

## BA06: ผลของแร่ประกอบต่อการวิเคราะห์สัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ของกระเทียมฉายรังสี

\*อาทิตยา สุขเกษม<sup>1</sup> วันวิสา สูดประเสริฐ<sup>1</sup> และนายอารักษ์ วิทิตธีรานนท์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900

โทรศัพท์ 0 2562 5444 ต่อ 1202 โทรสาร 0 2579 5530 E-Mail: atitaya\_788@hotmail.com

<sup>2</sup>สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

โทรศัพท์ 0 2562 0096 โทรสาร 0 2562 0093 E-Mail: arag@oaep.go.th

### บทคัดย่อ

เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจใช้ตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี ประเภทเครื่องเทศ สมุนไพร และผลไม้แห้ง ตามมาตรฐานโคเด็กซ์ อาศัยหลักการตรวจวัดสัญญาณ TL ของแร่ที่เป็นองค์ประกอบ หรือปนเปื้อนอยู่ในอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแร่ประกอบต่อความเข้มของสัญญาณ TL โดยสกัดแยกแร่ประกอบจากตัวอย่างกระเทียมผง 3 ชนิดทั้งที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาและไม่ได้ผ่านการฉายรังสี ด้วยสารละลายโซเดียมโพลีทังสเตท ตรวจสอบชนิดและปริมาณแร่ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณ TL จากแร่ที่สกัดได้ด้วยเครื่องอ่านสัญญาณ TL รุ่น Harshaw 4500 ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ชนิด มีควอตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นแร่ประกอบหลักในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง โดยความเข้มของสัญญาณ TL มีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักควอตซ์ที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าปริมาณแร่ประกอบที่มีในตัวอย่างกระเทียมผงมีผลต่อความเข้มของสัญญาณ TL ซึ่งอาจส่งผลต่อการตรวจพิสูจน์กระเทียมฉายรังสีด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

คำสำคัญ: กระเทียมฉายรังสี การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ แร่ประกอบ

## Effect of Mineral Composition on Thermoluminescence Analysis of Irradiated Garlics

\*Atitaya Sookkasem<sup>1</sup> Wanwisa Sudprasert<sup>1</sup> and Arag Vitittheeranont<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University

50 Phohon Yothin Rd., LadYao, Chatuchak, Bangkok 10900

Phone: 0 2562 5444 ext. 1202, Fax: 0 2579 5530, E-Mail: atitaya\_788@hotmail.com

<sup>2</sup>Bureau of Technical Support for Safety Regulation, Office of Atoms for Peace

16 Vipavadee Rangsit Rd., LadYao, Chatuchak, Bangkok 10900

Phone: 0 2562 0096, Fax: 0 2562 0093, E-Mail: arag@oaep.go.th

## Abstract

Thermoluminescence (TL) is one of the most popular techniques used for identification of irradiated foods such as spices, herbs and dried fruits in accordance with the Codex Standards. TL analysis is based on the determination of TL of adhering or contaminating minerals in foods. This research aimed to study the effect of mineral composition on the TL intensity. The composited minerals were extracted from 3 types of non-irradiated and irradiated garlic powders by sodium polytungstate solution. X-ray diffraction (XRD) spectroscopy was employed to investigate the type and amount of minerals present in garlic powders. TL of separated minerals were analysed using a Harshaw 4500 TL reader. The results showed that the mineral composition of garlic powders was mainly quartz with varying amounts depending on types of garlics. The TL intensity linearly increased with the amount of quartz present in the samples. It can be concluded that the amount of minerals affect the TL intensity which might influence the identification of irradiated garlics by thermoluminescence.

**Keywords:** irradiated garlics, thermoluminescence, X-ray diffraction (XRD), mineral composition

## 1. บทนำ

อาหารฉายรังสีได้รับความนิยมในหลายประเทศทั่วโลก ทั้งในทวีปอเมริกา ยุโรป และเอเชีย เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ รัสเซีย จีน รวมทั้งไทย ครอบคลุมผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ข้าวสาลี มันฝรั่ง ผัก ผลไม้ เครื่องเทศและสมุนไพร เนื้อหมู เนื้อวัว เนื้อปลา กุ้ง และเนื้อสัตว์ปีก เป็นต้น<sup>1</sup> ซึ่งปัจจุบันอาหารฉายรังสีจากประเทศไทย ได้รับความอนุญาติให้นำเข้าและจำหน่ายในตลาดสหภาพยุโรปโดยต้องมีการปฏิบัติตามเงื่อนไขภายใต้ Directive 1999/2/EC และ Directive 1999/3/EC ได้แก่ ต้องมีฉลากกำกับอาหารฉายรังสี มีเอกสารรับรองโดยระบุชื่อสถานที่ตั้ง และจัดเก็บบันทึกข้อมูลการใช้รังสีเป็นเวลา 5 ปี และสถานที่ฉายรังสีต้องได้รับการตรวจสอบรับรอง และขึ้นบัญชีจากผู้เชี่ยวชาญของอียูเสียก่อน<sup>2, 3</sup> ด้วยเหตุนี้การส่งออกอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารไปยังต่างประเทศ จำเป็นต้องตรวจสอบเพื่อควบคุมให้อาหารหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการฉายรังสี ต้องมีฉลากกำกับแสดงการฉายรังสีอย่างถูกต้อง

ดังนั้นการตรวจสอบอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อการติดฉลากกำกับว่าเป็นอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการฉายรังสี หรือแม้แต่มือถือประกอบที่ผ่านการฉายรังสี จึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง โดยเฉพาะในการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ วิธีการตรวจสอบอาหารฉายรังสีมีอยู่หลายวิธีทั้งวิธีทางกายภาพและชีวภาพ เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) จัดเป็นวิธีทางกายภาพวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับการตรวจสอบอาหารที่สามารถสกัดแยกสารประกอบอนินทรีย์ประเภทซิลิเกตออกมาได้ โดยดอนอมเกียรติและคณะ<sup>4</sup> ได้ศึกษาวิธีการตรวจสอบเครื่องปรุงรสฉายรังสีเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค TL ตามวิธีมาตรฐาน EN 1788<sup>5</sup> พบว่าเทคนิค TL สามารถยืนยันการฉายรังสีของตัวอย่างผงกระเทียมได้

อย่างถูกต้องแม้เก็บตัวอย่างไว้นาน 90 วัน อย่างไรก็ตามมีรายงานพบว่าชนิดและปริมาณแร่  
องค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหารบางประเภทมีผลต่อสัญญาณ TL ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความต้องการในการ  
ตรวจสอบอาหารฉายรังสี งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างกระเทียมที่มีต่อ  
ความเข้มของสัญญาณ TL โดยศึกษาชนิดและปริมาณของแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระเทียมผง  
ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความ  
เข้มของสัญญาณ TL กับปริมาณของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างกระเทียมผงฉายรังสี เปรียบเทียบกับ  
ตัวอย่างกระเทียมผงที่ไม่ได้ฉายรังสี

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 ตัวอย่างกระเทียมผง

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างกระเทียมผงจากห้องปฏิบัติการควบคุมคุณภาพของบริษัท ที เอ็ม ฟู้ดส์  
จำกัด จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ S1, S2 และ S3

### 2.2 การสกัดแยกแร่องค์ประกอบออกจากตัวอย่างกระเทียมผง

สกัดแยกแร่องค์ประกอบออกจากตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐาน EN-1788 โดยนำตัวอย่าง  
กระเทียมผง 50 กรัมมาเติมน้ำกลั่น คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้แล้วเทสารละลายชั้นบนทิ้ง จากนั้นล้าง  
ตะกอนด้วยน้ำกลั่น นำไปปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงก่อนนำมาเติม sodium polytungstate  
( $\text{Na}_6\text{W}_{12}\text{O}_{39} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , Fluka) จากนั้นดูดน้ำออกให้ sodium polytungstate ยังอยู่กับตะกอนด้านล่าง และ  
ละลายคาร์บอนในตัวอย่างที่ยังเหลืออยู่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก แล้วทำให้สารละลายเป็นกลางด้วย  
สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ล้างแร่องค์ประกอบที่ได้ด้วยอะซิโตน และอบที่อุณหภูมิ 50  
องศาเซลเซียส

### 2.3 การตรวจสอบชนิดและปริมาณของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างกระเทียมผงด้วยเทคนิคการเลี้ยว เบนรังสีเอกซ์ (XRD)

นำตัวอย่างกระเทียมผงทั้งที่สกัดแยกแร่องค์ประกอบออกมาแล้วและที่ยังไม่ได้สกัดแยกมา  
วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่องค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD (รุ่น A8 Advanced) โดยขั้นตอนการ  
เตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากจะต้องเกลี่ยให้ได้ผิวหน้าที่  
สม่ำเสมอเพื่อที่จะให้ค่าของรังสีเอกซ์ตกกระทบเท่ากันทุกระนาบ ตรวจสอบความเข้มของรังสีเลี้ยวเบน  
ที่มุม 5 ถึง 70 องศา นำเส้นสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพีคที่เกิดขึ้นในช่วงมุมองศาต่าง ๆ ด้วย  
โปรแกรม EVA เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลภายในเครื่อง เพื่อวิเคราะห์ชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบ  
ของตัวอย่างกระเทียมผง จากนั้นนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.6  
มิลลิกรัม มาวิเคราะห์หาค่า count เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างค่า count กับ

น้ำหนักของควอตซ์ แล้วนำค่า count ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาคำนวณน้ำหนักของแร่ซิลิกาที่เกิดขึ้นเป็นองค์ประกอบหลักของกระเทียมผงในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของตัวอย่าง

#### 2.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณ TL กับปริมาณของแร่องค์ประกอบ

นำแร่องค์ประกอบที่สกัดแยกได้จากตัวอย่างกระเทียมผง มาตรึงบนแผ่นอะลูมิเนียม (Al disc) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ด้วย carboxy methyl cellulose (Fluka) แล้วนำมาวิเคราะห์สัญญาณ TL ด้วยเครื่องอ่านสัญญาณ TL (Harshaw 4500) โดยตั้งค่า Time Temperature Profile (TTP)<sup>4</sup> ดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส

อัตราการให้ความร้อน 6 องศาเซลเซียสต่อวินาที

อุณหภูมิสูงสุด 350 องศาเซลเซียส

เวลาในการวัด 70 วินาที

ทำการวัดสัญญาณ TL ครั้งที่ 1 จะได้ glow curve 1 (G1) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณ TL กับเวลาหรืออุณหภูมิ จากนั้นนำแผ่นอะลูมิเนียมเดิมไปฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 กิโลเกรย์ ก่อนนำมาวัดสัญญาณ TL ครั้งที่ 2 จะได้ glow curve 2 (G2) เปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณ TL (G1/G2 หรือ TL ratio) รวมทั้งรูปร่างและตำแหน่งของ glow curve 1 ที่ได้จากตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายรังสี และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่องค์ประกอบในตัวอย่างกระเทียมผงฉายรังสีทั้ง 3 ชนิด กับความเข้มของสัญญาณ TL

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 3.1 การสกัดแยกแร่องค์ประกอบออกจากตัวอย่างกระเทียมผง

การสกัดแยกแร่องค์ประกอบออกจากตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสี คือ S1-0, S2-0 และ S3-0 และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ คือ S1-3, S2-3 และ S3-3 โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นในการสกัดแยก พบว่าเมื่อใช้น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น 60 กรัม จะสามารถสกัดแยกแร่องค์ประกอบได้ประมาณ 0.6 มิลลิกรัม จนถึง 3.9 มิลลิกรัม (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และเทคนิค TL ทั้งนี้ได้มีข้อกำหนดในเรื่องน้ำหนักของสารประกอบอนินทรีย์ที่แยกได้จากตัวอย่างในวิธีมาตรฐาน EN 1788 โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1– 5 มิลลิกรัม สำหรับน้ำหนักของสารประกอบอนินทรีย์ที่สกัดแยกได้จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่าง ส่งผลให้การใช้น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นมีความแตกต่างกัน เช่น การทดลองของ D' Oca *et al.*<sup>6</sup> ใช้ตัวอย่างผง oregano เริ่มต้นเพียง 15 กรัมสามารถสกัดแยกสารประกอบอนินทรีย์ได้น้ำหนักอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 มิลลิกรัม ส่วน Engin<sup>7</sup> ต้องใช้ตัวอย่างพริกไทยดำสูงถึง 400

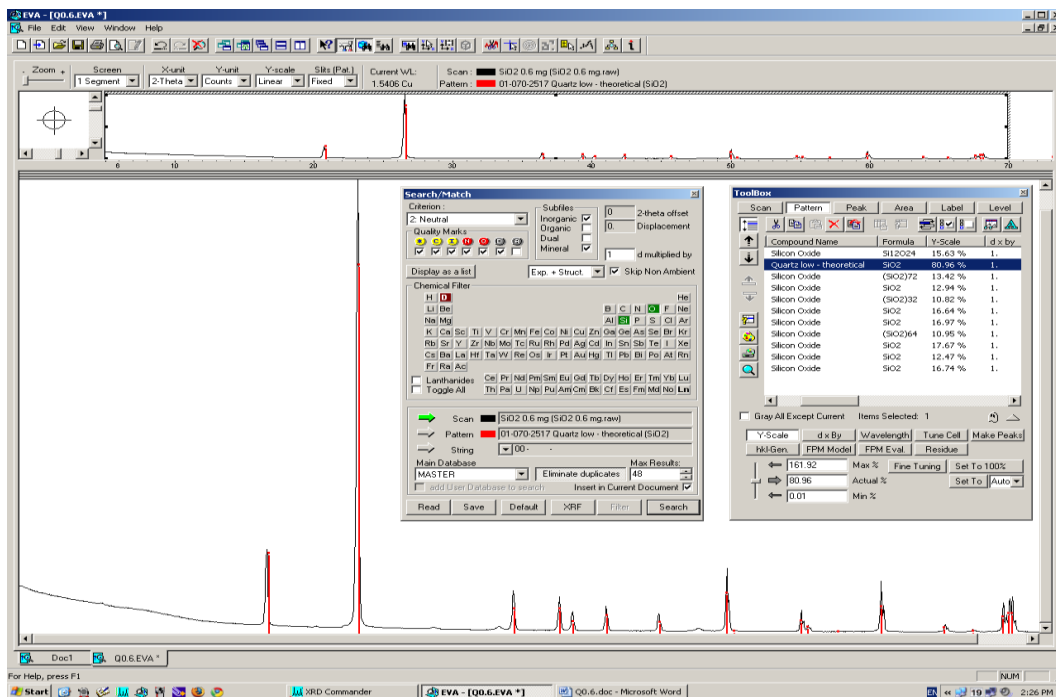
กรัม จึงจะเพียงพอต่อการสกัดแยกเพื่อวิเคราะห์สัญญาณ TL สำหรับนอนเมกเกอร์ติและคณะ<sup>4</sup> สามารถสกัดแยกสารประกอบอินทรีย์ออกจากตัวอย่างเครื่องปรุรงสได้ประมาณ 2 ถึง 8 มิลลิกรัม จากน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 50 กรัม

ตารางที่ 1 ปริมาณแร่ของประกอบที่สกัดได้จากตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ชนิด

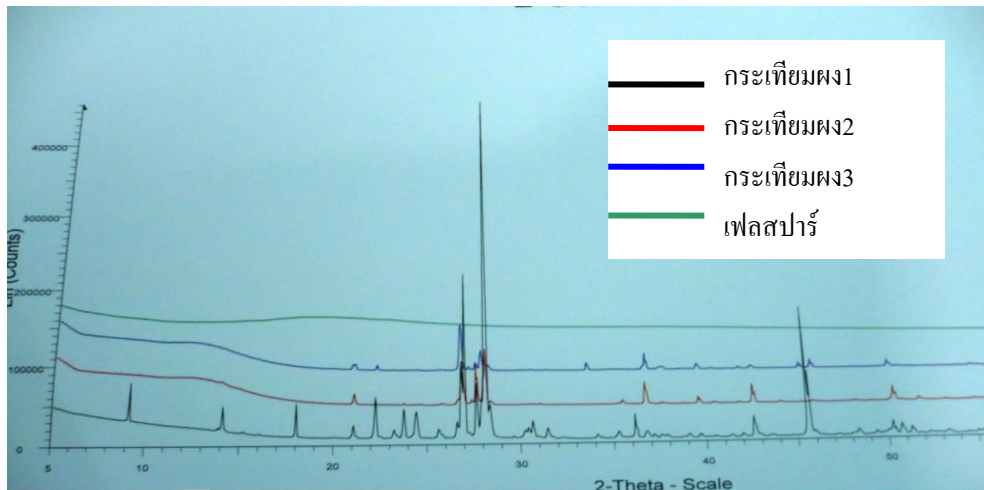
ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)	น้ำหนักของแร่ของประกอบที่สกัดได้ (mg)
S1-0	60.00	1.6
S1-3	60.06	3.9
S2-0	60.00	1.9
S2-3	54.46	0.9
S3-0	60.02	0.8
S3-3	55.40	0.6

### 3.2 การตรวจสอบชนิดและปริมาณของแร่ของประกอบในตัวอย่างกระเทียมผงด้วยเทคนิค XRD

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของควอตซ์บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าแสดงสเปกตรัมที่มีมุม 26.6 องศา (รูปที่ 1) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของแร่ของประกอบที่สกัดแยกได้จากตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 2) กับสเปกตรัมของควอตซ์บริสุทธิ์ พบว่าสเปกตรัมที่ได้มีความสอดคล้องกัน สรุปได้ว่าตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ชนิด มีแร่ควอตซ์เป็นแร่ของประกอบหลัก



รูปที่ 1 แสดง XRD สเปกตรัมของควอตซ์บริสุทธิ์



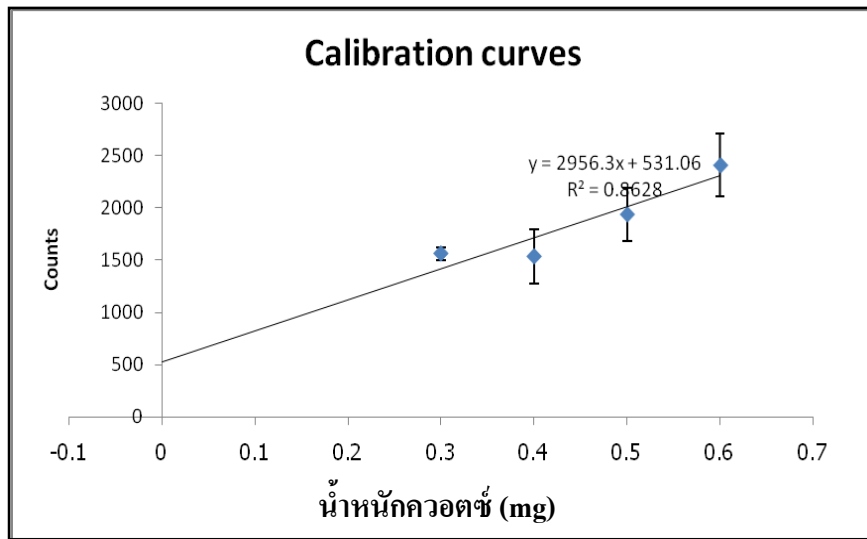
รูปที่ 2 แสดง XRD สเปกตรัมของตัวอย่าง กระจาเทียมผง S1 S2 และ S3 และตัวอย่างเฟอสฟอรัส

เมื่อนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.6 มิลลิกรัม มาวิเคราะห์หาค่า count เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างค่า count กับน้ำหนักของควอตซ์ พบว่า ค่า count ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักควอตซ์ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2 และ รูปที่ 3) โดยมีความสัมพันธ์เป็นกราฟตามเส้นตรงสมการ  $y = 2956.3x + 531.06$  เมื่อ  $x$  เป็นน้ำหนักควอตซ์ (มิลลิกรัม) และ  $y$  เป็นค่า count ที่วัดได้

จากสมการของกราฟมาตรฐานดังกล่าว สามารถคำนวณหาน้ำหนักควอตซ์ในตัวอย่าง กระจาเทียมผง ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าตัวอย่างกระจาเทียมทั้ง 3 ตัวอย่าง มีควอตซ์เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่าง S1 มีควอตซ์เป็นองค์ประกอบมากที่สุด ส่วนตัวอย่าง S2 และ S3 มีปริมาณควอตซ์ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kitis *et al.*<sup>8</sup> ซึ่งพบว่ากระจาเทียมที่ปลูกในพื้นที่แตกต่างกันจะมีปริมาณแร่องค์ประกอบแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 แสดงค่า counts ที่วัดได้จากเทคนิค XRD กับน้ำหนักควอตซ์บริสุทธิ์

น้ำหนักควอตซ์ (mg)	ค่า counts ที่วัดได้ (mean $\pm$ SD, n = 3)
0.3	1561.5 $\pm$ 60.9
0.4	1533.6 $\pm$ 256.7
0.5	1938.4 $\pm$ 252.6
0.6	2412.0 $\pm$ 300.2



รูปที่ 3 แสดงกราฟมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างค่า counts กับน้ำหนักของควอตซ์

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักของควอตซ์ในตัวอย่างกระเทียมผงที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่าง	ค่า จากXRD ที่วัดได้ (counts)	น้ำหนักควอตซ์ ที่ได้จากกราฟ มาตรฐาน(mg)	น้ำหนักตัวอย่าง เริ่มต้น (g)	น้ำหนักควอตซ์ ในตัวอย่าง (mg/g sample)
S1-0	18526	6.09	60.00	0.110
S1-3	19815	6.52	60.06	0.109
S2-0	11473	3.70	60.00	0.062
S2-3	12961	4.20	54.46	0.077
S3-0	12780	4.14	60.02	0.069
S3-3	13165	4.27	55.40	0.071

### 3.3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณ TL กับปริมาณของแร่องค์ประกอบ

ตาม European Standard EN 1788 วิธีการตรวจสอบอาหารฉายรังสีสามารถพิจารณาจากอัตราส่วนของสัญญาณ TL (TL ratio) ระหว่าง glow1 และ glow2 หากตัวอย่างใดมีค่า TL ratio มากกว่า 0.5 แสดงว่าตัวอย่างนั้นได้ผ่านการฉายรังสี ส่วนตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีจะมีค่า TL ratio ต่ำกว่า 0.1 และตัวอย่างที่ตรวจพบว่า TL ratio อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 จะต้องทำการทดลองซ้ำ เพื่อยืนยันผลการทดลองนั้น จากตารางที่ 4 พบว่าตัวอย่าง S1 ซึ่งมีควอตซ์เป็นองค์ประกอบมากที่สุดให้ค่า TL ratio น้อยกว่า 0.1 และมากกว่า 0.5 สำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสี และผ่านการฉายรังสีตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง ส่วนตัวอย่าง S2 และ S3 ทั้งที่ไม่ฉายรังสี (S2-0 และ

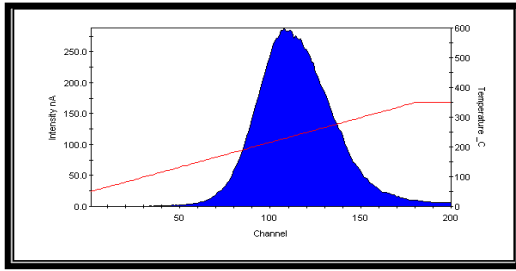
S3-0) และฉายรังสี (S2-3 และ S3-3) ให้ค่า TL ratio น้อยกว่า 0.1 ซึ่งเป็นผลที่ไม่ถูกต้องสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี จำเป็นต้องพิจารณาจาก glow curve (รูปที่ 4 - รูปที่ 9) ร่วมด้วย ซึ่งพบว่าตัวอย่าง S2 และ S3 ที่ผ่านการฉายรังสีจะพบตำแหน่งของ glow peak 1 ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยจากตัวอย่าง S2 และ S3 ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี ซึ่งสังเกตได้ยากมากจนไม่สามารถยืนยันว่าเป็นตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความเข้มของสัญญาณ TL ขึ้นกับน้ำหนักของควอตซ์ในตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่าง S2 และ S3 มีควอตซ์เป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อยกว่าตัวอย่าง S1 ส่งผลให้ค่า TL ratio ในตัวอย่าง S2 และ S3 ที่ฉายรังสี มีค่าต่ำมากและแปรผลว่าไม่ได้ฉายรังสีซึ่งไม่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามค่า TL ratio ในตัวอย่าง S1 ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 3 กิโลเกรย์ มีค่าเฉลี่ยเพียง 0.52 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างกระเทียมหลังจากการฉายรังสีไว้เป็นเวลานานกว่า 90 วัน เป็นผลให้เกิดการจางหายของสัญญาณ (fading)

ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักควอตซ์ของตัวอย่างกระเทียมผงทั้ง 3 ชนิด ทั้งที่ผ่านการฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ และที่ไม่ผ่านการฉายรังสีกับค่าความเข้มของสัญญาณ TL

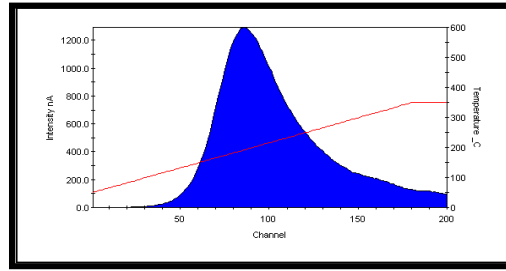
ตัวอย่าง	น้ำหนักควอตซ์ (mg/g sample)	ความเข้มของสัญญาณ TL (Counts)		TL ratio (G1/G2)
		G1	G2	
S1-0	0.110	$9.497 \times 10^{-7}$	49.87	$1.90 \times 10^{-8}$
S1-3	0.109	33.84	64.39	0.52
S2-0	0.062	$1.312 \times 10^{-7}$	46.06	$2.85 \times 10^{-9}$
S2-3	0.077	$3.471 \times 10^{-7}$	28.56	$1.22 \times 10^{-8}$
S3-0	0.069	$4.959 \times 10^{-8}$	24.11	$2.06 \times 10^{-9}$
S3-3	0.071	$2.854 \times 10^{-8}$	6.33	$4.51 \times 10^{-9}$



0 kGy



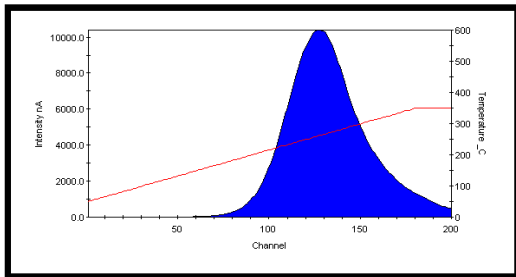
G1



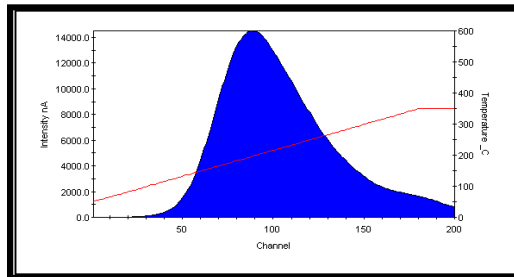
G2

รูปที่ 4 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 1 ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี (S1-0)

3 kGy



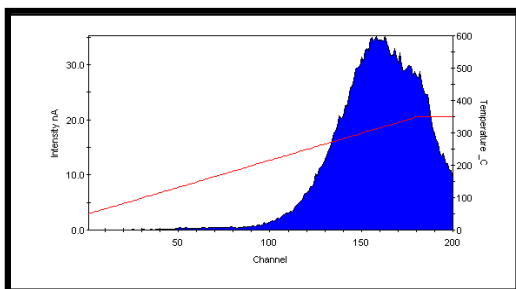
G1



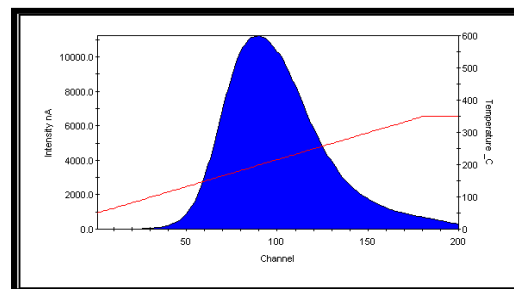
G2

รูปที่ 5 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 1 ที่ผ่านการฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ (S1-3)

0 kGy



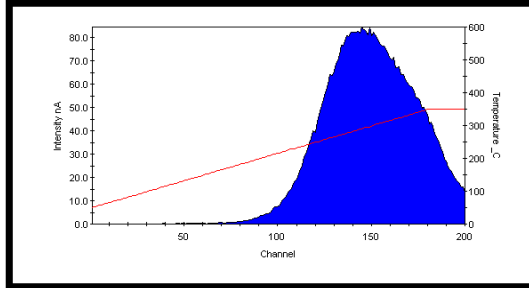
G1



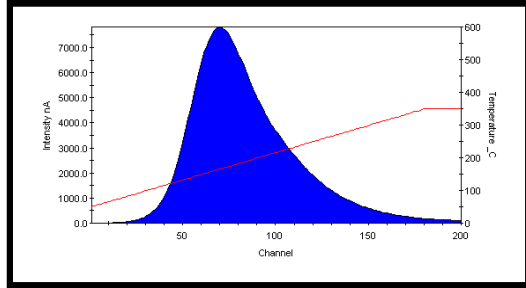
G2

รูปที่ 6 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 2 ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี (S2-0)

**3 kGy**



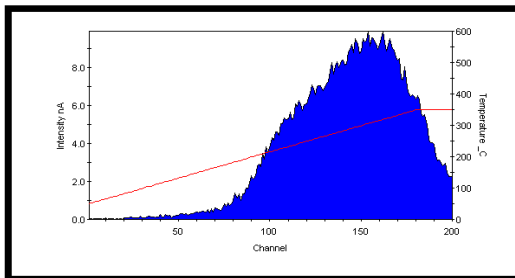
**G1**



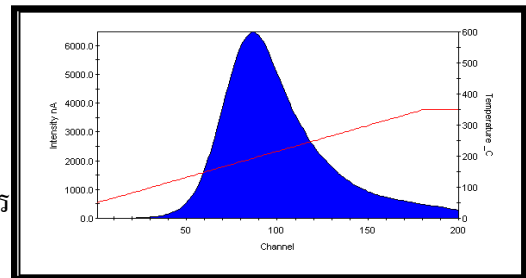
**G2**

รูปที่ 7 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 2 ที่ผ่านการฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ (S2-3)

**0 kGy**



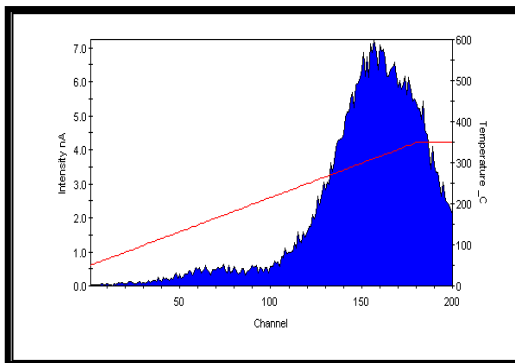
**G1**



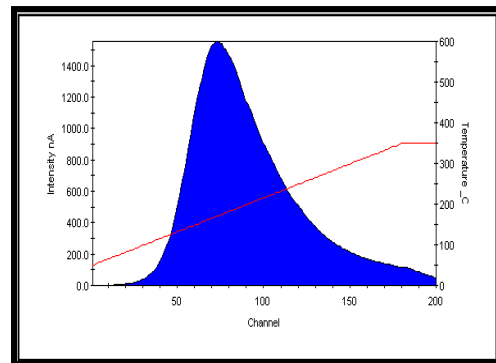
**G2**

รูปที่ 8 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 3 ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี (S3-0)

**3 kGy**



**G1**



**G2**

รูปที่ 9 แสดง glow curve ของตัวอย่างกระเทียมผง 3 ที่ผ่านการฉายรังสี 3 กิโลเกรย์ (S3-3)

#### 4. สรุป

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ซัลไฟด์ที่สกัดได้จากตัวอย่าง พบว่าตัวอย่าง  
กระเทียมผงทั้ง 3 ชนิดมีควอตซ์เป็นแร่องค์ประกอบหลักในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่าง  
กระเทียมผง 1(S1) มีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงสุด รองลงมาเป็นตัวอย่างกระเทียมผง 2  
(S2) และตัวอย่างกระเทียมผง 3 (S3) ตามลำดับ ทั้งนี้ความเข้มของสัญญาณ TL มีค่าเพิ่มขึ้นตาม  
น้ำหนักควอตซ์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของการตรวจสอบกระเทียมผงฉายรังสีด้วยเทคนิค  
TL

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้  
โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ขอขอบคุณศูนย์บริการฉายรังสีแกมมาและวิจัยนิเวศวิทยเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์  
เครื่องฉายรังสีแกมมาและเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ที เอ็ม ฟู้ดส์ จำกัด ที่ให้อนุเคราะห์ตัวอย่างกระเทียมผงเพื่อการวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

1. Institute of Food Science and Technology (IFST), 2006. The use of irradiation for food quality and safety. Information statement, London, p.1-19.
2. Directive 1999/2/EC of The European Parliament and of the Council of 22 Feb 1999 on The Approximation of The Law of Member State Concerning Foods and Food Ingredients Treated with Ionising Radiation.
3. Directive 1999/3/EC of The European Parliament and of the Council of 22 Feb 1999 on The Establishment of a Community List of Foods and Food Ingredients Treated with Ionising Radiation.
4. ถนอมเกียรติ จันทร์จิรจิตร, พรรณี พักคง, สมจิตต์ ปาละกาศ, วารุณี วารัญญานนท์, วันวิสา สุกประเสริฐ, 2551. การตรวจสอบเครื่องปรุงรสนายรังสีด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46, 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

5. European Standard EN 1788. 2001. Foodstuffs — Thermoluminescence Detection of Irradiated Food from which Silicate Minerals can be Isolated. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
6. D' Oca, M.C., Bartolotta, A., Cammilleri, M.C., Brai, M., Marrale, M., Triolo, A., Parlato, A., 2007. Qualitative and qualitative thermoluminescence analysis on irradiated oregano. Food Control. 18, 996-1001.
7. Engin, B. 2007. Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black pepers. Food Control. 18, 243-250.
8. Kitis, G., Zaragoza, E.C. , Furetta, C., 2005. Thermoluminescence properties of Chile Guajillo (paprika). Appl. Radiat. Isot. 63, 247-254.