# การประเมินผลกระทบจากการปล่อยกากกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์

นางสาวสุนันทา ภูงามนิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ASSESSMENT OF THE IMPACT FROM DISCHARGED MEDICAL I-131 RADIOACTIVE WASTE

Ms. SUNANTA PHUNGAMNIL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประเมินผลกระทบจากการปล่อยกากกัมมันตรังสี ไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ |
| โดย | นางสาวสุนันทา ภูงามนิล |
| สาขาวิชา | นิวเคลียร์เทคโนโลยี |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กนกรัชต์ ดียพันธ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุนันทา ภูงามนิล : การประเมินผลกระทบจากการปล่อยกากกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์. (ASSESSMENT OF THE IMPACT FROM DISCHARGED MEDICAL I-131 RADIOACTIVE WASTE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา, 87 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานในทางการแพทย์ในตัวอย่างน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาลที่มีการใช้งานไอโอดีน-131จำนวนมากที่สุด พร้อมทั้ง ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง โดยเลือกโรงพยาบาลจำนวน 3 แห่ง ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงพยาบาลที่ปล่อยไอโอดีน-131 สู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งสาธารณะโดยตรงจำนวน 2 แห่ง (โรงพยาบาล A และ B) และโรงพยาบาลที่มีบ่อพักน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล จำนวน 1 แห่ง (โรงพยาบาล C) ผลการวิจัยพบว่า โรงพยาบาล A และ B มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารรังสีในน้ำทิ้งหลังการบำบัดเพื่อปล่อยสู่สาธารณชนมีค่าสูงเมื่อมีการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว 2 วัน ปริมาณไอโอดีน-131ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา โดยค่าสูงสุดและต่ำสุด จะอยู่ในวันที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว 2 วัน และ 3 วัน ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 สัปดาห์จะอยู่ในช่วง 1.29 - 1.86 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (โรงพยาบาลA) และ 1.65 - 1.82 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร(โรงพยาบาล B) โรงพยาบาล C มีปริมาณไอโอดีน-131ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชน หลังจากได้ถูกเก็บที่บ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ย 7.36, 3.683 และ 0.76 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากทั้งสามโรงพยาบาลมีค่าเกินเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลวนิวไคลด์รังสีไอโอดีน-131 ซึ่งมีค่า 0.04 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ประมาณการได้รับรังสีของผู้ทำงานบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A, B และ C มีค่า 5.10, 40.14 และ 8.05 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งขีดจำกัดการได้รับรังสีของประชาชนทั่วไปมีค่า 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต สุนันทา

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2552

## 5070635421 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : SEWAGE WORKER / DECAY TANK / EFFECTIVE DOSE

SUNANTA PHUNGAMNIL : ASSESSMENT OF THE IMPACT FROM DISCHARGED MEDICAL I-131 RADIOACTIVE WASTE. ADVISOR : ASSOC.PROF. SUPITCHA CHANYOTHA, Ph.D., 87 pp.

This research aims to measure the iodine-131 nuclide in the waste water samples discharged from patients after treatment in 3 hospitals located in Bangkok area. Two of those hospitals (A and B) release their radioactive waste with iodine-131 directly to the hospital sewage while the other one (C) has a decay tank before release the radioactive waste to the hospital sewage. The results show that, hospital A and B were increased in the radioactivity level in waste water 2 days after patients were treated. The radioactivity in waste water is vary according to the duration patients remained in the hospitals. The highest and the lowest level of the radioactivity which were observed on second and on third day were in the ranges of 1.29 - 1.86 Bq/cm$^3$ (hospital A) and 1.65 - 1.82 Bq/cm$^3$ (hospital B). While the reduction of I-131 found in sewage from hospital C decreased accordance with storage time in decay tank. The data of hospital C was observed for 3 times, shows 7.36 Bq/cm$^3$ (for 1 month), 3.68 Bq/cm$^3$ (for 2 months) and 0.76 Bq/cm$^3$ (for 3 months), which were higher than the legal clearance limit of 0.04 Bq/cm$^3$. The estimates of effective dose received by the sewage workers, was observed in hospital A, B and C are 5.10 μSv/week, 40.14μSv/week and 8.05 μSv/week respectively, while hospital B is higher than legal limit, however the hospital A and C are within the legal limit of 1 mSv/year or about 20 μSv/week.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear Technology Student's Signature .....

Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature .....

Academic Year : 2009

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของบุคคล และหน่วยงานต่างๆ ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ดังนี้

รศ.ดร.สุพิชชา จันทรโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นายกิตติศักดิ์ ชินอุดมทรัพย์ ผู้อำนวยการสำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ รศ.มลุลี ตัณฑวิรุฬห์ มหาวิทยาลัยมหิดล คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล และนางอาภรณ์ บุษมงคล สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือรวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ภายใต้ความร่วมมือทางวิชาการโครงการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ด้านวิศวกรรมศาสตร์นิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์กับคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและสนับสนุนทุนการทำวิจัยซึ่งได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนโครงการความร่วมมือกับสถาบันอุดมศึกษาในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่มงานวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ และศูนย์ผลิตไอโซโทป สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงสารมาตรฐานไอโอดีน-131

ข้าราชการและเจ้าหน้าที่งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ และงานบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ทั้งสามแห่งที่ให้ความอนุเคราะห์ ข้อมูลต่างๆและอนุญาตให้ใช้น้ำทิ้งของหน่วยงานฯมาใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

นายเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี้ และน้องๆนิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นายสุนทร โกมลศุกร์ นางสุมาลี นิลพฤกษ์ รวมถึงข้าราชการและเจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายขอน้อมรำลึกถึงพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และทุกคนในครอบครัวรวมถึงเพื่อนๆ ที่ส่งเสริมสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษาอย่างดีตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญภาพ..... | ญ |
| บทที่1 บทนำ ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... | 2 |
| 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 ไอโอดีน -131..... | 5 |
| 2.1.1 การรักษาด้วยไอโอดีน -131..... | 6 |
| 2.1.2 การเคลื่อนที่ของไอโอดีนในตัวผู้ป่วย..... | 7 |
| 2.1.3 การคำนวณปริมาณรังสีจากผู้ป่วย..... | 8 |
| 2.1.4 การคำนวณปริมาณรังสีที่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง ..... | 11 |
| 2.1.5 หลักการทั่วไปในการพิจารณาเมื่อมีการรักษาผู้ป่วยด้วยไอโอดีน-131.... | 12 |
| 2.1.6 การป้องกันอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย..... | 12 |
| 2.1.7 การกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี..... | 13 |
| 2.2 การวิเคราะห์ไอโอดีน-131 ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี..... | 14 |
| 2.3 สถิติค่านับวัดรังสี ..... | 19 |
| 2.4 ความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง..... | 20 |

หน้า

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินการ…… 24
3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี…….…….. 24
3.2 วิธีการดำเนินการ…….. 24

บทที่ 4 ผลการวิจัย ….....……..... 28
4.1 โรงพยาบาล A ……..……...…. 28
4.2 โรงพยาบาล B……..……. 33
4.3 โรงพยาบาล C……..…… 38

บทที่ 5 วิจารณ์ และ สรุปผลการวิจัย……....……..… 44
5.1 โรงพยาบาล A …..……. 44
5.2 โรงพยาบาล B …… 45
5.3 โรงพยาบาล C ..……..…… 47

รายการอ้างอิง……..……..…… 50

ภาคผนวก……..……..... 52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……...……... 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ใช้ในการรักษา ……. | 7 |
| 2.2 | ความแรงรังสีและอัตราแผ่รังสีที่ผู้ป่วยสามารถออกจากโรงพยาบาลได้ โดยไม่ทำให้บุคคลอื่นได้รับรังสี Total Effective Dose Equivalent (TEDE) ……..…. | 12 |
| 2.3 | ร้อยละการสลายตัวของรังสีแกมมาจากไอโอดีน-131……... | 14 |
| 2.4 | การคำนวณค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นสารรังสีจากตัวอย่าง (LLD) …….. | 23 |
| 4.1 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล A ที่เก็บใน 4 สัปดาห์…… | 28 |
| 4.2 | ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A……. | 31 |
| 4.3 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล B ที่เก็บใน 4 สัปดาห์…… | 33 |
| 4.4 | ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B……. | 37 |
| 4.5 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนโดยน้ำทิ้งได้ถูกเก็บที่บ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล C | 39 |
| 4.6 | ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล C……. | 43 |
| 5.1 | เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ได้จากการทำวิจัย และ จากงานวิจัยอื่น …… | 50 |
| ก | ข้อมูลของโรงพยาบาลที่ใช้งานสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ ปี 2551-2552 ……... | 55 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | แผนผังการสลายตัวของไอโอดีน-131 ให้ทั้งรังสีบีตา และแกมมา…… | 14 |
| 2.2 | ไดอะแกรมแสดงหัววัดรังสีแบบ HPGe ……... | 15 |
| 2.3 | ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องพลังงาน(MCA) …… | 17 |
| 2.4 | เปรียบเทียบกำลังแยกพลังงานของหัววัดรังสี …….. | 18 |
| 2.5 | แสดงค่าของ FWHM …… | 19 |
| 2.6 | ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง ……. | 21 |
| 2.7 | ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่น 95% | 21 |
| 2.8 | ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่น 99% | 22 |
| 2.9 | ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่นสูงความเสี่ยงต่ำ ……. | 22 |
| 3.1 | แสดงการเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่สาธารณชน ……. | 25 |
| 3.2 | การวิเคราะห์หาปริมาณรังสีแกมมาด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี……... | 26 |
| 3.3 | การวิเคราะห์หานิวไคลด์รังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งโดยเครื่องวัดรังสีแบบหลายช่องพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ .....……. | 26 |
| 3.4 | การตรวจวัดระดับรังสีด้วยเครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) ……... | 27 |
| 4.1 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล A …… | 29 |
| 4.2 | แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A……... | 30 |
| 4.3 | แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A …… | 31 |
| 4.4 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล B ……. | 34 |
| 4.5 | แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B …….. | 35 |
| 4.6 | แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B …… | 36 |
| 4.7 | กราฟการสลายตัวของไอโอดีน-131 ที่เก็บในบ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ3 เดือน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ……. | 38 |
| 4.8 | ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล C ……. | 40 |

ภาพที่ หน้า

4.9 เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีน-131 จากการคำนวณและจากการวิจัยของน้ำทิ้งโรงพยาบาล C ..... 40
4.10 แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล C ..... 41
4.11 แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล C ..... 42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้มีการยอมรับกันโดยทั่วไปถึงการรักษาโรคด้วยสารรังสี โดยเฉพาะการใช้ไอโอดีน-131 ซึ่งให้อนุภาคบีตาในการรักษาไทรอยด์เป็นพิษ และมะเร็งของต่อมไทรอยด์ การรักษาผู้ป่วยด้วยไอโอดีน-131 ต้องใช้ค่ากัมมันตภาพสูงและผู้ป่วยจำเป็นต้องพักรักษาตัวที่โรงพยาบาลเพื่อแยกตัวจากผู้อื่นซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ปริมาณรังสีจึงจะลดลงสู่ปริมาณที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงจะอนุญาตให้กลับบ้านได้ ห้องพักผู้ป่วยนี้จำเป็นต้องได้รับการออกแบบและมีเครื่องใช้ที่เป็นพิเศษเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี เมื่อผู้ป่วยพักรักษาตัวที่โรงพยาบาล ของเสียที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยระหว่างเข้ารับการรักษาจะถูกปล่อยสู่ระบบบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ดังนั้น ท่อระบายน้ำทิ้งสำหรับกากกัมมันตรังสีควรต่อโดยตรงเข้ากับระบบระบายน้ำทิ้งหลัก หรือบ่อพัก ไม่ควรต่อเชื่อมกับท่อระบายน้ำปกติ โดยให้หลีกเลี่ยงการเดินท่อดังกล่าวผ่านบริเวณที่มีบุคคลอยู่ประจำ สำหรับน้ำทิ้งจากห้องพักผู้ป่วย หากพบว่าค่ากัมมันตภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการปล่อยออกมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (clearance level) จำเป็นต้องมีบ่อพักเฉพาะ(decay tank) เพื่อปล่อยให้สารกัมมันตรังสีสลายตัว หรืออาจทำให้เจือจางก่อนระบายทิ้ง โดยปริมาณรังสีที่ออกมาจากตัวผู้ป่วยและผ่านไปสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งสามารถคาดคะเนได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งต้องทราบข้อมูลต่างๆ เช่นจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาและค่ากัมมันตภาพที่ใช้ในการรักษา และในกรณีที่มีบ่อพักเฉพาะ(decay tank) ต้องนำค่าการสลายตัวของสารรังสีไอโอดีน-131 มาพิจารณาด้วย ฉะนั้นการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาในแต่ละครั้ง จะสามารถประเมินปริมาณสารรังสีที่อาจปนเปื้อนไปสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งได้ ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ผ่านเข้ามาในระบบบำบัดน้ำทิ้งต้องนำมาใช้ในการคำนวณด้วย ปัจจุบันโรงพยาบาลจากหน่วยงานของภาครัฐและเอกชนได้มีการใช้ไอโอดีน-131จำนวนและปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้น ปริมาณสารรังสีที่ปล่อยสู่สาธารณชนหากไม่มีการควบคุม อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งมีโอกาสได้รับรังสีจากการแผ่รังสีของไอโอดีน-131ในน้ำทิ้งดังกล่าว ดังนั้นปริมาณสารรังสีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดก่อนปล่อยสู่สาธารณชนต้องได้รับการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสีไม่ให้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณสารรังสีที่ปล่อยสู่สาธารณชนต้องไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และผู้ปฏิบัติงานที่ระบบท่อน้ำทิ้ง รวมถึงประชาชนทั่วไปต้องมีความปลอดภัยจากการใช้สารรังสีไอโอดีน-131

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารรังสีที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จากการปล่อยกากกัมมันตรังสีของไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ และประเมินผลกระทบ ต่อผู้ปฏิบัติงานบริเวณระบบบำบัดน้ำทิ้ง

**1.3 ขอบเขตของการวิจัย**

1.3.1 วิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของกากกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 จากการใช้งานทางการแพทย์โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดของโรงพยาบาลที่มีการใช้ไอโอดีน-131 ในปริมาณสูงอย่างน้อยจำนวน 3 แห่ง

1.3.2 ประเมินปริมาณรังสียังผลของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

**1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย**

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทำการคัดเลือกโรงพยาบาลที่มีการใช้ไอโอดีน-131 ในปริมาณสูงอย่างน้อยจำนวน 3 แห่ง เพื่อเก็บตัวอย่าง

1.4.3 คำนวณปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่สาธารณชนตามทฤษฎี ของโรงพยาบาลที่เลือกจากข้อ 1.4.2

1.4.4 ศึกษาระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลที่เลือกจากข้อ 1.4.2

1.4.5 เก็บตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ที่เลือกจากข้อ 1.4.2

1.4.6 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความแรงรังสีจำเพาะของตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยเทคนิคแกมมา สเปกโทรเมตรี

1.4.7 ทำการวิเคราะห์หาชนิดของนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดพกพา

1.4.8 ตรวจวัดระดับรังสีโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งด้วยเครื่องสำรวจรังสี

1.4.9 ประเมินปริมาณรังสียังผลของผู้ปฏิบัติงานบริเวณระบบบำบัดน้ำทิ้ง

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย**

สามารถประเมินความปลอดภัยทางรังสีของผู้ปฏิบัติงาน บริเวณระบบบำบัดน้ำทิ้ง และทราบข้อมูลการปล่อยกากกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 สู่สาธารณชน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในด้านการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี

**1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

1.6.1 S.Sundell-bergman และคณะ[1] งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงกฎหมายของสวีเดน เกี่ยวกับการจัดการกากกัมมันตรังสีทางการแพทย์ ในปัจจุบันอยู่ระหว่างการทบทวนเพื่อให้เกิดความเสี่ยงน้อยที่สุด เพื่อเป็นการช่วยในการทบทวนดังกล่าว ได้มีการศึกษาถึงปริมาณรังสีในที่สาธารณะ จากของเหลวที่ปล่อยจากโรงพยาบาลไปยังระบบระบายน้ำทิ้งสาธารณะ พบว่าผู้ที่ทำงานบำบัดน้ำเสียได้รับปริมาณรังสีจากสิ่งปฏิกูลที่ทิ้งตามระบบดังกล่าวมีค่าสูงกว่า dose constraint ที่กำหนด คือเกิน 100 ไมโครซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉพาะจาก I-131, Tc-99m ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแบบจำลอง LUCIA เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริง โดยทำการประเมินปริมาณสารกัมมันตรังสีเมื่อส่งผ่านไปยังท่อระบายน้ำทิ้งสาธารณะ ทั้งยังแสดงแบบจำลองของโอกาสการกระจายของสารกัมมันตรังสีที่มีในกากตะกอนด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการคาดคะเนค่าของปริมาณรังสียังผล (effective dose) ของผู้ทำงานบำบัดน้ำเสียที่มีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครซีเวิร์ตต่อปี ยกเว้น In-111 และ I-131 อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ Kd แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของสารกัมมันตรังสี ระหว่างน้ำกับตะกอนในท่อระบายน้ำทิ้ง สำหรับ In-111 มีค่าความไม่แน่นอนสูง การศึกษาความไวแสดงให้เห็นว่าค่าKdเหล่านี้เป็นค่าหลักที่ก่อให้เกิดการแผ่รังสีในระบบระบายน้ำทิ้ง

1.6.2 R. Barquero และคณะ[2] ผลงานชิ้นนี้กล่าวถึงการจัดการกากกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลว เช่น สิ่งขับถ่ายจากผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยสารเภสัชรังสีไอโอดีน-131 ในประเทศสเปน มีการประเมินปริมาณรังสีในระบบน้ำทิ้งที่มีและไม่มี decay tank โดยพิจารณาทั้ง 2 ลักษณะของการรักษา คือการรักษามะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ (4.14 GBq/ครั้งของการรักษา) และการรักษาไฮเปอร์ไทรอยด์ (414 MBq/ครั้งของการรักษา) การคำนวณอยู่บนพื้นฐานการตรวจวัดระดับรังสีแบบภายนอกร่างกายผู้ป่วยไฮเปอร์ไทรอยด์ 244 คน และผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์ 23 คน การประเมินการปล่อยสารกัมมันตรังสีสู่ท่อน้ำทิ้งโดยตรง จากผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์ 2 คน และผู้ป่วยไฮเปอร์ไทรอยด์ 3 คน มีค่ากัมมันตภาพเท่ากับ 14.57 GBq และ 1.27 GBq ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ บุคคลที่มีโอกาสได้รับรังสีต่อปีสูงสุดคือคนที่ทำงานบำบัดน้ำทิ้งโดยมีค่า 164 μSv และ 13 μSv ของการรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์และไฮเปอร์ไทรอยด์ตามลำดับ สมการการคำนวณปริมาณรังสีโดยทั่วไปคิดจากจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในแต่ละสัปดาห์

1.6.3 R. Barquero และคณะ[3] ได้ศึกษาการผลิตและการปล่อยกากกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลว เช่น สิ่งขับถ่ายจากผู้ป่วยที่ผ่านการวินิจฉัยทางด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ในโรงพยาบาลทั้งแบบทันทีและปริมาณรังสีสะสมที่ปล่อยออกสู่ระบบระบายน้ำทิ้งของโรงพยาบาล โดยพิจารณาถึงการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีด้วย การศึกษานี้ทำให้สามารถคาดการณ์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ได้ ปริมาณรังสีสะสมต่อปีของไอโอดีน-131 ($I^{131}$) เท่ากับ 2.2GBq, เทคนีเชียม-99m ($Tc^{99m}$) เท่ากับ 1.847 GBq, ไอโอดีน-123 ($I^{123}$) เท่ากับ 0.743 GBq, แกลเลียม-67 ($Ga^{67}$) เท่ากับ 0.337 GBq, อินเดียม-111 ($In^{111}$) เท่ากับ 0.169 GBq และ แทลเลียม-201 ($Tl^{201}$) เท่ากับ 0.033 GBq เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับรูปแบบการประเมินของโรงพยาบาลที่ยุโรป และได้เปรียบเทียบการคำนวณกับผลของผู้วิจัยคนอื่นที่ไม่คำนึงถึงการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีพบว่าค่าที่ได้มีการคาดคะเนเกินจริงประมาณ $10^2$ เท่า และปริมาณรังสีต่อประชาชนที่อาจได้รับความเสี่ยง เช่นผู้ที่ทำงานบ่อบำบัดน้ำทิ้ง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ผลลัพธ์นี้เน้นให้เห็นความสำคัญของการนำเอาผลของการสลายตัวมาใช้ในการคำนวณ

1.6.4 ไทรอยด์คลินิก สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล[4]ได้จัดทำแผนพัฒนาต่อเนื่อง การรักษาผู้ป่วยเนื้องอกไทรอยด์ด้วยไอโอดีนรังสี (I-131) การปนเปื้อนทางรังสีในน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่แม่น้ำเจ้าพระยา (ก.ย.2549-มี.ค.2550)ได้ทำการวัดกัมมันตภาพรังสีจากตัวอย่างน้ำทิ้งจากจุดพักน้ำบริเวณต่างๆภายในโรงพยาบาลศิริราช โดยระดับการปนเปื้อนรังสีที่จุดพักน้ำแต่ละจุดแตกต่างกันในแต่ละวันซึ่งวัดความแรงรังสีได้สูงสุดในวันพุธ และเริ่มลดลงในวันพฤหัสบดีหลังผู้ป่วยได้รับการรักษาด้วยไอโอดีนในวันอังคาร วันอังคารจึงเป็นวันที่มีระดับรังสีในบ่อพักน้ำทิ้งน้อยที่สุดเพราะยังไม่มีการระบายน้ำทิ้งที่มีสารกัมมันตรังสีในบ่อพัก ระดับการเปื้อนรังสีเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากห้องพักผู้ป่วย ( ตึก 72 ปี ชั้น 9) ไปยังบ่อพักต่างๆก่อนเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลศิริราช และปล่อยสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยหลักการเจือจางรังสี (Dilution) จากอาคารต่างๆของโรงพยาบาลซึ่งความแรงรังสีจะถูกเจือจางประมาณ 100 เท่าเมื่อเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียและถูกเจือจางโดย dilution factor ที่สูงมากโดยน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา และได้สำรวจตัวอย่างน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2550 ถึง เดือนกันยายน 2550 เก็บที่ตำแหน่งเหนือจุดปล่อยน้ำประมาณ 100 เมตร ที่จุดปล่อยน้ำ และใต้จุดปล่อยน้ำประมาณ 100 เมตร นำไปวัดกัมมันตภาพรังสีได้ค่า 19.9, 20.3 และ 20.4 cpm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพของน้ำประปาที่จุดต่างๆของโรงพยาบาลซึ่งมีค่าเฉลี่ย 20.9 cpm พบว่าไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ไอโอดีน-131 (I-131)

ไอโอดีน-131[5] เป็นสารกัมมันตรังสีที่ได้นำมาใช้ในงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการรักษาโรคไทรอยด์เป็นพิษ และโรคมะเร็งไทรอยด์ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของไอโอดีน-131 ซึ่งให้รังสีบีตาและรังสีแกมมาพลังงานสูง 364 keV และมีค่าครึ่งชีวิต 8 วัน จึงถูกจัดว่าเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีพิษมาก การนำไอโอดีน-131มาใช้งานจึงต้องมีการระวังทางรังสีมากทั้ง external และ internal exposure ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศจำแนกความเป็นพิษของ radionuclide ไว้เป็น 4 กลุ่ม ไอโอดีน-131 และ therapeutic radionuclides หลายตัวถูกจัดไว้ในกลุ่มมีความเป็นพิษสูงและปานกลางได้แก่

กลุ่ม I Very high radiotoxicity: Ra-226, Am-243

กลุ่ม II High radiotoxicity : I-131, Sr-89, Sr-90, Ir-192, Cs-137, Co-60, At-211

กลุ่ม III Moderate radiotoxicity : Cr-51, Y-90, Re-188, P-32, Sm-153, Tl-201, Fe-55, Fe-59

กลุ่ม IV Low radiotoxicity : H-3, O-15, Tc-99m, I-125

การจัดประเภทอันตรายจากรังสี โดยการให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนัก (weight) ความแรงรังสีเป็น 3 ระดับ ขึ้นอยู่กับชนิดของ radionuclide และประเภทของการใช้พื้นที่ปฏิบัติงานคือ

