



การเตรียมเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ ชนิด LiF แบบผลึกเดี่ยว  
PREPARATION METHODS OF SINGLE CRYSTAL LiF  
THERMOLUMINESCENCE DOSIMETER

หัวหน้าโครงการ	นาง จินตนา	เหล่าไฟบูล์
ผู้ร่วมโครงการ	นายเรวัฒน์	เหล่าไฟบูล์
	นางจิวรรณ	ชัยวัฒนา
ผู้ช่วยวิจัย	นายกราด	พลเยี่ยม

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการปลูกผลึกเดี่ยวของลิเอียมฟลูออไรด์ เพื่อใช้เป็นหัวตัวรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา โดยศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางรังสีของผลึกที่เตรียมได้ เทคนิคที่ใช้ในการปลูกผลึกใช้วิธีการปลูกแบบบริดจ์แมน-สต็อกบานาเจอร์ โดยบดผงสมาร์ลิเอียมฟลูออไรด์ เข้ากับตัวโดป 2 ตัว คือแมกนีเซียม และคอปเปอร์ ใส่ในภาชนะบรรจุสารรูปทรงกระบอก ที่ทำจากแกรไฟต์ นำไปแขวนในห้องสูญญากาศ ใช้เตาหลอมรูปทรงกระบอกซึ่งเคลื่อนที่ขึ้น-ลงอย่างช้าๆ เป็นตัวให้ความร้อนผลึกเดี่ยวของลิเอียมฟลูออไรด์ที่เตรียมได้ เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางรังสี พบว่า ที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียม 1.86 มอลเปอร์เซ็นต์ คอปเปอร์ 0.06 มอลเปอร์เซ็นต์ ให้แสงออกมาก โดยมีพีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส มีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้น ระหว่างความเข้มแสงกับปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ ในช่วง  $10^{-1}$  ถึง  $10^{-3}$  เชนติเกรด ดี มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ ที่พลังงาน 70 kV 15 mA สูงกว่า TLD ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ จากต่างประเทศ (TLD 100) ประมาณ 2 เท่า ไม่พบการจางหายไปของปริมาณแสงเมื่อนำผลึกที่ฉายรังสี เทียบไว้เป็นเวลา 1 เดือน

## ABSTRACT

The purpose of this research is to study the growing method of LiF : Mg,Cu single crystal by the Bridgeman - Stockbarger Technique for use as an X-ray and gamma ray detector. The experiment is conducted using LiF mixed with trace amounts of magnesium and copper in a cylindrical graphite crucible. The crucible was heated in a stainless vacuum tube with a slowly moving heater coil along the axis.

It was found that thermoluminescence emitted from a LiF single crystal concentration of Mg and Cu , 1.86 , 0.06 mole percent , respectively . After gamma ray and x-ray irradiation , the sample gave high sensitivity. The main glow peak was found to be at  $250^{\circ}\text{C}$  . The TL intensity was linearly proportional to the exposure dose in the range of 10 to  $1\times10^3$  cGy . The sensitivity at the photon energy of 70 keV , 12 mA was 2 times higher than commercialy available LiF ( TLD-100 ) . It was found that the sample did not have any detectable fading for 1 month .

Key words : Thermoluminescence , LiF , Dosimeter , Single crystal , TLD

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือ และสนับสนุนจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน โดยผ่านสภาวิจัยแห่งชาติ ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. พิชิต โตสุขวงศ์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้การสนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ Dr. Takeo Niwa อาจารย์ประจำภาควิชา Nuclear engineering มหาวิทยาลัยกินกิ ประเทศญี่ปุ่น ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเตาหลอมรูปทรงกระบอก ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ร.ศ. ดร. กิยโย ปืนยารชุน ที่ช่วยในการออกแบบ และสร้างลิฟท์สำหรับยกเตาหลอม รวมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งระบบสัญญาณ

ขอขอบพระคุณ พญ. อภิรัมย์ เวชภูติ ผู้อำนวยการศูนย์ป้องกันและควบคุมโรคระบาด เชต 7 จังหวัด อุบลราชธานี และคุณเปนิสสา วิสุวรรณ นักธุรกิจการแพทย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสีแกรมมาจากโคนอลต์-60 เพื่อทดสอบคุณสมบัติของหัวตัวรังสีที่เตรียมได้

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตา ให้การศึกษา แก่ผู้เขียนจนมีความรู้พอก็จะทำให้งานวิจัยนี้ลุล่วงลงได้ด้วยดี

คณะผู้ด้าเนินการวิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๔
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๕
กิตติกรรมประกาศ	๖
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	๘
สารบัญภาพ	๙
 บทที่ ๑ บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	๑
1.2 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๑
1.3 วัดอุปประสบของงานวิจัย	๒
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	๓
1.5 สถานที่ทำการวิจัย	๓
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	๓
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	๓
บทที่ ๒ เทอร์มอลูมิเนสเซนซ์ โอดิสิมิเตอร์ คุณสมบัติและวิธีการปลูกผลึกเดี่ยว	
2.1 เทอร์มอลูมิเนสเซนซ์ โอดิสิมิเตอร์	๔
2.2 คุณสมบัติของ TLD	๕
บทที่ ๓ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการปลูกผลึก	๑๑
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี	๑๒
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	๑๔
บทที่ ๔ ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดลองปลูกผลึก	๑๙
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี	๒๐
บทที่ ๕ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัยการทดสอบระบบที่ใช้ปลูกผลึก	๒๘
5.2 สรุปผลการทดลองปลูกผลึก	๒๘
5.3 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี	๒๘
5.4 ข้อเสนอแนะ	๒๙
 บรรณานุกรม	๓๐

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง Linearity range ของ TLD ชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 4.2.1 แสดงข้อมูลการหาค่า ECF	23
ตารางที่ 4.2.2 แสดงสัญญาณแสงของหัววัดที่เตรียมได้เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาจาก โคลบล็อต-60 ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ กัน	24
ตารางที่ 4.2.3 แสดงสัญญาณแสงของหัววัดที่เตรียมได้เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาจาก โคลบล็อต-60 ด้วยปริมาณรังสีต่ำๆ ต่างๆ กัน	25
ตารางที่ 4.2.4 แสดงการเปรียบเทียบ Sensitivity ของหัววัดที่เตรียมได้โดย Jintana(LiF Single Crystal) กับหัววัดรังสีที่ผลิตโดยบริษัท Harshaw(LiF Poly Crystal:TLD-100) เมื่อนำไปฉายรังสีเอ็กซ์	26
ตารางที่ 4.2.5 แสดงค่าสัญญาณแสงจากหัววัดรังสี ที่นำไปฉายรังสีแกมมาด้วย ปริมาณรังสี 100 cGy และนำมาอ่านค่าสัญญาณแสงที่เวลาต่างๆ กัน	27

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1.1 แสดงตัวอย่างรูปลักษณะของ TLD ที่มีใช้ในปัจจุบัน	4
รูปที่ 2.1.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอน TLD เมื่อได้รับรังสี	5
รูปที่ 2.2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลง heating rate ที่มีผลต่อรูปร่างของ glow curve	6
รูปที่ 2.2.2 แสดงผลของปริมาณรังสีที่มีต่อ glow curve	7
รูปที่ 2.2.3 glow curve ของ LiF(TLD-100) ซึ่งนำไปฉายรังสีเทอร์มมัลนิวตรอน และรังสีแคมมา	8
รูปที่ 2.2.4 แสดงตัวอย่าง Linearity ของ TL ที่ปริมาณรังสีต่างๆ	9
รูปที่ 2.2.5 แสดง energy respon CaSO <sub>4</sub> และ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9
รูปที่ 3.1.1 แสดงเดาความร้อนที่ใช้ anneal TLD	11
รูปที่ 3.2.1 แสดงถดหลุมโลหะสำหรับบรรจุ TLD เพื่อ anneal	12
รูปที่ 3.2.2 แสดงถอดพลาสติกสำหรับบรรจุ TLD เพื่อฉายรังสี	12
รูปที่ 3.2.3 แสดงเครื่อง X-Ray ที่ใช้สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางรังสี	13
รูปที่ 3.2.4 แสดงเครื่องฉายรังสีแคมมาที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางรังสี	13
รูปที่ 3.2.5 เครื่องอ่าน TLD ของบริษัท Harshaw/Bicron Model 3500	14
รูปที่ 3.3.1 แสดงภายนบารุงสุสารแบบแก๊ฟต์	14
รูปที่ 3.3.2 แสดงเดาความร้อนทรงกระบอก	15
รูปที่ 3.3.3 แสดงลิฟท์สำหรับยกเดาความร้อนทรงกระบอก	15
รูปที่ 3.3.4 แสดงระบบห้องสูญญากาศ	16
รูปที่ 3.3.5 แสดงเครื่องมือปลูกผลึกเดี่ยวที่ประกอบขึ้นเอง	17
รูปที่ 4.1.1 แสดงผลึกที่ได้จากการใช้ภายนบารุงสุสารทรงกระบอกที่มุน 120 องศา	19
รูปที่ 4.1.2 แสดงผลึกที่ได้จากการใช้ภายนบารุงสุสารทรงกระบอกที่มุน 60 องศา	20
รูปที่ 4.1.3 แสดงผลึกที่ตัดเพื่อนำไปใช้เป็นหัววัดรังสี	20
รูปที่ 4.2.1 แสดง Glow curve ที่ได้จากการนำหัววัดรังสี LiF ที่เตรียมได้ไปฉายรังสีแคมมาจาก โคบอลต์-60 ที่ปริมาณรังสีต่างๆ กัน	21
รูปที่ 4.2.2 แสดง Glow curve ที่ได้จากการนำหัววัดรังสีไปฉายรังสีเอ็กซ์ที่พลังงาน 70 KV <sub>p</sub> ด้วยปริมาณรังสี 16 mR	22
รูปที่ 4.2.3 แสดง Linearity ของหัววัดรังสีที่เตรียมได้มีนำไปฉายรังสีแคมมา จาก โคบอลต์-60 ที่ปริมาณรังสี $10^1 - 10^3$ cGy	24
รูปที่ 4.2.4 แสดง Calibration curve เพื่อหาค่า minimum detectable dose ของหัววัดรังสีที่เตรียมได้	25
รูปที่ 4.2.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Sensitivity ของหัววัดรังสีจาก 2 แหล่ง	26
รูปที่ 4.2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแสงกับเวลาหลังฉายรังสี	27

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปั๊มหายที่ทำการวิจัย

Thermoluminescence Dosimeter (TLD) เป็นเครื่องวัดรังสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากสามารถตรวจนได้ทั้งรังสีปั๊มภูมิและรังสีทุติยภูมิ ( รังสีกราฟิจ ) มีขนาดเล็กสะดวกในการพกพา มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูง สามารถวัดปริมาณรังสีต่ำๆได้ ทั้งยังมีความแม่นยำสูง เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ จึงเหมาะสมที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดรังสีในงานต่างๆ เช่นใช้วัดรังสีในสิ่งแวดล้อมเพื่อเฝ้าระวังอันตรายจากอุบัติเหตุทางรังสี อันอาจจะเกิดขึ้นโดยไม่รู้ตัว ใช้ในการแพทย์ทั้งงานรังสีนิจฉัยโรค และรังสีรักษาโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังเหมาะสมที่จะใช้เป็นเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลได้เป็นอย่างดีและสะดวก ก่อให้อาจบรรจุในหัวเข็ม ที่เสียบเนคไท กำไล เข็มกลัด เป็นต้น ทำให้มีลักษณะสวยงามน่าใช้ซึ่ง TLD มีหลายชนิด เช่น Lithiumfluoride (LiF), Calcium Sulphate(CaSO<sub>4</sub>) , Calciumfluoride(CaF<sub>2</sub>) , Lithiumborate( Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> ) TLD มีหลายรูปแบบ เช่น ผงผลึกบรรจุแคปซูล หรือ ผงผลึกที่นำมาขึ้นรูป โดยผสมกับตัวประสานอัดเป็นเม็ด หรือเป็นแท่งกลม

ปัจจุบันประเทศไทยยังต้องสั่งซื้อ TLD จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงมาก และ LiF ที่สั่งซื้อเข้ามามีลักษณะเป็นผงผลึกหรือเป็นผงผลึกที่ขึ้นรูป ซึ่งมีข้อเสียคือ มีลักษณะ笨重 ไม่ใช่ TLD ได้รับรังสีแล้วนำไปผ่านความร้อนแสงที่เปล่งออกมาจาก TLD จะทะลุผ่านไม่หมด เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปั๊มหายของการดูดกลืนแสงด้วยตัวเองของ TLD จึงจะเตรียมผลึกของ LiF ขึ้นเป็นผลึกเดี่ยว ซึ่งมีคุณสมบัติป้องแสง และจะมีคุณสมบัติการเรืองแสงสูงขึ้น

ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีในประเทศไทย ควรมีการนำ TLD วัดรังสีมาใช้แทนฟิล์มวัดรังสีประจำตัวบุคคล (Personal monitoring) เพราะการวัดรังสีโดยใช้ TLD มีความถูกต้องและเที่ยงตรงกว่าฟิล์ม ปัจจุบันมีผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีและใช้บริการฟิล์มวัดรังสีของกองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เดือนละไม่ต่ำกว่า 8,000 คน ส่วนผู้ที่มี TLD Card วัดรังสี จะมีเฉพาะบุคคลที่ทำงานภายใต้กองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์และหน่วยงานอื่นๆ ไม่นานก็ทั้งนี้ เพราะ TLD Card มีราคาแพง สำหรับประเทศไทยสามารถผลิต TLD ได้เอง เช่น อังกฤษ อเมริกา จีน อินเดีย ได้มีการนำ TLD มาเป็นเครื่องมือวัดรังสีประจำบุคคลให้บริการกับผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีได้อย่างทั่วถึงนับเป็นเวลานานแล้ว

ปัจจุบันโรงพยาบาลใหญ่ๆ ในประเทศไทย ที่มีสถาบันการศึกษา เช่นโรงพยาบาลรามาธิบดี โรงพยาบาลศิริราช โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ รวมทั้งโรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่นได้ซื้อเครื่องอ่าน TLD มาใช้ในงานวิจัยและเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาโรคระดับต่ำๆ ทั้งยังศึกษาผลของรังสีที่มีต่อคนใช้โดยใช้ TLD ใน การศึกษา เพราะมีขนาดเล็กติดตัวคนใช้ได้สะดวกและสามารถที่จะสอดเข้าไปในอวัยวะภายในร่างกายได้ แต่อุปสรรคที่เกิดกับโรงพยาบาลต่างๆ คือ TLD มีราคาแพง งานวิจัยแต่ละเรื่องต้องใช้ TLD ไม่ต่ำกว่า 100 เม็ด นักศึกษาที่ทำงานวิจัยส่วนมากมีปั๊มหายเรื่องทุนวิจัย จึงทำให้งานวิจัยไม่เป็นที่แพร่หลาย

เครื่องวัดรังสี TLD ชนิด LiF ที่ผลิตขึ้นนี้ ยัง สามารถใช้วัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งในอนาคตถ้าประเทศไทยมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เครื่องวัดรังสีนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมาก หรือ ในปัจจุบัน หากประเทศไทยเพื่อนบ้านเกิดมีอุบัติเหตุทางรังสีที่มีผู้ก้มมั่นตั้งรังสีปลิวมาถึงเมืองไทย ก็ สามารถน้ำ TLD ที่ผลิตขึ้นได้เองนี้ไปพิสูจน์ในสิ่งแวดล้อมแล้วไปเก็บมา นำมาประเมินค่ากิจกรรม ปริมาณรังสีของผู้ก้มมั่นตั้งรังสีที่ปลิวมาถึงประเทศไทยได้ ซึ่งสะดวกในการตรวจวัดปริมาณรังสี

## 1.2 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1978 Dr. T. Nakajima ได้ตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่มีชื่อเรียง เรื่องวิธีการเตรียมผลลัพธ์ LiF ; Mg , Cu , P ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ที่มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีสูง

ในปี ค.ศ. 1967 Dr. T. Niewiadomski แห่งสถาบันนิวเคลียร์ฟิสิกส์ ณ.เมือง Krakow ประเทศ Poland ได้ประสบผลสำเร็จในการเตรียม LiF : Cu , Ag โดยใช้ตัวโด๊ป 2 ตัว คือ Cu และ Ag พบว่า glow curve ที่ได้มีพีคหลักอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส และพบว่ามี luminescence yield สูง กว่า LiF:Mg , Ti ถึง 12 เท่า มี energy dependent ต่ำ มี linearity ดีไปจนถึงปริมาณรังสี 1000 Gy มี zero dose ต่ำ แต่มี fading สูง จึงเหมาะสมสำหรับวัดปริมาณรังสีในช่วงเวลาการใช้งานสั้นๆ เท่านั้น

ในปี ค.ศ. 1993 Dr. Takeo Niwa และคณะ ( 1993 ) ได้ประสบผลสำเร็จในการเตรียมหัววัดรังสี TLD ชนิด LiF แบบผลลัพธ์เดียวซึ่งมีลักษณะโปร่งแสง ไม่มีการดูดกลืนแสงในตัวเอง มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีสูง วัสดุที่ใช้ในการเตรียมผลลัพธ์คือ LiF ที่ผลิตจากบริษัท Merch มีความบริสุทธิ์ 99.99 %  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  และ  $NH_4H_2PO_4$  หรือ  $Li_3PO_4$  ผสมกันด้วยอัตราส่วนของตัวโด๊ปต่างๆ กัน นำสารที่บดผสมแล้วไปใส่ในภาชนะบรรจุสารรูปทรงกระบอกปลายแหลม เป็นมูนต์ต่างๆ กัน ปัจจุบันผลลัพธ์ในห้องสุขาภากาศ  $12^{-2}$  Torr โดยให้ความร้อนด้วยเตาหยอดกระจกอบก่อที่ เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 2 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ปัจจุบันผลลัพธ์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง หยุดการเคลื่อนที่ของเตาแล้วให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 ชั่วโมง ได้ผลลัพธ์ขนาด 16 มิลลิเมตร ยาว 27 มิลลิเมตร เมื่อนำไปตัดตามระนาบผลลัพธ์ที่เกิด จะได้หัววัดที่มีขนาด  $6 \times 6 \times 2$  ลูกบาศก์มิลลิเมตร พบว่าการปัจจุบันผลลัพธ์โดยวิธีนี้การกระจายของตัวโด๊ป ทั้ง 3 ชนิด ไม่สม่ำเสมอ จากการทดสอบคุณสมบัติทางรังสีพบว่าลักษณะของ glow curve มีพีคหลัก อยู่ที่ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีความไวต่อรังสีสูง มี linearity ดีในช่วง  $10^{-6} - 10^{-3} C.kg^{-1}$

