

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการภาษาไทย

โครงการวิจัย การพัฒนาทีแอดดิวัตต์รังสีแบบพกพาชนิดอิเล็กทรอนิกส์แมกนีเซียม คอปเปอร์
โซเดียม ชิลิกอน

คณะกรรมการ

ผู้จัดทำ

1. รศ. จินทนา เกหลาไพบูลย์
2. รศ. เรวัฒน์ เกหลาไพบูลย์

- คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณ

ประจำปีงบประมาณ 2552-2553

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชัยแห่งชาติที่ได้พิจารณาอนุมัติให้โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณ แผ่นดิน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบพระคุณ คุณคงศักดิ์ ตติยานุกูล ประธานกรรมการ บริษัท คงศักดิ์เอ็กซ์เรซ์การแพทช์และอุตสาหกรรมจำกัด ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้โดยการบริจาค เครื่องเสื้อผ้าที่ใช้งานทางด้านการแพทช์ มูลค่ากว่า เจ็ดแสนบาท เพื่อใชทดสอบคุณสมบัติของที่ แอลดี ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่อ่านวิจัยความสะดูกระหว่างสถาบันที่ ครุภัณฑ์การวิจัยรวมทั้งบุคลากรทางด้าน การเงินคณะที่ช่วยดำเนินการเกี่ยวกับการเบิกจ่ายงบประมาณ ให้เป็นไปตามระเบียบราชการ

(นางจินดา เหล่าไพบูลย์)
หัวหน้าโครงการวิจัย

บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อข้อเสนอการวิจัย (ภาษาไทย) การพัฒนาที่แอกเด็ตตัวรังสีแบบพกพาชนิด ลิฟฟ์มอลูโอยาเร็ด์: แมกนีเซียม

คอบเปอร์ โซเดียม ซิลิกอน (The Development of LiF:Mg , Cu , Na, Si TLD Personal Pocket Dosimeter)

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

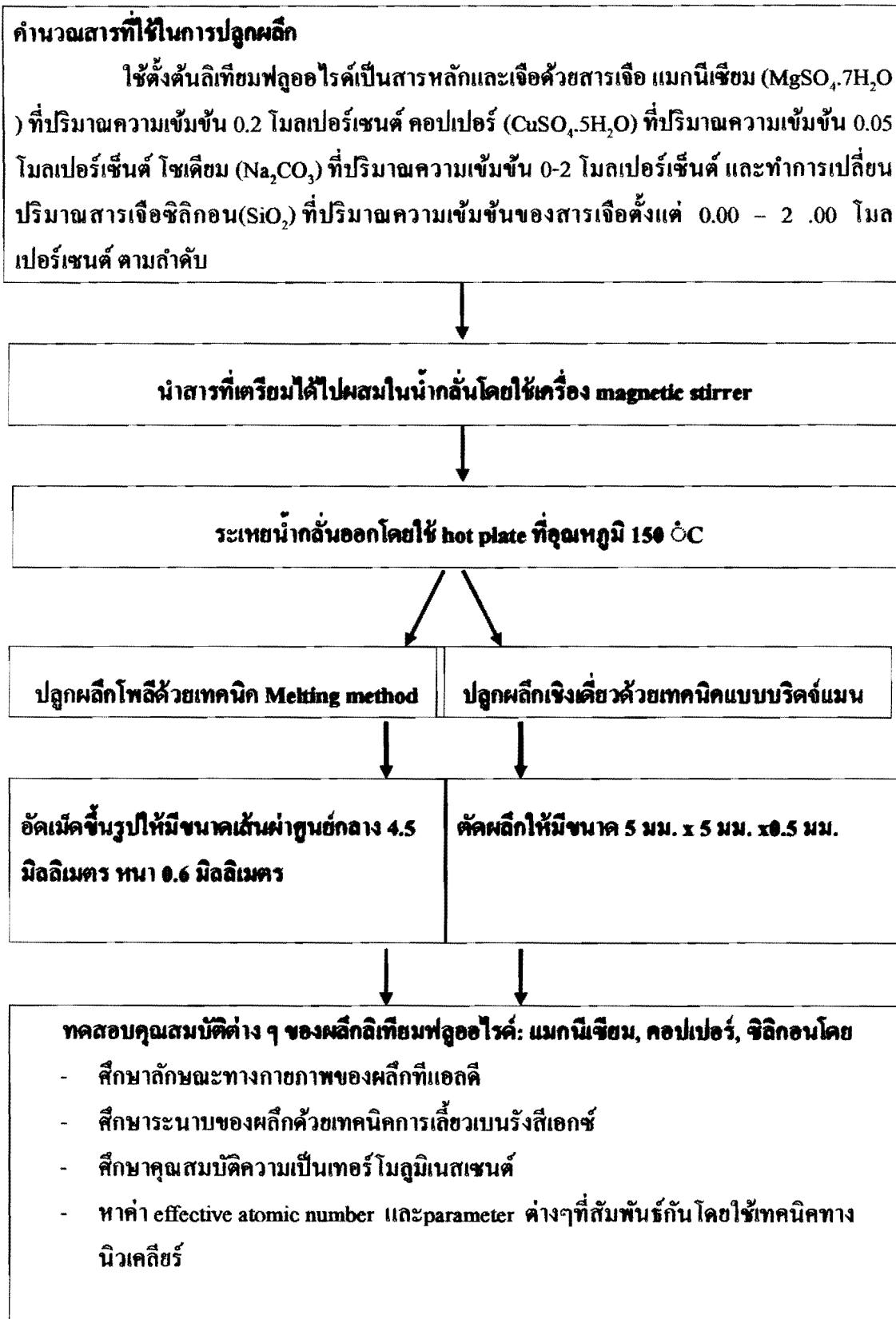
1. ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของสารลิฟฟ์มอลูโอยาเร็ด (LiF) ที่เจือด้วยสารเจือ Mg, Cu, Na, Si ให้มีโครงสร้างเป็นผลึกเชิงเดี่ยวที่มีความคงทนและมีความแม่นยำ
2. ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยงเบนรังสีเอกซ์
3. ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติความเป็นเทอร์โนลูมิเนสเซนซ์ตามค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ใน IEC (International Electrotechnical Commission) 1066 International Standard "Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring". โดยคุณสมบัติที่จะทดสอบมีดังต่อไปนี้
 - 1) ผลของชนิดและปริมาณสารเจือที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี
 - 2) ผลของชนิดและปริมาณสารเจือที่มีต่อความถี่ของหลุมกับดักที่สร้างขึ้น
 - 3) ผลของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี
 - 4) การงานหายใจของสัญญาณแสงที่ปล่อยออกมากจากปริมาณแสง
 - 5) ผลของการใช้งานซ้ำที่มีต่อคุณสมบัติความเป็นที่แอกดี
4. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานของผลึกที่แอกดีที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน (Heating Rate Method) และใช้โปรแกรม Computer Glow Curve Deconvolution (CGCD)
5. หาค่า effective atomic number และ parameter ต่างๆที่สัมพันธ์กันโดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เบริชันเพื่อกับการใช้โปรแกรม XCOM
6. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดกับที่ แอล ดี ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของค่างประเทศ

2. ผลลัพธ์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

- 2.1. สามารถระบุตัวแปรของ การปัจจุบันเล็กตัวยเทคนิคแบบบริษัทแม่นที่มีผลต่อคุณสมบัติเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ของที่แอลดิชินคลิเรียมฟลูออไรด์(LiF)ที่เจือตัวยสารเจือแมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน
- 2.2. สามารถระบุความเข้มข้นของปริมาณสารเจือแมกนีเซียม คอปเปอร์ และชิลิกอนที่มีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนต์
- 2.3. เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาที่ แอลดิชินคลิเรียมฟลูออไรด์ที่ดีขึ้น
- 2.4. การเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติ และระดับนานาชาติอย่างน้อย 2 บทความ
- 2.5. อนุสิทธิบัตร 1 คำขอ
- 2.6. มีหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

3. ระเบียบวิธีวิจัย

กระบวนการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเตรียมที่แอลกีเบนพลีกโพลีชนิดกึ่งเม็ดฟลูออโรด์ : แมกนีเซียม คอนเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน โดยเดินสารเจือแมกนีเซียม คอนเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือที่ แตกต่างกัน 0.2, 0.05 และ 0.9 โนมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคการทดลองที่อุณหภูมิสูง [14] และ [15] และแบบทดสอบเชิงเดี่ยวด้วยเทคนิคบริค์ แม่น และศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมลูมิเนสเซนต์และผลของการเดินสารเจือแมกนีเซียม คอนเปอร์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือที่ 0.2 โนมลเปอร์เซ็นต์ และ 0.05 โนมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [17] [18] [19] [20] และ [21] และทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือโซเดียม ตั้งแต่ 0-0.50 โนมลเปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลงปริมาณชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.00 โนมลเปอร์เซ็นต์

5. ระยะเวลาการทำการวิจัย

2 ปี ปีงบประมาณ 2552-2553

6. งบประมาณการวิจัย

งบประมาณที่ได้รับจัดสรรในปีงบประมาณ 2552 เท่ากับ 383,100 บาท

งบประมาณที่ได้รับจัดสรรในปีงบประมาณ 2553 เท่ากับ 388,300 บาท

7. ผลสำเร็จที่ได้

7.1 บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ระดับชาติแล้วจำนวน 3 บทความวิจัย

บทความวิจัยที่จะตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติอย่างน้อย 2 บทความวิจัย

7.2 อนุสิทธิบัตร 1 คำขอ กำลังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ

7.3 มีหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 3 หน่วยงานคือ

- สูนย์มะเรืองอุบล
- ภาควิชาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- โรงพยาบาลสระบุรีประสาห์

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	๑
บทสรุปผู้บริหาร	๑
บทคัดย่อภาษาไทย	๕
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๖
บทที่ ๑ บทนำ	๗
บทที่ ๒ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	๑๒
บทที่ ๓ วิธีดำเนินการวิจัย	๓๒
บทที่ ๔ ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย	๔๒
บทที่ ๕ สรุปผลการวิจัย	๙๙
เอกสารอ้างอิง	๑๐๒
ภาคผนวก ก บทความสำหรับเผยแพร่	๑๐๖
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว	๑๑๖

เลขที่งู.....
เลขประจำยิน..... ๖๗๒๑๙๔๑
วันเดือน/ปี..... ๒๗ มี.ย. ๒๕๕๕

ฝ่ายหอสมุด สำนักวิทยบริการ ม.อุบลฯ
ได้รับองค์กรหน้าการจาก
โรงพยาบาลจุฬารัตน์ กรุงเทพฯ
๒๕ มี.ย. ๒๕๕๕

บทคัดย่อ

ทีแอลดิชนิดคลิกซีรัมฟู่อุอิร์ค ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์โซเดียม และชิลิกอน ได้อุก เครื่น โดยเทคนิค การหลอมที่อุณหภูมิสูง และเทคนิคบริจ์แนน โดยใช้ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมเท่ากับ 0.20 โนมเบอร์เซ็นต์ คอปเปอร์เท่ากับ 0.05 โนมเบอร์เซ็นต์ และเบลีเซนแบลส ปริมาณความเข้มข้นของชิลิกอน และโซเดียม ตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.00 โนมเบอร์เซ็นต์และ 0.50 โนม เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความเป็นผลึกโพลีและผลึกเซิงเดียวอุกซึ่นยังคงคุณภาพเดิมๆ ของแมกนีเซียมที่แอลดิชนิด ที่เป็นผลึกเซิงเดียวมีตำแหน่งอุณหภูมิของพิเศษลดลงกว่าที่แอลดิที่เป็นผลึกโพลี และพบที่แอลดิทั้ง ส่องชนิดมีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณแสงและปริมาณรังสีคิ ทีแอลดิชนิดผลึก เซิงเดียว (SMCS) มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงกว่าทีแอลดิชนิดผลึกโพลี(PMCS) ประมาณ 1.3 เท่า ปริมาณชิลิกอนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีของทีแอลดิชนิด SMCS มีค่ามากขึ้น การทดสอบของปริมาณแสงที่ทดลองเหลืออยู่ในทีแอลดิชนิดผลึกเซิงเดียว มีค่าต่ำ กว่าทีแอลดิชนิด ผลึกโพลี โดยสร้างโดยวิธีที่แตกต่างกัน แต่ไม่คงที่ในทีแอลดิชนิดผลึกโพลี จากการ เปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการอ่านค่าสัญญาณแสงตั้งแต่ 1 ถึง 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที พบว่า ความเข้มแสงเทอร์โนมูนิเนสเซนต์ของทีแอลดิทั้งสองชนิดไม่เปลี่ยนแปลงแต่ตำแหน่งอุณหภูมิของ พิเศษลดลงเมื่อเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนโดยแสดงความสัมพันธ์เป็นแบบพลังงานของที่ แอลดิชนิด PMCS และทีแอลดิชนิด SMCS มีค่า E เท่ากับ 0.7449 eV ค่า s เท่ากับ 1.481×10^6 ต่อ วินาที และ E เท่ากับ 1.6657 eV ค่า s เท่ากับ 5.882×10^{15} ต่อวินาที ตามลำดับ และปริมาณความ เข้มข้นสารเจือชิลิกอนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่า E และ s มีแนวโน้มลดลง

ศักท์สำคัญ : ลิซีรัมฟู่อุอิร์ค เทอร์โนมูนิเนสเซนต์ ตัวแปรกับคุณภาพลักษณะของ บริจ์แนน

Abstract:

Two types of thermoluminescence properties and kinetic trapping parameters of LiF:Mg,Cu,Na, Si thermoluminescence with difference production have been studied. LiF based were doped with the fixed concentration of Mg 0.2 mole%, Cu 0.05 mole% and Si 0.9 mole%, were obtained by Melting method (denoted as PMCS), single crystal form LiF based were doped with the fixed concentration of Mg 0.2 mole%, Cu 0.05 mole%, and vary with different Si and Na concentrations range from 0.00 to 2.00 mole% and 0.00-0.50 mole% respectively were obtained by Bridgeman method , the poly crystals and single crystals were confirmed with power X-ray diffraction (XRD) techniques. Two types of difference TLD have been shown similarity of TL glow curve structure but the main glow peak of single crystal are lower than poly crystal , they are show good linearity from dose response 0.10 to 3 mGy. The single crystal TLD(SMCS) sensitivity is higher than PMCS TLD 1.3 times, and the sensitivity increase with the increasing of Si concentration. The residual signal of single crystal TLD are significantly lower than PMCS TLD. The glow curve structure and sensitivity of single crystal TLD remain stable when 5 cycles reuses but not stable in polycrystal TLD. Two types of TLD did not exhibit any significant reduction in the response with increasing heating rate in the range from 1 to 20 °C /s. The glow curve structure gave the main dosimetric glow peak and the main dosimetric peak temperature(T_m) increase with the increasing of heating rate according to the Randall and Wilkins model, the peak temperature of the glow peaks change with the heating rate are indicated as the first order of kinetics. The results of trapping parameters determined by the heating rate method E and s are 0.744 eV and 1.481×10^6 sec⁻¹ for PMCS TLD and 1.665 eV and 5.882×10^{15} sec⁻¹ for SMCS TLD and the increasing of Si concentration, the E and s are decrease.

Keyword : LiF; Thermoluminescence; Kinetic trapping parameter; Bridgeman

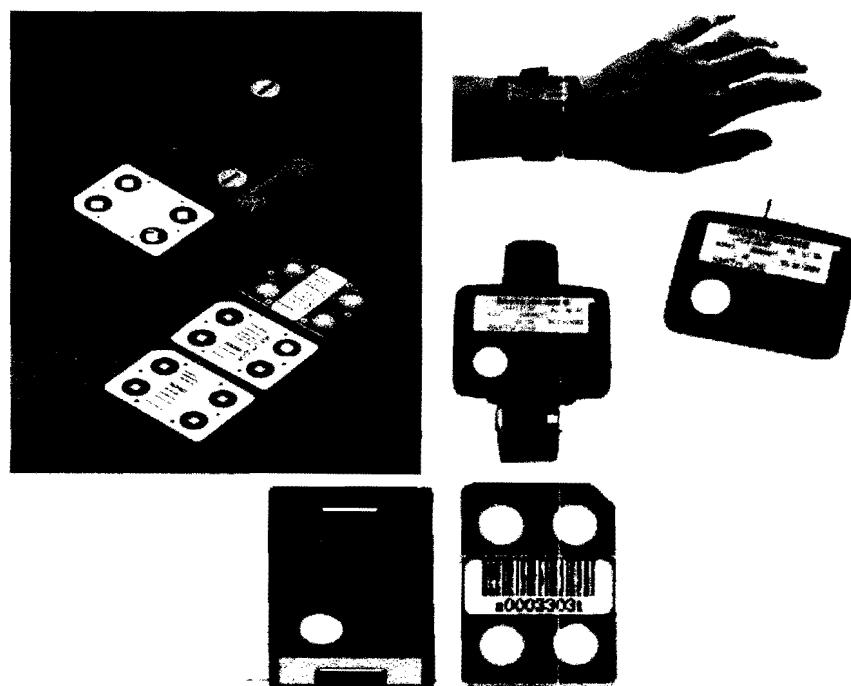
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำรังสีและสารกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ด้านการแพทย์มีการนำอาสารกัมมันตรังสี และรังสีมาใช้ในการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรค ทำให้การวินิจฉัย และรักษาโรคของแพทย์เป็นไปอย่างถูกต้อง และรวดเร็ว สามารถบรรเทาความเจ็บปวด และช่วยชีวิต ของผู้ป่วยได้มากขึ้น ด้านการเกษตรเนื่องจากประเทศไทยจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม เพาะปลูกพืช กว่าร้อยละ 60 ขั้นคงชีคการเกษตรเป็นอาชีพหลัก ดังนั้น การค้นคว้าวิจัยทางการเกษตร เพื่อเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเกษตรกร เพราะหมายถึงรายได้ และความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ของเกษตรกร ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์เพื่อส่งเสริมกิจกรรมเกษตร ในหลาย ๆ ด้าน เช่น การกำจัดศัตรูพืช การปรับปรุงพันธุ์ เพื่อเพิ่มผลผลิต การเก็บก่อนอม รักษาผลผลิต ไม่ให้เสียหาย นอกจากนั้นก็ยังมี การใช้รังสีฆ่าพันธุ์พืช เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ให้ได้พันธุ์พืช ที่มีผลผลิตสูง และด้านอุตสาหกรรม เช่น การนำรังสีมาใช้ในการตรวจสอบวัสดุแบบไม่ทำลาย ตัวอย่าง การสำรวจหาแหล่งน้ำมันใต้ดิน ความชื้นในดิน ด้วยรังสีนิวตรอน ใช้วัดระดับของของไนโตรเจนในดิน การควบคุมความหนาของแผ่นกระดาษ หรือแผ่นอลูมิเนียม โดยการใช้รังสีเบต้า การเปลี่ยนสีของอัญมณีและอื่น ๆ อิกลามากน้ำมันซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นนับว่าเป็นการนำรังสีและสารกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์อย่างสันติ ดังที่กล่าวมาแล้วถึงแม้ว่า รังสีจะมีประโยชน์อย่างมากก็ตาม หากผู้ใช้มิใช้รู้จักวิธีการใช้รังสีอย่างไร ก็อาจจะเป็นภัย对自己และ他人 ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นจึงได้มีหน่วยงานภาครัฐและองค์กรต่างๆ ที่ได้ร่วมกัน จัดทำมาตรฐานความปลอดภัยในการป้องกันรังสี (Basic Safety Standards for Radiation Protection) โดยจัดตั้งขึ้นโดยคณะกรรมการอนามัยโลก (World Health Organization: WHO), International Labour Organization (ILO) และ The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) มาตรฐานเหล่านี้ได้นำไปใช้ทั่วโลก เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและการป้องกันรังสี ต่อเจ้าหน้าที่ด้านรังสีและประชาชนทั่วไป

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีอุบัติภัย 13,000 คน บุคคลเหล่านี้ได้รับความคุ้มครองความปลอดภัยด้านรังสีด้วยการตรวจสอบให้บริเวณที่ปฏิบัติงานดังนี้ ระดับรังสีอุบัติภัยที่ปลอดภัย แต่บุคคลเหล่านี้มีโอกาสที่จะได้รับรังสีขณะปฏิบัติงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น การจับคนไข้ หรือผู้ปฏิบัติงานถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม บุคลากรประจำหน้าที่ต้องใช้เครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลติดตัวเพื่อวัดระดับรังสีที่ได้รับขณะปฏิบัติงาน โดยระดับของรังสีที่ได้รับจะต้องไม่เกินโดสลิมิต (Dose Limit) [2] และ [3] ที่กำหนดโดย ICRP สำหรับเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลที่กองรังสีและเครื่องนื้อแพทช์ กรณีวิทยาศาสตร์การแพทย์ให้บริการแก่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีนี้ 2 ประเภท คือ แบบใช้แผ่นฟิล์ม (Film Badge) และแบบใช้ลับเทอร์โนลูมิเนสเซนต์โดสลิมิตเตอร์ (TLD Badge) การวัดด้วยฟิล์มเป็นวิธีเก่าที่ใช้กันมาเป็นเวลานาน เนื่องจากมีราคาถูก แต่มีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพการวัด ปัจจุบันจึงเริ่มนีการปรับระบบการให้บริการ โดยมีการนำ TLD Badge มาให้บริการเนื่องจากมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ Film Badge แต่ยังมีข้อจำกัดตรงที่ที่แยกมีราคาแพงเนื่องจากยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างแผ่นวัดรังสีที่แยก (TLD Card) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดที่แยก 4 เม็ด ที่พนักอยู่บนแผ่นโลหะที่มีบาร์โค้ดและแสดงผลกับวัดรังสีที่แยก (TLD Badge) ซึ่งมีลักษณะเป็นกล่องโพลิเมอร์สำหรับบรรจุที่แยกดีการดูผู้ภัยในที่พักในเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ |4|

ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการทำวิจัยและพัฒนาวัสดุเทอร์โนลูมิเนสเซนต์เพื่อนำมาทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ จากการศึกษาพบว่าลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) ในธรรมชาติไม่มีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้เป็นหัววัดรังสีได้จะต้องนำมาโดยไนโตรเจนกัดซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษขึ้นภายในอะตอน คือเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้วจะเกิดสภาพวาวเงาเดี้ยงขึ้นในอะตอนโดยที่พลังงานจำนวนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในผลึกและเป็นการเก็บอย่างถาวร ผลึกนี้จะเก็บพลังงานนั้นไว้จนกระทั่งได้รับพลังงานความร้อนที่เหมาะสมปริมาณหนึ่ง จึงจะขยายพลังงานนั้นออกมายในรูปแสงสว่างและอะตอนก็จะกลับสู่สถานะพื้นฐานดังเดิมซึ่งเรียกผลึกลิเทียมฟลูออไรด์ ที่โดยอิสระ หลักการที่ปริมาณแสงที่ปล่อยออกมายากที่แสดงคือเปลี่ยนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ปล่อยได้รับสะสมไว้ พลังงานในรูปของแสงสว่างนี้สามารถวัดได้ด้วยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube)

จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าหลายประเทศได้ทำการวิจัยและพัฒนาที่แอลดิชnidicต่างๆ ออกมายอย่างต่อเนื่องหลายชนิด เช่น LiF : Mg, Ti LiF : Mg, Cu, P LiF : Mg, Cu, Na, Si โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทย ได้ลองติดตั้งพัฒนาที่แอลดิชnidicที่ใช้สารหลักเป็นลิเทียมฟลูออไรด์ และใช้สารเชื่อมต่อที่แอลดิชnidicใหม่เป็นแมกนีเซียม คอปเปอร์ และซิลิกอน โดยใช้วิธีการเตรียมแบบซินเทอร์ (Sintering method) และวิธีหลอมที่อุณหภูมิสูง (Melting method) ซึ่งเป็นวิธีการเตรียมที่ได้ผลลัพธ์ (Poly Crystal) เบาะพบร่วมกับแอลดิชnidicใหม่นี้ข้อดีกว่าที่แอลดิชnidicที่มีชื่อทางการค้าว่า TLD-100 (เป็นที่แอลดิชnidicลิเทียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียมและไททาเนียม) ถึง 55 เท่า [5] และ [6] เมื่อทำการแอบนนีลด้วยเทคนิคแบบ Dual-Step Thermal treatment พบร่วมกับซิลิกอนและฟลูออไรด์ ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส และเมื่อนำที่แอลดิชnidicไปแอบนนีลด้วยอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีก่อนการนำมาใช้งาน พบร่วมกับคุณสมบัติความเป็นเทอร์โนลูมิเนสเซนต์และโครงสร้างไอกลาร์ฟิไม่เปลี่ยนแปลงแม้ถูกนำมาใช้งานซ้ำๆ [7]

จากข้อมูลดังกล่าวที่แอลดิชnidicนี้มีความน่าสนใจที่จะนำมาทำวิจัยและพัฒนาต่อโดยใช้เทคนิคการเตรียมที่ต่างจากกลุ่มวิจัยในประเทศไทย คือ การเตรียมที่แอลดิชnidicด้วยเทคนิคบริรัดแบบ [17] [18] [19] [20] [21] และ [22] ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะได้คุณสมบัติที่แตกต่างจากเดิม ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเทคนิคที่จัดโครงสร้าง unit cell ของลิเทียมฟลูออไรด์ให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในอะตอนและคุณสมบัติความเป็นเทอร์โนลูมิเนสเซนต์เพื่อให้ได้ข้อมูลในการพัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปลีกโครงสร้างผลึกของสารคลีเชิมนฟลูออไรด์ (LiF) ที่เจือด้วยสารเจือ Mg, Cu, Na, Si ให้มีโครงสร้างเป็นผลึกซึ่งเดียว ด้วยวิธีบริคจ์แมน

1.2.2 ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลือดวabenรังสีเอกซ์

1.2.3 ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ตามค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ใน IEC (International Electrotechnical Commission) 1066 International Standard “Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring”. โดยคุณสมบัติที่จะทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) ผลของชนิดและปริมาณสารเจือที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี
- 2) ผลของชนิดและปริมาณสารเจือที่มีต่อความถึกของหลุมกับดักที่สร้างขึ้น
- 3) ผลของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี
- 4) การจางหายไปของสัญญาณแสงที่ปล่อยออกมายากปริมาณแสง
- 5) ผลของการใช้งานซ้ำที่มีต่อคุณสมบัติความเป็นที่แอลดี

1.2.4 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานしながらของผลึกที่แอลดีที่เครื่องได้ โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน (Heating Rate Method) และใช้โปรแกรม Computer Glow Curve Deconvolution (CGCD)

1.2.5 หาค่า effective atomic number และ parameter ต่างๆที่สัมพันธ์กันโดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เพื่อเขียนเทิร์นกับการใช้โปรแกรม XCOM

1.2.6 ศึกษาและเบริชบที่ขบผลการทดลองทั้งหมดกับที่ 宣告 ดี ที่ já นำ้ยา ใน เชิง พาณิชย์ ของ ด้วย ประเทศ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถระบุตัวแปรของการปลูกผลึกด้วยเทคนิคแบบบริคจ์แมนที่มีผลต่อคุณสมบัติเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของที่แอลดีชนิดคลีเชิมนฟลูออไรด์(LiF)ที่เจือด้วยสารเจือ แมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน

1.3.2 สามารถระบุความเข้มข้นของปริมาณสารเจือแมกนีเซียม คอปเปอร์ และชิลิกอนที่มีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

1.3.3 เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาที่ 宣告 ดี ชนิดนี้ให้ดีขึ้น

1.3.4 การเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติ และระดับนานาชาติอย่างน้อย 2 บทความวิจัย

1.3.5 อนุสิทธิบัตร 1 ค้ำข้อ

1.3.6 มีหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบวนการเตรียมที่ยอดดีแบบผลักโพลีชนิดลิเรียนฟลูออร์ : แมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน โดยเติมสารเจือแมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน โดยใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง [14] และ [15] และแบบผลักเชิงเดี่ยวด้วยเทคนิคบริค์แมน และศึกษาคุณสมบัติของวัสดุท่อร้อนในลูมินิสเซนต์และผลของการเติมสารเจือแมกนีเซียม คอปเปอร์ ที่ปริมาณความเข้มข้นที่คงที่เท่ากับ 0.2 โมลเปอร์เซ็นต์ และ 0.05 โมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [17] [18] [19] [20] และ [21] และทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือโซเดียม ตั้งแต่ 0-0.50 โมลเปอร์เซ็นต์ เป็นไปตามปริมาณชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.00 โมลเปอร์เซ็นต์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทฤษฎี

2.1.1 ปรากฏการณ์เรืองแสง

ปรากฏการณ์เรืองแสงในจำนวนหรือสารกึ่งตัวนำจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสารนั้นได้รับพลังงานจากภายนอกก่อน ในที่นี้ออกค่าเวลาถึงพลังงานจากรังสี ซึ่งถูกคุณลักษณะส่วนและบางส่วนถูกปล่อยออกมามีความยาวคลื่นมากกว่าเดิม โดยการเรืองแสงนั้นจะเกิดขึ้นหลังจากการคุณลักษณะพลังงานไปแล้วระยะเวลาหนึ่งเรียกว่าเวลาดังกล่าวนี้ว่า Characteristic time (τ_c) ซึ่งใช้เป็นส่วนใหญ่ในการจัดแบ่งปรากฏการณ์เรืองแสงออกเป็นชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้คือถ้า $\tau_c < 10^3$ วินาที เรียกปรากฏการณ์การเรืองแสงที่เกิดขึ้นนี้ว่าฟлуอเรสเซนซ์ (Fluorescence) โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นขณะที่มีพลังงานจากภายนอกมาระดับต้นเท่านั้น กล่าวคือเมื่อมีการกระตุ้นก็จะเกิดการเรืองแสงทันทีและเมื่อหยุดการกระตุ้นก็จะหยุดการเรืองแสงทันทีแต่ถ้า $\tau_c > 10^3$ วินาที เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าฟอฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) ซึ่งเมื่อได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอกจะค่อยๆ เกิดการเรืองแสงก่อนที่จะถึงช่วงที่มีการเรืองแสงมากที่สุดเมื่อสิ้นสุดการกระตุ้นก็ยังคงมีแสงออกมายังคงลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) นอกจากนี้ปรากฏการณ์ฟอฟอเรสเซนซ์ ยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ short-period ซึ่งมีค่า $\tau_c < 10^4$ วินาที และ long-period จะมีค่า $\tau_c > 10^4$ วินาที สำหรับ long-period ถ้าช่วงเวลาของ τ_c มีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นนาทีไปจนถึง 4.6×10^9 ปี เราจะเรียกปรากฏการณ์เรืองแสงแบบนี้ว่า เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (thermoluminescence, TL) ซึ่งปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์จะไม่มีการเรืองแสงขณะที่ถูกกระตุ้นหรือสิ้นสุดการกระตุ้นจนกว่าจะได้รับพลังงานความร้อนที่เหมาะสมค่าหนึ่งจึงทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการเรืองแสงกับอุณหภูมิจะมีลักษณะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล

2.1.2 หลักการทั่วไปของเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

ปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence, TL) จะต่างจากปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบอื่น ๆ ตรงที่เมื่อพลีกได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอก เช่น รังสีพลีกจะมีการกักเก็บพลังงานไว้ในพลีกโดยที่ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บจะ

อยู่ในเวลาที่เป็นวินาทีไปจนถึงเวลาที่เป็นปีจังกว่าจะได้รับการกระตุ้นจากความร้อนที่พอยเมะจึงจะปล่อยพลังงานนั้นออกมากในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อผลึกได้รับรังสีซึ่งมากพอที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าไปสู่สถานะโลด (excited state) ซึ่งเป็นสถานะที่มีพลังงานสูงกว่าและไม่เสถียร ดังนั้นอิเล็กตรอนจะพยายามกลับคืนสู่สถานะพื้น ซึ่งจะถูกจับไว้ที่สถานะกึ่งเสถียร (metastable state) เรียกว่ากับดัก (trap) ซึ่งเป็นสถานะพลังงานที่อยู่ระหว่างสถานะพื้นและสถานะโลด โดยเกิดจากความบกพร่อง (defect) ของผลึกซึ่งไม่สามารถกลับมาอยู่สถานะพื้นได้และไม่มีการปล่อยแสงจนกว่าอิเล็กตรอนที่ถูกจับได้รับการกระตุ้นทางความร้อนด้วยพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากกับดักและหายพลังงานออกมากในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วกลับมาอยู่สถานะพื้นเช่นเดิม ซึ่งหลักการของเทอร์โมลูมิเนสเซนต์สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีแบบพลังงาน (energy band) กล่าวคือในโครงสร้างผลึกของ��วน (insulator) จะมีแบบพลังงานอยู่ 2 แบบคือแบบวาเลนซ์ (valence band) และแบบการนำ (conduction band) โดยแบบวาเลนซ์ในสภาวะปกติมีอิเล็กตรอนอยู่เต็มและอยู่ในสถานะขีดแน่น (bound state) ส่วนแบบการนำในสภาวะปกติจะไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย แต่ถ้ามีอิเล็กตรอนก็จะอยู่ในสถานะที่ไม่ขีดแน่น (unbound state) และอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อ่ายอิสระทั่วແಡຕີທີ່ (lattice) และระหว่างแบบพลังงานห้องสองนี้เป็นที่ว่าง ซึ่งไม่อนุญาตให้อิเล็กตรอนอยู่ได้ เรียกที่ว่างนี้ว่าเขตห่วงห้าม (forbidden gap) หรือช่วงพลังงาน (energy gap) โดยที่ว่างแล้วผลึกที่เป็นสารกึ่งตัวนำหรือ晶วนจะมีความผิดปกติหรือความบกพร่องขึ้นในโครงสร้างผลึก (crystal structure) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่อิเล็กตรอนจะมีระดับพลังงานในแบบช่องว่างของผลึก โดยมีการก่อตัวของระดับพลัง (energy level) ไม่เท่ากัน ได้หมายค่าทำให้แยกได้ตามระดับความลึกของพลังงาน (energy depth) และเรียกระดับพลังงานนี้ว่ากับดัก ซึ่งมีหน้าที่ในการดักจับอิเล็กตรอนที่ตกกลับลงมาจากแบบการนำและการดักจับอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของกับดักเพาะผลึกที่ให้ปริมาณแสงมากเนื่องจากมีปริมาณกับดักมาก โดยที่ปริมาณกับดักจะขึ้นกับความบกพร่องของผลึก ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายแบบและแตกต่างกันออกไปตามกระบวนการปฏิกริยาผลึกและการเกิดผลึก โดยธรรมชาติเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการกำหนดชนิดของความบกพร่องของของผลึก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ มีผลทำให้โครงสร้างภายในของผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เช่นทำให้เกิดช่องว่างหรือเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งโดยเทคนิคของความบกพร่องแบ่งออกเป็น 4 ชนิดดังนี้ คือ

2.2.1 ความไม่สมบูรณ์แบบเส้น (Line Defect) เป็นความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอยู่ผิดสภาพหรือการอยู่ผิดที่ของอะตอมทั้งแนวหรือระนาบภายในผลึก บางครั้งเรียกว่า dislocations ทำให้เกิดจากความผิดปกติของสารประกอบทำให้เกิดรอยต่อระหว่างແດຕີທີ່ กิจการเหลื่อมกันระหว่างผิวระนาบແດຕີທີ່ที่ขานกัน

2.2.2 ความไม่สมบูรณ์ตามผิวน้ำ (Surface Defect) เป็นความไม่สมบูรณ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของร่องรอยของตะกอนที่อยู่ร่วมกันข้างขอบเกรน (grain boundaries)

2.2.3 ความไม่สมบูรณ์แบบจุด (Point defect) แบ่งออกเป็น

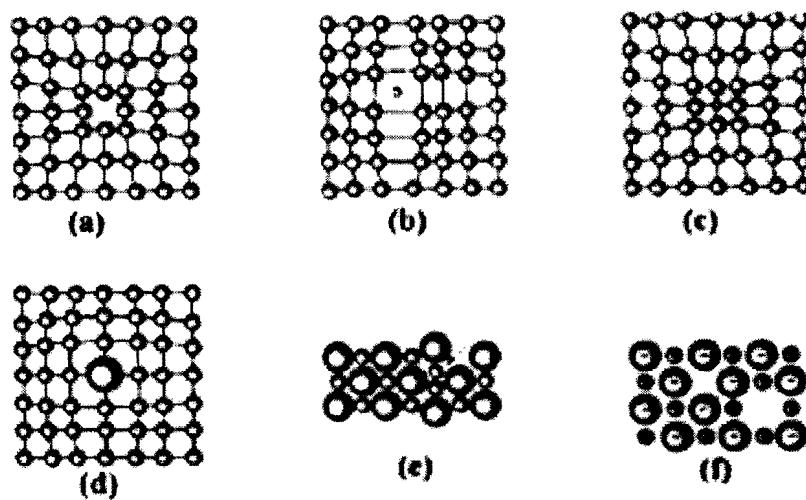
1) Vacancies เกิดขึ้นเมื่ออะตอมหลุดออกไปจากตำแหน่งปกติซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการก่อผลึกที่อุณหภูมิสูง การทำให้ผลึกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว การขีนรูป หรือเกิดขึ้นเนื่องจากสั่นของอะตอมเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีโดยปกติที่อุณหภูมิห้องจะมี 2 ถึง 3 Vacancies แต่จะมีปริมาณซึ่งว่างของอะตอมมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แสดงในภาพที่ 2.1-a

2) Interstitial Defect เกิดขึ้นเมื่อมีอะตอมที่เกินมาหากกว่าปกติเข้าไปแทนที่ในช่องว่างแล้วพิษภายในผลึก ซึ่งอะตอมที่เข้ามาแทรกอาจเป็นอะตอมเดียวกับโครงสร้างผลึกเอง (Self-interstitial atom) หรืออาจเป็นอะตอมของชาตุอื่น (Interstitial impurity atom) โดยที่อะตอมที่เข้าไปแทนที่นั้นจะมีขนาดเล็กกว่าอะตอมหลักแต่จะมีขนาดใหญ่กว่าที่ว่างนั้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงถูกอัดและทำให้โครงสร้างเกิดการบิดเบี้ยวไปจากเดิม แสดงในภาพที่ 2.1-b

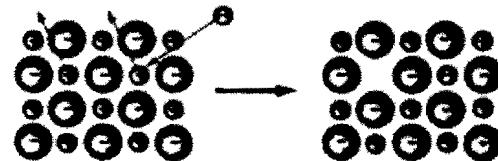
3) Substitutional Defect เกิดจากการนำอะตอมของชาตุอื่นเข้ามาแทนที่ในอะตอมในโครงสร้างผลึกหลัก ซึ่งเรียกอะตอมที่เข้ามาแทนที่และอะตอมที่เข้ามาแทนที่นี้ชังคงอยู่ในແลตทิช ถ้าอะตอมที่เข้ามาแทนที่เล็กกว่าอะตอมหลักจะทำให้เกิดการดึงอะตอมที่อยู่ข้างๆ และถูกอัดซึ่งเกิดการบิดเบี้ยวและความบกพร่องขึ้นในโครงสร้างผลึก แสดงในภาพที่ 2.1-c และ 2.1-d

4) Frenkel Defect เป็นจุดบกพร่องที่เกิดจากการข้ายึดที่ของไอออนบางจากที่เดิมไปแทรกอยู่ร่วมกับไอออนลบและบวกของอิกที่หนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดซึ่งว่างที่เป็นประจุบวกเกิดขึ้น หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า vacancy-interstitial pair เกิดขึ้นเมื่อไอออนที่ตำแหน่งปกติเคลื่อนที่ไปยัง interstitial site ดังแสดงในภาพที่ 2.1-e

5) Schottky Defect เกิดจากข้าเป็นคู่ทั้งประจุบวกและประจุลบหลุดออกจากตำแหน่งเดิม เพื่อรักษาประจุโครงสร้างให้เป็นกลางหรือเป็นการอนุรักษ์ประจุ ทำให้เกิดซึ่งว่างทั้งบวกและลบเกิดขึ้น แสดงในภาพที่ 2.1-f



ภาพที่ 2.1 ความไม่สมบูรณ์แบบของอนุภาคต่าง ๆ (a) vacancy (b) interstitial atom (c) small substitutional atom (d) large substitutional atom (e) Frenkel defect (f) Schottky defect

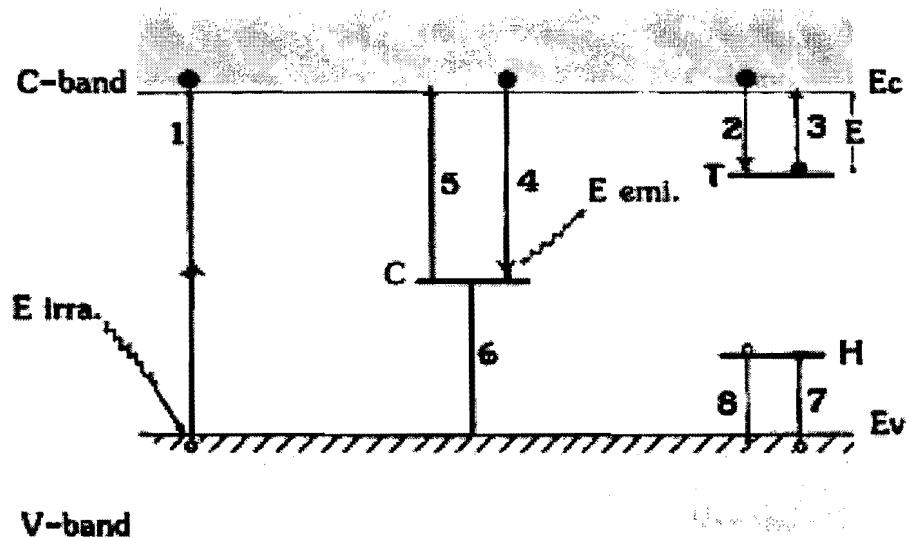


ภาพที่ 2.2 การแทนที่ cation 2^+ ในอะตอมหลักจะทำให้ cation 1^+ ที่อยู่ใกล้หลุดออกจากโครงสร้างเพื่อนำรักษ์ประจุและทำให้เกิดช่องว่างขึ้น

2.1.3 แบบจำลองที่ใช้อธินายการเกิดเทอร์โมคูมินสเซนต์

แบบจำลองอย่างง่ายที่จะทำให้เข้าใจปรากฏการณ์นี้ได้แก่แบบจำลองแบบพลังงาน (energy band model) กล่าวคือในแบบจำลองนี้มีระดับพลังงานที่เกี่ยวข้องสามระดับค้ายกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งศูนย์กลาง (center) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในผลึกเกิดจากความบกพร่องหรือความไม่บริสุทธิ์ของผลึก เมื่อผลึกได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดภายนอก พลังงานที่ผลึกได้รับจะเป็น E_{int} ซึ่งมีค่ามากกว่าช่องพลังงาน (band gap) อันตราระหว่างรังสีกับผลึกทำให้อิเล็กตรอนเป็นอิสระจากແນவาเลนซ์ (valence band) แล้วไปอยู่ในแบบการนำ (conduction band) โดยมีผลต่างพลังงานเป็น $E_c - E_v$ เมื่อ E_c และ E_v คือระดับพลังงานของแบบการนำและแบบเวลน์ตามลำดับ ซึ่งสิ่งผลทำให้เกิดโอลิสระ (free hole) ที่ແນบเวลน์ (ลำดับที่ 1) แต่จะมีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งตกลงไปสถานะพื้น (ground state) โดยทันทีทันใด ตามด้วยการปล่อยแสงหรือถ่ายเทพลังงานให้แลต

ทิชและทำให้เกิดความร้อนในผลึกส่วนอิเล็กตรอนอิกจำนวนหนึ่งถูกจับที่กับดักอิเล็กตรอน Trapping state, T (ลำดับที่ 2) พร้อมกับมิโซลอิสระถูกจับที่กับดักไฮด์ Hole traps (H) (ลำดับที่ 7) อิเล็กตรอนและไฮด์อาจรวมกันโดยผ่านศูนย์กลางการรวม recombination center (C) (ลำดับที่ 4 และ 6) นอกเหนือจากลำดับที่ 1 แล้วอิเล็กตรอนซึ่งสามารถหลุดออกจากศูนย์กลางการรวม (C) ได้โดย การปล่อยรังสีที่มีพลังงานมากกว่าพลังงานที่แตกต่างระหว่าง E_c และ C (ลำดับที่ 5) อย่างไรก็ตามยัง อาจมีการรวมกันของอิเล็กตรอนและไฮด์ ข้ามช่องว่างแบบพลังงานห่วงห้าม (Forbidden band gap) ที่ เรียกว่าการรวมกันโดยตรง (direct recombination) หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าการส่งผ่านระหว่างແبن (band-to-band) แต่จะมีโอกาสเกิดได้น้อยกว่าการรวมกันโดยอ้อม (indirect recombination) ที่ เรียกว่าการส่งข้ามระหว่างແบกับศูนย์กลาง (band-to-center) โดยเฉพาะในสารที่ตัวนำและฉนวน เพราเวสคุเหล่านี้มีช่องว่างแบบพลังงานกว้าง ดังนั้นการรวมกันจะเกิดขึ้นได้ ไฮด์ต้องถูกจับที่ C ก่อน (ลำดับที่ 6) และรวมกับอิเล็กตรอนโดยบวนการ annihilation (ลำดับที่ 4) จึงจะเกิดการ ปลดปล่อยแสง



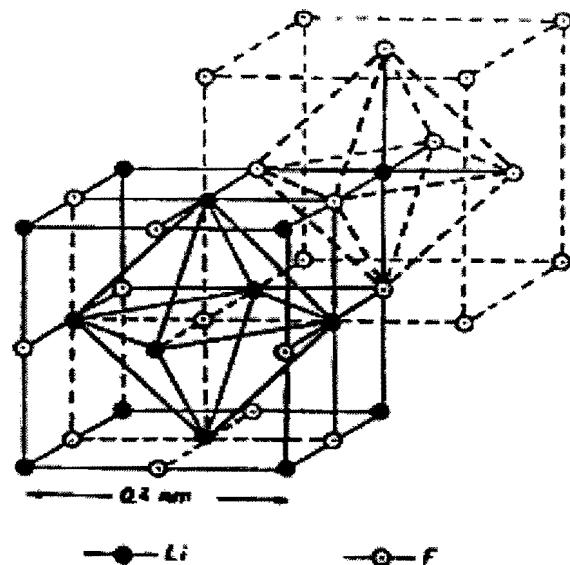
ภาพที่ 2.3 แผนภาพการเกิดเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ตามแบบจำลองแบบพลังงาน โดยที่วงกลมทึบแทน อิเล็กตรอนและวงกลมครึ่งวงกลม ไฮด์ ถูกคร 1, 2, 3, 4 และ 5 แทนการส่งผ่านอิเล็กตรอน ส่วนถูกคร 6, 7 และ 8 แทนการส่งผ่านไฮด์

จากแบบจำลองที่กล่าวมาจะเห็นว่าปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนต์มีกระบวนการเกี่ยวข้องสองกระบวนการคือกระบวนการที่หนึ่งเป็นการเกิดไอออนใน เชื้ัน (ionization) และการตักจับอิเล็กตรอน (electron trapping) กระบวนการที่สองคือการรวมกัน ของอิเล็กตรอนกับไฮด์แล้วปล่อยแสง

2.1.4 ลิธيومฟลูออไรด์

ลิธيومฟลูออไรด์ (LiF) ในธรรมชาติไม่มีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้เป็นหัววัสดุสีได้ จะต้องนำมาดีป์ให้เกิดคุณสมบัติพิเศษขึ้นภายในอะตอม คือเมื่อเจือด้วยโลหะบางชนิด(activator) จะสามารถแสดงคุณสมบัติการเรืองรังสีด้วยความร้อน จึงได้ผลึกชนิดนี้มาใช้วัสดุสี โดยเจือด้วยโลหะชนิดต่างๆ เช่น LiF:Mg , Ti LiF:Mg , Na LiF:Mg , Cu, P และ $\text{LiF:Cu, Cu, Na, Si}$ เป็นต้น สามารถนำไปใช้ในงานทางด้านรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันของที่แอลดีแต่ละชนิด โดยคุณลักษณะเฉพาะของลิธيومฟลูออไรด์มีดังนี้

2.1.4.1 ลิธيومฟลูออไรด์แสดงคุณสมบัติเป็นตัววัดที่ดีเนื่องจากเป็น alkali halide ที่ประกอบด้วย cation (M^+) และ anion (X^-) โดยแต่ละ Li^+ ไอออนซึ่งอยู่ที่ศูนย์กลางของลูกบาศก์ จะถูกล้อมรอบด้วย F^- ไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุด 6 ไอออนและในทำนองเดียวกันอาจพิจารณาได้ว่า F^- มี Li^+ ไอออน จำนวน 6 ไอออนล้อมรอบอยู่ชั้นกันดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของลิธيومฟลูออไรด์ ซึ่งเป็นแบบ fcc (face center cubic) ประกอบด้วย Li^+ และ F^- ไอออน

2.1.4.2 ไอออนที่อยู่ชิดกันของลิธيومฟลูออไรด์จะมีค่าคงที่แลตทิซ (lattice constant) เท่ากับ 0.4 nm ด้วยพลังงานขึ้นบานที่สูงของอิเล็กตรอนกับแกนเวลน์และความกว้างของช่องพลังงาน ซึ่งกว้างถึง 14.3 eV จึงทำให้ผลึกลิธيومฟลูออไรด์โปรดรังแสงในช่วงที่ตา

มองเห็นและในช่วงอัลตราไวโอเลต (UV) ด้วยคุณสมบัติข้อนี้การเรืองแสงที่เกิดขึ้นจากແ叛พลังงานที่ทุกระดับความลึกสามารถวัดได้โดยปราศจากการสูญเสียไปในรัศมี

2.1.4.3 ลิธيومฟลูออไรด์มีความทนทานสูงต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความชื้น แสง ความเสียดทาน และสารเคมีเกือบทุกชนิด ดังนั้nlithium fluoride จึงสามารถนำมาใช้ได้หลายครั้ง

2.1.4.4 จุดหลอมเหลวของลิธيومฟลูออไรด์เท่ากับ 875 องศาเซลเซียส ซึ่งก่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเติมสารเจือด้วยโลหะชนิดต่าง ๆ เข้าไปจะสามารถทำได้ง่ายโดยใช้การหลอมและตกผลึก นอกจากนี้ภายในอุปกรณ์ semi liquid จึงสามารถขึ้นรูปอัดให้เป็นเม็ดได้โดยไม่ต้องใช้สารยึด (binding) ซึ่งอาจจะไปลดปริมาณเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ทำให้มีผลกระทบต่อการนำไปใช้เป็นผลึกวัสดุได้

2.1.4.5 คุณสมบัติการตอบสนองต่อรังสีของผลึกลิธيومฟลูออไรด์ในทุกๆ กรณีจะเหนือกว่าสารประกอบชนิดอื่นๆ เพราะว่าค่า effective atomic number (Z_{eff}) ของผลึกลิธيومฟลูออไรด์ค่าเท่ากับ 8.2 ส่วนเนื้อเยื่อ (Soft tissue) และอากาศมีค่าเท่ากับ 7.4 และ 7.3 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกันจึงถือได้ว่าลิธيومฟลูออไรด์สามารถเทียบเคียงได้กับเนื้อเยื่อ (tissue equivalence)

แม้ว่าลิธيومฟลูออไรด์จะเป็นสารประกอบที่เสถียรแต่ลิธيومฟลูออไรด์ก็ยังเป็นสารเคมีที่เป็นพิษเมื่อกินเข้าไปหรือผิงไว้ได้ผิวนัง โดยตรง จากการศึกษาพบว่าผลึกลิธيومฟลูออไรด์ที่ห่อหุ้มและผิงไว้ในเนื้อเยื่อจะละลายใน 3 สัปดาห์และหนูจะแสดงอาการป่วยเนื่องจากพิษของลิธيومฟลูออไรด์ คือน้ำหนักลด ติดเชื้อ ชื่น สั่นและตายในที่สุด ดังนั้นในบางประเทศจึงห้ามลูกชิคิลิธيومฟลูออไรด์เป็นสารพิษ และต้องระวังเป็นพิเศษเมื่อนำลิธيومฟลูออไรด์มาใช้

2.1.5 เครื่องวัดรังสีชนิดเทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดยสิมิเตอร์

เทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดยสิมิเตอร์หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่าทีแอลดี เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวัสดุที่ใช้ได้ทั้งปริมาณปฐมภูมิและทุติยภูมิ (รังสีกระเจิง) มีขนาดเล็กและพกพาได้สะดวกมีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูง เมื่อใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีในงานด้านต่างๆ เช่น ทางศัลย์สิ่งแวดล้อมและทางด้านการแพทย์ โดยผลึกที่ได้จะมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้วจะทำให้เกิดสถานะกึ่งเสถียรขึ้นในอะตอม โดยที่พลังงานจำนวนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในผลึกและเป็นการเก็บอย่างถาวรและผลึกจะเก็บพลังงานนั้นไว้จนกระทั่งผลึกนั้นได้รับพลังงานความร้อนที่เหมาะสมหนึ่งผลึกจะหายพลังงานนั้นออกมารูปของแสงสว่าง และจะดูมีสีสันต่างกัน จึงเรียกผลึกพวคนี้ว่าผลึกทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (Thermoluminescence crystal) โดยพลังงานในรูปของแสงสว่างนี้สามารถวัดได้โดยการเปลี่ยนให้

เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube) ซึ่งปริมาณแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่สะสนิทไว้

สิ่งที่สามารถอธิบายถึงความเข้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นจากที่แอลดินน์ได้รับการเสนอโดยทฤษฎีของแรนดอล์วิลกินส์ (Randall and Wilkins) เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ของสารที่มีกับตัวอิเล็กตรอน พลังงานที่ความลึก (Energy depth; E) ของกับตัวซึ่งมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ที่อยู่ต่ำกว่าแทนน้ำ ขณะที่สารนี้มีอุณหภูมิเท่ากับองศาเคลวิน ดังนั้นความน่าจะเป็นของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากกับตัว (p) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1.1)

$$p = \frac{1}{\tau} = se^{-E/kT} \quad (1.1)$$

เมื่อ p คือ ความน่าจะเป็นของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากกับตัวหน่วยเวลา (วินาที)

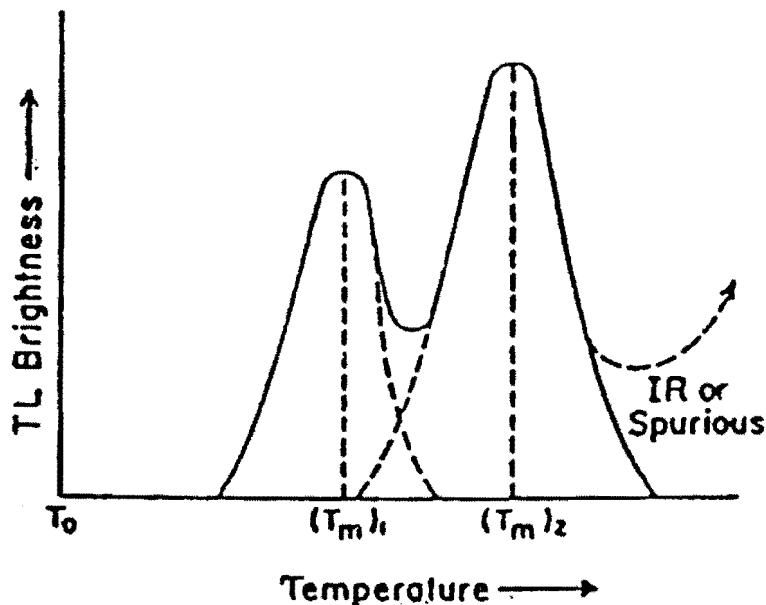
τ คือ ช่วงเวลาเฉลี่ยของอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในกับตัว

K คือ Boltzman's constant (โดยที่ $k = 1.381 \times 10^{-23}$ J/K , 8.62×10^{-5} eV/K)

S คือ frequency factor ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผิดปกติตรงส่วนโครงสร้างของผลลัพธ์ (sec^{-1})

E คือ ความลึกของกับตัว (eV)

จากสมการที่ (1.1) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อค่า k , E และ τ คงที่ ถ้าค่าอุณหภูมิ (T) เพิ่มขึ้นก็จะเป็นสาเหตุให้ค่า p เพิ่มขึ้นและ τ มีค่าลดลง ดังนั้นถ้าลองเพิ่มอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นเชิงเส้นเทียบเวลาโดยเริ่มจากอุณหภูมิของห้อง จะทำให้อัตราของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ถูกกับตัวมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงขีดสุดที่อุณหภูมิ (T_m) แล้วจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกับตัวไว้ก็จะค่อยๆ หมดลงในที่สุด ความเข้มแสงสว่างที่เกิดขึ้นเป็นสักส่วนกันกับอัตราการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจะนั่นค่าสูงสุดของเส้นโค้งสัมพันธ์หรือที่เรียกว่าพีก (peak) ของความสว่างจากเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ จะสังเกตเห็นได้ว่า อุณหภูมิ T_m นี้เอง ซึ่งจะเรียกพีกนี้ว่าโกลพีก (glow peak) ซึ่งการมีหulum กับตัวมากกว่าหนึ่งจะทำให้มีโกลพีกมากกว่าหนึ่งชั้นกัน แสดงในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โกลว์คิร์ฟของเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ

จากรูปที่ 2.5 เป็นผลจากการให้ความร้อนแก่สารเรืองแสงที่ได้รับรังสีที่มี 2 trap depths อุณหภูมิของสารเรืองแสงเป็น T จะเห็นว่าเมื่อให้รับรังสีโกลว์คิร์ฟจะมีค่วยกัน 2 โกลว์คิร์ฟที่ $(T_m)_1$ และ $(T_m)_2$ แต่กรณีนี้จะไม่สามารถหาค่าได้อย่างสมบูรณ์ถูกต้อง แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียสแสงอินฟราเรดจากเครื่องอ่านให้ความร้อนจะเริ่มทำให้เกิดแสงสว่างที่สามารถตรวจวัดได้

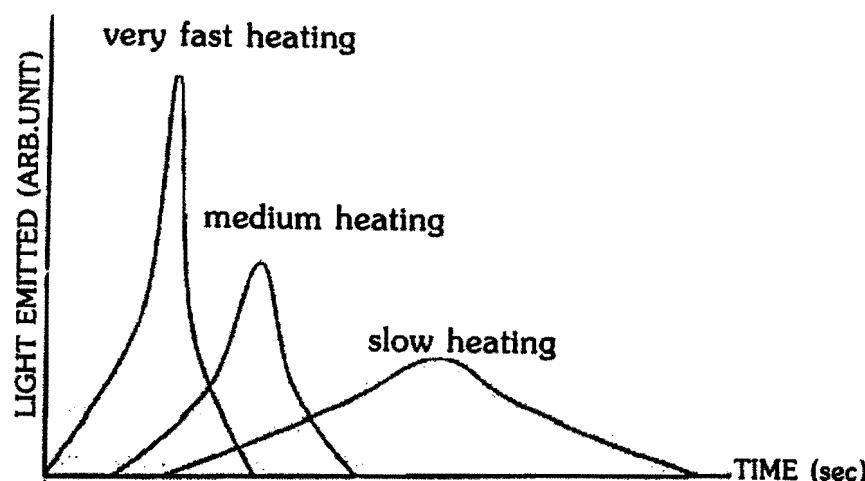
2.1.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญของที่แอลดี

ที่แอลดีที่จะนำไปใช้งานในการวัดปริมาณรังสีนั้นจำเป็นจะต้องศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) โกลว์คิร์ฟ (glow curve)

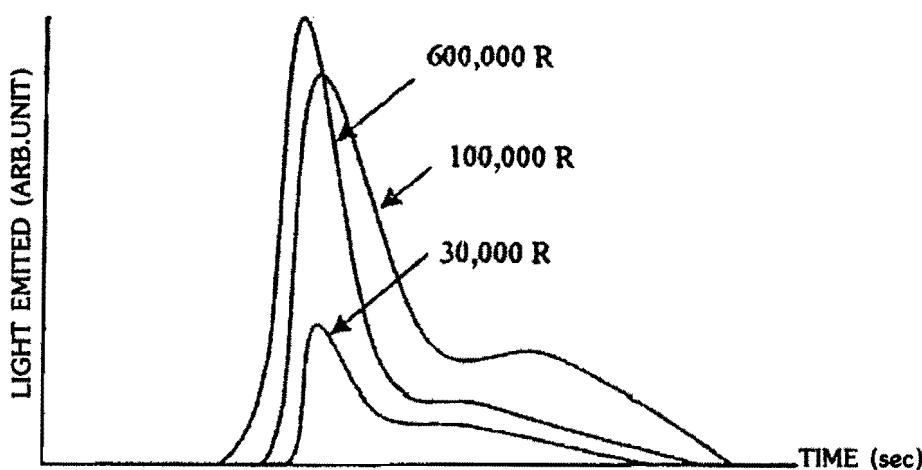
โกลว์คิร์ฟเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงที่ที่แอลดีปล่อยออกมากับคุณสมบัติหรือเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ถ้าอัตราการให้ความร้อน (heating rate) กับที่แอลดี มีค่าคงที่สม่ำเสมอกราฟทั้งสองนี้จะคล้ายกันมาก ซึ่งพื้นที่ได้รับจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเทอร์โมลูมิเนสเซนต์กับเวลาจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับผลรวมเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ ดังนั้นถ้ากล่าวถึงโกลว์คิร์ฟปกติจะหมายถึงกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเทอร์โมลูมิเนสเซนต์กับเวลา ซึ่งปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลทำให้โกลว์คิร์ฟเปลี่ยนแปลงไปได้แก่ อัตราการให้ความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อโกลว์คิร์ฟอย่างมาก กล่าวคือถ้าเพิ่มอัตราการให้ความร้อนขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้ความสูงของพีคเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าแต่ความกว้างของพีคจะแคบลง แสดงดังภาพที่ 2.6

ขนาดรูปร่างลักษณะของที่แอลดี เมื่อจากส่วนของที่แอลดีสัมผัสกับความร้อน (heating element) จะได้รับความร้อนก่อนส่วนที่อยู่ห่างออกไปจะได้รับความร้อนจากการนำความร้อน ดังนั้นจะเห็นว่าขนาด รูปร่างและสภาพการนำความร้อนของที่แอลดีมีผลต่อโกลว์เคิร์ฟอย่างมาก ดังนั้นถ้าที่แอลดีมีความหนาเกินไปส่วนที่อยู่ห่างจากความร้อนจะยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ จึงได้โกลปิก(Glow peak) ที่อุณหภูมิต่ำในขณะส่วนที่อยู่ใกล้ความร้อนจะให้ตำแหน่งพีกหลักที่อุณหภูมิสูงซึ่งผลรวมก็คือโกลว์เคิร์ฟค่อนข้างจะกว้างขึ้นมากและมีรูปร่างผิดไปจากเดิม เพราะพีกมาช้อนกันซึ่งผลนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการให้ความร้อนสูง



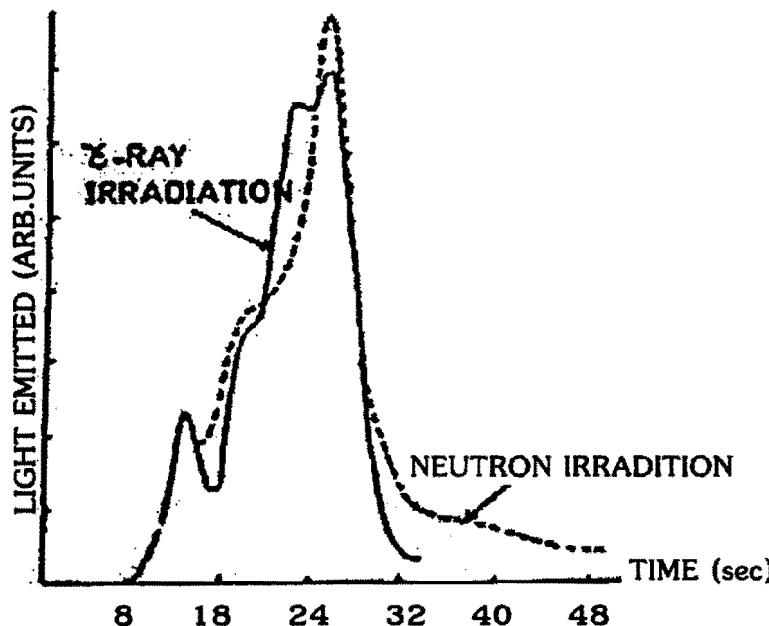
ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อรูปร่างของโกลว์เคิร์ฟ

ระดับของปริมาณรังสี (level of exposure) ปริมาณรังสีที่ที่แอลดี ได้รับจะมีผลต่อโกลว์เคิร์ฟด้วยเพรากับดักต่าง ๆ จะไม่อิ่มตัวที่ปริมาณรังสีเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ผลของปริมาณรังสีที่มีผลต่อโกลว์เคิร์ฟ

ชนิดของรังสี (type of radiation) เมื่อที่แอลดีได้รับรังสีต่างชนิดกันจะให้โกล์วเคริฟที่มีรูปร่างต่างกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โกล์วเคริฟของลิเทียมฟลูอูโรเดซั่งนำไปฉายรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมา

ประวัติการได้รับรังสีและการแอนนิลของที่แอลดีเมื่อที่แอลดีได้มีการใช้งานช้าๆ หลาย ๆ ครั้ง จะทำให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีของที่แอลดีค่าลงมีวิธีแก้ไขคือนำไปแอนนิลก่อนใช้งาน

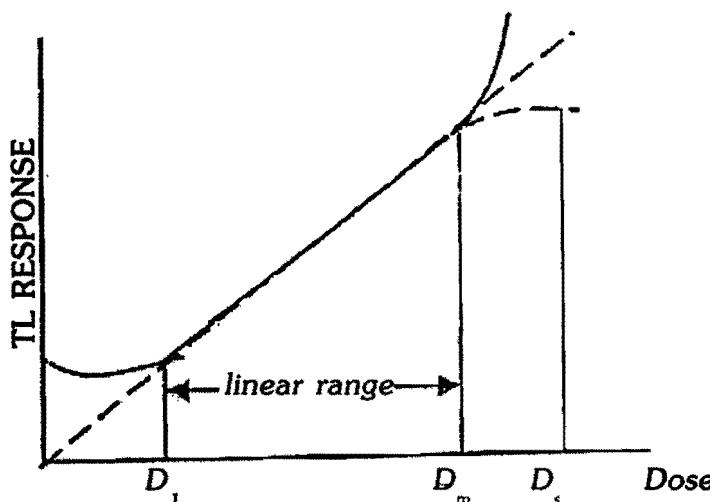
เครื่องมือที่ใช้บันทึกโกล์วเคริฟ (recording instrument) กล่าวคือถ้าเครื่องมีอยู่ในสภาพที่ผิดปกติ เช่น เทอร์โมคัปเปลี่ยนทำงานผิดปกติหากไม่มีการปรับเทียบอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปลี่ยนที่ให้กับถ่านรองให้ความร้อนอาจทำให้ตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักผิดไป

2) ความไวในการตอบสนองต่อรังสี (Sensitivity)

ความไวในการตอบสนองต่อรังสีหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ปล่อยออกมากจากที่แอลดีต่อหนึ่งหน่วยปริมาณรังสี ซึ่งสิ่งที่จะมีผลต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสีคือลักษณะรูปร่างของที่แอลดี ขนาดของผลึก และผลของการแอนนิล

3) ความเป็นเส้น直線 (Linearity)

ความเป็นเส้น直線หมายถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมากจากที่แอลดี กับปริมาณรังสีที่ที่แอลดีได้รับ ลักษณะสัญญาณที่ได้จากที่แอลดีแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างความเป็นเชิงเส้นของ TL ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

จากภาพเมื่อ D_1 คือ Minimum Linear Dose D_m คือ Maximum Linear Dose D_s คือ Saturated Dose ปริมาณรังสีที่ที่แอลดีได้รับในช่วง D_1 ถึง D_m เรียกว่า linear range ซึ่งปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานาที่แอลดีจะเป็นเชิงเส้นกับปริมาณรังสีและกับดัก ต่างๆ จะอ่อนตัวที่ปริมาณรังสี D_m ดังนั้นปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานาที่แอลดีจะมีปริมาณคงที่ตรงปริมาณรังสี D_s

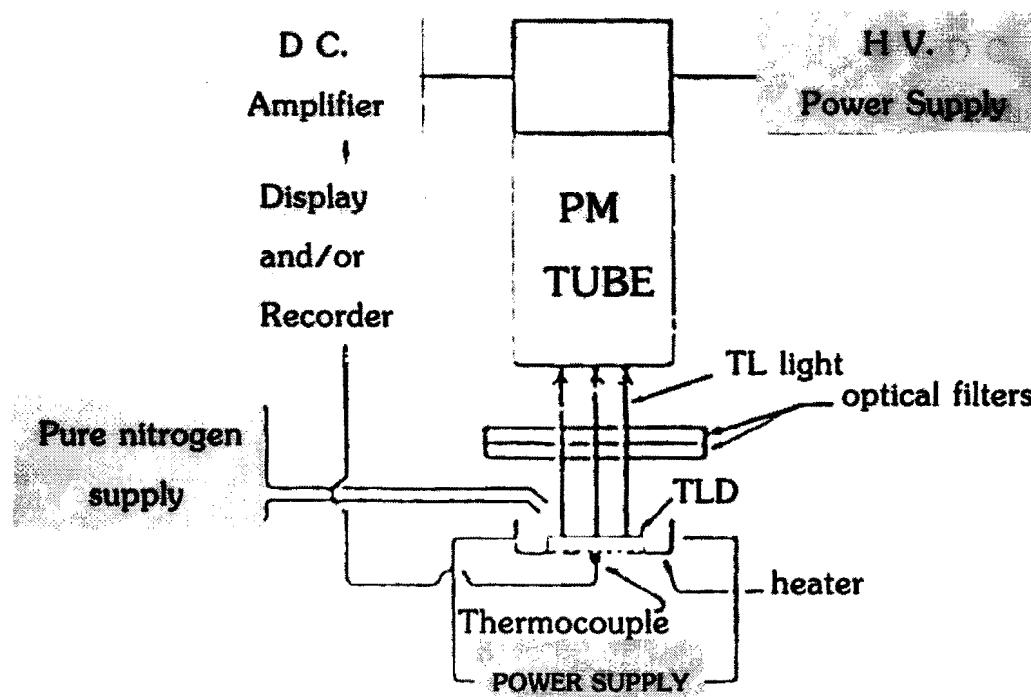
4) การจางหายไปของสัญญาณ (Fading)

การจางหายไปของสัญญาณหมายถึงการจางหายไปของสัญญาณในที่แอลดีตามกระบวนการการเกิดเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์นั้น เมื่ออะตอมของที่แอลดีถูกกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟoton อิเล็กตรอนจะกระโดดไปค้างอยู่ในกับดัก การเก็บที่แอลดีไวนานๆ หลังจากที่แอลดีได้รับรังสีหรืออุณหภูมินในการเก็บสูงหรือมีแสงสว่างมากจะมีผลทำให้อิเล็กตรอนที่ค้างอยู่ในกับดักพลังงานแตกต่างๆ ทดลองมาที่แบบวaledน์เมื่อนำที่แอลดีไปอ่านค่าปริมาณแสงค่าที่ได้จะลดลงจากความเป็นจริง

2.1.6 เครื่องอ่านค่า ที่แอลดี

เครื่องอ่านค่า ที่แอลดีเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการให้ความร้อนสารเรืองแสงที่แอลดี และวัดสว่างที่ปลดปล่อยออกมาน้ำซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 2.10 ตัวสารเรืองแสงจะถูกใส่เข้าไปในแพงให้ความร้อนที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงทำการให้ความร้อนตัวสารเรืองแสงนั้นและเมื่อมันปลดปล่อยแสงสว่างนั้นออกมานั่นทำการวัดด้วยหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) ในการให้ความร้อนหรือให้ความร้อนนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันนั้นจะให้ความร้อนแก่สารเรืองแสงอย่างรวดเร็วให้ทั่วบริเวณกับดักที่ไม่เสดิยรนั้นโดยจะขังไม่คำนึงถึงแสงสว่างที่ถูกปลดปล่อยออกมานในช่วงแรกๆ จนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่ตั้งเอาไว้ เมื่อสารเรืองแสงได้รับความร้อนที่เหมาะสมสมที่จะก่อให้เกิดโกลว์เคริฟได้จึงครบหมุดในทางการวัดซึ่งคำนีนการวัดพัฒนาของความ

สว่างของแสงที่ปลดปล่อยของกماทั้งหมด ซึ่งอาจจะแสดงในรูปของประจุที่วัดได้หรือปริมาณรังสีที่อ่านค่าได้ ขึ้นตอนสุดท้ายจะเป็นการให้ความร้อนแก่หลักเรื่องแสงนั้น จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส เพื่อปลดปล่อยประจุที่ยังคงค้างอยู่ในกับดักที่ลึก ๆ โดยไม่คำนึงถึงแสงสว่างนอกเหนือจากนี้ที่ถูกปลดปล่อยของกماจากปรากฏการณ์ spurious effect ในปัจจุบันเครื่องอ่านที่แอลดี สำหรับวัดปริมาณรังสีที่บุคคลได้รับนั้นได้ผลิตขึ้นมาเป็นแบบช่องบรรจุที่แอลดีเป็นจำนวนมาก ๆ และสามารถป้อนเข้าเครื่องอ่านได้ทิลามาก ๆ หรือเป็นเชิงโดยอัตโนมัติเป็นรหัสตัวเลขด้วยระบบคอมพิวเตอร์สามารถเก็บข้อมูลและบอกปริมาณรังสีและข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด บริษัทผู้ผลิตมีหลายบริษัท ได้แก่ Eberline, Harshaw, Panasonic, Scanditronix, Teledyne Isotopes และ Victorreen เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 แผนผังของเครื่องอ่านค่าของที่แอลดี

2.1.7 เทคนิคการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจลน์

นับเป็นเวลาประมาณเกือบ 50 ปี ที่ได้มีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดัก พลังงานจลน์ (kinetics trapping parameter) จากเทอร์โมสูญเสียงต์โกลว์เคิร์ฟ ซึ่งได้มีเอกสารวิจัยเป็นจำนวนมากเกี่ยวกับวิธีการหาพารามิเตอร์ของห้องกับดัก (ทั้ง E และ s) จากโกลว์เคิร์ฟ (glow curve) โดยใช้เทคนิคที่ต่าง ๆ กัน เช่น initial rise method, glow curve peak shape method, phosphorescence decay analysis, curve fitting technique และ variable heating rates

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการเปลี่ยนอัตราการให้ความร้อน (variable heating rates) กับเม็ดที่แอ็ลตี เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า activation energy (E) และ frequency factor (s) โดยใช้โมเดลของแรนดอลล์และวิลคินส์ (Randall & Wilkins model) ตามสมการที่ (2.1) [10]

$$\ln \frac{T_m^2}{\beta} - \left(\frac{E}{k} \right) \frac{1}{T_m} = \ln \frac{E}{sk} \quad (2.1)$$

เมื่อ T_m คือ ตำแหน่งอุณหภูมิพิกัด ($^{\circ}\text{K}$)

β คือ อัตราความร้อนที่ให้กับเม็ดที่แอ็ลตีขณะปริมาณแสง ($^{\circ}\text{Ksec}^{-1}$)

k คือ ค่าคงที่ Boltzmann's ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

E คือ activation energy (eV)

s คือ frequency factor (sec^{-1})

2.1.8 กระบวนการเตรียมวัสดุ

2.1.8.1 กระบวนการเตรียมผลึกโพลี (Polycrystalline)

กระบวนการเตรียมผลึกแบบโพลีมีหลายเทคนิค ตัวอย่างเช่น เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง (melting method) [11][12] และ [13] ซึ่งผลึกที่ได้จากการกระบวนการเตรียมแบบ Polycrystalline เป็นผลึกแบบผลึกโพลี ผลึกมีการจัดเรียงของรูปแบบไม่เป็นระเบียบจึงส่งผลให้ผลึกที่ได้มีสีขุ่น ไม่โปร่งแสง ดังนั้นจึงเกิดการคุดคลื่นแสงในตัวเอง

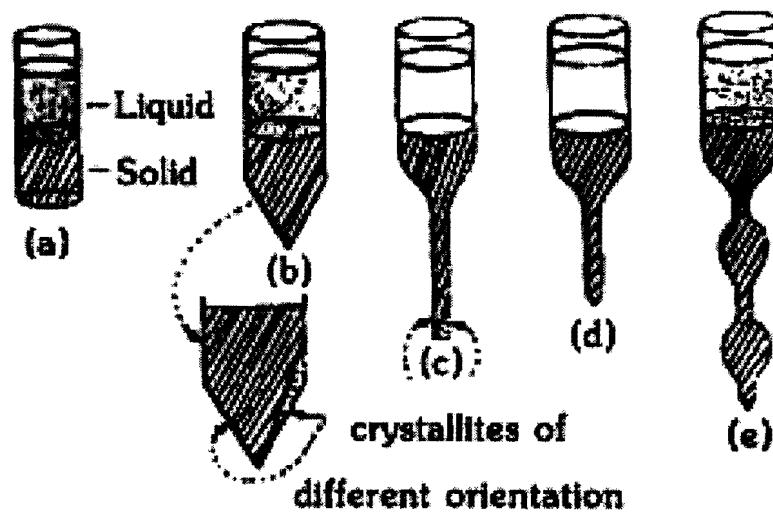
2.1.8.2 กระบวนการเตรียมผลึกเชิงเดียว (Crystal Growth)

ผลึกที่ได้จากการกระบวนการนี้เป็นผลึกเชิงเดียว มีการจัดเรียงตัวกันของอะตอมที่เป็นระเบียบ จึงส่งผลให้ผลึกที่ได้มีความใส และโปร่งแสง ดังนั้นจึงไม่เกิดการคุดคลื่นแสง ในตัวเอง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวนการเตรียมผลึกเชิงเดียวด้วยเทคนิคแบบบริดจ์แมน (Brigdman) [20]

กระบวนการเตรียมผลึกเชิงเดียวด้วยเทคนิคแบบบริดจ์แมนนี้เป็นวิธีเตรียมผลึกจากการหลอมเหลวสาร โดยผลึกเดียวจะเกิดขึ้นจากการก่อตัวเคลือยส์ (nucleation) จากการเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ ของสารที่หลอมภายในภาชนะบรรจุสารตรงรอยต่อที่มีผลต่อของอุณหภูมิจากสารที่หลอมที่อุณหภูมิสูงมากยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้เกิดผลึกขึ้น โดยที่ผลต่อของอุณหภูมิจะเกิดจากการเสื่อมภาชนะบรรจุสารหรืออาจทำได้โดยการเสื่อมเตาซึ่งการก่อตัวของผลึกจะเกิดขึ้นที่บริเวณปลายของภาชนะบรรจุสารแล้วจึงเกิดต่อเนื่องไปจนทั่วทั้งภาชนะ โดยผลต่อของอุณหภูมิ

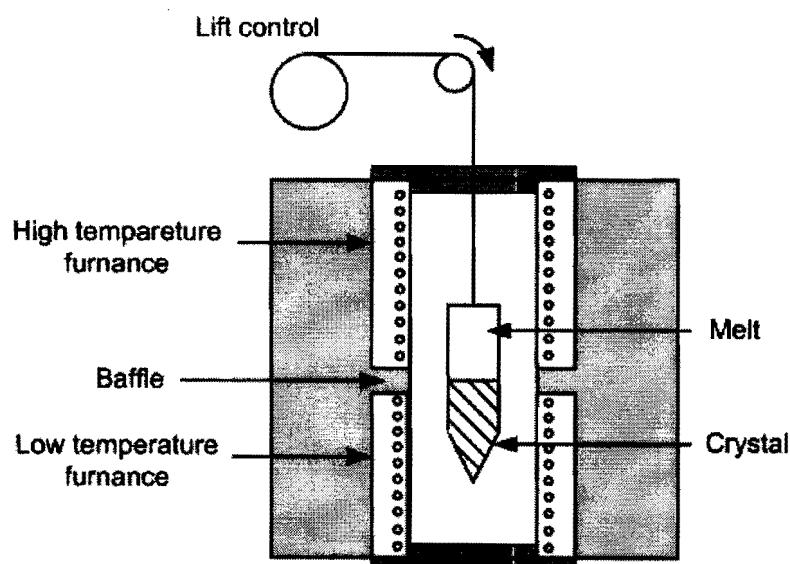
ที่บริเวณปลายภาชนะบรรจุสารจะมีผลต่อการเกิดผลึกอย่างมาก ภาชนะปลายแหลมที่ใช้บรรจุสารจะมีรูปทรงต่าง ๆ แสดงภาพที่ 2.11

ภาชนะบรรจุสารหลอมเหลวรูปทรงกระบอกที่ด้านปลายมีพื้นที่กว้างเท่าปากกระบอกไม่สามารถสร้างสภาวะเริ่มต้นการก่อตัวเป็นผลึกกระบวนการเดียวกันทั้งพื้นที่ได้ (ภาพที่ 2.11-a) ดังนั้น การก่อตัวของผลึกจะเกิดได้จะต้องเป็นภาชนะที่มีพื้นที่ของภาชนะที่บริเวณปลายแหลมกับปากกระบอกที่แตกต่างกันกล่าวคือภาชนะบรรจุสารที่ใช้ในการปัจฉกผลึกจะต้องมีรูปทรงเป็นปลายแหลม แสดงในภาพที่ 2.11 b ถึง c โดยภาพที่ 2.11-b เป็นภาชนะบรรจุสารที่มีรูปทรงกรวย ซึ่งเป็นการสร้างสภาวะการเริ่มต้นของสารหลอมเหลวในปริมาณน้อยๆ ในการทำให้เย็นตัวลงเพื่อการเกิดผลึกอย่างเป็นระเบียบลดลงทั้งภาชนะ ภาพที่ 2.11-c เป็นภาชนะที่มีรูปทรงคิปลารี่ (capillary) ซึ่งมีเพียงสารหลอมเหลวปริมาณน้อย ๆ ที่ตรงปลายเท่านั้นที่เกิดการรวมตัวในช่วงเริ่มต้นจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการจัดเรียงระนาบอย่างมีระเบียบตรงบริเวณรอยต่อของการปัจฉกผลึกผ่านหลอดคิปลารี่ไปสู่ภาชนะที่ปัจฉกผลึกภาพที่ 2.11-d เป็นภาชนะบรรจุสารที่มีปลายเป็นรูปกรวยและปลายของรูปทรงกรวยซึ่งมีรูปทรงที่เป็นรายเชื่อมผ่านส่วนของกระปาที่บานออกในปริมาตรที่เหมาะสมผ่านคิปลารี่ไปยังปริมาตรหลักของภาชนะ ซึ่งภาชนะแบบนี้จะทำให้เกิดการก่อตัวขึ้นที่ปริมาตรตรงกรวยเล็กๆผ่านกระปาเพื่อเพิ่มโอกาสการเกิดผลึกเดียวในกระปาเล็ก ๆ ซึ่งเหมือนกับการใช้ผลึกล่องบริเวณปลายภาชนะรูปกรวย



ภาพที่ 2.11 ลักษณะภาชนะบรรจุสารที่มีปลายแหลมรูปทรงที่แตกต่างกัน

กระบวนการเตรียมผลึกเชิงเดี่ยวแบบบริจ์แมนจัดเป็นการเตรียมผลึกขึ้นจากสภาวะหลอมเหลวของสาร การเกิดผลึกจากการหลอมจะทำให้ได้ผลึกเดี่ยวที่มีความเป็นผลึกสูง เทคโนโลยีที่ใช้ในการเตรียมจะขับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความดัน ไอและอุณหภูมิจะเตรียม มีค่าสูง และเงื่อนไขการควบคุมอุณหภูมิต้องการความแม่นยำมากเพื่อให้แน่ใจว่าผลึกที่ได้มีโครงสร้างมาตรฐานวิธีการที่เป็นพื้นฐานมากที่สุดคือทำให้วัสดุที่หลอมเย็นตัวลง เช่นการเตรียมผลิตภัณฑ์บางตัวจะทำให้เย็นตัวอย่างช้า ๆ โดยมีโปรแกรมการลดอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม โดยวิธีนี้ ภาชนะที่ใช้ในการหลอมจะต้องไม่ติดกับวัสดุที่หลอมเพื่อจะสามารถนำผลึกออกได้ง่ายและช่วยลดความเค้น (stress) ในผลึกซึ่งอาจเกิดจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนไม่เท่ากัน ดังนั้น ภาชนะที่ใช้อาจต้องเป็นแกรไฟต์ (graphite) หรือแพลตตินัม (platinum) ซึ่งการปููกผลึกด้วยวิธีนี้ สารที่บรรจุอยู่ในภาชนะจะถูกหยอดลงตามแนวคั่งอย่างช้า ๆ ดังนั้นส่วนที่หลอมซึ่งอยู่ต่ำสุดในภาชนะจะก่อตัวเป็นผลึกก่อน การเกิดนิวเคลียสของผลึก (nucleation) ที่ปลายของภาชนะมีความสำคัญมาก และมีผลจากรูปร่างของภาชนะ นอกจากนี้ที่ปลายภาชนะอาจใส่ผลึกล่อ (seed) ไว้ โดยทั่วไปถ้าภาชนะขึ้นเคลื่อนที่ช้าผลึกที่ได้ก็ยิ่งมีคุณภาพสูง ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของภาชนะที่นิยมใช้มากที่สุดจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง การปููกผลึกเดี่ยวโดยเทคนิคบริจ์แมนแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แผนภาพการเตรียมผลึกเดี่ยวด้วยเทคนิคแบบ บริจ์แมน [20]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Danails et al. (1953) [21] เป็นกลุ่มแรกที่ได้นำคุณสมบัติเทอร์โนลูมิเนสเซนต์มาใช้เป็นเครื่องมือวิจัยเพื่อวัดปริมาณรังสีและบังไดศึกษาคำนวณค่าเทอร์โนลูมิเนสเซนต์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จากถ่านหิน

Nakajima et al. (1979) [22] ได้ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่เตรียมได้จาก LiF เจือด้วยสารแมกนีเซียมและคอปเปอร์ พบร่วมความไวในการตอบสนองต่อรังสีดิโอด ผลึกจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นไกต์ 410 นาโนเมตร แต่ถ้าเติมฟอสฟอรัสเข้าไปจะได้แสงที่มีความยาวคลื่นอื่นเพิ่มจากเดิมอีก 340 นาโนเมตร และเมื่อให้ความร้อนแก่ผลึกอย่างเหมาะสมที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สารดังกล่าวมีความไว้แสง (sensitivity) เทียบเท่ากับ CaSO_4 , CaF_2 และ MgSiO_4 ซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่า TLD-100 ประมาณ 20-50 เท่าและมีความไวในการตอบสนองรังสีสูง นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยอีกมากที่ทำวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนา TLD ชนิด LiF : Mg, Cu, P [23] [24] [25] [26] [27] และ [28]

Takeo Niwa (1993) [29] ได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมหัววัดที่เออลดิชนิดเจียมฟลูออไรด์แบบผลึกเดียว ซึ่งผลึกเดียวที่ได้มีลักษณะใสเจิดʒ ไม่ดูดก dein แสงในตัวเอง และมีประสิทธิภาพในการวัดรังสีสูงเข้าได้ใช้สารตั้งต้นลิเรียมฟลูออไรด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.99 เปอร์เซนต์ และใช้สารเจือ 2 ตัว คือ $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ หรือ Li_3PO_4 ในกระบวนการแกะไฟฟ์ ปลายแหลมที่แขนงอญ្យในท่อสูญญากาศความดัน 10^{-2} Torr ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ด้วยเตาหกอมแบบท่อซึ่งควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการปักกั้งหมุด 30 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 700 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้อีก 50 ชั่วโมง พบร่วมการกระจายตัวของสารเจือทั้งสามชนิดไม่สม่ำเสมอ และผลึกที่ได้มีพิคหลักอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส และมีความเป็นเชิงเส้นต่อรังสีในช่วง 10^{-6} - 10^{-3} $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$

S.H.Doh (1980) [30] ประเทศเกาหลีใต้ มีการพัฒนาผงลิเรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม และซิลิกอน โดยในการทำการทดลองจะใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือเป็นช่วงกว้าง ๆ คือใช้สารเจือแมกนีเซียม 0.6 โมลเปอร์เซนต์ คอปเปอร์ 0.8 โมลเปอร์เซนต์ และโซเดียม และซิลิกอน 1.8 โมลเปอร์เซนต์ ซึ่งคุณสมบัติในการตอบสนองต่อรังสีของที่เออลดิชนิดนี้สามารถตอบสนองต่อรังสีได้ในช่วงที่พลังงานต่ำๆ และปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามากจะสูงกว่า LiF : Mg, Cu, P ประมาณ 2 เท่า ที่พลังงาน 30 keV ของ ^{60}Co

P. Bilski et al. (1996) [31] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของโกลว์คริฟ และคุณสมบัติต่างๆ ของการเกิดเทอร์โนลูมิเนสเซนต์ พบร่วมแมกนีเซียมที่ใช้เป็นสารเจือมีอิทธิพลสำคัญต่อความไว (sensitivity) ในการตอบสนองทางรังสี ซึ่งผลึก $\text{LiF : Mg, Cu, Na, Si}$ จะเตรียมได้จากสถานบัน (Korea Atomic Energy Research: KAERI) นำไปซินเตอร์ในเตาให้ความร้อนอุณหภูมิ 800 องศา

เซลเซียสที่ บรรยายกาศในไตรเงน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเม็ดผลึกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ความหนา 0.8 มิลลิเมตร [32] จากนั้นนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับเม็ดผลึกมาตรฐาน ตามมาตรฐานทางการค้าที่ยอมรับว่า มีค่าความไวในการตอบสนองทางรังสีสูง คือ MCP-N (LiF : Mg, Cu, P) จากบริษัท TLD Niewiadomski จำกัด นับจากนั้นเป็นต้นมาที่แออัดประเทกนี ได้ถูกพัฒนาโดยจากหลาย ๆ สถาบันวิจัย อาทิ ในประเทศไทย สถาบันวิจัย Solid Dosimetric Detector and Method Laboratory ศึกษาคุณสมบัติเทอร์โมสูมิเนสเซนต์และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแอนนิล คือ 240 ถึง 270 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเทียบกับ MCP-N (LiF : Mg, Cu, P)

J. I. Lee et al. (2004) [12] ประเทกเกาหลีได้ได้มีการวิจัยและพัฒนาที่แออัดชนิด LiF : Mg, Cu, Na, Si เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน โดยเติมปริมาณความเข้มข้นของสารสารเจือแมกนีเซียม 0.2 ไมลิเปอร์เซนต์ คอปเปอร์ 0.05 ไมลิเปอร์เซนต์ และโซเดียม และซิลิกอน 0.90 ไมลิเปอร์เซนต์ ทำการเตรียมโดยการผสมสารเคมีให้เข้ากันและนำไปให้ความร้อนในเตาไฟฟ้าที่ อุณหภูมิค่ากว่าจุดหลอมเหลวของลิธيومฟลูออไรด์เป็นเวลา 30 นาที กายได้บรรยายกาศในไตรเงน และปล่อยให้เย็นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำผลึกดังกล่าวไปบดและอัดเป็นเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร และนำไปชินเตอร์ด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 785 ถึง 832 องศาเซลเซียส หลังจากที่ผลึกเย็นตัวลงจึงแอนนิลต่อที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะของโกลว์เคริฟและความไวในการตอบสนองทางรังสีมีคุณสมบัติเหมือนกับที่แออัดชนิด GR-200A ต่อมาก็ถูกนำมาพัฒนาเป็นเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลโดย Kaiyong Tang [33] ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการเติมปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ โดยใช้สารเจือโซเดียม 0.00 ถึง 0.45 ไมลิเปอร์เซนต์ และแอนนิลที่อุณหภูมิประมาณ 240 ถึง 310 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อค่อย ๆ เพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมทำให้ที่แออัดมีความไวในการตอบสนองทางรังสีสูงตามที่ปรากฏในพิคหลัก แต่เมื่อลดอุณหภูมิในการแอนนิลน้อยกว่า 300 องศาเซลเซียส หรือเพิ่มอุณหภูมิในการแอนนิล จะทำให้ตัวแห่งของพิคหลักจะเลื่อนออกไป ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนิล มีผลต่อความสูงของพิค จากนั้น Haiyong Jung และคณะ [34] ได้ทำการวิจัยและผลิตที่แออัด ส่วนบุคคลชนิดใหม่จาก LiF : Mg, Cu, Na, Si โดยใช้ไพรตอนเป็นตัวกระตุ้นพลังงาน โดยผลึกหัวตัดชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่น คือ เป็นที่แออัดแบบผลึกผงที่ถูกนำมาเข็นรูปโดยการอัดเม็ดและเพิ่มความคงทน โดยผ่านกระบวนการซินเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 830 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบ Badge ของที่แออัดคือออกแบบ Filter Badge โดยใช้คหลักการแรรังสีแบบ Monte Carlo Simulation ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวอยู่ที่ energy response และ angular dependence โดยทำการทดสอบผ่านการแรรังสีของโพตอนตามมาตรฐาน ISO ของโดส (dose) ระหว่างค่า 0.78-1.08

J. L. Kim et al. (2008) [13] ประเทศเกาหลีได้ได้มีการวิจัยและพัฒนาที่แอลดีชนิด LiF: Mg, Cu, Si โดยเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารเจือแมกนีเซียม 0.2 โนลเปอร์เซนต์ คอบเปอร์ 0.05 โนลเปอร์เซนต์ และซิลิกอน 0.9 โนลเปอร์เซนต์ โดยใช้วิธีการเตรียมแบบซินเตอร์ (Sintering) เป็นวิธีการเตรียมที่ได้ผลึกโพลี (Poly Crystal) พบว่าที่แอลดี ชนิดใหม่นี้มีข้อดีกว่าชนิดเดิมคือทนทานและมีความไวในการตอบสนองต่อรังสีดีกว่า TLD-100 (LiF: Mg, Ti) ถึง 55 เท่า และเมื่อทำการแอนนิลด้วยเทคนิคแบบ Dual-Step Thermal treatment จะทำให้ผลึกโพลีที่มีตำแหน่งพิเศษหลักที่ประมาณ 250 องศาเซลเซียส และเมื่อนำมาแอนนิลด้วยอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการนำมานาฬ้า พบร่วมกับสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนต์และโครงสร้างไกල์ เคริฟไม่เปลี่ยนแปลงแม้ถูกนำมาย่างนาฬ้า

V. Chernov et al. (1998) [14] ได้ทำการปัจจุบันผลึกที่แอลดีชนิด LiF: Mg, LiF: Mg, Cu และ LiF: Mg, Cu, P ด้วยเทคนิคการปัจจุบันผลึกเชิงเดียวแบบบริคจ์แมน-สต็อกบาร์เจอร์ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ CuF₂ 0.005 ถึง 0.1 โนลเปอร์เซนต์ MgF₂ 0.05 ถึง 0.03 โนลเปอร์เซนต์ และ (NH₄)₂HPO₄ 2.5 โนลเปอร์เซนต์ จากการศึกษาคุณสมบัติการเรืองแสงด้วยความร้อนและการดูดกลืนในย่าน UV-VIS (1.5-6.5 eV) เมื่อให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องถึง 400 องศาเซลเซียส ของผลึกเดียว LiF: Mg, LiF: Mg,Cu และ LiF: Mg,Cu,P เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขบวนการเกิดเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ ในหัวตัวรังสีที่มีลักษณะของฟลูออไรด์เป็นสารหลัก พบร่วมกับการดูดกลืนของผลึก LiF: Mg, Cu และ LiF: Mg, Cu, P มีลักษณะเหมือนกัน คือ ออยู่ในช่วง 1.5 ถึง 6.0 eV ที่อุณหภูมิห้องถึง 200 องศาเซลเซียส โดยคอบเปอร์มีส่วนต่อการเกิดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ย่านพลังงานสูง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในผลึกที่เจือด้วยแมกนีเซียมกับคอบเปอร์ แมกนีเซียม คอบเปอร์ และฟอสฟอรัส กับผลึกที่เจือด้วยแมกนีเซียมเพียงอย่างเดียวคือการสลายตัวที่ต่างกันของแทนพลังงานที่เหนี่ยวนำขึ้น โดยรังสีที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ในผลึกที่เจือ แมกนีเซียมกับคอบเปอร์ แมกนีเซียมคอบเปอร์ และฟอสฟอรัส แทนพลังงาน 4.0 และ 5.0 eV จะสลายพร้อมกันกับแทนที่ 4.0 eV และที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดแทนพลังงาน 4.0 และ 4.5 eV นอกจากนี้แทนพลังงาน 5.5 eV พบในผลึกที่เจือด้วยแมกนีเซียม เพียงอย่างเดียวเท่านั้นและการสลายตัวของแทนพลังงานคลดลงอย่างรวดเร็วในผลึกที่เพิ่มสารเจือต่างชนิดมากขึ้นตามลำดับ

T.C. Chen et al. (1997) [9] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการแอนนิลต่อค่าพารามิเตอร์กับคักพลังงานจลน์ของที่แอลดีชนิด LiF: Mg, Cu, P โดยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบกับ ที่แอลดี 3 ชนิด ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ คือ MCP-N ที่เป็นแบบเม็ด (ประเทศโปแลนด์) GR-200 ที่เป็นแบบแท่ง (ประเทศจีน) และผลึกเชิงเดียวของ Dr. T. Niwa (ประเทศญี่ปุ่น) พบร่วมกับแอลดีทั้ง 3 ชนิด มีพิเศษ 2 พีค คือพีค 4 และ พีค 5 และจากการคำนวณหาค่ากับคักพลังงานจลน์ลำดับที่หนึ่งโดยใช้

ไม่เคลื่อน ได้ผลการทดลองดังนี้ก่อรุ่มตัวอย่างของ MCP และ GR-200 จะแสดงสัญญาณการเปลี่ยนตำแหน่งของอุณหภูมิพิกัดลักษณะเดียวกันที่พิกัดลักษณะค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานชนิดหลังจากทำการแอนนิลที่อุณหภูมิสูงกว่า 260 องศาเซลเซียส และค่าของ activation energy (E) และ frequency factor (s) จะมีการลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิของการแอนนิลที่สูงขึ้นตามลำดับ

จากปี พ.ศ. 2542 จนถึง พ.ศ. 2551 จินตนา เหล่าไพบูลย์และคณะของมหาวิทยาลัย อุบลราชธานีได้ทำการศึกษาคิดค้นและวิจัยพัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล เป็นผลลัพธ์เชิงเดี่ยว ชนิด LiF: Mg, Cu, P [15] [16] [17] [18] และ [19] ด้วยเทคนิคการปัจฉกผลึกแบบบริค์เเมนพบว่า ปริมาณความเข้มข้นสารเจือที่ใช้ที่เหมาะสมในการเกิดเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ คือใช้แมกนีเซียม 0.60 โนลเปอร์เซนต์ คopoly 0.06 โนลเปอร์เซนต์ และฟอสฟอรัส 0.1 โนลเปอร์เซนต์ ซึ่งลักษณะโกล เครฟท์ได้มีตำแหน่งพิกัดอยู่ที่ประมาณ 250 องศาเซลเซียส และมีความไวในการตอบสนองทาง รังสีสูง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาพัฒนาเป็นเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลที่ใช้งานในด้านการ วัดทางรังสี อีกทั้งยังได้ทำการวิจัยเบื้องต้นในการพัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลเป็นผลลัพธ์ เชิงเดี่ยวชนิด LiF: Mg, Cu, Na, Si [20] พบว่า ที่ปริมาณความเข้มข้นสารเจือที่ใช้ที่เหมาะสมในการ เกิดเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ คือใช้แมกนีเซียม 0.20 โนลเปอร์เซนต์ คopoly 0.05 โนลเปอร์เซนต์ โซเดียมและซิลิกอน 0.15 โนลเปอร์เซนต์

จากข้อมูลดังกล่าวที่แล็ตดีชนิดนี้จึงมีความน่าสนใจเป็นที่จะนำมาทำวิจัยและพัฒนาต่อ โดยใช้เทคนิคการเตรียมที่ต่างจากก่อรุ่มวิจัยในประเทศไทย คือ การเตรียมที่แยกดีดีด้วยเทคนิคบริค์ แม่น [21] ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะได้คุณสมบัติที่แตกต่างจากเดิม ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเทคนิคที่จัด โครงสร้าง unit cell ของลิเตียนฟลูออไรด์ให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของ อิเล็กตรอนภายในอะตอมและคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการ พัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมผลึกที่แอลดี กระบวนการเตรียมผลึกที่แอลดี และการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของที่ผลึกแอลดีที่เตรียมขึ้น เช่น ศึกษาลักษณะทางกายภาพ ศึกษาระนาบของผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ศึกษาคุณสมบัติ ความเป็นเทอร์โนลูมิเนสเซนต์และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจนของผลึกที่แอลดี โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณแสงตั้งแต่ 1 องศา เชลเซียส ถึง 20 องศาเชลเซียส เป็นต้น

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการปูนผลึก

3.1.1 สารเคมีที่ใช้

- 3.1.1.1 ลิเธียมฟลูออไรด์ (LiF) (บริสุทธิ์ 99%, Riedel-de Haen)
- 3.1.1.2 แมกนีเซียมชัลเฟต (MgSO₄·7H₂O) (บริสุทธิ์ 99%, Fisher Scientific)
- 3.1.1.3 คอปเปอร์(II)ชัลเฟต (CuSO₄·5H₂O) (บริสุทธิ์ 98%, Fisher Scientific)
- 3.1.1.4 โซเดียมคาร์บอนเนต (Na₂CO₃) (บริสุทธิ์ 99.2 %, Riedel-de Haen)
- 3.1.1.5 ซิลิกอน(II)ออกไซด์ (SiO₂) (บริสุทธิ์ 99.9%, Fluka)

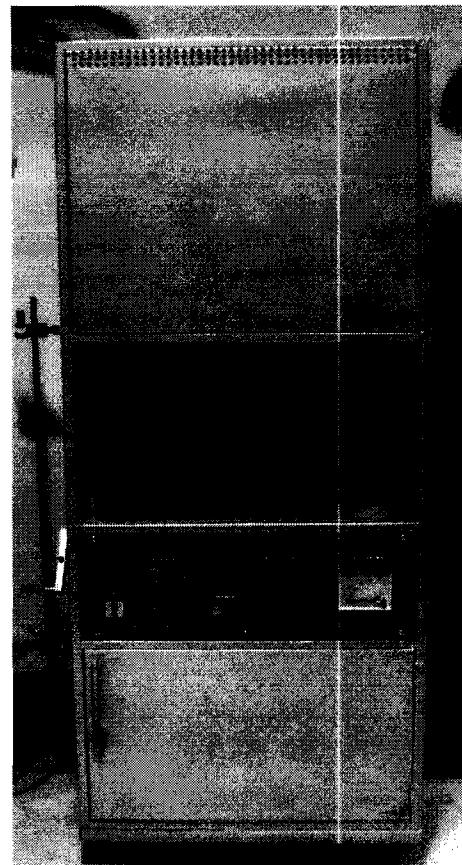
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

INSTRUMENT

- 3.1.2.2 ครกอาร์เกฟ
- 3.1.2.3 น้ำกัดน้ำ
- 3.1.2.4 กรดไฮโดรคลอริก
- 3.1.2.5 เครื่องผสมสารแบบ Magnetic Stirrer
- 3.1.2.6 เครื่องอัดไฮดรอลิก Minipress บริษัท Philips
- 3.1.2.7 แม่พิมพ์อัคเม็คสาร
- 3.1.2.8 ถาดหลุมพลาสติกใส่ตัวอย่าง สำหรับฉายรังสีเอกซ์
- 3.1.2.9 ก้าซอาร์กอน

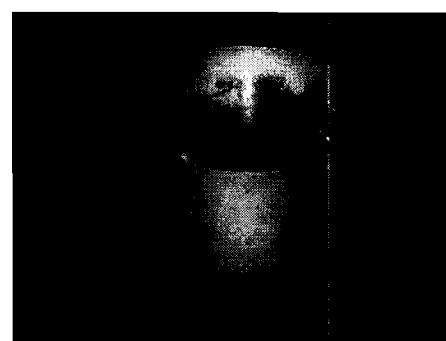
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปั๊กผลึกโพลี

3.1.3.1 เตาหลอมอุณหภูมิสูง 1400 องศาเซลเซียส ที่สร้างโดยกลุ่มวิจัยแก้ว ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี แสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เตาหลอมอุณหภูมิสูง 1400 องศาเซลเซียส สร้างโดยกลุ่มวิจัยแก้ว ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

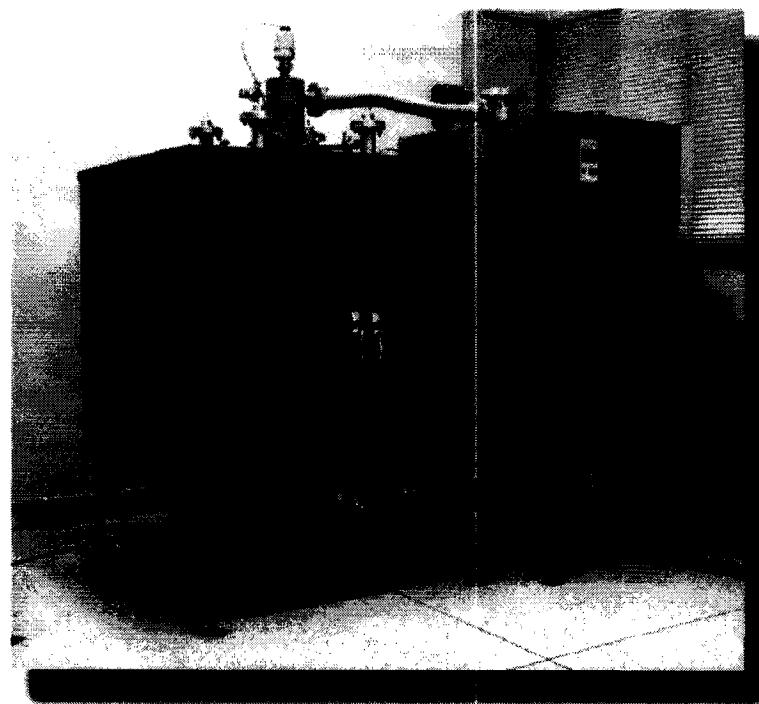
3.1.3.2 เบ้าหลอมแพลตตินัม แสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เบ้าหลอมแพลตตินัม

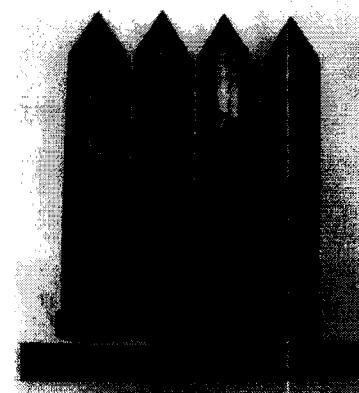
3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปั๊กผลึกเชิงเดี่ยวด้วยเทคนิคแบบบริดจ์เมน

3.1.4.1 เครื่องปั๊กผลึกเชิงเดี่ยวของวัสดุแบบบริดจ์เมน ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี แสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 เครื่องปั๊กผลึกเชิงเดี่ยวของวัสดุแบบบริดจ์เมน

3.1.4.2 เบ้าหลอมทรงกระบอกที่ทำจากเกรร์ไฟต์ ซึ่งมีลักษณะปลายแหลมทำมุม 60 องศา แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เบ้าหลอมทรงกระบอกที่ทำจากเกรร์ไฟต์

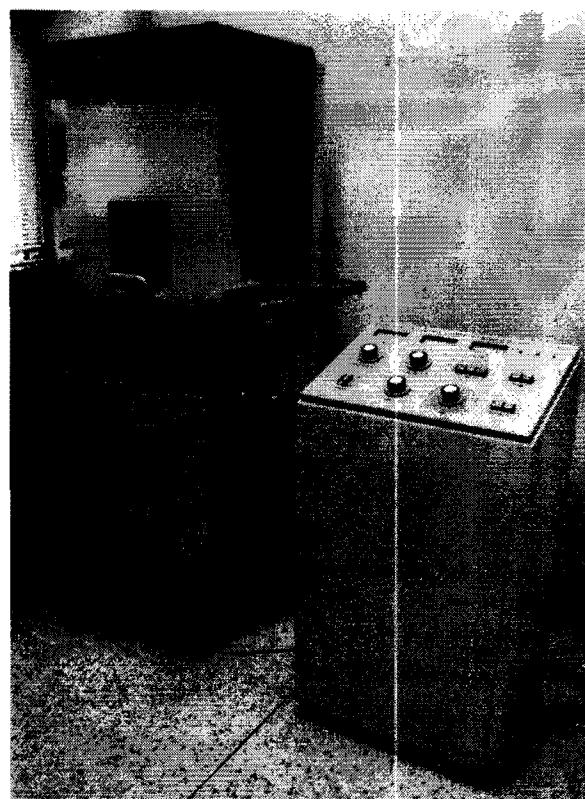
3.1.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

3.1.5.1 เครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล (Electronic Pocket Dosimeter:EPDTM) Model PDM-253 บริษัท ALOKA Co. LTD ที่ผ่านการปรับเทียบโดยสำนักงานพัฒนาผลิตงานประมาณเพื่อสันติ แสดงในภาพที่ 3.5



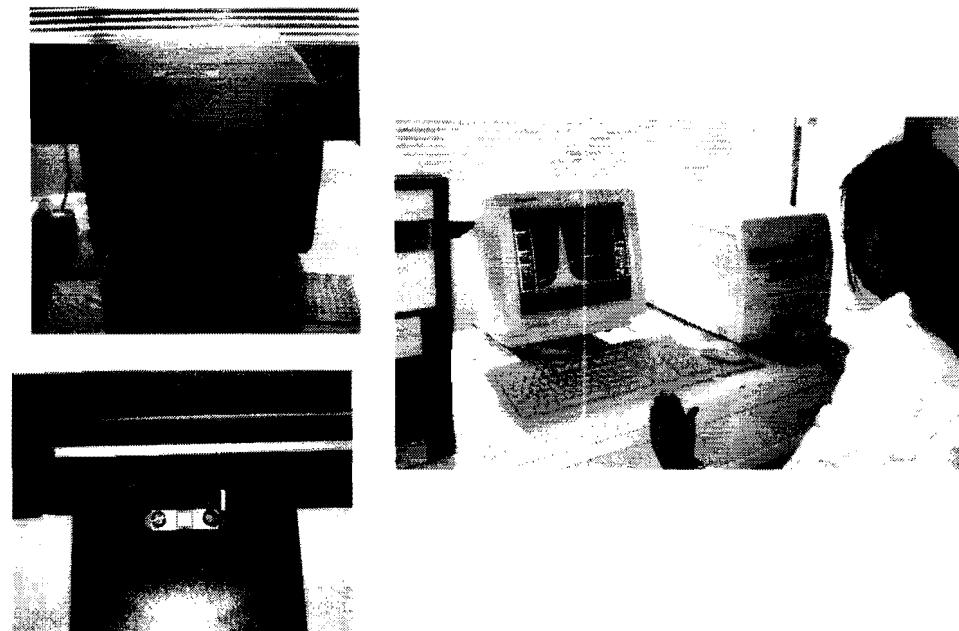
ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล (Electronic Pocket Dosimeter)

3.1.5.2 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ เพื่อสำหรับทดสอบคุณสมบัติทางรังสี แสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 เครื่องฉายรังสีเอกซ์ ผลิตโดยบริษัทคงศักดิ์เอกซ์เรย์การแพทย์และอุตสาหกรรม จำกัด

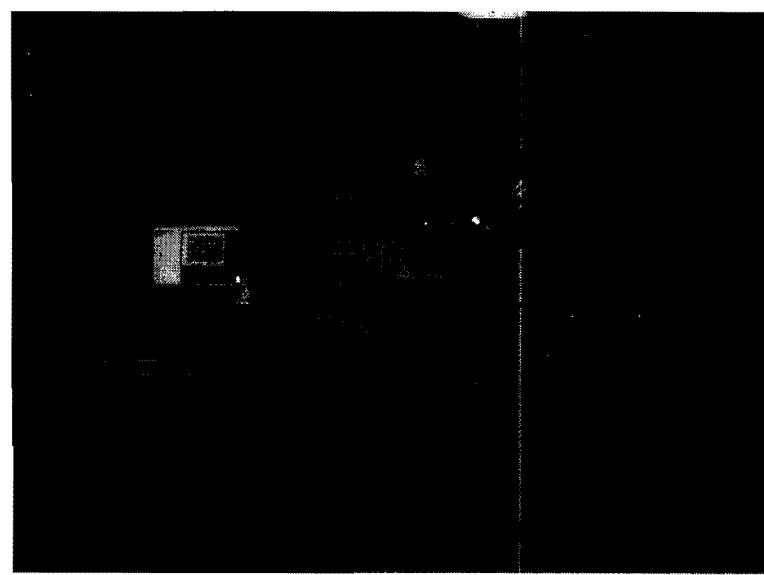
3.1.5.3 เครื่องวิเคราะห์และประเมินค่าปริมาณรังสี เครื่องอ่าน TLD รุ่น 3500 บริษัท Harshaw — Bicron แสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เครื่องอ่าน TLD Harshaw รุ่น 3500 บริษัท Harshaw — Bicron

3.1.6 เครื่องมือทดสอบโครงสร้างผลึก

ศึกษาโครงสร้างของผลึกที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) รุ่น X' Pert MPD บีท็อค Philips โดยใช้ Cu K_α เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ซึ่งใช้ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ X' Pert line1.3b เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของผลึกที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่เตรียมได้แสดงในภาพที่ 3.8



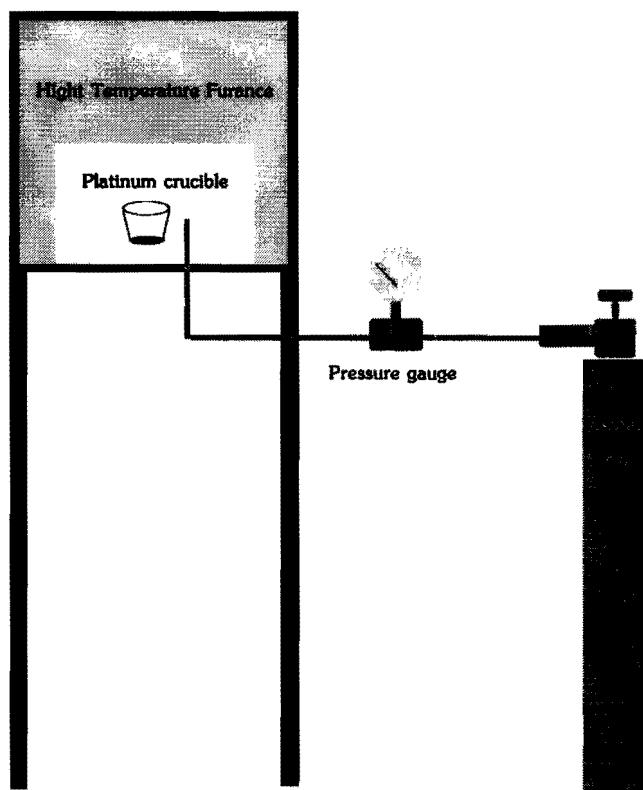
ภาพที่ 3.8 เครื่อง X-ray diffractometer รุ่น X' Pert MPD บีท็อค Philips

3.2 กระบวนการเตรียมผลึก

ได้ทำการเตรียมผลึกที่แอลูมิโนไนเดียมฟลูออไรด์: แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ตั้งต่อไปนี้ คือ

3.2.1 กระบวนการเตรียมที่แอลูมิโนไนเดียมฟลูออไรด์

เริ่มจากการซึ่งสารตั้งต้นที่มีลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) เป็นสารหลักมีความบริสุทธิ์ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และเติมสารเจือ 4 ชนิด คือเมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่มีความบริสุทธิ์ของสาร 98 เปอร์เซนต์ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซนต์ และชิลิกอน(II)ออกไซด์ (SiO_2) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซนต์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.2, 0.05 และ 0.9 ไมล์เปอร์เซนต์ ตามลำดับจากน้ำสารทั้งหมดที่ได้ไปผสมด้วยเทคนิคแบบปีกในน้ำกลั่นโดย การใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการระเหยห้ากลั่นออกโดยใช้ hot plate ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารที่เตรียมได้ใส่ในเบ้าหลอมเบ้าหลอม แพลตตินัมและนำไปหลอมด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที [14] และ [15] ในบรรยายการก้าชาอาร์กอนด้วยอัตรา 2 ลิตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 3.9

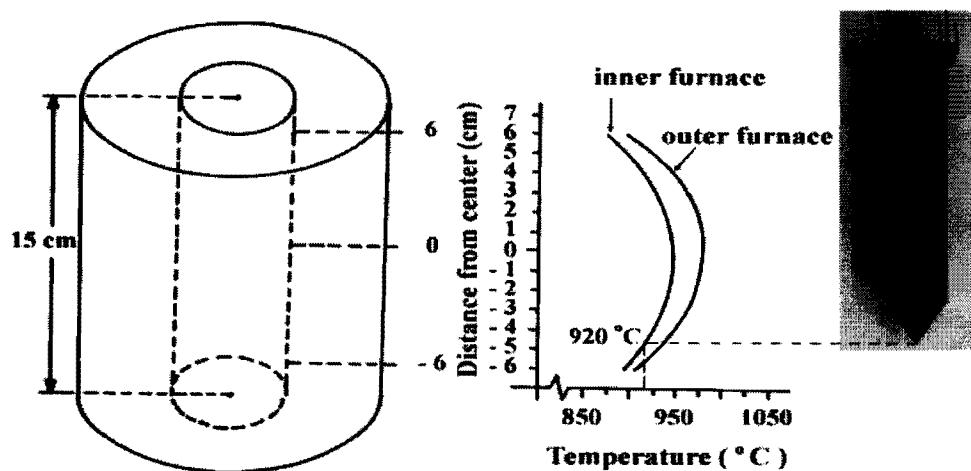


ภาพที่ 3.9 แผนภาพการปัจจุบันผลึกโพลีด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง (Melting method)

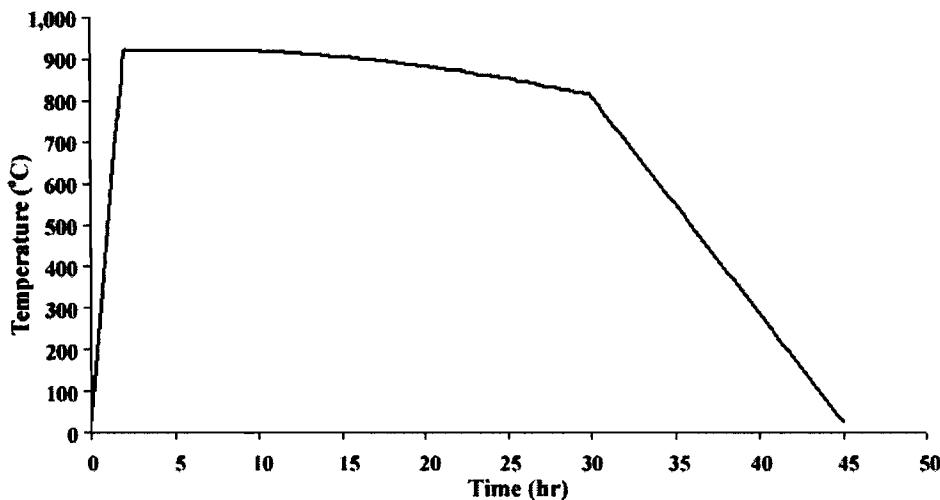
จากนั้นทำให้ผลึกเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และนำผลึกที่ได้มานด้วยกรองกรีฟและทำการขัดสีเงื่อนป้องกันการล้างด้วยกรดไฮโคลอริกที่ความเข้มข้น 1 Normal เป็นเวลา 10 นาที นำผลึกที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกัลล์และระเหยน้ำกัลล์ออกโดยใช้ hot plate ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลึกที่ได้ไปผ่านการคัดแยกขนาดให้มีขนาดมากกว่า 90 ไมครอน นำผงไปซึ่งให้มีน้ำหนัก 25 มิลลิกรัม และนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีขัดด้วยความดัน 1 ตัน ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร หนา 0.6 มิลลิเมตร [14] และ [15] และในขั้นตอนสุดท้ายนำเม็ดที่แยกได้ที่ได้ไปทำการเผาเผนกที่ อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ในบรรยายกาศก้าวอาร์กอนด้วยอัตรา 2 ลิตรต่อนาที เพื่อเพิ่มความแข็งให้กับเม็ดที่แยกได้และความสอดคล้องกับการนำไปใช้งานต่อไป

3.2.2 กระบวนการเตรียมที่แออัดชิ้นติดผลึกเชิงเดี่ยว

เริ่มจากการซั่งสารตั้งต้นที่มีลิเธียมฟลูออไรด์ (LiF) เป็นสารหลักมีความบริสุทธิ์ ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และเดินสารเจือ 4 ชนิด คือแมกนีเซียมชัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และ คอปเปอร์(II)ชัลเฟต($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) มีความบริสุทธิ์ของสาร 98 เปอร์เซนต์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.2 และ 0.05 ในลิ佩อร์เซนต์ ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ ใช้เดิมคาร์บอนเนต (Na_2CO_3) ที่มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซนต์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 - 0.50 ในลิเปอร์เซนต์ และสารเจือซิลิเกต(II)ออกไซด์ (SiO_2) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซนต์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.50 ในลิเปอร์เซนต์ จากนั้นนำสารทั้งหมดที่ได้ไปผสมกับสารเจือด้วยเทคนิคแบบเปียก (Wet Mixing) ในน้ำกัลล์ โดยการใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการระเหยน้ำกัลล์ออกโดยใช้ hot plate ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนสุดท้ายนำสารที่เตรียมได้ใส่ในแม่กลองชั้นดีกรีไฟต์ครูซิเบิลและนำไปเผาในท่อปู๊กผลึก แสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ลักษณะเตาปู๊กผลึกแบบบริจ์แมน [22]



ภาพที่ 3.11 ลักษณะการเดินที่ของอุณหภูมิของเตาหลอมแบบสองโซนของเครื่องปั๊กผลึกแบบบริจจ์เม่น [22]

การปั๊กผลึกมีขั้นตอนการปั๊กดังนี้ คือ ขั้นแรกได้ทำการดูดอากาศออกจากห้องปั๊กผลึกให้มีระดับความดันสูญญากาศ 10^{-4} mbar โดยใช้เวลาในการหลอม 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการยกเตาหลอมขึ้นด้วยอัตราความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะ 40 มิลลิเมตร โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงสู่อุณหภูมิห้องด้วยอัตรา 62.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 12 ชั่วโมง

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

เมื่อผ่านกระบวนการปั๊กผลึกแล้วได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลึกที่แอลดีที่เตรียมได้ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

โดยการสังเกตุลักษณะทั่วไปของผลึกที่แอลดีที่ได้ เช่น สี ความชุ่ม ความเป็นเนื้อเดียวกัน และการเกิดรอยร้าว เป็นต้น

3.3.2 ขนาดของผลึก

นำผลึกที่แอลดีที่เตรียมได้ไปทำการศึกษาระนาบทองผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) รุ่น X' Pert MPD ยี่ห้อ Philips โดยใช้ Cu K_α เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ซึ่งใช้ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ X' Pert line1.3b เพื่อวิเคราะห์ระนาบทองผลึกที่เกิดขึ้น

3.3.3 คุณสมบัติความเป็นเทอร์โมถ่วมเนสเซนต์

นำผลึกที่แอลดีที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมถ่วมเนสเซนต์ เช่น ลักษณะไอกลว์เคิร์ฟ ความไวต่อการตอบสนองทางรังสี ผลของพลังงานที่มีต่อความไวในการ

ตอบสนองต่อรังสี ความเป็นเชิงเส้น การจางหายไปของสัญญาณแสง สัญญาณรังสีตกค้าง และการนำกลับมาใช้งานซ้ำ โดยนำเม็ดที่แอลดิไปஜารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ที่ปริมาณรังสี 100 mRem จากนั้นนำเม็ดที่แอลดิไปทำการวิเคราะห์และประเมินค่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกที่แอลดิคัวยเครื่องอ่าน TLD รุ่น 3500 ของบริษัท Harshaw – Bicron โดยทำการบันทึกข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นเม็ดที่แอลดิตั้งแต่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส

3.3.4 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานชนิดของผลึกสีเทียนฟลูออไรด์ : เมกนีเซียม, คอปเปอร์, ชิลิกอน

ได้ทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานชนิดของผลึกสีเทียนฟลูออไรด์ : เมกนีเซียม, คอปเปอร์, ชิลิกอน ที่เครื่มໄไดโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นเม็ดที่แอลดิโดยอ่านค่าปริมาณแสงตั้งแต่ 1 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือนำเม็ดที่แอลดิที่ได้ไปจารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ที่ปริมาณรังสี 3 mGy. จากนั้นนำเม็ดที่แอลดิไปทำการวิเคราะห์และประเมินค่าปริมาณรังสีคัวยเครื่องอ่าน TLD รุ่น 3500 ของบริษัท Harshaw – Bicron ทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอ่านและบันทึกข้อมูล 60, 120 และ 180 วินาที ตามลำดับจากนั้นทำการบันทึกอักษะ โกลว์เคิร์ฟคัวยโปรแกรม CGCD และนำค่าต่างๆ ที่ได้มาคำนวณโดยใช้โมเดลของแรนดอลล์และวิลคินส์ (Randall & Wilkins model) [8][9] และ [10] ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (3.1)

$$\ln \frac{T_m^2}{\beta} - \left(\frac{E}{k} \right) \frac{1}{T_m} = \ln \frac{E}{sk} \quad (3.1)$$

เมื่อ T_m คือ ตำแหน่งอุณหภูมิพิกัด (K)

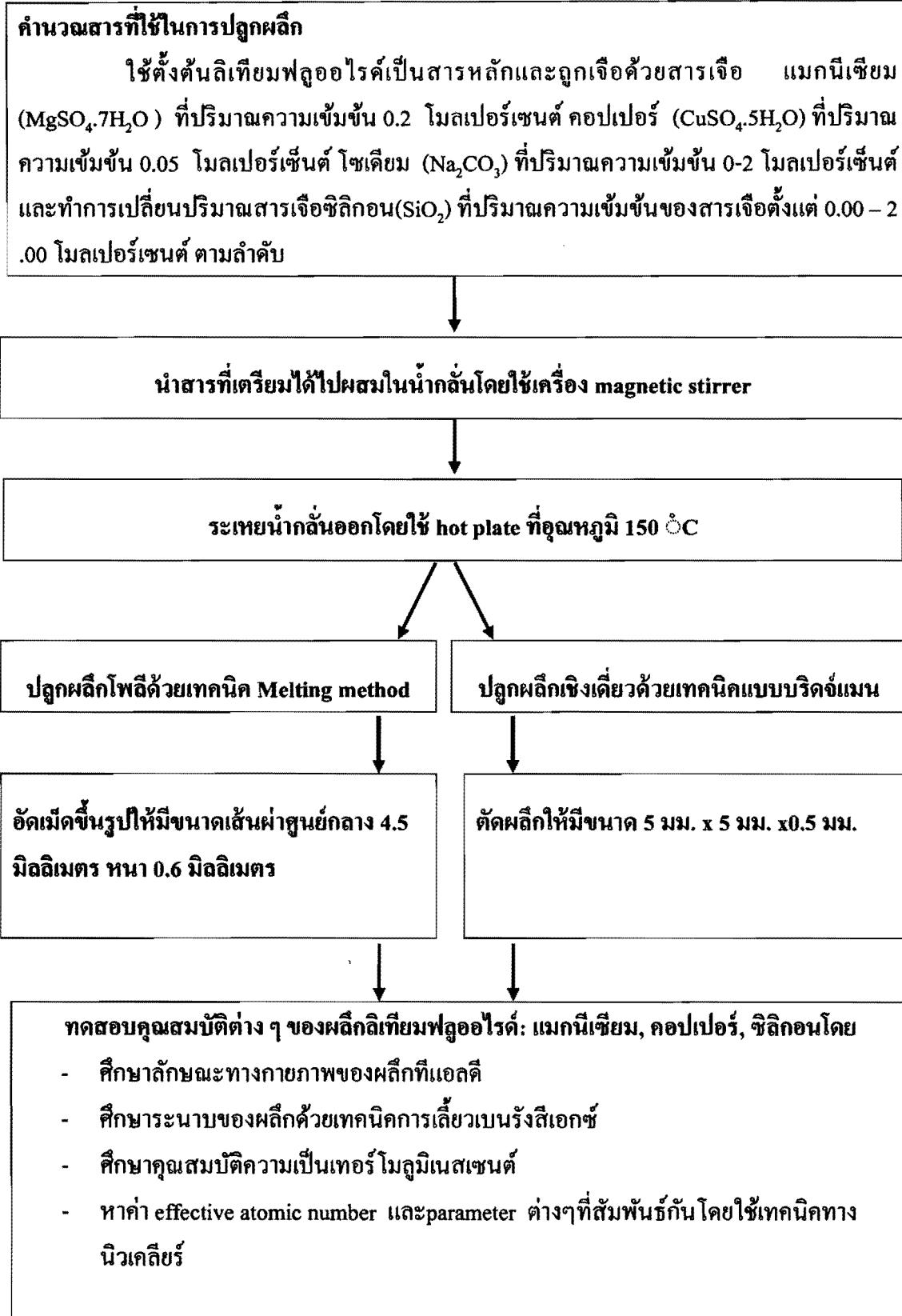
β คือ อัตราความร้อนที่ให้กับเม็ดที่แอลดิขณะอ่านปริมาณแสง (K/s)

k คือ ค่าคงที่ของ โบลต์ซัมบันช์ (Boltzmann's=1.381x10⁻²³ J/K)

E คือ activation energy (eV)

s คือ frequency factor (1/s)

กระบวนการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังแสดงในแผนภาพที่ 1

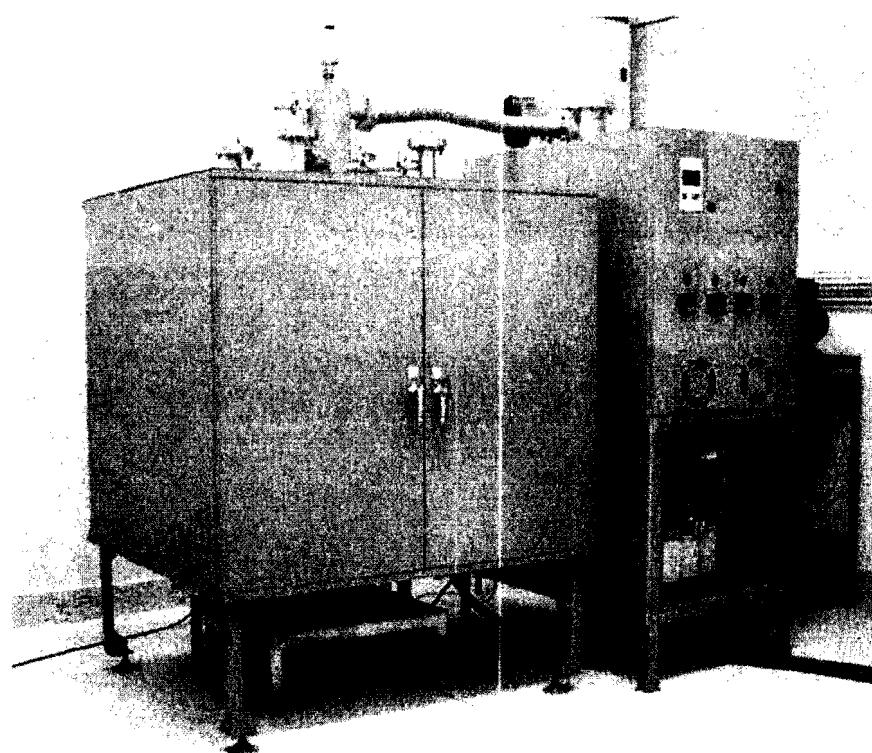


บทที่ 4

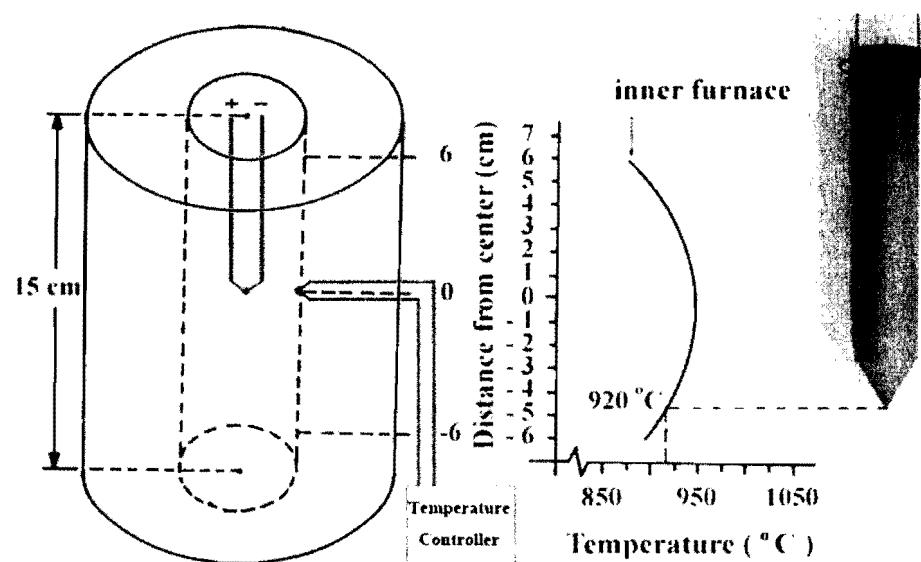
ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบและติดตั้งระบบเครื่องปั๊กผลักดึงเดี่ยวแบบบริдж์แม่น

ได้ทำการทดลองหากรีบินท่ออุณหภูมิของเตาหลอมแบบท่อของเครื่องปั๊กผลักดึงเดี่ยว ในภาพที่ 4.1 โดยวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเตาภายในชุดกึ่งกลางท่อปั๊กโดยแขวนเทอร์โมคัพเป็นไวท์ชุดกึ่งกลางท่อปั๊กห่างจากปลายท่อปั๊ก 7 ซม. ใช้เครื่องควบคุมป้อนกระแสไฟฟ้าให้เตาโดยให้ที่ชุดกึ่งกลางเตามีอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จากนั้นเดือนเตาขึ้นไป ด้านบนให้ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปลี่ยนอยู่ห่างจากชุดกึ่งกลางเตา 1,2,3,4,5,6 เซนติเมตรทางด้านล่างโดยแต่ละตำแหน่งต้องรอให้อุณหภูมิคงที่จึงบันทึกค่าอุณหภูมิของเตา จากนั้นเดือนเตาลงให้ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปลี่ยนห่างจากชุดกึ่งกลางเตา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เซนติเมตรทางด้านบน โดยแต่ละตำแหน่งต้องรอให้อุณหภูมิคงที่จึงบันทึกค่าอุณหภูมิของเตา นำค่าที่ได้จากการวัดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวตั้งของเตาท่อกับอุณหภูมิ แสดงในภาพที่ 4.2 จากนั้นทดลองนำสารหลักที่จะปั๊กผลักมาทดลองหลอมโดยแขวนภาชนะจากรูปแสดงลักษณะเตาของเครื่องปั๊กผลักแบบบริдж์แม่นและการกำหนดตำแหน่งการแขวนภาชนะบรรจุสาร โดยจะต้องให้ปลายของภาชนะบรรจุสารอยู่ที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้จะต้องมากกว่าอุณหภูมิของชุดหลอมเหลวของสารหลักลิธيومฟลูออไรด์ที่ใช้ คือ 875 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้จะต้องมากกว่าอุณหภูมิของชุดหลอมเหลวของสารหลักลิธيومฟลูออไรด์เพื่อให้สารเกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ เพราะอุณหภูมิที่วัดคือตำแหน่งภายในเตานอกภาชนะบรรจุสาร



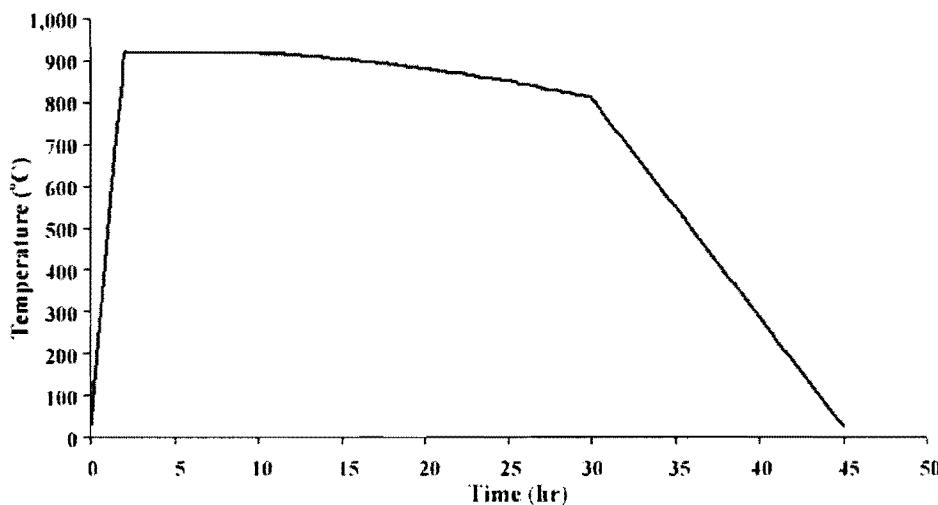
ภาพที่ 4.1 เครื่องปлавกพลีกเชิงเดียวแบบบริดจ์เมน



ภาพที่ 4.2 ลักษณะอุณหภูมิภายในท่อของเครื่องปлавกพลีกแบบบริดจ์เมนที่ดำเนินการเผา

ภาชนะบรรจุสาร

จากรูปแสดงลักษณะเดาของเครื่องปั๊กพลีกแบบบริค์แมนและการกำหนดตำแหน่งการแหวนภาชนะบรรจุสาร โดยจะต้องให้ปลายของภาชนะบรรจุสารอยู่ที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส เนื่องจากจุดหลอมเหลวของสารหลักคือ LiF ที่ใช้คือ 875 องศาเซลเซียส ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้จะต้องมากกว่าอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวของสารหลักคือ LiF เพื่อให้สารเกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ เพราะอุณหภูมิที่วัดคือตำแหน่งภายในเตา nok ภาชนะบรรจุสาร



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการเติบโตของอุณหภูมิที่ใช้ในการปั๊กพลีกที่แอลดี

4.2 กระบวนการเตรียมพลีกเชิงเดียวด้วย LiF

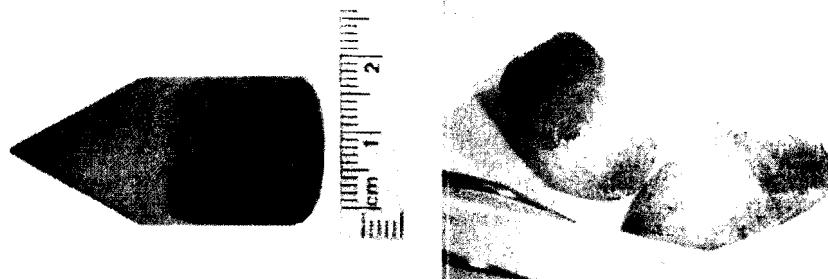
เริ่มจากการซึ่งสารหลักที่มี LiF 99 เปอร์เซ็นต์ และ เติมสารเจือ 4 ชนิด คือแมกนีเซียมชัลไฟต์ ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ที่มีความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์ ด้วยปริมาณ 0.20 โนลเปอร์เซ็นต์ และ คอปเปอร์(II)ชัลไฟต์ ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ที่มีความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ ด้วยปริมาณความเข้มข้น 0.05 โนลเปอร์เซ็นต์ เติมปริมาณสารเจือโซเดียมคาร์บอนเนต (Na_2CO_3) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 0-2 โนลเปอร์เซ็นต์ และเติมสารเจือซิลิกอน(II)ออกไซด์ (SiO_2) ที่มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซ็นต์ ด้วยปริมาณที่เปลี่ยนแปลง คือ 0.00, 0.15, 0.30, 0.50, 0.70, 0.90, 1.20, 1.50, 1.70, 1.90 และ 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ เพื่อทำการศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารเจือซิลิกอนต่อคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลิเนสเซนซ์ของพลีกที่แอลดีที่เตรียมขึ้น โดยใช้เทคนิคการปั๊กพลีกเชิงเดียวแบบบริค์แมน

งานนี้นำสารทั้งหมดที่ได้ไปผสมด้วยเทคนิคแบบเปียก (Wet Mixing) ในน้ำกลันโดยการใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และระเหยน้ำกลันออกโดยใช้ hot plate ที่อุณหภูมิ

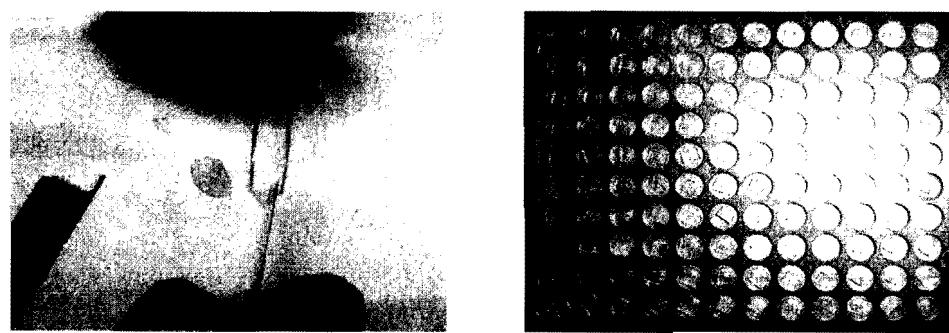
150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขึ้นตอนสุดท้ายนำสารที่เตรียมได้ใส่ในภาชนะบรรจุสารและนำไปเผาในท่อปูกพลีก แสดงในภาพที่ 4.2

กระบวนการปูกพลีกมีขั้นตอนการปูกดังนี้ คือ ขั้นแรกได้ทำการคุณภาพออกจากท่อปูกพลีกให้มีระดับความดันสูญญากาศ 10^{-4} mbar ใช้เวลาในการหลอม 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการยกเตาหลอมขึ้นด้วยอัตราความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะ 48 มิลลิเมตร ใช้เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงสู่อุณหภูมิห้องด้วยอัตรา 62.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 12 ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่าลักษณะของปูกพลีกที่ได้มีลักษณะผิวของปูกพลีกมีสีดำเนื้องจากปนเปื้อนแกรไฟต์จากภาชนะบรรจุสาร แต่ภายในมีลักษณะใสและลักษณะพลีกจะมีสีขาวขุ่นมาก ซึ่งขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของการเจือชิลิกอนมากขึ้น ส่วนลักษณะรอบร้าวและการหลอมของปูกพลีกเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า ปูกพลีกมีการหลอมทั้งปูกและมีร่องรอยที่บาน (Cleavage plane) เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อทำการตัดพลีกด้วยใบมีดโดยใช้แรงเคาะด้วยมือจะได้พลีกออกมารูปเป็นแผ่นตามรูปแบบที่เกิดขึ้น แสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5



(ก) ลักษณะทางกายภาพภายนอกของปูกพลีก (ข) ลักษณะทางกายภาพภายในของปูกพลีก
ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของปูกพลีกถูกใช้ในรูร่องที่เจือด้วยแมกนีเซียม 0.20 โมล
เปอร์เซ็นต์ คือเปอร์ 0.05 โมลเปอร์เซ็นต์ และเจือด้วยชิลิกอน 0.00 โมลเปอร์เซ็นต์



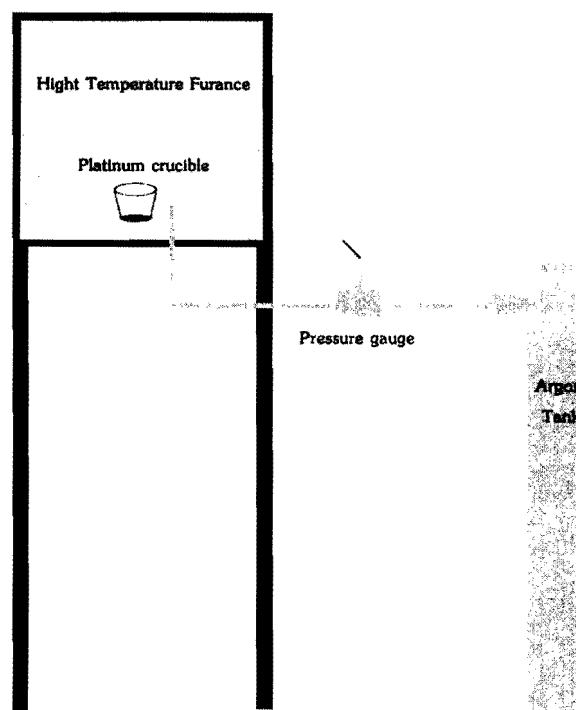
(ก) แสดงการตัดพลีกตามรูปแบบที่เกิดขึ้น (ข) เม็ดที่แยกตัวกันจากการตัดให้มีขนาด $5 \times 5 \times 0.5$ มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของปูกพลีกที่ได้มีเมื่อทำการตัดพลีกตามรูปแบบที่เกิดขึ้น

4.3 กระบวนการเตรียมผลึกผงที่แอลดิชนิดลิเธียมฟลูออไรด์

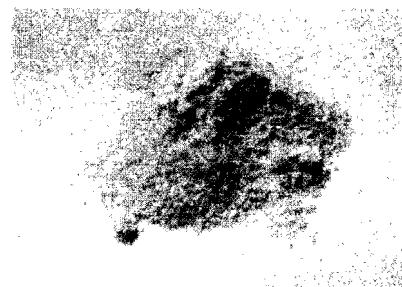
ได้ทำการเตรียมผลึกผงที่แอลดิชนิดลิเธียมฟลูออไรด์ โดยเติมสารเจือแมกนีเซียม kob เปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือที่ 0.20, 0.05 และ 0.90 โมล เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง โดยเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆ ได้ทดลองทำตามบทความวิจัยของสถาบัน Korea Atomic Energy Research: KAERI [5] และ [7] เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นและใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ กับผลึกเชิงเดียวที่เตรียมได้จากการวิจัยชิ้นนี้

เริ่มจากการซั่งสารหลักที่มีลิเธียมฟลูออไรด์ (LiF) เป็นสารหลักมีความบริสุทธิ์ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และเติมสารเจือ 3 ชนิด คือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99 เปอร์เซนต์ และคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ที่มีความบริสุทธิ์ของสาร 98 เปอร์เซนต์ และซิลิกอน(II)ออกไซด์ (SiO_2) มีความบริสุทธิ์ของสาร 99.9 เปอร์เซนต์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.90 โมล เปอร์เซนต์ ตามลำดับ จากนั้นนำสารทั้งหมดที่ได้ไปผสมด้วยเทคนิคแบบเปียกในน้ำกลั่นโดยการใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการระเหยน้ำกลั่นออกโดยใช้ hot plate ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารที่เตรียมได้ใส่ในเบ้าหลอมเบ้าหลอมแพลงตอนนัมและนำไปหลอมด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในบรรยายกาศก้าซาร์กอนด้วยอัตรา 2 ลิตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 4.6

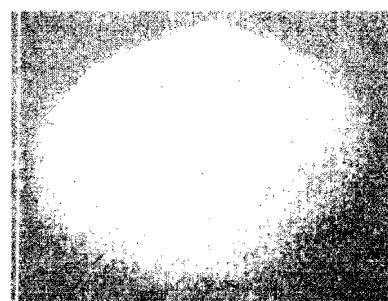


ภาพที่ 4.6 แผนภาพการปั่นกอกลูกผลึกโพลีศ์วายเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง (Melting method)

จากนั้นทำให้ผลึกเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และนำผลึกที่ได้มาบดคุ้ยครกอาร์เกทและทำการขัดสีงี้เป็นโดยการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 Normal เป็นเวลา 10 นาที นำผลึกที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกาน้ำแลและระเหยน้ำกาน้ำออกโดยใช้ hot plate ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลึกที่ได้ไปผ่านการคัดแยกขนาดให้มีขนาดมากกว่า 90 ไมครอน นำลงไปรังให้มีน้ำหนัก 25 มิลลิกรัม และนำมาเข็นรูปด้วยวิธีอัดด้วยความดัน 1 ตัน ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร หนา 0.6 มิลลิเมตร และในขั้นตอนสุดท้ายนำเม็ดที่เหลือที่ได้ไปทำการเผาเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ในบรรยายการก้าชาร์กอนด้วยอัตรา 2 ลิตรต่อนาที เพื่อเพิ่มความเข็งให้กับเม็ดที่เหลือและความสะท้อนกับการนำไปใช้งานต่อไป แสดงในภาพที่ 4.7 ถึง 4.9

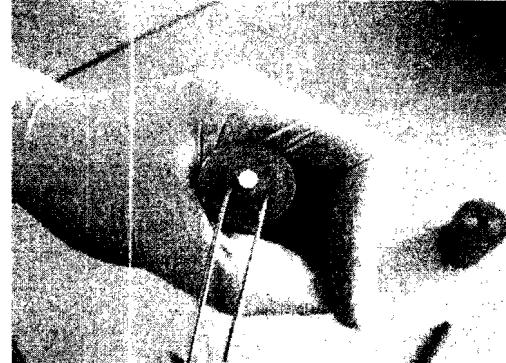


(ก) ก่อนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

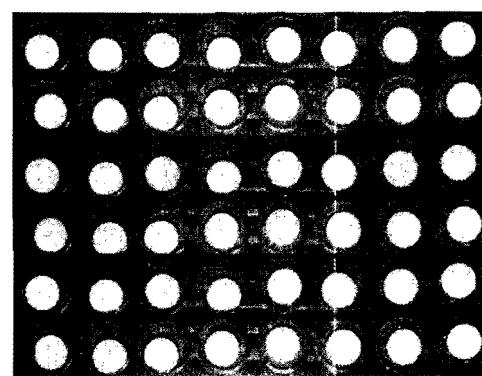


(ข) หลังจากล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 Normal เป็นเวลา 10 นาที

ภาพที่ 4.7 ผลึกโพลีไนโคลีเชียมฟลูออไรด์ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก



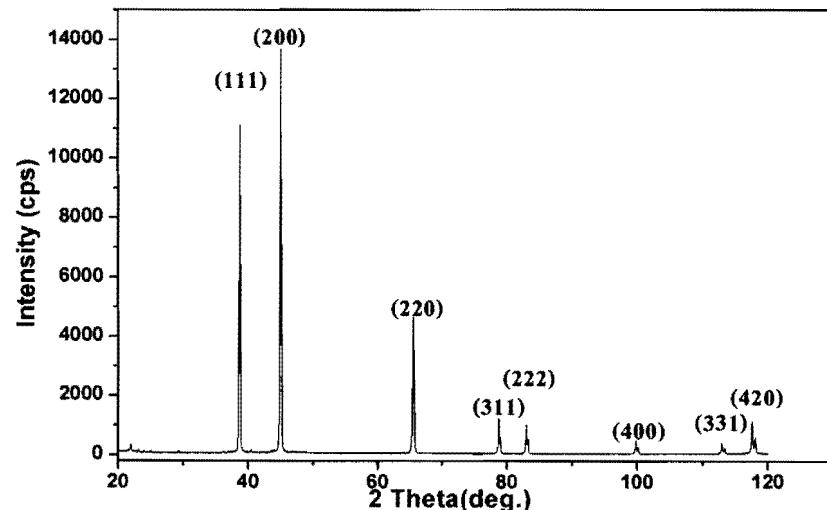
ภาพที่ 4.8 การอัดเม็ดผลึกโพลีให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร หนา 0.6 มิลลิเมตร



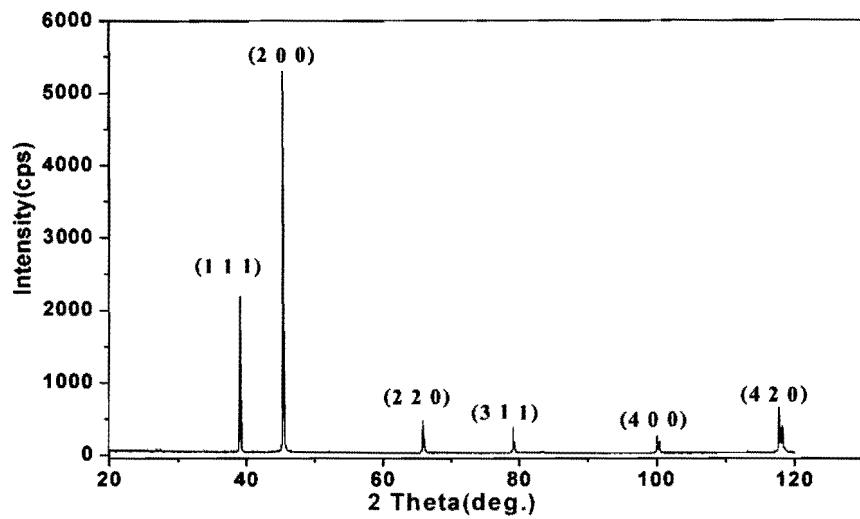
ภาพที่ 4.9 เม็ดพลีกโพลีที่ได้หลังจากเผาผนึกที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที

4.4 ทดสอบโครงสร้างพลีกด้วยเครื่อง XRD

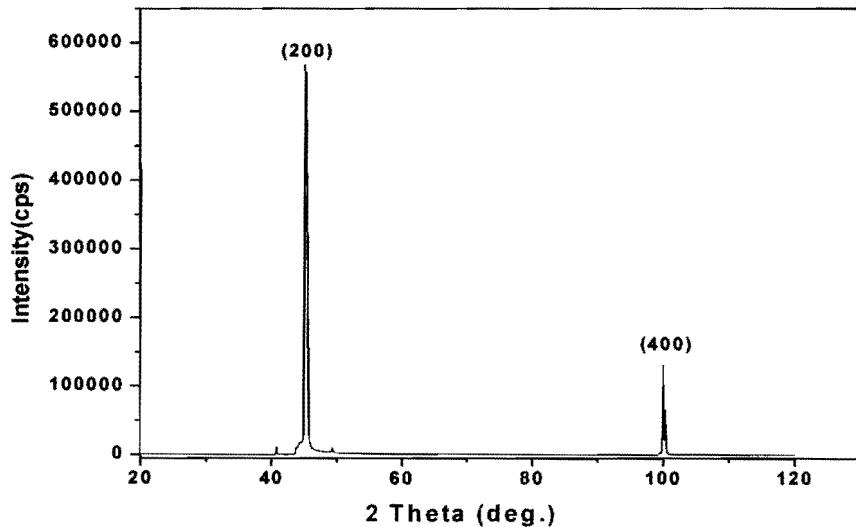
จากการนำพลีกที่แอคเดชันดิลิเชียมฟลูออไรด์(LiF) แมกนีเซียม คอปเปอร์ ซิลิกอน ไปทำการศึกษาระนาบของพลีกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) รุ่น X' Pert MPD ยี่ห้อ Philips โดยใช้ Cu K_α เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ซึ่งใช้ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ X' Pert line1.3b เพื่อวิเคราะห์ระนาบของพลีกที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ทำการศึกษาระนาบของพลีกที่ได้ตั้งค่าไปนี้



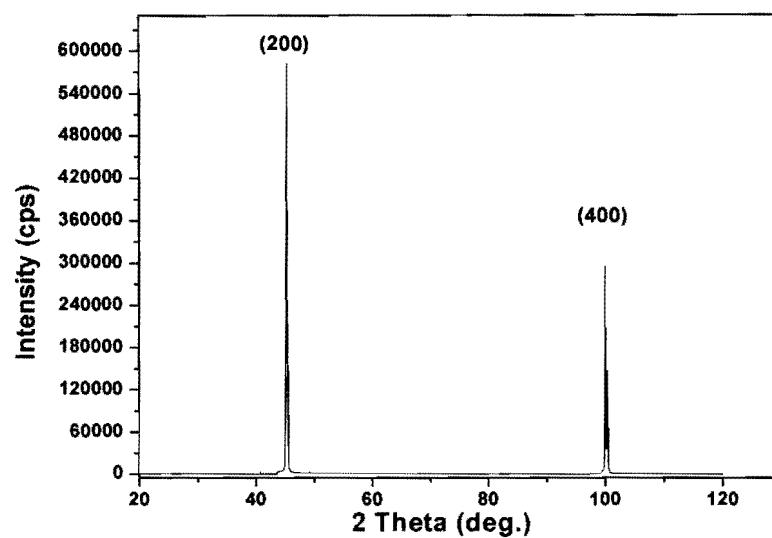
ภาพที่ 4.10 แสดงระนาบของสารตั้งต้นลิเชียมฟลูออไรด์ (LiF)



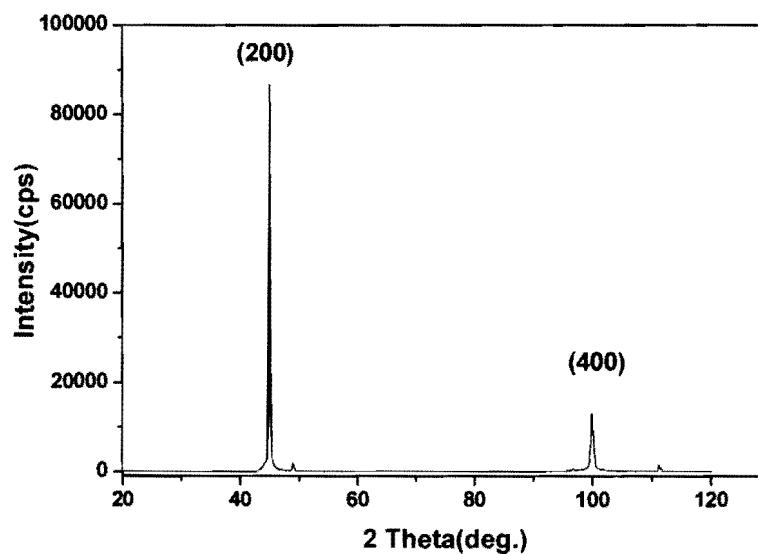
ภาพที่ 4.11 รูปแบบของผลึกชนิดลิเชิมฟลูออไรด์ที่เจือด้วย แมกนีเซียม คอปเปอร์ ซิลิกอนที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.90 โนลเปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง



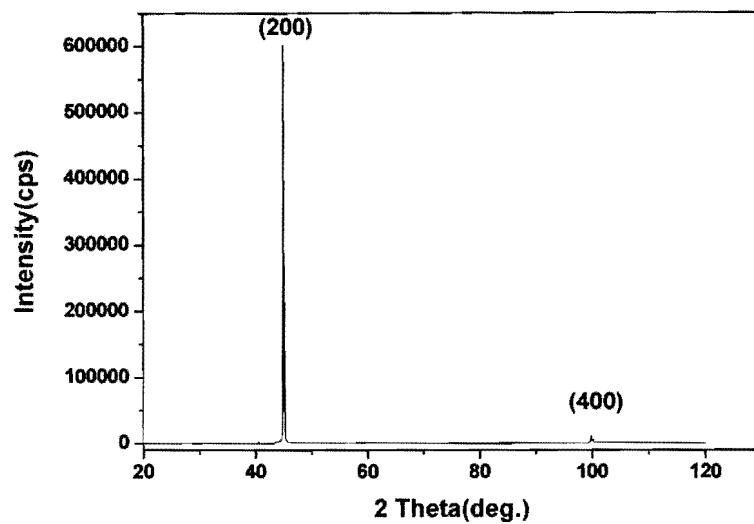
ภาพที่ 4.12 แสดงรูปแบบผลึกที่แอลกีนิด ลิเชิมฟลูออไรด์: แมกนีเซียม คอปเปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.00 โนลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



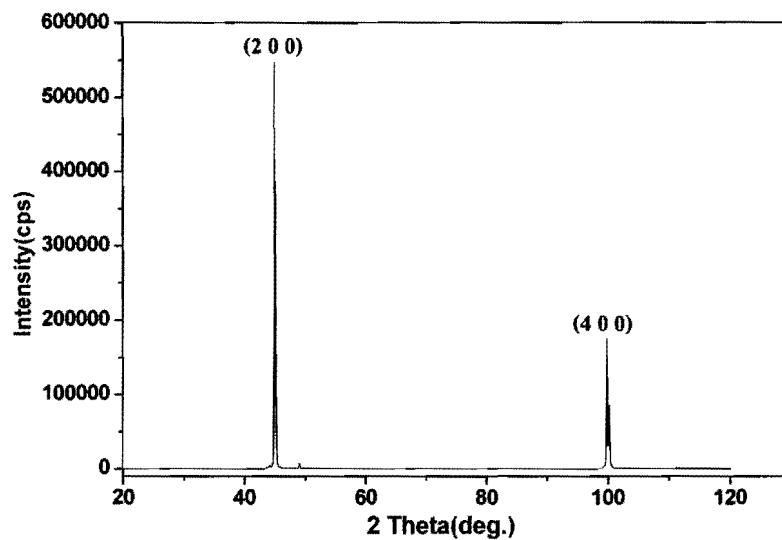
ภาพที่ 4.13 รูปแบบผลึกซึ่งกันและกันของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.15 โมลเปอร์เซนต์ที่ปฏิรูปด้วยเทคนิคแบบบริจจ์เม่น



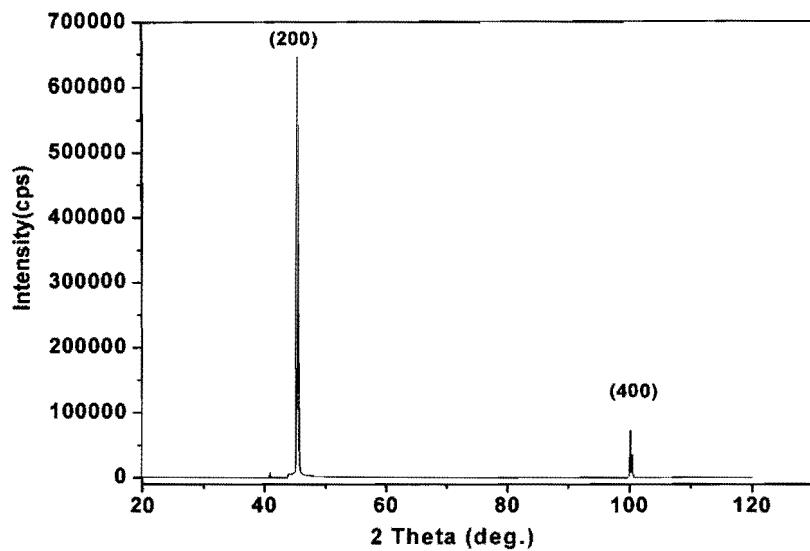
ภาพที่ 4.14 รูปแบบผลึกซึ่งกันและกันของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.30 โมลเปอร์เซนต์ที่ปฏิรูปด้วยเทคนิคแบบบริจจ์เม่น



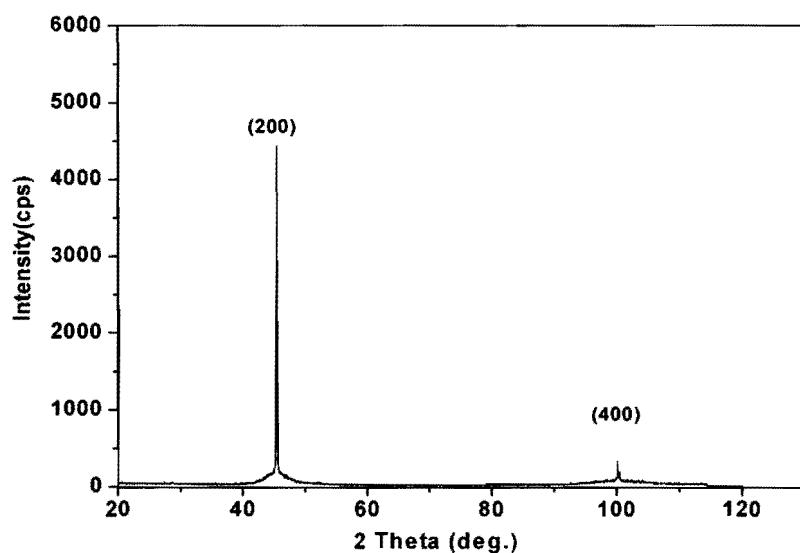
ภาพที่ 4.15 รูปแบบผลึกซึ่งกันและกันของฟลูออยด์ไรค์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.50 โมลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบบริจจ์แมน



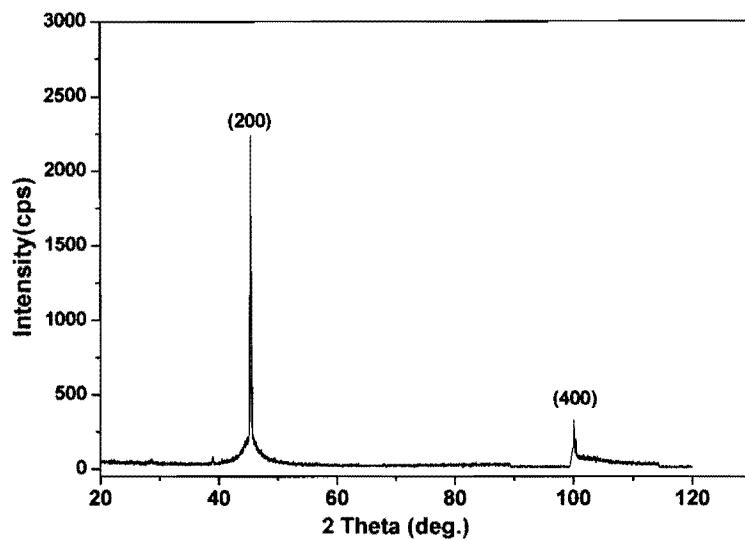
ภาพที่ 4.16 รูปแบบผลึกซึ่งกันและกันของฟลูออยด์ไรค์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.70 โมลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบบริจจ์แมน



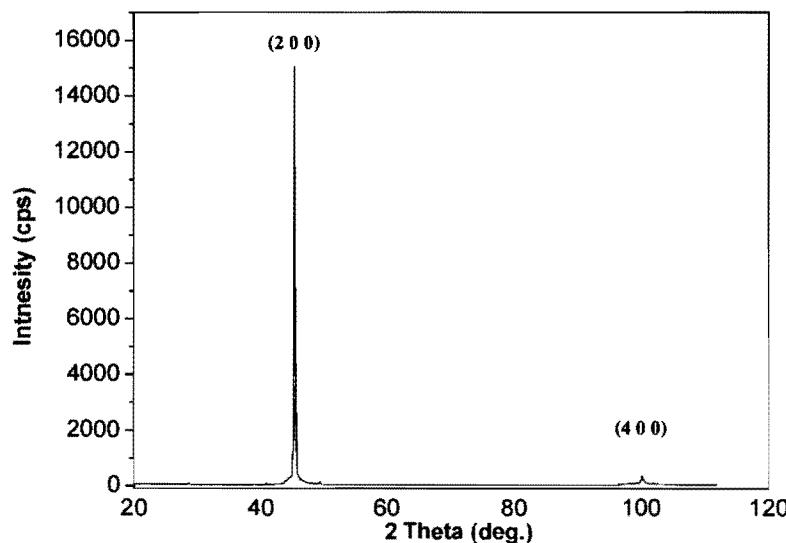
ภาพที่ 4.17 รูปแบบผลึกซิลิเกียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.90 โนลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกค้าโดยเทคนิคแบบบริจ์เมน



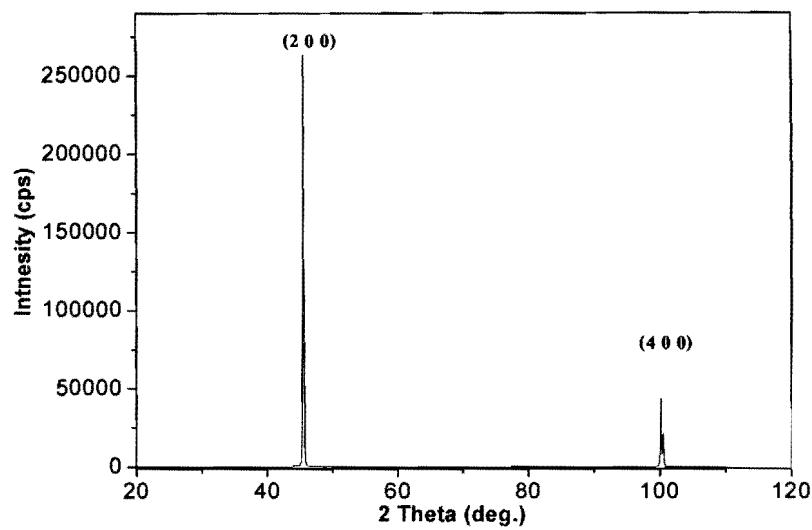
ภาพที่ 4.18 รูปแบบผลึกซิลิเกียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอปเปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.20 โนลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกค้าโดยเทคนิคแบบบริจ์เมน



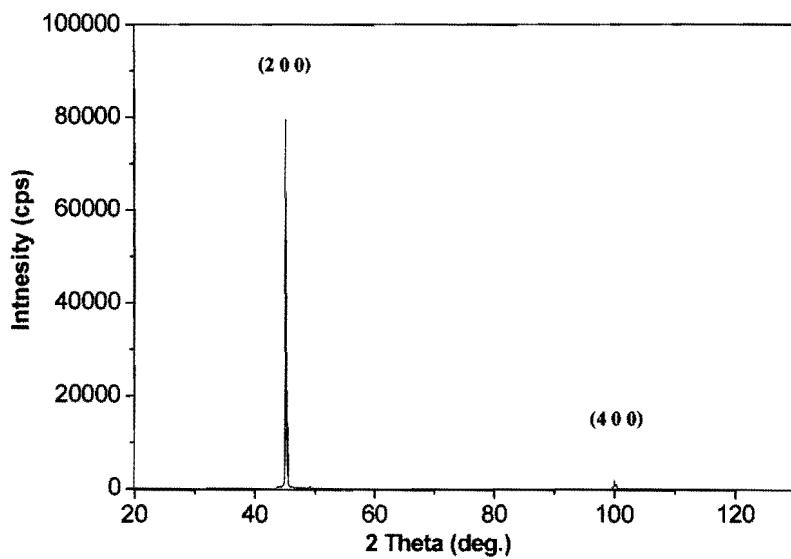
ภาพที่ 4.19 รูปแบบผลึกซึมคลิเชียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วย แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.50 โนลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบบริคจ์เมน



ภาพที่ 4.20 รูปแบบผลึกซึมคลิเชียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วย แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.70 โนลเปอร์เซนต์ ที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบบริคจ์เมน



ภาพที่ 4.21 รูปแบบผลึกซึ่งกันนิยมฟลูออยด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอนပ์เลอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.90 ไมล์เพลอร์เซนต์ ที่ปั้นด้วยเทคนิคแบบบริจจ์เม่น



ภาพที่ 4.22 รูปแบบผลึกซึ่งกันนิยมฟลูออยด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียม คอนপ์เลอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 2.00 ไมล์เพลอร์เซนต์ ที่ปั้นด้วยเทคนิคแบบบริจจ์เม่น

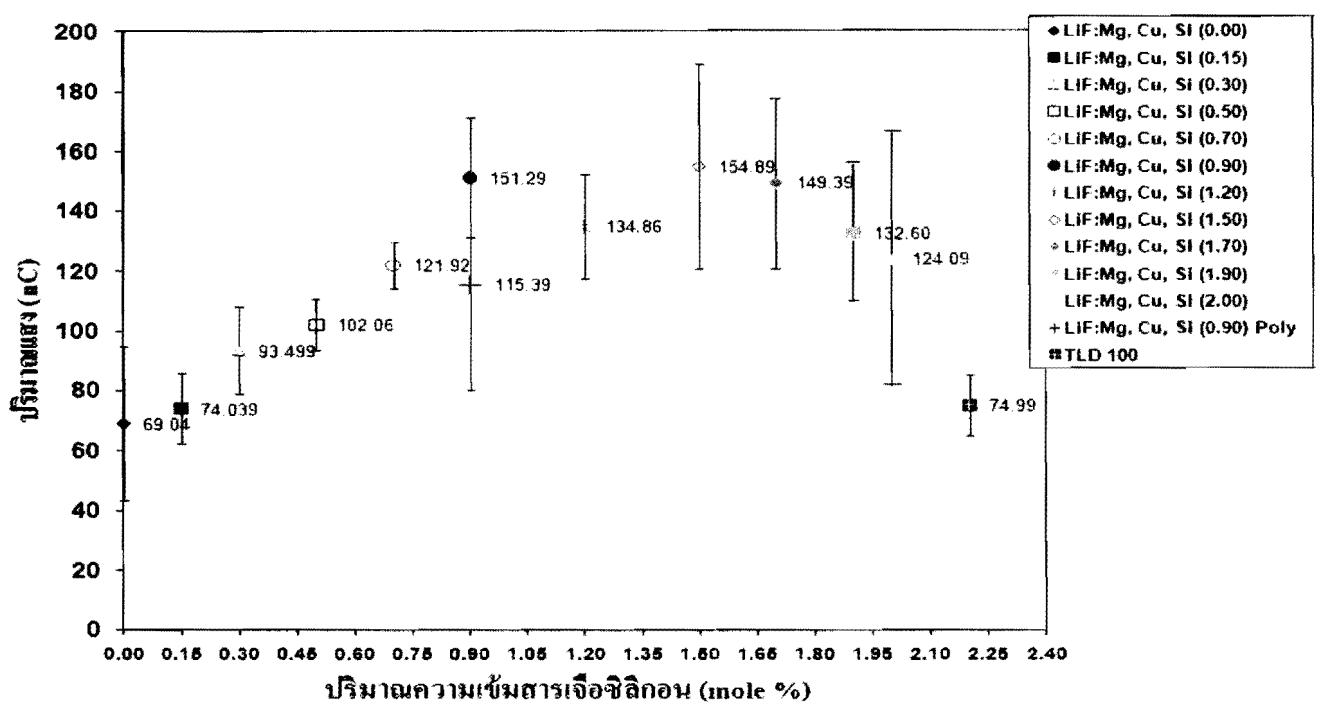
จากการศึกษาระนาบผลึกที่ได้จากการกระบวนการปัลอกหิ้ง 2 เทคนิคพบว่าผลึกที่ได้จากการปัลอกผลึกด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงแสดงรูปแบบของสารหลักลิขิมฟลูออไรด์ ซึ่งต่อจากจะเรียกว่าผลึกโพลี ส่วนผลึกที่ได้จากการกระบวนการปัลอกแบบบริดจ์แมนจะแสดงรูปแบบของสารหลักลิขิมฟลูออไรด์ ที่มีจำนวนรูปแบบลดลงเนื่องจากการกระบวนการปัลอกผลึกแบบบริดจ์แมนสามารถทำให้การจัดเรียงตัวของหน่วยเซลล์ (unit cell) ของลิขิมฟลูออไรด์มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งต่อจากนี้จะเรียกว่าผลึกเชิงเดียว

4.5 ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติความเป็นทอร์โนมูลินเนสเซนซ์

จากการศึกษาโดยได้ทำการตัดผลึกให้มีขนาด $5 \times 5 \times 0.5$ มิลลิเมตร น้ำหนัก 25 มิลลิกรัม จากนั้นนำเม็ดที่แอลดีที่ได้ไปฉายรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ที่ปริมาณรังสี 100 mRem นำเม็ดที่แอลดีไปทำการวิเคราะห์และประเมินค่าปริมาณรังสีด้วยเครื่องอ่าน TLD รุ่น 3500 ของบริษัท Harshaw – Bicron โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.5.1 ผลของความเข้มข้นของสารเจือที่มีต่อ ความไวต่อการตอบสนองทางรังสี

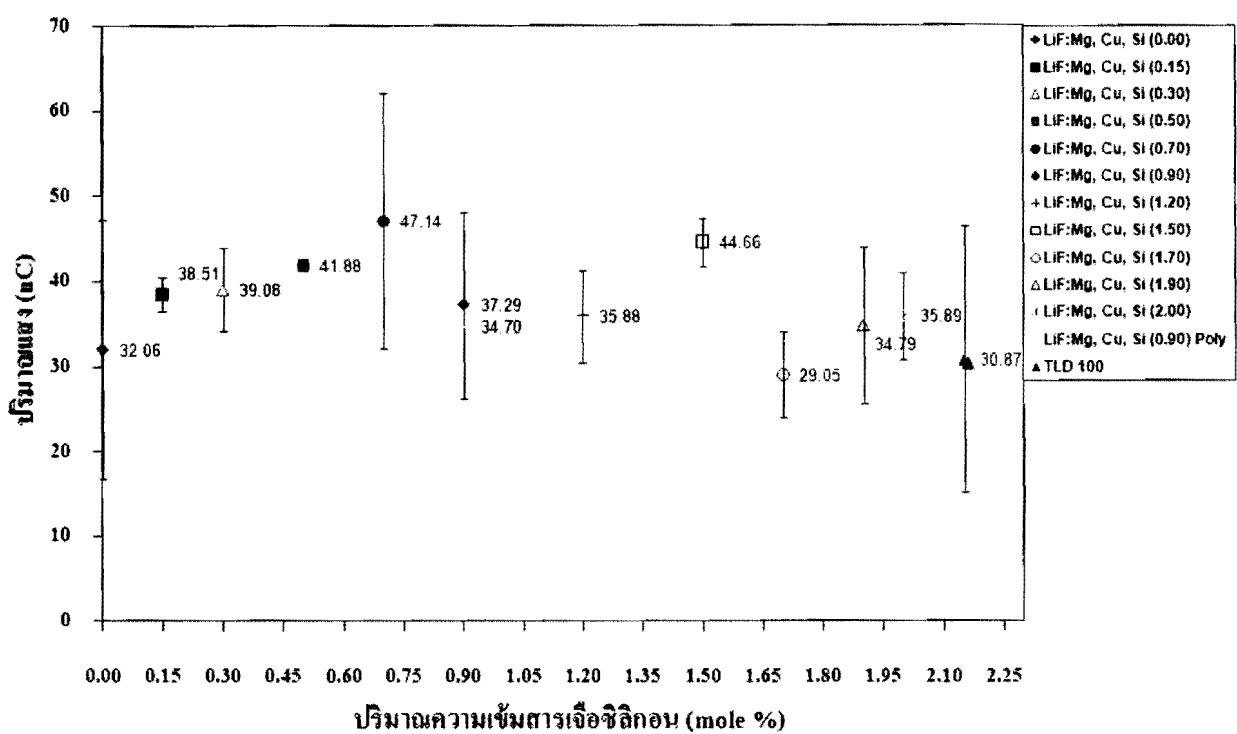
ความไวในการตอบสนองต่อรังสีหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ปล่อยออกมานอกที่แอลดีต่อหนึ่งหน่วยปริมาณรังสีที่ที่แอลดีได้รับ จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีของผลึกที่แอลดีที่ได้โดยได้ทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 - 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบกับที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) ที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.23 และ 4.24



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมากับความเข้มข้นของสารเจือ Mg 0.20 โนลเปอร์เซ็นต์ Cu 0.05 โนลเปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้น ของสารเจือชิลิกอน 0.00 ถึง 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 1 mGy. (ฉายรังสีเอกซ์)

จากผลการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำพลีกโพลีและพลีกเชิงเดี่ยวไปผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy. พบว่าพลีกโพลีมีปริมาณแสงประมาณ 115.39 nC และ พลีกเชิงเดี่ยวที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.00 โนลเปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแสงที่น้อยที่สุด คือประมาณ 69.04 nC และปริมาณแสงนี้แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอนและที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.90 และ 1.50 โนลเปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแสงมากที่สุด คือประมาณ 150 nC แต่ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 1.50, 1.70, 1.90 และ 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ จะมีการกระจายตัวมากกว่าอาจเนื่องมาจากการไม่สม่ำเสมอของปริมาณสารเจือที่เติม และปริมาณแสงที่มีผลดีปล่อยออกมานี้แนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 1.50 ถึง 2.00 อาจมีสาเหตุมาจาก การเติมปริมาณสารเจือที่มากจนทำให้ที่แอลดีมีการดูดกลืนแสงไว้บางส่วน

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) พบว่า ที่แอลดีมีความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำไปผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy. มีปริมาณแสงประมาณ 74.99 nC

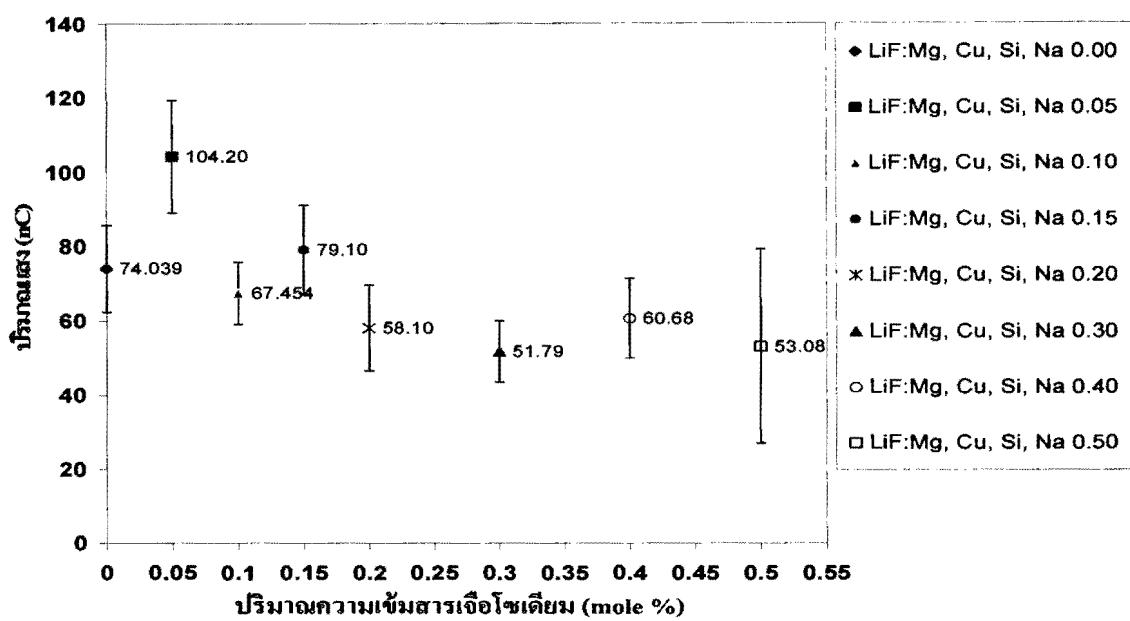


ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อย出กมกับความเข้มข้นของสารเจือ Mg 0.20 โนลเปอร์เซ็นต์ Cu 0.05 โนลเปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้น ของสารเจือชิลิกอน 0.00 ถึง 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 1 mGy. (ฉายรังสีแกรมมาจาก Co-60)

จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำผลึกโพลีและผลึกเชิงเดี่ยวไปผ่านการฉายรังสีแกรมมาที่ปริมาณ 1mGy. พบว่า ปริมาณแสงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือปริมาณ 30 - 40 nC และไม่มีแนวโน้มที่ซัดเจน

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับที่ผลิตด้วยผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) พบว่า ที่ผลิตมีความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำไปผ่านการฉายรังสีแกรมมาที่ปริมาณ 1mGy. มีปริมาณแสงประมาณ 30.87 nC

จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีของผลึกที่ผลิตชนิด LiF:Mg(0.20), Cu(0.05), Si(0.15) จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 - 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.25

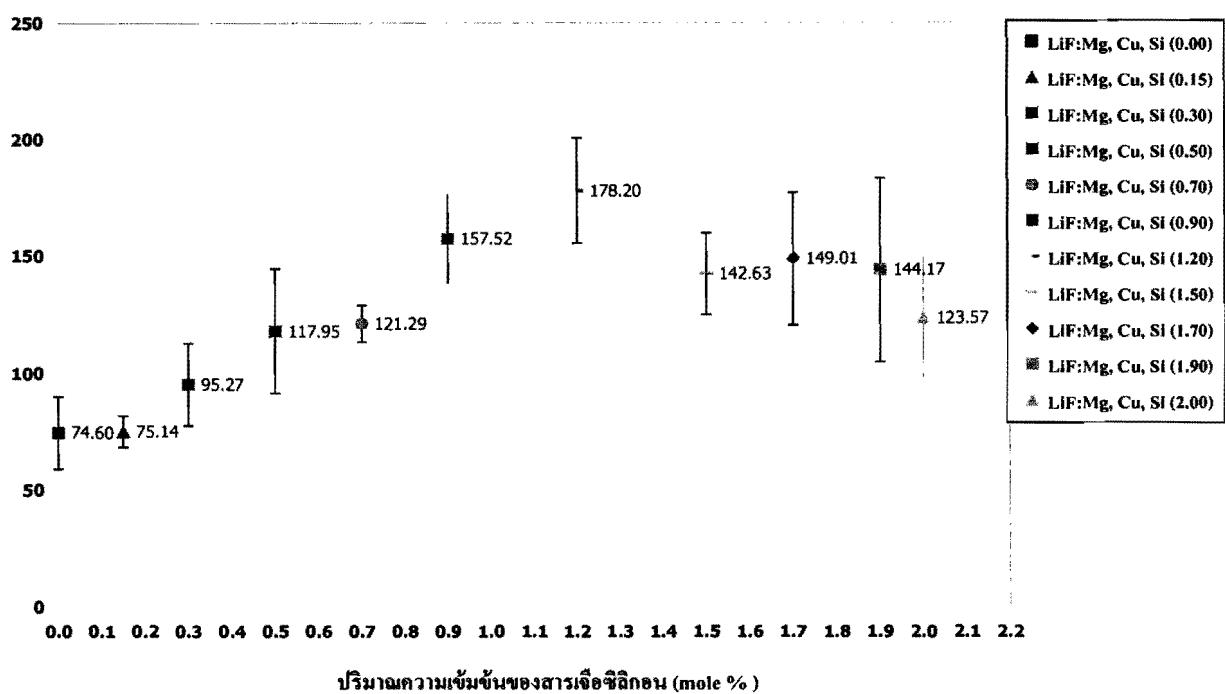


ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมากับความเข้มข้นของสารเจือ Mg 0.20 โนลเปอร์เซ็นต์ Cu 0.05 โนลเปอร์เซ็นต์ซิกอน 0.15 โนลเปอร์เซ็นต์ซิกอน เมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้น ของสารเจือโซเดียม 0.00 ถึง 0.50 โนลเปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy.

จากผลการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำผลึกเชิงเดี่ยวไปผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy. พบว่าผลึกเชิงเดี่ยวที่เจือด้วยโซเดียมที่ 0.05 โนลเปอร์เซ็นต์ ปล่อยแสงออกมามากที่สุด คือประมาณ 104.20 nC และปริมาณแสงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารเจือโซเดียม คือ ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.50 โนลเปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแสงที่น้อยที่สุด คือประมาณ 50 ถึง 60 nC และที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือโซเดียม 0.50 โนลเปอร์เซ็นต์ จะมีการกระจายตัวมากที่สุด คือ ค่า SD ประมาณ 26 nC ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกผลึกตัวขึ้นบริจจ์แมนในแนวตั้งนี้ ภาชนะบรรจุสารจะวางตัวในแนวตั้งจากกับพื้น ส่งผลให้ขณะสารเดือด และมีสารเจือปริมาณมากขึ้น แรงดึงดูดของโลกจะส่งผลต่อการกระจายตัวของสารเจือจะปล่อยให้สารเย็นตัวลง จึงส่งผลให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่เติมสารเจือปริมาณมากเกินความจำเป็น

จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีของผลึกที่แอลดีชินิด LiF:Mg(0.20), Cu(0.05), Na(0.00) จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 - 2.00 โมลเปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.26

ปริมาณแสง (nC)



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามีอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.00 ถึง 2.00 โมลเปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy.

จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหดสีของผลึกโพลีและผลึกเชิงเดี่ยว ไปผ่านการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1mGy. พบว่าผลึกเชิงเดี่ยวที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.00 และ 0.15 โมลเปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแสงที่น้อยที่สุด คือประมาณ 75 nC และปริมาณแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอนและที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.90 และ 1.20 โมลเปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแสงมากที่สุด คือประมาณ 165 nC แต่ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 1.50, 1.70, 1.90 และ 2.00 โมลเปอร์เซ็นต์ จะมีการกระจายตัวมากกว่าอาจเนื่องมาจากการไม่สม่ำเสมอของปริมาณสารเจือที่เติม และปริมาณแสงที่มีแอลดีปัลอยออกมามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 1.50 ถึง 2.00 อนึ่งผลึกที่

ได้จากการเดินสารเรื่อซิลิกอน ตั้งแต่ 1.50 ถึง 2.00 โนลเปอร์เซ็นต์ มีลักษณะทางกายภาพค่อนข้างขาวๆ น่าจะเป็นสาเหตุให้แสงที่ปล่อยออกมารอ กมาได้ไม่ดีเนื่องจากเกิดการดูดกลืนแสงไว้บางส่วน ด้วยตัวเอง

4.5.2 ผลของชนิดและปริมาณสารเรื่อที่มีต่อความลึกของหลุมกับดักที่สร้างขึ้น

วิธีการหาความลึกของหลุมกับดักโดยเด็กtron นั้นมีวิธีศึกษาได้ 2 วิธีคือ

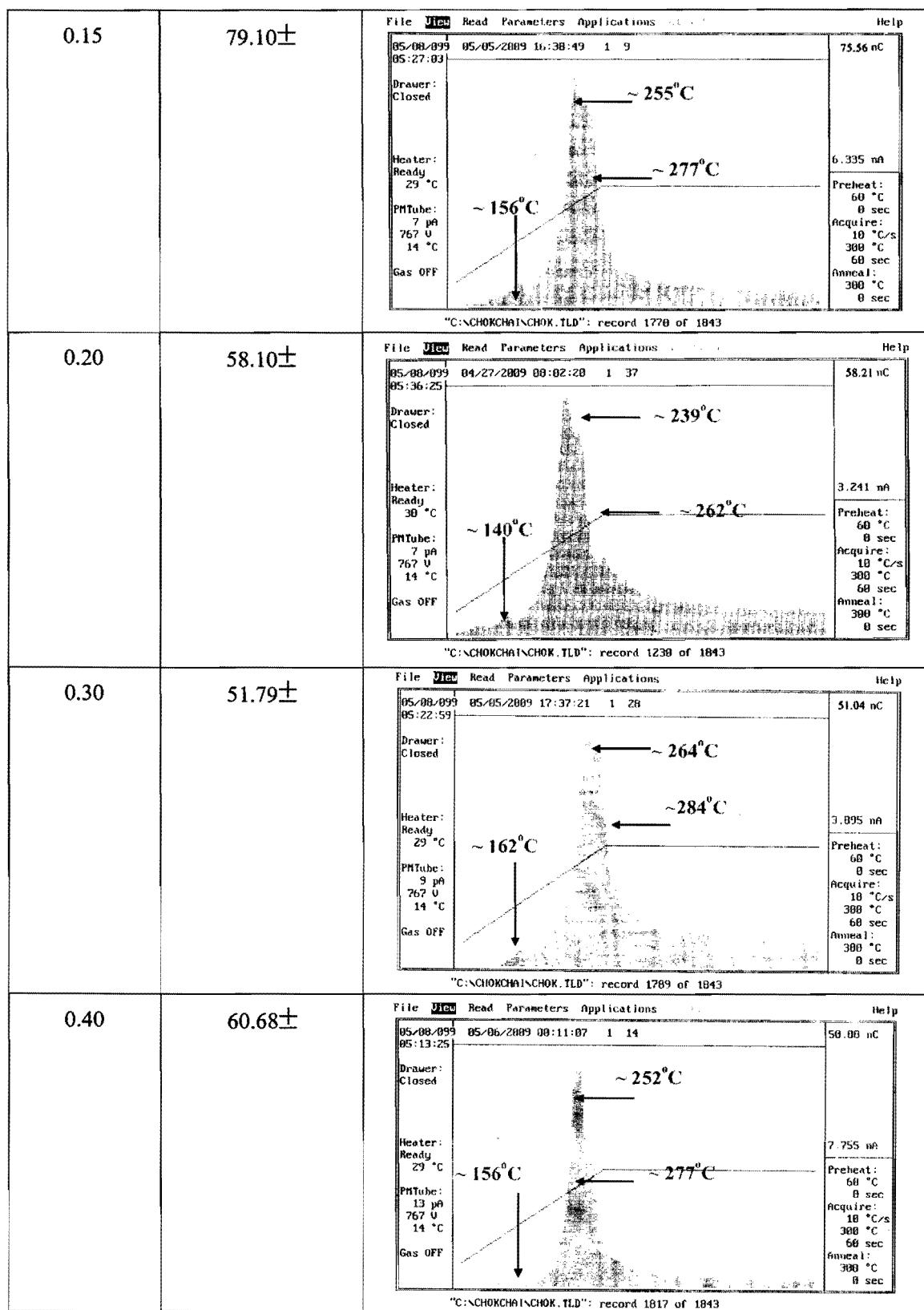
- 1) พิจารณาลักษณะ โกลว์เคิร์ฟที่ได้จากการกระตุนอะตอนด้วยความร้อน ความลึกของหลุมกับดักวิธีนี้จะบอกได้ด้วยค่าของอุณหภูมิทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมายังหลุมกับดักมากที่สุด
- 2) คำนวณจากค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานคงของหลัก ซึ่งความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ของเงื่อนค่าที่ได้จะบอกเป็นอิเล็กตรอนโอลต์

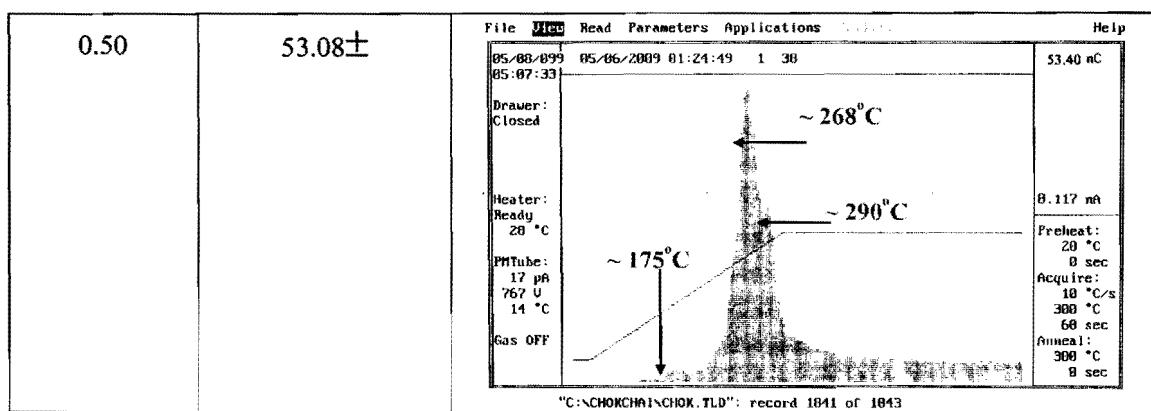
1) การหาความลึกของหลุมกับดักโดยพิจารณาลักษณะโกลว์เคิร์ฟ

โกลว์เคิร์ฟ คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงที่ทึบแสงคือปล่อยออกมานอกจากอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ซึ่งปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลทำให้โกลว์เคิร์ฟเปลี่ยนแปลงไปได้แก่ อัตราการให้ความร้อนกับเม็ดที่แอลกอล์วีคิว ถ้าเพิ่มอัตราการให้ความร้อนขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้ความสูงของพีคเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าแต่ความกว้างของพีคจะแคบลง ดังนั้นในการศึกษาผู้วิจัยจึงได้ควบคุมตัวแปรดังกล่าวโดยการตั้งอุณหภูมิในการอ่านปริมาณแสงคงที่ทุกๆ การทดลอง โดยให้อัตราการตั้งความร้อนแก่หัวครั้งสี่ที่แยกตัวที่ได้จากการทดลองตั้งแต่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสถึง 300 องศาเซลเซียส โดยให้เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่คงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของลักษณะโกลว์เคริฟของทีแอลซีชันนิค LiF:Mg(0.20), Cu(0.05), Si(0.15) จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือโซเดียมตั้งแต่ 0.00 - 2.00 ไมล์เปอร์เซ็นต์

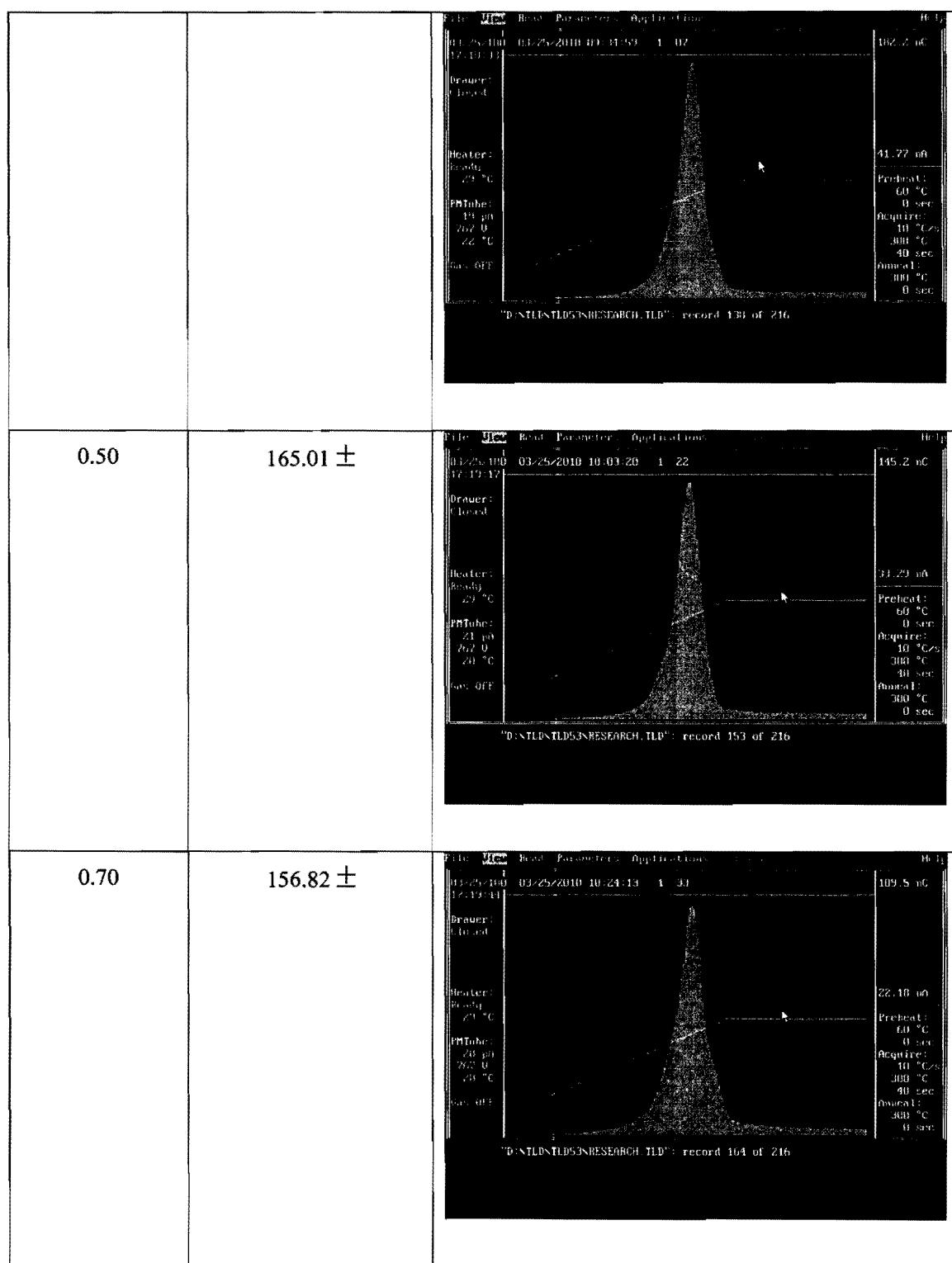
ปริมาณเจือโซเดียม (mole %)	ปริมาณแสง (nC)	ลักษณะโกลว์เคริฟ
0.00	74.03±	
0.05	104.20±	
0.10	67.45±	

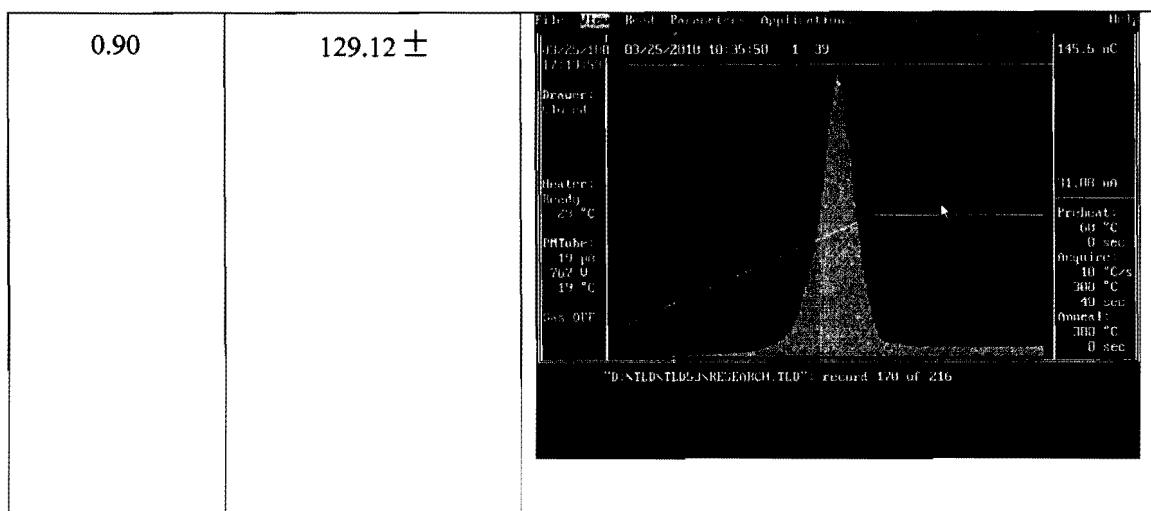




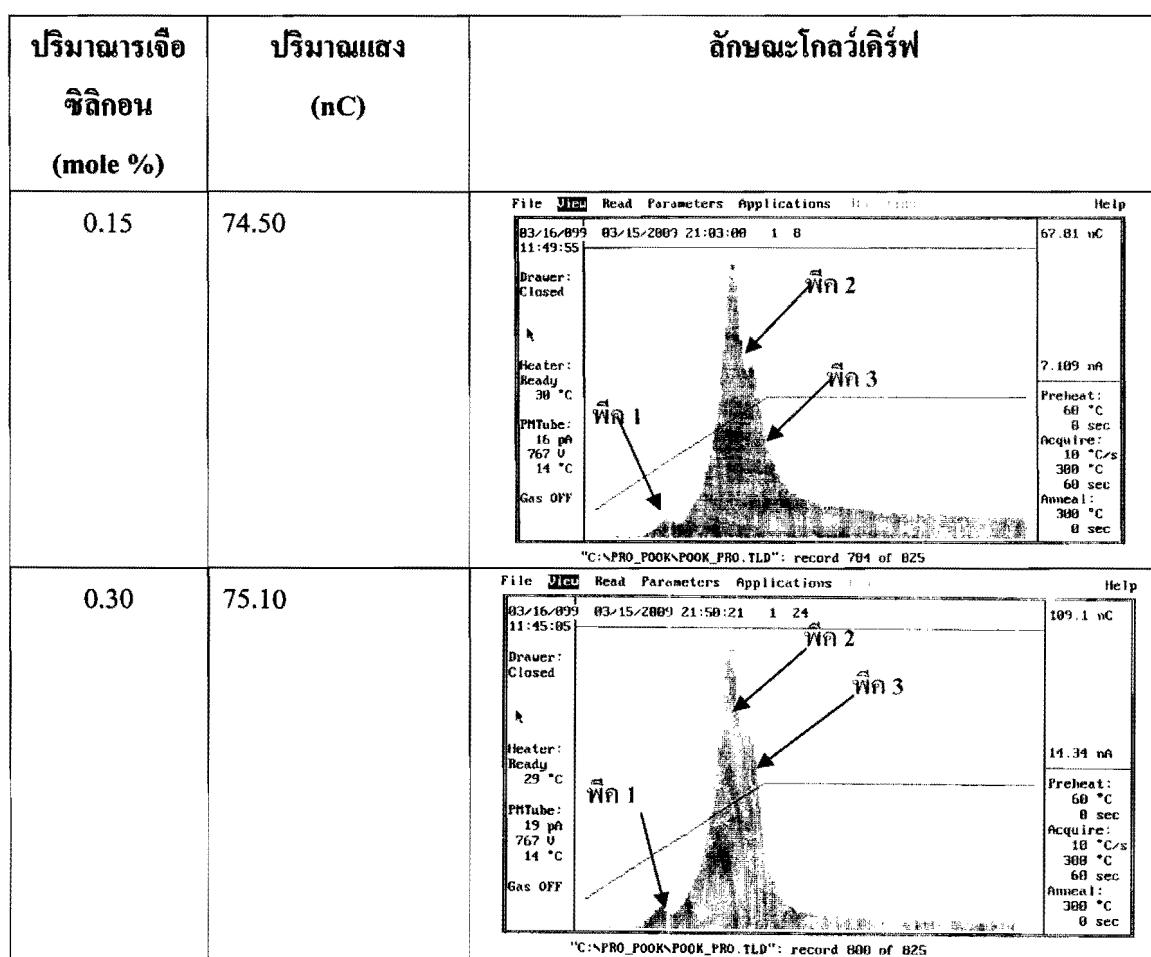
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของลักษณะโกลว์เคริ่ฟของทีแอลดีชนิด LiF:Mg(0.20), Cu(0.05), Na(0.05) จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือซิลิกอนตั้งแต่ 0.15 – 0.90 ไมล์เปอร์เซ็นต์

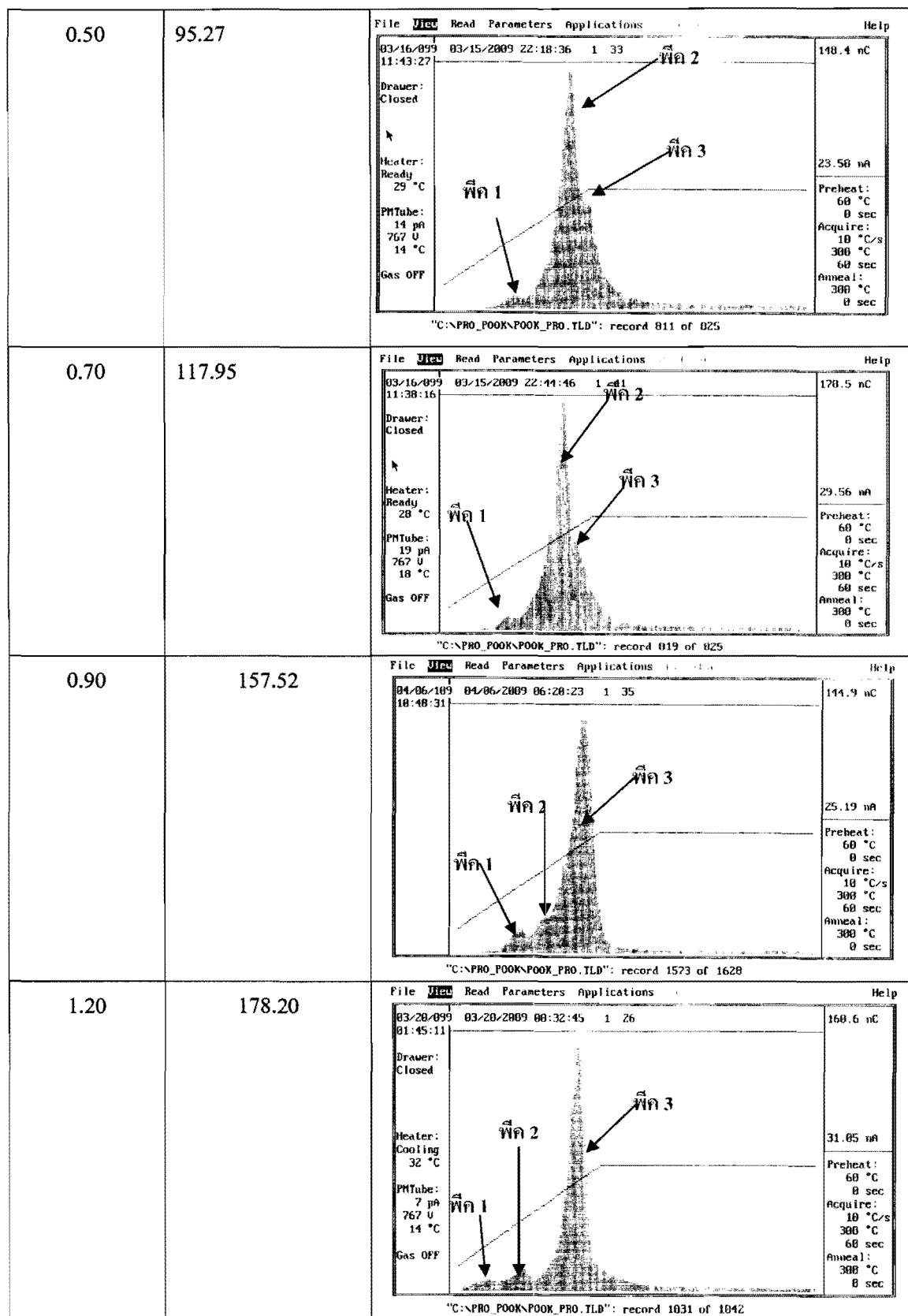
ปริมาณสารเจือซิลิกอน (mole %)	ปริมาณแสง (nC)	ลักษณะโกลว์เคริ่ฟ
0.15	$90.60 \pm$	<p style="text-align: center;"> File Help Read Parameters Applications Help 05/05/2010 00:24:44 1 00 05:12:33 </p> <p style="text-align: right;"> 61.09 nC 8.649 mV Preheat: 60 °C 0 sec Acquire: 10 °C/s 300 °C 40 sec Anneal: 300 °C 0 sec </p> <p style="text-align: center;">"D:\TLENTLE\TLD5\NRESEARCH.TLD": record 132 of 216</p>
0.30	$168.76 \pm$	





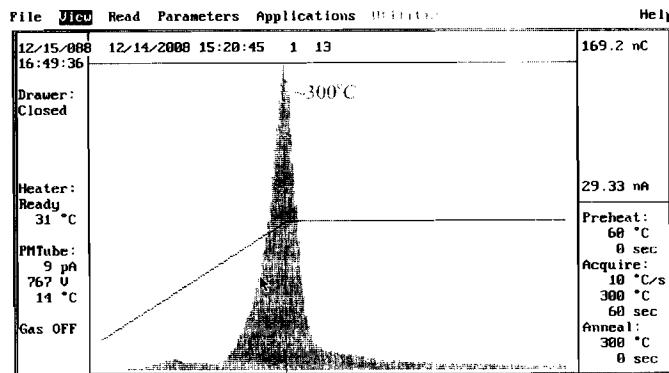
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของลักษณะโกโลว์คิร์ฟของที่แอลเดชนิค LiF:Mg(0.20), Cu(0.05), Na(0.00) จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือติดก้อนตั้งแต่ 0.15 - 2.00 ไมล์เปอร์เซ็นต์





1.50	142.63	<p>File View Read Parameters Applications Help</p> <table border="1"> <tr><td>03/20/099</td><td>03/19/2009 23:57:02</td><td>1 14</td><td>190.5 nC</td></tr> <tr><td>01:38:09</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Drawer:</td><td>Closed</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Heater:</td><td>Cooling</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>32 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PTube:</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>8 pA</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>767 V</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>14 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Gas OFF</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>"C:\PRO_POK\POOK_PRO.TLD": record 1019 of 1042</p>	03/20/099	03/19/2009 23:57:02	1 14	190.5 nC	01:38:09				Drawer:	Closed			Heater:	Cooling				32 °C			PTube:					8 pA				767 V				14 °C			Gas OFF			
03/20/099	03/19/2009 23:57:02	1 14	190.5 nC																																							
01:38:09																																										
Drawer:	Closed																																									
Heater:	Cooling																																									
	32 °C																																									
PTube:																																										
	8 pA																																									
	767 V																																									
	14 °C																																									
Gas OFF																																										
1.70	149.01	<p>File View Read Parameters Applications Help</p> <table border="1"> <tr><td>06/19/099</td><td>06/19/2009 21:17:21</td><td>1 2</td><td>152.6 nC</td></tr> <tr><td>21:19:59</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Drawer:</td><td>Closed</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Heater:</td><td>Cooling</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>58 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PTube:</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>8 pA</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>767 V</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>14 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Gas OFF</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>"C:\CHOKCHA\CHOK.TLD": record 3219 of 3219</p>	06/19/099	06/19/2009 21:17:21	1 2	152.6 nC	21:19:59				Drawer:	Closed			Heater:	Cooling				58 °C			PTube:					8 pA				767 V				14 °C			Gas OFF			
06/19/099	06/19/2009 21:17:21	1 2	152.6 nC																																							
21:19:59																																										
Drawer:	Closed																																									
Heater:	Cooling																																									
	58 °C																																									
PTube:																																										
	8 pA																																									
	767 V																																									
	14 °C																																									
Gas OFF																																										
1.90	144.17	<p>File View Read Parameters Applications Help</p> <table border="1"> <tr><td>06/20/099</td><td>06/20/2009 00:24:16</td><td>1 19</td><td>125.2 nC</td></tr> <tr><td>00:26:29</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Drawer:</td><td>Closed</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Heater:</td><td>Cooling</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>59 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PTube:</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>7 pA</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>767 V</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>14 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Gas OFF</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>"C:\CHOKCHA\CHOK.TLD": record 3266 of 3266</p>	06/20/099	06/20/2009 00:24:16	1 19	125.2 nC	00:26:29				Drawer:	Closed			Heater:	Cooling				59 °C			PTube:					7 pA				767 V				14 °C			Gas OFF			
06/20/099	06/20/2009 00:24:16	1 19	125.2 nC																																							
00:26:29																																										
Drawer:	Closed																																									
Heater:	Cooling																																									
	59 °C																																									
PTube:																																										
	7 pA																																									
	767 V																																									
	14 °C																																									
Gas OFF																																										
2.00	123.57	<p>File View Read Parameters Applications Help</p> <table border="1"> <tr><td>06/20/099</td><td>06/20/2009 01:51:55</td><td>1 32</td><td>187.2 nC</td></tr> <tr><td>21:48:53</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Drawer:</td><td>Closed</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Heater:</td><td>Cooling</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>29 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PTube:</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>7 pA</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>767 V</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>14 °C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Gas OFF</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>"C:\CHOKCHA\CHOK.TLD": record 3299 of 4046</p>	06/20/099	06/20/2009 01:51:55	1 32	187.2 nC	21:48:53				Drawer:	Closed			Heater:	Cooling				29 °C			PTube:					7 pA				767 V				14 °C			Gas OFF			
06/20/099	06/20/2009 01:51:55	1 32	187.2 nC																																							
21:48:53																																										
Drawer:	Closed																																									
Heater:	Cooling																																									
	29 °C																																									
PTube:																																										
	7 pA																																									
	767 V																																									
	14 °C																																									
Gas OFF																																										

จากการศึกษาลักษณะ โกลว์เคิร์ฟของพลีกที่แอลดีที่ได้โดยได้ทำการเปลี่ยนปริมาณสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 0.15 ถึง 2.00 ไมล์เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.4 ถึง 5.15



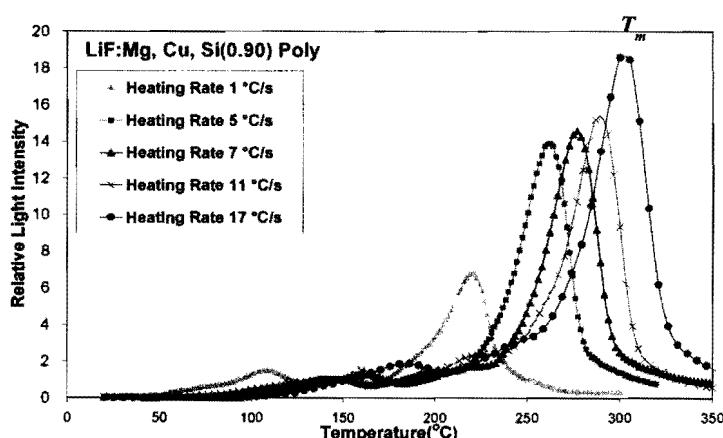
ภาพที่ 4.27 ลักษณะ โกลว์เคิร์ฟของพลีกโพลีชีนิคลิเชียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วย แมgnีเซียม คopoly เปอร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.20, 0.05 และ 0.90 ไมล์เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาลักษณะ โกลว์เคิร์ฟของพลีกที่แอลดีที่ปลูกได้หลังจากการนำที่แอลดีไปฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณรังสี 1mGy. พบว่าลักษณะ โกลว์เคิร์ฟที่ได้มีอีเดินปริมาณสารเจือชิลิกอน 0.15, 0.30 0.50 และ 0.70 ไมล์เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีลักษณะคล้ายกันคือมีพีค 3 พีค โดยมีตำแหน่งพีคที่ 1 ที่ อุณหภูมิประมาณ 148 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพีคที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 260 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งพีคที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 276 องศาเซลเซียส ส่วนลักษณะ โกลว์เคิร์ฟที่ปริมาณสารเจือชิลิกอน 0.90 ไมล์เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีพีค 3 พีค โดยมีตำแหน่งพีคที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 137 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพีคที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 205 องศาเซลเซียส และตำแหน่งพีคที่ 3 ที่ อุณหภูมิประมาณ 274 องศาเซลเซียส ส่วนลักษณะ โกลว์เคิร์ฟที่ปริมาณสารเจือชิลิกอน 1.20 ไมล์ เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีพีค 3 พีค โดยมีตำแหน่งพีคที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 102 องศาเซลเซียส ตำแหน่ง พีคที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 162 องศาเซลเซียส และตำแหน่งพีคที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 265 องศาเซลเซียส และที่ปริมาณสารเจือชิลิกอน 1.50 ไมล์เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีพีค 4 พีค โดยมีตำแหน่งพีคที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพีคที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียส และตำแหน่งพีคที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 261 องศาเซลเซียส และตำแหน่งพีคที่ 4 ที่อุณหภูมิ ประมาณ 300 องศาเซลเซียส และลักษณะ โกลว์เคิร์ฟที่ปริมาณชิลิกอนที่ 1.70 ถึง 2.00 ไมล์ เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีลักษณะคล้ายกันคือมีพีค 3 พีค โดยมีตำแหน่งพีคที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 145 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพีคที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 185 องศาเซลเซียส และตำแหน่งพีคที่ 3 ที่ อุณหภูมิประมาณ 260 องศาเซลเซียส

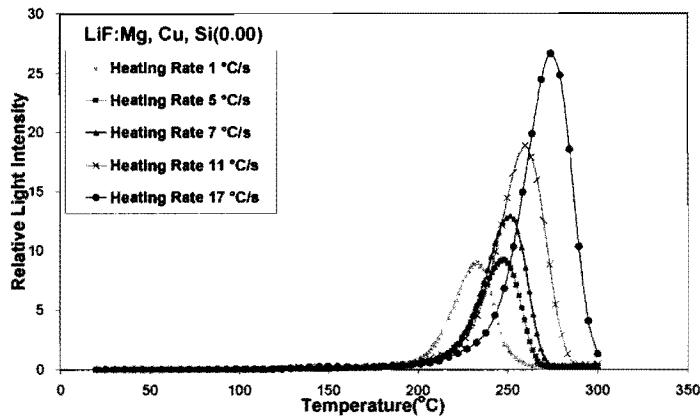
ส่วนลักษณะ โกลว์เคิร์ฟของพลีกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) มีตำแหน่งพิกที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 165 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพิกที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 207 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพิกที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 258 องศาเซลเซียสและตำแหน่งพิกที่ 4 ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส

2) การหาความถึกของหุ้นกับดักโดยวิธีคำนวณจากค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจนของพลีก

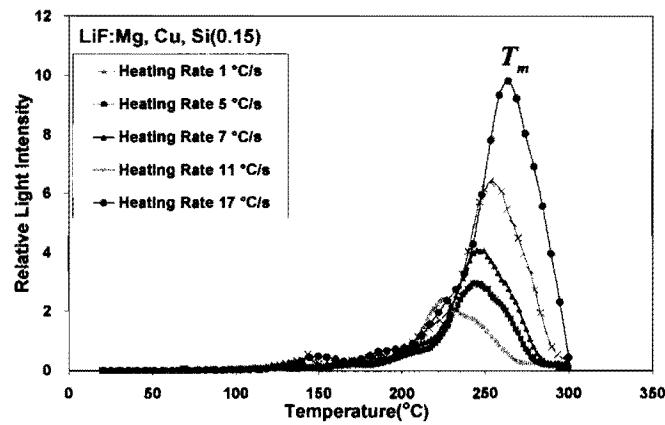
ได้ทำการทดลองคำนวณค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจนของพลีกโพลี พลีก เชิงเดียว และพลีกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนอัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณแสงตั้งแต่ 1 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้ คือนำเม็ดพลีกที่ได้ไปฉายรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ที่ปริมาณรังสี 3 mGy. จากนั้นทำการวิเคราะห์และประเมินค่าปริมาณรังสีค่าวายเครื่องอ่าน TLD รุ่น 3500 ของบริษัท Harshaw – Bicron โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส และทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดพลีกที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 องศาเซลเซียส ต่อวินาที ตามลำดับ จากนั้นทำการบันทึกลักษณะ โกลว์เคิร์ฟด้วยโปรแกรม CGCD แสดงในภาพที่ 4.28 ถึง 4.40



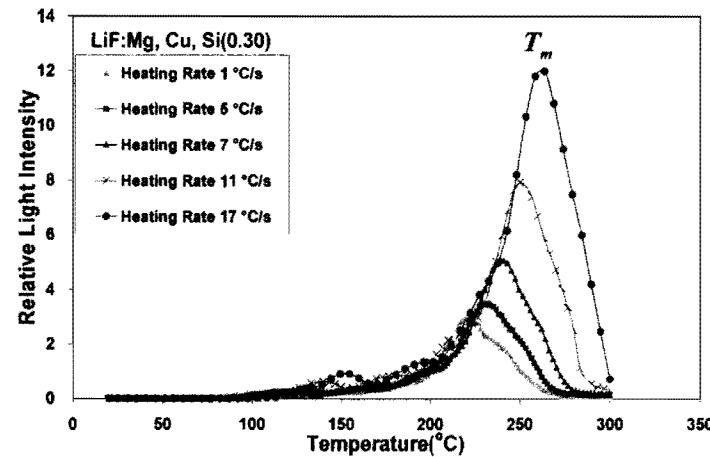
ภาพที่ 4.28 ตำแหน่งอุณหภูมิพิกหลัก (T_m) ของพลีกโพลี บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดพลีก



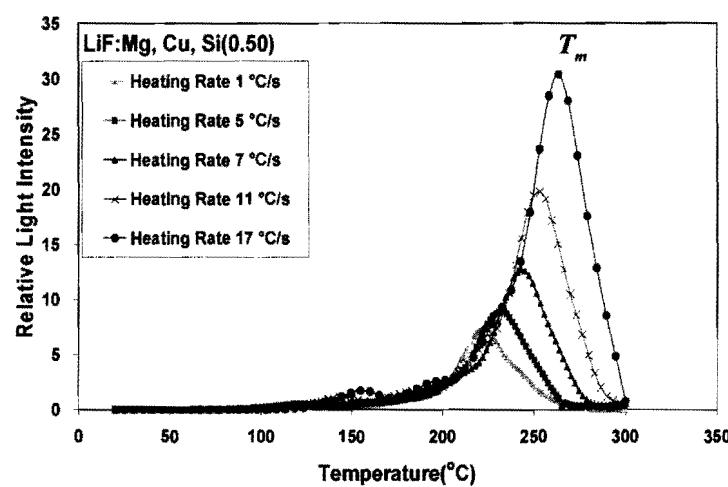
ภาพที่ 4.29 คำแนะนำอุณหภูมิพิกัดลักษณะ (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.00) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



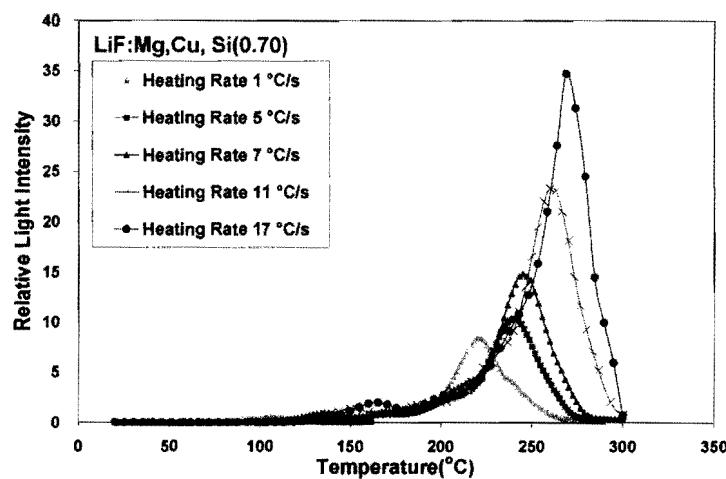
ภาพที่ 4.30 คำแนะนำอุณหภูมิพิกัดลักษณะ (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.15) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



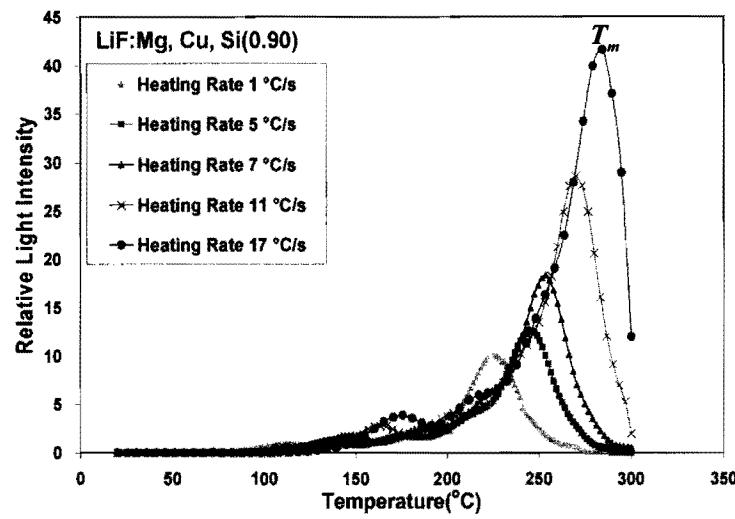
ภาพที่ 4.31 คำแนะนำอุณหภูมิพิกัดลักษณะ (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.30) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



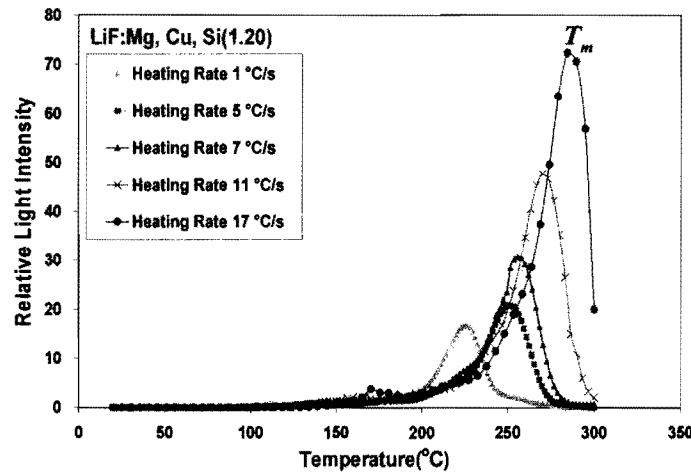
ภาพที่ 4.32 คำแนะนำอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.50) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



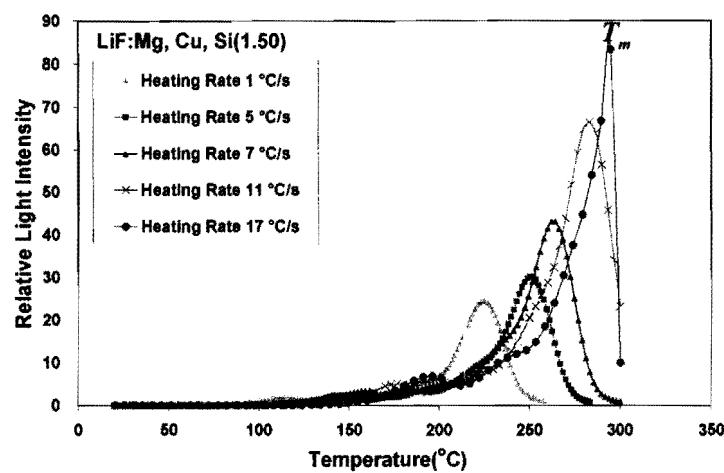
ภาพที่ 4.33 คำแนะนำอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.70) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



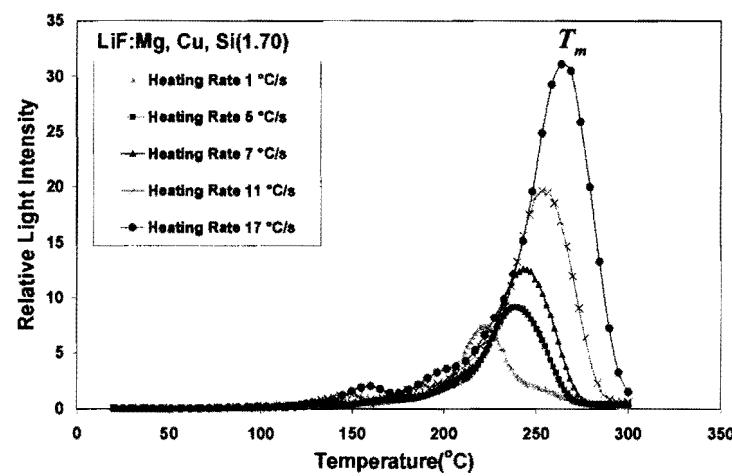
ภาพที่ 4.34 ตำแหน่งอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.90) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



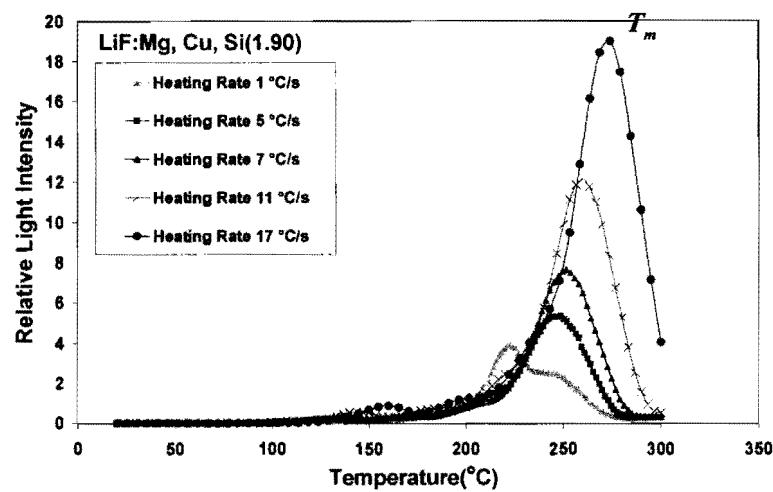
ภาพที่ 4.35 ตำแหน่งอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.20) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



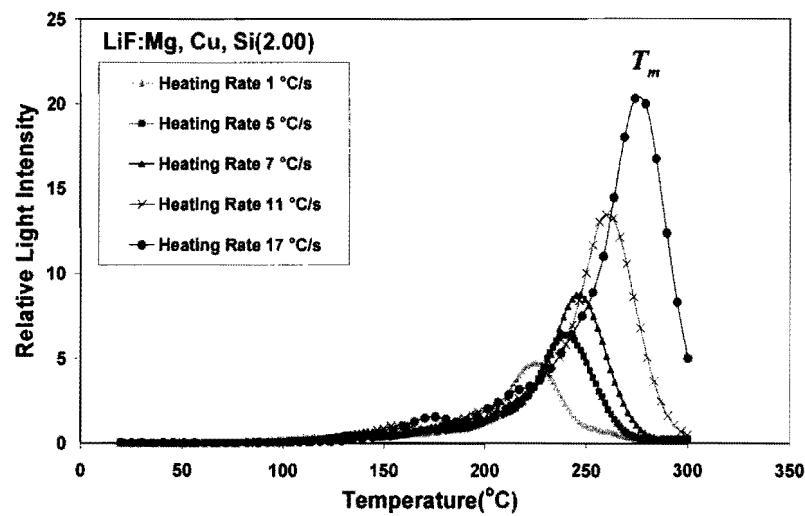
ภาพที่ 4.36 ตำแหน่งอุณหภูมิพีกหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.50) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



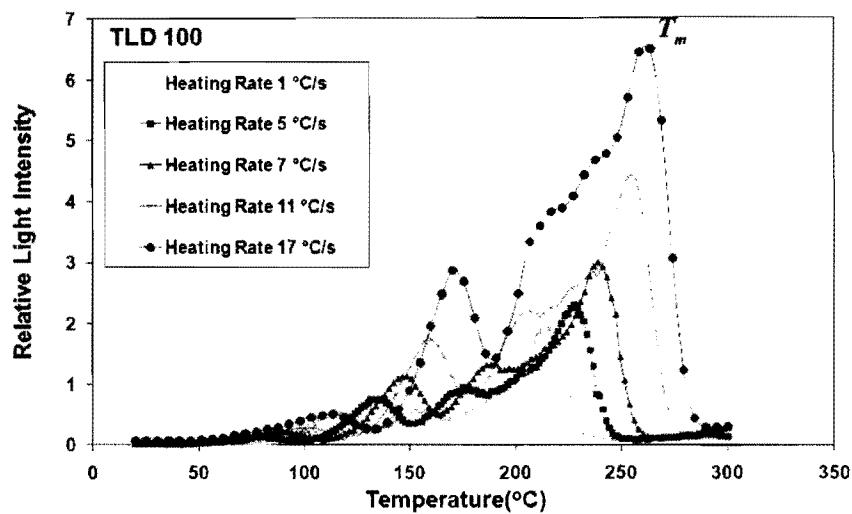
ภาพที่ 4.37 ตำแหน่งอุณหภูมิพีกหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.70) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



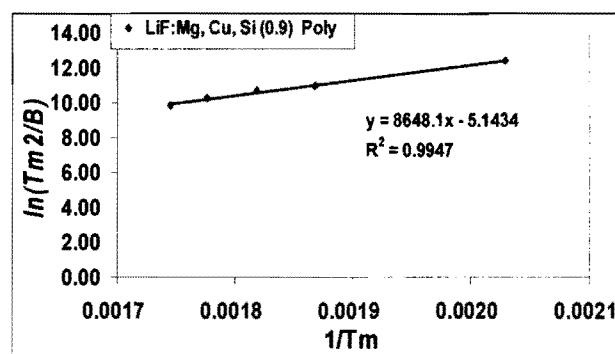
ภาพที่ 4.38 ตำแหน่งอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.90) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



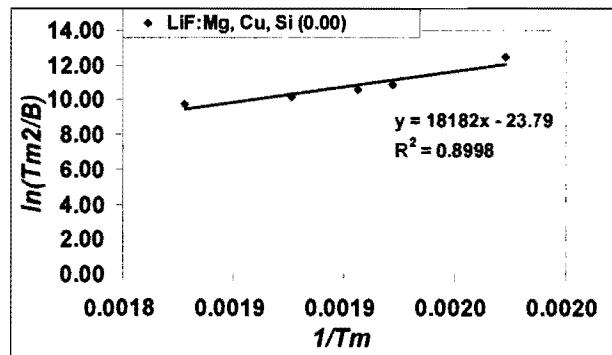
ภาพที่ 4.39 ตำแหน่งอุณหภูมิพีคหลัก (T_m) ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si(2.00) บันทึกด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



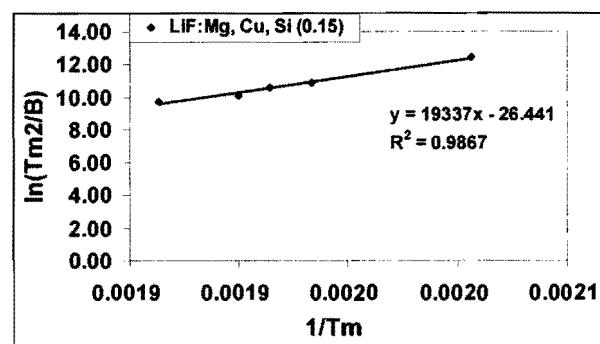
ภาพที่ 4.40 ตำแหน่งอุณหภูมิพิกัด (T_m) ของผลึกที่แยกตัวที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของ บริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) นับที่กดด้วยโปรแกรม CGCD เมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราอุณหภูมิที่ให้กับเม็ดผลึก



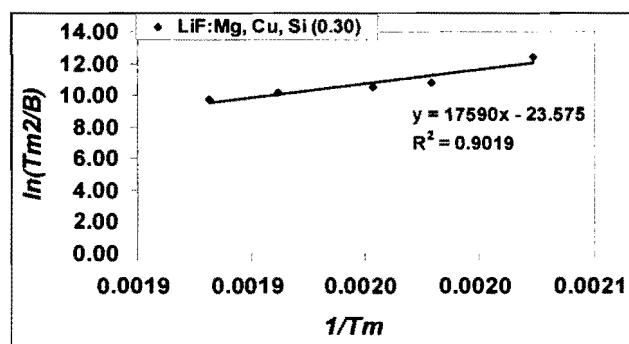
ภาพที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ ให้กับผลึกโพลีที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



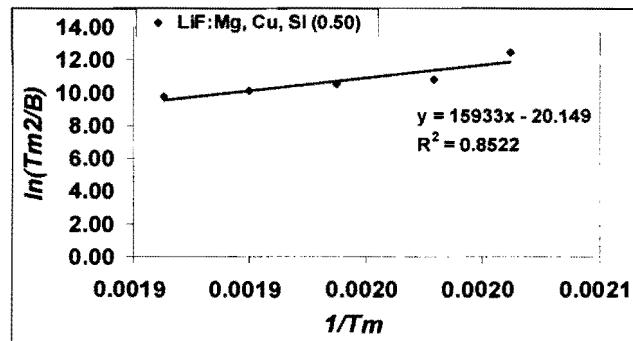
ภาพที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.00) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



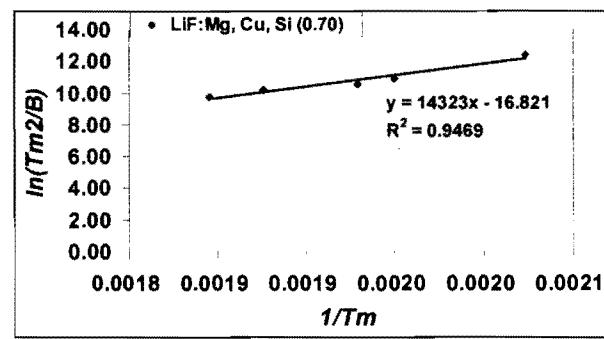
ภาพที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.15) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17°C/s



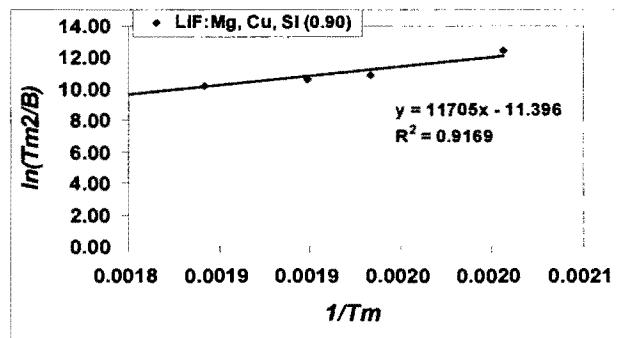
ภาพที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.30) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17°C/s



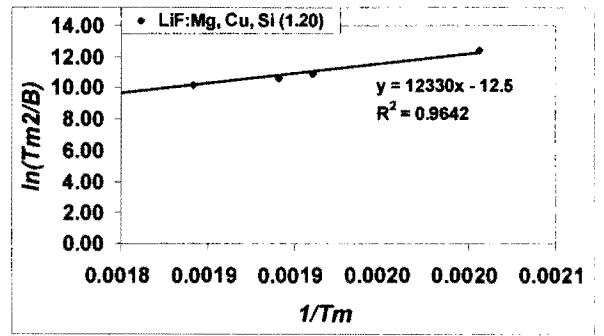
ภาพที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.50) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17°C/s



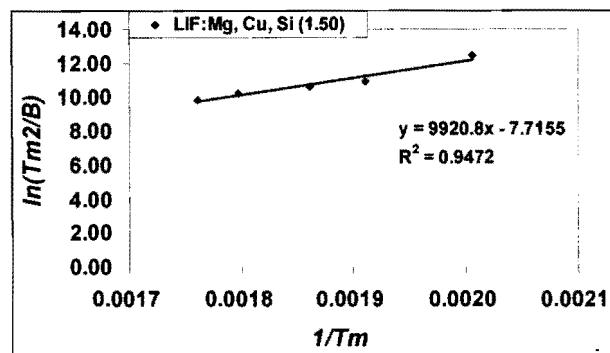
ภาพที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.70) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



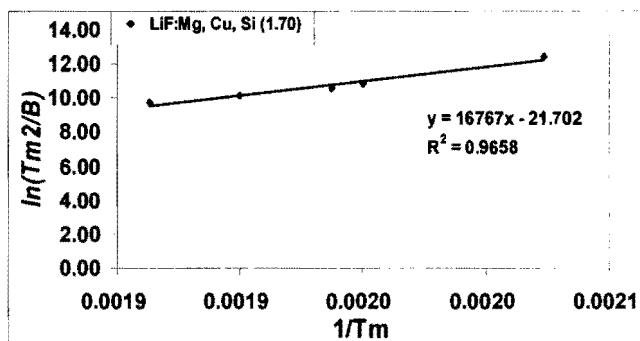
ภาพที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.90) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



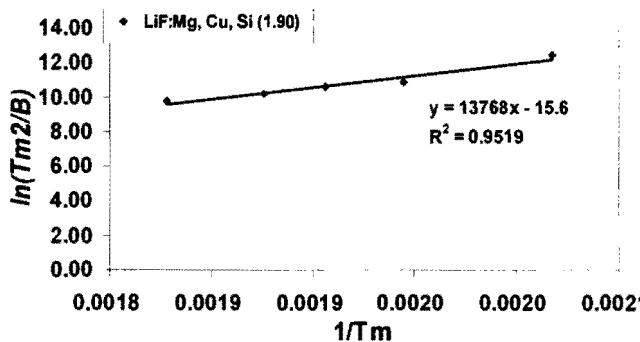
ภาพที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.20) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



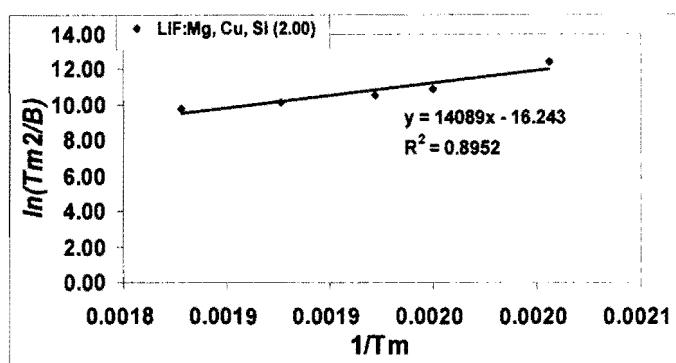
ภาพที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.50) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



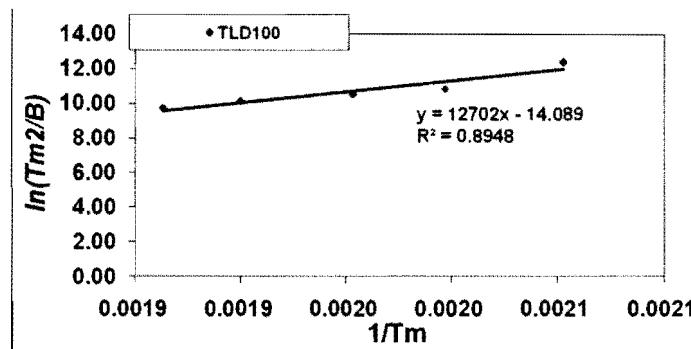
ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.70) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.90) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (2.00) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s



ภาพที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของ T_m^2 / β กับ $1/T_m$ ของผลึกที่แยกตีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 1, 5, 7, 11 และ 17 °C/s
จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้โน๊ตบุ๊กของแรนดอล์ฟและวิลคินส์ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 1

$$\ln \frac{T_m^2}{\beta} - \left(\frac{E}{k} \right) \frac{1}{T_m} = \ln \frac{E}{sk} \quad (1)$$

เมื่อ T_m คือ ตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลัก

β คือ อัตราความร้อนที่ให้กับเม็ดที่แยกตีขยะอ่อนปริมาณแสง

K คือ ค่าคงที่ Boltzmann's

E คือ activation energy

s คือ frequency factor

จากการศึกษาเมื่อทำการคำนวณในเบื้องต้นพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความเข้มแสงเทอร์โนฉู มินเนสเซนต์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มค่าอัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณแสงตั้งแต่ 1 ถึง 20 องศาเซลเซียส มีโกลว์คิร์ฟที่ให้อุณหภูมิของพีกหลักพีกเดียวและตำแหน่งอุณหภูมิของพีกหลักมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนโดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบพลังงานจนคำดับที่หนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามโมเดลของแรนคออล์และวิลคินส์ ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจนของผลลัพธ์เชิงฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คอมป์เวอร์ และซิลิกอน

ชนิดที่แอ็อดดี LiF: Mg(0.2), Cu(0.05), Vary Si (mole %)	ค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานจน	
	E(eV)	s(sec ⁻¹)
Poly	0.7449	1.481e ⁶
Si (0.00)	1.5662	3.904x10 ¹⁴
Si (0.15)	1.6657	5.882x10 ¹⁵
Si (0.30)	1.5152	3.046x10 ¹⁴
Si (0.50)	1.3725	8.972x10 ¹²
Si (0.70)	1.2338	2.893x10 ¹¹
Si (0.90)	1.0082	1.041x10 ⁹
Si (1.20)	1.0621	3.309x10 ⁹
Si (1.50)	0.8546	2.225x10 ⁷
Si (1.70)	1.4443	4.461x10 ¹³
Si (1.90)	1.1860	8.201x10 ¹⁰
Si (2.00)	1.2136	1.596x10 ¹¹
TLD 100	1.0941	1.669x10 ¹⁰

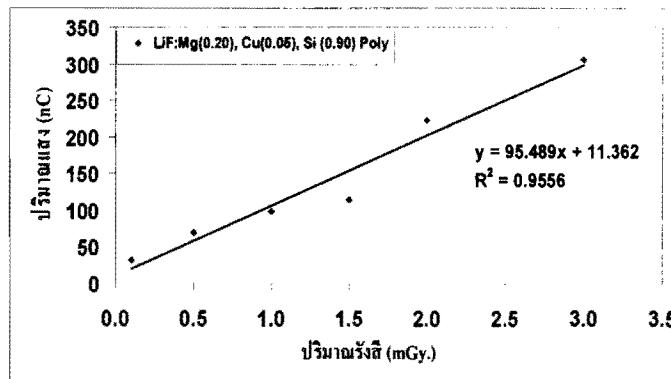
จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลลัพธ์เมื่อทำการคำนวณจะได้ค่า E เท่ากับ 0.7449 eV และค่า s เท่ากับ 1.481x10⁶ sec⁻¹ และในผลลัพธ์เชิงเดียวที่ปริมาณความเข้มข้นสารเจือซิลิกอน 0.00 โมล เปอร์เซนต์ ได้ค่า E เท่ากับ 1.5662 eV และค่า s เท่ากับ 3.904x10¹⁴ sec⁻¹ ที่ปริมาณความเข้มข้นสารเจือซิลิกอน 0.15 โมลเปอร์เซนต์ ได้ค่า E เท่ากับ 1.6657 eV และค่า s เท่ากับ 5.882x10¹⁵ sec⁻¹

และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นสารเจือซิลิกอนจะทำให้ค่า E และ r มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ส่วนผลลัพธ์แออลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) ได้ค่า E เท่ากับ 1.0941 eV และค่า r เท่ากับ $1.669 \times 10^{10} \text{ sec}^{-1}$

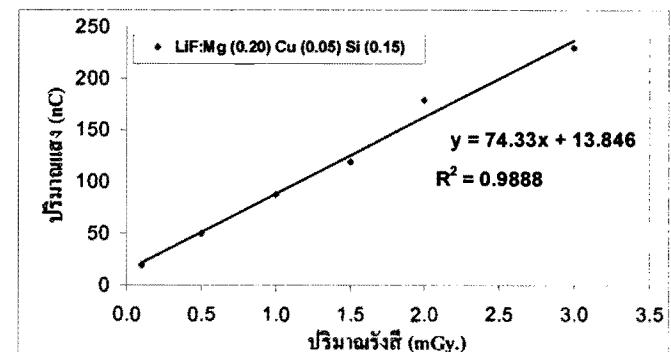
4.5.3 ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี

การวัดปริมาณรังสีด้วยที่แออลดีนั้น จัดว่าเป็นการวัดปริมาณรังสีทางอ้อม โดยใช้หลักการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกจากที่แออลดีกับปริมาณรังสีที่ที่แออลดีได้รับมาก่อน หน้าี้นั้น โดยที่แออลดีที่จะต้องความสัมพันธ์ของปริมาณดังกล่าวแบบเป็นเชิงเส้น

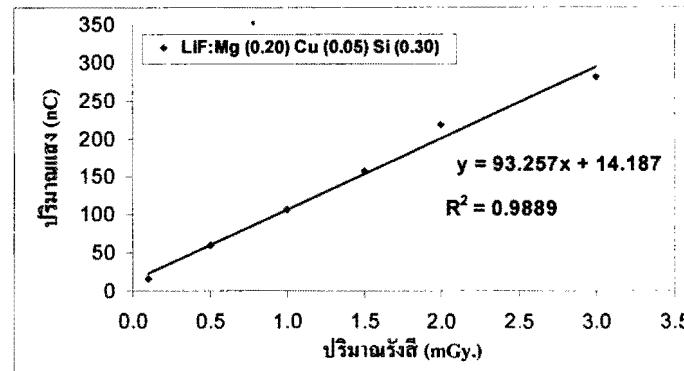
จากการนำที่แออลดีไปจายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณรังสีตั้งแต่ $0.10, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ และ 3.00 mGy . และนำໄออย่านค่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกจากที่แออลดี ได้ผลการทดลองในภาพที่ 4.54 ถึง 4.65



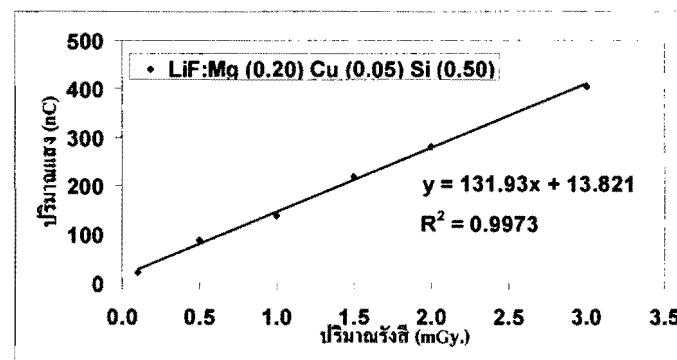
ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมากับปริมาณรังสีเอกซ์ที่ปริมาณต่างๆ กันของผลึกโพลีชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.90)



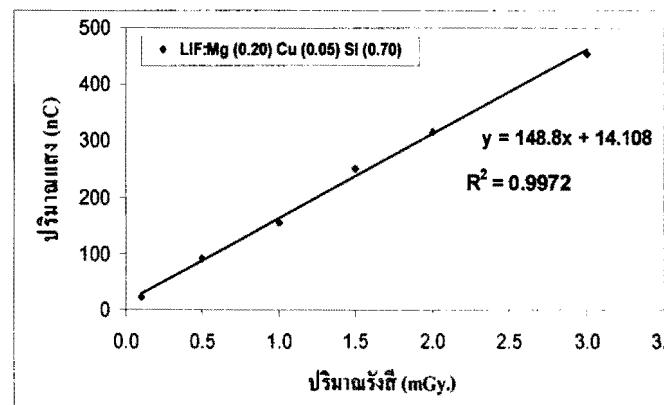
ภาพที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.15)



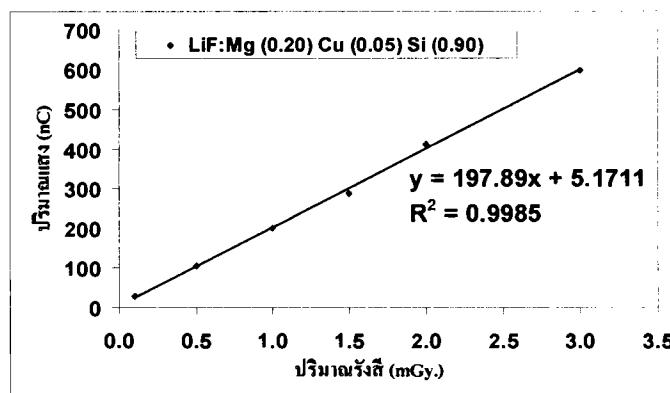
ภาพที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.30)



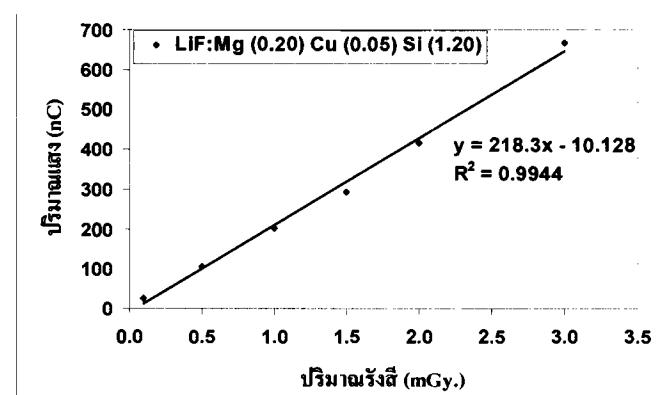
ภาพที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.50)



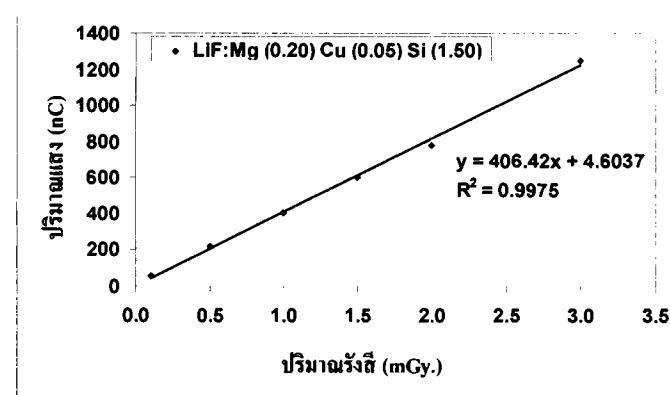
ภาพที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.70)



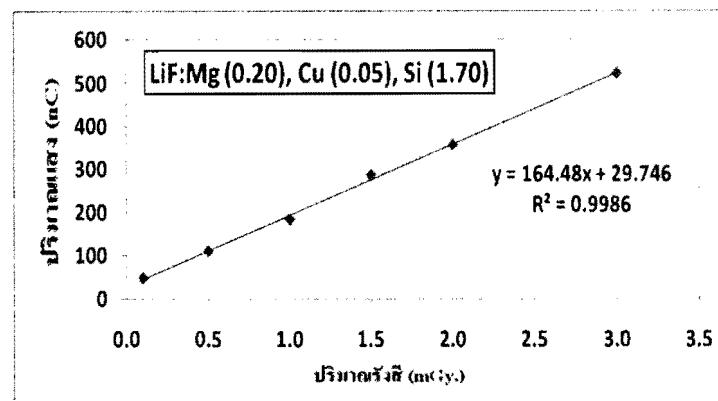
ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (0.90)



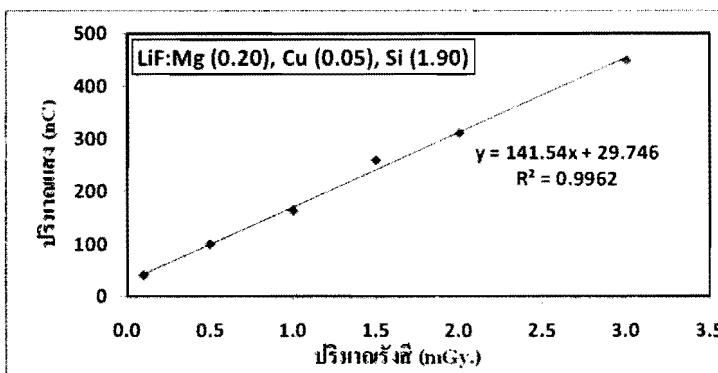
ภาพที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.20)



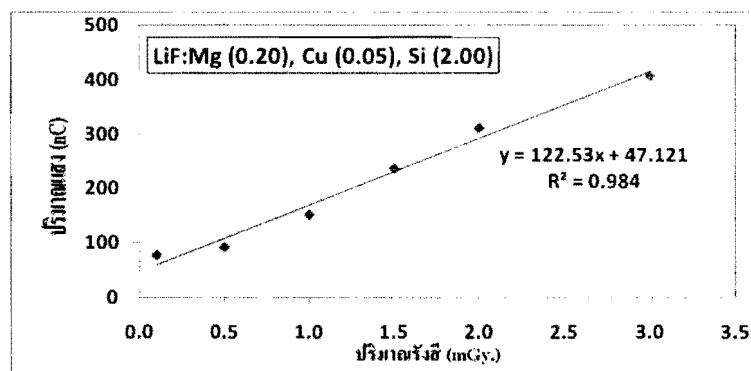
ภาพที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเชิงเดี่ยวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.50)



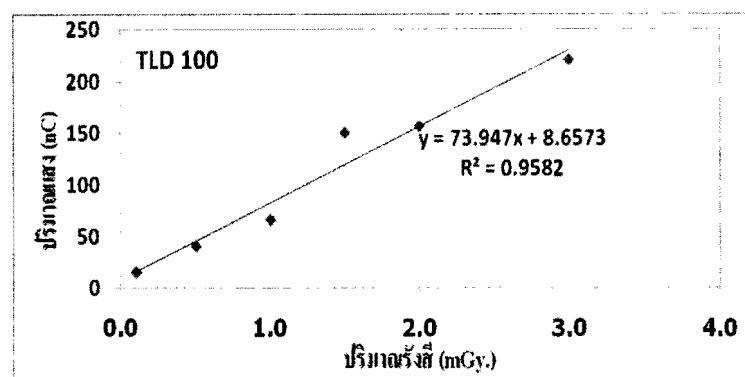
ภาพที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเซิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.70)



ภาพที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเซิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (1.90)



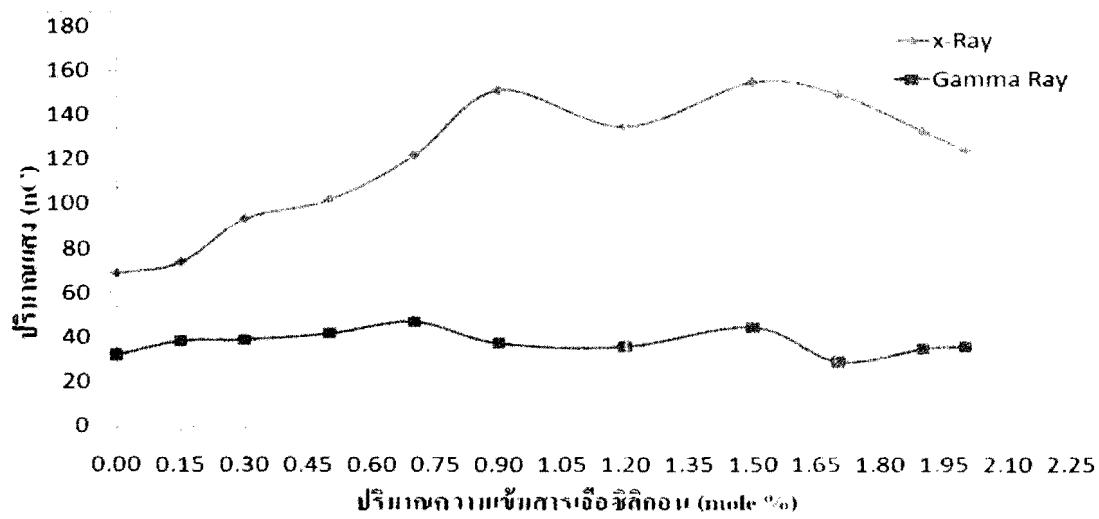
ภาพที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกเซิงเดียวชนิด LiF : Mg (0.20), Cu (0.05), Si (2.00)



ภาพที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับปริมาณรังสีที่ให้กับผลึกที่แอลูมิเนียมและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100)

จากภาพที่ 4.54 ถึง 4.65 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกจากที่แอลูมิเนียมรังสีที่ที่แอลูมิเนียมได้รับมีความสัมพันธ์กันแบบกราฟเส้นตรง โดยมีความเป็นเชิงเส้นคือ มีค่า correlation coefficient เท่ากับ 0.9 ทั้งที่แอลูมิเนียมโพลี โพลีเชิงเดียวและผลึกที่แอลูมิเนียมและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) สรุปได้ว่าที่แอลูมิเนียมที่ได้จากการวิจัย มีคุณสมบัติข้อนี้ทั้งหมดกับที่แอลูมิเนียมที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ซึ่งใช้สารเจือเป็น Mg และ Ti ที่เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรม

4.5.4 ผลของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี



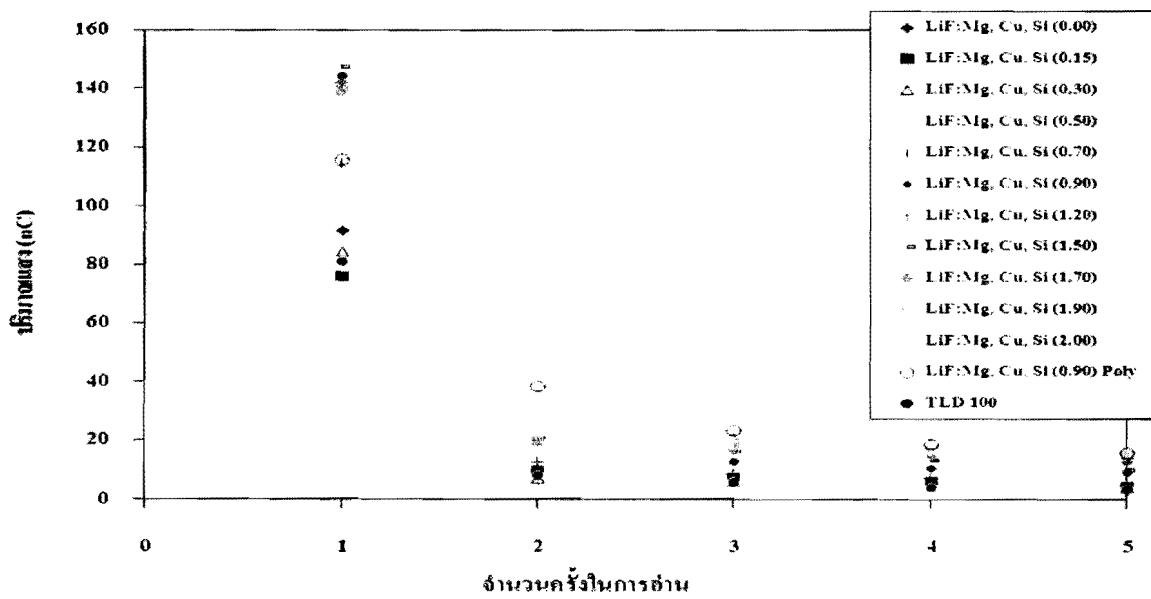
ภาพที่ 4.66 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามีต่อการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอน 0.00 ถึง 2.00 โมลperอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการฉายรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ปริมาณ 1mGy.

จากผลการศึกษาความไวต่อการตอบสนองทางรังสีหลังจากนำผลึกที่แอลดี ไปผ่านการฉายรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ปริมาณ 1mGy. พบว่า ผลึกเซิงเดียวที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือจิลิกอน 0.00 – 0.50 ไม่เปลี่ยนรูปเป็นร่องรอยเด่นๆ เมื่อนำไปทดสอบกับรังสีเอกซ์จะมีปริมาณแสงมากกว่า การนำไปทดสอบกับรังสีแกมมาประมาณ 1 เท่า และที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือจิลิกอน 0.70 – 2.00 ไม่เปลี่ยนรูปเป็นร่องรอยเด่นๆ เมื่อนำไปทดสอบกับรังสีเอกซ์จะมีปริมาณแสงมากกว่าการนำไปทดสอบกับรังสีแกมมาประมาณ 2 เท่า

ดังนั้นในการศึกษาคุณสมบัติของที่แอลดี ในส่วนของลักษณะ โกลว์เคิร์ฟ ความเป็นเชิงเส้น การตกค้างของปริมาณแสง การนำกลับมาใช้งานซ้ำๆ และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานลงน้ำของผลึก ผู้วิจัยจะทำการศึกษาโดยใช้การทดสอบกับรังสีเอกซ์เท่านั้น

4.5.4 การตกค้างของปริมาณแสง (Residual Dose)

การศึกษาสัญญาณแสงตกค้างในผลึกโพลี ผลึกเซิงเดียวและผลึกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) ทำการทดสอบคุณสมบัติ การตกค้างของปริมาณแสง โดยฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1 mGy. จากนั้นทำการอ่านปริมาณแสงได้ผลการทดลอง แสดงในภาพที่ 4.50



ภาพที่ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจำนวนครั้งในการอ่านซ้ำ กับปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานามาเพียง : การอ่าน หมายถึง การกระตุ้นอะตอมด้วยเทคนิคการให้ความร้อนตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาปริมาณแสงตกค้างในผลึกโพลีและผลึกเซิงเดี่ยวเมื่อทำการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1 mGy. จากนั้นทำการอ่านปริมาณแสงช้า 5 ครั้ง เพื่อทดสอบปริมาณแสงตกค้างพบว่าหลังจากอ่านปริมาณแสงครั้งที่ 2 ปริมาณแสงตกค้างของผลึกโพลีจะมีค่าประมาณ 39 nC และเมื่ออ่านในครั้งที่ 5 จะมีปริมาณแสงตกค้างประมาณ 15 nC อาจเนื่องมาจากการถูกดูดซึมของผลึกโพลีมีสีขาวขุ่น ดังนั้นเมื่อทำการอ่านปริมาณแสงผลึกจะมีการดูดกลืนแสงไว้บางส่วนผลึกจึงไม่สามารถปล่อยแสงออกมากได้ทั้งหมด ส่วนในผลึกเซิงเดี่ยวที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือชิลิกอนตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.00 โมลเปอร์เซนต์ หลังจากอ่านปริมาณแสงครั้งที่ 2 พบร่วมกับปริมาณแสงตกค้างของผลึกนี้ค่าประมาณ 20 nC และเมื่ออ่านในครั้งที่ 5 จะมีปริมาณแสงตกค้างประมาณ 5 nC ซึ่งมีปริมาณแสงตกค้างน้อยมาก เนื่องมาจากการถูกดูดซึมของผลึกจึงไม่มีการดูดกลืนแสงไว้ในตัวเอง ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านการวัดปริมาณรังสี

ในส่วนผลึกที่แอ็ลเดียมที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) นั้น พบร่วมกับปริมาณแสงครั้งที่ 2 ปริมาณแสงตกค้างของผลึกโพลีจะมีค่าประมาณ 10 nC และเมื่ออ่านในครั้งที่ 5 จะมีปริมาณแสงตกค้างประมาณ 5 nC

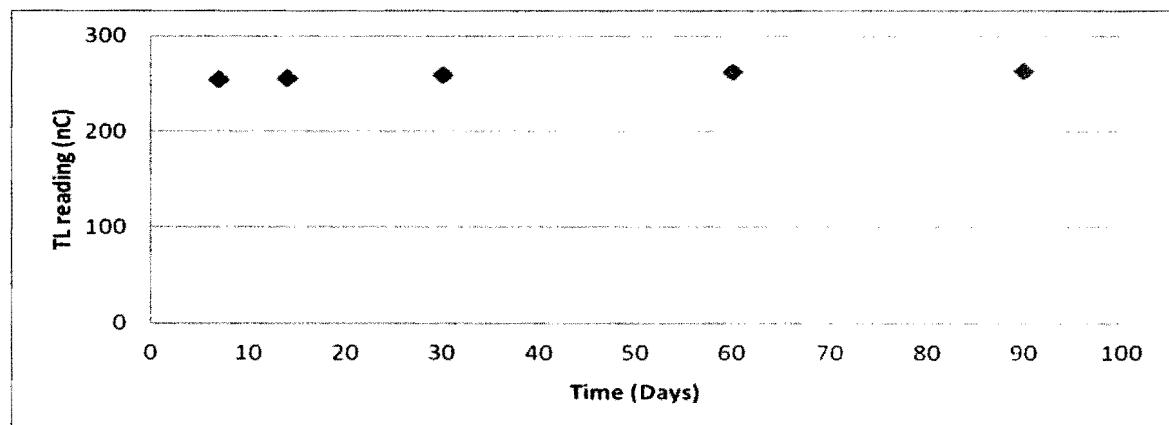
4.5.5 การทดสอบคุณสมบัติการจางหายของสัญญาณแสง (Fading)

ผลการศึกษา การทดสอบคุณสมบัติการจางหายของสัญญาณ (Fading) TLD LiF (Mg:0.2 mol% Cu:0.05 mol% Si:0.9 mol%) โดยการนำ TLD จำนวน 15 เม็ด ไปแอนนิลเพื่อให้อิเล็กตรอนลงจากกับดักอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นนำเม็ด TLD ไปฉายรังสีเอกซ์ที่เทคนิคการฉาย 30 mA 100 kV ปริมาณรังสี Dose 300 mRem แล้วอ่านค่าอย่างต่อเนื่องอ่าน TLD โดยนำออกมารอ 3 นาที ในวันที่ 7 วันที่ 14 วันที่ 30 วันที่ 60 และวันที่ 90 หลังจากฉายรังสี ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัญญาณแสงที่ปล่อยมาจากที่แอลดี หลังจากทิ้งช่วงเวลาการอ่านประมาณแสง หลังจากถ่ายรังสีที่เวลาแตกต่างกัน

TLD Chip No	Time(Days)	Reading (nC)	$\bar{X} \pm SD$
B5	7	251.5	254.1 ± 4.702
D7		259.5	
J6		251.1	
C5	14	255.9	255.1 ± 1.044
F10		255.3	
G6		253.9	
D10	30	289.9	558.7 ± 27.83
H3		249.6	
E2		236.5	
E1	60	268.7	262.9 ± 10.24
F3		251.1	
E6		268.9	
E8	90	268.9	263.0 ± 10.27
L7		251.1	
A10		268.9	

จากตารางที่ 4.5 นำมาขึ้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.68

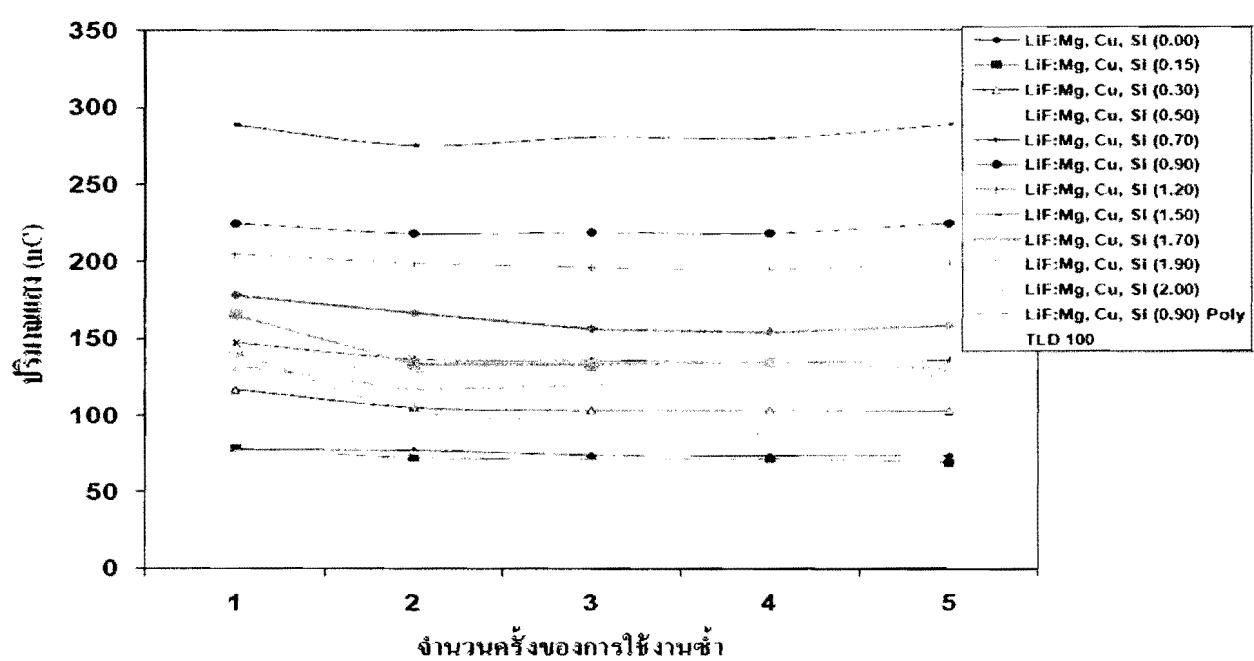


ภาพที่ 4.68 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณแสง (TL Reading ;nC) กับเวลา (Time;Days) เพื่อวิเคราะห์การจางหายไปของสัญญาณแสง (Fading)

จากภาพที่ 4.68 แสดงให้เห็นว่า ในการอ่าน ที แอล ดี ด้วยเครื่องอ่าน ที แอล ดี หลังจาก การฉายรังสีและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องผลที่ได้ไม่พบรการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแสง กล่าวอีกนัย หนึ่งก็คือไม่พบรการจากหายไปของสัญญาณแสงนั้นเอง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่ง

4.5.6 การศึกษาการนำกลับมาใช้งานซ้ำของเม็ดพลีก

จากการทดสอบคุณสมบัติการนำกลับมาใช้งานซ้ำของเม็ดพลีก ผลึกเชิงเดียว และเม็ดพลีกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) โดยใช้งานซ้ำ ๆ จำนวน 5 ครั้ง หลังจากการฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1 mGy. จากนั้นทำการอ่านปริมาณแสงที่ได้ผลการทดลอง แสดงในภาพที่ 4.69



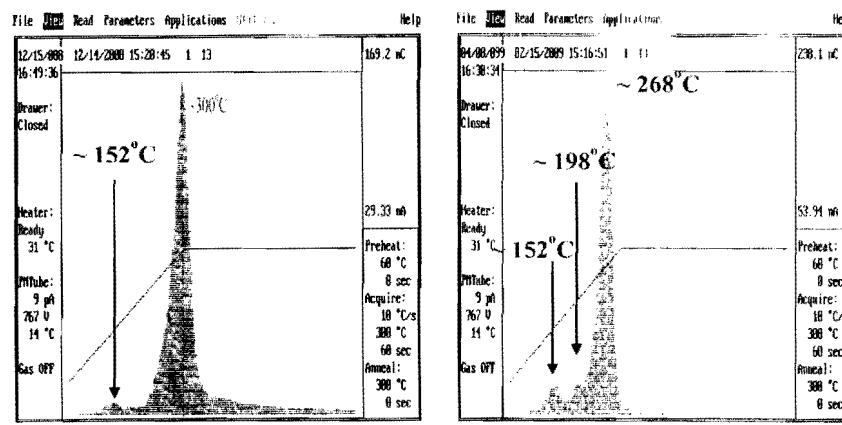
ภาพที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงกับจำนวนครั้งที่ใช้งานซ้ำของเม็ดพลีก

จากการศึกษาปริมาณแสงที่ได้หลังจากนำกลับมาใช้งานซ้ำของเม็ดพลีก ผลึกเชิงเดียวและเม็ดพลีกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) ไปฉายรังสีเอกซ์ที่ปริมาณ 1 mGy. จากนั้นอ่านปริมาณแสงที่ได้และทำการนำกลับมาใช้งานซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อทดสอบปริมาณแสงที่ได้โดยคิดเทียบกับปริมาณแสงที่ได้จากการใช้งานครั้งที่ 1 พบว่าปริมาณแสงโดยเฉลี่ยที่ได้ในเม็ดพลีก โลดคล่องประมาณ 35 เปอร์เซนต์ ส่วนในเม็ดพลีกเชิงเดียวที่ปริมาณความเข้มข้นสารเชื้อชิลิกอน 0.00 และ 0.15 โมลเปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณแสงโดยเฉลี่ยจะลดลงประมาณ 5 เปอร์เซนต์ที่ปริมาณความเข้มข้นสารเชื้อชิลิกอน 0.30, 0.50, 0.70 และ 0.90 โมลเปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณแสงโดยเฉลี่ย

จะลดลงประมาณ 10 เปอร์เซนต์ และที่ปริมาณความเข้มข้นสารเจือชิลิกอน 1.20 ถึง 2.00 โมล เปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณแสงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซนต์ เนื่องจากผลึกมีสีขาวซึ่นทำให้เกิดการดูดกลืนปริมาณแสงไว้บางส่วน

ในส่วนผลึกที่แอ็ลเดิร์ฟลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) นั้น พบว่าปริมาณแสงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซนต์ เนื่องจากผลึกมีสีขาวซึ่นทำให้เกิดการดูดกลืนปริมาณแสงไว้บางส่วน

ภาพที่ 4.70 ถึง 4.83

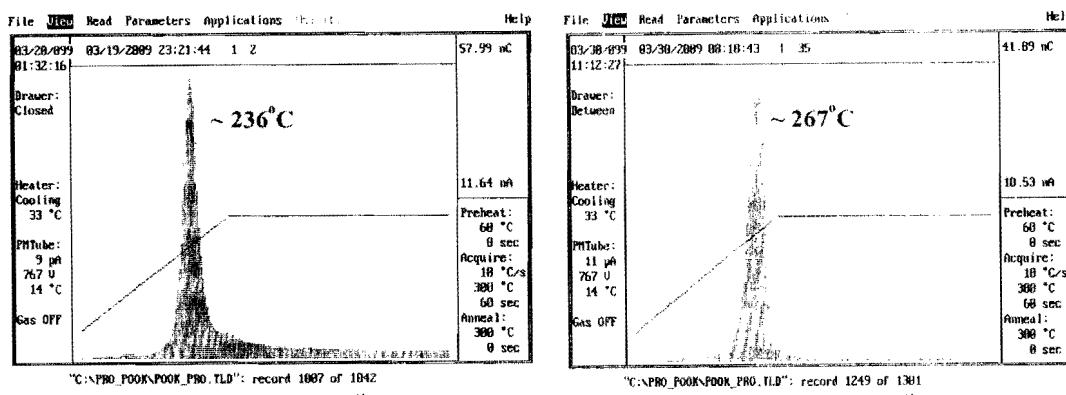


(ก) ก่อนการใช้งานช้า

(ข) หลังการใช้งานช้า

ภาพที่ 4.71 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลึกโพลีชนิดลิเธียมฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.20, 0.05 และ 0.90 โมลเปอร์เซนต์ ก่อนและหลังการใช้งานช้า ๆ

จากภาพที่ 4.71 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลึกโพลีหลังจากการใช้งานช้า พบร่วมมีพีคเกิดขึ้น 3 พีค คือพีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 152 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 198 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 268 องศาเซลเซียส

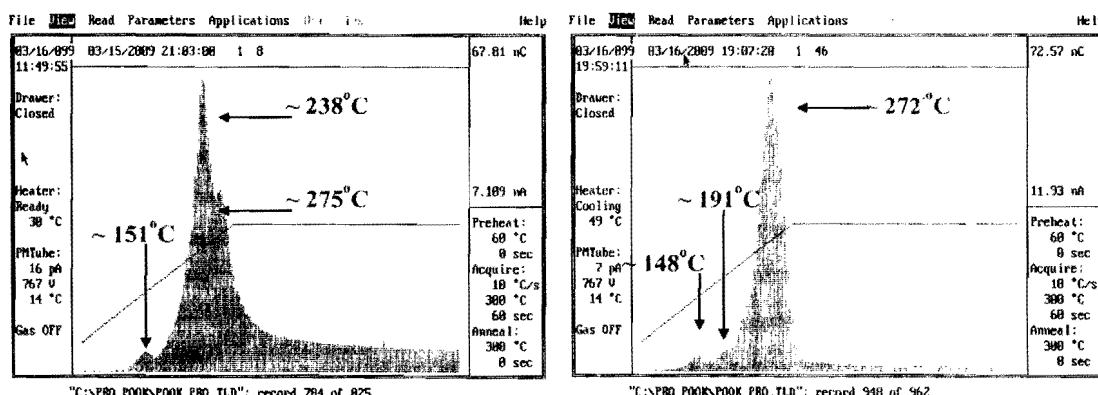


(ก) ก่อนการใช้งานซ้ำ

(ข) หลังการใช้งานซ้ำ

ภาพที่ 4.72 ตัวอย่างของผลึกเชิงเดี่ยวชนิดลิเทียมฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คอปเปอร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.00 ไมล์เปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานซ้ำ ๆ

จากภาพที่ 4.72 พบว่าก่อนการใช้งานซ้ำมีตำแหน่งพีคหลัก 1 พีคที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 236 องศาเซลเซียส และหลังจากการใช้งานซ้ำ พบว่ามีการเปลี่ยนตำแหน่งของพีคที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 267 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่างกันประมาณ 31 องศาเซลเซียส



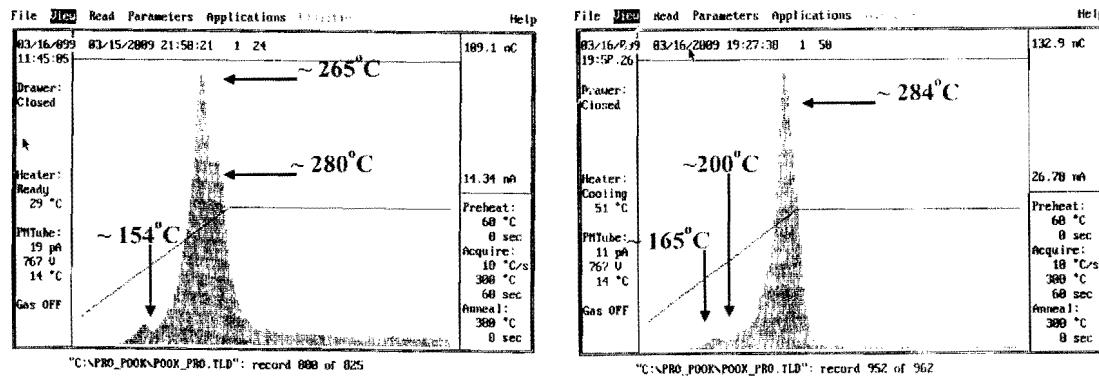
(ก) ก่อนการใช้งานซ้ำ

(ข) หลังการใช้งานซ้ำ

ภาพที่ 4.73 ตัวอย่างของผลึกเชิงเดี่ยวชนิดลิเทียมฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คอปเปอร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.15 ไมล์เปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานซ้ำ ๆ

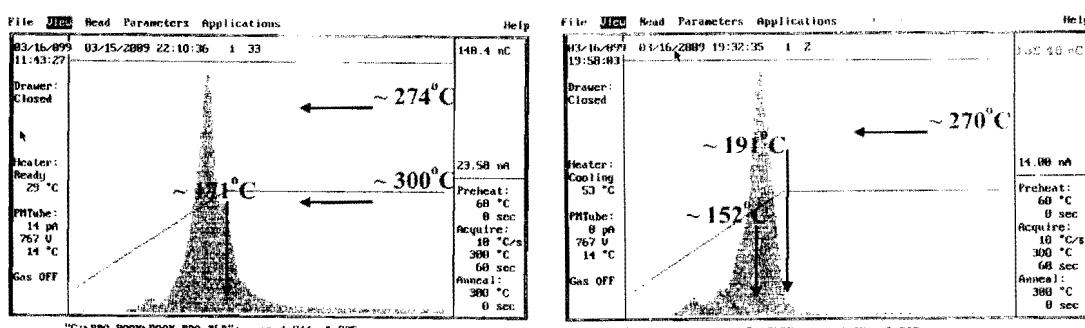
จากภาพที่ 4.73 พบว่าก่อนการใช้งานซ้ำมีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 151 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 238 องศาเซลเซียสและพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานซ้ำ พบว่ามีตำแหน่งพีค 3

พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 148 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 191 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 272 องศาเซลเซียส



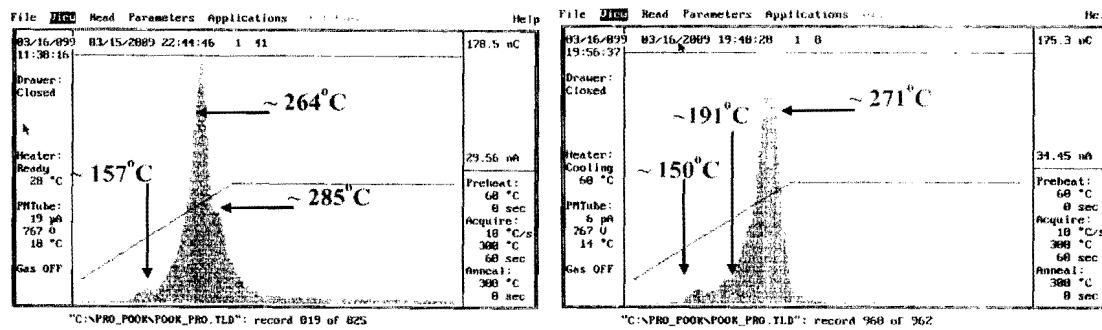
ภาพที่ 4.74 ลักษณะโกลว์เคริฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชิยมฟลูออิริด : แมgnีเชิยม คงเปื้อร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.30 โนลเปอร์เซนต์ ก่อนและหลังผ่านการใช้งานช้าๆ

จากภาพที่ 4.74 พบว่าก่อนการใช้งานช้ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 154 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 265 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 280 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานช้า พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 165 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 284 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.75 ลักษณะโกลว์เคริฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชิยมฟลูออิริด : แมgnีเชิยม คงเปื้อร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.50 โนลเปอร์เซนต์ ก่อนและหลังผ่านการใช้งานช้าๆ

จากภาพที่ 4.75 พบว่าก่อนการใช้งานซ้ำมีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 171 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 274 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานซ้ำ พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 152 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 191 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส

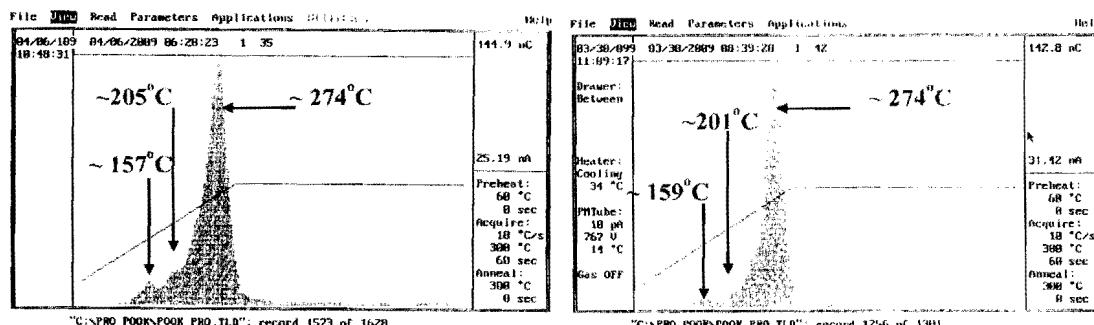


(ก) ก่อนการใช้งานซ้ำ

(ข) หลังการใช้งานซ้ำ

ภาพที่ 4.76 ลักษณะโกลว์เคริฟของผลึกเชิงเดียวชนิดลิธيومฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คลอเปอร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.70 โนลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานซ้ำๆ

จากภาพที่ 4.76 พบว่าก่อนการใช้งานซ้ำมีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 157 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 264 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 285 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานซ้ำ พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 191 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 271 องศาเซลเซียส

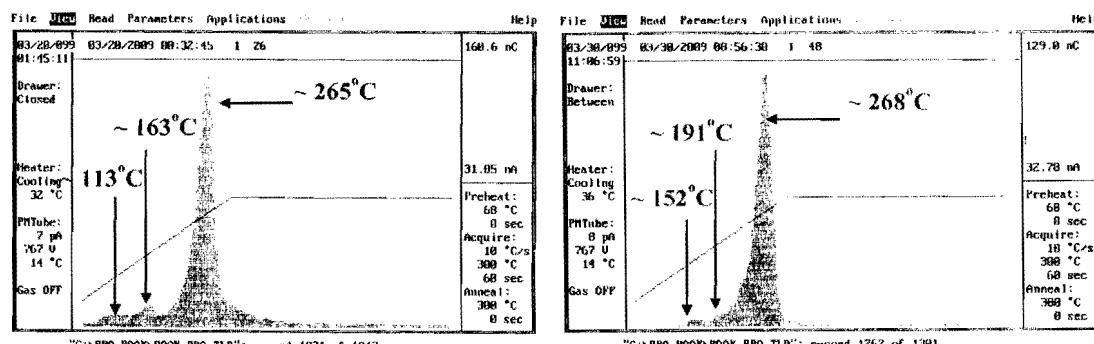


(ก) ก่อนการใช้งานซ้ำ

(ข) หลังการใช้งานซ้ำ

ภาพที่ 4.77 ลักษณะโกลว์เคริฟของผลึกเชิงเดียวชนิดลิธيومฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คลอเปอร์ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.90 โนลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานซ้ำๆ

จากภาพที่ 4.77 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คوبเปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 0.90 โมลเปอร์เซนต์ พบว่า ก่อนการใช้งานช้ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 157 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 205 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 274 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานช้า พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 159 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 201 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่ง อุณหภูมิประมาณ 274 องศาเซลเซียส

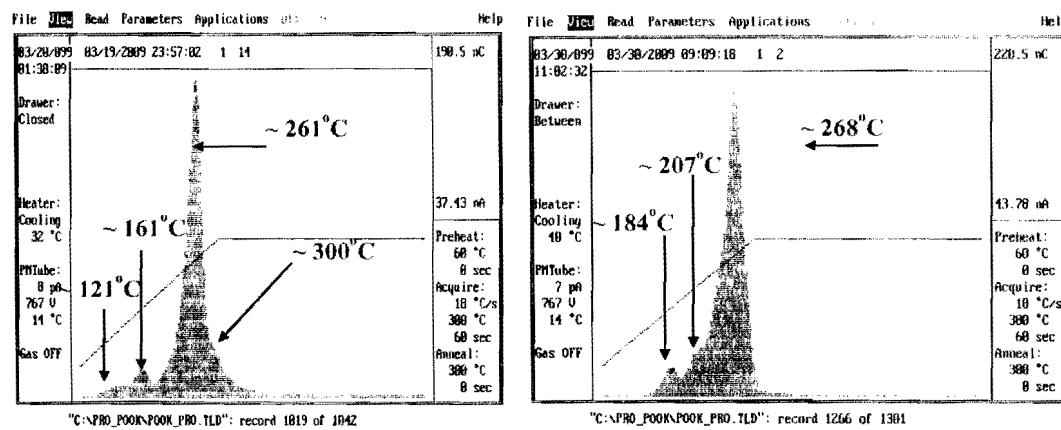


(ก) ก่อนการใช้งานช้า

(ข) หลังการใช้งานช้า

ภาพที่ 4.78 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คوبเปอร์ ซิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.20 โมลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานช้าๆ

จากภาพที่ 4.78 พบว่าก่อนการใช้งานช้ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่ง อุณหภูมิประมาณ 113 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 163 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 265 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานช้า พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 152 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 191 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 268 องศาเซลเซียส

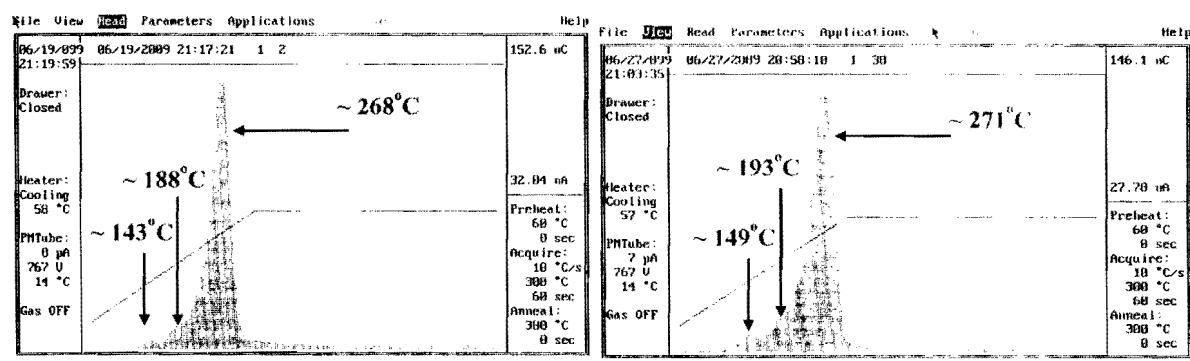


(ก) ก่อนการใช้งานช้า

(h) หลังการใช้งานช้า

ภาพที่ 4.79 ลักษณะ โกลว์คิร์ฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชียมฟลูออิริด : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.50 โนลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานช้า ๆ

จากภาพที่ 4.79 ลักษณะ โกลว์คิร์ฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชียมฟลูออิริด : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.50 โนลเปอร์เซนต์ พบว่า ก่อนการใช้งานช้ามีตำแหน่งพีค 4 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 161 องศาเซลเซียส พีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 261 องศาเซลเซียสและพีค 4 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานช้า พบว่า มีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 184 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่ง อุณหภูมิประมาณ 207 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 268 องศาเซลเซียส

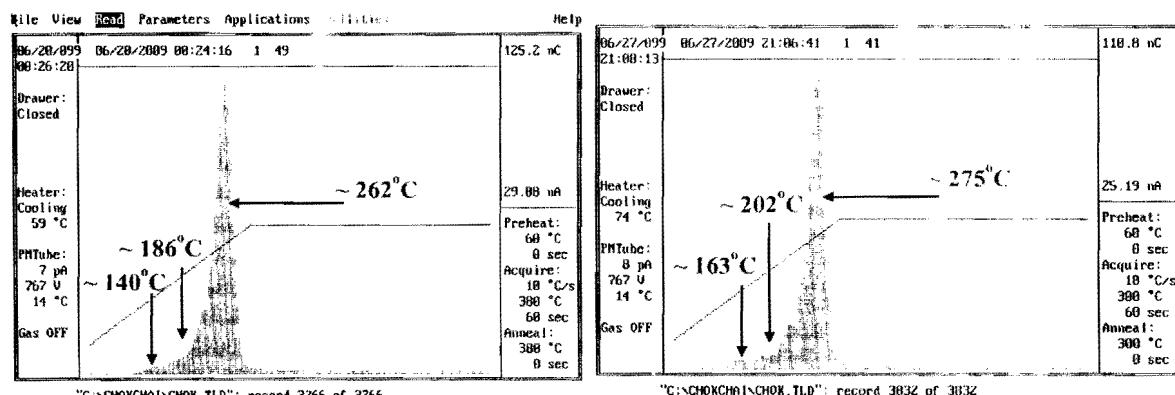


(g) ก่อนการใช้งานช้า

(h) หลังการใช้งานช้า

ภาพที่ 4.80 ลักษณะ โกลว์คิร์ฟของผลึกเชิงเดียวชนิดคลิเชียมฟลูออิริด : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.70 โนลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานช้า ๆ

จากภาพที่ 4.80 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลีกเชิงเดี่ยวชนิดลิเทียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.70 โนมล เปอร์เซนต์ พบว่าก่อนการใช้งานข้ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 143 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 188 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 268 องศาเซลเซียสและหลังจากการใช้งานข้า พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 149 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 193 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 271 องศาเซลเซียส

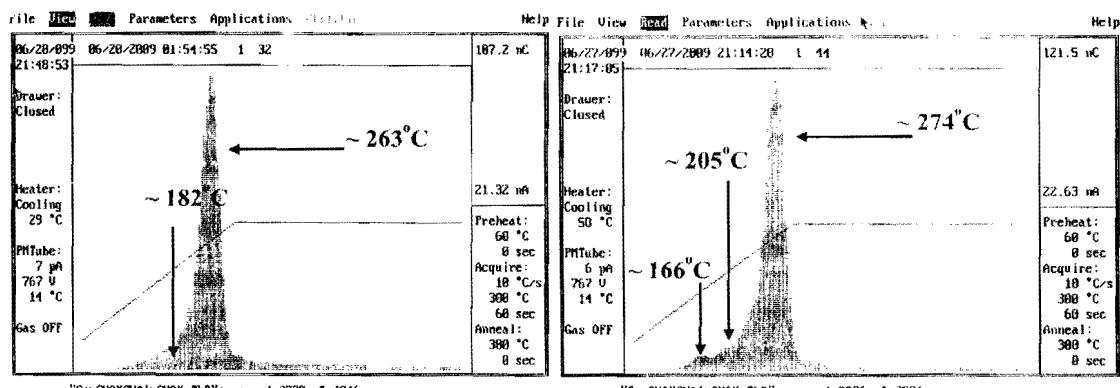


(ก) ก่อนการใช้งานข้า

(ข) หลังการใช้งานข้า

ภาพที่ 4.81 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลีกเชิงเดี่ยวชนิดลิเทียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.90 โนมล เปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานข้า ๆ

จากภาพที่ 4.81 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลีกเชิงเดี่ยวชนิดลิเทียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 1.90 โนมล เปอร์เซนต์ พบว่าก่อนการใช้งานข้ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 186 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 262 องศาเซลเซียส และหลังจากการใช้งานข้า พบว่ามีตำแหน่งพีค 3 พีค กีอ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 163 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 202 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียส

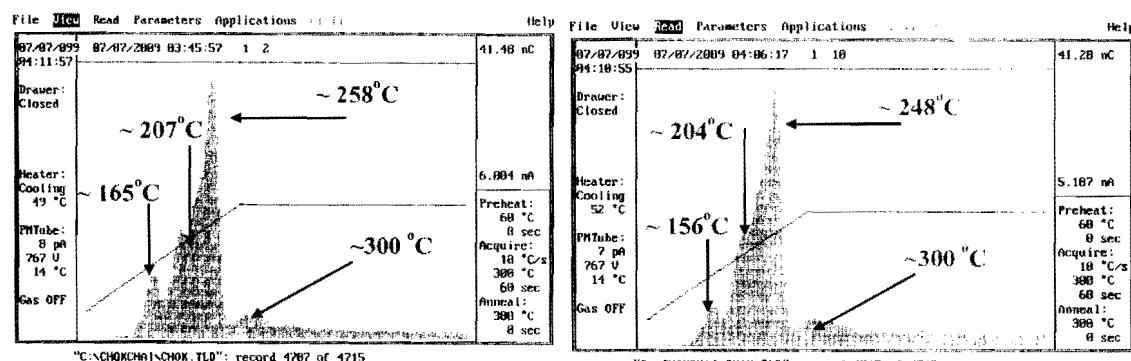


(ก) ก่อนการใช้งานช้ำ

(ข) หลังการใช้งานช้ำ

ภาพที่ 4.82 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของพลีกเชิงเดียวชนิดลิธيومฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 2.00 โนลเปอร์เซนต์ ก่อน และหลังผ่านการใช้งานช้ำ ๆ

จากภาพที่ 4.82 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของพลีกเชิงเดียวชนิดลิธيومฟลูออไรด์ : แมgnีเซียม คอปเปอร์ ชิลิกอน ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเจือ 0.20, 0.05 และ 2.00 โนลเปอร์เซนต์ พ布ว่าก่อนการใช้งานช้ำมีตำแหน่งพีค 2 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 182 องศาเซลเซียส และพีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 263 องศาเซลเซียส และหลังจากการใช้งานช้ำ พ布วามีตำแหน่งพีค 3 พีค คือ พีค 1 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 166 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 205 องศาเซลเซียส และพีค 3 ที่ตำแหน่งอุณหภูมิประมาณ 274 องศาเซลเซียส



(ก) ก่อนการใช้งานช้ำ

(ข) หลังการใช้งานช้ำ

ภาพที่ 4.83 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของพลีกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) ก่อนและหลังผ่านการใช้งานช้ำ ๆ

จากภาพที่ 4.83 ลักษณะโกลว์เคิร์ฟของผลึกที่แอลดีที่ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw – Bicron (TLD100) พบว่าก่อนการใช้งานซึ่งมีคำแนะนำพีค 4 พีค คือ พีค 1 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 165 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 207 องศาเซลเซียส พีค 3 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 258 องศาเซลเซียส และพีค 4 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส และหลังจากการใช้งานซึ่งพบว่ามีคำแนะนำพีค 4 พีค คือ พีค 1 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 156 องศาเซลเซียส พีค 2 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 204 องศาเซลเซียส พีค 3 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 248 องศาเซลเซียสและพีค 4 ที่คำแนะนำอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการใช้งานซึ่งคำแนะนำพีค 1, 2 และ 3 จะเสื่อมมากที่คำแนะนำอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 10 องศาเซลเซียส

4.6 หาค่า effective atomic number และ parameter ต่างๆที่สัมพันธ์กันโดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เพรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม XCOM

สำหรับหัวข้อนี้ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ก ในบทความวิจัยสำหรับการเผยแพร่

4.7 การเปรียบเทียบผลทั้งหมดกับที่แอลดีที่ผลิตในเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ

ผู้วิจัยจึงได้นำที่แอลดีดังกล่าวไปใช้งานจริงในการพัฒนางานวัดปริมาณรังสีของโรงพยาบาลศิริราช ศูนย์มะเร็งอุบลราชธานี และโรงพยาบาลสตรีพสิทธิประสงค์ผลงานวิจัยดังกล่าวดังแสดงในภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับเผยแพร่แล้ว รวม 4 เรื่อง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการเตรียมพลีกโพลีชีนิคลิเชิ่มฟลูออิร็คที่เจือด้วย แมกนีเซียม 0.20 โนลเปอร์เซนต์ คอปเปอร์ 0.05 โนลเปอร์เซนต์ และ ซิลิกอน 0.90 โนลเปอร์เซนต์ โดยใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่ายไม่ซับซ้อนซึ่งเงื่อนไขและตัวแปรต่าง ๆ ได้ศึกษาจากบทความวิจัยของสถาบัน Korea Atomic Energy Research: KAERI เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นและใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ กับพลีกเชิงเดียวปูลูกด้วยเทคนิคบริคจ์เม่น

จากนั้นได้เตรียมพลีกเชิงเดียวโดยควบคุมตัวแปรในการเตรียมสารให้เหมือนกับการทำพลีกโพลีทุกประการ โดยใช้สารที่เจือ แมกนีเซียม คอปเปอร์ ที่ความเข้มข้นเดียวกับพลีกโพลี และทำการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารเจือซิลิกอนตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.00 โนลเปอร์เซนต์ ทำการปูลูกพลีกที่ความดันสูญญากาศ 10^{-4} mbar อัตราการดึงพลีก 2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เวลาที่ใช้ปูลูก 48 ชั่วโมง พนว่าปูลูกพลีกมีการหลอมทั้งปูลและมีระนาบคีบ (Creep plane) เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อทำการตัดพลีกสามารถตัดพลีกได้ตามระนาบที่เกิดขึ้น

นอกจากนี้ยังได้ปูลูกพลีกเชิงเดียวของลิชีมฟลูอิร็คโดยใช้ แมกนีเซียม 0.20 โนลเปอร์เซนต์ คอปเปอร์ 0.05 โนลเปอร์เซนต์ ซิลิกอน 0.15 โนลเปอร์เซนต์ และทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมตั้งแต่ 0 - 0.5 โนลเปอร์เซนต์

ผลการศึกษาระนาบพลีกด้วยเทคนิคการดึงแบบรั้งสีเอกซ์ พนว่าพลีกโพลีของที่แอลดี ที่ได้จะแสดงระนาบทองสารหลักคือซิลิกอนฟลูอิร็คคือ (111) (200) (220) (311) (400) (420) และพลีกเชิงเดียวที่ได้จะแสดงระนาบทองสารหลักคือซิลิกอนฟลูอิร็ค ที่มีจำนวนระนาบลคลงเหลือเพียงระนาบ (200) และ (400) แสดงว่าการปูลูกพลีกแบบบริคจ์เม่นสามารถทำให้การจัดเรียงตัวของหน่วยเซลล์ (unit cell) ของลิชีมฟลูอิร็ค มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ลักษณะเช่นนี้ เกิดขึ้นที่ทุกความเข้มข้นของปริมาณสารที่ใช้ทดลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติความเป็นเทอร์โนลูมิเนสเซนต์ในเรื่องความไวในการตอบสนองต่อรังสีนั้นพบว่าที่ปริมาณสารเจือซิลิกอนเท่ากับ 0.9 ถึง 1.5 โนลเปอร์เซนต์ ให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์มากที่สุด โดยมากกว่าพลีกโพลีประมาณ 1.3 เท่า และมากกว่าที่แอลดีที่ผลิตในเชิงพาณิชจากต่างประเทศ (TLD 100) ประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นซิลิกอน 0.7 โนลเปอร์เซนต์ ให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีแกมน้ำสูงที่สุด โดย

มากกว่าผลึกโพลีปราบาม 1.4 เท่า และมากกว่าที่แอลดีที่ผลิตในเชิงพาณิชจากต่างประเทศ (TLD 100) ประมาณ 1.6 เท่า ในการใช้สารเจือ 4 ตัวคือเพิ่มโซเดียมเข้าไปทำให้ทราบว่าสารเจือโซเดียมทำให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีคลอต แต่หาเดินปริมาณน้อยมากคือประมาณ 0.05 โนมล เปอร์เซนต์ ความไวในการตอบสนองต่อรังสีจะมากขึ้นแต่ก็ยังน้อยกว่าการใช้สารเจือเพียง 3 ตัวคือ แมกนีเซียม คอปเปอร์ และซิลิกอน เท่านั้น

การศึกษาความลึกของหลุมกับดักด้วยการพิจารณาจากโกลว์คริฟนัน พบร่วมกับผลึกโพลีมีตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียสซึ่งมากกว่าผลึกเชิงเดียวที่พบว่ามี พีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 265 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นข้อเด่นที่คือของผลึกเชิงเดียว ทั้งนี้ที่แอลดีที่มีตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักสูงตั้งแต่ 300 องศาเซลเซียสเป็นต้นไปนั้นจะกระตุ้นอะตอนด้วยความร้อนเพื่อไลอเล็กตรอนลงจากกับดักอิเล็กตรอนระหว่างอ่านที่แอลดีนั้น จะเป็นจะต้องตั้งเครื่องอ่านให้มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้สัญญาณแสงอินฟราเรด (IR) เข้ามาปนกับสัญญาณแสงที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง สาเหตุนี้อาจเกิดได้ด้วยการใช้ฟลัตเตอร์กรองแสง IR มิให้ผ่านเข้าไป PM Tube แต่การที่ทำที่แอลดีแล้วได้ตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักอยู่ในช่วง 220-270 องศาเซลเซียส ถือว่าเป็นที่แอลดีที่ดีมาก ด้วยเหตุผลที่ว่าขณะใช้กับงานประจำซึ่งต้องอ่านที่แอลดีเป็นจำนวนมาก การตั้งอุณหภูมิของเครื่องอ่านสูงก็จะทำให้เสียเวลามาก ที่แอลดีที่มีอุณหภูมิของพีคหลักต่ำเกินไป เช่นที่ประมาณประมาณ 20-100 องศาเซลเซียส จะมีความเสี่งที่อิเล็กตรอนที่ถูกกับดักอยู่ในหลุมกับดักจะหลุดออกมาร่องขณะที่ไว้ในสิ่งแวดล้อมเนื่องอะตอนถูกกระตุ้นได้ง่าย ซึ่งสัญญาณแสงดังกล่าวจะหายไปเรียกว่าเกิดการหายไปของสัญญาณแสง (fading)

ค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานลงของผลึกที่แอลดีที่เตรียมได้ โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน (Heating Rate Method) และใช้โปรแกรม Computer Glow Curve Deconvolution (CGCD) พบร่วมกับผลึกที่มีค่า E เท่ากับ 0.7449 eV และค่า r เท่ากับ $1.481 \times 10^6 \text{ sec}^{-1}$ ผลึกเชิงเดียวที่ปริมาณความเข้มข้นสารเจือซิลิกอนแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณจะให้ค่าค่าพารามิเตอร์กับดักพลังงานลงมากกับผลึกโพลี และ 100 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสี

ที่ทุก ๆ ปริมาณสารเจือที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกจากผลึกเชิงเดียว มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับในลักษณะกราฟเส้นตรงที่ดีมากโดยดูจากค่า correlation coefficient $gmjky$ [0.9] ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ทำค่ามาตรฐานเพื่อแปลงสัญญาณแสงที่ได้จาก Unknown TLD ให้เป็นปริมาณรังสีในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าปริมาณรังสีด้วยที่แอลดีในงานวัดรังสีประจำตัวบุคคล

ผลึกเชิงเดี่ยวของลิเทียมฟลูออไรด์ที่ใช้สารเจือ 3 ชนิด คือ แมกนีเซียม คอปเปอร์ และ ชิลิกอน ที่ความเข้มข้นชิลิกอนที่ให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงนั้น เมื่อนำไปฉายรังสีที่ บริมาณรังสีเท่ากันแต่พลังงานของรังสีแตกต่างกัน พบว่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานั้นมากกว่า พลังงานน้อยกว่า จะให้แสงมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับตำรา ผลงานวิจัยอื่นๆ รวมทั้งค่าที่ระบุอยู่ใน รายละเอียดคุณสมบัติของที่แอลดีที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ ซึ่งจะให้ความหมายนี้ใน เทอม Energy Response

จากการทดสอบปริมาณแสงที่ยังคงคงค้างอยู่ในหลุมกับดักหลังจากอ่านที่แอลดีแล้ว 1 ครั้ง พบว่าปริมาณแสงตกค้างของผลึกเชิงเดี่ยวจะมีค่าน้อยกว่าผลึกโพลีมา ก การที่ผลึกเชิงเดี่ยว มี แสงตกค้างน้อยมากอาจเนื่องมาจากลิเทียมฟลูออไรด์ที่มี unit cell เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจะมี ลักษณะใส แสงที่ปล่อยออกมานั้นมากกว่าผลึกที่แอลดีซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง visible light จึงสามารถ ทะลุผ่านออกมายได้กว่าผลึกโพลี ซึ่งทำให้ที่แอลดีผลึกเชิงเดี่ยว มีประสิทธิภาพดีกว่าที่แอลดีที่เป็น ผลึกโพลี

ไม่พนการจางหายไปของสัญญาณแสงเมื่อปล่อยผลึกเชิงเดี่ยวของที่แอลดีที่ได้รับการ ฉายรังสีไว้เป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของที่แอลดี

การนำที่แอลดีไปทดลองใช้งานช้า 5 ครั้ง ในขั้นตอนการใช้งานแต่ละครั้ง ผลึกจะถูกอบ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 400 องศาเซลเซียส พบว่าในภาพรวม ไม่พบคุณสมบัติใดที่ เป็นปัจจัยเปล่งไป สรุปได้ว่าการปลูกค้ายาเทคโนโลยีบริจั๊มเน็ต สามารถสร้างกับดักอิเล็กตรอนที่มีความ ลึกของหลุมกับดักคงที่ และถาวร

จากการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ตามค่ามาตรฐาน ที่ได้กำหนดไว้ใน IEC (International Electrotechnical Commission) 1066 International Standard “Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring”. สามารถ สรุปในภาพรวม ได้ว่าที่แอลดีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นที่แอลดีวัดรังสีชนิดแบบพกพา ชนิดลิเทียมฟลูออไรด์:แมกนีเซียม คอปเปอร์ โซเดียม ชิลิกอน ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้รังสีในทางการแพทย์ ในงานวินิจฉัย รักษาโรค และงานวัดรังสีในสิ่งแวดล้อม อีกด้วย

ເອກສາຣ໌ອ້າງອີງ

- [1] The international Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 15. “Protection against Ionizing Radiation from External Sources”, New York: Pergamon press, 1969.
- [2] The International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 60. “Recommendation of the international commission on Radiological Protection”, New York: Pergamon press, 42-49, 1990.
- [3] International Atomic Energy Agency. “International Basic Safety Standard for Protection Against Ionizing Radiation and for The Safety of Radiation Sources”, Safety Series No 115, Vienna, 1996.
- [4] D. Northwest. “thermoluminescence dosimeter”, Fully Automated Precision Response. <http://www.nwdosimetry.com/products/tld>. May 25, 2009.
- [5] J.L. Kim, J.I. Lee, A.S. Pradhan, B.H. Kim and J.S. Kim. “Further studies on the dosimetric characteristics of LiF: Mg,Cu,Si-A high sensitivity thermoluminescence dosimeter (TLD)”, Radiat. Meas. 42, 446–449, 2008.
- [6] J.I. Lee, J.L. Kima, A.S. Pradhan, B.H. Kim, K.S. Chung and H.S. Choeb. “Role of dopants in LiF TLD materials”, Radiat. Meas. 42, 303–308, 2008.
- [7] J.I. Lee, J.L. Kim, J.S. Yang, A.S. Pradhan, B.H. Kim, K.S. Chung and H.S. Choe. “Dual-step thermal treatment for the stability of glow curve structure and the TL sensitivity of the newly developed LiF: Mg,Cu,Si”, Radiat. Meas. 42, 597–600, 2007.
- [8] J.T. Randall and M.H.F. Wilkins. “Phosphorescence and electron traps”, Proc. R. Soc Land, 336, 1945.
- [9] T.C. Chen and T.G. Stoebe. “Influence of annealing on kinetic trapping parameters in LiF: Mg,Cu,P thermoluminescent phosphors”, Radiat. Meas. 29, 39-44, 1997.
- [10] A. Necmeddin YAZICI, M. Yakup CIIBRAHIMOGLU and Metin BEDIR. “The effect of various Experimental parameters on glow peaks and trapping parameters of CaF₂: Dy (TLD-200) crystals”, Development of engineering physics Gaziantep University, Gaziantep Turkey, 1999.

ເອກສາຮ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- [11] Kim H.J., W.H. Chung, S.H. Doh, M.C. Chu, D.S. Kim and Y.H. Kang.
 “Thermoluminescence dosimetric properties of LiF: Mg, Cu, Na, Si ”,
J. Korean Phys. Soc. 22, 415–420, 1989.
- [12] J. I. Lee, J. L. Kim, S. Y. Chang, K. S. Chung and H. S. Choe. “Dosimetric properties of the newly developed KLT-300 LiF: Mg,Cu,Na,Si TL detector”,
Radiation Measurements. 38, 4-6, 439-442, 2004.
- [13] J. L. Kim, J. I. Lee, A.S. Pradhan, B.H. Kim and J.S. Kim. “Further studies on the dosimetric characteristics of LiF: Mg, Cu, Si-A high sensitivity thermoluminescence dosimeter (TLD)”, Radiation Measurements. 43, 446-449, 2008.
- [14] V. Chernov, S. Mironenko, B. Rogalev, A.J.J. Bos, J. Th M de Haas and A. Delgado.
 “Optical and thermoluminescence properties of LiF: Cu, LiF: Mg, Cu and LiF: Mg, Cu, P single crystals”, Radiation Measurements. 29, 365-372, 1998.
- [15] J. Laopaiboon, R. Laopaiboon and J. Intaraprasert. “TL Glow Curve from different doped LiF: Mg Thermoluminescence dosimeter Crystals glown by the Bridgman-stockbarger Technique”, 31th Congress on Science and Technology of Thailand, Technopolis Suranaree University of Technology. 18-20, 2005.
- [16] J. Laopaiboon, R. Laopaiboon and L. Ooxoon. “The effect of sintering on TL properties of LiF single crystal studies”, 32nd Congress On Science and Technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center(QSNCC). 228, 2006.
- [17] R. Laopaiboon and J. Laopaiboon. “Studies on the thermoluminescence properties and thermal treatments of LiF single crystal”, 1st International Conference on Applied Science (CICAS 2006), Vientiane Laos, 702-707, 2006.
- [18] J. Laopaiboon, R. Laopaiboon. “Thermoluminescence properties of LiF: Mg, Cu, P single crystals”, 1st International Conference on Applied Science (CICAS 2006), Vientiane Laos, 708-714, 2006.

ເອກສາຮ້ອງອິງ (ຕ່ອ)

- [19] P. Yasaka, J. Laopaiboon and R. Laopaiboon. “Thermoluminescence properties of LiF: Mg, Cu, NaSi single crystal Detector”, 33nd Congress On Science and Technology of Thailand, Walailak University, 216, 2007.
- [20] L. Ooxoon, R. Laopaiboon and J. Laopaiboon. “Study on the kinetic trapping parameters of LiF: Mg, Cu, Si single crystals”, 2nd Science Research Conference, Faculty of Science, Naresuan University, 16-19, 2009.
- [21] F. Daniel, C.A. Boyd and D.F. Sanders. Science, 117-343, 1953.
- [22] T. Nakajima, Y. Murayama and T. Matsuzaba. “Preparation and dosimetric properties of highly sensitive thermoluminescence dosimeter”, Health Phys. 36, 79–83, 1979.
- [23] T. Nakajima, Y. Murayama, T. Matsuzawa and A. Koyano. “Development of a new highly sensitive LiF thermoluminescence dosimeter and its applications”, Nucl. Instrum. Meth. 157, 155–162, 1978.
- [24] S. Wang, G.Chen, F. Wu, Y. Li, Z. Zha and J. Zhu. “Newly developed highly sensitive LiF: Mg,Cu,P TL chips with high signal-to-noise ratio”, Radiat. Prot. Dosim. 14, 223–227, 1986.
- [25] Z. Zha, S.Wang, W. Shen, J. Zha, and G. Cai. “Preparation an Characteristics of LiF: Mg, Cu, P Thermoluminescence Material”, Radiat. Prot. Dosim. 47, 111-118, 1993.
- [26] K. Meijvogel, A.J.J. Bos, P. Bilski and P. Olko. “Thermoluminescence emission characteristics of LiF: Mg, Cu, P with different dopant concentrations”, Radiat. Meas. 24, 411, 1995
- [27] E. Mandowska, P. Bliski, E. Ochab, J. Swiatek and A. Mandovski. “TL Emission Spectra from Differently Doped LiF: Mg,Cu,P”, Radiat. Meas. 100(1-4), 451-454, 2002.
- [28] P. Bilski, M. Budzanowski and P. Olko. “Dependence of LiF: Mg,Cu,P (MCP-N) glow curve structure on dopant composition and thermal treatment”, Radiat. Protect. Dosimetry. 69, 187, 1997.
- [29] T. Niwa, Kawai, H. Morishim and T. Koga. “Preparation of single crystal LiF TLD and its characteristics II”, J. Japanse At. Energy Soc. 35, 1095- 1102, 1993.

ເອກສາຮອ້າງອີງ (ຕໍອ)

- [30] S.H. Doh, M.C. Chu, W.H. Chung, H.J. Kim, D.S., Kang. “Preparation of LiF: Mg,Cu,Na,Si phosphor and its thermoluminescent characteristics”, Korean Appl. Phys. 2, 425-431, 1989.
- [31] P. Bilski, M. Budzanowski, and P. Olko. “A systematic evaluation of the dependence of glow curve structure on the concentration of dopants in LiF: Mg,Cu,P”, Radiat. Prot. Dosim. 65, 195–198, 1996.
- [32] B. Yang, Q. Lu, S. Wang and P.D. Townsend. “Studies on the thermoluminescence spectra and thermal stability of LiF: Mg,Cu, LiF: Mg, Cu, Na and LiF: Mg, Cu, Si”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 239, 171-178, 2005.
- [33] T. Kaiyong. “Dependence of thermoluminescence in LiF: Mg, Cu, Na, Si phosphor on Na dopant concentration and thermal treatment”, Radiation Measurements. 37, 133-140, 2003.
- [34] J. Haiyong, J.L. Kun, K. Jang-Lyul and L. Sang-Yoon. “Development of a personal dosimeter badge system using sintered LiF: Mg, Cu, Na, Si TL detectors for photon fields”, Radiation Measurements. 38, 71-80, 2004.

ภาคผนวก ก

บทความสำหรับการเผยแพร่

Comparative studies of glow peaks and kinetic trapping parameters of LiF:Mg,Cu LiF:Mg,Cu,P LiF:Mg,Cu,Si and LiF:Mg,Cu,Na,Si single crystals

J. Laopaiboon *, R. Laopaiboon , L. Ooxoon

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathanee University, 34190, Thailand

Abstract

Glow curve structure and kinetic trapping parameter of the thermoluminescent phosphors based on LiF:Mg,Cu LiF:Mg,Cu,P LiF:Mg,Cu,Si and LiF:Mg,Cu,Na,Si single crystals were investigated (denoted as SMC, SMCP, SMCS and SMCNS respectively). LiF based were doped in the concentrations of Mg = 0.20 mol% and Cu = 0.05 mole% for SMC, doped in the concentrations of Mg = 0.80 mol%, Cu = 0.06 mole% and P = 0.10 mol% for SMCP, doped in the concentrations of Mg = 0.20 mol%, Cu = 0.05 mole% and Si = 0.15 mol% for SMCS, doped in the concentrations of Mg = 0.20 mol%, Cu = 0.05 mole%, Na = 0.05 mole% and Si = 0.50 mol% for SMCNS. Wet mixing and drying before thermoluminescent phosphors production, in single crystal form were achieved by Bridgeman method. The transparent solid single crystals were cut to the size of 5.0x5.0x0.6 mm³ for use as Thermoluminescence Dosimeters (TLD). Four different types of TLD were irradiated with X-ray photon energy 128 keV in the dose of 3 mGy after dual step pre-irradiation annealing. SMC TL glow curve shape show one peak (peak 4) but the SMCP, SMCS and SMCNS show 3 peaks (peak 2, 3 and 4). The integrated TL signal of all samples did not exhibit any significant reduction in response to an with increasing heating rate in the range from 1 to 20 °C s⁻¹. The glow curve structure gave the main dosimetric glow peak at peak 4 and the main dosimetric peak temperature (T_m) increased with the increasing of the heating rate according to the Randall and Wilkins model, the peak temperature of the glow peaks change with the heating rate are indicated as the first order of kinetics. The results of trapping parameters determined by the heating rate method E and s are 1.566 eV and 3.904e¹⁴ s⁻¹ for SMC, 1.203 eV and 3.328e¹¹ s⁻¹ for SMCP, 1.009 eV and 2.513e¹⁴ s⁻¹ for SMCS, 1.580 eV and 1.265e¹⁵ s⁻¹ for SMCNS respectively. It 's evident that the kinetic trapping parameters depends on the type of dopant. The frequency factor of all TLD single crystals are higher than TLD100(poly crystal).These results are useful to provide the TL trapping and recombination centres for these materials.

Keyword: LiF, Thermoluminescent phosphors, Kinetic trapping parameter, Bridgeman method.

1 Introduction

The phenomenon of thermoluminescence (TL) is the emission of light from a semiconductor as it is heated and which is the result of previous exposure to ionizing radiation. A typical TL measurement made by increasing the sample temperature linearly, results in a curve of light intensity versus time or sample temperature. It is called a glow curve with one or more peaks. Randall-Wilkins [1], Garlick-Gibson [2] and May Partridge [3] gave an analytical description of the glow peak for the three cases usually referred to as 'first', 'second' and 'general order' TL kinetics respectively. The intensity, shape position of glow peak are related to trapping parameters, such as activation energy (E), frequency factor(s) and order of kinetics (b).

Lithium fluoride (LiF) is a well-known thermoluminescence (TL) dosimetry material used in environmental and personal monitoring due to its high sensitivity, stability and tissue-equivalency. Studies with LiF:Mg,Cu,P have been extensively reported [4-

9]. However, the main problems were the loss of its TL sensitivity by heating beyond 240°C and the high residual TL signal which increased with each readout cycle and annealing treatment [10-13]. Thus, continued searching for the LiF-type dosimeters with alternative dopants, to keep the high sensitivity and tissue-equivalence with more stability, has been a major subject of interest. Samples doped with Mg and Cu together with other impurities, such as LiF:Mg,Cu, LiF:Mg,Cu,Na, LiF:Mg,Cu,Na,Si and LiF:Mg,Cu,Si, have seen much research from Korea and China for developing powder and sintered pellet forms. Which, with the proper concentration of the dopants, possess high thermoluminescence (TL) sensitivity (being comparable with that of LiF:Mg,Cu,P) and are more thermally stable [14-22]. New high sensitivity thermoluminescence phosphors with low residual signal and good stability with heat treatment are LiF:Mg,Cu,Si [18] and LiF:Mg,Cu,Na,Si. [22].

In Thailand, Our group research Jintana et al. [23-27] are interested in the production of LiF TL

phosphor in the form of single crystals . Because of the transparency, it has a high sensitivity . We have been developing single crystal types of LiF doped with Mg,Cu,P LiF:Mg,Cu,Na, LiF:Mg,Cu,Na,Si and LiF:Mg,Cu,Si and we have also produced the polycrystal form to compare the thermoluminescence properties with the single crystal form.

The purpose of this study is to provide a better understanding of the single crystal form of LiF:Mg,Cu LiF:Mg,Cu,P LiF:Mg,Cu,Si and LiF:Mg,Cu,Na,Si (denoted as SMC SMCP SMCS and SMCNS for single crystals respectively) by determining the kinetic trapping parameters for the TL peak 4 (the main peak) of these phosphors. Trapping parameters studied[28-29] provide information on the kinetics of the TL process, i.e. an activation energy E and a frequency factor s . While the values of the trapping parameters do not carry specific information on the defect structures involved, the study of changes in trapping parameter with alternative dopants and crystal form may help in understanding of the changes that occur in the defect structure which provides the TL trapping and recombination centers for these materials.

In this work the main dosimetric properties, such as the glow-curve structure, TL intensity of the newly development of TLD are also studied.

2. Materials and methods

Five different types of LiF phosphors were utilized in this study: TLD 100 (LiF:Mg,Ti) polycrystalline rod obtained from Harshaw/Bicron, and fabrications of thermoluminescence element for radiation monitoring of the samples using the high purity LiF powder (99%, Merck Company) were mixed with the appropriate concentration (the concentration which gave highest sensitivity from our laboratory) dopants [23-27] 0.20 mol% of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and 0.05 mol% of $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (SMC), with the dopants 0.80 mol% of MgF_2 , 0.06 mol% of $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ and 0.10 mol% of Li_3PO_4 (SMCP) with the dopants 0.20 mol% of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.05 mol% of $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ and 0.15 mol% of SiO_2 for SMCS, and with the dopants 0.20 mol% of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.05 mol% of $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.05 mol% of Na_2CO_3 and 0.50 mol% of SiO_2 for SMCNS. Then, the components were uniformly mixed in distilled water using a magnetic stirrer. The mixture was then dried on a hot plate at 150 °C with the operation of a magnetic stirrer [18]. These samples grown by our laboratory using the vertical Bridgeman method in cylindrical graphite crucible under a dynamic vacuum (10^{-4} mbar) for 30 hrs with a crystal growth rate of 2 mm/hr [23] . The cooled solid transparent LiF was taken out from the graphite crucible, cut into chips of an appropriate size 5.0x5.0x0.6 mm. for testing the TL characteristic. For testing the uniformity of TL sensitivity, the chips were selected from different parts of a grown crystal.

(answer question #2) All samples were annealed at 400 °C for 1 hr and 100 °C for 2 hrs (dual step technique) before irradiated with X-ray photon energy 128 keV in the dose of 3 mGy to determine the thermoluminescence response and glow curve without post-irradiation annealing for observing the low temperature peak. TL light emitted from TLD was detected by a TLD Reader (Harshaw/Bicron Model 3500 Manual). For recording the glow curves from room temperature up to a maximum temperature of 300°C, the heating rates of 1, 5, 7, 11 and 17 °C s⁻¹ were used and the TL readout times at these heating rates were 280 s and 60 s, respectively. A region of interest facility available in the TLD reader was used to evaluate the responses of different glow peaks resulting from the CGCD procedure. The estimation of glow peaks was carried out by copying the ASCII files from the TLD reader to Excel and then moving to Origin on a separate PC.

The technique used in determining the trapping E and s was the variable heating rate method, use together with curve fitting, as was done by T.C.Chen and T.G.Stoebe [30]. The variable heating rate method is based on the shift of the peak to a higher temperature as the heating of the readout increases. Thus for each data set, five samples were used and read out at increasing heating rates. According to studies of isothermal decay of glow peaks in LiF:Mg,Cu,P phosphors [31,32] the main dosimetric peak of LiF:Mg,Cu,P phosphors is a first order kinetic peak; therefore the Randall and Wilkins model was used in this study, where

$$\ln \frac{T_m^2}{\beta} - \left(\frac{E}{k} \right) \frac{1}{T_m} = \ln \frac{E}{sk} \quad (1)$$

Where T_m is the peak temperature; β is the heating rate of the readout, and k is Boltzmann's constant. Plotting $\ln T_m^2 / \beta$ versus $1/T_m$ yields a straight line with slope (E / k) and intercept $(\ln E / sk)$, from which the activation energy and frequency factor can then be determined.

3 Results and Discussion

Figures 1 to 5 show that the glow curve structures of SMC and SMCS were similar to that of SMCNS, the low-temperature peaks (peak no. 2-3) were lower than SMCP and TLD 100 (LiF:Mg,Ti) and the individual glow peaks resulted from the CGCD procedure. It can be seen from these figures that the peak maximum temperatures increased with the various heating rates. Table 1 shows the value shifts in the temperature of glow peaks with the increasing heating rates. All of them giving the main dosimetric glow peak were treated as one single peak, peak 4.

(answer question #1,2) In Table 1 (column 4) , the uniformity of sample to sample variations as standard

deviation of sensitivity for 10 chips of 4 types of TLDs was less than 11%(SMC), 11%(SMCP), 6%(SMC), 12%(SMC). The sensitivity standard deviation of TLD100 (poly crystal form) was less than 4%. It shows that the uniformity of a single crystal sample produced by the vertical Bridgeman method was higher than the poly crystal sample(TLD100) which was produced by the melting method. In the routine used for personal dosimetry applications the ECC (Elementary correction coefficient) is required to corrected TLD sensitivity for reduced the percent standard deviation of integrated TL signal .

(answer question #5) Data in Table 1 (column 4) show the high integrated TL signals were SMCS and SMCNS, approximately 2 times higher than TLD100 (corrected weight to average weight = 10 mg).

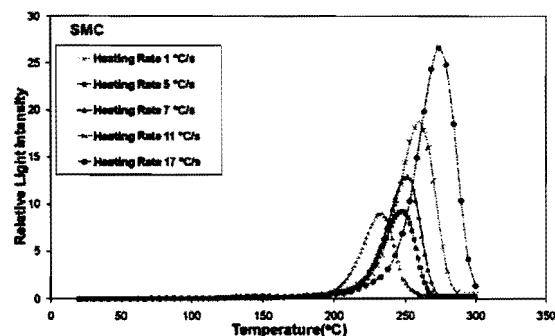


Figure 1: Glow curves structure of SMC chips at various heating rates from 1°C s^{-1} to $17^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

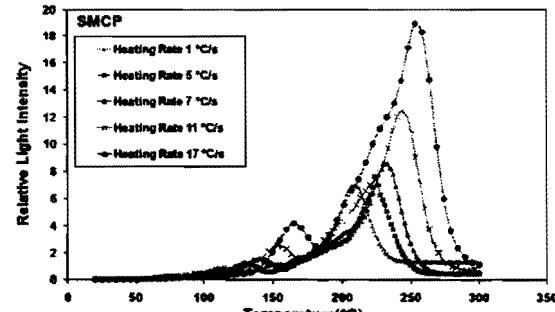


Figure 2: Glow curves structure of SMCP chips at various heating rates from 1°C s^{-1} to $17^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

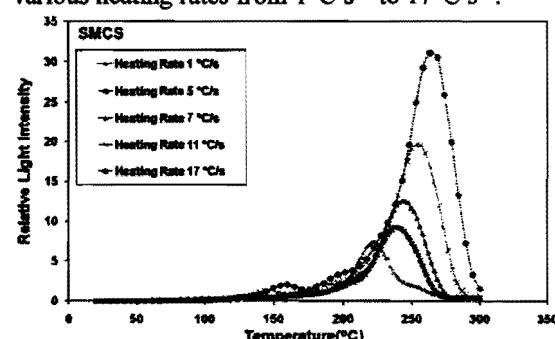


Figure 3: Glow curves structure of SMCS chips at various heating rates from 1°C s^{-1} to $17^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

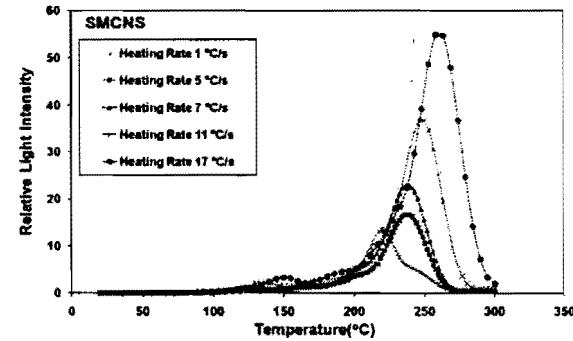


Figure 4: Glow curves structure of SMCNS chips at various heating rates from 1°C s^{-1} to $20^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

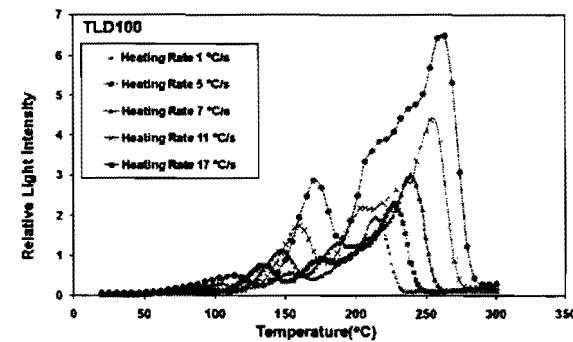


Figure 5: Glow curves structure of TLD100 rod at various heating rates from 1°C s^{-1} to $17^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

Table 1: Shows the relative heating rates to temperature peaks (T_m). Number of samples, $n = 10$, average weight = 10 mg for TLD 100 rod and average weight = 25 mg for SMC SMCP SMCS and SMCNS (answer question #2)

Type of TLD	Heating Rate ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$) $X \pm SD$	Integrated TL signal (nC) $X \pm SD$
SMC	1	233.87 ± 0.23	217.60 ± 20.08
	5	247.31 ± 0.25	202.50 ± 19.94
	7	251.58 ± 0.35	213.54 ± 22.92
	11	260.00 ± 0.25	220.98 ± 18.96
	17	274.07 ± 0.57	205.96 ± 17.11
SMCP	1	207.14 ± 0.22	285.60 ± 19.52
	5	223.23 ± 0.28	245.97 ± 27.12
	7	232.63 ± 0.33	245.65 ± 21.32
	11	243.33 ± 0.41	257.64 ± 20.32
	17	253.33 ± 0.49	263.80 ± 22.00
SMCS	1	225.43 ± 0.21	368.44 ± 21.66
	5	244.30 ± 0.35	417.49 ± 19.82
	7	253.68 ± 0.23	443.23 ± 18.01
	11	270.00 ± 0.35	454.34 ± 15.82
	17	284.44 ± 0.55	456.65 ± 13.56
SMCNS	1	219.80 ± 0.90	421.84 ± 49.42
	5	238.28 ± 0.89	491.61 ± 42.59
	7	241.05 ± 0.98	492.12 ± 37.50
	11	250.00 ± 0.95	514.41 ± 58.56
	17	258.52 ± 0.98	522.62 ± 61.84
TLD100	1	214.17 ± 0.23	82.56 ± 3.21
	5	227.74 ± 0.25	94.79 ± 2.89
	7	238.95 ± 0.34	103.20 ± 2.22
	11	253.33 ± 0.25	103.50 ± 3.92

	17	$263.70 \pm .49$	110.90 ± 2.32
--	----	------------------	-------------------

All samples have been tested using the variable heating rate method, with the peak temperatures determined by using curve fitting to determine the peak temperatures and thus to determine the trapping parameters. Figure 6 show a plot of $\ln T_m^2 / \beta$ versus $1/T_m$ for peak 4 of TLD100, SMC, SMCP, SMCS and SMCNS respectively. (answer question #3) The R^2 lines fitted to all of them were more than 0.98.

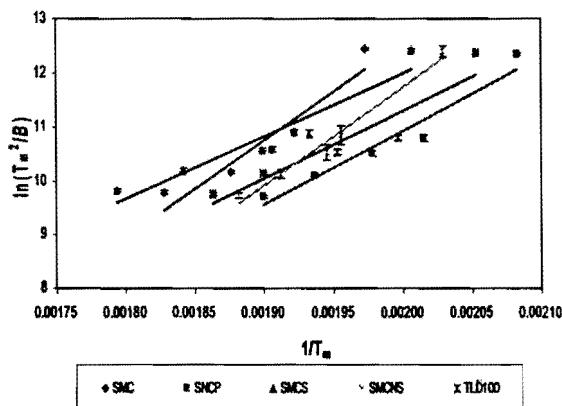


Figure 6: Logarithm of T_m^2 / β relative to inverse of absolute peak temperature for peak 4 in a TLD100 SMC SMCP SMCS and SMCNS sample with different variable heating rate.

Table 2: Show the trapping parameters for the main dosimetric glow peak for TLD100, SMC, SMCP, SMCS and SMCNS respectively.

Sample	Peak 4	
	$E(eV)$	β
SMC	1.5662	3.904×10^{14}
SMCP	1.2026	3.328×10^{11}
SMCS	1.0095	2.513×10^{14}
SMCNS	1.5806	1.265×10^{15}
TLD100	1.0941	1.669×10^{10}

(answer question #4) Table 2 the activation energy of SMC, SMCP, SMCS and SMCNS are different and do not exhibit anything significant. It shows that the activation energy depends on the type of dopant. The frequency factor of all TLD single crystals are higher than TLD100.

4. Conclusions

The integrated TL intensities under a glow curve of SMC, SMCP, SMCS and SMCNS did not exhibit any significant reduction in the response to increasing heating rate in the range from 1 to $17 \text{ }^\circ\text{C s}^{-1}$. These are useful in routines used for personal dosimetry applications in which there is a requirement for evaluating a large number of dosimeters in the shortest possible time, obviously by using a fast heating rates.

The glow curve structure demonstrated that the main dosimetric glow peak and the main dosimetric peak temperature (T_m) increases with the increasing the heating rate according to the Randall and Wilkins model. The peak temperature of the glow peaks change with the heating rate and are indicated as the 'first order' of kinetics.

The results of trapping parameters determined by the heating rate method E and s are 1.566 eV and $3.904 \times 10^{14} \text{ sec}^{-1}$ for SMC, 1.203 eV and $3.328 \times 10^{11} \text{ sec}^{-1}$ for SMCP, 1.009 eV and $2.513 \times 10^{14} \text{ sec}^{-1}$ for SMCS, 1.581 eV and $1.265 \times 10^{15} \text{ sec}^{-1}$ for SMCNS respectively. It shows that with the same production process but different types of dopant, the defects are also different. The frequency factor of all TLD single crystals are higher than TLD100. These results are useful to provides the TL trapping and recombination centers for these materials.

TL intensity of samples doped with Mg and Cu together with other impurities such as Na, Si or Si, was higher than LiF:Mg,Cu,P single crystal and LiF:Mg,Cu,Ti (TLD100). Nevertheless, in our studies, it was found that SMCS and SMCNS are a good TLD material, being able to store the information (trapped charge carriers) without loss because of the low intensity of the low-temperature peaks. (answer question #5)

Acknowledgements

Financial support of this study has been provided by the National Research Council of Thailand.

References

- [1] J.T. Randall and M.H.F. Wilkins, Phosphorescence and electron traps. I. The study of trap distributions. Proc. Roy. Soc. Lond. A 184 (1945), p.366.
- [2] G.F.J. arlick and A.F. Gibson , The electro trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate Phosphors. Proc. Phys. Soc. 60 (1948), p.574
- [3] C.E. May and J.A. Partridge, Thermoluminescence kinetics of alpha irradiate alkali halides . J. Chem. Phys. 40 (1964) , p1401.
- [4] Y.S. Horowitz, New thermoluminescent materials, Radiat. Protect. Dosim. 30 (1990), p. 75.
- [5] S.W.S. McKeever, Measurements of emission spectra during thermo-luminescence (TL) from LiF(Mg, Cu, P) TL dosimeters, J. Phys. D: Appl. Phys. 24 (1991), p. 988.

- [6] T. Nakajima, Y. Murayama, T. Matsuzawa and A. Koyano, (1978) Development of a new highly sensitive LiF thermoluminescence dosimeter and its applications, Nucl. Instrum. Meth. 157, P. 155–162.
- [7] S. Wang, Influence of various compounds of phosphorus dopants on dosimetric characteristics of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescence materials, Radiat. Protect. Dosim. 47 (1993), p. 219.
- [8] T. Nakajima, Y. Murayama, T. Matsuzawa and A. Koyano, A development of a new highly sensitive LiF thermoluminescent dosimeter and its application, Nucl. Instr. and Meth 157 (1978), p. 155.
- [9] Y.S. Horowitz and A. Horowitz, Characterization of LiF:Cu,Mg,P (GR200) for personal thermoluminescence dosimetry, Radiat. Prot. Dosim. 33 (1990) , p. 279-282.
- [10] A. Delgado, J.M. Gomez Ros, C. Fureta and C. Bacci, Isothermal decay of glow peaks in LiF:Mg,Cu,P.Radiat. Prot. Dosim. 47(1993), p. 49-51.
- [11] S. Mahajna, D. Tossian, Y.S. Horowitz and A. Horowitz, Kinetic trapping parameters in LiF:Mg,Cu,P via “prompt” and “residual” isothermal decay. Radiat. Prot. Dosim. 47 (1993) , p. 73-77.
- [12] B. Yang , L. Wang , P.D. Townsend , H. Gao , Comparision between the low temperature thermolumineacence spectra in annealed as LiF:Mg,Cu, LiF:Mg,Cu,P, and LiF:Mg,Cu,Si,Nucl. Instr. and Meth. B 266 (2008) , p. 2581-2586
- [13] A. Delgado, J.M. Gomez Ros, C. Fureta and C. Bacci, Isothermal decay of glow peaks in LiF:Mg,Cu,P.Radiat. Prot. Dosim. 47(1993), p. 49-51.
- [14] K.Tang. Dependence of thermoluminescence in LiF:Mg,Cu,Na,Si phosphor on Na dopant concentration and thermal treatment. Radiat. Meas.37 (2003), p 133-140
- [15] H. Jung ,et al. Development of a personal dosimeter badge system using sintered LiF:Mg,Cu,Na,Si TL detectors for photon fields. Radiat.Meas.38 (2004), p 71-80
- [16] J.L. Kim,et al. The glow curve structure for the LiF:Mg,Cu,Na,Si TL detector with dopant concentrations and sintering temperatures. Radiat.Meas.38 (2004), p.435-438
- [17] J.I. Lee, J.S. Yang, J.L. Kim, A.S. Pradhan, J.D. Lee, K.S. Chung and H.S. Choe, (2006) Dosimetric characteristic of LiF:Mg,Cu,Si thermoluminescent materials, Appl. Phys. Lett. 89, (2006) 094110.
- [18] J.L. Kim , et al . Further studies on the dosimetric characteristic of : Mg,Cu,Si-A high sensitivity thermoluminescence dosimeter (TLD). Radiat.Meas.43(2008) , p.446-449
- [19] A.S. Pradhan, J.I. Lee, J.L. Kim, K.S. Chung, H.S. Choe and K.S. Lim , TL glow curve shape and response of LiF:Mg,Cu,Si-Effect of heating rate, Radiat. Meas. 43, (2008) p. 361-364.
- [20] B. Yang, Q. Lu, S. Wang and P.D. Townsend, Studies on the thermoluminescence spectra and thermal stability of LiF:Mg,Cu, LiF:Mg,Cu,Na and LiF:Mg,Cu,Si, Nucl. Instr. And Meth. B 239, (2005) ,p. 171.
- [21]Y.M. Nam,J.L. Kim and S.Y. Chang , Dependence of glow curve structure on the concentration of dopants in Li:Mg,Cu,Na,Si phosphor. Radiat.Pro.Dosim.84 (1999) , p 231-234.
- [22] K. Tang,H. Zhu,W.Shen ,B. Liu , A new high sensitivity thermoluminescence phosphor with low residual signal and good stability to heat treatment-LiF:Mg,Cu,Na,Si. Radiat.Prot.Dosim. 100 (2002c) ,p239-342.
- [23] [25] J. Laopaiboon and R. Laopaiboon, (2006) Thermoluminescence properties of LiF: Mg, Cu, P single crystal, 1st International Conference on Applied Science (CICAS 2006), Vientiane Laos, November 5-7, P.708-714
- [24] [26] R. Laopaiboon and J. Laopaiboon, (2006) Studies on the thermoluminescence properties and thermal treatments of LiF single crystal, 1st International Conference on Applied Science (CICAS 2006), Vientiane Laos, November 5-7, P.702-707.
- [25] J. Laopaiboon, R. Laopaiboon and L. Ooxoon, “The effect of sintering on TL properties of LiF single crystal studies”, 32nd Congress On Science and Technology of Thailand (STT.32), QUEEN SIRIKIT NATIONAL CONVENTION CENTER(QSNCC), October 10-12, 2006, (Proceeding of Abstracts, p.228).
- [26] L. Ooxoon, R. Laopaiboon and J. Laopaiboon. “Study on the kinetic trapping parameters of LiF:Mg, Cu, Si single crystals”, 2nd Science Research Conference, Faculty of Science, Naresuan University (2009), p.16-19,
- [27] L. Ooxoon, R. Laopaiboon and J. Laopaiboon. “Comparative studies of glow peaks and kinetic trapping parameters in single and poly-crystals form of LiF:Mg, Cu, Si thermoluminescence phosphors”, Siam physics congress 2009, Cha-Am phetchburi Thailand (2009), p.208.

- [28] S. Mahajna, D. Tossian, Y.S. Horowitz and A. Horowitz, (1993) Kinetic trapping parameters in LiF:Mg,Cu,P via “prompt” and “residual” isothermal decay. *Radiat. Prot. Dosim.* 47, P. 73-77.
- [29] T.C. Chen and T.G. Stoebe, (1997) Influence of annealing on kinetic trapping parameters in LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent phosphors. *Radiat. Meas.* 29, P. 39-44.
- [30] T.C. Chen and T.G. Stoebe, (1997) Influence of annealing on kinetic trapping parameters in LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent phosphors. *Radiat. Meas.* 29, P. 39-44.
- [31] A. Delgado, J.M. Gomez Ros, C. Furetta and C. Bacci, (1993) Isothermal decay of glow peaks in LiF:Mg,Cu,P. *Radiat. Prot. Dosim.* 47, p. 49-51.
- [32] S. Mahajna, D. Tossian, Y.S. Horowitz and A. Horowitz, (1993) Kinetic trapping parameters in LiF:Mg,Cu,P via “prompt” and “residual” isothermal decay. *Radiat. Prot. Dosim.* 47, p. 73-77.

Mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of LiF Single Crystal

Jintana Laopaiboon¹ Cherdksak Bootjomchai² Raewat Laopaiboon²

¹Department of Physics, Faculty of Science, Ubon ratchathani University,
Ubon ratchathani 34190

E-mail:

²Department of Physics, Faculty of Science, Ubon ratchathani University,
Ubon ratchathani 34190

E-mail: per.noon@thaimail.com, pook1411@yahoo.com

Abstract

The total mass attenuation coefficients (μ_m), for LiF single crystal were measured at 60 and 122 keV photon energies. The samples were irradiated with 20 mCi Cs-137 and 20 mCi Am-241 radioactive point source using transmission arrangements. The γ -ray and X-rays were counted by adetector with a resolution of 160 eV at 5.9 keV. Total atomic and electronic cross-sections (σ_t and σ_e), effective atomic and electron numbers (Z_{eff} and N_{eff}) were determined experimentally and theoretically using the obtained μ_m values for LiF single crystal. The theoretical μ_m values of each sample were estimated using WinXcom program. The experimental values were compared with the calculated values for all samples.

Keywords: Mass attenuation coefficient, Effective atomic number, Effective electron number, LiF single crystal

1. Introduction

The LiF have played an important in the development of modern technology such as thermoluminescent dosimetry, and knowledge of their physical parameters such as mass attenuation coefficients, total atomic and electronic cross-sections, effective atomic and electron numbers is very important for understanding their physical properties. Since the mass attenuation coefficients are important in fundamental physics and many applied fields, the accurate values of mass attenuation coefficients for X-ray and γ -rays in several materials are essential for some fields such as, nuclear radiation physics, radiation dosimetry, biological, medical, agricultural and industrial. Recently, there are a great number of experimental and theoretical investigations of mass attenuation coefficient (μ_m) Khanna et al. (1996) measured γ -ray attenuation coefficients in some heavy metal oxide borate glasses at 662 keV [1]. Orlic et al. (1999) published μ_m values for

photon energies between 100 eV and 1000 MeV [2]. Cunha e Silva et al. (2000) measured γ -ray attenuation coefficients of archaeological ceramic sample by using two media method [3]. Angelone et al. (2001) measured X-ray attenuation coefficients of organic compounds relevant to health physics, Triaflol BN, Triaflol TN, Kapto and Melinex [4]. Kulwant Singh et al. (2002) determined mass attenuation coefficients of bismuth borate glasses at 356, 662, 1173 and 1332 keV photon energies [5]. Narveer Singh et al. (2006) studies gamma-ray attenuation of PbO-BaO-B₂O₃ glass system in term of molar mass, mass attenuation coefficient and half value layer parameters by using gamma-ray at 511, 662 and 1274 keV photon energies [6]. Sukhpal Singh et al. (2008) measured γ -ray attenuation coefficients of barium-borate-flyash glasses at 356, 662, 1173 and 1332 keV photon energies [7]. Han and Demir (2009) measured mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of Ti and Ni alloys at 22.1, 25.0, 59.5 and 88.5 keV photon energies [8].

The scattering and absorption of γ -ray and X-ray are related to the density and atomic number of element. As for composite materials, they are also related to effective atomic number (Z_{eff}). As partial interaction cross-section is dependent on the composite material of elements, a single atomic number being a characteristic of element cannot describe the atomic number of composite material in the entire energy range. This new number for composite materials is called to be the effective atomic number (Z_{eff}) and varies with the energy. The Z_{eff} is a convenient parameter for representing the attenuation of X-rays in a complex medium and particularly for the calculation of the dose in radiation therapy [9]. Some works to determine the Z_{eff} values of composite materials have been reported in the literature. Cevik et al. (2007) have measured μ_m and Z_{eff} and electron densities values for BiPbSrCaCuO superconductor at different energies [10]. Baltas et al. (2008) determined of the effective atomic numbers and electron densities for YBaCuO superconductor in the range 59.5-136 keV [11].

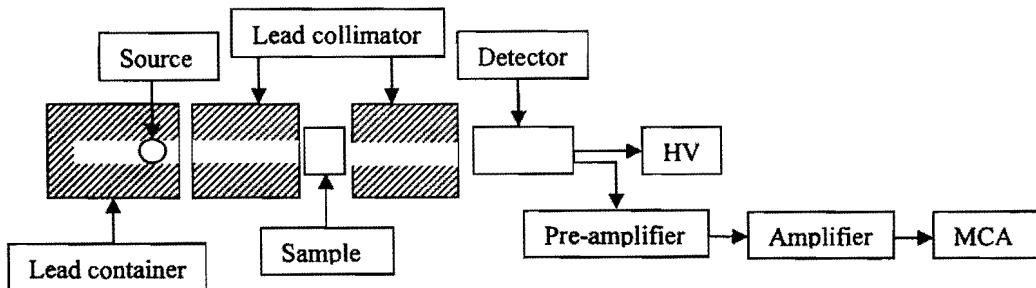


Figure 1 Experimental setup of the transmission method

Table 1 The experimental and theoretical values of mass attenuation coefficients (μ_m), total atomic cross-section (σ_t), total electronic cross-section (σ_e), effective atomic number (Z_{eff}) and effective electron number (N_{eff})

sample	60 keV		122 keV	
	Exp.	Theo.	Exp.	Theo.
μ_m (cm ² /g)				
LiF	0.1396 ± 0.0161	0.1793	0.0966 ± 0.0097	0.1361
LiF:Mg,Cu,P	0.1368 ± 0.0133	0.1830	0.1205 ± 0.0080	0.1366
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15}	0.1357 ± 0.0098	0.1848	0.1162 ± 0.0039	0.1376
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15} ,Na _{0.5}	0.1376 ± 0.0127	0.1848	0.1052 ± 0.0076	0.1376
σ_t (b/atom)				
LiF	6.0105	7.7198	4.1592	5.8598
LiF:Mg,Cu,P	6.1739	8.3401	5.4382	6.2100
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15}	6.5303	8.8932	5.5919	6.6218
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15} ,Na _{0.5}	6.6557	8.8517	5.0885	6.6073
σ_e (b/atom)				
LiF	0.5017	0.6444	0.3472	0.4891
LiF:Mg,Cu,P	0.4913	0.6637	0.4328	0.4942
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15}	0.4863	0.6622	0.4164	0.4931
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15} ,Na _{0.5}	0.4929	0.6556	0.3769	0.4894
Z_{eff}				
LiF	11.9803	11.9798	11.9793	11.9808
LiF:Mg,Cu,P	12.5665	12.5661	12.5652	12.5658
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15}	13.4285	13.4298	13.4292	13.4289
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15} ,Na _{0.5}	13.5031	13.5017	13.5009	13.5008
$N_{\text{eff}} (x10^{23} \text{ electron/cm}^3)$				
LiF	2.7806	2.7805	2.7804	2.7808
LiF:Mg,Cu,P	2.7826	2.7554	2.7823	2.7622
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15}	2.7886	2.7888	2.7888	2.7886
LiF:Mg _{0.2} ,Cu _{0.05} ,Si _{0.15} ,Na _{0.5}	2.7897	2.8169	2.7893	2.8097

In the present work, the total mass attenuation coefficients (μ_m) for LiF single crystal at 60 and 122 keV photon energies are measured experimentally and calculated theoretically. Total atomic and electronic cross-sections (σ_t and σ_e), the effective atomic and

electron numbers (Z_{eff} and N_{eff}) for these materials have been calculated using the measured μ_m values. Also, the variations of investigated parameters versus photon energy were graphically shown. The experimental μ_m values for different doping

elements of LiF single crystal have been checked using the results of WinXCom calculations.

2. Theory

The mass attenuation coefficients for the different materials and energies are determined by the transmission. This process is described by the following equation:

$$I = I_0 e^{-\mu_m t} \quad (1)$$

where I_0 denotes the photons with energy E , intensity without attenuation; I the photons with energy E , intensity after attenuation; $\mu_m = \mu/\rho$ (cm^2/g) is the mass attenuation coefficient and t (g/cm^2) is sample mass thickness (the mass per unit area). The total μ_m values for each constituent element by the following mixture rule [12]:

$$\mu_m = \sum_i w_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

where w_i is the proportion by weight and $(\mu_m)_i$ is mass attenuation coefficient of the i th element. For a material composed of multi elements the fraction by weight is given by

$$w_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \quad (3)$$

where A_i is the atomic weight of the i th element and n_i is the number of formula units. The total atomic cross-sections (σ_i) for materials can be obtained from the measured μ_m values using the following relation [13]:

$$\sigma_i = \frac{\mu_m N}{N_A} \quad (4)$$

where N is the atomic mass of materials and N_A is the Avogadro's number. The total electronic cross-section (σ_e) for the individual element is calculated using the following equation [5]:

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i N_i}{Z_i} (\mu_m)_i = \frac{\sigma_i}{Z_{\text{eff}}} \quad (5)$$

where f_i denotes the fractional abundance of the element i with respect to the number of atoms such that $f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i = 1$, Z_i is the atomic number of i th element. The σ_i and σ_e are related to the effective atomic number (Z_{eff}) of the material through the following relation [5]:

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sigma_i}{\sigma_e} \quad (6)$$

The effective electron number (N_{eff}) can be written as following:

$$N_{\text{eff}} = \frac{N_A}{N} Z_{\text{eff}} \sum_i n_i = \frac{\mu_m}{\sigma_e} \quad (7)$$

The theoretical μ_m values for present samples were obtained by WinXcom program [14]. This program depends on applying the mixture rule to calculate the partial and total mass attenuation coefficients for all elements, compounds and mixtures at standard as well as selected energies.

3. Experimental

The schematic arrangement of the experimental setup in the present work is shown in Figure 1. The sample were irradiated by 60 and 122 keV photons emitted by 20 mCi Am-241 and 20 mCi Cs-137 radioactive point source. For each sample and energy, I_0 and I intensities which are without and after attenuation were measured by a ...detector (FWHM = ..eV at ...keV, active area ...mm², thickness ...mm, Be window thickness ...mm) coupled with a multi-channel analyzer system consisting of a 16,384 channel analyzer and spectroscopy amplifier. The distance between the radioactive point source with sample and the sample and Be window of ...detector was 7 and 10 cm, respectively. The peak areas have been calculated from the spectrum obtained for each measurement. The measurements for all samples were carried out three times for each energy value.

4. Results and discussion

The experimental and theoretical results for the mass attenuation coefficients (μ_m) of LiF single crystal pure and LiF single crystal different doping have been tabulated in Table 1 and were plotted in Figure 2. It is clearly seen that the μ_m values depend on the photon energy. The μ_m values for all samples decrease with increasing photon energy. As can be seen in Table 1 and Figure 2, the experimental μ_m values for almost all samples are smaller than their theoretical values calculated using WinXCom program based on the mixture rule. The reason for the small experimental μ_m values compared to theoretical values for the material can be attributed to the oxidation occurring on the samples [8]. However, this difference might be from experimental system, counting errors, efficiency errors and so on. Measured σ_i and σ_e values for samples were presented in Table 1 and plotted versus photon energy in Figure 2, respectively. The plots of σ_i and σ_e with photon energy are almost similar to μ_m plot.

Z_{eff} values for a composite material is a very useful parameter for some applications such as physical, technological and engineering. Z_{eff}

represented with a number provides many characteristics of a material. In this work, Z_{eff} values were determined from equation (4)-(6) by using the experimental and theoretical values of μ_m , and given in Table 1. The variation of Z_{eff} versus photon energy was also shown graphically in Figure 2. It is seen from Table 1 and Figure 2 that Z_{eff} values for present sample vary with photon energy. In the composite materials, the interaction (such as absorption and scattering) of γ -rays or X-rays is related to Z_{eff} value of composite materials and the energy of photons. There is energy transfer from photon to matter in these interactions. Although the dependence on the photon energy is dominant in interaction with low energies, it can be negligible at high energies. The dependence on the atomic number indicates that materials having high Z_{eff} absorb powerfully incoming photons [8]. N_{eff} values were determined using μ_m and σ_e values and given in Table 1 also plotted versus photon energy in Figure 2. It is seen from this table and figures that N_{eff} varies with photon energy.

5. Conclusions

The present experimental study has been undertaken to get some information on the μ_m and relate parameters (Z_{eff} , N_{eff} , σ , and σ_e) for some LiF single crystal. We have demonstrated the μ_m is a useful and sensitive physical quantity to determine the Z_{eff} and N_{eff} for LiF single crystal. In the interaction of photon with matter, μ_m values are dependent on physics and chemical environments of the elements in the sample. The μ_m values of LiF single crystal decrease with energy is identical to μ_m . In the present study, it is indicated that the μ_m , Z_{eff} and N_{eff} are useful parameters for LiF single crystal. The results of this study will be helpful to understand better how mass attenuation coefficients change with variation of the atomic and electronic number for LiF single crystal different doping.

Acknowledgments

References

- [1] Khanna, A., Bhatti, S.S., Singh, K.J., and Thind, K.S., 1996. Gamma-ray attenuation coefficients in some heavy metal oxide borate glasses at 662 keV. Nucl. Instrum. Methods, 374: 217-220.
- [2] Orlic, I., Bogdanovic, I., Zhou, S., and Sanchez, J.L., 1999. Parametrization of the total photon mass attenuation coefficients for photon energies between 100 eV and 1000 MeV. Nucl. Instrum. Methods, 150: 40-45.
- [3] Cunha e Silva, R.M., Appoloni, C.R., Parreira, P.S., Espinoza-Quinones, F.R., Coimbra, M.M., and Aragao, P.H.A., 2000. Two media method for gamma ray attenuation coefficient measurement of archaeological ceramic samples. Applied Radiation and Isotopes, 53: 1011-1016.
- [4] Angelone, M., Esposto, A., Chiti, M., and Gentile, A., 2001. Measurement of mass attenuation coefficients for four mixtures using X-rays from 13 keV up to 40 keV. Radiation Physics and Chemistry, 61: 547-548.
- [5] Kulwant Singh, Harvinder Singh, Vishal Sharma, Rohila Nathuram, Atul Khanna, Rajesh Kumar, Surjit Singh Bhatti and Hari Singh Sahota, 2002. Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 194: 1-6.
- [6] Narveer Singh, Kanwar Jit Singh, Kulwant Singh and Harvinder Singh, 2006. Gamma-ray attenuation studies of PbO-BaO-B₂O₃ glass system. Radiation Measurements, 41: 84-88.
- [7] Sukhpal Singh, Ashok Kumar, Devinder Singh, Kulwant Singh Thind and Gurmel S. Mudahar, 2008. Barium-borate-flyash glasses: As radiation shielding materials. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266: 140-146.
- [8] Han, I., and Demir, L., 2009. Mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of Ti and Ni alloys. Radiation Measurements, 44: 289-294.
- [9] Jackson, D.F., and Hawkes, D.J., 1981. X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. Philos. Rep., 70: 169-233.
- [10] Cevik, U., and Baltas, H., 2007. Measurement of the mass attenuation coefficients and electron densities for BiPbSrCaCuO superconductor at different energies. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 256: 619-625.
- [11] Baltas, H., and Cevik, U., 2008. Determination of the effective atomic numbers and electron densities for YBaCuO superconductor in the range 59.5-136 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266: 1127-1131.
- [12] Hubbell, J.H. and Seltzer, S.M. 1995. Tables of Z-ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-absorption Coefficients 1 keV to 20 keV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest, National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR 5632.
- [13] Wang, D.C., Ping, L.A., and Yang, H., 1995. Measurement of the mass attenuation coefficients for SiH₄ and Si. Nucl. Instrum. Methods B 95: 161-165.
- [14] Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., and Levring, H., 2001. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM. Radiat. Phys. Chem. 60: 23-24.

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

เรื่องที่ 1

ชื่อเรื่องที่เผยแพร่ : “Rectal dose evalution during HDR Brachytherapy of cervical cancer patients by using domestic .” (การประเมินค่าปริมาณรังสีในลำไส้ใหญ่ของผู้ป่วยระหว่างการรักษามะเร็งปากมดลูก ด้วยวิธี เอช ดี อาร์ แบร์คิเทอราปี โดยใช้ ที แอล ดี ที่พัฒนาในประเทศไทย)

สถานที่เผยแพร่ : นำเสนอในการประชุมวิชาการ นอบ. วิจัย ครั้งที่ 5 วันที่ 4-5 สิงหาคม 2554 ณ โรงพยาบาลสุนีย์แกรนด์ จังหวัดอุบลราชธานี

รางวัลที่ได้รับ : ได้รับโล่ห์และเงินรางวัลประเภท ผลงานนำเสนอคีเด่น สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

เรื่องที่ 2

ชื่อเรื่องที่เผยแพร่ : “ Radiation Dose Measurement Using Thermoluminescent Dosimeter(TLD) in Patients Room and Adjacent Area From I-131 in Thyroid Cancer Patients Treated at Siriraj Hospital.”

สถานที่เผยแพร่ : นำเสนอภาคเปล่าในการประชุมประจำปี สมาคมนักฟิสิกส์การแพทย์ไทย วันที่ 24-27 กุมภาพันธ์ 2554 ณ โรงพยาบาลสิริราช ถนนศรีสอร์ท จังหวัดสงขลา

เรื่องที่ 3

ชื่อเรื่องที่เผยแพร่ : “ Measuring radiation level using thermoluminescence dosimeter at room treatment of thyroidncancer patients treated with iodine-131 at Sappasitthiprasong hospital ” (การวัดปริมาณรังสี โดยใช้เทอร์โนลูมิเนสเซนซ์ โคสิมิเตอร์ ในบริเวณห้องรักษาผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์ด้วยไอโอดีน-131 ที่โรงพยาบาลสราษฎร์ประสังค์)

สถานที่เผยแพร่ : ห้องสมุดมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (Project นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชื่อ นางสาว ราครี แสงโชค มีผู้วิจัยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2553)

**การประเมินค่าปริมาณรังสีในลำไส้ใหญ่ของผู้ป่วยระหว่างการ
รักษามะเร็งปากมดลูก
ด้วยวิธี เอช ดี อาร์ แบร์คิเทอราปี โดยใช้ ที แอล ดี ที่พัฒนาใน
ประเทศไทย**

**Rectal dose evaluation during HDR Brachytherapy of
cervical cancer patients
by using domestic TLD**

จินตนา เหล้าไฟบูลย์^{1*} ธนุตม กวยเจริญพานิชย์² และพาริณี อุทรักษ์¹

**¹ คณะวิทยาศาสตร์ / สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 85 ต.เมืองศรีໄค อ.วาริน
ชั่รราม จ.อุบลราชธานี**

**² กลุ่มงานรังสีรักษา / ศูนย์มะเร็งอุบลราชธานี, 405 ต.คลังอาวุธ ต.ขามใหญ่ อ.เมือง จ.
อุบลราชธานี**

* 2502jin@gmail.com

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนในลำไส้ใหญ่ของผู้ป่วยมะเร็ง
ปากมดลูกที่มาทำการรักษาด้วยเทคนิค High Dose Rate Brachytherapy
ที่ศูนย์มะเร็ง อุบลราชธานี โดยใช้ชุดวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นเองจำนวน 40 ชุด
แต่ละชุดประกอบด้วย ผลึกเซิงเตี้ยยวของ TLD ชนิด LiF : Mg,Cu, Si
ขนาด $4.5 \times 4.5 \times 0.9 \text{ mm}^3$ จำนวน 9 เม็ดบรรจุอยู่ในฟองน้ำโดยวางตัวใน
แนวยาวแต่ละเม็ดห่างกัน 10 mm. ฟองน้ำถูกหุ้มด้วยถุงยางอนามัยและ
นำเข้าสู่ลำไส้ใหญ่บริเวณไส้ตรง ก่อนการฉายรังสีรักษาด้วย อิริเดียม-192
ผลการศึกษาผู้ป่วยอาสาสมัครจำนวน 40 ราย พบว่าปริมาณรังสีในลำไส้
ตรงที่ได้จากการวัดด้วย TLD มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณจากโปรแกรม
คอมพิวเตอร์ในแผนการรักษา Brachy Vision V 8.1 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์
เฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลของความแตกต่างระหว่างปริมาณ
รังสีสูงสุดที่วัดได้ด้วยทีแอลดีกับที่คำนวณได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เท่ากับ 10.620 และ 31.289 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลงานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อรังสีแพทย์ในการวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกในอนาคตแล้วยังเป็นข้อมูลสำหรับติดตามผลข้างเคียงที่เกิดจากการได้รับรังสีที่ผนังลำไส้ของผู้ป่วยทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต่อไป

ค่าสำคัญ : ไฮโดรสเตท แบรคีเทอราปี , ปริมาณรังสีในลำไส้ใหญ่ , เทอร์โนลู มีเนสเซนซ์

Abstract

Absorb doses in rectum during HDR Brachytherapy of cervical cancer patients at Ubonratchathani Cancer Center were examined. Domestic developed 40 pack compose of LiF:Mg,Cu,Si thermoluminescence dosimeters chip of $4.5 \times 4.5 \times 0.9 \text{ mm}^3$, with up to 9 detector were positioned every 10 mm separated by sponge and wrapped with condom and placed at anterior rectal walls before high dose therapy by iridium - 192 in 40 volunteer patients. The dose measurement from TLD were compared to the dose calculated by BrachyVision V 8.1 treatment planning program. The results are agreed in general well with the average percentage. Difference and the standard deviation of between the highest dose measured by TLD and calculated by computer planning programme were 10.620 percent and 31.289 respectively . The results of this research will be beneficial to the radiologist in planning the treatment of patients with cervical cancer in the future and also for monitoring the side effects caused by exposure to the intestinal wall of patients in both the short and the long-term.

Keywords : HDR Brachytherapy , Rectum Dose , Thermoluminescence Dosimeter

บทนำ

มะเร็งปากมดลูกเป็นมะเร็งที่พบมากที่สุดของมะเร็งในสตรีไทยและพบมากในช่วงอายุ 35-60 ปี [1] โดยมีผู้ป่วยรายใหม่ปีละประมาณ 6,000 ราย สาเหตุเกิดจากมดลูกติดเชื้อเอชพีวีซนิดก่อให้เกิดมะเร็ง หากเป็นในระยะลุกลามจะสามารถรักษาด้วยวิธีการผ่าตัด การฉายรังสีและเคมีบำบัด การฉายรังสีเพื่อรักษามะเร็งปากมดลูกจะใช้เทคนิคการฝังแร่ด้วยอัตราให้ปริมาณรังสีสูงที่เรียกว่า High Dose Rate Brachytherapy (HDR Brachytherapy) ด้วยตันกำเนิดรังสีอิหริเดียม - 192 ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งเล็กๆ สอดเข้าไปภายในปากมดลูกให้มีตัวแทนแห่งใกล้กับบริเวณที่จะทำการรักษา วิธี HDR Brachytherapy เป็นวิธีสมัยใหม่ที่ได้พัฒนาเทคโนโลยีให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ทั้งใช้เวลาในการรักษาไม่นาน ผู้ป่วยกลับบ้านได้ไม่ต้องนอนโรงพยาบาล [2]

ในการวางแผนการให้ปริมาณรังสีกับผู้ป่วยที่ศูนย์มะเร็งอุบลใช้วิธีการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Brachytherapy V. 8.1 โดยข้อมูลตำแหน่งมะเร็งและตำแหน่งอวัยวะข้างเคียงต่างๆ จะกำหนดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ร์ เนื่องจากการรักษาด้วยวิธีนี้เป็นการให้รังสีปริมาณสูงกับผู้ป่วยในระยะเวลาสั้น ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องระมัดระวัง และคำนึงถึงอย่างมากคือบริเวณอวัยวะข้างเคียง เช่นกระเพาะปัสสาวะหรือลำไส้ใหญ่ที่ต้องเฝ้าดูและศึกษาผลของรังสีที่มีต่ออวัยวะดังกล่าว เนื่องจากทั้งกระเพาะปัสสาวะและลำไส้ใหญ่เป็นอวัยวะขนาดเล็กที่อยู่ภายใต้ร่างกาย จึงเป็นการยากที่จะวัดรังสีได้ หัววัดที่ดีจะต้องมีความสามารถในการจำแนกปริมาณรังสีรังสีตามแนวยาวของลำไส้ได้ มีขนาดเล็กและมีความเที่ยงตรงสูง Lambert J และคณะ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของรังสีที่เดินทางเข้าไปในหุ่นจำลองที่เป็นน้ำ (Water phantom) โดยฉายรังสีรักษามะเร็งปากมดลูกให้แก่ Water phantom และใช้หัววัดรังสีที่หาซื้อได้ 3 ชนิดคือ ชนิด diamond detector, a MOSFET, and LiF TLDs เปรียบเทียบกับที่ใช้งานประจำคือ scintillation detector (BrachyFOD)

พบว่า diamond detector วัดปริมาณรังสีได้ถูกต้องที่สุดแต่มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมที่จะใช้วัดกับอวัยวะภายในได้ a MOSFET มีข้อจำกัดตรงที่ ที่ความลึกใต้ผิวน้ำมากๆจะวัดค่าได้ผิดพลาดมากถึง 30-40 % ส่วน LiF TLDs ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีอ่านใจจำแนกตามความลึกในน้ำดี แต่แตกต่างจากหัววัดชนิดอื่นตรงที่ไม่สามารถทราบปริมาณรังสีได้ทันที [3] ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับผู้วิจัยในการตัดสินใจเลือกหัววัด ให้มีความเหมาะสมกับงานที่จะทำ นอกจานี้จากการศึกษางานวิจัยของ นายแพทริโอริเวียร่า เจปี [4] พบว่าการนำ TLD ชนิด LiF:Mg,Ti,,Na มาใช้ วัดปริมาณรังสีในลำไส้ใหญ่ที่ผู้ป่วยได้รับขณะมีการฉายรังสีรักษามะเร็ง ปากมดลูก ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับปริมาณรังสีที่คำนวณด้วย คอมพิวเตอร์ก่อนการรักษา นอกจานี้ขยายชี้ให้เห็นว่าการนำ TLD มาใช้ งานนั้นทำได้ง่ายกว่าการใช้วิธีวัดแบบอื่นๆ TLD ชนิด LiF:Mg,Ti,,Na ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตจากบริษัท Philitech ประเทศฟรังเศส มีลักษณะ เป็นผลึกผงต้องนำมาบรรจุลงแคปซูลขนาดเล็กโดยแต่ละแคปซูลมีผงที่แอล ดีอยู่ 34 มิลลิกรัม เข้าไป TLD จำนวน 10 แคปซูลไปวางตัวในแนวยาวใน ท่อพลาสติก และสอดท่อพลาสติกดังกล่าวเข้าไปในลำไส้ใหญ่ทางทวาร หนัก ก่อนการฉายรังสีรักษาให้แก่มะเร็งปากมดลูก

สืบเนื่องมาจากการผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ 2553 เรื่อง การพัฒนาที่แอลตีวัดรังสีแบบ พกพาชนิด LiF ที่มีสารเจือเป็น Mg , Cu ,Na และ Si โดยใช้เทคนิคการ ผลิตแบบการเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นผลึกเชิงเดียวด้วยเทคนิคของ Bridgeman ทำให้ได้เม็ดที่แอลตีที่มีความแข็งแรงทนทานไม่แตกหักง่าย สะดวกต่อการใช้งานมากกว่าการเตรียมในลักษณะผลึกผงหักยังทนทานต่อ ความชื้นสามารถล้างทำความสะอาดได้ในน้ำกลืนด้วยคลื่นเสียงอัลตร้าโซ นิค นอกจากนี้ LiF ที่อยู่ในรูปผลึกเชิงเดียวจะมีลักษณะใสไม่เกิดปัญหาใน เรื่องการบังแสงในตัวเอง ส่งผลให้ได้ที่แอลตีที่มีความไวในการตอบสนอง ต่อรังสีสูง [5] นอกจานี้ที่แอลตีชนิดที่ใช้สารหลักเป็น LiF ยังมีคุณสมบัติ เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานทางด้านการแพทย์เนื่องจากมีคุณสมบัติต่อรังสี เทียบเคียงกับเนื้อเยื่อ (tissue equivalent) มีขนาดเล็ก สามารถสอดได้

เข้าไปวัดภายในอวัยวะมนุษย์ได้ [5] ทั้งยังมีความไวในการตอบสนองต่อรังสี และมีอำนาจจำแนกดี

วัตถุประสงค์

เพื่อวัดและประเมินค่าปริมาณรังสีที่ผิวภายนอกในลำไส้ในกลุ่มของผู้ป่วย

มะเร็งปากมดลูก โดยใช้ TLD ชนิด

LiF: Mg,Cu, Si แบบผลิกเซิงเดียวยที่ผลิตขึ้นเองในประเทศไทย

ระเบียบวิธีวิจัย/อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งขั้นตอนการวิจัยได้เป็น 3 ขั้น ดังนี้

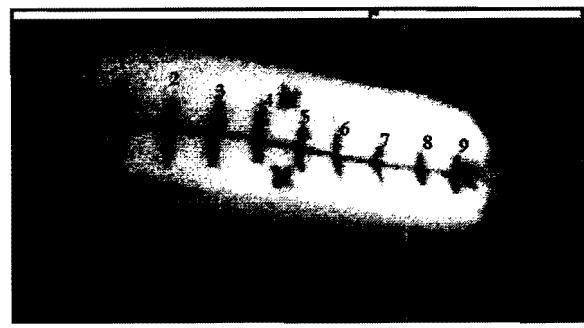
1 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดTLDก่อนนำไปใช้งาน

1) การอบ (Anneal) TLD เพื่อลดสัญญาณตกค้าง โดยการนำเม็ดTLD ไปอบที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบต่อด้วยอุณหภูมิ 100 °C

2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็น ตัวลงสู่อุณหภูมิห้อง

2) ขั้นตอนการหาค่าแก้ประจำเม็ด (Elementary Correction Factor : ECF) นำเม็ดTLD ที่อบไว้แล้วมาฉายรังสีเอกซ์ด้วยเทคนิค 100 Kv, 10mA, Field Size 14x14 เซนติเมตร และนำมาอ่านค่าด้วยเครื่องอ่าน TLD คำนวณค่า Elementary Correctin Factor ของแต่ละเม็ด ในการหาค่าดังกล่าวนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดี ได้ทำซ้ำเป็นจำนวน 4 ครั้ง

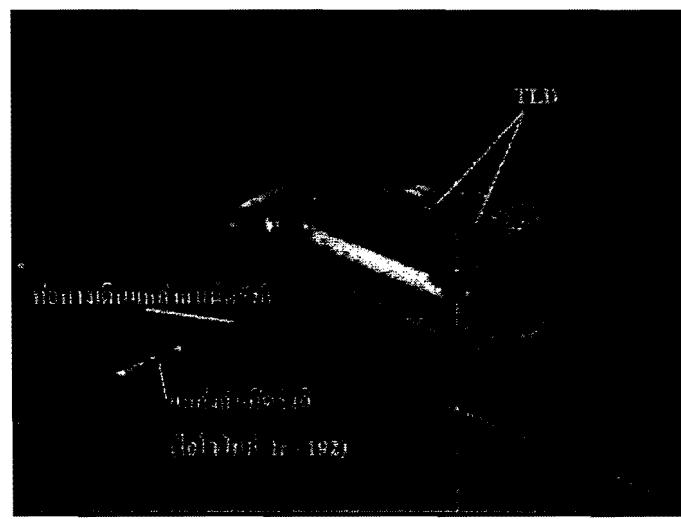
3) ขั้นตอนการสร้างชุดTLD วัดรังสีในลำไส้ในกลุ่มของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูก เลือกพองน้ำที่มีความนุ่มไม่แข็งเกินไป (เพื่อมิให้คนไข้เกิดระคายเคืองผิวนังกายในลำไส้ใหญ่) ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 3x10 เซนติเมตร เจาะรูปให้มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดTLD จำนวน 9 ตัวແเน่งโดยแต่ละตัวແเน่งห่างกัน 1 เซนติเมตร ตั้งภาพที่ 1 แล้วนำเม็ดTLD มาบรรจุในแต่ละตัวແเน่งโดยจะใช้เม็ดTLD อีก 1 เม็ดเพื่อเป็นเม็ดที่ใช้วัดค่าปริมาณรังสีเอกซ์ ในการตรวจดูตัวແเน่งการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใส่แหล่งกำเนิดรังสีอิริเดียม - 192



ภาพที่ 1 แสดงตัวແໜ່ງ TLD หັ້ງ 9 ເມືດ ທີ່ວາງຕົວໃນແນວຍາວຢູ່ກາຍໃນ
ພອນນໍາ

2 ຂັ້ນຕອນການທ່າ Standard TLD

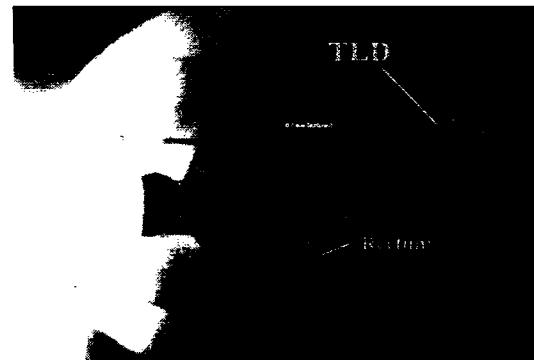
- 1) ນໍາເມືດTLD ທີ່ເຕີຣີມໄວ້ແລ້ວມາວາງໄວ້ໃນແຜ່ນອະຄຣີສີກ (Acrylic) ທີ່ມີ
ລັກຊະນະສື່ເໝີຍມທີ່ມີຮ່ອງຍາວ
ຕຽບກາລາງເພື່ອທີ່ຈະເປັນຊ່ອງທາງເຄລື່ອນທີ່ສໍາຫັບແໜ່ງກໍາເນີດຮັງສີ ວາງ
TLD ໃນຕ່າແໜ່ງໜ້າຈາກຮ່ອງຂອງແຜ່ນ Acrylic ຫັ້ງສອງຂ້າງເປັນຮະຍະ
- 2 ເຊັນຕິເມຕຣ ມີລັງຈາກນັ້ນທ່າການຈາຍຮັງສີອົຣີເດີຍມ - 192 ໃຫ້ກັບເມືດ TLD ທີ່
ຈະໃຊ້ເປັນມາຕຽບຮູ້ນີ້ທີ່ປ່ຽນມາຮັງສີຕ່າງໆກັນຕັ້ງແຕ່ 0.5 - 5 Gy ກາພກາ
ທດລອງດັ່ງແສດງໃນກາພທີ່ 2



ກາພທີ່ 2 ແສດງການຈາຍໄອໂຈໂທປັງສີອົຣີເດີຍມ - 192 ໃນການ
ທ່າ standard TLD

3 ขั้นตอนการวัดปริมาณรังสีด้วย TLD

- 1) ชี้แจงให้ผู้ป่วยรับทราบและเชื่นตัวรายชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยในครั้งนี้
- 2) ใช้ถุงยางอนามัย (Condom) สวมหันชุดTLD ที่เตรียมไว้ และให้แพทย์เป็นผู้ดำเนินการนำTLD สอดเข้าไปในลำไส้ใหญ่ของผู้ป่วยทางทวารหนัก
- 3) นำผู้ป่วยไปถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ เพื่อดูตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ และตำแหน่งอย่างรวมทั้งดูตำแหน่งของเม็ด TLD (ภาพถ่ายดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 3) ข้อมูลตำแหน่งต่างๆของภาพถ่ายที่ได้นี้จะนำไปเป็นข้อมูลดินปืนให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Brachytherapy V. 8.1 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่างๆได้รับ รวมทั้งนำไปใช้ประกอบในการวางแผนการให้ปริมาณรังสีที่จะทำการรักษา ในการทดลองนี้ต้องการทราบค่าปริมาณรังสีที่คนไข้ได้รับระหว่างการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในขั้นตอนนี้จึงมีการนำ TLD ออกมากจากลำไส้จำนวน 1 เม็ด เป็น TLD เม็ดที่ 10 บรรจุในห่อพลาสติก ติดตั้งไว้ระหว่างกึ่งกลางของ TLD เม็ดที่ 4 กับ เม็ดที่ 5

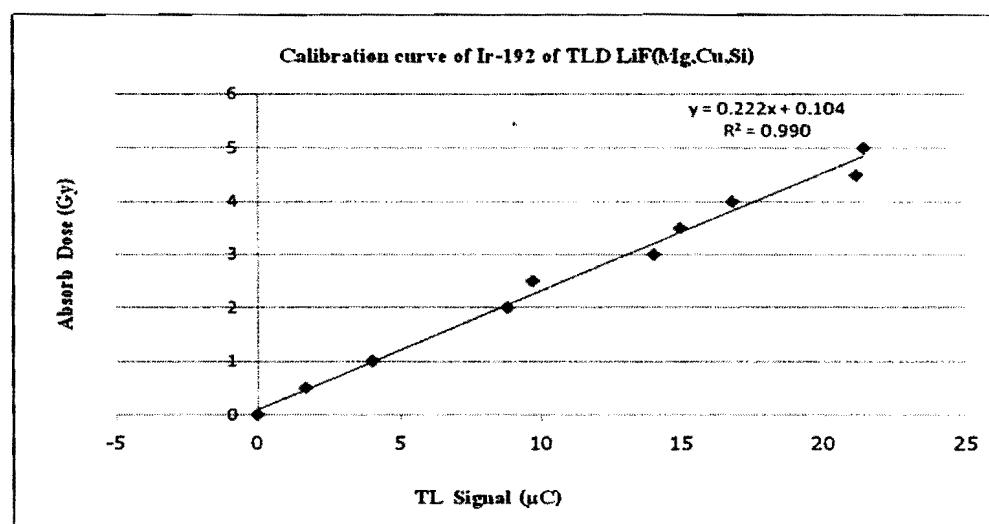


ภาพที่ 3 แสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์จากการทดลองจริงขณะทำวิจัยเพื่อดูตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในลักษณะผู้ป่วยนอนตะแคงด้านข้างก่อนรับการรักษาจากไอโซโทปรังสี อิริเดียม - 192

4) นำคนไข้ไปปลายรังสีด้วยไอโซโทปอิริเดียม – 192 เพื่อรักษามะเร็งป้ากมดลูก โดยใช้เทคนิคการฉายตาม Treatment planning programme ที่อยู่ในการดูแลของรังสีแพทย์ร่วมกับนักรังสีเทคนิคศูนย์มะเร็งอุบล หลังจาก คนไข้ได้รับการรักษาเรียบร้อยแล้ว พยาบาลจะเป็นผู้นำชุดวัดรังสี TLD ออก จากลำไส้ให้ญี่ ผู้วิจัยตรวจสอบความเรียบเรียงของตำแหน่ง เม็ด TLD และนำถุงยางอนามัย (Condom) ออก จากนั้นนำเม็ด TLD มาอ่านค่าปริมาณแสงด้วย เครื่องอ่านที่แอลดี และคำนวณหาค่าปริมาณรังสี

ผลการวิจัย

ผลการทำ Standard TLD ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจาก TLD (μC) กับปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับ (Gy) จากการฉายรังสีของ ไอโซโทปอิริเดียม - 192 ที่ปริมาณรังสี 0-5 Gy (n=3)

ผลการทดลองของกราฟปรับเทียบมาตรฐานดังภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจาก TLD จะมีค่ามากขึ้น เมื่อปริมาณรังสีที่ฉายให้กับเม็ด TLD มีค่ามากขึ้นโดยมีความสัมพันธ์เป็นไปตามรูปแบบสมการเชิงเส้น $Y = 0.222x + 0.104$ และมีความเป็นเชิงเส้นที่ดีคือมีค่า correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.990

ผลการวัดปริมาณรังสีด้วย TLD

ผลการวัดปริมาณรังสีที่ผิวหนังลำไส้ในญี่ด้วยTLD สามารถนำมาพิจารณาได้ 2 ประเด็น คือปริมาณรังสีในลำไส้ในญี่ของคนไข้แต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 1 กับปริมาณรังสีสูงสุดเฉลี่ยของคนไข้ 40 ราย ที่ผนังลำไส้ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างปริมาณรังสีที่วัดได้ในตำแหน่งตามยาวของลำไส้ในญี่ด้วยชุดวัดรังสีTLDที่สร้างขึ้น ในคนไข้ 1 ราย

ตำแหน่งเม็ด TLD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ปริมาณรังสี (Gy)	1.16 7	1.82 0	2.95 6	4.42 7	4.76 3	3.88 4	2.19 2	1.27 7	0.96 0

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณรังสี ณ บริเวณตำแหน่งของลำไส้ที่ได้รับปริมาณรังสีสูงสุดโดยวัดตรงด้วยTLD กับวิธีระบุปริมาณรังสีตามที่วางแผนการรักษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Brachy Vision V.8.1) ของผู้ป่วยที่เป็นอาสาสมัครจำนวน 40 ราย

	Average \pm SD	Average percentage difference \pm SD
ปริมาณรังสีที่วัดด้วย TLD (Gy)	5.020 \pm 1.211	10.620 \pm 31.289
ปริมาณรังสีที่วางแผนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Gy)	4.370 \pm 0.665	

อภิปรายผล

ปริมาณรังสีที่วัดได้ในต่ำแห่งตามยาวของลำไส้ใหญ่ด้วยชุดวัดรังสีTLDที่สร้างขึ้น ในคนไข้ดังแสดงในตารางที่ 1 พนว่าปริมาณรังสีตามแนวยาวของลำไส้ใหญ่บริเวณไส้ตรงมีปริมาณรังสีไม่เท่ากัน แต่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงลักษณะคล้ายรังสีคงค่าว่า โดยบริเวณที่มีรังสีปริมาณมากที่สุด (Maximum dose) จะอยู่ในต่ำแห่งที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดรังสีที่สอดใส่อยู่ในมดลูกมากที่สุด

ตารางที่ 2 ปริมาณรังสี ณ บริเวณต่ำแห่งของลำไส้ที่ได้รับปริมาณรังสีสูงสุดโดยวัดตรงด้วยTLD ของคนไข้ทั้ง 40 คน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.020 Gy โดยที่ปริมาณรังสีที่ระบุไว้ในแผนการรักษาด้วยคอมพิวเตอร์(Brachy Vision V.8.1) นั้นสำไส้จะได้รับ 4.370 Gy ค่าความแตกต่างของปริมาณรังสีดังกล่าว และค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 10.620 เปอร์เซ็นต์และ 31.289 ตามลำดับ ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐานทางการแพทย์ [6] และ สอดคล้องกับผลการวิจัยของนาย Oliveira JP [4] ที่ผลการทดลองวัดปริมาณรังสีที่ลำไส้ใหญ่โดยใช้ที่แอลดีที่เป็นพลิกผงกับคนไข้ 6 คน พนว่ามีความแตกต่างจากที่วางแผนรังสีรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ไปประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และเข้าได้ระบุว่าความแตกต่างประมาณ 10 ปอร์เซ็นต์ถือว่ายอมรับได้ โดย ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวเกิดมาจากการเหตุผล 2 ประการ ประการแรกเนื่องจากลำไส้ของคนมีการเคลื่อนตัวตลอดเวลา ประการที่สองอาจเนื่องมาจากการเลือกใช้ต่ำแห่งในภาพถ่ายไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุให้ค่าปริมาณรังสีที่วัดได้จากการคำนวณไม่ตรงกับค่าที่วัดได้จริง ด้วยที่แอลดี กล่าวคือในการคำนวณปริมาณรังสีของลำไส้ใหญ่จะคำนวณโดยการดูต่ำแห่งจากภาพถ่ายเปรียบเทียบกับต่ำแห่งที่อ้างอิงของลำไส้ที่กำหนดอยู่ใน ICRU No. 82 (International Comission Radiation Units No. 82) ผลการคำนวณ อาจไม่เป็นปริมาณที่เป็นจริง เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของผู้ป่วยอาทิสมมัครแต่ละรายที่ไม่เหมือนกันอีกทั้ง ปริมาณรังสีที่ให้ในแต่ละครั้งแต่ละคนที่บริเวณปากมดลูกก็ไม่เท่ากัน ซึ่ง สอดคล้องกับข้อสรุปในผลงานของนักวิจัย นายนาตาสชาาร์วอชเชอร์ เกอร์สเนอร์และคณะ (2003)[7]ที่พนว่าที่จุดอ้างอิงใน ICRU จะมีค่าปริมาณรังสีมากกว่าความเป็นจริงหรือในกรณีที่เลือกใช้ต่ำแห่งของภาพถ่ายมาคำนวณไม่เหมาะสม ก็จะทำให้ได้ปริมาณรังสีที่คำนวณได้อาจ

ต่ำกว่าความเป็นจริง (โดยผลการทดลองที่แสดงด้วยตัวเราต่ำกว่าที่คำนวณโดยรวมมีค่าประมาณ 10.684 ± 31.242)

สรุปและข้อเสนอแนะ

ชุดวัสดุรังสีTLD ที่พัฒนาในประเทศไทย มีคุณสมบัติที่ดีและสามารถนำไปใช้ในการวัดปริมาณรังสีภายในลำไส้ใหญ่ของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกได้เป็นอย่างดี เพื่อเป็นการทราบข้อมูลโดยการวัดตรง ซึ่งเป็นการใช้ร่วมกับการวางแผนรักษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กรณีนี้มีได้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบเพื่อทดสอบแต่อย่างใดแต่ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อรังสีแพทย์ในการวางแผนทำวิจัยต่อยอดในเรื่องการติดตามผลข้างเคียงของปริมาณรังสีที่มีต่อลำไส้ใหญ่ของคนไข้ที่เคยได้รับการรักษามะเร็งปากมดลูกด้วยวิธี HDR Brachytherapy ในอนาคต ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต่อไป

จากการสอบถามความพึงพอใจของผู้ป่วยอาสาสมัคร สรุปได้ชัดว่า การวิจัยในครั้งนี้ได้รับความพึงพอใจจากผู้ป่วยอาสาสมัคร เนื่องจากมีได้ทำให้คนไข้รู้สึกเจ็บปวด(เนื่องจากการออกแบบชุดที่แสดงตัวที่ใช้ฟองน้ำและห่อหุ้มด้วยถุงยางอนามัย) และมีได้เพิ่มขั้นตอน หรือเป็นผลเสียหายต่อการรักษาแต่อย่างใด จึงทำให้ผู้ป่วยอาสาสมัครไว้วางใจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์มะเร็ง โรงพยาบาลส่งขลานครินทร์ . 2011 . มะเร็งปากมดลูก .
<http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news>
- [2] Sangthawan D. 2001 "High dose rate brachytherapy" Songkla Med 19(2) : 95-102
- [3] Lambert J, and etc. 2007 "In vivo dosimeters for HDR brachytherapy: a comparison of a diamond detector, MOSFET, TLD, and scintillation detector." Med. Phys 34(5) : 1759-65
- [4] Oliveira JP, and etc. 2009 " Rectal dose assessment in patients submitted to high-dose-rate brachytherapy for uterine cervix cancer" Radiol Bras 42(2) : 83-88
- [5] ลำพูน อ กอุ่น. 2010. "การผลิตและคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ของ พลิกเชิงเดี่ยวลิเทียมฟลูออไรด์ : แมกนีเซียม คอมเพอร์ ซิลิกอน ".วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [6] American Association of Physicists in Medicine.Dodimetry of interstitial brachytherapy sources:recommendation of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.43 AAPM Peport No.51 . Woodbury: American Institute of Physics;1995. [Reprinted from Med Phys. 1995;22:209-34].
- [7] Natascha , W-G and etc. 2003 " Bladder and rectum dose defined from MRI based treatment planning for cervic cancer brachytherapy : comparision of dose-volume histograms for organ contours and organ wall,comparison with ICRU rectum and bladder reference point". Radiotherapy and Oncology 68 (3) : 269-276



Thai Medical Physicist Society

The 5 th Annual Scientific Meeting
24-27 February 2011

BP Samila Beach Hotel & Resort

Proceedings



BP Samila Beach Hotel & Resort

8 Rachadamnern Rd., Muang Songkhla 90000, Thailand

Tel 667 444 0222, 327333 Fax 6674440442

bpsamila@bphotelsgroup.com <bpsamila@bphotelsgroup.com>

**RADIATION DOSE MEASUREMENTS USING THERMOLUMINESCENCE DOSIMETER (TLD)
IN PATIENTS ROOM AND ADJACENT AREAS FROM I-131 IN THYROID CANCER PATIENTS
TREATED AT SIRIRAJ HOSPITAL**

Suwicha Lasa¹, Malulee Tuntawiroon¹, Nopamon Sritongkul¹, Jintana Laopaiboon²

¹Division of Nuclear Medicine, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok

²Ubon Ratchathani University, Thailand

Introduction: Thyroid carcinoma patients treated with I-131 are potential sources of high radiation exposure to others. The purpose of this study is to measure the radiation dose in and outside patient room by using two types of TLDs, TLD-100 (LiF:Mg,Ti) available commercially and an in country developed TLD (LiF:Mg,Cu,Si) with the aim of limiting exposure to attending staffs and helpers.

Methods: Both types of TLDs were irradiated in and outside patient room for 5 weeks during the period of patient isolation in the medical facility. There were 7 patients admitted, each for 2 – 3 days with a total administered activity of 1.243 Ci. Absorbed dose rate at each location was determined and recommended period in close contact with the patient can be estimated to ensure that level of therapeutic dose will not cause those persons to expose to excessive radiation according to ICRP publications.

Results: Dose measurements were in good agreement between both type of TLDs. Mean dose rates were 21.9 and 20.2 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ at the patient bed, 9.8 and 9.1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ in front of the lead barrier for TLD (LiF:Mg,Cu,Si) and TLD-100 (Li:Mg,Ti) respectively. Dose rate in the bathroom areas measured by both TLDs ranged from 4.5 to 5.2 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. TLD (LiF:Mg,Cu,Si) respond to low dose level ($<1 \mu\text{Sv}/\text{h}$) 2 to 2.5 times more than TLD-100, 1.3 and 0.5 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ were detected behind the lead shield and 1.4 and 0.7 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ outside the room respectively. In hallways and near elevator area adjacent to the patient room the dose rate was between 0.15 and 0.4 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

Discussion: The dose rate at the patient bed was above the limit for occupational workers, whereas the dose rates in other locations were below the limit. If helper is allowed it is best to restrict care time limits. With proper education and special instructions, radiation exposure of health professionals and individuals willingly helping in the comfort of patients can be minimized.

Conclusions: This study provides guidance for medical practitioners to obtain practical radiation safety concerns associated with hospitalized patients receiving I-131 therapy especially when helper is allowed.

Introduction

According to statistics collected by Siriraj Cancer Center, Siriraj Hospital of 2008, thyroid cancer was found to be at rank no. 9th of most common cancers. Prevalence of thyroid cancer was equal to 3.84% of all cancer cases and the most common one of all cancers in endocrine system (1). Treatment is generally done by surgery while the remaining thyroid tissue after such surgery can well capture Iodine-131. Therefore, after the surgery, it is required to further give Iodine-131 to destroy the remaining normal thyroid tissue. There are 2 levels of radioactive intensity; the first one, applying Iodine-131 at lower than 30 mCi and patient is allowed to go back home (2,3,4) and the second one, applying Iodine-131 at higher than 30 mCi and patient is required to be admitted as inpatient subject to the criteria prescribed by IAEA Safety Series No. 115, that is, the patient in which body level of Iodine-131 is higher than 1100 MBq (30 mCi) or radioactivity at 1 meter range from the patient is higher than 5 mR/h (0.05 $\mu\text{Sv}/\text{h}$) is required to be isolated in single bedroom with radioactive proof facilities including isolated bathroom(5).

Treatment of patient with thyroid cancer by Iodine-131 at high radioactive dose and inpatient type may pose risk from radioactive source of patient on hospital staffs or patient's relatives acting as carers, comforters or caregivers during providing support to patients who can not help themselves. Exposure to radiation of these persons has to be within acceptable level pursuant to radiological safety standard and it is thus a responsibility of radiology expert to properly consider preventive measures and to avoid radiological risk to these people by assessing accumulative dose relevant persons may be exposed to by measuring radiation from patient to environment in isolated room and surrounding area in the hospital ward. Measurement of radiation from patient within isolated room at hospital and surrounding area is usually done by survey meter and there was only one study by Abu-Khaled and et al (8) which reported that Thermoluminescence Dosimeter (TLD), a popular dosimeter for measuring accumulated dose in environment (environment dosimeter). Property of TLD features as crystal of natural compound to be used for dose measurement e.g. crystal of Lithium Fluoride (LiF). When this crystal absorbs radiation energy, electron will be stimulated to the orbit of higher level until it has been stimulated by heat; energy will be released in the form of light quantity of which will directly be proportionate to volume of radiation absorbed. TLD has an advantage that it can be reused although not re-readable. TLD (LiF) has effective atomic number similar to that of human tissue causing

volume of radiation measured by TLD to be comparable to measurement in tissue, or called tissue equivalence. Although its size can be varied as desired, its use limitation is that the price is still expensive as it has to be imported from abroad. This research therefore focuses on comparative study of radiation measurement by TLD developed in the country and TLD 100 brought from abroad.

Materials and Methods

This research is then used TLD 2 types were TLD (LiF: Mg,Cu,Si) and TLD 100 (LiF: Mg,Ti) reading light with its TLD reader Harshaw / Bicron Model 3500 with nitrogen gas flow were used by the heating temperature on seed crystals from 60 to 300 ° C, heat rate 10 ° C / sec. Preparation of TLD (LiF: Mg, Cu, Si) before use do this by application TLD to anneal continuous at 400 ° C for 1 hour and the temperature of 100 ° C for 2 hours, the TLD to anneal and then to screening radiation. Then read the amount of light to do the same until the third time and calculate the solution due to the radiation sensitivity of each TLD pellets that do not resolve to the same radiation sensitivity as well. This value is called ECC (Element Correction Coefficients) of the TLD. The purpose of a calibration curve of TLD to find that relationship between radiation dose to the signal light for use in calculating the amount of radiation measured by the thyroid cancer patients who received I-131. Both types of TLDs were irradiated in and outside patient room No.23 for 5 weeks during the period of patient isolation in the medical facility. There were 7 patients admitted, each for 2 – 3 days with a total administered activity of 1.243 Ci.

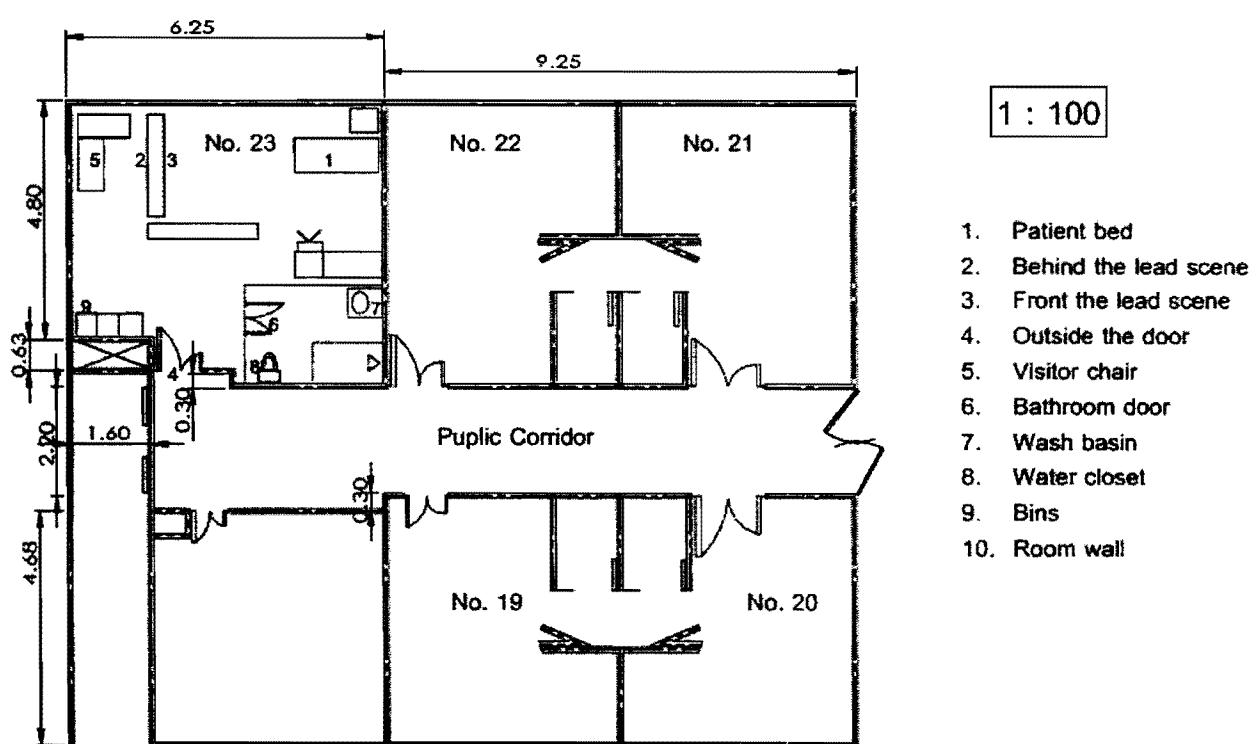
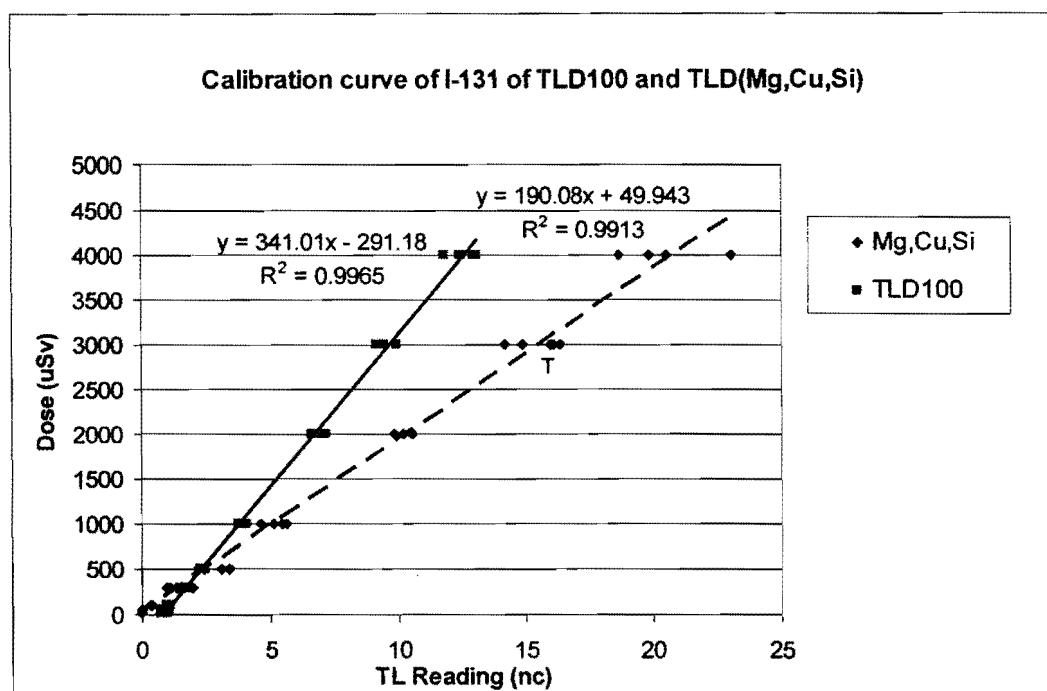


Figure 1. Map of I-131 treatment patient in isolated room No.23 and surrounding area in the hospital ward.

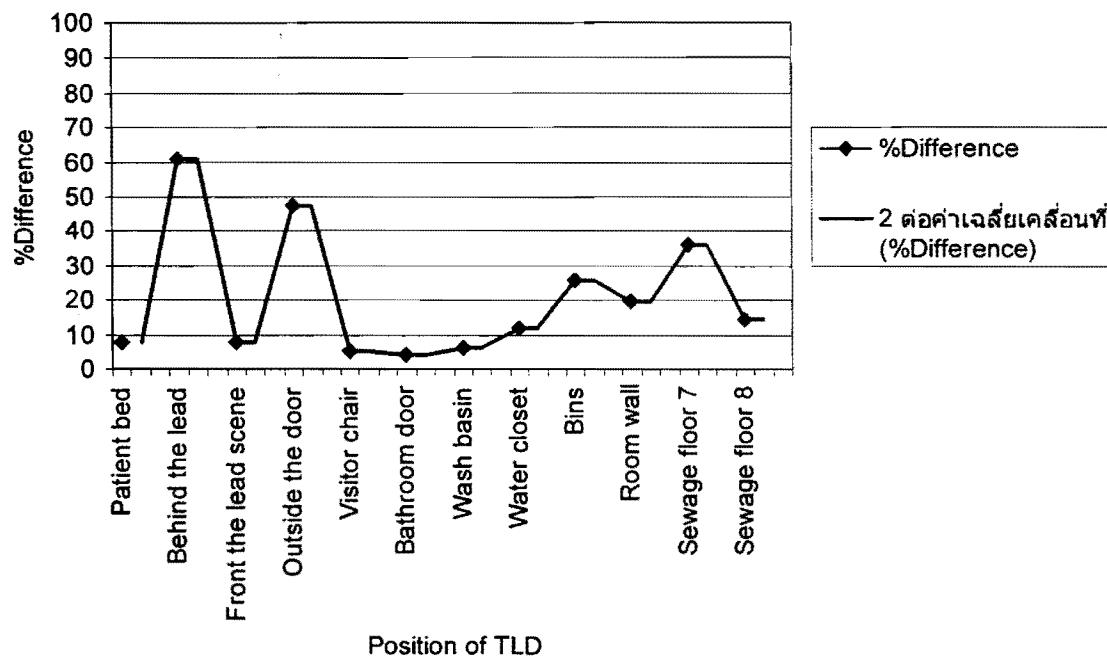
ผลการทดลอง

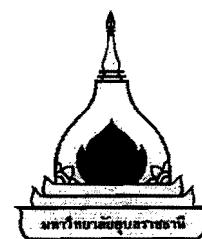
กราฟแสดงความสัมพันธ์ Calibration curve



Position of TLD	TLD (LiF:Mg,Cu,Si) ($\mu\text{Sv}/\text{hr}$)	TLD 100 ($\mu\text{Sv}/\text{hr}$)
Patient bed	21.90	20.22
Behind the lead scene	1.31	0.51
Front the lead scene	9.84	9.05
Outside the door	1.36	0.71
Visitor chair	9.60	9.10
Bathroom door	4.64	4.45
Wash basin	4.88	4.58
Water closet	5.23	4.60
Bins	3.16	2.35
Room wall	3.58	2.87
Sewage floor 7	1.92	1.22
Sewage floor 8	3.98	3.40

The graph shows of %Difference of TLD100 and TLD(Mg,Cu,Si)





**การวัดปริมาณรังสีโดยใช้เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสิเมเตอร์ในบริเวณห้องรักษาผู้ป่วย
มะเร็งต่อมไทรอยด์ด้วยไอโอดีน-131 ที่โรงพยาบาลสัปปะทิพรัชประสังค์**

**Measuring radiation level using thermoluminescence dosimeter at room treatment of
thyroid cancer patients treated with iodine-131 at Sappasitthiprasong hospital**

ราตรี แสงโชค

**ภาควิชาพิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2553**

ชื่อโครงการพิเศษ การวัดปริมาณรังสีโดยใช้เทอร์โนลูมิเนสเซนซ์โคสมิกเตอร์ในบริเวณห้องรักษาผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์คัวบีไอโอดีน-131ที่โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์

ชื่อผู้เขียน นางสาวราตรี แสงโชติ

วิทยาศาสตรบัณฑิต พลิกส์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	รศ. จินนา เหล่าไฟบูลย์ นางพรภรณี หรุ่นโพธิ์ ผศ.ดร. อุฒ ทิพราษ รศ. เรวัฒน์ เหล่าไฟบูลย์	อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ กรรมการ
---------------------------	---	--

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานนี้ คือ การนำเอาเม็ด TLD ชนิด LiF:Mg,Cu, Si ที่ผลิตขึ้นโดยภาควิชา พลิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ไปวัดปริมาณรังสีบริเวณต้าแหนงให้ไฮโอดีน-131 แก่ผู้ป่วย เตียงตรวจ scan ห้องน้ำผู้ป่วย ประตูหน้าห้องเวลาศรนิวเคลียร์ บริเวณเก็บกล่องตะกั่วเปล่า บริเวณเก้าอี้ที่ผู้ป่วยนั่งรอการรักษา ผนังห้อง hot lab และบริเวณเก็บกล่องตะกั่วบรรจุ I-131 ภายในงานเวลาศรนิวเคลียร์ โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ เป็นเวลา 30 วันและ 60 วัน เพื่อวัด รังสีแคนนาที่ปล่อยออกมานอกจากไฮโอดีน-131 พนวจว่าปริมาณแสงที่อยู่ได้ในแต่ละบริเวณนั้นมีค่าไม่ เท่ากัน และเมื่อนำค่าปริมาณแสงมาประเมินค่าปริมาณรังสีจาก Standard TLD แล้วเมื่อคิดเป็น ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อชั่วโมงจะเห็นว่าปริมาณรังสีบริเวณให้ยาผู้ป่วยมีค่าเท่ากับ 1.805 ในโครซี เวิร์ค ต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 30 วันและ 6.531 ในโครซีเวิร์คต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 60 วัน ซึ่งสูง กว่าบริเวณอื่นๆ เมื่อนำไปประเมินค่าความปลอดภัยแล้วพบว่าบริเวณให้ยาผู้ป่วยมากกว่าค่าที่ ยอมรับได้สำหรับประชาชนทั่วไป ซึ่งค่าที่ยอมรับได้เท่ากับ 1 ในโครซีเวิร์คต่อชั่วโมง แต่ไม่เกิน ค่าที่ยอมรับได้สำหรับผู้ป่วยด้านค้านรังสี ซึ่งค่าที่ยอมรับได้เท่ากับ 10 ในโครซีเวิร์คต่อชั่วโมง

Special Project Title Measuring radiation level using thermoluminescence dosimeter at room treatment of thyroid cancer patients treated with iodine-131 at sappasitthiprasong hospital

Author Ratree Saengchot

Bachelor of Science Physics

Examining Committees Assoc.Prof. Jintana Loupaiboon Advisor
 Mrs. Pannee Roonpoe Co- Advisor
 Assoc.Prof. Udom Tipparat Committee
 Assoc.Prof. Raewat Loupaiboon Committee

Abstract

The purpose of this work is to used the TLD chips of LiF: Mg, Cu, Si produced by the Department of Physics, Ubon Ratchathani University. To measure the dose at the iodine -131 patient treated position, double check scan, room patients, nuclear medicine room door, lead box and store it, he chair for patients waiting for treatment, wall hot lab and storage box contains lead, I-131 in nuclear medicine at Sappasitthiprasong hospital for 30 days and 60 days. To measure gamma rays emitted from a source of iodine -131. It was found that the total amount of light emitted from different position are not the same. And when it came to evaluate the amount of radiation from the Standard TLD. The radiation dose received per hour of patient treated position is equal to $2.090 \mu\text{Sv} / \text{hr}$ for 30 days and $4.940 \mu\text{Sv} / \text{hr}$ for a period of 60 days which is higher than other areas, which more than acceptable for the general public (ICRP). The acceptable values equal to $1 \mu\text{Sv} / \text{hr}$. But within acceptable values for the radiation workers. The acceptable values of $10 \mu\text{Sv} / \text{hr}$.