ระดับที่ 1 Low hazard < 50 MBq

ระดับที่ 2 Medium hazard 50-50,000 MBq

ระดับที่ 3 High hazard >50000 MBq

ชนิดของ radionuclide จำแนกความสำคัญเป็น 3 ระดับคือ

A ให้ weighting factor เท่ากับ 100 เช่น Se-75, Sr-89, I-125 และ I-131

B ให้ weighting factor เท่ากับ 1 เช่น C-11, N-13, O-15, F-18, Ga-67, In-111,In-113m, Tl-201 และ Tc-99m

C ให้ weighting factor เท่ากับ 0.01 เช่น H-3, C-14, Kr-81m และ Xe-133

ประเภทของการใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงาน จำแนกเป็น 4 ลักษณะ คือ

A ให้ weighting factor เท่ากับ 0.01 สำหรับพื้นที่หรือบริเวณที่เก็บต้นกำเนิดรังสี สารกัมมันตรังสี

B ให้ weighting factor เท่ากับ 0.10 สำหรับบริเวณจัดเก็บกากกัมมันตรังสีห้องถ่ายภาพที่ไม่มีการฉีดสารเภสัชรังสี บริเวณผู้ป่วยคอยตรวจ หรือเตียงผู้ป่วยรอตรวจ

C ให้ weighting factor เท่ากับ 1.00 สำหรับบริเวณเตรียมสารเภสัชรังสี บริเวณที่มีการให้หรือฉีดสารเภสัชรังสี ในห้องถ่ายภาพสะแกนที่มีการฉีดสารเภสัชรังสีด้วย และบริเวณเตียงผู้ป่วยรักษา เช่นเตียงผู้ป่วยไอโอดีนรังสี

D ให้ weighting factor เท่ากับ 10.0 สำหรับบริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเปรอะเปื้อนสูง

จะเห็นได้ว่าไอโอดีน-131 เป็น radionuclide ที่ต้องมีการระวังรังสีมากทั้ง external และ internal exposure ตัวอย่างเช่น การให้ I-131 ขนาด 100 mCi (3.7 GBq) กับผู้ป่วย 1 ราย มีค่า weighted activity เท่ากับ 370 GBq จัดเป็น high hazard เมื่อเทียบกับฉีดสารเภสัชรังสีผู้ป่วย 1 รายด้วย Tc-99m ความแรง 400 MBq มีค่า weighted activity เท่ากับ 400 MBq จัดเป็น medium hazard

2.1.1 การรักษาด้วยไอโอดีน-131[6]

2.1.1.1 การรักษาไทรอยด์เป็นพิษ

ผู้ป่วยโรคไทรอยด์เป็นพิษมักจะได้รับไอโอดีน-131 ปริมาณรังสีไม่สูงนักประมาณ 100-1000 MBq (2.7-27 mCi) สาเหตุของไทรอยด์เป็นพิษที่พบมากที่สุดคือ Graves'disease ซึ่งเป็นโรคของระบบภูมิคุ้มกัน (autoimmune disease) สาเหตุที่พบรองลงมาคือ toxic nodule(autonomous adenoma) และ multinodular toxic goiter สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มีการสร้างไทรอยด์สูงผิดปกติ และทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการไทรอยด์เป็นพิษ การรักษาภาวะนี้ได้แก่ การให้ยาต้านฤทธิ์ไทรอยด์ การผ่าตัด และการรักษาด้วยไอโอดีนรังสี พบว่าสุดท้ายแล้วประมาณสองในสามของผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษในหลายประเทศได้รับการรักษาด้วยไอโอดีนรังสี โดยไอโอดีนรังสีจะเข้าไปสะสมในต่อมไทรอยด์ ทำให้เซลล์ไทรอยด์ถูกทำลาย และลดการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมน การรักษานี้เป็นการรักษาที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

2.1.1.2 การรักษามะเร็งไทรอยด์

จะใช้ไอโอดีน-131 ปริมาณรังสีสูง ประมาณ 4000-8000 MBq (108-216 mCi) มะเร็งต่อมไทรอยด์มักมีการแพร่กระจายไปที่ต่อมน้ำเหลือง ปอด และกระดูก เซลล์มะเร็งไทรอยด์ส่วนใหญ่มีความสามารถจับไอโอดีนได้แม้ว่าจะจับได้น้อยกว่าเซลล์ไทรอยด์ปกติ การรักษามะเร็งไทรอยด์คือการตัดออกทั้งก้อนมะเร็งและต่อมไทรอยด์ที่ปกติ และให้การรักษาตามด้วยไอโอดีนรังสีเพื่อทำลายเซลล์มะเร็งที่อาจหลงเหลืออยู่ให้หมด และบางรายต้องให้การรักษาซ้ำเพื่อทำให้ผู้ป่วยหายจากโรค การรักษานี้เป็นการ

รักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่ใช้มาก รองจากการรักษาไทรอยด์เป็นพิษ เมื่อผู้ป่วยได้รับการรักษาด้วยไอโอดีน-131 ปริมาณสูง อาจจำเป็นต้องพักอยู่ในโรงพยาบาลเพื่อแยกตัวจากผู้อื่นประมาณ 2-3 วัน จนกระทั่งปริมาณรังสีในร่างกายลดลงจนถึงขนาดที่ยอมรับได้ ในระยะเวลาระหว่างนี้เป็นช่วงที่จะต้องระวังมากที่สุดทั้งในเรื่องของการเปรอะเปื้อนรังสี และการแผ่รังสีจากตัวผู้ป่วย จึงจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสม มีการให้ความรู้แก่บุคลากรและผู้เกี่ยวข้อง ไอโอดีน-131 ในรูปโซเดียมไอโอไดด์เป็น radionuclide ชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) ที่ให้ทั้งรังสีบีตาและรังสีแกมมาพลังงานสูง มีผลทำให้บุคลากรทางการแพทย์ บุคคลทั่วไป บุคคลในครอบครัวผู้ป่วย ผู้ให้การดูแลผู้ป่วย และผู้เกี่ยวข้องได้รับรังสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับการรักษาด้วย นิวไคลด์กัมมันตรังสี ตัวอื่นๆที่ให้รังสีบีตาตามตารางที่ 2.1

**ตาราง 2.1** นิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่ใช้ในการรักษา

| radionuclide | Decay Mode | Maximum energy $E_{max}$ (keV) | Gamma energy (keV) | Half life | Exposure rate constant ($\Gamma$) (mR/mCi-h at 1 m) |
|---|---|---|---|---|---|
| P-32 | beta | 1710 | - | 14.28 d | Not applicable |
| Y-90 | beta | 2282 | - | 2.67 d | Not applicable |
| Au-198 | beta | 961 | 411 | 2.7 d | 0.23 |
| Re-188 | beta | 2120 | 155 | 16.98 h | 0.026 |
| I-131 | beta | 606 | 364 | 8.04 d | 0.22 |
| Sm-153 | beta | 700 | 103 | 1.946 d | 0.0425 |

ในประเทศไทยใช้ค่า activity-based limit ที่กำหนดโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ คือ 1100 MBq (30 mCi) เป็นเกณฑ์พิจารณายอมให้ผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษรับการรักษาแบบผู้ป่วยนอกและให้ผู้ป่วยมะเร็งไทรอยด์ออกจากโรงพยาบาลได้ มานานกว่า 30 ปี ประเทศทางยุโรปใช้ค่าที่กำหนดโดย European Commission 400-800 MBq (10.8 – 21.6 mCi) และสหรัฐอเมริกาใช้ค่าที่กำหนดโดย USNRC เท่ากับ 1221 MBq (33 mCi)[7]

2.1.2 การเคลื่อนที่ของไอโอดีนในตัวผู้ป่วย [2,7]

ตามที่คณะกรรมการกำกับการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (International Commission on Radiological Protection, ICRP, 1987) กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของไอโอดีน เมื่อมีการรับไอโอดีนเข้าสู่ร่างกาย ร้อยละ 5 ถึง 55 ของไอโอดีน-131 จะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของต่อมไทรอยด์ภายหลังจาก 8 ชั่วโมง และจะขจัดออกด้วยค่าเฉลี่ยครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (biological mean life) 80 วัน ซึ่งร้อยละ 70

ของไอโอดีนจะถูกดูดซึมไปยังส่วนอื่นของร่างกาย และจะถูกขจัดออกมาทางระบบปัสสาวะเพียงอย่างเดียวด้วยค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ 8 ชั่วโมง และร้อยละ 30 จะถูกดูดซึมและนำเข้าไปที่ส่วนกระเพาะและลำไส้ แล้วจะถูกขจัดออกในเวลาต่อมาด้วยค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ 8 ชั่วโมง การเคลื่อนที่ของไอโอดีนในรูปแบบนี้จะเน้นความสำคัญของตัวแปรการดูดซึมและนำเข้าไปในเนื้อเยื่อทั้งหมดของร่างกาย ซึ่งส่วนที่ได้รับผลกระทบ คือเนื้อเยื่อ ท้อง และลำไส้เล็ก การประเมินระดับรังสีของผู้ป่วยทั้งหมดสามารถอธิบายได้จาก 2 แหล่งคือร่างกายส่วนที่รับไอโอดีน และ ต่อมไทรอยด์ ดังนั้นการติดตามการเคลื่อนที่ของไอโอดีนจะติดตามทั้ง 2 รูปแบบ และการคาดคะเนความแรงรังสีในสิ่งขับถ่ายจากผู้ป่วยมีค่าความไม่แน่นอน ต่ำกว่า 20%

2.1.3 การคำนวณปริมาณรังสีจากผู้ป่วย [2]

2.1.3.1 ไทรอยด์เป็นพิษ

การเคลื่อนที่ของไอโอดีน-131ในตัวผู้ป่วยจะพิจารณา 2 ส่วนที่แตกต่างกัน คือ ตัวผู้ป่วย และท่อระบายน้ำซึ่งเปรียบเหมือนเป็นผู้รับรังสีในขั้นสุดท้าย สำหรับผู้ป่วยไทรอยด์เป็นพิษ การดูดซึมของไอโอดีน-131 และถูกนำเข้าไปในเนื้อเยื่อ ซึ่งเกิดขึ้นที่ต่อมไทรอยด์ของผู้ป่วย ดังนั้นการรักษาจะมีความแรงรังสีที่ปล่อยออกมาจากผู้ป่วยทันทีในแต่ละเวลา t, $A_d(t)$, โดย

$$A_d(t) = A_{adm}(t) - A_{thyr}(t) \qquad \text{.....(1)}$$

เมื่อ $A_{adm}(t)$ คือความแรงรังสีที่ให้ผู้ป่วย

$A_0$ คือความแรงรังสีสลายตัวที่เวลา t

$$A_{adm}(t) = A_0(t)e^{-\lambda t} \qquad \text{.....(2)}$$

$A_{thyr}(t)$ คือ ความแรงรังสีที่ยังคงมีอยู่ใน t ในต่อมไทรอยด์ของผู้ป่วย

การคำนวณจากสมการ

$$A_{thyr}(t) = \frac{DR_{Thyr}(t)}{6360} \qquad \text{.....(3)}$$

อัตรารังสีสมมูล 6360 $\mu Sv\ h^{-1}GBq^{-1}$ ได้จากการทำ monte carlo (MCNPX, 2002) ใช้ รูปแบบการตรวจวัดห้องของผู้ป่วย จะจำลองการรักษาโดยร่างกายส่วนที่ได้รับผลกระทบใช้ Bottle Manikin Absorption Phantom (BOMAB phantom) ที่ใช้รูปแบบทรงกระบอก 10 อันของภาคตัดขวางวงกลมและวงรี ปรับใช้กับผู้ป่วยผู้หญิงที่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 62 กิโลกรัม (การรักษาส่วนใหญ่ 85% จะเป็นผู้หญิง) ระหว่างการจำลองการรักษา ไอโอดีน-131 จะสลายตัวให้โฟตอนและส่งผ่านไปยังห้องจากจุด 1 cm ลึกจากพื้นผิว (นี่คือการจำลองของผิวหนัง) ของทรงกระบอก ซึ่งสมมุติว่าเป็นส่วนคอของผู้ป่วย

แหล่งกำเนิดรังสีที่ให้โฟตอนตามน้ำหนักโอกาสการสลายตัว 0.080 MeV (2.62%), 0.284 MeV (6.14%), 0.365 MeV (81.70%), 0.637 MeV (7.17%), 0.722 MeV (1.77%) ในการจำลองนี้จะใช้การโมเดล ionization chamber เป็นทรงกลมปริมาตร 2870 $cm^3$ รัศมี 8.82 cm มีการประเมินค่าโฟตอนฟลักซ์โดยใช้ผลการประเมินจาก track length ซึ่งสอดคล้องกับ MCNP ใช้ค่า correlation factor จาก ICRP-74 ในการประเมินปริมาณรังสีสมมูลในแต่ละครั้ง $DR_{Thyr}(t)$ ในสมการที่ 3 เป็นค่าการแผ่รังสีแบบภายนอกร่างกายในหน่วยของปริมาณรังสีสมมูลจากการวัดที่ระยะประชิดผู้ป่วยไทรอยด์ในขณะที่นั่ง มีหน่วยเป็น $\mu Svh^{-1}$ ซึ่งสามารถใช้ค่าจากตารางที่ 2.2 โดยใช้ค่าระดับรังสีของ 5 mSv ซึ่งเป็นอัตราแผ่รังสีที่ผู้ป่วยสามารถออกจากโรงพยาบาลได้ หรือหาความแรงรังสีที่ปล่อยจากผู้ป่วย เช่น เมื่อพิจารณาผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา 3 คนต่อสัปดาห์ เมื่อผ่านไป 1 สัปดาห์ ความแรงรังสีของสิ่งขับถ่ายทั้งหมด จะสามารถคำนวณได้จาก [2]

$$A_d,1^{st}\ \text{patient} + A_d,2^{nd}\ \text{patient} + A_d,3^{rd}\ \text{patient} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

หลังจากสัปดาห์ที่สอง รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาอีก 3 ราย จะคิดการสลายตัวของไอโอดีน-131 เท่ากับ 0.5 ต่อสัปดาห์

$$A_d,1^{st} \times 0.5 + A_d,2^{nd} \times 0.5 + A_d,3^{rd} \times 0.5 + A_d,4^{th} + A_d,5^{th} + A_d,6^{th} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

ซึ่งการรักษาทั้งหมดจะให้สิ่งขับถ่ายที่มีความแรงรังสีเท่ากับค่าเฉลี่ย $A_d$

$$\sum_{n=0}^{1} A_d \times 0.5^n + A_d \times 0.5^n + A_d \times 0.5^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

หลังจาก 3 สัปดาห์ คำนวณแบบเดียวกัน

$$A_d,1^{st} \times 0.5^2 + A_d,2^{nd} \times 0.5^2 + A_d,3^{rd} \times 0.5^2 + A_d,4^{th} \times 0.5 + A_d,5^{th} \times 0.5 + A_d,6^{th} \times 0.5 + A_d,7^{th} + A_d,8^{th} + A_d,9^{th} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

หรือ

$$\sum_{n=0}^{2} A_d \times 0.5^n + A_d \times 0.5^n + A_d \times 0.5^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเวลาผ่านไปหลายๆปีระดับรังสีที่ปล่อยจากท่อน้ำทิ้งสามารถคาดคะเนได้โดย

$$A_d = \sum_{n=0}^{\infty} A_d \times 0.5^n + \sum_{n=0}^{\infty} A_d \times 0.5^n + \sum_{n=0}^{\infty} A_d \times 0.5^n \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อ n เป็นจำนวนของสัปดาห์ที่ปล่อยสารรังสีจากตัวผู้ป่วย เนื่องจากจะมีการรักษาอย่างต่อเนื่องในโรงพยาบาลซึ่งต้องมีการปล่อยสารรังสีจากตัวผู้ป่วยเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง

2.1.3.2 มะเร็งต่อมไทรอยด์

การรักษานี้ผู้ป่วยจะต้องยินยอมรับการรักษาโดยต้องผ่าต่อมไทรอยด์ทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด เนื่องจากการดูดซึมและการนำเข้าไปในเนื้อเยื่อของไอโอดีน-131 จะมีไอโอดีนตกค้างในร่างกาย ดังนั้นสามารถใช้สมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ในการคำนวณได้ และ $A_{TB}(t)$ แทนตำแหน่งของ $A_{Thyr}(t)$ การเคลื่อนที่ของไอโอดีนในร่างกายผู้ป่วยจะพิจารณา 3 ส่วน ที่แตกต่างกันคือ ร่างกายผู้ป่วย ถังเก็บ และ ท่อน้ำทิ้งซึ่งเหมือนกับเป็นค่ากัมมันตภาพที่ผู้รับในตอนสุดท้าย ค่ากัมมันตภาพรวมของร่างกายผู้ป่วยคำนวณโดยใช้อัตราปริมาณรังสีสมมูล 66.4 $\mu Svh^{-1}GBq^{-1}$

$$A_{TB}(t) = \frac{DR_{TB}(t)}{66.4} \quad \text{.....(10)}$$

ค่าอัตราปริมาณรังสีสมมูล 66.4 $\mu Svh^{-1}GBq^{-1}$ คือค่าที่ได้จาก Monte Carlo Code (MCNPX,2002) ขณะที่จำลองการรักษาได้รวมสารละลายไอโอดีน-131 ใส่ใน phantom BOMAB เหมือนร่างกายส่วนที่ได้รับผลกระทบจากทุกแหล่งโดยคาดคะเนปริมาณรังสีสมมูลที่ 1 เมตร ที่ตำแหน่งของต่อมไทรอยด์ หน่วย $\mu Svh^{-1}$ ด้านหน้าของผู้ป่วยขณะนั่ง ทฤษฎีของอัตราปริมาณรังสีสมมูลที่ 1 เมตร ต่อหน่วยกัมมันตภาพรังสีของไอโอดีน-131 ของวัสดุกัมมันตรังสีไอโอดีน -131 ในอากาศคำนวณตามตารางของ ICRP-74 สำหรับการแผ่โฟตอนที่ 65.76 $\mu Svh^{-1}GBq^{-1}$ ใช้ค่าแก้ที่ระยะ 1 เมตร 66.4 $\mu Svh^{-1}GBq^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมือนกันกับค่าที่ได้ประมาณไว้ เหมือนกับการวัดค่าปริมาณรังสีของสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งปีใช้หัววัดรังสีแบบไอออไนซ์เซชั่นแชมเบอร์ ยี่ห้อ victoreen 450-PI n/s 2050 ซึ่งทำการปรับเทียบมาตรฐานปีละ 2 ครั้งโดย NIST การตรวจวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบ การตรวจวัดอัตราการแผ่รังสีจากผู้ป่วย จะตรวจวัดหลังจากที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาด้วยไอโอดีน-131 ผ่านไปแล้ว 3 วัน และจะวัดที่ระยะ 1 เมตรจากบริเวณที่ผู้ป่วยนั่ง ในบางกรณีจะมีการตรวจวัดเพิ่มเติมตามสัปดาห์ของการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา ปริมาณรังสีที่ปล่อยในการรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์

เมื่อพิจารณาผู้ป่วยทั้งหมด ที่เข้ารับการรักษาต่อสัปดาห์ และตามวิธีการที่อธิบายข้างบนนั้น ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่ท่อน้ำทิ้งโดยตรงประมาณค่าได้โดย

$$A_d = \sum_{n=0}^{\infty} (Ad)_{1^{st}\ patient} \times (0.5)^n + \sum_{n=0}^{\infty} (Ad)_{2^{nd}\ patient} \times (0.5)^n \quad \ldots\ldots(11)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนของสัปดาห์ที่ปล่อยสารรังสีจากตัวผู้ป่วย เนื่องจาก การรักษามีอย่างต่อเนื่องในโรงพยาบาลและมีการปล่อยสารรังสีจากตัวผู้ป่วยเป็นประจำ

ในกรณีที่มีบ่อพัก(decay tank) สมการที่ 11 หากจะนำมาใช้ในการคำนวณจะต้องคำนึงถึงการสลายตัวของไอโอดีน-131 ตามระยะเวลาที่เก็บในบ่อพักด้วย ดังนั้นปริมาณรังสีที่จะผ่านไปสู่บ่อบำบัดรวมต้องมีการแก้ค่าการสลายตัวของไอโอดีน-131 ก่อนสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$A_d = \left( \sum_{n=0}^{N} A_d \times 0.5^n + A_d \times 0.5^n \right) \times e^{-\lambda (t_d - t_c)} \quad \ldots\ldots(12)$$

เมื่อ $t_c$ คือ ระยะเวลาที่เก็บในบ่อพัก

$t_d$ คือ เวลาที่ปล่อย

2.1.4 การคำนวณปริมาณรังสีที่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง

2.1.4.1 ระบบน้ำทิ้งที่ระบายน้ำทิ้งสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งโดยตรง จะสามารถคำนวณหาปริมาณสารรังสีที่ปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง ได้จากสมการ

$$\text{Activity} = \left( \text{Aadm} \times \%\text{activity excrete} \times \frac{1}{0.5} \right) \times N \quad \ldots\ldots(13)$$

เมื่อ Aadm เป็นค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีที่ใช้รักษาผู้ป่วย

N เป็น จำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา

2.1.4.2 ระบบน้ำทิ้งที่มีบ่อพักน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวม จะต้องคำนึงถึงค่าการสลายตัวของสารรังสีด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots(14)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตาราง 2.2** ความแรงรังสี และอัตราแผ่รังสีที่ผู้ป่วยสามารถออกจากโรงพยาบาลได้โดยไม่ทำให้บุคคลอื่นได้รับรังสี total effective dose equivalent (TEDE) เกิน 5 และ 1 มิลลิซีเวิร์ต[7]

| radionuclide | ครึ่งชีวิต | สำหรับ 5 mSv | | | | สำหรับ 1 mSv | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | GBq | mCi | mSv/h | mrem/h | GBq | mCi | mSv/h | mrem/h |
| *Ga-67* | 78 h | 8.7 | 240 | 0.18 | 18 | 1.7 | 47 | 0.04 | 4 |
| *I-123* | 13 h | 6.0 | 160 | 0.26 | 26 | 1.2 | 33 | 0.05 | 5 |
| *I-131* | 8.04 d | 1.2 | 33 | 0.07 | 7 | 0.24 | 7 | 0.02 | 2 |
| *In-111* | 67 h | 2.4 | 64 | 0.2 | 20 | 0.47 | 13 | 0.04 | 4 |
| *Tc-99m* | 6 h | 28 | 760 | 0.58 | 58 | 5.6 | 5.6 | 0.12 | 12 |

2.1.5 หลักการทั่วไปในการพิจารณาเมื่อมีการรักษาผู้ป่วยด้วยไอโอดีน-131 [7]

ปริมาณรังสีที่จำเป็นต้องระวังในการรักษาด้วยไอโอดีน-131 ที่มีปริมาณรังสี “น้อย” ไม่จำเป็นต้องมีการระมัดระวังอย่างพิเศษ ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริการโดย Nuclear Regulatory Commission (NRC) กำหนดไว้ที่ปริมาณไม่เกิน 0.24 GBq (7mCi)[8] โดย 7 mCi คือปริมาณกัมมันตรังสีของไอโอดีน-131 ที่ทำให้ผู้อยู่ห่างเป็นระยะทาง 1 เมตร โดยคิดสัดส่วนของเวลาที่อยู่ที่ระยะทางนั้น (occupancy factor) เป็น 0.25 และไม่มีสิ่งกำบังรังสีจะได้รับรังสี 1 mSv (0.1 rem) โดยคิดจากการคำนวณตั้งแต่เริ่มต้นจนสลายตัวหมด (1 mSv คือปริมาณรังสีจำกัดต่อปี สำหรับบุคคลทั่วไปรวมทั้งเด็กและสตรีมีครรภ์) ถ้าปริมาณของไอโอดีน-131 ที่ใช้รักษามากกว่า 1.2 GBq (33 mCi) ผู้ป่วยควรได้รับการดูแลอยู่ในโรงพยาบาลเพื่อแยกตัวจากผู้อื่น แต่สำหรับผู้ป่วยที่ได้รับไอโอดีน-131 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 33 mCi แต่มากกว่า 7 mCi ไม่ต้องอยู่ในโรงพยาบาล แต่จะได้รับคำแนะนำในการปฏิบัติตัวเพื่อป้องกันการเปรอะเปื้อนรังสีหรือให้ผู้ใกล้ชิดได้รับรังสีน้อยที่สุด ซึ่งสามารถใช้คำแนะนำเดียวกันกับผู้ป่วยที่ได้รับไอโอดีน-131 ปริมาณสูงที่ได้รับอนุญาตให้กลับบ้านหลังจากอยู่ในโรงพยาบาลมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว และปริมาณรังสีในร่างกายลดลงจนถึง 33 mCi หรือต่ำกว่า ปริมาณ 33 mCi เป็นปริมาณกัมมันตรังสีของไอโอดีน-131 ที่ทำให้ผู้อื่นได้รับรังสี 5 mSv (0.5 rem) ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่ยอมให้ได้รับต่อช่วงของการรักษาสำหรับผู้ดูแลผู้ป่วย ญาติและผู้มาเยี่ยม

