



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)

ปริญญา

รังสีประยุกต์และไอโซโทป

รังสีประยุกต์และไอโซโทป

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

Study on the Urinary Iodine-131 Excretion of Radiation Workers

นามผู้วิจัย นายโสวุฒิ ทองประจวบโชค

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สูดประเสริฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สูดประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

Study on the Urinary Iodine-131 Excretion of Radiation Workers

โดย

นายโสวุฒิ ทองประจวบโชค

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โสวุฒิ ทองประจวบโชค 2553: การศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป) สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป
ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
วันวิสา สุกประเสริฐ, Ph.D. 106 หน้า

ไอโอดีน-131 เป็นสารกัมมันตรังสีหนึ่งที่เป็นผลผลิตพิชชัน และมีศักยภาพสูงในการเคลื่อนย้ายเข้าสู่
ร่างกายมนุษย์ โดยการกินและการหายใจ ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการใช้ไอโอดีน-131 กันอย่างแพร่หลาย
ในทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ซึ่งการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดของการได้รับ
ไอโอดีนกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย ทั้งจากการปฏิบัติงานและจากอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษา
อัตราการขับถ่ายสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานรังสี ซึ่งปฏิบัติงาน ณ ศูนย์
ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สทท. จำนวน 10 คน โดยทำการเก็บ
ตัวอย่างปัสสาวะรวม 24 ชั่วโมง ที่เวลา 1 2 3 4 และ 7 วัน หลังจากได้รับรังสี นำมาตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131
ด้วยระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3 นิ้ว \times 3 นิ้ว ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถในการแยกแยะ
พลังงานในการวัดรังสีแกมมาของซีเซียม-137 ที่พลังงาน 661.62 keV เท่ากับ 0.42% และ 7.11% ตามลำดับ โดยมี
ประสิทธิภาพในการนับวัดไอโอดีน-131 จากตัวอย่างปัสสาวะปริมาตร 50 ml ด้วยเวลานับวัด 1,000 วินาที เท่ากับ
0.94% ส่วนปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้มีค่า 2.88 Bq

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ปฏิบัติงานรังสีมีการขับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายสูงสุดที่เวลา 1 วัน
หลังจากได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่รายงานของ ICRP 78 เมื่อคิดสัดส่วนของปริมาณไอโอดีน-
131 ที่ถูกขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของสัปดาห์ โดยเฉลี่ยจาก 5 สัปดาห์ พบว่า ไอโอดีน-131 ที่ถูกขับถ่ายออกมา
ในวันที่ 2 3 4 และ 7 หลังจากได้รับรังสี มีสัดส่วนร้อยละ 90.66 ± 3.52 76.85 ± 2.54 71.51 ± 3.97 และ 63.13 ± 4.32
ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับถ่ายออกมาในวันที่ 1 หลังจากได้รับรังสี

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้นับเป็นข้อมูลพื้นฐานของการขับถ่ายของไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของ
ผู้ปฏิบัติงานรังสีในประเทศไทย สามารถนำไปใช้ประกอบการประเมินความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานรังสี จาก
การตรวจวัดปริมาณรังสีไอโอดีน-131 ในปัสสาวะรวม 24 ชั่วโมง ภายหลังปฏิบัติงาน นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าว
ยังเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับรังสีสำหรับประชาชนทั่วไป ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุทาง
นิวเคลียร์อีกด้วย

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sowut Thongprajubchock 2010: Study on the Urinary Iodine-131 Excretion of Radiation Workers.
Master of Science (Applied Radiation and Isotopes), Major Field: Applied Radiation and Isotopes,
Department of Applied Radiation and Isotopes. Thesis Advisor: Assistant Professor
Wanvisa Sudprasert, Ph.D. 106 pages.

Iodine-131 (^{131}I) is the most critical fission product radionuclide. It has the potential to be readily transferred to human by ingestion and inhalation. Nowadays, ^{131}I has been used regularly for nuclear medicine in Thailand. The activity of ^{131}I in urine is one of the most suitable indicators of the intake of radioiodine by radiation workers and the public exposed to radioiodine released into the environment. This study aimed to determine the urinary excretion rate of ^{131}I in radiation workers who were employed in Radioisotope Production Center, Thailand Institute of Nuclear Technology, namely TINT. The 24-hour urine samples were collected from 10 workers at 1, 2, 3, 4 and 7 days after radiation exposure. ^{131}I was measured by gamma spectrometry with 3 in. \times 3 in. NaI(Tl) detector. The efficiency of detector and the energy resolution, using a ^{137}Cs source, were 0.42% and 7.11%, respectively. The detector efficiency for ^{131}I from a 50 ml sample of all the 24-hour urine was measured for 1,000 s was 0.94%, the minimum detectable activity (MDA) was 2.88 Bq.

The results showed an average urinary excretion highest at 1 day after exposure which is in accordance with the value reported by the ICRP 78. The averaged excretions of ^{131}I in urine at 2, 3, 4 and 7 days after exposure were found to be 90.66 ± 3.52 , 76.85 ± 2.54 , 71.51 ± 3.97 and 63.13 ± 4.32 respectively, compared to the excretion at 1 day after exposure.

The value of ^{131}I urinary excretion obtained from this study appears to be of great significant data for the evaluation of the potential risks of ^{131}I internal exposure through its monitoring in the urine over 24 h after exposure. The data is beneficial to assess the exposure due to intake of radionuclides not only for occupation radiation protection program but also for general public due to nuclear accident.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สูดประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดทั้งจาก
การค้นคว้าและจากการทดลองรวมถึงการแก้ไขความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณดารุณี พิขุนทด ผู้อำนวยการกลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจาก
ภายในร่างกาย สำนักสนับสนุนความปลอดภัยการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู
นักวิจัยที่รับผิดชอบโครงการวิจัยรองรับ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการทดลอง รวมถึงการให้
คำปรึกษาและแนะนำการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณผู้ปฏิบัติงานรังสีที่ปฏิบัติงาน ณ ศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบัน
เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย ภายใต้โครงการ
ความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ผนвт.)

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัว ประโยชน์ไคอัน
เนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่ง
สอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

โสวดี ทองประจวบโชค

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย	75
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ	82
ภาคผนวก ค ภาพและตารางผลการทดลอง	95
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลการสลายตัวของไอโอดีน-131	4
2	ประเภทของการดูดซึมสารรังสีเข้าสู่ระบบเลือด	8
3	แสดงค่า Weighting Factor ของอวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่างๆ	16
4	กัมมันตภาพรังสีของสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาณแตกต่างกัน	33
5	ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างปัสสาวะในสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง	35
6	ความคงที่ของระบบวัดรังสีจากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 (Activity เริ่มต้น 28,295 Bq)	41
7	ปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) ของผู้ปฏิบัติงานรังสี	46
8	ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี	48
9	สัดส่วนปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี	51
10	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคน	53
11	การขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีในแต่ละวัน	55
12	ปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์	65
ตารางผนวกที่		
ข1	ค่าการฟุ้งกระจายของไอโอดีน-131 ในอากาศและระยะเวลาปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานรังสี	83
ข2	ข้อมูลการปฏิบัติงานและการขับถ่ายของผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคน	85
ค3	สารรังสีต่างๆในต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424	96
ค4	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี NaI(Tl) ของการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค5	ประสิทธิภาพหัววัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาตรต่าง ๆ กัน	98
ค6	ประสิทธิภาพหัววัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml ที่เวลาแตกต่างกัน	98
ค7	ค่า MSA และ MDA ที่เวลานับวัดต่างๆ	100

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเคลื่อนย้ายของไอโอดีน-131 เมื่อเข้าสู่ร่างกาย	5
2	เส้นทางการได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย	6
3	ระบบทางเดินหายใจ	7
4	วิธีการตรวจวัดปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย	11
5	เครื่องดูดอากาศและแผ่นกรองอากาศ	12
6	อัตราการจับถ่าย และอัตราการสะสมของไอโอดีน-131 ที่ระยะเวลาต่างๆหลังจากได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ (1 Bq)	15
7	การสลายตัวให้รังสีแกมมาของไอโอดีน-131	18
8	ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก	19
9	ปฏิกิริยาคอมพ์ตัน	19
10	ปฏิกิริยาการผลิตคู่	20
11	หลักการทํางานของผลึกเรืองแสง	21
12	หัววัด NaI(Tl) ที่ประกอบติดกับ PMT	21
13	ระบบวัดรังสี	22
14	การทำงานของภาคขยายส่วนหน้า	23
15	การทำงานของภาคขยายหลัก	23
16	สเปกตรัมที่ได้จาก MCA	24
17	Energy spectrum ของ ซีเซียม-137 ที่ได้จากหัววัดในอุดมคติ	25
18	การหาค่า energy resolution ของ ซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 keV	26
19	โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี ORTEC Maestro-32	28
20	ขวด Nalgene สำหรับเก็บตัวอย่างปัสสาวะ ขนาด 500 ml และ 1,000 ml	29
21	ขวดวัดตัวอย่างปัสสาวะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว	29
22	ระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัย	30
23	ตัวอย่างภาชนะอะคริลิกที่มีสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml	32
24	Geometry ของการวัดตัวอย่าง	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานรังสีแกมมา กับช่องสัญญาณ	38
26	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับพลังงานรังสีแกมมา ในช่วง 0-88 keV	39
27	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับพลังงานรังสีแกมมา ในช่วง 88-1800 keV	40
28	ประสิทธิภาพหั่วครึ่งสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาตรต่าง ๆ กัน	42
29	ประสิทธิภาพหั่วครึ่งสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml โดยใช้เวลานับวัดแตกต่างกัน	43
30	ค่า MDA ที่เวลานับวัดต่างๆ	44
31	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะในแต่ละวัน	53
ภาพผนวกที่		
ค1	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหั่วครึ่งสีกับค่าพลังงานรังสีแกมมา	100
ค2	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 01	101
ค3	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 02	101
ค4	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 03	102
ค5	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 04	102
ค6	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 05	103
ค7	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 06	103
ค8	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 07	104
ค9	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 08	104
ค10	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 09	105
ค11	ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีหัตถ์ 10	105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AMAD	=	Activity Median Aerodynamic Diameter
Bq	=	Becquerel
CV	=	Coefficient of Variance
FWHM	=	Full Width at Half Maximum
keV	=	kilo electron volt
MCA	=	Multi Channel Analyzer
MDA	=	Minimum Detectable Activity
m ³	=	cubic metre
ml	=	milli liter
mSv	=	milli Sievert
MSA	=	Minimum Significant Activity
NaI(Tl)	=	Sodium Iodide Crystal Activated with Thallium
PASs	=	Personal Air Samplers
PHA	=	Pulse Height Analyzer
PMT	=	Photomultiplier tube
SCA	=	Single Channel Analyzer
μCi	=	micro curie

การศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

Study on the Urinary Iodine-131 Excretion of Radiation Workers

คำนำ

ในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับทั้งหมดเป็นผลรวมของปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกและภายในร่างกาย (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2551) โดยการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย สารรังสีจะแผ่รังสีชนิดต่างๆ เข้าสู่ร่างกาย ผลของรังสีที่ได้รับนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี ปริมาณรังสี และระยะเวลาที่ได้รับรังสี ส่วนการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย เป็นการได้รับรังสีจากสารรังสีที่อยู่ในร่างกาย ผลของการได้รับรังสีจะยังคงมีอยู่จนกว่าสารรังสีเหล่านั้นจะถูกขจัดออกจากร่างกายจนหมด โดยสารรังสีแต่ละตัวจะมีความสามารถในการขจัดออกจากร่างกายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตยังผล (Effective half-life) ซึ่งหมายถึง เวลาที่ทำให้สารรังสีขจัดออกจากร่างกายครึ่งหนึ่งจากปริมาณเดิมของสารรังสีนั้นๆ (คารูณี, 2552) การประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายสามารถหาได้จาก เครื่องวัดประจำรังสีประจำตัวบุคคล (Personal Radiation Dosimeter) และการประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายในร่างกายสามารถหาได้จาก การวัดปริมาณรังสีจากร่างกายโดยตรงหรือวัดโดยอ้อมจากสิ่งขับถ่าย ซึ่งส่วนใหญ่นิยมวัดปริมาณรังสีจากปัสสาวะ (CNSC, 2003)

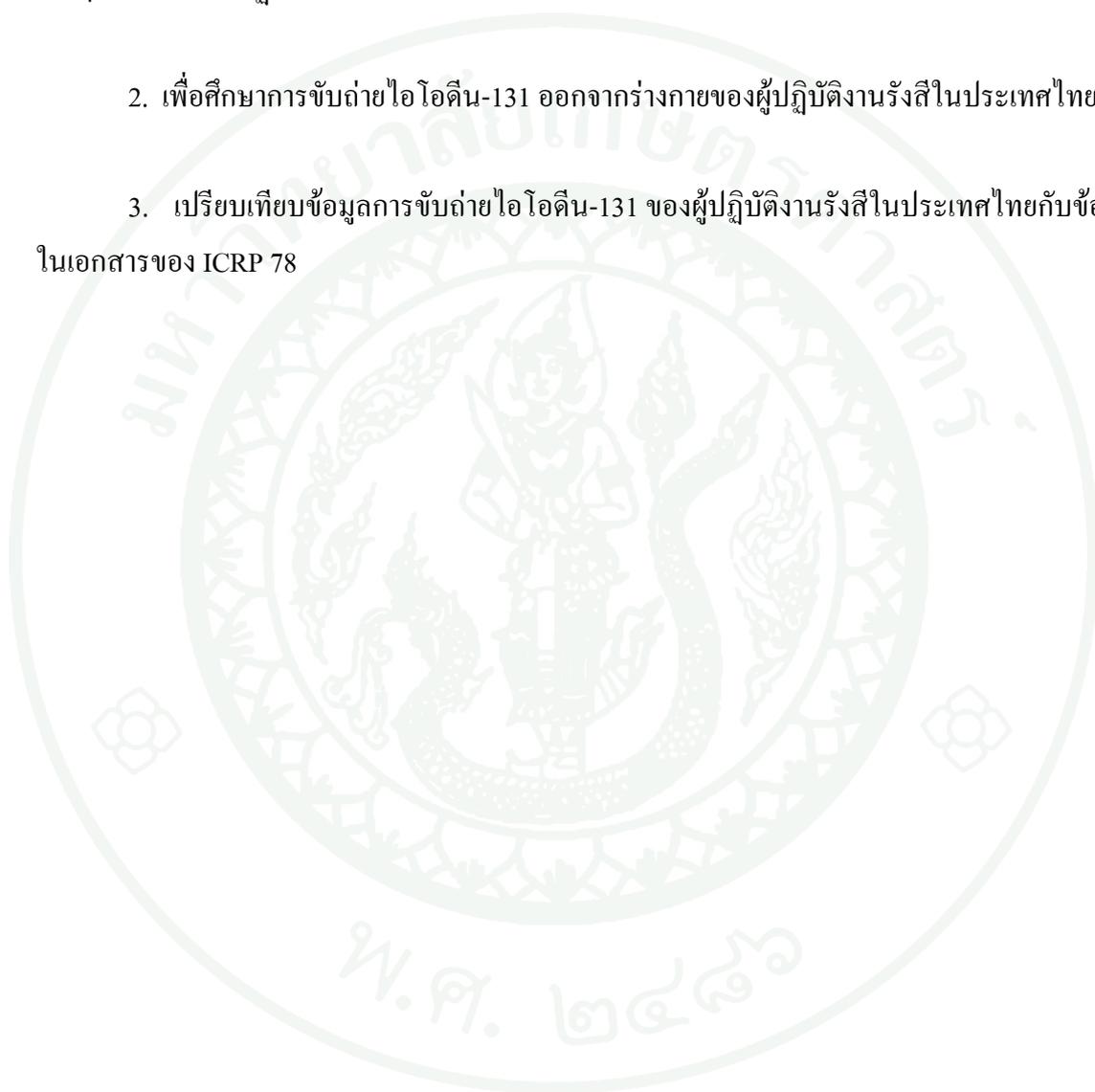
ปัจจุบันได้มีการนำสารรังสีไอโอดีน-131 (I-131) มาใช้กันอย่างแพร่หลายในตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคเกี่ยวกับต่อมไทรอยด์ ดังนั้นบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับไอโอดีน-131 ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้จึงมีโอกาสได้รับสารไอโซโทปชนิดนี้เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากไอโอดีน-131 สามารถระเหยได้ จึงทำให้เกิดการฟุ้งกระจายและปนเปื้อนในอากาศได้ง่าย เมื่อไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ซึ่งเป็นอวัยวะวิกฤต (Critical Organ) สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ (Saxena et al., 1962) จากเอกสารของ ICRP 78 รายงานว่าร้อยละ 30 ของไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ และอีกร้อยละ 70 จะถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ (ICRP, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถประเมินปริมาณไอโอดีน-131 ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายได้จากการตรวจวัดปริมาณรังสีในปัสสาวะ โดยใช้ระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) (Taylor, 2000)

เนื่องจากปัจจุบันข้อมูลการจับถ่ายสารกัมมันตรังสีออกจากร่างกายของคนไทยยังไม่มีข้อมูลมากนัก งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจับถ่ายไอ โอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี โดยตรวจวัดปริมาณรังสีของไอโอดีน-131 ในปัสสาวะที่ระยะเวลาต่างๆภายหลังจากการปฏิบัติงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของการจับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานรังสีในประเทศไทย เพื่อนำไปใช้ประกอบการประเมินความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานรังสีต่อไปได้



วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดปริมาณรังสีของไอโอดีน-131 ในปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีที่ระยะเวลาต่างๆ ภายหลังจากปฏิบัติงาน
2. เพื่อศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานรังสีในประเทศไทย
3. เปรียบเทียบข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ของผู้ปฏิบัติงานรังสีในประเทศไทยกับข้อมูลในเอกสารของ ICRP 78



การตรวจเอกสาร

ไอโอดีน-131

ไอโอดีน-131 เป็นไอโซโทปรังสีหนึ่งที่ศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นสารเภสัชรังสีสำหรับตรวจวินิจฉัย และรักษาโรคเกี่ยวกับต่อมไทรอยด์ (Zimmerman, 2006) ซึ่งประเทศไทยมีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ และช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานรังสีมีโอกาสได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้นเช่นกัน (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, 2551)

1. ข้อมูลทั่วไปของไอโอดีน-131

1.1 ข้อมูลทางกายภาพ ไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิตทางกายภาพ (physical half-life) 8.04 วัน สลายตัวให้รังสีประเภทต่างๆ ซึ่งมีพลังงานและสัดส่วนการสลายตัว (Gamma emission) ดังตารางที่ 1 (ICRP, 1983)

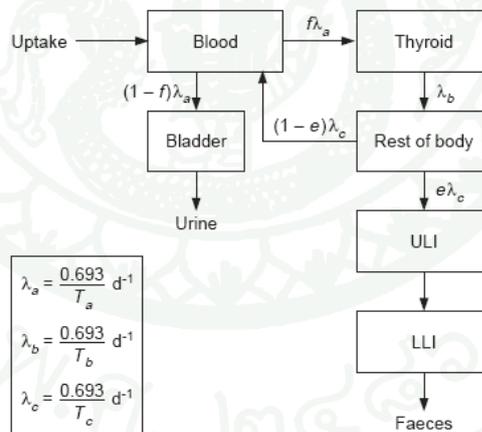
ตารางที่ 1 ข้อมูลการสลายตัวของไอโอดีน-131

ประเภทรังสี	พลังงาน (MeV)	สัดส่วนการสลายตัว (%)
บีตา	0.248	2.1
	0.334	7.4
	0.606	89.3
แกมมา	0.080	2.6
	0.284	6.1
	0.364	81.2
	0.637	7.3
	0.723	1.8

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเภทรังสี	พลังงาน (MeV)	สัดส่วนการสลายตัว (%)
เอกซ์	0.030	3.9
	0.080	2.6

1.2 ข้อมูลทางชีวภาพ ไอโอดีน-131 มีคุณสมบัติระเหยและฟุ้งกระจายในอากาศได้ง่าย ทำให้เข้าสู่ร่างกายได้ง่ายทางการหายใจ (Carbaugh et al., 2003) เมื่อไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายแล้วประมาณร้อยละ 30 จะไปสะสมอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ ซึ่งเป็นอวัยวะวิกฤต โดยที่ต่อมไทรอยด์มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (biological half-life) 80 วัน หลังจากนั้นจะเข้าสู่ส่วนต่างๆของร่างกายโดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ 12 วัน ไอโอดีน-131 ที่อยู่ในร่างกายบางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ และในที่สุดจะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ ไอโอดีน-131 ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 70 ถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ดังภาพที่ 1



Model parameters for iodine

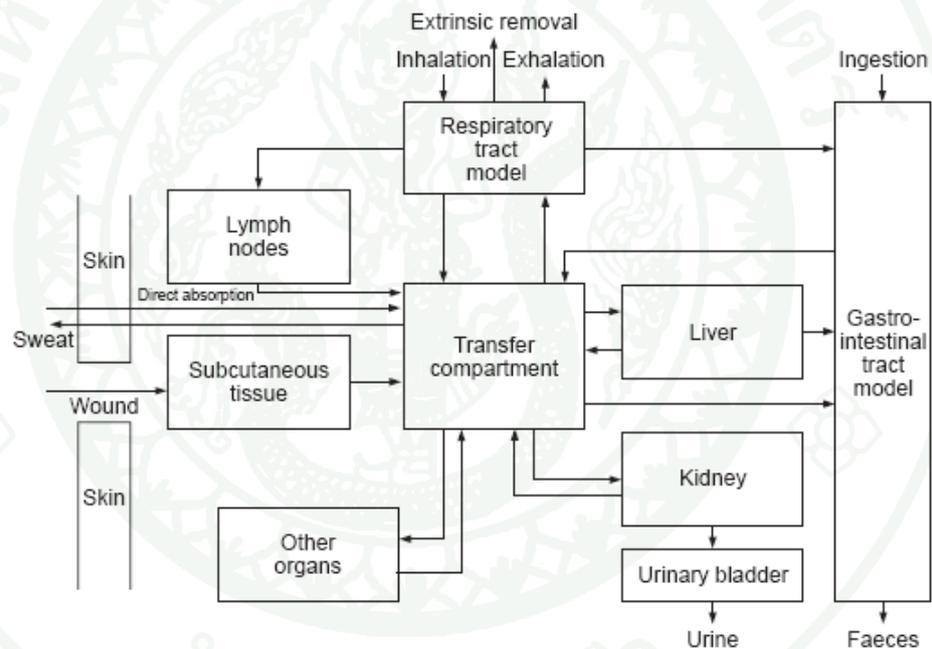
Age	f_1	Uptake by thyroid, f	Faecal excretion, e	Biological half-time (d)		
				Thyroid T_a	Thyroid T_b	Rest of body T_c
Adult	1	0.3	0.2	0.25	80	12

ภาพที่ 1 การเคลื่อนย้ายของไอโอดีน-131 เมื่อเข้าสู่ร่างกาย

ที่มา: IAEA (1999)

2. การรับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย

การรับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าจะเป็นไอโอดีน-131 หรือสารรังสีชนิดอื่นๆ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจ การกิน การสัมผัส และบาดแผล ดังภาพที่ 2 ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารรังสีชนิดนั้น รวมถึงวิธีปฏิบัติงานกับสารรังสีชนิดนั้น ดังเช่น การปฏิบัติงานกับไอโอดีน-131 ผู้ปฏิบัติงานรังสีมีการป้องกันไม่ให้สารรังสีเข้าสู่ร่างกายตามหลัก ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ซึ่งผู้ปฏิบัติงานรังสีจะป้องกันการได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกาย โดยไม่มีการสัมผัสกับไอโอดีน-131 โดยตรง แต่เนื่องจากคุณสมบัติการฟุ้งกระจายในอากาศ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานรังสีมีโอกาสได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ สำหรับเส้นทางการได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายมีดังนี้



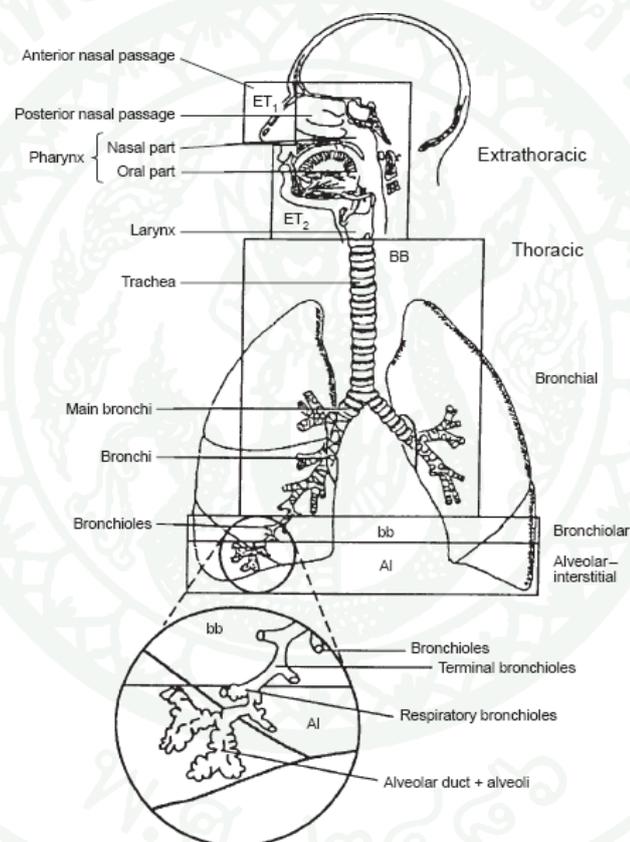
ภาพที่ 2 เส้นทางการได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย

ที่มา: ICRP (1988)

2.1 การหายใจ (Inhalation) สารรังสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจและส่งผ่านไปยังส่วนอื่นๆ ในระบบทางเดินหายใจ บางส่วนจะถูกขับออกโดยการหายใจออก ส่วนที่หายใจเข้าไปจะเข้าสู่ระบบย่อยอาหาร ระบบของไหลภายนอกเซลล์ และสะสมในอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย (ภาพที่ 3) ซึ่งภายในระบบทางเดินหายใจประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ คือ

ส่วนที่อยู่นอกทรวงอก (Extra Thoracic; ET) แบ่งเป็น ET₁ จมูกส่วนหน้า (anterior nasal passage) และ ET₂ ที่ประกอบด้วย จมูกส่วนหลังกับภายในช่องปาก (posterior nasal and oral passages) คอหอย (pharynx) และกล่องเสียง (larynx)

ส่วนทรวงอก (Thoracic) ประกอบไปด้วย หลอดลม (bronchial; BB) ก้านของหลอดลม (bronchiolar; bb) และ ถุงลม (alveolar–interstitial; AI)



ภาพที่ 3 ระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: IAEA (1999)

การสะสมของสารรังสีในระบบหายใจขึ้นอยู่กับ อัตราการหายใจ สมบัติทางเคมีของสารรังสี อายุ รวมถึงขนาดของอนุภาค ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการสะสมของสารรังสีของผู้ปฏิบัติงานภายในสถานปฏิบัติงานจะมีค่าสูงเมื่ออนุภาคที่หายใจเข้าไปมีค่า Activity Median Aerodynamic Diameter (AMAD) เท่ากับ 5 ไมโครเมตร หลังจากนั้นสารรังสีจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบเลือด โดยขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารรังสีที่สะสมอยู่ในระบบหายใจ ส่วนการดูดซึมสารรังสีเข้าสู่ระบบเลือดสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ตามระยะเวลาที่สารรังสีสลายตัวและถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบเลือด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทของการดูดซึมสารรังสีเข้าสู่ระบบเลือด

ประเภท (Type)	ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (Biological half-lives)
F	ดูดซึม 100% ด้วยค่า Biological half-live 10 นาที แสดงถึงมีการดูดซึมได้เร็วโดยเกือบจะทั้งหมดไปสะสมที่ BB bb และ AI บางส่วนจะไปสะสมที่ ET ₂ และถูกขจัดออกทางระบบย่อยอาหารหรือถูกดูดซึมกลับ
M	ดูดซึม 10% ด้วยค่า Biological half-live 10 นาที และดูดซึม 90% ด้วยค่า Biological half-live 140 วัน ค่อนข้างเร็วในการดูดซึม โดย 10% ไปสะสมที่ BB และ bb 5% ไปสะสมที่ ET ₂ และประมาณ 70% ที่สะสมใน AI จะเข้าสู่ระบบของเหลวในร่างกายโดยการดูดซึม
S	ดูดซึม 0.1% ด้วยค่า Biological half-live 10 นาที และดูดซึม 99.9% ด้วยค่า Biological half-live 7000 วัน โดยมีการดูดซึมน้อยมากจาก ET ₁ BB หรือ bb และประมาณ 10% ที่สะสมใน AI จะเข้าสู่ระบบของเหลวในร่างกายโดยการดูดซึม

หมายเหตุ F คือ Fast, M คือ Moderate, S คือ Slow, BB คือ หลอดลม, bb คือ ก้านของหลอดลม, AI คือ ถุงลม, ET₁ คือ จมูกส่วนหน้า และ ET₂ คือ จมูกส่วนหลัง

ที่มา: IAEA (1999)

2.2 การกิน (Ingestion) เมื่อสารรังสีเข้าทางปากจะส่งต่อไปยังระบบย่อยอาหาร สารรังสีที่ไม่ดูดซึมในกระเพาะอาหารจะถูกจัดออกจากร่างกายโดยทางอุจจาระ ถ้าสารรังสีนั้นสามารถถูกนำไปได้ตามของไหลภายในร่างกายจะส่งผ่านไปตามส่วนต่างๆ โดยการแพร่และการรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำหรือคงอยู่ในอวัยวะและเนื้อเยื่อ

2.3 ซึมผ่านผิวหนัง (Absorption through skin) สารรังสีจะถูกดูดซึมและสะสมอยู่ในอวัยวะใต้ผิวหนังและเลือด สารรังสีบางตัวจะคงอยู่ที่ใต้ผิวหนังก่อนระยะหนึ่งก่อนที่จะดูดซึมเข้าไปตามส่วนต่างๆ

2.4 ทางบาดแผล (Wound) เมื่อสารรังสีเข้าสู่บาดแผลส่วนหนึ่งจะคงอยู่ที่ใต้ผิวหนัง ที่เหลือจะดูดซึมเข้าไปตามส่วนต่างๆ

3. การขจัดสารรังสีออกจากร่างกาย

การขจัดสารรังสีออกจากร่างกายเกิดขึ้นได้ทั้งจากการสลายตัวของสารรังสีเอง และสลายตัวเนื่องจากร่างกายขจัดออกด้วยกลไกต่างๆของร่างกาย เช่น การขับออกทางปัสสาวะหรืออุจจาระ โดยการขับสารรังสีออกทางอุจจาระ เกิดจากร่างกายรับสารรังสีเข้าไปแล้วไม่เกิดการดูดซึมในของเหลวภายในร่างกาย ส่วนการขับสารรังสีออกทางปัสสาวะนั้นเกิดจากสารรังสีนั้นละลายได้ในของเหลวภายในร่างกายแล้วเกิดการดูดซึมสู่ระบบของเหลวภายในร่างกาย จนในที่สุดจะเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะและถูกขับออกมาทางปัสสาวะ ซึ่งสารรังสีแต่ละชนิดจะมีการขจัดออกจากร่างกายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตยังผล (Effective half-life) ของสารรังสีนั้นๆ (คารูณี, 2552) ดังสมการที่ 2

โดย
$$\lambda = \lambda_p + \lambda_b \quad (1)$$

เมื่อ λ = ค่าคงที่ของการสลายตัวของสารรังสีรวม (Decay constant)
 λ_p = ค่าคงที่ของการสลายตัวเนื่องจากสารรังสีเอง (Physical decay constant)
 λ_b = ค่าคงที่ของการสลายตัวเนื่องจากร่างกายขจัดออก (Biological decay constant)

$$\begin{aligned}
 \text{ซึ่ง} \quad \lambda &= 0.693/T_{1/2} \\
 \text{ดังนั้น} \quad 0.693/T_c &= (0.693/T_p) + (0.693/T_b) \\
 1/T_c &= (T_b + T_p) / (T_p \times T_b) \\
 T_c &= (T_p \times T_b) / (T_b + T_p) \quad (2)
 \end{aligned}$$

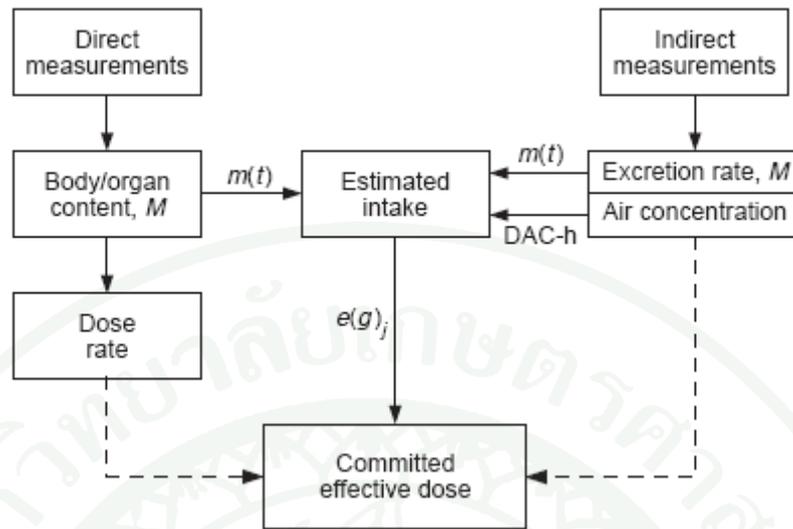
เมื่อ T_c = ค่าครึ่งชีวิตยังผล (Effective half-life)
 T_p = ค่าครึ่งชีวิตทางกายภาพ (Physical half-life)
 T_b = ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (Biological half-life)

สำหรับไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิตทางกายภาพ 8.04 วัน และมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ 80 วัน จึงสามารถคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตยังผลได้ 7.3 วัน

การตรวจวัดรังสีและคำนวณปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย

1. การตรวจวัดรังสี

การตรวจวัดรังสีจากภายในร่างกายจำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดรังสีที่มีความเหมาะสมและจำเพาะเจาะจงกับวิธีการที่ใช้ตรวจวัด หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งวิธีการตรวจวัดรังสีจากภายในร่างกายมี 2 วิธี คือ วิธีการตรวจวัดโดยตรง (direct measurements) และวิธีการตรวจวัดโดยอ้อม (indirect measurements) (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 วิธีการตรวจวัดรังสีจากภายในร่างกาย

ที่มา: IAEA (1999)

1.1 วิธีการตรวจวัดโดยตรง (Direct measurements) เป็นการตรวจวัดรังสีจากภายในร่างกายโดยตรง เช่น ตรวจวัดรังสีทั่วร่างกายหรือตรวจวัดรังสีที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่งที่สารรังสีนั้นอยู่ (Body/Organ content) เหมาะสำหรับสารรังสีที่ปล่อยรังสีแกมมา เนื่องจากรังสีแกมมาสามารถทะลุผ่านออกมานอกร่างกายได้ เช่น วิธีการตรวจวัดรังสีแกมมาของไอโอดีน-131 โดยตรงที่ต่อมไทรอยด์ (Vidal et al., 2007) การตรวจวัดรังสีจากภายในร่างกายด้วยวิธีนี้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากที่สุดเนื่องจากมีห้องสำหรับตรวจวัดโดยเฉพาะที่ป้องกันรังสีรบกวนจากภายนอก และใช้เครื่องมือตรวจวัดรังสีที่มีประสิทธิภาพการวัดสูง (IAEA, 2005) แต่ข้อจำกัดของการตรวจวัดด้วยวิธีนี้ คือ การป้องกันการอับทก (Uptake) ของไอโอดีน-131 โดยใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ซึ่งจะทำให้ไอโอดีน-131 ไม่สามารถสะสมอยู่ที่ต่อมไทรอยด์ได้ นอกจากนี้ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของไอโอดีน-131 ที่ต่อมไทรอยด์ จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุของผู้ได้รับรังสี โดยผู้ใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของไอโอดีน-131 ที่ต่อมไทรอยด์มากที่สุด คือ 80 วัน และจะมีค่าลดลงตามระดับอายุที่น้อยลง (Jang et al., 2008)

1.2 วิธีการตรวจวัดโดยอ้อม (Indirect measurements) เป็นการตรวจวัดรังสีจากภายนอก ร่างกาย เช่น ตรวจวัดรังสีจากตัวอย่างทางกายภาพ หรือตรวจวัดรังสีจากตัวอย่างทางชีวภาพ (IAEA, 2004)

1.2.1 การตรวจวัดรังสีจากตัวอย่างทางกายภาพ เป็นการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจาย ในอากาศ (Air concentration) ซึ่งสารรังสีที่ทำการตรวจวัดนั้นต้องมีคุณสมบัติฟุ้งกระจายในอากาศได้ การตรวจวัดด้วยวิธีนี้เป็นการคำนวณปริมาณสารรังสีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ วิธีการตรวจวัด สามารถทำได้โดยใช้เครื่องปั๊ม ดูดอากาศผ่านแผ่นกรองอากาศ (ภาพที่ 5) ในสถานที่ปฏิบัติงาน ตลอด ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน แล้วนำแผ่นกรองอากาศไปตรวจวัดรังสีเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นปริมาณ สารรังสีเข้าสู่ร่างกาย



ภาพที่ 5 เครื่องดูดอากาศและแผ่นกรองอากาศ

ที่มา: Nuclear Instrumentation & Medical (2009)

1.2.2 ตรวจวัดรังสีจากตัวอย่างทางชีวภาพ เป็นการตรวจวัดปริมาณรังสีในสิ่งขับถ่าย (Excretion) เช่น ปัสสาวะ และอุจจาระ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ (Lopez Ponte et al., 2004) ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถตรวจวัดสารรังสีที่มีปริมาณน้อยๆในร่างกายได้ และไม่ต้องเดินทางมาตรวจวัดรังสีที่ห้องสำหรับตรวจวัดรังสี เพียงเก็บตัวอย่างสิ่งขับถ่ายมาตรวจวัด สำหรับการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ขับถ่ายออกทางปัสสาวะ ควรเก็บตัวอย่างปัสสาวะรวมให้ครบ 24 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นตัวแทนการขับถ่ายแต่ละวัน (Insanullah et al., 1999) และต้องหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของ

ตัวอย่างในระหว่างการเก็บและการตรวจวัด หากยังไม่ตรวจวัดตัวอย่างทันทีควรเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในที่เย็น ที่สำคัญการตรวจวัดปริมาณรังสีในปัสสาวะจะทำการตรวจวัดจากสถานะที่เหมาะสม ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาตรและเวลานับวัดที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีที่ใช้ (NCRP, 1987)

2. การคำนวณปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย

เป็นการประเมินปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) จากการนำค่าปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีต่างๆ ทั้งจากการตรวจวัดโดยตรงที่อวัยวะหรือตรวจวัดโดยอ้อมจากสิ่งขับถ่าย และจากการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศมาคำนวณ (IAEA, 1999) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

2.1 การคำนวณปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายจากการตรวจวัดการฟุ้งกระจายของสารรังสีในอากาศ โดยการฟุ้งกระจายของสารรังสีในอากาศ จะสัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่หายใจเข้าไป ซึ่งปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าไปสามารถคำนวณได้จากค่าอ้างอิงมาตรฐานอัตราการหายใจของคนปกติในวัยทำงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{Intake (Bq)} = C \times I \times T \quad (3)$$

โดย C = ปริมาณสารรังสีในอากาศที่ได้จากแผ่นกรองอากาศ (Bq/m³)
 I = อัตราการหายใจ (m³/hr)
 T = เวลาที่ปฏิบัติงาน (hr)

2.2 การคำนวณปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายจากวิธีการตรวจวัดโดยอ้อมจากสิ่งขับถ่าย หรือจากวิธีตรวจวัดโดยตรงที่อวัยวะ โดยการคำนวณปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายจะใช้ค่าปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ในสิ่งขับถ่ายหรือค่าปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้โดยตรงที่อวัยวะ เทียบกับอัตราการขับถ่ายสารรังสี (Excretion rate) ที่เวลา t วัน หลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย หรืออัตราการสะสมของสารรังสี (Retention rate) ในอวัยวะที่เวลา t วัน หลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณรังสีที่เข้าสู่ร่างกายสามารถคำนวณได้ดังนี้

2.2.1 กรณีตรวจวัดแบบพิเศษ (special monitoring) เป็นการตรวจวัดเมื่อเกิดเหตุการณ์ สงสัยว่าผิดปกติโดยมีสิ่งเตือนบอกเหตุในระหว่างการตรวจวัดแบบเป็นประจำ

$$\text{Intake} = \frac{M}{m(T)} \quad (4)$$

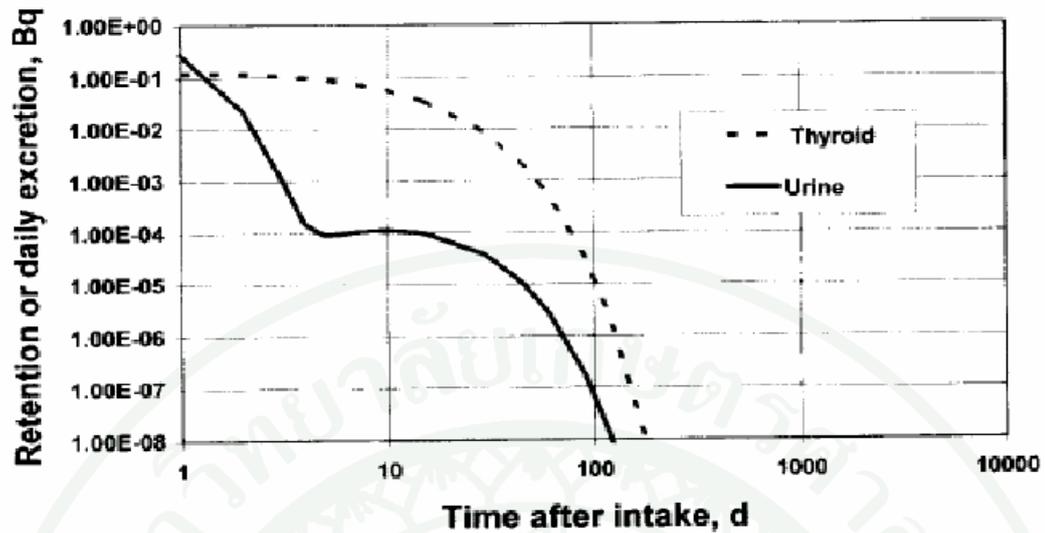
เมื่อ M = ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างสิ่งขับถ่ายหรือที่อวัยวะ (Bq)
 $m(T)$ = อัตราการขับถ่ายสารรังสีหรืออัตราการสะสมของสารรังสีในอวัยวะ
 ที่เวลา T วัน

2.2.2 กรณีตรวจวัดแบบเป็นประจำ (routine monitoring) ซึ่งเป็นการตรวจวัดเป็นประจำ สม่ำเสมอของผู้ปฏิบัติงานรังสี มีกำหนดคนที่จะต้องตรวจวัดและเวลาที่แน่นอน

$$\text{Intake} = \frac{M}{m(T_2)} \quad (5)$$

เมื่อ M = ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างสิ่งขับถ่ายหรือที่อวัยวะ (Bq)
 $m(T_2)$ = อัตราการขับถ่ายสารรังสีหรืออัตราการสะสมของสารรังสีในอวัยวะ
 ที่เวลา T_2 วัน

ซึ่งสารรังสีแต่ละตัวจะมีอัตราการขับถ่ายสารรังสี หรืออัตราการสะสมของสารรังสีในอวัยวะ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารรังสี วิธีการได้รับรังสี และประเภทของการดูดซึมสารรังสีเข้าสู่ ระบบเลือด สำหรับไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ และมีการดูดซึมเข้าสู่ระบบเลือดแบบ type F จะมีอัตราการขับถ่ายสารรังสีออกทางปัสสาวะและอัตราการสะสมในต่อมไทรอยด์ที่ระยะเวลา ต่างๆหลังจากได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกาย ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราการขับถ่าย และอัตราการสะสมของไอโอดีน-131 ที่ระยะเวลาต่างๆหลังจากได้รับ ไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ (1 Bq)

ที่มา: ICRP (1997)

3. การหาค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ

เป็นการคำนวณหาค่า Committed Effective Dose Equivalent (CEDE) ซึ่งหมายถึง ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับในช่วงเวลา 50 ปี หลังจากได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของ Committed Dose Equivalent (CDE) ซึ่งหมายถึง ปริมาณรังสีที่อวัยวะและเนื้อเยื่อได้รับในช่วงเวลา 50 ปี หลังจากได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายคูณกับค่า Weighting Factor (ตารางที่ 3) ของอวัยวะหรือเนื้อเยื่อนั้นๆ ดังสมการที่ 6

$$CEDE = \sum (W_T \times CDE) \quad (6)$$

หรือค่า CEDE สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7 (ดารุณี, 2552) โดยการนำค่า Dose Coefficient ที่เหมาะสมคูณกับค่าปริมาณรังสีที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งค่า Dose Coefficient หมายถึง สัดส่วนปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับในช่วงเวลา 50 ปีหลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งแสดงไว้ใน

ICRP 78 มีหน่วยเป็นซีเวิร์ตต่อเบ็กเกอร์ ค่านี้จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารประกอบทางเคมีของสารรังสีนั้นๆ และวิธีการได้รับเข้าสู่ร่างกาย

$$\text{CEDE} = \text{Intake} \times \text{Dose Coefficient} \quad (7)$$

ตารางที่ 3 แสดงค่า Weighting Factor ของอวัยวะหรือเนื้อเยื่อต่างๆ

Organ or Tissues	Weighting Factor (W_T)
Gonads	0.20
Bone marrow(red)	0.12
Colon	0.12
Lung	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.05
Breasts	0.05
Liver	0.05
Oesophagus	0.05
Thyroid	0.05
Skin	0.01
Bone surfaces	0.01
Remainder	0.05

ที่มา: IAEA (1999)

4. จีดจำกัดการได้รับรังสี (Dose limit)

จีดจำกัดการได้รับรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี โดยเฉลี่ยจะต้องไม่เกิน 20 mSv ต่อปี เป็นเวลา 5 ปี และในแต่ละปีต้องไม่เกิน 50 mSv (Lopez Ponte et al., 2004) นอกจากนี้ยังมีจีดจำกัดอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งเป็นจีดจำกัดที่สัมพันธ์กับจีดจำกัดการได้รับรังสี นั่นคือ

Annual Limit on Intake (ALI) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารรังสีที่ยอมให้ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับสูงสุดใน 1 ปี มีหน่วยเป็น Bq โดยค่า ALI สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ALI = \frac{0.02}{\text{Dose Coefficient}} \quad (8)$$

ในกรณีของการได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายทางการกิน มีค่า ALI เท่ากับ 1.1 MBq (30 μCi) และทางการหายใจ มีค่า ALI เท่ากับ 1.8 MBq (50 μCi)

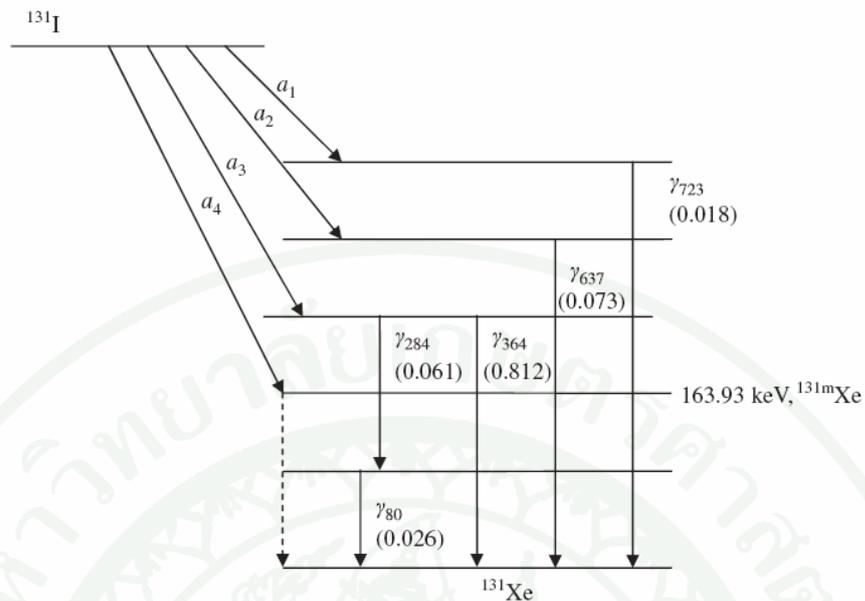
หัววัดรังสีและระบบวัดรังสี

ในการตรวจวัดรังสีจะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุมาใช้เป็นหลักการเพื่อสร้างหัววัด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดรังสี โดยรังสีจะทำอันตรกิริยากับวัตถุภายในหัววัดรังสีแล้วถ่ายทอดพลังงานออกมา และเปลี่ยนพลังงานที่ออกมาให้อยู่ในรูปที่สามารถตรวจวัดได้ ซึ่งพลังงานที่ออกมาต้องเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่เข้าสู่หัววัด (นวลฉวี, 2536) หัววัดรังสีมีอยู่หลายชนิด การจะใช้หัววัดชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของรังสีที่วัดเป็นหลัก และความเหมาะสมของหัววัดรังสีกับงานที่ตรวจวัด (ธิดารัตน์, 2548)

การทดลองนี้ตรวจวัดรังสีแกมมาของไอโอดีน-131 ในปีสภาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีที่ถูกขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน การตรวจวัดรังสีใช้ระบบวัดรังสีแกมมา โดยหัววัด NaI(Tl) ขนาด 3×3 ตารางนิ้ว ซึ่งมีความเหมาะสมในการวัดรังสีแกมมาในปีสภาวะ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมี (Carbaugh et al., 2003)

1. อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับหัววัดรังสี

ไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิต 8.04 วัน จะสลายตัวให้อนุภาคบีตาได้นิวไคลด์ลูก คือ ซีซียม-131 หากนิวไคลด์ลูกยังอยู่ในสถานะตื่นตัว (Excited state) จะพยายามปรับตัวเองให้อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) โดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่ารังสีแกมมาออกมา ดังภาพที่ 7

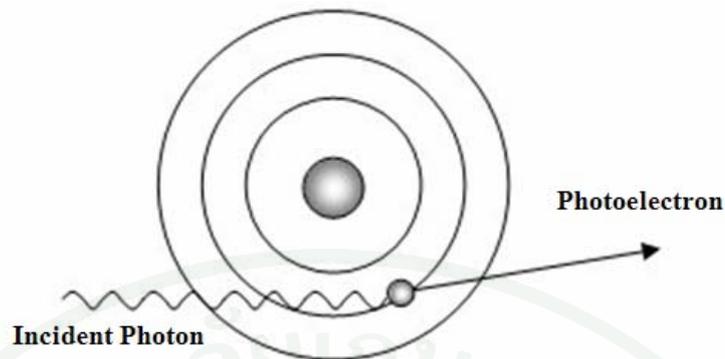


ภาพที่ 7 การสลายตัวให้รังสีแกมมาของไอโอดีน-131

ที่มา: Sahagia et al. (2008)

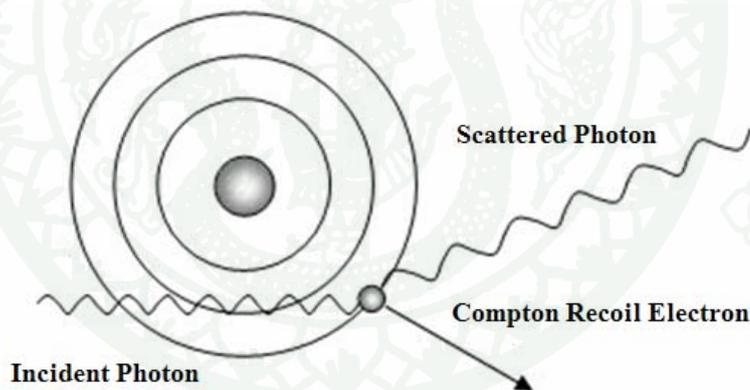
เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และแผ่ออกมาในรูปของโฟตอนหรือควอนตัมของพลังงานที่ไม่มีมวล ไม่มีประจุ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการวัดพลังงานของรังสีแกมมาจึงต้องอาศัยผลของอันตรกิริยาต่างๆที่เกิดจากรังสีแกมมากับหัววัดรังสี ดังต่อไปนี้

1.1 ปฏิกริยาโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) เป็นปฏิกริยาที่รังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อะตอมของหัววัด ก่อให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานรังสีแกมมากับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ทำให้เกิดโฟโตพีคบนสเปกตรัมรังสีแกมมา



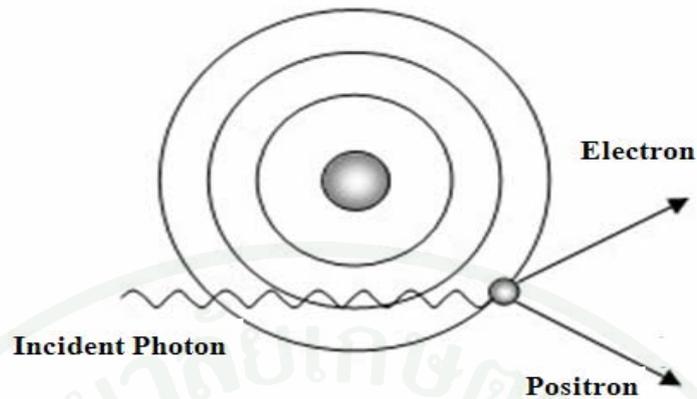
ภาพที่ 8 ปฏิกริยาโฟโตอิเล็กทริก

1.2 ปฏิกริยาคอมพ์ตัน (Compton effect) เป็นปฏิกริยาที่รังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้แก่อะตอมของหัววัด ก่อให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระที่มีพลังงานต่อเนื่อง โดยมีค่าขึ้นกับมุมตกกระทบของรังสีแกมมา ทำให้เกิดแถบพลังงานต่อเนื่องของคอมพ์ตัน (Compton continuum)



ภาพที่ 9 ปฏิกริยาคอมพ์ตัน

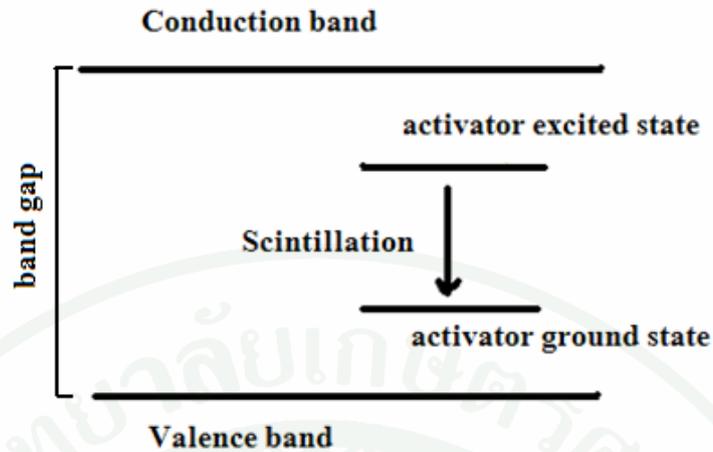
1.3 ปฏิกริยาการผลิตคู่ (Pair production) เป็นกระบวนการที่รังสีแกมมาพลังงานสูงกว่า 1,022 keV ทำปฏิกริยากับสนามของนิวเคลียสทำให้พลังงานเปลี่ยนเป็นมวลของอนุภาค ได้แก่ อิเล็กตรอน (e^-) และโพสิตรอน (e^+) ซึ่งโพสิตรอนที่หมดพลังงานจะรวมกับอิเล็กตรอน ก่อให้เกิดปฏิกริยาการทำลาย (Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 หน่วย มีพลังงาน 511 keV เคลื่อนไปในทิศตรงข้าม



ภาพที่ 10 ปฏิกิริยาการผลิตคู่

2. หัววัดรังสี

หัววัดรังสีที่ใช้ในการทดลอง คือ หัววัดรังสี NaI(Tl) (Sodium Iodide Crystal Activated with Thallium) ขนาด 3×3 ตารางนิ้ว เป็นหัววัดรังสีชนิดเรืองแสงประเภทของแข็ง (Solid Scintillation Detector) โดยมีหลักการทำงาน คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่เข้าสู่หัววัดจะถูกดูดกลืนไว้ในผลึก NaI ซึ่งเป็นผลึกเรืองแสง ทำให้อิเล็กตรอนที่ valence band ในผลึกเรืองแสงเกิดสภาวะตื่นตัว (excitation) และเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในช่วง conduction band เมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่สภาวะปกติจะกลับไปที่ valence band พร้อมปล่อยโฟตอนแสงออกมา ดังแสดงในภาพที่ 11 แต่เนื่องจากโฟตอนแสงของผลึก NaI ที่ปล่อยออกมามีความยาวคลื่นไม่ตรงกับความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้ได้โฟตอนแสงที่มีความยาวคลื่นตรงกับความต้องการ จึงต้องใส่สารปนเปื้อน (activator) เข้าไป ซึ่งก็คือ thallium (Tl) ด้วยเหตุนี้ NaI(Tl) จึงถูกสร้างขึ้นจากการหลอม NaI และเติม Tl ลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปอบในเตาภายใต้ อุณหภูมิที่กำหนด แต่ผลึก NaI(Tl) ที่ได้มีความไวต่อการดูดความชื้นในอากาศ ดังนั้นในการนำเอาผลึกมาใช้จึงต้องบรรจุอยู่ในภาชนะอะลูมิเนียมที่ปิดผนึก เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้า และเนื่องจาก ภาชนะอะลูมิเนียมมีความสามารถในการป้องกันรังสีแอลฟา และรังสีบีตา ทำให้หัววัดรังสี NaI(Tl) โดยทั่วไปมีความสามารถในการตรวจวัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเท่านั้น (พิลาวรรณ, 2540)



ภาพที่ 11 หลักการทำงานของผลึกเรืองแสง

ที่มา: Lewellen (2008)

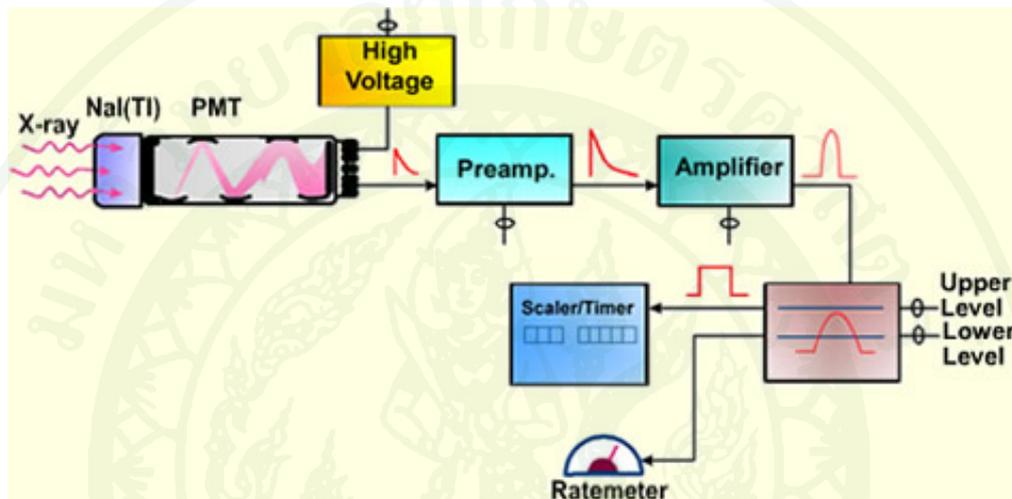
ผลึก NaI(Tl) นี้เหมาะที่จะนำมาทำเป็นหัววัดรังสีเนื่องจาก สามารถเปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในผลึกให้เป็น visible light ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้โฟตอนแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในผลึก (Knoll, 2000) และการเรืองแสงที่เกิดขึ้นจะเกิดระยะเวลาสั้นๆ เพื่อที่จะสามารถวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด (Gilmore and Heminway, 2004) โดยทั่วไปหัววัด NaI(Tl) จะประกอบติดกันกับหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube; PMT) ดังภาพที่ 12 ซึ่งทำหน้าที่ทวีคูณโฟตอนแสงที่ได้จากผลึกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น พร้อมเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่ระบบวัดรังสีต่อไป (รพี, 2540)



ภาพที่ 12 หัววัด NaI(Tl) ที่ประกอบติดกับ PMT

3. ระบบวัดรังสี

ทำหน้าที่จัดสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดรังสีด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ (Gilmore and Heminway, 2004) ระบบวัดรังสีโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 13

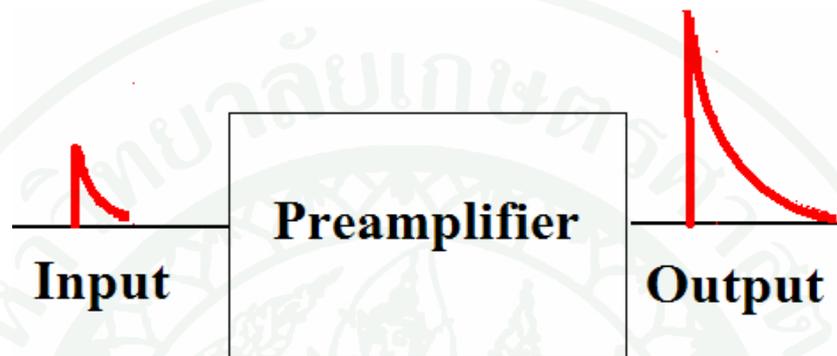


ภาพที่ 13 ระบบวัดรังสี

ที่มา: จิราภรณ์ และภavana (2545)

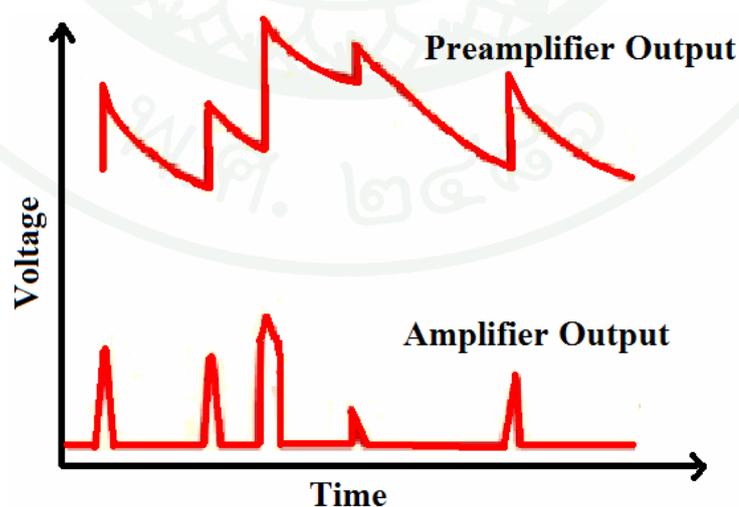
3.1 แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage; HV) ทำหน้าที่จ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับหัววัดรังสี โดยจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นกระแสตรง (DC) ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักย์ไฟฟ้าทางเอาต์พุต (output) การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงอาจมีผลมาจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่หรือความแปรปรวนของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิด ดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัววัดรังสี ควรผ่านการปรับกระแสไฟฟ้าให้คงที่มาแล้ว (ธิดารัตน์, 2548)

3.2 ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) พร้อมขยายสัญญาณพัลส์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (ภาพที่ 14) และทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ (impedance) เพื่อรักษาสัญญาณพัลส์ให้เคลื่อนที่ผ่านสายไฟฟ้าโดยไม่เกิดการสูญเสีย (นวลจวี, 2536)



ภาพที่ 14 การทำงานของภาคขยายส่วนหน้า

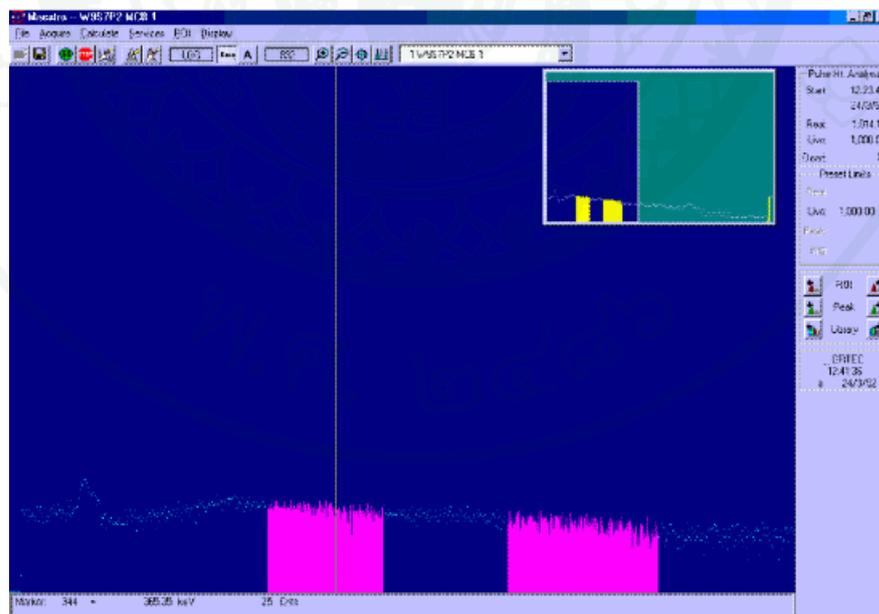
3.3 ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อจากภาคขยายส่วนหน้า โดยมีหน้าที่หลักคือ รับสัญญาณพัลส์ที่ได้จากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมาปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสม เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากภาคขยายส่วนหน้าจะมีการซ้อนทับ (pile up) ของสัญญาณ ภาคขยายหลักจะเปลี่ยนให้สัญญาณมีรูปร่างแคบลง และจัดเรียงสัญญาณใหม่ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 การทำงานของภาคขยายหลัก

3.4 การวิเคราะห์ความสูงพัลส์ (Pulse Height Analyzer; PHA) จะนำสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากภาคขยายหลักมาวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ (voltage amplitude) โดยที่ความสูงของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานที่ถูกดูดกลืนในหัววัดรังสี ทำให้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างรังสีรบกวนจากภายนอก (background) กับรังสีที่ตรวจวัดออกจากกันได้ โดยดูจากความสูงของสัญญาณ ดังนั้นในกระบวนการวัดรังสี ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดรังสี เช่น ประสิทธิภาพของการวัดรังสี รังสีรบกวนจากภายนอก ความแปรปรวนของการแผ่รังสี และความไม่เสถียรของระบบวัดรังสี (Perez-Andujar and Pibida, 2004)

PHA จะวิเคราะห์ตามความสูงของสัญญาณพัลส์ โดยสัญญาณที่มีความสูงเท่ากันจัดให้อยู่ในช่อง (channel) เดียวกัน โดยต้องตั้งค่าพลังงานกับช่องที่กำหนดก่อน ถ้า PHA นี้สามารถทำงานวัดสัญญาณได้ที่ละพลังงานหรือที่ละช่อง จะเรียกว่า Single Channel Analyzer (SCA) ในขณะที่ PHA ที่สามารถวัดความแตกต่างของความสูงของสัญญาณหรือวัดได้ครั้งละหลายช่องในเวลาเดียวกันจะเรียก PHA ชนิดนี้ว่า Multi Channel Analyzer (MCA) ซึ่ง MCA ทำหน้าที่คล้ายกับนำเอา SCA หลายชิ้นมาต่อกัน ทำให้เห็นรูปสัญญาณทั้งหมด นั่นคือสามารถเห็นสเปกตรัม (spectrum) ของรังสีที่เข้ามาตกกระทบกับหัววัดได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ดังภาพที่ 16 (วิรุฬห์ และ สุวิทย์, 2536)



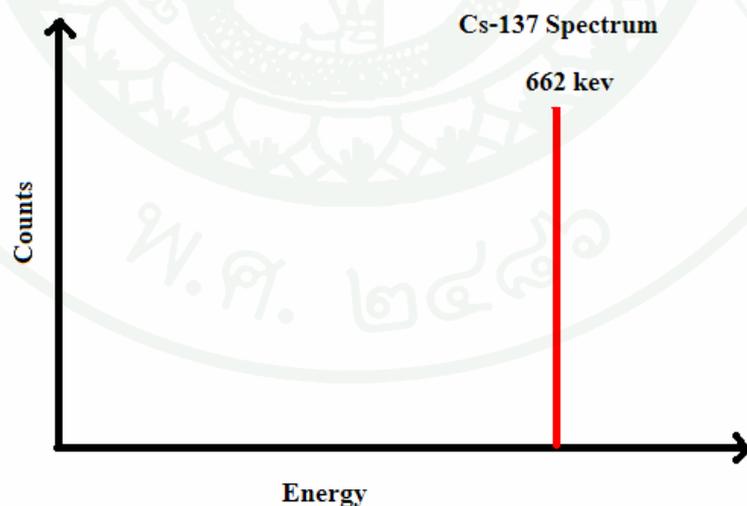
ภาพที่ 16 สเปกตรัมที่ได้จาก MCA

4. สเปกตรัมของรังสีแกมมา

โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (MCA) จะแสดงผลของการวัดในรูปสเปกตรัมของรังสีแกมมา ซึ่งจะมีลักษณะสเปกตรัมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด และกัมมันตภาพของสารรังสีที่ตรวจวัด นอกจากนี้ลักษณะสเปกตรัม ยังแสดงถึงความสามารถของหัววัดรังสีในการวัดรังสีที่ถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ (Debertin and Helmer, 1988)

4.1 พลังงานของรังสี (Energy spectrum) พลังงานของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดรังสี จะเข้ามาทำปฏิกิริยาภายในผลึกเรืองแสง ซึ่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก ทำให้ในสเปกตรัมจะปรากฏโฟโตพีค (Photopeak) ซึ่งเป็นส่วนที่สูงที่สุดในสเปกตรัม นอกจากนี้ในสเปกตรัมจะประกอบด้วยส่วนที่เกิดจากปฏิกิริยาอื่น ๆ อีก (Knoll, 2000)

Energy spectrum จะเป็นกราฟที่สร้างขึ้นโดยแกนนอนจะเป็นพลังงานของรังสีหรือเป็นความสูงของสัญญาณและแกนตั้งเป็นจำนวนค่านับวัดรังสี สำหรับหัววัดรังสีในอุดมคติจะต้องให้โฟโตพีคเป็นเส้นตรงเพียงเส้นเดียวเนื่องจากพลังงานรังสีถูกดูดกลืนไว้หมดทันทีเมื่อเข้ามาทำปฏิกิริยา (ดังภาพที่ 17) และมีความสูงเท่ากับพลังงานของรังสี

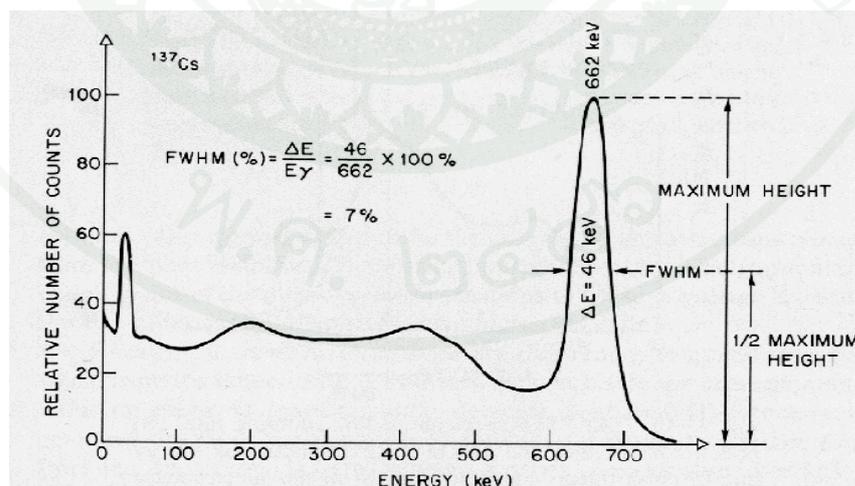


ภาพที่ 17 Energy spectrum ของ ซีเซียม-137 ที่ได้จากหัววัดในอุดมคติ

ในการตรวจวัดปริมาณรังสีจะต้องทำการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสี (Energy calibration) โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เครื่องมือวัดได้กับค่ามาตรฐาน เนื่องจากภาคขยายส่วนหน้าสามารถปรับกำลังขยายได้ ทำให้สัญญาณขาออกที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไป เช่นเดียวกับตำแหน่งของพีคบนจอภาพ ดังนั้นการจะทำให้ระบบวัดสามารถวัดพลังงานของสเปกตรัมได้ถูกต้องจำเป็นต้องปรับเทียบค่าพลังงานของสเปกตรัมให้ตรงกับช่องสัญญาณของ MCA ก่อน

4.2 ความกว้างของพีคที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความสูงพีค (Full Width at Half Maximum; FWHM) การหา FWHM ทำได้โดยวัดค่านับวัดสูงสุดที่ยอดของโฟโตพีค และอ่านค่าพลังงาน ณ ตำแหน่งนี้ จากนั้นหาดำแหน่งของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัดของโฟโตพีค ซึ่งค่าพลังงานที่ได้จะมี 2 ค่าคือ ค่าที่อยู่ด้านซ้ายและด้านขวาของโฟโตพีค และจะได้ค่าความแตกต่างของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัด (ΔE) ดังภาพที่ 18 ซึ่งปกติโฟโตพีคจะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ (gaussian) (Gilmore and Heminway, 2004)

4.3 ความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (Energy Resolution) คือ ค่าที่บอถึงความสามารถของหัววัดรังสีในการแยกพลังงานที่ใกล้เคียงกันออกจากกันได้ การที่มีโฟโตพีค กว้างบ่งบอกถึงความสามารถในการแยกพลังงานได้ไม่ดี (Ahmet, 2008) Energy Resolution สามารถหาได้จากการคำนวณ FWHM ของโฟโตพีค (ภาพที่ 18) ดังสมการที่ 9



ภาพที่ 18 การหาค่า energy resolution ของ ซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 keV

ที่มา: Lewellen (2008)

$$\% \text{ Energy Resolution} = \frac{\text{FWHM}}{\text{พลังงานที่โฟโตพิก}} \times 100 \quad (9)$$

4.4 ประสิทธิภาพ (Efficiency) ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี เป็นสัดส่วนของค่านับวัดรังสี แกมมาบนพื้นที่ของโฟโตพิกต่อกัมมันตภาพของต้นกำเนิดรังสีที่ทำกรวัด ดังสมการที่ 10 ประสิทธิภาพของหัววัดมีค่าแตกต่างกันสำหรับรังสีแต่ละพลังงาน โดยเมื่อวัดรังสีที่มีพลังงานสูงขึ้น พบว่าประสิทธิภาพของหัววัดจะมีค่าลดลง เช่นเดียวกับระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดยังมี ระยะห่างกันมากจะทำให้ประสิทธิภาพของหัววัดมีค่าลดลง (Ahmet, 2008)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ค่านับวัดสุทธิที่โฟโตพิก/เวลาที่ไว้วัด (cps)}}{\text{Activity ของต้นกำเนิดรังสีที่เวลาปัจจุบัน (dps)}} \quad (10)$$

4.5 ปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Activity; MDA) เป็น ค่าทางสถิติที่จำเป็นต้องทราบสำหรับหัววัดรังสี ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณรังสี โดยคำนวณจาก ปริมาณรังสีต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Minimum Significant Activity; MSA) ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่า MSA จะคำนวณจากค่านับวัดรังสีพื้นหลัง (background) ดังสมการ 11 และคำนวณหาค่า MDA ได้จากสมการ 12

$$\text{MSA} = \frac{1.64}{F} \sqrt{\frac{n_b}{t_s} \left(1 + \frac{t_s}{t_b} \right)} \quad (11)$$

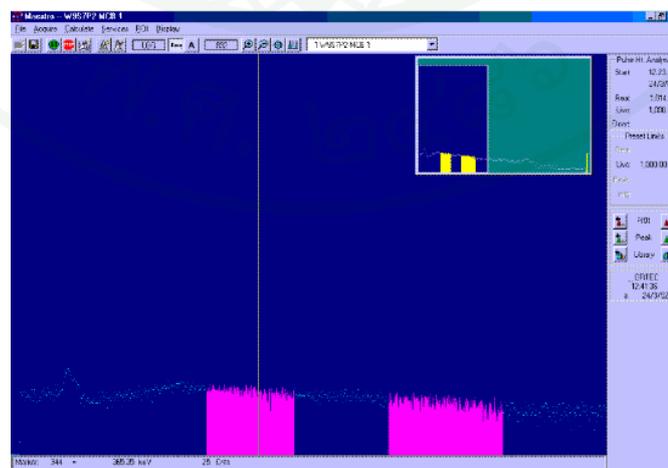
$$\text{MDA} = \frac{3}{F t_s} + 2 \text{MSA} \quad (12)$$

โดย	n_b	คือ	อัตรานับวัดรังสีพื้นหลัง (cps)
	t_s	คือ	เวลาในการนับวัดตัวอย่าง (s)
	t_b	คือ	เวลาในการวัดรังสีพื้นหลัง (s)
	F	คือ	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (%)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

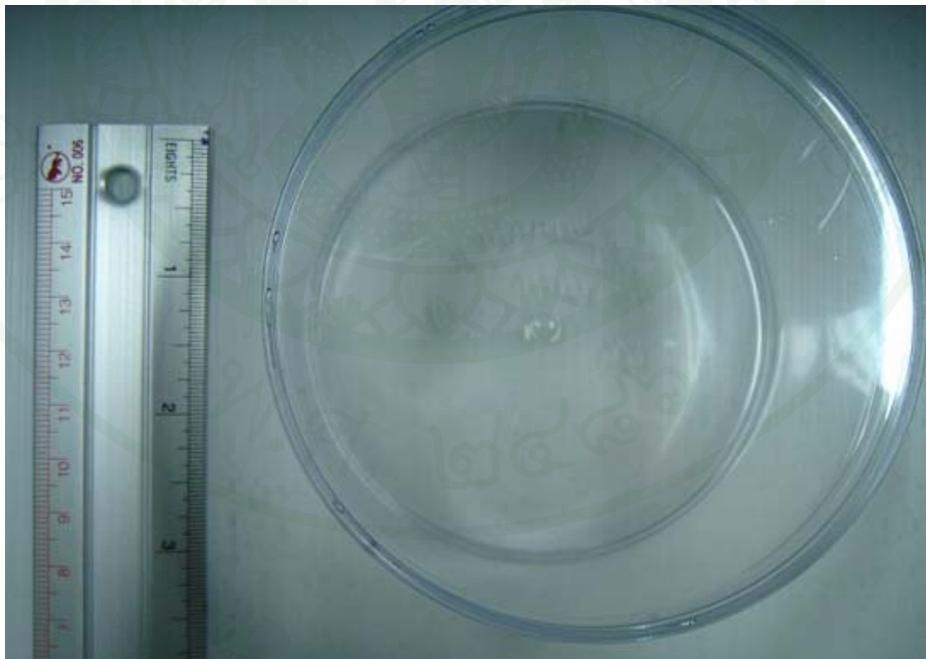
1. หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 3x3 นิ้ว ของบริษัท ORTEC Model 3M3/3-x ที่ประกอบติดกับหลอดทวิคูณแสง พร้อมอุปกรณ์กำลังรังสีล้อมรอบ
2. หลอดทวิคูณแสง ของบริษัท ORTEC Model 276 ซึ่งมีภาคขยายส่วนหน้าอยู่ภายใน
3. แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ของบริษัท CANBERRA Model 3102D
4. โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี ORTEC Maestro-32 Model A65-B32 Version: 5.34
5. ภาคขยายส่วนหน้า (AMP&TSCA) ของบริษัท ORTEC Model 590A
6. เครื่องลำรองไฟฟ้า ของบริษัท LEONICS รุ่น USC 1050
7. เครื่องคอมพิวเตอร์
8. ตู้เย็น
9. ขวด Nalgene สำหรับเก็บตัวอย่างปัสสาวะ ขนาด 500 ml และ 1,000 ml (ภาพที่ 20)
10. ขวดพลาสติกสำหรับวัดตัวอย่างปัสสาวะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว (ภาพที่ 21)
11. ภาชนะอะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สำหรับบรรจุสารรังสีไอโอดีน-131
12. ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แบบเรียม-133 และ ซีเซียม-137
13. ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424 ของบริษัท Deutscher kalibrierdienst
14. สารรังสีไอโอดีน-131 และคาร์บอนเนต บัฟเฟอร์



ภาพที่ 19 โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี ORTEC Maestro-32



ภาพที่ 20 ขวด Nalgene สำหรับเก็บตัวอย่างปัสสาวะ ขนาด 500 ml และ 1,000 ml



ภาพที่ 21 ขวดวัดตัวอย่างปัสสาวะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว

วิธีการ

1. การศึกษาคุณสมบัติของระบบวัดรังสีแกมมา

ระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 3 นิ้ว \times 3 นิ้ว ประกอบติดกันกับหลอดทวิคูณแสง (ภาพที่ 22ก) และระบบวัดรังสี ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ตั้งความต่างศักย์ 800 โวลต์ ภาคขยายหลักที่ตั้งอัตราขยายหลัก (Coarse gain) 50 และอัตราขยายละเอียด (Fine gain) 0.5 โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี ORTEC Maestro-32 ที่มีช่องสัญญาณ 2,048 ช่อง ซึ่งมีเครื่องสำรองไฟฟ้าควบคุมความคงที่ของระบบไฟฟ้าทั้งหมด (ภาพที่ 22 ข) โดยหัววัดรังสีจะติดตั้งอยู่ภายในเครื่องกำบังรังสีที่ทำจากตะกั่ว เพื่อป้องกันปริมาณรังสีพื้นหลัง



ภาพที่ 22 ระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของระบบวัดรังสีแกมมา จะต้องทำการปรับเทียบ (Calibration) เครื่องมือที่ใช้ก่อน เพื่อปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีและศึกษาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่ใช้ โดยวัดรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424 ซึ่งประกอบด้วยสารไอโซโทปรังสีรวม 10 ชนิด ครอบคลุมพลังงานของรังสีแกมมาตั้งแต่ประมาณ 58 ถึง 1,799 keV ดังแสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ 3

1.1 เปรียบเทียบพลังงานของหัววัดรังสี (Energy calibration) โดยวัดรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424 เป็นเวลา 1,000 วินาที และบันทึกค่าช่องสัญญาณ (Channel No.) ที่ตำแหน่งสูงสุดของแต่ละสเปกตรัม แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Channel No. กับค่าพลังงานของสารรังสี

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Detector efficiency) วัดรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424 โดยใช้เวลานับวัด 1,000 วินาที บันทึกค่านับวัดที่ได้ นำมาคำนวณหาอัตรานับวัดในหน่วย cps แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับสารรังสีแต่ละชนิดที่มีพลังงานแตกต่างกัน โดยใช้ค่ากัมมันตภาพ ณ เวลาวัด ที่คำนวณได้จากค่าครึ่งชีวิตของสารรังสีนั้นๆ (ดังสมการที่ 13) และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{\text{อัตรานับวัดสุทธิ (cps)} \times 100}{\text{Activity ณ เวลาวัด (dps)} \times \text{Gamma emission (\%)}} \quad (13)$$

1.3 ศึกษาความคงที่ของระบบวัดรังสี โดยทำการวัดรังสีแกมมาที่พลังงาน 661.62 keV ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 โดยใช้เวลานับวัด 3600 วินาที เป็นเวลา 15 วัน เพื่อศึกษาความคงที่ของระบบวัดรังสี โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (Coefficient of variation; CV) ของตำแหน่งของโฟโตพีค FWHM ค่านับวัด ประสิทธิภาพของหัววัด และความสามารถในการแยกแยะพลังงานของหัววัดรังสี โดยความสามารถในการแยกแยะพลังงานหาได้จากสมการที่ 14

$$\text{Energy Resolution (\%)} = \frac{\text{FWHM (keV)}}{\text{โฟโตพีค (keV)}} \times 100 \quad (14)$$

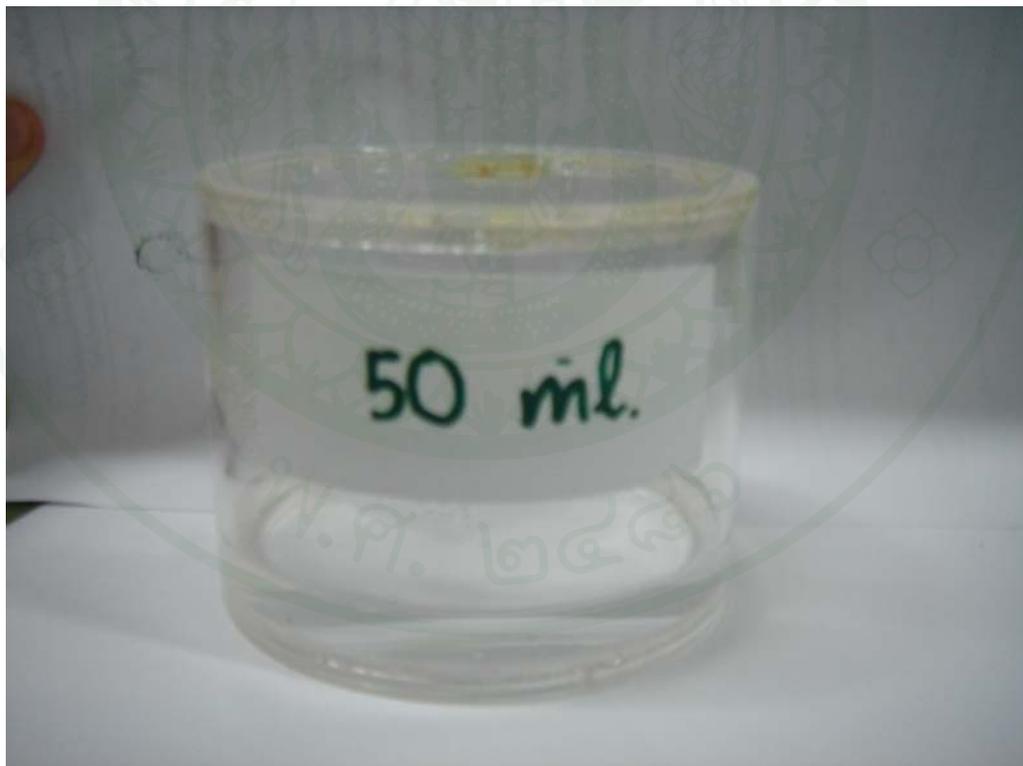
2. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการวัดตัวอย่าง

ในการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับออกทางปัสสาวะจะทำการตรวจวัดจากปัสสาวะบางส่วน แล้วคำนวณกลับเป็นปริมาณไอโอดีน-131 ในปริมาณปัสสาวะทั้งหมด ดังนั้นก่อนทำการตรวจวัดจึงจำเป็นต้องทราบสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วยปริมาณปัสสาวะและเวลานับวัดที่เหมาะสมที่ทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดดีที่สุด โดยขั้นแรกจะต้องหา

ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีที่ใช้ก่อน หลังจากนั้นนำปริมาณที่เหมาะสมไปหาเวลานับวัดที่เหมาะสมอีกครั้ง และจะใช้ปริมาณกับเวลานับวัดที่เหมาะสมนี้ในการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี ต่อไป

ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมได้ใช้สารละลายไอโอดีน-131 ที่ทราบกัมมันตภาพรังสีแน่นอน จากการวัดด้วย 4π Ionization chamber โดยใช้สารละลายไอโอดีน-131 ความเข้มข้นเริ่มต้น 251.3 $\mu\text{Ci/ml}$ นำมาเจือจางด้วยคาร์บอนेट บัฟเฟอร์ให้มีกัมมันตภาพรังสี 2.51×10^{-5} $\mu\text{Ci/ml}$ แล้วแบ่งใส่ในภาชนะอะคริลิก (ภาพที่ 23) ให้มีปริมาตร 50 100 150 และ 200 ml จะได้สารละลายไอโอดีน-131 ที่มีกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4

หมายเหตุ สำหรับในงานวิจัยนี้ คำว่า “ปริมาณไอโอดีน-131” หมายถึง “กัมมันตภาพรังสีของไอโอดีน-131”



ภาพที่ 23 ตัวอย่างภาชนะอะคริลิกที่มีสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml

ตารางที่ 4 กัมมันตภาพรังสีของสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณสารละลายไอโอดีน-131 (ml)	กัมมันตภาพเริ่มต้น	
	μCi	dps
50	1.26×10^{-3}	46.62
100	2.51×10^{-3}	92.87
150	3.77×10^{-3}	139.49
200	5.02×10^{-3}	185.74

หมายเหตุ กัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นคำนวณ ณ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 52 เวลา 17.00 น.

2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสม

2.1.1 วางภาชนะอะคริลิกที่มีสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml เหนือหัววัด NaI(Tl) แล้วทำการวัดกัมมันตภาพรังสีของไอโอดีน-131 โดยใช้เวลานับวัด 600 วินาที

2.1.2 นำค่าอัตรานับวัดสุทธิที่เครื่องตรวจวัดได้ มาคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี และทำการทดลองอีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.1.3 ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 แต่เปลี่ยนภาชนะอะคริลิกที่มีสารละลายไอโอดีน-131 จากปริมาตร 50 ml เป็นปริมาตร 100 150 และ 200 ml ตามลำดับ

2.1.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายไอโอดีน-131 กับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี และเลือกปริมาณสารละลาย I-131 ที่หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดสูงที่สุดมาใช้ในการทดลองต่อไป

2.2 การหาเวลานับวัดที่เหมาะสม

2.2.1 เลือกปริมาณสารละลาย I-131 ที่ทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดดีที่สุดมาหาเวลานับวัดที่เหมาะสม โดยใช้เวลานับวัดเริ่มต้น 600 วินาที

2.2.2 นำค่าอัตรานับวัดสุทธิที่เครื่องตรวจวัดได้ มาคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี และทำการทดลองอีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.2.3 ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 โดยเพิ่มเวลานับวัดให้มากขึ้นครั้งละ 100 วินาที จนถึง 1,500 วินาที

2.2.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับวัดกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี เพื่อหาเวลานับวัดที่ทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดดีที่สุด

2.3 การหาปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Activity; MDA)

หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมในการวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะแล้ว นำปริมาตรและเวลานับวัดที่ได้มาใช้คำนวณหาปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ โดยนำตัวอย่างปัสสาวะของผู้ที่ไม่ได้ปฏิบัติงานรังสีปริมาตร 50 ml มาทำการวัดปริมาณรังสีพื้นหลัง โดยใช้เวลาในการวัดแตกต่างกันตั้งแต่ 1,000 จนถึง 50,400 วินาที แล้วนำค่าอัตรานับวัดที่ได้ไปคำนวณหาค่า MSA และ MDA จากสมการต่อไปนี้

$$MSA = \frac{1.64}{F} \sqrt{\frac{n_b}{t_s} \left(1 + \frac{t_s}{t_b}\right)}$$

$$MDA = \frac{3}{F t_s} + 2 MSA$$

โดย	n_b	คือ	อัตรานับวัดตัวอย่างปัสสาวะของผู้ที่ไม่ได้ปฏิบัติงานรังสีหรือค่า นับวัดรังสีพื้นหลัง (cps)
	t_s	คือ	เวลาในการนับวัดตัวอย่าง (1,000 วินาที)
	t_b	คือ	เวลาในการวัดรังสีพื้นหลัง
	F	คือ	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (0.94%)

3. การศึกษาการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

3.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานรังสี ณ ศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับไอโอดีน-131 จำนวน 10 คน โดยชี้แจงรายละเอียดของโครงการแก่ผู้ปฏิบัติงานทุกคน จากนั้นให้อาสาสมัครลงชื่อยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย และกรอกข้อมูลพื้นฐานลงในแบบบันทึกข้อมูลตามรายละเอียดในภาพผนวก ก

3.2 การเก็บตัวอย่างปัสสาวะ

ผู้ปฏิบัติงานรังสีจะปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี โดยทำการผลิตไอโอดีน-131 ทุกๆวันจันทร์ของแต่ละสัปดาห์ ส่วนวันอื่นๆของสัปดาห์ ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจะมีการปฏิบัติงานแตกต่างกัน จึงกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานทุกคนต้องบันทึกการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี และระยะเวลาที่ปฏิบัติงานในแต่ละวัน ลงในรายละเอียดการปฏิบัติงานในทุกสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง และผู้ปฏิบัติงานทุกคนต้องทำการเก็บปัสสาวะทุกครั้งที่ขับถ่ายในแต่ละวันตามช่วงเวลาในตารางที่ 5 โดยทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะทั้งสิ้น 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลารวม 5 สัปดาห์

ตารางที่ 5 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างปัสสาวะในสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง

ระยะเวลาหลังจากได้รับรังสี (วัน)	ระยะเวลาที่เก็บปัสสาวะใน 1 สัปดาห์
1	วันจันทร์ เวลา 16.00 น. จนถึง วันอังคาร เวลา 16.00 น.
2	วันอังคาร เวลา 16.00 น. จนถึง วันพุธ เวลา 16.00 น.
3	วันพุธ เวลา 16.00 น. จนถึง วันพฤหัสบดี เวลา 16.00 น.
4	วันพฤหัสบดี เวลา 16.00 น. จนถึง วันศุกร์ เวลา 16.00 น.
7	วันอาทิตย์ เวลา 16.00 น. จนถึง วันจันทร์ เวลา 16.00 น.

หมายเหตุ ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะในวันที่ 5 และ 6 หลังจากได้รับรังสี เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถนำตัวอย่างมาส่งได้ในวันเสาร์และวันอาทิตย์

3.3 การตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake)

ทุกครั้งที่มีการผลิตไอโอดีน-131 จะมีการตรวจวัดการฟุ้งกระจายของสารรังสีในอากาศ โดยติดตั้งปั๊มดูดอากาศผ่านแผ่นกรองอากาศตลอดระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน จากนั้นนำแผ่นกรองอากาศไปตรวจวัดปริมาณรังสีในหน่วย Bq/m³ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณรังสีที่เข้าสู่ร่างกายได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Intake (Bq)} = C \times I \times T$$

โดย C = ปริมาณสารรังสีในอากาศที่ได้จากแผ่นกรองอากาศ (Bq/m³)
 I = อัตราการหายใจ (1.2 m³/hr)
 T = เวลาที่ปฏิบัติงาน (hr)

3.4 การตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

หลังจากเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคนในรอบ 24 ชั่วโมง แล้วนำปัสสาวะที่ได้มาผสมให้เข้ากันพร้อมบันทึกปริมาตรทั้งหมด จากนั้นตวงตัวอย่างปัสสาวะออกมา ปริมาตร 50 ml นำไปตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 โดยใช้เวลานับวัด 1,000 วินาที โดยวางขวดวัดตัวอย่างปัสสาวะเหนือหัววัดรังสี (ดังภาพที่ 24) แล้วนำปริมาณไอโอดีน-131 ที่เครื่องมือตรวจวัดได้ในแต่ละวัน มาหาความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 หรือความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ในหน่วย Bq/ml เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่เวลาต่างๆหลังจากได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน และหาค่าเฉลี่ยการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคน



ภาพที่ 24 Geometry ของการวัดตัวอย่าง

3.5 การหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสี

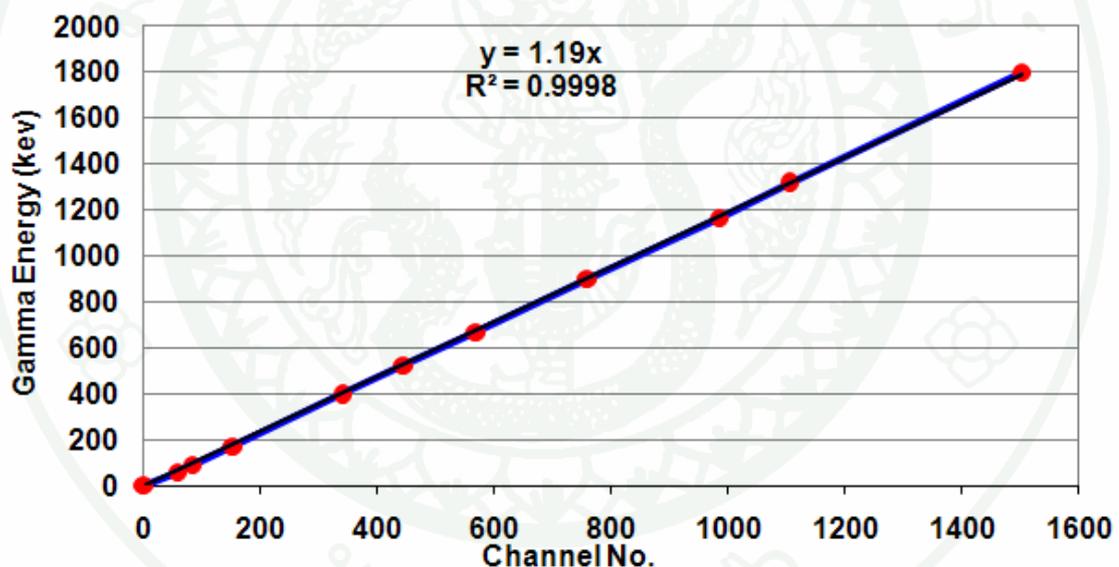
ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสี หาได้จากความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันคูณกับปริมาตรปัสสาวะทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาในวันนั้น แล้วเปรียบเทียบปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์เทียบกับปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายในสัปดาห์นั้นๆ

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติของระบบวัดรังสีแกมมา

1.1 ผลการเปรียบเทียบพลังงานของหัววัดรังสี

การเปรียบเทียบพลังงานของหัววัดรังสีมีจุดประสงค์เพื่อ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของสเปกตรัมรังสีแกมมากับช่องสัญญาณของเครื่อง MCA ผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความเป็นเชิงเส้น (ภาพที่ 25) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9998 โดยแต่ละช่องสัญญาณของ MCA ตรงกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา 1.19 keV



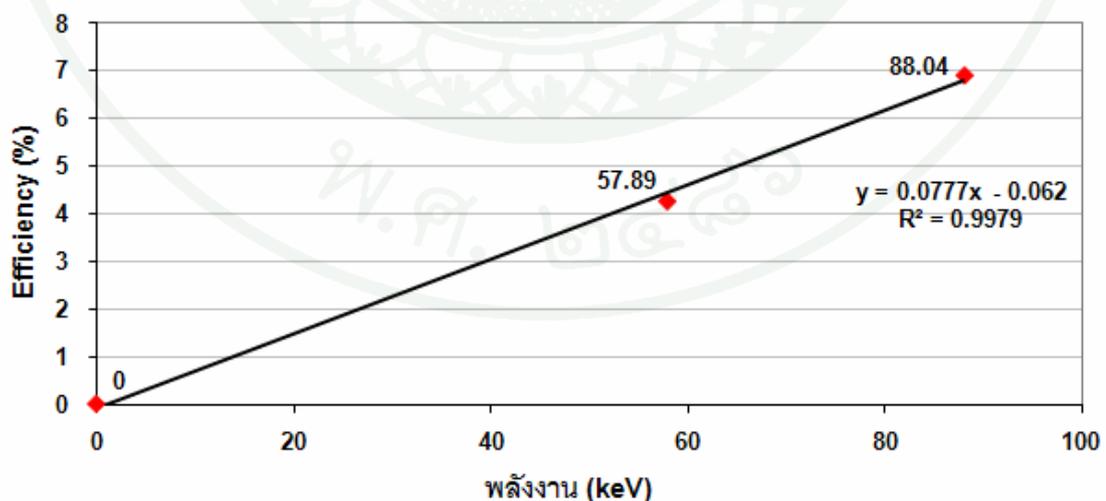
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานรังสีแกมมากับช่องสัญญาณ

1.2 ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

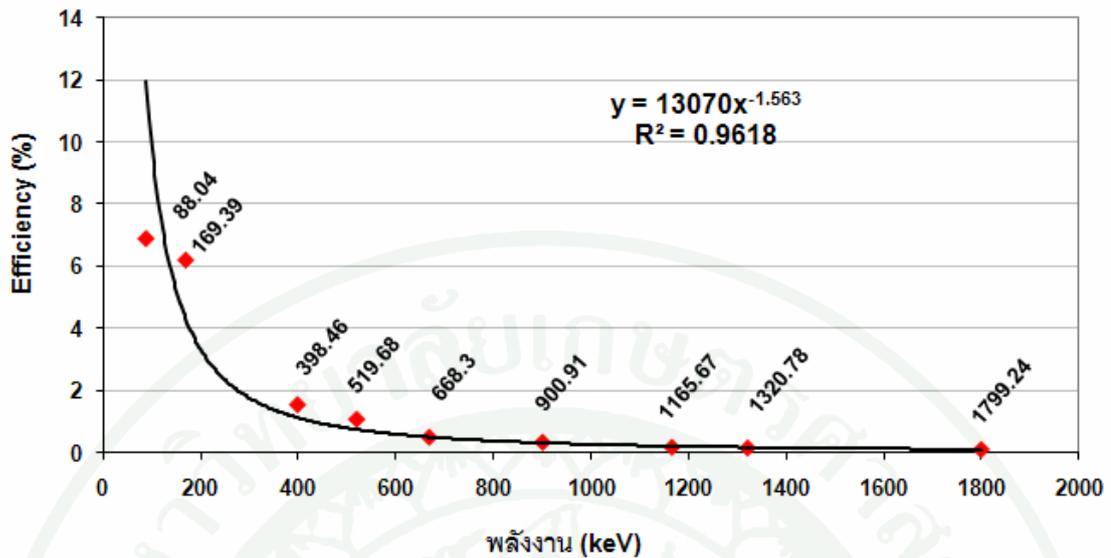
จากการวัดรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424 โดยใช้เวลานับวัด 1,000 วินาที แล้วหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีของสารรังสีทุกตัว (ตารางผนวกที่ 4) ผลการทดลองที่ได้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับค่าพลังงานรังสีแกมมามีลักษณะดังภาพที่ 26 โดยพบว่าที่พลังงานรังสีแกมมาต่ำๆ ประสิทธิภาพของหัววัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่ง

พลังงาน 88.04 keV ประสิทธิภาพของหัววัดจะมีค่าสูงสุด คือ 6.89% เมื่อพลังงานรังสีแกมมามีค่ามากขึ้น ประสิทธิภาพของหัววัดจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆเมื่อพลังงานรังสีแกมมามีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (ภาพที่ 27) ซึ่ง Kawasaki (2004) อธิบายว่า จุดที่ประสิทธิภาพของหัววัดที่มีค่าสูงสุด เรียกว่า Knee ซึ่งเป็นค่าที่แบ่งสมการ โคง์ประสิทธิภาพออกเป็นสองส่วน นั่นคือส่วนแรกเป็นส่วนที่พลังงานต่ำๆค่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคุณสมบัติการดูดกลืนพลังงานของหัววัด และส่วนที่สองจะเกิดที่พลังงานมากกว่า 100 keV ค่าของประสิทธิภาพจะลดลงจนในที่สุดจะขนานกับแกนราบที่พลังงานประมาณ 1,200 keV ด้วยเหตุนี้จะได้สมการเส้นโค้งประสิทธิภาพ 2 สมการ ในรูปแบบที่แตกต่างกันตามช่วงของพลังงานและสอดคล้องกับระบบวัดนั้นๆ

สำหรับการทดลองนี้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัด NaI(Tl) กับพลังงานของรังสีแกมมา 2 สมการ ดังนี้คือ ที่พลังงาน 0-88 keV เป็นสมการเส้นตรง $y = 0.0777x - 0.062$ และที่พลังงาน 88-1800 keV เป็นสมการยกกำลัง $y = 13,070x^{-1.5628}$ เมื่อ x คือ พลังงาน (keV) และ y คือ ประสิทธิภาพของหัววัด (%) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ ธิดา-รัตน์ (2548) โดยทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงชนิดเพลนนา พบว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมาจะได้สมการ โคง์ประสิทธิภาพสมบูรณ์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีใดๆที่รู้ค่ากัมมันตภาพและค่าความน่าจะเป็นของการสลายตัว ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละระบบวัด



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับพลังงานรังสีแกมมาในช่วง 0-88 keV



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับพลังงานรังสีแกมมาในช่วง 88-1800 keV

1.3 ความคงที่ของระบบวัดรังสี

การศึกษาความคงที่ของระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3 นิ้ว × 3 นิ้ว โดยทำการตรวจวัดรังสีแกมมาของซีเซียม-137 ที่พลังงาน 661.62 keV เป็นเวลา 3,600 วินาที โดยทำการทดลองตรวจวัดทุกวัน เป็นระยะเวลา 15 วัน เพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร ผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งของโฟโตพีค FWHM ค่านับวัดสุทธิ ประสิทธิภาพ และความสามารถในการแยกแยะพลังงาน มีค่าเฉลี่ย 660.82 keV, 47.03 keV, 100.25 cps, 0.42% และ 7.11% ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรเท่ากับ 0.24, 1.41, 1.24, 1.24 และ 1.42 ตามลำดับ ดังตารางที่ 6 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยมาก แสดงถึงข้อมูลที่ได้มีการกระจายต่ำ (วารุทธิ, 2551) แสดงว่าระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) ที่ใช้มีความคงที่สูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรไม่เกิน 1.5%

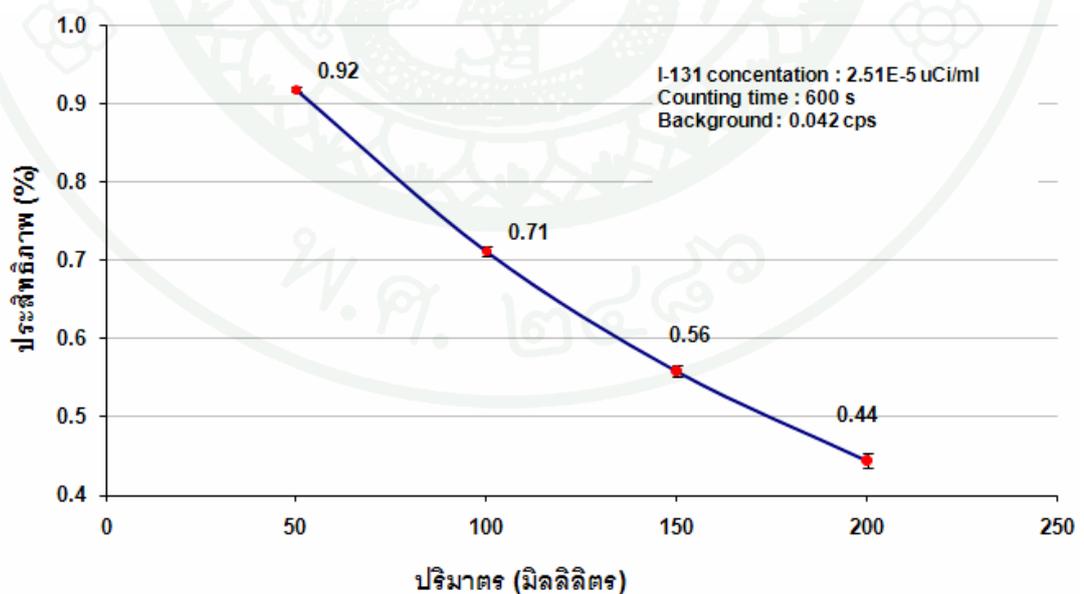
ตารางที่ 6 ความคงที่ของระบบวัดรังสีจากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 (Activity เริ่มต้น 28,295 dps)

วันที่	โฟโตพีค (keV)	FWHM (keV)	Net count rate (cps)	Efficiency (%)	Energy Resolution (%)
27 พ.ค. 52	660.93	48.00	99.03	0.41	7.26
28 พ.ค. 52	659.72	46.92	102.41	0.43	7.11
29 พ.ค. 52	659.75	46.27	101.40	0.42	7.02
30 พ.ค. 52	661.65	47.11	101.54	0.42	7.12
01 มิ.ย. 52	661.04	46.48	101.40	0.42	7.03
02 มิ.ย. 52	661.25	48.34	100.74	0.42	7.31
03 มิ.ย. 52	660.96	47.02	99.58	0.41	7.11
04 มิ.ย. 52	661.00	46.67	98.77	0.41	7.06
05 มิ.ย. 52	664.84	47.30	98.83	0.41	7.11
08 มิ.ย. 52	658.90	47.95	99.35	0.41	7.27
09 มิ.ย. 52	662.98	46.51	100.35	0.42	7.01
10 มิ.ย. 52	659.04	47.49	99.69	0.41	7.20
11 มิ.ย. 52	661.04	46.48	101.41	0.42	7.03
12 มิ.ย. 52	659.75	46.58	98.39	0.41	7.06
18 มิ.ย. 52	659.39	46.27	100.88	0.42	7.01
Mean	660.82	47.03	100.25	0.42	7.11
SD	1.56	0.66	1.25	0.01	0.10
%CV	0.24	1.41	1.24	1.24	1.42

2. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการวัดตัวอย่าง

2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสม

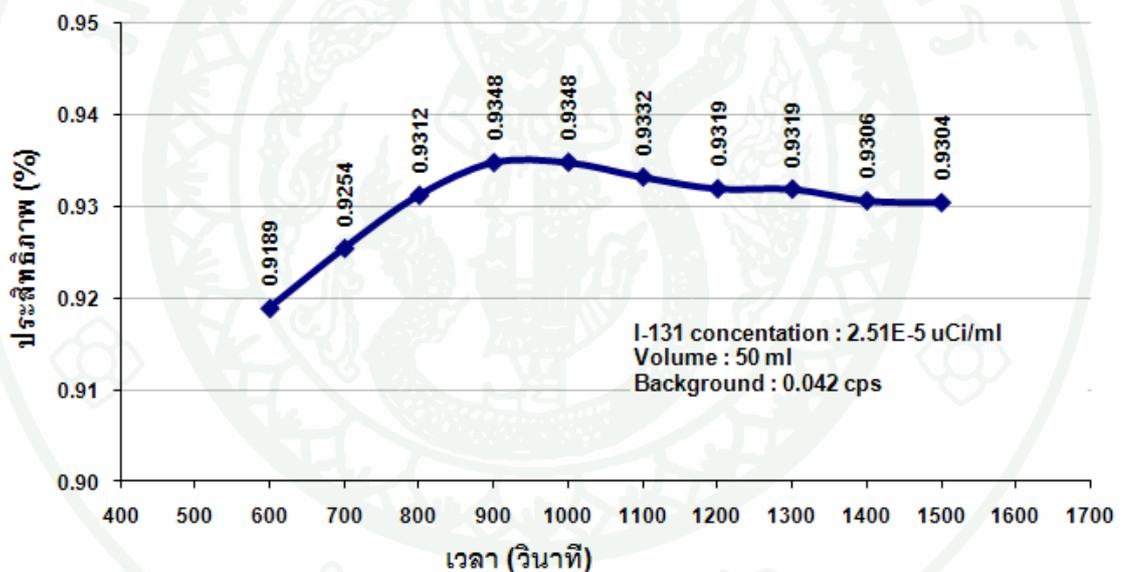
จากการทดลองหาปริมาณที่ทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพการวัดรังสีที่สุด โดยใช้สารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาตร 50 100 150 และ 200 ml พบว่าสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml มีประสิทธิภาพในการวัดสูงที่สุด คือ มีประสิทธิภาพ 0.92% และเมื่อปริมาตรของสารละลายไอโอดีน-131 เพิ่มขึ้น พบว่าหัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดลดลง คือ ที่สารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 100 150 และ 200 ml มีประสิทธิภาพ 0.71 0.56 และ 0.44% ตามลำดับ (ภาพที่ 28) ซึ่งอธิบายได้จากการดูดกลืนตัวเอง (Self-absorption) ของต้นกำเนิดรังสีที่มีปริมาตรหรือความหนาแน่นมากขึ้น (L'Annunziata, 1998) ซึ่งผลของ Self-absorption มักจะเกิดได้ดีกับหัววัดรังสีชนิดเรืองแสงประเภทของแข็งในช่วงพลังงานต่ำๆ (น้อยกว่า 400 keV) โดยขึ้นกับความเข้มข้นและความหนาของตัวอย่างที่ตรวจวัด เนื่องจากรังสีที่มีพลังงานต่ำนั้นไม่สามารถทะลุทะลวงไปถึงหัววัดได้ (Elane Streets, 1994) สำหรับในกรณีของไอโอดีน-131 ซึ่งมีพลังงานของรังสีแกมมาเพียง 365 keV จึงต้องระมัดระวังเรื่องปริมาณของตัวอย่างที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการวัด ดังนั้นในการวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะตลอดการทดลองนี้ จึงเลือกปริมาตรปัสสาวะ 50 ml เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการวัด



ภาพที่ 28 ประสิทธิภาพหัววัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาตรต่างๆกัน

2.2 การหาเวลานับวัดที่เหมาะสม

จากการทดลองหาเวลานับวัดที่เหมาะสม โดยใช้สารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml พบว่า เวลานับวัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ห้วงวัดรังสีมีประสิทธิภาพการวัดรังสีเพิ่มขึ้นเช่นกัน จนกระทั่งที่ เวลานับวัด 1,000 วินาที ประสิทธิภาพของห้วงวัดรังสีจะมีค่ามากที่สุด คือ มีประสิทธิภาพ 0.94% และ จะค่อนข้างคงที่ถึงแม้จะใช้เวลานับวัดเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 29) แต่ถ้าใช้เวลาในการนับวัดมากกว่านี้ จะ เห็นได้ว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพจะมีค่าค่อยๆลดลงทีละน้อยๆ เนื่องจากไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิตสั้น เพียงแค่ 8.04 วัน ทำให้เวลานับวัดรังสีที่มากขึ้นความแรงรังสีจะค่อยๆลดลง ส่งผลให้การ คำนวณประสิทธิภาพมีค่าลดลงตามลำดับ ดังนั้นในการวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะตลอดการ ทดลองนี้ จึงเลือกเวลา 1,000 วินาที เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการวัด

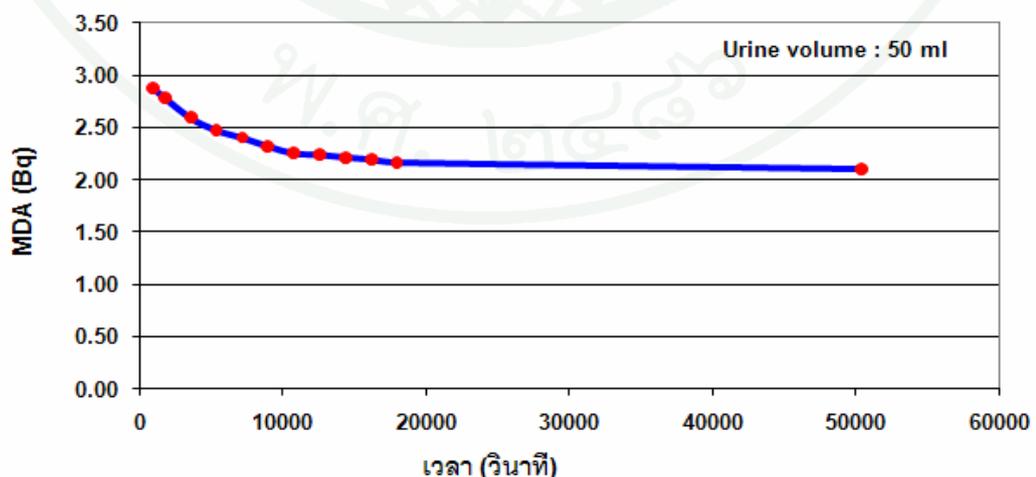


ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพห้วงวัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml โดยใช้ เวลานับวัดแตกต่างกัน

2.3 ปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (MDA)

ในการศึกษาหาค่า MDA สำหรับหัววัด NaI(Tl) ที่ใช้ พบว่า MDA มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลานับวัด Background ที่เพิ่มขึ้นจาก 1,000 วินาที จนกระทั่งที่เวลา 10,800 วินาที ค่า MDA จะค่อนข้างคงที่ (ตารางผนวกที่ ก7) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุชินและวุฒิเดช (2550) ที่ได้ทำการทดลองหาค่าเวลานับวัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดซีเซียม-137 ปริมาณน้อยในตัวอย่างนมผงและข้าวหนึ่งด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรสโคปี โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับวัดกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถนับวัดได้ (MDC) พบว่าเมื่อเวลานับวัดน้อยๆ ค่า MDC มีค่ามากที่สุดและจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลานับวัดมากขึ้น แต่เมื่อใช้เวลานับวัดมากๆ (ประมาณ 50,000 วินาที) ค่า MDC มีค่าลดลงน้อยมาก ซึ่งแสดงว่าแม้ว่าจะเพิ่มเวลานับวัดต่อไปอีกก็ไม่สามารถทำให้ค่า MDC ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับการทดลองนี้ พบว่าปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ มีค่าเท่ากับ 2.25 Bq ที่เวลานับวัด 10,800 วินาที ดังภาพที่ 30 แต่เนื่องจากในการทดลองวัดตัวอย่างปัสสาวะจะใช้เวลานับวัด 1,000 วินาที ดังนั้นในการศึกษาค่า MDA ของระบบวัดรังสีแกมมาจึงใช้ค่า MDA ที่เวลา 1,000 วินาที ซึ่งอธิบายได้ว่าปริมาณไอโอดีน-131 ต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้มีค่า 2.88 Bq หมายถึงหัววัด NaI(Tl) ที่ใช้จะตรวจวัดไอโอดีน-131 ได้ก็ต่อเมื่อ ในปัสสาวะปริมาตร 50 ml ต้องมีปริมาณไอโอดีน-131 มากกว่า 2.88 Bq ถ้ามีน้อยกว่านี้จะถือว่าไม่สามารถตรวจวัดได้หรือมีค่าเท่ากับปริมาณรังสีพื้นหลัง



ภาพที่ 30 ค่า MDA ที่เวลานับวัดต่างๆ

3. การศึกษาการรับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

3.1 ปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake)

เนื่องจากในทุกๆวันจันทร์ของแต่ละสัปดาห์ ผู้ปฏิบัติงานรังสีจะทำการผลิตไอโอดีน-131 โดยขณะทำการผลิตได้มีการติดตั้งเครื่องปั๊ม ดูดอากาศผ่านแผ่นกรองอากาศภายในห้องผลิตตลอดระยะเวลาปฏิบัติงาน เพื่อตรวจวัดการฟุ้งกระจายของไอโอดีน-131 ภายในห้องผลิต โดยมีหน่วยความปลอดภัย สทน. เป็นผู้ตรวจวัด หลังจากนั้นจะนำค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศของแต่ละสัปดาห์มาคำนวณหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานตามระยะเวลาในปฏิบัติงานกับสารรังสี ผลการทดลองที่ได้ แสดงในตารางที่ 7 ซึ่งพบว่า ผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคนจะได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศของแต่ละสัปดาห์และระยะเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ที่ได้รายงานไว้ในตารางผนวกที่ ข1 ดังเช่นปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานคนเดียวกันแต่ต่างสัปดาห์ จะได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่แตกต่างกัน และระยะเวลาในการปฏิบัติงานของสัปดาห์ที่ 1 ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ในสัปดาห์เดียวกันผู้ปฏิบัติงานมีปริมาณไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายแตกต่างกัน

ตัวอย่าง วิธีคำนวณการได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 01 ในสัปดาห์ที่ 1 แสดงได้ดังนี้

$$\text{Intake (Bq)} = C \times I \times T$$

$$\text{โดย } C = 12.29 \text{ Bq/m}^3$$

$$I = 1.2 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$T = 8 \text{ hr}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{Intake} &= 12.29 \times 1.2 \times 8 \\ &= 117.98 \text{ Bq} \end{aligned}$$

ตารางที่ 7 ปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) ของผู้ปฏิบัติงานรังสี

ผู้ปฏิบัติงานรังสี (รหัส)	ปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Bq)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
01	117.98	-	-	86.59	95.52
02	132.73	141.54	-	-	-
03	117.98	141.54	-	-	95.52
04	125.36	141.54	343.76	86.59	95.52
05	117.98	141.54	343.76	86.59	95.52
06	117.98	141.54	343.76	-	95.52
07	-	141.54	343.76	86.59	95.52
08	117.98	141.54	343.76	86.59	95.52
09	117.98	141.54	-	-	95.52
10	117.98	141.54	343.76	86.59	95.52

หมายเหตุ - หมายถึง ผู้ปฏิบัติงานรังสีไม่ได้ทำการผลิตไอโอดีน-131

3.2 ผลการศึกษาการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

การศึกษการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี ได้ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคน ตามวันและเวลาที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5 เพื่อนำมาตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในแต่ละวัน หลังจากได้รับรังสี โดยขั้นแรกจะนำขวดเก็บตัวอย่างไปส่งให้กับผู้ปฏิบัติงานก่อนที่จะถึงวันเก็บตัวอย่าง และเมื่อครบกำหนดเวลาเก็บตัวอย่าง จะไปรับขวดเก็บตัวอย่างกลับมาทำการทดลอง ซึ่งจะปฏิบัติเช่นนี้ตลอดการทดลอง ในการทดลองจะนำปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนมาผสมให้เข้ากัน พร้อมบันทึกปริมาณปัสสาวะทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน จากนั้นแบ่งตัวอย่างปัสสาวะจากปริมาตรทั้งหมดออกมา 50 ml เพื่อทำการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ซึ่งจะได้ปริมาณไอโอดีน-131 ต่อปัสสาวะปริมาตร 50 ml เมื่อทราบปริมาณไอโอดีน-131 ณ เวลาที่ทำการตรวจวัดแล้ว จะเทียบย้อนกลับ ณ เวลาที่ครบกำหนดเก็บตัวอย่าง โดยจะทำเช่นเดียวกันกับผู้ปฏิบัติงานทุกคน และทุกๆวันหลังจากได้รับรังสี ซึ่งในการศึกษการขับถ่ายไอโอดีน-

131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีจะเปรียบเทียบความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน

สำหรับผลการผลการศึกษการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี โดยทุกๆ สัปดาห์ผู้ปฏิบัติงานรังสีจะได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายในวันจันทร์ที่มีการผลิต เมื่อนำปัสสาวะในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายมาตรวจวัด พบว่าความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวัน มีแนวโน้มลดลงตามเวลาหลังจากได้รับรังสีที่เพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 1 วันหลังจากได้รับรังสี ความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ในปัสสาวะมีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นมีค่าลดลงตามลำดับที่เวลา 2, 3, 4 และ 7 วันหลังจากได้รับรังสี (ตารางที่ 8) แต่ในบางสัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวัน ไม่ได้มีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น หลังจากได้รับรังสี ดังเช่น ข้อมูลในสัปดาห์ที่ 1 ของผู้ปฏิบัติงานรหัส 01 ที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 7 วันหลังจากได้รับรังสี มีความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ในปัสสาวะ 0.0684, 0.0652, 0.0499, 0.0548 และ 0.0495 Bq/ml ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าที่เวลา 4 วันหลังจากได้รับรังสี มีความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ในปัสสาวะสูงกว่าที่เวลา 3 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้นในระหว่างสัปดาห์ ที่ทำการผลิตสารประกอบไอโอดีน-131 (ตารางผนวกที่ ข2) อย่างไรก็ตามภายในสัปดาห์เดียวกันความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวัน ก็ยังมีแนวโน้มลดลงตามเวลาหลังจากได้รับรังสีที่เพิ่มขึ้น จนเมื่อเข้าสู่สัปดาห์ใหม่ที่ได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายในวันผลิต จะพบว่ามีความเข้มข้นการลดลงของความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันเกิดขึ้นอีกครั้ง (ภาพผนวกที่ ค2-ค11) โดยในแต่ละสัปดาห์ความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้จะมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณไอโอดีน-131 ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายในวันผลิตของสัปดาห์นั้นๆ และความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากระยะเวลาในการปฏิบัติงานและปริมาณรังสีที่แต่ละคนได้รับ รวมไปถึงลักษณะทางกายภาพและชีวภาพที่แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 8 ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี

รหัส	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 (Bq/ml)				
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
01	1	0.0684	-	-	0.0473	0.0637
	2	0.0652	-	-	0.0421	0.0581
	3	0.0499	-	-	0.0343	0.0527
	4	0.0548	-	-	0.0292	0.0500
	7	0.0495	-	-	0.0266	0.0447
02	1	0.0492	0.0537	-	-	-
	2	0.0478	0.0520	-	-	-
	3	0.0392	0.0451	-	-	-
	4	0.0373	0.0410	-	-	-
	7	0.0322	0.0343	-	-	-
03	1	0.0492	0.0622	-	-	0.0367
	2	0.0487	0.0534	-	-	0.0322
	3	0.0441	0.0428	-	-	0.0255
	4	0.0415	0.0387	-	-	0.0237
	7	0.0366	-	-	-	0.0215
04	1	0.0556	0.0652	0.0838	0.0364	0.0430
	2	0.0480	0.0447	0.0710	0.0323	0.0365
	3	0.0505	0.0407	0.0643	0.0279	0.0298
	4	0.0440	0.0367	-	0.0236	0.0258
	7	0.0346	0.0343	0.0494	0.0215	0.0215
05	1	0.0790	0.0842	0.1005	0.0448	0.0557
	2	0.0683	0.0729	0.0898	0.0427	0.0514
	3	0.0522	0.0624	0.0705	0.0385	0.0448
	4	0.0506	0.0578	-	0.0299	0.0428
	7	-	0.0517	0.0536	0.0278	0.0386

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัส	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 (Bq/ml)				
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
06	1	0.0812	0.0885	0.1138	-	0.0535
	2	0.0829	0.0728	0.1047	-	0.0472
	3	0.0615	0.0602	0.0964	-	0.0450
	4	0.0566	0.0579	-	-	0.0408
	7	0.0520	0.0537	-	-	0.0387
07	1	-	0.0646	0.0948	0.0342	0.0475
	2	-	0.0581	0.0831	0.0322	0.0430
	3	-	0.0514	0.0644	0.0301	0.0344
	4	-	0.0494	-	0.0280	0.0322
	7	-	0.0430	0.0471	0.0258	0.0299
08	1	0.0430	0.0541	0.0903	0.0324	0.0386
	2	0.0403	0.0492	0.0838	0.0300	0.0343
	3	0.0351	0.0432	0.0751	0.0257	0.0278
	4	0.0394	0.0406	-	0.0236	0.0257
	7	0.0343	0.0342	-	0.0214	-
09	1	0.0431	0.0542	-	-	0.0366
	2	0.0392	0.0477	-	-	0.0324
	3	0.0308	0.0409	-	-	0.0257
	4	-	0.0367	-	-	0.0238
	7	0.0260	0.0322	-	-	0.0192
10	1	0.0427	0.0538	0.0707	0.0258	0.0322
	2	0.0392	0.0494	0.0621	0.0237	0.0302
	3	0.0330	0.0431	0.0518	0.0213	0.0234
	4	0.0307	0.0409	-	0.0193	0.0213
	7	0.0258	0.0345	0.0323	0.0172	0.0192

เมื่อนำค่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันของสัปดาห์ มาหาค่าเฉลี่ยการ
 จับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคน พบว่า ไม่สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยได้
 เพราะในแต่ละสัปดาห์มีความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในวันแรกไม่เท่ากัน จึงทำ
 การแปลงข้อมูลในตารางที่ 8 ให้เป็นสัดส่วนปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจาก
 ได้รับรังสี ดังตารางที่ 9 โดยให้ความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ที่เวลา 1 วัน
 หลังจากได้รับรังสี ของทุกๆสัปดาห์เป็น 100% ส่วนวันอื่นๆในสัปดาห์ จะเทียบกับวันแรกของสัปดาห์
 นั้นๆ และทำเช่นเดียวกันกับผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคน ทำให้สามารถหาค่าเฉลี่ยสัดส่วนการจับถ่าย
 ไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคนได้ หลังจากนั้นหาค่าเฉลี่ยสัดส่วนการจับถ่าย
 ไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคนอีกครั้ง (ตารางที่ 10) โดยพบว่าที่ระยะเวลา 2 3
 4 และ 7 วันหลังจากได้รับรังสี มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะร้อยละ
 90.66 ± 3.52 76.85 ± 2.54 71.51 ± 3.97 และ 63.13 ± 4.32 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวันที่ 1 ของแต่ละสัปดาห์
 ดังภาพที่ 31

ตารางที่ 9 สัดส่วนปริมาณไอโอดีน-131 ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี

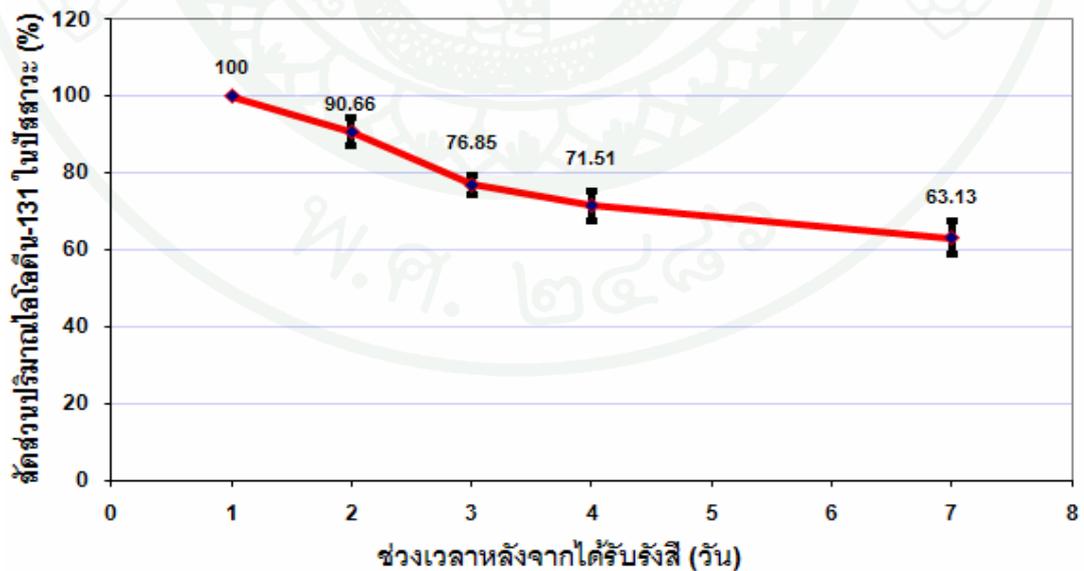
รหัส	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ร้อยละความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131					เฉลี่ยทุก สัปดาห์
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	
01	1	100.00	-	-	100.00	100.00	100.00
	2	95.36	-	-	88.83	91.34	91.85
	3	72.95	-	-	72.37	82.80	76.04
	4	80.17	-	-	61.59	78.58	73.45
	7	72.36	-	-	56.25	70.21	66.28
02	1	100.00	100.00	-	-	-	100.00
	2	97.30	96.91	-	-	-	97.11
	3	79.72	83.95	-	-	-	81.84
	4	75.85	76.30	-	-	-	76.07
	7	65.60	63.83	-	-	-	64.71
03	1	100.00	100.00	-	-	100.00	100.00
	2	98.97	85.88	-	-	87.79	90.88
	3	89.57	68.86	-	-	69.66	76.03
	4	84.33	62.13	-	-	64.54	70.34
	7	74.31	-	-	-	58.62	66.46
04	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	2	86.40	68.56	84.66	88.70	84.98	82.66
	3	90.82	62.37	76.73	76.71	69.38	75.20
	4	79.07	56.29	-	64.92	59.89	65.04
	7	62.26	52.67	58.86	58.92	49.89	56.52
05	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	2	86.44	86.62	89.30	95.32	92.24	89.98
	3	66.03	74.11	70.14	85.88	80.47	75.33
	4	64.05	68.68	-	66.77	76.80	69.08
	7	-	61.40	53.29	62.02	69.24	61.49

ตารางที่ 9 (ต่อ)

รหัส	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ร้อยละความเข้มข้นทางรังสีของไอโอดีน-131					เฉลี่ยทุก สัปดาห์
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	
06	1	100.00	100.00	100.00	-	100.00	100.00
	2	102.10	82.32	91.98	-	88.34	91.19
	3	75.81	68.02	84.71	-	84.17	78.18
	4	69.77	65.46	-	-	76.33	70.52
	7	64.05	60.70	-	-	72.29	65.68
07	1	-	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	2	-	89.95	87.64	93.94	90.59	90.53
	3	-	79.48	67.95	87.79	72.47	76.92
	4	-	76.49	-	81.89	67.69	75.35
	7	-	66.54	49.69	75.41	62.84	63.62
08	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	2	93.80	91.03	92.77	92.62	88.81	91.81
	3	81.66	79.92	83.12	79.49	72.02	79.24
	4	91.74	75.19	-	72.85	66.55	76.58
	7	79.86	63.33	-	66.23	-	69.81
09	1	100.00	100.00	-	-	100.00	100.00
	2	91.11	88.15	-	-	88.46	89.24
	3	71.59	75.55	-	-	70.23	72.46
	4	-	67.82	-	-	64.97	66.39
	7	60.34	59.40	-	-	52.59	57.44
10	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	2	91.83	91.83	87.85	91.80	93.70	91.40
	3	77.32	80.14	73.25	82.81	72.66	77.24
	4	71.97	75.97	-	74.98	66.24	72.29
	7	60.34	64.14	45.70	66.71	59.68	59.31

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีทุกคน

รหัส	ปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะ คิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับวันแรกของสัปดาห์				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	7 วัน
01	100.00	91.85	76.04	73.45	66.28
02	100.00	97.11	81.84	76.07	64.71
03	100.00	90.88	76.03	70.34	66.46
04	100.00	82.66	75.20	64.90	56.52
05	100.00	89.98	75.33	69.08	61.49
06	100.00	91.19	78.18	70.52	65.68
07	100.00	90.53	76.92	75.35	63.62
08	100.00	91.81	79.24	76.58	69.81
09	100.00	89.24	72.46	66.39	57.44
10	100.00	91.40	77.24	72.29	59.31
Mean	100.00	90.66	76.85	71.51	63.13
S.D.	0.00	3.52	2.54	3.97	4.32



ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนปริมาณไอโอดีน-131 ที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะในแต่ละวัน

3.3 ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสี

การหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสี โดยเทียบปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะปริมาตร 1 ml ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันจากตารางที่ 7 กับปริมาณปัสสาวะทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาในวันเดียวกัน ทำให้ได้ข้อมูลปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันหลังจากได้รับรังสี ดังตารางที่ 11 โดยผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสีไม่ได้มีแนวโน้มลดลงตามเวลาหลังจากได้รับรังสีที่เพิ่มขึ้นเสมอไป ซึ่งแตกต่างกับผลการทดลองที่ 3.2 เนื่องจากปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวัน จะขึ้นอยู่กับปริมาณปัสสาวะทั้งหมดที่ขับถ่ายออกมาในวันนั้น และเห็นได้ว่าปริมาณปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนในแต่ละวันมีความผันแปรแตกต่างกัน อีกทั้งไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าปริมาณปัสสาวะที่ผู้ปฏิบัติงานเก็บมาให้วันนั้นเป็นปริมาณปัสสาวะทั้งหมดจริง ส่งผลให้ในวันที่มีปริมาณปัสสาวะมากจะพบว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในวันนั้นมากตามไปด้วย ผลการทดลองที่ได้จึงแตกต่างกัน ซึ่งทั้งนี้ในทางปฏิบัติสามารถลดข้อผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างปัสสาวะได้ จากการประเมินหาปริมาณปัสสาวะที่แท้จริงที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย โดยหาปริมาณ creatinine ในปัสสาวะ (Guen et.al., 2000) หรือสามารถหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายทางปัสสาวะในแต่ละวันได้ โดยเทียบปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะกับค่าเฉลี่ยปริมาณปัสสาวะของแต่ละบุคคล (Marco et.al., 2008)

ตารางที่ 11 การจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีในแต่ละวัน

รหัส 01				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	1300	0.0684	88.89
	2	1350	0.0652	88.03
	3	1650	0.0499	82.31
	4	1170	0.0548	64.14
	7	720	0.0495	35.63
2	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	1450	0.0473	68.65
	2	1600	0.0421	67.29
	3	1400	0.0343	47.97
	4	1200	0.0292	34.99
	7	990	0.0266	26.37
5	1	1400	0.0637	89.12
	2	950	0.0581	55.24
	3	870	0.0527	45.86
	4	950	0.0500	47.52
	7	1150	0.0447	51.40

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 02				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	2015	0.0492	99.05
	2	1810	0.0478	86.57
	3	1750	0.0392	68.58
	4	2120	0.0373	79.04
	7	2260	0.0322	72.88
2	1	2250	0.0537	120.80
	2	2500	0.0520	130.08
	3	1520	0.0451	68.51
	4	2280	0.0410	93.39
	7	2790	0.0343	95.61
3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
5	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 03				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	1900	0.0492	93.56
	2	1960	0.0487	95.53
	3	2000	0.0441	88.22
	4	2020	0.0415	83.89
	7	2140	0.0366	78.31
2	1	1950	0.0622	121.31
	2	2100	0.0534	112.20
	3	2000	0.0428	85.67
	4	1970	0.0387	76.14
	7	-	-	-
3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
5	1	2000	0.0367	73.31
	2	2070	0.0322	66.61
	3	1980	0.0255	50.55
	4	2100	0.0237	49.68
	7	1900	0.0215	40.82

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 04				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	1750	0.0556	97.31
	2	1950	0.0480	93.68
	3	1320	0.0505	66.66
	4	1950	0.0440	85.73
	7	1600	0.0346	55.39
2	1	1700	0.0652	110.81
	2	1750	0.0447	78.21
	3	1970	0.0407	80.08
	4	2220	0.0367	81.45
	7	1880	0.0343	64.54
3	1	2000	0.0838	167.69
	2	2480	0.0710	176.03
	3	2340	0.0643	150.55
	4	-	-	-
	7	2400	0.0494	118.44
4	1	2500	0.0364	91.05
	2	2550	0.0323	82.39
	3	2000	0.0279	55.88
	4	2120	0.0236	50.13
	7	2400	0.0215	51.51
5	1	2450	0.0430	105.36
	2	2300	0.0365	84.05
	3	2200	0.0298	65.64
	4	2100	0.0258	54.08
	7	1970	0.0215	42.27

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 05				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	1200	0.0790	94.83
	2	1530	0.0683	104.51
	3	1770	0.0522	92.36
	4	1050	0.0506	53.15
	7	-	-	-
2	1	1250	0.0842	105.22
	2	1100	0.0729	80.21
	3	1260	0.0624	78.60
	4	1070	0.0578	61.86
	7	1400	0.0517	72.36
3	1	850	0.1005	85.47
	2	1420	0.0898	127.50
	3	980	0.0705	69.12
	4	-	-	-
	7	1020	0.0536	54.66
4	1	1400	0.0448	62.77
	2	1350	0.0427	57.69
	3	1450	0.0385	55.83
	4	1300	0.0299	38.92
	7	1200	0.0278	33.37
5	1	820	0.0557	45.68
	2	1500	0.0514	77.07
	3	980	0.0448	43.93
	4	1680	0.0428	71.88
	7	1350	0.0386	52.07

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 06				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	950	0.0812	77.11
	2	890	0.0829	73.76
	3	900	0.0615	55.38
	4	920	0.0566	52.11
	7	1670	0.0520	86.83
2	1	990	0.0885	87.58
	2	1000	0.0728	72.82
	3	1160	0.0602	69.80
	4	930	0.0579	53.85
	7	900	0.0537	48.33
3	1	1350	0.1138	153.62
	2	900	0.1047	94.20
	3	950	0.0964	91.57
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
5	1	1200	0.0535	64.17
	2	1100	0.0472	51.97
	3	1000	0.0450	45.01
	4	850	0.0408	34.70
	7	1000	0.0387	38.66

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 07				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาณปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
2	1	1800	0.0646	116.35
	2	1700	0.0581	98.84
	3	1970	0.0514	101.20
	4	1680	0.0494	83.06
	7	1770	0.0430	76.13
3	1	2700	0.0948	255.94
	2	1400	0.0831	116.31
	3	1700	0.0644	109.51
	4	-	-	-
	7	1800	0.0471	84.79
4	1	1840	0.0342	62.99
	2	1680	0.0322	54.03
	3	1750	0.0301	52.59
	4	1770	0.0280	49.62
	7	2200	0.0258	56.79
5	1	1900	0.0475	90.28
	2	1880	0.0430	80.92
	3	1900	0.0344	65.42
	4	1630	0.0322	52.42
	7	2200	0.0299	65.69

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 08				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	1900	0.0430	81.65
	2	1835	0.0403	73.98
	3	2100	0.0351	73.70
	4	2230	0.0394	87.92
	7	1960	0.0343	67.27
2	1	1545	0.0541	83.51
	2	1850	0.0492	91.03
	3	1320	0.0432	57.02
	4	1435	0.0406	58.32
	7	1800	0.0342	61.61
3	1	2000	0.0903	180.58
	2	2370	0.0838	198.53
	3	2100	0.0751	157.61
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	2340	0.0324	75.76
	2	1850	0.0300	55.47
	3	2650	0.0257	68.19
	4	2760	0.0236	65.09
	7	1950	0.0214	41.81
5	1	2300	0.0386	88.80
	2	2130	0.0343	73.04
	3	2550	0.0278	70.91
	4	2000	0.0257	51.40
	7	-	-	-

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 09				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	2200	0.0431	94.72
	2	1970	0.0392	77.27
	3	2220	0.0308	68.42
	4	-	-	-
	7	1850	0.0260	48.06
2	1	2130	0.0542	115.36
	2	2200	0.0477	105.03
	3	2400	0.0409	98.21
	4	2140	0.0367	78.60
	7	1800	0.0322	57.91
3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	7	-	-	-
5	1	2500	0.0366	91.48
	2	2470	0.0324	79.95
	3	2450	0.0257	62.95
	4	2300	0.0238	54.67
	7	2200	0.0192	42.33

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส 10				
สัปดาห์ที่	เวลาหลังจาก ได้รับรังสี (วัน)	ปริมาตรปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ml)	ปริมาณไอโอดีน-131 (Bq) ในปัสสาวะ	
			ต่อปริมาตร 1 ml	ต่อวัน
1	1	2000	0.0427	85.41
	2	1850	0.0392	72.55
	3	2000	0.0330	66.05
	4	2100	0.0307	64.55
	7	2040	0.0258	52.57
2	1	1850	0.0538	99.55
	2	2010	0.0494	99.33
	3	2200	0.0431	94.88
	4	2500	0.0409	102.21
	7	1440	0.0345	49.70
3	1	1850	0.0707	130.75
	2	2460	0.0621	152.74
	3	1970	0.0518	101.99
	4	-	-	-
	7	1910	0.0323	61.69
4	1	2600	0.0258	67.01
	2	2140	0.0237	50.63
	3	2540	0.0213	54.20
	4	2050	0.0193	39.61
	7	2500	0.0172	42.98
5	1	2030	0.0322	65.39
	2	2250	0.0302	67.90
	3	2500	0.0234	58.51
	4	2550	0.0213	54.40
	7	2400	0.0192	46.13

เมื่อรวมปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของสัปดาห์ (ตารางที่ 12) เปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายในสัปดาห์นั้นๆ (ตารางที่ 7) พบว่าปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์มีค่ามากกว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายในสัปดาห์นั้นๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจะต้องมีค่ามากกว่าปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมา ทำให้ทราบว่าผลการคำนวณปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจากค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง และเมื่อทำการสอบถามข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานรังสีเพิ่มเติมพบว่า ถึงแม้ว่าจะมีการติดตั้งเครื่องดูดอากาศภายในห้องผลิต แต่ตำแหน่งที่ติดตั้งนั้นวางอยู่คนละจุดกับตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนก็มีหน้าที่ในการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นในความเป็นจริงผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจะได้รับไอโอดีน-131 เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 ปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์

ผู้ปฏิบัติงานรังสี (รหัส)	ปริมาณไอโอดีน-131 รวมที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์ (Bq)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
01	359.00	-	-	245.28	289.12
02	406.13	508.39	-	-	-
03	439.51	395.31 ^a	-	-	280.98
04	398.77	415.09	612.72 ^a	330.96	351.40
05	344.85 ^a	398.24	336.74 ^a	248.59	290.62
06	345.20	332.37	339.39 ^a	-	234.52
07	-	475.58	566.55 ^a	276.02	354.72
08	384.52	351.50	536.71 ^a	306.31	284.14 ^a
09	288.47 ^a	455.11	-	-	331.39
10	341.12	445.66	447.17 ^a	254.43	292.33

หมายเหตุ a หมายถึง ปริมาณไอโอดีน-131 รวมในสัปดาห์ มาจากข้อมูลไม่ครบ 5 วัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี ด้วยระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3 นิ้ว × 3 นิ้ว สามารถสรุปผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. ระบบวัดรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3 นิ้ว × 3 นิ้ว ที่ใช้ มีประสิทธิภาพและความสามารถในการแยกแยะพลังงาน ในการวัดรังสีแกมมาของซีเซียม-137 ที่พลังงาน 661.62 keV เท่ากับ 0.42% และ 7.11% ตามลำดับ ซึ่งระบบวัดดังกล่าวมีความคงที่สูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของการวัดไม่เกิน 1.5%

2. สภาพที่เหมาะสมที่ทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพในการวัดไอโอดีน-131 ในปัสสาวะดีที่สุด คือ ใช้ปริมาตรปัสสาวะ 50 ml และเวลานับวัด 1,000 วินาที ทำให้หัววัดรังสี NaI(Tl) มีประสิทธิภาพการนับวัดเท่ากับ 0.94% โดยภายใต้สภาวะดังกล่าวปริมาณรังสีต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (MDA) มีค่า 2.88 Bq

3. การศึกษาการจับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายผู้ปฏิบัติงานรังสี พบว่า มีข้อมูลการจับถ่ายไอโอดีน-131 ลดลงตามเวลาหลังจากได้รับรังสีที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 7 วัน หลังจากได้รับรังสี มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะร้อยละ 90.66 ± 3.52 76.85 ± 2.54 71.51 ± 3.97 และ $63.13 \pm 4.32\%$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวันที่ 1 ของแต่ละสัปดาห์

4. จากผลรวมปริมาณไอโอดีน-131 ที่จับถ่ายออกมาในแต่ละสัปดาห์ที่มีค่ามากกว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายในสัปดาห์นั้นๆ ทำให้ทราบว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจากค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศ จะมีปริมาณน้อยกว่าความเป็นจริง

ผลการทดลองศึกษาการจับถ่ายของไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานรังสีในประเทศไทย สามารถนำแนวโน้มที่ได้ไปใช้ประกอบการประเมินความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานรังสีจากการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในปัสสาวะที่เวลาต่างๆ ภายหลังปฏิบัติงาน นอกจากนี้ข้อมูล

ดังกล่าวยังเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย สำหรับประชาชนทั่วไปในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวัดตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้เตรียมภาชนะอะคริลิกที่มีปริมาตรสารละลายไอโอดีน-131 4 ปริมาตร คือ 50 100 150 และ 200 ml โดยผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ภาชนะอะคริลิกที่มีปริมาตรสารละลายไอโอดีน-131 50 ml ทั้งนี้ควรทำการทดลองเตรียมภาชนะอะคริลิกที่มีปริมาตรสารละลายไอโอดีน-131 ต่ำกว่า 50 ml ซึ่งอาจทำให้หัววัดรังสีมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นอีก

2. การศึกษาการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสี

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเลือกศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะทางกายภาพ สุขภาพ และการดำรงชีวิตใกล้เคียงกัน และควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากกว่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทางสถิติสูง

2.2 การเก็บตัวอย่างปัสสาวะ

เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างปัสสาวะของแต่ละสัปดาห์ไม่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง จึงกินเวลานานถึง 3 เดือน ดังนั้นจึงควรออกแบบแบบสอบถามที่ใช้เก็บข้อมูลในการทดลองให้ครอบคลุมในทุกๆสัปดาห์ที่มีการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดลองได้ถูกต้องมากที่สุด

2.3 การตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake)

ในการศึกษาครั้งนี้คำนวณปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจากค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศ โดยใช้เครื่องดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่กับที่ และวางอยู่คนละจุดกับตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ทำให้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการคำนวณปริมาณไอโอดีน-131 ที่เข้าสู่ร่างกายจึงควรประเมินจากค่าปริมาณรังสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศที่ได้จากเครื่อง personal air samplers (PASs) ที่ติดตั้งไว้ประจำตัวผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนแทนเครื่องดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่กับที่ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ

2.4 การหาปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันของผู้ปฏิบัติงานรังสี

ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ขับถ่ายออกมาในแต่ละวันจะแปรผันตามปริมาณปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมาในวันนั้น ซึ่งไม่สามารถทราบได้ว่า ปริมาณปัสสาวะที่ได้ในแต่ละวันเป็นปริมาณที่ผู้ปฏิบัติงานขับถ่ายออกมาอย่างแท้จริง เนื่องจากปริมาณประจำวันมีความผันแปรต่างกัน จึงควรคำนวณหาปริมาณปัสสาวะที่ถูกต้อง โดยการตรวจวัดปริมาณ creatinine ในปัสสาวะ เพื่อประเมินปริมาณปัสสาวะของแต่ละบุคคลจากค่าปริมาณ creatinine มาตรฐาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จิราภรณ์ โตเจริญชัย และภาวนา ภู่อสุวรรณ. 2545. เทคโนโลยีทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ฉบับแก้ไขปรับปรุง. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.
- คารุณี พิขุนทด. 2552. การตรวจวัดและประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.
- ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ. 2548. การสอบเทียบประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงชนิดเพนนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2536. เทคนิคการวัดรังสี. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิลาวรรณ วงศ์สิงห์. 2540. การใช้เครื่องมือวัดรังสีแบบเรืองแสง NaI(Tl) เพื่อวัดโดสการแผยของรังสีแกมมาที่มีความแรงต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, สถาบันราชภัฏเชียงใหม่.
- รพี อาภย์. 2540. การศึกษาประสิทธิภาพของหัววัดแบบ G.M. โดยใช้ไนโคลด์กัมมันตรังสีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการเป็นตัวสอบเทียบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, สถาบันราชภัฏเชียงใหม่.
- วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล. 2551. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของข้อมูลที่มีการแจกแจงอินเวอร์สเกาส์เซียน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 16(1): 53-58.
- วิรุฬ มังคละวิรัช และ สุวิทย์ ปุณช์ชัยะ. 2536. รายงานอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง.
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). 2551. ประวัติศูนย์ไอโซโทปรังสี. แหล่งที่มา: <http://www.tint.or.th/isotope>, 27 มกราคม 2553.

สุชิน อุดมสมพร และ วุฒิเดช ทรฤทธิ. 2550. การหาค่าเวลานับวัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดซีเซียม-137 ปริมาณน้อยในตัวอย่างนมผงและข้าวหนึ่งด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรสโกปี. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศลิษฐ์ ครั้งที่ 10. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2551. การประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย ใน การป้องกันอันตรายจากรังสีระดับ 2.

Ahmet, C. 2008. An approximation for response function to g-rays of NaI(Tl) detectors up to 1.5 MeV. **Appl. Radiat. Isot.** 66: 1371–1376.

Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). 2003. **Radiobioassay Protocols for Responding to Abnormal Intake of Radionuclides. G-147.** Canada.

Carbaugh, E.H., D.E. Bihl and J.A. MacLellan. 2003. **Methods and Models of the Hanford Internal Dosimetry Program. PNNL-MA-860.** Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Washington.

Elane Streets, W. 1994. Development of self-absorption coefficients for the determination of gamma-emitting radionuclides in environmental and mixed waste samples. **Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A.** 353: 702-705.

Gilmore, G. and J.D. Hemingway. 2004. **Practical Gamma-Ray Spectrometry.** 1995 JohnWiley & Sons Ltd., West Sussex, England.

Guen B.L., L. Exmelin, P. Berard, J.L. Malarbet and P. Royer. 2000. Assessment of iodine in the diet of people living around a nuclear reprocessing plant: Dose-related consequences of an intake of ¹²⁹I. **J. Radio anal. Chem.** 243(2): 507-512

Insanullah, J., A.A. Rauf and M.A. Atta. 1999. Method for the determination of ^{131}I in urine. **J. Radio anal. Chem.** 240: 293-296.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 1999. Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides. **SAFETY GUIDE No. RS-G-1.2.** IAEA, Vienna.

_____. 2004. Practical Radiation Technical Manual: Individual Monitoring. **IAEA PRTM-2.1.** IAEA, Vienna.

_____. 2005. **Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency.** IAEA, Vienna.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1983. Radionuclide Transformations: Energy and Intensity of Emissions. **Publication No. 38.** Pergamon Press, Oxford, New York.

_____. 1988. Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation. **Publication 54.** Pergamon Press, Oxford, New York.

_____. 1997. Individual Monitoring for International Exposure of Workers. **Publication No. 78.** Pergamon Press, Oxford, New York.

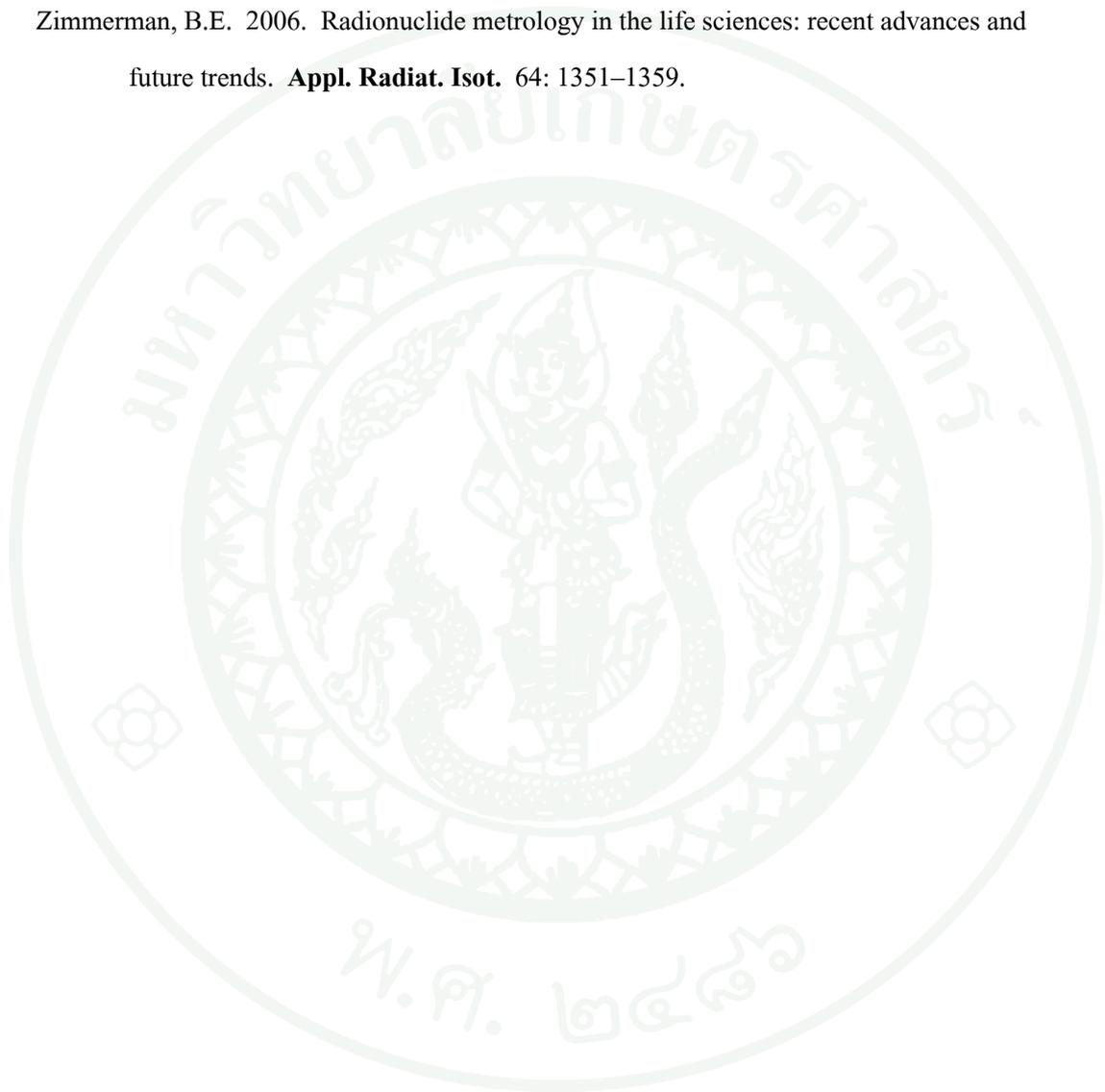
Jang, M., H.K. Kim, C.W. Choi and C.S. Kang. 2008. Age-dependent potassium iodide effect on the thyroid irradiation by ^{131}I and ^{133}I in the nuclear emergency. **Radiat. Prot. Dosim.** 130(4): 499-502.

Kawasaki, K., A. Mihara and M. Yoshida. 2004. Determination of Detection Efficiency Curves of HPGe Detectors on Radioactivity Measurement of Volume Examples. **Appl. Radiat. Isot.** 61: 1383-1390.

- Knoll, G.F. 2000. **Rad. Detect & Measure**. 3rd edition. Wiley, New York.
- Lewellen, T. 2008. Radiation detection and measurement. **Rad. Detect & Measure**.
- Lopez Ponte, M.A., C.M. Castellani, L. Currivan, R. Falk, P. Olko and C. Wernli. 2004. Individual monitoring for internal exposure in Europe and the integration of dosimetric data. **Radiat. Prot. Dosim.** Vol. 112(1): 69–119.
- L'Annunziata, M.F. 1998. Solid Scintillation Analysis, pp. 507-599. *in* M.F. L'Annunziata, ed. **Radioactivity Analysis**. Academic press, California, USA.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). 1987. Use of bioassay procedures for assessment of internal radionuclide deposition. **NCRP rep. 87**. Bethesda.
- Nuclear Instrumentation & Medical. 2009. **Digital Air Monitoring System**. Available Source: <http://nim2009.com/nim>, May 24, 2010.
- Perez-Andujara, A. and L. Pibidab. 2004. Performance of CdTe, HPGe and NaI(Tl) detectors for radioactivity measurements. **Appl. Radiat. Isot.** 60: 41–47.
- Sahagia, M., A.C. Razdolescu, C. Ivan and A. Luca. 2008. Assurance of the traceability chain for ¹³¹I measurement. **Appl. Radiat. Isot.** 66: 539-544.
- Saxena, K.M., E.M. Chapman and C.V. Pryles. 1962. Minimal dosage of Iodide required to suppress uptake of Iodine-131 by normal thyroid. **Sci.** 138: 430-431.
- Taylor, G.A. 2000. **The Evolution of Internal Dosimetry Bioassay Methods at the Savannah River Site**. Westinghouse Savannah River Company, Aiken, South Carolina.

Vidal, M.V.S., A.L.A. Dantas and B.M. Dantas. 2007. A methodology for auto-monitoring of internal contamination by ^{131}I in nuclear medicine workers. **Radiat. Prot. Dosim.** 125: 483-487.

Zimmerman, B.E. 2006. Radionuclide metrology in the life sciences: recent advances and future trends. **Appl. Radiat. Isot.** 64: 1351–1359.







ภาคผนวก ก
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

โครงการวิจัย: การศึกษาอัตราการจับถ่ายสารกัมมันตรังสีออกจากร่างกายของคนไทย

จุดประสงค์ของการวิจัย:

1. เพื่อตรวจวัดปริมาณรังสีของไอโอดีน-131 ในน้ำปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีที่ระยะเวลาต่างๆ ภายหลังจากปฏิบัติงาน
2. เพื่อศึกษาอัตราการจับถ่ายสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย:

1. กลุ่มตัวอย่าง

1.1 ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีที่ปฏิบัติงานกับไอโอดีน-131 ณ กองผลิตไอโซโทปของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

1.2 ผู้ที่ไม่ได้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี และไม่มีประวัติรับการรักษาด้วยรังสี

2. วิธีการศึกษาวิจัย

2.1 ประเมินปริมาณไอโอดีน-131 ที่ฟุ้งกระจายในอากาศ ที่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับเข้าสู่ร่างกาย

2.2 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี หลังจากปฏิบัติงาน โดยในช่วง 24 ชั่วโมงแรก จะทำการเก็บตัวอย่างทุกครั้งที่มีการขับถ่ายพร้อมจดบันทึกเวลาที่ขับถ่าย และเก็บตัวอย่างหลังจากปฏิบัติงานแล้ว 2, 3, 4 และ 7 วัน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างรวมตลอดทั้งวัน ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำปัสสาวะ

ระยะเวลาหลังจากได้รับรังสี (วัน)	การเก็บตัวอย่าง
1	ทุกครั้งที่มีการขับปัสสาวะ
2	เก็บปัสสาวะรวมตลอดทั้งวัน
3	เก็บปัสสาวะรวมตลอดทั้งวัน
4	เก็บปัสสาวะรวมตลอดทั้งวัน
7	เก็บปัสสาวะรวมตลอดทั้งวัน

2.3 การเก็บตัวอย่างน้ำปัสสาวะของผู้ที่ไม่ได้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี ทำการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี

3. วิธีวัดผลการวิจัย

3.1 ตรวจสอบปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำปัสสาวะของทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ภายหลังจากปฏิบัติงาน

3.2 สร้างกราฟอัตราการจับถ่ายไอโอดีน-131 ของแต่ละบุคคล โดยให้แกน Y เป็นปริมาณไอโอดีน-131 ในน้ำปัสสาวะ (เทียบกับค่ามาตรฐานในการจับถ่ายไอโอดีน-131 ที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับเข้าสู่ร่างกายทางกายหายใจ ใน ICRP 78) และให้แกน X เป็นระยะเวลาต่างๆภายหลังจากปฏิบัติงาน

3.3 หาค่าเฉลี่ยอัตราการจับถ่ายไอโอดีน-131 ของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีทุกคน (จากข้อ 3.2) เพื่อสร้างเป็นกราฟอัตราการจับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีในประเทศไทย ระยะเวลาทำการวิจัย: ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึง เดือนมีนาคม 2553

ค่าตอบแทน: ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าตอบแทนสำหรับการเก็บตัวอย่างเป็นจำนวนเงิน 700 บาทต่อคนต่อระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 7 วัน

แนวทางการรักษาความลับ: ข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกเก็บรักษาไว้เป็นความลับเฉพาะของงานวิจัยนี้ รวมทั้งการวิเคราะห์และเขียนรายงานการวิจัยดังกล่าว จะไม่ระบุหรืออ้างอิงกลุ่มตัวอย่างผู้ให้ข้อมูลหรือผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้

นโยบายการเปิดเผยผลการศึกษา: ผลการศึกษาของกลุ่มตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้ อาจเปิดเผยให้กับกลุ่มงานประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย หรือหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อประโยชน์ของงานวิจัยต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ: ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการประเมินปริมาณไอโอดีน-131 ที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ จากการตรวจวัดไอโอดีน-131 ในน้ำปัสสาวะผู้ปฏิบัติงาน

หมายเหตุ: หากผู้เข้าร่วมการวิจัยนี้ มีข้อสงสัยใดๆ สามารถติดต่อกับผู้วิจัยได้ตลอดเวลาตามชื่อ สถานที่ และเบอร์โทรศัพท์ข้างล่างนี้

นักวิจัยที่รับผิดชอบ: คุณดารุณี พิขุนทด

โทรศัพท์: 081-7788-588

ผู้วิจัยหลัก: นายโสวุฒิ ทองประจวบโชค (ปลัด)

โทรศัพท์: 081-4422-048

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. วันวิสา สุกประเสริฐ

โทรศัพท์: 081-9892-902

ข้อมูลผู้เข้าร่วมการวิจัย

1. ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ-สกุล ชื่อเล่น รหัส

อายุ ปี เพศ ส่วนสูง เซนติเมตร น้ำหนัก กิโลกรัม

เชื้อชาติ สัญชาติ เบอร์โทรศัพท์

ที่อยู่

สถานที่ทำงาน ระยะเวลาทำงานในหน่วยงาน ปี

2. การใช้ยา/สารเสพติด

การเสพยา ไม่เคย เคย

การใช้ยาแก้ปวด ไม่ใช้ ใช้ ชนิด ปริมาณ ระยะเวลา ปี

การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ไม่ดื่ม ดื่ม ปริมาณ แก้ว/วัน ระยะเวลา ปี

การสูบบุหรี่ ไม่สูบ สูบ ปริมาณ มวน/วัน ระยะเวลา ปี

การดื่มชาหรือกาแฟ ไม่ดื่ม ดื่ม ปริมาณ แก้ว/วัน ระยะเวลา ปี

อื่นๆ (ระบุชนิด ปริมาณ และระยะเวลา)

3. การบริโภคอาหาร

อาหารทะเล ไม่บริโภค

บริโภคนานๆครั้งหรือไม่ค่อยบริโภค

บริโภค 1-2 มื้อ/สัปดาห์

บริโภค 3-5 มื้อ/สัปดาห์

บริโภค 6-10 มื้อ/สัปดาห์

บริโภคทุกวัน

อาหารประเภทไข่ ไม่บริโภค

บริโภคนานๆครั้งหรือไม่ค่อยบริโภค

บริโภค 1-2 มื้อ/สัปดาห์

บริโภค 3-5 มื้อ/สัปดาห์

บริโภค 6-10 มื้อ/สัปดาห์

บริโภคทุกวัน

4. ประวัติการเจ็บป่วยหรือการปรากฏโรคทั้งในอดีตและปัจจุบัน

อดีต

ปัจจุบัน

โรคเกี่ยวกับต่อมไทรอยด์

5. การตรวจวินิจฉัยหรือการรักษาโรคด้วยเทคนิคทางรังสี (ระบุเทคนิค ส่วนของร่างกาย และช่วงเวลา
ที่ทำการตรวจวินิจฉัยหรือการรักษาโรคด้วยเทคนิคทางรังสี)

.....

.....

6. หน้าที่ในการปฏิบัติงานกับรังสี (โปรตระบุนหน้าที่ และวิธีปฏิบัติงาน)

.....

.....

.....

.....

7. ความแรงปริมาณรังสีที่ปฏิบัติงานประมาณ Ci

8. ปริมาณรังสีสะสมที่ได้รับจากการปฏิบัติงานย้อนหลัง 5 ปี

ปี พ.ศ.	ปริมาณรังสีที่ได้รับ (mSv/y)	
	ภายนอกร่างกาย (Hp ₁₀)	ภายในร่างกาย (CEDE)
2548		
2549		
2550		
2551		
2552		
เฉลี่ย 5 ปี		

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ชื่อ โครงการวิจัย: การศึกษาอัตราการขับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีในประเทศไทย

รหัสผู้เข้าร่วมการวิจัย:

ข้าพเจ้า มีความประสงค์เข้าร่วมโครงการวิจัย การศึกษาอัตราการขับถ่ายไอโอดีน-131 ออกจากร่างกายของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีในประเทศไทย ข้าพเจ้าได้อ่านและทำความเข้าใจในวัตถุประสงค์การวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย รวมถึงรายละเอียดต่างๆของงานวิจัยนี้ตามเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้าพเจ้ายินดีให้ข้อมูลของข้าพเจ้าแก่ผู้วิจัย เพื่อเป็นประโยชน์ในการการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และจะปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ได้ระบุไว้แล้วข้างต้น

.....
สถานที่/วันที่

.....
()

ลงนามผู้เข้าร่วมการวิจัย

.....
สถานที่/วันที่

.....
(นาง ดารุณี พิขุนทด)

ลงนามนักวิจัยที่รับผิดชอบ

.....
สถานที่/วันที่

.....
(นาย โสวุฒิ ทองประจวบโชค)

ลงนามผู้วิจัยหลัก

.....
สถานที่/วันที่

.....
(ผศ. ดร. วันวิสา สุกประเสริฐ)

ลงนามอาจารย์ที่ปรึกษา

รายละเอียดการปฏิบัติงานในสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง

ชื่อ-สกุล

วันที่เก็บตัวอย่าง วันที่ ถึง

ตารางบันทึกการปฏิบัติงาน

วันที่	รายละเอียดการปฏิบัติงานที่ เกี่ยวข้องกับรังสี	ระยะเวลาที่ ปฏิบัติงาน	หมายเหตุ
จันทร์			
อังคาร			
พุธ			
พฤหัสบดี			
ศุกร์			



ตารางผนวกที่ ข1 ค่าการฟุ้งกระจายของไอโอดีน-131 ในอากาศและระยะเวลาปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานรังสี

รหัส	วันที่	การฟุ้งกระจาย (Bq/m ³)	เวลา	เวลาปฏิบัติงาน (hr)
01	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	-	0
	21 ธ.ค. 52	31.83	-	0
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
02	9 พ.ย. 52	12.29	8.30-17.30	9
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	-	0
	11 ม.ค. 53	9.02	-	0
	18 ม.ค. 53	9.95	-	0
03	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	-	0
	11 ม.ค. 53	9.02	-	0
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
04	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.30	8.5
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
05	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8

ตารางผนวกที่ ๗1 (ต่อ)

รหัส	วันที่	การฟุ้งกระจาย (Bq/m ³)	เวลา	เวลาปฏิบัติงาน (hr)
06	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	-	0
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
07	9 พ.ย. 52	12.29	-	0
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
08	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
09	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	-	0
	11 ม.ค. 53	9.02	-	0
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8
10	9 พ.ย. 52	12.29	9.00-17.00	8
	14 ธ.ค. 52	16.85	9.00-16.00	7
	21 ธ.ค. 52	31.83	9.00-18.00	9
	11 ม.ค. 53	9.02	9.00-17.00	8
	18 ม.ค. 53	9.95	9.00-17.00	8

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลการปฏิบัติงานและการจับจ่ายของผู้ปฏิบัติงานรังสีแต่ละคน

รหัส 01				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีสภาวะ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ผลิตไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	1300
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	1350
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	1650
	12 พ.ย. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	13 พ.ย. 52	1170
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	720
2	14 ธ.ค. 52	-	15 ธ.ค. 52	-
	15 ธ.ค. 52	-	16 ธ.ค. 52	-
	16 ธ.ค. 52	-	17 ธ.ค. 52	-
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	-
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	-
3	21 ธ.ค. 52	-	22 ธ.ค. 52	-
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	-
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	-
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	12 ม.ค. 53	1450
	12 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	13 ม.ค. 53	1600
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	1400
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	1200
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	990
5	18 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	1400
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	950
	20 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	21 ม.ค. 53	870
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	950
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	1150

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 02				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีสภาวะ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ช่วยผลิต	10 พ.ย. 52	2015
	10 พ.ย. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	11 พ.ย. 52	1810
	11 พ.ย. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	12 พ.ย. 52	1750
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	2120
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	2260
2	14 ธ.ค. 52	ช่วยผลิต	15 ธ.ค. 52	2250
	15 ธ.ค. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	16 ธ.ค. 52	2500
	16 ธ.ค. 52	เก็บขยะรังสี	17 ธ.ค. 52	1520
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	2280
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	2790
3	21 ธ.ค. 52	-	22 ธ.ค. 52	-
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	-
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	-
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	-	12 ม.ค. 53	-
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	-
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	-
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	-
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	-
5	18 ม.ค. 53	-	19 ม.ค. 53	-
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	-
	20 ม.ค. 53	-	21 ม.ค. 53	-
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	-
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	-

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 03				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีศาจ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	แพ็คไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	1900
	10 พ.ย. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	11 พ.ย. 52	1960
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	2000
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	2020
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	2140
2	14 ธ.ค. 52	แพ็คไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1950
	15 ธ.ค. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	16 ธ.ค. 52	2100
	16 ธ.ค. 52	-	17 ธ.ค. 52	2000
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	1970
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	-
3	21 ธ.ค. 52	-	22 ธ.ค. 52	-
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	-
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	-
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	-	12 ม.ค. 53	-
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	-
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	-
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	-
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	-
5	18 ม.ค. 53	แพ็คไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	2000
	19 ม.ค. 53	จัดส่งไอโอดีน-131	20 ม.ค. 53	2070
	20 ม.ค. 53	-	21 ม.ค. 53	1980
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	2100
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	1900

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 04				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีสภาวะ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ผลิตไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	1750
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	1950
	11 พ.ย. 52	ย้ายของในตู้ผลิตเก่า	12 พ.ย. 52	1320
	12 พ.ย. 52	แยกขยะรังสี	13 พ.ย. 52	1950
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	1600
2	14 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1700
	15 ธ.ค. 52	-	16 ธ.ค. 52	1750
	16 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	17 ธ.ค. 52	1970
	17 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	18 ธ.ค. 52	2220
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1880
3	21 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	22 ธ.ค. 52	2000
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	2480
	23 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	24 ธ.ค. 52	2340
	24 ธ.ค. 52	ซ่อมมือกลในตู้ผลิต	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	2400
4	11 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	12 ม.ค. 53	2500
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	2550
	13 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	14 ม.ค. 53	2000
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	2120
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	2400
5	18 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	2450
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	2300
	20 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	21 ม.ค. 53	2200
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	2100
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	1970

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 05				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีศาจ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ผลิตไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	1200
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	1530
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	1770
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	1050
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	-
2	14 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1250
	15 ธ.ค. 52	-	16 ธ.ค. 52	1100
	16 ธ.ค. 52	-	17 ธ.ค. 52	1260
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	1070
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1400
3	21 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	22 ธ.ค. 52	850
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	1420
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	980
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	1020
4	11 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	12 ม.ค. 53	1400
	12 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	13 ม.ค. 53	1350
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	1450
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	1300
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	1200
5	18 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	820
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	1500
	20 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	21 ม.ค. 53	980
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	1680
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	1350

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 06				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีศาจ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ช่วยผลิตไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	950
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	890
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	900
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	920
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	1670
2	14 ธ.ค. 52	ช่วยผลิตไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	990
	15 ธ.ค. 52	-	16 ธ.ค. 52	1000
	16 ธ.ค. 52	-	17 ธ.ค. 52	1160
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	930
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	900
3	21 ธ.ค. 52	ช่วยผลิตไอโอดีน-131	22 ธ.ค. 52	1350
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	900
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	950
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	-	12 ม.ค. 53	-
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	-
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	-
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	-
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	-
5	18 ม.ค. 53	ช่วยผลิตไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	1200
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	1100
	20 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	21 ม.ค. 53	1000
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	850
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	1000

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 07				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีศาจ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	-	10 พ.ย. 52	-
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	-
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	-
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	-
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	-
2	14 ธ.ค. 52	แพ็คไอ โอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1800
	15 ธ.ค. 52	ล้างกระปุก	16 ธ.ค. 52	1700
	16 ธ.ค. 52	ล้างกระปุก	17 ธ.ค. 52	1970
	17 ธ.ค. 52	เก็บกระปุก	18 ธ.ค. 52	1680
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1770
3	21 ธ.ค. 52	แพ็คไอ โอดีน-131	22 ธ.ค. 52	2700
	22 ธ.ค. 52	ล้างกระปุก	23 ธ.ค. 52	1400
	23 ธ.ค. 52	ล้างกระปุก	24 ธ.ค. 52	1700
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	1800
4	11 ม.ค. 53	แพ็คไอ โอดีน-131	12 ม.ค. 53	1840
	12 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	13 ม.ค. 53	1680
	13 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	14 ม.ค. 53	1750
	14 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	15 ม.ค. 53	1770
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	2200
5	18 ม.ค. 53	แพ็คไอ โอดีน-131	19 ม.ค. 53	1900
	19 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	20 ม.ค. 53	1880
	20 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	21 ม.ค. 53	1900
	21 ม.ค. 53	ล้างกระปุก	22 ม.ค. 53	1630
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	2200

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 08				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปีศาจ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	ผลิตไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	1900
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	1835
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	2100
	12 พ.ย. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	13 พ.ย. 52	2230
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	1960
2	14 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1545
	15 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	16 ธ.ค. 52	1850
	16 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	17 ธ.ค. 52	1320
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	1435
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1800
3	21 ธ.ค. 52	ผลิตไอโอดีน-131	22 ธ.ค. 52	2000
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	2370
	23 ธ.ค. 52	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	24 ธ.ค. 52	2100
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	12 ม.ค. 53	2340
	12 ม.ค. 53	ผลิตสารประกอบไอโอดีน-131	13 ม.ค. 53	1850
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	2650
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	2760
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	1950
5	18 ม.ค. 53	ผลิตไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	2300
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	2130
	20 ม.ค. 53	-	21 ม.ค. 53	2550
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	2000
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	-

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 09				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปัสสาวะ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	แพ็คไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	2200
	10 พ.ย. 52	-	11 พ.ย. 52	1970
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	2220
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	-
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	1850
2	14 ธ.ค. 52	แพ็คไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	2130
	15 ธ.ค. 52	-	16 ธ.ค. 52	2200
	16 ธ.ค. 52	-	17 ธ.ค. 52	2400
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	2140
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1800
3	21 ธ.ค. 52	-	22 ธ.ค. 52	-
	22 ธ.ค. 52	-	23 ธ.ค. 52	-
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	-
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	-
4	11 ม.ค. 53	-	12 ม.ค. 53	-
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	-
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	-
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	-
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	-
5	18 ม.ค. 53	แพ็คไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	2500
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	2470
	20 ม.ค. 53	-	21 ม.ค. 53	2450
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	2300
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	2200

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

รหัส 10				
สัปดาห์ที่	การปฏิบัติงาน		ปริมาณปัสสาวะ	
	วันที่	หน้าที่	วันที่	ปริมาณ (ml)
1	9 พ.ย. 52	แพ็คไอโอดีน-131	10 พ.ย. 52	2000
	10 พ.ย. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	11 พ.ย. 52	1850
	11 พ.ย. 52	-	12 พ.ย. 52	2000
	12 พ.ย. 52	-	13 พ.ย. 52	2100
	15 พ.ย. 52	-	16 พ.ย. 52	2040
2	14 ธ.ค. 52	แพ็คไอโอดีน-131	15 ธ.ค. 52	1850
	15 ธ.ค. 52	แพ็คสารประกอบไอโอดีน-131	16 ธ.ค. 52	2010
	16 ธ.ค. 52	แพ็คสารประกอบไอโอดีน-131	17 ธ.ค. 52	2200
	17 ธ.ค. 52	-	18 ธ.ค. 52	2500
	20 ธ.ค. 52	-	21 ธ.ค. 52	1440
3	21 ธ.ค. 52	แพ็คไอโอดีน-131	22 ธ.ค. 52	1850
	22 ธ.ค. 52	จัดส่งไอโอดีน-131	23 ธ.ค. 52	2460
	23 ธ.ค. 52	-	24 ธ.ค. 52	1970
	24 ธ.ค. 52	-	25 ธ.ค. 52	-
	27 ธ.ค. 52	-	28 ธ.ค. 52	1910
4	11 ม.ค. 53	ช่วยผลิตไอโอดีน-131	12 ม.ค. 53	2600
	12 ม.ค. 53	-	13 ม.ค. 53	2140
	13 ม.ค. 53	-	14 ม.ค. 53	2540
	14 ม.ค. 53	-	15 ม.ค. 53	2050
	17 ม.ค. 53	-	18 ม.ค. 53	2500
5	18 ม.ค. 53	แพ็คไอโอดีน-131	19 ม.ค. 53	2030
	19 ม.ค. 53	-	20 ม.ค. 53	2250
	20 ม.ค. 53	-	21 ม.ค. 53	2500
	21 ม.ค. 53	-	22 ม.ค. 53	2550
	24 ม.ค. 53	-	25 ม.ค. 53	2400



ภาคผนวก ค
ภาพและตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ค3 สารรังสีต่างๆในต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424

Nuclide	Gamma Energy (keV)	Activity (dps)	Half-life (day)	Gamma emission (%)
Americium-241	57.89	3,320	158,000.00	35.78
Cadmium-109	88.04	12,800	461.40	3.63
Cerium-139	169.39	379	137.64	79.9
Tin-113	398.46	1,120	115.09	64.97
Strontium-85	519.68	720	64.85	98.5
Caesium-137	668.30	2,640	10,976.00	84.99
Yttrium-88	900.91	2,250	106.63	93.9
Cobalt-60	1,165.67	3,000	1,925.20	99.85
Cobalt-60	1,320.78	3,000	1,925.20	99.98
Yttrium-88	1,799.24	2,250	106.63	99.32

ตารางผนวกที่ ค4 ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี NaI(Tl) ของการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน SH 424

สารรังสี	Channel No.	Gamma Energy (keV)	Activity จากเครื่อง ¹ (cps)	Activity เริ่มต้น ² (dps)	Efficiency (%)
Americium-241	58	57.89	50.51	3320	4.25
Cadmium-109	84	88.04	32.03	12800	6.89
Cerium-139	152	169.39	18.78	379	6.20
Tin-113	340	398.46	11.22	1120	1.54
Strontium-85	444	519.68	7.60	720	1.07
Caesium-137	568	668.30	11.07	2640	0.49
Yttrium-88	759	900.91	6.97	2250	0.33
Cobalt-60	985	1165.67	5.10	3000	0.17
Cobalt-60	1107	1320.78	4.40	3000	0.15
Yttrium-88	1502	1799.24	2.08	2250	0.09

หมายเหตุ 1 = Activity จากเครื่องวันที่ 3 ก.พ. 53

2 = Activity เริ่มต้นวันที่ 1 พ.ย. 52

ตารางผนวกที่ ค5 ประสิทธิภาพหัววัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ที่ปริมาตร
ต่าง ๆ กัน

ปริมาตร (ml)	Activity ณ เวลาวัด (dps)	Activity จากเครื่อง (cps)	ประสิทธิภาพ (%)	เฉลี่ย	S.D.
50	42.74	0.3933	0.9203	0.9189	0.0033
	42.70	0.3933	0.9212		
	42.62	0.3900	0.9151		
100	85.50	0.6133	0.7174	0.7121	0.0059
	85.07	0.6067	0.7131		
	85.01	0.6000	0.7058		
150	128.07	0.7117	0.5557	0.5590	0.0079
	127.44	0.7050	0.5532		
	127.35	0.7233	0.5680		
200	170.64	0.7417	0.4346	0.4447	0.0101
	169.26	0.7700	0.4549		
	169.14	0.7517	0.4444		

ตารางผนวกที่ ค6 ประสิทธิภาพหัววัดรังสีที่ได้จากการวัดสารละลายไอโอดีน-131 ปริมาตร 50 ml
ที่เวลาแตกต่างกัน

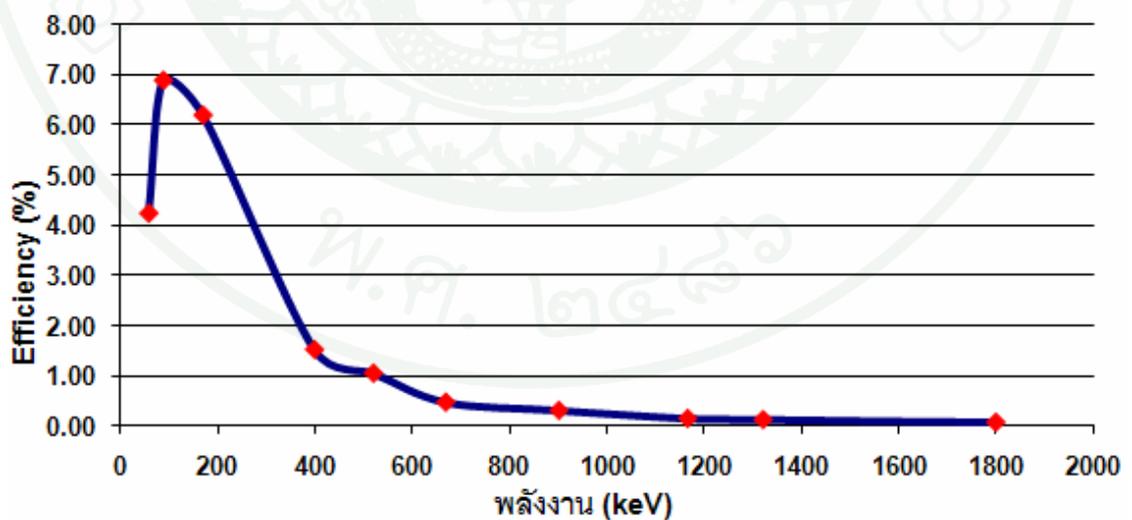
เวลานับวัด (s)	Activity ณ เวลาวัด (dps)	Activity จากเครื่อง (cps)	ประสิทธิภาพ (%)	เฉลี่ย (%)	S.D.
600	42.74	0.3933	0.9203	0.9189	0.0033
	42.70	0.3933	0.9212		
	42.62	0.3900	0.9151		
700	39.98	0.3671	0.9183	0.9254	0.0176
	39.92	0.3643	0.9125		
	39.74	0.3757	0.9455		

ตารางผนวกที่ ค6 (ต่อ)

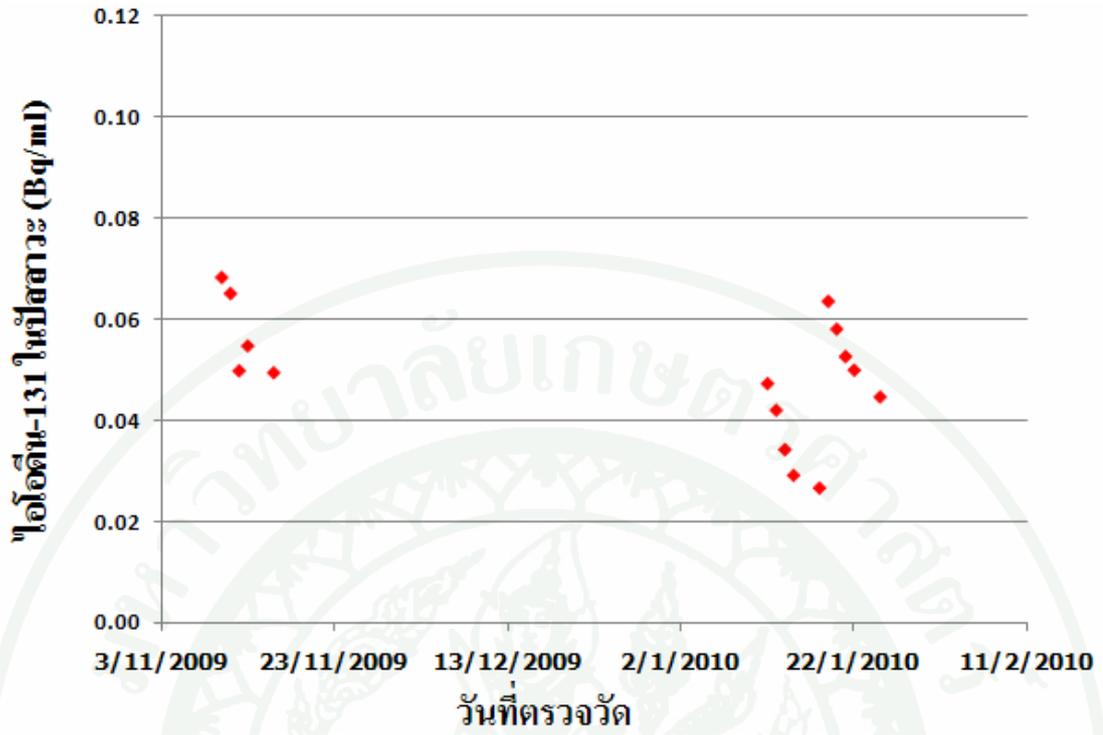
เวลานับวัด (s)	Activity ณ เวลาวัด (dps)	Activity จากเครื่อง (cps)	ประสิทธิภาพ (%)	เฉลี่ย (%)	S.D.
800	42.27	0.3988	0.9433	0.9312	0.0126
	42.24	0.3938	0.9322		
	42.20	0.3875	0.9182		
900	41.92	0.3922	0.9357	0.9348	0.0032
	41.88	0.3900	0.9312		
	41.84	0.3922	0.9375		
1000	42.90	0.4030	0.9394	0.9348	0.0040
	42.16	0.3930	0.9321		
	42.12	0.3930	0.9330		
1100	39.79	0.3709	0.9322	0.9332	0.0030
	39.51	0.3700	0.9365		
	39.46	0.3673	0.9308		
1200	42.08	0.3950	0.9387	0.9319	0.0068
	42.03	0.3917	0.9319		
	41.97	0.3883	0.9252		
1300	40.10	0.3738	0.9323	0.9319	0.0023
	39.62	0.3700	0.9339		
	39.56	0.3677	0.9294		
1400	42.44	0.3936	0.9273	0.9306	0.0099
	41.80	0.3857	0.9228		
	39.89	0.3757	0.9418		
1500	39.71	0.3713	0.9352	0.9304	0.0059
	39.40	0.3640	0.9238		
	39.33	0.3667	0.9322		

ตารางผนวกที่ ๓7 ค่า MSA และMDA ที่เวลานับวัดต่างๆ

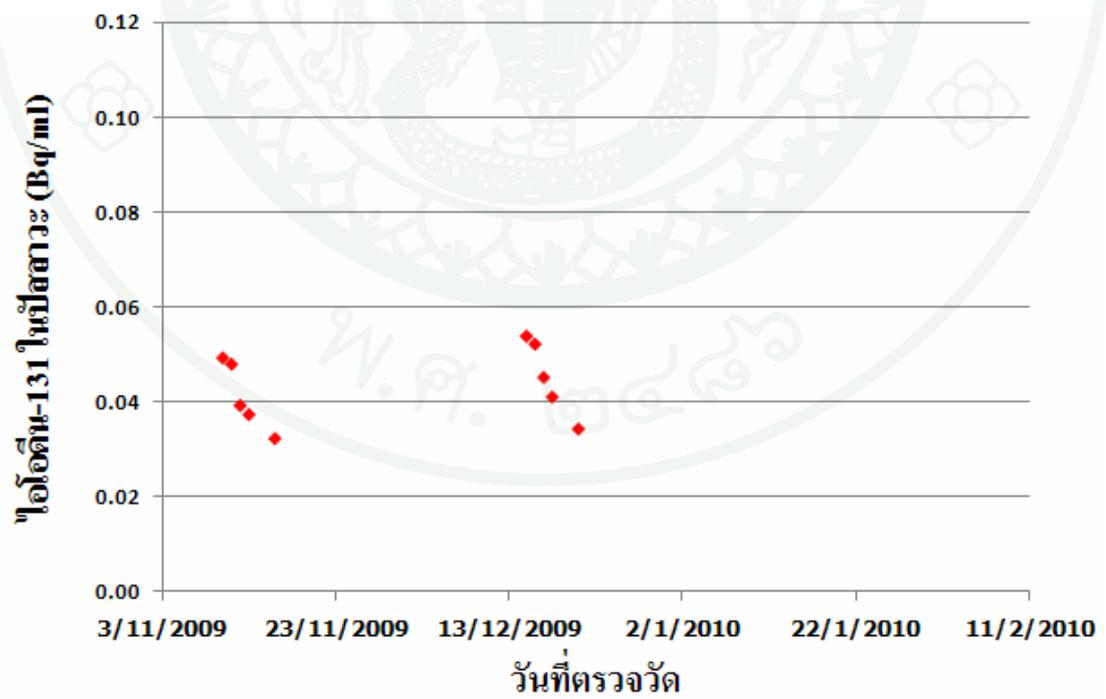
เวลานับวัด background (s)	อัตรานับวัด (cps)	MSA (Bq)	MDA (Bq)
1,000	0.027	1.28	2.88
1,800	0.032	1.24	2.79
3,600	0.033	1.14	2.60
5,400	0.032	1.08	2.48
7,200	0.031	1.04	2.41
9,000	0.030	1.00	2.32
10,800	0.028	0.97	2.25
12,600	0.028	0.96	2.24
14,400	0.028	0.95	2.22
16,200	0.027	0.94	2.20
18,000	0.027	0.92	2.17
50,400	0.026	0.89	2.10



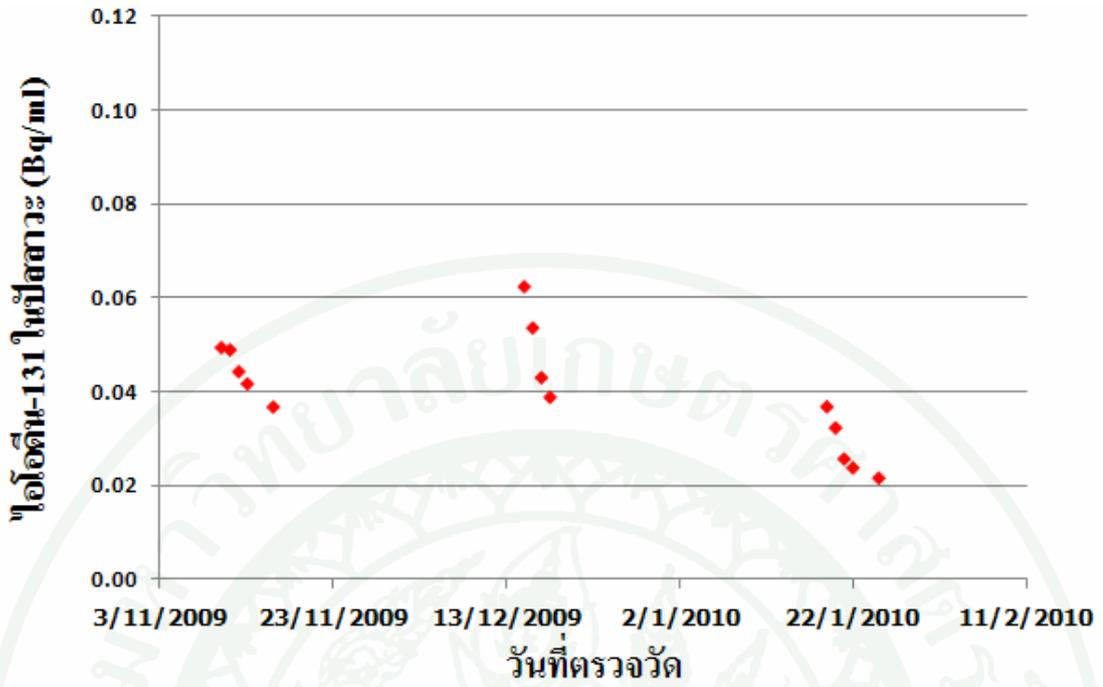
ภาพผนวกที่ ๓๑ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับค่าพลังงานรังสีแกมมา



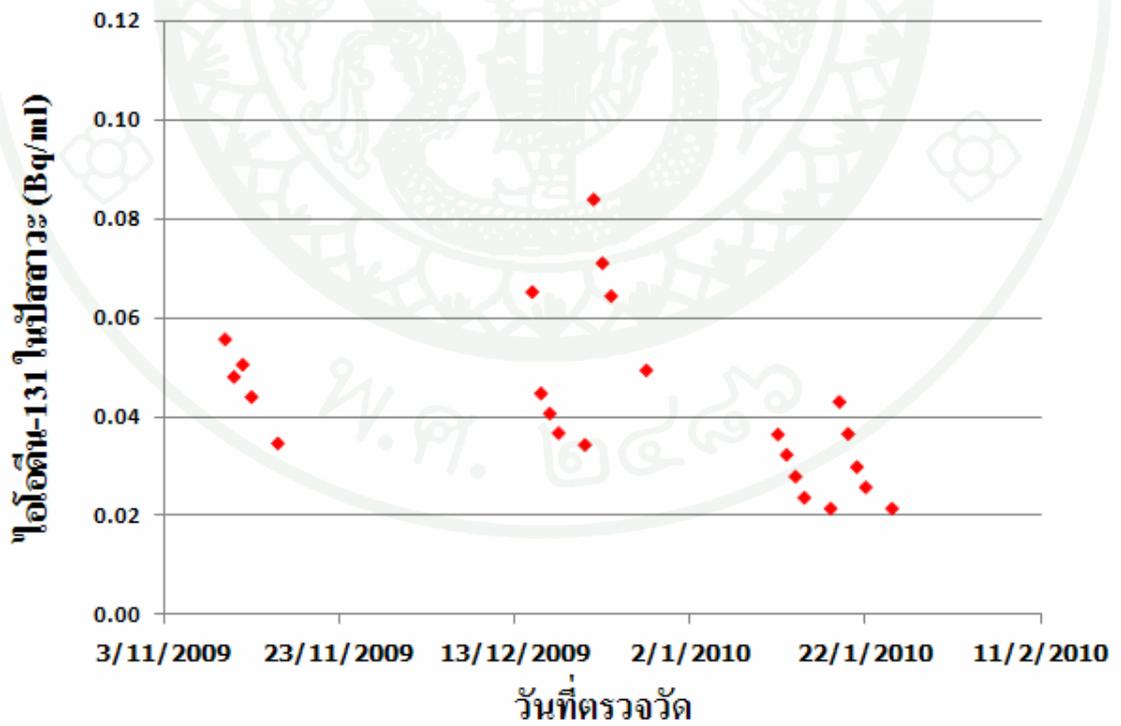
ภาพผนวกที่ ค2 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 01



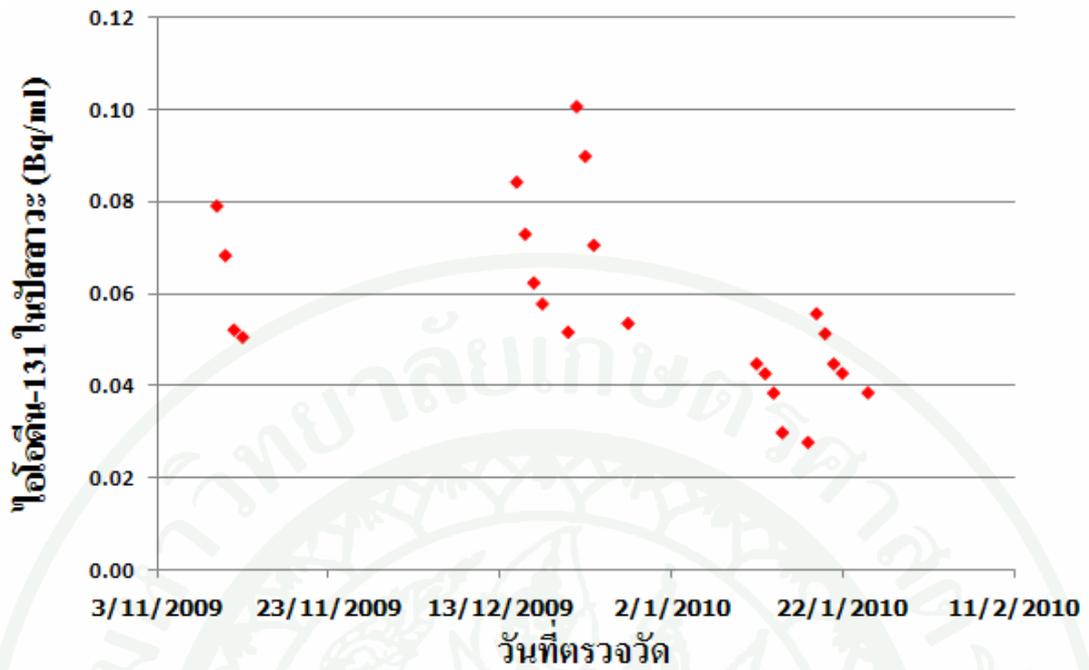
ภาพผนวกที่ ค3 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 02



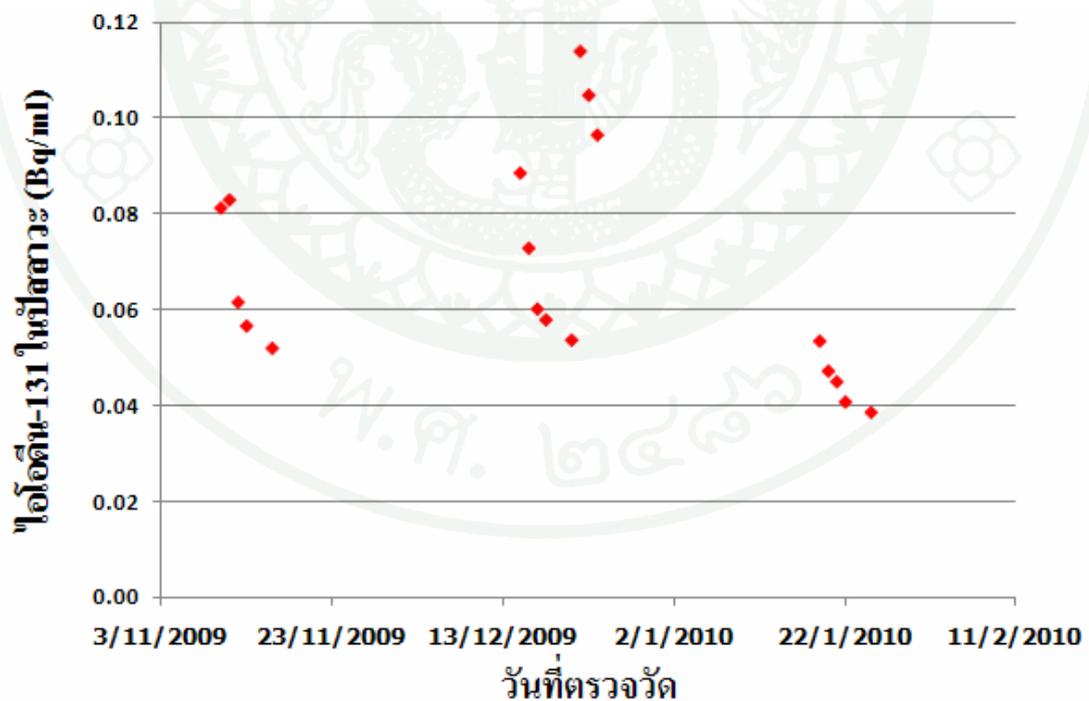
ภาพผนวกที่ ค4 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 03



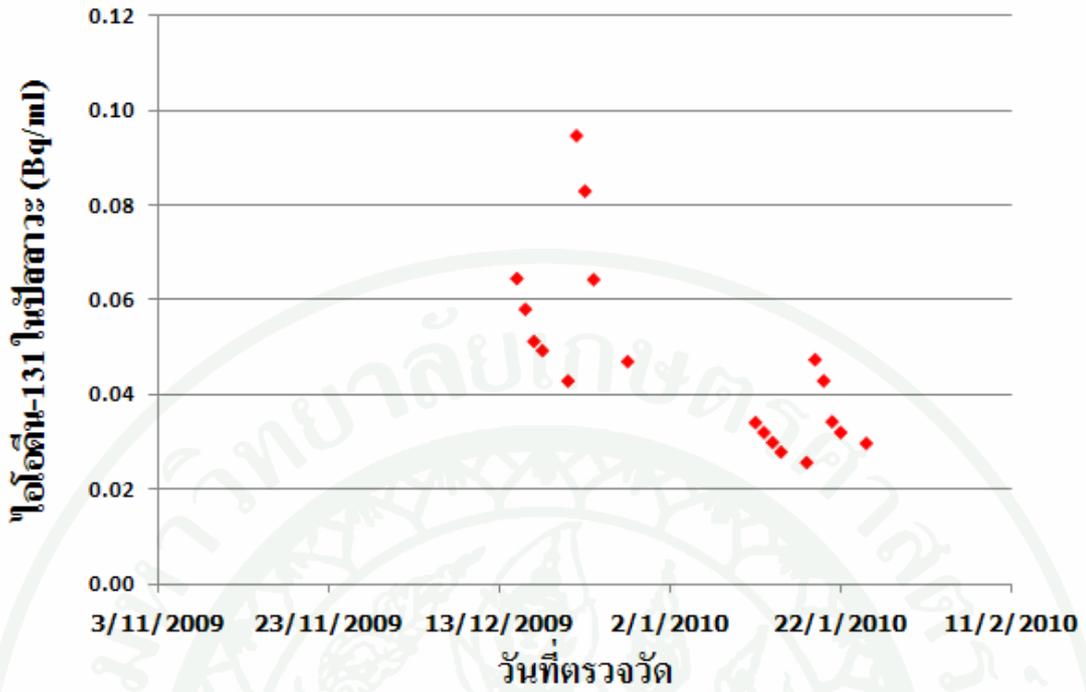
ภาพผนวกที่ ค5 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 04



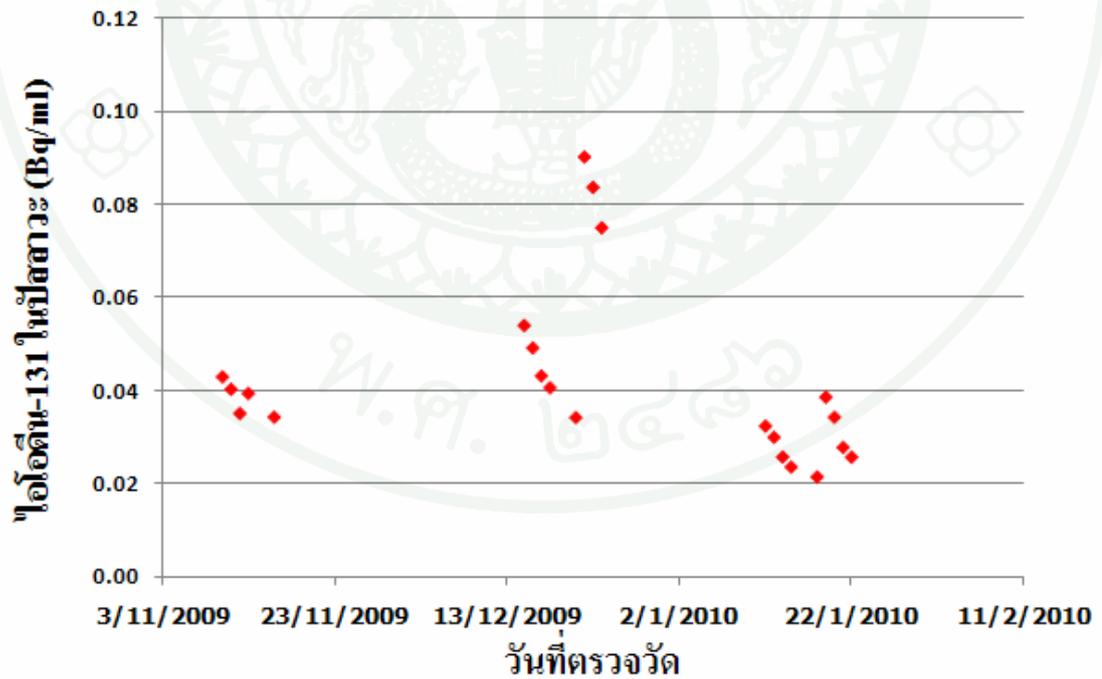
ภาพผนวกที่ ค6 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 05



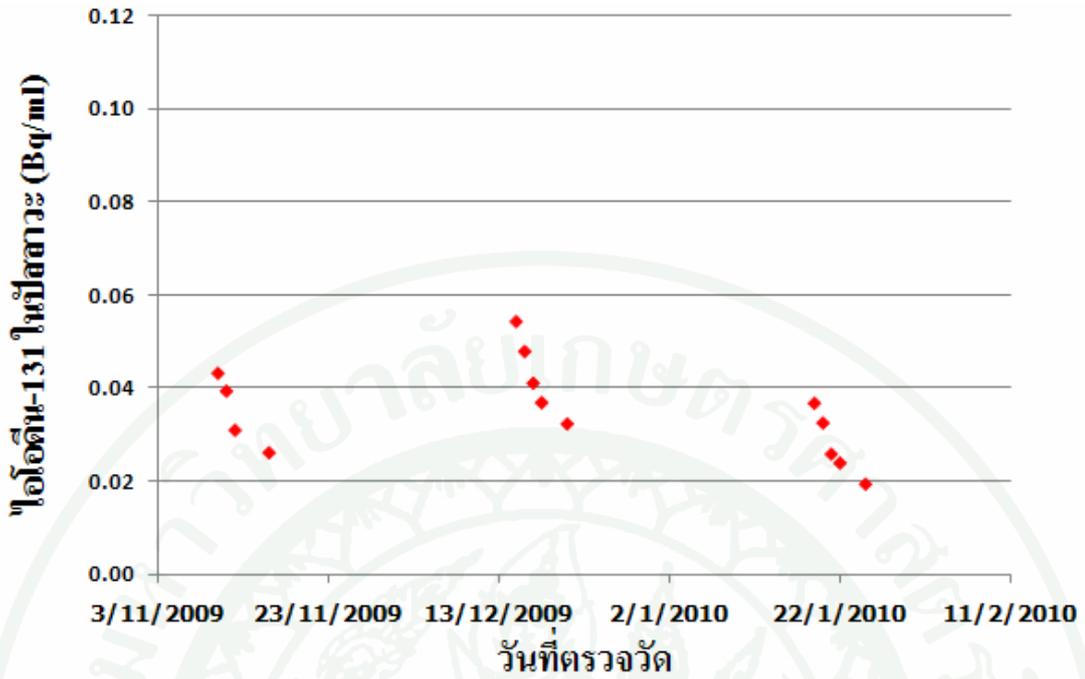
ภาพผนวกที่ ค7 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 06



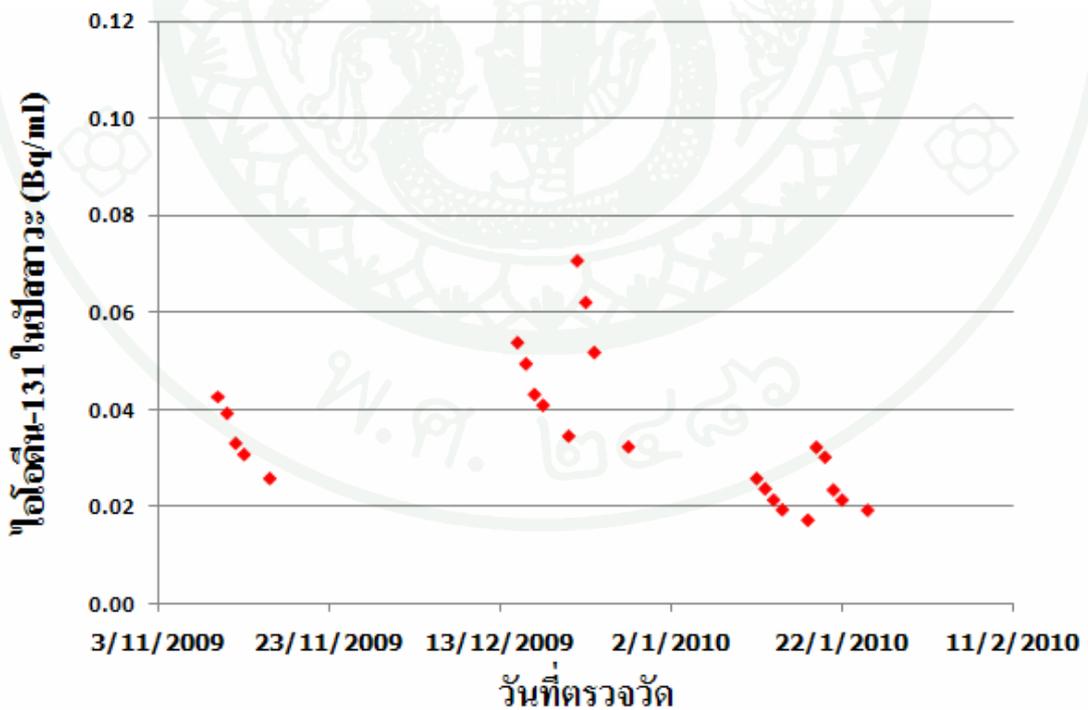
ภาพผนวกที่ ค8 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 07



ภาพผนวกที่ ค9 ข้อมูลการขับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 08



ภาพผนวกที่ ค10 ข้อมูลการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 09



ภาพผนวกที่ ค11 ข้อมูลการจับถ่ายไอโอดีน-131 ทางปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานรังสีรหัส 10

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายไสวุฒิ ทองประจวบโชค
เกิดวันที่	28 กุมภาพันธ์ 2528
สถานที่เกิด	อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยศิลปากร
ตำแหน่งปัจจุบัน	นิสิตปริญญาโท
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการผลิตบัณฑิตวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระดับปริญญาโท (ผนวท.)