

การประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี



นางสาววารกรณ์ สุดใจ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5515-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF THERMOLUMINESCENCE TECHNIQUE FOR DETECTION OF  
IRRADIATED SPICES.



Miss. Waraporn Sudchai

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-5515-5



วารสาร สุกใจ : การประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี (APPLICATION OF THERMOLUMINESCENCE TECHNIQUE FOR DETECTION OF IRRADIATED SPICES) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์  
อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางสาวทิพวรรณ นิ่งน้อย, 62 หน้า. ISBN 974-17-5515-5.

การประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสีตามวิธีมาตรฐานของประชาคมยุโรป EN 1788 (2001) โดยศึกษาเครื่องเทศชนิดพริกไทยดำและพริกแห้งที่ผ่านการฉายรังสีประมาณ 5 กิโลเกรย์ เปรียบเทียบกับเครื่องเทศชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการฉายรังสี เครื่องเทศเหล่านี้จะปะปนด้วยผลึกของสารอนินทรีย์จำพวกเศษหิน เศษฝุ่น และทราย ซึ่งประกอบไปด้วยผลึกของสารประกอบควอตซ์และเฟลสปาที่เรียกรวมกันว่าสารซิลิเกต ซึ่งเมื่อได้รับการฉายรังสีจะมีคุณสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ เมื่อสกักให้ได้สารซิลิเกตบริสุทธิ์โดยใช้วิธีการทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมโพลิทังเสตท ปริมาณของซิลิเกตที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง เพื่อให้เพียงพอต่อการวัดสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) เมื่ออ่านค่าของสัญญาณจากตัวอย่างครั้งแรกแล้วต้องนำไปฉายรังสีซ้ำด้วยปริมาณรังสีประมาณ 1 กิโลเกรย์ การจำแนกตัวอย่างเครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสีใช้วิธีวิเคราะห์จากค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL ที่ได้จากการอ่านครั้งแรกต่อครั้งที่สอง สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีจะมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL มากกว่า 0.5 ขณะที่ตัวอย่างที่ไม่เคยผ่านการฉายรังสีจะมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL ต่ำกว่า 0.1 และสำหรับตัวอย่างที่มีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ต้องมีการตรวจซ้ำเพื่อยืนยันผลจากการศึกษานี้พบว่าพริกแดงแห้งและพริกไทยดำที่ผ่านการฉายรังสีมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 1.08 - 1.93 และ 1.31 - 2.63 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายรังสีทั้งสองชนิดมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 0.002 - 0.046 ผลการวิจัยนี้สามารถจำแนกตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ผ่านการฉายรังสีได้อย่างถูกต้อง

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# #467 0475621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : THERMOLUMINESCENCE / SILICATE MINERAL

WARAPORN SUDCHAI: APPLICATION OF THERMOLUMINESCENCE TECHNIQUE FOR DETECTION OF IRRADIATED SPICES. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR ATTAPORN PATARASUMUNT, THESIS COADVISOR : MISS TIPPAWAN NINGNOI, 62 pp. ISBN 974-17-5515 -5.

Application of thermoluminescence technique for detection of irradiated spices according to the European Standard : EN 1788 (2001) was investigated. The spices were irradiated with gamma ray from Co-60 at about 5 kGy compared to the control (unirradiated spices). Normally, the spices in bulk quantity are contaminated by inorganic minerals called silicate mineral which are composed of quartz and feldspar. This silicate mineral shows possess thermoluminescence property after irradiation. In this study, pure silicate was isolated by chemical method using sodium polytungstate. The optimum weight was found to be approximately 4 milligram per sample for sufficient thermoluminescence (TL) signal measurement. After the first TL signal reading, sample was re-irradiated with gamma ray to approximately 1 kGy. The characterization of irradiated and unirradiated spices were analyzed and ratios of first and second TL signal readings were determined. From the investigation, the ratios of irradiated samples were found to be greater than 0.5 whereas those of unirradiated samples were less than 0.1. The samples needed to be re-analyzed for confirmation if the ratio fell between 0.1 - 0.5. From this studies, the ratios of irradiated dried paprika and black pepper were found to be 1.08 - 1.93 and 1.31-2.63 respectively. For those unirradiated samples, the ratios varied between 0.002 - 0.04 . The results reveal that the proposed method can be applied as a mean to identify the irradiated / unirradiated spices under studies.

Department Nuclear Technology.  
Field of study Nuclear Technology.  
Academic year 2005

Student's signature.....  
Advisor's signature.....  
Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยีทุก ๆ ท่าน

ขอขอบพระคุณคุณทิพวรรณ นิ่งน้อย นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ 8 ว สำนักคุณภาพความปลอดภัยทางอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูง ที่อนุเคราะห์เอกสาร เครื่องอ่านทีแอลดี เครื่องมือในการทดลอง และคอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณอรุณโกวิท สงวนศักดิ์ นักฟิสิกส์รังสี 8 วช หัวหน้ากลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภคด้านรังสี กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ สำหรับคำปรึกษาด้านวิชาการและข้อมูลในการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในกลุ่มงานวิเคราะห์น้ำ และวิเคราะห์เครื่องดื่มทางเคมี สำนักคุณภาพความปลอดภัยทางอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ นางสาวสุวรรณี ชีระภาพธรรมกุล นางสาวญาณิศา กังวานดิธาดา นางสาวใจภักดิ์ พรหมพันธ์พันธ์ นายเสกสรร ทองโพธิ์ นายวิระพร แจ่มศรี นางสาวกรรณิกา จิตติยศรา นางกัญญา พุกสุ่น นางกรรยา สนธิระ นางสาวเพ็ญพัทธ์ เมืองโคตร นายสุข เฟื่องทับ นางสาวจริญ นุ่มเอี่ยม นางสาววิภาดา คะเนนิต นางสาวนันทนา นิลนนท์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ในงานวิจัยนี้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณคุณอารักษ์ วิทิตธีรานนท์ และนางสาวนงค์นุช แจ็งสว่าง สำนักงาน-ปริมาณเพื่อสันติ สำหรับความอนุเคราะห์ตัวอย่างฉายรังสีและความสะดวกในการฉายรังสี

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความช่วยเหลือ ร่วมมือและเป็นกำลังใจ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....  | ฉ    |
| สารบัญ.....  | ช    |
| สารบัญตาราง.....   | ฉ    |
| สารบัญภาพ.....   | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ .....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....   | 3    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....   | 4    |
| 1.4 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....   | 4    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....   | 4    |
| 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 5    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 7    |
| 2.1 หลักการฉายรังสีและการเปลี่ยนแปลงของอาหารที่ผ่านการฉายรังสี.....  | 7    |
| 2.2 เทคนิคในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี.....   | 8    |
| 2.3 Electron Spin Resonance (ESR) .....  | 10   |
| 2.4 Photostimulated Luminescence (PSL) .....   | 11   |
| 2.5 DNA Comet Assay .....  | 12   |
| 2.6 Hydrocarbons and alkylcyclobutanones by GC .....   | 13   |
| 2.7 Thermoluminescence of silicate minerals .....  | 14   |
| 2.8 การประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศ<br>ที่ผ่านการฉายรังสี .....                  | 16   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 30   |
| 3.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์<br>เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี..... | 30   |
| 3.2 เครื่องอ่านที่แอลดีสำหรับอ่านค่าสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์จากตัวอย่าง.....                                      | 31   |
| 3.3 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีทางฟิสิกส์ .....   | 35   |
| 3.4 การสกัดด้วยสารเคมี .....   | 37   |

| บทที่                            | หน้า  |    |
|----------------------------------|---|----|
| 3.5                              | บรรจุตัวอย่างบน disc เพื่อทำการวัดสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ .....         | 38 |
| 3.6                              | การวัดสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ .....                                     | 40 |
| 3.7                              | หาปริมาณสารประกอบซิติเลทที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่าง ..... | 42 |
| 3.8                              | ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรระมัดระวังในขั้นตอนการทดลอง .....                  | 42 |
| บทที่ 4                          | ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                     | 43 |
| 4.1                              | ปริมาณการฉายรังสีของเครื่องเทศ .....                                      | 43 |
| 4.2                              | ผลการวิจัยปริมาณสารประกอบซิติเลทที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง .....            | 43 |
| 4.3                              | การจำแนกตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ .....   | 47 |
| บทที่ 5                          | สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                              | 54 |
| 5.1                              | สรุปผลการวิจัย.....   | 54 |
| 5.2                              | อภิปรายผลการวิจัย.....  | 57 |
| 5.3                              | ข้อเสนอแนะ .....  | 59 |
| รายการอ้างอิง .....              |   | 60 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... |   | 62 |

## สารบัญตาราง

ณ

หน้า

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | วิธีการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีของ European Committer for Standardisation .....  | 9  |
| 2.2 | การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ 5 เทคนิคในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี .....   | 9  |
| 3.1 | Chemical analysis by X-ray diffraction of inorganic dust particles collected from the<br>black pepper .....  | 24 |
| 4.1 | ข้อมูลการหาปริมาณน้ำหนักรังสีประกอบซิลิเกตที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์<br>ตัวอย่างพริกแดงแห้งฉายรังสี โดยทำการชั่งปริมาณน้ำหนักรังสีตั้งแต่ 1 – 6 mg ..... | 44 |
| 4.2 | ข้อมูลการหาปริมาณน้ำหนักรังสีประกอบซิลิเกตที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์<br>ตัวอย่างพริกไทยดำฉายรังสี โดยทำการชั่งปริมาณน้ำหนักรังสีตั้งแต่ 1 – 6 mg .....   | 45 |
| 4.3 | ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห้งเพื่อหาอัตราส่วน<br>ของ TL signal .....  | 47 |
| 4.4 | ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำเพื่อหาอัตราส่วน<br>ของ TL signal .....  | 48 |
| 4.5 | ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงป่น NST เพื่อหา<br>อัตราส่วน TL signal .....   | 49 |
| 4.6 | ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยขาวป่นNST เพื่อหา<br>อัตราส่วน TL signal .....   | 49 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | ฉลากเครื่องหมายอาหารฉายรังสีหรือเรคูรอน .....   | 2  |
| 2.1  | อุปกรณ์ของเครื่อง Electron Spin Resonance .....   | 10 |
| 2.2  | อุปกรณ์ของเครื่อง Photostimulated Luminescence .....  | 11 |
| 2.3  | อุปกรณ์การตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค DNA Comet Assay และภาพแสดงตัวอย่างที่<br>ฉายรังสี โดยเซลล์ที่ถูกทำลายจะปรากฏชิ้นส่วนขึ้นเหมือนเป็นดาวหาง (comet) .....            | 12 |
| 2.4  | ตัวอย่าง Gas chromatogram ที่ได้จากการสกัดตัวอย่างกรดไขมันบริสุทธิ์ .....   | 13 |
| 2.5  | ตัวอย่างกรดไขมันที่ไม่ฉายรังสี .....  | 13 |
| 2.6  | เปรียบเทียบกับตัวอย่างกรดไขมันที่ฉายโดยรังสีแกมมา 10 kGy .....  | 13 |
| 2.7  | (A)(B)(C)(D) แผนภาพของโครงสร้างผลึกเมื่อได้รับรังสีจะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอน - โฮล<br>เมื่อได้รับความร้อนจะคายพลังงานที่ได้รับตั้งแต่ต้นออกมาในรูปของแสง.....   | 14 |
| 2.8  | ระบบการให้ความร้อนของเครื่องอ่านที่แอลดี .....  | 15 |
| 2.9  | ความเฉพาะตัวของ glow curve ในผลึกแต่ละชนิด โดยตำแหน่งของพีคสูงสุดก็จะอยู่ที่<br>อุณหภูมิแตกต่างกันไป (A) ผลึก Na-feldspar ของ Moss (B) ผลึก wheat .....           | 16 |
| 2.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ TL กับ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) หรือเรียกว่า glow curve ของฟริก<br>ฉายรังสี 10 kGy เปรียบเทียบกับฟริกที่ไม่ผ่านการฉายรังสี ..... | 17 |
| 2.11 | ตัวอย่าง glow curve ของโปแตสเซียมเฟลสป่า เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ .....  | 18 |
| 2.12 | ตัวอย่าง glow curve ของโปแตสเซียมเฟลสป่า เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณปานกลาง .....  | 19 |
| 2.13 | ตัวอย่าง glow curve ของ mineral mixture เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ .....   | 20 |
| 2.14 | ตัวอย่าง glow curve ของ mineral mixture เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณปานกลาง .....   | 21 |
| 2.15 | ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ฉายด้วยปริมาณรังสีต่ำ ๆ .....  | 22 |
| 2.16 | ตัวอย่าง glow 1 และ glow 2 ของควอตซ์ฉายด้วยปริมาณรังสีต่ำ ๆ .....   | 22 |
| 2.17 | ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ฉายรังสีด้วยปริมาณปานกลางน้ำหนักตัวอย่าง 3.7 mg ....   | 23 |
| 2.18 | ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ฉายรังสีด้วยปริมาณปานกลางน้ำหนักตัวอย่าง 1.4 mg...   | 23 |
| 2.19 | การเปรียบเทียบสัญญาณ TL ของผลึกสารประกอบซิลิเกตที่สกัดมาจากตัวอย่าง<br>ฟริกไทยดำ .....  | 25 |
| 2.20 | การเปรียบเทียบสัญญาณ TL ของผลึกสารประกอบซิลิเกตที่สกัดมาจากตัวอย่างฟริก.....  | 26 |
| 2.21 | ความแตกต่างกันของรูปร่าง glow curve ฟริกฉายรังสีที่ปริมาณ 2 kGy .....   | 27 |
| 2.22 | ตัวอย่างสัญญาณ TL ของ glow 1 และ glow 2 ที่ฉายด้วยรังสีแกมมา 1kGy .....   | 28 |

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฉ

หน้า

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.1  | ตัวอย่างพริกแห้งชนิดต่าง ๆ .....  | 30 |
| 3.2  | ตัวอย่างพริกไทยดำชนิดต่างๆ .....  | 31 |
| 3.3  | อุปกรณ์เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น BSV06 .....   | 32 |
| 3.4  | อุปกรณ์เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excell .....  | 32 |
| 3.5  | ภาพอุปกรณ์เครื่องปั่นเหวี่ยง .....  | 33 |
| 3.6  | ภาพอุปกรณ์เครื่องอ่านทีแอลดี .....  | 34 |
| 3.7  | แผนผังกระบวนการสกัดสารประกอบซิติเลตบริสุทธิ์ออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางฟิสิกส์..  | 35 |
| 3.8  | อุปกรณ์การปั่นแยก Ultrasonic bath .....   | 36 |
| 3.9  | แผนผังกระบวนการสกัดสารประกอบซิติเลตบริสุทธิ์ออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางเคมี.....  | 37 |
| 3.10 | ตัวอย่างผงสารประกอบซิติเลตบริสุทธิ์ที่ได้หลังจากกระบวนการสกัดทางเคมี .....  | 38 |
| 3.11 | แผนผังกระบวนการบรรจุตัวอย่างบน disc .....   | 38 |
| 3.12 | ภาพการชั่งน้ำหนัก stainless steel disc โดยเครื่องชั่งดิจิตอล .....  | 39 |
| 3.13 | ภาพการบรรจุตัวอย่างบน stainless steel disc .....  | 39 |
| 3.14 | ถาดใส่ตัวอย่างที่ออกแบบไว้เพื่อระบุตำแหน่ง .....  | 40 |
| 3.15 | การจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างเพื่อฉายรังสีซ้ำปริมาณ 1 kGy ฉายรังสีโดยเครื่อง<br>กำเนิดรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excell ..... | 40 |
| 3.16 | แผนผังกระบวนการวัดสัญญาณ TL ของ glow1 และ glow 2 .....  | 41 |
| 4.1  | กราฟความสัมพันธ์ของค่า TL signal กับน้ำหนักที่ปริมาณตำแหน่งต่าง ๆ กันของ<br>พริกแดงแห้ง .....                                     | 46 |
| 4.2  | กราฟความสัมพันธ์ของค่า TL signal กับน้ำหนักที่ปริมาณตำแหน่งต่าง ๆ กันของ<br>พริกไทยดำ .....                                       | 46 |
| 4.3  | glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห้งจังหวัดตรังฉายรังสี โดยที่ glow 2<br>ฉายรังสีที่ 1 kGy .....                              | 50 |
| 4.4  | glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห้งจังหวัดตรังควบคุม โดยที่ glow 2<br>ฉายรังสีที่ 1 kGy .....                                | 50 |
| 4.5  | glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห้งจังหวัดอุบลราชธานี โดยที่ glow 2<br>ฉายรังสีที่ 1 kGy ในแต่ละ disc .....                  | 51 |
| 4.6  | glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำจังหวัดจันทบุรีฉายรังสี โดยที่ glow 2<br>ฉายรังสีที่ 1 kGy .....                            | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 4.7 glow 1 และ g low 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำจังหวัดจันทบุรีควบคุม โดยที่ glow 2<br>ฉายรังสีที่ 1 kGy ..... | 52 |
| 4.8 glow 1 และ g low 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำ กทม. โดยที่ glow 2 ฉายรังสี<br>ที่ 1 kGy ในแต่ละ disc .....   | 53 |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารที่ผลิตขึ้นเพื่อการบริโภคในแต่ละปีมีถึงร้อยละยี่สิบห้าที่ต้องสูญเสียไปด้วยสาเหตุจากการแพร่พันธุ์ของแมลงในระหว่างการเก็บรักษา การสุกหรือการงอกก่อนเวลาจำหน่าย มีพยาธิและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการติดเชื้อโรคมายังผู้บริโภค เช่น การปนเปื้อนของแบคทีเรียจำพวก E.Coli และ Salmonella เป็นต้น ดังนั้นวิธีการถนอมอาหารหลากหลายวิธีจึงถูกนำมาใช้ เช่น การตากแห้ง การดอง การรมควัน การลดอุณหภูมิ การใช้ความร้อน และการนำสารเคมีมาใช้ถนอมอาหาร เช่น การใช้ Ethylene dibromide (EDB) เพื่อทำลายไข่แมลงและจุลินทรีย์ แต่ในที่สุดก็ต้องมีการประกาศยกเลิกการใช้สารเคมี เนื่องจากก่อให้เกิดมะเร็งและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีการถนอมอาหารมีความก้าวหน้ามากขึ้น นักวิจัยได้เริ่มพัฒนาการนำรังสีมาใช้ประโยชน์ในการคงสภาพ คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 โดยศึกษาต้นกำเนิดรังสีชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการฉายรังสีในอาหาร และปริมาณรังสีในระดับต่างๆ ที่ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการถนอมอาหาร สามารถเก็บรักษาถนอมอาหารไว้บริโภคนานขึ้น และอาหารนั้นยังคงรักษาสภาพเดิมรวมถึงรสชาติก็มีการเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติน้อยที่สุด ซึ่งสามารถกำหนดได้เป็น 3 ระดับดังนี้ [1]

1. ปริมาณรังสีต่ำกว่า 1 กิโลเกรย์ เพื่อยับยั้งการงอก ชะลอการสุก และทำลายไข่แมลง
2. ปริมาณรังสีตั้งแต่ 1 ถึง 10 กิโลเกรย์ เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ และลดปริมาณเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดโรคที่ไม่มีสปอร์และปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร
3. ปริมาณรังสีตั้งแต่ 10 ถึง 15 กิโลเกรย์ เพื่อฆ่าเชื้อโรคกำจัดไวรัส

(ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขไม่อนุญาตให้ใช้)

ขณะที่นำมาใช้ประโยชน์ก็ต้องศึกษาถึงผลกระทบต่ออันซบซ้อนของรังสีที่มีผลต่ออาหารทั้งทางด้านกายภาพและชีวภาพ เนื่องจากยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ผู้บริโภคยังขาดความเข้าใจและสงสัยถึงความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี ทำให้องค์การอนามัยโลก องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ และทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ได้ทำการทดลองและสรุปผลการทดสอบความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี ในปี พ.ศ. 2524 ว่า [2] “อาหารใด ๆ ก็ตามที่ผ่านการฉายรังสีในปริมาณเฉลี่ยไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ ไม่ก่อให้เกิดโทษอันตราย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาพิเศษทางโภชนาการและจุลชีววิทยา และไม่จำเป็นต้องทดสอบความปลอดภัยอีกต่อไป” โดยพลังงานของรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีอาหารสำหรับเครื่องกำเนิดรังสีอิเล็กทรอนิกส์ ต้องไม่เกิน 10 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ และพลังงานของรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์หรือแกมมา ต้องไม่เกิน 5 ล้าน

อิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้นที่ความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นสำคัญ เนื่องจากพลังงานระดับดังกล่าวจะไม่เหนี่ยวนำให้เกิดอันตรายในอาหารที่ฉายรังสี และไม่เหนี่ยวนำให้อาหารนั้นเป็นอาหารรังสี แหล่งกำเนิดรังสีที่นิยมใช้คือ โคบอลต์-60 และซีเซียม-137

การฉายรังสีอาหารต้องปฏิบัติตามหลักมาตรฐานอาหารฉายรังสี ต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบก่อนการฉายรังสี ให้มีจุลินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม มีมาตรการการเก็บรักษาบรรจุภัณฑ์หลังจากฉายรังสี ต้องมีการติดฉลากอาหารแสดงเครื่องหมายกำกับระบุว่าเป็นอาหารที่ได้ผ่านการฉายรังสีแล้ว และต้องไม่นำมาฉายรังสีซ้ำอีก สำหรับประเทศไทยใช้ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2529 ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐานสากล [3]



**The raduron sign  
for food labelling**

การติดฉลากเครื่องหมายอาหารฉายรังสี ซึ่งจะแสดงข้อความว่าอาหารได้ผ่านการฉายรังสีแล้ว พร้อมทั้งระบุวัตถุประสงค์ในการฉายรังสี ชื่อและที่ตั้งของผู้ผลิตและผู้ฉายรังสี วันเดือนปีที่ทำการฉายรังสี เพื่อให้ผู้บริโภคได้ทราบข้อมูลดังกล่าว [1]

รูปที่ 1.1 ฉลากเครื่องหมายอาหารฉายรังสีหรือเรดูรอน

เป็นที่ทราบกันดีว่าผู้ประกอบการผลิตอาหารกว่าร้อยละสี่สิบทั่วโลก หรือคิดเป็นอาหารมากกว่าสองแสนตันต่อปี นิยมใช้รังสีเพื่อการถนอมอาหาร เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำและมีความน่าสนใจต่อการลงทุน อาหารส่วนใหญ่เป็นประเภทวัตถุดิบเช่น เครื่องเทศ เครื่องปรุงรส อาหารแช่แข็ง หัวหอม มันฝรั่ง มะละกอ และผลไม้สดหรือผลไม้แห้ง รวมทั้งอาหารแปรรูปที่มีส่วนผสมของไข่เป็นส่วน

ประเทศที่พัฒนาแล้วมีการยอมรับและบริโภคอาหารฉายรังสี โดยจะมีมาตรการควบคุมอาหารที่จำหน่ายภายในประเทศไม่ว่าจะผลิตเองหรือมีการนำเข้าจำหน่าย หากมีการฉายรังสีจะต้องติดฉลาก เพื่อแจ้งให้ผู้บริโภคทราบและเป็นเครื่องตัดสินใจในการเลือกซื้อ แต่ก็ยังมีอาหารอีกมากมายที่ผ่านการฉายรังสี ทั้งชนิดที่พร้อมบริโภค เป็นวัตถุดิบในการแปรรูป หรือเป็นส่วนผสมของอาหารชนิดอื่น ออกวางขายในท้องตลาดโดยไม่มีการติดฉลากว่าผ่านการฉายรังสีมาแล้ว

ดังนั้นการตรวจสอบอาหารฉายรังสีด้วยเทคนิคต่าง ๆ จึงได้ถูกนำมาใช้และวิจัยขึ้นในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ของประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยเฉพาะสหภาพยุโรปหรือ EU มีถึง 8 ประเทศที่มีการจัดตั้งหน่วยงานการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี เพื่อให้แน่ใจในว่าอาหารฉายรังสีได้ติดฉลากแสดงเครื่องหมายกำกับอย่างถูกต้องหรืออาหารฉายรังสีใดหลีกเลี่ยงการติดฉลาก สำหรับเทคนิคที่ตรวจสอบจะศึกษาในด้านต่าง ๆ กันหลากหลายประเภท เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา

รวมไปถึงการศึกษาใน DNA สำหรับเทคนิคที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีมีดังนี้ เช่น DNA Comet Assay, Electron Spin Resonance Spectrometry (ESR), Hydrocarbons Thermoluminescence (TL) และ Pulse photostimulated luminescence (PSL) ซึ่งหากตรวจพบว่ามี การฉายรังสีโดยไม่ติดฉลาก อาหารดังกล่าวจะถูกส่งกลับประเทศต้นทางทันที

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีโรงงานฉายรังสีอาหารที่ได้มาตรฐาน มีอาหารจาก ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลายประเภทที่ผ่านการฉายรังสี แต่เท่าที่พบมีเพียงอาหารประเภทเห็ดหมก เท่านั้นที่ติดฉลากเป็นอาหารฉายรังสี ส่วนอาหารประเภทอื่นอีกจำนวนมากไม่มีการติดฉลากว่าผ่านการฉายรังสีมาก่อน เช่น อาหารทะเลแช่แข็ง สมุนไพร พริกแห้ง พริกไทย หอมหัวใหญ่ มะละกอกะเทียม รวมถึงอาหารแปรรูปอื่น ๆ เช่นการนำพริกแห้งที่ผ่านการฉายรังสีมาเป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงรสในอาหารสำเร็จรูป หากมีการนำอาหารดังกล่าวทั้งหมดออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยที่ผู้ผลิตหรือผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ไม่ทราบมาก่อนว่าอาหารนั้น ผ่านการฉายรังสีมาแล้ว หากส่งไปจำหน่ายในประเทศที่มีมาตรการการตรวจพิสูจน์แล้วตรวจพบว่าผ่านการฉายรังสี อาหารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกส่งกลับทันที ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและรายได้เข้าประเทศ และเสียโอกาสทางการค้าระหว่างประเทศ ขณะเดียวกันเนื่องจากการเปิดตลาดการค้าเสรีทำให้มีอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารทางการเกษตรที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ได้ติดฉลากการฉายรังสี ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดนำเข้าจำหน่ายในประเทศ สินค้าบางประเภทเข้ามาเป็นคู่แข่งของสินค้าเกษตรภายในประเทศทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาดอันนำไปสู่ความเดือดร้อนของเกษตรกรผู้ผลิต

