# บทที่ 1

# บทนำ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

## 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในอดีตที่ผ่านมาการนำลูกระเบิดปรมาณูมาใช้ในสงครามโลกครั้งที่แล้ว ก่อให้เกิดปัญหาใหญ่หลวงเกี่ยวกับการเปรอะเปื้อน (Contamination) ในสภาวะแวดล้อม หากไม่มีการใช้ระเบิดนั้นแล้ว ทางที่สาธารณชนจะได้รับรังสีเพียงมาจากการใช้ผลิตผลของสารกัมมันตรังสี (radioactive products) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วสารกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีค่อนข้างสูงจะใช้กันภายในโรงพยาบาล ซึ่งมีระบบควบคุมความปลอดภัยอย่างรัดกุม โอกาสที่จะทำความเปรอะเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมย่อมมีได้น้อย

ในปัจจุบันนิวเคลียร์เทคโนโลยีได้วิวัฒนาการอย่างกว้างขวาง และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในแทบทุกสาขาวิชา เช่นทางการแพทย์ ทั้งบำบัดรักษาและหาสาเหตุ ทางด้านอุตสาหกรรม งานวิจัยนับว่าทางวิทยาศาสตร์ การใช้ระเบิดนิวเคลียร์ในทางสันติ (Peaceful use of nuclear explosives) เช่นในงานวิศวกรรมโยธา ได้แก่ การขุดคลอง อ่างเก็บน้ำ เหมือง และการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติจากใต้พื้นดิน เป็นต้น การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัย และแบบกำลัง รวมทั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูและอื่น ๆ ซึ่งนับได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดของสารกัมมันตรังสีทั้งสิ้น แต่เป็นสารกัมมันตรังสีซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติ นอกจากนี้แล้วในทางตรงข้ามสารกัมมันตรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์เพื่อผลทางการทหาร สาเหตุดังกล่าวมาข้างต้นนี้ย่อมมีโอกาสทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดการเปรอะเปื้อน จากสารกัมมันตรังสีได้ทั้งสิ้น

แหล่งกำเนิดของกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์จะได้รับแยกออกได้กว้าง ๆ ดังนี้

ก) เกิดในธรรมชาติ หรือการแผ่รังสีจากแบคกราวด์ (background) ที่มาจากอวกาศนอกโลก และจากแร่ธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในโลก

ข) กัมมันตภาพรังสีจากวัสดุก่อสร้าง (building materials)

ค) กัมมันตภาพรังสีจากยาและทันตรักษ์ (dental treatment)

ง) กัมมันตภาพรังสีจากฝุ่นกัมมันตรังสี (fall out)

จ) กัมมันตภาพรังสีจากสารที่ใช้ หรือผลิตขึ้นในการพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์

ฉ) กัมมันตภาพรังสีจากสารกัมมันตรังสีที่ผลิตขึ้น เพื่อนำพลังงานมาใช้ในจุดประสงค์นานับประการในชีวิตประจำวัน

แหล่งกำเนิดของกัมมันตภาพรังสีในสภาวะแวดล้อมได้มาจากสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติชนิดต่าง ๆ และสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น **แหล่งกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ**ที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ จากรังสีคอสมิค (cosmic) รังสีคอสมิคเป็นอนุภาคที่มีประจุ (charged particles) ที่มีพลังงานสูง ซึ่งส่วนมากจะเป็นโปรตรอน (protons) สำหรับสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้นนั้น ส่วนใหญ่ใช้ในทางการแพทย์ ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่มนุษย์จะได้รับรังสี สาเหตุสี่ประการที่ทำให้มนุษย์ได้รับกัมมันตภาพรังสีเมื่อมีการใช้พลังงานนิวเคลียร์มากขึ้นก็คือมีการรั่วไหลจากการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์โดยตรง รวมทั้งโรงงานที่แปรสภาพเชื้อเพลิงจากแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (nuclear fuel reprocessing plants) จากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากกากกัมมันตรังสี และจากปัญหาการแผ่รังสีของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (Hodges, 1973)

สารกัมมันตรังสีที่นับได้ว่ามีอันตรายมากในทางชีววิทยา คือ สารจำพวกผลผลิตจากฟิชชั่น (fission products) เช่น สตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 ไอโอดีน-131 เป็นต้น สารเหล่านี้จะพบในฝุ่นกัมมันตรังสีที่มาจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มสนใจตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1950 เมื่อมีการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ในบรรยากาศจะมีฝุ่นกัมมันตรังสีของสารกัมมันตรังสีจำพวกผลผลิตจากฟิชชั่นครอบคลุมบริเวณใกล้เคียงอยู่ประมาณหนึ่งวัน ผลผลิตจากฟิชชั่นในลักษณะของฝุ่นกัมมันตรังสีนี้จะถูกปล่อยในชั้น tratosphere และคงอยู่ประมาณหนึ่งเดือน ต่อจากนั้นจึงขึ้นไปอยู่ในชั้น stratosphere และคงอยู่เป็นเวลานานหลายปี

ในบรรดาสารจำพวกผลผลิตจากฟิชชั่น สตรอนเตียม-90 จัดว่าเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีอันตรายมาก พิษของสตรอนเตียม-90 นั้นเนื่องมาจากการสลายตัว (decay) และกลไก (metabolism)ในสิ่งที่มีชีวิต สตรอนเตียม-90 มีครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 28 ปี มีการสลายตัวโดยให้รังสีเบต้า (beta)และได้อิตเตรียม-90 ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีเป็นผลผลิตออกมา อิตเตรียม-90 จะมีครึ่งชีวิต 64 ชั่วโมง และจะมีการสลายตัวโดยให้รังสีเบต้าเช่นกัน จนกระทั่งได้เซอโคเนียม-90 ซึ่งเป็นไอโซโทปชนิดเสถียร (stable) ซึ่งอาจเขียนเป็น Decay Scheme ดังนี้

$$_{36}Kr^{90} \xrightarrow[\beta^-]{33\ \text{วินาที}} {}_{37}Rb^{90} \xrightarrow[\beta^-]{2.9\ \text{นาที}} {}_{38}Sr^{90} \xrightarrow[\beta^-]{28.8\ \text{ปี}} {}_{39}Y^{90} \xrightarrow[\beta^-]{64.4\ \text{ชั่วโมง}} {}_{40}Zr^{90}\ (\text{เสถียร})$$

พลังงานที่ได้จากการสลายตัวของสตรอนเตียม-90 มีค่า 0.54 MeV. และของอิตเตรียม-90 มีค่า 2.26 MeV. ระยะทางสูงสุดที่รังสีเบต้าจากสตรอนเตียม-90 และอิตเตรียม-90 จะเดินทางผ่านเนื้อเยื่อได้มีค่าประมาณ 10 มิลลิเมตร (Stevenson, 1975)

เมื่อสารกัมมันตรังสีเข้าไปอยู่ในสิ่งแวดล้อมแล้ว จะมีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ในวงจรทางชีววิทยา (Biological cycle) กล่าวคือ ถ้ามีอยู่ในทะเลจะไปสะสมในผลิตผลทางทะเลซึ่งสุดท้ายใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ ถ้ามีสะสมในพื้นดินที่ใช้ทำเกษตรกรรม กัมมันตรังสีจะเข้าสู่ธัญญาหารได้โดยพืชดูดมาจากดิน และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในทางตรง เมื่อมนุษย์บริโภคพืชนั้น หรือในทางอ้อมคือมนุษย์บริโภคสัตว์ที่กินพืชผลนั้น ๆ อีกต่อหนึ่ง ในการประเมินอันตรายจากฝุ่นกัมมันตรังสีที่มีต่อประชาชน โดยเฉพาะที่เกิดจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์นั้น การหายใจเข้าสู่ร่างกายไม่นับว่ามีความสำคัญเท่ากับการเข้าสู่ร่างกายทางอาหาร[1] ยกเว้นในบริเวณใกล้เคียงจุดระเบิด ฝุ่นกัมมันตรังสีที่ตกอยู่ที่พื้นดินอาจแผ่รังสีต่อร่างกายมนุษย์ได้โดยตรง แต่ตามปกติร่างกายอาจเคลื่อนย้ายเปลี่ยนที่ไป จึงอาจไม่ได้รับรังสีตลอดเวลา การเปรอะเปื้อนจากสารกัมมันตรังสีในอาหารมีสาเหตุหลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีการสะสมสารกัมมันตรังสี ปริมาณของสารกัมมันตรังสีและอัตราการสะสมรวมทั้งความสามารถ(activities) ของพืชผลที่จะสะสมสารกัมมันตรังสี

---

[1] รายงานรอบ 10ปี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2515 ,หน้า 57-58.

ในบริเวณที่มีรังสี การเปรอะเปื้อนในอาหารจะเพ่งเล็งเฉพาะไอโอดีน-131 สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 เพราะเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตค่อนข้างยาว และถ้าเข้าสู่ภายในร่างกายได้จะเข้าไปสะสมอยู่ในอวัยวะที่สำคัญ ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้มาก ในบรรดาสารกัมมันตรังสีเหล่านี้สตรอนเตียม-90 จัดเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีอันตรายมากที่สุด

ประเทศไทยมีการตื่นตัวกันมากเกี่ยวกับภัยอันตรายจากความสกปรกในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสารกัมมันตรังสี แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าผลงานค้นคว้าวิจัยในด้านนี้ไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร สาเหตุประการหนึ่งอาจจะมาจากการขาดอุปกรณ์สำคัญบางอย่างที่มีราคาค่อนข้างสูง อาทิเช่น เครื่องมือวัดรังสีชนิดต่าง ๆ และการไม่พร้อมของผู้ปฏิบัติซึ่งจะต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสีด้วย เนื่องจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) มีอุปกรณ์วัดรังสีที่มีประสิทธิภาพสูงและนักวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการปฏิบัติการทางรังสีอยู่พร้อม รวมทั้งเป็นหน้าที่ของสำนักงาน พปส.ที่จะต้องดำเนินการให้ความปลอดภัยแก่ประชากรในเรื่องนี้อยู่แล้ว จึงริเริ่มที่จะดำเนินการศึกษาวิจัยงานนี้ขึ้น ประกอบทั้งเป็นที่ทราบกันอย่างดีว่าสตรอนเตียม-90 จะก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้มากถ้าปะปนทำความสกปรกแก่สิ่งแวดล้อม และเข้าสู่วัฏจักรอาหาร และเนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญที่สุดของประชากรภายในชาติ รวมทั้งเป็นสินค้าออกที่สำคัญของประเทศด้วย จึงสมควรที่จะดำเนินการศึกษาวิจัยเบื้องต้นถึงสารกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาวในข้าวจากทุกภาคของประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิจัยถึงความแรงรังสีรวมเบต้า และตรวจสอบแกมม่าสเปกตรัมของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวในสองลักษณะ คือ ข้าวกล้อง (สีเปลือกออกเท่านั้น) และข้าวขาว (สีเปลือกและขัดขาวด้วย) จากสถานีทดลองพันธุ์ข้าวของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในทุกภาคของประเทศ

1.2.2 ในข้าวบางตัวอย่างที่น่าสนใจ กล่าวคือ มีความแรงรังสีสูงผิดปกติ จะวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีเฉพาะตัว เช่น โปตัสเซี่ยม-40 สตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 ฯลฯ ซึ่งบางตัวจำเป็นต้องใช้กรรมวิธีทางเคมีเข้าช่วย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัดความแรงรังสีรวมเบต้า และตรวจสอบแกมม่าสเปกตรัมของข้าวขาว และข้าวกล้องของข้าวเจ้าและข้าวเหนียว จำนวน 23 พันธุ์ จากแปลงทดลองพันธุ์ข้าว 21 แห่ง ทุกภาคทั่วประเทศ

1.3.2 คำนวณปริมาณของโปตัสเซียม-40 ในข้าวดังกล่าวจากข้อ1.3.1 และถ้าแกมม่าสเปกตรัมของข้าวชนิดใดแสดง peak ของซีเซียม-137 อย่างเด่นชัด จะคำนวณปริมาณซีเซียม -137 ของข้าวชนิดนั้นด้วย

1.3.3 วัดความแรงรังสีรวมเบต้าในดินที่ใช้ปลูกข้าวบางชนิด

1.3.4 วิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวขาวและข้าวกล้องของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวบางชนิดที่มีความแรงรังสีรวมเบต้าสูง

1.4 แผนการวิจัย

การศึกษาวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอน ดังนี้

1.4.1 เก็บสารตัวอย่างโดยให้เป็นตัวแทน (representative) ได้มากที่สุด

1.4.2 เตรียมสารตัวอย่างทุก ๆ พันธุ์ของข้าว จะแยกออกเป็นสองชนิด คือ ข้าวกล้องและข้าวขาว ข้าวทุกตัวอย่างจะนำไปบด และ อบ-แห้งในตู้อบ (oven) และเผาในตู้เผา (furnace) ให้เป็นเถ้า (ash)

1.4.3 ตรวจแกมม่าสเปกตรัม โดยใช้เครื่อง multichannel analyzer ชนิด 128 ช่อง และวัดความแรงรังสีรวมเบต้าโดยใช้เครื่อง low background anticoincidence G.M. counter.

1.4.4 ใช้กรรมวิธีทางเคมีวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในตัวอย่างข้าวที่มีความแรงรังสีเบต้าสูง

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

1.5.1 ทำให้ทราบว่าความแรงรังสีรวมเบต้า ในข้าวสารในประเทศมีมากน้อยเพียงใด

1.5.2 ข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยนี้ สามารถนำมาพิจารณาเพื่อประเมินถึงความแรงรังสีที่ประชากรจะได้รับต่อปี จากการบริโภคเพียงแต่ข้าวเท่านั้น

1.5.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ประเมินผลถึงการเปรอะเปื้อน (ถ้ามี) จากฝุ่นกัมมันตรังสี หรือจากสาเหตุอื่น ๆ

1.5.4 ข้อมูลที่ได้รับสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินค่ามูลฐาน (baseline level) ของความแรงรังสีในข้าวได้

1.6 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

1.6.1 กำเนิดและการได้รับสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในสิ่งแวดล้อม (The occurence and uptake of strontium-90 and cesium-137 in environment)

สตรอนเตียม-90 และ ซีเซียม-137 เป็นผลผลิตของฟิชชั่น ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุที่มีน้ำหนักปรมาณูสูงมาก เช่น ยูเรเนียม-235 พลูโตเนียม-239และ ยูเรเนียม-233 ออกเป็น 2 เสี่ยงเมื่อถูกชน (bombard) ด้วยอนุภาคนิวตรอน Nishita และคณะ (1956 ) รายงานว่าการทดลองระเบิดนิวเคลียร์และการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบกำลัง ทำให้เกิดผลผลิตของฟิชชั่นขึ้นได้ ในปี 1969 Kenny กล่าวต่อไปว่านอกเหนือจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์แล้ว การใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติ การผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ การแปรสภาพเชื้อเพลิงจากแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว ฯลฯ เป็นแหล่งกำเนิดของผลผลิตฟิชชั่นได้ทั้งสิ้น ในปีเดียวกันนี้ Russell และ Bruce รายงานว่าในบรรดาผลผลิตจากฟิชชั่นในฝุ่นกัมมันตรังสี ซึ่งเกิดจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ สตรอนเตียม-90 เป็นสารที่พบเป็นจำนวนมากที่สุด โดยพบว่าสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศเหนือโลกที่เรียกว่า stratosphere

ในปี 1958 Gulyakin และ Yudintseva พบว่า พืชสะสมผลผลิตของฟิชชั่น โดยเฉพาะสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ไว้ได้เป็นจำนวนมากกว่าที่มีในสิ่งแวดล้อม Pendleton และ Hanson (1958) รายงานว่าพืชในน้ำสามารถสะสมซีเซียม-137 ไว้ได้อย่างน้อย 500 เท่า มากกว่าพืชที่อยู่บนดิน นอกจากนั้นสัตว์น้ำอาจสะสมซีเซียม-137 ไว้ได้ในปริมาณที่มากกว่าความเข้มข้นที่มีอยู่ในดินถึง 100 เท่า และในปีเดียวกันนี้ Auerbach และ Crossley พบว่าในส่วนของใบ และดอกของพืชสะสมสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ไว้ได้สูงกว่าส่วนอื่น

Fredrikson และ Eriksson (1958) รายงานว่าพืชต่างชนิดกันดูดสตรอนเตียมได้ในปริมาณที่ต่างกัน ในข้าวโอ๊ต ถั่ว และมันฝรั่ง จะพบสตรอนเตียม-90 อยู่ที่ลำต้นเป็นส่วนมาก ในปี 1960 Lowman พบว่าพืชสามารถสะสมสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 จากดินได้มากกว่าสารรังสีอื่น Romney และคณะ (1963) ได้รายงานว่าความแรงรังสีแกมม่าและเบต้าของพืชในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปรอะเปื้อนในดินมากขึ้น เช่น ในข้าวสาลีจะพบรังสีรวมเบต้าที่มีความแรงรังสีร้อยละ 0.07 ถึง 0.09 ของความแรงรังสีรวมเบต้าทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน และจะมีความแรงรังสีรวมเบต้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.10 ถึง 0.15 ถ้าเทียบกับความแรงรังสีรวมเบต้าเฉพาะที่อยู่บนผิวหน้าดิน (surface soil) Romney และคณะรายงานต่อไปว่า ในส่วนของพืชที่อยู่เหนือดินใบจะสะสมปริมาณรังสีไว้มากที่สุด ลำต้นในเกณฑ์ปานกลาง และต่ำสุดในผล ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rydkii (1966) ที่กล่าวว่าเนื้อเยื่อของพืชต่าง ๆ ชนิดกันจะสะสมปริมาณสตรอนเตียม-90 ต่างกัน Samuels (1965) รายงานว่าสตรอนเตียม-90 จะเข้าสู่เมล็ดข้าวสาลีได้จากราก ซึ่งดูดขึ้นมาจากดิน และจากการสะสมโดยตรงจากฝุ่นกัมมันตรังสีที่ตกลงบนใบ ในปี 1967 Azabo และ Doina รายงานว่าผลผลิตจากฟิชชั่นอันเกิดเนื่องจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ในอากาศและน้ำ เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการเปรอะเปื้อนในพืชชนิดต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีในข้าวสาลี กะหล่ำปลี หัวผักกาดแดงและหญ้า พบว่ามีการสะสมสารกัมมันตรังสีในหัวผักกาดแดงมากกว่าพืชชนิดอื่น และในปีเดียวกันนี้ Chupka และคณะ รายงานว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 และ

ซีเซียม–137 มีปริมาณสูงในเมล็ดข้าว ในผลผลิตทางเกษตรกรรมของสโลวาเกียตะวันตก ระหว่างปี 1963 และ 1964 Keslev และคณะ(1968) สรุปผลการสำรวจผลิตผลทางเกษตรกรรมของบุลกาเรีย 16 ชนิด คือ เนย นม ข้าวเจ้า ข้าวสาลี มันฝรั่ง ข้าวโพด ถั่วทั้งสดและแห้ง กะหล่ำปลี มะเขือเทศ หัวหอม พริกไทย ลูกพลัม แอปเปิล แพร์ และองุ่น ว่าพบปริมาณสตรอนเตียม–90 สูงในข้าวสาลี ถั่วแห้งและนม ในขณะที่ปริมาณ ซีเซียม–137 สูงในข้าวสาลี ถั่วแห้ง เนย ลูกพลัม แอปเปิล และนม Yang(1969) รายงานการวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม–90 ในอาหาร 20 ชนิด ที่เก็บระหว่างปี1964 และ 1965 ใกล้เมืองเซอูล และอาหารทะเล 50 ชนิดที่เก็บในปี 1968 ตามชายฝั่ง ของเกาหลี พบว่าฝุ่นกัมมันตรังสีที่สะสมบนพื้นดินในปี 1965 ลดลงอย่างมาก จากปี 1964 ส่วนใบของพืชจะสะสมปริมาณสตรอนเตียม–90 ได้มากกว่าเมล็ดและราก ในบรรดา อาหารทะเลนั้นสาหร่ายทะเลจะมีการเปรอะเปื้อนกัมมันตรังสีสูงกว่าหอยและปลา อย่างไร ก็ตามระดับของสตรอนเตียม–90 ก็ยังต่ำกว่าค่าเกณฑ์ปริมาณรังสีที่อนุญาตไว้ โดยคณะ กรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศมาก [2]

Russell และ Bruce (1969) รายงานไว้ว่าเมื่อฝุ่นกัมมันตรังสีตก ลงสู่พื้นดินจากชั้นบรรยากาศ Stratosphere จะกระจัดกระจายปกคลุมพื้นผิวโลกเป็น บริเวณกว้าง พืชจะถูกเก็บสตรอนเตียม–90 จากดินโดยทางราก และเนื่องจากธาตุ สตรอนเตียมมีคุณสมบัติคล้ายแคลเซียมมาก ฉะนั้นการเข้าสู่ลูกโซ่อาหาร (food chain) จึงคล้ายคลึงกับของแคลเซียมและเมื่อสตรอนเตียม–90 เข้าสู่ร่างกายได้แล้วจะเข้าไปสะสม อยู่ในโครงกระดูก และจะตกค้างอยู่เป็นเวลานาน ในปี 1969 Volchok และคณะ รายงานว่า มีการสะสมสตรอนเตียม–90 จากฝุ่นกัมมันตรังสีในมหาสมุทรแอตแลนติคเหนือ

---

[2] Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 2, Pergamon Press, Oxford (1959).

ในอาฆาบริเวณ $20^{\circ}$ ถึง $60^{\circ}$ เหนือ ในระหว่างปี 1961-1966 ดังนี้ คือ 0.091 0.383 0.685 0.462 0.203 และ 0.105 เมกกะคูรี ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความแรงรังสีรวมของสตรอนเตียม-90 ที่พบกับความแรงรังสีรวมเบต้า เมื่อคิดในเทอมของโปตัสเซียม-40 จะมีค่าเป็น 1.929 และ $3 \times 10^4$ เมกกะคูรี ในปีเดียวกัน Kamath และ Bhat ดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตของฟิชชั่นจากฝุ่นกัมมันตรังสีในอากาศ น้ำฝน หญ้า และนม ในฤดูต่าง ๆ ระหว่างปี 1965 - 1966 และสรุปผลว่า ความแรงรังสีรวมเบต้าในอากาศจะมีค่ามากที่สุดระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศอินเดีย และเนื่องจากฝนตกหนักนี่เอง สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 จึงถูกชะล้างจากฝุ่นกัมมันตรังสีลงสู่พื้นดิน จากการตรวจสอบปริมาณสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในหญ้าและนมพบว่ามีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ของฤดู นอกจากนั้น Kamath และ Bhat ยังได้ทดลองโดยวิเคราะห์สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในเกลือที่ผลิตขึ้นจากน้ำทะเลในเมือง Tarapur ผลปรากฏว่าพบทั้งสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในเกลือดิบ และเกลือแกง ในปี 1971 Kawase วิเคราะห์พบสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในดิน 15 แห่ง ที่เก็บรวบรวมระหว่างปี 1965 ถึง 1968 ในประเทศญี่ปุ่นมีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 และ 200 ถึง 400 มิลลิคูรีต่อตารางกิโลเมตรตามลำดับ

1.5.2 ความเป็นพิษของสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ต่อสิ่งมีชีวิต (Toxicity of strontium-90 and cesium-137 to living organism)

สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ต่างก็เป็นสารรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาว ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะไปสะสมอยู่เป็นเวลานาน ทำให้มีอันตรายจากรังสีได้มาก โดยมีผลทั้งทางร่างกาย (Somatic effect) เช่น ทำให้โมเลกุลของโปรตีนในร่างกายแตกตัว และทางกรรมพันธุ์ (Genetic effect) เช่น มีผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้โครโมโซมถูกทำลาย จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์

ในกรณีของซีเซียม-137 นั้น Cryer และ Baverstock (1972) พบว่าเมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะไปสะสมที่กล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่ และครึ่งชีวิตทางชีววิทยา

(Biological half life) ของซีเซียม-137 นั้นขึ้นอยู่กับ เพศ อายุ และน้ำหนัก ฉะนั้นเมื่อซีเซียม-137 อยู่ในร่างกายก็เท่ากับมีแหล่งกำเนิดของรังสีแกมมาและเบต้าอยู่ในร่างกาย ร่างกายจะได้รับรังสีอยู่ตลอดเวลาก็ย่อมจะมีอันตรายได้ เช่นเดียวกับสตรอนเตียม-90 ซึ่ง Rasmuson และ Gahne (1958) ได้รายงานเช่นเดียวกับ Browning (1959) ว่าเมื่อเข้าไปสู่ร่างกายแล้ว จะไปจับอยู่ที่กระดูกทำให้เป็นโรคมะเร็งในเม็ดเลือด (Leukemia) เนื้องอกในกระดูก (Bone tumour) นอกจากนั้นยังมีผลทางกรรมพันธุ์ อาจทำให้เซลล์สืบพันธุ์ตาย หรือทำให้โครงสร้างของโครโมโซมเปลี่ยนแปลง ทำให้เป็นหมันขึ้นได้

1.6.3 การสำรวจการเปรอะเปื้อนของสตรอนเตียม-90 ในธัญญาหาร (Surveillance for the contamination of strontium-90 in cereals)

สาเหตุจากการทิ้งระเบิดปรมาณูที่ประเทศญี่ปุ่น และการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ทำให้เกิดการเปรอะเปื้อนของผลผลิตจากพืชชั้นจากฝุ่นกัมมันตรังสีขึ้นในสิ่งแวดล้อม และในบรรดาผลผลิตจากพืชชั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าสตรอนเตียม-90 เป็นอันตรายมากที่สุด จึงมีนักวิทยาศาสตร์ประเทศต่าง ๆ สำรวจปริมาณสตรอนเตียม-90 ในอาหารชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะในธัญญาหาร เช่นในปี 1962 Ichikawa และคณะรายงานว่าร้อยละ 60 ของสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวขาวมาจากการดูดซึมของรากจากพื้นดิน สำหรับซีเซียม-137 นั้นได้รับโดยตรงจากฝุ่นกัมมันตรังสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างที่ข้าวกำลังจะออกรวง และ Kiyoshi (1964) สำรวจวิเคราะห์สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในข้าวของญี่ปุ่นระหว่างปี 1959 ถึง 1963 พบว่าในข้าวกล้องจะมีปริมาณสตรอนเตียม-90 มากกว่าในข้าวขาว และในข้าวขาวพบว่า ปริมาณซีเซียม-137 : ปริมาณสตรอนเตียม-90 มีค่าเท่ากับ 10:1 ซึ่งอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่าปริมาณซีเซียม-137 : ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในฝุ่นกัมมันตรังสีที่มีเพียง 3:1

Kawabata (1964) รายงานว่าหลังจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ ความแรงรังสีที่พบในข้าวขาวในประเทศญี่ปุ่น มีค่าเพียง 2--3 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม และไม่พบความแตกต่างระหว่างข้าวจากแหล่งเพาะปลูกต่าง ๆ Kawabata พบว่าสารรังสีจะสะสมอยู่ในรำข้าว (rice bran) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นพบว่า สตรอนเตียม-90 ในข้าวบาร์เลย์ (barley) และข้าวสาลีมีมากกว่าในข้าวขาวเจ้า

สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกานั้น ในปี 1962 Oldson ได้รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในตัวอย่างข้าวสาลีที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา ปี 1959 ไว้ว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ยกเว้นข้าวสาลีที่เก็บมาจากรัฐโอคลาโฮมาเท่านั้นที่มีปริมาณสตรอนเตียม-90 อยู่ในเกณฑ์สูง Pfeifer (1964) พบว่าปริมาณเฉลี่ยของสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีที่ปลูกในสหรัฐอเมริกามีค่าลดลงอย่างสม่ำเสมอระหว่างปี 1958 ถึง 1961 จนกระทั่งมีการเปรอะเปื้อนฝุ่นกัมมันตรังสีในการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ของรัสเซีย ปี 1961 ทำให้สตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลี ปี 1962 มีค่าสูงขึ้น และมีผลสืบเนื่องมาจนถึงปี 1963 ส่วนใหญ่ของฝุ่นกัมมันตรังสีจะตกลงที่ใบและเปลือกนอกของเมล็ด เมื่อมีการสีข้าวจึงทำให้ปริมาณรังสีในข้าวสาลีลดลง ดังนั้นแป้งจะมีปริมาณสตรอนเตียม-90 ต่ำ ในปีเดียวกันนี้ Pfeifer และ Peplinski พบว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีที่เก็บจากบริเวณพื้นที่ทั่วสหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1963 มีค่าเฉลี่ย 200 ถึง 300 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าในปี 1962 ประมาณ 3 เท่า Rivera (1964) รายงานเปรียบเทียบปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวสาลีที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา ปี 1962 กับปี 1961 ไว้ดังนี้ ปี 1962 ตรวจพบสตรอนเตียม-90 83 ± 37 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ในขณะที่ปี 1961 พบเพียง 23 ± 10 พิโคคูรีต่อกิโลกรัมเท่านั้น Anderson และ Pfeifer ในปี 1966 รายงานว่าค่าเฉลี่ยของสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีที่ปลูกในสหรัฐอเมริการะหว่างปี 1965 มีค่า 95 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ตัวอย่างข้าวสาลีที่ Anderson และ Pfeifer นำมาวิเคราะห์นั้นได้มาจากร้อยละ 52 ของข้าวสาลีที่ปลูกทั้งหมดในสหรัฐ สำหรับปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่พบสูงสุดนั้นมีค่า 174 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม จากข้าวสาลีชนิด hard red

winter ของรัฐแคนซัส และค่าสตรอนเตียม-90 ต่ำสุดเท่ากับ 31 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม จากข้าวสาลีชนิด soft white winter จากรัฐวอชิงตัน

สำหรับประเทศแคนาดานั้น ในปี 1964 Grummitt รายงานถึงการสำรวจวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีที่ปลูกระหว่างปี 1950 ถึง 1960 โดยสรุปว่าในปี 1960 ปริมาณสตรอนเตียม-90 เริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องมาจากการหยุดทดลองอาวุธนิวเคลียร์ อันเป็นเหตุให้ปริมาณของฝุ่นกัมมันตรังสีลดลง ในปีเดียวกัน Taniguchi รายงานถึงผลของโครงการวิจัยที่เริ่มตั้งแต่ปี 1957 ว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวสาลีของปี 1962 มีค่า 75 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุดเท่าที่เคยพบมาตั้งแต่เริ่มการสำรวจวิเคราะห์ ในปี 1957 และมีค่ามากกว่าสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีของปี 1961 ประมาณ 8 เท่า และมากกว่าในปี 1958 1.7 เท่า ในรายงานนี้ยังกล่าวด้วยว่า ส่วนใหญ่ของสตรอนเตียม-90 จะอยู่ในรำข้าว Grummitt และ Robertson ได้ทดลองวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีและแป้งสาลี พบว่าสตรอนเตียม-90 มีเหลืออยู่ในแป้งสาลีเพียง 1 ใน 9 เท่าที่มีอยู่ในข้าวสาลี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Grummitt (1964) ที่ว่าพบสตรอนเตียม-90 ในแป้งสาลีเพียงร้อยละ 10 และร้อยละ 76 พบในรำ Samuels (1965) รายงานว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่วิเคราะห์ได้ในข้าวสาลีชนิด hard red spring ของปี 1963 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 227 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าที่พบในปี 1962 ถึง 3 เท่า

ในประเทศเชคโกสโลวาเกีย Carach และ Csupka (1967) ค้นคว้าวิจัยปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลี ตั้งแต่ปี 1963 ถึง 1965 และรายงานว่าปริมาณของสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวสาลีมีความสัมพันธ์กับปริมาณของสตรอนเตียม-90 ในฝุ่นกัมมันตรังสี Csupka และคณะ (1969) รายงานว่าเนื่องจากปริมาณสตรอนเตียม-90 ในฝุ่นกัมมันตรังสีลดลงจึงทำให้ปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวสาลีลดลงด้วย โดยยกตัวอย่างของการทดลองในปี 1967 ว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ในฝุ่นกัมมันตรังสีของปีนี้ลดลงเป็นจำนวนร้อยละ 96 และสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีลดลงร้อยละ 92 นอกจากนั้น Csupka และคณะ ยังแสดงให้เห็นถึงการลดลงของปริมาณ

สตรอนเตียม-90 ในข้าว กล่าวคือในปี 1963 มีสตรอนเตียม-90 103.7 พิโคคูรี่ต่อกิโลกรัม แต่ในปี 1967 สตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีเหลือเพียง 8.6 พิโคคูรี่ต่อกิโลกรัม

ในประเทศบุลกาเรีย Vrigazov และคณะรายงานไว้ในปี 1968 ว่าค่าเฉลี่ยของสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวสาลีเมื่อปี 1965 ที่เก็บจากโรงสีจำนวน 9 แห่งของทุกภาคทั่วประเทศเท่ากับ 43.10 ± 6.1 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม โดยข้าวสาลีที่เพาะปลูกทางภาคเหนือของประเทศมีปริมาณสตรอนเตียม-90 สูงสุด 50.7 ± 6.1 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม และปริมาณต่ำสุดคือ 35.5 ± 6.1 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม พบในข้าวสาลีที่เพาะปลูกทางใต้ของประเทศ Vrigazov รายงานต่อไปด้วยว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ส่วนใหญ่ที่พบสะสมอยู่ในรอบนอกของเมล็ดข้าว (peripheral)

Aarkrog (1968) ได้รายงานการสำรวจวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในข้าวสาลีทั่วประเทศเดนมาร์กระหว่างปี 1959 ถึง 1964 ที่ได้จากฟาร์มทดลอง ว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 และมังกานีส-54 ที่พบในข้าวไรน์ (rye) มีมากกว่าที่พบในข้าวบาร์เลย์ หรือข้าวสาลีหรือข้าวโอ๊ต และบ่งชี้ว่าขนาดของเมล็ดเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างในระดับของการเปรอะเปื้อนสารรังสีในเมล็ดข้าว นอกจากนี้แหล่งที่มาของข้าวต่างกันก็นำไปสู่ระดับที่แตกต่างกันของปริมาณสตรอนเตียม-90 ในเมล็ดข้าวด้วย

ในประเทศเยอรมันนี Schulze และ Randow (1971) รายงานถึงการวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม-90 ในธัญญาหารที่เพาะปลูกระหว่างปี 1969 แถบตอนเหนือของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันตะวันออก ว่ามีค่า 22 พิโคคูรีต่อกิโลกรัม ในปี1972 Gegusch รายงานว่าพบสตรอนเตียม-90 ในข้าวไรน์และข้าวสาลีหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วซึ่งแสดงว่าถูกกระทำให้เปรอะเปื้อนจากฝุ่นกัมมันตรังสี สตรอนเตียม-90 พบว่าสะสมอยู่ในฟางข้าวแห้ง (chaff) และข้าวเปลือกในปริมาณค่อนข้างสูง แต่จะมีปริมาณสตรอนเตียม-90 ต่ำในแป้ง Gegusch ยังสรุปต่อไปด้วยว่าปริมาณสตรอนเตียม-90 ที่พบในข้าวไรน์และข้าวสาลีมีเพียงร้อยละ 1 ของค่าเกณฑ์ที่อนุญาตให้มีได้สูงสุด (maximum permissible levels).