บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ที่มาของปัญหา

1.1.1 แหล่งที่เกิดของซีเซียม-137 ในธรรมชาติ

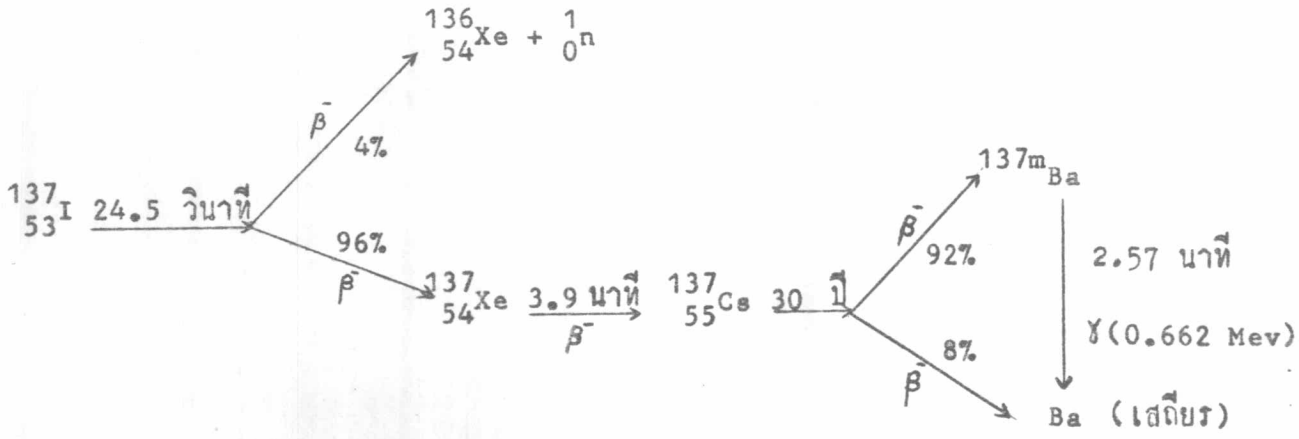
1.1.1.1 การเกิดของซีเซียม-137 ในบรรยากาศจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ และการเคลื่อนที่

สารรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์จะมาจากขบวนการฟิสชัน (fission) ของยูเรเนียม-235 และพลูโตเนียม-239 ซึ่งมีจำนวนเกือบ 200 ชนิด ที่มีพลังงานอยู่ในช่วง 70-170 amu. และมีเลขอะตอมตั้งแต่ 28-65[1] ผลผลิตจากฟิสชัน (fission product) ที่เกิดขึ้น และมีนัยสำคัญจะมีอยู่เพียง 2 ชนิด คือ

ก. ชนิดของเรดิโอไอโซโทปที่มีเลขมวล 90

$$^{90}_{36}Kr \xrightarrow{32\ \text{วินาที}} {}^{90}_{37}Rb \xrightarrow{2.9\ \text{นาที}} {}^{90}_{38}Sr \xrightarrow{28\ \text{ปี}} {}^{90}_{39}Y \xrightarrow{64\ \text{ชั่วโมง}} {}^{90}_{40}Zr \quad (\text{เสถียร})$$

ข. ชนิดของเรดิโอไอโซโทปที่มีเลขมวล 137



สารสำคัญที่สุดใน ก. คือ สทรอนเชียม-90 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายธาตุแคลเซียม จึงสามารถเข้าแทนที่ธาตุแคลเซียมยังผลให้เกิดการสะสมในกระดูกของมนุษย์และสัตว์ได้

สำหรับ ข. ไอโซโทปสำคัญที่สุดคือซีเซียม-137 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายธาตุโพแทสเซียมจึงอาจสามารถสะสมในเนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกล้ามเนื้อ

การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่มีพลังงานหลาย ๆ เมกกะตัน ในบรรยากาศที่มีความสูงมากกว่า 30,000 ฟุต ผลผลิตฟิสชันจะขึ้นและสะสมอยู่ในบรรยากาศของโลกชั้น สตราโตสเฟียร์ (Stratoshpere) และจะแผ่กระจาย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชั้นบรรยากาศ ในที่สุดพวกผลผลิตฟิสชันเหล่านี้จะตกลงสู่ผิวโลกอย่างช้า ๆ ซึ่งเรียกว่า stratopheric fallout ฉะนั้นการเปรอะเปื้อนทางกัมมันตรังสีในระยะยาว (long range) จะมาจากฝุ่นกัมมันตรังสีเหล่านี้เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ส่วนมากกระทำในซีกโลกเหนือ[1] และปริมาณฝุ่นกัมมันตรังสีที่ตกลงมาสู่ผิวโลกขึ้นกับปริมาณน้ำฝนและระยะเส้นรุ้ง (latitude) ปริมาณของฝุ่นกัมมันตรังสีจึงพบมากที่สุดในซีกโลกเหนือ เฉพาะในเส้นรุ้งระหว่าง 40-45 องศา ขณะที่ซีกโลกใต้มีปริมาณเพียงประมาณ 1/5 ของซีกโลกเหนือ นอกจากนี้ยังขึ้นกับฤดูกาล ปริมาณมากที่สุดจะพบในฤดูใบไม้ผลิคือในช่วงเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม[1]

1.1.1.2 การเกิดซีเซียม-137 เนื่องจากการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้เป็นประโยชน์ในทางสันติ

ในการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้เป็นประโยชน์ในทางสันติ จะใช้ในรูปของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (reactor) ทั้งระบบวิจัย (research) และระบบกำลัง (power) หรือในรูปของสารเรดิโอไอโซโทป ย่อมหลีกเลี่ยงกากกัมมันตรังสี (radioactive waste) ไม่พ้น ถึงแม้ว่ากากกัมมันตรังสีจะได้รับการขจัดเสียก่อนปลดปล่อยลงสู่สภาวะแวดล้อมก็ตาม ในทางปฏิบัติไม่อาจขจัดได้อย่างสมบูรณ์ ยังคงมีสารกัมมันตรังสีหลงเหลืออยู่บ้าง แต่ความแรงรังสีและชนิดของสารรังสีที่ตกค้างอยู่จะต้องมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่อนุญาตไว้โดยคณะกรรมาธิการการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (International Commission on Radiological Protection, ICRP)

ซีเซียม-137 เป็นเรดิโอไอโซโทปชนิดหนึ่งที่มีอันตรายค่อนข้างสูงและอาจเปรอะเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งกัมมันตรังสี ฉะนั้นการศึกษาถึงการสะสมของซีเซียม-137 ในสิ่งแวดล้อม และทางผ่าน (pathways) ของซีเซียม-137 จึงเป็นสิ่งที่สมควรกระทำ

เนื่องจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) มีเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย และปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ การศึกษาดังกล่าวจึงนับว่าจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อให้ความปลอดภัยและความมั่นใจแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในอาณาบริเวณโดยรอบ

ในการศึกษาถึงทางผ่านและพฤติกรรมของสารรังสีในระบบน้ำ (aquatic system) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบปริมาณสารรังสีโดยการวิเคราะห์น้ำ และสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ (hydrobiological material) ควบคู่กันไป เพื่อที่จะศึกษาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน[2, 3]

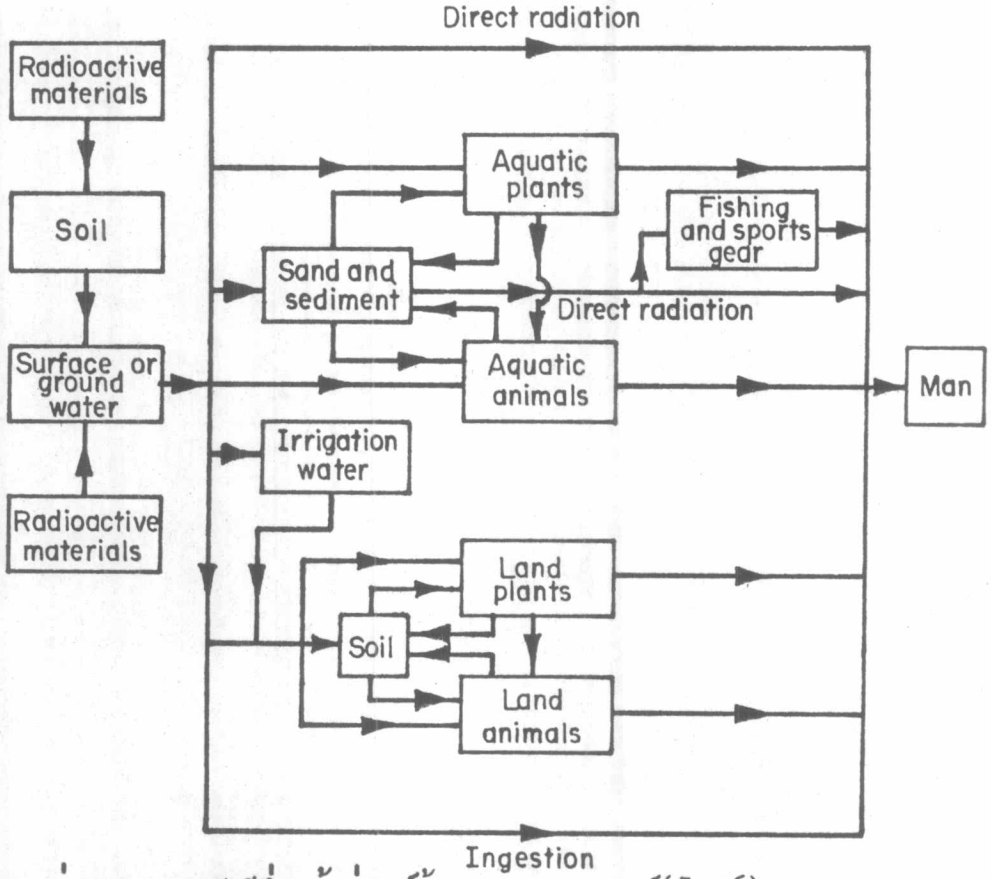
1.1.2 ทางผ่านของซีเซียม-137

ซีเซียม-137 ซึ่งส่วนใหญ่ตกลงมาพร้อมกับน้ำฝน และสะสมอยู่ในดินเป็นส่วนมากจะถูกดูดจับ (uptake) โดยพืชแล้วถ่ายทอดไปสู่ สัตว์ และสุดท้ายมนุษย์ ในลักษณะของห่วงโซ่อาหาร (food chain)[4]

สารประกอบของซีเซียม-137 ที่ปะปนอยู่ในน้ำ ไม่ว่าจะมาจากน้ำฝน หรือจากน้ำทิ้งรังสีจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารคือ น้ำ ⟶ พืช ⟶ สัตว์น้ำ ⟶ มนุษย์ เช่นกัน ในกรณีของปลานั้น ซีเซียม-137 ที่อยู่ในน้ำอาจเข้าสู่ปลาโดยทางเหงือกได้โดยตรงโดยไม่ผ่านห่วงโซ่อาหาร

สัตว์บกที่ได้รับซีเซียม-137 จะมีการดูดซับอย่างรวดเร็ว และเกือบสมบูรณ์จากระบบทางเดินอาหาร และจะถูกกำจัด (excrete) ออกมากที่สุดทางปัสสาวะ อัตราการกำจัดออกของสัตว์แต่ละชนิดขึ้นกับขนาด ถ้าเป็นสัตว์ขนาดใหญ่อัตราการกำจัดจะลดลง โดยทั่ว ๆ ไป การประเมินค่าซีเซียม-137 ในร่างกายนิยมหาจากปริมาณอาหารที่ได้รับ

สำหรับทางผ่านของสารรังสีซึ่งเข้าสู่ สัตว์น้ำ, พืช และมนุษย์ อาจแสดงได้ตามรูปที่ 1.1[5, 6]



รูปที่ 1.1 ทางผ่านของสารรังสีซึ่งเข้าสู่สัตว์น้ำ, พืช และมนุษย์[5, 6]

1.1.3 อันตรายของซีเซียม-137

ซีเซียม-137 เป็นผลผลิตฟิสชันที่สำคัญชนิดหนึ่ง เพราะว่ามีผลผลิตสูงกล่าวคือสามารถเกิดได้ถึง 6 อะตอมต่อการฟิสชัน 100 ครั้ง มีครึ่งชีวิตยาวถึง 30 ปี นอกจากนั้นยังถูกจับและคงอยู่ (retension) ในระบบสิ่งมีชีวิต (biological system)[8] ประกอบทั้งกลไก (metabolism) ของทั้งซีเซียม (เสถียร) กับซีเซียม-137 คล้ายคลึงกับธาตุโพแทสเซียม จึงสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่ออ่อนของร่างกาย[4] ซึ่งส่วนใหญ่จะเข้าไปสะสมอยู่ในเซลล์ด้วย

ซีเซียม-137 สลายตัวด้วยรังสีเบตาให้ไอโซโทปของแบเรียม-137m ซึ่งมีครึ่งชีวิต 2.57 นาที และให้พลังงานของรังสีแกมมา 0.662Mev. ได้มีการศึกษาถึงความแตกต่างของอันตรายระหว่างการกระจายของซีเซียม-137 และแบเรียม-137m ในเนื้อเยื่อสัตว์[7] และสรุปผลว่าเนื่องจากแบเรียม-137m มีครึ่งชีวิตที่สั้นมากจึงมีอันตรายน้อยมากต่อเนื้อเยื่อ ฉะนั้นในการพิจารณาถึงอันตรายจึงจะเน้นเฉพาะการกระจายของซีเซียม-137

สารประกอบของซีเซียม-137 ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดี เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเป็นทางอาหาร ทางอากาศ หรือทางบาดแผล จะถูกดูดซึมเข้าไป body fluid หมดในเวลาอันสั้น จากนั้นจะเข้าสู่เซล และกลายเป็นแหล่งกำเนิดของรังสีอยู่ในร่างกาย ซึ่งจะแผ่รังสีออกไปทำลายเนื้อเยื่อทำให้เกิดผลทั้งทางร่างกาย (Somatic effect) เช่นทำให้โมเลกุลของโปรตีนในร่างกายแตกตัว และผลทางกรรมพันธุ์ (Genetic effect) คือมีผลต่อการแบ่งตัวของเซลสืบพันธุ์ ทำให้โครโมโซมถูกทำลายเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์ขึ้น

คณะกรรมาธิการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ ได้กำหนดค่าความแรงรังสีสูงสุดที่ยอมให้อยู่ในร่างกายได้ (Maximum Permissible Body Burdens, MPBB) และกำหนดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้ (Maximum Permissible Concentration of Radionuclide, MPC) ตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่า MPBB และ MPC ของซีเซียม-137[9]

สารกัมมันตรังสีและชนิดของรังสีที่แผออกมา	อวัยวะของร่างกายที่ได้รับ	ค่าความแรงรังสีสูงสุดที่ยอมให้อยู่ในร่างกายได้	ค่าความเข้มของสารกัมมันตรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้			
			การทำงาน 40 ชม/สัปดาห์		การทำงาน 168 ชม/สัปดาห์	
			ในน้ำ	ในอากาศ	ในน้ำ	ในอากาศ
		μCi	(MPC)w μCi	(MPC)a μCi/cc	(MPC)w μCi/cc	(MPC)a μCi/cc
ซีเซียม-137 (β^-, γ, e^-)	ทั่วร่างกาย	30	4×10^{-4}	6×10^{-8}	2×10^{-4}	2×10^{-8}
	ตับ	40	5×10^{-4}	8×10^{-8}	2×10^{-4}	3×10^{-8}
	ม้าม	50	6×10^{-4}	9×10^{-6}	2×10^{-4}	3×10^{-8}
	กล้ามเนื้อ	50	7×10^{-4}	10^{-7}	2×10^{-4}	4×10^{-8}
	กระดูก	100	10^{-3}	2×10^{-7}	5×10^{-4}	7×10^{-8}
	ไต	100	10^{-3}	2×10^{-7}	5×10^{-4}	8×10^{-8}
	ปอด	300	5×10^{-3}	6×10^{-7}	2×10^{-8}	2×10^{-7}
	ระบบทางเดินอาหาร		0.02	5×10^{-6}	8×10^{-3}	2×10^{-6}

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาระดับความแรงรังสี (Activity) ของซีเซียม-137 และปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในสารตัวอย่างอาทิเช่น น้ำ ผัก/ผลไม้ อาหาร ปลา/หอย กุ้ง ดิน/โคลน ที่เก็บจากบริเวณรอบ ๆ สำนักงาน พปส. ในรัศมี 10 กม.

1.2.2 เพื่อศึกษาทางผ่านของซีเซียม-137 ในสิ่งแวดล้อมดังกล่าว

1.2.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบการเปรอะเปื้อนทางรังสี ในสิ่งแวดล้อมถ้ามีการรั่วของเครื่องปฏิกรณ์ในอนาคต

1.2.4 เพื่อประเมินค่าระดับมูลฐานของซีเซียม-137 ในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัดความแรงรังสีรวมเบตา (gross beta activity) และวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ในตัวอย่างน้ำ จำนวนไม่น้อยกว่า 180 ตัวอย่างซึ่งเก็บจากสถานีต่าง ๆ 15 สถานี ในรัศมี 10 กม. โดยรอบสำนักงานฯ เป็นประจำทุกเดือน ๆ ละครั้ง ตั้งแต่ พค. 2523 จนถึง เมย. 2524

1.3.2 วัดความแรงรังสีรวมเบตา วิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 และปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างอื่น ๆ จากสิ่งแวดล้อมจำนวนไม่น้อยกว่า 180 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากสถานีที่เก็บน้ำเท่าที่สามารถจะเก็บได้

1.3.3 วิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ในดิน ของสถานีที่ 1, 2 และบริเวณคลองบางเขนด้านที่ติดกับบ้านพักของสำนักงาน พปส.

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 การเตรียมงานขั้นต้น ประกอบด้วย

1.4.1.1 การค้นคว้าเอกสารประกอบการวิจัย

1.4.1.2 การเตรียมอุปกรณ์เครื่องแก้ว และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.2 การจัดหา และเตรียมตัวอย่าง (Sample collection and preparation)

สำหรับน้ำ นำมากรองและระเหยเพื่อทำให้เข้มข้น

สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ นำส่วนที่รับประทานได้มาล้าง ชั่งน้ำหนักสด ทำให้แห้ง และนำไปเผาจนเป็นเถ้า เพื่อเตรียมเข้าวัดปริมาณรังสี

1.4.3 การวิเคราะห์

1.4.3.1 สำหรับน้ำ ประยุกต์กรรมวิธีทางเคมีแยกซีเซียม-137 จากตัวอย่างน้ำโดยวิธี Molybdate ขั้นสุดท้ายตกตะกอนในรูป perchlorate และนำตะกอนไปชั่งเพื่อหาริคอฟเวอรี ยีลด์ (recovery yield) แล้ววัดรังสีเบตา

1.4.3.2 สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ นำไปวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสีชนิด NaI (Tl) 4" x 4" เพื่อวิเคราะห์ซีเซียม-137 และโพแทสเซียม จากนั้นนำตัวอย่างที่ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ได้ด้วยวิธีดังกล่าวมาย่อยละลาย (digest) และวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี เช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง

1.4.4 คำนวณและรวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมด

1.4.5 สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงาน

1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

1.5.1 ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อประเมินค่าระดับมูลฐานของซีเซียม-137 ในน้ำและตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

1.5.2 เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรังสีที่ร่างกายผู้บริโภคได้รับ

1.5.3 เป็นการสำรวจการเปรอะเปื้อนรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบสำนักงานฯ ซึ่งมีเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูตั้งอยู่

1.5.4 เพื่อใช้ข้อมูลนี้ในการปรับปรุงวิธีการขจัดกากกัมมันตรังสีให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.5.5 เพื่อการศึกษาและติดตามต่อไปในเรื่องนิเวศวิทยารังสี เช่นความสามารถของระบบนิเวศวิทยาที่จะรับปริมาณรังสีปริมาณหนึ่ง ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอันตรายต่อ สิ่งมีชีวิต, สุขภาพ และเศรษฐกิจ ตามลำดับ