

ด้านการจัดการกากกัมมันตรังสี (๕ เรื่อง)

การจัดการกากกัมมันตรังสี (1) (Radioactive Waste Management)

นันทวรรณ ยะอนันต์
ศูนย์จัดการกากกัมมันตรังสี
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

1. บทนำ

การใช้ประโยชน์จากวัสดุกัมมันตรังสีและพลังงานปรมาณูในกิจการต่าง ๆ เช่น การแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร วิจัย พัฒนา และอื่น ๆ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดขยะหรือของเสียเปราะบางทางรังสี หรือวัสดุกัมมันตรังสีที่เลิกใช้แล้ว สิ่งเหล่านี้รวมเรียกโดยทั่วไปว่า “กากกัมมันตรังสี”

นิยามของกากกัมมันตรังสีตามกฎหมายกระทรวงหลักเกณฑ์และวิธีการจัดการกากกัมมันตรังสี พ.ศ.๒๕๔๖ กำหนดว่า “กากกัมมันตรังสี” หมายถึงวัสดุในรูปของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ที่เป็นวัสดุกัมมันตรังสี หรือประกอบ หรือปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี ที่มีค่ากัมมันตภาพต่อปริมาณหรือกัมมันตภาพรวมสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัยที่กำหนดโดยคณะกรรมการ และผู้ครอบครองวัสดุนั้นไม่ประสงค์จะใช้งานอีกต่อไป และให้หมายความรวมถึงวัสดุอื่นใดที่คณะกรรมการกำหนดให้เป็นกากกัมมันตรังสี [1]

การจัดการกากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste Management) เป็นการดำเนินการในทุกขั้นตอนซึ่งเกี่ยวข้องกับ การรวบรวม การคัดแยก การจำแนก การเก็บพักกากก่อนการบำบัด การขนส่ง การบำบัด การแปรสภาพ การเก็บรักษาชั่วคราว และขั้นสุดท้าย การขจัดทิ้งกากกัมมันตรังสีแบบถาวร

ในการจัดการกากกัมมันตรังสีมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อป้องกันอันตรายทางรังสีซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคต รวมทั้งต้องไม่ผลกระทบให้อนุชนรุ่นหลัง เนื่องจากเนื้อหาบทความค่อนข้างยาว สำหรับหัวข้อที่ 2 ถึง 5 ในที่นี้จึงจะได้แสดงเพียงหัวข้อไว้ให้เห็นภาพรวมก่อน สำหรับรายละเอียดในแต่ละหัวข้อจะได้แยกอธิบายไว้เป็นตอน ๆ คือในตอนที่ 2 จนถึง ตอนที่ 5 ตามลำดับ

2. หลักการพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสี

หลักการพิทักษ์สุขภาพมนุษย์
หลักการพิทักษ์สิ่งแวดล้อม
หลักการป้องกันมิให้เกิดผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้าน
หลักการพิทักษ์มนุษยชนรุ่นหลัง
ไม่ผลกระทบให้อนุชนรุ่นหลัง
จัดให้มีหน่วยงานกำกับดูแล และกฎหมายให้ชัดเจน
การควบคุมการเกิดกากกัมมันตรังสีให้น้อยที่สุด
ความสัมพันธ์ของผู้ก่อให้เกิดกากและผู้จัดการกาก
ความปลอดภัยในสถานปฏิบัติการจัดการกากกัมมันตรังสี

3. การจำแนกชนิดของกากแบบสากล

ตามเอกสารฉบับล่าสุดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) “Classification of Radioactive Waste”, DS390 (2007) ได้จำแนกกากกัมมันตรังสี ตาม รูปที่ 1 และดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 3.1 Very Short Lived Waste (VSLW)
- 3.2 Very Low Level Waste (VLLW)
- 3.3 Low Level Waste (LLW)
- 3.4 Intermediate Level Waste (ILW)
- 3.5 Spent Nuclear Fuel and High-Level Waste (SNF and HLW)
- 3.6 Disused Sealed Radiation Source (DSRS)
- 3.7 NORM (Naturally Occurring Radioactive Material), mining and milling waste

4. แหล่งกำเนิดของกากกัมมันตรังสี

4.1 กากกัมมันตรังสีจากวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

- กากกัมมันตรังสีจากการทำเหมืองแร่ยูเรเนียม
- กากกัมมันตรังสีจากการแต่งแร่ยูเรเนียม
- กากกัมมันตรังสีจากกระบวนการทำยูเรเนียมให้บริสุทธิ์
- กากกัมมันตรังสีจากการประดิษฐ์แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์
- กากกัมมันตรังสีจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
- กากกัมมันตรังสีจากกระบวนการสกัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว

4.2 กากกัมมันตรังสีจากการประยุกต์ใช้ประโยชน์วัสดุกัมมันตรังสี

- กากกัมมันตรังสีจากศูนย์วิจัยและสถาบันการศึกษา
- กากกัมมันตรังสีที่มาจากการใช้งานทางการแพทย์
- กากกัมมันตรังสีจากโรงงานอุตสาหกรรม
- กากกัมมันตรังสีจากการใช้งานทางการเกษตร

5. ขั้นตอนพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสี

มีหลักการร่วมกัน 3 ประการ คือ

- 1) การทำให้เข้มข้นแล้วเก็บรวบรวม
- 2) การทำให้เจือจางแล้วระบายทิ้ง
- 3) การเก็บกักระยะเวลา และปล่อยให้วัสดุกัมมันตรังสีสลายไปเอง

ขั้นตอนพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสีมีดังต่อไปนี้

5.1 การควบคุมให้มีกากกัมมันตรังสี เกิดขึ้นน้อยที่สุด

- การลดปริมาณกากที่เกิดขึ้น
- การแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่ และการใช้ซ้ำ

5.2 การคัดแยกกาก

5.3 ก่อนการบำบัด

5.4 การบำบัดกาก

5.5 การแปรสภาพกาก

5.6. การเก็บรักษากากชั่วคราว

การเก็บกากที่แปรสภาพแล้ว

การจำแนกสถานที่เก็บกากที่แปรสภาพแล้ว แบ่งได้เป็น 3 แบบดังนี้

1. การเก็บใต้พื้นผิวดิน
2. การเก็บบนพื้นดิน
3. การเก็บภายในอาคาร

5.7 การจัด/ทิ้ง กากกัมมันตรังสีแบบถาวร
มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการเก็บ/ทิ้งกากแบบถาวร[6]
แนวความคิดในการเก็บทิ้งกากแบบถาวร

- 5.7.1. การฝังกากใต้ดินตื้น
- 5.7.2 การฝังใต้ดินลึกในโครงสร้างทางธรณีวิทยา
- 5.7.3. การฝังในหลุมแบบ Borehole Disposal

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ “กำหนดหลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการกากกัมมันตรังสี” ราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๒๐ ตอนที่ ๒๗ ก, 2546 หน้า 25-29
- [2] IAEA, Safety Series No.111-F “The principles of Radioactive Waste Management”, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1995.
- [3] IAEA, “Classification of Radioactive Waste, DS390, IAEA, Vienna, Austria, 2007.
- [4] IAEA, “Geological Disposal of High Level Radioactive Waste, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, WS-R-4 ,2006.
- [5] IAEA, Technical Report Series No.652, “Minimization and Segregation of Radioactive Wastes”, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1992.
- [6] IAEA, Technical Report Series No.349, “Report on Radioactive Waste Disposal”, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1995.
- [7] Potier Jan-Marie, “ Issues and Trends in Radioactive Waste Management & Decommissioning: an IAEA perspective”, FNCA Workshop on Radioactive Waste Management, Bangkok, 2007.

2. หลักการพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสี (Fundamental Principles of Radioactive Waste Management)
การจัดการกากกัมมันตรังสี มิได้หมายถึงการทำลายวัสดุกัมมันตรังสีให้หมดสิ้นไป เพราะวิธีทางเคมี ฟิสิกส์สามัญ ไม่สามารถทำลายกัมมันตภาพรังสีได้ ปัจจุบันวิธีทางนิวเคลียร์ซึ่งยุ่งยากและสิ้นเปลือง ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ จะมีก็แต่กระบวนการสลายตามธรรมชาติของวัสดุกัมมันตรังสีเท่านั้น ดังนั้นการจัดการกากกัมมันตรังสีจะต้องมีการวางแผนมาตรการเพื่อความปลอดภัย หรือมีข้อกำหนดในการป้องกันอันตรายทางรังสี ที่อาจเกิดขึ้นแก่ประชาชนและสิ่งแวดล้อมในเบื้องต้น ทั้งนี้หากเกิดความผิดพลาดอันมีสาเหตุมาจากไม่มีการวางแผนหรือเตรียมการด้านการจัดการกากกัมมันตรังสีมาก่อน จะเกิดการเสียหายขึ้นในภายหลัง หลักการพื้นฐานที่สำคัญในการจัดการกากกัมมันตรังสีอย่างถูกต้อง มีดังนี้

Principle 1: Protection of human health หลักการพิทักษ์สุขภาพมนุษย์
การดำเนินงานจัดการกากกัมมันตรังสี จะทำได้เมื่อมีมาตรการความปลอดภัย เพื่อใช้ควบคุมผู้ปฏิบัติงาน และป้องกันมิให้ประชาชนและสิ่งแวดล้อม ได้รับผลกระทบจากกากกัมมันตรังสีนั้น กระบวนการจัดการกากจะต้องมีการวางแผน และเตรียมการเพื่อป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยมีข้อกำหนด แนวปฏิบัติ และมาตรการด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี ซึ่งกำหนดไว้โดยองค์การสากล เช่น คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection: ICRP) ซึ่งควรนำมาศึกษาและกำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของประเทศ องค์การสากลICRP กำหนดให้ประชาชนทั่วไปสามารถรับรังสีได้ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี และ สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี สามารถรับรังสีได้โดยเฉลี่ย 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี คือใน 5 ปี ไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ต

Principle 2: Protection of the environment หลักการพิทักษ์สิ่งแวดล้อม
การจัดการกากกัมมันตรังสีที่ปลอดภัยนั้น นอกจากการทำให้เข้มข้น แล้วเก็บรวบรวม การทอดระยะเวลาให้รังสีสลาย ยังมีการทำให้เจือจางแล้วระบายทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมเช่น ทางอากาศ น้ำและดิน โดยมีค่าเกณฑ์ปลอดภัย หรือค่าที่อนุญาตให้ปล่อยได้ (authorized limits) เช่นระบายออกทางปล่องควัน ท่อระบายน้ำ และการขจัดทิ้งกากแบบฝังดินตื้น หรือในชั้นธรณีวิทยา การดำเนินการทั้งหมดจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม

Principle 3: Protection beyond national borders หลักการป้องกันมิให้เกิดผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้าน

การจัดการกากกัมมันตรังสีต้องมีมาตรการดำเนินการเพื่อพิทักษ์มนุษยชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีให้เกิดผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้าน และต้องใช้มาตรฐานการดำเนินงานในระดับเดียวกับที่ใช้ในประเทศของตน ทั้งนี้ต้องยึดถือหลักเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรสากลเช่น ICRP และ IAEA เป็นต้น

Principle 4: Protection of future generations หลักการพิทักษ์มนุษยชนรุ่นหลัง

การจัดการกากกัมมันตรังสีระดับสูงและมีครึ่งชีวิตยาว โดยการฝังใต้ดินหรือในชั้นธรณีวิทยาโครงสร้างแบบธรรมชาติ หรือร่วมกับโครงสร้างทางวิศวกรรม ต้องมีกระบวนการสำรวจสถานที่(siting Process) การเฝ้าระวัง และวิเคราะห์ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน โดยมีหลักการว่าผลกระทบที่ยินยอมให้อนุชนรุ่นต่อไปได้รับ จะต้องไม่มากกว่าเกณฑ์ที่ยินยอมให้ประชาชนปัจจุบันรับได้ เนื่องจากการคำนวณผลกระทบต่อประชาชน ในช่วงเวลาของอนาคตยาวนานมาก (มากกว่า 100 ปีขึ้นไป) ต้องตระหนักถึงความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลต่าง ๆ และวิธีการประเมินผลกระทบ รวมทั้งค่าความไม่แน่นอน (uncertainties) ให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ต้องการด้วย

Principle 5: Burden on future generations ไม่ผลักภาระให้อนุชนรุ่นหลัง

ความรับผิดชอบของประชาชนรุ่นปัจจุบัน คือการพัฒนาเทคโนโลยีจัดการกากกัมมันตรังสีให้ปลอดภัย ก่อสร้างสถานที่ปฏิบัติการจัดการกากกัมมันตรังสี (operating facilities) และจัดสรรงบประมาณ สนับสนุนการจัดการกากกัมมันตรังสี ผู้ก่อให้เกิดกากกัมมันตรังสี (waste generators) จะต้องรับผิดชอบต่อกากที่เกิดขึ้น โดยไม่ผลักปัญหาไปแก่ไขในอนาคต อย่างไรก็ตาม อนุชนรุ่นหลังก็ไม่อาจหลีกเลี่ยงหน้าที่ซึ่งจะตกทอดมาตามระยะเวลาได้ เช่น การเฝ้าระวังด้านความปลอดภัยของสถานที่ฝังกาก ซึ่งต้องกระทำอย่างต่อเนื่อง การจัดเก็บข้อมูลกาก และเอกสารสำคัญ เช่น บริเวณและส่วนปฏิบัติการสถานที่ทิ้งกากถาวร (disposal facilities) บัญชีกาก (inventory) และการดูแลรักษาให้ข้อมูลคงอยู่ตลอดไป

Principle 6: National legal framework จัดให้มีหน่วยงานกำกับดูแล และกฎหมายให้ชัดเจน

ประเทศที่มีการผลิต การใช้ประโยชน์ จากสารไอโซโทปรังสีหรือต้นกำเนิดรังสี ต้องมีการพัฒนาทางด้านกฎหมายของประเทศในด้านการจัดการกากกัมมันตรังสี ต้องดำเนินการภายใต้กฎหมายเฉพาะด้านการจัดการกากกัมมันตรังสี โดยมีการกำหนดองค์กรกำกับดูแล หรือ regulatory body ที่รับผิดชอบในการควบคุม กำกับดูแล ออกกฎหมาย วางกฎระเบียบ รวมทั้งแนวปฏิบัติ ในทุกขั้นตอนของการจัดการกากกัมมันตรังสี เริ่มต้นตั้งแต่มาตรการการเก็บรวบรวม การขนส่ง การบำบัด การแปรสภาพ การเก็บรักษาชั่วคราว และการขจัดทิ้งกากถาวร เพื่อเป็นกลยุทธ์ในการจัดการกากของประเทศ (national RWM strategies) โดยกฎหมายจะต้องกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของหน่วยงานผู้ดำเนินการจัดการกาก (waste operator) และหน่วยงานที่ก่อให้เกิดกาก (waste generator)

ตามหลักสากล หน่วยงานกำกับดูแล (regulatory body) จะต้องแยกตัวออกจากหน่วยปฏิบัติ (operating organization) ทั้งนี้เพื่อความมีอิสระในการกำกับดูแล และตรวจสอบ ด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติจัดการกากกัมมันตรังสี

Principle 7: Control of radioactive waste generation

การควบคุมการเกิดกากกัมมันตรังสีให้น้อยที่สุด

การทำงานจะต้องมีมาตรการที่รัดกุมในทุกขั้นตอน เพื่อให้มีกากกัมมันตรังสีเกิดขึ้นทั้งปริมาณ และค่ากัมมันตภาพรังสี น้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ เริ่มตั้งแต่การวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง มาตรการในระหว่างปฏิบัติงาน (commissioning) ตลอดจนเมื่อเลิกใช้งาน หรือมีการรื้อถอน (decommissioning) รวมทั้งการเลือกใช้วัสดุ ควรใช้หลักการ recycle and reuse มาปฏิบัติ เพื่อช่วยลดปริมาณกากกัมมันตรังสี

Principle 8: Radioactive waste generations and management interdependencies

ความสัมพันธ์ของผู้ก่อให้เกิดกากและผู้จัดการกาก

วิธีการจัดการกากกัมมันตรังสีที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของกากกัมมันตรังสี โดยทั่วไปขั้นตอนการจัดการกากกัมมันตรังสี ประกอบด้วย การเตรียมก่อนบำบัดกาก การบำบัดกาก การแปรสภาพกาก การเก็บรักษาชั่วคราว และการขจัดทิ้งกากถาวร รวมทั้งการขนส่งกาก ในทุกขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์และมีผลกระทบซึ่งกันและกัน การเลือกเทคโนโลยีในแต่ละขั้นตอนต้องคำนึงถึงวิธีการขจัดทิ้งกากในขั้นตอนสุดท้าย (final disposal) ด้วย ดังนั้นผู้ก่อให้เกิดกากและผู้จัดการกาก จะต้องมีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน เพื่อความเข้าใจในการปฏิบัติงานร่วมกัน ผู้ก่อให้เกิดกากจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดและแนวปฏิบัติตามข้อตกลงกับผู้จัดการกาก เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาในการจัดการกากในขั้นสุดท้าย และเพื่อความปลอดภัยในระยะยาว

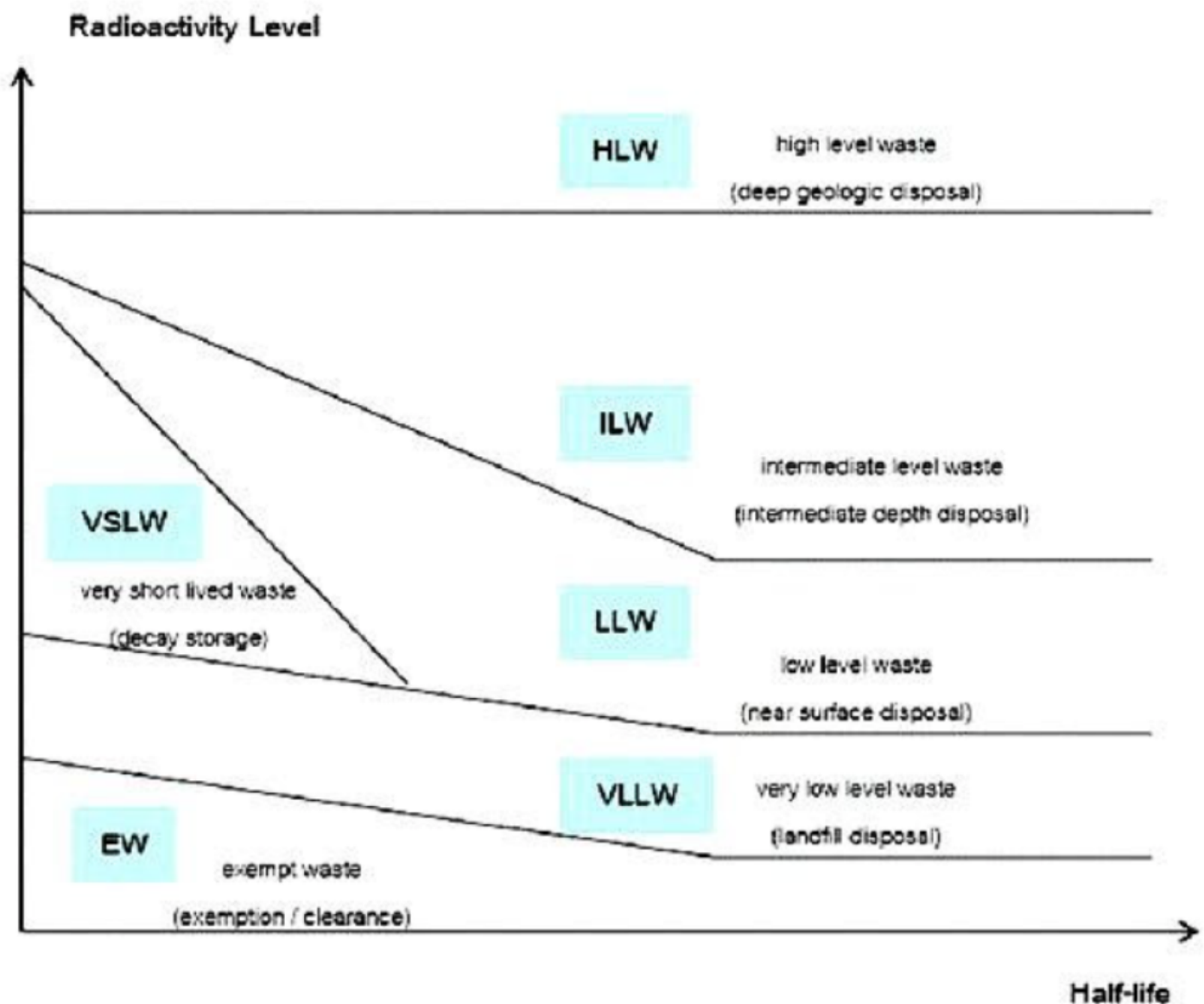
Principle 9: Safety of facilities ความปลอดภัยในสถานปฏิบัติการจัดการกากกัมมันตรังสี

การวางแผน เพื่อจัดให้มีสถานปฏิบัติการจัดการกาก ประกอบด้วย การสำรวจหาสถานที่ที่เหมาะสม (siting) การออกแบบ (design) การก่อสร้าง (construction) การดำเนินการปฏิบัติงาน(operation) และการเลิกใช้สถานที่ (decommissioning) หรือการปิดหลุมสถานที่ฝังทิ้งกาก สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก คือ เรื่องความปลอดภัย การเลือกพื้นที่ต้องศึกษาถึงผลกระทบของพื้นที่ต่อการปฏิบัติงาน การออกแบบ ก่อสร้าง และกิจกรรมต่าง ๆ ต้องมีแผนป้องกันอุบัติเหตุ ควรมีการประกันคุณภาพของการดำเนินงาน รวมทั้งมีการฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรอย่างสม่ำเสมอ และควรมีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อยืนยันด้านความปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

3.การจำแนกชนิดของกากแบบสากล (International Waste Classes)

ตามเอกสารฉบับล่าสุดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) "Classification of Radioactive Waste", DS390 (2007) ได้จำแนกกากกัมมันตรังสี ตาม รูปที่ 1 และดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 1: Newly proposed radioactive waste classification scheme

3. ผลิตภัณฑ์ไอโซโทปรังสีที่ใช้งานทางด้านเทคนิคอื่น ๆ (technical products)

- 3.1 กระบวนการผลิตต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก (sealed radiation sources) เช่น ^{192}Ir หรือ ^{75}Se สำหรับใช้กับ gamma-defectoscopy แต่ทั้งนี้จะต้องดำเนินการผลิตได้ก็ต้องมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีจำนวนนิวตรอนฟลักซ์มากกว่า 10^{14} neutron/cm².sec.
- 3.2 อีกส่วนหนึ่งถ้ามีกระบวนการผลิต sealed radiation sources แล้วก็ต้องคำนึงถึงการเตรียมการของระบบ hot cell เพื่อรองรับงานบริการสำหรับพวก sealed radiation sources ที่มีความแรงทางรังสีสูง ๆ เพื่อการตรวจสอบ ซ่อมบำรุงต่าง ๆ และส่วนหนึ่งใช้สำหรับกระบวนการจัดการเกี่ยวกับสารตั้งต้นในการผลิต sealed radiation sources หลังจากผ่านการอาบนิวตรอนแล้ว
- 3.3 สารประกอบติดฉลากของ T (^3H) ^{14}C ^{32}P ^{35}S ก็ควรคำนึงถึง เพื่อใช้ในงานวิจัยทางด้าน biological และ pharmaceutical ซึ่งการผลิต ^{32}P ^{35}S สามารถดำเนินการได้ง่าย ๆ โดยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
- 3.4 สำหรับความต้องการทางด้านอื่น ๆ ต้องพิจารณาถึงความต้องการทางด้านงานวิจัย หรือการใช้งานของวงการอุตสาหกรรม หรือเกษตรกรรมภายในประเทศ

ทั้งนี้ความเป็นจริงทั้งหลายจะเป็นไปไม่ได้เลยถ้าไม่มีอุปกรณ์หลักในการผลิต เช่น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องใหม่ หรือเครื่องเร่งอนุภาคไซโคลตรอน ก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ความเป็นจริงคงจะเกิดขึ้นได้ในอนาคตอันใกล้ ๆ นี้

4. แหล่งกำเนิดของกากกัมมันตรังสี

แหล่งกำเนิดกากกัมมันตรังสีที่ใหญ่ที่สุด ได้แก่ วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ กากส่วนที่เหลือมาจากการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของวัสดุกัมมันตรังสีในกิจกรรมต่าง ๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกันแล้ว พบว่ากากในส่วนที่เหลือนี้มีอยู่ในปริมาณน้อยมาก

4.1 กากกัมมันตรังสีจากวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (Nuclear Fuel Cycle)

-กากกัมมันตรังสีจากการทำเหมืองแร่ ยูเรเนียม

ปริมาณและคุณภาพของกากกัมมันตรังสีจากเหมืองแร่ยูเรเนียม ขึ้นอยู่กับแหล่งแร่ และกรรมวิธีการผลิต จึงไม่สามารถกำหนดลักษณะกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นแน่นอนได้ แหล่งแร่ยูเรเนียมมักจะอยู่ห่างไกลแหล่งชุมชน ชนิดของวัสดุกัมมันตรังสีที่สำคัญคือ แก๊สเรดอน ซึ่งเป็นอันตราย ถ้าเหมืองแร่นั้นเป็นชนิดเหมืองปิด วิธีการป้องกันคือ ควรจัดสร้างระบบระบายอากาศที่ดีสำหรับเหมืองปิดนั้น แต่ถ้าเป็นเหมืองเปิดก็จะมีปัญหาจากแก๊สเรดอน

-กากกัมมันตรังสีจากการแต่งแร่ยูเรเนียม

สินแร่ยูเรเนียมจะมียูเรเนียมออกไซด์ (U_3O_8) ประมาณ 0.25% เมื่อส่งแร่ออกจากเหมือง สินแร่ดังกล่าวจะถูกส่งเข้าโรงงานแต่งแร่ซึ่งจะมีการแยกสารประกอบยูเรเนียมออกมาจากสิ่งเจือปนทั้งหมด โดยการนำสินแร่มาบดให้แตกละเอียด แล้วสกัดเอาสารประกอบยูเรเนียมออกมาโดยกระบวนการทางเคมีแบ่งเป็น การสกัดโดยกรด และการสกัดด้วยตัวทำละลาย สารประกอบยูเรเนียมจะอยู่ในรูปสารละลาย แล้วนำไปแยกออกโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน หรือโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) ต่อไป

กากกัมมันตรังสีจากการแต่งแร่ คือ หางแร่ ซึ่งจะเปื้อนปนด้วยวัสดุกัมมันตรังสีที่มาจากการสลายของอนุกรมยูเรเนียม เช่น Th-234 Th-230 และ Ra-226 กากเหล่านี้จะถูกระบายออกสู่บ่อพัก และตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ โดยมีธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น Mn Cu Pb As กากกัมมันตรังสีชนิดเดียวกันนี้ จะเกิดขึ้นจากการแต่งแร่โมนาไซต์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีธาตุทอเรียมผสมอยู่ด้วย

-กากกัมมันตรังสีจากกระบวนการทำยูเรเนียมให้บริสุทธิ์

จากการแต่งแร่ยูเรเนียม จะได้สารประกอบยูเรเนียมที่มีเนื้อยูเรเนียมประมาณ 70% ซึ่งจะต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปทำเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ โดยการทำให้ละลายสารประกอบนั้นด้วยกรดดินประสิว แล้วสกัดด้วยสารประกอบไตรบิวทิลฟอสเฟต (tributyl phosphate: TBP) ซึ่งทำให้สามารถแยกยูเรเนียมเป็นสารประกอบบริสุทธิ์ได้ หลังจากสกัดด้วย TBP แล้วจะได้สารประกอบบริสุทธิ์ของ uranyl nitrate ซึ่งจะไปออกซิไดส์ต่อให้กลายเป็น uranyl oxide (U_3O_8) แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับ hydrogen และกรดกัดแก้ว (HF) ได้เป็น uranium tetrafluoride ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ด้วย Mg กลายเป็นโลหะยูเรเนียมบริสุทธิ์

กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปสารละลายที่มีปริมาตร 5000 ลิตรต่อยูเรเนียม 1 ตัน โดยมีกัมมันตภาพรังสีมาจากเรเดียม ยูเรเนียม และผลผลิตจากการสลายของอนุกรมยูเรเนียม

-กากกัมมันตรังสีจากการประดิษฐ์แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

การสร้างประกอบแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ จะเกี่ยวข้องกับการนำโลหะยูเรเนียมไปทำให้เป็นโลหะผสมที่มีความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ในแท่งเชื้อเพลิง เช่น ความร้อน ความดัน ความเครียด การสร้างแท่งเชื้อเพลิงต้องอาศัยกระบวนการเชิงกล เช่น การหลอมโลหะ การกลึงให้เข้ารูป การเจาะ และการขัดทำความสะอาด กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นประกอบด้วยเศษโลหะ สารละลายที่ใช้ทำความสะอาด กระดาษ และฝุ่นละออง โดยเฉพาะโลหะจากกระบวนการนี้จะถูกนำกลับไปใช้งานใหม่ กากส่วนอื่น ๆ จะมีระดับรังสีต่ำ

-กากกัมมันตรังสีจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

การเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทำให้เกิดวัสดุกัมมันตรังสีสองจำพวก คือ ผลผลิตของการฟิชชัน (fission products) และผลผลิตจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับวัสดุอื่น ๆ ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (ผลผลิตแอกติเวชัน: activation products) ผลผลิตฟิชชันจะอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์โดยไม่เล็ดรอดออกมาสู่ภายนอก ส่วนผลผลิตแอกติเวชันอาจอยู่ในตัวทำให้เย็น และวัสดุโครงสร้างอื่น ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการออกแบบโครงสร้างระบบทำความเย็นของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

วัสดุกัมมันตรังสีที่อยู่ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยไอโซโทปต่าง ๆ มากมาย ที่สำคัญได้แก่ H-3 C-14 Ar-41 Fe-55 Co-60 Ni-63 Kr-85 Sr-89 Sr-90 Y-91 Zr-93 Zr-95 Nb-95 Tc-99 Ru-106 I-129 I-131 Xe-133 Cs-134 Cs-137 Ce-141 Ce-144 Pm-147 Sm-151 Eu-154 Pb-210 Rn-222 Ra-226 Th-229 Th-230 U-234 U-235 U-238 Np-237 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Pu-242 Am-241 Am-242 และ Cm-242 เป็นต้น

-กากกัมมันตรังสีจากกระบวนการสกัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว

แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่นำไปใช้งานจนเสื่อมสมรรถนะแล้ว จะนำไปให้คืนสภาพให้ใช้งานได้อีกครั้ง โดยกระบวนการแยกทางเคมีประกอบด้วย การละลายแท่งเชื้อเพลิงด้วยกรดดินประสิว ซึ่งทำให้เกิดกากกัมมันตรังสีในรูปของสารละลาย มีวัสดุกัมมันตรังสี ชนิดผลผลิตฟิชชัน ที่มีความเข้มข้นสูงมาก (high level waste) โดยปกติผลผลิตฟิชชันประกอบด้วยธาตุประมาณ 35 ธาตุ และเป็นไอโซโทปรังสีประมาณ 120 ชนิด แต่ส่วนใหญ่เป็นไอโซโทปรังสีที่มีอายุสั้น ๆ สำหรับผลผลิตฟิชชันที่มีครึ่งชีวิตยาวมีไม่มากนัก ที่สำคัญคือ Cs-137 มีครึ่งชีวิต 30 ปี Sr-90 มีครึ่งชีวิต 29 ปี และ Ru-106 มีครึ่งชีวิต 1 ปี

นอกจากผลผลิตฟิชชันแล้ว กากกัมมันตรังสียังประกอบด้วยวัสดุกัมมันตรังสีชนิดทรานสยูเรนิค (transurenic) ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีของธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมสูงกว่ายูเรเนียม เป็นไอโซโทปที่ให้อะกัมมันตภาพรังสีแอลฟาเป็นส่วนใหญ่และมีครึ่งชีวิตค่อนข้างยาว

4.2 กากกัมมันตรังสีจากการประยุกต์ใช้ประโยชน์วัสดุกัมมันตรังสี (Radioisotopes Application)

กากกัมมันตรังสีจากการประยุกต์ใช้งานของวัสดุกัมมันตรังสีทั่วไป มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับกากกัมมันตรังสีจากวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เมื่อแบ่งตามลักษณะของการประยุกต์ใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งได้ ดังนี้

-กากกัมมันตรังสีจากศูนย์วิจัยและสถาบันการศึกษา

กัมมันตภาพรังสีของกากในกลุ่มนี้มีระดับรังสีต่ำมาก แต่มีปริมาณกากมาก เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้สารรังสีในการศึกษาวิจัยในโครงการต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น กากกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน แต่องค์ประกอบของกากแตกต่างกันขึ้นกับงานที่ปฏิบัติ อาทิ กากของเหลวอาจเป็นพวกสารอนินทรีย์ที่มีการเจือปนด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน หรืออาจเป็นสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ส่วนกากของแข็งมักประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ที่ชำรุด โลหะ เศษกระดาษ ผ้า ขวด แก้ว พลาสติก และวัสดุอื่น ๆ

-กากกัมมันตรังสีที่มาจากการใช้งานทางการแพทย์

การใช้ประโยชน์ทางรังสีในกิจการแพทย์ ประกอบด้วย การใช้วัสดุกัมมันตรังสีในการตรวจวินิจฉัย และบำบัดรักษาอาการของโรค เช่น การใช้วัสดุกัมมันตรังสีฉีดเข้าไปในร่างกาย เพื่อตรวจสอบการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ โดยการติดตามวัดปริมาณรังสี การใช้รังสีจากต้นกำเนิดรังสีฉายไปยังบริเวณอวัยวะที่เป็นเนื้องอก เพื่อระงับการแพร่ขยายของเนื้องอก และการใช้รังสีเอกซ์ฉายผ่านอวัยวะของร่างกายเพื่อตรวจหาความผิดปกติ เป็นต้น

กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของเสียที่ขับถ่ายจากผู้ป่วยที่ได้รับวัสดุกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย นำเสียจากการทำควา
สะอาดภาชนะ หรือเครื่องแต่งกายของผู้ป่วยและภาชนะบรรจุวัสดุกัมมันตรังสีเช่น เข็มฉีดยาและอื่น ๆ สารกัมมันตรังสีที่
ในกิจการนี้ มักเป็นพวกที่มีครึ่งชีวิตไม่ยาวนานนัก อาทิ ^{198}Au ^{131}I ^{125}I ^{51}Cr และ $^{99\text{m}}\text{Tc}$

กัมมันตรังสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

วัสดุกัมมันตรังสีที่ใช้ในกิจการอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก (sealed radiation source) เช่นการ
ถ่ายภาพด้วยรังสี (radiography) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ การใช้เป็นเครื่องตรวจสอบ ความหนาของ
วัสดุ ตรวจสอบความหนาแน่น ตรวจสอบระดับของเหลวในถังปิดทึบ ต้นกำเนิดรังสีเหล่านี้ จะเรียกว่า กากกัมมันตรังสีที่
DSRS (disused sealed radiation source) ก็ต่อเมื่อเลิกใช้งานแล้ว ซึ่งในเวลานั้นวัสดุกัมมันตรังสีจะมีความแรงรังสีลด
ลงบ้างแล้ว เช่น ^{60}Co ^{192}Ir ^{137}Cs ^{85}Kr เป็นต้น

-กากกัมมันตรังสีจากการใช้งานทางการเกษตร

การศึกษาวิจัยทางการเกษตร เช่น การตรวจสอบสภาพดิน การศึกษาความสามารถในการดูดซับปุ๋ยของพืชชนิดต่าง ๆ
การตรวจหาความชื้นในดิน ทำให้เกิดกากกัมมันตรังสีขึ้น โดยกากมีลักษณะเช่นเดียวกับกากที่เกิดจากศูนย์วิจัยทาง
นิวเคลียร์ทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

IAEA, "Classification of Radioactive Waste, DS390, IAEA, Vienna, Austria, 2007.

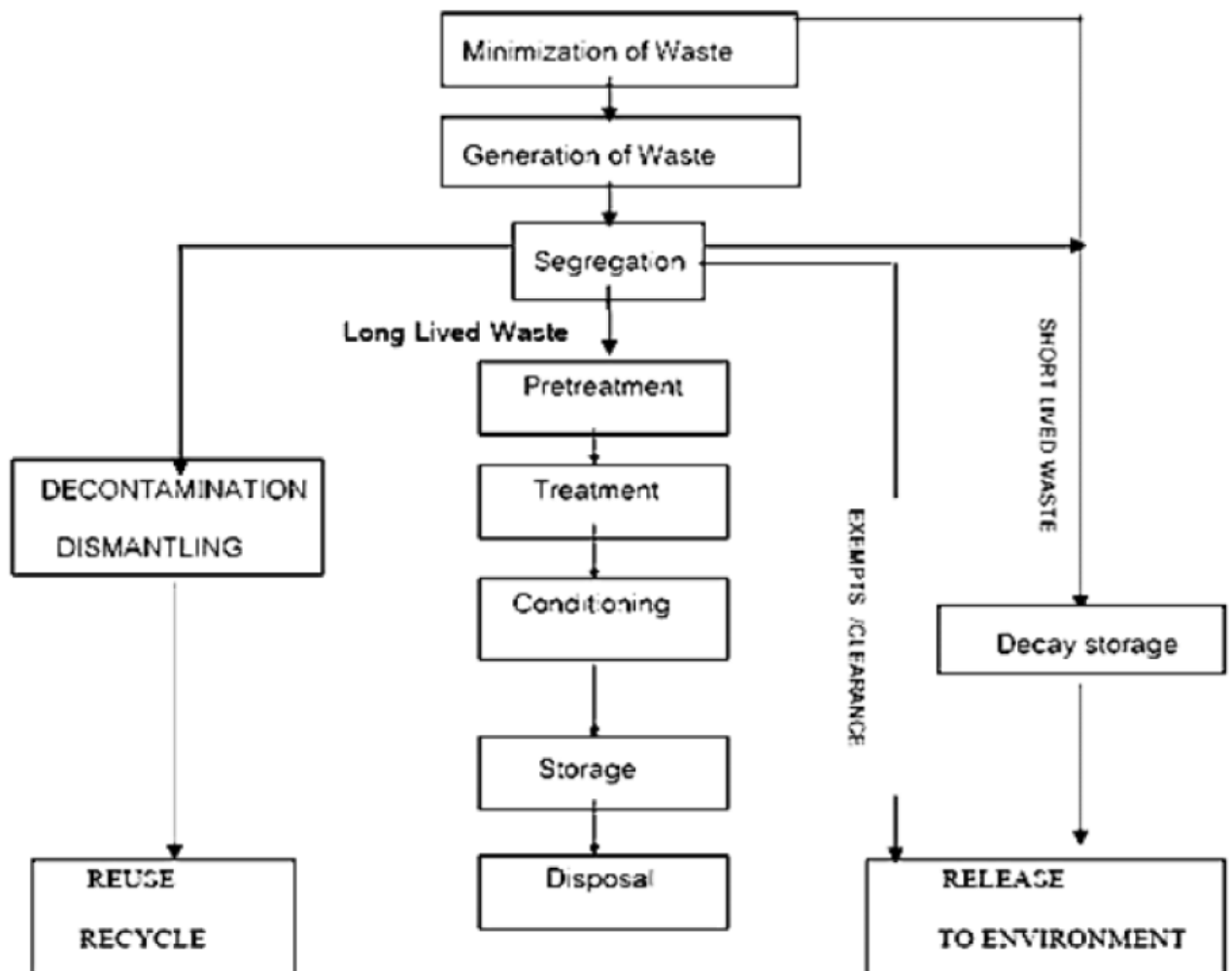
IAEA, "Geological Disposal of High Level Radioactive Waste, International Atomic Energy
Agency, Vienna, Austria, WS-R-4 ,2006.

5. ขั้นตอนพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสีอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ประกอบด้วยวัสดุกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ และมีระดับรังสี
แตกต่างกันไป วิธีการจัดการกากที่ใช้มีหลายวิธีตามลักษณะ คุณภาพ และปริมาณของกากๆ โดยมี**หลักการร่วมกัน 3
ประการ** คือ

- 1) การทำให้เข้มข้น แล้วเก็บรวบรวม (Concentrate and Contain)
- 2) การทำให้เจือจาง แล้วระบายทิ้ง (Dilute and Disperse)
- 3) การเก็บทอดระยะเวลา และปล่อยให้วัสดุกัมมันตรังสีสลายตัวไปเอง (Delay and Decay)

ขั้นตอนพื้นฐานในการจัดการกากกัมมันตรังสีแสดงใน รูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 Flow sheet for a waste management

5.1 การควบคุมให้มีกากกัมมันตรังสีเกิดขึ้นน้อยที่สุด (Minimization of Radioactive Waste)

หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการจัดการกากฯ คือ “การก่อให้เกิดกากรังสีจะต้องควบคุมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด” เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายและลดปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดอันตรายลงได้ มีวัตถุประสงค์สำคัญคือ ลดความแรงรังสีที่มีอยู่ในกาก ลดปริมาณกากรังสี และลดจำนวนวัสดุรังสี

แนวคิดเกี่ยวกับการลดกากให้น้อยลง (waste minimization concept)
รูปแบบของแนวคิดแบ่งออกเป็น 3 ข้อคือ

1. การลดปริมาณกากที่เกิดขึ้น (source reduction)
2. การแปลงรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และการใช้ซ้ำ (recycling and reuse)
3. การบำบัด (treatment)

การลดปริมาณกากที่เกิดขึ้น (Source Reduction)

กระบวนการควบคุมการลดกากฯ ที่แหล่งกำเนิด สามารถทำได้ดังนี้

- หน่วยงานควรจะดำเนินการให้เหมาะสม ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ กิจกรรมทุกอย่างต้องควบคุมเพื่อใ้แน่ใจว่ามาตรฐานการปฏิบัติงานยังคงมีอยู่
- วิธีการดำเนินงานต้องเป็นไปตามหลักการของการป้องกันรังสี ต้องมีเครื่องสำรวจรังสี วางไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อวัดการเปื้อน
- ผู้ควบคุมงานและผู้ปฏิบัติงานควรผ่านการอบรมมาอย่างเพียงพอ ทั้งนี้เพื่อจะได้เข้าใจถึงขั้นตอนการดำเนินงานจัดการกากฯ ที่เหมาะสมและถูกต้อง
- การผลิตสารไอโซโทปกัมมันตรังสีรวมทั้งงานวิจัยและพัฒนา ต้องมีคู่มือรายละเอียดของการปฏิบัติงานทุกชั้น วิธีการปฏิบัติเหล่านี้จะช่วยลดความผิดพลาดในงานประจำที่อาจจะนำไปสู่การเกิดกากโดยไม่จำเป็น ตัวอย่าง เช่น การเติมสารเคมี การถ่ายสาร การนับวัดรังสี
- การใช้วัสดุรังสีในกระบวนการควรใช้ให้น้อยตามข้อกำหนดของวิธีปฏิบัติ
- การใช้ถุงพลาสติกเพื่อบรรจุกาก ควรเลือกใช้ชนิดที่แข็งแรง เพื่อหลีกเลี่ยงการฉีกฉีก รังสีอาจไม่ปนเปื้อนกับควรนำมาใช้ซ้ำอีก
- สำหรับงานวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย liquid scintillation counter นั้น มีทางเดียวที่สามารถลดกากที่เกิดขึ้นได้ คือการใช้ขวดบรรจุตัวอย่างขนาดเล็กแทนขวดขนาดใหญ่ และใช้ตัวอย่างเดียวกันวัดซ้ำ 3 ครั้ง
- ควบคุมการใช้ของเหลวที่ใช้ในตู้ควัน (fume hood) ใน glove boxes และ ใน cell เป็นต้น ให้น้อยลง ลดปริมาณน้ำรั่วไหลในระบบงานหรือในระบบทำความสะอาด
- สำหรับพื้นที่ซึ่งต้องใช้งานมาก ควรใช้วัสดุที่ง่ายต่อการชำระการเปื้อน
- กากกัมมันตรังสีควรคัดแยกตามสมบัติทางรังสี ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา
- เจ้าหน้าที่จัดเก็บรวบรวมกาก จะต้องรายงานหากภาชนะบรรจุกากไม่ถูกต้องตามเอกสารข้อบังคับ

การแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่และการใช้ซ้ำ (Recycling and Reuse)

การแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. นำกากกัมมันตรังสีกลับมาใช้ซ้ำอีก (reuse)
2. นำวัสดุที่อยู่ในกากและยังคงมีประโยชน์อยู่กลับมาใช้ซ้ำอีก เช่น นำโลหะออกจากกากตะกอน
3. แยกสิ่งเจือปนออกจากกากเพื่อให้ได้วัตถุที่บริสุทธิ์ แล้วนำไปใช้ซ้ำอีก

ตัวอย่างการแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่ เช่น

- การนำกากต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึกที่ใช้แล้ว (disused sealed radiation source) ไปใช้งานอื่น เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึกเมื่อใช้งานแล้ว ความแรงรังสีจะลดลง ซึ่งไม่สามารถใช้กับงานเดิม แต่ยังคงมีรังสีเหลืออยู่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในงานอื่นได้ เช่น ต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึกของ ^{137}Cs และ ^{60}Co สามารถโยกย้ายไปใช้งานอื่นภายในประเทศได้ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบทั้งในด้านการจัดซื้อ และการเก็บทิ้งกาก
- การส่งกากกลับไปยังผู้จำหน่ายเดิม ต้นกำเนิดรังสีที่เลิกใช้งานแล้วอาจนำไปรวมกันเพื่อผลิตเป็นต้นกำเนิดรังสีตัวใหม่อีก หลายประเทศใช้วิธีนี้เพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์
- การนำวัสดุกัมมันตรังสีที่ชำระการเปื้อนแล้วมาใช้ซ้ำอีกก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่ง ปกติแล้วสถานที่ประกอบการนิวเคลียร์ จะใช้วัสดุราคาแพง หากมีการเปื้อนที่ไม่รุนแรงนัก ก็สามารถนำไปชำระการเปื้อน โดยเลือกใช้วิธีการชำระการเปื้อนที่เหมาะสม จากหลายวิธีที่มีอยู่ หลังจากนั้นวัสดุดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้ซ้ำ ทั้งนี้การตัดสินใจเลือกใช้วิธีการนำกลับมาใช้ซ้ำ หรือจะทิ้งวัสดุเครื่องใช้ที่เปื้อนไป ควรต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์จริง ๆ การประเมินอันตรายจากรังสีรวมทั้งข้อกำหนดของประเทศ

5.2 การคัดแยกกาก (Segregation of Waste)

การคัดแยกกากอย่างเหมาะสมจะนำไปสู่

- การบำบัดกากทำได้ง่ายขึ้น
- ลดความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้น
- การแยกกากที่เกิดขึ้นตามสมบัติด้านต่าง ๆ ง่ายขึ้น

- ปริมาณกากที่ต้องเก็บรักษา และเก็บทิ้งมีน้อยลง
- สามารถนำเอาวัสดุที่ยังคงมีคุณค่ากลับมาใช้อีก

การเลือกใช้กลยุทธ์การคัดแยกและการทำให้กากลดน้อยลงนั้น จำเป็นต้องพิจารณา กำหนดรวมไว้ในแผนรวมการจัดการกาก หรืออาจจะเป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการกากหลาย ๆ ชนิด ในการคัดแยกกาก จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปฏิบัติ ณ จุดเริ่มต้นที่มีกากๆ เลย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการขนถ่าย การบำบัด และการเก็บทิ้ง การคัดแยกกากตามสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และรังสี มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. แยกเอาวัสดุที่ไม่มีรังสีออกจากกากรังสี
2. แยกกากให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม
3. แยกวัสดุที่มีคุณค่าออกจากกาก ก่อนนำไปแปรรูปใช้ใหม่

5.3 ก่อนการบำบัด (Pretreatment)

เป็นขั้นตอนแรกของการจัดการกากๆ ที่ดำเนินการหลังจากที่มีกากๆ เกิดขึ้นประกอบด้วย การเก็บรวบรวม การคัดแยก การปรับปรุงสภาพทางเคมี การชำระการเปื้อน และอาจรวมช่วงการเก็บรักษาชั่วคราว ก่อนขั้นตอน waste processing ด้วย ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดและมีประโยชน์แก่ขั้นตอนอื่นต่อไป ตัวอย่างเช่น การคัดแยกกากๆ เพื่อนำไปแปรรูปแล้วกลับมาใช้อีก การแยกวัสดุกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีอยู่เกณฑ์ปลอดภัย แล้วระบายทิ้งเหมือนกับกากสามัญทั่วไป เป็นต้น

5.4 การบำบัดกาก (Waste Treatment)

การบำบัดกากๆ จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและประหยัด ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานที่ผ่านมาจะทำให้สามารถบำบัดกากๆ ได้เป็นที่พอใจ หลักการพื้นฐานของการบำบัดกาก มี 3 ข้อ คือ

1. ลดปริมาตรกาก
2. แยกไอโซโทปรังสีออกจากกาก
3. เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกาก

ตัวอย่าง เช่น การเผากากที่เผาได้ การบดอัดกากของแข็งเป็นการลดปริมาณ การระเหย การกรอง หรือ การแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับกากของเหลวเป็นการแยกไอโซโทปรังสีออก และการตกตะกอน และการตกตะกอนร่วมกับสารเคมี เป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบ เป็นต้น บ่อยครั้งที่หลาย ๆ วิธีเหล่านี้ถูกนำมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้การชำระการเปื้อนมีประสิทธิภาพแต่ก็ทำให้มีกากทุติยภูมิ (secondary waste) เกิดตามมาอีกหลายชนิดที่จะต้องจัดการ เช่น กากชุดกรองอากาศ เรซินที่ใช้แล้ว กากตะกอน เป็นต้น

5.5 การแปรรูปกาก (Conditioning)

เป็นการดำเนินการเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกากกัมมันตรังสีให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการจัดการ การขนส่ง การเก็บรักษา และการฝังใต้ดิน การแปรรูปกากนี้เป็นการทำให้กากอยู่กับที่และไม่สามารถแพร่กระจาย (immobilization) ด้วยการบรรจุกากรังสีลงในภาชนะ และ ผสมวัสดุที่เหมาะสมเพื่อห่อหุ้มกากรังสีไว้ นอกจากนี้วิธีการโดยทั่วไปจะรวมถึง การทำกากของเหลวรังสีต่ำ และ ปานกลางแข็งตัว ด้วยการผสมกับซีเมนต์ หรือบิตูเมน (bitumen) ส่วนกากของเหลวรังสีสูง จะผสมรวมกับแก้ว เรียกว่า vitrification สำหรับภาชนะบรรจุสามารถใช้ถังเหล็ก 200 ลิตร ทัว ๆ ไปจนถึงภาชนะชนิดที่มีผนังหนา ขึ้นอยู่กับชนิดและกัมมันตภาพรังสีในกากที่จะบรรจุ ขั้นตอนของการแปรรูปกากนี้ โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ถัดจากการบำบัดกาก

5.6. การเก็บรักษากากชั่วคราว (Interim Storage)

การเก็บรักษากากที่แหล่งผลิตกากนั้นเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพราะไม่สามารถคาดคะเนระยะเวลาการสลายของกากกัมมันตรังสี จนกระทั่งถึงระดับที่ปลอดภัย (clearance levels) ภายในเวลาที่พอสมควรได้ การเก็บรักษากากชั่วคราวที่แหล่งผลิตนั้น จึงมีความจำเป็นต่อการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บที่แหล่งผลิตนั้นควรเก็บไว้ระยะสั้นเท่าที่จะทำได้ และควรจะขนถ่ายกากไปยังศูนย์กลางการเก็บกากกัมมันตรังสี ซึ่งสามารถเก็บกากไว้ได้เป็นระยะเวลานาน

กากที่บำบัดแล้วเพื่อเก็บชั่วคราวและกากที่ทิ้งไว้เพื่อสลาย สามารถเก็บไว้ในห้องเดียวกันได้ ซึ่งคุณภาพของห้องเก็บ และการบริหารงานจะต้องได้รับการสนับสนุนอย่างเพียงพอ เช่น

- จัดระดับการจัดเก็บ เช่น เก็บไว้บนหิ้งชั้นเดียว หรือ เก็บในตู้ใส่ของ
- ข้อกำหนดที่จะต้องปฏิบัติตามต่อไปสำหรับการแยกระหว่างกากแต่ละชนิด
- การดำเนินการเก็บข้อมูลลงรายการของการหีบห่อ (waste packaging)

เก็บรักษาชั่วคราวที่แหล่งผลิตอาจจะขยายมากกว่า 1 ปีหรือ 2 ปี หรือยาวนานขึ้นถ้าศูนย์กลางการเก็บกากยังไม่พร้อม การการเก็บรักษามากกว่า 2-3 ปีนั้นความคงทนของ waste package เป็นสิ่งจำเป็น ในกรณีที่ต้องผนึกกาก (obolize) หรือหากเป็นกากของเหลวอินทรีย์รังสี อาจจะต้องถ่ายจากขวดพลาสติกไปยังถังเหล็กไร้สนิม วิธีการวัดรังสีเป็นประจำ ที่ใช้อยู่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงพัฒนา

การเก็บกากที่แปรสภาพแล้ว (Storage of Conditioned Waste)

การจำแนกสถานที่เก็บกากที่แปรสภาพแล้ว แบ่งได้เป็น 3 แบบดังนี้

1. การเก็บใต้พื้นผิวดิน
2. การเก็บบนพื้นดิน
3. การเก็บภายในอาคาร

การเก็บใต้พื้นผิวดิน โดยมูลฐานแล้วประกอบด้วยการเก็บผลิตภัณฑ์กากในสนามเปลือยดิน ๆ มีโครงสร้างพื้นฐานทำด้วยยางมะตอย (asphalt) หรือคอนกรีตกับวัสดุสำหรับเติมเต็มที่เหมาะสม (backfill)

การเก็บบนพื้นดิน สถานที่เก็บมีลักษณะเป็นห้องเปิด ประกอบด้วยการเก็บผลิตภัณฑ์กาก หรือถึงบรรจุกากบนพื้นดิน หรือบนพื้นโครงสร้างวิศวกรรม อยู่ในบริเวณที่โล่งแจ้ง (open air) หรือ มีหลังคาปิด-เปิดอย่างง่าย ๆ

การเก็บภายในอาคาร ต้องเป็นอาคารโดยสมบูรณ์หรือมีโครงสร้างพิเศษเพื่อการเก็บผลิตภัณฑ์กากโดยเฉพาะ สถานที่เก็บกากลักษณะนี้ออกแบบบนพื้นฐานความต้องการที่จะเก็บกากจำนวนมากหรือ เก็บผลิตภัณฑ์กากที่มีปริมาณรังสี (dose rate) ที่พื้นผิวสูงมาก สถานที่เก็บกากลักษณะนี้อาจสร้างอย่างง่าย ๆ จนถึงลักษณะที่เป็นโครงสร้างวิศวกรรมขั้นสูง ที่ประกอบด้วยเครื่องกำบังรังสี (shielding) เครื่องมือกล (remote handling) และมีระบบระบายอากาศ ระบบเก็บ effluent และการควบคุมการใช้เครื่องมือ มีข้อเสนอแนะว่า แบบสำหรับการเก็บภายในอาคารควรจะเป็น อาคารที่เก็บรักษาชั่วคราวแบบง่าย ๆ โดยมีเครื่องมือสำหรับยก เช่น รถยก (fork lift truck) อาคารควรสร้างบนพื้นดิน โดยมีโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมทำด้วยเหล็ก กำแพงและหลังคาจะต้องปิดทับด้วยแผ่นเหล็กชนิดเป็นลอนลูกฟูกด้วย

แบบอ้างอิงสำหรับ waste processing and storage facility ของ IAEA นั้นได้รวมสถานที่ที่เก็บแบบง่าย ๆ เพื่อเก็บกากที่แปรสภาพแล้วไว้ด้วย โดยเสนอแบบอาคารเป็นแบบชั้นเดียว ขนาด 39 เมตร x 26 เมตร สูง 4 -5 เมตร แบบแล่ววัสดุสำหรับก่อสร้าง สามารถปรับขนาดตามความต้องการที่แท้จริงของแต่ละประเทศได้ และต้องคำนึงการจัดวางภายในบรรจุภายในอาคารนั้นด้วย ซึ่งควรจะวางเรียงเป็นแถวและสูงขึ้นไม่เกิน 3 ชั้น จากที่เคยกล่าวมาแล้วว่าภาชนะมาตรฐานที่ใช้ในการทำการแปรสภาพ นั้นควรจะใช้ถึงเหล็กขนาด 200 ลิตร อย่างไรก็ตามการทำให้อยู่ในรูปของถังซีเมนต์นั้นเหมาะที่จะใช้ในประเทศที่กำลังพัฒนา ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์กากมีกัมมันตรังสีระดับต่ำ ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องกำบังและการเคลื่อนย้ายถึงเหล็กจะต้องใช้รถยก (fork lift truck) มาตรฐานที่มีก้ามปูแบบจับตัวถังด้วย

5.7 การขจัด/ทิ้ง กากกัมมันตรังสีแบบถาวร (Waste Disposal)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของระบบการจัดการกากกัมมันตรังสี ประกอบด้วยการจัดวางกากในบริเวณที่ฝังกากอย่างปลอดภัย โดยไม่มีการนำกลับคืนมาอีก กากที่แปรสภาพแล้วอาจนำไปฝังโดยสร้างเครื่องกำบัง (barrier) ล้อมรอบอีกชั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีสู่สิ่งแวดล้อม เครื่องกำบังที่ใช้ อาจเป็นระบบธรรมชาติหรือระบบโครงสร้างทางวิศวกรรม ทั้งนี้อาจใช้เครื่องกำบังชนิดเดียวหรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งหากว่ามีเครื่องกำบังหลาย ๆ ชั้น ก็จะมั่นใจได้ว่า ภาชนะกัมมันตรังสีถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในอัตราที่ต่ำมาก และเครื่องกำบังจะช่วยให้ป้องกันนิวไคลด์กัมมันตรังสีไม่แพร่กระจาย (migration) ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมเช่น มีการใช้ backfill หรือ host rock ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง สามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวสารกัมมันตรังสีไว้ไม่ให้ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย

มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการเก็บ/ทิ้งกากแบบถาวร[6]

ต้องมีมาตรการต่าง ๆ ในด้านความปลอดภัยที่ดี ได้แก่

1. มีการคำนวณค่าความแรงรังสีต่อปีจากบริเวณหลุมฝังกากฯ จะต้องต่ำกว่าค่าที่ปลอดภัยที่กำหนดโดยหน่วยงานกำกับดูแลของประเทศนั้น ๆ ส่วนใหญ่ใช้ค่าเฉลี่ยต่อปีคือ 1 มิลลิซีเวิร์ต (mSv)
2. การคำนวณค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพในกลุ่มเป้าหมายต่าง ๆ โดยให้มีความน้อยกว่าค่าความเสี่ยงที่บริเวณหลุมฝังกากฯ ระดับสูงประมาณ 1 ใน 100,000 ต่อปี
3. ความแรงรังสีที่ปล่อยออกมาจะต้องเป็นไปตาม ALARA (as low as reasonably achievable)
4. มีการประเมินค่าความปลอดภัย (safety assessment)
5. มีการประกันคุณภาพ (quality assurance)

โดยจะต้องมีการประเมินค่าทั้งก่อน และ หลังการทิ้งกากอย่างถาวร

แนวความคิดในการเก็บทิ้งกากแบบถาวร (Waste Disposal Concepts)

5.7.1. การฝังกากใต้ดินตื้น (Near Surface Disposal)

เป็นวิธีใช้กับ กากกัมมันตรังสีของแข็ง ที่มีความแรงรังสีต่ำถึงปานกลาง และมีครึ่งชีวิตสั้น (ไม่เกิน 30 ปี) โดยทำการฝังกากฯ ในระดับบริเวณผิวดิน หรือฝังระดับตื้น โดยมีระดับความลึกลงไปไม่เกิน 30 เมตร การฝังกากแบบนี้อาจเป็นหลุมดินธรรมดา หรือเป็นบ่อที่มีโครงสร้างทางวิศวกรรมที่แข็งแรงก็ได้ ตัวอย่าง หลุมฝังกากฯ แบบนี้ ได้แก่ ที่ Centre de la Manche ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น

5.7.2 การฝังใต้ดินลึกในโครงสร้างทางธรณีวิทยา (Geological Disposal)

การทิ้งกากแบบฝังใต้ดินลึกเหมาะกับกากทุกประเภทฯ ไม่ว่าจะเป็นกากที่มีความแรงรังสีสูง หรือกากรังสีแอลฟา รวมทั้งแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (ถ้าถูกแจ้งว่าเป็นกากฯ) และสามารถใช้กับกากฯ ที่มีความแรงรังสีระดับต่ำถึงปานกลางด้วย กากทุกประเภทฯ แบบฝังใต้ดินลึกนี้ เพื่อต้องการแยกกากฯ ออกจากมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด ตัวอย่างวิธีทิ้งกากแบบฝังใต้ดินลึกนี้ เช่น การทิ้งกากฯ ลงไปในที่ลึกในโครงสร้างทางธรณีวิทยา (disposal into deep geological formation) การทิ้งกากฯ ในช่องหิน (disposal in rock cavities) และการเก็บฝังกากฯ ใต้ดินลึกในเหมืองเกลือร้าง เป็นต้น ปัจจุบันกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำ-ปานกลาง และความแรงรังสีสูงสามารถฝังรวมกันได้หลุมฝังกากแบบฝังใต้ดินลึก ตัวอย่างสถานที่ฝังกากฯ ใต้ดินลึก ได้แก่ ที่ Asse ในประเทศเยอรมนี โดยฝังในชั้นหินเกลือ หรือที่ Forsmark ประเทศสวีเดน ที่ฝังในชั้นหินอัคนี และการทิ้งกากฯ แบบ WIPP (waste isolation pilot plant) ที่รัฐนิวเม็กซิโกประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

5.7.3. การฝังในหลุมแบบ Borehole Disposal Concept

การทิ้งกากแบบนี้ไม่ยุ่งยาก ปลอดภัย และประหยัด เหมาะกับกากประเภทต้นกำเนิดรังสีที่ใช้แล้ว disused sealed radiation source (DSRS) ที่มีกัมมันตภาพรังสีสูง และครึ่งชีวิตยาว เช่น ^{226}Ra $^{241}\text{Am/Be}$ เป็นต้น หลังจากแปรสภาพกากต้นกำเนิดรังสีที่ใช้แล้ว ให้เหมาะสมตามชนิดและความเป็นพิษของแร่วัสดุกัมมันตรังสี โดยบรรจุใส่ในภาชนะหีบห่อ (capsule + disposal container) และใส่ลงไปเก็บในหลุมที่ไม่กว้างนักที่มีการห่อหุ้มด้วยพลาสติกที่แข็งแรง (lining with plastic) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 250 มิลลิเมตร และที่ความลึกประมาณ 30-100 เมตร ตามแต่ความเหมาะสมของสภาพธรณีวิทยาของสถานที่ โดยการใส่ภาชนะหีบห่อลงไปทีละภาชนะ และใส่ชั้นฉนวนไปได้อีก จนกว่าจะเต็มหลุมโดยมีช่องว่างระหว่างภาชนะและหลุมเพื่อจะได้เติมวัสดุ backfilling และ วัสดุสำหรับปิดผนึก (sealing materials)

เอกสารอ้างอิง

IAEA, Technical Report Series No.652, "Minimization and Segregation of Radioactive Wastes", International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1992.

IAEA, Technical Report Series No.349, "Report on Radioactive Waste Disposal", International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1995.

Potier Jan-Marie, " Issues and Trends in Radioactive Waste Management & Decommissioning: an IAEA perspective", FNCA Workshop on Radioactive Waste Management, Bangkok, 2007.