



การวิเคราะห์ทัวมาลีนสีชมพูด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์

อังฉรา แสงอริยวนิช ศศิพันธ์ ฌ สงขลา และ สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์

กองฟิสิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนวิภาวดีรังสิต เขตจตุจักร กทม.10900

โทรศัพท์: 562-0119 โทรสาร: 562-0118 e-mail: archara@oae.go.th

บทคัดย่อ

ได้ใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในทัวมาลีนสีชมพูเฉดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการฉายรังสีแกมมา จำนวน 6 ตัวอย่าง ได้แก่ สีชมพูแดง ชมพูอ่อน ชมพูอมส้ม ชมพูอมน้ำตาลอมส้ม สีแดงอมม่วง และ สีม่วงอมชมพูอมส้ม ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีธาตุแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ ในบางตัวอย่างอาจพบธาตุเหล็ก สังกะสี ตะกั่ว บิสมัทหรือ แกลเลียม เจือปนอยู่ด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับเฉดสีของตัวอย่างนั้นๆ เนื่องจากไม่พบธาตุมลทินเหล่านี้ในทัวมาลีนสีชมพูแดง ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า แมงกานีสเป็นธาตุสำคัญที่ทำให้เกิดสีชมพูในทัวมาลีน ส่วนธาตุมลทินอื่นๆเป็นเพียงองค์ประกอบเสริมให้เกิดสีชมพูเฉดต่างๆขึ้น

Investigation of Pink Tourmalines by X-ray Fluorescent Technique

Archara Sangariyanich, Sasiphan Na Songkhla and Surapong Pimjunt

Physics Division, Office of Atomic Energy for Peace, Chatuchak, Bangkok 10900

Tel. 562-0119 Fax. 562-0118 e-mail: archara@oae.go.th

ABSTRACT

X-ray fluorescent technique has been employed in the study of trace elements in six samples of gamma irradiated pink tourmalines, namely, red-pink (rubellite), light-pink, orange-pink, brownish orange-pink, purple red and purple orange-pink. The analysis of their characteristic X-ray indicated the existence of manganese in all samples. Trace amounts of iron, zinc, lead, bismuth or gallium were also investigated in certain samples. Since these elements were not present in red-pink tourmaline, therefore, we believed that manganese is the major cause of pink color in tourmaline while other elements produce various types of pink color.

คำนำ

ทัวมาลีนเป็นพลอยที่มีหลากสี ผู้ออกแบบอัญมณีจึงนิยมนำมาเรียงประกอบกันเป็นเครื่องประดับชุดสีรุ้ง ที่เรียกว่า Rainbow Set ⁽¹⁾ ทัวมาลีนที่นิยมมากที่สุด คือ ชนิดที่มีสีชมพูแดง ซึ่งเรียกว่า รูเบลไลท์ (rubellite) เนื่องจากมีสีคล้ายทับทิม ผลึกที่สวยงามพบได้ในหลายแหล่ง เช่น บริเวณเทือกเขาอูราลในประเทศรัสเซีย อัฟกานิสถาน พม่า ศรีลังกา แทนซาเนีย สวิตเซอร์แลนด์ และ แชมเบีย เป็นต้น

การฉายรังสีอาจก่อให้เกิดสีชมพูเฉดต่างๆขึ้นในทัวมาลีนไม่มีสีบางชนิด หรือ ทำให้ทัวมาลีนสีชมพูอ่อนมีสีเข้มขึ้น หรืออาจเปลี่ยนเป็นสีส้ม บางครั้ง ทัวมาลีนสีเขียวอ่อนอาจเปลี่ยนเป็นสีชมพู และทัวมาลีนสีน้ำเงินจากบางแหล่งอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงม่วง⁽²⁾ ในปี 1992 มีการค้นพบแหล่งทัวมาลีนแหล่งใหญ่ในมลรัฐ Minas Gerlas ประเทศบราซิล ซึ่งประกอบด้วยทัวมาลีน สีดำ และ สีชมพู การฉายทัวมาลีนที่ไม่มีสีจากแหล่งนี้ด้วยรังสีแกมมา พบว่า ทัวมาลีนบางส่วนต้องใช้รังสีปริมาณสูงตั้งแต่ 150 - 200 เมกะแรด จึงจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมน้ำตาล ซึ่งเป็นเฉดสีที่แตกต่างจากที่พบในแหล่งอื่นๆ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ธาตุปริมาณน้อยมีผลต่อการเกิดสีของพลอย ในการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษานิวเคลียสของธาตุปริมาณน้อยที่เจือปนอยู่ในทัวมาลีนสีชมพูเฉดต่างๆเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณรังสีที่ต้องการ และคาดคะเนสีของทัวมาลีนที่เกิดขึ้นภายหลังจากการฉายรังสี นอกจากนั้น ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาประกอบกับข้อมูลอื่นๆเพื่ออธิบายกลไกของการเกิดสีในทัวมาลีนด้วย การที่เลือกใช้เทคนิคการวาร์รังสีเอ็กซ์ในการศึกษาธาตุปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ สะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

วิธีทดลอง

นำทัวมาลีนสีชมพูเฉดสีต่างๆที่เกิดจากการฉายรังสีแกมมา ได้แก่ ชมพูแดง(รูเบลไลท์) ชมพูอ่อน ชมพูอมน้ำตาล ชมพูอมส้ม แดงอมม่วง และม่วงอมชมพูอมส้ม มาอย่างละ 2-3 เม็ด มาวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยโดยใช้เทคนิคการวาร์รังสีเอ็กซ์ ดันกำเนิดรังสีเอ็กซ์ที่ใช้ คือ Pu-238 ซึ่งให้รังสีเอ็กซ์ของยูเรเนียม ไปกระตุ้นให้ตัวอย่างเกิดการวาร์รังสีเอ็กซ์ วัดสเปกตรัมของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นด้วยหัววัด Si(Li) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หมัดดิแซนเนล นำสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์พลังงานเพื่อจำแนกชนิดของธาตุปริมาณน้อยที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการวัดรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวของทัวมาลีนสีชมพูชนิดต่างๆ ได้สเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างเหล่านี้ ได้ผลดังสรุปไว้ในตารางที่ 1

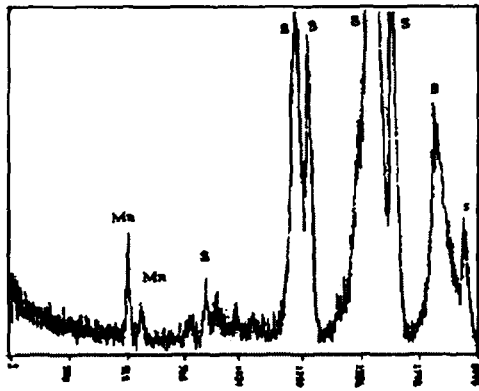
ตารางที่ 1 ธาตุปริมาณน้อยที่พบในทัวมาลีนสีชมพูเฉดต่างๆ

| ตัวอย่าง | ธาตุมลทิน | | | | | |
|----------------------------|-----------|----|----|----|----|----|
| | Bi | Fe | Ga | Mn | Pb | Zn |
| ชมพูแดง (รูเบลไลท์) | | | | ✓ | | |
| ชมพูอ่อน(จากประเทศแซมเบีย) | ✓ | ✓ | | ✓ | | |
| แดงอมม่วง | | | ✓ | ✓ | | ✓ |
| ชมพูอมน้ำตาลอมส้ม | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| ชมพูอมส้ม | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| ม่วงอ่อนอมชมพูอมส้ม | | ✓ | ✓ | ✓ | | |

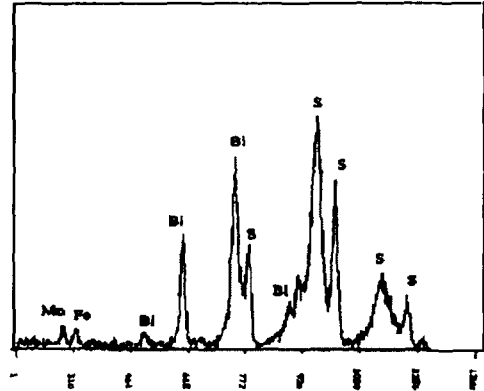
ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทัวมาลีนเหล่านี้ มีองค์ประกอบของธาตุมลทินที่แตกต่างกันขึ้นกับสีของตัวอย่าง ธาตุปริมาณน้อยที่พบว่าเป็นองค์ประกอบรวม คือ ธาตุแมงกานีส ซึ่งพบในทัวมาลีนทุกๆสี ธาตุที่พบมากรองลงมา ได้แก่ ธาตุเหล็กและแกดเลียม ซึ่งพบในทัวมาลีนสีชมพูอมส้มเป็นส่วนใหญ่ สำหรับธาตุปริมาณน้อยอื่นๆที่พบแตกต่างกันไปตามเฉดสีของตัวอย่าง ได้แก่ ธาตุสังกะสี พบในทัวมาลีน สีแดงอมม่วง ตะกั่ว พบในทัวมาลีนสีชมพูอมน้ำตาลอมส้ม และบิสมัทพบในทัวมาลีนสีชมพูอ่อนและชมพูอมส้ม

ดังนั้น ธาตุมลทินในตัวอย่างจึงสามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินปริมาณรังสีที่ใช้ และการเปลี่ยนสีของตัวอย่างภายหลังการฉายรังสี เช่น ทัวมาลีนที่ไม่มีธาตุอื่นเป็นมลทินยกเว้นแมงกานีสเมื่อได้รับรังสี มักเปลี่ยนเป็นสีชมพูแดงซึ่งเป็นสีที่นิยมในท้องตลาด ส่วนทัวมาลีนที่มีธาตุตะกั่วเป็นมลทินมักเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมน้ำตาล ซึ่งโดยทั่วไป ปริมาณรังสีแกมมาที่ต้องใช้ในการฉายทัวมาลีนชนิดหลังนี้ อาจสูงถึง 300 - 400 เมกะแรด

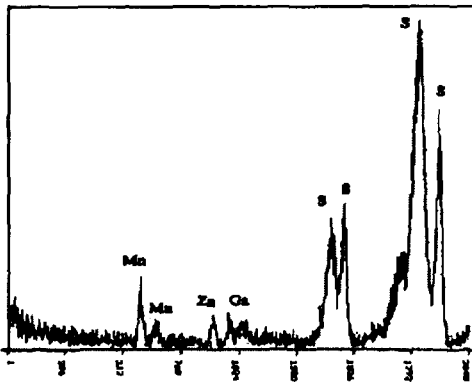
การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์ที่ใช้นี้มีข้อดี คือ สะดวก รวดเร็ว ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง และสามารถวิเคราะห์ธาตุหลายชนิดได้ในคราวเดียวกัน แต่มีข้อจำกัดคือ วิธีการนี้ไม่ไวต่อการตรวจวัดธาตุปริมาณน้อยๆที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 20 ลงมา



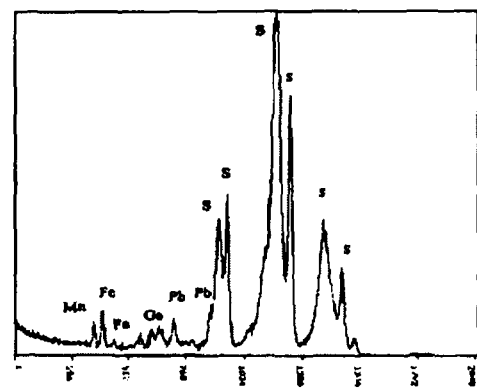
(ก) สิชมพูตง (รูปตโถง)



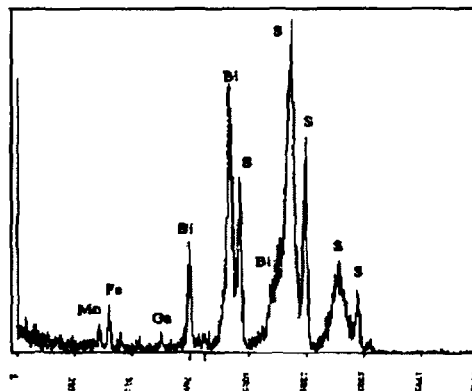
(ข) สิชมพูตง (ตงปรตตตตตตตตต)



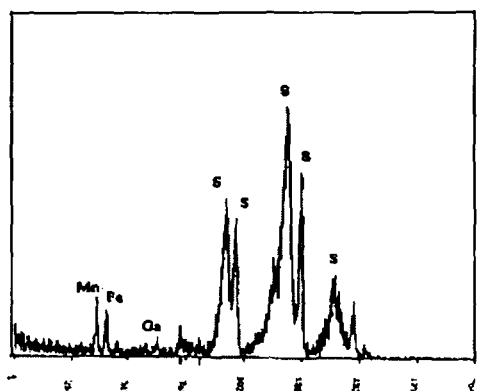
(ค) สิชมตงตง



(ง) สิชมพูตงตงตงตง



(จ) สิชมพูตงตง



(ฉ) สิชมตงตงตงตงตง

รูปที่ 1 เปรียบเทียบเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของทัวมาลีนสิชมพูตงตงตงตง

S = Source (Pu-238)

กลไกของการเกิดสีชมพูในทัวมาลีนยังไม่เป็นที่แน่ชัด Nassau เชื่อว่า⁽³⁾ สีชมพูในรูเบลไลท์ อาจเกิดจากสีของธาตุมลทิน Mn^{3+} แต่ทั้งนี้ในตัวอย่างจะต้องมีธาตุเหล็กเจือปนอยู่ในปริมาณน้อย ความเห็นนี้ คล้ายคลึงกับสมมติฐานของ Manning ที่คาดว่า⁽⁴⁾ สีชมพูอาจเกิดจาก charge transfer ระหว่าง Mn^{2+} กับ Mn^{3+} หรือ Mn^{2+} กับ Fe^{3+} อย่างไรก็ตาม Berchov และคณะเชื่อว่า สีชมพูเป็นผลของศูนย์กลางสี (color center) ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนถูกจับไว้ที่ตำแหน่งว่างซึ่งเป็นของออกซิเจน

ผลการทดลองในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า แมงกานีสเป็นธาตุปริมาณน้อยที่พบในทัวมาลีนสีชมพูทุกตัวอย่าง เป็นที่น่าสังเกตว่า ไม่พบเหล็กในทัวมาลีนสีชมพูแดงหรือรูเบลไลท์ ผลที่ได้ นี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในทัวมาลีนโดยใช้เทคนิคการอาบนิวตรอน⁽⁶⁾ ซึ่งพบว่า มีธาตุเหล็กในทัวมาลีนสีชมพูน้อยกว่าสีอื่นๆ (< 0.04%) ดังนั้น จึงมีแนวโน้มว่า สีชมพูของทัวมาลีนเกิดจาก Mn^{3+} ตามสมมติฐานของ Nassau ดังกล่าวไว้ในข้างต้น

สำหรับต้นตอการเกิดสีของทัวมาลีนสีชมพูอมส้ม อาจเกิดจากธาตุเหล็ก Fe^{2+} ทำให้เกิดสีเหลืองในพลอยบางชนิด เช่น เบริล⁽⁵⁾ จึงเป็นไปได้ว่า ในทัวมาลีน ธาตุเหล็กเจือปนอาจอยู่ในรูปของ Fe^{2+} ซึ่งไม่มีสี เมื่อได้รับรังสีอาจเกิดปฏิกิริยา $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e$ ซึ่งให้สีเหลือง เมื่อผสมกับสีชมพูจึงเกิดเป็นสีส้มขึ้น

กลไกของการเกิดสีในทัวมาลีนสีอื่นๆ ยังไม่ทราบแน่ชัด การตรวจพบธาตุแคลเซียม บิสมัท ตะกั่วและสังกะสีในตัวอย่างเหล่านี้ ทำให้เชื่อว่า ธาตุเหล่านี้ น่าจะมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดเฉดสีต่างๆขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยตัวอย่างทัวมาลีนด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอ็กซ์ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลของรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนสีของทัวมาลีน มีแนวโน้มว่าทัวมาลีนที่แมงกานีสเป็นธาตุมลทิน แต่มีเหล็กเจือปนในปริมาณน้อยจะเป็นสีชมพูแดงเมื่อได้รับรังสี ตัวอย่างที่มีธาตุเหล็กเป็นมลทินจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมส้ม และที่มีธาตุตะกั่วเป็นมลทินจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมน้ำตาล การทดลองนี้สนับสนุน ข้อสมมติฐานของ Nassau ที่กล่าวว่า สีชมพูในทัวมาลีนเกิดจากสีของ Mn^{3+}

เอกสารอ้างอิง

1. พลอยสี “ ท้วมลิน รุ่งหลากสี ฤาพลอยผสม” พลอย ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2534
หน้า 32-37
2. Kurt Nassau. Gemstone Enhancement. Butterworths, London (1984) p. 168
3. Kurt Nassau. Am. Mineral. 60, (1973) 710-713.
4. P.G.Manning. Can.Mineral. 9 (1969) 678-690.
5. Kurt Nassau. The Physics and Chemistry of Color. Butterworths, London (1983) p. 101.
6. A. Sangariyavanich, C. Asvavijnikulchai , S. Pongkasem and P. Tungpittayakul.
Prodeedings 5th Asian Conference on Research Reactors, May 29-31, 1996. Taejon, Korea.
pp. 396-399.