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ ต้องการศึกษาและเผยแพร่วิธีการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ซึ่งสามารถใช้เป็นเทคนิคการตรวจยืนยัน เพื่อกระตุ้นให้มีการศึกษาวิจัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อันจะนำไปสู่การพัฒนาการตรวจวิเคราะห์สำหรับการคุ้มครองผู้บริโภคและเป็นการช่วยเหลือผู้ส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศ นอกจากนั้นอาจนำไปสู่การตรวจพิสูจน์อาหารนำเข้าและห้ามนำเข้าหากไม่เป็นตามข้อกำหนดของประเทศและท้ายสุดเป็นการให้ความรู้กับผู้ที่สนใจ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทดลองใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศบางชนิดที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศบางชนิดได้แก่ พริกแห้ง พริกไทยดำแห้ง ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาอย่างน้อยชนิดละ 5 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีตามมาตรฐาน European Standard EN 1788 [4]
2. หาปริมาณสารประกอบซิติเกดที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่างตามข้อ 1 ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

### 1.4 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและวางแผนการวิจัย
2. ศึกษาเครื่องอ่าน TLD dosimeter และปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ TL signal
3. ทำการแยกสารประกอบซิติเกดบริสุทธิ์ออกจากตัวอย่างเครื่องเทศ ด้วยวิธีการทางฟิสิกส์ และเคมีตามมาตรฐาน European Standard EN 1788
4. หาปริมาณสารประกอบซิติเกดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่างด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์
5. นำสารประกอบซิติเกดในปริมาณที่เหมาะสม ไปตรวจวิเคราะห์ TL signal ตามมาตรฐาน European Standard EN 1788
6. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้
7. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การตรวจพิสูจน์ยืนยันผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดที่ฉายรังสี ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ว่าเป็นอาหารที่ได้ผ่านการฉายรังสีมาแล้วหรือไม่ ทำให้ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารฉายรังสีมีความมั่นใจในสินค้าชนิดนั้น ทำให้สามารถเลือกบริโภคได้ตามความต้องการ และสามารถตรวจยืนยันเพื่อให้มีการติดฉลากอาหารฉายรังสีตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 103 พ.ศ. 2529 ที่ออกตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสามารถนำเทคนิคการตรวจนี้มาช่วยเหลือผู้ประกอบการส่งออกอาหาร หรือผู้ประกอบการอาหารแปรรูปให้มีความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ของตนเองผ่านการฉายรังสีหรือไม่ หากผ่านการฉายรังสีก็ควรที่จะติดฉลากการฉายรังสีในอาหารให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล หากไม่ติดฉลากแล้วประเทศคู่ค้าตรวจพบ สินค้าดังกล่าวจะถูกส่งกลับทำให้สูญเสียมูลค่าและโอกาสทางเศรษฐกิจของประเทศ

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กำพล แต่พานิช (ค.ศ. 1997) [5] ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การตรวจพิสูจน์ตัวอย่างธัญพืชขายรังสีบางชนิด โดยประยุกต์ใช้เทคนิคอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์สเปกโตรเมตรี วิเคราะห์หาเรดิคอลลิสระในเมล็ดข้าวโพด เมล็ดถั่วเขียว หัวมันฝรั่ง และเหง้าขิง โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนเรดิคอลลิสระ ระหว่าง ธัญพืชที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสี พบว่าธัญพืชที่มีลักษณะแห้งคือ เมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการฉายรังสีจะมีจำนวนของเรดิคอลลิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในวันแรกหลังฉายรังสี และลดปริมาณของเรดิคอลลิสระลงเรื่อย ๆ จนใกล้เคียงกับค่าปกติในตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีประมาณวันที่ 30 จะสังเกตได้ว่า ธัญพืชที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ คือหัวมันฝรั่งและเมล็ดข้าวโพดจะมีจำนวนเรดิคอลลิสระที่เพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์น้อยกว่าธัญพืชที่อยู่ในสภาพแห้ง สามารถสรุปได้ว่าวิธีอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์สเปกโตรเมตรีเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจหาเรดิคอลลิสระในธัญพืชขายรังสีเพื่อการยืดระยะเวลาเก็บรักษาบางชนิดได้ และจะให้ผลดีกับธัญพืชที่มีลักษณะแห้งและนำมาตรวจภายใน 30 วัน

ชนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์ (ค.ศ. 1999) [6] ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การตรวจวัดอนุมูลอิสระในตัวอย่าง (ข้าวเจ้า ถั่วเขียว พริกไทยขาวเม็ด พริกไทยขาวป่น และยาเขียว) บรรจุรูปแบบธรรมดา และแบบสุญญากาศ ที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสีด้วยเครื่องอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์สเปกโตรเมตรี พบว่าตัวอย่างที่ฉายรังสีมีปริมาณอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีตลอดช่วงเวลา 58 วัน ตัวอย่างที่ฉายรังสีจะมีปริมาณอนุมูลอิสระสูงมากในวันแรกหลังจากนั้นจะลดลงอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียล หลัง 15 วัน ไปแล้วปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มคงที่ ตัวอย่างที่บรรจุแบบสุญญากาศเมื่อฉายรังสีจะมีปริมาณอนุมูลอิสระต่ำกว่าแบบบรรจุธรรมดา

ศิริกัญจน์ นาวพันธ์ (ค.ศ. 2005) [7] ได้ศึกษาการตรวจสอบอาหารฉายรังสีด้วยเทคนิค DNA comet assay ในขั้นต้นได้ทำการทดลองกับเมล็ดถั่วเขียวฉายรังสี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการตรวจสอบโดยเน้น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณตัวอย่าง และเวลาที่ใช้อยู่เซลล์ (lysis time) พบว่าในสภาวะที่ใช้ตัวอย่างถั่วเขียวหนัก 450 มิลลิกรัม เวลาอยู่นาน 30 นาที สำหรับเมล็ดถั่วเขียวฉายรังสี จะมองเห็นชิ้นส่วนของ DNA เคลื่อนที่ไปยังขั้วแอนโอดมีลักษณะคล้ายดาวหางและความยาวของส่วนหางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี สำหรับตัวอย่างเมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี (control) พบว่าเซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือมีเพียงหางสั้น ๆ สรุปว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบเมล็ดถั่วเขียวฉายรังสีด้วยเทคนิค DNA comet assay

Christiane Soika, Henry Delincee (ค.ศ. 2000) [8] ได้ทำการวิจัยเรื่องการจำแนกอาหารฉายรังสีด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL) โดยเปรียบเทียบแสงสว่างลูมิเนสเซนซ์ (TL signal) จากสารประกอบซิลิเกตที่สกัดมาได้จากตัวอย่างอาหาร เปรียบเทียบกันกับสัญญาณ TL ที่วัดในครั้ง

ที่ 2 ที่ได้จากการนำตัวอย่างเดิมไปฉายรังสีที่ทราบค่าซึ่งเป็นการ normalize ค่าสัญญาณ TL ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบซิลิเกต ว่าส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยเฟลสปา และควอตซ์ และศึกษาคุณสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ จาก glow curve ของสารประกอบเมื่อถูกฉายรังสีชนิดต่างๆ ได้แก่รังสีแกมมา รังสีอิเล็กตรอน รังสีเบตา และรังสี UV รวมทั้งศึกษาหาชนิดของรังสีที่เหมาะสมในการฉายรังสีเพื่อ normalize ผลการวิจัยพบว่าลักษณะรูปร่างของ glow curve ที่วัดครั้งที่ 1 และวัดครั้งที่ 2 จะขึ้นกับชนิดของสารประกอบที่สกัดมาได้จากตัวอย่าง ส่วนชนิดของรังสีที่เหมาะสมสำหรับฉายรังสีเพื่อ normalize คือรังสีแกมมา รังสีอิเล็กตรอน และรังสีเบตา

Birol Engin (ค.ศ. 2005) [9] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาคูสมบัติเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของสารอนินทรีย์อื่นได้แก่สารประกอบซิลิเกตที่ฉายรังสี ซึ่งสกัดมาได้จากตัวอย่างพริกไทยดำ ผลปรากฏว่าสามารถจำแนกตัวอย่างพริกไทยดำที่ไม่ฉายรังสี และฉายรังสีตั้งแต่ 1-10 kGy ได้อย่างชัดเจน ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาสารประกอบอนินทรีย์พบว่าส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เฟลสปา ควอตซ์ และมีสารประกอบ ของดิน โคลนปนอยู่เล็กน้อย และศึกษาคูสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ จาก glow curve พบว่ายอดฟิคลำดับที่ 2 ซึ่งเป็นยอดฟิคสูงสุดจะอยู่ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 240 °C ซึ่ง glow curve นี้มาจากการรวมสัญญาณของ glow curve ที่มาจาก เฟลสปา และ ควอตซ์

G. Kitis , E. Cruz Zaragoza , C. Furetta (ค.ศ. 2005) [10] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาคูสมบัติเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ของสารประกอบอนินทรีย์ อื่นได้แก่สารประกอบซิลิเกตที่ฉายรังสี ซึ่งสกัดมาได้จากตัวอย่างพริก Chile Guajillo Mexicano ผลปรากฏว่าสามารถจำแนกตัวอย่างพริกไทยดำที่ไม่ฉายรังสี และฉายรังสีตั้งแต่ 1-10 kGy ได้อย่างชัดเจน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสารประกอบ inorganic พบว่าส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ควอตซ์ 60 % albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) 30 % และมี ortose ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) 10 % ปนอยู่เล็กน้อย และศึกษาคูสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ จาก glow curve ว่ายอดฟิคสูงสุดจะอยู่ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 180 °C ซึ่งสามารถตอบสนองต่อรังสีและคงรูปร่าง glow curve เดิมได้เมื่อทำการทดลองฉายรังสีแล้วอ่านซ้ำถึง 10 รอบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

#### 2.1 หลักการฉายรังสีและการเปลี่ยนแปลงของอาหารที่ผ่านการฉายรังสี

เมื่อมีการฉายรังสีผ่านเข้าไปในตัวกลางใดๆ จะเกิดการดูดกลืนพลังงานของรังสีในตัวกลางนั้น มากน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดและพลังงานของรังสี และจะกำหนดเป็นค่าพลังงานดูดกลืนต่อระยะทางที่ รังสีวิ่งผ่าน

$$\text{linear energy transfer (LET)} = dE_{\text{abs}}/dx$$

ยกตัวอย่าง ถ้ารังสีแกมมาและลำอิเล็กตรอนถูกดูดกลืนในตัวกลางน้ำ 1 kGy จะมีค่า LET ประมาณ 3.5 และ 7 keV/ $\mu\text{m}$  ตามลำดับ เมื่อรังสีถูกดูดกลืนในตัวกลาง โดยเฉพาะที่เป็นสารอินทรีย์แล้วจะได้ โมเลกุลที่อยู่ในภาวะกระตุ้น ไอออน อิเล็กตรอนและอนุมูลอิสระซึ่งว่องไวในการชักนำให้เกิด โมเลกุลใหม่ขึ้นจะเกิดมากน้อยเพียงใดกำหนดเป็นจำนวน โมเลกุลที่เกิดต่อพลังงานดูดกลืน 100 eV หรือเรียกว่าค่าจี (G – value) ค่านี้ไม่ขึ้นกับค่า LET แต่อย่างไร แต่จะขึ้นกับ dose rate ตัวอย่างค่าจีที่ dose rate สูงมาจากการฉายรังสีด้วยลำอิเล็กตรอนและที่ dose rate ปานกลางมาจากการฉายด้วยรังสี แกมมาของโคบอลต์-60 [11]

อาหารที่ผ่านการฉายรังสีจะไม่มีรังสีตกค้าง ซึ่งจะหมดไปทันทีที่ปิดสวิตซ์เครื่องฉายรังสี และพลังงานของรังสีที่ใช้ไม่สูงพอที่จะเหนี่ยวนำให้อาหาร หรือสิ่งปนเปื้อนในอาหาร กลายเป็น สารรังสี แตกต่างจากอาหารปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีที่อาจมีอันตรายหากมีการนำมารับประทาน เรา สามารถตรวจพิสูจน์ว่าอาหารผ่านการฉายรังสีหรือไม่ โดยวิเคราะห์ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ไปของอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนในอาหารนั้น ซึ่งการตรวจสอบจะดูที่การเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละ ด้านดังนี้ [1] [12]

#### 2.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

2.1.1.1 รังสีทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free Radicals) คือ โมเลกุลที่มีความว่องไว ในการเกิดปฏิกิริยา จะมีอิเล็กตรอนขาดคู่อยู่ในวงโคจรนอกสุด อนุมูลอิสระ 2 ตัว อาจรวมกันโดย เอาอิเล็กตรอนที่ขาดคู่มาเข้าคู่กัน ทำให้อนุมูลอิสระนี้มีอายุสั้นแล้วก็สลายตัวไป

2.1.1.2 รังสีทำให้เกิดเรดิโอไลซิส ในอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ โดยการทำให้ ปฏิกิริยากับ โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร ได้โมเลกุลที่เล็กลงหลายโมเลกุลเรียกรวมกันว่า เรดิโอไลติกโปรดัก

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหารและโภชนาการ การฉายรังสีทำให้คุณค่าอาหาร เปลี่ยนแปลงขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร ปริมาณรังสีที่ฉาย อาจจะทำให้วิตามินสูญเสียไปบ้าง

**2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา** โดยรังสีจะไปทำลายเซลล์ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ (gene) หรือทำลายการแบ่งเซลล์ ทำให้สิ่งมีชีวิตในอาหาร เช่น เชื้อรา ยีสต์ พยาธิ หรือแมลง ตายได้ ทำให้เกิดขบวนการทางชีวเคมีส่งผลให้ผลไม้สุกช้าลง ยับยั้งการงอกได้

**2.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส** อาหารที่ฉายรังสีอาจมีสี กลิ่น เนื้อ สัมผัส เปลี่ยนไปขึ้นกับชนิดอาหาร ปริมาณรังสี และอุณหภูมิขณะทำการฉายรังสี แต่การเปลี่ยนแปลง บางครั้งทำให้เกิดผลดี เช่น ผลไม้และผักแห้งที่ฉายรังสีทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนตัว ใช้เวลาน้อยในการหุงต้ม

**2.1.5 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ** คือเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของพลังงาน ทำให้ อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานปกติถูกกระตุ้นไปกักไว้ในบริเวณที่เรียกว่า trap ซึ่งสามารถคงสภาพ อยู่ได้ในสภาพอุณหภูมิปกติ แต่เมื่อได้รับความร้อนหรือแสงอินฟราเรด จะคายพลังงานออกมาใน รูปของแสงสว่าง

การใช้ความร้อนก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเช่นกัน ได้อินนูลิโอสระ และสารต่าง ๆ แต่เรียกรวมกันว่าเทอร์โมไลติกโปรดัก จากการเปรียบเทียบเรดิโอไลติกโปรดักกับ เทอร์โมไลติกโปรดัก ก็พบว่าสารส่วนใหญ่เป็นชนิดเดียวกัน และเป็นสารที่ตรวจพบได้ในอาหารที่ ไม่ได้ฉายรังสี สำหรับการฉายรังสีปริมาณรังสีเฉลี่ย 10 กิโลเกรย์ จะเกิดเรดิโอไลติกโปรดัก 300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักอาหาร 1 กิโลกรัม และไม่ได้เป็นสารพิษดังที่เข้าใจกัน

## 2.2 เทคนิคในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี

ปัจจุบันสหภาพยุโรปหรือ EU เป็นผู้นำในการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ ในการตรวจพิสูจน์และ จำแนกอาหารฉายรังสี เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคว่า มีหน่วยงานที่ออกมากำกับดูแล อาหารฉายรังสีอย่างใกล้ชิด และมีการตรวจติดตามการติดฉลากกำกับว่ากระทำอย่างถูกต้องหรือไม่ โดยมีองค์กรและห้องปฏิบัติการที่ชื่อว่า European Committee for Standardisation (CEN) ได้ออก เผยแพร่มาตรฐานและเทคนิคในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี ซึ่งจำแนกตามชนิดของอาหารและ วิธีการที่แตกต่างกันในการตรวจพิสูจน์ (Standardized Detection Methods) หรือ EN Standards ที่มีการทดสอบจนเป็นที่ยอมรับให้เป็นมาตรฐานสำหรับห้องปฏิบัติการทั่วโลก สามารถนำไปประยุกต์ ใช้ให้เป็นแนวทางเดียวกันได้ [13]

โดยแต่ละเทคนิคและวิธีการในการตรวจพิสูจน์ดังกล่าว ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ สามารถนำมาใช้ตรวจวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างหลายประเภท สามารถตรวจเฉพาะสัญญาณจากรังสี โดยไม่ถูกปัจจัยอื่นส่งผลกระทบ มีความแม่นยำในการตรวจวิเคราะห์ ควรตรวจผลซ้ำได้และ ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ไม่ซับซ้อน ควรรู้ผลได้รวดเร็ว สามารถทราบถึงขีดจำกัดปริมาณรังสีต่ำสุด ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 2.1 วิธีการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีของ European Committee for Standardisation [14]

| วิธีการตรวจพิสูจน์                         | ชนิดของอาหารที่นำมาตรวจพิสูจน์  | มาตรฐานที่ใช้      |
|--|---|--------------------|
| Photostimulated luminescence (PSL)         | อาหารที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบซิติเคต เช่น เครื่องเทศ สมุนไพร อาหารทะเลแช่แข็ง ผัก ผลไม้ และธัญพืช   | EN 13751           |
| Thermoluminescence (TL)                    | อาหารที่สามารถสกัดผลิตภัณฑ์ปนเปื้อนสารประกอบซิติเคต เช่น เครื่องเทศ สมุนไพร อาหารทะเลแช่แข็ง ผัก ผลไม้ และธัญพืช                                    | EN 1788            |
| Electron spin resonance (ESR)              | อาหารที่ประกอบไปด้วยกระดูก เช่น เนื้อสัตว์ หรือ sugar radicals หรือจำพวก cellulose radicals เช่นใน เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเปลือกแข็ง ผลไม้สดและแห้ง | prEN 13708         |
| DNA comet assay                            | ใช้ได้กับอาหารที่มีส่วนประกอบของ DNA เช่น เมล็ดถั่ว   | EN 13784           |
| Hydrocarbons and alkylcyclobutanones by GC | อาหารที่มีส่วนประกอบของไขมัน  | EN 1785<br>EN 1784 |

ซึ่งพิจารณาในทางปฏิบัติก็ไม่มีวิธีการใดวิธีหนึ่ง ที่เหมาะสมสามารถตรวจพิสูจน์อาหารทุกประเภทได้ หลักสำคัญขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารและวัตถุประสงค์ที่ต้องการตรวจพิสูจน์ หรือสามารถเปรียบเทียบทดลองไปพร้อมๆกันในแต่ละเทคนิคในอาหารประเภทเดียวกัน

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ 5 เทคนิคในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี

| วิธีการตรวจพิสูจน์                         | ข้อดี   | ข้อเสีย  |
|--|---|--|
| Photostimulated luminescence (PSL)         | ตรวจพิสูจน์ได้รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย สามารถตรวจสอบซ้ำในตัวอย่างเดิมได้ ค่าใช้จ่ายต่ำ             | จำเป็นต้องมีการยืนยันการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธีอื่นที่แม่นยำกว่า และสัญญาณจะลดลงเมื่อตรวจซ้ำ     |
| Thermoluminescence (TL)                    | ตรวจพิสูจน์ได้แม่นยำ แม้ตัวอย่างจะฉายรังสีปริมาณต่ำกว่า 1 kGy ใช้ได้กับตัวอย่างที่ฉายทิ้งไว้เป็นเวลานาน | ขึ้นอยู่กับจำนวนที่มากน้อยของสารประกอบซิติเคต จึงจำเป็นต้องสกัดตัวอย่างให้ได้สารบริสุทธิ์    |
| Electron spin resonance (ESR)              | ตรวจพิสูจน์ได้รวดเร็ว ใช้เวลาเพียง 30 นาที ก็ทราบผลได้และสามารถตรวจสอบซ้ำในตัวอย่างเดิมได้              | ขึ้นกับจำนวนและ ชนิดของผลึก ในอาหาร ไม่เหมาะสมกับอาหารที่ทิ้งไว้เป็นเวลานานหรือมีความชื้นสูง |
| DNA comet assay                            | เป็นอีกทางเลือกที่แม่นยำ  | เหมาะสมกับอาหารสดเท่านั้น  |
| Hydrocarbons and alkylcyclobutanones by GC | เหมาะสมในการตรวจพิสูจน์ carcinogenic potential  | เหมาะสมกับอาหารที่มีไขมันและไม่เป็นอาหารแห้งเท่านั้น   |

### 2.3 Electron Spin Resonance (ESR)

Electron Spin Resonance (ESR) หรือ Electron Paramagnetic Resonance (EPR) เป็นเทคนิคการตรวจวัดอนุมูลอิสระหรือเรียกว่าอิเล็กตรอนเดี่ยว (Lone Pair Electron) ที่เกิดจากการฉายรังสี ปกติอนุมูลอิสระนี้จะรวมกับโมเลกุลอื่นได้อย่างรวดเร็ว แต่อนุมูลอิสระที่มีโมเลกุลใหญ่ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา จึงทำให้ค่อนข้างเสถียรและมีอายุยาว [11] มักพบในของแข็งหรือของแข็งอย่างเช่นพวกกระดูก (Hydroxyapatite Radicals) เมล็ดพืช เศษดินหรือกรดที่พบตามผิวของผลไม้ รวมถึงเครื่องเทศ สมุนไพร ที่ต้องประกอบไปด้วยเซลลูลูโลส (Cellulose Radicals) หรือในผลไม้แห้ง (Sugar Radicals) วิธีการตรวจวัดกระทำได้โดยการป้อนสนามแม่เหล็กเข้าสู่ตัวอย่างซึ่งจะทำให้อนุมูลอิสระถูกแบ่งเป็น 2 ระดับพลังงาน ในขณะที่เดียวกันก็ป้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่าน Microwave ที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานดังกล่าว อนุมูลอิสระเหล่านั้นจะดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ จึงเรียกว่า Electron Spin Resonance

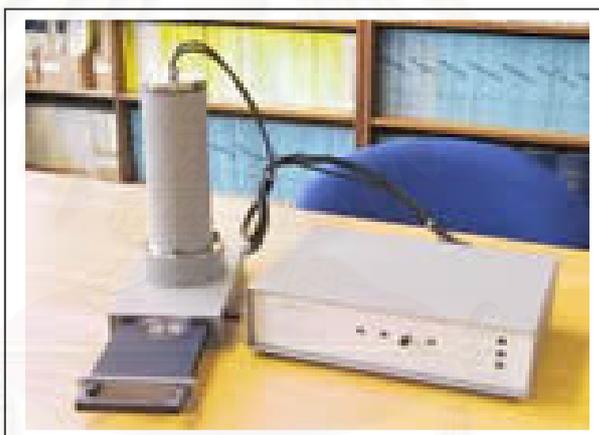


รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ของเครื่อง Electron Spin Resonance

สเปกตรัมของสัญญาณ ESR แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก และปริมาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนจะแปรตามปริมาณของอนุมูลอิสระของตัวอย่าง [5] [6] ข้อดีของการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธีนี้ คือทำได้ง่ายและแม่นยำ ใช้เวลาน้อยในการวัดสัญญาณเพียง 30 นาที สามารถนำมาวัดซ้ำได้อีก แต่มีข้อเสียคืออนุมูลอิสระจะสลายตัวไปตามระยะเวลาที่ผ่านไปและหากตัวอย่างอาหารมีน้ำเป็นส่วนประกอบ การที่อนุมูลอิสระจะรวมตัวกับโมเลกุลอื่นทำได้ง่ายและตรวจวัดไม่ได้ และอีกประการหนึ่งอุปกรณ์ ESR มีราคาสูง ในปี 2004 Bayram และ Delincee มีการนำเทคนิค ESR [15] มาตรวจวัด cellulose radicals โดยใช้มาตรฐานห้องปฏิบัติการ EN standard 1787 (2000) [14] ตรวจพิสูจน์ตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสี หลังจากฉายรังสีแล้ว 3 อาทิตย์ พบสัญญาณการดูดกลืน ESR (ESR intensity) ของ red pepper และ chilli ได้อย่างชัดเจนขณะที่ black pepper ซึ่งมีความชื้นสูงตรวจวัดสัญญาณการดูดกลืนได้น้อย

## 2.4 Photostimulated Luminescence (PSL)

PSL เป็นเทคนิคการตรวจพิสูจน์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารวิธีการใหม่ ซึ่งนิยมนำมาใช้ตรวจผลในเบื้องต้น ที่ต้องการทราบผลรวดเร็วใช้เวลาเพียง 2 - 3 นาทีในการตรวจพิสูจน์ แต่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก อุปกรณ์ในการตรวจราคาไม่สูง โดยตัวอย่างจะปนเปื้อนด้วยสารประกอบซิลิเกต หรือสาร Bioinorganic อย่างเช่น Calcite ซึ่งพบได้ในเปลือกหอย พวก Exoskeleton หรือสารประกอบอีกจำพวกหนึ่งคือ Hydroxyapatite จากกระดูกหรือฟัน ซึ่งพบได้ในอาหารทั่วไป เนื่องจากมีสารประกอบจำพวก Impurity ปะปนอยู่ ทำให้มีการจัดโครงสร้างของชั้นพลังงานที่เรียกว่า Trap เมื่อถูกฉายรังสีแล้ว สามารถกักเก็บพลังงานไว้ใน Trap เมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสงจากระบบอุปกรณ์ภายนอก สารประกอบซิลิเกตจะปลดปล่อยพลังงานบางส่วนออกมาในรูปของแสงวัดได้โดยเครื่อง Photon Counter ซึ่งเราสามารถนำแสงนั้นมาประมวลผลเป็นสเปกตรัมพลังงานได้ สามารถตรวจพิสูจน์ได้ในอาหารพวกเครื่องเทศ สมุนไพร สัตว์น้ำที่มีเปลือก เช่น กุ้ง หอย และปู [16]

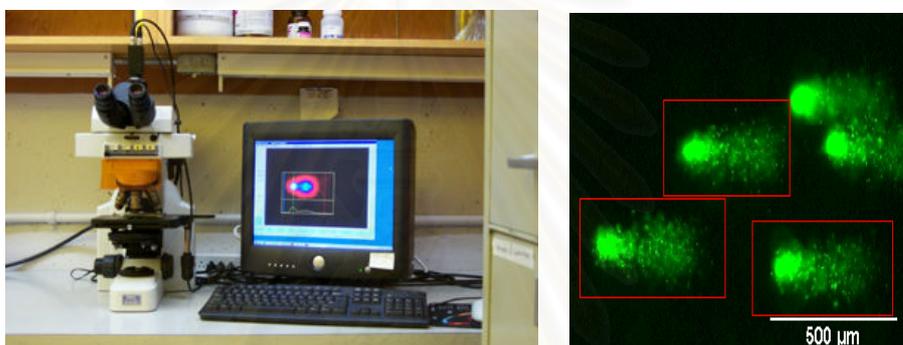


รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ของเครื่อง Photostimulated Luminescence

เป็นการตรวจพิสูจน์โดยไม่ต้องสกัดตัวอย่าง นำตัวอย่างจัดใส่ใน Petri-dishes ด้วยปริมาณที่พอเหมาะมาตรฐานวัดสัญญาณ สามารถนำตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์ได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง และตัวอย่างนั้นสามารถนำมาตรวจซ้ำได้อีก แม้ว่าค่าสัญญาณที่วัดได้อาจลดลงเนื่องจากการสลายตัวของพลังงาน ตัวอย่างจำเป็นต้องจัดเก็บในที่มืดโดยตลอดการทดลองต้องป้องกันไม่ให้โดนแสงสว่าง ผลการตรวจพิสูจน์ขึ้นอยู่กับจำนวนสารประกอบซิลิเกต ที่อยู่บนผิวหน้าของตัวอย่างเมื่อบรรจุบน Petri-dish ตำแหน่งใดที่มีจำนวนสารประกอบซิลิเกตสูงก็วัดสัญญาณได้มาก บ่อยครั้งที่ผลการตรวจพิสูจน์โดยเทคนิค PSL ไม่สามารถจำแนกอาหารฉายรังสีได้ เนื่องจากการสลายตัวของสัญญาณเมื่อได้รับแสงกระตุ้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ช่วยยืนยันผล เนื่องจากเป็นวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสารประกอบซิลิเกตเหมือนกัน

## 2.5 DNA Comet Assay

เทคนิค DNA Comet Assay [17] เป็นเทคนิคการตรวจพิสูจน์อาหารที่ประกอบไปด้วย DNA ของเซลล์เดี่ยวหรือนิวไคลด์ ซึ่งหลังจากการฉายรังสีเพื่อถนอมอาหาร จะมีการแตกหักของสาย DNA เกลียวเดี่ยวและเกลียวคู่ (Single- or Double-Strand Breaks) การแตกหักของสาร DNA นี้ เราเรียกว่า (DNA Fragmentation) อาจเกิดการแตกหักได้ทั้งบนสายเดียวกันของ DNA หรือทั้งสองสาย สำหรับขั้นตอนการทดลองใช้มาตรฐานของ European Standard (EN 13784) ซึ่งแสดงผลการตรวจพิสูจน์ในเบื้องต้นรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์มีราคาถูก แต่ถ้าต้องการผลการตรวจพิสูจน์ที่แม่นยำ European Standard แนะนำให้ใช้เทคนิค Thermoluminescence, Electron Spin Resonance และ Gaschromatographic analysis of hydrocarbons ซึ่งมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์การตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค DNA Comet Assay และภาพแสดงตัวอย่างที่ฉายรังสี โดยเซลล์ที่ถูกทำลายจะปรากฏชิ้นส่วนขึ้นเหมือนเป็นดาวหาง (comet)

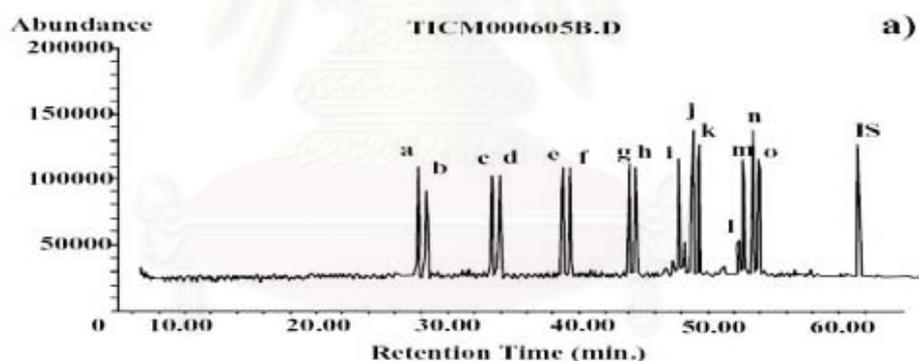
DNA Comet Assay สามารถใช้ตรวจพิสูจน์ได้กับอาหารหลายชนิดที่เป็นพืช เช่นเมล็ดพืช ชนิดต่างๆ ผลไม้แห้ง สมุนไพร หรือเนื้อสัตว์ เช่นเนื้อไก่และเนื้อหมู ได้มีการตรวจพิสูจน์ตัวอย่าง ทั้งที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสี [7] โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Transmission Microscope) ในตัวอย่างที่ฉายรังสี เซลล์ที่ถูกทำลายจะปรากฏชิ้นส่วนขึ้นเหมือนเป็นดาวหาง (Comet) นั่นก็คือ ชิ้นส่วนของ DNA ที่ถูกทำลายโดยรังสี จะยึดขยายออกไปยังขั้วไฟฟ้าแอโนด และความหนาแน่นของ DNA ที่อยู่ในส่วนหางจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณรังสีที่ฉายมากขึ้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายรังสี จะยังคงสภาพโมเลกุลขนาดใหญ่ ของ DNA อยู่ เพราะเป็นส่วนที่ไม่ได้รับความเสียหาย หรือเป็นส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนย้ายของ DNA

ในปี 2002 A. Khan, M. Khan และ Delincee [18] ได้ทำการตรวจพิสูจน์ถั่วฉายรังสีโดยจะเห็นส่วนที่ยาวออกของ DNA หรือดาวหางชัดเจน และความยาวของส่วนหางจะขึ้นกับปริมาณรังสี ส่วนถั่วที่ไม่ฉายรังสีเซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะเหมือนเดิม แต่ขั้วพืช หรือถั่วเปลือกแข็งบางชนิดกลับไม่พบความแตกต่างของเซลล์ที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสี

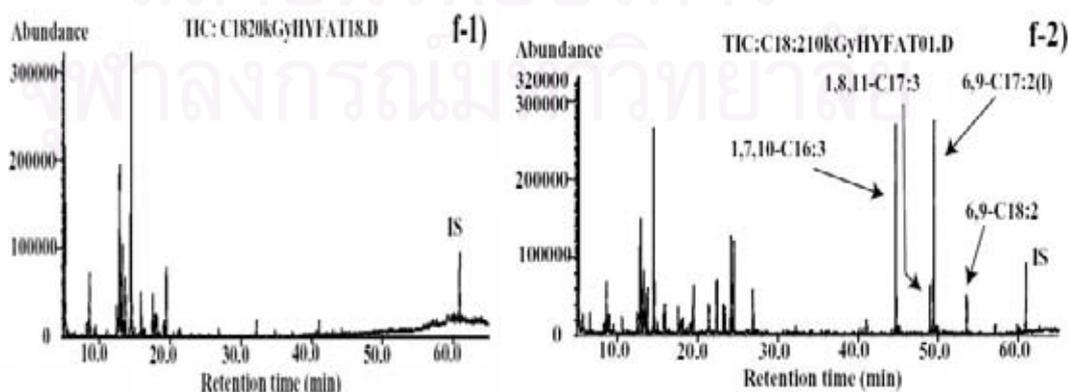
## 2.6 Hydrocarbons and alkylcyclobutanones by GC

เทคนิค Gas Chromatographic (GC) [19] มักใช้คู่กับวิธี Mass Spectrometry (MS) ซึ่งเป็นการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีที่ประกอบไปด้วยไขมัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน (Fatty Acid) หรืออะตอมไฮโดรคาร์บอน (HC) เมื่ออาหารนั้นผ่านการฉายรังสี พบว่าจำนวนอะตอมคาร์บอนเกิดการแตกหักจากปฏิกิริยา ปฏิกิริยา และทุติยภูมิโดยลดลงจากเดิม 1 อะตอม ( $C_n$ ) หรือเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลใหม่ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนลดลงจากเดิม 2 อะตอม และมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มอีก 1 ( $C_{n-2,1}$ ) เรียกว่าเรดิโอไลติกโปรดักต์ซึ่งจะเกิดจากการฉายรังสีเท่านั้น ห้องปฏิบัติการของสหภาพยุโรปสามารถตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค GC หรือ Chromatography ในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ เช่น ไก่ หมู และเนื้อวัว สำหรับในผลไม้ไม่แสดงผลการตรวจวัดได้เป็นอย่างดีใน อะโวคาโด มะละกอ และ มะม่วง เนื่องจากอาหารเหล่านี้มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มากจึงไม่สามารถตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค ESR ขณะที่อาหารบางชนิดมักจะนำไปทำให้สุกด้วยความร้อนก่อนการบริโภคจึงไม่สามารถตรวจวัดด้วยเทคนิค TL ได้เช่นกัน [11]

แสดงตัวอย่างรูปตำแหน่งของ อะตอมไฮโดรคาร์บอน (Gas Chromatogram) ของ ตัวอย่างกรดไขมันมาตรฐาน (กรดไขมันบริสุทธิ์) ที่สกัดได้โดยวิธี GC หมายเลขต่าง ๆ ที่ควรจะตรวจวัดได้ ใช้เป็น Internal Standard [20]



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง Gas chromatogram ที่ได้จากการสกัดตัวอย่างกรดไขมันบริสุทธิ์



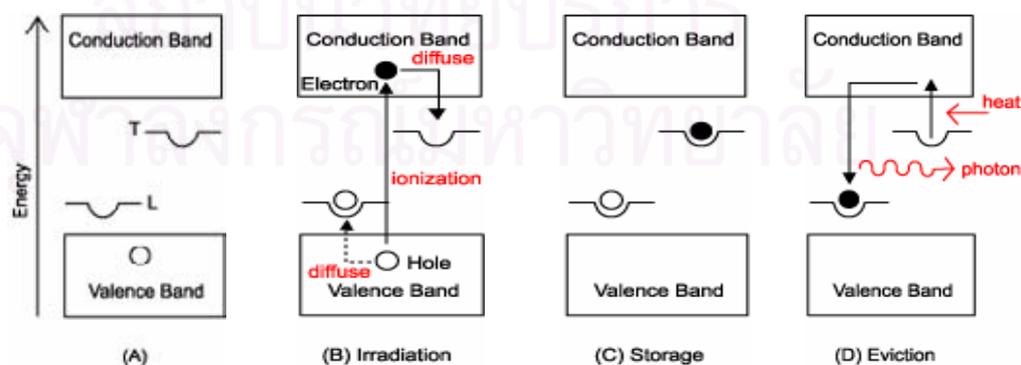
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกรดไขมันที่ไม่ฉายรังสี

รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบกับตัวอย่างกรดไขมันที่ฉายโดยรังสีแกมมา 10 kGy

## 2.7 Thermoluminescence of silicate minerals

เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence, TL) [21] คือการที่ผลึกสารประกอบในธรรมชาติ เช่น สารประกอบซิลิเกต และคาร์บอเนต หรือผลึกที่มีการสังเคราะห์เลียนแบบธรรมชาติแล้วใส่สารเจือปนที่เรียกว่าการโด๊ป (Dope) จะมีสถานะกึ่งเสถียร (Metastable state) ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่เกิดอยู่ระหว่างระดับพลังงานแถบวาเลนซ์ (Valance band) และแถบคอนดักชัน (Conduction band) ของโครงสร้างผลึก ระดับพลังงานกึ่งเสถียรนี้อาจเรียกว่า กักตัก(Trap) โดยที่ระดับพลังงานและจำนวนของกักตักขึ้นกับชนิดและความไม่สมบูรณ์ (defect) ของโครงสร้างผลึก เมื่อผลึกเหล่านี้ได้รับรังสีจะทำให้เกิดคู่ของ อิเล็กตรอน-โฮล (Electron-hole pair) อิเล็กตรอนและโฮลจะเคลื่อนที่ไปจนถูกกักอยู่ในกักตัก เวลาของการถูกกักขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของกักตักอาจกินระยะเวลาสั้น ๆ เป็นนาทิจ หรืออาจใช้เวลาเป็นสิบปีหรือเป็นร้อยปีที่อิเล็กตรอนจำนวนครึ่งหนึ่งจะหลุดจากกักตักได้ เวลาเหล่านี้เรียกว่าครึ่งชีวิต (Half life) เช่นกัน แต่หากผลึกที่ถูกฉายรังสีแล้วได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น พลังงานความร้อน อิเล็กตรอนและโฮลจะหลุดจากกักตักเข้ามารวมกันใหม่พร้อมกับคายพลังงานที่ได้รับตั้งแต่ต้นออกมาในรูปของแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของแสงสีแดงและสีน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (A) (B) (C) (D)

หากใช้หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube : PMT) จับแสงเหล่านั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าพบว่า ปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตามปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ ขบวนการที่ผลึกได้รับความร้อนแล้วปล่อยแสงออกมานี้เรียกว่าเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านธรณีวิทยาเพื่อหาอายุของชั้นดิน หรือนำมาตรวจความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างผลึก ด้านโบราณคดีนำมาหาอายุของวัตถุโบราณ ซากพืช ซากสัตว์โบราณ ด้านงานรังสีประจำบุคคลมีการนำมาใช้เป็นเครื่องวัดรังสี เรียกว่าเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสซิมิเตอร์ (Thermoluminescence dosimeter) นิยมเรียกเป็นตัวย่อว่าแผ่นวัดรังสีทีแอลดี (TLD) รวมถึงการนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสี



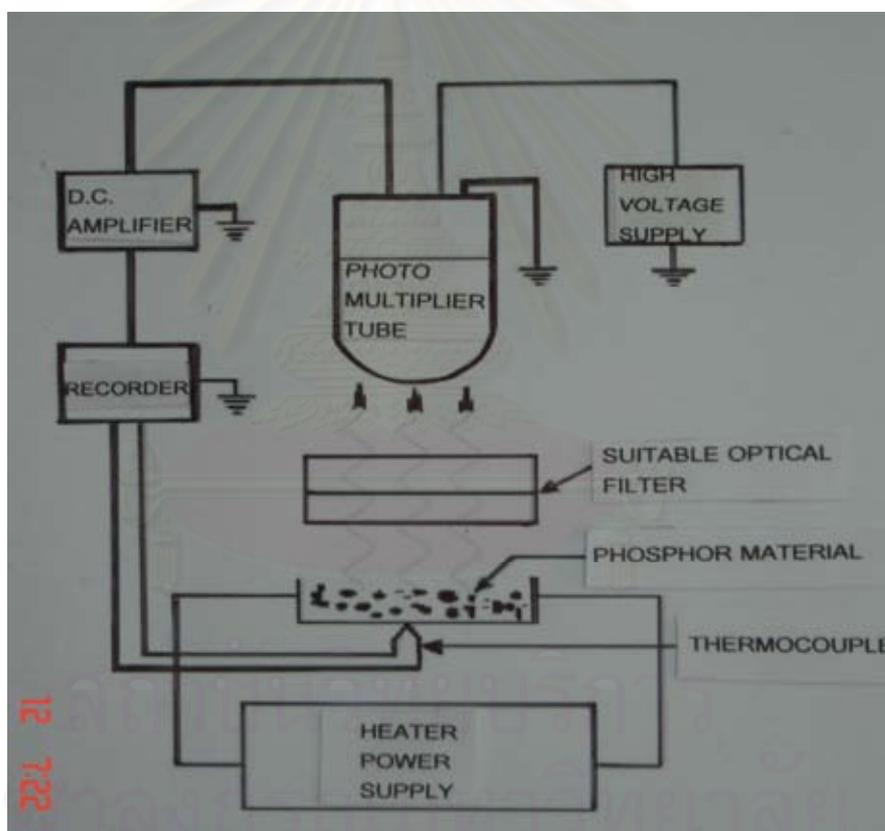
รูปที่ 2.7 (A) (B) (C) (D) แผนภาพของโครงสร้างผลึกเมื่อได้รับรังสีจะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอน - โฮล เมื่อได้รับความร้อนจะคายพลังงานที่ได้รับตั้งแต่ต้นออกมาในรูปของแสง

**2.7.1 เครื่องอ่านทีแอลดี ( TLD reader) [21]** คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดปริมาณของแสงสว่างที่ผลึกสารประกอบปล่อยออกมาเมื่อได้รับความร้อน โดยทำการแปลงสัญญาณ TL หรือเรียกว่า TL intensity ให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ หรือในเครื่องอ่านบางรุ่นใช้หน่วยเป็น a.u.หรือค่า counts โดยจะแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง TL signal กับอุณหภูมิหรือเวลาให้ความร้อนที่เรียกว่า glow curve

2.7.1.1 ระบบการให้ความร้อน( heating system) ของเครื่องอ่าน

2.7.1.2 หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube:PMT) จับแสงที่ผลึกปล่อยออกมาหลังจากได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

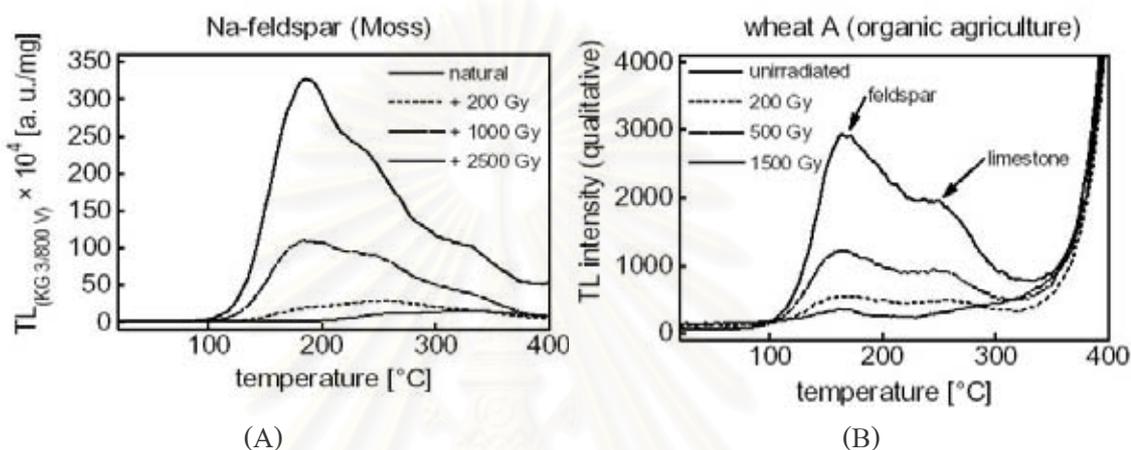
2.7.1.3 signal measuring system ทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของ glow curve หรือ TL signal



รูปที่ 2.8 ระบบการให้ความร้อนของเครื่องอ่านทีแอลดี

**2.7.2 Glow curve [21]** เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจากผลึกของสารประกอบ (TL signal) อยู่ในแกน Y กับอุณหภูมิหรือเวลาให้ความร้อนอยู่ในแกน X พื้นที่ใต้กราฟจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผลึกสารประกอบได้รับ สำหรับรูปร่างของ glow curve จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆกำหนดจากเครื่องอ่านทีแอลดี เช่น อัตราการให้ความร้อนและ

เวลาในการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการอ่านเป็นต้น glow curve ของผลึกแต่ละชนิด จะแสดงปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามากที่สุดที่อุณหภูมิต่างๆ เรียกว่าพีค (Peak) ซึ่งอาจมีพีคเดียวหรือหลายพีคขึ้นกับชนิดของผลึก ความไม่สมบูรณ์ในการฟอร์มตัวของผลึกธรรมชาติ จะทำให้เกิดกับดักที่ระดับพลังงานมากน้อยแตกต่างกัน ทำให้ glow curve แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะตัวของผลึกสาร เมื่อควบคุมอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิสูงสุด และเวลาที่ใช้ในการอ่านให้คงที่แล้ว glow curve จะมีรูปร่างคงเดิมเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความเฉพาะตัวของ glow curve ในผลึกแต่ละชนิด โดยตำแหน่งของพีคสูงสุด ก็จะอยู่ที่อุณหภูมิแตกต่างกันไป (A) ผลึก Na-feldspar ของ Moss (B) ผลึก wheat

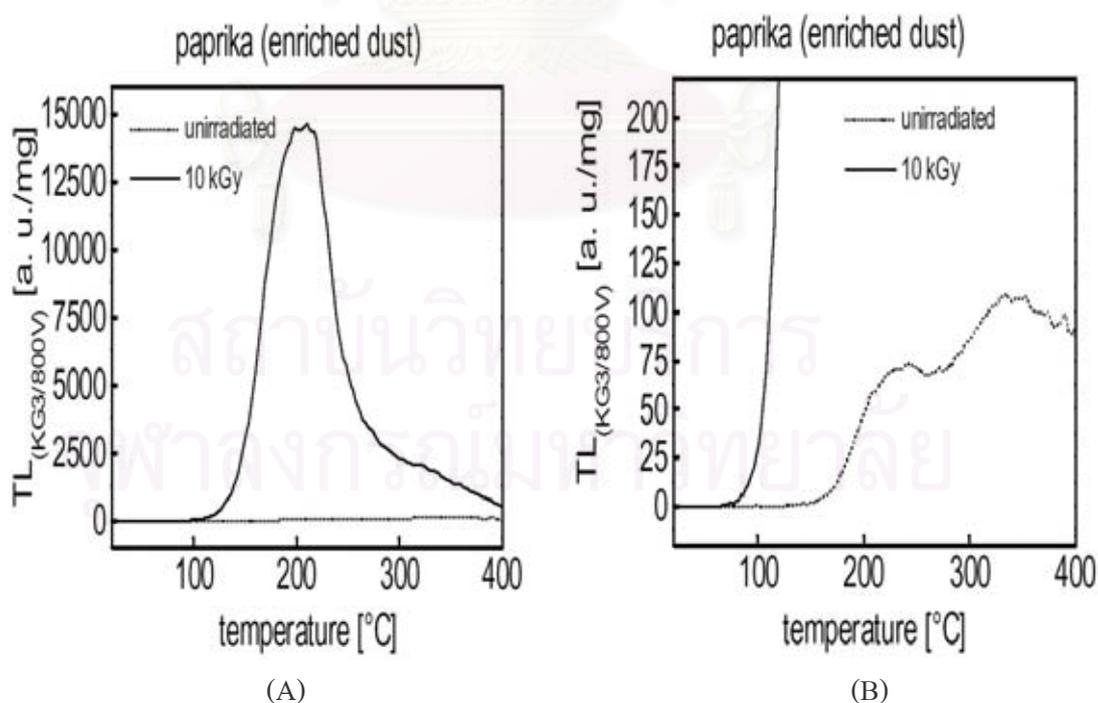
**2.7.3 การจางหายไปของสัญญาณ (Fading)** [21] เนื่องจากกับดัก (Trap) มีระดับพลังงานที่แตกต่างกันเปรียบเสมือนหลุมที่มีความตื้นและลึกแตกต่างกัน ดังนั้น glow curve ของผลึกสารประกอบจึงแสดงพีคของสัญญาณได้หลายพีคและเกิดที่อุณหภูมิต่างกัน พีคที่อุณหภูมิต่ำเป็นพีคที่ไม่เสถียรเกิดจากกับดักที่พลังงานต่ำ อิเล็กตรอนที่ถูกกักสามารถหลุดออกมาได้เองที่อุณหภูมิห้อง ทำให้สัญญาณที่อ่านได้ลดลง เรียกว่าการจางหายไปของสัญญาณ (Fading)

## 2.8 การประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี

การตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำหลักการตามมาตรฐานงานวิจัยของ European Standard : EN 1788 [4] ในหัวข้อ Foodstuffs - Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated - Method by thermoluminescence โดยศึกษาคุณสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ของเครื่องเทศฉายรังสีอัน ได้แก่พริกไทยดำ และพริกแห้ง เนื่องจากเครื่องเทศเหล่านี้มีการปนเปื้อนของผลึก inorganic dielectrics จำพวกเศษหิน เศษฝุ่น และทราย ซึ่ง EN standard 1788 ได้รายงานไว้ว่าประกอบไปด้วยผลึกของสารประกอบซิลิเกต อันประกอบไปด้วยควอตซ์ เฟลสปา โดยที่เฟลสปาจะมีคุณสมบัติ

ใกล้เคียงกับ TLD แบบ chip ชนิด lithium fluoride (LiF) ที่มีชื่อทางการค้าว่า TLD-100 โดยต้องทำการสกัดตัวอย่างเครื่องเทศให้ได้สารประกอบซิลิเกตบริสุทธิ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า enriched dust โดยไม่ถูกปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ และอนินทรีย์อื่น ๆ ที่จะมาบดบังสัญญาณ TL ทำให้แปลผลสัญญาณผิดพลาด นอกจากนี้ใช้ตรวจพิสูจน์เครื่องเทศแล้ว เทคนิคนี้ยังนิยมใช้ตรวจพิสูจน์กับอาหารประเภทสมุนไพร ผลไม้สดและแห้ง ผัก ธัญพืช ข้าวสาลี และอาหารแช่แข็งเช่น กุ้งและปลาหมึกเป็นต้น โดยขั้นตอนการตรวจในอาหารทะเล เช่น กุ้งมังกรแช่แข็งฉายรังสี ต้องสกัดเศษเปลือกหอยที่แยกออกมาจากไส้ โดยจะวัดหาสัญญาณ TL ของสารประกอบของ ควอตซ์ และคาร์บอนเนต

การสกัดให้ได้สารประกอบซิลิเกตบริสุทธิ์นิยมใช้วิธีทางเคมี โดยมีสารละลายที่ใช้ในการสกัดคือ sodium polytungstate และควรเลือกเครื่องเทศที่สามารถสกัดปริมาณสารประกอบซิลิเกตได้มากพอต่อการวัดสัญญาณด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ [6] ดังแสดงตัวอย่างเปรียบเทียบ glow curve ระหว่างพริกที่ไม่ฉายรังสี (unirradiated paprika) กับพริกที่ฉายรังสีปริมาณ 10 kGy (irradiated paprika) ที่ผ่านการสกัดจนได้สารประกอบซิลิเกตบริสุทธิ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (A) เนื่องจากการเปรียบเทียบสัญญาณ TL ระหว่างตัวอย่างพริกที่ฉายรังสี (10 kGy) และพริกที่ไม่ฉายรังสี (unirradiated) มีความแตกต่างกันมากกว่า 150 เท่า จึงต้องมีการขยายขนาดของแกน Y ให้ละเอียดมากขึ้นดังรูปที่ 2.10 (B) เพื่อให้มองเห็นสัญญาณ TL จากตัวอย่างพริกไม่ฉายรังสี



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ TL กับ อุณหภูมิ (°C) หรือเรียกว่า glow curve ของพริกฉายรังสี 10 kGy เปรียบเทียบกับพริกที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

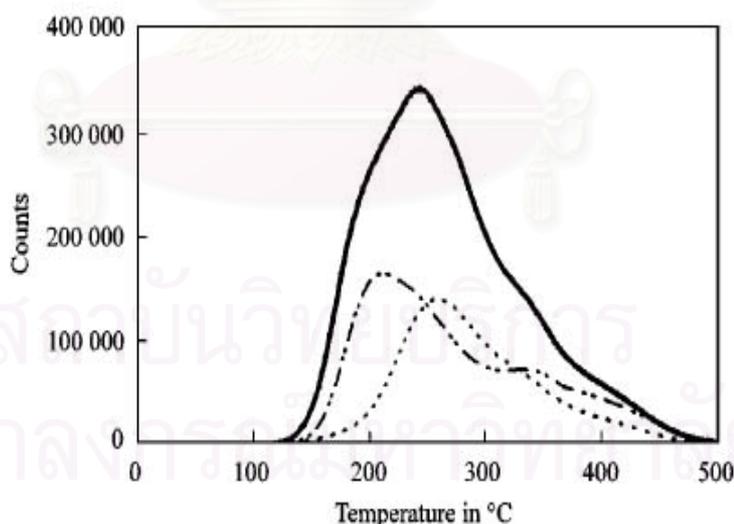
## 2.8.1 การศึกษาคุณสมบัติการเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ของสารประกอบซิลิเกตเมื่อนายรังสีชนิดต่างๆ และปริมาณรังสีต่างๆ กัน [8]