2.1.6 การป้องกันอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย

ไอโอดีน-131 ให้รังสีแกมมามีพลังงานสูง ในการใช้ไอโอดีน-131 ที่มีกัมมันตรังสีมากเพื่อการรักษาโรคจะทำให้เกิดรังสีภายนอก ซึ่งเป็นอันตรายอัตราการแผ่รังสีของไอโอดีน-131 3700 MBq (100 mCi) ที่ไม่มีตะกั่วหุ้มเท่ากับ 22 mR/h ที่ 1 เมตร ดังนั้นจึงต้องมีการระมัดระวังสำหรับเจ้าหน้าที่ ผู้มาเยี่ยม

และผู้ป่วยในห้องข้างเคียง ขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับบุคคลทั่วไปตามกฎกระทรวงกำหนดเงื่อนไข วิธีการขอรับใบอนุญาต และการดำเนินการเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ วัสดุต้นกำลัง วัสดุพลอยได้ หรือพลังงานปรมาณู พ.ศ.2550 ระบุว่าบุคคลใดๆ ต้องได้รับรังสีไม่เกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ โดยยึดหลักข้อที่จะทำให้ได้รับรังสีน้อยที่สุด การป้องกันอันตรายจากรังสีต่อบุคลากร และเจ้าหน้าที่พยาบาลในการปฏิบัติงานกับผู้ป่วย ต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 0.4 มิลลิซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ โดยคิดเฉลี่ยต่อช่วงเวลา 5 ปี และไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ตใน 1 ปีใดๆ อันตรายของการเปรอะเปื้อนรังสี ไอโอดีน-131 เป็นสารกัมมันตรังสีที่มีพิษมาก เมื่อไอโอดีน-131 เข้าไปในร่างกายผู้ป่วยจะถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย ส่วนใหญ่จะอยู่ที่เนื้อต่อมไทรอยด์ กระเพาะอาหาร และต่อมน้ำลาย หลังจากนั้นจะถูกขับออกมาจากร่างกาย ส่วนใหญ่จะออกมาทางปัสสาวะ แต่ก็มีบางส่วนที่ออกมาทางน้ำลาย เหงื่อ และอุจจาระ ถ้าเป็นผู้ป่วยมะเร็งไทรอยด์ที่ได้รับการผ่าตัดต่อมไทรอยด์ออกไปแล้ว ไอโอดีน-131 จะถูกขับออกจากร่างกายอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ประมาณ ร้อยละ 35-75 ของไอโอดีน-131 จะถูกขับออกมาภายใน 24 ชั่วโมงแรก ของเหลวที่ถูกขับออกจากตัวผู้ป่วยอาจเปรอะเปื้อนห้องน้ำ พื้นห้อง เสื้อผ้า หรือสิ่งที่ผู้ป่วยแตะต้อง การเปรอะเปื้อนนี้อาจทำให้ผู้มาเยี่ยมหรือเจ้าหน้าที่ได้รับไอโอดีน-131 เข้าไปในร่างกายได้ อาจเป็นทางผิวหนัง ทางปาก หรือการสูดหายใจ ดังนั้นในการดูแลผู้ป่วยจึงต้องมีการป้องกัน และควบคุมอันตรายของการเปรอะเปื้อน

2.1.7 การกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี

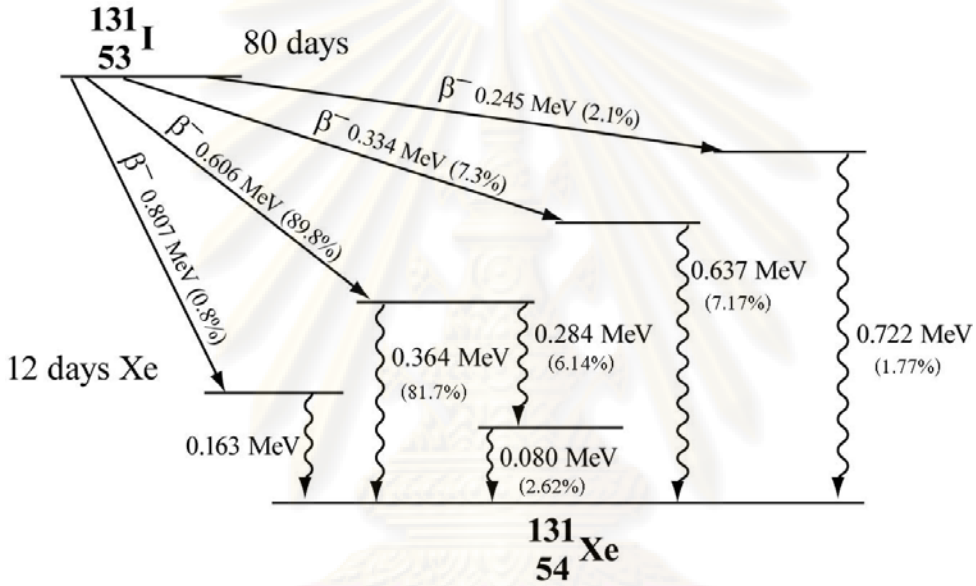
ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับรังสีของประชาชนทั่วไปไว้ไม่เกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี บุคคลในครอบครัวผู้ป่วย ผู้ให้การดูแลผู้ป่วย และผู้เกี่ยวข้อง ที่มีอายุเกิน 45 ปี ไว้ไม่เกิน 5 มิลลิซีเวิร์ต ต่อปี และ 1 มิลลิซีเวิร์ต ต่อปีสำหรับสตรีมีครรภ์ การได้รับรังสีของบุคคลเหล่านี้ เป็นการได้รับรังสีจากภายนอกที่แผ่ออกจากตัวผู้ป่วย โอกาสการได้รับรังสีของบุคคลเหล่านี้เริ่มตั้งแต่เมื่อผู้ป่วยได้รับไอโอดีนรังสี ระหว่างเดินทางกลับบ้าน และตลอดเวลาที่ใช้ชีวิตอยู่ร่วมกันในบ้าน

ในประเทศไทย กฎกระทรวงกำหนดเงื่อนไข วิธีการขอรับใบอนุญาต และการดำเนินการเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ วัสดุต้นกำลัง วัสดุพลอยได้ หรือพลังงานปรมาณู พ.ศ.2550 ออกตามความพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504 ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับรังสีของประชาชนทั่วไปต้องไม่ได้รับรังสีเกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.2 การวิเคราะห์ไอโอดีน-131 ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี[8]

ไอโอดีน-131 สลายตัวให้ทั้งรังสีบีตาและแกมมาหลายพลังงาน ซึ่งประกอบด้วยการสลายตัวให้รังสีบีตาไปยังระดับพลังงานหนึ่งแล้วตามด้วยการสลายตัวให้รังสีแกมมา เพื่อให้สารรังสีนั้น เข้าสู่สถานะพื้น (ground state) จึงสามารถวัดได้ทั้งปริมาณรังสีบีตาและแกมมา ซึ่งแผนผังการสลายตัว (decay scheme) และSpectrum ของไอโอดีน-131 แสดงดังรูปที่ 2.1 [12]



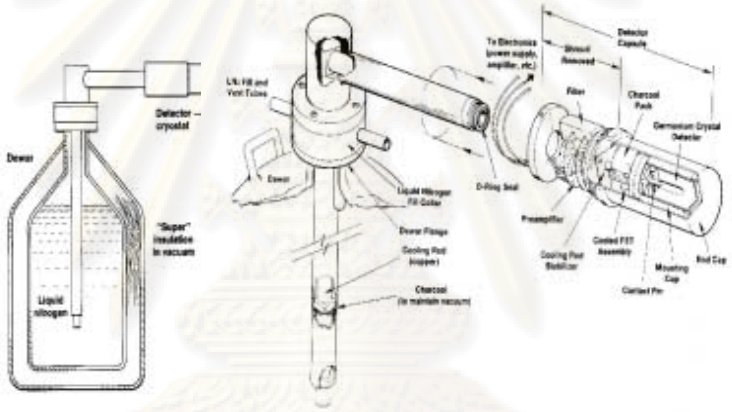

**รูปที่ 2.1** แผนผังการสลายตัวของไอโอดีน-131 ให้ทั้งรังสีบีตา และแกมมา [12]

**ตารางที่ 2.3** ร้อยละการสลายตัวของรังสีแกมมาจากไอโอดีน-131

| พลังงาน keV | % gamma decay |
|---|---|
| 80 | 2.62 |
| 284 | 6.14 |
| 364 | 81.7 |
| 636 | 7.17 |
| 723 | 1.77 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจวัดรังสีชนิดต่างๆ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา(interaction) ระหว่างวัตถุซึ่งจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization)หรือถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น(excitation) หัววัดที่ใช้หลักการการแตกตัวเป็นไอออนได้แก่หัววัดแบบก๊าซทุกชนิดและหัววัดหัววัดแบบกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector) ซึ่งเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรีนี้ เป็นหัววัดชนิด High Purity Germanium Detector (HPGe) จะใช้เทคนิคการทำให้ผลึกเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์มากขึ้น โดยใช้ผลึกเจอร์มาเนียมขนาดใหญ่ที่มีสารเจือปนน้อยกว่า $10^{10}$ อะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงไม่จำเป็นต้องใช้ $Li^{+}$เข้าไปแทนที่สารเจือปน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวตลอดเวลา แต่ใช้ไนโตรเจนเหลวหล่อเย็นเมื่อใช้งานเท่านั้น หัววัดรังสีประเภทนี้ใช้นิยมใช้วัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ไดอะแกรมแสดงหัววัดรังสีแบบ HPGe แสดงดังรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** ไดอะแกรมแสดงหัววัดรังสีแบบ HPGe

2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องแกมมาสเปกโตรเมตรี

2.2.1.1 หัววัดรังสี (Detector)

2.2.1.2 ภาคขยายส่วนหน้า (pre-amplifer) ภาคขยายส่วนหน้าทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ ขยายสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจากส่วนของหัววัดรังสีให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หน้าที่อีกประการหนึ่งคือ ทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ (impedance) ทำให้สัญญาณไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านสายไฟฟ้าไปโดยไม่เกิดการสูญหาย ขนาดและรูปร่างของสัญญาณพัลส์จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหัววัดรังสี โดยทั่วไปแล้วภาคขยายส่วนหน้าจะติดตั้งไว้ใกล้กับหัววัดรังสีมากที่สุดเพื่อลดการเพี้ยนของสัญญาณและลดการรบกวนของสัญญาณนอยส์ (noise) ซึ่งหมายถึงสัญญาณใดๆ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของรังสี สัญญาณนอยส์อาจเกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ในวงจร หรือเกิดจาก

อุปกรณ์ที่เป็นโลหะเมื่อเกิดความร้อนจะปล่อยอิเลคตรอนออกมา ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสี

2.2.1.3 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (high voltage power supply) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับหัววัดรังสี โดยจะเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ให้เหมาะกับหัววัดรังสีที่จะใช้งาน และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุท (output) ให้คงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า

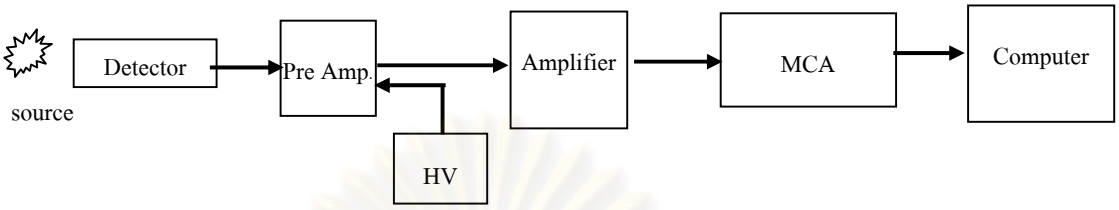
2.2.1.4 ภาคขยายหลัก (amplifier) ภาคขยายหลักเป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมทั้งขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูง

2.2.1.5 วงจรคัดเลือกสัญญาณ (discriminator) ทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการจากระบบการนับ เช่น สิ่งรบกวนทางไฟฟ้า (noise) หรือการรบกวนจากแบคกราวน์ที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานของดิสคริมิเนเตอร์ ใช้วิธีการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณที่เข้ามา กับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐาน หรือระดับดิสคริมิเนเตอร์(discriminator level) ถ้าสัญญาณไฟฟ้าสูงกว่าระดับที่ตั้งเอาไว้ก็จะเกิดเอาท์พุทแบบลอจิก แต่ถ้าต่ำกว่าก็จะไม่มีเอาท์พุทเกิดขึ้น

2.2.1.6 เครื่องนับ (scaler) บางครั้งอาจเรียกว่าcounter เป็นอุปกรณ์ที่จะต่ออยู่หลังดิสคริมิเนเตอร์เพื่อทำหน้าที่บันทึกจำนวนสัญญาณที่เกิดขึ้น

2.2.1.7 เครื่องตั้งเวลา (timer) จะต่อกับเครื่องนับเพื่อควบคุมเวลาของการบันทึกสัญญาณ ซึ่งจะทำให้เปรียบเทียบข้อมูลของการนับแต่ละครั้งได้ ในรูปของจำนวนนับต่อเวลา

2.2.1.8 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง(multichannel analyser, MCA) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลจำนวนนับของอนุภาคที่ระดับพลังงานต่างๆซึ่งวิ่งเข้ามากระทบหัววัดได้อย่างอัตโนมัติสามารถประมวลผลสัญญาณความต่างศักย์ (voltage signals) ที่มาจากหัววัดรังสีได้พร้อม ๆ กันและแสดงผลเป็นสเปกตรัมบนหน้าจอ นอกจากนี้ยังมีคำสั่งเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำการปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) หาค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์สเปคตรัมได้อีกด้วย ซึ่ง MCA ในยุคปัจจุบันได้ประกอบเป็นชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมและคำสั่งพื้นฐานหลัก ๆ ที่จะให้ผู้ใช้งานทำการวิเคราะห์สเปคตรัมและทำการวัดรังสีได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบผู้ใช้กำหนดเองได้ด้วย




**รูปที่ 2.3** ระบบการนับวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องพลังงาน (MCA)

2.2.2 คุณสมบัติบางประการเกี่ยวกับหัววัดรังสี

2.2.2.1 ประสิทธิภาพของการนับวัด ( counting efficiency)

เป็นตัวที่บอกให้ทราบว่าหัววัดมีความสามารถในการวัดรังสีได้ดีแค่ไหน ค่าประสิทธิภาพอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

- ประสิทธิภาพแบบสมบูรณ์ (absolute efficiency) ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่า

$$\mathrm{Eff}_{abs} = \frac{\text{จำนวนสัญญาณที่นับได้}}{\text{ค่ากัมมันตภาพของสารกัมมันตรังสี(Bq)}}$$

ค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหัววัดรังสี และรายละเอียดลักษณะการจัดวางต้นกำเนิดรังสีกับหัววัด(counting geometry) ซึ่งได้แก่รูปร่างของต้นกำเนิด และ ระยะทางระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิด

- ประสิทธิภาพแบบอินทรินสิค (intrinsic efficiency) ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่า

$$\mathrm{Eff}_{int} = \frac{\text{จำนวนสัญญาณที่นับได้}}{\text{จำนวนรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี}}$$

ค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหัววัดรังสีแต่เพียงอย่างเดียว

ค่าประสิทธิภาพทั้งสองแบบนี้ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ลองพิจารณาต้นกำเนิด ซึ่งให้รังสีออกมาเท่ากันทุกทิศทาง (isotropic source) จำนวนรังสีที่ตกกระทบหัววัดก็คือรังสีที่ตกกระทบพื้นที่หน้าตัดของหัววัดรังสี ซึ่งจะมีค่าเท่ากับจำนวนรังสีที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดรังสีคูณด้วย ($\Omega/4\pi$) เมื่อ $\Omega$ คือมุมตัน (solid angle) ของหัววัดที่มองเห็นจากต้นกำเนิดแทนค่ากลับไปในสมการจะได้

$$\mathrm{Eff}_{int} = \mathrm{Eff}_{abs}(4\pi/\Omega)$$

ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้ค่า $Eff_{abs}$ มากกว่า เพราะสามารถทำการทดลองได้ค่าสะดวกกว่า

2.2.2.2 กำลังแยกพลังงาน (energy resolution) เป็นค่าที่จะบอกให้ทราบว่า หัววัดรังสีมีความสามารถที่จะวัดพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกันได้ดีมากน้อยเพียงใด สมมุติว่ามีรังสีพลังงาน $E_1$ และ $E_2$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทำการวัดโดยใช้หัววัด 3 หัว ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปจะเห็นได้ว่าหัววัดที่1 สามารถวัดแล้วได้พีคของพลังงาน $E_1$ และ$E_2$ แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ส่วนหัววัดที่ 3 ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ในลักษณะเช่นนี้หัววัดที่ 1 จะมีกำลังแยกพลังงานได้ดีกว่าหัววัดที่เหลือ

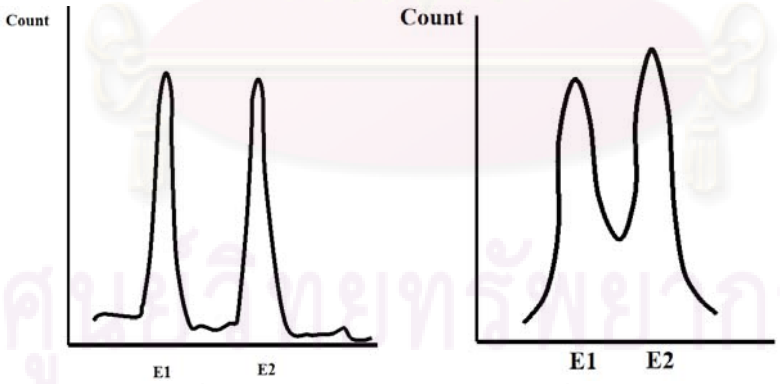
ค่า Resolution ของ spectrometer หนึ่ง ๆ จะเป็นค่าที่วัดความสามารถในการแยกพีค 2 พีคที่มีค่าพลังงานติด ๆ กันได้ โดยค่า resolution ของ photo peak หาได้จากสมการ

$$R = \frac{FWHM}{E} x100\%$$

เมื่อ R คือ % resolution

FWHM คือ ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งที่ค่านับวัดสูงสุดของพีคที่ถูกนับวัดในหน่วยของจำนวนช่อง (channel) หรือพลังงาน

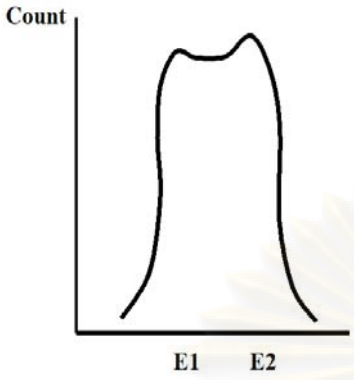
E คือ ตำแหน่งช่อง (channel number) หรือพลังงานที่ยอดกึ่งกลางของ Photo peak




หัววัดที่ 1 หัววัดที่ 2

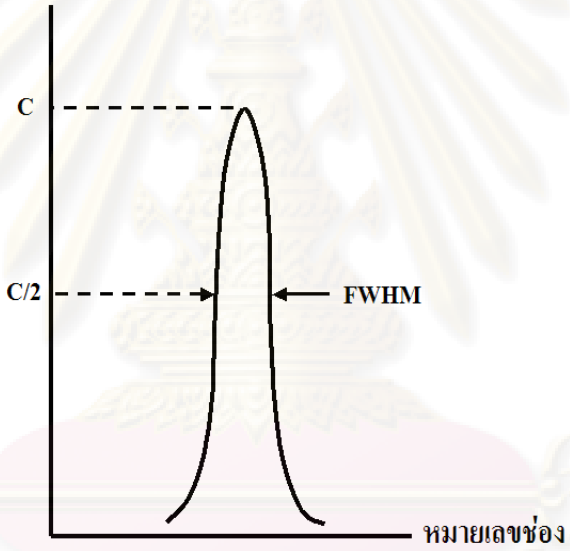
**รูปที่ 2.4** เปรียบเทียบความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




หัววัดที่ 3

**รูปที่ 2.4** เปรียบเทียบความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดรังสี (ต่อ)




**รูปที่ 2.5** แสดงค่าของ FWHM

## 2.3 สถิติค่านับวัดรังสี (counting statistics)

การกระจายแบบ Binomial ใช้ได้กับเหตุการณ์ที่โอกาสของความน่าจะเกิดมีค่าสูง เช่นในการปั่นเหรียญหรือทอดลูกเต๋า เมื่อนำมาใช้กับการสลายตัวทางนิวเคลียร์จะไม่เหมาะสม เพราะจำนวนอะตอมที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมากมหาศาล ในขณะที่การสลายตัวเกิดขึ้นกับอะตอมเพียงจำนวนน้อย โอกาสความน่าจะเกิดเหตุการณ์การสลายตัวของอะตอมใดๆจึงมีค่าน้อยมาก ซึ่งเหมาะสมกับรูปแบบการกระจายตัวแบบ Poisson การกระจายแบบ Poisson เป็นการกระจายที่ดัดแปลงมาจากการกระจาย

แบบ Binomial และสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของการที่จะเกิดเหตุการณ์แบบใดๆ $\mu$=p.n เช่นเดียวกัน แต่สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจาก p มีค่าน้อยกว่าหนึ่งมาก ดังนั้น

$$E = \mu^{1/2}$$

ในการวัดทางนิวเคลียร์ในช่วงเวลาการวัดใดๆ เมื่อได้ผลรวมค่าการวัดเป็นค่านับเท่ากับ X ค่านี้ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของการวัดนั้นด้วยเพราะมีการวัดเพียงครั้งเดียว และดังนั้นความคลาดเคลื่อนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงมีค่า $X^{1/2}$ โดยที่การคิดคำนวณเช่นนี้จะกระทำได้เฉพาะกับค่าข้อมูลที่เป็นค่านับการสลายตัวทางนิวเคลียร์เท่านั้น ดังนั้นถ้าในการวัดในช่วงเวลา T นาทีได้ค่านับทั้งหมดเป็น Y ผลการวัดรังสีจะเป็นค่านับเฉลี่ย Y/T ต่อนาที และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่า $Y^{1/2}/T$

ในทางปฏิบัติในการวัดรังสีจะมีการวัดค่ารังสีพื้นหลัง(background)ก่อนจึงจะวัดตัวอย่าง สมมติว่าได้ค่ารังสีพื้นหลัง B counts ในเวลา $T_B$ และวัดตัวอย่างได้ค่า S counts ในเวลา Ts จะได้ผลการวัดสุทธิเป็น $S/Ts - B/T_B$ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $=\left[S/(Ts)^2+B/(T_B)^2\right]^{1/2}$ เมื่อ

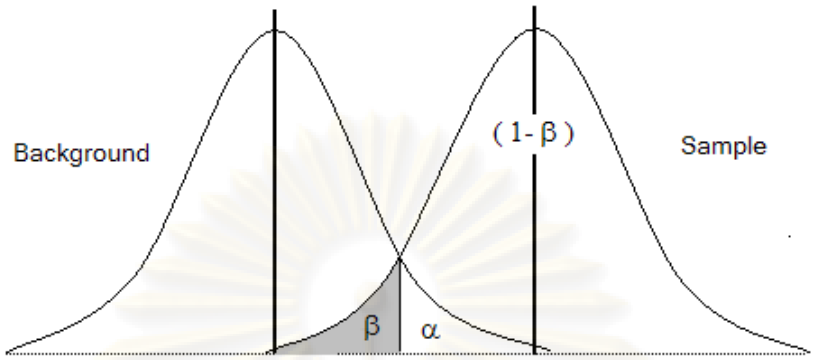
(ความคลาดเคลื่อนรวม)$^2$ = (ความคลาดเคลื่อนของการวัดตัวอย่าง)$^2$ +(ความคลาดเคลื่อนของการวัดรังสีพื้นหลัง)$^2$

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าการรวมผลค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดทั้งสองกรณีไม่สามารถนำมารวมกันได้โดยตรง เพราะการวัดตัวอย่างเป็นการวัดรังสีพื้นหลังรวมอยู่ด้วย

**2.4 ความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection – LLD)**

เป็นค่าที่ระบุความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่ารังสีพื้นหลังและค่าวัดตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไร เพราะการวัดค่ารังสีพื้นหลังและค่าวัดตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ตามรูปที่ 2.6 และในตารางที่ 2.3 แสดงการคำนวณค่า LLD ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 นั่นคือค่า LLD มีค่าเท่ากับ 4.65 คูณกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เช่น สมมติว่าวัดค่าแบคกราวนด์ได้ 400 counts ในเวลา 100 นาที ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดมีค่า$(400)^{1/2}/100$ หรือเท่ากับ $\pm$0.2 Counts per minute(cpm) ดังนั้นผลการวัดแบคกราวนด์จึงเป็น 4 $\pm$0.2 cpm และค่า LLD มีค่าเท่ากับ 4.65 x 0.2 = 0.93 cpm นั่นคือจะต้องได้ผลการวัดจากตัวอย่างตั้งแต่ 4.93 cpm ขึ้นไปจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวของรังสีในสารตัวอย่าง

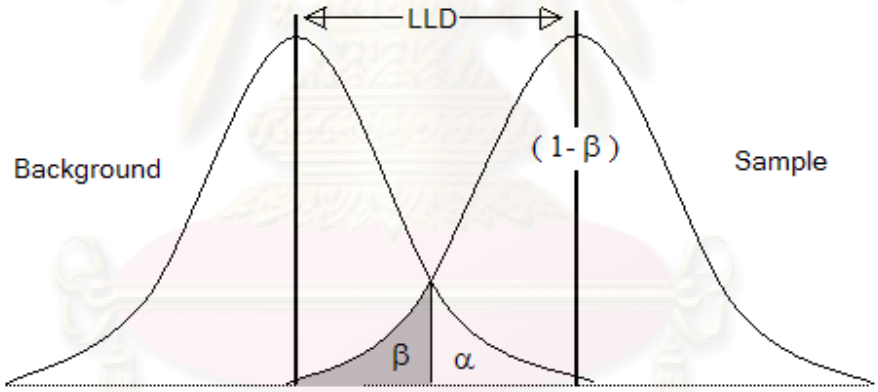
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




(1-β) คือบริเวณพื้นที่ขอบเขตความเชื่อมั่นที่จะตรวจวัดว่ามีการสลายตัวทางรังสี ซึ่งจริงแล้วมี

α คือบริเวณพื้นที่ขอบเขตความเสี่ยงที่จะสรุปผิดๆ ว่ามีการสลายตัวทางรังสี ซึ่งแท้จริงแล้วอาจเป็นผลของแบคกราวด์

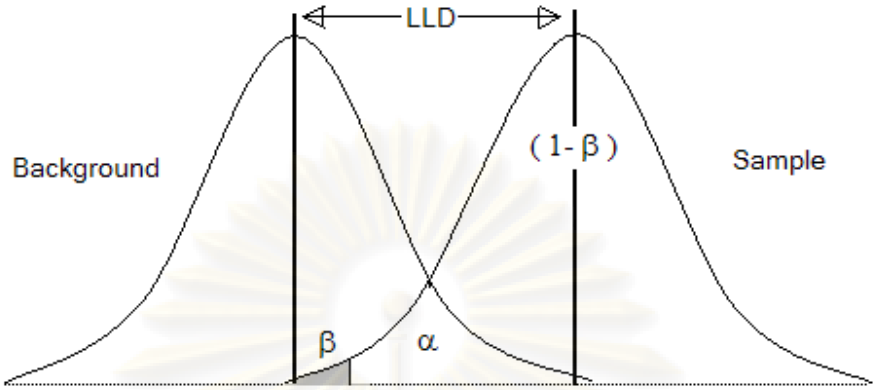
**รูปที่ 2.6** ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection-LLD)




ที่ระดับ LLD นี้มีความเชื่อมั่น 95%ว่าค่าที่วัดได้สุทธิเท่ากับ LLD เป็นผลจากการสลายตัวของสารรังสีในตัวอย่างจริงๆในขณะที่มีความเสี่ยงอยู่ 5% ว่าค่าที่วัดได้อาจเป็นผลของแบคกราวด์

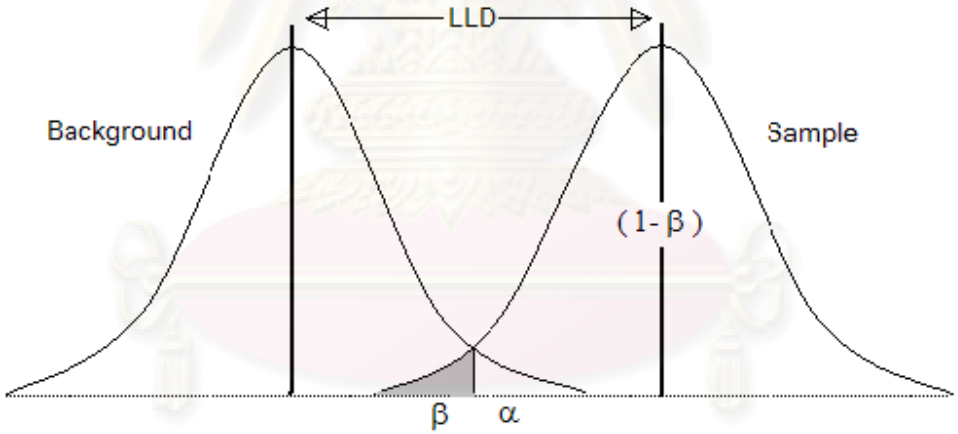
**รูปที่ 2.7** ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ที่ระดับ LLD เท่าเดิมถ้ากล่าวว่ามีความเชื่อมั่น 99% ว่าค่าที่วัดได้สุทธิเท่ากับ LLD เป็นผลจากการสลายตัวของสารรังสีในตัวอย่างจริงๆ จะมีความเสี่ยงอยู่ 9%ว่าค่าที่วัดได้อาจเป็นผลของแบคกราวด์

**รูปที่ 2.8** ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยมีความเชื่อมั่น 99%




ที่ระดับ LLD สูงขึ้นมีความเชื่อมั่น 99% ว่าค่าที่วัดได้สุทธิเท่ากับ LLD เป็นผลจากการสลายตัวของสารรังสีในตัวอย่างจริงๆในขณะที่มีความเสี่ยงอยู่เพียง 1% ว่าค่าที่วัดได้อาจเป็นผลของแบคกราวด์

**รูปที่ 2.9** ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่นสูงและความเสี่ยงต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า LLD เป็นค่าที่ใช้บอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าแบคกราวนด์และค่าวัดตัวอย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไรเท่านั้น แต่ไม่ได้ใช้เพื่อการคำนวณผลการวัดตัวอย่างจริงๆ

**ตารางที่ 2.4** การคำนวณค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นสารรังสีจากตัวอย่าง (LLD) $LLD=2^{3/2}KS_b$

$S_b$ = standard error of background measurement

| $\alpha$ | 1-$\beta$ | K | $2^{3/2}K$ |
|---|---|---|---|
| 0.01 | 0.99 | 2.327 | 6.59 |
| 0.02 | 0.98 | 2.054 | 5.81 |
| 0.025 | 0.975 | 1.960 | 5.54 |
| 0.05 | 0.95 | 1.645 | 4.65 |
| 0.10 | 0.90 | 1.282 | 3.63 |
| 0.20 | 0.80 | 0.842 | 2.38 |

โดยทั่วไปใช้ LLD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%(1-$\beta$ = 0.95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3
# วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินการ

## 3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 ขวดพลาสติกขาวขุ่น ขนาด 1000 ml

3.1.2 ถุงมือ

3.1.3 บีกเกอร์ ขนาด 600 ml

3.1.4 พาราฟิน

3.1.5 เครื่องวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงาน EG&G ORTECT รุ่น 232P

3.1.6 เครื่องวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ Canberra รุ่น Inspector 2000

3.1.7 เครื่องสำรวจรังสี (survey meter) Ludlum measurement Model 19

3.1.8 สารมาตรฐานไอโอดีน-131

## 3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 ศึกษาข้อมูลของโรงพยาบาลที่ใช้งานสารรังสีไอโอดีน-131

ศึกษาข้อมูลการใช้งานไอโอดีน-131 ของโรงพยาบาลต่างๆ ที่ใช้งานสารรังสีไอโอดีน-131 ทางการแพทย์ ทั่วประเทศไทยทั้งในกรุงเทพฯและต่างจังหวัดจำนวนทั้งสิ้น 24 แห่ง โดยเลือกโรงพยาบาล 3 แห่ง เป็นตัวแทนของข้อมูลสำหรับการทำวิจัย ซึ่งข้อมูลที่นำมาพิจารณาได้แก่ปริมาณการขออนุญาตฯ จุดประสงค์ของการใช้ไอโอดีน-131 ในการรักษา จำนวนห้องพักผู้ป่วยรวมถึงจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา ช่วงเวลาของการรักษา และระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ข้อมูลต่างๆได้จากการสืบค้นในระบบฐานข้อมูลการออกใบอนุญาตฯ และข้อมูลจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลเมื่อดำเนินการไปตรวจสอบสถานปฏิบัติการทางรังสี เพื่อการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โรงพยาบาลที่เลือกเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ สมมุติชื่อเป็น โรงพยาบาล A โรงพยาบาล B และโรงพยาบาล C ซึ่งโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่งนี้มีการใช้สารรังสีไอโอดีน-131 ปริมาณที่สูงเพื่อรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์ โดยความถี่ของการรักษาและจำนวนผู้ป่วยของโรงพยาบาล A เท่ากับ 4 คนต่อสัปดาห์ โรงพยาบาล B เท่ากับ 10 คน ต่อสัปดาห์ และโรงพยาบาล C เท่ากับ 8 คน ต่อสัปดาห์

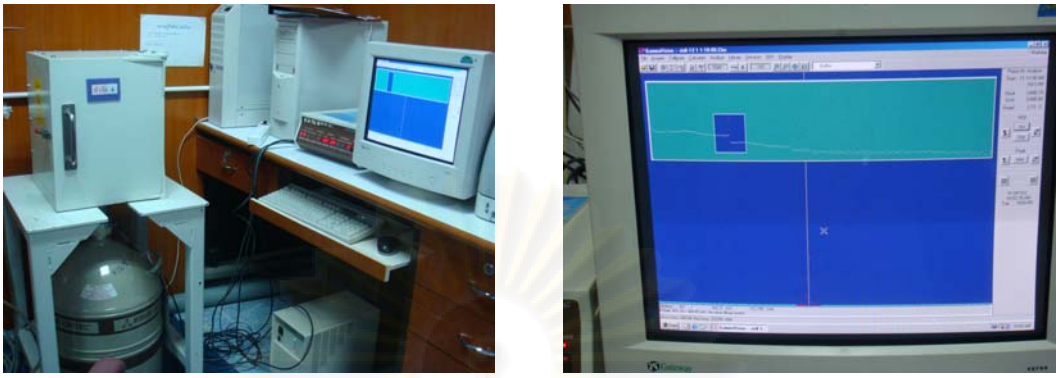
3.2.2 คำนวณปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่สาธารณชนตามทฤษฎี (ตามภาคผนวก ก)

3.2.3 ศึกษาระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลที่เลือกจำนวน 3 แห่ง โรงพยาบาล A และโรงพยาบาล B มีระบบบำบัดน้ำทิ้งเป็นระบบน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และมีการบำบัดน้ำทิ้งเป็นประจำทุกวัน โดยปริมาณน้ำที่ผ่านเข้ามาในระบบบำบัดน้ำทิ้งจะมาจากน้ำเสียของอาคารต่างๆในโรงพยาบาล ส่วนโรงพยาบาล C น้ำทิ้งที่เปื้อนสารรังสีไอโอดีน-131 จะถูกเก็บไว้ที่บ่อพักน้ำทิ้ง (decay tank) ที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ปริมาณไอโอดีน-131 ลดลงก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดรวมของโรงพยาบาล

3.2.4 ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ที่เลือกจากข้อ 3.2.2 โดยจุดที่เก็บตัวอย่าง เป็นจุดที่ทางหน่วยงานปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไปสู่ระบบน้ำทิ้งของสาธารณะ ดังรูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างจะใช้อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม โดยใช้ขวดพลาสติกปากกว้างสีขาวขุ่น ขนาด 1000 มิลลิลิตร เพื่อใช้บรรจุน้ำตัวอย่างดังกล่าว การเก็บตัวอย่างจะดำเนินการเก็บตัวอย่างพร้อมวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นประจำทุกวัน จำนวน 4 สัปดาห์

**รูปที่ 3.1** แสดงการเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยสู่สาธารณชน

3.2.5 นำตัวอย่างที่ได้จำนวน 500 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารรังสีของไอโอดีน-131 ด้วยเครื่องตรวจวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงาน (EG&G ORTECT รุ่น 232P) เป็นเวลา 3600 วินาที ดังรูปที่ 3.2 โดยประสิทธิภาพของการนับวัด (efficiency) มีค่า 0.338%



**รูปที่ 3.2** การวิเคราะห์หาปริมาณรังสีแกมมา ด้วยเครื่องแกมมา สเปคโตรเมตรี

3.2.6 ทำการวิเคราะห์หาชนิดของนิวไคลด์รังสี ในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ (Canberra รุ่น Inspector 2000) ดังรูปที่ 3.3

**รูปที่ 3.3** การวิเคราะห์หานิวไคลด์รังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง โดยเครื่องวัดรังสีแบบหลายช่องพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้

3.2.7 ตรวจวัดระดับรังสีโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งด้วยเครื่องสำรวจรังสี(survey meter) ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐาน Ludlum measurement Model 19 ดังรูปที่ 3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 3.4** การตรวจวัดระดับรังสีด้วยเครื่องสำรวจรังสี (survey meter)

3.2.8 ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งถือเป็นประชาชนทั่วไป ซึ่งตามกฎกระทรวงกำหนดเงื่อนไข วิธีการขอรับใบอนุญาต และดำเนินการเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ วัสดุต้นกำลัง วัสดุพลอยได้ หรือ พลังงานปรมาณู พ.ศ.2550 ออกตามความพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504 ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับรังสีของประชาชนทั่วไปต้องไม่เกิน 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ การคำนวณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงาน จะคำนวณจากการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณต่างๆของบ่อบำบัดน้ำทิ้ง และตั้งสมมุติฐานว่าผู้ปฏิบัติงานจะทำงานบริเวณดังกล่าว 8 ชั่วโมง ต่อวัน โดยใช้เวลาในพื้นที่ต่างๆ แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

**4.1 โรงพยาบาล A**

4.1.1 รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา 2 คน ต่อวัน โดยปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาโดยเฉลี่ย 162.5 มิลลิคูรีต่อคน ดังนั้นปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยซึ่งคำนวณตามทฤษฎีมีค่า 9.85 จิกกะเบคเคอเรลต่อวัน และเมื่อผ่านการเจือจางด้วยน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งปริมาณ 5000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะได้ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน 3.94 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีของโรงพยาบาลใช้วิธีการปล่อยน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารรังสีลงสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยสู่สาธารณชน

4.1.2 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน-131 โดยใช้เครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ซึ่งผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณะ แสดงในตารางที่ 4.1 โดยประสิทธิภาพ (efficiency) ของหัววัดมีค่า 0.338 %

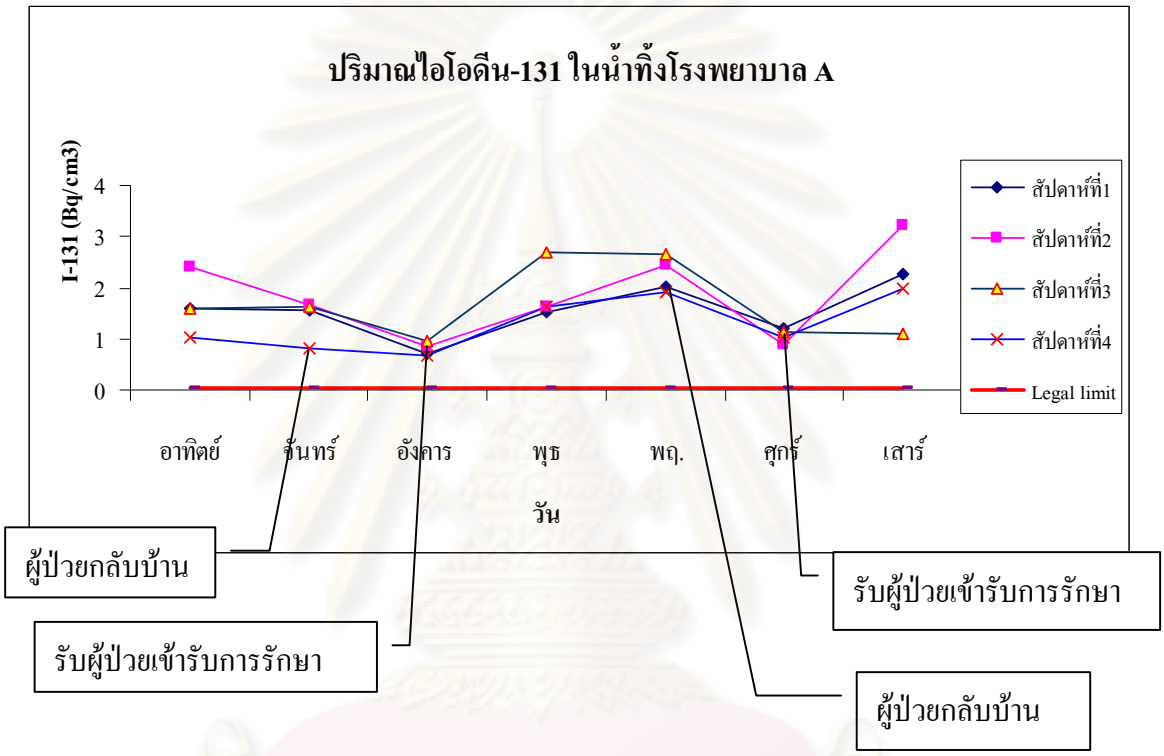
**ตารางที่ 4.1** ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้ง โรงพยาบาล A ที่เก็บใน 4 สัปดาห์

| วัน | ปริมาณไอโอดีน-131 ($Bq/cm^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | สัปดาห์ที่ 1 | สัปดาห์ที่ 2 | สัปดาห์ที่ 3 | สัปดาห์ที่ 4 |
| อาทิตย์ | $1.59 \pm 0.008$ | $2.40 \pm 0.0057$ | $1.59 \pm 0.007$ | $1.02 \pm 0.008$ |
| จันทร์** | $1.57 \pm 0.006$ | $1.65 \pm 0.0068$ | $1.64 \pm 0.008$ | $0.81 \pm 0.006$ |
| อังคาร* | $0.71 \pm 0.008$ | $0.84 \pm 0.006$ | $0.95 \pm 0.005$ | $0.66 \pm 0.009$ |
| พุธ | $1.51 \pm 0.007$ | $1.63 \pm 0.008$ | $2.70 \pm 0.009$ | $1.63 \pm 0.007$ |
| พฤหัสบดี** | $2.03 \pm 0.007$ | $2.44 \pm 0.007$ | $2.65 \pm 0.006$ | $1.90 \pm 0.005$ |
| ศุกร์* | $1.20 \pm 0.010$ | $0.87 \pm 0.006$ | $1.13 \pm 0.007$ | $1.03 \pm 0.006$ |
| เสาร์ | $2.26 \pm 0.006$ | $3.21 \pm 0.007$ | $1.08 \pm 0.009$ | $1.98 \pm 0.007$ |
| เฉลี่ย | $1.55 \pm 0.007$ | $1.86 \pm 0.006$ | $1.68 \pm 0.007$ | $1.29 \pm 0.0068$ |

หมายเหตุ : * หมายถึง วันที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา

** หมายถึง วันที่ผู้ป่วยกลับบ้าน

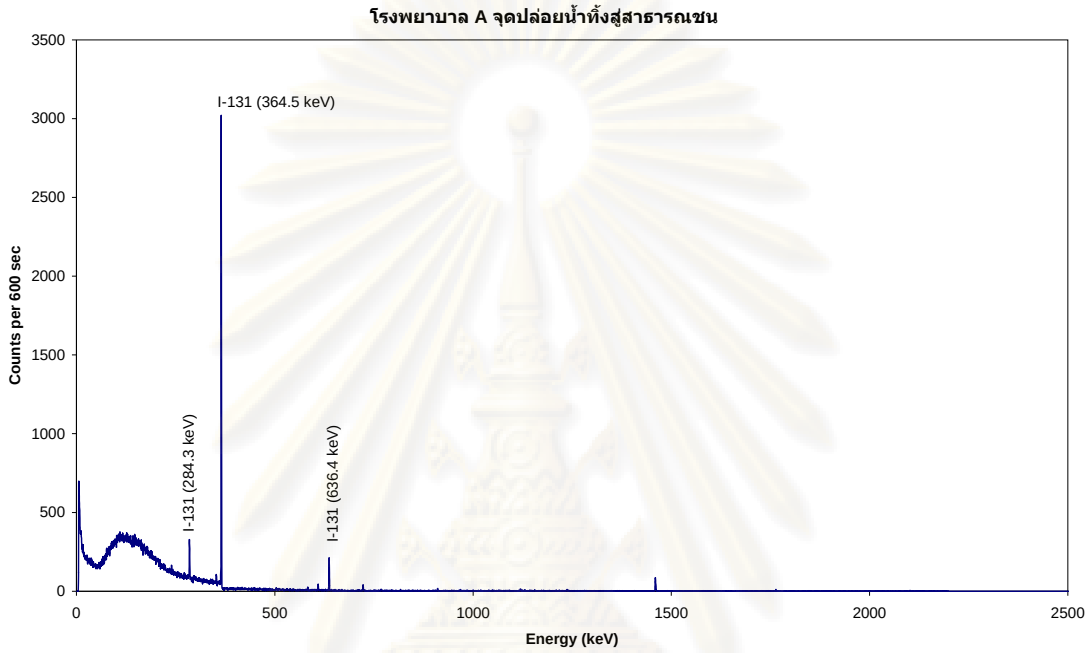
ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ที่เก็บใน 4 สัปดาห์ โดยผลการวิเคราะห์ของสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า 1.55, 1.86, 1.68 และ 1.29 Bq/cm$^3$ ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละสัปดาห์จะพบว่าปริมาณไอโอดีน -131 จะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 2 หลังจากรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว และมีค่าต่ำสุด เมื่อผู้ป่วยกลับบ้าน (วันที่3 ของการรักษา) ตามรูปที่ 4.1




**รูปที่ 4.1** ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล A

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 ผลการวิเคราะห์หาชนิดของนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่ารังสีที่ตรวจวัดได้มาจากไอโอดีน-131 ดังแสดงตามรูปที่ 4.2

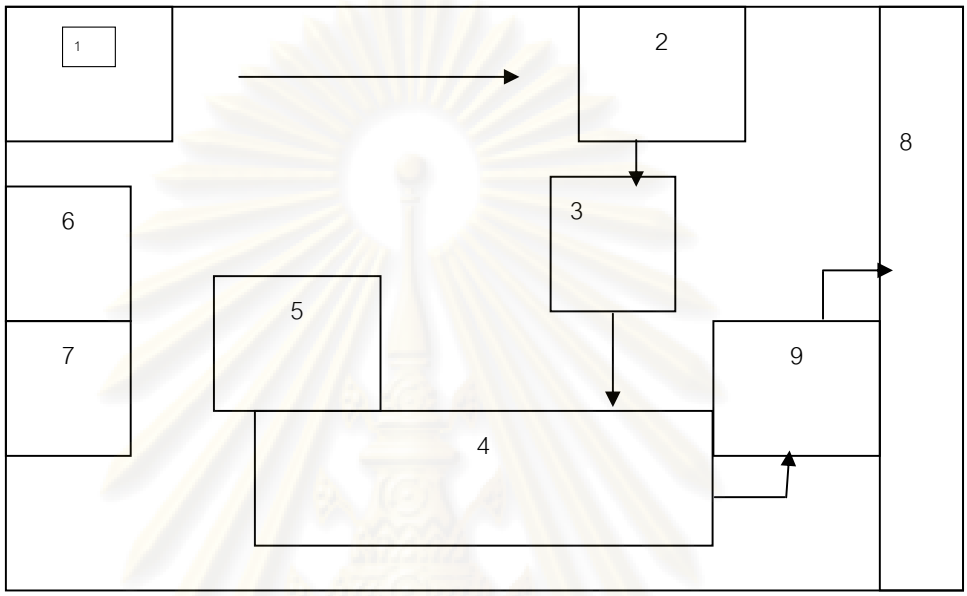



**รูปที่ 4.2** แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสี ในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

