทรทัศน์บริษัท B และ C ตอบสนองแตกต่างกันเล็กน้อย แต่กล้องโทรทัศน์บริษัท A ตอบสนองสูงกว่ามาก ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการวิเคราะห์ในข้อ 4.2.1.ก. โดยพื้นที่การรบกวนจากพิกเซลสีขาวของกล้องโทรทัศน์บริษัท A ที่อัตราปริมาณรังสี 950 mGy/h คิดเป็นพื้นที่ 0.225 % และจะเห็นว่าปริมาณพิกเซลสีขาวแปรเพิ่มตามอัตราปริมาณรังสีเป็นสัดส่วนเชิงเส้น

เมื่อพิจารณาที่ผลของรังสีที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากัน รังสีเอกซ์ต่อเนื่องพลังงาน 300 kV จะให้ผลการรบกวนภาพสูงกว่ารังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองมีพลังงานต่ำกว่าและมีย่านพลังงานกว้างจึงมีโอกาสถูกดูดกลืนจากผลของอันตรกิริยาของรังสีทั้งปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) และปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect) ในพิกเซลรับภาพได้ดีกว่ารังสีแกมมาพลังงานสูงที่ 1.17 MeV และ 1.33 MeV จาก โคบอลต์-60 ซึ่งมีโอกาสทะลุผ่านสูงกว่า







โดยสรุปอัตราปริมาณรังสีต่ำสุดที่ไม่เกิดการรบกวนจนกระทบต่อคุณภาพของภาพ และพบว่ากล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท C จะไวต่อรังสีทั้งสองชนิดต่ำที่สุด เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบมองภาพ

พร้อมกันนี้ได้เลือกข้อมูลภาพจากผลการทดลองที่อัตราปริมาณรังสี 80, 300 และ 960 mGy/h มาเปรียบเทียบให้เห็นการรบกวนของฟลักเซลสว่างบนพื้นหลังภาพจากกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A, B และ C ดังตารางที่ 4.10 ถึงตารางที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์ - 60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกำหนดโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท A







อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟลักเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
80		
300		
960		

ตารางที่ 4.11 ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์ - 60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท B

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
80		
300		
960		

ศูนย์วิทยุทอพอวิทยา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ผลกระทบของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากโคบอลต์ - 60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท C

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
80		
300		
960		

4.3 การวัดอัตราปริมาณรังสีจากแท่งเชื้อเพลิงที่จะตรวจสอบ

ในการออกแบบกำบังรังสีสำหรับห้องหุ้มกล้องโทรทัศน์เพื่อลดผลกระทบของรังสีขณะกล้องโทรทัศน์ถูกใช้งานบริเวณรังสีสูง การคำนวณความหนาของวัสดุกำบังรังสีจำเป็นต้องทราบระดับปริมาณรังสีที่บริเวณปฏิบัติงานและระดับปริมาณรังสีที่ต้องการลดลงโดยกำบังรังสี อย่างไรก็ตามจากการทดลองในการคัดเลือกกล้องโทรทัศน์ในข้อ 4.1 และ 4.2 จะได้ข้อมูลเฉพาะระดับอัตรา

ปริมาณรังสีที่ต้องการลดลงที่ 50 mGy/h ส่วนข้อมูลอัตราปริมาณรังสีที่บริเวณปฏิบัติงานในการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงจะต้องวัดด้วยเครื่องมือ

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

เครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดอัตราปริมาณรังสีที่ตำแหน่งการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงประกอบด้วย

1. หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) NaI(Tl) ขนาด 5×5 เซนติเมตร
2. เครื่องวัดปริมาณรังสีของ ANZEIGER 6 รุ่น FH440F3
3. แท่งเชื้อเพลิงที่ตรวจสอบ
4. อุปกรณ์ในการเคลื่อนตำแหน่งหัววัดรังสี

4.3.2 การวัดอัตราปริมาณรังสีจากแท่งเชื้อเพลิง

จัดระบบตรวจวัดระดับรังสีตามแผนภาพภาพที่ 4.7 บริเวณเก็บแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (ตำแหน่งเชื้อเพลิง 8576) วัดปริมาณรังสีที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร จากแท่งเชื้อเพลิงใช้แล้วที่ต้องการตรวจสอบ โดยเคลื่อนตำแหน่งหัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ในแนวตั้งจากปลายแท่งเชื้อเพลิงด้านล่าง แปรเปลี่ยนระยะวัดครั้งละ 10 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลระดับรังสีที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งของแท่งเชื้อเพลิง ผลการวัดเป็นไปตามตารางที่ 4.13 พบว่ามีระดับอัตราปริมาณรังสีสูงสุด 162 mGy/h



ภาพที่ 4.7 แผนภาพแสดงตำแหน่งวัดอัตราปริมาณรังสีของแท่งเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.13 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีที่แท่งเชื้อเพลิงหมายเลข 8576 ระยะห่างจากหัววัด 30 เซนติเมตร

ตำแหน่ง (เซนติเมตร)	อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)
10	56
20	132
30	160
40	162
50	134

4.4 การทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพใต้น้ำทวนรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น

ผลการออกแบบและสร้างตะกั่วกำบังรังสีทำให้ได้ตะกั่วกำบังรังสีหนา 2.0 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในและนอก 5.0 และ 9.0 เซนติเมตร ตามลำดับ นำไปประกอบกับระบบมองภาพและได้นำมาทดสอบผลการลดทอนปริมาณรังสีจากการเดินเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และต้นกำเนิดรังสีแกมมา โดยการทดสอบผลการรบกวนของฟลักซ์แสงสว่างบนพื้นหลังภาพและสีของภาพที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ และการเปรียบเทียบผลระหว่างมีและไม่มีกำบังรังสี มีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพที่พัฒนาขึ้นมีดังนี้

1. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของ GE inspection technologies รุ่น ERESKO MF3 ขนาด 300 kV
2. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ความแรงรังสี 15 คูรี
3. อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา
4. หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดต์ (ทัลเลียม) NaI(Tl) ขนาด 5×5 เซนติเมตร
5. เครื่องวัดปริมาณรังสีของ ANZEIGER 6 รุ่น FH440F3
6. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมบันทึกภาพและอ่านข้อมูลภาพ
7. ระบบมองภาพใต้น้ำทวนรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น
8. แผ่นแถบสีสำหรับทดสอบภาพสีจากกล้องโทรทัศน์

4.4.2 การทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพ

ในการทดสอบผลของรังสีต่อระบบมองภาพได้นำทวนรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น ดำเนินการโดยจัดระบบทดสอบดังในภาพที่ 4.8 ในสภาพปิดหน้ากล้องและทดสอบผลของรังสีหลังการใช้ตะกั่วกำบังรังสีหนา 2.0 เซนติเมตร ในการห่อหุ้มกล้องโทรทัศน์ที่เลือกใช้ใน 3 กรณีดังนี้

ก) ทดสอบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์ โดยแปรเปลี่ยนพลังงานเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ตั้งแต่ 20 kV ถึง 300 kV ที่กระแสคงที่ 1 mA บันทึกภาพรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ และประมวลผลการรบกวน ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์เป็นไปตามตารางที่ 4.14 และกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานและปริมาณฟิสิกเซลสว่างเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.9

ข) ทดสอบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์ โดยแปรเปลี่ยนกระแสเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ตั้งแต่ 0.5 mA ถึง 1.4 mA ที่พลังงาน 300 kV บันทึกภาพรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ และประมวลผลการรบกวน ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์เป็นไปตามตารางที่ 4.15 และกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานและปริมาณฟิสิกเซลสว่างเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.10

ค) ทดสอบผลการรบกวนรังสีแกมมาต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์ โดยแปรเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง 40 – 200 เซนติเมตร จากต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ความแรงรังสี 15 คูรี ช่วงละ 5 เซนติเมตร เพื่อแปรเปลี่ยนอัตราปริมาณรังสีที่ระดับต่างๆ ในแต่ละระดับอัตราปริมาณรังสี ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์เป็นไปตามตารางที่ 4.16 และกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานและปริมาณฟิสิกเซลสว่างเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 4.11



ต้นกำเนิดรังสี โคบอลต์-60

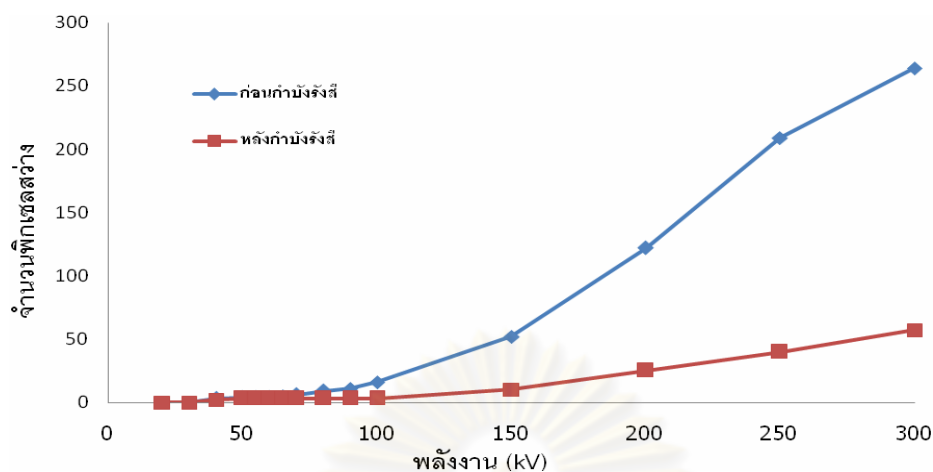


(ข). ระบบบันทึกภาพและอ่านข้อมูลภาพ

(ก) การจักระบบทดสอบ
ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบผลของรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 50 – 300 kV ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

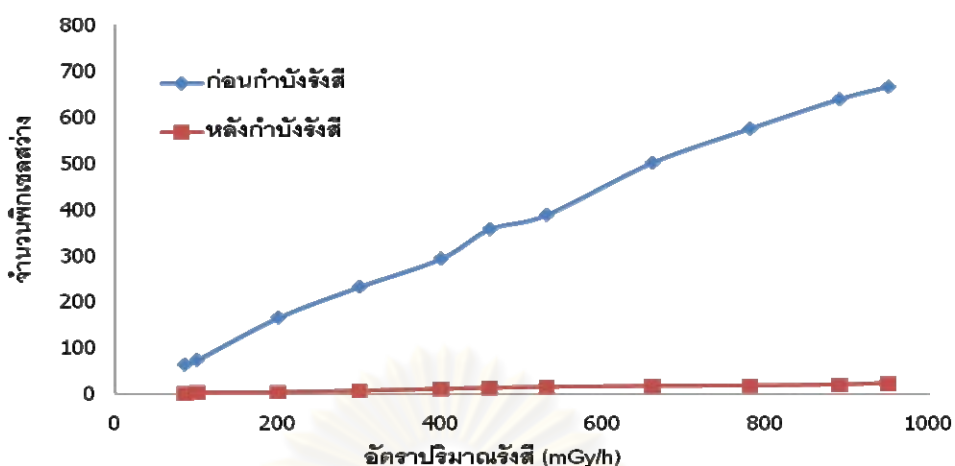
พลังงาน (kV)	จำนวนพิกเซลสว่าง ก่อนกำบังรังสี	จำนวนพิกเซลสว่าง หลังกำบังรังสี	จำนวนพิกเซลสว่าง ลดลง(%)
50	4	3	25
55	4	3	25
60	4	3	25
65	5	3	40
70	6	3	50
80	9	3	67
90	11	3	73
100	16	3	81
150	52	10	81
200	122	25	80
250	209	40	81
300	264	57	78
		เฉลี่ย	59



ภาพที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 50 kV ถึง 300 kV mGy/h ต่อระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสี 85 – 950 mGy/h ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

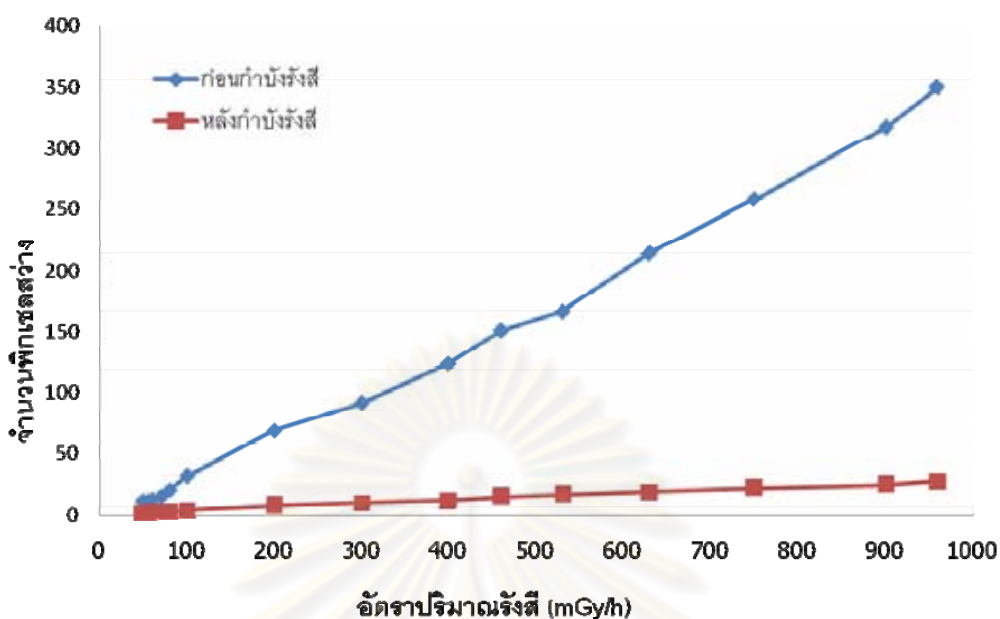
อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	จำนวนฟลักซ์เซลล์สว่าง ก่อนกำบังรังสี	จำนวนฟลักซ์เซลล์สว่าง หลังกำบังรังสี	จำนวนฟลักซ์เซลล์สว่าง ลดลง(%)
85	64	2	97
100	74	4	95
200	166	5	97
300	233	8	97
400	294	12	96
460	358	14	96
530	389	16	96
660	502	18	96
780	576	19	97
890	640	21	97
950	667	24	96
		เฉลี่ย	96



ภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสี 85 ถึง 950 mGy/h ต่อระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 80 – 960 mGy/h ต่อระบบมองภาพ ในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	จำนวนพิกเซลสีขาว ก่อนกำบังรังสี	จำนวนพิกเซลสีขาว หลังกำบังรังสี	จำนวนพิกเซลสีขาว ลดลง(%)
80	21	3	86
100	32	4	88
200	69	8	88
300	91	10	89
400	124	12	90
460	151	15	90
530	166	17	90
630	215	19	91
750	258	22	91
900	318	25	92
960	350	28	92
		เฉลี่ย	90









ภาพที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบผลการรบกวนรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสี 80 ถึง 960 mGy/h ต่อระบบมองภาพในสภาพก่อนและหลังกำบังรังสีให้กล้องโทรทัศน์

ผลการทดสอบพบว่ากำบังรังสีที่ออกแบบขึ้นสามารถลดทอนอัตราปริมาณรังสีให้เข้าถึงกล้องโทรทัศน์ได้มาก จนสามารถลดการรบกวนของฟลูออโรสโตนลงได้ถึง 90 ถึง 95 %

โดยได้เลือกข้อมูลภาพที่แสดงผลการรบกวนของรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสี 100, 300 และ 950 mGy/h ต่อกำบังรังสีชนิดซีมอสขนาดเล็กที่เลือกใช้ในระบบมองภาพหลังกำบังรังสี มาเปรียบเทียบให้เห็นการรบกวนของฟลูออโรสโตนบนพื้นหลังภาพดังตารางที่ 4.17 และข้อมูลภาพที่แสดงผลการรบกวนของรังสีแกมมาจาก C0-60 ที่อัตราปริมาณรังสี 80, 100 และ 960 mGy/h ต่อกำบังรังสีชนิดซีมอสขนาดเล็กที่เลือกใช้ในระบบมองภาพหลังกำบังรังสี มาเปรียบเทียบให้เห็นการรบกวนของฟลูออโรสโตนบนพื้นหลังภาพ ดังตารางที่ 4.18


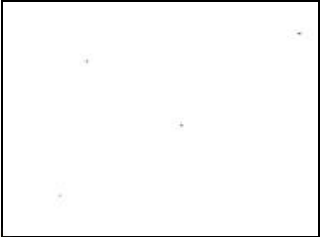




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟลักเซลสว่าง	ภาพเนกาทิป
100		
300		
950		

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ตารางที่ 4.18 ผลการรบกวนของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กหลังกำบังรังสี

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพฟิสิกเซลสว่าง	ภาพเนกกาทีฟ
80		
300		
960		

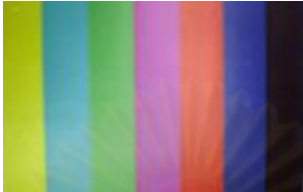




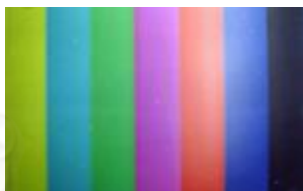
4.4.3 การทดสอบผลของรังสีต่อคุณภาพสีของกล้อง

ในการทดสอบผลของรังสีต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็ก ดำเนินการโดยจัดระบบทดสอบดังในภาพที่ 4.8 แต่เปิดหน้ากล้องให้ระบบมองภาพแผ่นแถบสี สำหรับทดสอบภาพสี และทดสอบฉายรังสีด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และต้นกำเนิดรังสี โคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสี 100, 300, 950 และ 80, 300, 960 mGy/h ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบผลของคุณภาพสีระหว่างที่มีกัมมันตรังสีและไม่มีกัมมันตรังสีต่อหุ้มกล้องโทรทัศน์ ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ผลการรบกวนของรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กก่อนและหลังกัมมันตรังสี

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพสีก่อนมีกัมมันตรังสี	ภาพสีหลังมีกัมมันตรังสี
100		
300		
950		

ตารางที่ 4.20 ผลการรบกวนของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่อัตราปริมาณรังสีต่างๆ ต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์สีชนิดซีมอสขนาดเล็กก่อนและหลังกำบังรังสี

อัตราปริมาณรังสี (mGy/h)	ภาพสีก่อนมีกำบังรังสี	ภาพสีหลังมีกำบังรังสี
80		
300		
960		

ผลการทดสอบพบว่า ทั้งอัตราปริมาณรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ที่ทดสอบไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพสีของกล้องโทรทัศน์มากนัก เมื่อเทียบกับการทดลองใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสงที่มีย่านแสงขาวที่โทนต่างกันจะมีผลต่อการเพี้ยนสีมากกว่า

4.5 การทดสอบการทำงานของระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบการทำงานของระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น เป็นการทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบต่างๆ ของระบบมองภาพใต้น้ำ ได้แก่ การกั้นน้ำรั่วซึมที่ระดับความลึก 5 เมตร ความสว่างของแสงจากระบบส่องสว่าง และคุณภาพของภาพที่ได้บนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นต้น มีรายละเอียดการทดลองดังนี้

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น มีดังนี้

1. ระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น
2. แท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.- 1/1
3. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมบันทึกภาพและอ่านข้อมูลภาพ

4.5.2 การทดสอบการทำงานของระบบมองภาพ

ติดตั้งระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงที่พัฒนาขึ้น โดยยึดก้านต่อตัวกล้องมองภาพจำนวน 3 ท่อน เข้ากับตัวกล้องมองภาพด้วยวิธีต่อเกลียว ซึ่งจะได้ความยาวก้านต่อตัวกล้องทั้งหมด 5.5 เมตร จากนั้นเชื่อมต่อสายเคเบิลสัญญาณกับชุดควบคุมการส่องสว่างเพื่อควบคุมความสว่างของแสง และสายสัญญาณกล้องโทรทัศน์ระบบยูเอสบี (USB) กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยสายเคเบิลดังกล่าวจะรัดติดกับก้านต่อตัวกล้อง

หลังการติดตั้งนำระบบมองภาพหย่อนลงบริเวณบ่อน้ำเก็บแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 เพื่อทดสอบการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วที่ตำแหน่งแท่งเชื้อเพลิง 8576 ที่ความลึก 5 เมตร จ่ายไฟฟ้าให้ระบบมองภาพทำงานดังในภาพที่ 4.12 จากนั้นปรับเปลี่ยนความสว่างของระบบส่องสว่างเพื่อทดสอบความชัดเจนของภาพจากกล้องโทรทัศน์ ดังในภาพภาพที่ 4.13 และทำการบันทึกภาพแท่งเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งด้านบนบนกึ่งกลางและด้านปลายของแท่ง ได้ผลภาพถ่ายดังภาพที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ หลังเสร็จสิ้นการบันทึกภาพนำระบบมองภาพใต้น้ำทงรังสีสูงมาตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำตามแนวรอยต่อ



(ก) ติดตั้งระบบ



(ข) ตรวจสอบคุณภาพของภาพ

ภาพที่ 4.12 การดำเนินการติดตั้งระบบมองภาพเพื่อทดลองตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว

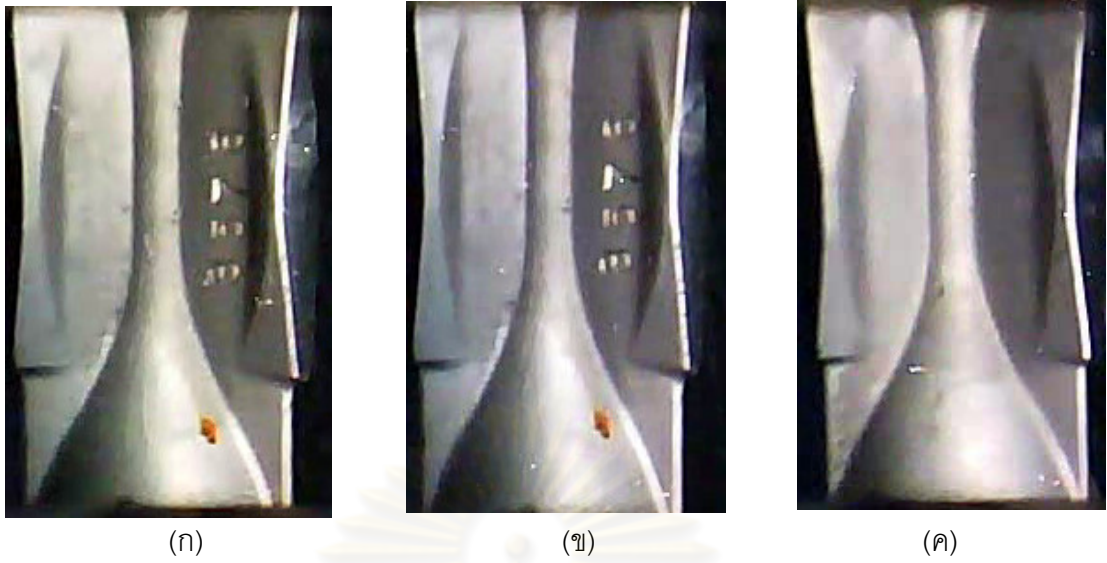


(ก) ตรวจสอบความชัดเจนภาพ

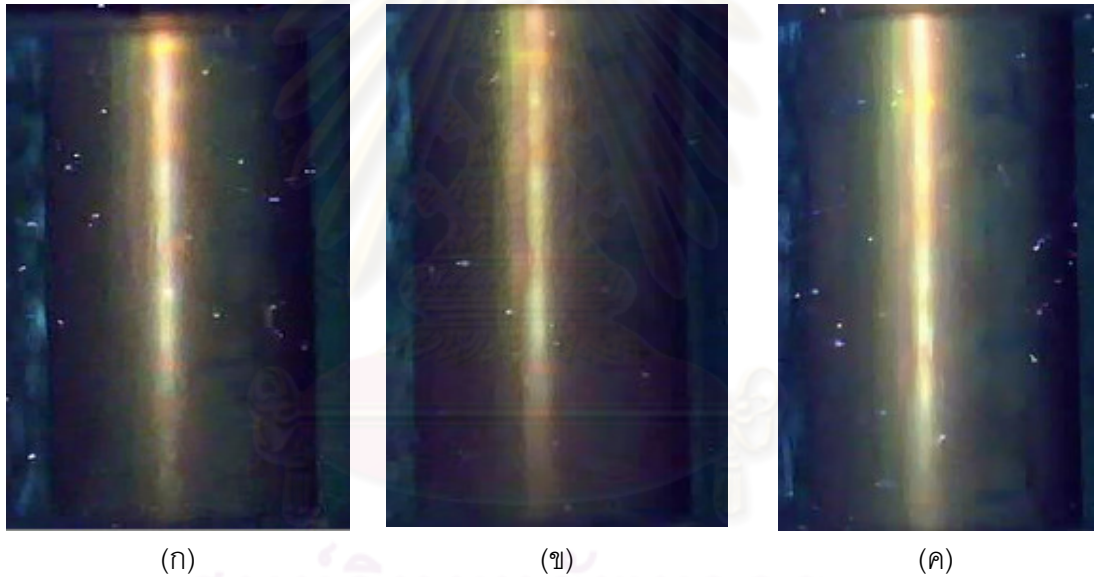


(ข) พื้นที่ส่องสว่าง

ภาพที่ 4.13 การทดลองปรับเปลี่ยนความสว่างแสงเพื่อทดสอบความชัดเจนของภาพจากกล้องโทรทัศน์

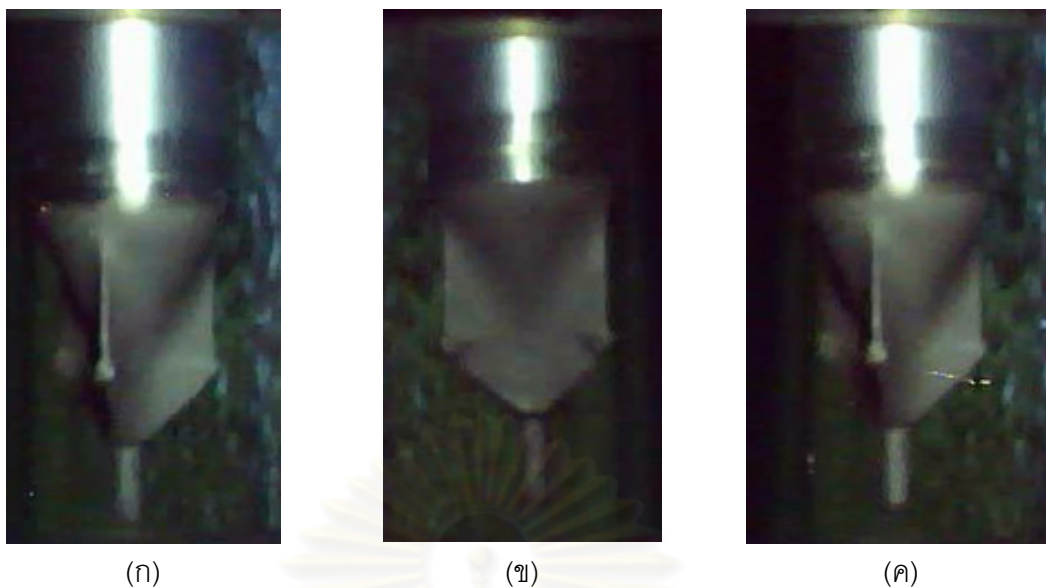


ภาพที่ 4.14 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงด้านบนในแต่ละมุมแสง



ภาพที่ 4.15 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงบริเวณกลางแท่งในแต่ละมุมแสง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.16 ภาพถ่ายแท่งเชื้อเพลิงด้านปลายในแต่ละมุมแสง

ผลการทดสอบการทำงานของระบบมองภาพได้น้ำที่รังสีสูงที่พัฒนาขึ้น ในการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงสามารถสรุปได้ดังนี้

ก. ระบบส่องสว่างด้วยไดโอดเปล่งแสงสามารถปรับเปลี่ยนความสว่างแสงให้ส่องสว่างได้น้ำมีความสว่างเพียงพอ สำหรับมองภาพจากกล้องโทรทัศน์ได้ชัดเจน แต่ยังมีพื้นที่ครอบคลุมไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจากผลของภาพถ่ายเปรียบเทียบ ก, ข และค ของภาพที่ 4.14 ถึง 4.16 จะโทษสีของภาพในแต่ละมุมแสงต่างกัน

ข. จากการตรวจสอบผลการกั้นน้ำของระบบมองภาพได้น้ำที่สร้างขึ้น พบว่าไม่มีการรั่วซึมของน้ำเข้าตามขอบรอยต่อช่องมองภาพและแผ่นแผงหน้าโครงกล้อง หลังจากใช้งานไปประมาณ 20 นาที

ค. ผลการมองภาพจากกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กราคาประหยัด ให้คุณภาพของภาพสูงพอที่จะเห็นรายละเอียดของรอยดำหนิและหมายเลขที่ทำเครื่องหมายซึ่งมีขนาดประมาณ 0.4 เซนติเมตร ดังภาพถ่ายด้านบนของแท่งเชื้อเพลิงในแต่ละมุมแสงในภาพที่ 4.14 ในขณะที่ภาพถ่ายบริเวณกลางแท่งเชื้อเพลิงในภาพที่ 4.15 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราปริมาณรังสีสูงกว่าส่วนอื่นพบผลการรบกวนของฟลักซ์สว่างบนพื้นหลังภาพมีไม่มาก ผลที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากการกระเจิงของรังสีแกมมาจากโครงอลูมิเนียมบริเวณช่องมองภาพเข้าทางหน้ากล้องโทรทัศน์

ง. ในการปรับตำแหน่งและทิศทางด้วยก้านต่อกกล้องมองภาพยาว 5.5 เมตร ต้องการกลไกยึดประคองบนปากบ่อที่แข็งแรงในการเคลื่อนมุมมองในทิศทางต่างๆ เนื่องจากจะเกิดการแกว่ง ส่วนการปรับตำแหน่งในแนวตั้งสามารถทำได้สะดวก

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบมองภาพทรวงรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบใต้น้ำควบคุมระยะไกลและทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบ โดยเลือกใช้กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอส (CMOS) ขนาดเล็กมาออกแบบตัวกล้องมองภาพ เนื่องจากมีราคาประหยัดและไวต่อการตอบสนองของรังสีและเกิดพิชเชลสว่างรบกวนพื้นหลังภาพน้อยกว่ากล้องโทรทัศน์ชนิดซีซีดี (CCD) ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกกล้องโทรทัศน์ทำให้ทราบถึงความไวของแผ่นรับภาพต่ออัตราปริมาณรังสีของแหล่งกำเนิดรังสีรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ต่างกัน และการออกแบบก้างรังสีเพื่อลดการรบกวนพื้นหลังภาพของขณะทำงานในบริเวณรังสีสูงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลสนับสนุนการออกแบบระบบในหลายขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาการรบกวนของรังสีต่อกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก 3 ชนิด พบว่ากล้องโทรทัศน์เริ่มตอบสนองไฟตอนที่พลังงานประมาณ 20 keV และจำนวนพิชเชลสว่างจากผลการรับรังสีจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตรงกับอัตราปริมาณรังสี ในขณะที่กล้องโทรทัศน์จากผู้ผลิต 3 บริษัทไวต่อรังสีต่างกัน โดยกล้องโทรทัศน์ของบริษัท A ไวต่อรังสีมากกว่ากล้องโทรทัศน์ของบริษัท B และ C ทั้งนี้เนื่องจากตัวกล้อง (Housing) ของบริษัท A เป็นพลาสติก แต่ของบริษัท B และ C เป็นอลูมิเนียมจึงยอมให้ปริมาณรังสีผ่านเข้าไปถึงแผ่นรับภาพแตกต่างกัน

5.1.2 กล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กของบริษัท C มีคุณภาพของภาพและการส่งสัญญาณระยะไกลตามต้องการที่ 6 เมตร และมีความไวต่อรังสีต่ำสุด อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากัน รังสีเอกซ์ต่อเนื่องพลังงาน 300 kV จะให้ผลการรบกวนภาพสูงกว่ารังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 โดยผลการรบกวนที่อัตราปริมาณรังสีประมาณ 950 mGy/h พบว่ารังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 ดังกล่าวก่อให้เกิดจำนวนพิชเชลสว่างต่อพื้นหลังภาพ (% interference) คิดเป็นการรบกวน 0.892% และ 0.225% ตามลำดับ

5.1.3 การนำกล้องโทรทัศน์ชนิดซีมอสขนาดเล็กมาใช้งานในบริเวณรังสีสูงจะต้องลดอัตราปริมาณรังสีรบกวนด้วยการห่อหุ้มด้วยก้างรังสีเพื่อลดผลกระทบของรังสีต่ออุปกรณ์รับภาพ โดยไม่ก่อให้เกิดพิชเชลสว่างรบกวนพื้นหลังภาพจนมีผลต่อคุณภาพของภาพ ในกรณีของรังสีแกมมาพบว่าในการคำนวณออกแบบก้างรังสีจะต้องลดอัตราปริมาณรังสีอยู่ที่ระดับ 50 mGy/h

5.1.4 ในการออกแบบกำบังรังสีสำหรับงานหลายประเภทอาจสามารถเพื่อความหนาของกำบังรังสีได้มากหากมีพื้นที่เพียงพอ แต่สำหรับระบบมองภาพได้น้ำระดับลึกมีปัจจัยอื่นๆ ที่ควรคำนึงเพิ่มเติม เช่น กำบังรังสีควรมีขนาดและน้ำหนักไม่มากจนเกินไปจนทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งานและค่าใช้จ่ายของระบบสูงเกินไป ดังนั้นจึงการออกแบบกำบังรังสีต้องมีการประเมินขนาดของกำบังรังสีอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่แม่นยำ คำนวณผลผลิตฟิชชันจากการเผาผลาญของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในแท่ง เพื่อประเมินซอร์สเทอม (Source term) สำหรับใช้ประกอบการออกแบบกำบังรังสีด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ MCNPX

5.1.5 ผลการพัฒนาบระบบมองภาพทรวงรังสีสูงทำให้ได้ระบบที่มีขนาด 11.5 x 11.5 x 18 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม สามารถทนต่อการรั่วซึมในการใช้งานได้น้ำที่ความลึก 5 เมตร จากการทดลองใช้ระบบมองภาพทรวงรังสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้น้ำควบคุมระยะไกลที่พัฒนาขึ้น ในการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 พบว่าคุณภาพของภาพสูงเพียงพอสำหรับการตรวจด้วยสายตา สามารถมองเห็นรอยตำหนิและหมายเลขที่ทำเครื่องหมายบนแท่งเชื้อเพลิงขนาดประมาณ 0.4 เซนติเมตรได้และการใช้ตะกั่วกำบังรังสีกัลกัองโททศัณห์หนา 2 เซนติเมตร ที่ระดับอัตราปริมาณรังสี 160 mGy/h พบว่ามีพื้นที่รบกวนจากฟิสิกเซลสว่างเพียง 0.012 %

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

5.2.1 ผลของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาต่ออกลัองโททศัณห์ชนิดซีมอสขนาดเล็ก ที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากันนั้นรังสีเอกซ์ต่อเนื่องพลังงาน 300 kV จะให้ผลการรบกวนภาพสูงกว่ารังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองมีพลังงานงานต่ำกว่าและมีย่านพลังงานกว้างจึงมีโอกาสถูกดูดกลืนจากผลของอันตรกิริยาของรังสีทั้งปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric) และคอมป์ตัน (Compton) ในฟิสิกเซลรับภาพได้ดีกว่ารังสีแกมมาพลังงานสูงที่ 1.17 MeV และ 1.33 MeV จาก โคบอลต์-60 ซึ่งมีโอกาสทะลุผ่านสูงกว่า

5.2.2 ในการออกแบบระบบมองภาพในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลการออกแบบกำบังรังสีสำหรับกรณีการใช้ตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงที่ระดับอัตราปริมาณรังสีรังสี 160 mGy/h ผลการใช้กำบังรังสีตะกั่วหนา 2 เซนติเมตร สามารถลดจำนวนฟิสิกเซลสว่างลง 90-96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากถ้าต้องการลดฟิสิกเซลสว่างให้ได้มากขึ้นต้องมีการเพิ่มความหนาของตะกั่ว จะทำให้เพิ่มน้ำหนักของอกลัองโททศัณห์พร้อมอุปกรณ์ประกอบ จะทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งาน

5.2.3 การควบคุมทิศทางที่เป็นระบบกลที่ควบคุมด้วยกลไกง่ายๆ จะช่วยให้ระบบไม่ซับซ้อน สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย เนื่องจากในทางปฏิบัติการใช้งานจริงในการตรวจบำรุงรักษาจะควบคุมทิศทางเฉพาะขึ้นลงเท่านั้น

5.2.4 จากการทดลองใช้ระบบมองภาพทรงแสดงสีสูงสำหรับงานตรวจสอบได้นำควบคุมระยะไกลที่พัฒนาขึ้น ในการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 พบว่าสภาพการใช้งานจริง ผลจากการเปรียบเทียบคุณภาพสีของภาพต่อจำนวนพิกเซลสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามการนำเครื่องมือไปใช้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมความปลอดภัยที่มีการควบคุมของผู้มีหน้าที่และผ่านการตรวจสอบก่อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการใช้งานทั่วไปควรมีระบบควบคุมทิศทางและตำแหน่งของระบบมองภาพ โดยระบบขับเคลื่อนละเอียดแบบ 3 แกน (XYZ) ด้วยมอเตอร์และควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถโปรแกรมการสแกนคุณภาพและบันทึกภาพอัตโนมัติ ในงานตรวจสอบที่ต้องทำซ้ำ

5.3.2 ระบบส่องสว่างของกล้องควรใช้ไดโอดเปล่งแสงแบบความเข้มสูงและปรับความสว่างที่เหมาะสมผ่านระบบควบคุม ที่สำคัญในการมองภาพได้นำน่าจะมีการศึกษาโทนสีของไดโอดเปล่งแสงกับภาพสีที่มองผ่านกล้องโทรทัศน์

5.3.3 คุณภาพของระบบมองภาพสามารถปรับปรุงให้มีความคมชัดถ้าใช้กล้องที่มีคุณภาพสูงและใช้คุณภาพกระจกสะท้อนภาพที่มีคุณภาพสูงประกอบกัน

5.3.4 การใช้กระจกตะกั่วที่ช่องมองจะช่วยลดผลการรบกวนจากรังสีกระเจิงลงได้อีก แต่จะมีผลต่อคุณภาพสีของภาพและความไวแสงที่จะถูกรองบางส่วนด้วยผลของกระจกตะกั่ว

5.3.5 ระบบมองภาพทรงแสดงสีสูงมองภาพได้นำ ที่ออกแบบเพื่องานบำรุงรักษาเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานปฏิบัติการรังสีสูงอื่นได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

- [1] Sharp, R.E, Peter,S.L. and Garlick, D.R. Radiation tolerance of current CCD based CCTV cameras, 1993.
- [2] Puri, R.K. Haurray, A.K. Padamanabhan, M. H.M. Bapat & Manjit Singh, Indigenous. Development of Miniature Underwater Radiation Resistant CCTV Camera for Remote Inspection of Coolant Channels PHWRs, 2002.
- [3] Barton, Z. Vrba, R. CCD image sensor degradation by X-ray radiation, 2005.
- [4] Braga, H.L. et al. Layout Techniques for Radiation Hardening of Standard CMOS Active Pixel Sensors, 2008.
- [5] Goffona, V. et al. Ionizing Radiation Effects on CMOS Imagers Manufactured in Deep Submicron Process, 2008.
- [6] Tan,J. Buttgen, B. and Albert, J. P. International Conference on Solid State Devices and Materials. X-Ray Radiation Effects on CMOS Image Sensor In-Pixel Devices, pp 299-300. Tokyo: 2010.
- [7] Deoneplace apartment present from http://region4.prd.go.th/techno_it[2011, April09]
- [8] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Industrial Radiation Imaging, เอกสารการสอนวิชา 211660 นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [9] <http://www.camera-station.com/index.php?lay>[2011, April03]
- [10] Yu Qingkui, Tang Min, Zhu Hengjing, Zhang Haiming, Zhang Yanwei and Sun Jixing. Experimental Investigation of Radiation Damage on CCD with Protons and Cobalt 60 Gamma Rays, 2007.
- [11] Shultis, J. K. and Faw, R. E. Radiation Shielding, Kansas, American Nuclear Society, Inc,2000.
- [12] Wagner,J.C. Acceleration of Monte Carlo Shielding Calculations with an Automated Variance Reduction Technique and Parallel Processing, PhD dissertation, Pennsylvania State University, PA, United States,1997.

- [13] ANS-6.1.1 Working Group, M. E. Battat (Chairman). American National Standard Neutron and Gamma-Ray Flux-to-Dose Rate Factors, ANSI/ANS-6.1.1-1977 (N666). American Nuclear Society. LaGrange Park. Illinois, 1977.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

กล้องโทรทัศน์สีมอขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องโทรทัศน์ซีมอสขนาดเล็ก บริษัท A

Total Pixels:	300 Kilopixel
Maximum Video Capture Resolution:	640 x 480 @ 30 fps
Frames per Second:	30 frames/s (fps)
Focus Type:	Manual
General Features:	Built-in Microphone
Interface Connection:	1 x USB 2.0 USB
Mounting:	Laptop LCD Monitor
System Type:	Microsoft Windows
Warranty Information:	2 Year Limited

กล้องโทรทัศน์ซีมอสบริษัทขนาดเล็ก B

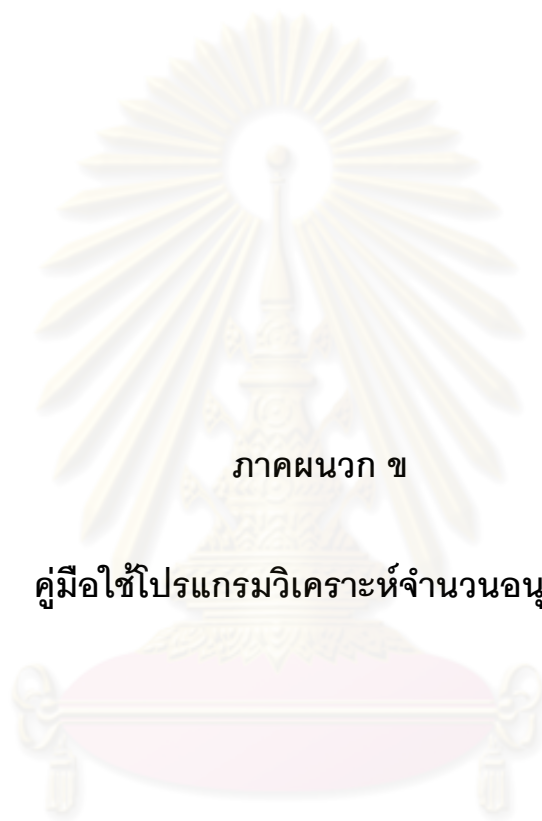
- 5M Digital Camera CMOS Sensor
- Large windows capture size:3200*2400
- Video mode:RGB24
- Interface:USB2.0
- Transmission rate(640*480) 30F/S (1600*1200)-8-10F/S
- Signal-Noise rate:Large than 48dB
- Dynamic range:Large than 72dB
- Image focus:3cm to infinity

กล้องโทรทัศน์ที่มีขนาดเล็ก บริษัท C

- Resolution : 2.0 M pixels up to 16.0M by software
- Frame rate 60 fps
- USB Microphone
- Info noise rate : 48dB
- Focus range : 30mm-infinite
- Plug and Play (no drivers required)
- Window NT/2000/XP/Vista/Windows 7/Mac OS X



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

คู่มือใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำนวนอนุภาค

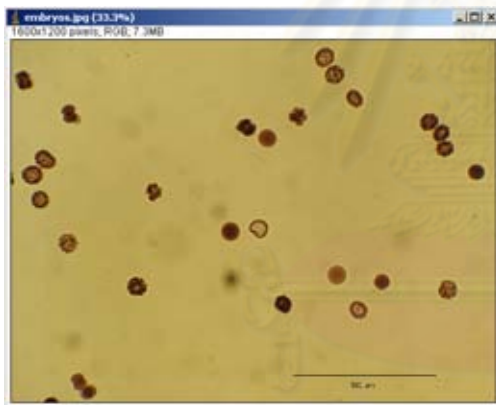
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คู่มือใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำนวนอนุภาค (Image J)

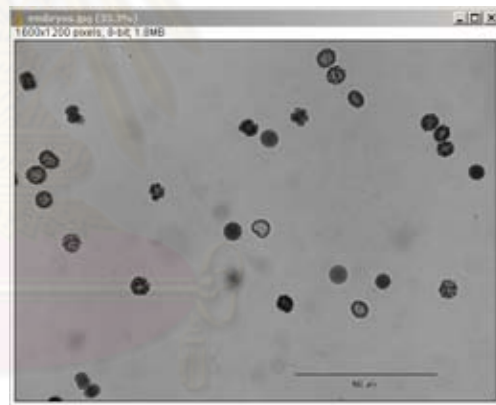
1. วิเคราะห์จำนวนอนุภาค (Particles)

การวิเคราะห์จำนวนอนุภาคเป็นการวิเคราะห์อนุภาคจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรม จึงทำให้ช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการตรวจพินิจด้วยตา ของบุคคลผู้ตรวจจสอบ ส่งผลให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์ จำนวนอนุภาคจากภาพมีขั้นตอนดังต่อไปนี้


- เปิดไฟล์ภาพตัวอย่าง Embryos ขึ้นมาใช้งาน โดยคลิกที่แถบคำสั่งเลือก
- File --> Open Samples --> Embryos จะปรากฏหน้าต่างภาพ Embryos ดังภาพ 5-12
- ปรับภาพให้เป็น Grayscale ขนาด 8-bit โดยคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Image --> Type --> 8-bit จะปรากฏภาพ Grayscale ดังภาพ 5-13



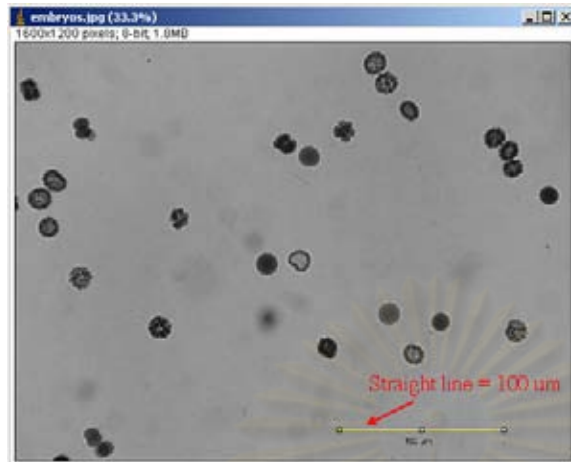
ภาพ 5-12



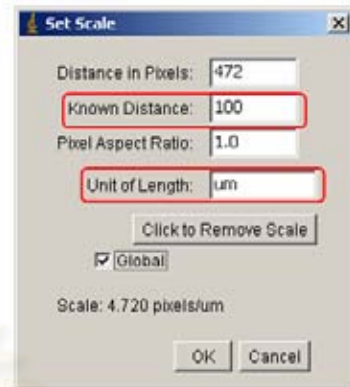
ภาพ 5-13

- การตั้งค่ามาตราส่วนของการวัดโดยใช้เครื่องมือ  Straight line selections ในแถบเครื่องมือเพื่อวัดแถบสเกลภายในภาพยาว 100 um ดังภาพ 5-14 จากนั้นคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Set Scale จะปรากฏหน้าต่าง Set Scale ดังภาพ 5-15 จากนั้นระบุ Known Distance = 100 เปลี่ยน Unit of Length เป็น um คลิกเลือก Global และคลิกปุ่ม

OK



ภาพ 5-14



ภาพ 5-15

■ คลิกที่แถบคำสั่งเลือก Process --> Binary --> Make Binary เป็นการปรับ Threshold ภาพแบบอัตโนมัติเพื่อให้อนุภาคที่เราต้องการวิเคราะห์เป็นสีดำ และให้พื้นหลังเป็นสีขาว ซึ่งจะได้ภาพ หลังจากปรับ Threshold แสดงดังภาพ 5-16

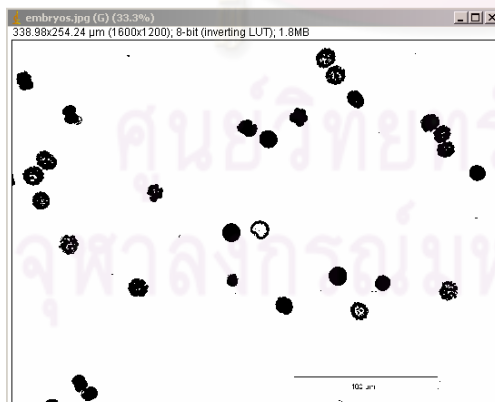
- ตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก (บริเวณแถบสเกล) โดยใช้เครื่องมือ



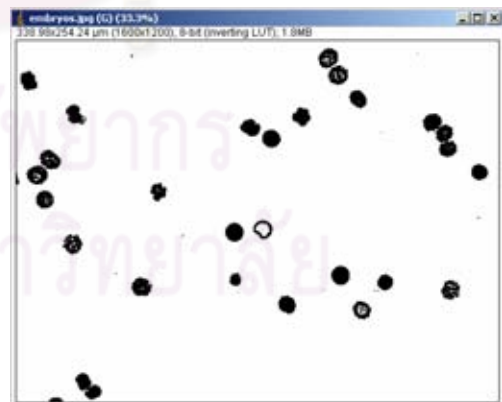
Rectangular selections

- เพื่อเลือกบริเวณที่ไม่ต้องการ จากนั้นเข้าไปที่แถบคำสั่งเลือก

Edit --> Cut จะได้ภาพดังภาพ 5-17



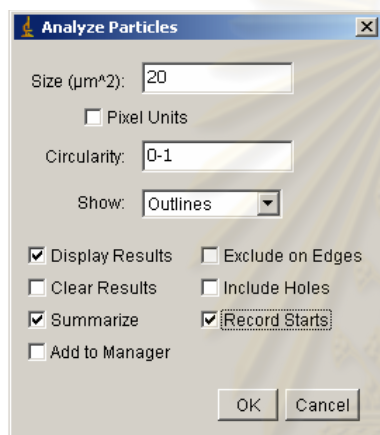
ภาพ 5-16



ภาพ 5-17

วิเคราะห์จำนวนอนุภาคภายในภาพโดยเข้าไปที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Analyze Particles จะปรากฏหน้าต่าง Analyze Particles จากนั้นกำหนดขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ต้องการวิเคราะห์ที่ช่อง Size (μm^2) เป็น 20 กรอกช่อง Circularity เป็น 0.00-1.00 เลือก Show เป็น Outlines คลิกเลือก Display Results Summarize และ Record Starts ดังภาพ 5-18 เมื่อคลิกปุ่ม **OK**

จะปรากฏที่หน้าต่าง Results ดังภาพ 5-19 หน้าต่าง Summary ดังภาพ 5-20 และหน้าต่าง Drawing of Embryos ดังภาพ 5-21 ขึ้นมาพร้อมกัน



ภาพ 5-18

	Area	XStart	YStart
21	116.705	1434	795
22	118.590	895	845
23	94.351	1139	864
24	179.771	219	1104
25	25.989	127	1184

ภาพ 5-19

Slice	Count	Total Area	Average Size	Area Fraction
embryos.jpg	25	3200.095	128.004	3.7

ภาพ 5-20




ภาพ 5-21

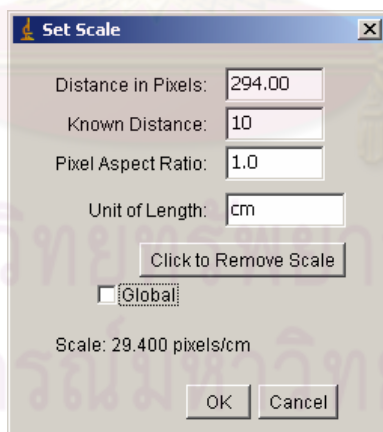
- ▣ หน้าต่าง Results แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการนับอนุภาค และแสดงรายละเอียดของแต่ละอนุภาค ผู้ใช้สามารถบันทึกผลลัพธ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ได้

- ▣ หน้าต่าง Summary แสดงผลสรุปของภาพที่นำมาวิเคราะห์จำนวนอนุภาค ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้ ชื่อภาพที่นำมาวิเคราะห์ (Slice) จำนวนอนุภาคที่นับได้ (Count) ผลรวมพื้นที่ของอนุภาคทั้งหมด (Total Area) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (Average Size) และ สัดส่วนของพื้นที่อนุภาคกับภาพ (Area Fraction) ผู้ใช้สามารถบันทึกผลสรุปเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้

หน้าต่าง Drawing of Embryos แสดงภาพวาดของอนุภาคที่ถูกวิเคราะห์ พร้อมทั้งระบุตัวเลขลำดับของการนับภายในอนุภาคนั้นๆ เพื่อนำไปเทียบกับข้อมูลผลลัพธ์จากหน้าต่าง Results

2. การตั้งค่ามาตราส่วน (Set Scale)

ใช้สำหรับนิยามหน่วยการวัดขนาดในรูปภาพ โดยการกำหนดมาตราส่วนระหว่างจำนวนพิกเซลกับระยะทางที่เราวัดค่าจริง โดยก่อนที่จะเรียกใช้ฟังก์ชันนี้ให้ลากเส้นตรงโดยใช้เครื่องมือ  Straight line selections ลงบนรูปภาพบริเวณที่เราวัดค่าจริง จากนั้นคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Set Scale จะปรากฏหน้าต่างให้ตั้งค่าต่างๆ ดังภาพ 5-22



ภาพ 5-22

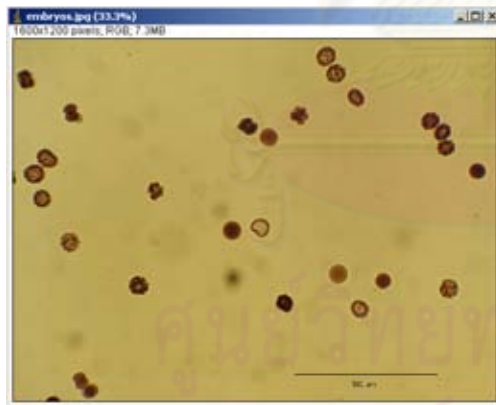
- ▶ ระยะทางเป็นพิกเซล (Distance in Pixels) จะใส่ให้อัตโนมัติตามค่าที่ได้จากการลากเส้นตรง
- ▶ ระยะทางจริงที่รู้ (Known Distance) เป็นค่าระยะทางจริงตามความยาวของเส้นตรงที่ลากผ่าน
- ▶ สัดส่วนของพิกเซล (Pixel Aspect Ratio) ใช้สำหรับกำหนดสัดส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูง

- ▶ หน่วยของความยาว (Unit of Length) คือหน่วยของระยะทางจริงในรูปภาพ
- ▶ คลิกปุ่ม Click to Remove Scale เมื่อต้องการเคลียร์ค่าระยะทางจริงที่รู้ และค่าหน่วยของความยาว
- ▶ คลิกเครื่องหมาย ✓ ที่หน้า Global ถ้าต้องการให้การตั้งค่ามาตรฐานนี้ใช้ได้กับรูปภาพอื่น
- ▶ ปุ่มตกลง (OK) กดเพื่อยอมรับค่ามาตรฐาน

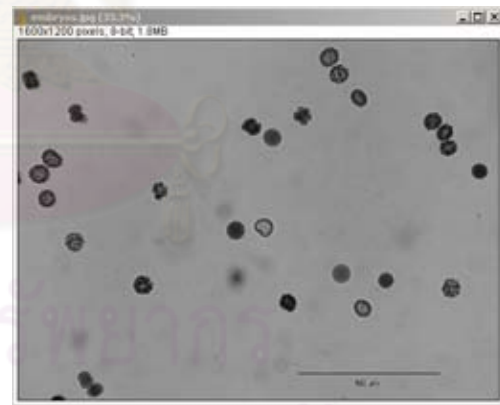
3. เครื่องมือจำนวนอนุภาค (Particles)

การวิเคราะห์จำนวนอนุภาคเป็นการวิเคราะห์อนุภาคจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรม จึงทำให้ช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการตรวจพินิจด้วยตาของบุคคล ผู้ตรวจสอบ ส่งผลให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์จำนวนอนุภาคจากภาพมีขั้นตอนดังต่อไปนี้


- เปิดไฟล์ภาพตัวอย่าง Embryos ขึ้นมาใช้งาน โดยคลิกที่แถบคำสั่งเลือก File --> Open Samples --> Embryos จะปรากฏหน้าต่างภาพ Embryos ดังภาพ 5-12
- ปรับภาพให้เป็น Grayscale ขนาด 8-bit โดยคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Image --> Type --> 8-bit จะปรากฏภาพ Grayscale ดังภาพ 5-13



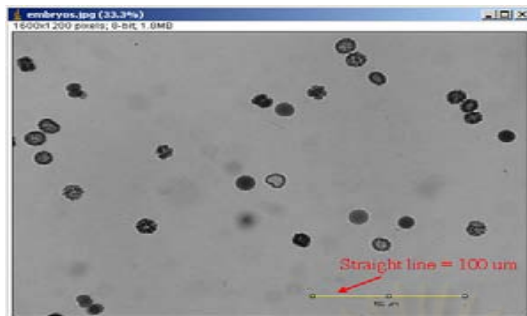
ภาพ 5-12



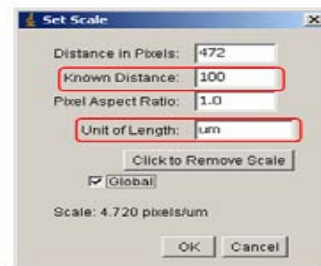
ภาพ 5-13

การตั้งค่ามาตรฐานของการวัดโดยใช้เครื่องมือ  Straight line selections ในแถบเครื่องมือเพื่อวัดแถบสเกลภายในภาพยาว 100 um ดังภาพ 5-14 จากนั้นคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Set Scale จะปรากฏหน้าต่าง Set Scale ดังภาพ 5-15 จากนั้นระบุ Known Distance = 100 เปลี่ยน Unit of Length เป็น um คลิกเลือก Global และ คลิกปุ่ม


OK

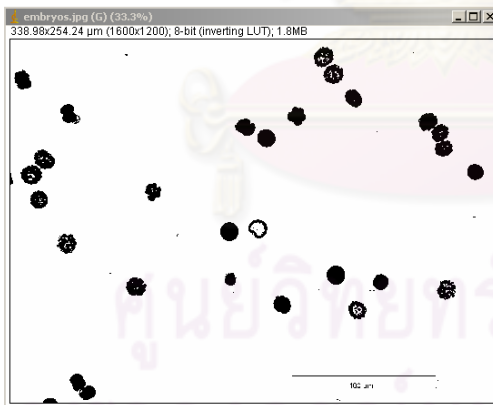


ภาพ 5-14



ภาพ 5-15


- คลิกที่แถบคำสั่งเลือก Process --> Binary --> Make Binary เป็นการปรับ Threshold ภาพ แบบอัตโนมัติเพื่อให้อนุภาคที่เราต้องการวิเคราะห์เป็นสีดำ และให้พื้นหลังเป็นสีขาว ซึ่งจะได้ภาพหลังจากปรับ Threshold แสดงดังภาพ 5-16
- ตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก (บริเวณแถบสเกล) โดยใช้เครื่องมือ  Rectangular selections เพื่อเลือกบริเวณที่ไม่ต้องการ จากนั้นเข้าไปที่แถบคำสั่งเลือก Edit --> Cut จะได้ภาพดังภาพ 5-17



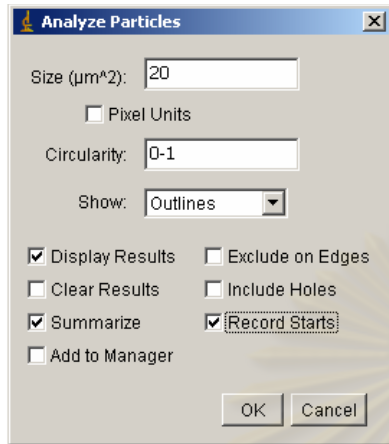
ภาพ 5-16



ภาพ 5-17

- วิเคราะห์จำนวนอนุภาคภายในภาพโดยเข้าไปที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Analyze Particles จะปรากฏหน้าต่าง Analyze Particles จากนั้นกำหนดขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ต้องการวิเคราะห์ที่ช่อง Size (μm^2) เป็น 20 กรอกช่อง Circularity เป็น 0.00-1.00 เลือก Show เป็น Outlines คลิกเลือก Display Results Summarize และ Record Starts ดังภาพ 5-18 เมื่อคลิกปุ่ม  จะปรากฏที่

หน้าต่าง Results ดังภาพ 5-19 หน้าต่าง Summary ดังภาพ 5-20 และหน้าต่าง Drawing of Embryos ดังภาพ 5-21 ขึ้นมาพร้อมกัน



ภาพ 5-18

	Area	XStart	YStart
21	116.705	1434	795
22	118.590	895	845
23	94.351	1139	864
24	179.771	219	1104
25	25.989	127	1184

ภาพ 5-19

Slice	Count	Total Area	Average Size	Area Fraction
embryos.jpg	25	3200.095	128.004	3.7


ภาพ 5-20

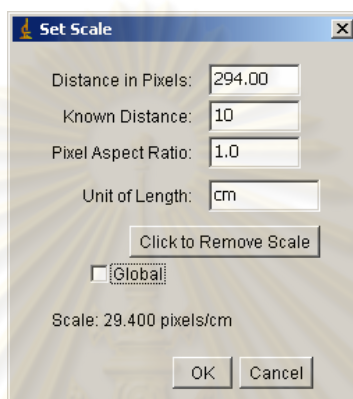


ภาพ 5-21

- หน้าต่าง Results แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการนับอนุภาค และแสดงรายละเอียดของแต่ละอนุภาค ผู้ใช้สามารถบันทึกผลลัพธ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ได้
- หน้าต่าง Summary แสดงผลสรุปของภาพที่นำมาวิเคราะห์จำนวนอนุภาค ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้ ชื่อภาพที่นำมาวิเคราะห์ (Slice) จำนวนอนุภาคที่นับได้ (Count) ผลรวมพื้นที่ของอนุภาคทั้งหมด (Total Area) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (Average Size) และ สัดส่วนของพื้นที่อนุภาคกับภาพ (Area Fraction) ผู้ใช้สามารถบันทึกผลสรุปเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้
- หน้าต่าง Drawing of Embryos แสดงภาพวาดของอนุภาคที่ถูกระบุไว้ พร้อมทั้งระบุตัวเลขลำดับของการนับภายในอนุภาคนั้นๆ เพื่อนำไปเทียบกับข้อมูลผลลัพธ์จากหน้าต่าง Results

4. การตั้งค่ามาตราส่วน (Set Scale)

ใช้สำหรับนิยามหน่วยการวัดขนาดในรูปภาพ โดยการกำหนดมาตราส่วนระหว่างจำนวนพิกเซลกับระยะทางที่เรารู้ค่าจริง โดยก่อนที่จะเรียกใช้ฟังก์ชันนี้ให้ลากเส้นตรงโดยใช้เครื่องมือ  Straight line selections ลงบนรูปภาพบริเวณที่เรารู้ค่าจริง จากนั้นคลิกที่แถบคำสั่งเลือก Analyze --> Set Scale จะปรากฏหน้าต่างให้ตั้งค่าต่างๆ ดังภาพ 5-22



ภาพ 5-22

- ▶ ระยะทางเป็นพิกเซล (Distance in Pixels) จะใส่ให้อัตโนมัติตามค่าที่ได้จากการลากเส้นตรง
- ▶ ระยะทางจริงที่รู้ (Known Distance) เป็นค่าระยะทางจริงตามความยาวของเส้นตรงที่ลากผ่าน
- ▶ สัดส่วนของพิกเซล (Pixel Aspect Ratio) ใช้สำหรับกำหนดสัดส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูง
- ▶ หน่วยของความยาว (Unit of Length) คือหน่วยของระยะทางจริงในรูปภาพ
- ▶ คลิกปุ่ม Click to Remove Scale เมื่อต้องการเคลียร์ค่าระยะทางจริง และค่าหน่วยของความยาว
- ▶ คลิกเครื่องหมาย ✓ ที่หน้า Global ถ้าต้องการให้การตั้งค่ามาตราส่วนนี้ใช้ได้กับรูปภาพอื่น
- ▶ ปุ่มตกลง (OK) กดเพื่อยอมรับค่ามาตราส่วน



ภาคผนวก ค

Photon Flux-to-Dose Rate Conversion Factors

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Photon Flux-to-Dose Rate Conversion Factors

Table H.2

Photon Flux-to-Dose Rate Conversion Factors

ANSI/ANS-6.1.1-1977/ICRP-21

Energy, E (MeV)	DF(E) (rem/hr)/(p/cm ² -s)	Energy, E (MeV)	DF(E) (rem/hr)/(p/cm ² -s)
0.01	3.96E-06	0.01	2.78E-06
0.03	5.82E-07	0.015	1.11E-06
0.05	2.90E-07	0.02	5.88E-07
0.07	2.58E-07	0.03	2.56E-07
0.1	2.83E-07	0.04	1.56E-07
0.15	3.79E-07	0.05	1.20E-07
0.2	5.01E-07	0.06	1.11E-07
0.25	6.31E-07	0.08	1.20E-07
0.3	7.59E-07	0.1	1.47E-07
0.35	8.78E-07	0.15	2.38E-07
0.4	9.85E-07	0.2	3.45E-07
0.45	1.08E-06	0.3	5.56E-07
0.5	1.17E-06	0.4	7.69E-07
0.55	1.27E-06	0.5	9.09E-07
0.6	1.36E-06	0.6	1.14E-06
0.65	1.44E-06	0.8	1.47E-06
0.7	1.52E-06	1.	1.79E-06
0.8	1.68E-06	1.5	2.44E-06
1.0	1.98E-06	2.	3.03E-06
1.4	2.51E-06	3.	4.00E-06
1.8	2.99E-06	4.	4.76E-06
2.2	3.42E-06	5.	5.56E-06
2.6	3.82E-06	6.	6.25E-06
2.8	4.01E-06	8.	7.69E-06
3.25	4.41E-06	10.	9.09E-06
3.75	4.83E-06		
4.25	5.23E-06		
4.75	5.60E-06		
5.0	5.80E-06		
5.25	6.01E-06		
5.75	6.37E-06		
6.25	6.74E-06		



ภาคผนวก ง

Input สำหรับการคำนวณ Shielding โดยใช้รหัส คอมพิวเตอร์ MCNPX

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Input สำหรับการคำนวณ Shielding โดยใช้รหัส คอมพิวเตอร์ MCNPX

Shielding Problem for underwater camera (T-shield=2.0 cms)

C Cell cards

1	1	-1.6500	-1		imp:p=1	\$ camera
2	2	-0.0012	1 -2		imp:p=1	\$ air gap
3	4	-11.4	2 -3		imp:p=1	\$ shield
4	2	-0.0012	3 -4		imp:p=1	\$ air in large section
5	2	-0.0012	-5 #12		imp:p=1	\$ air in small section
6	3	-2.7000	4 5 -6 7 10		imp:p=1	\$ al box
7	5	-1.0000	6 -51 9		imp:p=1	\$ surrounding water
8	2	-0.0012	-7		imp:p=1	\$ reflection hole
9	6	-5.8867	-8		imp:p=1	\$ fuel meat
10	7	8.3651E-2	8 -9		imp:p=1	\$ cladding
11	8	-2.23	-10		imp:p=1	\$ glass window
12	8	-2.23	-11 12 14 -13 16 -15		imp:p=1	\$ reflecting mirror
52	0		51		imp:p=0	\$ universe

C Surface cards

1	RCC	0	0.0	0	0	0	8.00	2.00		\$ camera
2	RCC	0	0.0	0	0	0	8.00	2.50		\$ inner shield
3	RCC	0	0.0	0	0	0	8.00	4.50		\$ outer shield
4	RPP	-4.95	4.95	-4.95	4.95	0.00	11.2			\$ inner box - large section
5	RPP	-4.95	4.95	-4.95	4.95	-5.20	-0.8			\$ inner box - small section
6	RPP	-5.75	5.75	-5.75	5.75	-6.00	12.0			\$ outer box
7	RCC	0	0.0	0	0	0	-0.8	2.00		\$ reflection hole surface
8	RCC	17.6169	0.0	16.05	0.0	0.0	-38.10	1.8161		\$ fuel meat
9	RCC	17.6169	0.0	16.05	0.0	0.0	-38.10	1.8669		\$ cladding
10	RPP	4.95	5.75	-4.95	4.95	-5.2	-0.8			\$ window
11	P	1	0	1	-2.9					\$ reflecting mirror (top plane)
12	P	1	0	1	-3.1					\$ reflecting mirror (bottom plane)

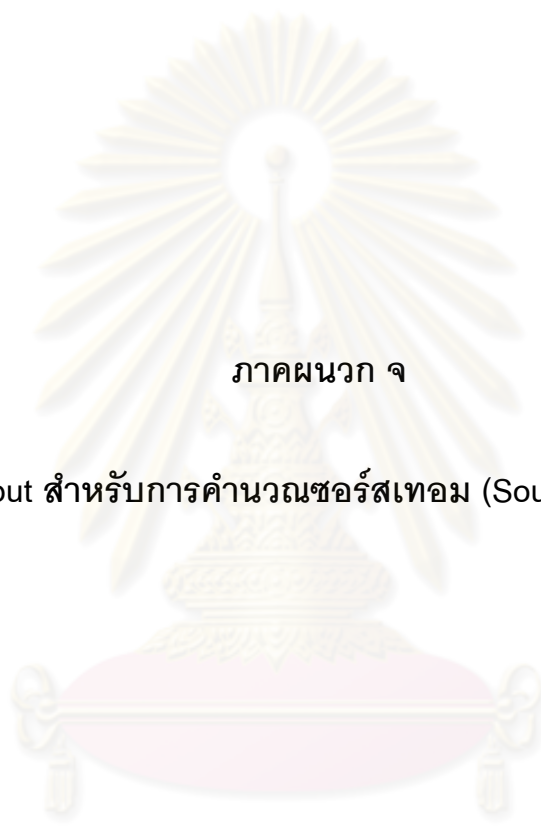
13 PX 1.5	\$ reflecting mirror (left plane)
14 PX -1.5	\$ reflecting mirror (right plane)
15 PY 1.5	\$ reflecting mirror (front plane)
16 PY -1.5	\$ reflecting mirror (back plane)
51 RCC 0 0 -60.0 0 0 120.00 30.00	\$ water

C Data cards

m1 6000.04p -0.3844	\$ PVC
1000.04p -0.0484	
7000.04p -0.5672	
m2 7000.04p -0.7900	\$ air
8000.04p -0.2100	
m3 13000.04p -0.9720	\$ al
12000.04p -0.1000	
26000.04p -0.0035	
24000.04p -0.0020	
14000.04p -0.0030	
29000.04p -0.0030	
m4 82000.04p -1.0000	\$ lead
m5 8000.04p 0.3333	\$ water
1000.04p 0.6667	

m6 92235.66c -2.4120E+01	
92236.66c -2.2650E+00	
94238.66c -2.3830E-03	
92238.66c -1.5240E+02	
94239.66c -9.5430E-01	
94240.66c -1.4140E-01	
94241.66c -3.4520E-02	
94242.66c -3.0280E-03	
40000.66c -2.0370E+03	
1001.66c -3.5990E+01	

m7 24000.04p 1.7207E-02 \$ SS304
 26000.04p 5.9026E-02
 28000.04p 7.4173E-03
 m8 5000.04p -3.7
 13000.04p -1.0
 8000.04p -53.5
 14000.04p -37.7
 11000.04p -4.1
 mode p
 F4:p 1
 Fm4 2.979E+15
 sdef ERG=D3 POS=17.6169 -3.00 0 AXS=0 1 0 EXT=D1 RAD=D2
 SI1 -19.05 19.05
 SP1 0 1
 SI2 0 1.8161
 SP2 -21 1
 SI3 H 2.00E-02 3.50E-02 5.00E-02 7.50E-02 1.25E-01 1.75E-01
 2.50E-01 4.00E-01 9.00E-01 1.35E+00 1.80E+00 2.20E+00
 2.60E+00 3.00E+00 3.50E+00 4.00E+00 4.50E+00 5.00E+00 1.00E+01
 SP3 0 2.514E+14 1.468E+14 1.272E+14 2.450E+14 1.427E+14 1.647E+14
 3.085E+14 8.498E+14 3.202E+14 1.860E+14 7.504E+13 6.539E+13
 4.085E+13 2.741E+13 1.438E+13 7.945E+12 3.094E+12 2.291E+12
 de4 0.01 0.03 0.05 0.07 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 &
 0.65 0.7 0.8 1.0 1.4 1.8 2.2 2.6 2.8 3.25 3.75 4.25 4.75 5.0 5.25 5.75 &
 6.25 6.75 7.5 9.0 11.0 13.0 15.0
 df4 3.96e-6 5.82e-7 2.9e-7 2.58e-7 2.83e-7 3.79e-7 5.01e-7 6.31e-7 7.59e-7 &
 8.78e-7 9.85e-7 1.08e-6 1.17e-6 1.27e-6 1.36e-6 1.44e-6 1.52e-6 1.68e-6 &
 1.98e-6 2.51e-6 2.99e-6 3.42e-6 3.82e-6 4.01e-6 4.41e-6 4.83e-6 5.23e-6 &
 5.60e-6 5.80e-6 6.01e-6 6.37e-6 6.74e-6 7.11e-6 7.66e-6 8.77e-6 1.03e-5 &
 1.18e-5 1.33e-5
 nps 10000000



ภาคผนวก จ

Input สำหรับการคำนวณซอร์สเทอม (Source term)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Input สำหรับการคำนวณซอร์สเทอม (Source term)

=origens

0\$\$ a4 33 e t

library, -- ft33f001

3\$\$ 33 a3 1 27 a16 2 a33 18 e t

35\$\$ 0 t

56\$\$ 10 a13 8 4 3 0 0 1 e

57** 0 a3 1e-14 1 e t

Depletion

POINT MASS

58**

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

0.01

60**

49.06

98.13

196.25

294.38

392.51

490.64

588.76

785.02

981.27



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 ภาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1177.53

66\$\$\$ a1 2 a5 2 a9 2 e

73\$\$\$

10010

400960

400940

400920

400910

400900

922380

922350

74**

3.600E+01

5.996E+01

3.644E+02

3.519E+02

2.277E+02

1.033E+03

1.540E+02

3.851E+01

75\$\$\$

1

1

1

1

1

1

2

2

t

56\$\$\$ 0 10 a10 10 a17 2 e 5t



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

60** 0 0.25 0.5 1 2 5 10 15 20 30

65\$\$ 1 5z 1 2z 1 11z 1 5z 1 2z 1 11z 1 5z 1 2z 1 e

61** 5r1-3 1+6 1+4

81\$\$ 2 0 26 1 e

82\$\$ f2

6t

56\$\$ f0 t

end



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมาน อิงโธสง เกิดเมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2509 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ในปี พ.ศ. 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศวิทยเทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิเวศวิทยเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง ช่างเทคนิคอาวุโส สังกัดฝ่ายตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิเวศวิทย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย