

การออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีในรูปของเหลวเพื่อการ

ขนส่งทางบกและทางอากาศ

สุพิชชา จันทโรยธา และ *รวีวรรณ กฤษณานุวัตร

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0 2218 6781 โทรสาร 0 2218 6780

E-mail: supitcha@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

การดำเนินการวิจัยการออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีในรูปของเหลวเพื่อการขนส่งทางบกและทางอากาศ มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความปลอดภัยและความคุ้มค่าในการขนส่งสารกัมมันตรังสีทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ บรรจุภัณฑ์ที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบเป็นบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีประเภท A สำหรับใช้ขนส่งสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ซึ่งกระบวนการในการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย การทดสอบสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) การออกแบบและติดตั้งระบบทดสอบสมบัติของบรรจุภัณฑ์ การออกแบบบรรจุภัณฑ์ใหม่ รวมถึงการจำลองและการทดสอบบรรจุภัณฑ์ใหม่ที่ถูกรออกแบบขึ้น โดยการทดสอบภายใต้ภาวะขนส่งปกติประกอบด้วย การทดสอบการฉีดพ่นน้ำ การทดสอบปล่อยตกจากที่สูงอย่างอิสระ การทดสอบความทนทานต่อแรงกดทับ และการทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่านเมื่อมีวัตถุตกใส่ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ดำเนินการภายใต้มาตรฐานและข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ

คำสำคัญ : บรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีชนิด A ไอโอดีน-131

Design and Test of Liquid Radioisotope Packages Transported

by Road and Air

Supitcha Chanyotha and *Rawiwan Kritsanuwat

Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phone: 0 2218 6781, Fax: 0 2218 6780, E-mail: supitcha@eng.chula.ac.th

Abstract

The aims of design and test of liquid radioisotope packages transported by road and air project are to provide safety and cost-effectiveness of radioactive material transportation on both domestic and international. Packaging that has been studied and designed is Type A package for transportation of radioactive iodine (I-131) for Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT). Research methodology consists of check property of

packing that the original used at TINT, design and set up the testing systems for normal transportation and conducts the test, and finally design, produce and verify new package for transportation of radioactive iodine-131 for TINT. The test performances for normal transportation consist of the water spray test, the free drop test, the stacking test and the penetration test. This research project was conducted under the standards and requirements of the International Atomic Energy Agency.

Keywords: Type A radioactive package, I-131

1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการขนส่งสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ของศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ใช้งานอยู่ในขณะนี้ เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการขนส่งทางบกเท่านั้น ดังนั้นเพื่อรองรับการขยายงานให้บริการสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ที่ผลิตได้เพื่อการวินิจฉัยและรักษาโรคแก่โรงพยาบาลทั้งภายในประเทศที่อยู่ห่างไกล และประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงได้ทั่วถึงและทันทั่วถึงมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการให้บริการและรองรับการขยายงานการผลิตสารไอโซโทปรังสีและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติและ/หรือบริษัทเอกชนได้เป็นอย่างดี โครงการนี้จึงถูกริเริ่มขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีที่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) สามารถใช้ขนส่งสารกัมมันตรังสีได้ทั้งทางบกและทางอากาศอย่างปลอดภัย ช่วงป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลและการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกมานอกบรรจุภัณฑ์อันเนื่องมาจากเหตุใดก็ตาม

บรรจุภัณฑ์ที่จะออกแบบขึ้นมาในงานวิจัยนี้ เป็นบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีประเภท A เพื่อใช้ขนส่งสารละลายไอโอดีน-131 ที่ความเข้มข้นสูงสุด 300 มิลลิคูรี ทั้งทางบกและทางอากาศ และบรรจุภัณฑ์ที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่จะถูกนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามที่กำหนดโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ซึ่งได้แก่ การทดสอบการฉีดพ่นน้ำ การทดสอบปล่อยตกจากที่สูงอย่างอิสระ การทดสอบความทนทานต่อแรงกดทับ และการทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่านเมื่อมีวัตถุตกใส่

2. ระบบและวิธีการทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ออกแบบและติดตั้งระบบทดสอบที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ได้แก่



รูปที่ 1 ระบบทดสอบฉีดพ่นน้ำ

2.1 ระบบทดสอบฉีดพ่นน้ำ

การฉีดพ่นน้ำถูกกำหนดไว้สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งเป็นวัสดุที่ดูดซึมน้ำได้ดี ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบฉีดพ่นน้ำนี้ ระบบทดสอบการฉีดพ่นน้ำได้ออกแบบตามข้อกำหนดของ IAEA ในวรรคที่ 721 (TS-R-1 para721) ระบบทดสอบดังกล่าวเป็นการจำลองสภาวะฝนตกหนัก โดยออกแบบให้มีการฉีดพ่นน้ำด้วยอัตราฉีดพ่น 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และทำการฉีดพ่นแบบต่อเนื่องจนครบ 4 ด้าน ด้านละ 15 นาที รวมเป็นระยะเวลาฉีดพ่น 1 ชั่วโมง



รูปที่ 2 ระบบทดสอบปล่อยตกจากที่สูงอย่างอิสระ

2.2 ระบบทดสอบการปล่อยตกจากที่สูงอย่างอิสระ

เป็นการจำลองผลกระทบจากการที่บรรจุภัณฑ์อาจจะกลิ้งตกลงมาจากยานพาหนะในระหว่างการขนส่ง ซึ่งระบบทดสอบนี้ได้ถูกออกแบบภายใต้ข้อกำหนดของ IAEA ในวรรคที่ 722 (TS-R-1 para722) ซึ่งประกอบด้วย เป้าตกกระทบเป็นแผ่นเหล็กผิวหน้าเรียบ มีพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสยาวด้านละ 120 เซนติเมตรหนา 15 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 170 กิโลกรัม และระบบปล่อยตก มีกลไกการปล่อยตกขับเคลื่อนโดยใช้แรงลมอัดจากเครื่องอัดลม (Air compressor) ซึ่งเป็นระบบอย่างง่ายและสามารถปล่อยตกได้ทันทีอย่างอิสระ ระดับความสูงของระยะปล่อยตกที่ใช้ในการทดสอบ คือ 120 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงสำหรับทดสอบบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 5000 กิโลกรัม ในการภาวะการขนส่งปกติ



รูปที่ 3 ระบบทดสอบความทนทานต่อการกดทับ

2.3 ระบบทดสอบความทนทานต่อการกดทับ

ระบบทดสอบนี้ใช้ทดสอบความทนทานของบรรจุภัณฑ์ต่อการรองรับน้ำหนักของวัตถุที่วางซ้อนทับอยู่บนบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ระบบทดสอบถูกออกแบบตามข้อกำหนดของ IAEA ในวรรคที่ 723 (para. 723 TS-R-1) โดยได้ออกแบบให้ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุกดทับ แผ่นเหล็กเหล่านี้ถูกปรับเทียบน้ำหนัก



รูปที่ 4 ระบบทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่าน

โดยสำนักช่างตวงวัด กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในการทดสอบ จะวางแผ่นเหล็กน้ำหนักรวมเป็น 5 เท่าของน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ นานเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

2.4 ระบบทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่าน

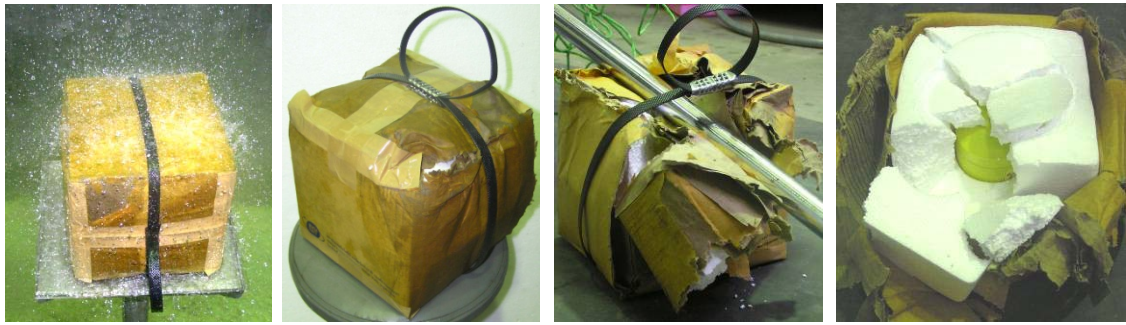
ระบบทดสอบนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ที่อาจมีวัตถุซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งหนักตกลงบนบรรจุภัณฑ์แล้วอาจมีวัตถุผ่านบรรจุภัณฑ์ได้ โดยได้ออกแบบแท่งเหล็กที่ใช้ในการทดสอบตามข้อกำหนดของ IAEA ในวรรคที่ 724 (para. 724 TS-R-1) มีลักษณะดังนี้ คือ เป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก ปลายด้านหนึ่งมนเป็นรูปทรงครึ่งทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร ยาว 94 เซนติเมตร น้ำหนัก 6 กิโลกรัม

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบสมบัติของบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131ของศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

บรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีของศูนย์ไอโซโทปรังสีเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดกล่องกระดาษลูกฟูกภายในประกอบด้วยวัสดุกันกระแทก กระปุกตะกั่วกำบังรังสี และขวดแก้วบรรจุสารไอโซโทปรังสี I-131 ตามลำดับ

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามลำดับ พบว่า ในการทดสอบการฉีดพ่นน้ำ บรรจุภัณฑ์ได้ดูดซับน้ำจนเปียกชุ่มและมีน้ำซึมผ่านเข้าสู่ภายในของบรรจุภัณฑ์ เป็นผลให้บรรจุภัณฑ์ด้านนอกซึ่งเป็นวัสดุประเภทกระดาษลูกฟูกเกิดการเปื่อยยุ่ยและฉีกขาด หลังจากการทดสอบการปล่อยตกจากที่สูงและความทนทานต่อแรงกดทับ รูปทรงของบรรจุภัณฑ์ภายนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงและเสียรูปไป วัสดุกันกระแทกไม่เปิดออก พบเพียงรอยยุบบางมุมเท่านั้น และไม่พบว่ามี การรั่วไหลออกมาของสารละลายของเหลวที่บรรจุไว้ภายในขวดแก้ว ต่อจากนั้นบรรจุภัณฑ์ถูกนำไปทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่าน เมื่อแท่งเหล็กถูกปล่อยลงมาในแนวตั้งกระทบกับผิวหน้าของบรรจุภัณฑ์ แท่งเหล็กได้ทะลุผ่านบรรจุภัณฑ์ด้านนอกและวัสดุกันกระแทก แต่ไม่สามารถทะลุผ่าน กระปุกตะกั่วกำบังรังสีซึ่งอยู่ด้านในได้ หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบทั้งหมด มีเพียงบรรจุภัณฑ์ด้านนอกและวัสดุกันกระแทกเท่านั้นที่เกิดความเสียหาย แต่กระปุกตะกั่วกำบังรังสีและขวดแก้วสำหรับบรรจุสารกัมมันตรังสียังคงสภาพดี ไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ และไม่มีสารละลายของเหลวที่ถูกบรรจุไว้ภายในไม่เกิดการรั่วไหลและแพร่กระจายออกมา



รูปที่ 5 บรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีของศูนย์ไอโซโทปรังสี หลังผ่านการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

จากผลการทดสอบ สรุปได้ว่า ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีของศูนย์ไอโซโทปรังสี ที่ถูกนำมาทดสอบนี้ สามารถถูกนำไปใช้ขนส่งสารกัมมันตรังสีได้อย่างปลอดภัย แต่ยังคงจุดบกพร่องเกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูป เพราะเป็นวัสดุชนิดกระดาษถูกฟูกซึ่งมีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี ดังนั้นถ้าระหว่างการขนส่งหรือในระหว่างการปฏิบัติงานต้องประสบกับสภาวะฝนตกหนักบรรจุภัณฑ์อาจจะเกิดการเปื่อยยุ่ยและฉีกขาดได้ง่าย

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ใหม่สำหรับบรรจุและขนส่งสารกัมมันตรังสีประเภท A เพื่อใช้ขนส่งสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131

เพื่อแก้ไขปัญหาของบรรจุภัณฑ์เดิมในเรื่องของการดูดซึมน้ำและเพื่อให้สามารถนำบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบใหม่นี้ไปใช้ในการขนส่งสารกัมมันตรังสีได้ทั้งทางบกและทางอากาศ จึงได้ทำการออกแบบ ปรับปรุง และทดสอบบรรจุภัณฑ์พร้อมทั้งวัสดุกันกระแทก จนกระทั่งมีสมบัติที่เหมาะสมสามารถขนส่งสารกัมมันตรังสีได้อย่างปลอดภัยและสะดวกต่อการปฏิบัติงาน

บรรจุภัณฑ์ใหม่ เป็นถังทรงกระบอกที่ถูกขึ้นรูปด้วยวัสดุประเภทพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) มีหูหิ้วที่แข็งแรง ฝาปิดมีสลักที่แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถ้าหากบรรจุภัณฑ์ถูกเปิดออกก่อนที่จะถูกส่งถึงมือผู้ใช้ บรรจุภัณฑ์ใหม่นี้มีขนาดดังนี้ หนา 1.4 ± 0.1 มม. สูง 85.5 ± 1.0 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางปากถึง 190.5 ± 0.5 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางก้นถึง 167.5 ± 0.5 มม. ความจุ 4.0 ลิตร



รูปที่ 6 บรรจุภัณฑ์สารกัมมันตรังสีและวัสดุกันกระแทกที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่

การทดสอบสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่

เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ใหม่นี้เป็นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ จึงไม่จำเป็นต้องทดสอบการฉีกพื้นน้ำ ดังนั้นจึงถูกนำไปทดสอบสมบัติตามข้อกำหนดของIAEA เพียง 3 ประเภท ตามลำดับดังนี้ คือ การทดสอบการปล่อยตกจากที่สูง พบว่า บรรจุภัณฑ์ภายนอกไม่มีรอยแตก ไม่เสียรูปทรง และฝายังคงปิดแน่นสนิท แต่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับวัสดุกันกระแทกด้านบนซึ่งเป็นด้านที่มีความหนาน้อยที่สุดเท่านั้น โดยสิ่งที่ถูกบรรจุอยู่ภายในยังคงอยู่ในสภาพที่ดีและไม่พบการรั่วไหลของสารละลาย ผลจากการทดสอบการปล่อยตกพบว่าตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ยังคงสามารถรักษารูปร่างเดิมไว้ได้ ไม่เกิดการยุบตัว และไม่มี ความเสียหายใดเกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ไปทดสอบความทนทานต่อการทะลุผ่าน แท่งเหล็กที่ใช้ปล่อยตกลงสู่ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สามารถทะลุผ่านฝาดังและวัสดุกันกระแทกจนถึงชั้นของกระปุก ตะกั่วกำบังสี แต่ไม่สามารถทะลุกระปุกตะกั่วนั้นได้ สังเกตเห็นเพียงรอยที่เกิดจากการกระแทกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

นอกจากนี้ยังได้ส่งบรรจุภัณฑ์ไปทดสอบความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศที่สามารถพบเจอได้ในระหว่างการเดินทางที่ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ไม่พบความเสียหายบนด้านภายนอกของบรรจุภัณฑ์ มีเพียงการแตกทางด้านบนของวัสดุกันกระแทกเท่านั้น และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการทดสอบเพิ่มเติม พบว่าขวดแก้วที่ใช้สำหรับบรรจุสารกัมมันตรังสีของเหลวซึ่งได้บรรจุสารละลายของเหลวสีม่วงไว้ยังคงอยู่ในสภาพดี ไม่แตก และไม่มีของเหลวใดรั่วไหลออกมา



รูปที่ 7 บรรจุภัณฑ์หลังการทดสอบการปล่อยตกจากที่สูง



รูปที่ 8 บรรจุภัณฑ์หลังการทดสอบความทนทานต่อการกดทับและการทะลุผ่าน

5. สรุป

บรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่ หลังผ่านการทดสอบทั้งหมดพบว่าเมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ กระปุกตะกั่วกำบังรังสียังคงปิดแน่นสนิทและไม่มีความเสียหายใด ๆ เกิดขึ้นและไม่มีของเหลวใดรั่วไหลออกมา แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่นี้มีสมบัติเป็นไปตามที่ IAEA ได้กำหนดไว้ สามารถทนทานต่อทุกเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่งในภาวะปกติ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ขนส่งสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ทั้งทางบกและทางอากาศได้อย่างปลอดภัย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบสถาบันและบุคคลต่าง ๆ ดังนี้ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์และโรงพยาบาลศิริราช และ บริษัทแอดวานส์ ไทยเทสติ้ง จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง

1. International Atomic Energy Agency. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials 2005 Edition. Safety Standards Series (for protecting people and the environments) No. TS-R-1, (Safety Requirement) Vienna (2005)
2. International Atomic Energy Agency. Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials. Safety Guide, Series No. TS-G-1.1(ST-2), Vienna, June 2002