พื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง และผลการตรวจวัดระดับรังสี ดังแสดงตามรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ




หมายเหตุ : ⟶ แสดงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง

**รูปที่ 4.3** แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล A

**ตารางที่ 4.2** ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล A

| หมายเลข | พื้นที่ | เวลาที่ใช้ (min) | ระดับรังสีที่ตรวจวัด (μR/h) | ระดับรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ (μR) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล | 20 | 20 | 6.6 |
| 2 | ถังแยกกรวดทราย | 60 | 20 | 20 |
| 3 | ถังแยกตะกอน | 20 | 15 | 4.95 |
| 4 | ผนังกำแพงถังพักตะกอน | 5 | 15 | 1.245 |
| 5 | ที่นั่งพักของเจ้าหน้าที่ | 60 | 15 | 15 |
| 6 | ห้องควบคุมเครื่องมือ | 90 | 10 | 15 |
| 7 | ห้องพักผู้ปฏิบัติงาน | 210 | 10 | 35 |
| 8 | ท่อระบายน้ำทิ้งสู่สาธารณชน | 5 | 20 | 1.66 |
| 9 | ถังพักน้ำก่อนทิ้ง | 10 | 15 | 2.4 |
| | รวม | 480 (8 hr.) | | 101.855 μR |

4.1.5 ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งทำงาน 8 ชั่วโมง ต่อวัน (40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณต่างๆ แสดงตามตารางที่ 4.3 โดยประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานจะคิดจากผลรวมของระดับรังสีของทุกพื้นที่ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งมีค่า 101.85ไมโครเรินต์เกน ต่อวัน หรือ 5.10 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์ การคำนวณจะใช้สมการ $D = RT$ เมื่อ D คือ ปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ R คือ ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา และ T คือ เวลาที่ผู้ปฏิบัติงาน ทำงานในพื้นที่นั้นๆ ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.2 โรงพยาบาล B**

4.2.1 รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา 5 คน ต่อวัน โดยปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาโดยเฉลี่ย 153 มิลลิคูรีต่อคน ดังนั้นปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยซึ่งคำนวณตามทฤษฎีมีค่า 45.85 จิกกะเบคเคอเรลต่อวัน และเมื่อผ่านการเจือจางด้วยน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งปริมาณ 5000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะได้ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน 9.17 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีของโรงพยาบาลใช้วิธีการปล่อยน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารรังสีลงสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยสู่สาธารณชน

4.2.2 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน-131 โดยใช้เครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ซึ่งผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณะ แสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้ง โรงพยาบาล B ที่เก็บใน 4 สัปดาห์

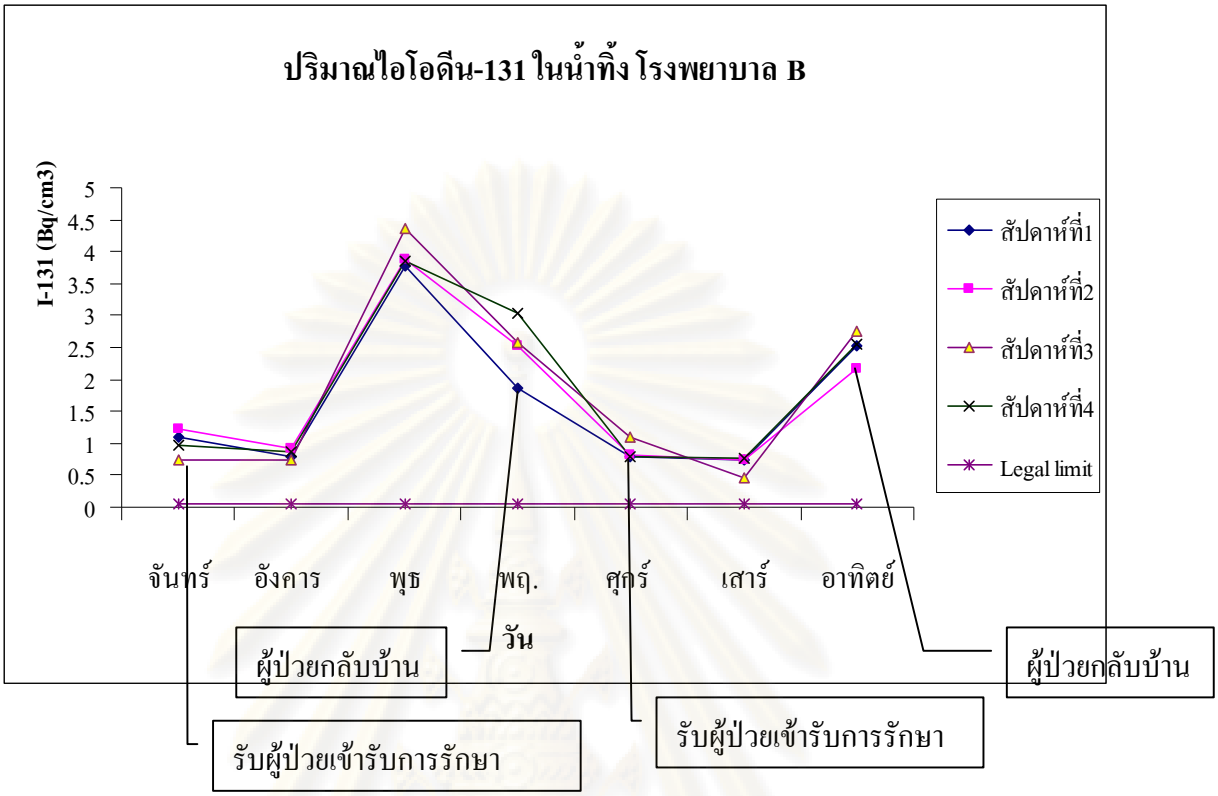
| วัน | ปริมาณไอโอดีน-131 ($Bq/cm^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | สัปดาห์ที่ 1 | สัปดาห์ที่ 2 | สัปดาห์ที่ 3 | สัปดาห์ที่ 4 |
| จันทร์* | $1.104 \pm 0.002$ | $1.236 \pm 0.003$ | $0.74 \pm 0.006$ | $0.98 \pm 0.005$ |
| อังคาร | $0.78 \pm 0.002$ | $0.92 \pm 0.002$ | $0.75 \pm 0.007$ | $0.86 \pm 0.005$ |
| พุธ | $3.77 \pm 0.004$ | $3.87 \pm 0.004$ | $4.35 \pm 0.005$ | $3.36 \pm 0.006$ |
| พฤหัสบดี** | $1.85 \pm 0.003$ | $2.54 \pm 0.002$ | $2.57 \pm 0.004$ | $3.03 \pm 0.008$ |
| ศุกร์* | $0.80 \pm 0.005$ | $0.811 \pm 0.003$ | $1.10 \pm 0.006$ | $0.80 \pm 0.007$ |
| เสาร์ | $0.744 \pm 0.004$ | $0.73 \pm 0.003$ | $0.46 \pm 0.007$ | $0.77 \pm 0.006$ |
| อาทิตย์** | $2.515 \pm 0.005$ | $2.16 \pm 0.004$ | $2.76 \pm 0.006$ | $2.55 \pm 0.007$ |
| เฉลี่ย | $1.651 \pm 0.0035$ | $1.75 \pm 0.003$ | $1.82 \pm 0.006$ | $1.764 \pm 0.0063$ |

หมายเหตุ : ประสิทธิภาพของการนับวัด มีค่า 0.338 %

* หมายถึง วันที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา

** หมายถึง วันที่ผู้ป่วยกลับบ้าน

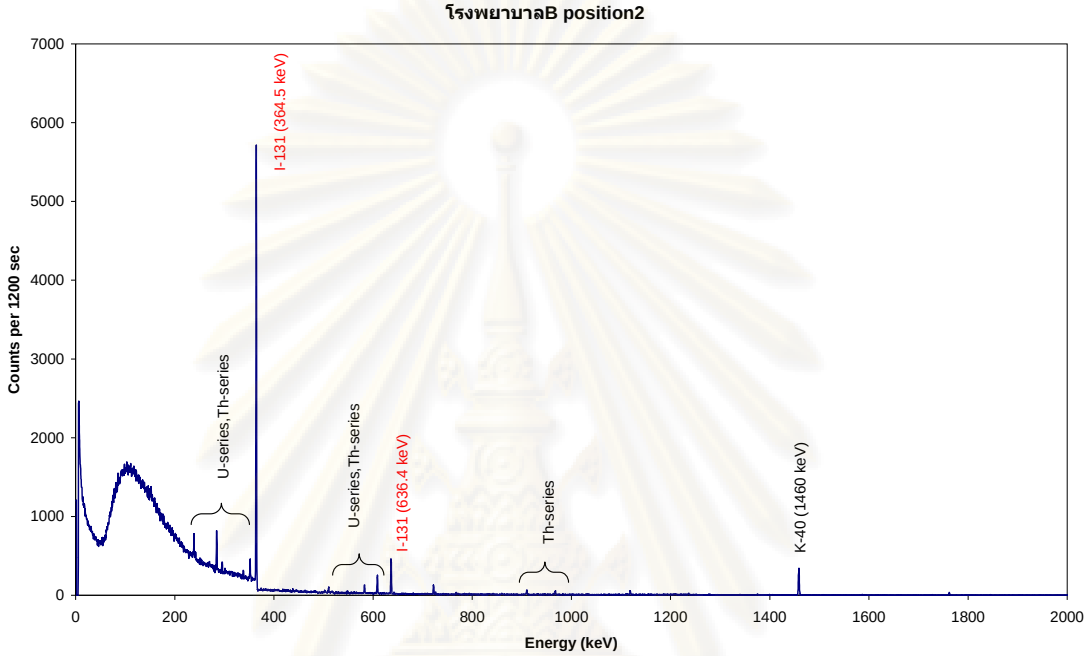
ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ที่เก็บใน 4 สัปดาห์ โดยผลการวิเคราะห์ของสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า 1.65, 1.75, 1.82 และ 1.764 $Bq/cm^3$ ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละสัปดาห์จะพบว่าปริมาณไอโอดีน -131 จะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 2 หลังจากรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว และมีค่าต่ำสุด เมื่อผู้ป่วยกลับบ้าน (วันที่ 3 ของการรักษา) ตามรูปที่ 4.4




**รูปที่ 4.4** ปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ผลการวิเคราะห์หาชนิดของนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่ารังสีที่ตรวจวัดได้มาจากไอโอดีน-131 ดังแสดงตามรูปที่ 4.5

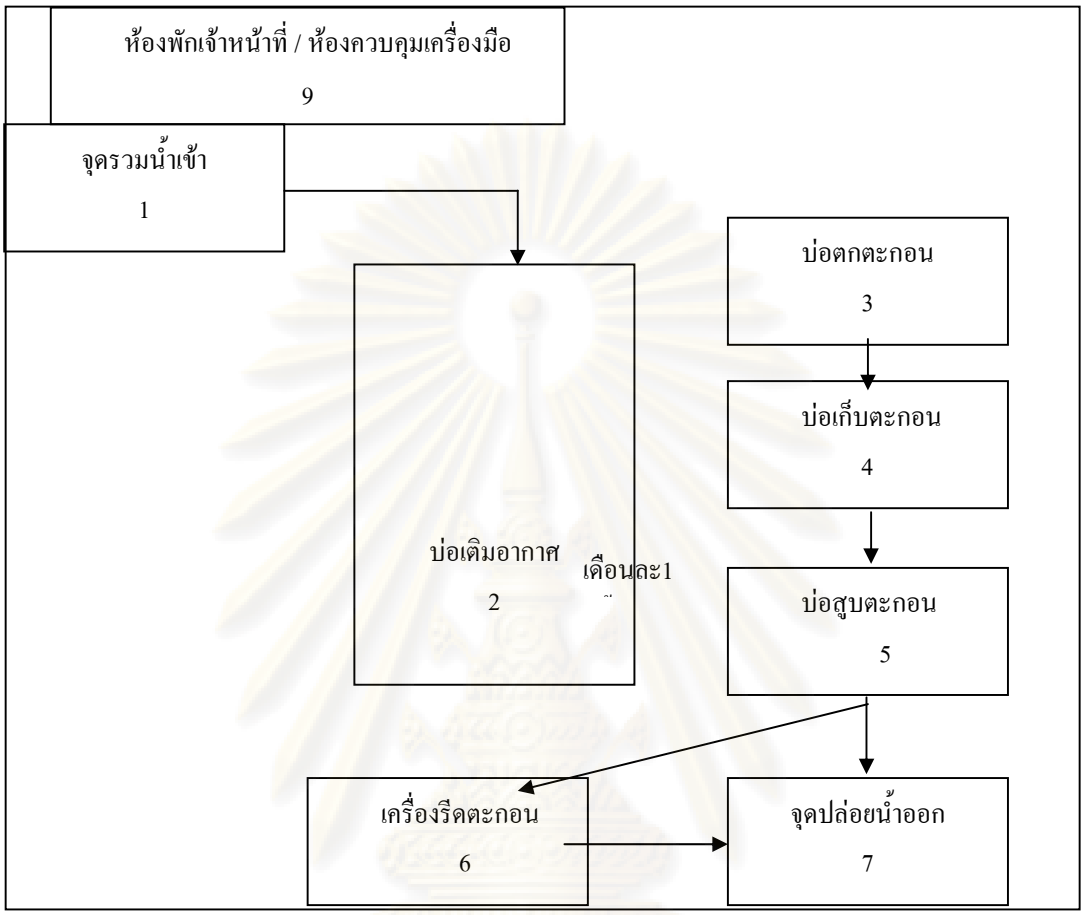



**รูปที่ 4.5** แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสี ในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B

4.2.4 ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

พื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง และผลการตรวจวัดระดับรังสี ดังแสดงตามรูปที่ 4.6 และ ตาราง ที่ 4.4 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




หมายเหตุ : ⟶ แสดงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง

**รูปที่ 4.6** แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 4.4** ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล B

| หมายเลข | พื้นที่ | เวลาที่ใช้ (min) | ระดับรังสีที่ตรวจวัด(μR/h) | ปริมาณรังสีที่ได้รับ (μR) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | จุดรวมน้ำเข้าของโรงพยาบาล | 5 | 50 | 4 |
| 2 | บ่อเติมอากาศ | 5 | 100 | 8 |
| 3 | บ่อตกตะกอน | 5 | 100 | 8 |
| 4 | บ่อเก็บตะกอน | 10 | 500 | 80 |
| 5 | บ่อสูบตะกอน | 5 | 100 | 8 |
| 6 | เครื่องรีดตะกอน | 20 | 1000 | 330 |
| 7 | จุดปล่อยน้ำออก | 10 | 30 | 4.8 |
| 8 | ที่นั่งพักเจ้าหน้าที่ รีดตะกอน | 180 | 100 | 300 |
| 9 | ห้องพักเจ้าหน้าที่ห้องควบคุม | 240 | 15 | 60 |
| | รวม | 480 min (8 hr.) | | 802.8 μR/d |

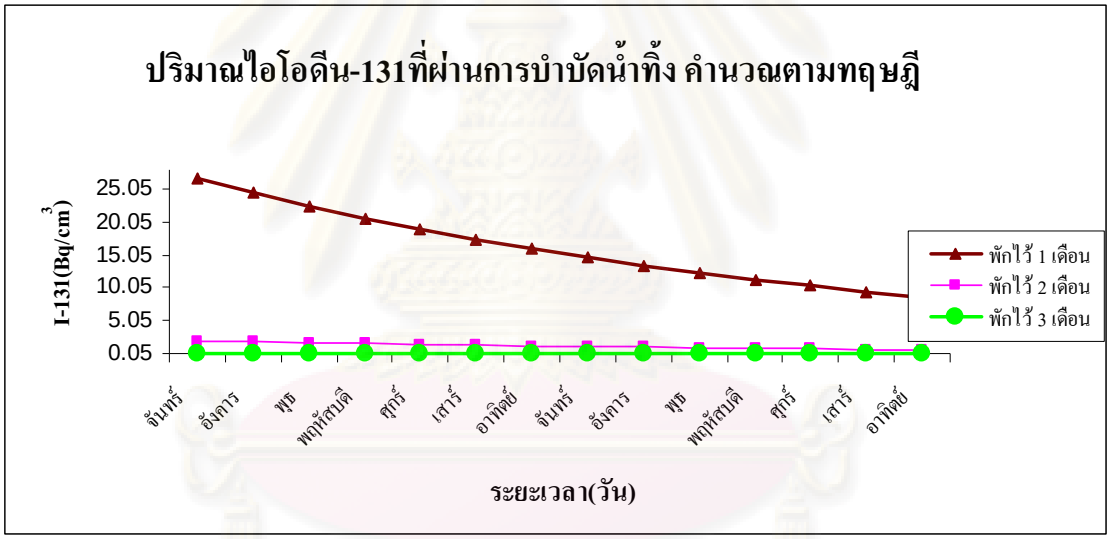
4.2.5 ประเมินการได้รับรังสี ของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งทำงาน 8 ชั่วโมง ต่อวัน (40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณต่างๆ แสดงตามตารางที่ 4.6 โดยประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานจะคิดจากผลรวมของระดับรังสีของทุกพื้นที่ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งมีค่า 802.8 ไมโครเรินต์เกน ต่อวัน หรือ 40.14 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์ การคำนวณจะใช้สมการ $D = RT$ เมื่อ D คือ ปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ R คือ ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา และ T คือ เวลาที่ผู้ปฏิบัติงาน ทำงานในพื้นที่นั้นๆ ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.3 โรงพยาบาล C

4.3.1 การรักษาผู้ป่วย จะรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา 4 คนต่อวัน ปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาโดยเฉลี่ย 150 มิลลิคูรีต่อคน ดังนั้นปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยซึ่งคำนวณตามทฤษฎีมีค่า 36 จิกกะเบคเคอเรลต่อวัน ระบบการจัดการกากกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลวจะถูกเก็บไว้ที่บ่อพักน้ำทิ้งที่เปื้อนสารรังสี (decay tank) ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดรวมของโรงพยาบาล ขนาดของบ่อพักสามารถบรรจุน้ำได้ 50000 ลิตร การคำนวณตามทฤษฎีเพื่อหาปริมาณไอโอดีน-131 หลังจากเก็บในบ่อพักน้ำทิ้งเป็นเวลา 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน มีค่า 2.67, 0.2 และ 0.015 จิกกะเบคเคอเรล ตามลำดับ และเมื่อปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อพักสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาลโดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งมีปริมาณ 50000 ลิตรต่อวัน ดังนั้นจะได้ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณะหลังจากพักไว้ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน มีค่า 26.7, 2 และ 0.15 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ




**รูปที่ 4.7** กราฟการสลายตัวของไอโอดีน-131 ที่เก็บในบ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

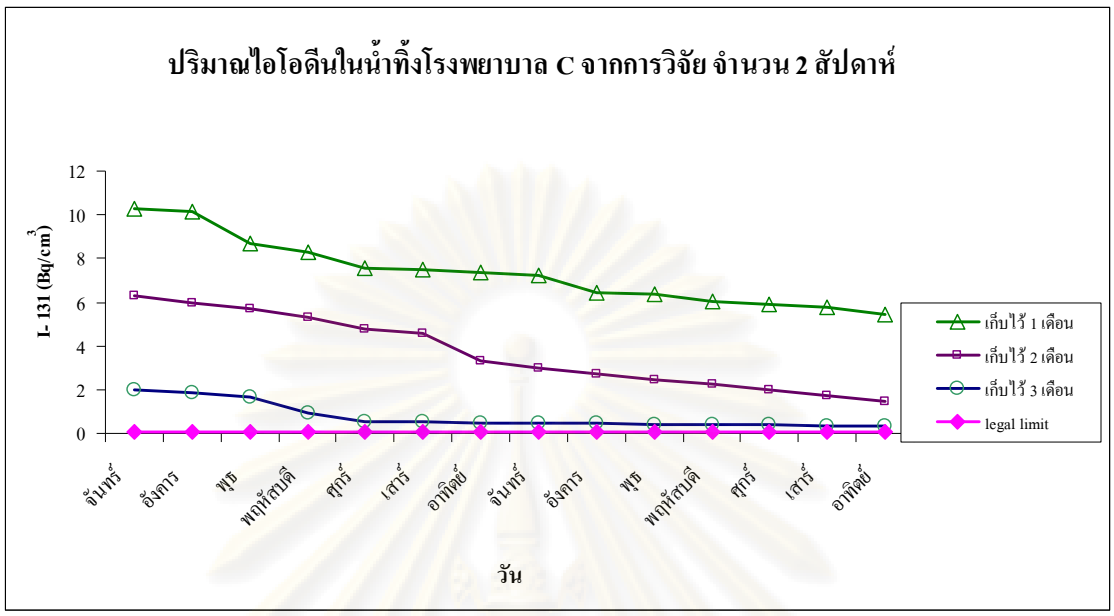
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชน แสดงในตารางที่ 4.5

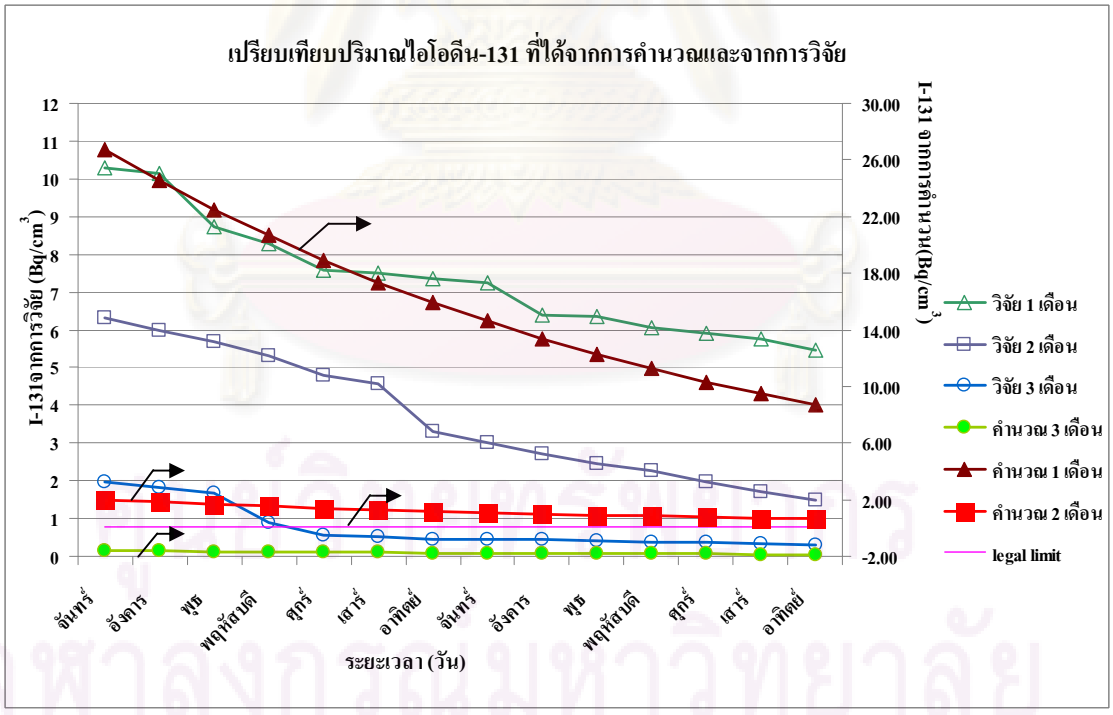
**ตารางที่ 4.5** ปริมาณไอโอดีน-131 จากน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชน โดยน้ำทิ้งได้ถูกเก็บที่บ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล C

| วัน | ปริมาณไอโอดีน-131 ($Bq/cm^3$) | | |
|---|---|---|---|
| | เก็บในบ่อพัก 1 เดือน | เก็บในบ่อพัก 2 เดือน | เก็บในบ่อพัก 3 เดือน |
| จันทร์ | 10.30 ± 0.012 | 6.30 ± 0.016 | 1.98 ± 0.017 |
| อังคาร | 10.15 ± 0.012 | 6.00 ± 0.016 | 1.834 ± 0.017 |
| พุธ | 8.71 ± 0.013 | 5.70 ± 0.0154 | 1.68 ± 0.018 |
| พฤหัสบดี | 8.30 ± 0.013 | 5.30 ± 0.0143 | 0.90 ± 0.018 |
| ศุกร์ | 7.57 ± 0.013 | 4.80 ± 0.021 | 0.54 ± 0.032 |
| เสาร์ | 7.52 ± 0.013 | 4.58 ± 0.014 | 0.524 ± 0.023 |
| อาทิตย์ | 7.35 ± 0.017 | 3.30 ± 0.015 | 0.45 ± 0.031 |
| จันทร์ | 7.24 ± 0.016 | 3.00 ± 0.015 | 0.44 ± 0.023 |
| อังคาร | 6.40 ± 0.017 | 2.70 ± 0.016 | 0.434 ± 0.021 |
| พุธ | 6.34 ± 0.017 | 2.47 ± 0.0164 | 0.424 ± 0.022 |
| พฤหัสบดี | 6.05 ± 0.017 | 2.27 ± 0.0163 | 0.38 ± 0.023 |
| ศุกร์ | 5.91 ± 0.016 | 1.97 ± 0.016 | 0.37 ± 0.027 |
| เสาร์ | 5.75 ± 0.018 | 1.70 ± 0.017 | 0.35 ± 0.031 |
| อาทิตย์ | 5.45 ± 0.018 | 1.47 ±0.016 | 0.31 ± 0.03 |
| เฉลี่ย | 7.360 ± 0.051 | 3.683 ± 0.0163 | 0.76 ± 0.023 |

ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรเมตรี ที่เก็บในบ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน มีค่า 7.36, 3.683, และ 0.76 $Bq/cm^3$ ตามลำดับ ปริมาณไอโอดีนจะมีค่าลดลงตามช่วงเวลาที่เก็บในบ่อพัก และการสลายตัวตามค่าครึ่งชีวิต (8 วัน) ดังแสดงตามรูปที่ 4.8

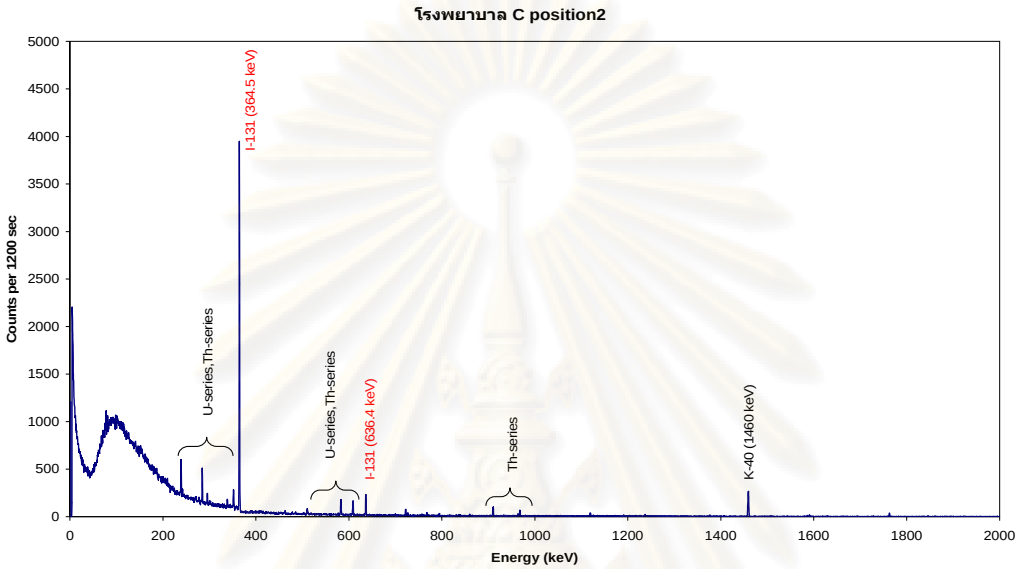



**รูปที่ 4.8** ปริมาณไอโอดีน-131 จากการวิจัยในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณชนของโรงพยาบาล C




**รูปที่ 4.9** เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีน-131 จากการคำนวณและจากการวิจัยของน้ำทิ้งโรงพยาบาล C

4.3.3 ผลการวิเคราะห์หาชนิดของนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่ารังสีที่ตรวจวัดได้มาจากไอโอดีน-131 ดังแสดงตามรูปที่ 4.10

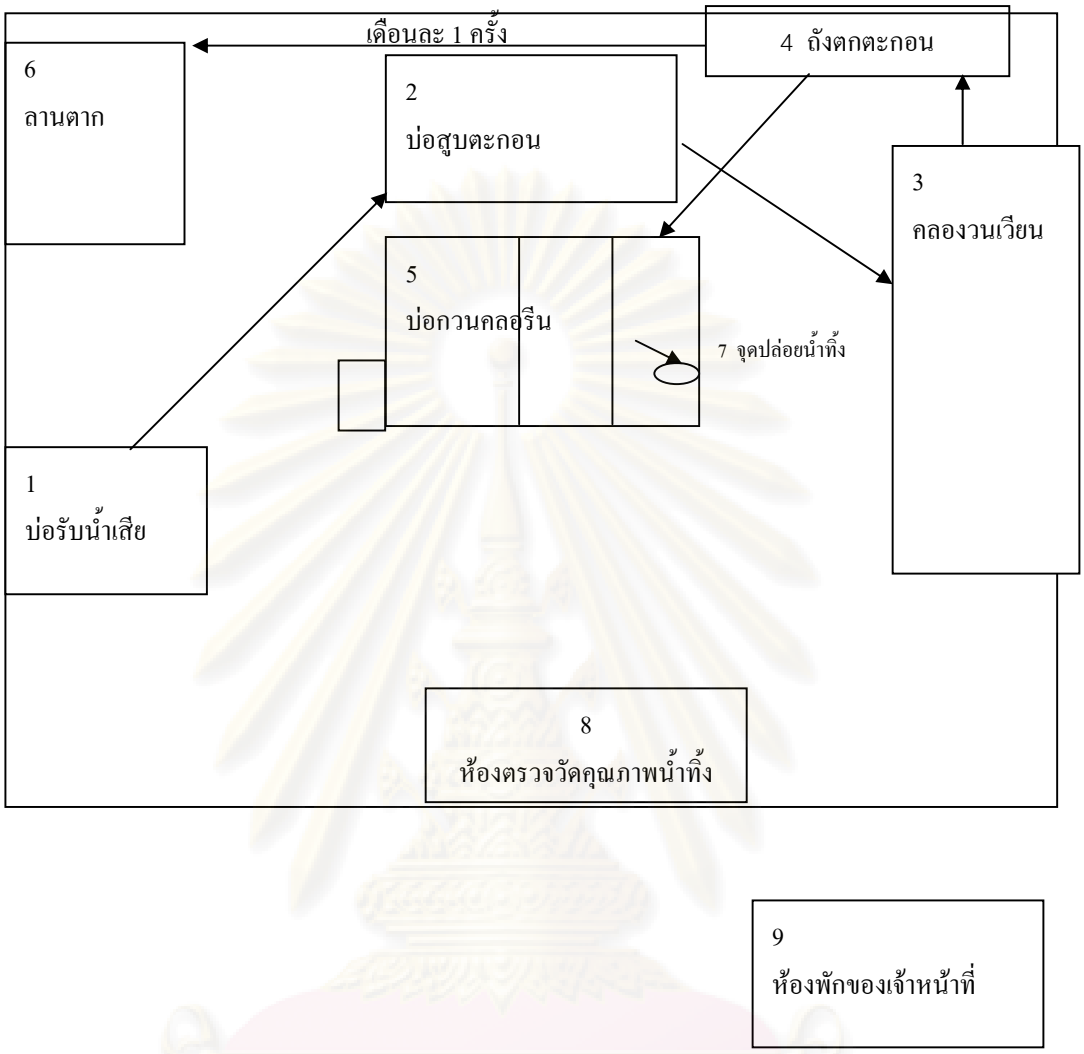



**รูปที่ 4.10** แสดงสเปคตรัมนิวไคลด์รังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล C

4.3.4 ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

พื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง และผลการตรวจวัดระดับรังสี ดังแสดงตามรูปที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.6 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




หมายเหตุ : ——→ แสดงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง

**รูปที่ 4.11** แผนผังพื้นที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 4.6** ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ของโรงพยาบาล C

| หมายเลข | พื้นที่ | เวลาที่ใช้ (min) | ระดับรังสีที่ตรวจวัด(μR/h) | ปริมาณรังสีที่ได้รับ (μR) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | บ่อรับน้ำเสียของโรงพยาบาล | 60 | 20 | 20 |
| 2 | บ่อสูบตะกอน | 10 | 30 | 4.8 |
| 3 | คลองวนเวียน | 15 | 100 | 25 |
| 4 | ถังตกตะกอน | 5 | 15 | 1.245 |
| 5 | บ่อกวนคลอรีน | 5 | 30 | 2.5 |
| 6 | ลานตากตะกอน | 5 | 30 | 2.5 |
| 7 | จุดปล่อยน้ำสู่สาธารณชน | 20 | 45 | 14.85 |
| 8 | ห้องตรวจวัดคุณภาพน้ำทิ้ง | 60 | 15 | 15 |
| 9 | ห้องพักของเจ้าหน้าที่ | 300 | 15 | 75 |
| | รวม | 480 min (8 hr.) | | 161 μR/d |

4.3.5 ประเมินการได้รับรังสี ของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งทำงาน 8 ชั่วโมง ต่อวัน (40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) ผลการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณต่างๆ แสดงตามตารางที่ 4.9โดยประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานจะคิดจากผลรวมของระดับรังสีของทุกพื้นที่ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งมีค่า 161ไมโครเรินต์เกน ต่อวัน หรือ 8.05 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์ การคำนวณจะใช้สมการ $D = RT$ เมื่อ D คือ ปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ R คือ ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา และ T คือ เวลาที่ผู้ปฏิบัติงาน ทำงานในพื้นที่นั้นๆ ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 5
# วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

กากกัมมันตรังสีที่ผ่านการบำบัดและปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต้องมีการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสีอย่างเข้มงวดไม่ให้มีปริมาณรังสีเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติงานที่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง และประชาชนทั่วไปมีความปลอดภัยทางรังสี ซึ่งการจัดการกากกัมมันตรังสี มีหลักการที่ใช้ร่วมกัน 3 ประการ คือ การทำให้เจือจางและระบายทิ้ง การทำให้เข้มข้นและเก็บรวบรวมไว้ และการทอดระยะเวลาปล่อยให้สลายตัวไป ซึ่งหน่วยงานที่ทำหน้าที่กำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสีทั้งหมดได้กำหนดให้อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ การดำเนินการต่างๆ ต้องสอดคล้องเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดไว้ ซึ่งการกำกับดูแลกากกัมมันตรังสีต้องสอดคล้องกับเกณฑ์ปลอดภัยทางรังสี ตามแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่องมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสีออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504, พ.ศ. 2549 งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของสารรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ ของโรงพยาบาลจำนวน 3 แห่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งโรงพยาบาลที่เลือกมาวิเคราะห์นี้ มีการใช้งานสารไอโอดีน-131 ปริมาณสูง การจัดการกากกัมมันตรังสีของโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่ง มีความแตกต่างกัน โดยโรงพยาบาล A และ B ได้ปล่อยสารรังสีไอโอดีน-131 ไปสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลโดยตรง และการบำบัดน้ำทิ้งจะใช้วิธีเจือจางจากน้ำทิ้งของอาคารต่างๆในโรงพยาบาลเพื่อให้ไอโอดีน-131 มีปริมาณน้อยลง ส่วนโรงพยาบาล C มีบ่อพักเก็บเฉพาะน้ำทิ้งที่เปื้อนสารรังสีไอโอดีน-131 เพื่อให้ปริมาณรังสีลดลงก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดรวมของโรงพยาบาล

## โรงพยาบาล A

ปริมาณไอโอดีน-131 คำนวณตามทฤษฎีมีค่า 3.94 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และได้จากการทำวิจัยมีค่าอยู่ในช่วง 1.29 -1.86 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวิจัยมีค่าลดลงจากที่คำนวณตามทฤษฎีประมาณสามเท่า เนื่องจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลไม่มีบ่อพักน้ำทิ้งจากห้องพักผู้ป่วย ท่อระบายน้ำทิ้งจะต่อตรงจากห้องพักผู้ป่วยลงมาสู่ท่อระบายน้ำทิ้งรวมของอาคารและต่อเข้าไปรวมกับท่อระบายน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล จากนั้นจึงเข้าสู่บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาลเพื่อทำการบำบัดน้ำทิ้ง ดังนั้นเมื่อไอโอดีนที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยและปล่อยสู่ท่อระบายน้ำทิ้งเพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล จะถูกเจือจางด้วยน้ำทิ้งจากอาคารต่างๆก่อนเข้าสู่บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และถูกเจือจางด้วยน้ำปริมาณ 5000 ลูกบาศก์เมตร ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ก่อนปล่อยสู่สาธารณชน ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งจัดเป็นประชาชนทั่วไป โดยการตรวจวัดระดับรังสีและวิเคราะห์นิวไคลด์รังสีในพื้นที่ดังกล่าว พบว่า นิวไคลด์ที่แผ่รังสีคือสารรังสีไอโอดีน-131 และ ประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานมีค่า 5.10 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป คือ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์

โรงพยาบาล B

ปริมาณไอโอดีน-131 คำนวณตามทฤษฎีมีค่า 9.17 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และได้จากการทำวิจัยมีค่าอยู่ในช่วง 1.65-1.82 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวิจัยมีค่าลดลงจากที่คำนวณตามทฤษฎีประมาณเจ็ดเท่า เนื่องจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลไม่มีบ่อพักน้ำทิ้งจากห้องพักผู้ป่วย( เหมือน รพ. A) ท่อระบายน้ำทิ้งจะต่อตรงจากห้องพักผู้ป่วยลงมาสู่ท่อระบายน้ำทิ้งรวมของอาคารและต่อเข้าไปรวมกับท่อระบายน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล จากนั้นจึงเข้าสู่บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาลเพื่อทำการบำบัดน้ำทิ้ง ดังนั้นเมื่อไอโอดีนที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยและปล่อยสู่ท่อระบายน้ำทิ้งเพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล จะถูกเจือจางด้วยน้ำทิ้งจากอาคารต่างๆก่อนเข้าสู่บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และถูกเจือจางด้วยน้ำปริมาณ 5000 ลูกบาศก์เมตร ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งจัดเป็นประชาชนทั่วไป โดยการตรวจวัดระดับรังสีและวิเคราะห์นิวไคลด์รังสีในพื้นที่ดังกล่าว พบว่า นิวไคลด์ที่แผ่รังสีคือสารรังสีไอโอดีน-131 และ ประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานมีค่า 40.14 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ ซึ่งค่าดังกล่าวมากกว่าขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป คือ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ ระดับรังสีที่มีค่าสูงในพื้นที่บ่อบำบัดน้ำทิ้งคือ บริเวณเครื่องรีดตะกอนในขณะใช้งาน จึงได้สอบถามข้อมูลกับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีของโรงพยาบาล B แล้วทราบว่า ในการรีดตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งนั้นจะไม่ได้ปฏิบัติงานเป็นประจำทุกวัน แต่จะปฏิบัติงานเดือนละ1 ครั้ง ซึ่งในด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีจะพิจารณาถึงโอกาสการได้รับรังสีในทุกด้าน เพราะฉะนั้นการประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานนี้อาจจะเป็นการประมาณการเกินค่าความเป็นจริง อย่างไรก็ตามเมื่อต้องดำเนินการรีดตะกอนและเพื่อป้องกันการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ทางโรงพยาบาลควรกำชับผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งให้ปฏิบัติตามแนวปฏิบัติ การป้องกันอันตรายจากรังสี เช่นลดเวลาปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีระดับรังสีสูง (บริเวณที่นั่งพักของเจ้าหน้าที่รีดตะกอน) หากจำเป็นต้องอยู่บริเวณดังกล่าวตลอดเวลาควรจัดหาเจ้าหน้าที่ผลัดเปลี่ยน เพื่อลดโอกาสการได้รับรังสีของบุคคลคนเดียว หรืออาจจะหาวัสดุที่สามารถป้องกันการแผ่รังสีมากั้นพื้นที่ระหว่างเครื่อง

รีดตะกอนกับพื้นที่นั่งพักของเจ้าหน้าที่ และหากต้องมีการปฏิบัติงานในพื้นที่ดังกล่าวเป็นประจำควรจัดหาเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลให้เจ้าหน้าที่เพื่อประเมินผลการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานด้วย

ปริมาณไอโอดีน-131ของโรงพยาบาล A และ โรงพยาบาล B มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา โดยค่าสูงสุดจะอยู่ในวันที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว 2 วัน เนื่องจากหลังจากที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาด้วยไอโอดีน-131 แล้ว ภายใน 24 ชั่วโมง เลือดและปัสสาวะของผู้ป่วยจะมีระดับการปนเปื้อนรังสีสูงที่สุด ซึ่งปริมาณร้อยละ 70 ของไอโอดีน-131 จะถูกขับออกจากร่างกายภายใน 24 ถึง 48 ชั่วโมง จากการคำนวณตามทฤษฎีปริมาณไอโอดีนมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำวิจัย อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการคำนวณตามทฤษฎี จะคำนึงถึงการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาของโรงพยาบาล ซึ่งพิจารณาการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาอย่างต่อเนื่องตลอดไปในอนาคตด้วย และปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยจะเลือกค่าสูงสุดมาใช้ในการคำนวณ ส่วนปริมาณไอโอดีนที่ได้จากการวิจัยเป็นค่าที่วิเคราะห์ได้ในแต่และวันในช่วงที่มีการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาใน 4 สัปดาห์ และปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยของแต่ละคนมีค่าไม่เท่ากันขึ้นกับขนาดของต่อมไทรอยด์ และค่า occupancy factor ที่เกี่ยวกับการรักษาอื่นๆ

อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการวิจัย แสดงให้เห็นว่าปริมาณไอโอดีน-131 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลวนิวไคลด์รังสีไอโอดีน-131 ซึ่งกำหนด 0.04 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่องมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสีออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504, พ.ศ.2549 เพื่อให้การกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสีให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ทางโรงพยาบาลควรมีการประเมินการปล่อยกากของเหลวที่เปื้อนไอโอดีน-131 สู่ระบบบำบัดน้ำทิ้ง และทบทวนการใช้งานสารรังสีไอโอดีน-131 หรือปรับปรุงการจัดการกากกัมมันตรังสีก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สาธารณชน โดยจัดหาแท็งค์น้ำ หรือจัดทำบ่อพักเพื่อเก็บของเสียที่มาจากผู้ป่วยที่ผ่านการรักษาด้วยไอโอดีน-131 เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณรังสีลดลงอยู่ในระดับที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ การจัดเก็บของเสียดังกล่าวในบ่อพักจะใช้เวลาในการจัดเก็บประมาณ 10 เท่าของค่าครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131(ค่าครึ่งชีวิต 8 วัน) จึงปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล หรือทางโรงพยาบาลต้องทำการประเมินการได้รับรังสีของประชาชนบริเวณใกล้เคียงที่อาจได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งดังกล่าว ไม่ให้ได้รับรังสีเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โรงพยาบาล C**

มีบ่อพักน้ำทิ้งจำนวน 4 บ่อ และไอโอดีนจะต้องถูกเก็บไว้ที่บ่อพักก่อนจึงจะปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล ปริมาณไอโอดีน-131 หลังจากถูกพักเก็บไว้ในบ่อพัก ในช่วงเวลาที่ต่างกัน คือน้ำทิ้งถูกเก็บในบ่อพัก 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่า 26.7 , 2 และ 0.15 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าที่ได้จากการทำวิจัย ที่ 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน มีค่า 7.36, 3.68 และ 0.76 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการคำนวณและค่าที่ได้จากการวิจัยของเดือนที่ 1 พบว่า ปริมาณรังสีของค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำวิจัย เนื่องจากเมื่อปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อพักมาสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมจะมีน้ำทิ้งจากอาคารต่างๆมาเจือจางสารรังสีก่อนที่จะไหลเข้าสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล และเมื่อพิจารณาปริมาณรังสีในเดือนที่ 2 และ 3 พบว่า ค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณกลับมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำวิจัย ซึ่งกรณีนี้อาจมีสาเหตุมาจาก การสะสมของไอโอดีนที่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวม ซึ่งแม้ว่าทางโรงพยาบาลจะได้จัดทำบ่อพักเฉพาะแต่ช่วงเวลาการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อพักของแต่ละบ่อมาสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมอยู่ในช่วงเวลาที่ไล่เลี่ยกัน ดังนั้นที่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมจึงอาจมีการสะสมของปริมาณไอโอดีน-131 จากทั้ง 4 บ่อพักน้ำทิ้ง ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะสอดคล้องกับกฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เนื่องจากปริมาณไอโอดีน-131 มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการสลายตัวของค่าครึ่งชีวิต 8 วัน ความเข้มข้นของไอโอดีน-131 มีค่าสูงในช่วง 1 เดือน และจะค่อยๆลดลงในเดือนที่ 2 และมีค่าใกล้กับค่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งในเดือนที่ 3 โดยในแต่ละเดือนปริมาณไอโอดีนจะมีค่าสูงสุดในช่วงต้นสัปดาห์ และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลา

อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ยังมีค่าเกินเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลวนิวไคลด์รังสี ไอโอดีน-131 ซึ่งกำหนด 0.04 เบคเคอเรล ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่องมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสีออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504, พ.ศ.2549 เพื่อให้การกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ทางโรงพยาบาลอาจจะต้องเพิ่มเวลาในการพักน้ำทิ้งในบ่อพักให้นานขึ้น และการปล่อยน้ำจากบ่อพักมาสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมควรเพิ่มช่วงเวลาให้นานขึ้นเพื่อลดการสะสมของสารรังสีในบ่อบำบัดน้ำทิ้งรวม หรืออาจจะเพิ่มปริมาณน้ำในการเจือจางสารรังสีที่บ่อบำบัดน้ำทิ้งให้มากขึ้นเพื่อให้ปริมาณรังสีลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ หรือทางโรงพยาบาลต้องทำการประเมินการได้รับรังสีของประชาชนบริเวณใกล้เคียงที่อาจได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งดังกล่าว ไม่ให้ได้รับรังสีเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งจัดเป็นประชาชนทั่วไป โดยการตรวจวัดระดับรังสีและวิเคราะห์นิวไคลด์รังสีในพื้นที่ดังกล่าว พบว่า นิวไคลด์ที่แผ่รังสีคือสารรังสีไอโอดีน-131 และ ประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานมีค่า 8.043 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป คือ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ตต่อสัปดาห์ ทั้งนี้ผลที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยอื่นดังแสดงตามตารางที่ 5.1

**ข้อเสนอแนะ**

1 ควรมีการตรวจวัดระดับรังสีบริเวณโดยรอบบ่อบำบัดน้ำทิ้งเป็นประจำ ซึ่งหากพบว่าบริเวณดังกล่าวมีระดับรังสีค่อนข้างสูง ให้ทางหน่วยงานหามาตรการการป้องกันอันตรายจากรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งด้วย

2 การจัดการกากกัมมันตรังสีเพื่อให้ค่ากัมมันตภาพของสารรังสีลดลงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยทางรังสีสามารถใช้หลักการเจือจางและระบายทิ้ง หรือ การทอดระยะเวลาปล่อยให้สลายตัวไป ซึ่งหากพบว่าปริมาณน้ำที่ต้องนำมาใช้ในการเจือจางมีปริมาณสูงมาก อาจต้องสร้างบ่อบำบัดน้ำทิ้งขนาดใหญ่เพื่อให้สารรังสีทอดระยะเวลาในการสลายตัวนานขึ้น

3 ควรมีการตรวจวัดปริมาณสารรังสีของน้ำ และตะกอนดิน บริเวณสาธารณชนที่เป็นทางผ่านของน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล เพื่อให้มั่นใจว่า พนักงานเจ้าหน้าที่ ที่ปฏิบัติงานลอกท่อน้ำทิ้งในพื้นที่ดังกล่าวมีความปลอดภัยทางรังสี

4 ควรมีการตรวจวัดปริมาณสารรังสีที่อาจปนเปื้อนในพืช ผัก หรือสัตว์น้ำต่างๆ ในบริเวณสาธารณชนโดยรอบ เพื่อให้มั่นใจว่าสิ่งแวดล้อมประชาชนที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงจะไม่ได้รับผลกระทบจากการปล่อยน้ำทิ้งดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตาราง 5.1** เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งที่ได้จากการทำวิจัย และ จากงานวิจัยอื่น

| ปริมาณไอโอดีน-131 | จากการวิจัย | | | | | จากงานวิจัยอื่น | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | R.Barquero | | S.Sundell -Bergan | ไทรอยด์คลินิก ศิริราชพยาบาล |
| | รพ.A | รพ.B | รพ.C | | | ไม่มีบ่อพัก | มีบ่อพัก | | |
| | | | เก็บ 1 เดือน | เก็บ 2 เดือน | เก็บ 3 เดือน | | | | |
| คำนวณที่บ่อบำบัด (Bq) | 1.97 x$10^{10}$ | 4.58 x$10^{10}$ | 2.67 x$10^{9}$ | 2.0 x$10^{8}$ | 1.5 x$10^{7}$ | 1.457x$10^{10}$ | 6.8 x$10^{6}$ | n/a | n/a |
| คำนวณปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม(Bq/$cm^3$) | 3.94 | 9.17 | 26.7 | 2 | 0.15 | n/a | n/a | n/a | n/a |
| ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (Bq/$cm^3$) จากการเก็บตัวอย่าง | 1.29-1.86 | 1.65-1.82 | 7.36 | 3.68 | 0.76 | n/a | n/a | n/a | 0.29 |
| ปริมาณรังสียังผลของผู้ปฏิบัติงานบ่อบำบัด (μSv/week) | 5.10 | 40.14 | 8.05 | 8.05 | 8.05 | 3.28 | n/a | 0.2 | n/a |

หมายเหตุ: เกณฑ์ปลอดภัยสำหรับน้ำทิ้งสำหรับไอโอดีน-131 มีค่า 0.04 Bq/$cm^3$

ขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป มีค่า 20 (μSv/week)

n/a = none activity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายการอ้างอิง


[1] S.Sundell-Bergman, I.de la Cruz, R.Avila, S. hasselblad. A new approach to assessment and management of the impact from medical liquid radioactive waste Journal of environmental Radioactivity (2008) : 1-6.

[2] R. Barquero, F.Barurto, C.Nunez, R. Esteban. Liquid discharges from patients undergoing $^{131}$I treatments. Journal of Environmental Radioactivity (2008) : 1-5.

[3] R.Barquero, M.M. Agulla, A.Ruiz Liquid discharges from the use of radionuclide in medicine (diagnosis). Journal of Environmental Radioactivity (2008) : 1-4.

[4] ไทรอยด์คลินิก สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์. แผนพัฒนาต่อเนื่อง การรักษาผู้ป่วยเนื้องอกไทรอยด์ด้วยไอโอดีนรังสี ($^{131}$I) รายงานการปนเปื้อนทางรังสีในน้ำทิ้ง. กรุงเทพมหานคร : สาขาวิชาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, 2551.

[5] มลุลี ตัณฑวิรุฬห์. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง Radiation safety Management in Nuclear Medicine. สมาคมเวชศาสตร์นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, Safety Criteria for Patients Receiving Radioiodine: Patient Release after I-131 Therapy, หน้า 24-44. กรุงเทพมหานคร : พี.เอ.ลีฟวิ่ง , 2549.

[6] ภาวนา ภูสุวรรณ. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง Radiation safety Management in Nuclear Medicine. สมาคมเวชศาสตร์นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, Radionuclides for Clinical Nuclear Medicine, หน้า 1-23. กรุงเทพมหานคร : พี.เอ.ลีฟวิ่ง, 2549.

[7] พจี เจาฑะเกษตริน. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง Radiation safety Management in Nuclear Medicine.สมาคมเวชศาสตร์นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, How to handle Radioactive Patients, หน้า 46-56. กรุงเทพมหานคร : พี.เอ.ลีฟวิ่ง, 2549.

[8] ปรมาณูเพื่อสันติ,สำนักงาน. การป้องกันอันตรายจากรังสีระดับ 2. กรุงเทพมหานคร : 2546.

[9] H.Shiraishi. The methods for measuring radioactivity of I-131 ITP documents. Nuclear Technology and Education Center : Japan Atomic Energy,Tokai-Mura, 2007.

[10] William K.Tuttle, III and Paul H.Brown. Applying Nuclear Regulatory Commission Guidelines to the Release of Patients Treated with Sodium Iodine-131. Portland, Oregon : Medical Center and Department of Diagnostic Radiology, Oregon Health Sciences University, 2000.

[11] Environmental Measurements Laboratory U.S. Department of Energy. Quality Control and Detection Limits. 28th Edition. Section 4.5.3 Vol.1 HASL-300. U.S.A : (n.p.), 1997.

[12] B.E. Zimmerman, C.Herbst, J.P.Norenberg, M.J.Woods. International guidance on the establishment of quality assurance programmes for radioactivity measurement in nuclear medicine. UK : Applied radiation and Isotopes. 2006.

[13] U.S.Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 8.39 Release of patients Administered Radioactive Materials. U.S.A : 1997.

[14] Edelgard Hund,D.Luc Massart, Johanna Smeyers-Verbeke. Operational definitions of uncertainty. vol.20,no.8. trends in analytical chemistry. Belgium : 2001.

[15] Herman Cember. Introduction to Health Physics. Third Edition. Illinois : Department of Civil Engineering McCormick School of Engineering Northwestern University Evanston : 1996.

[16] John R. Cooper,Keith Randle and Ranjeet S.Sokhi. Radioactive Releases in the Environment: Impact and Assessment. England : John Wiley & Son, LTD, 2003.

[17] สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ. เอกสารประกอบการฝึกอบรม-สัมมนาวิชาการ การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร วิธีการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด. กรุงเทพมหานคร : กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552.

[18] ปรมาณูเพื่อสันติ,สำนักงาน. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับกฤษฎีกา กฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการจัดการกากกัมมันตรังสี พ.ศ.2546. เล่ม 120 ตอนที่ 27 ก. (2546) :25-29.

[19] ปรมาณูเพื่อสันติ,สำนักงาน. คู่มือความปลอดภัยทางรังสีสำหรับงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพมหานคร : 2551.

[20] ปรมาณูเพื่อสันติ,สำนักงาน. ศัพทานุกรมนิวเคลียร์. กรุงเทพมหานคร : 2547.

[21] สุพิชชา จันทรโยธา. เอกสารประกอบการบรรยายวิชา 2111646 การจัดการกากกัมมันตรังสี บทที่ 7 และบทที่ 8. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

# ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลของโรงพยาบาลที่ใช้งานสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ ปี 2551-2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตาราง ก** ข้อมูลของโรงพยาบาลที่ใช้งานสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ ปี 2551-2552

โดยชื่อของโรงพยาบาลต่างๆจะสมมุติชื่อเป็น โรงพยาบาล A,B,C,…..V

| ลำดับที่ | ชื่อสถานปฏิบัติการ | สถานที่ตั้ง | ปริมาณ I-131 ที่ขออนุญาต | ประเภทของการรักษา | | จำนวนห้องของผู้ป่วย | จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ไทรอยด์เป็นพิษ | มะเร็งต่อมไทรอยด์ | | |
| 1 | โรงพยาบาล A | กรุงเทพฯ | 1,300 mCi | ✓ | ✓ | 2 | 4 คน/สัปดาห์ |
| 2 | โรงพยาบาล B | " | 3,100 mCi | ✓ | ✓ | 5 | 10 คน/สัปดาห์ |
| 3 | โรงพยาบาล C | " | 1,600 mCi | ✓ | ✓ | 3 | 6 คน/สัปดาห์ |
| 4 | โรงพยาบาล D | " | 30 mCi | ✓ | ✓ | - | - |
| 5 | โรงพยาบาล C | ต่างจังหวัด | 1500 mCi | ✓ | ✓ | 3 | ซ่อมแซมห้อง |
| 6 | โรงพยาบาล D | กรุงเทพฯ | 2,000 mCi | ✓ | ✓ | 2 | 3 คน/สัปดาห์ |
| 7 | โรงพยาบาล E | ต่างจังหวัด | 1,200 mCi | ✓ | ✓ | 4 | 4 คน/สัปดาห์ |
| 8 | โรงพยาบาล F | กรุงเทพฯ | 1,000 mCi | ✓ | ✓ | 1 | 2 คน/สัปดาห์ |
| 9 | โรงพยาบาล G | ต่างจังหวัด | 1,800 mCi | ✓ | ✓ | 1 | 1 คน/สัปดาห์ |
| 10 | โรงพยาบาล H | กรุงเทพฯ | 250 mCi | ✓ | - | - | - |
| 11 | โรงพยาบาล I | " | 500 mCi | ✓ | ✓ | 1 | 1 คน/เดือน |
| 12 | โรงพยาบาล J | " | 1,000 mCi | ✓ | ✓ | - | - |
| 13 | โรงพยาบาล K | " | 500 mCi | ✓ | ✓ | 1 | 2 คน/ปี |
| 14 | โรงพยาบาล L | กรุงเทพฯ | 500 mCi | ✓ | ✓ | 2 | 2 คน/สัปดาห์ |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตาราง ก** ข้อมูลของโรงพยาบาลที่ใช้งานสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้งานทางการแพทย์ ปี 2551-2552
โดยชื่อของโรงพยาบาลต่างๆจะสมมุติชื่อเป็น โรงพยาบาล A,B,C,…..V (ต่อ...)

| ลำดับที่ | ชื่อสถานปฏิบัติการ | สถานที่ตั้ง | ปริมาณ I-131 ที่ขออนุญาต | ประเภทของการรักษา | | จำนวนห้องของผู้ป่วย | จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ไทรอยด์เป็นพิษ | มะเร็งต่อมไทรอยด์ | | |
| 15 | โรงพยาบาล M | " | 150 mCi | ✓ | ✓ | - | - |
| 16 | โรงพยาบาล N | " | 500 mCi | ✓ | ✓ | - | - |
| 17 | โรงพยาบาล O | " | 50 mCi | ✓ | ✓ | 2 | 1 คน/ เดือน |
| 18 | โรงพยาบาล P | ต่างจังหวัด | 300 mCi | ✓ | ✓ | 3 | 1 คน / เดือน |
| 19 | โรงพยาบาล Q | กรุงเทพฯ | 100 mCi | ✓ | ✓ | - | - |
| 20 | โรงพยาบาล R | " | 500 mCi | ✓ | ✓ | 3 | 3 คน/สัปดาห์ |
| 21 | โรงพยาบาล S | " | 300 mCi | ✓ | ✓ | 1 ห้อง | 1 คน/ปี |
| 22 | โรงพยาบาล T | ต่างจังหวัด | 1,000 mCi | ✓ | ✓ | 1ห้อง | 2 คน/1เดือน |
| 23 | โรงพยาบาล U | " | 300 mCi | ✓ | - | - | - |
| 24 | โรงพยาบาล V | " | 30 mCi | ✓ | - | - | - |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ข

## การคำนวณหาปริมาณไอโอดีน -131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณหาปริมาณไอโอดีน-131 ในตัวอย่างน้ำทิ้ง จากทฤษฎี ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนไอโอดีน-131 จากการรักษาผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์

1 ปริมาณรังสีที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$Ad(t) = A_{adm}(t) - A_{TB}(t) \quad \text{.....(1)}$$

$$A_{TB}(t) = \frac{DR_{TB}(t)}{66.4\ \mu Sv/h\ GBq} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ $Ad(t)$ = ปริมาณรังสีที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย

$A_{adm}(t)$ = ปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วย

$A_{TB}(t)$ = ปริมาณรังสีที่เหลืออยู่ที่ต่อมไทรอยด์ของผู้ป่วยหลังการรักษา

$DR_{TB}(t)$ = ระดับรังสีที่ผู้ป่วยสามารถออกจากโรงพยาบาลได้โดยไม่ทำให้บุคคล อื่นได้รับรังสีเกิน 5 mSv (USNRC กำหนด ที่ 33 mCi มีค่า 0.07 mSv/h เพราะฉะนั้น ปริมาณรังสีที่เหลืออยู่ที่ต่อมไทรอยด์จะหาได้จากสมการ

$$A_{TB}(t) = \frac{DR_{TB}(t)}{66.4}$$

แทนค่า $$A_{TB}(t) = \frac{0.07\ mSv/h}{66.4\ \mu Sv/h\ GBq}$$

จะได้ปริมาณรังสีที่เหลืออยู่ที่ต่อมไทรอยด์ $A_{TB}(t) = 1.05\ GBq$

ปริมาณรังสีที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วยจากการรักษาอย่างต่อเนื่องในหลายๆสัปดาห์จาก The Taylor approximation (1/0.5) ซึ่งจะคิดจากสมการ

$$Ad = \sum_{n=0}^{\infty} Ad(t) \times 0.5^n + \sum_{n=0}^{\infty} Ad(t) \times 0.5^n \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ n = จำนวนของสัปดาห์ที่ปล่อยให้ผู้ป่วยกลับบ้าน

2 ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง สามารถคำนวณได้จาก

$$Ad(t') = Aadm \times \%Ad(t) \times (\frac{1}{0.5}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

เมื่อ Ad(t') = ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง

Aadm = ปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วย

Ad(t) = ร้อยละของปริมาณรังสีที่ถูกขับออกจากผู้ป่วย

(1/0.5) = Taylor's series approximation ตามสมการที่ (3)

**โรงพยาบาล A**

รักษาผู้ป่วย 2 คน ต่อวัน โดยปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษา 160 และ 165 mCi เพราะฉะนั้นปริมาณรังสีโดยเฉลี่ยมีค่า ($A_{adm}$) 162.5 mCi หรือ 6.01 GBq ต่อคน ซึ่งจะสามารถคำนวณปริมาณรังสีได้ดังนี้

1 ปริมาณรังสีที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย

จาก $Ad(t) = A_{adm}(t) - A_{TB}(t)$

แทนค่า $Ad(t) = 6.01 - 1.05$ GBq

จะได้ Ad(t) = 4.96 GBq (คิดเป็น 82.53 % ที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย)

2 ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้ง

จาก $Ad(t') = Aadm \times \%Ad(t) \times (\frac{1}{0.5})$

แทนค่า $Ad(t') = 6.01 \times 0.82 \times (\frac{1}{0.5})$

จะได้ Ad(t') = 11.42 GBq

รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา 2 คนต่อวัน

Ad(t') = 9.85 GBq x 2

Ad(t') = 19.70 GBq

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 5000 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ฉะนั้น ปริมาณรังสีที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า

$$Ad = \frac{19.70\ GBq}{5x10^{9}\ cm^{3}}$$

$$Ad = 3.94 \times 10^{-9}\ GBq/cm^{3}$$

$$Ad = 3.94\ Bq/cm^{3}$$

**ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน มีค่า 3.94 $Bq/cm^3$**

หมายเหตุ: โรงพยาบาล A และ B จะคำนวณเหมือนกัน เนื่องจากโรงพยาบาลไม่มีบ่อพักน้ำทิ้ง

**โรงพยาบาล C**

รักษาผู้ป่วย 4 คนต่อวัน โดยปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาอยู่ในช่วง 100 - 200 mCi และ ปริมาณรังสีโดยเฉลี่ย ($A_{adm}$) มีค่า 150 mCi หรือ 5.55 GBq ต่อคน โรงพยาบาลC มีบ่อพักน้ำทิ้งที่เปื้อนไอโอดีน-131 ก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล สามารถคำนวณปริมาณรังสีได้ดังนี้

1 ปริมาณรังสีที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย

จาก $Ad(t) = A_{adm}(t) - A_{TB}(t)$

แทนค่า $Ad(t) = 5.55 - 1.05\ GBq$

จะได้ $Ad(t) = 4.5\ GBq$ (คิดเป็น 81 % ที่ถูกขับออกมาจากผู้ป่วย)

2 ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อพักน้ำทิ้ง

จาก $Ad(t') = Aadm \times \%Ad(t) \times (\frac{1}{0.5})$

แทนค่า $Ad(t') = 5.55 \times 0.81 \times (\frac{1}{0.5})$

จะได้ $Ad(t') = 9.0\ GBq$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา 4 คนต่อวัน ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อพักน้ำทิ้ง จะมีค่า

$$Ad(t') = 9.0\ GBq \times 4$$

$$Ad(t') = 36\ GBq \text{ ต่อวัน}$$

3 ปริมาณรังสีที่ปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวม เนื่องจากทางโรงพยาบาลได้จัดทำบ่อพักน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่บ่อบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล ฉะนั้นจึงต้องนำค่าการสลายตัวของไอโอดีน-131 ด้วย

3.1 คิดค่าการสลายตัว 1 เดือน

จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

$$A = 36\, e^{-(\frac{0.695}{8})\times 30}$$

$$= 2.67\ GBq$$

ปริมาณน้ำในบ่อพัก 50000 ลิตร และปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 50000 ลิตรต่อวัน ฉะนั้น ปริมาณรังสีที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่า

$$Ad = \frac{2.67 GBq}{10^{8}\ cm^{3}}$$

$$Ad = 2.67 \times 10^{-8}\ GBq/cm^{3}$$

$$= 26.7\ Bq/cm^{3}$$

**ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน หลังจากถูกเก็บไว้ที่บ่อพัก 1 เดือน มีค่า 26.7 Bq/cm$^3$**

3.2 คิดค่าการสลายตัว 2 เดือน

$$A = 36\, e^{-(\frac{0.695}{8})\times 60}$$

$$= 0.20\ GBq$$

ปริมาณน้ำในบ่อพัก 50000 ลิตร และปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 50000 ลิตรต่อวัน ฉะนั้น ปริมาณรังสีที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$Ad = \frac{0.2\ GBq}{10^{8}\ cm^{3}}$$

$$= 2.0 \times 10^{-9}\ GBq/cm^{3}$$

$$= 2\ Bq/cm^{3}$$

**ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน หลังจากถูกเก็บไว้ที่บ่อพัก 2 เดือน มีค่า 2 $Bq/cm^{3}$**

3.3 คิดค่าการสลายตัว 3 เดือน

$$A = 36\, e^{-(\frac{0.695}{8})\times 90}$$

$$= 0.015\ GBq$$

ปริมาณน้ำในบ่อพัก 50000 ลิตร และปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 50000 ลิตรต่อวัน ฉะนั้น ปริมาณรังสีที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่า

$$Ad = \frac{0.015\ GBq}{10^{8}\ cm^{3}}$$

$$= 1.5 \times 10^{-10}\ GBq/cm^{3}$$

$$= 0.15\ Bq/cm^{3}$$

**ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ปล่อยสู่สาธารณชน หลังจากถูกเก็บไว้ที่บ่อพัก 3 เดือน มีค่า 0.15 $Bq/cm^{3}$**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณหาปริมาณไอโอดีน-131 ในตัวอย่างน้ำทิ้ง จากการทดลอง

การหาประสิทธิภาพการนับวัดโดยวัดสารมาตรฐานไอโอดีน-131 ค่ากัมมันตภาพ 0.735 μCi (27195 Bq) ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร วางติดกับหัววัด เวลาที่ใช้ในการนับวัด 3600 วินาที ค่าการนับวัดที่ได้ มีค่า 330851 $\pm$ 631

คำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัด (Efficiency of Detector) ที่พลังงาน 364 keV

จากสมการ

$$\text{Absolute Efficiency} = \frac{\text{จำนวนสัญญาณที่นับได้(cps)}}{\text{ค่ากัมมันตภาพ(Bq)}}$$

การนับวัดที่ได้ 330851 $\pm$ 631 = 91.90 $\pm$ 0.17 cps

Absolute Efficiency = 91.90/27195

$= 3.38 \times 10^{-3}$

= 0.338 %

การคำนวณหาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างน้ำทิ้ง ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร นับวัด 3600 วินาที จากสมการ

$$\text{ค่ากัมมันตภาพ(Bq)} = \frac{\text{จำนวนสัญญาณที่นับได้(cps)}}{\text{ประสิทธิภาพการนับวัด(Eff)}}$$

ตัวอย่าง วันจันทร์ (เก็บตัวอย่างวันจันทร์ และทำการวิเคราะห์วันอังคาร)

ค่า counts แบคกราวนด์ = 32 $\pm$ 12 counts

ค่า counts ของตัวอย่างรวมค่าแบกกราวนด์ = 8799 $\pm$ 98 counts

จะได้ค่า counts ของตัวอย่าง $= \frac{8799}{3600} - \frac{32}{3600}$

= 2.43 cps

$$\text{Bq} = \frac{2.43}{3.38 \times 10^{-3}}$$

= 720.5 Bq/500 $cm^3$

= 1.44 Bq/$cm^3$

เนื่องจากตัวอย่างถูกทิ้งไว้ 1 วันก่อนการวิเคราะห์ จึงต้องคิดค่าการสลายตัวของไอโอดีน-131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 วัน จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

$$1.44 = A_0 e^{-\frac{0.693 \times 1}{8}}$$

I-131($A_0$) = 1.57 Bq/cm$^3$

**คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย (Standard deviation of mean / standard error)**

จะเสดงการกระจายตัวของข้อมูล Xi ที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Sn = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งหาได้จากสมการ

$$SD = \frac{\sqrt{\Sigma(Xi - X)^2}}{n-1}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของข้อมูลการวิเคราะห์ของโรงพยาบาล A ตัวอย่างที่ 1 ได้ค่าการนับวัด ดังนี้ 8690, 8950, 8758 cpm และคำนวณปริมาณไอโอดีน-131 มีค่า 1.41, 1.45 และ 1.43 Bq/cm$^3$ จะได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

$$SD = \frac{\sqrt{(1.41-1.43)^2 + (1.45-1.45)^2 + (1.43-1.43)^2}}{3-1}$$

$$SD = \frac{0.0204}{2}$$

$$SD = 0.0102$$

หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย $Sn = \frac{SD}{\sqrt{n}}$

แทนค่า $Sn = \frac{0.0102}{\sqrt{3}}$

Sn = 0.006

เพราะฉะนั้นปริมาณไอโอดีน-131 จากโรงพยาบาล A จะมีค่า **1.57 $\pm$ 0.006** Bq/cm$^3$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ค
# คำนวณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

จากสมการ $D = RT$

เมื่อ D = ปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ

R = ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา

T = เวลาที่ผู้ปฏิบัติงาน ทำงานในพื้นที่นั้นๆ

บริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาล A

| หมายเลข | พื้นที่ | T (นาที) | R ($\mu$R/h) | D ($\mu$R) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล A | 20 | 20 | 6.6 |
| 2 | ถังแยกกรวดทราย | 60 | 20 | 20 |
| 3 | ถังแยกตะกอน | 20 | 15 | 4.95 |
| 4 | ห้องพักของผู้ปฏิบัติงาน | 210 | 10 | 35 |
| 5 | ที่นั่งพักของเจ้าหน้าที่ | 60 | 15 | 15 |
| 6 | ห้องควบคุมเครื่องมือ | 90 | 10 | 15 |
| 7 | ผนังกำแพงถังพักตะกอน | 5 | 15 | 1.245 |
| 8 | บริเวณท่อระบายน้ำทิ้งสู่สาธารณะ | 5 | 20 | 1.66 |
| 9 | ถังพักน้ำก่อนทิ้ง | 10 | 15 | 2.4 |
| ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดจะได้รับรังสี | | 480 นาที (8ชั่วโมง) | | 101.85 |

ผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดจะได้รับรังสี = ผลรวมของการได้รับรังสีในแต่ละพื้นที่

$$= D_1+D_2+D_3\ldots..+D_8$$

$$D = RT$$

1 บ่อรับน้ำทิ้งรวมของโรงพยาบาล

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 20 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 20 นาที ( 0.33 h)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$D = \frac{20 \mu R}{h} x 0.33 h$$

$$D_1 = 6.6 \ \mu R$$

2 ถังแยกกรวดทราย

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 20 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 60 นาที ( 1 h)

$$D = \frac{20 \mu R}{h} x 1 h$$

$$D_2 = 20 \ \mu R$$

3 ถังแยกตะกอน

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 15 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 20 นาที ( 0.33 h)

$$D = \frac{15 \mu R}{h} x 0.33 h$$

$$D_3 = 4.95 \ \mu R$$

4 ห้องพักของผู้ปฏิบัติงาน

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 10 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 210 นาที ( 3.5 h)

$$D = \frac{10 \mu R}{h} x 3.5 h$$

$$D_4 = 35 \ \mu R$$

5 ที่นั่งพักของเจ้าหน้าที่

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 15 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 60 นาที ( 1 h)

$$D = \frac{15 \mu R}{h} x 1 h$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$D_5 = 15\ \mu R$

6 ห้องควบคุมเครื่องมือ

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 10 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 90 นาที ( 1.5 h)

$$D = \frac{10\mu R}{h} \times 1.5\ h$$

$D_6 = 15\ \mu R$

7 ผนังกำแพงถังพักตะกอน

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 15 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 5 นาที ( 0.083 h)

$$D = \frac{15\mu R}{h} \times 0.083\ h$$

$D_7 = 1.245\ \mu R$

8 บริเวณท่อระบายน้ำทิ้งสู่สาธารณะ

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 20 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 5 นาที ( 0.083 h)

$$D = \frac{20\mu R}{h} \times 0.083\ h$$

$D_8 = 1.66\ \mu R$

9 ถังพักน้ำก่อนทิ้ง

ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ ต่อเวลา (R) = 15 $\mu$R/h

เวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (T) = 10 นาที ( 0.16 h)

$$D = \frac{20\mu R}{h} \times 0.16\ h$$

$D_8 = 2.4\ \mu R$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลรวมของการได้รับรังสีในแต่ละพื้นที่ D(รวม) = 6.6+20+4.95+35+15+15+1.245+1.66+2.4 μR

= 101.855 μR/day

100 μR = 1 μSv เพราะฉะนั้น D(รวม) = 1.0185 μSv/day

= 5.095 μSv/week

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ง
# คำนวณหาค่าขีดจำกัดของการนับวัดของเครื่อง
# (Lower Limit of Detection, LLD)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**คำนวณหาค่าขีดจำกัดของการนับวัดของเครื่อง (Lower Limit of Detection, LLD)**

ค่าการวัดตัวอย่างที่ต่ำสุดที่นับวัดได้มีค่า 139 $\pm$ 56 counts ในเวลา 3600 วินาที และ ค่าการนับวัดของแบกกราวนด์ก่อนวัดตัวอย่าง มีค่า 10 $\pm$12 counts ในเวลา 3600 วินาที จะได้ค่าการนับวัดสุทธิ 129 counts ในเวลา 3600 วินาที = 0.036 cps

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดมีค่า $\frac{\sqrt{129}}{3600} = 0.0031\text{cps}$

ดังนั้นผลการนับวัดตัวอย่างมีค่า $0.036 \pm 0.0031$ cps

ค่าการคำนวณขีดจำกัดการนับวัดของเครื่อง (LLD) ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($\alpha$=0.05) ค่า LLD ดังแสดงในตาราง

| $\alpha$ | 1-$\beta$ | K | $2^{3/2}$K |
|---|---|---|---|
| 0.01 | 0.99 | 2.327 | 6.59 |
| 0.02 | 0.98 | 2.054 | 5.81 |
| 0.025 | 0.975 | 1.960 | 5.54 |
| 0.05 | 0.95 | 1.645 | 4.65 |
| 0.10 | 0.90 | 1.282 | 3.63 |
| 0.20 | 0.80 | 0.842 | 2.38 |

เพราะฉะนั้น ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ค่า LLD $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ นั่นคือ $(k_\alpha + k_\beta)$มีค่าเท่ากับ 3.29 สามารถคำนวณ LLD เป็นค่ากัมมันตภาพ จากสมการ

$$\text{LLD}_{95\%}(\text{Bq}) = \frac{3.29 \times S_s}{(\text{CT})(\varepsilon)(\text{Y})}$$

เมื่อ

$$Ss = \left[S_{gross} + S_{Bk}{}^2\right]^{1/2}$$

$S_{gross}$ คือค่านับวัดของแบคกราวด์ $S_{Bk}$ คือค่าความผิดพลาดของการนับวัด

CT คือเวลาที่ใช้ในการนับวัด

$\varepsilon$ คือประสิทธิภาพของหัววัด

Y คือค่าผลผลิตที่ได้จากกระบานการแยกทางเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนค่า

$$LLD_{95\%}(Bq) = \frac{3.29x(6.03x10^{-3})}{(3600)(3.38x10^{-3})}$$

$$= 0.0016 \text{ Bq}$$

นั่นคือปริมาณรังสีที่น้อยที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 0.0016 เบคเคอเรล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก จ
# เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย**

**ขวดพลาสติกขาวขุ่นขนาด 1000 ml**
**และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง**

**บีกเกอร์ ขนาด 600 ml ใส่ตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์**

**เครื่องตรวจวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงาน ยี่ห้อ EG&G**
**ORTECT รุ่น 232P**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**เครื่องวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงานชนิดพกพา ยี่ห้อ Canberra รุ่น Inspector 2000**

**เครื่องสำรวจรังสี (survey meter) ยี่ห้อ Ludlum measurement Model 19**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ฉ
# หลักการจัดการกากกัมมันตรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**หลักการจัดการกากกัมมันตรังสี**

การจัดการกากกัมมันตรังสีมีหลักการที่สำคัญที่ใช้ร่วมกัน 3 ประการ คือ

1 การทำให้เจือจาง และระบายทิ้ง (Dilute and Disperse) วิธีนี้นิยมใช้กับกากกัมมันตรังสของเหลวที่ความแรงรังสีต่ำ และ มีค่าครึ่งชีวิตสั้น เมื่อใช้หลักการนี้ กากกัมมันตรังสีบางชนิด จะมีค่าความเข้มข้นรังสีต่ำกว่าปริมาณปลอดภัย (Clearance level) จึงสามารถระบายทิ้งได้

2 การทำให้เข้มข้น และ เก็บรวบรวมไว้ (Concentrate and Contain) วิธีนี้เหมาะสำหรับกากกัมมันตรังสีปานกลาง และมีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก และ หรือ กากกัมมันตรังสีที่มีปริมาณมาก

3 การทอดระยะเวลา และ ปล่อยให้สลายตัว(Delay and Decay) เพื่อให้ความแรงรังสีลดลงสามารถจัดทิ้ง และ หรือ ดำเนินการใดๆต่อไป

การบำบัดกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว เพื่อทำการลดปริมาตรของกากกัมมันตรังสีให้ลดลงมากที่สุด ซึ่งอาจอยู่ในรูปของ semisolid และอาจถูกส่งไปทำการบำบัดเพื่อกำจัดน้ำส่วนที่เกินออก หรือส่งไปแปรสภาพ ทำให้อยู่ในสถานะที่มีความมั่นคง กากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวที่มีระดับรังสีต่ำและปานกลาง สามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ กากกัมมันตรังสีที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่น้อยกว่า 1% และอยู่ในรูปของ slurry ซึ่งจะมีส่วนของแข็งแขวนลอยอยู่ถึง 10% การเลือกวิธีการบำบัดกากกัมมันตรังสีของเหลว เช่น การแลกเปลี่ยนอิออน และการระเหย อาจดูได้จากค่า Decontamination Factor(D.F) ของวิธีการบำบัดนั้นๆ ซึ่งค่า D.F หมายถึง อัตราส่วนของความแรงรังสีของของเหลวก่อนผ่านเครื่องบำบัดต่อความแรงรังสีของของเหลวที่ได้หลังการบำบัด ถ้าค่า D.F.สูง หมายความว่า วิธีการนั้นเหมาะสมดีกว่า วิธีบำบัดที่มีค่า D.F. ต่ำ

กระบวนการกำจัดนิวไคลด์รังสีที่ใช้ในการจัดการวัสดุรังสีที่มีอยู่ในกากของเหลว คือ การทอดระยะเวลา(delay) และปล่อยให้สารรังสีสลายตัว(decay) หรือบำบัดโดยกระบวนการทางฟิสิกส์หรือเคมี เพื่อกำจัดสารรังสีออกจากของเหลว การทำให้เข้มข้นและเก็บรวบรวมไว้ เช่นการกรอง (filters), demineralization,ใช้ตัวดูดซับ(adsorbers) และการระเหย(evaporators) เป็นต้น การลดลงของสารรังสีอย่างมีนัยสำคัญอาจเนื่องมาจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีระหว่าง การจัดเก็บ การบำบัดและการปล่อยทิ้ง จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์รังสีในของเหลวนั้นๆ

Liquid Waste Holdup Times ในกระบวนการชะลอเวลาหรือทอดระยะเวลานั้น มีเวลาที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการกักเก็บ(Holdup time) ของเหลวอันเนื่องมาจากการสลายตัวของสารรังสีในกากของเหลวดังนี้

- collection time,Tc หมายถึง เวลาที่ใช้ในการบรรจุกากของเหลวในถังเก็บ(collection tank) ก่อนที่จะส่งเข้าสู่กระบวนการบำบัด การประเมินเวลา collection time, Tc โดย เมื่อทราบค่าอัตรา

การไหล(flow rate, Ri )ของของเหลวที่เข้าระบบถังเก็บจะทำให้สามารถประมาณเวลาที่ใช้ในการเก็บกากของเหลวในถังเก็บก่อนส่งไปบำบัดต่อได้ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการรวบรวมหรือบรรจุกากของเหลวในถังเก็บอาจใช้เวลาหลายชั่วโมงถึงหลายวันจนกว่าจะถึงขีดกำหนดสารรังสีที่ถูกส่งเข้าถังเก็บตอนเริ่มต้นเท่านั้นที่จะสลายตัวไปในเวลาเท่ากับระยะเวลาที่เก็บ(collection time)ทำให้สารรังสีที่เข้ามาทีหลังมีเวลาในการกักเก็บน้อยกว่า collection time ดังนั้นผลทั้งหมดของการสลายตัวของสารรังสีจึงถูกนำมาคำนวณตลอดช่วงระยะเวลาของการจัดเก็บ collection ในกรณีที่ระบบมีถังเก็บหลายถัง จะตั้งสมมุติฐานว่า ถังใบที่หนึ่งจะบรรจุกากของเหลวจนถึงความจุประมาณ 80% ของความจุสูงสุดก่อนที่จะส่งกากของเหลวเข้าระบบบำบัด ดังนั้นสามารถคำนวณหา collection time,Tc ได้ดังนี้

$$Tc = 0.8\ A/Ri$$

A = capacity of tank

Ri = waste input flow rate

ส่วนระบบที่มีถังเก็บถังเดียว จะเพิ่มค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัยเข้าไป คือ ความจุจะลดลงเหลือที่ 40% ก่อนส่งไปบำบัดต่อ ดังนั้น

$$Tc = 0.4\ A/Ri$$

- Process time, Tp หมายถึง เวลาที่ใช้ในการบำบัด(treatment) กาก ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบ อุปกรณ์ที่มีอัตราการไหลน้อยที่สุดจะถูกนำมาใช้พิจารณาในการคำนวณ ซึ่งมีผลต่อสารรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น

โดย Tp สำหรับระบบที่มีถังเก็บรวบรวมหลายใบเป็นดังนี้

$$Tp = 0.8A/Rp$$

สำหรับระบบถังเดี่ยว จะได้

$$Tp = 0.4A/Rp$$

เมื่อ Rp = limiting time flow rate through the process

- Discharge time ,Td หมายถึง เวลาที่ระบายกากของเหลวที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังตรวจสอบ(sample or test tank) ออกสู่สิ่งแวดล้อม ถ้าถังตรวจสอบและถังเก็บรวบรวม(collection tank) มีขนาดความจุเท่ากัน ในการคำนวณ discharge time จะพิจารณาจากการปล่อยของเหลวออก 80% หรือ 40% ของความจุสูงสุดของถังตรวจสอบซึ่งจะเท่ากับ 80% หรือ 40% ของกากใน collection tank ถูกบำบัดไป จะได้ว่า

กรณีหลายถัง $Td = 0.8B/Rd$

กรณีถังเดียว $Td = 0.4B/Rd$

เมื่อ B = capacity of sample tank

Rd = flow rate of sample tank discharge pump

ในกรณีที่มีกากของเหลวอื่นหรือจากระบบบำบัดอื่นไหลมาสะสมในถัง waste sample tank ด้วยอัตราการไหล $R_0$ จะต้องทำการหาว่าปริมาตรของถัง waste sample tank เพียงพอที่จะเก็บกากของเหลวหรือไม่ โดยสามารถตรวจสอบได้ดังนี้

กรณีระบบที่มีถังหลายถัง $0.8\ B > Tp(Rp+R_0)$

หรือระบบที่มีถังเดี่ยว $0.4\ B > Tp(Rp+R_0)$

ถ้าเพียงพอจึงทำการหา เวลาทั้งหมด(Tp) ที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของสารรังสีในกระบวนการบำบัด (total process time credited for radionuclide decay) ดังนี้

$$Tpt = Tp + \tfrac{1}{2}\ Td$$

ส่วนในกรณีที่ถังตรวจสอบมีความจุน้อยกว่า collection tank จึงเป็นไปไม่ได้ที่ถังตรวจสอบจะสามารถเก็บกากของเหลวทั้งหมดที่ผ่านการบำบัดใน 1 วัฏจักรได้ นั่นคือ กรณีที่ค่า 0.8B หรือ 0.4B (แล้วแต่กรณี)$<Tp(Rp+R_0)$ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปล่อยของเหลวออกสู่สิ่งแวดล้อมก่อนที่ปริมาณกากของเหลวทั้งหมดในถังเก็บจะถูกบำบัดหมด ในกรณีเช่นนี้การคำนวณจะไม่รวมเวลาของ discharge time เข้ากับprocess time เช่นในกรณีข้างต้น

และในกรณีที่ input มากกว่า 1 ชนิดเข้ามาในถังตรวจสอบและถังไม่สามารถเก็บกากของเหลวทั้งหมดที่เข้ามาได้ใน 1 วัฏจักร เวลาการสลายตัวของสารรังสีในระหว่างที่มีการปล่อยของเหลวออกไปก็ไม่นับรวมกับ process time เช่นกัน ดังนั้นเวลาที่เป็นเครดิตสำหรับการสลายตัวระหว่างกระบวนการบำบัดจึงเท่ากับ $Tpt = Tp$

การปล่อยกากกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลว ได้มีการกำหนดระดับรังสีของกากฯโดยใช้เกณฑ์ปลอดภัยกำหนดค่าที่สามารถปล่อยกากฯออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ตามประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสีออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504 พ.ศ.2549 ซึ่งก่อนปล่อยทิ้งกาก ของเหลวที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม ค่าที่กำหนดสำหรับไอโอดีน-131 ค่ากัมมันตภาพรวมเท่ากับ $10^7$ เบคเคอเรลต่อปี และกัมมันตภาพต่อปริมาณเท่ากับ $4x10^{-2}$ เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผู้รับใบอนุญาตต้องขออนุญาตต่อสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ พร้อมทั้งแสดงผลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีโดยหน่วยงานที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติรับรอง และการระบายทิ้งนี้จะต้องมีการเก็บบันทึกข้อมูลกัมมันตภาพที่ระบายทิ้ง เพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ตลอดเวลา

**ภาคผนวก ช**

**เกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลว**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ**
**เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสี**
**ออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504**
**พ.ศ. 2549**

## เกณฑ์ปลอดภัย

**ขอบเขต**

เกณฑ์ปลอดภัยนี้ให้ใช้เฉพาะการจัดการกากกัมมันตรังสีในสภาวะของเหลว ปริมาณต่ำที่เกิดจากการใช้วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่ปิดผนึก (unsealed sources) ในทางการแพทย์ การศึกษาวิจัย และอุตสาหกรรมที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และไม่รวมถึงวัสดุกัมมันตรังสีชนิดปิดผนึก (sealed sources) และกากกัมมันตรังสีที่เกิดจากกระบวนการแปรสภาพวัสดุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ

**ข้อกำหนด**

ข้อกำหนดของการใช้เกณฑ์ปลอดภัยนี้ เพื่อระบายกากวัสดุของเหลวที่เป็นวัสดุ หรือประกอบหรือปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัยนี้ออกสู่สิ่งแวดล้อม ก่อน ของเหลวที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม ผู้รับใบอนุญาตต้องทำการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีก่อนการระบายโดยปริมาณกัมมันตภาพรังสีต้องต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย และต้องเก็บบันทึกข้อมูลกัมมันตภาพรังสีที่ระบาย และรายงานให้สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติทราบพร้อมทั้งแสดงผลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสี ตามแบบรายงานที่กำหนด การระบายนี้จะต้องมีการเก็บบันทึก เพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**เกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลว**

**ตาราง ช** เกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลวที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี ที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

| นิวไคลด์รังสี | กัมมันตภาพรวม (เบคเคอเรลต่อปี ) | ความเข้มข้นกัมมันตภาพ (เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ) |
|---|---|---|
| ไฮโดรเจน-3 | $10^{12}$ | 20 |
| คาร์บอน-14 | $10^{10}$ | 2 |
| โซเดียม-22 | $10^{5}$ | $3x10^{-1}$ |
| ฟอสฟอรัส-32 | $10^{6}$ | $3x10^{-1}$ |
| กำมะถัน-35 | $10^{9}$ | 1 |
| โครเมียม-51 | $10^{8}$ | 20 |
| สทรอนเชียม-85 | $10^{6}$ | 1 |
| สทรอนเชียม-89 | $10^{9}$ | $3x10^{-1}$ |
| อิตเทรียม-90 | $10^{10}$ | $3x10^{-1}$ |
| โมลิบดีนัม-99 | $10^{8}$ | 1 |
| เทคนีเชียม-99 | $10^{10}$ | 1 |
| เทคนีเชียม-99m | $10^{9}$ | 40 |
| อินเดียม-111 | $10^{8}$ | 3 |
| ไอโอดีน-123 | $10^{9}$ | 4 |
| ไอโอดีน-131 | $10^{7}$ | $4x10^{-2}$ |
| แทลเลียม-201 | $10^{8}$ | 9 |
| เรเดียม-226 | $10^{6}$ | $2x10^{-3}$ |
| ทอเรียม-232 | $10^{6}$ | $4x10^{-3}$ |

หมายเหตุ :

- ในกรณีที่น้ำทิ้งมีสารกัมมันตรังสีปนเปื้อนอยู่มากกว่า 1 ชนิด ค่าผลรวมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของวัสดุกัมมันตรังสีใดๆ ต่อค่าเกณฑ์ความปลอดภัยของสารกัมมันตรังสีนั้น ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1
- น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีชนิดอื่นนอกเหนือจากที่ระบุไว้นี้ ให้ขอคำปรึกษาจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ช**

**การเสนอผลงานวิชาการ**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**เสนอผลงานวิชาการแบบโปสเตอร์ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีครั้งที่ 8**

**- แบบตอบรับการเข้าร่วมเสนอผลงานวิชาการ**

ที่ ศธ 0516.20/ว. 0121

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

8 กุมภาพันธ์ 2553

เรื่อง แจ้งผลพิจารณาการร่วมเสนอผลงานวิชาการ แบบโปสเตอร์

เรียน นางสาวสุนันทา ภูงามดิล

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1) ผลประเมินการนำเสนอผลงานวิชาการ
2) ตัวอย่างการทำโปสเตอร์

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานวิชาการเรื่อง "**การประเมินผลกระทบจากการปล่อยก๊าซมันตรังสีของไอโอดีน-131ที่ใช้งานทางการแพทย์**" เพื่อเข้าร่วมการเสนอผลงานวิชาการแบบโปสเตอร์ ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8 ในวันที่ 19 มีนาคม 2553 ณ อาคารบรรยายรวม 5 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

คณะฯ มีความยินดีที่จะแจ้งให้ท่านทราบว่าผลงานวิชาการที่ท่านเสนอมาได้รับการตอบรับให้เข้าร่วมนำเสนอในการประชุมวิชาการในครั้งนี้ โดยขอให้ท่านแก้ไขตามผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ความเห็น พร้อมจัดพิมพ์โปสเตอร์ตามรูปแบบที่คณะฯ กำหนด ทั้งนี้สามารถดูรายละเอียดได้ที่ www.stcd2010.org และกรุณาส่ง file ของผลงานวิชาการฉบับสมบูรณ์ (รูปแบบ pdf) ที่แก้ไขแล้ว มาที่ sci_tech_8@hotmail.com ภายในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2553

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ลายทอง อมรวิเชษฐ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

งานบริการวิชาการ
โทร 0-2564-4440 ต่อ 2021 มือถือ 085-1807049
โทรสาร 0-2564-4494

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8

เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2553 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

PPH05

SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR COMMUNITY DEVELOPMENT

# การประเมินผลกระทบจากการปล่อยกากกัมมันตรังสีของไอโอดีน-131ที่ใช้งานทางการแพทย์

สุนันทา ภูงามนิล[1,2], สุพิชชา จันทรโยธา[1],กิตติศักดิ์ ชินอุดมทรัพย์[2],สุนทร โกมลศุกร์[2]และเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี[1]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ การตรวจวัดปริมาณรังสี ไอโอดีน-131 ที่ใช้ในทางการแพทย์ในตัวอย่างน้ำทิ้งของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร พร้อมทั้งประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ผลการวิจัยพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ปริมาณรังสีในน้ำทิ้งหลังการบำบัดเพื่อปล่อยสู่สาธารณชนมีค่าสูงเมื่อมีการรับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว 2 วัน ปริมาณไอโอดีน-131ในน้ำทิ้งที่ปล่อยสู่สาธารณะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษา โดยค่าสูงสุด จะอยู่ในวันที่รับผู้ป่วยเข้ารับการรักษาแล้ว 2 วัน เฉลี่ย 2.537 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำทิ้งจะมีค่าลดลงต่ำสุดหลังจากผู้ป่วยกลับบ้านแล้ว 1 วัน โดยมีค่าเฉลี่ย 0.80 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเกินเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับของเหลวนิวไคลด์รังสี ไอโอดีน-131 (0.04 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ตามแนบท้ายประกาศคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับรังสีออกตามความในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504, พ.ศ.2549 จากการประมาณการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งจัดเป็นประชาชนทั่วไป พบว่ามีค่า 5.10 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในขีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป คือ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี หรือ 20 ไมโครซีเวิร์ต ต่อสัปดาห์

## Assessment of the Impact from Discharged Medical I-131 Radioactive waste

Sunanta Phungamnil[1,2],Supitcha Chanyotha[1],Kittisak Chinudomsub[2],Sunthorn komolsuk[2]and chaleampong Poolee[1]

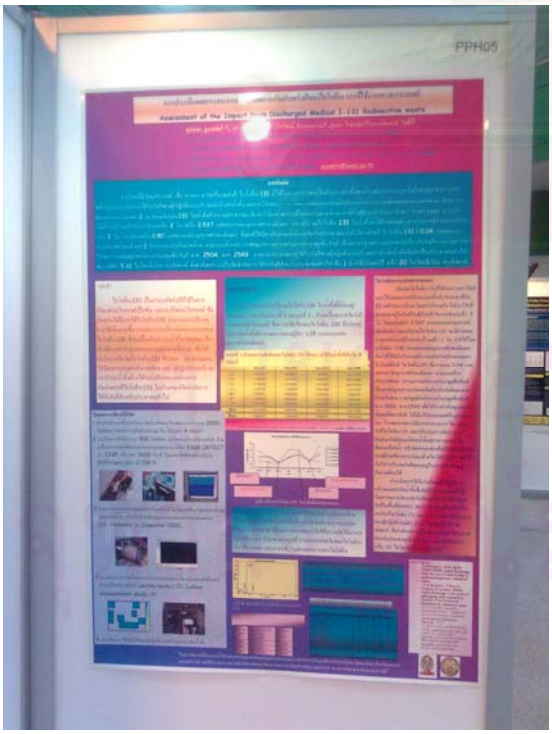
## ABSTRACT

This research aims to measure the iodine-131 nuclide in the waste water samples discharged from patients after treatment in a hospital located in Bangkok area. The results show that there is an increase in the radioactivity level in waste water 2 days after patients were treated. The radioactivity in waste water is vary according to the duration patients remained in the hospital. The highest and the lowest level of the radioactivity were observed on 2nd date (2.537 Bq/cm$^3$) and on 3th date (0.8 Bq/cm$^3$) after treatment respectively, which were higher than the legal clearance limit of 0.04 Bq/cm$^3$. The effective dose received by the sewage worker was found as 5.10 μSv/week. however, the estimates of effective dose is within the legal limit of 1 mSv/y or about 20 μSv/week.

1 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 02 2186455 โทรสาร 02 2186457 E-mail : supitcha.c@chula.ac.th
2 สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ อาคารวิภาวดี-รังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 02 5967600 โทรสาร 02 5613013 E-Mail : sunanta@oaep.go.th

"ผลการวิจัยภายใต้โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนโครงการความร่วมมือกับสถาบันอุดมศึกษาในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี"

นำเสนอผลงานวิชาการแบบโปสเตอร์



# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุนันทา ภูงามนิล เกิดวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2516 ที่ จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนโครงการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ด้านวิศวกรรมศาสตร์นิวเคลียร์ และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 และทุนโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2552 ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่ง นักฟิสิกส์รังสี ระดับชำนาญการ กลุ่มกำกับดูแลความปลอดภัยการใช้รังสีทางการแพทย์ สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย