การเปรียบเทียบผลการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจากกรณีศึกษาที่กำหนดโดย IDEAS/IAEA

IDEAS/IAEA Intercomparison Exercise on Internal Dose Assessment

โดย

นางดารุณี พีขุนทด

กลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย

สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำและที่มา	**3**
2. รายละเอียดของกรณีศึกษาที่เลือก	**4**
3. **วิธีการคำนวณค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจากกรณีศึกษาของกลุ่มประเมินฯ**	**5**
4. การสร้างข้อมูลที่ใช้ในกรณีศึกษาของโครงการนี้โดย IDEAS / IAEA	**11**
5. การประเมินค่าปริมาณรังสีโดยใช้ IDEAS guide lines	**13**
6. ผลของการคำนวณค่า Intake และปริมาณรังสีที่ได้รับของผู้เข้าร่วมโครงการอื่นๆ	**18**
7. สรุปผล	**24**
เอกสารอ้างอิง	**26**
ภาคผนวก	**27**
ภาคผนวก ก IDEAS guide lines	**27**

การเปรียบเทียบผลการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจากกรณีศึกษา
ที่กำหนดโดย IDEAS/IAEA

IDEAS/IAEA Intercomparison Exercise on Internal Dose Assessment

1. บทนำและที่มา

โครงการนี้เป็นโครงการร่วมระหว่าง IAEA (International Atomic Energy Agency) และ IDEAS (Internal Dosimetry – Enhancements in Application) จัดขึ้นเป็นพิเศษเพื่อศึกษาผลกระทบของ IDEAS guide lines ดังแสดงในภาคผนวก ก ของการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังมีความคาดหวังว่าผู้เข้าร่วมโครงการจะสามารถ

- ตรวจสอบคุณภาพในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจากการใช้ข้อมูลใน ICRP ปัจจุบัน
- เปรียบเทียบความแตกต่างของการแปลผลค่าการตรวจวัด
- เปรียบเทียบความแตกต่างของการประเมินค่าปริมาณรังสีในเชิงปริมาณระหว่างการใช้ IDEAS guide lines และกระบวนการอื่นๆ
- หาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์จากผลการตรวจวัด
- สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายได้

กรณีศึกษาที่กำหนดมีหลายกรณี เพื่อให้การครอบคลุมการใช้สารรังสีในวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และการใช้ทางการแพทย์ กรณีศึกษาเหล่านี้คือ

1. Acute intake of HTO
2. Acute inhalation of fission product Cs-137 และ Sr-90
3. Intake of Co-60
4. Repeated Intakes of iodine-131
5. Intake of enrich uranium
6. Single intake of Pu radionuclides and Am-241

ในกรณีศึกษาที่ 1,2,5 และ 6 เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นจริง ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เป็นกรณีศึกษาที่ถูกกำหนดค่าขึ้นมา

กลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายเลือกกรณีศึกษาที่ 4 เนื่องจากเป็นกรณีศึกษาที่ทางกลุ่มฯ คุ้นเคยและทำการวิเคราะห์และประเมินเป็นประจำ นั่นคือการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 ในไทรอยด์ของเจ้าหน้าที่ผลิตไอโซโทป ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายของกลุ่มงานฯ การเลือกกรณีศึกษานี้จะเป็นประโยชน์มาก เพราะการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจะต้องได้ค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากค่าที่ประเมินได้เกี่ยวข้อง

กับความปลอดภัยต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี หากประเมินค่าปริมาณรังสีผิดไป การวางแผนงานในการป้องกันการได้รับรังสีก็จะผิดเพี้ยนไปด้วย การกำกับดูแลความปลอดภัยจากการใช้งานทางรังสีก็จะไม่ถูกต้อง ดังนั้นการเข้าร่วมโครงการดังกล่าวจึงถือว่าทมีประโยชน์อย่างมากต่อการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี เพราะหากค่าที่ได้ไม่ถูกต้องการกำกับดูแลก็ผิดพลาดเช่นกัน

ผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 81 ห้องปฏิบัติการจาก 42 ประเทศ โดยแบ่งเป็น แอฟฟริกา 3 ประเทศ อเมริกา 7 ประเทศ เอเชีย 12 ประเทศ และ ยุโรป 20 ประเทศ แต่มีผู้ส่งรายงานเพียง 72 ห้องปฏิบัติการ

2. รายละเอียดของกรณีศึกษาที่เลือก

กรณีศึกษาที่เลือกคือกรณีที่ 4 เรื่อง การได้รับไอโอดีน-131 แบบซ้ำๆ (Repeated Intake of I-131) ซึ่งเป็นกรณีที่ทางกลุ่มประเมินฯตรวจวัดและประเมินเป็นงานประจำ กรณีนี้เป็นกรณีที่สมมุติขึ้นมาไม่ใช่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง กำหนดให้ผู้เข้าร่วมโครงการประมาณค่าปริมาณสารรังสีรวมที่ได้รับในช่วง 3 วันทำงาน และคำนวณค่า Committed Effective Dose (E(50)) ดังมีรายละเอียดของการได้รับ I-131 ดังต่อไปนี้

2.1) การเกิดเหตุการณ์

เจ้าหน้าที่หญิงอายุ 28 ปี น้ำหนัก 60 กิโลกรัม ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทางเคมีในสถาบันทางการแพทย์แห่งหนึ่ง ทำการเตรียมและการใช้สารเภสัชรังสีไอโอดีน-131 เพื่อการรักษา เนื่องจากเป็นการทำงานกับสารรังสีที่มีความแรงรังสีสูงและเพิ่งเริ่มการทำงานในห้องปฏิบัติการ ทำงานในรูปแบบเดิม ใช้สารรังสีที่มีความแรงรังสีเท่าเดิมทั้งสามวันคือ วันอังคาร วันพุธ และวันพฤหัสบดี ระหว่างที่ทำงานไม่พบเหตุการณ์ผิดปกติ ในวันจันทร์ถัดมาทำการตรวจวัดปริมาณรังสีเป็นประจำ โดยการตรวจวัดที่ไทรอยด์ แต่เนื่องจากปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ในไทรอยด์มีปริมาณอยู่ในระดับสูง จึงทำการวัดซ้ำใน 2 วัน ถัดมาคือ วันอังคารและวันพุธ ดังแสดงในตารางที่ 1

2.2) รายละเอียดเพิ่มเติม

โครงสร้างทางเคมี	: Elementary Iodine
คุณสมบัติทางฟิสิกส์และขนาดอนุภาค	: Vapour
การตรวจวัดอากาศ(Air Monitoring)	: ไม่ได้ดำเนินการ
การตรวจวัดการเปรอะเปื้อนที่จมูก	: ไม่ได้ดำเนินการ
การขจัดการเปรอะเปื้อนที่ผิวหนัง	: ไม่ได้ดำเนินการ
ปริมาณรังสีที่ตรวจพบที่บาดแผล	: ไม่มี
การบำบัดรักษา	: ไม่ได้ดำเนินการ
การตรวจวัดปริมาณรังสีทั่วร่างกาย	: ไม่ได้ดำเนินการ
การตรวจวัดสารรังสีในปัสสาวะ	: ไม่ได้ดำเนินการ

การตรวจวัดสารรังสีในอุจจาระ : ไม่ได้ดำเนินการ

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดการได้รับรังสีและค่าปริมาณไอโอดีนในไทรอยด์

วัน	เวลาหลังจากใช้สารไอโอดีนวันแรก (d)	ปริมาณไอโอดีนในไทรอยด์ (Bq)	หมายเหตุ
อังคาร	0		วันแรกที่ใช้ไอโอดีน
พุธ	1		วันที่สองที่ใช้ไอโอดีน
พฤหัสบดี	2		วันที่สามที่ใช้ไอโอดีน
ศุกร์	3		
เสาร์	4		
อาทิตย์	5		
จันทร์	6	2.1×10^4	วันแรกของการตรวจวัด
อังคาร	7	2.5×10^4	วันสองของการตรวจวัด
พุธ	8	1.5×10^4	วันที่สามของการตรวจวัด

3. วิธีการประเมินค่าปริมาณรังสีของกลุ่มประเมินฯ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติประเทศไทย

การประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายของกรณีศึกษานี้ของกลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย สนง.ปรมาณูเพื่อสันติ พิจารณาจากการวิเคราะห์ข้อมูลของกรณีศึกษาที่ 4 การได้รับปริมาณไอโอดีน-131แบบซ้ำๆ จะเห็นว่าข้อมูลการตรวจวัดได้มาจากการวัดปริมาณไอโอดีนในไทรอยด์ 3 วันติดต่อกัน หลังจากการทำงานกับไอโอดีน -131 3 วันติดต่อกันเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 2 โดยการประเมินนี้กลุ่มประเมินฯไม่ได้ใช้ **IDEAS guide lines** ประกอบการประเมินเนื่องจากมีเวลาน้อยในการประเมิน ประกอบกับการใช้ **IDEAS guide lines ดังกล่าวต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่มีความสามารถในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆประกอบ ซึ่งทางกลุ่มฯไม่มีโปรแกรมดังกล่าวทำให้**ไม่สามารถใช้ **IDEAS guide lines ประกอบการคำนวณได้ ดังนั้นทางกลุ่มฯจึงใช้วิธีการประเมินตามหลักการทำงานของกลุ่มงานฯที่เคยดำเนินการมา**โดยใช้หลักการประเมินค่าปริมาณรังสีตามขั้นตอนข้างล่างนี้

ขั้นตอนการประเมินประกอบด้วย

3.1 <u>การสมมุติค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการคำนวณ</u>

พิจารณาจาก ICRP 78 จากโครงสร้างทางเคมีและฟิสิกส์ที่กำหนด คือโครงสร้างทางเคมีอยู่ในรูป Elementary Iodine และโครงสร้างทางฟิสิกส์อยู่ในรูป Vapour พบว่า Iodine-131 อยู่ใน absorption

types F class SR-1 ในการได้รับแบบหายใจเข้าไป(Inhalation) ซึ่งมีค่า does coefficients เท่ากับ 2×10^{-8} Sv/Bq และค่าสัดส่วนการคงอยู่ในไทรอยด์(m(t)) มีค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในกรณีศึกษาที่ 4

วัน	Intake	ไอโอดีนในไทรอยด์(Bq)	เวลาหลังจากได้รับรังสีในวันแรก (วัน)
อังคาร	I_1		0
พุธ	I_2		1
พฤหัสบดี	I_3		2
ศุกร์			3
เสาร์			4
อาทิตย์			5
จันทร์		$M_1 = 2.1\times10^4$	6
อังคาร		$M_2 = 2.5\times10^4$	7
พุธ		$M_3 = 1.5\times10^4$	8

ตารางที่ 3 แสดงค่า m(t) ของการได้รับไอโอดีน-131 อยู่ใน absorption types F class SR-1 โดยการหายใจเข้าไป

เวลาหลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย(วัน)	m(t)
1	2.3×10^{-1}
2	2.2×10^{-1}
3	2.0×10^{-1}
4	1.9×10^{-1}
5	1.7×10^{-1}
6	1.5×10^{-1}
7	1.4×10^{-1}
8	1.3×10^{-1}

3.2 <u>แนวคิดในการคำนวณค่า</u>

พิจารณาจากการคำนวณทั้ง 3 รูปแบบคือ การคำนวณแบบ routine monitoring การประเมินแบบ special monitoring และ คิดปริมาณรังสีสูงสุดที่ได้รับจากการได้รับปริมาณรังสี หลังจากนั้นพิจารณาการประเมินปริมาณรังสีที่ให้ค่าที่ถูกต้องที่สุด รูปแบบการคำนวณทั้งสามมีดังนี้

<u>รูปแบบที่</u> 1 **ทำการคำนวณแบบ routine monitoring จะคำนวณได้ดังนี้**

- ทำการตรวจวัดในวันที่ 1 ช่วงเวลาในการวัด 7 วัน ดังนั้นจะได้

$$\text{Intake} = \frac{2.1\times10^{4}}{m(T/2)} = \frac{2.1\times10^{4}}{1.9\times10^{-1}} = 1.11\times10^{5} \quad \text{Bq}$$

- ทำการตรวจวัดในวันที่ 2 ช่วงเวลาในการวัด 8 วัน ดังนั้นจะได้

$$\text{Intake} = \frac{2.5\times10^{4}}{m(4)} = \frac{2.5\times10^{4}}{1.9\times10^{-1}} = 1.32\times10^{5} \quad \text{Bq}$$

- การตรวจวัดในวันที่ 3 ช่วงเวลาในการวัด 9 วัน ดังนั้นจะได้

$$\text{Intake} = \frac{1.5\times10^{4}}{m(4.5)} = \frac{1.5\times10^{4}}{1.8\times10^{-1}} = 8.33\times10^{4} \quad \text{Bq}$$

$$\text{Intake}_{av} = \frac{(1.11\times10^{5}) + (1.32\times10^{5}) + (8.33\times10^{4})}{3}$$

$$\text{Intake}_{av} = 1.0878\times10^{5} \quad \text{Bq}$$

$$\text{CEDE} = (1.0878\times10^{5})\times(2.0\times10^{-8}) = 2.1756\times10^{-3} \ \text{Sv} = 2.1756 \ \text{mSv}$$

<u>รูปแบบที่</u> 2 ทำการประเมินแบบ special monitoring

จะพบว่าค่าปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ในไทรอยด์แต่ละวันมีค่าดังสมการต่อไปนี้คือ

$$M_1 = I_1(m(6)) + I_2(m(5)) + I_3(m(4))$$
$$M_2 = I_1(m(7)) + I_2(m(6)) + I_3(m(5))$$
$$M_3 = I_1(m(8)) + I_2(m(7)) + I_3(m(6))$$

จากกรณีนี้พบว่าการทำงานเป็นไปในรูปแบบเดียวกันใช้ความแรงรังสีเท่ากัน และไม่มีเหตุผิดปกติใดๆจึงสมมุติให้การได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายมีค่าเท่ากันทั้งสามวัน นั่นคือ $I_1 = I_2 = I_3$

ดังนั้นจะได้

$2.1\times10^4 = I(m(6) + m(5) + m(4))$

$2.5\times10^4 = I(m(7) + m(6) + m(5))$

$1.5\times10^4 = I(m(8) + m(7) + m(6))$

ซึ่งเท่ากับ

$2.1\times10^4 = I(0.51)$, $I = 4.1176\times10^4$ Bq

$2.5\times10^4 = I(0.46)$, $I = 5.4348\times10^4$ Bq

$1.5\times10^4 = I(0.42)$, $I = 3.5714\times10^4$ Bq

$I_{av} = 4.3746\times10^4$ Bq

ดังนั้นปริมาณสารรังสีรวมทั้ง 3 วันที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายมีค่าเท่ากับ $3 \times 4.3746\times10^4 = 1.3124\times10^5$ Bq ค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับมีค่าเท่ากับ

$CEDE = (1.3124\times10^5) \times (2\times10^{-8}) = 2.6248\times10^{-3}$ Sv

$= 2.6248$ mSv

<u>รูปแบบที่</u> 3 พิจารณาว่าค่าปริมาณรังสีสูงสุดมีค่าเท่าใด

การพิจารณาค่าปริมาณรังสีสูงสุดพิจารณาจากการทำงานวันแรก(วันอังคาร)เพียงวันเดียว เนื่องจากระยะเวลาหลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายมีระยะเวลานานที่สุด และหากได้รับปริมาณสารรังสีในวันที่สองและสามด้วยค่าปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ในไทรอยด์ย่อมมีค่ามากกว่าความเป็นจริงอย่างแน่นอน ดังนั้นการการได้รับรังสีในวันดังกล่าวย่อมได้ค่าปริมาณรังสีสูงที่สุดแน่นอน

ดังนั้นการคำนวณค่าปริมาณสารรังสีที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย(Intake) จึงคิดจากการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในไทรอยด์ตรวจวัดได้ทั้ง 3 วัน นั่นคือ

ในวันแรกการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 2.1×10^4 Bq เวลาหลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายมีค่าเท่ากับ 6 วัน จะได้ค่า m(6) = 0.15

ดังนั้น $Intake = \dfrac{2.1\times10^4}{0.15}$

$= 1.4 \times 10^5$ Bq

การตรวจวัดในวันที่ 2 ,$M_2 = 2.5\times10^4$ Bq เวลาหลังจากได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายมีค่าเท่ากับ 7 วัน จะได้ค่า m(7) = 0.14

ดังนั้น $Intake = \dfrac{2.5\times10^4}{0.14} = 1.5\times10^5$ Bq

ทำนองเดียวกันในการตรวจวัดวันที่ 3 จะได้ Intake $= 1.6\times10^5$ Bq

$I_{av} = 1.4\times10^5$ Bq จะได้ $CEDE = 2.8\times10^{-3}$ Sv

= 2.8 mSv

ดังนั้นปริมาณรังสีสูงสุดที่ได้รับจากกรณีนี้ไม่ควรเกิน 2.8 mSv

3.3 <u>วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายที่ได้รับ</u>

จากแนวคิดทั้ง 3 รูปแบบจะเห็นว่า

- ค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่จะได้รับไม่ควรเกิน 2.8 mSv เนื่องจากคิดค่าการ Intake เฉพาะวันแรกเท่านั้น แต่การ Intake จริงๆนั้นเกิดจากการทำงานทั้งสามวัน ดังนั้นหากคิด Intake ในวันแรกเพียงวันเดียว ค่าที่ได้ตรวจวัดได้ในวันที่ 6, 7 และ 8 (M_1, M_2 และ M_3 ตามลำดับ) ควรจะมีน้อยลงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในกรณีนี้ ดังนั้นเพื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้นี้มาคำนวณค่า CEDE ค่าCEDE ที่ได้จากการคำนวณจึงเป็นค่าที่มากกว่าความเป็นจริงและสูงสุดไม่เกินค่าที่คำนวณได้นี้อย่างแน่นอน
- เพื่อพิจารณาเรื่องการตรวจวัดเป็นประจำ ค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่าอย่างคร่าวๆเท่านั้น เนื่องจากเป็นการสมมุติเวลาที่ได้รับสารรังสีจริงๆที่จุดกึ่งกลางของระยะเวลาในการตรวจวัด ทำให้ค่าที่ได้อาจเกิดการคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงได้ ดังนั้นค่า CEDE ที่ได้จากการพิจารณาทางร่างกายแบบเป็นประจำจึงเป็นค่าที่ยังไม่ถูกต้องมากนัก
- การวิเคราะห์แบบ Special monitoring การวิเคราะห์จะคิดเวลาที่ได้รับรังสีเป็นเวลาที่ได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายจริงๆย่อมให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า

ดังนั้นการรายงานผลการวิเคราะห์ จึงรายงานผลค่า Intake และ CEDE ในการคำนวณแบบ Special monitoring แต่กลุ่มประเมินฯรายงานผลค่า Intake ผิดผลาดไป เนื่องจากรายงานผลการได้รับรังสีเพียง 1 วัน แทนที่จะรายงานผลรวมการได้รับรังสีทั้ง 3 วัน ทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาดไป แต่ค่า CEDE นั้นถูกต้อง เนื่องจากเวลาคำนวณจะนำค่า Intake รวมทั้ง 3 วันมาคำนวณ ทั้งนี้เป็นความผิดพลาดของการรายงานผล แต่ทางเทคนิคนั้นถูกต้องแล้ว ดังแสดงในตารางรายละเอียดการจัดรายงานผลข้างล่างนี้

ตารางที่ 4 แสดงการรายงานผลการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายของกลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายส่งให้กับ IAEA

Iodine-131 - Case n°4			
Laboratory	**Internal Dose Assessment**		
Responsible Name	**Darunee Peekhunthod**		
Country	**Thailand**		
N°	**0**		
	Results		
Intake	**43,746**	**Bq**	OK
Committed Effective Dose [E(50)]	**0.0026**	**Sv**	OK
	OK		
^{131}I			
General information			
Software used for the evaluation	**none**		
Respiratory tract model used into the evaluation			
GI tract Model used into the evaluation			
Systemic biokinetic model used into the evaluation	**ICRP67**		
Assumed pathway (may differ from the case description)	**Inhalation**		
Time pattern of intake	**Single intake**		
Assumed Gas/Vapour Class	**SR-1**		
Assumed Absorption type	**type F**		
Assumed f1	**1**		
Dose Coefficient used for ^{131}I	**2.00E-08**	Sv/Bq	
^{131}I thyroid data			
Total number of thyroid data given for the evaluation	**3**		
Are all the thyroid data selected?	**yes**		
If no, why have you excluded the data ?			
Assumed distribution of measurement data ?	**normal**		
Uncertainty assumption used for thyroid data	**normal**		
Assumed uncertainty value	**1.92E-4 Sv**		
Handling of outlying data			

General remarks			
Did you follow strictly the guidelines?	**no**		
If no, why?	**Did not find guidelines**		
If yes, please provide the final step number of the Guidelines			
Other comments or remarks			

4. การสร้างข้อมูลที่ใช้ในกรณีศึกษาของโครงการนี้โดย IAEA / IDEAS

ข้อมูลที่ตั้งขึ้นมาเป็นการสมมุติว่าได้รับไอโอดีน - 131 เข้าสู่ร่างกายแต่ละวัน 40 KBq ในช่วงการทำงาน 3 วันติดต่อกัน ดังนั้นปริมาณไอโอดีน – 131 ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายทั้งหมดเท่ากับ 120 KBq ซึ่งจะทำให้ค่า Committed Effective Dose มีค่าเท่ากับ 2.40 mSv เมื่อใช้ค่า Dose Coefficient ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.0×10^{-8} Sv/Bqใน ICRP 68 และ ICRP 78

. โดยสมมุติให้ ไอโอดีน-131 มีคุณสมบัติดังนี้

- Gas / Vapour Class : SR-1
- Absorbtion Type : Type F
- f_1 Value : 1.0

การกำหนดค่าคาดเดาปริมาณความแรงรังสีในไทรอยด์ดำเนินการโดยใช้คอมพิวเตอร์โคด ที่มีชื่อว่า IMBA internal dose assessment code ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณไอโอดีน – 131ในไทรอยด์ จากการได้รับเข้าร่างกาย 1 Bq/dในปริมาณ 3 วันทำงาน

Week days (d)	Thyroid activity (Bq)			
	Intake on Tuesday (1 Bq)	Intake on Wednesday (1 Bq)	Intake on Thursday (1 Bq)	Horizontal (Bq for 1 Bq/d Over the 3-day Working perioid
Tuesday				
Wednesday	2.3E-01			
Thursday	2.2E-01	2.3E-01		
Friday	2.0E-01	2.2E-01	2.3E-01	
Saturday	1.9E-01	2.0E-01	2.2E-01	
Sunday	1.7E-01	1.9E-01	2.0E-01	
Monday	1.5E-01	1.7E-01	1.9E-01	5.1E-01
Tuesday	1.4E-01	1.5E-01	1.7E-01	4.6E-01
Wednesday	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	4.2E-01

ดังนั้นจากข้อมูลในตารางที่ 5 และ 6 สามารถคำนวณค่าปริมาณสารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายต่อวัน (Intake per day) ได้จากค่าการวัดทั้ง 3 ค่า ดังนี้

วันที่หนึ่ง ค่าที่วัดได้ 2.1×10^{4} Bq ค่า Intake per day = $2.1\times 10^{4} / 5.1\times 10^{-1} = 41.2$ KBq/d

วันที่สอง ค่าที่วัดได้ 1.5×10^{4} Bq ดังนั้นค่า Intake per day = $2.5\times 10^{4} / 4.6\times 10^{-1} = 54.4$ KBq/d

วันที่สาม ค่าที่วัดได้ 1.5×10^{4} Bq ดังนั้นค่า Intake per day = $1.5\times 10^{4} / 4.2\times 10^{-1} = 35.7$ KBq/d

Intake per day ที่ดีที่สุดในการประเมินกรณีศึกษานี้คือ 43.2 KBq รวมค่า Intake ทั้ง 3 วัน เท่ากับ 130 KBq และค่า Committed Effective Dose มีค่าเท่ากับ $1.3 \times 10^{5} \times 2.0 \times 10^{-8} = 2.6 \times 10^{-3}$ Sv = 2.6 mSv.

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าที่ถูกต้องที่สุดในการคำนวณจากกรณีศึกษานี้คือ Intake ทั้ง 3 วัน เท่ากับ 130 KBq และค่า Committed Effective Dose มีค่าเท่ากับ 2.6 mSv.

ตารางที่ 6 ค่าต่างๆที่ตั้งขึ้นมาเพื่อใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย

Week days (d)	Time After The first Intake (d)	Acute Intake (Bq)	Predicted Thyroid Activity of ^{131}I (Bq)	Measured Thyroid Activity of ^{131}I (Bq) Includes uncertainty	Comment
Tuesday	0	4.0E4			1st day of handling
Wednesday	1	4.0E4			2nd day of handling
Thursday	2	4.0E4			3rd day of handling
Friday	3				
Saturday	4				
Sunday	5				
Monday	6		2.03E+04	2.1E+04	1st day of measurement
Tuesday	7		1.85E+04	2.5E+04	2nd day of measurement
Wednesday	8		1.68E+04	1.5E+04	3nd day of measurement

5. การประเมินค่าปริมาณรังสีโดยใช้ IDEAS guide lines

การคำนวณค่าปริมาณรังสีสามารถคำนวณโดยใช้ **IDEAS guide lines** ได้เช่นเดียวกัน จากกรณีศึกษานี้จะเห็นว่าเป็นการตรวจวัดปริมาณไอโอดีน-131 แบบเป็นประจำ มีการดำเนินการทางเคมีที่เหมือนกันทุกครั้ง ดังนั้นจึงสามารถสมมุติได้ว่าการได้รับไอโอดีนเป็นไปในรูปแบบเดียวกันทุกวันในช่วง 3 วันต่อเนื่อง จากกรณีศึกษาที่ให้มาอาจสมมุติรูปแบบในการได้รับได้ 2 แบบ คือแบบแรกเป็นการได้รับแบบเฉียบพลัน(Acute Intake) ในปริมาณที่เท่ากันทุกวัน หรือได้รับอย่างต่อเนื่อง (Chronic Intake) ตลอด 3 วันที่ทำงาน

หากสมมุติว่าได้รับแบบ Acute Intake จากโครงสร้างทางเคมีและฟิสิกส์ที่ให้มาค่าค่อนข้างชัดเจนว่าเป็นรูปแบบการขจัดออกจากปอดแบบ Class SR-1 Type F พิจารณาจาก ICRP 68 และ ICRP 78 ดังนั้นหากประเมินตาม IDEAS guide lines สามารถดำเนินการได้ตาม step ต่างๆดังนี้

Step 1.1 การคำนวณค่า M (Identify monitoring value M)

พิจารณาค่า M เป็นค่าที่ระบุในวันจันทร์ เนื่องจากปริมาณไอโอดีนสะสมอยู่ในไทรอยด์สูงอย่างมีนัยสำคัญ จากการตรวจวัดแบบเป็นประจำซึ่งสมมุติว่าการได้รับรังสีมาจากไอโอดีน-131อย่างเดียวไม่มีสารรังสีอื่นๆเข้าเกี่ยวข้อง

Step 1.2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับค่า M_C (Critical Monitoring Quantity)

ไม่จำเป็นต้องเปรียบเทียบเนื่องจากค่าที่วัดได้ในไทรอยด์เท่ากับ 21 KBq ซึ่งสูงกว่าค่า 26 Bq ที่ให้ไว้ในตารางใน guide lines ดังนั้นให้ไปดำเนินการต่อในการหาค่า Intake และการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ

Step 2.0 ทำความเข้าใจกับกรณีศึกษา

การประเมินค่าปริมาณรังสีสมมุติให้ขึ้นอยู่กับการได้รับในวันแรกดังนั้นการคำนวณอย่างง่ายจะได้

Intake = $2.1 \times 10^{4} / 1.5 \times 10^{-1} = 1.4 \times 10^{5}$ Bq

Committed Effective Dose = $1.4 \times 10^{5} / 2.0 \times 10^{-8} = 2.8 \times 10^{-3}$ Sv.

หากพิจารณาจากการวัดซ้ำตามกรณีศึกษาวัด จะเห็นว่าการนับวัดในวันที่สองมีค่ามากกว่าวันที่หนึ่ง ซึ่งเกิดได้จากความไม่แน่นอนในการวัด(Uncertainty) นั่นเอง เพราะเป็นไปไม่ได้ที่ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจะเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งดูได้จากรายละเอียดของกรณีศึกษานี้ และจากการสมมุตินี้ยืนยันได้จากผลในวันที่สามที่สัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ลดลงในไทรอยด์นั่นเอง (ใน IDEAS guide lines)กำหนดการประเมินค่าปริมาณรังสีในวันแรกมีค่าระดับการเปรอะเปื้อน (Level of Contamination) ในระดับ Level 1

Step 2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Assessment of the Uncertainty on M)

เนื่องจากค่าความไม่แน่นอนไม่ได้แสดงไว้ในการนับวัด เราจึงใช้ค่าที่แนะนำจาก guide lines ซึ่งถ้าเป็นกรณีของการตรวจวัดแบบ in vivo จะกำหนดให้ค่าการกระจายของข้อมูล(Scattering

Factor(SF)) มีค่าเท่ากับ 1.2 ซึ่ง SF คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายข้อมูลแบบ log normal distribution

Step2.2 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากการได้รับรังสีครั้งก่อน(Contributions from previous intakes)

ค่อนข้างชัดเจนจากรายละเอียดการได้รับรังสีที่กำหนดว่าไม่มีการได้รับรังสีก่อนหน้านี้ จึงให้ไปพิจารณาต่อใน Stepที่ 4

Step 4.1 ระบุเส้นทางของการได้รับสารรังสีสำหรับการประเมินค่าที่เหนือกว่าระดับ 1 (Level 1)

จากรายละเอียดของกรณีศึกษาเป็นการได้รับรังสีจากการหายใจ ดังนั้นจึงเป็นการประเมินแบบพิเศษ อธิบายไว้ใน Step 5 ของ guide lines

Step 5.1 ระบุข้อมูลและออกแบบความไม่แน่นอนตามจริง (Identification of data and assignment of realistic uncertainties)

จากการประเมินใน Step 2 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับมีค่ามากกว่า 1 mSv. ดังนั้นค่าการตรวจวัดต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งค่าการประเมินจึงจะมีความน่าเชื่อถือซึ่งในกรณีนี้มีถึง3ค่าถือว่าดีอยู่แล้ว ค่าความไม่แน่นอนในการวัดไม่ได้ให้มาจึงสมมุติให้ค่าScattering faetor(SF) ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.2 (ดูจาก Step 2.1)

Step 5.2 ประเมินค่าปริมาณสารรังสีที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายจากการได้รับครั้งก่อน(Assessment of contributions from previous intakes)

ในกรณีนี้สมมุติว่าไม่พบว่ามีการได้รับปริมาณสารรังสีเข้าสู่ร่างกายในครั้งก่อนหน้านี้พิจารณาจากข้อมูลใน Step2.2

Step 5.3 จัดลำดับค่าพารามิเตอร์(Assign a priority parameters(default or site-specific))

จากกรณีนี้พบว่าไอโอดีนอยู่ในรูปของ elemental iodineและมีโครงสร้างทางกายภาพเป็นไอระเหย(Vapour) ดังนั้นจึงสมมุติค่าพารามิเตอร์จาก ICRP ได้ดังนี้

Gas / Vapour Class : SR-1

Absorption Type : Type F

f_1 Value : 1.0

Step 5.4 ทราบเวลาในการได้รับรังสีหรือไม่? (Is the time of intake known?)

เวลาในการได้รับรังสีจริงๆ นั้นไม่ทราบแน่ชัด แต่จากช่วง 3 วันที่ทำงานเราสามารถพิจารณาได้ว่าเวลาในการได้รับรังสีจะสมมุติเป็นอย่างใดอย่างหนึ่งใน 2 อย่างคือ ได้รับแบบเฉียบพลันตามลำดับ 3 วันทำงาน หรือ เป็นการได้รับอย่างต่อเนื่องในช่วงระหว่างเวลาทั้งหมดในการทำงาน 3 วัน

Step 5.5 คำนวณค่าปริมาณรังสีตามค่าพารามิเตอร์

ใน Step ที่ 2.0 การประมาณค่าอย่างหยาบๆ ได้ดำเนินการไปแล้ว ใน Step นี้ เพื่อเป็นการประเมินค่าปริมาณรังสีให้แน่นอนมากขึ้น จากการพิจารณาผลการวัดทั้งหมดสามค่า วิธีที่ง่ายที่สุดคือวิธีการคำนวณด้วยมือ สมมุติเป็นการได้รับรังสีแบบซ้ำๆ แบบ Acute กำหนดให้ M_1 M_2 และ M_3 เป็นค่าการวัดปริมาณสารรังสีในไทรอยด์ในวันตรวจวัดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จะได้ค่าการวัด

$M_1 = 2.1 \times 10^4$ Bq

$M_2 = 2.5 \times 10^4$ Bq

$M_3 = 1.5 \times 10^4$ Bq

ในการคำนวณเราต้องนำค่าการคงอยู่(m(t)) ในไทรอยด์มาพิจารณาด้วยจากความแตกต่างของเวลาที่ได้รับรังสีและวันที่ทำการตรวจวัด ค่า m(t) สามารถหาได้จาก IAEA Safety Reports Series No.37 และ ICRP 78 ซึ่งค่าที่ได้เป็นดังนี้

m(t=4) = 0.19

m(t=5) = 0.17

m(t=6) = 0.15

m(t=7) = 0.14

m(t=8) = 0.13

คำนวณค่าปริมาณสารรังสีที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายของแต่ละวัน โดยกำหนดให้ I_1, I_2 และ I_3 เป็นค่า Intake ของการได้รับของทั้งสาม และสมมุติว่าการได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกายของทุกวันเท่ากัน จะได้สมการดังนี้

$I_1 = 3 \times 2.1 \times 10^4 / (0.15+0.17+0.19) = 1.24 \times 10^5$ Bq

$I_2 = 3 \times 2.5 \times 10^4 / (0.14+0.15+0.17) = 1.63 \times 10^5$ Bq

$I_3 = 3 \times 1.5 \times 10^4 / (0.13+0.14+0.15) = 1.07 \times 10^5$ Bq

หาค่าเฉลี่ย Intake โดยการคำนวณแบบ geometric mean

$$I = \sqrt[3]{(I_1 \times I_2 \times I_3) / 3} = 1.29 \times 10^5 \text{ Bq}$$

ค่า Committed Effective Dose มีค่าเท่ากับ

$E(50) = e(50) \times I = 2.0 \times 10^{-8}$ Sv / Bq $\times$ 1.29×10^5 Bq $= 2.58 \times 10^{-3}$ Sv

เราสามารถหาค่า Intake ได้จากการใช้โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย เช่น IMBA , IMIE หรือ MONDAL 2 หรือการคำนวณด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงผลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่า Intake และปริมาณรังสีที่ได้จากสมมุติค่าการได้รับรังสีและเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ

Tools	Assumptions	Total intake (kBq)	CED(E(50)) (mSv)
Manual	Repeated acute	129	2.58
Manual	Single acute	133	2.66
IMBA	Repeated acute	130	2.57
IMBA	Single acute	130	2.56
IMBA	Chronic	123	2.43
MONDAL 2	Single acute	130	2.60
MONDAL 2	Chronic	126	2.52
MONDAL 2	Uneven chronic	130	2.60
IMIE	Single acute	125	2.46

การประเมินค่าอย่างหยาบๆ ของปริมาณรังสีที่ได้รับจากการคำนวณใน Step 2 มีค่าไม่แตกต่างมากนักกับผลการประเมินที่มีความละเอียดมากขึ้นจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดต่างๆ

Step 5.6 ค่า E(50) น้อยกว่า 1 mSv. ไหม

(Is E(50) < 1 mSv ?)

ในกรณีใดๆ ก็ตามถ้าค่าปริมาณรังสีที่ได้รับมีค่าสูงกว่า 1 mSv นั้นแสดงว่าค่าปริมาณรังสีนั้นมีความสำคัญ ซึ่งในกรณีนี้ค่า E(50) มีค่ามากกว่า 1 mSv ให้ดำเนินการต่อใน step 5.7

Step 5.7 มีข้อมูลเพียงพอหรือยัง?

ใน Guidelines ได้แนะนำจำนวนต่ำสุดของข้อมูลสำหรับการประเมิน dose เอาไว้ ซึ่งจำนวนต่ำสุดที่แนะนำขึ้นอยู่กับระดับรังสี สำหรับ I-131 จำนวนการตรวจวัดต่ำสุดคือ 3 ค่าในช่วง 7 วัน ถ้าค่าระดับรังสีมากกว่า 1 mSv ซึ่งในกรณีนี้มี 3 ค่า พอดี ดังนั้นจำนวนค่าการตรวจวัดจึงเพียงพอสำหรับการประเมินค่าปริมาณรังสี ดังนั้นให้ไปที่ Step ต่อไป

Step 5.8 ทราบเวลาที่ได้รับรังสีหรือไม่?

จากกรณีนี้ทราบเวลาที่ได้รับรังสีให้ไปที่ Step 5.9

Step 5.9 มีค่าปริมาณรังสีในปอดและอุจจาระด้วยไหม? (Are early lung and feces available)

ใน Step นี้ ไม่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้ให้ข้ามไป Step 5.11

Step 5.11 ประเมินค่าปริมาณรังสีโดยการปรับ(fitting) ค่า absorption type ให้ได้ตามเส้นมาตรฐาน (Assessment of dose by fitting absorption type)

จากการกำหนดค่า absorption type ต้องตรวจสอบดูว่าค่าที่สมมุติขึ้นมานั้นเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน(good fit) หรือไม่ให้ตรวจสอบใน Step 5.11.1

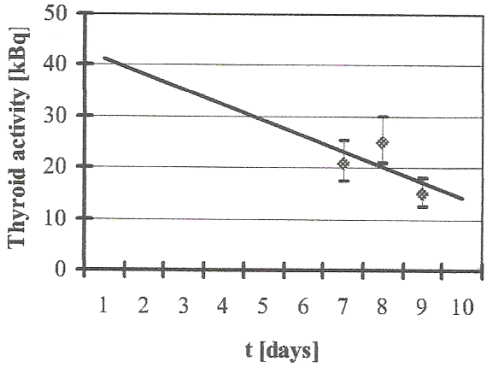
Step 5.11.1 ค่าที่ปรับแต่งยอมรับได้ไหม? (Is the goodness of fit acceptable?)

จาก guideline ค่าที่ปรับแต่งจะไม่เป็นที่ยอมรับถ้า

1. การทดสอบแบบ Chi-Squared test (x^2) ตกไป (คือถ้า P-Value > 0.05) หรืออีกแง่หนึ่งคือค่าความ fit ที่ไม่เหมาะสมจะอยู่ที่ 5% ของระดับนัยสำคัญ หรือถ้า

2. ค่า fit ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจากกราฟแสดงความ fit

จากการทำ Chi-Squared test (x^2) โดยใช้โปรแกรม IMBA จะได้ค่า P-Valueเท่ากับ 0.261 ซึ่งสูงกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถยอมรับได้ แสดงได้จากในรูปที่ 1.



รูปที่ 1 แสดงค่าการกระจายของข้อมูลปริมาณไอโอดีน-131ในไทรอยด์

ถ้าค่า goodness of fit เป็นที่ยอมรับให้ไปที่ Step 5.11.2

Step 5.11.2 E(50) < 6 mSv หรือไม่?

จากปริมาณรังสีที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 6 mSv ดังนั้นไม่จำเป็นต้องพิจารณาใน Step ต่อไป เราสามารถจบการประเมินค่าปริมาณรังสีใน Step 5.11.3

Step 5.11.3 บันทึกค่าปริมาณรังสีกับค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด

ค่าปริมาณสารรังสีที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายและปริมาณรังสีที่ได้รับกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นดังนี้

- Total intake : Repeated acute inhalation of 129 kBq of I-131
- Committed effective dose ; E(50) = 2.58 mSv
- Gas / Vapour Class : SR-1
- Absorption Type : Type F
- f_1 Value : 1.0

จากการใช้ IDEAS guide lines สรุปผลการประเมินทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปผลการประเมินค่าปริมาณ Intakeของไอโอดีน-131และปริมาณรังสีที่ได้รับจากการใช้ **IDEAS guide lines**

Assessment Procedure step	Absorption Type	Goodness of fit		Comment	Total intake (kBq)	E(50) (mSv)
		Chi Squre[a]	p-value[b]			
Data generation	SR-1 Type F	Not available		True value	120	240
Step 2.0	SR-1 Type F	Not applicable		First conservative estimate	140	280
Step 5.11.1	SR-1 Type F	2.68	0.261	Fitted results by IMBA software	130	257
Step 5.5 and Step 5.11.3	SR-1 Type F	Not applicable		Manual evaluation	**129**	**258**

การคำนวณแบบมือ(Manual Calculation)หรือการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และค่าที่ได้ทั้งหมดนั้นจะสูงกว่าค่าจริงเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการกระจายค่าการตรวจวัดและค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างข้อมูล

6. ผลของการคำนวณค่า Intake และปริมาณรังสีที่ได้รับของผู้เข้าร่วมโครงการอื่นๆ

ผู้เข้ารวมประเมิน dose ในกรณีศึกษานี้มีจำนวน 63 ห้องปฏิบัติการ จากทั้งหมด 35 ประเทศ โดยประเทศไทยมี ID เป็น 64 ผลการคำนวณ**ค่า Intake และปริมาณรังสีที่ได้รับของผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด** ประเมินทางสถิติตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่รวมค่าที่อยู่นอกผลการประเมินที่ดีจะได้ค่าดังแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงลำดับที่ 2 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการประเมินค่าทางสถิติตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่รวมค่าที่อยู่นอกผลการประเมินที่ดี

Parameters	Intake	E(50)
N	58	50
GM	160133 Bq	2.57mSv
GSD	1.39	1.07
AM	169659 Bq	2.58 mSv
ASD	62153 Bq	0.17mSv
Minimum	88000 Bq	2.2mSv
Maximum	329000 Bq	3.0mSv
Max/Min ratio	3.74	1.36.
Outliers	5	13

Gm = Geometric mean
Am = Arithmetic mean
GSD = Geometric standard deviation
ASD = Arithmetic standard deviation

ผลการคำนวณค่า Intake ของแต่ละห้องปฏิบัติการเทียบกับค่า Gm จะได้ในรูปที่ 2

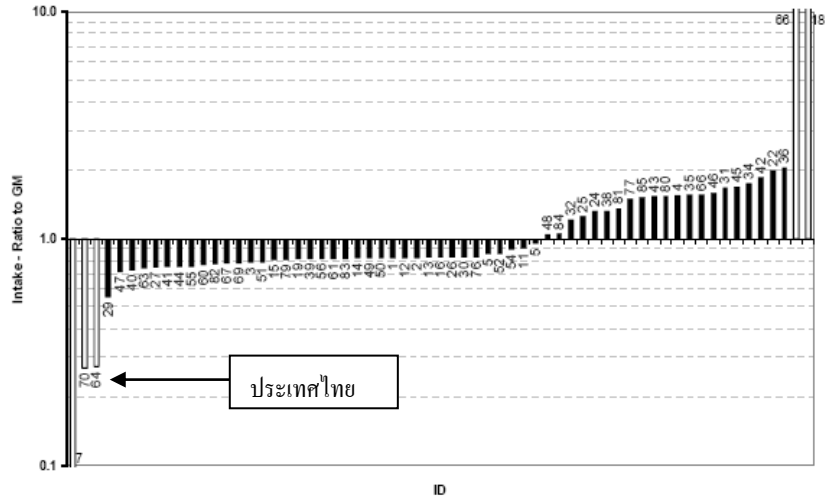


Fig. 11.3. Ratios of all individual results normalized to the geometric mean (GM = 160133 Bq, GSD = 1.36, N=58) The outliers are indicated with blank columns.

รูปที่ 2 แสดงสัดส่วนของIntakeที่ได้กับค่า geometric mean ของแต่ละห้องปฏิบัติการจากเอกสารอ้างอิงลำดับที่ 2โดยประเทศไทยมี ID เป็น 64

จะเห็นได้ว่าประเทศไทยอยู่นอกเส้นที่ยอมรับได้ เนื่องจากความผิดพลาดในการลงข้อมูลในรายงานที่ส่งไป IAEA ผิดค่า คือรายงานการ Intake เพียงวันเดียว ไม่ได้รายงานเป็นผลรวมทั้ง 3 วัน ซึ่งที่จริงวิธีการคำนวณถูกต้อง สามารถดูวิธีในการคำนวณค่าได้จากหัวข้อที่ 2 ค่าที่คำนวณได้คือค่า Intake มีค่าเท่ากับ 130,000 Bq แต่รายงานเพียงมีค่าเท่ากับ 42,300 Bq ทำให้ค่าที่รายงานและแสดงในรูปที่ 2 อยู่นอกเส้นที่ยอมรับได้

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าการคำนวณค่า Intake ของแต่ละห้องปฏิบัติการนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้การคำนวณค่าสัดส่วนการคงอยู่ (m(t)) ในรูปของ Vapours ในขณะที่อีกกลุ่มใช้ค่า m(t) ในรูปของ aerosols ซึ่งค่า m(t) ของทั้งสองแบบเป็นดังนี้

	Radionuclide: I-131 Inhalation of vapour f_1 : 1	Radionuclide: I-131 Inhalation Type F 5.0 micron AMAD f_1 : 1
Time (d)	Thyroid	Thyroid
1	2.30E-01	1.20E-01
2	2.20E-01	1.20E-01
3	2.00E-01	1.10E-01
4	1.90E-01	9.90E-02

5	1.70E-01	9.00E-02
6	1.50E-01	8.20E-02
7	1.40E-01	7.40E-02
8	1.30E-01	6.80E-02

ประเทศไทยใช้ค่าสัดส่วนการคงอยู่ในไทรอยด์ในรูปของ vapour และสมมุติวค่า Dose Coefficient = 2.0E-08 Sv/Bq ผลการคำนวณค่าปริมาณรังสี (E(50))ของแต่ละห้องปฏิบัติการเทียบกับ GM แสดงในรูปที่ 3และ4

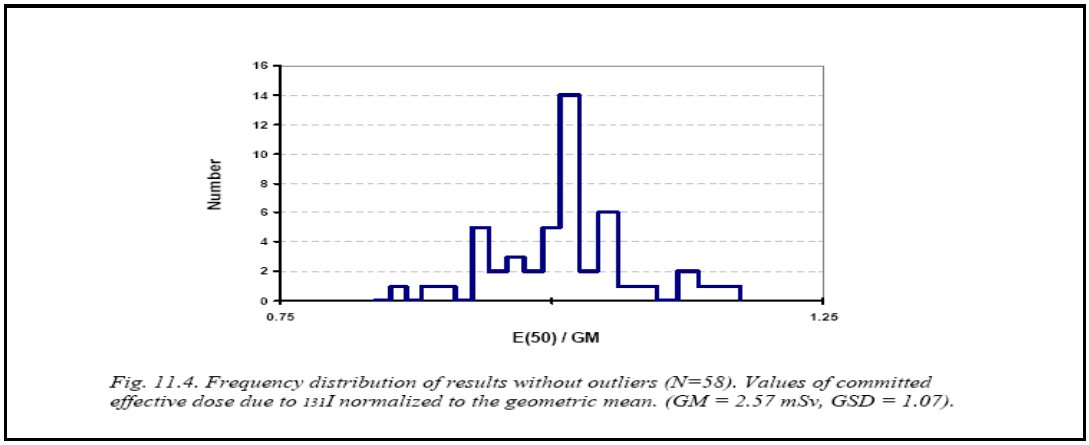
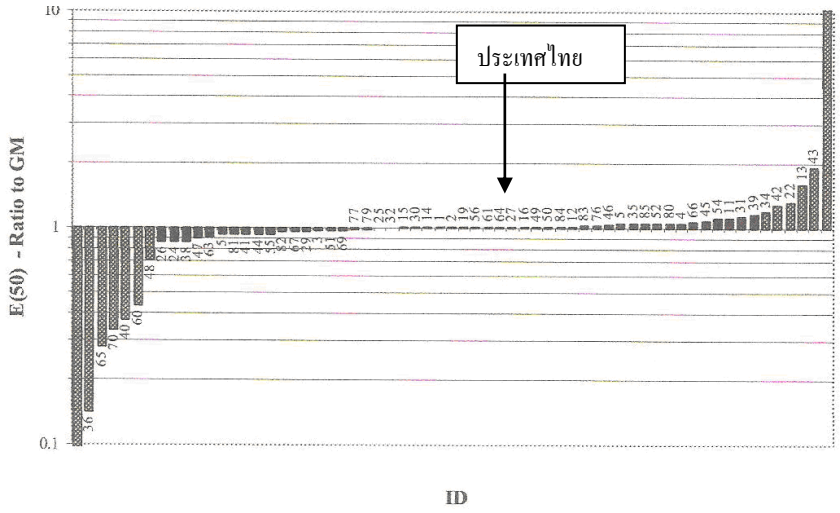


Fig. 11.4. Frequency distribution of results without outliers (N=58). Values of committed effective dose due to 131I normalized to the geometric mean. (GM = 2.57 mSv, GSD = 1.07).

รูปที่ 3 แสดงค่าการกระจายของข้อมูลการคำนวนค่า E(50)ของแต่ละห้องปฏิบัติการไม่รวมค่าที่อยู่นอกเส้นยอมรับได้จำนวนทั้งหมด 58 ค่าGM=2.57,GSD=1.07 จากเอกสารอ้างอิงลำดับที่ 2



รูปที่ 4 แสดงอัตราส่วนค่า E(50)และGM จากเอกสารอ้างอิงลำดับที่ 2 โดยประเทศไทยมี ID เป็น 64

จากรูปจะเห็นว่าค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกันและของประเทศไทย(ID 64) มีค่าเข้าใกล้ 1 ค่า อยู่ในเส้นที่ยอมรับได้และมีค่าใกล้เคียงกับค่ากลางมากที่สุดค่าหนึ่ง จากกราฟพบว่าการคำนวณค่าปริมาณรังสีที่แตกต่างกันนั้นเนื่องมาจากการสมมุติค่า dose coefficients ที่แตกต่างกันตามรูปแบบของ vapour หรือ aerosol นั่นเอง ซึ่งค่า dose coefficient ของทั้งสองรูปแบบเป็นดังนี้

Radionuclide: I-131 Inhalation of vapour f_1 : 1	Radionuclide: I-131 Inhalation Type F 5.0 micron AMAD
2.00E-08 Sv/Bq	1.10E-08 Sv/Bq

การสมมุติค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

- **เส้นทางการได้รับสารรังสี (Route of Intake)** ทุกห้องปฏิบัติการ สมมุติให้การได้รับรังสีเป็นการได้รับแบบหายใจเข้าไปยกเว้น 27 ห้องปฏิบัติการ ที่สมมุติแบบการฉีดเข้าไป(Injection) ซึ่งกรณีของประเทศไทยก็ใช้เส้นทางการได้รับรังสีแบบหายใจเข้าไปเช่นเดียวกัน
- **รูปแบบการได้รับรังสี** (Intake Pattern) แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงจำนวนห้องปฏิบัติการที่สมมุติค่ารูปแบบการได้รับรังสี

Assumed intake pattern	Number of participants
Repeated acute intake	24
Single acute intake	16
Continuous intake	17
Constant intake at steps	4
Not given / Not applicable	2

- **Models**

เกือบทั้งหมดของผู้ที่เข้าร่วมเลือกใช้สัดส่วนการคงอยู่และค่า dose coefficient ใน ICRP 66 Human Respiratory Tract Model รวมทั้งใน ICRP 67 , 68 และ78 มีเพียง 2 หน่วยงานเท่านั้นที่ใช้ ICRP 30 สำหรับผู้ที่เลือกใช้ Gastrointestinal Tract Model เกือบทั้งหมดเลือกใช้ใน ICRP 30 และเลือกใช้ค่า $f_1 = 1$

- **Absorption Type**

ในกรณีนี้สารประกอบทางเคมีของไอโอดีนอยู่ในรูปไอระเหย (Vapours form) ICRP 66 และ ICRP 68 กำหนดรูปแบบการสะสมในปอดไว้ 3 Class สำหรับไอโอดีนในรูป gas หรือไอระเหยอยู่ใน Class SR-1 หมายถึง สมมุติว่ามีการสะสม 100 % ค่า absorption type ที่เหมาะสมคือ Type F

(absorption rate 100 d^{-1})หรือ Type V (instantaneous absorption) ผู้เข้าร่วม 40 ห้องปฏิบัติการใช้ Type F และ13 ห้องปฏิบัติการใช้ Type V

- **Dose Coefficients**

ค่า Dose Coefficient ที่กำหนดไว้ใน ICRP สำหรับไอโอดีนในรูปไอระเหยมีค่าเท่ากับ 2×10^{-8} Sv/Bq ซึ่งแต่ละห้องปฏิบัติการเลือกใช้ค่า Dose Coefficient ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงค่าDose coefficients ที่แต่ละห้องปฏิบัติการกำหนด

Dose coefficient Sv/Bq	Number of participants
8.00E-9	1
1.01 E-8	1
1.05 E-8	4
1.10 E-8	14
1.30 E-8	2
1.57 E-8	3
1.97 E-8	7
2.00 E-8	24
2.20 E-8	1
2.80 E-8	1
3.10E-8	1
5.93 E-8	1
Not given	3

- **Measurement errors**

ผู้เข้าร่วมโครงการ 18 ห้องปฏิบัติการมีข้อมูลระบุว่า การสมมุติค่าการกระจายของข้อมูลการวัดไทรอยด์เป็นแบบ log normal distribution และ 23 ห้องปฏิบัติการสมมุติให้เป็นแบบ normal distribution ห้องปฏิบัติการ 34 ห้องปฏิบัติการมีข้อมูลค่าความไม่แน่นอนในการวัด(uncertainty) ส่วน 7 ห้องปฏิบัติการยอมใช้ค่าตามค่าที่แนะนำในIDEAS guide lines คือมีค่าscattering factor = 1.2

- **Software used**

มีการใช้ Software ที่แตกต่างกันถึง 20 Software ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่(12 ห้องปฏิบัติการ)ใช้โปรแกรม IMBA 6 ห้องปฏิบัติการใช้ LUDEP 4 ห้องปฏิบัติการใช้ MONDAL ขณะที่ 3 ห้องปฏิบัติการใช้ IMIE 3 ห้องปฏิบัติการใช้ AIDE 2 ห้องปฏิบัติการใช้ IDEASDVO102 2 ห้องปฏิบัติการใช้ Mathematica – Excel ขณะที่ 1 ห้องปฏิบัติการใช้ตัวซอฟท์แวร์ตัวอื่น ส่วน 17 ห้องปฏิบัติการไม่ได้ใช้ software ใช้แต่ manual อย่างเดียว ซึ่งประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ใช้แบบmanual เช่นกัน

- **Use of guidelines**

เกือบ 50 % ของผู้เข้าร่วมโครงการ (27 ห้องปฏิบัติการ) ทำตาม IDEAS guidelines มี 25 ห้องปฏิบัติการที่ไม่ทำตาม IDEAS guidelines EAS guidelines โดยให้เหตุผลว่า

- ทำตามวิธีการประเมินของตนเอง
- ไม่มีโปรแกรมสำเร็จรูปในการทำตาม guidelines อย่างเคร่งครัด
- guidelines หาได้ยาก หรือหาไม่เจอ
- guidelines ไม่เหมาะกับกรณีนี้
- ไม่มีเวลาศึกษา guidelines

ส่วนผู้เข้าร่วมโครงการอีก 11 ห้องปฏิบัติการไม่ได้ตอบเรื่องนี้ ซึ่งประเทศไทยก็หา IDEAS guide lines ไม่พบเช่นกัน เลยไม่ได้ทำตาม IDEAS guide lines

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าผลการคำนวณระหว่างค่าที่ใช้ guide lines กับไม่ใช้ guide lines ไม่รวมค่าที่อยู่นอกเส้นที่ยอมรับได้

	All participants		Did not follow guidelines		Followed guidelines	
	Intake	E(50)	Intake	E(50)	Intake	E(50)
N	58	50	24	21	24	21
GM	160kBg	2.57mSv	154kBg	2.59mSv	174kBg	2.56mSv
σ_g	1.39	1.07	1.39	1.05	1.40	1.09
Min	88kBg	2.2mSv	88kBg	2.39mSv	118kBg	2.20mSv
Max	329kBg	3.0mSv	329kBg	2.88mSv	320kBg	3.09mSv

ค่าที่ได้ไม่ว่าจะเป็นการทำหรือไม่ทำตาม Guide lines จะได้ค่าปริมาณรังสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าการทำตาม guide lines ได้อย่างถูกต้องจะต้องสิ้นสุดที่ step 5.11.3 ซึ่งมีผู้เข้าร่วมโครงการหลายคนไม่สิ้นสุดที่ step ดังกล่าว

- **สรุปผลการคำนวณของผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด**

ในการได้รับ I-131แบบซ้ำๆในรูปของ vapour นั้น ถ้าทำตาม IDEAS guide lines จะได้ค่า Intake 129 kBq จากการหายใจเอา I-131เข้าสู่ร่างกาย และค่า E(50) มีค่า= 2.58 mSv ซึ่งค่านี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมาก ซึ่งค่าจริงมีค่าIntakeเท่ากับ 120 kBq และ E(50) = 2.40 mSv

จากที่ผู้เข้าร่วมโครงการประเมินทั้งหมด 63 ห้องปฏิบัติการ ปรากฏว่าค่าที่ไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในค่า Intake มี 5 ค่าเท่านั้นในขณะที่ค่า E(50)มีค่าที่ไม่อยู่ช่วงนี้ยอมรับได้มากถึง 13 ค่า จากตารางที่ 12 ค่า Intake เฉลี่ยโดยวิธี GM ที่คำนวณเมื่อไม่นับค่าที่อยู่นอกช่วงนี้ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 160 kBq ซึ่งมากกว่าค่าจริงซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 kBg ส่วนค่า E(50) เฉลี่ยโดยวิธี GM ที่คำนวณเมื่อไม่นับค่าที่อยู่นอกช่วงนี้ยอมรับได้มีค่า 2.57 mSv มีค่ามากกว่าค่าจริงซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.40 mSv แต่ค่าของทั้ง 2 ค่าถือว่าใกล้เคียงกับค่าจริงมาก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการคำนวณค่าปริมาณรังสีที่ได้รับของทุกห้องปฏิบัติการสามารถสรุปได้ดังนี้

- การสมมุติรูปแบบการได้รับสารรังสีไม่มีอิทธิพลต่อผลการคำนวณ
- ค่า Intakeที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มนั้นเนื่องมาจากการเลือกรูปแบบการขจัดออกจากปอด (class)ที่ต่างกัน
- ค่า E(50)มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากการชดเชยค่า dose coefficient ของแต่ละclass นั้นเอง
- การใช้หรือไม่ใช้ IDEAS guide lines ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน

7. สรุปผลการเข้าร่วมโครงการ

จากการเข้าร่วมโครงการครั้งนี้ประเทศไทยได้รับประโยชน์หลายด้านจากการเข้าร่วมโครงการ ในคือ ในเรื่องการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย ในเรื่องของวิธีการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่ต้องคำนึงถึง การสมมุติรูปแบบการได้รับรังสี โปรแกรมที่ใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสี และการใช้ประโยชน์จาก IDEAS guide lines ซึ่งเป็น giude lines ที่ใช้เป็นแนวทางในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย ซึ่งทางกลุ่มฯสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตหากมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทันสมัยและสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ตาม guide lines

อีกทั้งเป็นการตรวจสอบคุณภาพของการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย ของกลุ่มงานฯ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานด้านกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี เพราะการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายจะต้องได้ค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากค่าที่ประเมินได้เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี หากประเมินค่าปริมาณรังสีผิดไป การวางแผนงานในการป้องกันการได้รับรังสีก็จะผิดเพี้ยนไปด้วย การกำกับดูแลความปลอดภัยจากการใช้งานทางรังสีก็จะไม่ถูกต้อง ดังนั้นการเข้าร่วมโครงการดังกล่าวจึงถือว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี เพราะหากค่าที่ได้ไม่ถูกต้องการกำกับดูแลก็ผิดพลาดเช่นกัน

จากการเข้าร่วมโครงการพบว่า ประเทศไทยสามารถประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายได้อย่างถูกต้องประเทศหนึ่งโดยไม่ต้องใช้ guide lines มีความเข้าใจในเรื่องการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย สามารถตีความและแปลผล เพราะถ้าไม่สามารถวิเคราะห์รูปแบบการได้รับรังสี โครงสร้างการขจัดออกจากปอด โดยเฉพาะสิ่งที่สำคัญคือต้องสามารถวิเคราะห์ให้ออกว่าวันเวลาที่ได้รับรังสีคือวันเวลาอะไร รูปแบบการได้รับรังสี เพื่อให้ค่าที่คำนวณออกมาถูกต้องมากที่สุด

เป็นประเทศที่สามารถประเมินค่าปริมาณรังสีได้ค่าเท่ากับค่าจริงตามค่าที่กำหนดขึ้นโดย IAEA/IDEAS จากจำนวนหน่วยงานที่เข้าร่วมทั้งหมด จำนวน 63 ห้องปฏิบัติการ จากทั้งหมด 35 ประเทศ จากทวีป 4 ทวีป คือ แอฟฟริกา อเมริกา เอเชีย และ ยุโรป ประเทศที่อยู่ในเกณฑ์การประเมินที่ดีมีทั้งหมด 37 ห้องปฏิบัติการ ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในนั้นด้วย ส่วนประเทศที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ดีมีทั้งหมด 13 ห้องปฏิบัติการ

จากกลุ่มห้องปฏิบัติงานที่เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่ใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ และประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายมากกว่าการใช้มือ ซึ่งการใช้โปรแกรมวิเคราะห์จะมีข้อดีคือ สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่น ขนาดของอนุภาค และabsorption type เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่มีในโปรแกรมว่ากราฟที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์มีความใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับกราฟมาตรฐานหรือไม่(fitting) หากมีความใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันแสดงว่าค่าพารามิเตอร์ตัวนั้นมีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งการปรับค่าพารามิเตอร์นี้เหมาะกับการประเมินที่ใช้ IDEAS guide lines และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยคำนวณเท่านั้น ดังนั้นทางกลุ่มสามารถใช้วิธีการเดียวกันนี้ได้เช่นเดียวกันในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หากต้องการความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่ต้องมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทันสมัยเสียก่อน

นอกจากนี้ทางกลุ่มยังสามารถนำ IDEAS guide Lines มาใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกายได้ โดยจะต้องศึกษาการใช้ guide Lines และการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานในโปรแกรมการคำนวณอัตราการขับถ่าย อัตราการคงอยู่ในอวัยวะและเนื้อเยื่อ รวมทั้งต้องศึกษาในเรื่องสถิติเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

1. International Commission on Radiological Protection, "Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers Replacement of ICRP publication 54", ICRP publication No.78, Pergamon, Oxford and New York, 1997
2. Open Report of the Belgian Nuclear Research Centre, SCK-CEN-BLG-1018, "IDEAS/IAEA Intercomparision Exercise on Internal Dose Assessment", C. Hurtgen ,et al..,Belgium,2005

ภาคผนวก ก

IDEAS guide lines