กัมมันตภาพรังสีในเบริลหลังถูกปรับปรุงคุณภาพโดยการฉายด้วยลำอิเล็กตรอน
Radioactivity in improved beryl by electron irradiation

อมรา อิทธิพงษ์[1], วิชาญ เลิศลพ[2], ธนัฐ กรอบทอง[3]
Ammara Ittipongse[1], Wichan Lertlope[2], Thanat Krobtong[3]

Received: 31 August 2020 ; Revised: 14 December 2020 ; Accepted: 19 January 2021

บทคัดย่อ

จุดประสงค์งานวิจัยนี้คือศึกษาข้อมูลทางกายภาพพื้นฐานของเบริล ได้แก่ ค่าดัชนีหักเห ค่าความถ่วงจำเพาะ ธาตุองค์ประกอบทางเคมี และศึกษากัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นในเบริลหลังผ่านการฉายอนุภาคอิเล็กตรอนที่ปริมาณรังสี 60,000 kGy (กิโลเกรย์) จากเบริล 7 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าดัชนีหักเหอยู่ระหว่าง 1.571-1.589 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.72-2.91 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริลด้วยเครื่อง WDXRF พบสารประกอบ ได้แก่ Al_2O_3, SiO_2, Cs_2O, Rb_2O, Fe_2O_3, Cl, Na_2O, CaO และ ZnO เมื่อวัดค่ากัมมันตภาพรังสี ด้วยเครื่อง Gamma-ray Spectroscopy พบธาตุกัมมันตรังสี ได้แก่ Cs-132, Cs-134, Mn-54, Rb-84 และ Na-22 ค่ากัมมันตภาพรังสีที่วัดได้หลังผ่านไป 140 วัน ในตัวอย่างที่ 1 ถึง 7 คือ 1.03, 1.79, 1.91, 1.70, 1.50, 1.12 และ 1.69 nCi/g ค่ากัมมันตภาพรังสี ลดลง 99.85% โดยเฉลี่ย ซึ่งลดลงเหลือน้อยกว่า 2 nCi/g (นาโนคูรีต่อกรัม) เป็นค่ามาตรฐานสำหรับส่งออกอัญมณี และอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้สวมใส่จิวเวลรี่

คำสำคัญ: เบริล กัมมันตภาพรังสี การฉายอนุภาคอิเล็กตรอน

Abstract

This study focused on the investigation the basic physical data of beryl, consisting of reflective index, specific gravity and chemical composition. Additionally, also study focused on the induced radioactivity after enrichment by electrons beam of 60,000 kGy irradiating seven beryl samples. All samples show the refractive indices and the specific gravity values between 1.571-1.589, and 2.72-2.91, respectively. The result of WDXRF showed that the most common compositions in beryl were Al_2O_3, SiO_2, Cs_2O, Rb_2O, Fe_2O_3, Cl, Na_2O, CaO and ZnO. The chemical element analysis by using gamma-ray measurement found that the samples beryl consisted of radioactive nuclei, eg. Cs-132, Cs-134, Mn-54, Rb-84 and Na-22. The results of radioactive decay rate in 140 days were 1.03, 1.79, 1.91, 1.70, 1.50, 1.12 and 1.69 nCi/g on 7 beryl samples, respectively. The total radiation activity decreases 99.85% that met the standard value for export of gems. So, all beryl samples were in suitable safety level for jewelry collectors.

Keywords: beryl, radioactivity, electron irradiation

[1] รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[2] ผู้ช่วยศาสตรจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[3] อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[1] Assoc. Prof, Faculty of Science and technology Suan Sunandha Rajabhat University Dusit district, Bangkok 10300, Thailand
[2] Assist. Prof, Faculty of Science and technology Suan Sunandha Rajabhat University Dusit district, Bangkok 10300, Thailand
[3] Lecturer, Faculty of Science and technology Suan Sunandha Rajabhat University Dusit district, Bangkok 10300, Thailand
* Corresponding author: Ammara Ittipongse,Faculty of Science and technology Suan Sunandha Rajabhat University Dusit district, Bangkok 10300, Thailand

บทนำ

เบริล (beryl) คือ เบริลเลียม อะลูมิเนียม ไซโคลซิลิเกต (beryllium aluminium cyclosilicate) มีสูตรเคมี คือ $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ ชื่อแร่มาจากภาษากรีกโบราณ ซึ่งหมายถึงรัตนชาติสีเขียว (green gemstone) เป็นอัญมณี หินสีที่ยอดนิยม เนื้อใส แวววาว ประกายเจิดจ้า มีสีหลากหลาย เช่น สีเหลืองทอง ฟ้า กำมะหยี่ ชมพูกุหลาบ สีพีช และสีขาว เพราะมีส่วนผสมร่วมกับหินชนิดอื่นๆ อย่าง โกเมน ทัวร์มาลีน รูปผลึกเป็นเฮกซะโกนอล (hexagonal crystals) ผลึกมีลักษณะเป็นแท่งยาว มีร่องขนานตามแนวยาว (groove) ผิวหน้ามักขรุขระ มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ แข็ง 7.5-8 ความถ่วงจำเพาะ 2.63-2.91 วาวแบบแก้ว ดัชนีหักเห 1.568-1.590 (กรมทรัพยากรธรณี, ม.ป.ป. ; Krambrock *et al*., 2002) ถ้าเป็นเบริลที่บริสุทธิ์ (pure beryl) ไม่มีธาตุอื่นปนเปื้อนจะไม่มีสี ซึ่งรู้จักกันว่าเบริลไร้สี คือ โกสชีไนต์ (goshenite) แต่ที่เราพบเบริลมีหลากหลายสี เนื่องจากมีธาตุมาเจือปน ซึ่งสีที่พบก็มี สีเขียว สีฟ้า สีเหลือง สีแดง เนื่องจากมีหลายสีจึงมีชื่อเรียกต่างๆ กัน คือ อะความารีน (aquamarine) มีสีฟ้าอ่อน และโปร่งใส มอร์แกไนต์ (morganite) หรือ โรสเบริล (rose beryl) มีสีชมพูอ่อนถึงสีกุหลาบเข้ม เอเมอรัลด์ (emerald) หรือ มรกต มีสีเขียวเข้มโปร่งใสและเบริลสีทอง (golden beryl) มีสีเหลืองทอง เบริลสีทองถูกขุดพบมาหลายร้อยปีแล้ว แต่รู้จักกันชื่อ เฮลิโอดอร์ (Heliodor) โดยผลึกที่สะอาดและประกายสวยงามด้วยขนาดประมาณ 10 กะรัต อาจทำราคาขายได้มากถึง 150 ดอลลาร์สหรัฐต่อกะรัต และถ้าขนาดมากกว่า 10 กะรัต ขึ้นไปราคาอาจสูงได้ถึง 265 ดอลลาร์สหรัฐต่อกะรัต ด้วยประกายที่เป็นเอกลักษณ์ของพลอยในตระกูลเบริล พลอยเบริลสีเหลืองทองที่มีเนื้อสะอาด และได้รับการเจียระไนที่ดีเยี่ยมจะมีประกายที่คล้ายกับเพชรแฟนซี ซึ่งเหมาะสำหรับทำเป็นเครื่องประดับ (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), ม.ป.ป.) เบริลสีทองนี้ถูกขุดพบในประเทศมาดากัสการ์ บราซิล และไนจีเรีย นอกจากนี้ยังมีขุดพลอยในยูเครน เบริลสีทองสามารถได้มาจากโกสชีไนต์โดยการฉายรังสี โดยหลากหลายเชดสีของเบริลในกลุ่มเฮลิโอดอร์ เช่น สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน หรือสีทอง เกิดขึ้นเพียงแค่การฉายรังสีแกมมาหรือการฉายรังสีอิเล็กตรอนแบบสั้นๆ ก็เพียงพอแล้วที่จะทำให้เกิดสีขึ้นในโกสชีไนต์

ปัจจุบันอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง เป็นรังสีที่ถูกนำมาใช้เพิ่มคุณค่าให้กับเบริล ซึ่งเป็นอนุภาคที่ได้ จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (linear accelerator) นิยมใช้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงถึง 10-20 MeV การฉายรังสีด้วยอนุภาคอิเล็กตรอน ทำให้เกิดความร้อนเฉพาะที่ในอัญมณีสูงมาก จึงต้องใช้น้ำเย็นผ่านอัญมณีขณะฉายรังสี เพื่อระบายความร้อน และป้องกันอัญมณีแตกได้อิเล็กตรอนจะให้โดส (ปริมาณรังสีที่ใช้ต่อครั้ง) แก่อัญมณีสูงจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของอัญมณีได้ดี และใช้ระยะเวลาในการฉายรังสีสั้น หลังจากฉายเสร็จ ควรเก็บอัญมณีที่ถูกฉายรังสีไว้เป็นเวลา 2-3 วัน ถึง 2-3 สัปดาห์ เนื่องจากอิเล็กตรอนพลังงานสูงอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้บ้าง จึงต้องใช้เวลาคอยให้รังสีลดลงอยู่ในระดับปลอดภัย โดยตามมาตรฐานสหพันธ์ยูโรเปียน (EU) ได้ระบุว่าการส่งอัญมณีกลับคืนสู่ลูกค้าต้องมีความแรงรังสีไม่เกิน 2 นาโนคูรีต่อกรัม (องค์การมหาชน), ม.ป.ป. ; Kitawaki, 2012 ; Krumeich, 2015)

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาคุณสมบัติของเบเริลที่เปลี่ยนไปผ่านการเพิ่มคุณค่า โดยการฉายอนุภาคอิเล็กตรอน จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนของศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยใช้เทคนิคการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา (gamma-ray spectroscopy) นอกจากนี้ยังได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรสโกปีแบบวัดการกระจายความยาวคลื่น (wavelength dispersive X-Ray fluorescence spectroscopy, WDXRF) เพื่อวิเคราะห์ธาตุที่อาจจะเกิดเป็นสารกัมมันตภาพรังสีในเบริลหลังการฉายอนุภาคอิเล็กตรอน รวมถึงยังได้ศึกษาข้อมูลทางกายภาพพื้นฐานของเบริล เช่น ค่าดัชนีหักเห และค่าความถ่วงจำเพาะ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นในเบริลที่ผ่านการเพิ่มคุณค่า โดยการฉายอนุภาคอิเล็กตรอน จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนของศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

2. เพื่อศึกษาข้อมูลทางกายภาพพื้นฐานของเบริล ได้แก่ ค่าดัชนีหักเห ค่าความถ่วงจำเพาะ และธาตุองค์ประกอบทางเคมี

ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ การวัดค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของเบริล การวัดปริมาณรังสี การฉายรังสีอิเล็กตรอน การศึกษาและวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีในเบริล วิเคราะห์ธาตุหรือองค์ประกอบเคมีของเบริล ตัวอย่างเบริลที่ใช้ในการทดลองนี้ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง จากประเทศไนจีเรีย โดยเบ-ริลทั้ง 7 ตัวอย่าง เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ฉายรังสีอัญมณีสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

1. หาข้อมูลทางการภาพของเบริล ดังนี้

1.1 วัดค่าดัชนีหักเหด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (refractometer)

1.2 วัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก (balance)

1.3 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของเบริล

1.4 ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จนครบทั้ง 7 ตัวอย่างโดยการสุ่ม

2. วัดปริมาณรังสี พลังงานของเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนสำหรับใช้ฉายรังสีอิเล็กตรอนให้กับเบริล ใช้พลังงาน 20 MeV ซึ่งให้ปริมาณรังสีอิเล็กตรอน 25 kGy

3. ฉายรังสีอิเล็กตรอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพสีของเบริลให้มีสีที่ดีขึ้น โดยพลังงานของเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนสำหรับใช้ฉายรังสีอิเล็กตรอนให้กับเบริล มีปริมาณรังสี 60,000 kGy

4. วิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริลด้วยเครื่อง wavelength dispersive X-Ray fluorescence spectroscopy (WDXRF)

5. วัดค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างเบริลด้วยเครื่อง gamma-ray spectrometer

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาค่าดัชนีหักเหของเบริล

จากการวัดค่าดัชนีหักเหของเบริลด้วยเครื่องรีแฟคโตมิเตอร์ โดยค่าดัชนีหักเห สามารถจำแนกชนิดของอัญมณีได้ ถ้ามีการเปลี่ยนอัญมณีที่นำมาวัดค่าดัชนีหักเห มุมวิกฤตและตำแหน่งเงาบนสเกลที่แสดงก็จะเปลี่ยนไป นั่นคือค่าดัชนีหักเหที่อ่านได้ก็จะแตกต่างกันไปด้วย ในงานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์เบริล ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง มีผลการทดลองดัง Table 1

Table1 The refractive index of beryl samples

	reflective index	mean
1	1.579-1.589	1.584
2	1.578-1.583	1.580
3	1.577-1.581	1.579
4	1.571-1.584	1.577
5	1.573-1.584	1.578
6	1.582-1.587	1.584
7	1.578-1.589	1.583

จาก Table 1 แสดงค่าดัชนีหักเหของเบริล จากการวัดค่าดัชนีหักเหของเบริลที่นำมาทำการทดลองทั้ง 7 ตัวอย่าง พบว่าค่าดัชนีหักเหของเบริลทั้ง 7 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.571-1.589 โดยทั่วไปเบริลจะมีค่าดัชนีหักเหตามเอกสารอ้างอิงอยู่ระหว่าง 1.568-1.590 (กรมทรัพยากรธรณี, ป.ป.ป. ; Fridrichova, 2018) โดยค่าดัชนีหักเหของเบริลทั้ง 7 ตัวอย่างที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.571-1.589 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อ้างอิงไว้ ดังนั้นตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยนี้ไม่มีอัญมณีชนิดอื่นปลอมปน

2. ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะเบริล

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของเบริลด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยใช้หลักการของอาร์คิมีดีส (Archimedes' principle) ซึ่งเป็นการหาน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับพลอยจะเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยพลอย ซึ่งการหาค่าความถ่วงจำเพาะสามารถทดสอบหาค่าได้ง่ายโดยไม่ทำให้อัญมณีเสียหายและยังสามารถจำแนกชนิดของอัญมณีได้อีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์เบริลทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ซึ่งมีผลการทดลองแสดงดัง Table 2

Table 2 The specific gravity of beryl samples

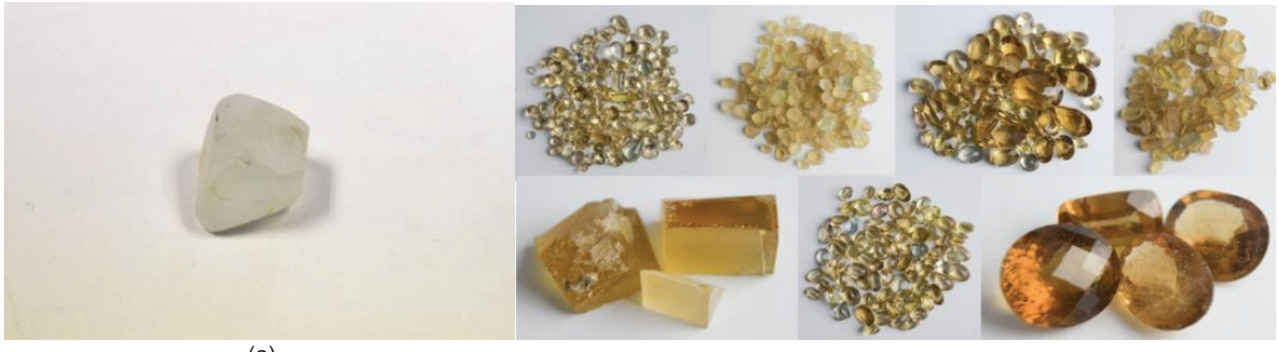
Beryl Samples	weight in air	weight in water	specific gravity
1	0.079	0.052	2.91
2	0.088	0.057	2.83
3	0.03	0.019	2.72
4	0.088	0.057	2.84
5	0.088	0.057	2.83
6	0.047	0.03	2.76
7	0.049	0.031	2.72

จาก Table 2 โดยทั่วไปเบริลจะมีค่าความถ่วงจำเพาะตามเอกสารอ้างอิงอยู่ระหว่าง 2.63-2.91 (กรมทรัพยากรธรณี, ป.ป.ป. ; Fridrichova, 2018) โดยค่าความถ่วงจำเพาะของทั้ง 7 ตัวอย่าง ที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.72-2.91 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อ้างอิงไว้ ดังนั้นตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยนี้ไม่มีอัญมณีชนิดอื่นปลอมปน

3. ผลการเปลี่ยนสีของเบริลจากฉายรังสีอิเล็กตรอน

การวิจัยนี้ใช้เครื่องเร่งอิเล็กตรอนซึ่งตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (มหาชน) ประเทศไทย ซึ่งใช้พลังงาน 20 MeV ในการเดินเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน และ

ฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณ 60,000 kGy ไปยังเบริลตัวอย่างเบริลก่อนการฉายรังสีอิเล็กตรอนนั้นไร้สี (goshenite) หลังจากการฉายรังสีอิเล็กตรอนด้วย ปริมาณรังสี 60,000 kGy เปลี่ยนเป็นสีทอง (Golden) ดัง Figure 1



(a) (b)

Figure 1 (a) beryl before irradiation (b) beryl after irradiation

4. ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริล

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริลด้วยเครื่อง WDXRF ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรสโกปีแบบวัดการกระจายความยาวคลื่น สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่ทำให้อัญมณีเสียหาย โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริลทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ซึ่งมีผลการทดลองแสดงดัง Table 3

Table 3 WDXRF analysis of beryl samples in comparison with reference 1 and 2. Data are given in wt% and nd means not detection.

	beryl samples							Ref. 1 (Yellow Beryl)	Ref. 2 (Clear beryl)
	1	2	3	4	5	6	7		
Al_2O_3	17.35	16.97	17.33	17.28	19.33	15.79	15.53	20.89	18.91
BeO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12.49	12.83
SiO_2	66.69	67.08	56.52	56.33	44.44	62.09	54.88	63.66	64.76
Cs_2O	12.78	14.26	23.38	24.24	nd	19.1	26.91	-	-
P_2O_5	1.27	0.97	nd	nd	nd	1.2	0.98	-	-
K_2O	0.09	0.07	0.17	nd	3.16	0.06	0.06	0.05	0.23
CaO	0.31	0.26	nd	nd	15.88	0.34	0.28	-	-
Fe_2O_3	0.18	0.17	0.22	nd	0.42	0.21	0.26	0.83	-
Rb_2O	0.17	0.16	0.25	0.22	nd	0.21	0.24	-	-
Na_2O	0.75	nd	1.29	1.47	8.35	0.59	nd	0.24	1.23
ZnO	0.03	0.02	nd	0.06	nd	0.04	0.04	-	-
MnO	nd	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	-
MgO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	-
CuO	nd	nd	nd	nd	0.03	0.02	0.02	-	-

Table 3 WDXRF analysis of beryl samples in comparison with reference 1 and 2. Data are given in wt% and nd means not detection. (Continuous)

	beryl samples							Ref. 1 (Yellow Beryl)	Ref. 2 (Clear beryl)
	1	2	3	4	5	6	7		
Ga_2O_3	nd	0.01	nd	nd	nd	0.01	0.01	-	-
La_2O_3	nd	nd	0.42	nd	nd	nd	nd	-	0.14
SO_3	0.13	nd	nd	nd	1.21	0.2	0.12	-	-
Cl	0.24	nd	nd	nd	6.76	0.14	0.08	-	-
NiO	nd	nd	nd	0.03	nd	0.01	nd	-	-
SrO	nd	nd	nd	nd	0.14	nd	nd	-	-
BrO_2	nd	nd	nd	nd	0.08	nd	nd	-	-
Total	**99.99**	**100.00**	**99.58**	**99.63**	**99.80**	**100.01**	**99.41**	**98.18**	**98.10**

โดยทั่วไปเบริลจะมีธาตุตามเอกสารอ้างอิง คือ $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ ซึ่งธาตุ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่พบในเบริลทั้ง 7 ตัวอย่างนั้น มีปริมาณธาตุที่ใกล้เคียงกับปริมาณธาตุที่ตรวจพบในเบริลสีเหลือง คือ Al_2O_3 20.89% และ SiO_2 63.66% และในเบริลบริสุทธิ์ คือ Al_2O_3 18.91% และ SiO_2 64.76% ตามเอกสารอ้างอิง ส่วนธาตุอื่นที่ตรวจพบในเบริลทั้ง 7 ตัวอย่างนั้นมีปริมาณแตกต่างกันไป อาจมาจากการปนเปื้อนตามแหล่งธรรมชาติหรือมีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ในเบริลแต่ละตัวอย่างต่างกันไป

5. ผลการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างเบริลด้วยเครื่อง Gamma-ray Spectroscopy

สเปกตรัมรังสีแกมมาของเบริลหลังจากฉายด้วยอิเล็กตรอนได้ถูกวัดด้วยเทคนิค Gamma-ray spectroscopy โดยใช้ชนิดหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) ซึ่งอยู่ภายในเครื่องกำบังรังสี (shied) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง (multichannel analyzer: MCA) และวิเคราะห์จากส่วนที่เป็นโฟโตพีคพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ทำการวิเคราะห์หาค่าไอโซโทปในแต่ละพลังงานที่พลังงาน 667.70 keV ของ Cs-132, 795.85 keV ของ Cs-134, 834.84 keV ของ Mn-54, 881.60 keV ของ Rb-84 และ 1274.53 keV ของ Na-22 แล้วทำการคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างเบริล จากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการสลายตัวของกัมมันตรังสี โดยประเมินระยะเวลาเพื่อให้กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นในเบริลลดลงเหลือในปริมาณที่ปลอดภัย โดยผู้วิจัยประเมินจากค่ากัมมันตภาพรังสี (activity) นั้นต้องลดลงเหลือต่ำกว่า 2 nCi/g ซึ่งจากการประเมินได้ระยะเวลาที่ 140 วัน จากวันที่ 12/06/2018 ถึงวันที่ 31/10/2018 เมื่อครบ 140 วัน ทำการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างเบริลด้วยเครื่อง Gamma ray Spectroscopy เพื่อตรวจสอบค่ากัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นในเบริลนั้นลดลงเหลือในปริมาณที่ปลอดภัยแล้ว ซึ่งปริมาณรังสีที่ปลอดภัยจะมีค่าต่ำกว่า 2 nCi/g ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดัง Table 4

Table 4 The radioactive decay rate after 140 days of electron irradiating.

			beryl samples						
			1	2	3	4	5	6	7
Isotope	T1/2 (d)	En (keV)	Activity (nCi/g.)						
Cs-132	6.48	667.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cs-134	751.90	795.85	0.83	1.50	1.61	1.38	1.07	0.87	1.34
Mn-54	312.12	834.84	-	-	0.00	0.00	-	-	0.06
Rb-84	32.82	881.60	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na-22	949.00	1274.53	0.20	0.18	0.29	0.32	0.42	0.25	0.29
			1.03	1.79	1.91	1.70	1.50	1.12	1.69

อภิปรายผล

จากผลการตรวจสอบ ค่าดัชนีหักเหของเบริล ค่าที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง1.571-1.589 ค่าความถ่วงจำเพาะของเบริล ค่าที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 2.72-2.91 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อ้างอิงไว้ที่ระบุว่า ค่าดัชนีหักเหของเบริลมีค่าอยู่ระหว่าง1.568-1.590 ค่าความถ่วงจำเพาะของเบริลมีค่าอยู่ระหว่าง 2.63-2.91 ดังนั้น เบริลทั้งหมด 7 ตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยนี้ไม่มีอัญมณีชนิดอื่น เมื่อฉายรังสีปริมาณ 60,000 kGy เป็นปริมาณที่กำหนดไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ P. Jivanantaka (Jivanantaka, 2018) ที่กล่าวว่าปริมาณรังสีอิเล็กตรอน 60,000 kGy แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของอัญมณีอย่างเห็นได้ชัด ผลวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเบริล ธาตุที่พบมากซึ่งพบเกือบทุกตัวอย่างได้แก่ Al_2O_3, SiO_2, Cs_2O, Rb_2O, Fe_2O_3, Cl, Na_2O, CaO และ ZnO สอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Fridrichova (Fridrichova, 2018) ที่กล่าวว่าองค์ประกอบทางเคมีของเบริลประกอบด้วย SiO_2, BeO, TiO, Al_2O_3, Fe_2O_3, Mn_2O_3, MgO, NiO, ZnO, CaO, Na_2O, K_2O, Rb_2O และ Cs_2O โดยงานวิจัยนี้ตัวอย่างเบริลทั้ง 7 จากประเทศไนจีเรียไม่สามารถตรวจพบ BeO เหมือนกับงานวิจัยของ (Krambrock *et al*., 2002) ที่ใช้ตัวอย่างเบริลจากประเทศ อุรุกวัย (Aracuai), ไมนัส เจอเรส (Minas Gerais), และ บราซิล (Brazil) และผลการวัดค่ากัมมันตภาพรังสี ซึ่งพบธาตุกัมมันตภาพรังสี ได้แก่ Cs-132, Cs-134, Mn-54, Rb-84 และ Na-22 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมี

สรุป

คุณสมบัติทางกายภาพของ 7 ตัวอย่างเบริลจากประเทศไนจีเรียพบว่ามีค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐาน และเมื่อตรวจสอบธาตุองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีองค์ประกอบสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเบริล ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า 7 ตัวอย่างเบริลจากประเทศไนจีเรียเป็นเบริลแท้ แต่อาจมีสารอื่นที่ปนเปื้อนบ้างตามแหล่งธรรมชาติ เมื่อนำมาเพิ่มคุณภาพโดยใช้การฉายอิเล็กตรอนที่ 60,000 kGy พบว่าเบริลเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเหลืองทอง และเมื่อทดสอบหาระยะเวลาปลอดภัยจากกัมมันตภาพรังสีที่ตกค้างอยู่ในเบริลที่เพิ่มคุณค่าแล้ว จากการวิจัยพบว่าต้องใช้ระยะเวลาผ่านไปแล้ว 140 วัน กัมมันตภาพรังสีในเบริลจึงลดลงเหลือในปริมาณที่ปลอดภัยที่น้อยกว่า 2 nCi/g ซึ่งเป็นปริมาณกัมมันตภาพรังสีตรงตามระดับปลอดภัย ตามมาตรฐานสหพันธ์ยูโรเปียน (EU) ของอัญมณีกลับคืนสู่ลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. *เบริล*. http://www.dmr.go.th/main.php?filename=beryl

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). *การเพิ่มคุณค่าของอัญมณีโดยวิธีนิวเคลียร์*. http://www.tint.or.th/gems/gems5102.html

พรวลัย กวางเส็ง และศิวพร สร้อยพลอย. (2558). *การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณรังสีที่ตกค้างในลอนดอนโทแพซที่ผ่านการอาบนิวตรอน*. เทคโนโลยีสู่สังคมไทย การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานระดับชาติ (น.13-14). สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน).

Hiroshi Kitawaki *et al*. (2012). Radioactive morganite. *Gems & Gemology*, 48, 42-44. http://doi.org/10.5741/GEMS.48.1.2

F. Krumeich. (2015). *Electrons Interactions with Matter*. https://www.microscopy.ethz.ch/downloads/Interactions.pdf

J. Fridrichova *et al*. (2018). Jahn-Teller distortion of Mn3+ occupied octahedra in red beryl from Utah indicated by optical spectroscopy. *Molecular Structure*. 1152, 79-86. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.09.081

P. Jivanantaka *et al*. (2018). *Oxidation state of Fe in irradiated sapphire samples by XAS technique*. Siam Physics Congress. Ser. 1144 012016. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1144/1/012016

K. Krambrock, M.V.B. Pinheiro, K.J. Guedes, S.M. Medeiros, S. Schweizer, C. Castañeda, N.F. Botelho, A.C. PedrosaSoares. (2002). *Radiation-induced centers in Cs-rich beryl studied by magnetic resonance, infrared and optical spectroscopy*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. 191 (pp. 285-90). https://doi.org/10.1016/S0168-583X(02)00577-3