



บทที่ 2

ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการใช้สารกัมมันตรังสีและการจัดการกากกัมมันตรังสี

การใช้สารกัมมันตรังสี

ปัจจุบันได้มีการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้ในกิจการต่างๆหลายสาขาด้วยกัน เช่น การแพทย์ การศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การเกษตร อุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากสารกัมมันตรังสีมีคุณสมบัติที่มีประโยชน์อยู่ 4 ข้อใหญ่ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เรดิเอชัน เทรเซอร์ แมททีเรียล (Radiation Tracer Materials)

สารกัมมันตรังสีสามารถปลดปล่อยรังสีตลอดเวลา จึงสามารถตรวจวัดรังสีได้ง่ายเหมาะที่ใช้เป็นตัวติดตามในสิ่งที่ต้องการศึกษา แต่ถ้าต้องการศึกษาในสิ่งที่เราสนใจเป็นพิเศษอาจจะนำสารกัมมันตรังสีไปผสมกับตัวพาที่เป็นสารประกอบเรียกวิธีการนี้ว่าวิธีติดตาม จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่

1.1. การวินิจฉัยโรคโดยใช้สารกัมมันตรังสี

การตรวจอวัยวะต่างๆทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ อาศัยหลักการคือ เมื่อสารประกอบชนิดใดชนิดหนึ่งเข้าสู่ร่างกายจะมีการกระจายตัว และเข้าสู่อวัยวะต่างๆ ทั้งนี้ตามคุณสมบัติทางชีวเคมีของสารประกอบ และตามลักษณะหน้าที่ของอวัยวะนั้นๆ สารกัมมันตรังสีที่ติดตามไปกับสารประกอบจะปล่อยกัมมันตรังสีออกมาเป็นรังสีแกมมา (gamma ray) หรือรังสีเอ็กซ์ (X-ray) (แล้วแต่ชนิดของสารกัมมันตรังสี) ซึ่งจะถูกวัดและสร้างภาพได้โดยเครื่องนับวัด คือ scintillation หรือ gamma camera ปริมาณรังสีที่ถูกวัดโดยเครื่องแกมมาคาเมรานี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาอวัยวะนั้นๆต่อไป เช่น สามารถถ่ายเป็นภาพของอวัยวะ เช่น liver scan สามารถวัดเป็นปริมาณรังสีในบริเวณที่ต้องการ เพื่อใช้ในการคำนวณสามารถสร้างเป็นกราฟของเวลาต่อค่านับวัด ซึ่งใช้ในการวัดสมรรถภาพการทำงานของอวัยวะต่างๆได้ในปริมาณวิเคราะห์

สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคมะเร็งหลายชนิดเช่น Ga-67, Tc-99m, In-111, I-131 I-123 และ Tl-201 ตัวที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Tc-99m (วัชรินทร์ รัตนมาศ, 2530) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่หลากหลายอย่าง ได้แก่

1. ค่าครึ่งชีวิตสั้น
2. การสลายตัวให้รังสีแกมมาออกมาอย่างเดียว
3. รังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมามีพลังงาน 140 KeV ซึ่งเป็นพลังงานที่เหมาะสมแก่การสร้างภาพโดยเครื่องแกมมาคาเมรา
4. สามารถติดฉลากได้ง่ายกับสารประกอบหลายชนิด

ตารางที่ 2.1 แสดงสารกัมมันตรังสีที่กำหนดอยู่ในเภสัชตำรับของประเทศสหรัฐอเมริกาฉบับปี ค.ศ 1985 (สมลักษณ์ อินทรศัพท์, 2530)

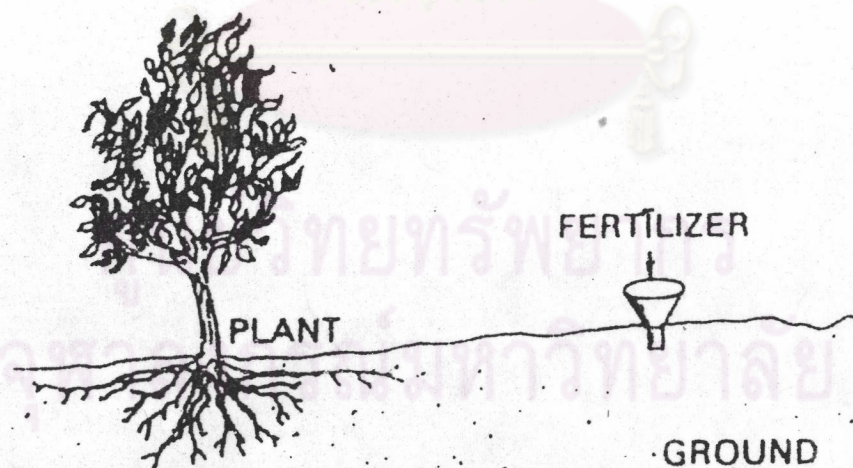
สารกัมมันตรังสี	ค่าครึ่งชีวิต	ประโยชน์ด้านนิวเคลียร์เวชศาสตร์
ฟอสฟอรัส-32	14.2 วัน	รักษามะเร็งเม็ดเลือดขาวและโรคที่มีเม็ดเลือดแดงมากผิดปกติ หรือใช้ตรวจสอบเนื้องอกในตา
โคบอลต์-57	270.0 วัน	วินิจฉัยโรคโลหิตจางเนื่องจากขาดวิตามินบี 12
เหล็ก-59	45.0 วัน	ตรวจสอบเมตาบอลิซึมของเหล็กในร่างกาย
โครเมียม-51	27.8 วัน	วินิจฉัยความผิดปกติของม้าม หรือติดฉลากเม็ดเลือดแดง เพื่อประโยชน์ในการวัดมวลและการอยู่รอดของเม็ดเลือดแดง
แกลเลียม-67	77.9 ชั่วโมง	วินิจฉัยโรคเกี่ยวกับเนื้องอก
ซีลีเนียม -75	120.4 วัน	วินิจฉัยความผิดปกติของตับอ่อน
เทคนีเชียม-99m	6.0 ชั่วโมง	วินิจฉัยความผิดปกติของสมอง, หัวใจ, ตับ, ไต และม้าม
ไอโอดีน-125	60.0 วัน	ศึกษาการทำหน้าที่ของต่อมธัยรอยด์
ไอโอดีน-131	8.0 วัน	รักษาโรคมะเร็งที่ต่อมธัยรอยด์หรือวินิจฉัยความผิดปกติของธัยรอยด์
ซีซียม-133	5.2 วัน	ศึกษาการถ่ายเทอากาศในปอดและการผ่านของโลหิตเข้าสู่ปอด
เทลลูเรียม-201	70.0 ชั่วโมง	ดูการผ่านของโลหิตสู่กล้ามเนื้อหัวใจ

1.2 การใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องใช้สารกัมมันตรังสีศึกษาหลายโครงการ ซึ่งส่วนใหญ่จะนำเทคนิค Trace ของสารกัมมันตรังสีมาใช้ ตัวอย่างเช่นศึกษาMetalolic Pathway โดยใช้C-14 ศึกษาเกี่ยวกับAutoradiographyของกระดูกในสัตว์ทดลองโดยใช้ Ca-45 ศึกษาเกี่ยวกับ Sodium Metabolismโดยใช้Na-24 ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสีย Serum Proteinในระบบทางเดินอาหารโดยใช้ Cr-51 ศึกษา Mineral Metabolism Study ในสัตว์ทดลองโดยใช้ Ma-54 เป็นต้น สารกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้ใช้มากที่สุดคือ H-3 ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 12.3 ปี และC-14 ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 5730 ปี เพราะติดฉลากได้ดีกับ Labelling Organic Compounds

1.3 การใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามในการเกษตร

การใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามในการเกษตรมีหลายแบบเช่น การศึกษาการดูดซึมสารอาหารของพืช โดยการผสมสารกัมมันตรังสี (ใช้ฟอสฟอรัส-32 มีค่าครึ่งชีวิต 14.3 วัน) ติดฉลากกับปุ๋ย รูปที่ 2.1 การติดตามธาตุแมลงในเมล็ดพืช โดยการคาร์บอน-14 ติดฉลากผสมกับขี้เถ้าแมลง แล้วฉีดพ่นให้การพืช เพื่อตรวจสอบการสะสมของธาตุแมลงในเมล็ดพืช เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงการตรวจสอบการดูดซึมธาตุอาหารของพืช (L.Murray, 1989)

1.4. การใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่างๆ มีขั้นตอนการผลิตและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาการทำงานระดับพื้นฐานคล้ายคลึงกัน เช่น หน่วยการไหลเวียน หน่วยผสม และหน่วยการกรอง เป็นต้น ดังนั้นจึงมักนำสารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้แก่

1.4.1 การตรวจวัดอัตราการไหล

ในการลำเลียงก๊าซหรือของเหลวไปตามท่อ สามารถตรวจวัดอัตราการไหลได้โดยวิธีแก๊ส รอย โดยเลือกใช้สารกัมมันตรังสีในรูปสารเคมีที่เหมาะสมกับลักษณะงาน อัตราการไหลสามารถทราบได้โดยสูตรดังต่อไปนี้

$$Q = lA/t$$

เมื่อ Q คือ volume flow rate , A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ, l คือระยะทางระหว่างหัววัดรังสีตำแหน่งแรกกับตำแหน่งที่สอง และ t คือ เวลาการเดินทางของสารกัมมันตรังสีในระยะทาง l

1.4.2 การหารอยรั่ว

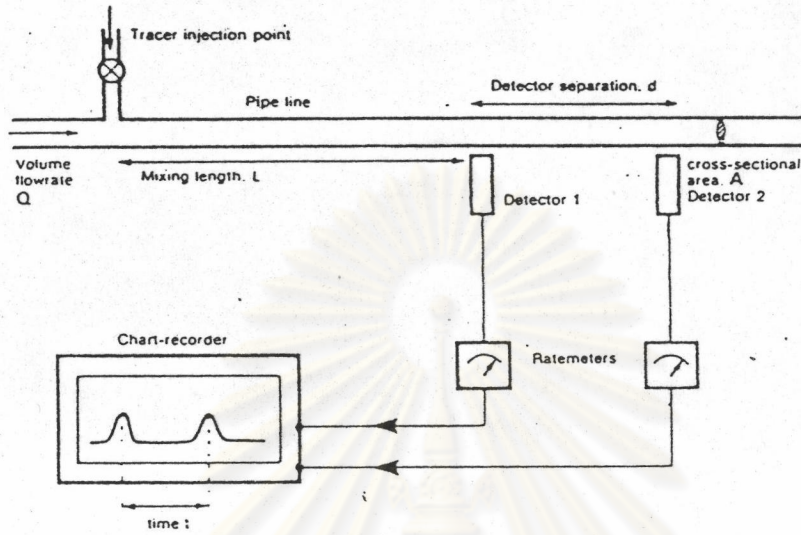
รอยรั่วในวัสดุต่างๆ เช่น ท่อใต้ดิน โลหะหล่อ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น รอยรั่วเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้โดยการฉีดตัวแก๊สรอยเข้าไปในระบบที่เราต้องการตรวจสอบ คือปล่อยให้สารกัมมันตรังสีเข้าไปแทรกซึมอยู่ในรอยรั่ว แล้วจึงล้างส่วนเกินออกให้หมดก็จะเหลือตัวแก๊สรอยอยู่เฉพาะตามรอยรั่ว ซึ่งสามารถตรวจสอบรอยรั่วโดยเครื่องวัดรังสี

1.4.3 การศึกษาการผสม

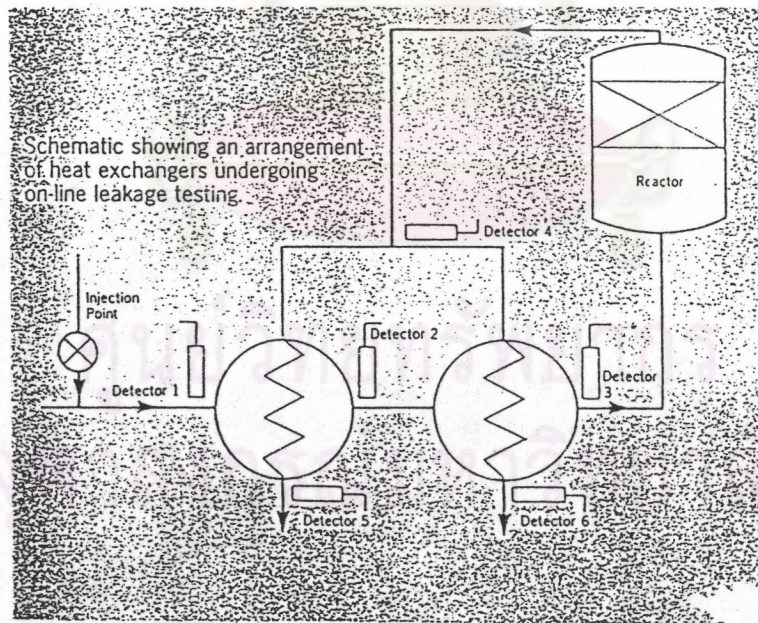
การผสมนับเป็นขั้นตอนการพื้นฐานการผลิตในอุตสาหกรรม การผสมอาจแบ่งได้เป็นประเภทคือการผสมทางกายภาพ(blending) เพื่อให้ของผสมมีองค์ประกอบสม่ำเสมอ และการผสมโดยมีปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทั่วถึงกัน การศึกษาการผสมทำให้ทราบประสิทธิภาพของการผสมและเวลาที่เหมาะสม

1.4.4 การศึกษาเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม

การบำบัดของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรม ในบางกรณีอาจต้องการทราบพฤติกรรมของสารที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือประเมินผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม เช่นทิศทางการเคลื่อนที่ หรือบริเวณที่สะสม เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การวัดอัตราเร็วของเหลวภายในท่อ (พปส., 2535)



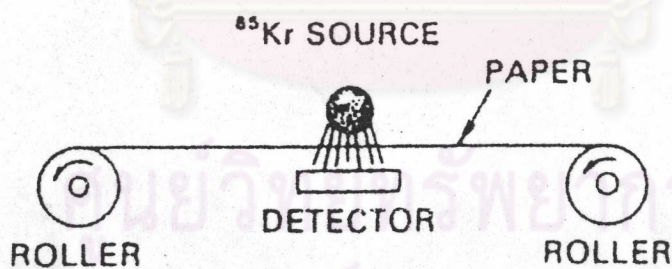
รูปที่ 2.3 การหารอยรั่วของท่อส่งของเหลว (พปส., 2535)

2. แม่ที่เร็วอล แอฟเฟคท์ เรดิเอชัน (Material Affect Radiation)

สารกัมมันตรังสีจะปลดปล่อยรังสีที่มีพลังงานสูงต่ำแตกต่างกันและให้penetrating power ต่างกัน รังสีพลังงานหนึ่งจะผ่านวัสดุได้มากน้อยขึ้นอยู่กับ ความหนา ความหนาแน่น และชนิดของวัสดุ นั้นๆ จากคุณสมบัตินี้สามารถนำสารกัมมันตรังสีไปใช้ประโยชน์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในการควบคุมการผลิต ในขณะที่กำลังผลิตอยู่ได้แก่

2.1 การวัดความหนาและความหนาแน่น

ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุจะลดลงตามความหนาและความหนาแน่นของวัตถุตัวอย่าง เช่นการวัดความหนาและความหนาแน่นของกระดาษ พลาสติก ยาง ด้วยรังสีบีตา การวัดความหนาแน่นของของดินในงานสร้างถนนด้วยรังสีแกมมา การวัดความหนาของแผ่นโลหะด้วยรังสีแกมมา

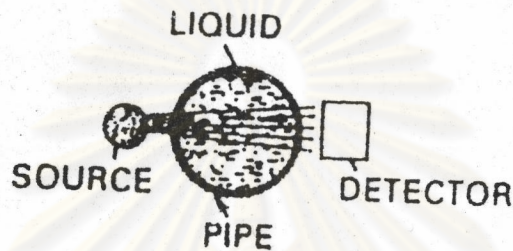


รูปที่ 2.4 การวัดความหนาของกระดาษ



2.2 การวัดและควบคุมระดับของเหลวในภาชนะ

เมื่อมีวัสดุไปขวางกันลำรังสี จะทำให้ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านลดลง ตัวอย่างเช่น การวัดและการควบคุมระดับของเหลวในภาชนะ การวัดและการควบคุมระดับของส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในโรงงานปูนซีเมนต์



รูปที่ 2.5 การวัดระดับของเหลวในถังกบ (L.Murray, 1989)

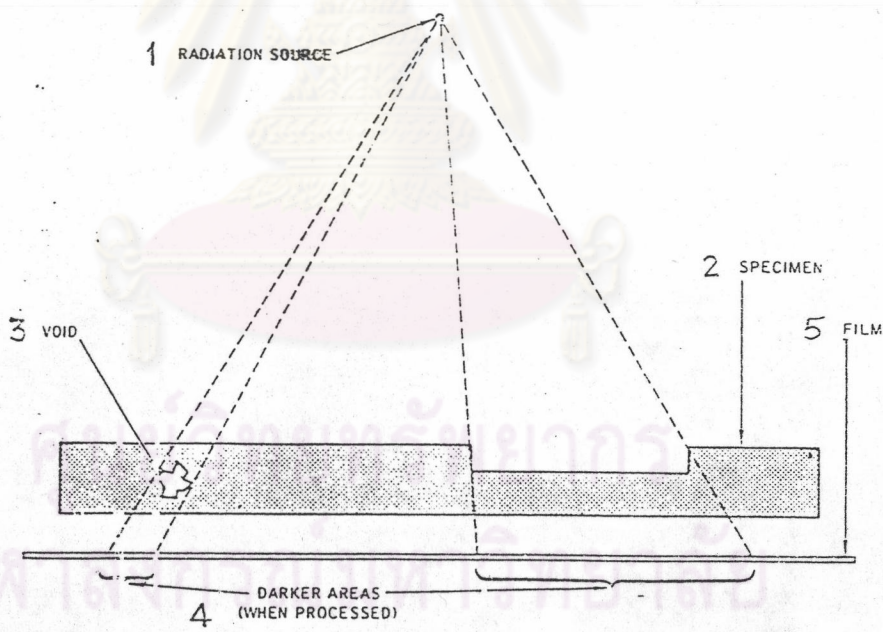
2.3 การหาความชื้นของดิน

เนื่องจากไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลน้ำ สามารถทำให้นิวตรอนลดความเร็วลงได้มากกว่าอะตอมของธาตุอื่น ดังนั้นไฮโดรเจนอะตอมจึงสามารถทำให้นิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของไฮโดรเจนอะตอม จึงมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดินด้วย โดยอาศัยหลักการดังกล่าวนี้จึงสามารถหาความชื้นในดินโดยวิธี neutron moderation เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ neutron moisture meter ซึ่งประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสี fast neutron โดยใช้ Ra+Be หรือ Po + Be (100 mCi) และหัววัดนิวตรอนช้าคือ BF₃ counter วิธีการวัดมี 2 แบบ คือ แบบ well type กับ surface type การวัดแบบ well type นั้น ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนอยู่ด้วยกัน โดยหย่อนลงไปในดินตามรูที่เจาะเอาไว้ ตามความลึกที่ต้องการ ส่วนการวัดแบบ surface type ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดวางไว้ชิดกันบนพื้นดิน

2.4. การตรวจสอบการถ่ายภาพด้วยรังสี

การตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นวิธีการหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ งานเชื่อมท่อน้ำมัน และงานโครงสร้าง เป็นต้น โดยใช้คุณสมบัติของรังสีที่สามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุทึบแสงได้ ฉายรังสีผ่านชิ้นงานตรวจสอบ และผ่านทะลุวัสดุตรวจสอบไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มที่อยู่ด้านหลัง ซึ่งถ้ามีรอยบกพร่องเกิดขึ้นภายในวัสดุ ตรวจสอบ เช่น รอยรูล รอยแตก ร้าว รอยโพรง ซึ่งหมายถึงรังสีจะสามารถทะลุบริเวณรอยบกพร่อง ได้ สะดวกกว่า จึงทำให้รังสีทะลุผ่านไปทำปฏิกิริยาได้สะดวกกว่า เมื่อนำฟิล์มมาผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม แล้วบริเวณรอยบกพร่องจะดำกว่าจุดที่ไม่มีรอยบกพร่อง

รังสีที่นิยมในการถ่ายภาพมีอยู่ 2 ชนิดคือ รังสีแกมมาและรังสีนิวตรอน รังสีแกมมาเหมาะสำหรับถ่ายภาพโลหะหนัก สารกัมมันตรังสีที่ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีได้แก่ Ir-192 และ Co-60 เป็นต้น ส่วนรังสีนิวตรอนใช้ในการตรวจสอบวัสดุเบาที่บรรจุในโลหะหนัก สารกัมมันตรังสีที่ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีได้แก่ Am-241-Be และ Cf-252 เป็นต้น



- 1. ฉายรังสี
- 2. ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบ
- 3. รอยบกพร่อง
- 4. รังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานตรวจสอบ
- 5. ฟิล์ม

รูปที่ 2.6 การตรวจสอบโดยการถ่ายภาพด้วยรังสี (พปส., 2535)

3. เรดิเอชัน แอฟเฟกต์ แมทีเรียล (Radiation Affect Materials)

รังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนต่อวัตถุหลายอย่างเช่น ทำให้เกิด Radicals, ทำให้เกิดPolymerization, ทำให้เกิดRadiolysis (Chemical decomposition) นอกเหนือจาก Energetic Radiation ที่มีผลในการฆ่าเชื้อโรค, ทำให้म्मลงเป็นหมัน

3.1. การใช้สารกัมมันตรังสีในการรักษาโรค

3.1.1 การฉายรังสีเพื่อรักษาโรคมะเร็งจากระยะไกล

โดยใช้รังสีแกมมาจาก Co-60 หรือ Cs-137 วิธีการนี้เหมาะสำหรับการรักษามะเร็งในตำแหน่งลึกๆของอวัยวะ เช่น มะเร็งที่ปอด หลอดอาหาร สมอง และมะเร็งมดลูก เป็นต้น

3.1.2 การฝังสารกัมมันตรังสี

โดยนำสารกัมมันตรังสีลงไปฝังในบริเวณที่เป็นมะเร็ง วิธีการนี้เหมาะกับมะเร็งซึ่งอยู่ตื้นๆ เช่น มะเร็งผิวหนัง สารกัมมันตรังสีที่นิยมใช้เช่น Ra-226 Co-60 Au-198 เป็นต้น

3.1.3 การฉีดเข้าเส้นเลือดหรือการดื่ม

โดยผู้ป่วยได้รับสารกัมมันตรังสีจากการฉีดเข้าเส้นเลือดหรือการดื่มสารกัมมันตรังสีเข้าไป เพื่อให้สารกัมมันตรังสีเข้าไปสะสมอยู่ในตำแหน่งของมะเร็ง เช่น ไอโอดีน-131 เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งของต่อมธัยรอยด์ ฟอสฟอรัส-32 ใช้ทำลายมะเร็งเม็ดโลหิตขาว เป็นต้น

3.2. การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน

การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน เป็นการวิเคราะห์ธาตุโดยการยิงธาตุด้วยรังสีนิวตรอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ เกิดเปลี่ยนแปลงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะค่าครึ่งชีวิต ชนิดของรังสี และพลังงานของรังสีปลดปล่อยมา คุณสมบัติเฉพาะตัวทำให้ทราบได้ว่าเป็นเรดิโอไอโซโทปของธาตุใด และจากปริมาณรังสีที่วัดได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีของสารมาตรฐานของธาตุนั้นๆ ที่ทราบปริมาณหรือน้ำหนักแน่นอนจะสามารถคำนวณปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้

3.3 การวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคทางเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้มีหลักการที่ว่าทำให้อิเล็กตรอนในอะตอม (orbital electron) หลุดออกจากวงโคจร โดยวิธีใดก็ตามที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากชั้นนอกๆ เข้ามาแทนที่ พร้อมกับมีการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ ที่มีพลังงานหรือความยาวคลื่นต่างๆ กัน เฉพาะตัวซึ่งเรียกว่า เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) ปริมาณความเข้มของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่ได้จากแหล่งกระตุ้นเดียวกันของธาตุต่างๆ จะเป็นปฏิกากับจำนวนอะตอมของธาตุนั้นๆ

3.4 การฉายรังสีเพื่อการถนอมอาหาร

กระบวนการฉายรังสีอาหารกระทำโดยการนำอาหารบรรจุในภาชนะที่เหมาะสมไปฉายรังสีแกมมา โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความระดับความแรงรังสีและเวลาเหมาะสม ส่วนใหญ่จะใช้ Co-60 และ Cs-137 ซึ่งสารกัมมันตรังสีทั้งสองชนิดให้รังสีแกมมาเหมือนกัน โดยทั่วไปแล้วการฉายรังสีจะใช้ปริมาณรังสีแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการฉายรังสี สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 วัตถุประสงค์และปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีและการผลิตผลการเกษตร

วัตถุประสงค์	ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
- ยับยั้งการงอก	0.05-0.15	มันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ กระเทียม
- ความคมการแพรวพันซ์ของแมลง	0.15-0.50	ข้าว ถั่วเขียว ปลาแห้ง
- ทำลายพยาธิ	0.25-0.50	เนื้อหมู แหนม
- ชลอการสุก	0.50-1.00	มะม่วง มะละกอ
- ลดบักเตรีและเชื้อราที่ก่อให้เกิดการเน่า	1.00-3.00	พลาสติก เนื้อสด
- ชลอการบาน	1.00-2.00	เห็ด
- ปรับปรุงคุณสมบัติทางเทคนิค	2.00-7.00	องุ่น (เพิ่มฮีสต์น้ำองุ่น) ผักและผลไม้
- ทำลายบักเตรีที่ก่อให้เกิดโรคและลดปริมาณจุลินทรีย์	2.00-10.00	กุ้งแช่แข็ง แหนม เครื่องเทศ

3.5. การฉายรังสีเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืช

การนำรังสีมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช โดยใช้รังสีสามารถทำให้เกิดการกลายพันธุ์ รังสีที่นิยมใช้คือ รังสีแกมมาเพราะสามารถทะลุผ่านไปถึงเนื้อเยื่อภายในได้ดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนส์ ซึ่งเป็นหน่วยพันธุกรรมหรือทำให้เกิดการขาดของโครโมโซมทำให้ได้พันธุ์ใหม่ๆ ขึ้นมา สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานนี้คือ Co-60 และ Cs-137 เป็นต้น นอกจากงานที่ได้กล่าวข้างต้น ยังใช้ในงานทำหมันแมลง การปรับปรุงคุณภาพของยางและไม้อัด เป็นต้น

4. การใช้สารกัมมันตรังสีเป็นแหล่งพลังงาน

เมื่อรังสีทั้งหลายหยุดในตัวกลางหนึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ในที่สุดจะกลายไปเป็นความร้อน ซึ่งความร้อนที่ได้จะเป็นพลังงานจะสามารถเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปที่ต้องการได้แก่ การใช้พลูโทเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิต 86 ปีและปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาสามารถประดิษฐ์ให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ใช้ในยานอวกาศได้ เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าชนิดนี้มักใช้ในบริเวณที่ห่างไกลเพราะไม่ต้องการการบำรุงรักษาและมีอายุยาวนาน

การจัดการกากกัมมันตรังสีในระดับความแรงรังสีต่ำและปานกลาง

1. ชนิดของกากกัมมันตรังสี (Types of Wastes)

กากกัมมันตรังสีหมายถึง สิ่งของหรือวัสดุใดๆก็ตามที่ประกอบด้วยหรือเปราะเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีในระดับความเข้มข้น หรือความแรงรังสีที่สูงกว่าค่าที่สามารถเป็นอันตรายต่อมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อม (IAEA 1992)

กากกัมมันตรังสีสามารถจัดแบ่งจำพวกได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

1) แบ่งตามต้นกำเนิด (source) ซึ่งได้แก่

- กากกัมมันตรังสีที่ได้จากการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
- กากกัมมันตรังสีที่ได้จากการใช้ประโยชน์ของสารกัมมันตรังสี
- กากกัมมันตรังสีที่ได้จากการรื้อถอนโรงงานนิวเคลียร์

2) แบ่งตามสถานะของกากกัมมันตรังสี (waste form) เช่น ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ เป็นต้น

3) แบ่งตามระดับกัมมันตภาพรังสี (radioactivity level) คือ ความแรงรังสีต่ำ ปานกลาง และสูง

- ชีวิตสั้นและยาวนาน
- 4) แบ่งตามค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี (half-life) ได้แก่ ค่าครึ่ง
- 5) แบ่งตามชนิดของรังสีที่ปล่อยออกมา ได้แก่ แอลฟา บีตา แกมมา และนิวตรอน
- 6) แบ่งตามชนิดของการจัดเก็บ เช่นการฝังตื้น (shallow land burial)

การแบ่งระดับความแรงรังสีในหลายประเทศมีการกำหนดการจัดแบ่งระดับความแรงรังสีของกากกัมมันตรังสีในประเทศเอง แต่ในส่วนขององค์การปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency ; IAEA) ได้กำหนดระดับความแรงรังสีของกากกัมมันตรังสีดังแสดงในตารางที่ (IAEA,1989)

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดของกากกัมมันตรังสีตามระดับความแรงรังสี (IAEA,1989)

Type	Typical upper limit		Disposal route	
	α (per m ³)	β/γ (per m ³)		
High level heat generating	370 TBq	37 PBq	Geological	
Intermediate level	High α , β/γ	18.5 TBq	370 TBq	Geological
	High α , low β/γ	18.5 TBq	37 GBq	Geological
	Low α , high β/γ	37 GBq	3.7 TBq	Shallow land burial or sea
Low level	Low α , β/γ	800 MBq	2.4 GBq	Shallow land burial or sea
Very low level	Very low α , β/γ	370 kBq	370 kBq	Landfill*

* α -emitters and ⁹⁰Sr normally prohibited.



2. ต้นกำเนิดของกากกัมมันตรังสี (Source of Waste)

2.1 กากกัมมันตรังสีจากการแพทย์

กากกัมมันตรังสีในการแพทย์แบ่งได้ 2 กลุ่มคือกากกัมมันตรังสีที่ได้มาจากการวินิจฉัยโรค และการบำบัดรักษาโรค กากกัมมันตรังสีที่ได้มาจากการวินิจฉัยโรคจะมีความแรงรังสีต่ำและมีค่าครึ่งชีวิตสั้นแต่มีปริมาณกากกัมมันตรังสีเป็นจำนวนมากได้แก่ ของเสียจากผู้ป่วย ขวดบรรจุสารกัมมันตรังสี แก้วกระดาษ เข็มฉีดยา เป็นต้น ส่วนกากกัมมันตรังสีที่ได้มาจากรักษาโรคส่วนใหญ่จะเป็นต้นกำเนิดรังสีประเภทของแข็งและของแข็งพนิกสนิทที่เลิกใช้งาน ซึ่งมีระดับความแรงรังสีลดลงมากแล้ว

2.2 กากกัมมันตรังสีจากสถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษา

สถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษา จะใช้สารกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้นและมีความแรงรังสีต่ำเช่นเดียวกับทางการแพทย์ สกวันในงานวิจัยที่ใช้ H-3 และ C-14 ส่วนใหญ่จะใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตาม (Tracer) ของระบบที่ต้องการศึกษา

กากกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้มีสภาพทางกายภาพคล้ายคลึงกัน แต่องค์ประกอบของกากกัมมันตรังสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงการที่กำลังศึกษาอยู่เช่นพวกสารอนินทรีย์ที่มีการเจือปนด้วยสารเคมีต่างๆ อินทิลแลนท์ เศษวัสดุ กระดาษ หลอดทดลอง และซากสัตว์ทดลอง เป็นต้น

2.3 กากกัมมันตรังสีจากการใช้งานในอุตสาหกรรม

สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในกิจการอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของ สารกัมมันตรังสีชนิดพนิกสนิท (Seal Source) และมีค่าครึ่งชีวิตยาว สกวันงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวติดตามหรือแคะรอส กากกัมมันตรังสีที่ได้ในอุตสาหกรรมคือต้นกำเนิดรังสีที่เลิกใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่สารกัมมันตรังสีจะมีระดับความแรงรังสีลดลงมามากแล้ว สารกัมมันตรังสีที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ Kr-85 Cs-137, Sr-90, Co-60 และ Am-241 เป็นต้น

2.4 กากกัมมันตรังสีจากขบวนการผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

การผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะเริ่มต้นจากการทำเหมืองแร่ยูเรเนียม การแต่งแร่ยูเรเนียม การทำยูเรเนียมให้บริสุทธิ์ การประดิษฐ์แท่งเชื้อเพลิง ตามลำดับ กากกัมมันตรังสีที่ได้จากขบวนการนี้จะเป็นกากกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีในระดับต่ำได้แก่ หางแร่จากการแต่งแร่ยูเรเนียม สารละลาย

จากการแยกยูเรเนียมให้บริสุทธิ์ และเศษโลหะจากการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิง เป็นต้น

2.5 กากกัมมันตรังสีจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกัน 4 แบบคือ Boiling Water Reactor (BWR), Pressurized Water Reactor (PWR), Heavy Water Reactor (HWR), Gas cooled Reactor (GCR) ซึ่งการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูจะทำให้เกิดกากกัมมันตรังสี 2 ประเภทคือ ผลผลิตของการฟิชชัน (Fission Products) และผลผลิตจากการทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับวัสดุในเครื่องปฏิกรณ์ (Activation Products) ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแต่ละแบบจะให้กากกัมมันตรังสีทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกัน สารกัมมันตรังสีมีในกลุ่มนี้คือ H-3, C-14, Cr-51, Co-60, Ma-54, Sr-90, Tc-99, Cs-134 และ Cs-137 เป็นต้น

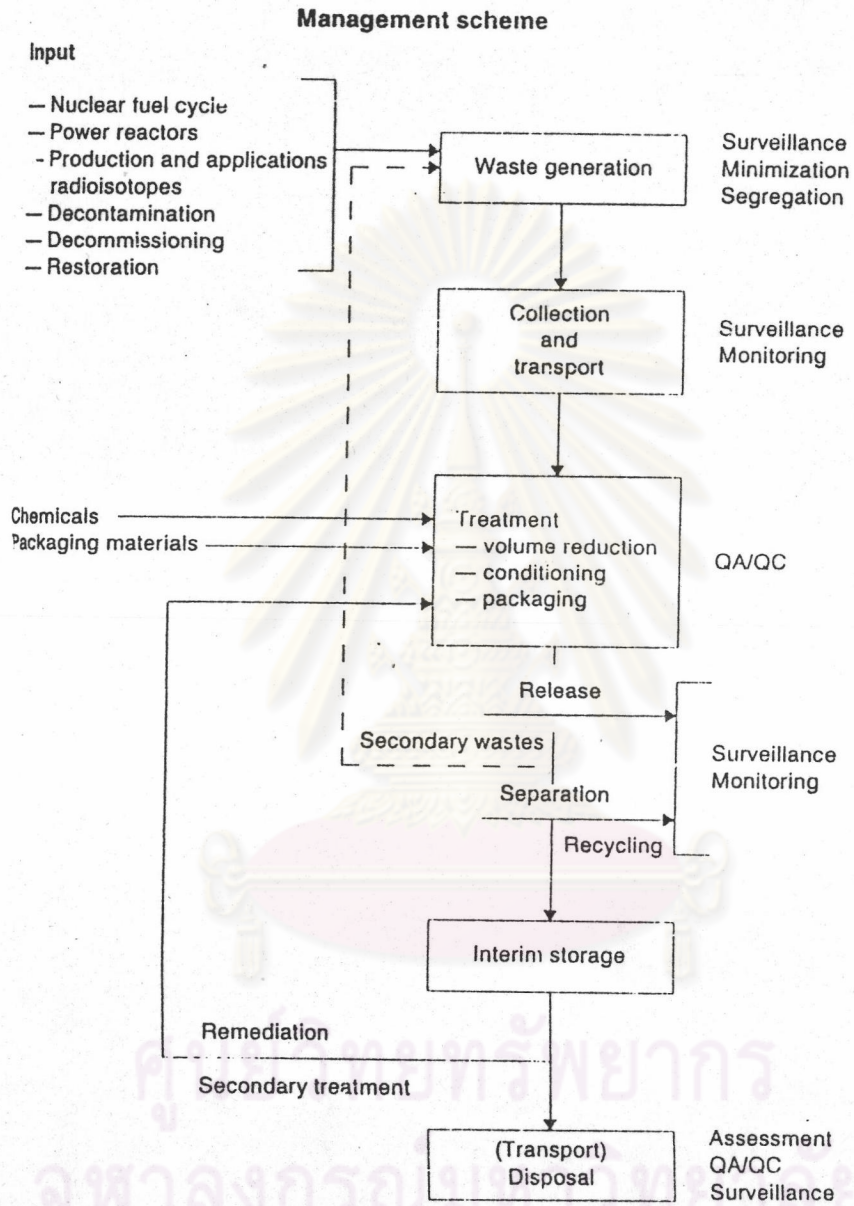
2.6 กากกัมมันตรังสีจากการฟอกกากนิวเคลียร์

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์เมื่อใช้งานเสื่อมสภาพแล้วก็สามารถนำกลับมาปรับปรุงเพื่อนำมาใช้ใหม่ได้ โดยการละลายแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ด้วยกรดไนตริก (nitric acid) แล้วแยกยูเรเนียมและพลูโตเนียมออกจากแท่งเชื้อเพลิง โดยวิธีการ solvent extraction technique ซึ่งจะทำให้ได้กากกัมมันตรังสีในรูปของสารละลายที่มีกัมมันตรังสีของผลผลิตฟิชชันที่มีความแรงรังสีสูง

นอกจากผลผลิตฟิชชันแล้วยังมีกากกัมมันตรังสีที่ประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีชนิดทรานซูเรนิค (transuranic element) ซึ่งเป็นสารไอโซโทปรังสีของธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่าธาตุยูเรเนียมและเป็นไอโซโทปที่ให้รังสีแอลฟาเป็นส่วนใหญ่และมีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวนานอีกด้วย

3. การจัดการกากกัมมันตรังสี

ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ได้ให้คำนิยามของการจัดการกากกัมมันตรังสีว่า " การจัดการ กิจกรรม การทำการใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การปฏิบัติงาน (handling) การบำบัด (treatment) การแปรสภาพ (condition) การขนส่ง (transportation) การจัดเก็บกากกัมมันตรังสี (storage) และการทิ้งกากกัมมันตรังสี (disposal) ของกากกัมมันตรังสี" (IAEA 1992) ซึ่งการดำเนินการจัดการกากกัมมันตรังสีในแต่ละประเทศจะมีขั้นตอน และวิธีดำเนินงานแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกากกัมมันตรังสี และความพร้อมในการจัดการของแต่ละประเทศ แต่ทุกๆ ประเทศจะมีวัตถุประสงค์ที่เหมือนกันคือ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของกากกัมมันตรังสีในสภาวะสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.7 แผนผังการจัดการกากกัมมันตรังสี (IAEA, 1992)

หรือเพื่อป้องกันมิให้สภาวะแวดล้อมเกิดการเปรอะเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีทั้งในปัจจุบันและอนาคต

3.1 การบำบัดกากกัมมันตรังสี (Treatment of Radioactive Waste)

การบำบัดกากกัมมันตรังสีมิได้หมายความว่ากำจัดกากกัมมันตรังสีให้หมดสิ้นไป แต่เป็นการดำเนินงานใดเพื่อลดปริมาณ ความแรงรังสี และปรับสภาพกากกัมมันตรังสี ให้มีความพร้อมในการแปรสภาพและการจัดเก็บกากกัมมันตรังสีต่อไป

กากกัมมันตรังสีมีหลายชนิดทั้ง ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ซึ่งแต่ละชนิดยังสามารถแยกออกได้อีก ดังนั้นการเลือกวิธีการบำบัดกากกัมมันตรังสีที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายบำบัดกากกัมมันตรังสี สิ่งที่ใช้พิจารณาเลือกวิธีการบำบัดกากกัมมันตรังสีมีดังนี้

1. คุณสมบัติของกากกัมมันตรังสีที่จะนำมาบำบัด
2. ความสามารถทางด้านเทคนิคและค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากกัมมันตรังสี
3. กากกัมมันตรังสีที่ผ่านการบำบัดกากกัมมันตรังสีแล้วมีคุณสมบัติพร้อมในการแปรสภาพหรือการจัดเก็บหรือไม่
4. การบำบัดกากกัมมันตรังสีมีผลต่อสภาพแวดล้อมหรือไม่

หลักการโดยทั่วไปของการบำบัดกากกัมมันตรังสีมีดังนี้

1. ทำให้เจือจางแล้วปล่อยทิ้ง วิธีนี้ใช้ได้กับกากกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำและมีค่าครึ่งชีวิตสั้น
2. การทำให้เข้มข้นแล้วกักไว้ โดยการลดปริมาณของกากกัมมันตรังสีให้น้อยลงแล้วเก็บกักไว้เพื่อดำเนินการต่อไป
3. หน่วงเวลาและปล่อยให้สลายตัวไปเอง โดยเก็บกากกัมมันตรังสีเพื่อให้สลายตัวหมดไป

3.1.1 การบำบัดกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว (Treatment of Liquid Radioactive Waste)

กากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวมักจะอยู่ในรูปสารละลายของน้ำ เพราะน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในงานด้านนิวเคลียร์ เช่น การใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู การใช้น้ำทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น แต่ยังมีสารละลายประเภทอื่นอยู่บ้างซึ่งมีปริมาณอยู่น้อยมาก ดังนั้น วัตถุประสงค์สำคัญของการบำบัดกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวคือการแยกน้ำออกจากกากกัมมันตรังสี เพื่อความสะดวกในการแปรสภาพและการจัดเก็บกากกัมมันตรังสี

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีการบำบัดกากกัมมันตรังสี (IAEA, 1984)

Basic treatment processes	Chemical precipitation	Ion exchange	Evaporative
Liquid radwaste characteristics	<ul style="list-style-type: none"> not sensitive to highly salt-laden solutions Possible negative effects when oils, detergents and complexing agents are present 	Suitable for: <ul style="list-style-type: none"> Low suspended solids content Low salt content Absence of non-ionic active species 	<ul style="list-style-type: none"> Low detergent content required (foaming problems)
Decontamination factor (DF)	$<10-100(\beta,\gamma)$, $10^3(\alpha)$ exceptional $>10^3(\alpha)$	<10 to $>10^4$ average 10^2 to 10^3	10^4-10^5
Volume reduction factor (VRF)	10-100 (wet sludge) 200- 10^4 (dried solid)	500 to 10^4	Depends on the salt content in the solution
Conventional combination with other	Possible with evaporation and ultrafiltration	Possible with evaporation	Condensate can be subsequently treated by ion exchange
Process drawbacks	Volume of flocs may be important. Dewatering system needed for sludges	<ul style="list-style-type: none"> Limited radiation stability Limited heat resistance 	Sensitive to scaling, foaming, salt precipitation and corrosion
Application types	<ul style="list-style-type: none"> Concentration of active species 	<ul style="list-style-type: none"> Demineralization of effluent when salt content <1 g/L Separation of active species 	<ul style="list-style-type: none"> Concentration of the solution (active and non-active species)
Scope of the application	<ul style="list-style-type: none"> Utility liquid wastes from nuclear power plants LL and IL streams in reprocessing operations Nuclear Research Centres' liquid wastes 	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance of pond water quality Water conditioning in reactor circuits Various treatments in reprocessing operations Post-treatment for all other operations 	<ul style="list-style-type: none"> Primary coolant cleanup Utility liquid wastes from nuclear power plants Various uses in reprocessing operations
Maintenance	Possible blockage of feed lines and corrosion	Possible blockage of ion-exchange beds	Possible foaming, scaling and salt precipitation problems, corrosion
Cost	Relatively cheap	Relatively expensive mainly for synthetic ion exchangers	Expensive (energy consuming)

3.1.2 การบำบัดโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

เป็นวิธีการทำให้สารกัมมันตรังสีในของเหลวตกตะกอนอยู่ในรูปเกลือที่ไม่ละลายน้ำหรือตะกอนอิมัลชันในน้ำ ตะกอนนี้สามารถจะดูดซับไอออนสารกัมมันตรังสีได้ดี วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้ตะกอนที่มีน้ำหนัก เพื่อช่วยให้ตะกอนที่จับเอาสารกัมมันตรังสีที่ปนอยู่ในน้ำลงมาด้วย หลังจากตะกอนตกลงมาแล้วก็จะแยกตะกอนออกจากน้ำ โดยใช้วิธีการกรองหรือการปั่นแยกน้ำออกมา ตะกอนที่ผ่าน การแยกน้ำออกแล้วจะเรียกว่าสลัดจ์ (sludge) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารกัมมันตรังสีถึง 90-98 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกากกัมมันตรังสีและสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอน โดยสารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และสารส้ม ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น ข้อดีของวิธีการตกตะกอนทางเคมีมีดังนี้

1. เป็นวิธีการที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำมาก
2. ใช้ได้ดีกับกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวที่มีสารแขวนลอยหรือสารในรูปเกลือปนอยู่
3. สามารถควบคุมความเป็นกรด-ด่างได้ง่าย
4. สามารถทำการบำบัดได้คราวละมากๆ

3.1.3 การบำบัดโดยวิธีการแยกอนุภาคแข็งออกจากของเหลว (Solid-Phase Separation)

วิธีการนี้จะดำเนินการแยกสารแขวนลอยและตะกอนออกจากกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว วิธีการนี้จะใช้บำบัดกากกัมมันตรังสีในกรณีดังต่อไปนี้

1. ใช้ก่อนการบำบัดกากกัมมันตรังสีโดยวิธีต้มระเหยและไอออนเอ็กซ์เชนจ์
2. ใช้แยกสารแขวนลอยออกจากกากกัมมันตรังสี หลังจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมี
3. ใช้แยกตะกอนออกจาก bulk liquid

เครื่องกรอง (filters) จะใช้วิธีการแยกอนุภาคที่แขวนลอยหรือตกตะกอนในกากกัมมันตรังสีของเหลวออกจากกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลว โดยผ่านของเหลวลงไปในสารที่มีรูพรุน เช่น กระดาษกรอง ทราช ถ่าน เป็นต้น

เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuges) จะอาศัยแรงเหวี่ยงทำให้ตะกอนและสารแขวนลอยแยกออกจากน้ำ เครื่องมือชนิดนี้มี 2 แบบคือ

1. Bulk Centrifuges เหมาะสมสำหรับกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวที่อนุภาคขนาดใหญ่ปนอยู่
2. High-Speed Centrifuges เหมาะสมสำหรับกากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวที่อนุภาคขนาดเล็กปนอยู่

3.1.4. การบำบัดโดยวิธีไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion-exchange)

เป็นวิธีการทำให้กากกัมมันตรังสีชนิดของเหลวเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับสารของแข็ง โดยให้กากกัมมันตรังสีไหลผ่านสารของแข็งที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออน สารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออน ใช้สารพวกอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่ประจุรัศมีและมีอยู่ในธรรมชาติเช่น ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน ถ่านเกลือ ซีโอไลต์ เป็นต้น ก่อนบำบัดกากกัมมันตรังสีด้วยวิธีนี้ควรนำกากกัมมันตรังสีไปผ่านการบำบัดโดยวิธีการกรองเสียก่อน เพื่อแยกของแข็งในรูปเกลือและสารแขวนลอยออกจากกากกัมมันตรังสี เพราะอนุภาคของแข็งพวกนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดกากกัมมันตรังสีลดลง (ปฐม แหยมเกตุ, 1990)

ข้อดีของการบำบัดกากกัมมันตรังสีด้วยวิธีไอออนเอ็กซ์เชนจ์

1. กากกัมมันตรังสีที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีนี้ไปแปรสภาพได้ง่าย
2. สารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนบางชนิดสามารถนำกลับมาใช้อีกได้
3. สามารถใช้ได้ดีกับกากกัมมันตรังสีที่มีคอลลอยด์ปนอยู่
4. การบำบัดกากกัมมันตรังสีโดยวิธีนี้จะได้ค่า D.F (Decontamination Factor) สูง
(D.F value = ระดับรังสีก่อนการบำบัดกากกัมมันตรังสี / ระดับรังสีภายหลังการบำบัดกากกัมมันตรังสี)
5. มีวิธีดำเนินงานไม่ซับซ้อน

3.1.5 การบำบัดโดยวิธีต้มระเหย (Evaporation)

การต้มระเหยเป็นวิธีการใช้ความร้อนทำให้น้ำในกากกัมมันตรังสีกลายเป็นไอ จะได้ผลเป็นกากกัมมันตรังสีเข้มข้นในรูปของตะกอน ส่วนไอน้ำจะทำกรควบแน่นให้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นน้ำ วิธีการนี้เหมาะสมกับกากกัมมันตรังสีระดับรังสีสูงและระดับรังสีปานกลาง ก่อนการบำบัดกากกัมมันตรังสีวิธีนี้ จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนเหล่านี้คือ

1. ทำการกรองเพื่อแยกอนุภาคของแข็งออก
2. ทำการปรับสภาพกรด-ด่างของกากกัมมันตรังสี เพื่อลดการสึกกร่อน
3. แยกสารอินทรีย์โดยใส่คาร์บอนเพื่อลดการเกิดฟอง (foaming)

3.2 การบำบัดกากกัมมันตรังสีชนิดของแข็ง (Treatment of Solid Radioactive Waste)

กากกัมมันตรังสีชนิดของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์ หรือวัสดุที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี ในการปฏิบัติงานเช่น กระดาษ เหล็ก ยาง และพลาสติก เป็นต้น ซึ่งการบำบัดกากกัมมันตรังสีส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการลดปริมาณกากกัมมันตรังสี

3.2.1 การตัดและการเลื่อยกากกัมมันตรังสี

วิธีการนี้ใช้สำหรับกากกัมมันตรังสีที่มีขนาดใหญ่หลายๆ เช่น เหล็ก พลาสติก เป็นต้น โดยจะลดขนาดเพื่อให้เหมาะสมในการแปรสภาพ หรือการดำเนินการบำบัดกากกัมมันตรังสีต่อไป เช่น การเผา การอัด เป็นต้น

3.2.2 การอัดกากกัมมันตรังสี

วิธีการนี้จะใช้เครื่องมืออัดและบดในการลดปริมาตรของกากกัมมันตรังสี โดยปกติแล้วการอัดกากกัมมันตรังสีจะใช้กับท่อเหล็ก ไม้ กระดาษ เป็นต้น จะสามารถลดปริมาตรของกากกัมมันตรังสีได้ประมาณ 3 ถึง 12 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกากกัมมันตรังสีและแรงอัดของเครื่องมือ

3.2.3 การเผากากกัมมันตรังสี

การเผากากกัมมันตรังสีเป็นการลดปริมาตรได้มากที่สุดของกากกัมมันตรังสีชนิดของแข็ง แต่วิธีนี้ไม่สามารถใช้กับกากกัมมันตรังสีชนิดของแข็งที่ไม่ติดไฟ เช่น เหล็ก ดิน อิฐ เป็นต้น ระหว่างการเผากากกัมมันตรังสี สารกัมมันตรังสีที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีจะหลุดลอยสู่สภาวะแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีกรงหรือคูดจับสารกัมมันตรังสีเอาไว้ ก่อนที่สารกัมมันตรังสีและฝุ่นละอองจะหลุดลอยออกไป หลังจากการกรงหรือคูดจับสารกัมมันตรังสีแล้ว ชุดเครื่องกรงและการคูดจับสารกัมมันตรังสี ก็จะเป็นที่สะสมของสารกัมมันตรังสี และจะต้องนำไปบำบัดกากกัมมันตรังสีต่อไป

4. การแปรสภาพกากกัมมันตรังสี (Condition)

เนื่องจากกากกัมมันตรังสีส่วนมากจะปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว ดังนั้นหลังจากกากกัมมันตรังสีที่ผ่านขบวนการบำบัดกากกัมมันตรังสีแล้ว จึงต้องทำการเก็บกากกัมมันตรังสีในระยะเวลายาว เพื่อรอสารกัมมันตรังสีสลายตัวจนถึงระดับที่ปลอดภัย จึงจะสามารถปลดปล่อยกากกัมมันตรังสีสู่สภาวะแวดล้อมได้ ซึ่งการเก็บกากกัมมันตรังสีต้องคำนึงถึงการยื้อย่นคืนสู่สภาวะแวดล้อมในหนทางต่างๆ เช่น การเก็บกากกัมมันตรังสีไว้ในใต้พื้นดิน อาจจะมีสารกัมมันตรังสีถูกสารละลายน้ำชะล้างไปสู่เส้นทางน้ำสาธารณะ ซึ่งสิ่งมีชีวิตอาจจะนำไปใช้บริโภคก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้นการเก็บกากกัมมันตรังสีจึงต้องมีการเตรียมการป้องกันอย่างรอบครอบ เพื่อป้องกันมิให้สารกัมมันตรังสีปนเปื้อนในสภาพแวดล้อม ซึ่งวิธีหนึ่งก็คือการทำให้สารกัมมันตรังสีในกากกัมมันตรังสีจับตัวอย่างเหนียวแน่นในเนื้อวัสดุที่เหมาะสม สารซึ่งมีคุณสมบัติในการเชื่อมติดแน่นกับกากกัมมันตรังสี

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบวิธีการแปรสภาพกากกัมมันตรังสี (IAEA, 1992)

	Cementation	Bituminization	Polymer fixation
1. Application	Variety of LLW and ILW	Chemical precipitates, low heat and low alpha wastes	Waste concentrates such as resins, sludges, evaporator bottoms and ashes
2. Process conditions	Room temperature (cooling to remove heat, exothermic)	High temperature	Room temperature Proper process control and understanding of chemical reactions necessary
3. Volume change	Increases by two times	Overall reduction good, owing to water removal from waste	Increases by 1.2 times
4. Chemical compatibility	Waste with water can be fixed	Water removal before bituminization required	Waste with water can be fixed
5. Dimensional stability in presence of water	Very good	Very poor for certain wastes such as spent ion exchange resins and evaporator concentrates	Very good
6. Leaching rate	Satisfactory	Low	Very low
7. Radiation resistance	Very good	Satisfactory	Very good (integrated radiation resistance up to 0.1 Gy)
8. Compatibility with environmental conditions	With many types of conditions	With most environmental conditions	With most environmental conditions

เหล่านี้ได้แก่ ซีเมนต์(cement), ยางมะตอย(bitumen), แก้ว(glasses), โพลีเมอร์(polymer) เป็นต้น ผลผลิตที่กากกัมมันตรังสีได้จากขบวนการดังกล่าวควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. กากกัมมันตรังสีจับตัวอย่างเหนียวแน่นในเนื้อวัสดุและเป็นเนื้อเดียวกัน
2. ป้องกันการซึมของน้ำสู่กากกัมมันตรังสีได้ดี
3. ป้องกันสิ่งกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อกากกัมมันตรังสีได้ดี
4. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อวัสดุระหว่างจัดเก็บ
5. มีความทนทานต่อแรงกดอัดได้ดี

การเลือกสารมาผนึกกากกัมมันตรังสีจะพิจารณาที่คุณสมบัติสารที่นำมาผนึกกากกัมมันตรังสี ขบวนการในการแปรสภาพ, ราคาของสารที่นำมาผนึก, คุณสมบัติกากกัมมันตรังสี การที่จะได้ผลผลิตที่จากการแปรสภาพกากกัมมันตรังสีมีคุณภาพหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการเลือกสารมาผนึกกากกัมมันตรังสี เช่น กากกัมมันตรังสีมีสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ (pH) 7-10 ควรเลือกใช้ ซีเมนต์ หรือ กากกัมมันตรังสีมีสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ (pH) 8-9 ควรเลือกใช้ยางมะตอยและโพลีเมอร์ ในปัจจุบันสารที่ใช้ในการแปรสภาพกากกัมมันตรังสีได้แก่ ซีเมนต์, ยางมะตอย, โพลีเมอร์, แก้วและ เซรามิค เป็นต้น

5 การจัดเก็บกากกัมมันตรังสี

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดเก็บกากกัมมันตรังสีเพียงชั่วคราว เพื่อรอเวลาทำการบำบัด, การแปรสภาพ, เคลื่อนย้ายไปสู่สถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีถาวรต่อไป เพราะฉะนั้นสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีแบบนี้ จึงมีลักษณะแตกต่างกันไปตามกากกัมมันตรังสี แต่ต้องสามารถป้องกันการแผ่รังสีมาสู่คนได้และสถานที่ที่เก็บกากกัมมันตรังสีแบบนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือหลุมดินธรรมดา (Area Storage) และบ่อที่มีโครงสร้างทางวิศวกรรมที่แข็งแรง(Engineered Structure)

6 การขนส่งกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสีที่ผ่านการบำบัดหรือการแปรสภาพ จำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายกากกัมมันตรังสีไปสู่สถานที่เก็บกากกัมมันตรังสี ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีโอกาสที่จะแพร่กระจายไปสู่สภาพแวดล้อมได้ง่ายมาก ถ้าไม่มีการวางแผนและการดำเนินการที่รอบคอบ สิ่งที่ต้องพิจารณาเบื้องต้นก่อนขนส่งกากกัมมันตรังสีมีดังนี้

- 1) การป้องกันอันตรายจากรังสี เช่น การป้องกันการแผ่รังสี, การตรวจสอบและรับรองจากองค์การผู้รับผิดชอบของรัฐบาล

- 2) เลือกตำแหน่งวางกากกัมมันตรังสี ต้องคำนึงถึงรังสีที่แผ่ออกไปถึงผู้ปฏิบัติงานไม่เกิน 10 mrem ตลอดการขนส่ง
- 3) ภาวะเกิดอุบัติเหตุ
- 4) วางขั้นตอนการเตรียมงานให้เกิดความเชื่อมั่น ในแง่คุณภาพ ความถูกต้อง และมีความปลอดภัยตลอดการขนส่ง
- 5) การตรวจสอบและรับรองจากเจ้าหน้าที่ของรัฐบาลที่มีหน้าที่ควบคุม
- 6) การวางระเบียบควบคุมตลอดการขนส่ง

ก่อนการเคลื่อนย้ายกากกัมมันตรังสีจำเป็นต้องบรรจุกากกัมมันตรังสี เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี โดยภาชนะบรรจุต้องมีความคงทน สามารถป้องกันกัมมันตภาพรังสี และไม่ทำปฏิกิริยากับกากกัมมันตรังสีและภาชนะ

สำหรับภาชนะบรรจุกากกัมมันตรังสีที่ใช้มากมีอยู่ 2 ชนิดคือชนิด A และชนิด B โดยภาชนะชนิด A จะใช้บรรจุกากกัมมันตรังสีชนิด LLW ส่วนภาชนะบรรจุชนิด B จะใช้บรรจุกากกัมมันตรังสีชนิด ILW และ HLW

7. การทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบถาวร (Disposal of Wastes)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการกากกัมมันตรังสี คือนำกากกัมมันตรังสีที่ผ่านการแปรสภาพหรือกากกัมมันตรังสีที่มีระดับความแรงรังสีต่ำที่ยังไม่ผ่านการแปรสภาพนำไปจัดเก็บในสถานที่เก็บเป็นการถาวร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกกากกัมมันตรังสีออกจากสภาพแวดล้อม และป้องกันการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี ซึ่งมีวิธีเก็บหลายวิธี เช่น การทิ้งแบบฝังดินตื้น (shallow land disposal) การทิ้งแบบฝังดินปานกลาง (surface disposal), การทิ้งแบบฝังดินลึก (geological disposal) เป็นต้น

7.1 การทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบฝังดินตื้น (Shallow Land Disposal)

วิธีการนี้จะใช้กับกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำและปานกลาง มีค่าครึ่งชีวิตไม่เกิน 30 ปี โดยสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีมีความลึกไม่เกิน 20 เมตร โดยชุดเป็นหลุมดินธรรมชาติหรือสร้างเป็นบ่อเก็บที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง (Engineered Structures) ซึ่งอาจอยู่เหนือผิวดินหรือใต้ผิวดินก็ได้

7.2 การทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบฝังดินปานกลาง (Sursurface Disposal)

วิธีการนี้จะใช้กับกากกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีปานกลางและสูงที่มีค่าครึ่งชีวิตค่อนข้างยาว โดยสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีมีความลึกระหว่าง 10-100 เมตร ซึ่งจะมีความปลอดภัยมากกว่าการจัดเก็บแบบฝังดินชั้น ในกรณีที่เป็นกากกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว ควรเก็บไว้ในเหมืองเกลือ เพราะเนื่องจากแก้ปัญหาการไหลของน้ำได้ดี

7.3 การทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบฝังดินลึก (Geological Disposal)

วิธีการจัดเก็บกากกัมมันตรังสีแบบนี้ เหมาะสมกับกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีสูง และปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก กากกัมมันตรังสีพวกนี้มีระดับของอันตรายสูงมาก จึงจำเป็นต้องแยกกากกัมมันตรังสีออกจากมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยเด็ดขาด โดยการเลือกสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสีต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- 1) ระดับความลึกของสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสี สามารถป้องกันการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ
- 2) ต้องไม่มีธารน้ำใต้ดินไหลผ่าน
- 3) กากกัมมันตรังสีต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสถานที่เก็บกากกัมมันตรังสี
- 4) ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินบริเวณนั้น