เนื่องจากผลึกสารประกอบที่สกัดออกมาได้จากตัวอย่างอาหารฉายรังสี เป็นผลึกของสารประกอบจำพวกเฟลสป่า และควอตซ์ จึงมีผู้ทดลองนำเฟลสป่า และควอตซ์บริสุทธิ์ มาศึกษาแยกกัน ก่อนเพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะตัว แล้วจึงศึกษาตัวอย่างที่ประกอบด้วยควอตซ์ และเฟลสป่าผสมกัน เพื่อหาคุณสมบัติที่แท้จริงของตัวอย่างที่สกัดมาจากอาหาร การจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีใช้วิธีการจำแนก จากค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL ของ glow 1 และ glow 2

- การหาค่า glow 1 คือการวัด TL signal ครั้งที่ 1 จากตัวอย่างเครื่องเทศ
- การหาค่า glow 2 คือการวัด TL signal ครั้งที่ 2 จากตัวอย่างเครื่องเทศที่ผ่านการวัด glow 1 แล้วนำไปฉายรังสีที่ทราบค่า วัตถุประสงค์เพื่อนำไป normalize ระหว่าง glow 1 และ glow 2 ค่าอัตราส่วนของ glow 1 / glow 2 มากกว่า 0.5 คือตัวอย่างนั้นได้มีการผ่านการฉายรังสีเพื่อการถนอมอาหาร ส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสีจะมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL ต่ำกว่า 0.1 เสมอ

### 2.8.1.1 โปแตสเซียมเฟลสป่า [8]

นำโปแตสเซียมเฟลสป่าบริสุทธิ์ มาหาคุณสมบัติของ glow 1<sub>irr</sub> และ glow 2 เมื่อนายรังสีที่ปริมาณต่ำๆ เปรียบเทียบกับ glow 1<sub>non-irr</sub> ของตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสี แสดงผลดังนี้

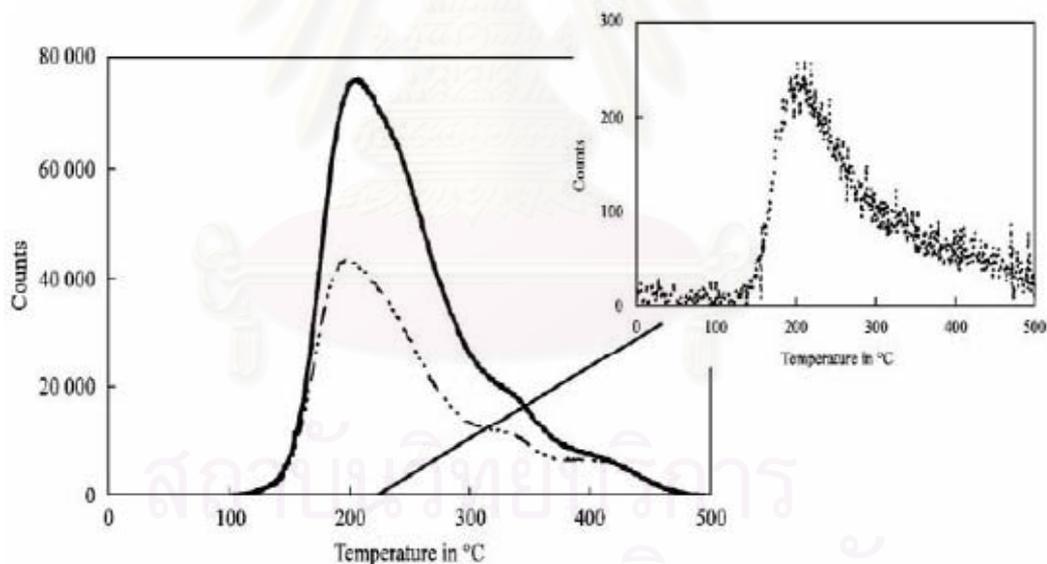


รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง glow curve ของโปแตสเซียมเฟลสป่า เมื่อนายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างที่ 2.2 mg — คือ glow 1<sub>irr</sub> ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 0.2 kGy  
 ..... คือ glow 1<sub>non-irr</sub> : archaeological background dose  
 ... คือ glow 2 ฉายด้วยรังสีเบตาปริมาณ 0.25 kGy เพื่อ normalize signal

จาก glow  $1_{\text{non-irr}}$  ของตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีนั้น ผู้ทำการทดลองศึกษาพบว่าค่าสัญญาณ TL ที่วัดได้ค่อนข้างสูงเกิดจาก ในขณะที่ผลึกธรรมชาติกำลังฟอร์มตัว ผลึกจะได้รับรังสีจากสิ่งแวดล้อม (naturally irradiated) ทำให้ไอเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปถูกกักอยู่ในกับดักโดยไม่ได้เกิดจากการกระตุ้นด้วยรังสีจึงเรียกว่าเป็น archaeological background dose ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสังเกตได้จากยอดฟีกสูงสุด จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ  $270^{\circ}\text{C}$

ศึกษาลักษณะของ glow  $1_{\text{irr}}$  และ glow 2 ที่เกิดจากการฉายรังสีปริมาณต่ำ ๆ โดยไม่สนใจชนิดของรังสีที่ฉาย พบว่ายอดของฟีกสูงสุดจะอยู่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ  $200^{\circ}\text{C}$  และผู้ทำการทดลองยังแสดงว่า archaeological background dose ซึ่งไม่ได้เกิดจากการฉายรังสี จะส่งผลเป็นอย่างมากต่อสัญญาณ TL ของ glow  $1_{\text{irr}}$  กล่าวได้ว่าการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ ทำได้ยาก เนื่องจากอัตราส่วน ของ glow  $1_{\text{irr}}$  / glow 2 ที่ได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง แต่สามารถจำแนก glow 1 ของตัวอย่างฉายรังสี (glow  $1_{\text{irr}}$ ) และตัวอย่างไม่ฉายรังสี (glow  $1_{\text{non-irr}}$ ) ได้ชัดเจน

ในลำดับต่อไปศึกษาตัวอย่างโปแตสเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ ด้วยการฉายรังสีที่ปริมาณปานกลางคือ  $5\text{ kGy}$  จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณ TL มีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักตัวอย่างคือ  $0.4\text{ mg}$  ที่ใช้น้อยกว่าในการศึกษาครั้งก่อน  $2.2\text{ mg}$  ที่ฉายรังสีปริมาณต่ำ ๆ



รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง glow curve ของโปแตสเซียมฟอสเฟต เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณปานกลาง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างที่  $0.4\text{ mg}$  \_\_\_ คือ glow  $1_{\text{irr}}$  ฉายด้วยรังสีไอเล็กตรอน ปริมาณ  $5\text{ kGy}$   
 \_...\_ คือ glow 2 ฉายด้วยรังสีแกมมาปริมาณ  $1\text{ kGy}$   
 ... .. คือ glow  $2_{\text{UV}}$  ฉายด้วยรังสี UV เพื่อ normalize signal

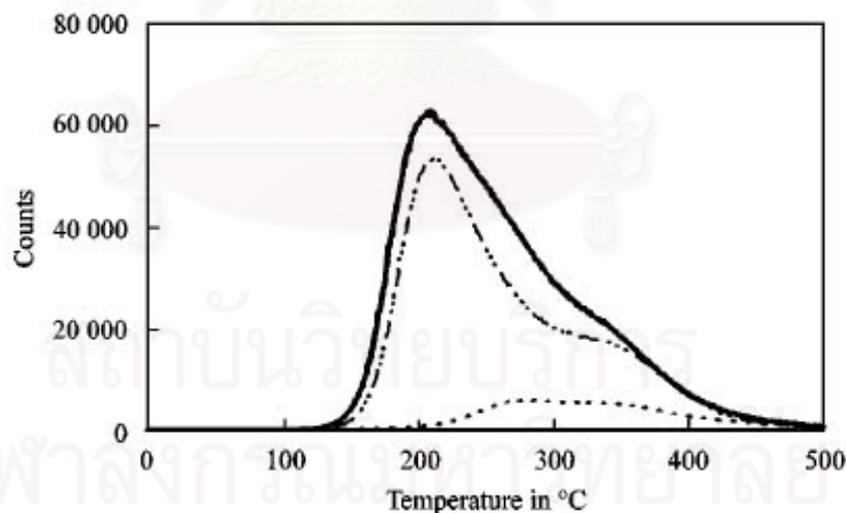
จากรูปที่ 2.12 พบว่า glow 2 ที่วัดได้จะมีลักษณะของรูปร่างเหมือนกับ glow 2 ในรูปที่ 2.11 ผู้ทำการทดลองแสดงผลว่า glow curve ของโปแตสเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ที่ถูกฉายรังสี จะมียอดฟีกสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ  $200^{\circ}\text{C}$  โดยไม่ขึ้นกับชนิดของรังสีที่ฉาย

การจำแนกตัวอย่างฉายรังสีด้วยอัตราส่วน  $glow\ 1_{irr} / glow\ 2$  เมื่อฉายรังสีปริมาณปานกลาง จะทำได้ง่ายเนื่องจาก archaeological background dose ไม่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณ TL ในขณะที่รังสี UV สามารถนำมาฉายรังสีซ้ำเพื่อวัดสัญญาณจาก  $glow\ 2$  ได้แต่มีข้อจำกัดในการใช้ เพื่อนำมาทดแทนการฉายรังสีซ้ำด้วยรังสีแกมมาหรืออิเล็กตรอนในบางห้องปฏิบัติการ ที่ไม่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างไปฉายด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมาหรืออิเล็กตรอน

ได้มีการศึกษาฟลักของเฟลสปาบริสุทธิ์ [8] ซึ่งมีผลึกสารประกอบหลากหลายชนิด พบว่าเกิดฟลักได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันตามชนิดของเฟลสปา ฟลักที่พบมากที่สุดคือที่อุณหภูมิประมาณ  $100\ ^\circ\text{C}$  ซึ่งเปรียบเทียบที่ตำแหน่งนี้จะให้ค่าสัญญาณ TL น้อยกว่าในผลึกควอตซ์ สำหรับฟลักที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดคือยอดฟลักสูงสุดที่อุณหภูมิ  $200\ ^\circ\text{C}$  ที่จะให้ค่าสัญญาณ TL ส่วนใหญ่ และสุดท้ายจะพบยอดฟลักที่ค่าสัญญาณ TL สูงเช่นกันที่อุณหภูมิประมาณ  $300 - 400\ ^\circ\text{C}$

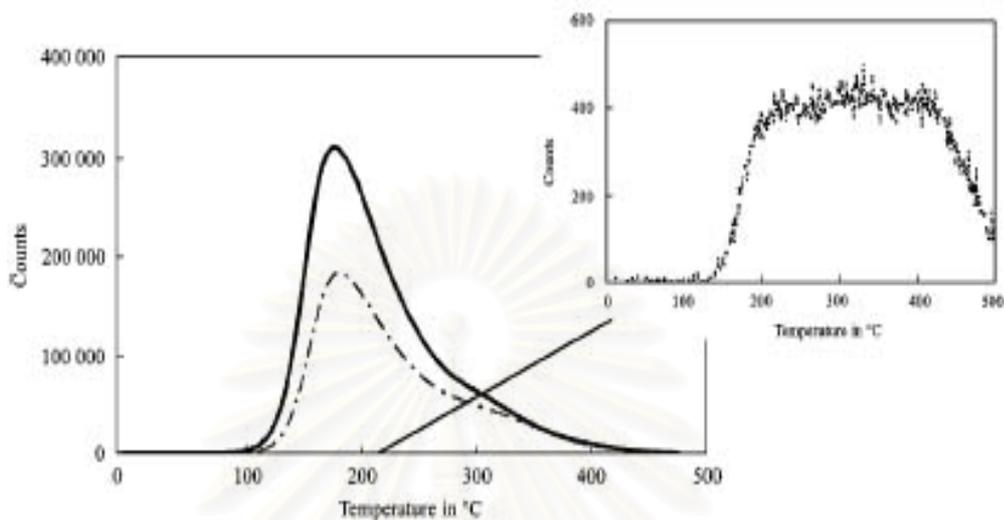
### 2.8.1.2 Mineral Mixture (เฟลสปา และ ควอตซ์) [8]

เป็นการศึกษาคุณสมบัติที่แท้จริงของตัวอย่างที่สกัดมาจากอาหาร เริ่มจากการศึกษาที่ปริมาณรังสีต่ำ ๆ ได้ผลดังนี้คือ จากรูปที่ 2.13  $glow\ 1_{non-irr}$  ของตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีจะมีฟลักสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ  $290 - 350\ ^\circ\text{C}$  ในขณะที่  $glow\ 1_{irr}$  และ  $glow\ 2$  ก็ยังมีฟลักสูงสุดอยู่ที่ประมาณ  $200\ ^\circ\text{C}$  โดยช่วงฟลักจะอยู่ที่อุณหภูมิ  $300\ ^\circ\text{C}$  ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง glow curve ของ mineral mixture เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ ซึ่งนำหนักตัวอย่าง ที่  $2.4\ \text{mg}$  \_\_\_ คือ  $glow\ 1_{irr}$  ฉายรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ  $0.2\ \text{kGy}$   
 .... คือ  $glow\ 1_{non-irr}$  :archaeological background dose  
 .... คือ  $glow\ 2$  ฉายด้วยรังสีแกมมาปริมาณ  $0.25\ \text{kGy}$

ใน mineral mixture ค่า archaeological background dose จะไม่มีผลต่อสัญญาณ TL ของ glow  $1_{irr}$  ซึ่งกล่าวได้ว่าการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ โดยการหาค่าอัตราส่วนของ glow  $1_{irr}$  / glow 2 จะทำได้ง่ายกว่าในโปแตสเซียมเฟลสปาบริสุทธิ



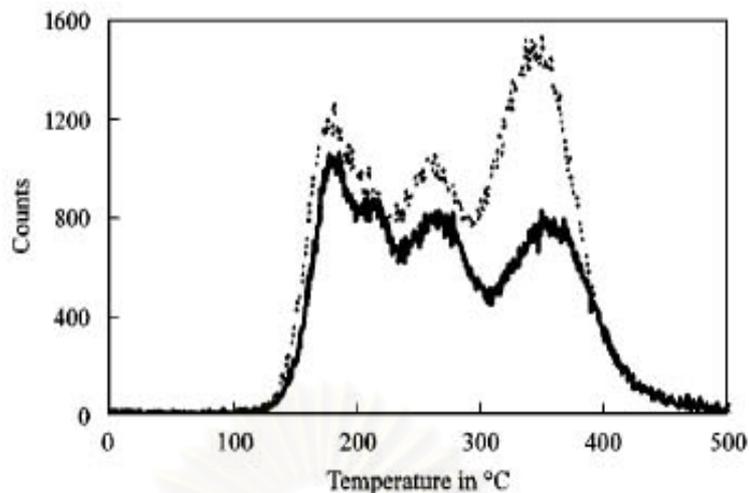
รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง glow curve ของ mineral mixture เมื่อฉายรังสีที่ปริมาณปานกลาง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ 1.2 mg \_\_\_\_ คือ glow  $1_{irr}$  ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 5 kGy  
 .... คือ glow 2 ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 1 kGy  
 ... .. คือ glow  $2_{UV}$  ฉายด้วยรังสี UV

จากรูปที่ 2.14 ศึกษาตัวอย่าง mineral mixture ด้วยการฉายรังสีปริมาณปานกลางคือ 5 kGy พบว่า archaeological background dose ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสัญญาณ TL

สรุปได้ว่า glow curve ของ mineral mixture ที่ฉายรังสี แม้ว่าจะฉายรังสีที่ปริมาณไม่เท่ากัน หรือชนิดของต้นกำเนิดรังสีต่างกัน ก็จะมีรูปร่างของ glow curve คล้ายกัน และยอดพีคสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 200 °C การจำแนกตัวอย่างฉายรังสีด้วยอัตราส่วนของ glow  $1_{irr}$  / glow 2 เมื่อฉายรังสี ปริมาณระดับปานกลางจะทำได้ง่าย ในขณะที่รังสี UV สามารถนำมาฉายรังสีซ้ำเพื่อวัดสัญญาณ จาก glow 2 ได้แต่มีข้อจำกัดในการใช้

### 2.8.1.3 ควอตซ์ [8]

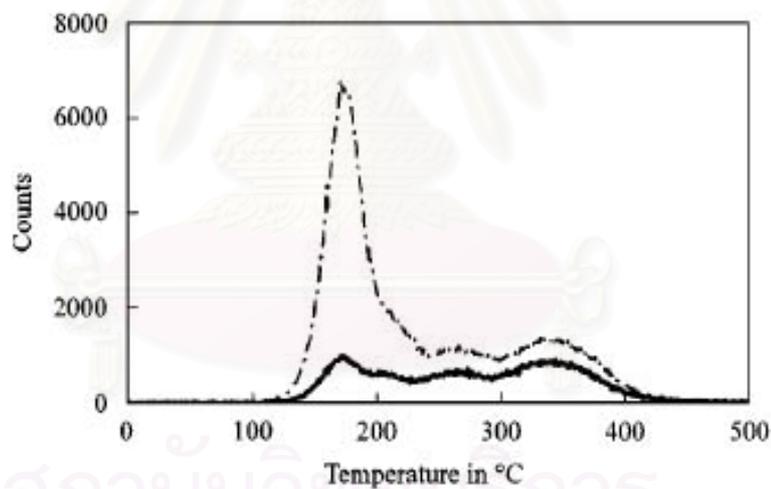
สำหรับคุณสมบัติของควอตซ์ มีความพิเศษคือก่อนนำมาใช้งาน ต้องทำการอบ ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงถึง 1080 °C เป็นเวลา 20-30 นาทีก่อน แล้วจึงนำมาฉายรังสีเพื่อทดสอบ คุณสมบัติต่อไป



รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ ฉายด้วยปริมาณรังสีต่ำ ๆ น้ำหนักตัวอย่าง 2.8 mg

— คือ glow 1<sub>electrons</sub> ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 0.2 kGy

... .. คือ glow 1<sub>gamma</sub> ฉายด้วยรังสีแกมมา ปริมาณ 0.2 kGy



รูปที่ 2.16 ตัวอย่าง glow 1 และ glow 2 ของควอตซ์ฉายด้วยรังสีต่ำ ๆ น้ำหนักตัวอย่าง 2.8 mg

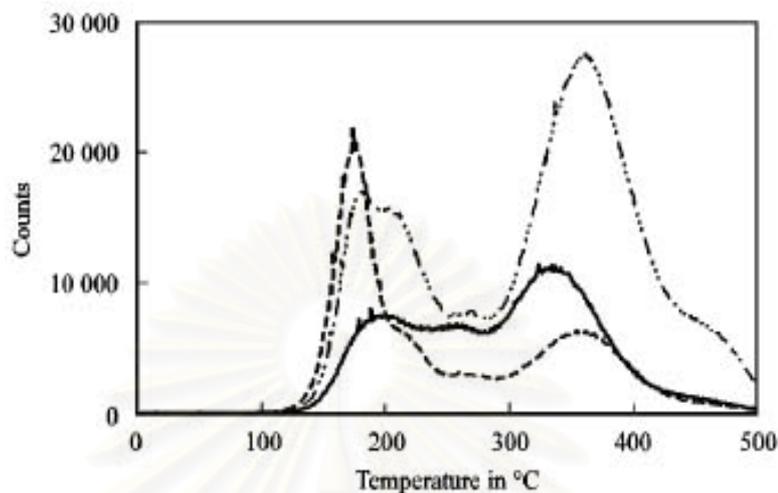
— คือ glow 1<sub>irr</sub> ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 0.2 kGy

.. .. คือ glow 2 ฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ปริมาณ 0.25 kGy เพื่อ normalize signal

จากรูปที่ 2.15 เปรียบเทียบ glow 1<sub>electrons</sub> และ glow 1<sub>gamma</sub> เมื่อฉายด้วยรังสีปริมาณต่ำ ๆ พบว่า glow curve มีรูปร่างคล้ายกันมียอดฟีกที่เด่นชัดอยู่ประมาณ 3 - 4 ฟีก แต่ค่าสัญญาณ TL ของการฉายด้วยรังสีแกมมาจะให้ค่าสูงกว่าการฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน ผู้ทำการทดลองแสดงผลว่า เมื่อฉายรังสีชนิดเดียวกันที่ปริมาณเท่ากัน สัญญาณ TL ที่วัดได้จากการฉายรังสีผลึกควอตซ์บริสุทธิ์ จะมีค่าต่ำกว่าสัญญาณ TL ของโปแตสเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ

นักวิจัยท่านอื่น ๆ และรูปที่ 2.16 สังเกตได้ว่า glow 2 มีค่าสัญญาณ TL สูงกว่า glow 1 เมื่อฉายที่รังสีชนิดเดียวกัน อาจเป็นว่าผลึกควอตซ์ไม่ตอบสนองต่อการฉายรังสีปริมาณต่ำ ๆ

ผลการทดลองจะแตกต่างออกไปเมื่อฉายรังสีระดับปานกลาง คือ 5 kGy ดังแสดงต่อไปนี้

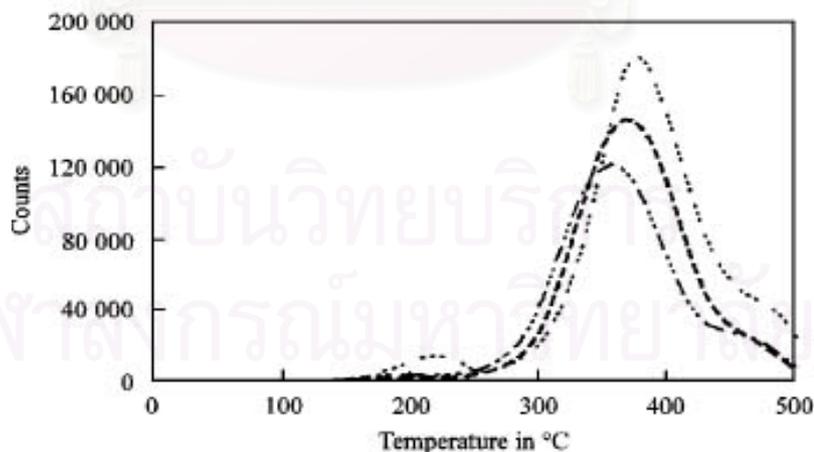


รูปที่ 2.17 ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ ฉายรังสีด้วยปริมาณปานกลางน้ำหนักตัวอย่าง 3.7 mg

— คือ glow 1 ฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณ 5 kGy

- - - คือ glow 2 ฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy

· · · · คือ glow 2 ฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณ 1 kGy (การฉาย glow 2 เพื่อ normalize signal)



รูปที่ 2.18 ตัวอย่าง glow curve ของควอตซ์ ฉายรังสีด้วยปริมาณปานกลางน้ำหนักตัวอย่าง 1.4 mg

· · · · คือ glow 1 ฉายรังสีแกมมาปริมาณ 5 kGy

- - - คือ glow 2 ฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy

· · · · คือ glow 2 ฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณ 1 kGy ฉาย glow 2 เพื่อ normalize signal

รูปที่ 2.17 แสดงผล glow 1<sub>electron</sub> ภายด้วยต้นกำเนิดรังสีอิเล็กตรอน ผลที่ได้จะมียอดฟิคเด่นชัดอยู่ 3 ฟิคโดยยอดฟิคที่ 3 มีค่าสูงสุด ส่วนรูปที่ 2.18 glow 1<sub>gamma</sub> ภายด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมา สังเกตเห็นฟิคเล็ก ๆ ที่อุณหภูมิ 200 °C และยอดฟิคสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 390 °C ผู้ทำการทดลองให้สังเกตความแตกต่างอย่างชัดเจนของ glow 2 ในรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18 สรุปว่าลักษณะรูปร่างของ glow 2 จะมีผลเนื่องมาจากชนิดของรังสีที่ใช้เป็น glow 1

ถ้า glow 1 ใช้รังสีอิเล็กตรอน รูปร่างของ glow 2 ที่ใช้รังสีแกมมา จะมียอดฟิคที่เด่นชัดอยู่ 4 ฟิค ยอดฟิคสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 370 °C

ถ้า glow 1 และ glow 2 มาจากการฉายรังสีแกมมา รูปร่าง glow 2 จะเหมือนกับ glow 1 แต่ยอดฟิคสูงสุดจะเลื่อนมาอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 350 °C และไม่พบฟิคเล็ก ๆ ที่อุณหภูมิ 200 °C และสังเกตได้ว่ายอดฟิคสุดท้ายของทุก ๆ glow curve ที่ฉายด้วยรังสีระดับปานกลางจะมีค่าสัญญาณ TL สูงสุดโดยไม่ขึ้นกับชนิดของรังสีที่ใช้ ส่วนใหญ่ค่าสัญญาณ TL ของการฉายด้วยรังสีแกมมาจะให้ค่าสูงกว่าการฉายด้วยรังสีอิเล็กตรอน

## 2.8.2 ศึกษาสารประกอบซิลิเกตที่สกัดได้จากตัวอย่างพริกไทยดำ [9]

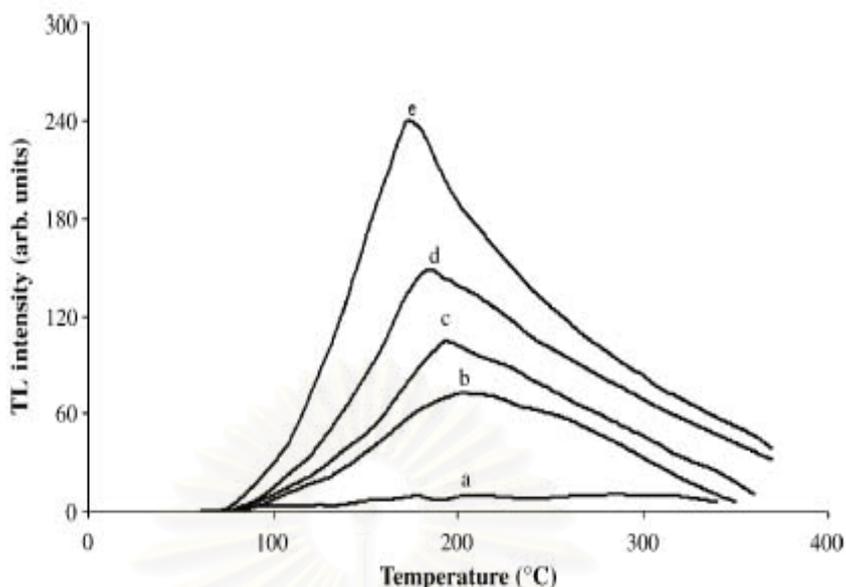
มีการศึกษาหาชนิดของผลึกสารประกอบธรรมชาติที่สกัดได้จากตัวอย่างพริกไทยดำ โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray diffraction ผลึกที่มีมากที่สุดในการประกอบซิลิเกตของพริกไทยดำคือควอตซ์ รองลงมาคือเฟลสปอีก 2 ชนิด และมีผลึกของสารประกอบโคลน ผสมอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งคล้ายกับรายงานของ EN 1788 ซึ่งกล่าวถึงส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องเทศและสมุนไพร แสดงผลของสารประกอบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 [9]

Chemical analysis by X-ray diffraction of inorganic dust particles collected from the black pepper

| Sample         | Quartz(wt%) | Na-Ca feldspar (wt%) | K-feldspar(wt%) | Clay mineral |
|----------------|-------------|----------------------|-----------------|--------------|
| Black pepper 1 | 81.07       | 5.27                 | 5.04            | Muscovite    |
| Black pepper 2 | 72.69       | 10.61                | 11.10           | Not detect   |
| Black pepper 3 | 70.21       | 9.50                 | 10.50           | Muscovite    |
| Black pepper 4 | 86.69       | 1.55                 | 10.15           | Muscovite    |

และยังศึกษาถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณ TL ฟิคสูงสุดและลักษณะของ glow curve เมื่อฉายด้วยปริมาณรังสีแกมมาที่ต่างกัน



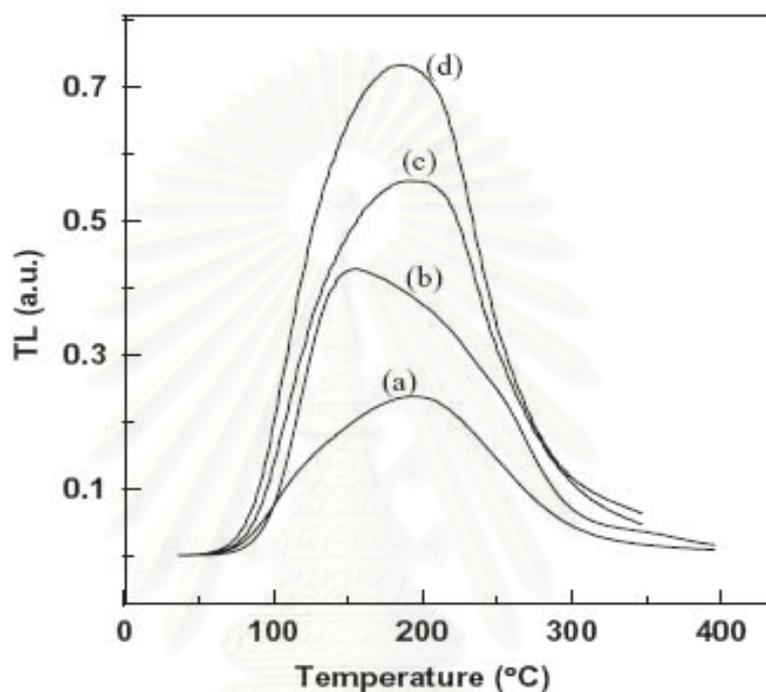
รูปที่ 2.19 การเปรียบเทียบสัญญาณ TL ของผลึกสารประกอบซิลิเกตที่สกัดมาจากตัวอย่าง  
พริกไทยดำ ด้วยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีค่าต่าง ๆ a) ตัวอย่างไม่ฉายรังสี ;  
b) 1 kGy ; c) 3 kGy ; d) 5 kGy ; e) 10 kGy

สรุปผลได้ว่าปริมาณสัญญาณ TL จะมากขึ้น โดยแปรผันตามกับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งยังสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสีได้อย่างชัดเจน แต่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณของสัญญาณ TL กับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจาก 1 - 10 kGy ได้ ความแตกต่างกันของรูปร่าง glow curve จะแปรผันไปตามสัดส่วนของควอตซ์ และ เฟลสปา ความไม่สมบูรณ์ในการฟอร์มตัวของผลึกธรรมชาติ จะทำให้เกิดกับดักที่ระดับพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งจะหลุดออกมาได้เมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน แม้ว่าจะฉายรังสีในปริมาณที่เท่ากันค่าสัญญาณ TL และรูปร่างของ glow curve ก็จะต่างกันไป สังเกตได้จากพีคสูงสุดของ glow curve ที่มีระยะไม่เท่ากัน แต่ก็ประมาณได้ว่าสำหรับตัวอย่างพริกไทยดำฉายรังสีแกมมา จะมีพีคสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 240 °C ซึ่งใกล้เคียงกับค่าคุณสมบัติสัญญาณ TL ของเฟลสปา (ประมาณ 200 °C) สรุปได้ว่าสัญญาณส่วนใหญ่มาจากเฟลสปา แม้สัดส่วนของควอตซ์จะมีปริมาณมากกว่า

ผู้ทดลองได้ทำการศึกษาวัดค่าสัญญาณ TL ของพริกไทยดำหลังจากฉายรังสี ผลปรากฏว่าค่าจะลดลงอย่างต่อเนื่องใน 14 วันแรก หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ และคงสภาพเดิมไปมากกว่า 1 ปี เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะอุณหภูมิกปกติ หรือกล่าวในอีกทางหนึ่งว่าภายใน 1 ปี หลังจากการฉายรังสีสามารถนำตัวอย่างมาตรวจพิสูจน์จำแนกการฉายรังสีได้โดยง่าย และสามารถตรวจพบการฉายรังสีที่ปริมาณต่ำกว่า 1kGy ได้ (0.05 -1 kGy)

### 2.8.3 ศึกษาสารประกอบซิลิเกตที่สกัดได้จากตัวอย่างพริก [10]

มีการศึกษาหาชนิดของผลึกสารประกอบธรรมชาติ ที่สกัดได้จากตัวอย่างพริกพันธุ์ Chile Guajillo ในประเทศเม็กซิโก พบว่าประกอบไปด้วยควอตซ์ มากที่สุดถึง 60 % รองลงมาคือ alkali เฟลสปาชนิด albaite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) 30 % และน้อยที่สุดคือโปแตสเซียมเฟลสปา ชนิด ortose ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) 10 %

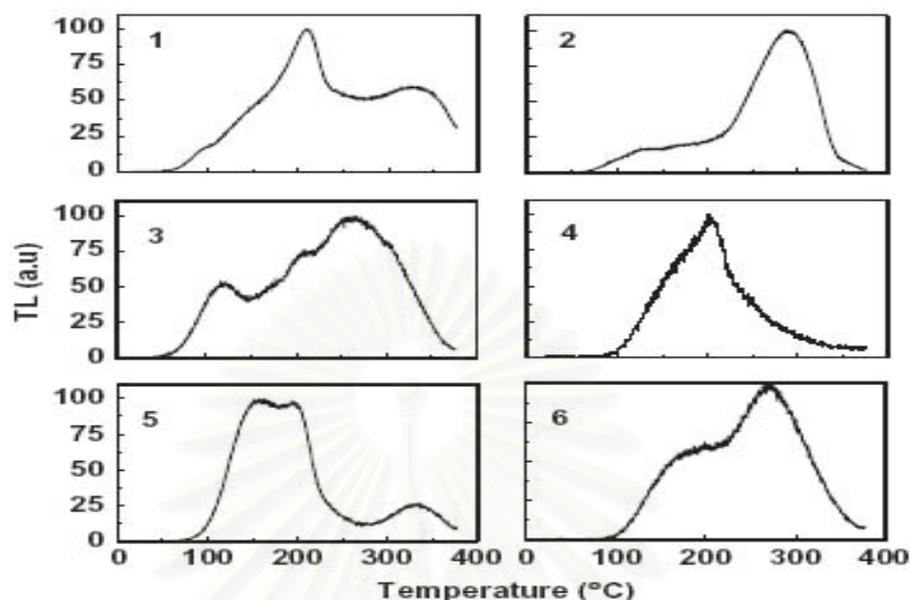


รูปที่ 2.20 การเปรียบเทียบสัญญาณ TL ของผลึกสารประกอบซิลิเกตที่สกัดมาจากตัวอย่างพริก ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีค่าต่าง ๆ a) 2 kGy ; b) 4 kGy ; c) 6 kGy ; d) 8 kGy

สรุปผลได้ว่าปริมาณสัญญาณ TL จะมากขึ้นโดยแปรผันตามกับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสัญญาณ TL กับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจาก 2 - 8 kGy ได้ สำหรับตัวอย่างพริกฉายรังสีแกมมาจะมีพีคสูงสุดของ glow curve ประมาณอยู่ที่อุณหภูมิ 200 °C การที่พีคสูงสุดไม่สามารถอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันได้เป็นเพราะ glow curve ที่เกิดขึ้นในหนึ่งตัวอย่าง มาจากการรวมกันของ glow curve ที่มีจาก ควอตซ์และเฟลสปาอีก 2 ชนิด และความแตกต่างกันของโครงสร้างผลึกและจำนวนที่สกัดมาได้ในแต่ละตัวอย่าง โดยค่าสัญญาณ TL ที่มาจาก ควอตซ์ จะอยู่ที่ประมาณอุณหภูมิ 90 °C (110 °C glow-peak ของ ควอตซ์)

สำหรับสัญญาณ TL ที่มาจากผลึกของเฟลสปายอดพีคสูงสุด จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C และเป็นพีคที่ให้ค่าสัญญาณ TL ส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบยอดพีคที่มีค่าสัญญาณ TL สูงเช่นกันที่อุณหภูมิประมาณ 300-400 °C และสุดท้ายมีผู้บันทึกไว้ว่าพบค่าสัญญาณ TL สูงมาก ที่อุณหภูมิประมาณ 400 และ 600 °C

ความแตกต่างกันของรูปร่าง glow curve พริกฉายรังสี จะแปรผันไปตามสัดส่วนผลึกของควอตซ์ และ เฟลสปา พบว่าเกิดพีคได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.21 ความแตกต่างกันของรูปร่าง glow curve พริกฉายรังสีที่ปริมาณ 2 kGy เนื่องจากความแตกต่างกันของแหล่งที่มา

#### 2.8.4 การจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ [4]

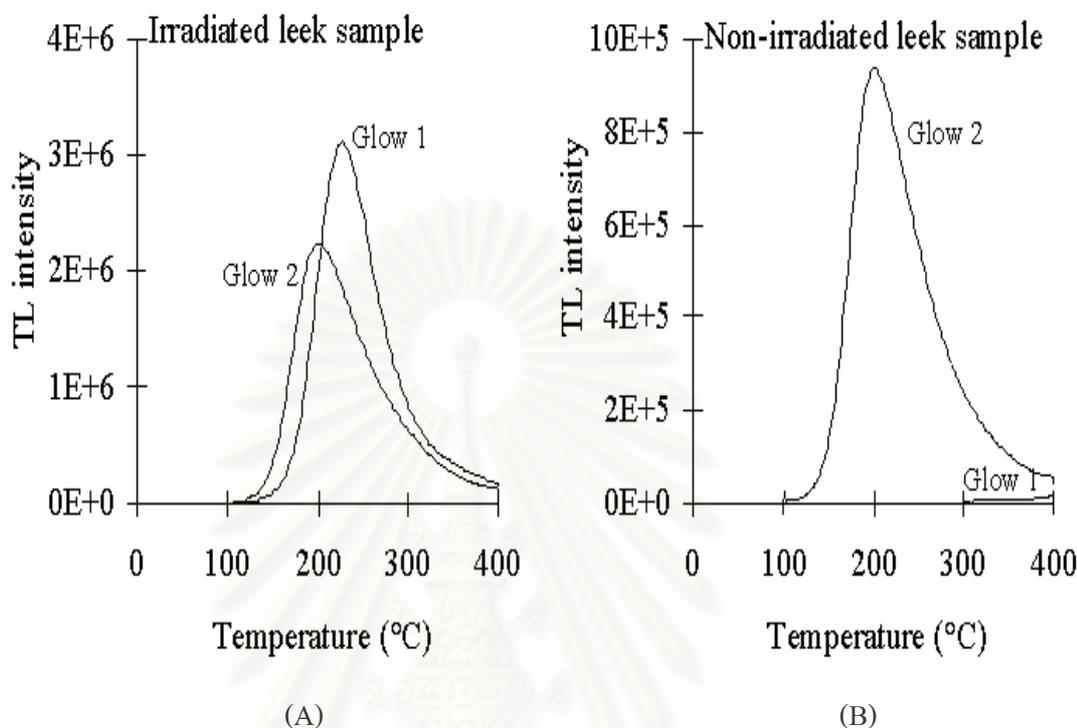
จากรายงานของ EN 1788 แสดงผลการวิจัยในการจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีด้วยวิธีการจำแนกจากค่าอัตราส่วนค่าสัญญาณ TL ของ glow 1 และ glow 2 ดังได้แสดงต่อไปนี้

2.8.4.1 การหาค่า glow 1 คือการวัดสัญญาณ TL ครั้งที่ 1 จากตัวอย่างเครื่องเทศที่นำมาตรวจพิสูจน์โดยสกัดได้สารประกอบซัลโฟนิกแล้ว

2.8.4.2 การหาค่า glow 2 คือการวัดสัญญาณ TL ครั้งที่ 2 จากตัวอย่างเครื่องเทศที่ผ่านการวัด glow 1 แล้วนำไปฉายรังสีที่ทราบค่าจากต้นกำเนิดรังสีชนิดต่าง ๆ เช่น ฉายรังสีแกมมาที่ 1 kGy วัดดูประสงค์เพื่อนำไป normalize ระหว่าง glow 1 และ glow 2

2.8.4.3 การหาค่าอัตราส่วน หรือการ normalize สัญญาณ TL ระหว่าง glow 1 และ glow 2 เพื่อหาอัตราส่วนสัญญาณ TL ของ glow 1 / glow 2 หากตัวอย่างใด มีค่าอัตราส่วนสัญญาณ TL มากกว่า 0.5 คือตัวอย่างนั้นได้มีการผ่านการฉายรังสีเพื่อการถนอมอาหาร ส่วนตัวอย่างที่ไม่เคยผ่านการฉายรังสีจะมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.1 เสมอ

สำหรับตัวอย่างที่ตรวจพบว่าค่าอัตราส่วนสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 0.1- 0.5 จะต้องมีการทำการทดลองซ้ำ เพื่อยืนยันผลการทดลองให้แน่ใจว่าตัวอย่างนั้น ได้ผ่านการฉายรังสีมาหรือไม่



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างสัญญาณ TL ของ glow 1 และ glow 2 ที่ฉายด้วยรังสีแกมมา 1kGy ของตัวอย่างฉายรังสีในรูป (A) และตัวอย่างไม่ฉายรังสีในรูป (B)

จากรูปที่ 2.22 แสดงคุณสมบัติการตรวจพิสูจน์ตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสี ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ สามารถจำแนกความแตกต่างของเครื่องเทศฉายรังสีดังรูปที่ 2.22 (A) และเครื่องเทศที่ไม่ผ่านการฉายรังสีรูปที่ 2.22 (B) ได้อย่างชัดเจน สำหรับเครื่องเทศตามกฎหมายกำหนดไว้ว่า ให้ใช้ปริมาณรังสีระหว่าง 1 -10 kGy เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ หรือลดปริมาณเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่เพื่อคงคุณค่าและโภชนาการ แต่พบว่าผู้ประกอบการนิยมฉายรังสีพริกไทยดำและพริกแห้งที่ปริมาณ 5 -10 kGy

ผู้ทำการทดลองได้สรุปอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้ตรวจพิสูจน์ตัวอย่างอาหารฉายรังสี โดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดยจะสามารถจำแนกได้ว่าตัวอย่างอาหารนั้นผ่านการฉายรังสีมาหรือไม่ คือการใช้พื้นที่ใต้กราฟของ glow curve ในช่วงอุณหภูมิ 197-259 °C มาคำนวณหาอัตราส่วนซึ่งได้มาจากการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 70-500 °C โดยแบ่งทดสอบเป็นช่วง ๆ ดังนี้ 73-197 °C, 197-228 °C, 228-259 °C, 259-290 °C, 259-321 °C, 290-321 °C และ 321-445 °C ซึ่งอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามระบบวิธีการในห้องปฏิบัติการอื่นก็ได้

ได้มีการศึกษาพีคของควอตซ์บริสุทธิ์ [9] พบว่าเกิดพีคได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันจากการให้ความร้อนในช่วง 25-500 °C คือ 100 °C, 180 °C, 220 °C, 260 °C, 305 °C, 350 °C และ 450 °C แตกต่างกันไปตามชนิดของควอตซ์ พีคที่พบมากที่สุดในทุกชนิดของควอตซ์ คือที่อุณหภูมิ 110 °C ซึ่งจะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า ‘110 °C glow-peak ของ ควอตซ์’ รองลงมาคือที่รอบ ๆ อุณหภูมิ 200 °C และยังสามารถพบได้ที่อุณหภูมิ 325 °C และ 375 °C

เมื่อทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของสัญญาณ TL จากโปแตสเซียมเฟลสปาบริสุทธิ์ และ mineral mixture ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เพื่อจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีและไม่ฉายรังสี ปรากฏว่าได้ผลการจำแนกถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ EN 1788 ที่กล่าวว่าโดยปกติตัวอย่างอาหารฉายรังสีจะแสดงค่าสัญญาณ TL ของ glow 1 ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150-250 °C ในขณะที่ผลของ archaeological background dose จะแสดงค่าสัญญาณ TL ของ glow 1 ในช่วงอุณหภูมิที่มากกว่า 300 °C ซึ่งแสดงผลไว้แล้วในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.22



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัตถุประสงค์สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ในการตรวจพิสูจน์เครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี

##### 3.1.1 ตัวอย่างเครื่องเทศ

เตรียมตัวอย่างโดยการสุ่มซื้อมาจากร้านที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด ได้แก่ พริกแห้งจำนวน 5 ตัวอย่าง และพริกไทยดำจำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งต้องมั่นใจว่าเป็นตัวอย่างเครื่องเทศที่ไม่ผ่านการฉายรังสีมาก่อน โดยทำการแบ่งตัวอย่างแต่ละชนิดออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- ตัวอย่างควบคุมไม่ผ่านการฉายรังสี
- ตัวอย่างสำหรับนำไปฉายรังสี

##### 3.1.1.1 ตัวอย่างพริกแห้ง

- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดตรัง  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกตรังฉายรังสี และพริกตรังควบคุม)
- พริกชี้หนูแดงแห้งจังหวัดอุบลราชธานี  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกอุบลฯ ฉายรังสี และพริกอุบลฯ ควบคุม)
- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดราชบุรี  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกราชบุรีฉายรังสี และพริกราชบุรีควบคุม)
- พริกแดงแห้งจากประเทศมาเลเซีย  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกมาเลฯ ฉายรังสี และพริกมาเลฯ ควบคุม)
- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดกรุงเทพมหานคร  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกกทม. ฉายรังสี และพริกกทม. ควบคุม)



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างพริกแห้งชนิดต่างๆ

### 3.1.1.2 ตัวอย่างพริกไทยดำ

เตรียมตัวอย่างโดยสุ่มซื้อตัวอย่างที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด จำนวน 5 ตัวอย่าง

- พริกไทยดำจังหวัดจันทบุรี  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทยจันทน์ฉายรังสี และพริกไทยจันทน์ควบคุม)
- พริกไทยดำยี่ห้อไรท์พี  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทยไรท์พีฉายรังสี และพริกไทยไรท์พีควบคุม)
- พริกไทยดำจังหวัดสระบุรี  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทยสระบุรีฉายรังสี และพริกไทยสระบุรีควบคุม)
- พริกไทยดำจังหวัดกรุงเทพมหานคร  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทยกทม.ฉายรังสี และพริกไทยกทม.ควบคุม)
- พริกไทยดำจังหวัดตรัง  
(รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทยตรังฉายรังสี และพริกไทยตรังควบคุม)



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างพริกไทยดำชนิดต่างๆ

### 3.1.1.3 ตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสี ได้รับการอนุเคราะห์ตัวอย่างจากบริษัท NST

#### FOOD INGREDIENTS

- ตัวอย่างพริกแดงปนผ่านการฉายรังสี ได้รับการฉายรังสีเฉลี่ยปริมาณ 5.8 – 8.4 kGy เมื่อ 17 มีนาคม 2548 (รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริก NST)
- ตัวอย่างพริกไทยขาวปนผ่านการฉายรังสี ได้รับการฉายรังสีเฉลี่ยปริมาณ 5.7 – 8.3 kGy เมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2548 (รหัสตัวอย่างที่ใช้คือ พริกไทย NST)

### 3.1.2 Radiation source $^{60}\text{Co}$ -Gamma-rays

3.1.2.1 เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น BSV06 ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น BSV06

3.1.2.2 เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excell ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excell

### 3.1.3 อุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่างโดยวิธีทางฟิสิกส์

- Ultrasonic bath สามารถใช้ได้กับบีกเกอร์ ขนาด 150 ml
- บีกเกอร์
- น้ำ Reverse .Osmosis.( R.O.)
- Stainless steel sieves ขนาด pore sizes 125  $\mu\text{m}$  และ 250  $\mu\text{m}$

### 3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการสกัดตัวอย่างด้วยสารเคมี

#### 3.1.4.1 สารเคมี

การเลือกใช้สารเคมีควรเลือกใช้เฉพาะสารเคมีเกรดระดับห้องปฏิบัติการ (reagents) ซึ่งทั้งหมดต้องเก็บรักษาเป็นพิเศษ ให้ปราศจากการปนเปื้อนตลอดทั้งกระบวนการทดลอง และควรใช้น้ำอย่างน้อยเกรด 3 ตามมาตรฐาน EN ISO 3696:1995 เช่นน้ำ R.O.

- สารละลาย Sodium Polytungstate  $\text{Na}_6[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ด้วยความเข้มข้น  $2.0 \text{ g.ml}^{-1}$  ซึ่งสารละลายนี้สามารถนำกลับมาทำให้บริสุทธิ์

- Hydrochloric acid, (HCL) = 1 mol/l.
- Ammonium hydroxide solution, ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) = 1 mol/l.
- Acetone
- Nitrogen gas 99.99 %
- spray
- Ethanol.

#### 3.1.4.2 อุปกรณ์สำหรับใช้สกัดตัวอย่าง

ควรรักษาความสะอาดวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ภาชนะแก้ว หลอดทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของตัวอย่างที่ฉายรังสีและตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสี และทำความสะอาดทุกพื้นผิวในห้องปฏิบัติการ

- หลอดทดลอง
- ขวดเก็บสารเคมี
- กระดาษวัดค่า pH
- กระจกบดวง
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) มีขนาดเหมาะสมกับหลอดแก้วขนาด 10 –15 ml



รูปที่ 3.5 ภาพอุปกรณ์เครื่องปั่นเหวี่ยง

### 3.1.5 อุปกรณ์บรรจุตัวอย่างบน disc

- Stainless steel discs หรือ Shallow cups โดยต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับเครื่องอ่านที่แอลดี คือ 9 - 10 mm และมีความหนา 0.25 - 0.5 mm
- Pasteur pipette
- เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิทัล
- ถาดใส่ตัวอย่าง
- ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิได้ที่  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$

### 3.2 เครื่องอ่านทีแอลดีสำหรับอ่านค่าสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์จากตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องอ่านทีแอลดี รุ่น M 3500 ของบริษัท Harshaw เป็นเครื่องที่สามารถใช้อ่านทีแอลดีได้ทั้งชนิดซีฟ ชนิดแท่งและชนิดผง โดยการเปลี่ยนงานให้ความร้อน (Planchett) ที่เหมาะสม เครื่องอ่านต้องเชื่อมโยงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมควบคุมการทำงานซึ่งสามารถควบคุมตัวประกอบที่สำคัญในการอ่านได้แก่ เวลาที่ใช้อ่าน อัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการอ่าน ตัวประกอบหลัก 3 ตัวนี้เรียกว่า Time temperature profile (TTP) และมีค่าแตกต่างกันออกไปสำหรับการอ่านทีแอลดีแต่ละชนิด ต้องดูจากคู่มือของบริษัทหรือทดลองปรับเปลี่ยนค่าตัวประกอบเหล่านี้จนกว่าจะได้รูปร่างของ glow curve ที่เป็นไปตามมาตรฐาน



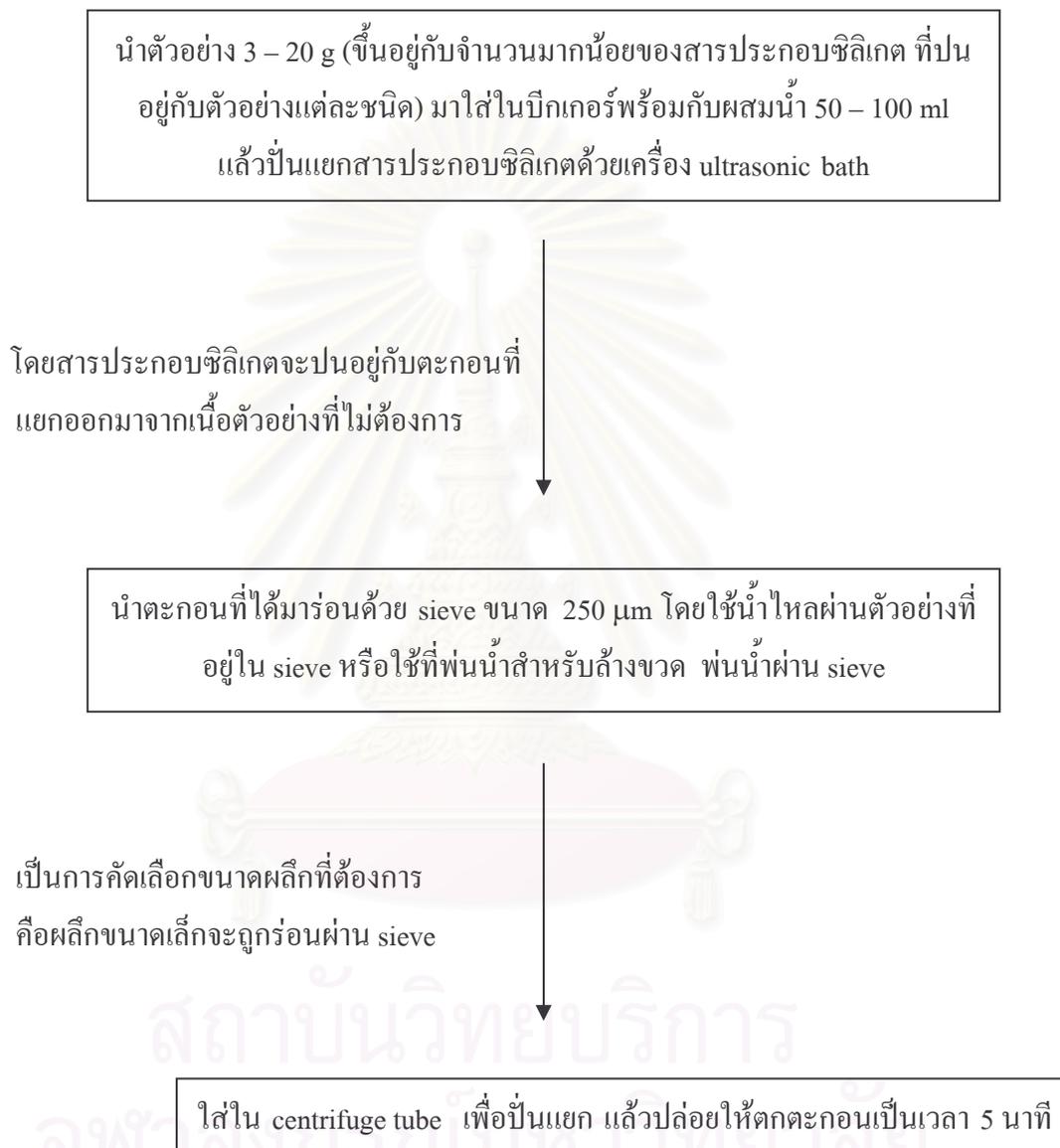
รูปที่ 3.6 ภาพอุปกรณ์เครื่องอ่านทีแอลดี

นำตัวอย่างเครื่องเทศมาอ่านโดยใช้เครื่องอ่านของบริษัท Harshaw รุ่น M3500 โดยการตั้ง TTP ดังนี้

|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| อัตราการให้ความร้อน     | $6^{\circ}\text{C}$ ต่อวินาที |
| อุณหภูมิสูงสุดในการอ่าน | $400^{\circ}\text{C}$         |
| เวลาที่ใช้ในการอ่าน     | 63 วินาที                     |

### 3.3 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีทางฟิสิกส์

คือการสกัดสารประกอบซิติเกตบริสุทธิ์ออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางฟิสิกส์ เป็นการสกัดอย่างหยาบ ตะกอนผงฝุ่นที่ได้จะมีสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการปนเปื้อนอยู่ มีกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3.7 แผนผังกระบวนการสกัดสารประกอบซิติเกตบริสุทธิ์ออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางฟิสิกส์

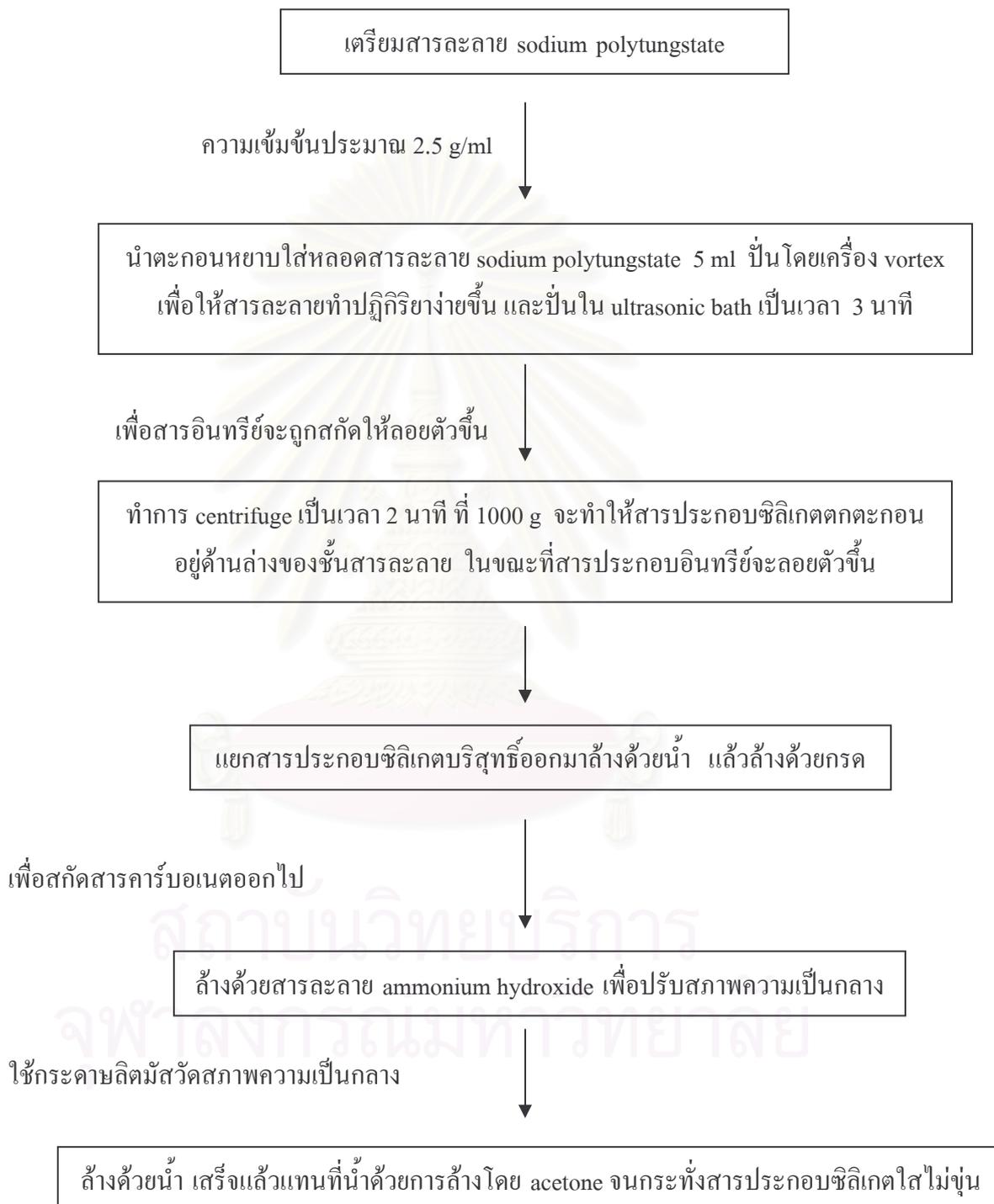
- ทำกระบวนการข้างต้นนี้ติดต่อกันหลาย ๆ รอบ จนกว่าจำนวนของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนกับสารประกอบจะคงเหลืออยู่น้อยที่สุด
- ให้ใช้ sieve ชุดใหม่ทุกครั้งเมื่อทำการเปลี่ยนตัวอย่างชนิดใหม่
- ทำการปั่น เป็นเวลา 1 นาที ที่ 1000 g แล้วปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที แล้วค่อย ๆ คูดน้ำออกจากหลอด เหลือไว้แต่ส่วนของสารประกอบเบื่องล่าง
- แนะนำให้ร้อนตัวอย่างขณะที่ยังเปียก ตามขั้นตอนข้างล่างนี้ ถ้าแยกได้สารประกอบเพียงพอจากการรวบรวมหรือการล้างแล้ว รีบทำการแยกสารประกอบชนิดนี้ด้วยขั้นตอนละเอียด ออกจากตัวอย่างโดยทันที



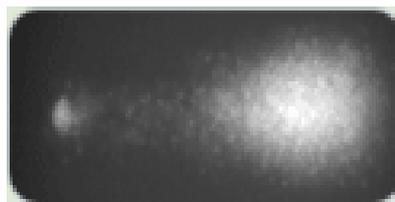
สถาบันวิทยบริการ  
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การปั่นแยก Ultrasonic bath  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 การสกัดด้วยสารเคมี

คือการสกัดสารประกอบซิติลเกตบริสทุทรีออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางเคมี เป็นการสกัดอย่างละเอียด โดยการสกัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ออกไป มีกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3.9 แผนผังกระบวนการสกัดสารประกอบซิติลเกตบริสทุทรีออกจากตัวอย่างด้วยวิธีทางเคมี

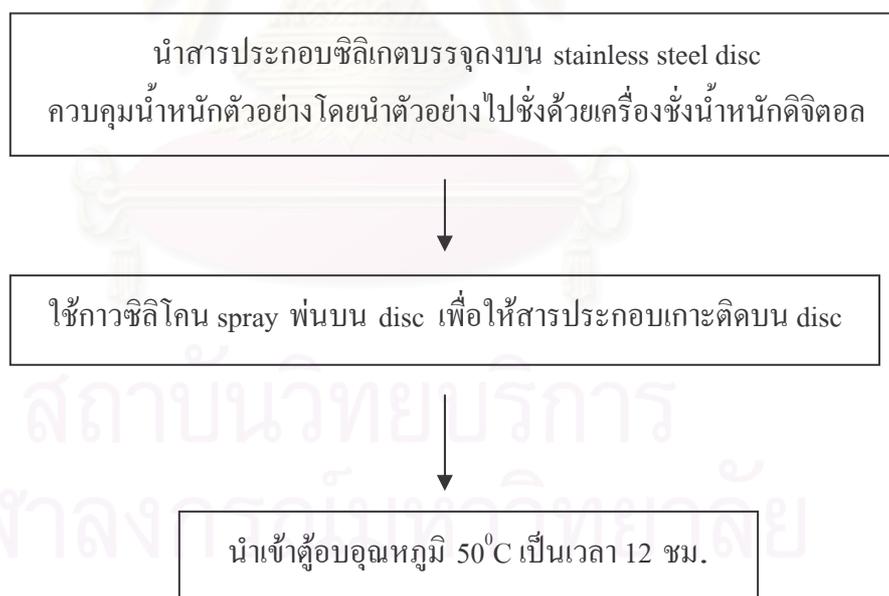


รูปที่ 3.10 ตัวอย่างผงสารประกอบซิลิเกตบริสุทธิ์ที่ได้หลังจากกระบวนการสกัดทางเคมี

หากสังเกตเห็นว่ามีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ ให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนแรกตั้งแต่เติมสารละลาย sodium polytungstate ใหม่ แล้วปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ จนแยกสารอินทรีย์ได้หมด

### 3.5 บรรจุตัวอย่างบน disc เพื่อทำการวัดสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

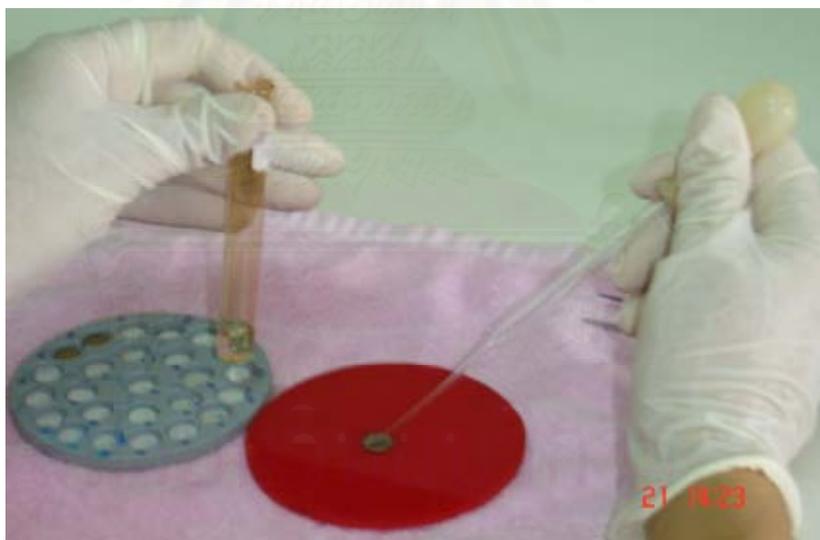
แยกสารประกอบซิลิเกตออกจาก acetone มาใส่ใน disc โดยใช้ Pasteur pipette หลังจากทำการดูดสารประกอบ ให้มาอยู่ใน pipette ซึ่งสารประกอบจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วอยู่ที่ปากหลอด pipette ง่ายต่อการย้ายไปใส่ใน disc (หลังจากปล่อยให้ acetone ระเหยไปหมดแล้ว)



รูปที่ 3.11 แผนผังกระบวนการบรรจุตัวอย่างบน disc

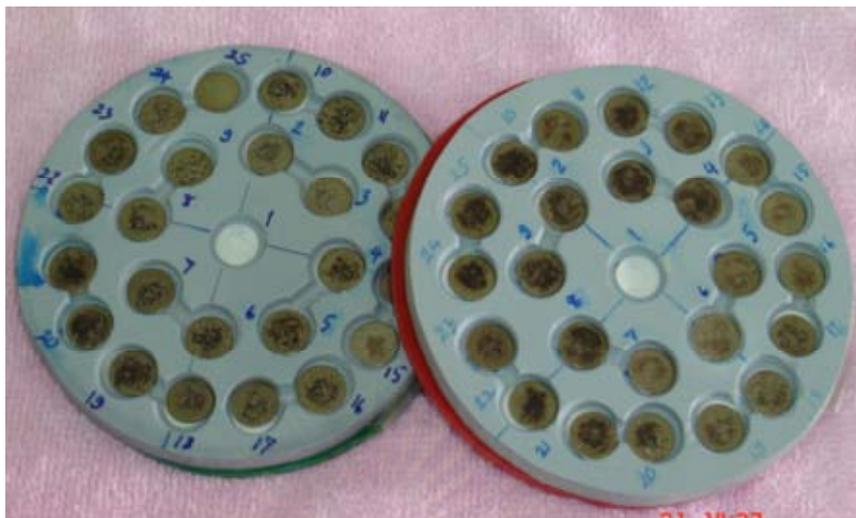


รูปที่ 3.12 ภาพการชั่งน้ำหนัก stainless steel disc โดยเครื่องชั่งดิจิทัล



รูปที่ 3.13 ภาพการบรรจุตัวอย่างบน stainless steel disc

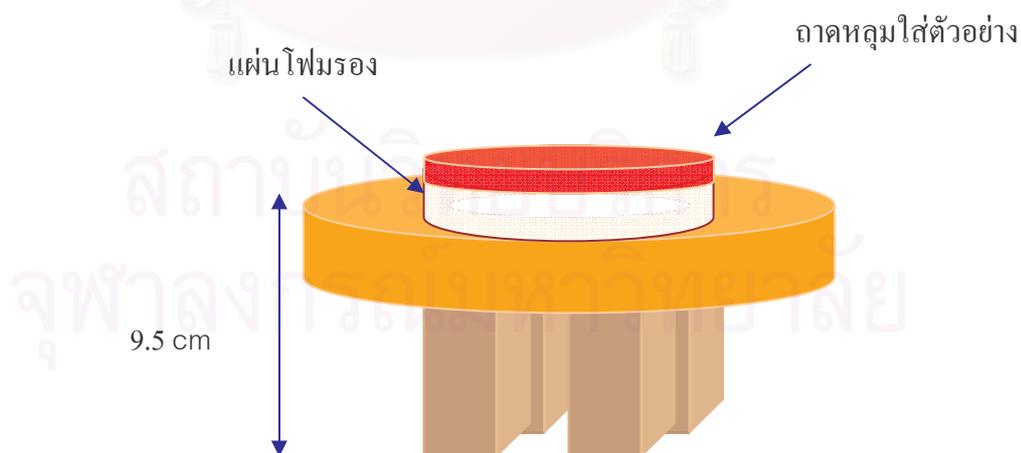
ทำความสะอาด stainless steel discs ด้วยความระมัดระวัง โดยล้างด้วยน้ำ เข้าเครื่องปั่น ultrasonic แล้วล้างต่อใน acetone แล้วเข้าเครื่องปั่น ultrasonic เป็นครั้งที่สอง อบให้แห้งในเตาอบ แล้วเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่ปราศจากฝุ่น ป้องกันการปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อม



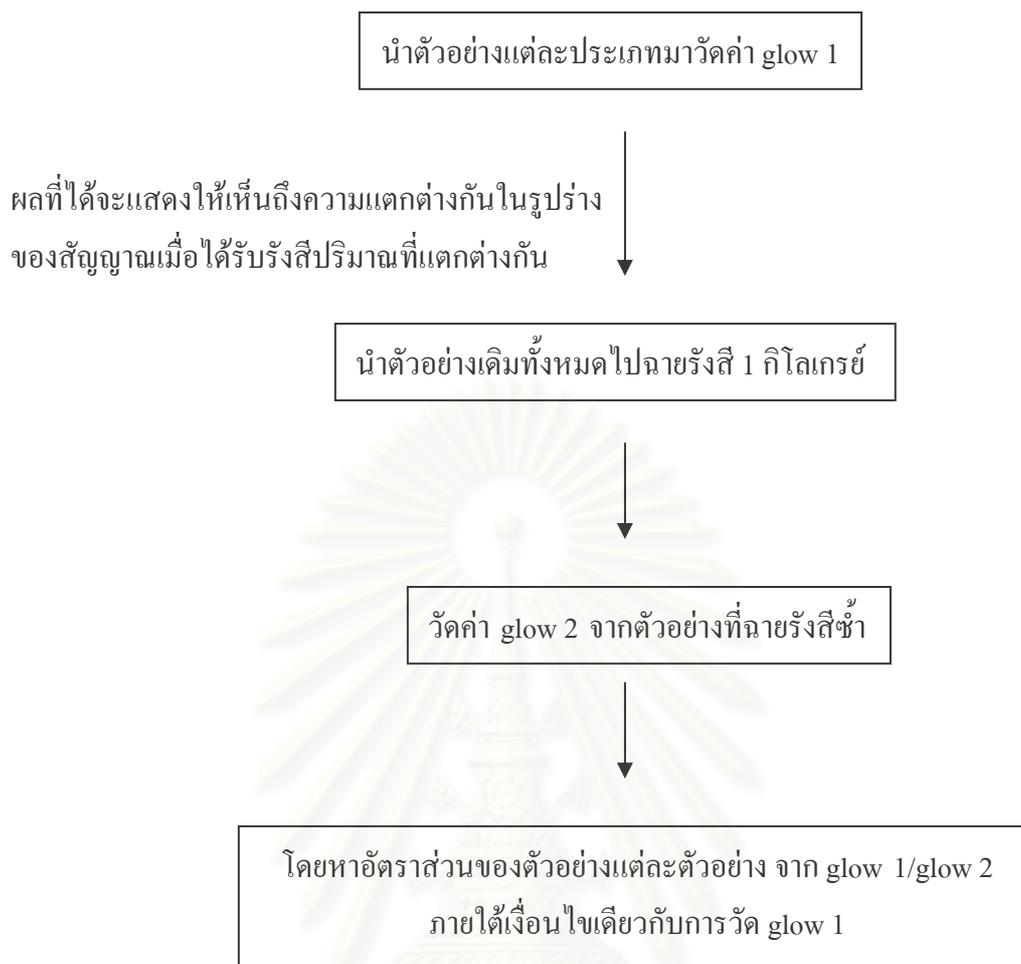
รูปที่ 3.14 ถาดใส่ตัวอย่างที่ออกแบบไว้เพื่อระบุตำแหน่ง

### 3.6 การวัดสัญญาณเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

สำหรับการจำแนกตัวอย่างฉายและไม่ฉายรังสีจากการวิเคราะห์ค่า TL signal ต้องทำการวัดแบคกราวด์ของเครื่องอ่านที่แอลดี เพื่อให้แน่ใจว่าแบคกราวด์ จะอยู่ในสถานะเดิมตลอดการทดลอง และความสะอาด พื้นผิวของ infrared filter และ แผ่นให้ความร้อน (planchet) ด้วย ethanol เพื่อลดสัญญาณ TL แปลกปลอมที่อาจจะเกิดขึ้นในการอ่านสัญญาณ TL ต้อง flush chamber ด้วยแก๊สไนโตรเจน ใช้อัตราการใช้ของแก๊สคงที่ตลอดการทดลอง



รูปที่ 3.15 การจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างเพื่อฉายรังสีซ้ำปริมาณ 1 kGy  
ฉายรังสีโดยเครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excell



รูปที่ 3.16 แผนผังกระบวนการวัดสัญญาณ TL ของ glow 1 และ glow 2

ค่าอัตราส่วนนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าตัวอย่างเครื่องเทศใดฉายรังสี หรือไม่ฉายรังสี เพราะฉะนั้นในการทดลองต้องควบคุมการเก็บรักษาป้องกันการสูญหายของสารประกอบซิติลิกัด บนแผ่น disc หรือระวางการปนเปื้อนของวัตถุแปลกปลอมที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณ TL และต้องป้องกันให้พ้นจากแสงสว่างเพื่อลดค่า fading ของสัญญาณ

ก่อนที่จะนำ disc ไปอ่าน glow 2 หากสามารถบ่งชี้ได้ว่าการสูญหาย ถูกแสงสว่างหรือปนเปื้อนใด ๆ ต้องทำการแยกแผ่น disc นั้น ๆ ออกจากการทดลองทันที การตรวจสอบเรื่องการสูญหายของสารประกอบกระทำได้ง่าย คือการชั่งน้ำหนักของแผ่น disc หลังจากก็นำแผ่น disc ไปฉายรังสี 1 kGy ให้เก็บไว้ในตู้อบที่ 50 °C ตลอดทั้งคืน ก่อนนำไปอ่าน glow 2

### 3.7 หาปริมาณสารประกอบซิติเกดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่าง

เป็นการทดลองหาปริมาณสารประกอบซิติเกดที่เหมาะสมสำหรับบรรจุบน stainless steel disc ของตัวอย่างพริกแดงแห้ง และพริกไทยดำโดยเลือกใช้ตัวอย่างดังนี้

- ตัวอย่างพริกแดงแห้งจากประเทศมาเลเซียที่ผ่านการฉายรังสี
- ตัวอย่างพริกไทยดำจากจังหวัดจันทบุรีที่ผ่านการฉายรังสี

บรรจุสารประกอบซิติเกดลงบน stainless steel disc แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่ปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 1mg, 2 mg, 3 mg, 4mg, 5 mg และ 6 mg โดยแต่ละตำแหน่งน้ำหนักจะใช้ stainless steel disc จำนวน 3 แผ่น และนำไปอ่านค่าสัญญาณ TL เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

### 3.8 ข้อแนะนำและสิ่งทีควรระมัดระวังในขั้นตอนการทดลอง

- การล้างด้วยน้ำ หรือการแยกด้วยกรด ควรให้แน่ใจว่ากระบวนการต่าง ๆ จะไม่ส่งผลให้สารประกอบที่แยกออกมาได้นั้นเกิดการปนเปื้อนจนไม่สามารถนำมาตรวจพิสูจน์ถึงการฉายรังสีได้
- สารประกอบซิติเกดไม่ควรปนเปื้อนสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดสัญญาณ TL แปลกปลอมที่ไม่ได้มาจากการฉายรังสี หรือในกรณีปนเปื้อนรุนแรง ก็จะไปบดบังสัญญาณ TL จากการฉายรังสีทั้งหมด
- อย่างไรก็ตามขณะที่ทำการแยกสารประกอบซิติเกด ควรป้องกันจากการโดนแสงโดยไม่จำเป็น เพื่อป้องกัน optical bleaching ซึ่งห้องปฏิบัติการระดับนานาชาติ ก็มีมาตรการในการป้องกันการทดลองให้พ้นจากแสงได้โดยปกติอยู่แล้ว และให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ
- ปริมาณของสารประกอบซิติเกดที่แยกออกมาได้นั้น ควรมีปริมาณ 0.1 ถึง 5 mg หรือให้เพียงพอกับการวิเคราะห์สัญญาณ จะเป็นปริมาณที่ mg ขึ้นอยู่กับปริมาณสัญญาณ glow 2 ที่วัดได้จากสารประกอบซิติเกด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ปริมาณการฉายรังสีของเครื่องเทศ

ตัวอย่างได้รับการฉายรังสีด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 รุ่น BSV06 ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##### 4.1.1 ตัวอย่างพริกแห้งจำนวน 5 ตัวอย่าง ได้รับการฉายรังสีเฉลี่ยปริมาณ 5.5 – 5.7 kGy

- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดตรัง
- พริกขี้หนูแดงแห้งจังหวัดอุบลราชธานี
- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดราชบุรี
- พริกแดงแห้งจากประเทศมาเลเซีย
- พริกแดงแห้งพันธุ์บางช้างจังหวัดกรุงเทพมหานคร

##### 4.1.2 ตัวอย่างพริกไทยดำจำนวน 5 ตัวอย่าง ได้รับการฉายรังสีเฉลี่ยปริมาณ 5.5 – 5.8 kGy

- พริกไทยดำจังหวัดจันทบุรี
- พริกไทยดำยี่ห้อไรท์พิพย์
- พริกไทยดำจังหวัดสระบุรี
- พริกไทยดำจังหวัดกรุงเทพมหานคร
- พริกไทยดำจังหวัดตรัง

#### 4.2 ผลการวิจัยปริมาณสารประกอบซิติเกดที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง

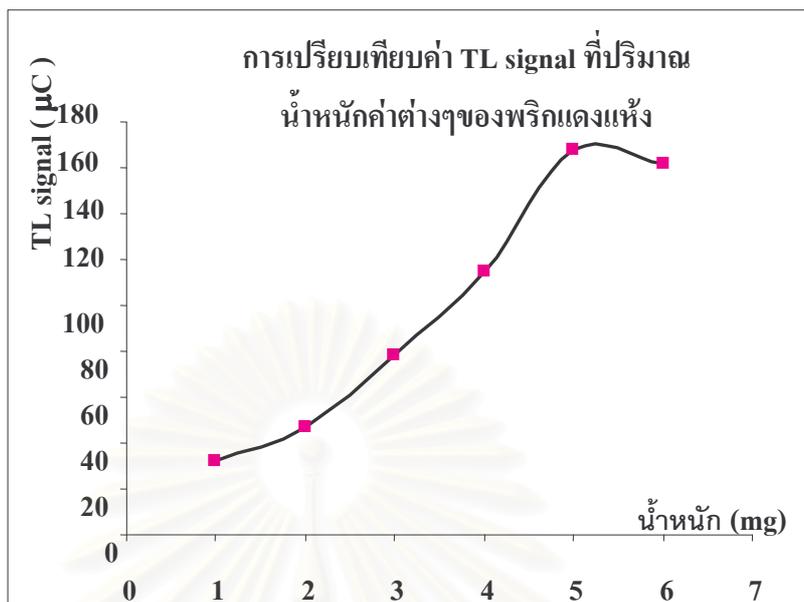
พบว่าเนื่องจากการชั่งตัวอย่างสารประกอบซิติเกดให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดคือ 1mg, 2 mg, 3 mg, 4mg, 5 mg และ 6 mg ในทางปฏิบัติจะกระทำได้อ่อนช้อยยาก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปริมาณสารประกอบซิติเกดที่หยดลงบน stainless steel disc ได้โดยใช้ Pasteur pipette แต่สามารถชั่งน้ำหนักได้ในปริมาณที่ใกล้เคียง เฉลี่ยไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการหาปริมาณน้ำหนักสารประกอบซิลิเกตที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่างพริกแดงแห้งฉายรังสี โดยทำการชั่งปริมาณน้ำหนักตั้งแต่ 1- 6 mg

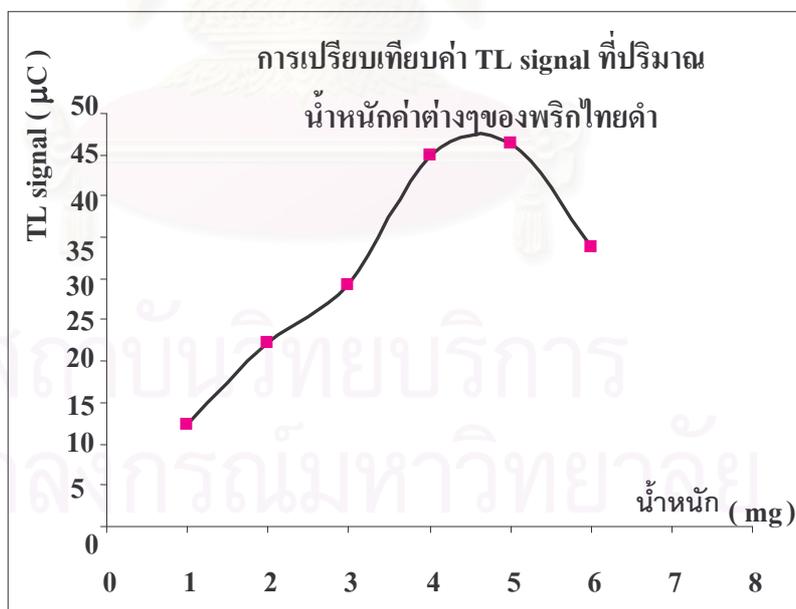
| น้ำหนักตัวอย่าง<br>ที่ต้องการ | น้ำหนัก<br>disc | น้ำหนักตัวอย่าง+disc<br>เฉลี่ยที่ชั่งได้ | น้ำหนักตัวอย่าง<br>(net mass) | ค่า TL<br>signal  | ค่าเฉลี่ยของ<br>TL signal | SD    |
|-------------------------------|-----------------|--|-------------------------------|-------------------|---------------------------|-------|
| 1 mg                          | (mg)            | (mg)                                     | (mg)                          | ( $\mu\text{C}$ ) | ( $\mu\text{C}$ )         |       |
| disc 1                        | 285.4           | 286.6                                    | 1.2                           | 37.90             |                           |       |
| disc 2                        | 284.9           | 285.9                                    | 1.0                           | 36.39             | 31.84                     | 9.23  |
| disc 3                        | 286.1           | 287.1                                    | 1.0                           | 21.22             |                           |       |
| <b>2 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |       |
| disc 1                        | 285.7           | 287.6                                    | 1.9                           | 60.48             |                           |       |
| disc 2                        | 285.6           | 287.7                                    | 2.1                           | 79.11             | 69.80                     | 13.17 |
| disc 3                        | -               | -  | -                             | -                 |                           |       |
| <b>3 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |       |
| disc 1                        | 302.5           | 305.5                                    | 3.0                           | 74.73             |                           |       |
| disc 2                        | 285.4           | 288.4                                    | 3.0                           | 65.84             | 77.88                     | 13.89 |
| disc 3                        | 303.7           | 306.8                                    | 3.1                           | 93.08             |                           |       |
| <b>4 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |       |
| disc 1                        | 284.8           | 288.9                                    | 4.1                           | 114.04            |                           |       |
| disc 2                        | 285.8           | 289.9                                    | 4.1                           | 120.39            | 115.09                    | 4.87  |
| disc 3                        | 301.3           | 305.3                                    | 4.0                           | 110.83            |                           |       |
| <b>5 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |       |
| disc 1                        | 285.3           | 290.3                                    | 5.0                           | 165.43            |                           |       |
| disc 2                        | 301.0           | 306.1                                    | 5.1                           | 176.30            | 168.02                    | 7.34  |
| disc 3                        | 284.2           | 289.2                                    | 5.0                           | 162.33            |                           |       |
| <b>6 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |       |
| disc 1                        | 283.4           | 289.6                                    | 6.2                           | 147.19            |                           |       |
| disc 2                        | 301.2           | 307.0                                    | 5.8                           | 161.03            | 161.66                    | 14.79 |
| disc 3                        | 305.0           | 311.2                                    | 6.2                           | 176.76            |                           |       |

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการหาปริมาณน้ำหนักสารประกอบซิลิเกตที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์ตัวอย่างพริกไทยดำฉายรังสี โดยทำการชั่งปริมาณน้ำหนักตั้งแต่ 1- 6 mg

| น้ำหนักตัวอย่าง<br>ที่ต้องการ | น้ำหนัก<br>disc | น้ำหนักตัวอย่าง+disc<br>เฉลี่ยที่ชั่งได้ | น้ำหนักตัวอย่าง<br>(net mass) | ค่า TL<br>signal  | ค่าเฉลี่ยของ<br>TL signal | SD   |
|-------------------------------|-----------------|--|-------------------------------|-------------------|---------------------------|------|
| 1 mg                          | (mg)            | (mg)                                     | (mg)                          | ( $\mu\text{C}$ ) | ( $\mu\text{C}$ )         |      |
| disc 1                        | 286.2           | 287.2                                    | 1.0                           | 13.99             |                           |      |
| disc 2                        | 285.1           | 286.0                                    | 0.9                           | 9.35              | 12.26                     | 2.54 |
| disc 3                        | 303.0           | 304.1                                    | 1.1                           | 13.46             |                           |      |
| <b>2 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |      |
| disc 1                        | 285.8           | 287.8                                    | 2.0                           | 23.35             |                           |      |
| disc 2                        | 302.2           | 304.3                                    | 2.1                           | 20.02             | 22.13                     | 1.84 |
| disc 3                        | 301.2           | 303.3                                    | 2.1                           | 23.04             |                           |      |
| <b>3 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |      |
| disc 1                        | 286.4           | 289.4                                    | 3.0                           | 34.29             |                           |      |
| disc 2                        | 282.8           | 285.9                                    | 3.1                           | 28.69             | 29.25                     | 4.79 |
| disc 3                        | 285.9           | 289.0                                    | 3.1                           | 24.76             |                           |      |
| <b>4 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |      |
| disc 1                        | 283.7           | 287.7                                    | 4.0                           | 45.93             |                           |      |
| disc 2                        | 285.2           | 289.4                                    | 4.2                           | 45.70             | 45.01                     | 1.41 |
| disc 3                        | 284.6           | 288.6                                    | 4.0                           | 43.39             |                           |      |
| <b>5 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |      |
| disc 1                        | 284.9           | 290.0                                    | 5.1                           | 50.94             |                           |      |
| disc 2                        | 286.0           | 291.0                                    | 5.0                           | 42.89             | 46.44                     | 4.11 |
| disc 3                        | 301.0           | 306.0                                    | 5.0                           | 45.49             |                           |      |
| <b>6 mg</b>                   |                 |  |                               |                   |                           |      |
| disc 1                        | 284.1           | 290.1                                    | 6.0                           | 34.63             |                           |      |
| disc 2                        | 301.5           | 307.4                                    | 5.9                           | 34.92             | 33.80                     | 1.69 |
| disc 3                        | 285.9           | 291.9                                    | 6.0                           | 31.86             |                           |      |



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของค่า TL signal กับน้ำหนักที่ปริมาณตำแหน่งต่าง ๆ กัน  
ของพริกแดงแห้ง



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า TL signal กับน้ำหนักที่ปริมาณตำแหน่งต่าง ๆ กัน  
ของพริกไทยดำ

### 4.3 การจำแนกตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

โดยวิเคราะห์จากอัตราส่วน ของ glow 1/ glow 2

ตารางที่ 4.3 ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห้งเพื่อหาอัตราส่วน

ของ TL signal

| ชนิดของตัวอย่าง<br>พริกแดงแห้ง | น้ำหนัก<br>ตัวอย่าง | ค่า TL signal<br>glow 1 | ค่า TL signal<br>glow 2 | อัตราส่วน<br>glow 1/ glow 2 | ค่าเฉลี่ย<br>อัตราส่วน | SD ของ<br>อัตราส่วน |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|
| พริกคั่วฉายรังสี               | (mg)                | ( $\mu\text{C}$ )       | ( $\mu\text{C}$ )       |                             |                        |                     |
| disc 1                         | 3.9                 | 95.36                   | 66.25                   | 1.439                       |                        |                     |
| disc 2                         | 4.2                 | 93.40                   | 59.77                   | 1.563                       | 1.64                   | 0.25                |
| disc 3                         | 4.0                 | 107.92                  | 55.98                   | 1.928                       |                        |                     |
| พริกคั่วควบคุม                 |                     | 0.14 $\pm$ 0.02         | 56.21 $\pm$ 5.79        | 0.002                       |                        |                     |

พริกอุบล ๑ ฉายรังสี

|                   |     |                 |                 |       |      |      |
|-------------------|-----|-----------------|-----------------|-------|------|------|
| disc 1            | 4.0 | 15.53           | 8.42            | 1.843 |      |      |
| disc 2            | 4.0 | 11.60           | 5.77            | 2.011 | 1.93 | 0.08 |
| disc 3            | 4.0 | 14.74           | 7.57            | 1.946 |      |      |
| พริกอุบล ๑ ควบคุม |     | 0.10 $\pm$ 0.04 | 7.81 $\pm$ 2.56 | 0.013 |      |      |

พริกราชบุรีฉายรังสี

|                   |     |                 |                  |       |      |      |
|-------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1            | 4.0 | 61.86           | 41.04            | 1.507 |      |      |
| disc 2            | 4.0 | 80.81           | 49.24            | 1.641 | 1.50 | 0.15 |
| disc 3            | 4.0 | 43.04           | 32.18            | 1.337 |      |      |
| พริกราชบุรีควบคุม |     | 0.18 $\pm$ 0.01 | 44.16 $\pm$ 7.89 | 0.004 |      |      |

พริกมาเล๑ ฉายรังสี

|                  |     |                 |                  |       |      |      |
|------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1           | 4.1 | 143.59          | 87.58            | 1.639 |      |      |
| disc 2           | 4.1 | 130.79          | 76.87            | 1.702 | 1.68 | 0.04 |
| disc 3           | 4.2 | 93.85           | 55.11            | 1.703 |      |      |
| พริกมาเล๑ ควบคุม |     | 0.12 $\pm$ 0.04 | 70.38 $\pm$ 3.56 | 0.002 |      |      |

พริก กทม. ฉายรังสี

|                  |     |                 |                  |       |      |      |
|------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1           | 4.1 | 70.57           | 57.71            | 1.223 |      |      |
| disc 2           | 4.2 | 50.81           | 47.57            | 1.068 | 1.08 | 0.14 |
| disc 3           | 4.2 | 49.45           | 52.05            | 0.950 |      |      |
| พริก กทม. ควบคุม |     | 0.14 $\pm$ 0.02 | 50.56 $\pm$ 9.14 | 0.003 |      |      |

ตารางที่ 4.4 ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำเพื่อหาอัตราส่วน  
ของ TL signal

| ชนิดของตัวอย่าง<br>พริกไทยดำ | น้ำหนัก<br>ตัวอย่าง | ค่า TL signal<br>glow 1 | ค่า TL signal<br>glow 2 | อัตราส่วน<br>glow 1/ glow 2 | ค่าเฉลี่ย<br>อัตราส่วน | SD ของ<br>อัตราส่วน |
|------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|
| พริกไทยจันทน์ฉายรังสี        | (mg)                | ( $\mu\text{C}$ )       | ( $\mu\text{C}$ )       |                             |                        |                     |
| disc 1                       | 4.1                 | 48.35                   | 19.41                   | 2.491                       |                        |                     |
| disc 2                       | 3.8                 | 41.75                   | 14.84                   | 2.814                       | 2.63                   | 0.17                |
| disc 3                       | 4.0                 | 47.37                   | 18.42                   | 2.572                       |                        |                     |
| พริกไทยจันทน์ควบคุม          |                     | 0.15 $\pm$ 0.02         | 18.81 $\pm$ 3.56        | 0.008                       |                        |                     |

**พริกไทยไร่ที่พืฉฉายรังสี**

|                        |     |                 |                 |       |      |      |
|------------------------|-----|-----------------|-----------------|-------|------|------|
| disc 1                 | 4.0 | 18.24           | 7.99            | 2.285 |      |      |
| disc 2                 | 4.0 | 9.59            | 3.77            | 2.540 | 2.38 | 0.14 |
| disc 3                 | 3.9 | 8.24            | 3.54            | 2.330 |      |      |
| พริกไทยไร่ที่พืฉควบคุม |     | 0.17 $\pm$ 0.01 | 3.73 $\pm$ 7.14 | 0.046 |      |      |

**พริกไทยสระฯ ฉายรังสี**

|                    |     |                 |                  |       |      |      |
|--------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1             | 4.0 | 36.97           | 20.52            | 1.802 |      |      |
| disc 2             | 4.0 | 36.69           | 19.41            | 1.890 | 1.80 | 0.09 |
| disc 3             | 3.9 | 34.98           | 20.40            | 1.715 |      |      |
| พริกไทยสระฯ ควบคุม |     | 0.13 $\pm$ 0.03 | 19.14 $\pm$ 2.85 | 0.007 |      |      |

**พริกไทย กทม. ฉายรังสี**

|                     |     |                 |                  |       |      |      |
|---------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1              | 4.0 | 7.57            | 4.09             | 1.850 |      |      |
| disc 2              | 4.0 | 39.82           | 20.04            | 1.987 | 1.76 | 0.29 |
| disc 3              | 4.1 | 7.03            | 4.89             | 1.437 |      |      |
| พริกไทย กทม. ควบคุม |     | 0.14 $\pm$ 0.01 | 27.33 $\pm$ 6.89 | 0.005 |      |      |

**พริกไทยตรังฉายรังสี**

|                   |     |                 |                  |       |      |      |
|-------------------|-----|-----------------|------------------|-------|------|------|
| disc 1            | 4.0 | 11.05           | 7.75             | 1.427 |      |      |
| disc 2            | 4.0 | 9.18            | 8.27             | 1.110 | 1.31 | 0.18 |
| disc 3            | 3.9 | 12.25           | 8.77             | 1.397 |      |      |
| พริกไทยตรังควบคุม |     | 0.14 $\pm$ 0.02 | 11.35 $\pm$ 3.25 | 0.012 |      |      |

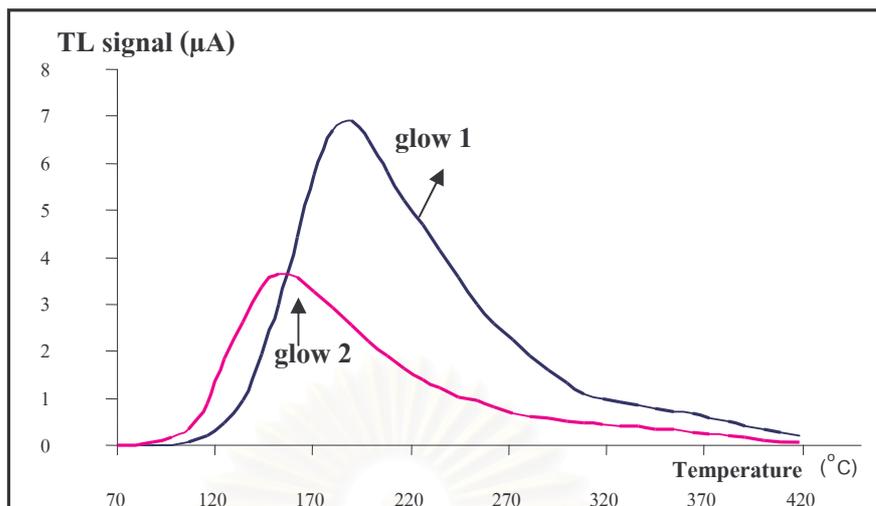
แสดงการจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีโดยวิเคราะห์จากอัตราส่วน ของ glow 1/ glow 2  
ซึ่งเครื่องเทศฉายรังสี ได้รับการอนุเคราะห์ตัวอย่างจากบริษัท NST FOOD INGREDIENTS

ตารางที่ 4.5 ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงป่น NST  
เพื่อหาอัตราส่วน TL signal

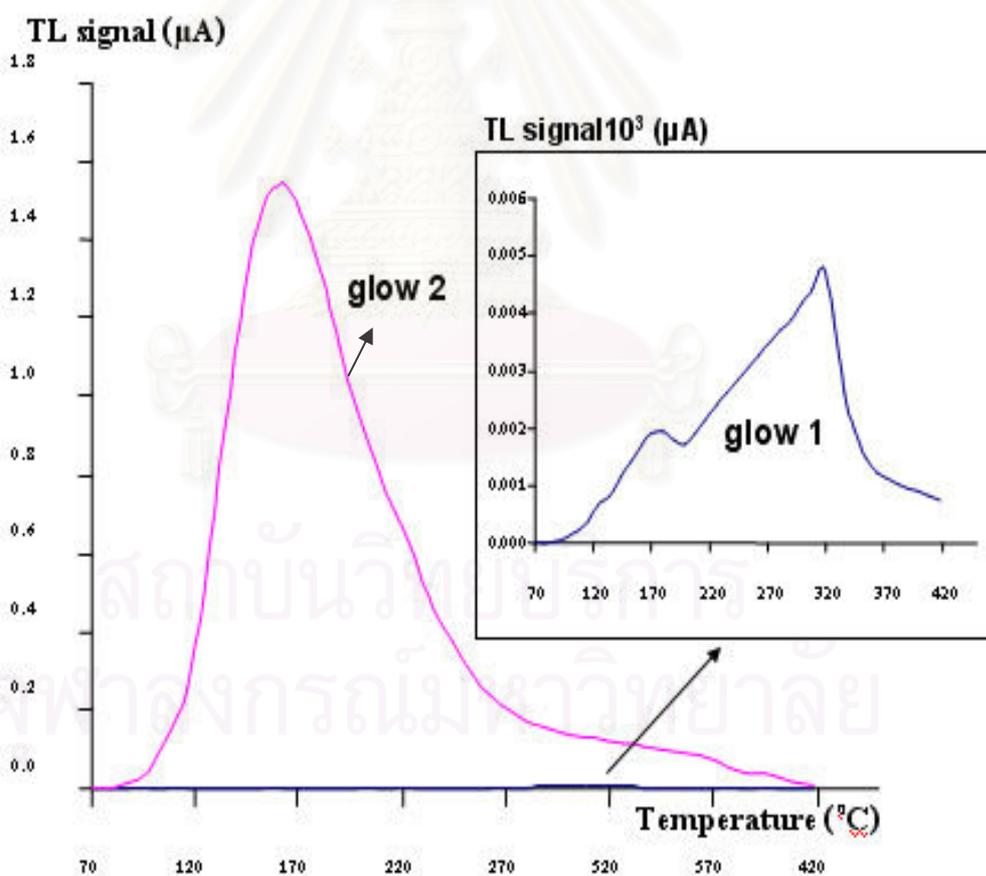
| ชนิดของตัวอย่าง<br>พริกแดงป่น<br>NST | น้ำหนัก<br>ตัวอย่าง<br>(mg) | ค่า TL signal<br>glow 1<br>( $\mu$ C) | ค่า TL signal<br>glow 2<br>( $\mu$ C) | อัตราส่วน<br>glow 1/ glow 2 | ค่าเฉลี่ย<br>อัตราส่วน | SD ของ<br>อัตราส่วน |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|
| disc 1                               | 4.0                         | 45.22                                 | 54.23                                 | 0.834                       | 0.83                   | 0.01                |
| disc 2                               | 4.0                         | 36.53                                 | 44.29                                 | 0.825                       |                        |                     |
| disc 3                               | 3.8                         | 39.92                                 | 47.85                                 | 0.834                       |                        |                     |

ตารางที่ 4.6 ค่า TL signal ของ glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยขาวป่น NST  
เพื่อหาอัตราส่วน TL signal

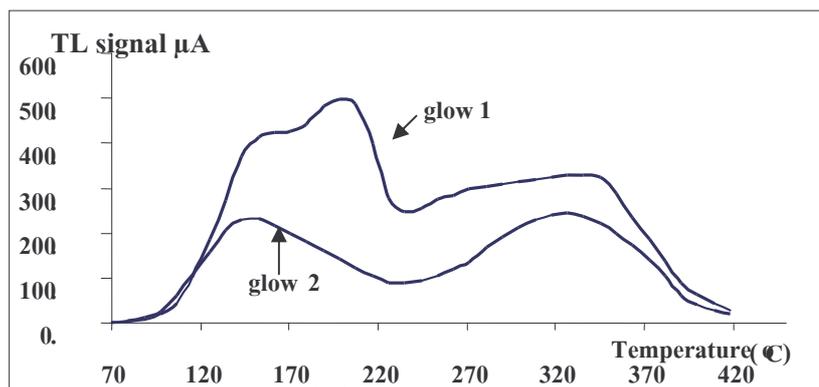
| ชนิดของตัวอย่าง<br>พริกไทยขาวป่น<br>NST | น้ำหนัก<br>ตัวอย่าง<br>(mg) | ค่า TL signal<br>glow 1<br>( $\mu$ C) | ค่า TL signal<br>glow 2<br>( $\mu$ C) | อัตราส่วน<br>glow 1/ glow 2 | ค่าเฉลี่ย<br>อัตราส่วน | SD ของ<br>อัตราส่วน |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|
| disc 1                                  | 4.1                         | 50.94                                 | 21.06                                 | 2.419                       | 2.29                   | 0.14                |
| disc 2                                  | 3.9                         | 42.89                                 | 18.63                                 | 2.302                       |                        |                     |
| disc 3                                  | 4.0                         | 45.49                                 | 21.28                                 | 2.138                       |                        |                     |



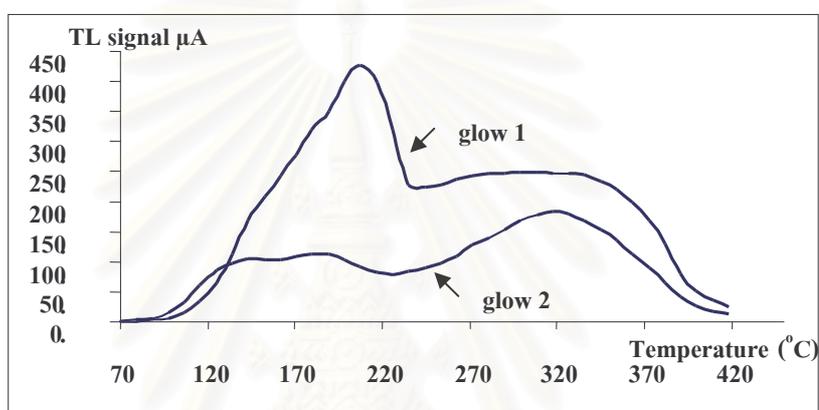
รูปที่ 4.3 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างฟริกแดงแห่งจังหวัดตรังฉายรังสี โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy



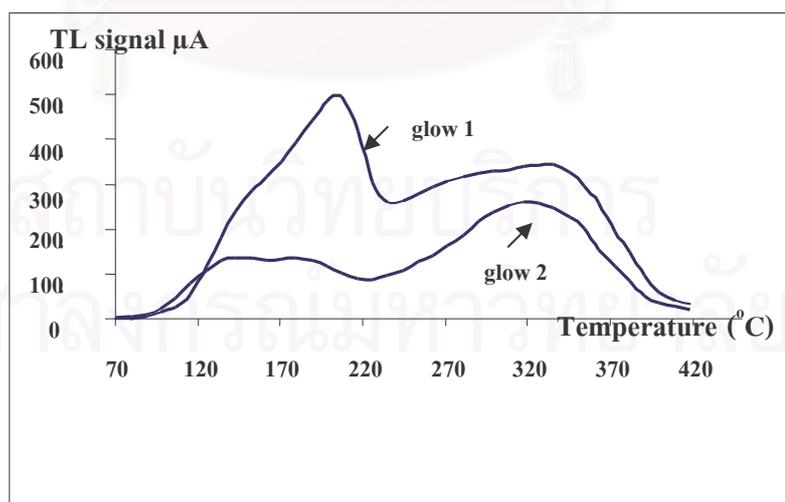
รูปที่ 4.4 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างฟริกแดงแห่งจังหวัดตรังควบคุม โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy



พริกแดงแห่งอุบลราชธานีฉายรังสี disc 1

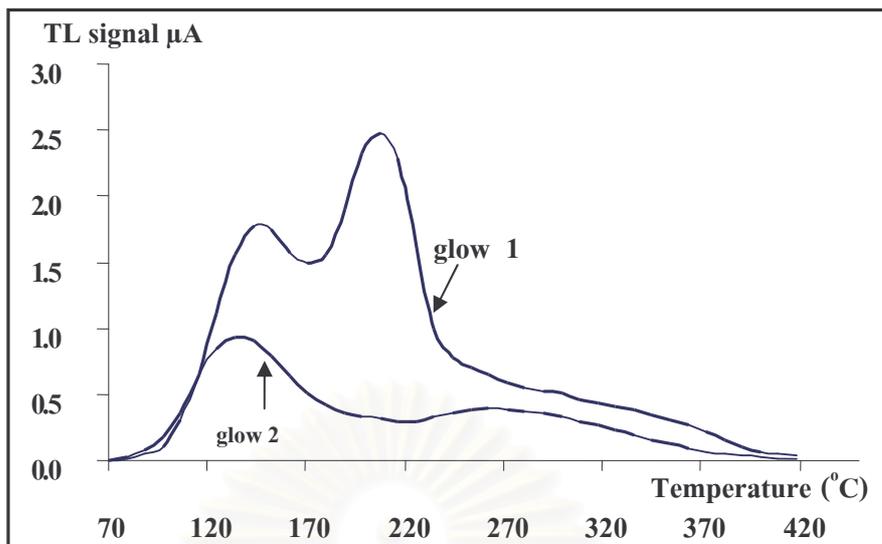


พริกแดงแห่งอุบลราชธานีฉายรังสี disc 2

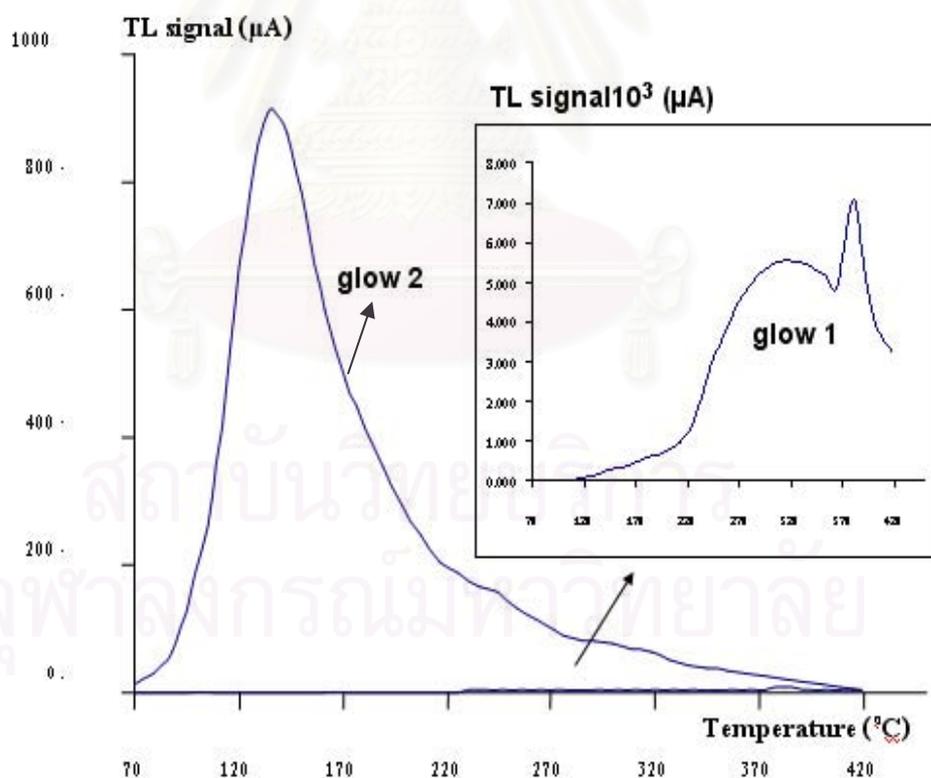


พริกแดงแห่งอุบลราชธานีฉายรังสี disc 3

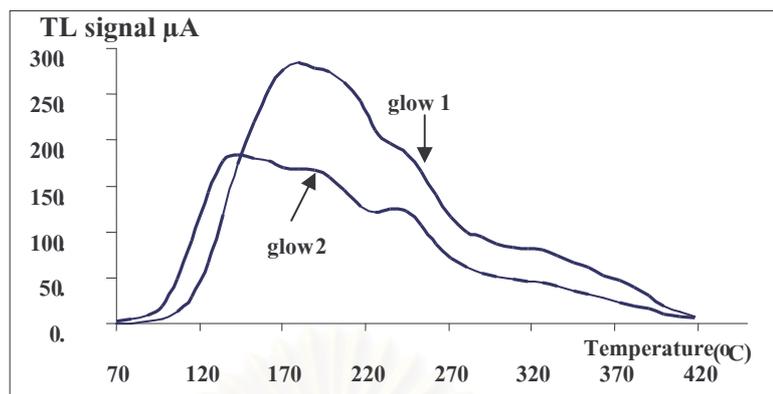
รูปที่ 4.5 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกแดงแห่งจังหวัดอุบลราชธานี โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy ในแต่ละ disc



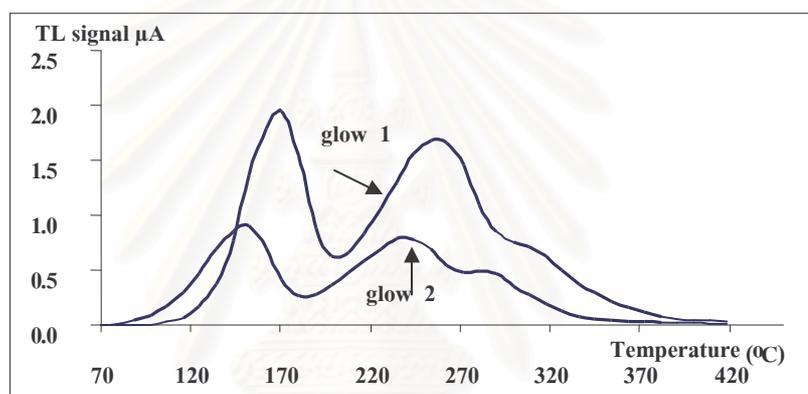
รูปที่ 4.6 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำจังหวัดจันทบุรีฉายรังสี โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy



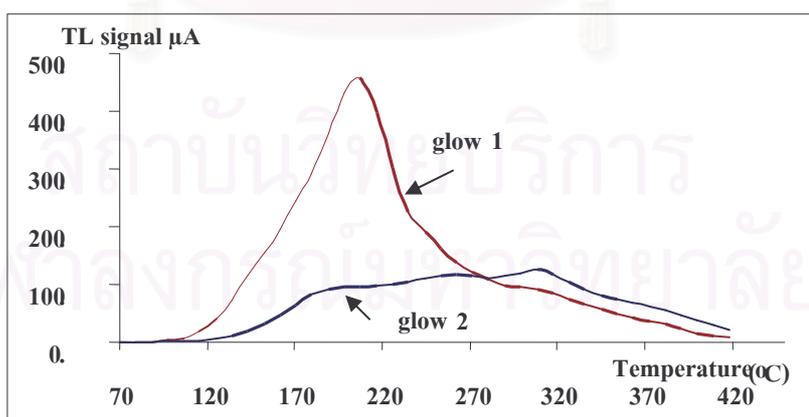
รูปที่ 4.7 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำจังหวัดจันทบุรีควบคุม โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy



พริกไทยดำ กทม. ฉายรังสี disc 1



พริกไทยดำ กทม. ฉายรังสี disc 2



พริกไทยดำ กทม. ฉายรังสี disc 3

รูปที่ 4.8 glow 1 และ glow 2 ของตัวอย่างพริกไทยดำ กทม.  
โดยที่ glow 2 ฉายรังสีปริมาณ 1 kGy ในแต่ละ disc

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การจำแนกว่าเครื่องเทศอันใดแก่พริกแดงแห้ง และพริกไทยดำได้ผ่านการฉายรังสีมาหรือไม่โดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ งานวิจัยฉบับนี้ได้นำหลักการและวิธีการตามมาตรฐานของ European Standard : EN 1788 เรื่อง Foodstuffs – Detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated - Method by thermoluminescence มาใช้

##### 5.1.1 สรุปผลการวิจัยหาปริมาณสารประกอบซิลิเกตที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการ

##### ตรวจพิสูจน์ตัวอย่าง

##### 5.1.1.1 ผลการวิจัยในพริกแดงแห้ง

ตัวอย่างพริกแดงแห้งฉายรังสีที่ปริมาณเฉลี่ย 5.5 – 5.7 kGy ได้นำไปชั่งน้ำหนักที่ปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 1 mg , 2 mg , 3 mg , 4 mg , 5 mg และ 6 mg โดยสามารถชั่งน้ำหนักได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงเฉลี่ยไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลปรากฏว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นในช่วง 1 – 5 mg ค่าปริมาณสัญญาณ TL จะเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อน้ำหนักตัวอย่างมีปริมาณมากกว่า 5 mg ค่าสัญญาณ TL กลับลดลงจนเห็นได้ชัด

สาเหตุอาจเกิดจากการที่เมื่อน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบซิลิเกตที่บรรจุบน stainless steel disc ก็มีมากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นตัวอย่างที่มากขึ้นมีผลทำให้แสงสว่างที่เกิดจากผลึกชั้นที่อยู่ข้างล่างเดินทางทะลุผ่านชั้นตัวอย่างที่อยู่ข้างบนได้น้อยลง หรือเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า self absorption ของตัวอย่างเอง

ผลการวิจัยปริมาณสารประกอบซิลิเกตที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง พบว่าที่น้ำหนัก 4 mg มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์พริกแดงแห้งฉายรังสี เนื่องจากมีค่าสัญญาณ TL สูงดังแสดงในตารางที่ 4.1 และแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักตัวอย่างในปริมาณต่ำ ๆ คือ 1-3 mg ค่าสัญญาณ TL ที่วัดได้ในแต่ละ disc มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก แต่เมื่อน้ำหนักตัวอย่างที่มากขึ้น คือตั้งแต่ 4 mg ขึ้นไป ค่าสัญญาณ TL ที่ได้ในแต่ละ disc มีความแตกต่างกันน้อยเนื่องจากสัญญาณ TL เริ่ม saturate แล้ว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ TL จาก 1-6 mg อยู่ระหว่าง 4.87 – 14.79 ในการวิจัยขั้นต่อไปจึงได้เลือกใช้ปริมาณน้ำหนักตัวอย่างบรรจุบน stainless steel disc จำนวน 4 mg เนื่องจากมีค่าสัญญาณ TL สูง และปริมาณน้ำหนักไม่มากเกินไปสำหรับการสกัดตัวอย่าง

สำหรับงานวิจัยของ European Standard ได้กำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำหนักตัวอย่างอยู่ที่ระหว่าง 0.1 – 5 mg ซึ่งจะใช้เท่าใดขึ้นอยู่กับจำนวนปริมาณมากน้อยของสารประกอบซิลิเกต ที่

สกัดได้จากตัวอย่างต่างชนิดกัน สำหรับงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณน้ำหนักร้อยที่ 1- 4 mg ซึ่งตรงกับผลการวิจัยที่ได้

### 5.1.1.2 ผลการวิจัยในพริกไทยดำ

ตัวอย่างพริกไทยดำฉายรังสีที่ปริมาณเฉลี่ย 5.5 – 5.8 kGy ได้นำไปชั่งน้ำหนักที่ปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 1 mg , 2 mg , 3 mg , 4 mg , 5 mg และ 6 mg โดยสามารถชั่งน้ำหนักได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงเฉลี่ยไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลปรากฏว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นในช่วง 1 – 5 mg ค่าปริมาณสัญญาณ TL จะเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อน้ำหนักตัวอย่างมีปริมาณมากกว่า 5 mg ค่าสัญญาณ TL กลับลดลงจนเห็นได้ชัด

สาเหตุอาจเกิดจากการที่เมื่อน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบซิลิเกตที่บรรจุบน stainless steel disc ก็มีมากขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ ที่เรียกว่า self absorption ของตัวอย่างเอง

ผลการวิจัยปริมาณสารประกอบซิลิเกตที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง พบว่าที่น้ำหนัก 4 mg มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์พริกไทยดำฉายรังสี เนื่องจากมีค่าสัญญาณ TL สูงดังแสดงในตารางที่ 4.2 และผลการวิจัยน้ำหนักตัวอย่างของพริกไทยดำจาก 1- 6 mg ค่าสัญญาณ TL ที่วัดได้ในแต่ละ disc มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ต่างจากในพริกแดงแห้งที่น้ำหนักตัวอย่างต่ำ ๆ จะมีความแตกต่างของ TL signal ในแต่ละ disc มาก โดยพริกไทยดำมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ TL จาก 1- 6 mg อยู่ระหว่าง 1.41 – 4.79 สำหรับในตัวอย่างปริมาณน้ำหนักร้อยที่มากกว่า 4 mg สัญญาณ TL เริ่ม saturate แล้ว ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างพริกไทยดำมีส่วนผสมของผลึกควอตซ์มากกว่าในตัวอย่างพริกแดงแห้งซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ในการวิจัยขั้นต่อไปจึงได้เลือกใช้ปริมาณน้ำหนักร้อยที่บรรจุบน stainless steel disc จำนวน 4 mg เนื่องจากมีค่าสัญญาณ TL สูง และปริมาณน้ำหนักร้อยไม่มากเกินไปสำหรับการสกัดตัวอย่าง

## 5.1.2 ผลการวิจัยการจำแนกตัวอย่างอาหารฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

โดยวิเคราะห์จากอัตราส่วนของสัญญาณ TL ของ glow 1/ glow 2

### 5.1.2.1 ผลการวิจัยในพริกแดงแห้ง

สำหรับงานวิจัยของ European Standard การ normalize TL signal ระหว่าง glow 1 และ glow 2 เพื่อหาอัตราส่วนของสัญญาณ TL ของ glow 1/glow 2 หากตัวอย่างใดมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL มากกว่า 0.5 แสดงว่าตัวอย่างนั้นได้ผ่านการฉายรังสี ส่วนตัวอย่างที่ไม่เคยผ่านการฉายรังสีจะมีค่า อัตราส่วนของสัญญาณ TL ต่ำกว่า 0.1 เสมอ และสำหรับตัวอย่างที่ตรวจพบว่าค่า

อัตราส่วนของสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 0.1- 0.5 จะต้องมีการทำการทดลองซ้ำ เพื่อยืนยันผลการทดลองให้แน่ใจ

จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.3 ต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ปริมาณ 4 mg แต่ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้ในปริมาณที่ต้องการ จึงต้องชั่งให้ได้น้ำหนักใกล้เคียง 4 mg ไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg จึงทำให้ผลของค่าสัญญาณ TL ในแต่ละแผ่น disc มีความแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มีผลกับงานวิจัยเนื่องจากการจำแนกเครื่องเทศฉายรังสีจะใช้ค่าอัตราส่วนในการวิเคราะห์เท่านั้น

การ normalize ค่าสัญญาณ TL จาก glow 1 และ glow 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสัญญาณ TL จะมากขึ้นโดยแปรผันตามกับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และค่าอัตราส่วนที่ได้จากการวิจัย normalize สัญญาณ TL ดังแสดงในตารางที่ 4.3 มีค่าใกล้เคียงกันในตัวอย่างชนิดเดียวกัน

การหาอัตราส่วนของสัญญาณ TL ผลปรากฏว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.08 – 1.93 ซึ่งเป็นการจำแนกได้ถูกต้องว่าตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดผ่านการฉายรังสี และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนจากตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดที่นำมาวิจัยอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.25

สำหรับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการฉายรังสีอัตราส่วนของสัญญาณ TL มีค่าอยู่ระหว่าง 0.002 – 0.013 ซึ่งเป็นการจำแนกได้ถูกต้องว่าตัวอย่างควบคุมทั้ง 5 ชนิดไม่ได้ผ่านการฉายรังสี

#### 5.1.1.2 ผลการวิจัยในพริกไทยดำ

จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.4 ชั่งน้ำหนักได้ใกล้เคียง 4 mg ไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg จึงทำให้ผลของค่า TL signal ในแต่ละแผ่น disc มีความแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มีผลกับงานวิจัย เนื่องจากการจำแนกเครื่องเทศฉายรังสีจะใช้ค่า อัตราส่วน ในการวิเคราะห์เท่านั้น

การ normalize ค่าสัญญาณ TL จาก glow 1 และ glow 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสัญญาณ TL จะมากขึ้นโดยแปรผันตามกับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และค่าอัตราส่วนที่ได้จากการวิจัย normalize สัญญาณ TL ดังแสดงในตารางที่ 4.4 มีค่าใกล้เคียงกันในตัวอย่างชนิดเดียวกัน การหาอัตราส่วนของสัญญาณ TL ผลปรากฏว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.31 – 2.63 ซึ่งเป็นการจำแนกได้ถูกต้องว่าตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดผ่านการฉายรังสี และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนจากตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดที่นำมาวิจัยอยู่ระหว่าง 0.09 – 0.29

สำหรับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการฉายรังสีอัตราส่วนของสัญญาณ TL มีค่าอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.046

### 5.13 ผลการวิจัยการตรวจพิสูจน์จำแนกตัวอย่างเครื่องเทศฉายรังสี

ได้รับการอนุเคราะห์ตัวอย่างจากบริษัท NST FOOD INGREDIENTS

5.1.3.1 พริกแดงป่น NST จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.5 ซึ่งน้ำหนักได้ใกล้เคียง 4 mg ไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg จึงทำให้ผลของค่าสัญญาณ TL ในแต่ละแผ่น disc มีความแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มีผลกับงานวิจัย เนื่องจากการจำแนกเครื่องเทศฉายรังสีจะใช้ค่าอัตราส่วนในการวิเคราะห์เท่านั้น

การ normalize ค่าสัญญาณ TL จาก glow 1 และ glow 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสัญญาณ TL ของ glow 2 มีค่ามากกว่า glow 1 และ อัตราส่วน ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก

การหาอัตราส่วนของสัญญาณ TL ผลปรากฏว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.825 – 0.834 ซึ่งเป็นการจำแนกได้ถูกต้องว่าตัวอย่างเครื่องเทศผ่านการฉายรังสี แม้จะมีค่าน้อยกว่า 1 แต่ไม่น้อยกว่า 0.5 และค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนอยู่ที่ 0.01

เนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างไว้หลังจากการฉายรังสีมากกว่า 1 ปี แต่ผลการวิจัยก็สามารถยืนยันตรงกับงานวิจัยอื่นที่ได้ทำการทดลองศึกษาวัดค่าสัญญาณ TL ของพริกไทยดำหลังจากฉายรังสี ผลปรากฏว่าค่าจะลดลงอย่างต่อเนื่องใน 14 วันแรก หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ และคงสภาพเดิมไปมากกว่า 1 ปี เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะอุณหภูมิปกติ หรือกล่าวในอีกทางหนึ่งว่า ภายใน 1 ปี หลังจากการฉายรังสีสามารถนำตัวอย่างมาตรวจพิสูจน์จำแนกการฉายรังสีได้โดยง่าย และสามารถตรวจพบการฉายรังสีที่ปริมาณต่ำกว่า 1kGy ได้ (0.05 -1 kGy)

5.1.3.2 พริกไทยขาวป่น NST จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.6 ซึ่งน้ำหนักได้ใกล้เคียง 4 mg ไม่เกิน  $\pm 0.2$  mg จึงทำให้ผลของค่าสัญญาณ TL ในแต่ละแผ่น disc มีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลกับงานวิจัยเนื่องจากการจำแนกเครื่องเทศฉายรังสี จะใช้ค่าอัตราส่วนในการวิเคราะห์เท่านั้น

การ normalize ค่าสัญญาณ TL จาก glow 1 และ glow 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสัญญาณ TL จะมากขึ้น โดยแปรผันตามกับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น

การ normalize ค่าสัญญาณ TL จาก glow 1 และ glow 2 แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วน ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ผลปรากฏว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2.138 – 2.419 ซึ่งเป็นการจำแนกได้ถูกต้องว่าตัวอย่างเครื่องเทศผ่านการฉายรังสี และค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของ อัตราส่วนอยู่ที่ 0.04

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ข้อดีของการตรวจพิสูจน์อาหารฉายรังสีโดยใช้เทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ คือมีความแม่นยำในการจำแนกอาหารฉายรังสีสูง สามารถตรวจได้ในอาหารที่ฉายปริมาณรังสีน้อยกว่า

1 kGy ในปัจจุบันสามารถวัดค่าได้ต่ำถึง 0.05 kGy มีการคงสภาพของสัญญาณ TL ได้หลายปีที่อุณหภูมิปกติแม้ว่าจะเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลานาน ค่าสัญญาณ TL ก็ไม่ลดลงอย่างเช่น เครื่องเทศ ค่าครึ่งชีวิตของสัญญาณมีค่าอย่างน้อย 5 ปี กระบวนการวิจัยต้องทำการวัดสัญญาณ glow 1 และ glow 2 ถึงสองครั้ง จึงต้องใช้เวลากว่าจะทราบผลการจำแนกอาหารฉายรังสี ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในเทคนิคนี้จะมีราคาสูงกว่าเทคนิค PSL แต่ราคาถูกกว่า ESR และให้ผลการจำแนกอาหารฉายรังสีที่เทคนิค PSL และ ESR ไม่สามารถจำแนกได้ จากการวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์สัปดาห์ที่สกัดออกมาได้จากตัวอย่างอาหารฉายรังสี ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ของสารประกอบจำพวกเฟลสปา และควอตซ์ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.2.1 สรุปผลรูปร่างของ glow curve และตำแหน่งยอดฟีกของ glow curve แปรผันตามชนิดของรังสีที่ฉาย และปริมาณรังสีที่ได้รับ

สำหรับ archaeological background dose จะมีค่าสัญญาณ TL ไม่สูงมากนัก ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสีคือสังเกตได้จากยอดฟีกสูงสุด จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ  $270^{\circ}\text{C}$  สำหรับตัวอย่างฉายรังสีจะแสดงค่าสัญญาณ TL สูงมาก และยอดฟีกสูงสุดจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ  $150 - 300^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ตั้งค่าอุณหภูมิระหว่าง  $70 - 400^{\circ}\text{C}$  เพื่อศึกษาลักษณะของ glow curve เพิ่มเติม

5.2.2 ค่า อัตราส่วนของสัญญาณ TL มากกว่า 0.5 แสดงว่าตัวอย่างนั้นได้ผ่านการฉายรังสี ส่วนตัวอย่างที่ไม่เคยผ่านการฉายรังสีจะมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.1 เสมอ และสำหรับตัวอย่างที่ตรวจพบว่าค่าอัตราส่วนของสัญญาณ TL อยู่ระหว่าง 0.1- 0.5 จะต้องมีการทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองให้แน่ใจ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จำแนกตัวอย่างได้ถูกต้องทั้งหมด

5.2.3 เมื่อฉายรังสีชนิดเดียวกันที่ปริมาณเท่ากันสัญญาณ TL ที่วัดได้จากการฉายรังสีผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์จะมีค่าต่ำกว่าสัญญาณ TL ของโปแตสเซียมเฟลสปาบริสุทธิ์ เนื่องจากการตอบสนองต่อรังสีของควอตซ์ จะต่ำกว่าเฟลสปา

5.2.4 ความแตกต่างกันของรูปร่าง glow curve จะแปรผันไปตามสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของควอตซ์ และเฟลสปา ความไม่สมบูรณ์ในการฟอร์มตัวของผลิตภัณฑ์ จะทำให้เกิดกับดักที่ระดับพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งจะหลุดออกมาได้เมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน แม้ว่าจะฉายรังสีในปริมาณที่เท่ากันค่าสัญญาณ TL และรูปร่างของ glow curve ก็จะต่างกันไป

5.2.5 ตัวอย่างพริกแดงแห้งฉายรังสี ผลิตภัณฑ์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นเฟลสปา สังเกตได้จากฟีกของ glow curve ที่มีระยะอยู่ใกล้เคียงกันประมาณอุณหภูมิที่  $200^{\circ}\text{C}$  และมีฟีกสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ  $240^{\circ}\text{C}$  ซึ่งใกล้เคียงกับค่าคุณสมบัติสัญญาณ TL ของผลิตภัณฑ์เฟลสปา โดย

อ้างอิงจากงานวิจัยของ Christiane Soika และ Henry Delincee [8] แสดงรายละเอียดในข้อ 2.8.1.1 สรุปได้ว่าสัญญาณส่วนใหญ่มาจากผลึกเฟลสปา แม้สัดส่วนของผลึกควอตซ์ จะมีปริมาณมากกว่า

รูปร่าง glow curve ของฟริกที่นำมาวิจัยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างคล้ายคลึงกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3 ยกเว้นตัวอย่างฟริกแดงแห่งจากจังหวัดอุบลราชธานีจะมีส่วนประกอบของควอตซ์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Christiane Soika และ Henry Delincee [8] แสดงรายละเอียดในข้อ 2.8.1.3 สังเกตได้จากยอดฟริกที่พบมากที่สุดในทุกชนิดของควอตซ์ คือที่อุณหภูมิ 110 °C ซึ่งจะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า ‘110 °C glow-peak ของควอตซ์’ รองลงมาคือที่ประมาณ ๆ อุณหภูมิ 200 °C และยังสามารถพบได้ที่อุณหภูมิ 325 °C และ 375 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.5

5.2.6 ตัวอย่างฟริกไทยคำมีความหลากหลายของรูปร่าง glow curve แม้จะเป็นฟริกไทยตัวอย่างเดียวกัน สรุปได้ว่าสัญญาณส่วนใหญ่มาจากผลึกควอตซ์ ที่มีปริมาณสัดส่วนเป็นจำนวนมากว่า โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Christiane Soika และ Henry Delincee [8] แสดงรายละเอียดในข้อ 2.8.1.3 สังเกตได้จากยอดฟริกที่พบมากที่สุดในทุกชนิดของควอตซ์ คือที่อุณหภูมิ 110 °C ซึ่งจะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า ‘110 °C glow-peak ของ ควอตซ์’ รองลงมาคือที่รอบ ๆ อุณหภูมิ 200 °C และยังสามารถพบได้ที่อุณหภูมิ 325 °C และ 375 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.5

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ฉายรังสีความแรงสูงสำหรับฉายรังสีเพื่อหา glow 2 ซึ่งราคาเครื่องฉายรังสีมีราคาสูง ซึ่งน่าจะมีการพัฒนานำรังสีเบตาจาก Sr-90 และรังสีเอกซ์ มาทดลองใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีในการ normalize ค่าอัตราส่วนของ TL signal เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและระบบการป้องกันอันตรายจากรังสีไม่ยุ่งยากซับซ้อน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. โกวิทช์ นุชประมูล. อาหารกับการฉายรังสี. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : สำนักงาน  
ปริมาณเพื่อสันติ, 2549.
2. World Health Organization (WHO). Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint  
FAO/IAEA/WHO Expert Committee, Technical Report Series, 659. Geneva, 1981.
3. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวง.  
กระทรวงสาธารณสุข, 2529.
4. EN 1788. Foodstuffs-Detection of irradiated food from which silicate minerals  
can be isolated- Method by thermoluminescence. European Committee for  
Standardization. Brussels, 1996.
5. กำพล แต่พานิช. การประยุกต์ใช้อิเล็กทรอนิกส์สปินเรโซแนนซ์สเปกโตรเมตรีในการตรวจ  
พิสูจน์ธัญพืชฉายรังสีบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตภาควิชาชีวเคมีและ  
เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
6. ธนาวิทย์ กุศลรัตนรักษ์. การตรวจวัดอนุมูลอิสระในธัญพืช เครื่องเทศและสมุนไพร  
บางชนิดที่ฉายรังสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
7. สิริกัญจน์ เนาวพันธ์. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเมล็ดถั่วเขียว  
ฉายรังสีด้วยเทคนิค DNA comet assay. ปัญหาพิเศษ นิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาชีววิทยา  
ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
2548.
8. C. Soika, H. Delincee. Thermoluminescence Analysis for Detection of Irradiated Food –  
Luminescence Characteristics of Minerals for Different Types of Radiation and  
Radiation Doses. Lebensm. –Wiss. U.-Technol. 33, (2000).
9. Birol Engin. Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust  
collected from black peppers. Food Control, (2005).
10. G. Kitis, E. Cruz Zaragoza, C. Furetta. Thermo luminescence properties of Chile  
Guajillo(paprika) Mexicano. Applied Radiation and Isotopes. Vol 63, 2005.
11. รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. การพิสูจน์ทราบอาหารฉายรังสี : หลักการและ  
วิธีการ. JOURNAL OF STREC. 9(1), (2001).
12. อรุณี เจริญศักดิ์ศิริ. อาหารฉายรังสี; 14-17. วารสารส่งเสริมการเกษตร. 176, (2545).

13. Steevenson M. H., Stewart E. M. Identification of irradiated food : the current status. Radiat.Phys. Chem. 46, (1995).
14. Werner Nader. Analysis of Food Irradiation. Eurofins. Hamburg.
15. Bayram, H. Identification of irradiated Turkish foodstuffs combining various physical detection methods. Food Control. 15, (2004).
16. European Standard EN 13751. Foodstuffs – Detection of Irradiated Food using Photostimulated Luminescence. European Committee for Standardization, Brussels.Belgium. (2002).
17. European Standard EN 13784. Foodstuffs – DNA Comet Assay for the detection of irradiated foodstuffs. European Committee for Standardization, Brussels. Belgium.
18. Khan, Delincee. Detection of radeation treatment of beans using DNA comet assay . Radiat.Phys. Chem. 63, (2002).
19. European Standard EN 1784. Foodstuffs – Detection of irradiated food containing fat-Gas chromatographic analysis of hydrocarbons. European Committee for Standardization, Brussels. Belgium.
20. Miyahara, Saito. Hydrocarbon Productions in Hexane Solutions of Fatty Acid Methyl Esters Irradiated with Gamma Rays. Journal of Health Science, 48(5), (2002).
21. อรรถโกวิท สงวนสัตย์. การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพเครื่องผลิตรังสีเอกซ์วินิจัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววราภรณ์ สุดใจ เกิดเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2518 ที่เขตดอนเมือง จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546

ประสบการณ์ ได้รับการฝึกอบรมด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีและการวัดรังสี ซึ่งจัดโดยหน่วยงานในประเทศได้แก่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งนักฟิสิกส์รังสี 6 ว กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภคด้านรังสี สังกัดกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย