

การรักการกระจายของบริษัทธงฟ้าภายในภาคตะวันออกเฉียงใต้  
จากคืนก้า เป็นครั้งสแกมมา โภบล็อต-๖๐ ด้วยสารจะถ่ายสีเรติโน่ให้มีสี



นางสาวยุรีพร เพรนศรุจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความหลักสูตรบริษัทฯ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยี  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๘.๕. ๒๕๒๗

ISBN ๙๗๔-๕๖๓-๔๖๑-๑

009419

17068964

MEASUREMENT OF DOSE DISTRIBUTION INSIDE IRRADIATION CONTAINER  
FROM A COBALT-60 SOURCE USING RADIOCHROMIC DYE SOLUTION DOSIMETER

Miss Yureeporn Pramepeerakul

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

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวขอวิทยานิพนธ์ การวัดการกระจายของบรินาณรังสีภายในภาชนะด้วยรังสีจากคันก้า เม็ดรังสีแกมมา โคมออลต์-60 คำยสารละลายสีเรดิโอไครมิก

โดย นางสาวอุริหรา เปรมพิรกุล  
ภาควิชา นิวเคลียร์ เทคโนโลยี  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นงนุช รัตติวนิช



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมทางวิชาการ

..... *อุริหรา* ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... *สุวัฒนา พิพากษา* ..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ สุวรรณ แสงเพ็ชร์)

..... *อุริหรา อุไรรัตน์* ..... กรรมการ

(ดร. ผัสสธร จิตตากรณ)

..... *สุวัฒนา พิพากษา* ..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ขยายกริด ศิริอุปถัมภ์)

..... *อุริหรา อุไรรัตน์* ..... กรรมการ

(อาจารย์ นงนุช รัตติวนิช)

ลักษณ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดการกระจายของปริมาณรังสีภายในภาชนะด้วยรังสีจากต้นกำเนิด  
รังสีแกมมา โคลบอลต์-60 ด้วยสารละลายน้ำเรดิโอไอโครมิก

ชื่อนิสิต นางสาวสุริพร เปรมพิรุณ  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นงนุช รัตติวนิช  
ภาควิชา นิเวศวิทยาและเทคโนโลยี  
ปีการศึกษา 2526



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สารละลายน้ำเรดิโอไอโครมิก 2 ชนิดคือ สารละลายน้ำเรดิโอไอโครมิก (ไซตรอกซีเออเรล) พาราโรชานิลินไซยาไนด์ และสารละลายน้ำเรดิโอไอโครมิกไซยาไนด์ ในการวัดปริมาณรังสีแกมมาในช่วง 0.1 ถึง 1 กิโลกราฟ และ 1 ถึง 15 กิโลกราฟ ตามลำดับ จากต้นกำเนิดรังสีโคลบอลต์-60 ของเครื่องฉายรังสี แกมนามีม 650 ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งมีก้มมันคงภาพรังสีประมาณ 36 กิโลกราฟ

การศึกษารังสีได้แสดงข้อมูลการกระจายของปริมาณรังสีภายในภาชนะสำหรับใช้ในการฉายรังสี รูปทรงกระบอกทำด้วยอะลูมิเนียมสองชั้น เมื่อวาง ณ ศูนย์กลางของต้นกำเนิดรังสี ซึ่งปรับให้มีขนาดเล็กผ่านผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว และ 30 นิ้ว จากการวัดปริมาณรังสีด้วยสารละลายน้ำทึบสองชนิด

สูญญากาศวิทยาทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title      Measurement of Dose Distribution inside Irradiation  
Container from a Cobalt-60 Source Using Radiochromic  
Dye Solution Dosimeter

Name                Miss Yureeporn Pramepeerakul

Thesis Advisor     Mrs. Nongnooch Rativanich

Department        Nuclear Technology

Academic Year     1983

#### Abstract

Two types of radiochromic dye solution dosimeter hexa (hydroxyethyl) pararosaniline cyanide solution and pararosaniline cyanide solution were studied for the measurement of gamma-ray doses between 0.1-1 kGy and 1-15 kGy respectively from a 36 kCi Cobalt-60 source Gamma Beam 650 of the Office of Atomic Energy for Peace. The measurement of dose distribution in two different sizes of cylindrical aluminium containers placed at center of the source which was adjusted to pitch diameters of 20 inches and 30 inches were investigated using the two dye dosimeters.



กิติกรรมประการ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์นงนุช รัตตานิช ผู้อำนวยการกองการวัดกับมันคภาพรังสี สำนักงานหลังงานประปาฯ เพื่อสันติ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ เป็นอย่างดีซึ่งทั้งในด้านวิชาการ และในการปฏิบัติการวิจัยนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ อีกทั้งขอขอบคุณกองการวัด กับมันคภาพรังสี กองสุขภาพ และกอง เคเม สำนักงานหลังงานประปาฯ เพื่อสันติ ที่ให้ใช้สถานที่ ทดลองเครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์และสารเคมี เพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ดร. ชัยกริต ศิริอุปถัมภ์ ดร. นเรศร์ จันทร์ขาว คุณวราภรณ์ วนิชสุขสมบัติ คุณวิมาลย์ ทองมีคร คุณวิทยา วรารสวัสดิ์ คุณนีศักดิ์ มิลินทิวัฒน์ และ คุณศิริรัตน์ พรมนตรี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือการวิจัยนี้เป็นอย่างดีซึ่ง

ขอขอบคุณ คุณธรรมศักดิ์ จันทรานนท์ และคุณอรุณ ค้าติ ที่ให้ความช่วยเหลือทาง  
ด้านรูปภาพ

ท้ายนี้ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุน  
การวิจัยนี้

# ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	๕
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	๖
กิจกรรมประจำ .....	๗
สารบัญตาราง .....	๘
สารบัญภาพ .....	๙
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขั้นตอนและวิธีคำนวณการวิจัย .....	2
1.4 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
2. ทฤษฎี .....	5
2.1 หน่วยวัดปริมาณรังสี .....	5
2.2 การวัดปริมาณรังสี .....	6
2.3 ระบบการวัดปริมาณรังสีด้วยสีเรดิโอไครอนิก ไซยาโนค์ ....	7
2.4 สารละลายน้ำสีเรดิโอไครอนิก .....	10
2.5 การวัดปริมาณรังสีสำหรับกิจกรรมฉายรังสี .....	26
3. อุปกรณ์และวิธีคำนวณการวิจัย .....	27
3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย .....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วิธีค่าเบนการวิจัย .....	36
4. ผลการวิจัย .....	45
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	63
เอกสารอ้างอิง .....	65
ภาคผนวก .....	67
ประวัติ .....	74

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.3.1.	สูตรโครงสร้างและน้ำหนักโภคภัยเลกูล ของ เรติโอลิมิก อิโคไซด์ไนค์ .....	9
2.4.1.1	ความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดการอุคกลินสูงสุดของสารละลาย เชกช่า (ไฮดรอกซีเอทธิล) พารา โรชานิสิน ไซด์ไนค์ ในตัวทำละลาย ชนิดค่าง ๆ .....	12
2.4.2.1	ความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดการอุคกลินสูงสุดของสารละลายพารา โรชานิสิน ไซด์ไนค์ ในตัวทำละลายชนิดค่าง ๆ .....	18
4.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกลินแสงกับปริมาณรังสี ของสารละลาย HHEV-CN ภายหลังการฉ่ายรังสีจากต้นกำเนิดรังสี แกมมาบีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๒๐ นิว ณ ศูนย์กลางของ ต้นกำเนิดรังสี .....	47
4.1.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกลินแสงกับปริมาณรังสี ของสารละลาย HHEV-CN ภายหลังการฉ่ายรังสีจากต้นกำเนิดรังสี แกมมาบีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓๐ นิว ณ ศูนย์กลางของ ต้นกำเนิดรังสี .....	49
4.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกลินแสงกับปริมาณรังสี ของสารละลาย PR-CN ภายหลังการฉ่ายรังสีจากต้นกำเนิดรังสี แกมมาบีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๒๐ นิว ณ ศูนย์กลางของ ต้นกำเนิดรังสี .....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปลี่ยนแปลงการอุคคลินแสงกับปริมาณรังสีของสารละลาย PR-CN ภายหลังการด�ยรังสีจากศั้นก่ำ เนิดรังสีแกมนาปีม ๖๕๐ นาคนาค เส้นผ่าศูนย์กลาง ๓๐ มีว่า ๔ ศูนย์กลางของศั้นก่ำ เนิดรังสี .....	53
4.3.1 การกระจายของปริมาณรังสีแกมนาภัยในภาชนะอะลูมิเนียมหนา ๒ มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง ๕ มีว่า สูง ๑๒ มีว่า ช่องวางที่ศูนย์กลางของศั้นก่ำ เนิดรังสี เมื่อศั้นก่ำ เนิดรังสีมีนาคนาค เส้นผ่าศูนย์กลาง ๒๐ มีว่า ในการฉ่ายรังสีปริมาณ ๐.๓ กิโลเกรร์ วัคปริมาณรังสีด้วยสารละลาย HHEV-CN .....	55
4.3.2 การกระจายของปริมาณรังสีแกมนาภัยในภาชนะอะลูมิเนียมหนา ๒ มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง ๕ มีว่า สูง ๑๒ มีว่า ช่องวางที่ศูนย์กลางของศั้นก่ำ เนิดรังสี เมื่อศั้นก่ำ เนิดรังสีมีนาคนาค เส้นผ่าศูนย์กลาง : ๓๐ มีว่า ในการฉ่ายรังสีปริมาณ ๐.๓ กิโลเกรร์ วัคปริมาณรังสีด้วยสารละลาย HHEV-CN .....	56
4.4.1 การกระจายของปริมาณรังสีแกมนาภัยในภาชนะอะลูมิเนียมหนา ๒ มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐ มีว่า สูง ๑๒ มีว่า ช่องวางที่ศูนย์กลางของศั้นก่ำ เนิดรังสี เมื่อศั้นก่ำ เนิดรังสีมีนาคนาค เส้นผ่าศูนย์กลาง ๒๐ มีว่า ในการฉ่ายรังสีปริมาณ ๐.๓ กิโลเกรร์ วัคปริมาณรังสีด้วยสารละลาย HHEV-CN .....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.4.2	การกระจายของปริมาณรังสี gamma มากกว่าในภาชนะอะลูมิเนียมทนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ช่องวางที่ ศูนย์กลางของคันกำ เนิครังสี เมื่อคันกำ เนิครังสีมีขนาดเล็ก ผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้ว ในการฉ่ายรังสีบริมาณ 0.3 กิโลกรัม วัสดุปริมาณรังสีด้วยสารละลาย HHEV-CN .....	58
4.5.1	การกระจายของปริมาณรังสี gamma มากกว่าในภาชนะอะลูมิเนียมทนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ช่องวางที่ ศูนย์กลางของคันกำ เนิครังสี เมื่อคันกำ เนิครังสีมีขนาดเล็ก ผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว ในการฉ่ายรังสีบริมาณ 3 กิโลกรัม วัสดุปริมาณรังสีด้วยสารละลาย PR-CN .....	59
4.5.2	การกระจายของปริมาณรังสี gamma มากกว่าในภาชนะอะลูมิเนียมทนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ช่องวางที่ ศูนย์กลางของคันกำ เนิครังสี เมื่อคันกำ เนิครังสีมีขนาดเล็ก ผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้ว ในการฉ่ายรังสีบริมาณ 3 กิโลกรัม วัสดุปริมาณรังสีด้วยสารละลาย PR-CN .....	60
4.6.1	การกระจายของปริมาณรังสี gamma มากกว่าในภาชนะอะลูมิเนียมทนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ช่องวางที่ ศูนย์กลางของคันกำ เนิครังสี เมื่อคันกำ เนิครังสีมีขนาดเล็ก ผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว ในการฉ่ายรังสีบริมาณ 3 กิโลกรัม วัสดุปริมาณรังสีด้วยสารละลาย PR-CN .....	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6.2	การกระจายของปริมาณรังสี gamma มากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2 มิลลิเมตร เล่นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ช่วงว่างที่ ศูนย์กลางของคันก่ำ เปิดรังสี เมื่อคันก่ำ เปิดรังสีมีนาคเล่น ผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้ว ในการถ่ายรังสีบริเวณ 3 กิโลเมตร วัดปริมาณรังสีค่ายสารละลาย PR-CN .....	62


  
**ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตร**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.4.1.1 สเปคครับของสารละลาย เชกช่า (ไฮดรอกซีเอทอสิล) พารา ไฮดราโนลิน ไซยาไนด์ เข้มข้น 0.1 มิลลิโนลาร์ ในตัว ทำละลายไดเมทิล ชัลฟอกไซด์ ฉ่ายรังสีคิวบิริมาณรังสี 1.5 กิโลกรัม .....	13
2.4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปลี่ยนแปลงการถูกกลืนแสงที่ $\lambda_{\max}$ 599 นาโน เมตร กับปริมาณรังสีของสารละลาย เชกช่า (ไฮดรอกซีเอทอสิล) พารา ไฮดราโนลิน ไซยาไนด์ เข้มข้น 2 5 และ 10 มิลลิโนลาร์ ในตัวทำละลาย 2 เมทอโนล เอทานอล .....	14
2.4.1.3 ปริมาณรังสีที่เหมาะสมในช่วง 0.01-1 กิโลกรัม ที่ใช้ในกิจการ ฉ่ายรังสีทางค้านการเกษตร .....	15
2.4.2.1 สเปคครับของสารละลาย พารา ไฮดราโนลิน ไซยาไนด์ เข้มข้น 0.1 มิลลิโนลาร์ ในตัวทำละลายไดเมทิล ชัลฟอกไซด์ ฉ่ายรังสี คิวบิริมาณรังสี 2 กิโลกรัม .....	16
2.4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปลี่ยนแปลงการถูกกลืนแสงที่ $\lambda_{\max}$ 542 นาโน เมตร กับปริมาณรังสีของสารละลายพารา ไฮดราโนลิน ไซยาไนด์ เข้มข้น 1 2 5 และ 8 มิลลิโนลาร์ มีอักษร เช่นที่ อิ่มตัวและกรดอะซิติกเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์บนอยู่ .....	19
2.4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปลี่ยนแปลงการถูกกลืนแสง กับปริมาณ รังสีของสารละลายสี เรดิโอไครมิกซ์นิคต่าง ๆ เข้มข้น 0.5 มิลลิโนลาร์ ในตัวทำละลายไคร เอทอสิล พอสเฟต .....	21

สารบัญภาค (ต่อ)

หัวที่	หน้า
2.4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปเปลี่ยนแปลงการอุดกัลนแสงกับปริมาณ รังสีของสารละลายสีเรดิโอไครมิกชนิดต่าง ๆ เช่นชั้น 0.5 นิลลิโนลาร์ ในด้วท่ละลายไคเมธิล ซัลฟอกไซด์ และมีกรด อะซีติก เช่นชั้น 17 นิลลิโนลาร์ปอนอยู่ .....	22
2.4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปเปลี่ยนแปลงการอุดกัลนแสงกับปริมาณ รังสีของสารละลายพารา ไโซานิลิน ไฮยาไมค์ เช่นชั้น 2.0 0.5 และ 0.1 นิลลิโนลาร์ ในด้วท่ละลายไคเมธิล ซัลฟอกไซด์ .....	23
2.4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปเปลี่ยนแปลงการอุดกัลนแสงกับปริมาณ รังสีของสารละลายพารา ไโซานิลิน ไฮยาไมค์ เช่นชั้น 2 นิลลิโนลาร์ ในด้วท่ละลายชนิดต่าง ๆ .....	24
2.4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปเปลี่ยนแปลงการอุดกัลนแสงกับปริมาณ รังสีของสารละลายพารา ไโซานิลิน ไฮยาไมค์ เช่นชั้น 0.5 นิลลิโนลาร์ ในด้วท่ละลาย 2 โปรดปานอลและเต้มออกซิเจน หรือสารออกซิไดซ์อย่างอ่อน .....	25
3.1.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาบีม 650 Type IR 31 ของสำนักงาน พลังงานปرم่าฯ เพื่อสังเคราะห์ .....	28
3.1.2.1 สเปคโพรไฟโตมิเครอร์แบบ Lambda-3 ของบริษัท PERKIN ELMER .....	30
3.1.3.1 หลอดแก้วที่ใช้บรรจุสารละลายสีเรดิโอไครมิก .....	32

สารบัญภาค (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1.4.1	ภาชนะและโครงพลาสติกชิ้งบรรจุไว้ภายในกระป๋องสำหรับยึดหลอดแก้วบรรจุสารละลายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงกับปริมาณรังสีของสารละลายสีเรดิโอไครมิก .....	33
3.1.5.1	กระป๋องอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว สูง 12 นิ้ว และโครงพลาสติกภายในสำหรับยึดสารละลายสีเรดิโอไครมิก เพื่อใช้ศึกษาการกระจายของปริมาณรังสี .....	34
3.1.5.2	กระป๋องอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 12 นิ้ว และโครงพลาสติกภายในสำหรับยึดสารละลายสีเรดิโอไครมิก เพื่อใช้ศึกษาการกระจายของปริมาณรังสี .....	35
3.2.2.1.1	คำแนะนำการวางแผนหลอดแก้วชิ้งบรรจุสารละลายสีเรดิโอไครมิกภายในภาชนะทรงกระบอกทำด้วยพลาสติกหนา 4 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่คำแนะนำสูนย์กลางของต้นกำเนิดรังสี .....	39
3.2.2.1.2	ภาพถ่ายการวางแผนภาชนะทรงกระบอกทำด้วยพลาสติกหนา 4 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บนเครื่องแกมมาบีม 650 .....	40
3.2.3.1.1	คำแนะนำการวางแผนหลอดแก้วชิ้งบรรจุสารละลายสีเรดิโอไครมิกภายในภาชนะบรรจุสิ่งของสำหรับฉายรังสี คำแนะนำที่ 2 คือสูนย์กลางของต้นกำเนิดรังสี .....	42
3.2.3.1.2	คำแนะนำการวางแผนกระป๋องอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว สูง 12 นิ้ว บนเครื่องแกมมาบีม 650 .....	43
3.2.3.1.3	คำแนะนำการวางแผนกระป๋องอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 12 นิ้ว บนเครื่องแกมมาบีม 650 .....	44

สารบัญภาค (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกเลินแสงกับ ปริมาณรังสีของสารละลาย HHEV-CN ภายหลังการฉายรังสี จากดันก่ำ เนิครังสีแกรมนามีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิว ณ ศูนย์กลางของดันก่ำ เนิครังสี .....	48
4.1.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกเลินแสงกับ ปริมาณรังสีของสารละลาย HHEV-CN ภายหลังการฉายรังสี จากดันก่ำ เนิครังสีแกรมนามีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 นิว ณ ศูนย์กลางของดันก่ำ เนิครังสี .....	50
4.2.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกเลินแสงกับ ปริมาณรังสีของสารละลาย PR-CN ภายหลังการฉายรังสีจาก ดันก่ำ เนิครังสีแกรมนามีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิว ณ ศูนย์กลางของดันก่ำ เนิครังสี .....	52
4.2.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปลี่ยนแปลงการอุคกเลินแสงกับ ปริมาณรังสีของสารละลาย PR-CN ภายหลังการฉายรังสีจาก ดันก่ำ เนิครังสีแกรมนามีม ๖๕๐ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 นิว ณ ศูนย์กลางของดันก่ำ เนิครังสี .....	54