หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ประชาชนมีความกลัวเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ในช่วงเวลาไม่กี่ปีมานี้เอง สิ่งแวดล้อมเป็นพิษได้แก่ อากาศเป็นพิษ น้ำเป็นพิษ อาหารเป็นพิษ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากไอเสียรถยนต์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องปรุงแต่งอาหารที่ทำให้น่ารับประทาน แต่สิ่งที่ใส่ลงไปรับประทานไม่ได้และมีพิษ อีกอย่างหนึ่งที่คนรู้จักคือ อันตรายจากกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) ซึ่งได้มาจากสารกัมมันตรังสี (Radioactive substance) สารกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อน (Contaminate) ในสิ่งแวดล้อม อาจมาจากการทดลองระเบิดนิวเคลียร์หรือจากการใช้ประโยชน์ของสารกัมมันตรังสีในกิจการต่าง ๆ ชาวโลกเพิ่งจะรู้จักพิษของกัมมันตภาพรังสีก็เมื่อประมาณ 30 กว่าปีมานี่เอง ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยสัมพันธมิตรได้ทิ้งระเบิดปรมาณูที่เมืองฮิโรชิม่า และนางาซากิซึ่งเป็นเมืองที่ใหญ่ที่สุดของญี่ปุ่น ในสมัยนั้นทำให้ประชาชนได้รับกัมมันตภาพรังสีซึ่งเกิดจาก Fission products ทำให้ผู้ที่ได้รับพิการและทุพพลภาพ

ปัจจุบันนี้ทั่วโลกกำลังวิตกเกี่ยวกับพลังงานบนโลกเริ่มจะลดน้อยลงพลังงานส่วนใหญ่ได้จากน้ำมัน ซึ่งประเทศที่มีน้ำมันอยู่ก็พยายามบีบบังคับประเทศที่เป็นลูกค้าโดยขึ้นค่าน้ำมันเรื่อย ๆ เพราะฉะนั้นทำให้นักวิทยาศาสตร์ของประเทศต่าง ๆ เริ่มค้นคว้าเกี่ยวกับแหล่งพลังงานใหม่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งทั่วโลกมีการตื่นตัวเกี่ยวกับอันตรายที่ได้รับจากโรงไฟฟ้าปรมาณู ดังนั้นประเทศต่าง ๆ ที่กำลังสร้างโรงไฟฟ้าปรมาณู หรือมีโรงไฟฟ้าปรมาณูอยู่แล้ว จะต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของสารรังสีต่อพืชและสัตว์ที่อยู่บริเวณที่ตั้ง

การเปรอะเปื้อนของสารกัมมันตรังสีในน้ำอาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือการเดินเครื่องตามปกติ พวกสารกัมมันตรังสีที่พบส่วนมากเป็นซีเซียม-137, สตรอน-เซียม-90 ซึ่งพวกนี้เป็นสารที่มีครึ่งชีวิตยาว เข้าร่างกายได้ทางตรงและทางอ้อม ทางตรงได้จากอากาศและน้ำ ส่วนทางอ้อมได้จากการที่สารกัมมันตรังสีบางส่วนลงไปในน้ำซึ่งในน้ำจะมีพืชและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และคนกินพืชหรือสัตว์น้ำนั้นเป็นอาหารจะได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายเนื่องจากพืชและสัตว์น้ำเหล่านั้นสะสมรังสีไว้

ในระยะเริ่มแรกของการสร้างโรงไฟฟ้าปรมาณู แต่ละประเทศก็มีนโยบายที่จะตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูไปอยู่นอกเมือง เพื่อให้ไกลจากชุมชน แต่การย้ายออกไปมักจะไปอยู่ใกล้อาณาบริเวณที่มีการเกษตร เพราะฉะนั้นปัญหาในการที่ผลิตผลการเกษตรจะเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสีมีมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายในการวิจัย

เนื่องจากปลากะดี่ กุ้งฝอย และผักบุ้ง เป็นอาหารที่อยู่ในน้ำจืดทั่วไปของเมืองไทย ถ้าในน้ำมีรังสีพวกพืชและสัตว์เหล่านี้ก็จะได้รับรังสีจึงได้มีการศึกษาซีเซียม-137 เพื่อ

1.2.1 ศึกษาการแพร่กระจายของสารรังสีซีเซียม-137 ในน้ำ

1.2.2 ตรวจวัดปริมาณของซีเซียม-137 ที่สะสมอยู่ในพืชและสัตว์น้ำจืด

1.2.3 ศึกษาและหาข้อมูลใช้เป็นแนวทางกำหนดคุณลักษณะของสารกัมมันตรังสี ในอาหารประเภทสัตว์และพืชน้ำจืด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการสะสมของรังสีในปลากะดี่ กุ้งฝอย ผักบุ้ง โดยการวัดความแรงรังสีของซีเซียม-137

1.4 แนวเหตุผลทฤษฎีที่สำคัญหรือสมมุติฐาน

เนื่องจากซีเซียม-137 เป็นสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากผลพลอยได้จากปฏิกริยาแตกตัว ในกรณีที่มีการปล่อยซีเซียม-137 ลงสู่น้ำสัตว์และพืชน้ำจืดจะรับเอา

สารกัมมันตรังสีที่สะสมไว้ภายใน เมื่อคนบริโภคพืชและสัตว์เข้าไปจะทำอันตรายต่อคนได้เพราะซีเซียม-137 มีครึ่งชีวิตยาวและเป็นสารรังสีที่เป็นอันตรายต่อคนมาก เนื่องจากเป็นสารกัมมันตรังสีที่ชอบสะสมอยู่ภายในทั่วร่างกาย

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 นำไปใช้ประเมินค่าความปลอดภัยทางรังสีแก่ประชาชนผู้นิยมบริโภคอาหารและพืชผักนั้น

1.5.2 ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ให้ทราบว่า สัตว์และพืชน้ำจืดชนิดใดได้รับสารรังสีไว้ในตัวได้มากแค่ไหน ด้วยอัตราส่วนเท่าใด

1.5.3 ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นประโยชน์ใช้เป็นแนวการปฏิบัติในการกำหนดขีดจำกัด การปล่อยสารรังสีลงสู่พื้นน้ำของห้องทดลองค้นคว้าทางนิวเคลียร์หรือโรงงานอุตสาหกรรมทางนิวเคลียร์ เช่น โรงไฟฟ้าปรมาณู เป็นต้น

1.6 การวิจัยอื่น ๆ เกี่ยวข้องที่ได้กระทำมาแล้ว

1.6.1 ต้นกำเนิดของการได้รับซีเซียม-137 จากสิ่งแวดล้อม

1. จากฝุ่นกัมมันตรังสี (Fall out) ในการทดลองระเบิดปรมาณูแต่ละครั้งจะมีซีเซียม-137 ออกมาด้วย ซึ่งอยู่ในรูปของฝุ่นกัมมันตรังสี

2. จาก Fission products ซึ่งได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูหรือโรงไฟฟ้าปรมาณู ซึ่งส่วนมากออกมาในรูปของของเหลว ซึ่งส่วนใหญ่จะไหลลงสู่ทะเล เนื่องจากที่ตั้งเครื่องปฏิกรณ์และที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูจะอยู่ใกล้ทะเล fission fragments เป็นพวกสารรังสีซึ่งจะสลายตัวและจะมีอยู่ 2 chain ที่นักฟิสิกส์สุขภาพสนใจเป็นพิเศษ คือ

(1) $^{90}_{36}Kr \xrightarrow[33s]{\beta^-} {}^{90}_{37}Rb \xrightarrow[2.74m]{\beta^-} {}^{90}_{38}Sr \xrightarrow[20y]{\beta^-} {}^{90}_{39}Y \xrightarrow[64.2h]{\beta^-} {}^{90}_{40}Zr$ (stable)

(2) $^{137}_{53}I \xrightarrow[22s]{\beta^-} {}^{137}_{54}Xe \xrightarrow[3.9m]{\beta^-} {}^{137}_{55}Cs \xrightarrow[30y]{\beta^-} {}^{137}_{56}Ba$ (stable)

จำนวนสารรังสีที่เวลา T วัน หลังจากเกิดการแตกตัวจะได้จากสูตร

$$A = 1.03 \times 10^{-6} \quad T^{-1.2} \quad \frac{\text{Curies}}{\text{fission}}$$

เมื่อ T เป็นเวลา (วัน) หลังจากการแตกตัว

ตาราง 1-1 ผลพลอยได้ที่สำคัญในการแตกตัวในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

ผลพลอยได้ที่เกิดจากการแตกตัว	ความแรงรังสี (กูรี) หลังจากเลือกช่วงที่มีการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูที่ติดต่อกัน และเดินเครื่องที่ 1000 กิโลวัตต์		
	100 วัน	1 ปี	5 ปี
Cs-137	300	1080	5170

ตาราง 1-2 ความแรงรังสีของผลพลอยได้ของการแตกตัวเป็นกูรีที่เวลา (T) หลังจากดับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเมื่อเดินเครื่องที่ 1000 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1 ปี

ผลพลอยได้ที่เกิดจากการแตกตัว	T = 0	T = 1 ปี	T = 5 ปี
Cs-137	1080	1060	970

1.6.2 การดูดซับ การกระจัดกระจาย ในธรรมชาติสู่ร่างกายคน และการขับถ่าย

ในการทดลองระเบิดปรมาณู ฝุ่นกัมมันตรังสีร้ายแรงลงสู่ธรรมชาติ คือ ซีเซียม-137 และสตรอนเชียม-90 ซึ่งมีปริมาณสูงมาก และมีครึ่งชีวิตยาวมาก คือ 30 และ 28 ปี ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป พวกที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ จะสลายตัวหมดเหลือแต่ 2 ตัวนี้ ทำให้ธรรมชาติบริเวณใกล้เคียงจะเปรอะเปื้อนด้วยสารพวกนี้ เมื่อฝุ่นกัมมันตรังสีตกลงมาในต้นไม้ ใบจะเป็นตัวดูดซับ แต่ถ้าฝุ่นกัมมันตรังสีตกลงไปในดินมันจะสะสมกับดิน รากจะไม่สามารถดูดซับฝุ่นกัมมันตรังสีซึ่งมีซีเซียม-137 ไปยังต้นได้ อย่างไรก็ตามดินบางชนิดไม่มีคุณสมบัติจะยึดซีเซียม-137 ได้ เพราะฉะนั้นซีเซียม-137 สามารถแพร่กระจายไปเรื่อย ๆ

(1) ซีเซียม-137 เข้าไปในคน สัตว์ และใบพืชโดยผ่าน food chain จะไม่มีการสะสมในอวัยวะส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย ถึงแม้ว่ามีความเข้มข้นสูงในกล้ามเนื้อ อัตราการกำจัดทิ้งของซีเซียม-137 ในร่างกายคนเราใช้เวลาไม่กี่เดือน

(2) การทดลองการสะสมซีเซียม-137 ในคนยังไม่มีการทดลอง แต่จากการศึกษาจากคนที่เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งจากการศึกษาการกระจัดกระจายของซีเซียม-137 หลังจากคนหายใจเข้าไป จากการศึกษาของแผนก Health, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois (Presented by Charles E. Miller)

โดยมีชาย 2 คน คนแรกอายุ 62 ปี คนที่สองอายุ 38 ปี เกิดอุบัติเหตุโดยชาย 2 คนนี้สูดเอาซีเซียม-137 เข้าไป เนื่องจากชาย 2 คนนี้ ได้บรรจุสารรังสีซีเซียมซัลเฟต เพื่อจะเอาไปกำจัดทิ้ง ปรากฏว่าได้สูดเอาซีเซียมซัลเฟตเข้าไป โดยนำชาย 2 คนนี้ไปวัดรังสี ผลปรากฏดังนี้

ตาราง 1-3 ผลการวัดรังสีในคน 2 คน ที่ดูดเอาซีเซียม-137 เข้าไป

Total-body μCi ^{137}Cs		% Total Cs content in each one seventh segment of the body						
	day	Pos 1 Head	2 Chest	3 upper abdomen	4 lower abdomen	5 thighs	6 Legs	7 Fee
(subject P)	9	8.6	19.7	17.6	17.6	20.4	5.8	7.1
38 years	52	5.5	19.4	19.6	19.6	23.1	5.5	7.7
	178	5.5	20.7	19.6	19.6	20.2	7.5	5.2
	285	6.7	20.2	19.8	19.8	19.9	6.1	6.0
Average %		6.6	20.0	19.2	19.2	20.9	6.2	6.5
^{40}K 167 g.		8.0	19.4	21.9	21.9	19.7	5.9	5.5
(subject B)	9	8.7	20.2	13.3	20.5	22.5	7.7	7.2
62 years	52	6.5	21.0	11.7	20.3	28.7	7.0	7.9
	178	4.4	20.3	14.7	17.1	23.9	15.9	3.6
	285	11.7	17.4	15.5	20.1	21.5	8.8	4.4
Average %		7.8	19.7	13.8	19.7	23.4	9.9	5.8
^{40}K 135 g.		9.7	24.1	17.8	18.2	19.4	5.6	5.2

(3) R Lie ได้ทำการทดลองพบว่าในกระดูกของหนู หลังจากเอาไขกระดูกออกแล้ว จะมีความเข้มข้นของซีเซียมในเนื้อเยื่อของกระดูกเป็นกรึ่งหนึ่งของกล้ามเนื้อ และซีเซียมกระจายไปยัง Cartilage, trabecular ดีพอ ๆ กับ cortical bone การทดลองโดยใช้วิธีออโตราดิโอกราฟี

(4) นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการกระจายของซีเซียม-137 ในตัวปลา

ตาราง 1-4 ความเข้มข้นของสารรังสีที่อยู่ ในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาจากแม่น้ำ Mohawk (ก.ย - ต.ค 1959) ความแรงรังสีเป็น พิโคคูรี/กิโลกรัม น.น. สด

Component	$Cs^{137} - Ba^{137}$
สถานีที่ 3-1	
เนื้อ	30
กระดูก	-
ตับ	-
ลำไส้และส่วนที่อยู่ภายใน	5,000
ไส้ พุง	-
เกล็ด	-
สถานีที่ 2	
เนื้อ	30
กระดูก	-
ตับ	-
ลำไส้และส่วนที่อยู่ภายใน	40
ไส้ พุง	30
เกล็ด	-

Component	^{137}Cs - ^{137}Ba
Yellow Perch - สถานีที่ 3	
เนื้อ	80
กระดูก	1,100
ตับ	-
ลำไส้	200
ไส้ พุง	70
เกล็ด	40

ซีเซียม-137 เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน ซีเซียม-137 จะอยู่ในดินหรือซึมเข้าไป หรือคนกินสัตว์ที่กินพืชที่มีซีเซียม-137 ถ้าฝนตกลงไปในทะเลซีเซียม-137 จะเข้าไปในปลาและในคนได้ โปแตสเซียมจะรวมกับซีเซียมแล้วจะไปสะสมในเนื้อเยื่อที่อ่อน ๆ โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อ สารประกอบอันนี้จะละลายน้ำได้ดี จำนวนรังสีภายในของซีเซียม-137 วัดได้โดยหาปริมาณซีเซียม-137 ในอาหาร ถ้าซีเซียม-137 เข้าไปในอาหารแล้วผ่านไปยังรากของพืช ปริมาณรังสีที่ได้รับอาจจะมากหรือน้อยกว่าอัตราส่วนของซีเซียม-137 ที่สะสมอยู่ในดิน

แต่ถ้าซีเซียม-137 ไปเกาะที่ใบของพืช ปริมาณรังสีที่ได้รับภายในจะมีสัดส่วนใกล้เคียงกับค่าโปแตสเซียมที่อยู่ในพืชจะมีผลต่อระดับซีเซียม-137 คือเมื่อโปแตสเซียมเพิ่มขึ้น ซีเซียม-137 จะน้อยลง ในทะเลจะมี high electrolyte และมีซีเซียม-137 น้อย ระดับซีเซียม-137 ในปลาจะมีค่าน้อยกว่าซีเซียม-137 ที่อยู่ในปลาน้ำจืด

ในเนื้อสัตว์ที่อยู่ในน้ำจืด พบว่ามีซีเซียม-137 มีค่า 5-20 เท่าของน้ำที่มันอาศัยอยู่ คนได้รับซีเซียม-137 จากน้ำ และพวกเมล็ดพืช (Russel 1966)

ในประเทศอังกฤษมีการทดลองหาค่า C.F. ของสัตว์ทะเลซึ่งพบว่ากุ้งทะเล (lobster) เป็น critical aminal limiting the discharge of radioactive waste และส่วนใหญ่รังสีจะไปอยู่ที่เปลือกกุ้ง

(5)

นอกจากนี้ในประเทศอินเดียซึ่งเป็นประเทศหนึ่งที่อยู่ใกล้ประเทศไทยมาก และมีโรงไฟฟ้าปรมาณู นักวิทยาศาสตร์ซึ่งเกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าปรมาณูได้ศึกษาเกี่ยวกับการรับสะสมของสารรังสีต่อสัตว์และพืชอย่างละเอียดมาก ซึ่งจะมีการหาค่า C.F. ทั้งในห้องทดลองและในสิ่งแวดล้อม ผลปรากฏว่ามีค่า C.F. ของ Cs-134, และ Cs-137 ดังนี้

ตาราง 1-5 ค่า C.F. ในสัตว์ทะเลในธรรมชาติและในห้องทดลอง

Radionuclide	Crustaceans		Fish	
$^{134,137}Cs$	Field	Laboratory	Field	Laboratory
	$10-10^5$	4-34	5×10^2	2-36

เนื่องจากซีเซียม-137 ตัวหนึ่งที่เป็นอันตรายที่อยู่ในฝุ่นกัมมันตรังสี ซึ่งพบในพืชไร่, ปลา อาหารนม ในกน เนื้อสัตว์ พวกพืชเล็ก ๆ ที่อยู่บนผิวน้ำและพวกสัตว์ป่า การสะสมของสารรังสีของต้นไม้จากดินเป็นสักส่วนที่ต่ำ แต่ K lechkovesky รายงานว่า เมื่อเมล็ดข้าวสาลีที่โตขึ้น โดยได้รับอาหารและน้ำที่มีซีเซียม-137 อยู่ พบว่าเมล็ดพืชจะมีซีเซียม-137 อยู่ 4000 เท่า ของพืชที่ขึ้นอยู่ในดินที่ซีเซียมอยู่ Hanson และ Kornberg ได้พบว่าความเข้มข้นของซีเซียม-137 ในเนื้อ Waterfowl และอาหาร จำพวกพืชน้ำจืด สามารถดูดซับสารรังสีได้ดีกว่าพืชบก

(6)

รายงานนี้ผลของการศึกษาในธรรมชาติและจากการทดลอง โดยได้พิสูจน์สมมุติฐานว่าเริ่มต้นจากการศึกษา Cs-137 ใน ecologic chain เริ่มต้นใน

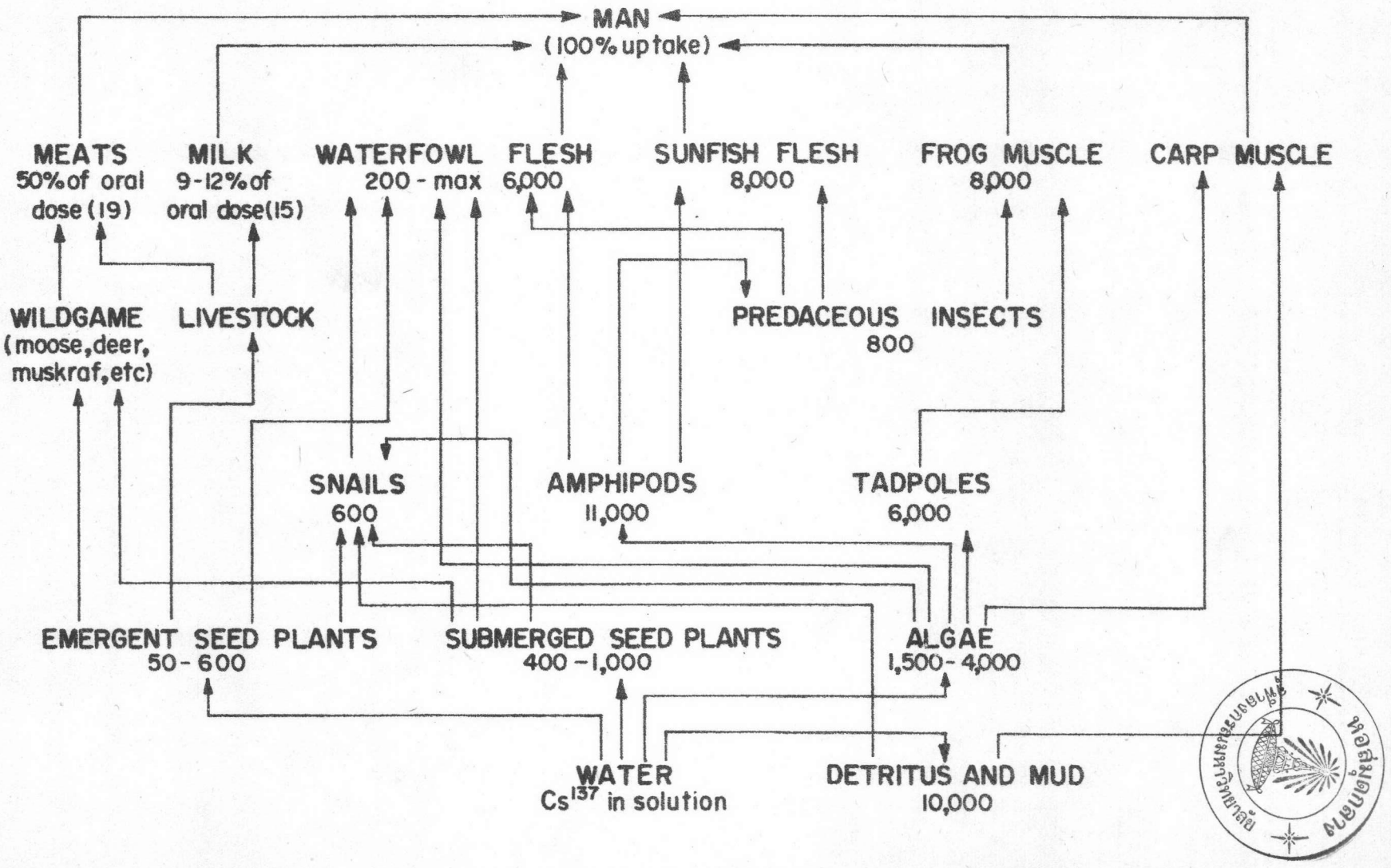
น้ำจืด เปรียบเทียบกันในสิ่งแวดล้อมบนบก

สิ่งมีชีวิตในน้ำจืดโดยเก็บมาจากธรรมชาติ จากที่ 1.1 hectore pond โดยใส่สารรังสีจาก Hanford chemical seperations facilities ที่ใส่สารรังสีติดต่อกันแต่ใส่ในปริมาณที่น้อย Cs-137 ในสิ่งมีชีวิตได้ทำการวิเคราะห์ได้ค่าความเข้มข้นของ Cs-137 ในน้ำมีค่า $1 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-6}$ μCi/ml การศึกษานี้ได้ทำการทดลองซ้ำโดยทำในห้องทดลองในเนื้อที่ 675 m^2 ในบ่อคอนกรีตยาว หลังจากกะเวลาให้เหมาะสม และใส่สารรังสีลงไปจะได้ความเข้มข้นรังสีครั้งแรก 6×10^{-3} μCi/ml

ผลการรับสะสมของ Cs-137 จากสิ่งมีชีวิต แต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน อัตราในการรับสะสมของสัตว์ในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์เหล่านั้น ถ้าอายุมากจะมีการรับสะสมน้อยลง

การศึกษาพืชที่อยู่ในน้ำจืดที่ได้รับซีเซียม-137 จากรายงานจะมีค่า 500 เท่า ของพืชที่ปลูกบนดิน (Hanson and Browning)

สมมติว่าอาหารที่ได้รับ 100 % และคนได้รับ Cs-137 ทางอาหาร โดยเริ่มต้นจากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ รังสีจะเข้าสู่ตัวคนดัง รูปที่ 1-6



รูปที่ 1-6 FOOD WEB THROUGH WHICH Cs^{137} COULD REACH MAN

1.6.3 ความเป็นพิษของซีเซียม-137 ต่อสิ่งมีชีวิตและค่า MPC ในน้ำและในอากาศ

ซีเซียม-137 มีครึ่งชีวิต 30 ปี ซึ่งเป็นเวลายาวพอสมควร มันจะให้รังสีแกมม่าซึ่งมีพลังงาน 0.667 Mev และขณะเดียวกันจะให้รังสีเบต้าซึ่งมีพลังงาน 1.176 Mev ดังนั้นมันสามารถทะลุทะลวง เช่นเดียวกับรังสีแกมม่าทั่ว ๆ ไป พบว่ามี biological half life 70-140 วัน

ถ้าซีเซียม-137 เข้าไปในทางเดินอาหาร (โดยติดเข้าไปกับอาหารหรือน้ำ) หรือเข้าไปยังปอด (โดยการหายใจเอาอากาศที่มีรังสีเข้าไป) หรืออาจเข้าไปทางบาดแผล (USAEC 1962) มันจะทำอันตรายแก่ร่างกายถึงแม้ว่าซีเซียม-137 ที่เข้าไปมีปริมาณน้อยก็ตาม

เนื่องจากซีเซียม-137 เป็นสารกัมมันตรังสีที่มีเวลาที่เป็นอันตรายยาวนานมาก (long term hazard) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีการทดลองระเบิดปรมาณู ซึ่งบริเวณเหล่านั้นจะปกคลุมไปด้วยสารกัมมันตรังสี ซึ่งจะมี effect ของ internal radiation เมื่อเข้าไปในร่างกายก็จะเป็น internal source ซึ่งจะอยู่เป็นเวลานานมาก การแผ่รังสีอาจจะมากหรือน้อย ในแต่ละส่วนของร่างกายที่มันไปอยู่ (Glasstone, 1962) และเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิด genetic hazard ในอวัยวะสืบพันธุ์

(7)
ตาราง 1-7 ค่า MPC ของ ^{137}Cs

Radioactive and type of decay	Organ of reference (Critical organ in bold type)	Maximum permissible burden in total body q (μCi)	Maximum permissible concentration For 40 hr week		For 168 hr week	
			$(MPC)_w$ $\mu Ci/cm^3$	$(MPC)_a$ $\mu Ci/cm^3$	$(MPC)_w$ $\mu Ci/cm^3$	$(MPC)_a$ $\mu Ci/cm^3$
^{137}Cs	Total body	30	4×10^{-4}	6×10^{-8}	2×10^{-4}	2×10^{-8}
(β, γ $\bar{e}$)	Liver	40	5×10^{-4}	8×10^{-8}	2×10^{-4}	3×10^{-8}
	Spleen	50	6×10^{-4}	9×10^{-8}	2×10^{-4}	3×10^{-8}
	Muscle	50	7×10^{-4}	10^{-7}	2×10^{-4}	4×10^{-8}
	Bone	100	10^{-3}	2×10^{-7}	5×10^{-4}	7×10^{-8}
	Kidney	100	5×10^{-3}	2×10^{-7}	5×10^{-4}	8×10^{-8}
	Lung	300	002	6×10^{-6}	2×10^{-3}	2×10^{-7}
	GI (SI)			5×10^{-6}	8×10^{-3}	2×10^{-6}

(8)

จำนวนสารรังสีในอวัยวะต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปหลังจากได้รับสารรังสีเข้าไปในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงไม่เพียงแต่เกิดจากการสลายตัวของสารรังสีเท่านั้น แต่เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physiologic process) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายสารเคมีต่าง ๆ เข้าและออกจากอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย the effective half life สำหรับการรับหรือกำจัดสารรังสีในอวัยวะแต่ละส่วน คือ กึ่งหนึ่งของรังสีสูงสุดที่อยู่ในอวัยวะ

The effective half life for up take (T_{up}) คำนวณได้จาก half life T_1 คือ physiologic up take รวมทั้ง radioactive decay คือ $T_{½}$

The effective half life for eliminate (T_{eff}) ของสารรังสีที่อยู่ในอวัยวะ คำนวณจาก half life Tb for physiologic elimination รวมทั้ง radioactive decay และ half life ของ radioactive decay

Expressions สำหรับการคำนวณ Tup และ Teff คือ

$$T_{up} = \frac{T_1 \, T_{½}}{T_1 + T_{½}}$$

$$T_{up} = \frac{T_b \, T_{½}}{T_b + T_{½}}$$

T_{eff} นี้ได้จากการคำนวณ

เมื่อ T_1 เป็น half life ของ physiologic up take, รวมทั้ง radioactive decay

T_b เป็น half life ของ physiologic elimination รวมทั้ง radioactive decay

$T_{½}$ คือ half life สำหรับ radioactive decay

biological half-life

$$T_b = \frac{0.693}{\lambda_B} \qquad \lambda_B = \text{biological decay constant}$$

biological half-life เป็นเวลาที่ร่างกายกำจัดสารรังสีเหลือลงครึ่งหนึ่งจากจำนวนที่มีอยู่เริ่มแรก

Effective half-life เวลาที่สารรังสีในร่างกายสัตว์ลดลงเหลือ 50 % ซึ่งผลนี้เนื่องมาจาก radioactive decay และ biological elimination

Radioactive half-life เป็นเวลาซึ่งสารรังสีลดลง 50 % ของ activity โดยการสลายตัว แต่ละสารรังสีจะมี half-life ไม่เท่ากัน

ค่า T_e นอกจากได้จากการคำนวณ เราสามารถหาได้จากการทดลอง[9]

ดังนี้ จาก $\log N_t = \log N_o - bt$

N_o & N_t = background-conected count rates at time zero and t

หาค่า b ออกมาได้

$$T_e = \frac{\log 2}{b} = \frac{0.3010}{b}$$

T_e = the effective half-life of the element was the calculated from the slopeb

T_B = biological half-life

T_p = physical half-life = 30.5 ปี (Cs-137)

$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_B} + \frac{1}{T_p}$ หา T_B ได้

concentration Factor in the Aquatic Environment

Concentration Factor สำหรับพืชและสัตว์น้ำจืด จากการรวบรวมในปัจจุบันและจากรายงานที่หาได้โดยมีการสรุปไว้เพื่อที่จะหาความแตกต่างของ

002139

concentration factor สำหรับสิ่งแวดล้อมทางทะเลและทางน้ำจืด และจากการหาค่านี้ของ stable elements จะมีแตกต่างกันใน 2 ระบบ (system) อาจจะแตกต่างเนื่องจากการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ physiological factors และการไม่สมดุลย์กันในด้านนิเวศน์วิทยา (ecology)

ประเด็นสำคัญในการวิเคราะห์สารรังสี ได้รับการเสนอแนะจาก ICRQ ว่าเราควรทำการทดลองใกล้กับสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู เมื่อคนกินอาหารที่เราวิเคราะห์ โดยสามารถจะทราบว่าคนกินรังสีเข้าไปเท่าไหร่

ให้ C.F. สำหรับสัตว์น้ำจืดจะได้รับ dose จาก reactor

C.F. สำหรับสัตว์ตัวเล็ก จะได้ค่า C.F

$$C.F. = \frac{C_o}{C_w} \quad \text{(ที่สมดุลย์)}$$

เมื่อ C.F. = concentration factor

C_o = ความเข้มข้นของสารรังสีที่อยู่ในตัวสัตว์ทดลอง

C_w = ความเข้มข้นของสารรังสีที่อยู่ในน้ำ

C_w และ C_o เราคิดที่สมดุลย์

ค่าของ C.F. ที่ได้จากการทดลองจะเป็นประโยชน์นำไปใช้ คำนวณหาปริมาณของรังสีที่คนได้รับเข้าไปในร่างกาย จากการกินพวกสัตว์น้ำหรือพืชน้ำเข้าไป

ปริมาณของรังสีที่คนได้รับสารรังสีใด ๆ = y (C.F.)g คูรี

ซึ่ง y = ความเข้มข้นของเรดิโอนิวไคล ที่อยู่ในน้ำ เป็น คูรี/ลบ.ซม.

C.F. = Concentration Factor

g = น้ำหนักเป็นกรัมของพืชน้ำหรือสัตว์น้ำ ที่คนกินเข้าไปใน 1 ปี