นอกจากนี้เขายังได้ศึกษาความแตกต่างของมูนของภาชนะบรรจุสารที่มีผลต่อ sensitivity ของ TLD ด้วย

## 1. 3 วัดคุณประสิทธิภาพของงานวิจัย

1.3.1 ผลิตสารวัดรังสี Thermoluminescence ชนิด LiF แบบผลลัพธ์เดียว

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติการให้ TL ของผลลัพธ์เดียว LiF (Mg,Cu) ที่ผลิตได้ จากรังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา เพื่อใช้เป็น TLD สำหรับวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา

## 1. 4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 สร้างระบบการปัลอกผลึกเตี่ยวแบบ บริดจ์แมน-สต็อกบาร์ และทดสอบปัลอกผลึกเตี่ยวของสารวัสดุรังสี TLD ชนิด LiF

1.4.2 ทดสอบคุณสมบัติการให้ TL ของผลึก LiF(Mg,Cu) โดยคีกษา Sensitivity, linearity และ fading

## 1. 5 สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## 1. 6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 การเตรียมงานขั้นต้น

- ศึกษาและค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับการปัลอกผลึก TLD ชนิด LiF แบบผลึกเตี่ยว
- ศึกษาวิธีการสร้างอุปกรณ์ระบบปัลอกผลึกเตี่ยว และวิธีการทดสอบคุณสมบัติ การนำไปใช้งานของสารวัสดุรังสี TLD ชนิด LiF

- จัดสร้างอุปกรณ์ ชื่อสารเคมีและอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับงานวิจัย

1.6.2 ขั้นตอนการวิจัย

- สร้างเดาความร้อนอุณหภูมิสูงชนิดทรงกระบอก
- สร้างลิฟท์ยกเดาความร้อนอุณหภูมิสูงชนิดทรงกระบอก
- ออกแบบและกลึงภาชนะบรรจุสาร graphite crucible
- สร้างระบบห่อสูญญากาศ
- สร้างระบบ cooling
- ประกอบระบบด่างๆเข้าด้วยกัน ปัลอกผลึกโดยนาฬาเพื่อนไขที่เหมาะสม และสัดส่วนปริมาณสารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ TLD ที่มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูง
- ตัดผลึกที่ได้เป็นเม็ดเพื่อใช้เป็นหัววัสดุรังสี
- นำผลึกไป anneal ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ต่อด้วย 100 องศา 2 ชั่วโมง
- ทดสอบคุณสมบัติทางรังสีของผลึก
- สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงาน

## 1. 7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้เทคโนโลยีเกี่ยวกับขั้นตอนการปัลอกผลึก TLD ชนิด LiF แบบผลึกเตี่ยวขึ้นใช้เอง ภายในประเทศไทย

1.7.2 ได้หัวดัมปริมาณรังสี ซึ่งใช้วัสดุรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมาได้

1.7.3 หาก TLD ที่เตรียมได้ มีคุณสมบัติดีทัดเทียมกับของต่างประเทศ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและสามารถประชาสัมพันธ์กระจายการใช้งานภายในประเทศไทย จะทำให้การวัดปริมาณรังสีในประเทศไทยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## บทที่ 2

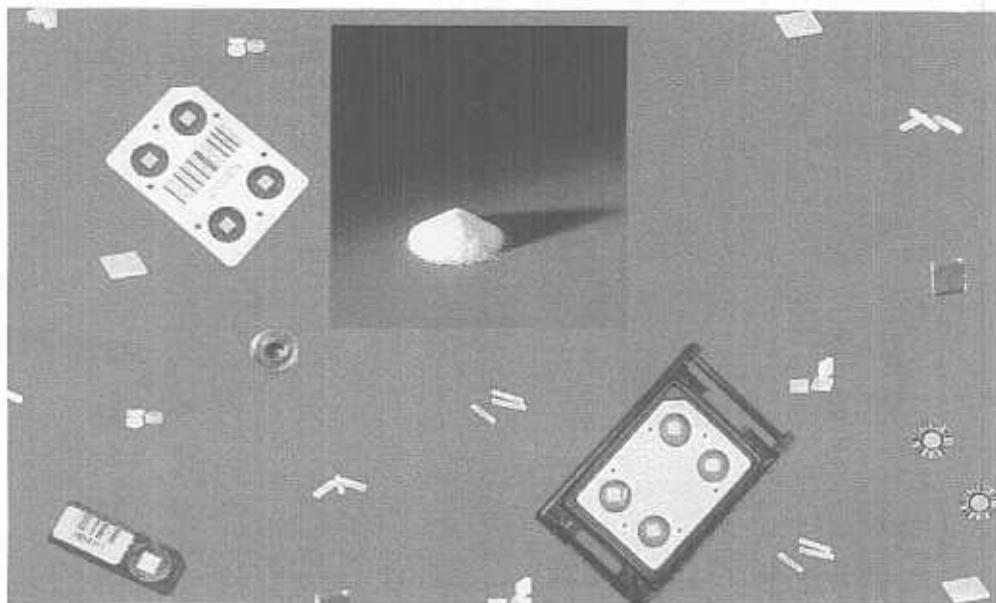
### เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ คุณสมบัติและวิธีการปลูกผลึกเดียว

#### 2.1) เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (Thermoluminescence dosimeter:TLD)

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์(TLD) เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีที่ใช้ผลึกสารบางอย่างเป็นตัวดัด ผลึกที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้วจะทำให้เกิดสถานะกึ่งเหลวイヤร์ชั่นในอะตอม โดยที่พลังงานจำนวนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในผลึก และเป็นการเก็บอย่างถาวร ผลึกพากนี้จะรักษาพลังงานนั้นไว้ จนกระทั่งผลึกนั้นได้รับพลังงานความร้อนที่เหมาะสมปริมาณหนึ่งจึงจะ cavity พลังงานนั้นออกมายในรูปของแสงสว่าง และ อะตอมกลับสู่สถานะพื้นฐานดังเดิม จึงเรียกผลึกพากนี้ว่า Thermoluminescence crystal พลังงานในรูปของแสงสว่างนี้สามารถดัดได้โดยการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) ซึ่งปริมาณแสง จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่สะสมไว้

TLD สามารถนำไปใช้วัดรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และรังสีเบตาได้โดยมีการตอบสนองต่อรังสีสูง ในช่วงปริมาณรังสี 10 มิลลิเกรย์ ถึงประมาณ  $10^6$  มิลลิเกรย์

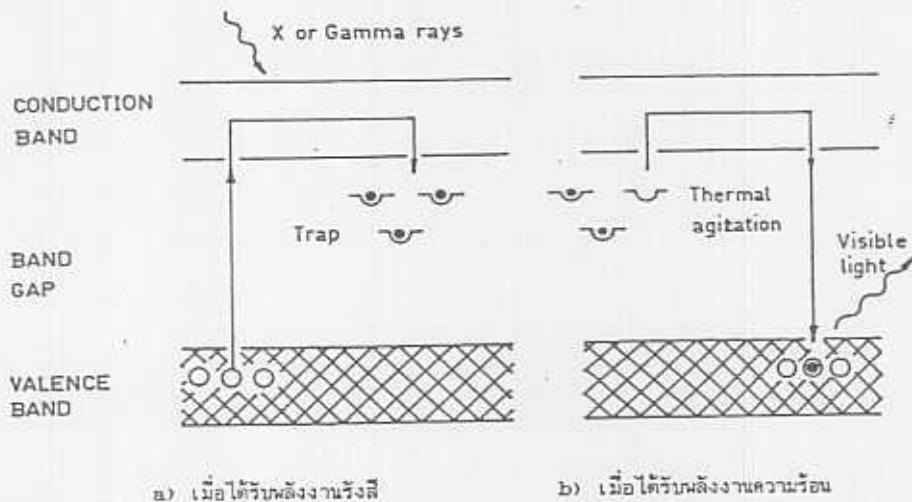
TLD มีหลายชนิด เช่น  $\text{CaF}_2(\text{Mn})$ ,  $\text{CaF}_2(\text{Dy})$ ,  $\text{LiF}(\text{Mg,Ti})$ ,  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu,Ag})$ ,  $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Dy})$ ,  $\text{CaSO}_4(\text{Mn})$  และ  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  เป็นต้น การนำ TLD แต่ละชนิดไปใช้งานนั้นขึ้นอยู่ กับความเหมาะสมของงานที่ปฏิบัติกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของ TLD ซึ่ง TLD แต่ละชนิดได้มีการ พลิตออกแบบรูปแบบ เช่น เป็นผงผลึก อัดเป็นเม็ดสี่เหลี่ยม เป็นแท่งกลม หรือเป็นแผ่นบาง ดัง แสดงในรูปที่ 2.1.1



รูปที่ 2.1.1 แสดงตัวอย่างรูปลักษณะของ TLD ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

## หลักการแบบพลังงานของเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

อิเล็กตรอนในอะตอมของผลึกสารซึ่งเป็นจำนวนทางไฟฟ้าที่ยังไม่ถูกกระบวนการด้วยรังสี จะถูกยึดอยู่ในอะตอมโดยหมุนรอบนิวเคลียส ด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวที่แน่นอนสำหรับแต่ละวงโคจรหนึ่ง ๆ แบบพลังงานเหล่านี้เรียกว่า แอบ瓦เลนซ์ (valence band) ซึ่งมีพลังงานต่ำ ถ้าอิเล็กตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่งได้รับพลังงานจากภายนอก ไม่ว่าจากโฟตอน หรือ อุณหภูมิก็ตาม อิเล็กตรอนนั้นจะกระโดดขึ้นไปอยู่ใน แอบค่อนดักชั้น (conduction band) ซึ่งอิเล็กตรอนจะอยู่ในสภาวะที่ดีนั้นตัว ขณะเดียวกันในแบบพลังงานวาเลนซ์ จะมีโคล (hole) เกิดขึ้นแทนที่อิเล็กตรอนที่หายไป ส่วนในแอบช่องว่าง (band gap) ซึ่งอยู่ระหว่าง แอบวาเลนซ์และแอบค่อนดักชั้น จะมีกับดัก (trap) อยู่ ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าแอบค่อนดักชั้นเล็กน้อย กับดักนี้สามารถที่จะดักจับอิเล็กตรอนจาก แอบพลังงานค่อนดักชั้นได้ แต่จะไม่ยอมปล่อยให้อิเล็กตรอนกลับคืนสู่แอบพลังงานค่อนดักชั้น แต่ถ้ามีการกระตุ้นโดยให้ความร้อนเข้าไปในผลึกสาร จะทำให้อิเล็กตรอน มีพลังงานมากพอที่จะ กระโดกลับคืนสู่แอบค่อนดักชั้นอีกรังส์ ต่อจากนั้นอิเล็กตรอนจะกลับลงมาร่วมกับโคล ในแอบพลังงานวาเลนซ์ พร้อมกับคายพลังงานออกมานิรูปแสงสว่าง โดยความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับดังแสดงในรูปที่ 2.1.2



รูปที่ 2.1.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอม TLD เมื่อได้รับรังสี

## 2.2 ) คุณสมบัติของ TLD

Yamashita และคณะ(1970) ได้กล่าวว่า สมบัติทั่วไปของสารเรืองแสงที่นำมาใช้เป็น TLD ได้ดังนี้จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูง
- สามารถเก็บข้อมูลໄวดีเป็นเวลานาน ในท่ออุณหภูมิปกติ
- มี glow curve ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
- สเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมามีความยาวคลื่นสั้น เหมาะสมกับหลอดทวีคุณแสง (photomultiplier tube)

จ. มีความคงที่ของกันดัก (trap)

2.2.1) คุณสมบัติที่สำคัญของ TLD ทั่วไป

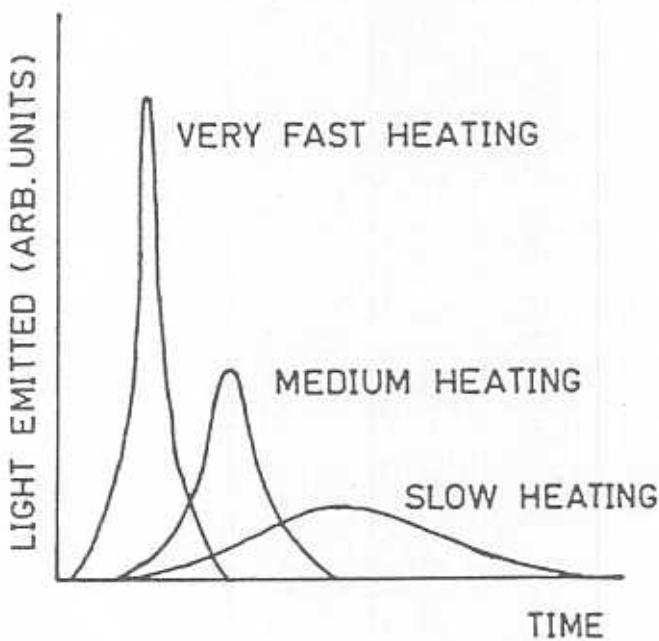
การที่จะนำ TLD มาใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1) Glow curve

glow curve คือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงที่ TLD ปล่อยออกมานะ(TL) กับอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ถ้าอัตราการให้ความร้อน(heating rate) กับ TLD มีค่าคงที่สม่ำเสมอ กราฟทั้งสองนี้จะคล้ายกันมาก พื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับ เวลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ total TL ในขณะที่พื้นที่ใต้กราฟที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับ อุณหภูมิ อย่างใดยกกว่า ดังนั้นถ้ากล่าวถึง glow curve ปกติจะหมายถึงกราฟที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับ เวลา

ตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้ glow curve เปลี่ยนแปลงไปได้แก่

1) อัตราการให้ความร้อน (heating rate) การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน จะมีผลต่อ glow curve อย่างมาก กล่าวคือถ้าเพิ่มอัตราการให้ความร้อนขึ้นเป็น 2 เท่าจะทำให้ความสูงของพีคเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่ความกว้างของพีคจะแคบลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2.1



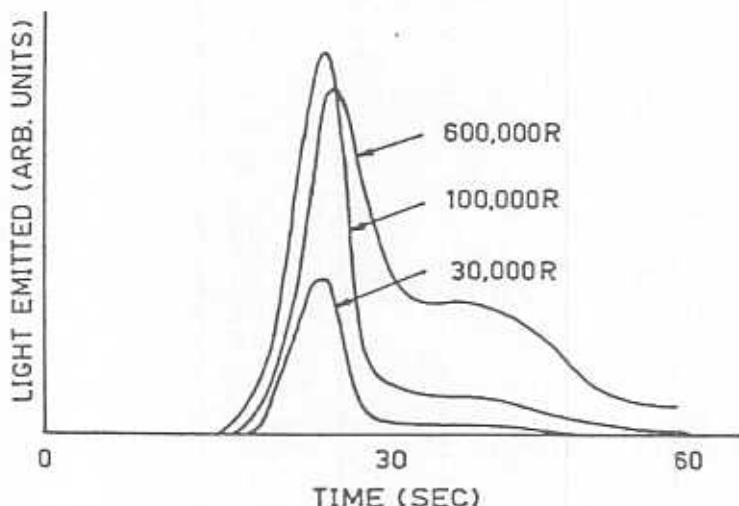
รูปที่ 2.2.1 แสดงผลการเปลี่ยนแปลง heating rate ที่มีผลต่อรูปร่างของ glow curve  
( Cameron และคณะ, 1968 )

2) ขนาด รูปร่างลักษณะของ TLD เนื่องจากส่วนของ TLD ที่สัมผัสกับ heating element จะได้รับความร้อนก่อน ส่วนที่อยู่ห่างออกไปจะได้รับความร้อนจากการนำความร้อน ดังนั้นจะเห็นว่า ขนาด รูปร่างและสภาพการนำความร้อนของ TLD มีผลต่อ glow curve อย่างมาก ถ้า TLD มีความหนาเกินไปส่วนที่อยู่ห่างจาก heating element จะยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ จึงให้ glow peak ที่

อุณหภูมิต่ำในขณะที่ล่วงท่ออยู่ใกล้ heating element จะให้ glow peak ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งผลรวมก็คือ glow curve ค่อนข้างจะกว้างขึ้นมากและมีรูปร่างผิดไปจากเดิม เพราะที่ค่ามาซ้อนกัน ซึ่งผลนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนสูง (high heating rate)

สำหรับ TLD ที่เป็นผลึกจะมีสภาพการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแบบอัดเป็นเม็ด ดังนั้นถ้าจะให้ได้ glow curve ที่ดีจะต้องเกลี่ยผงผลึกให้มีความบางและสม่ำเสมอเท่ากัน โดยต้องใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำ (slow heating rate)

3) ระดับของปริมาณรังสี (level of exposure) ปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับจะมีผลต่อ glow curve ด้วย เพราะกับดักต่างๆ จะไม่อิ่มตัวที่ปริมาณรังสีเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2

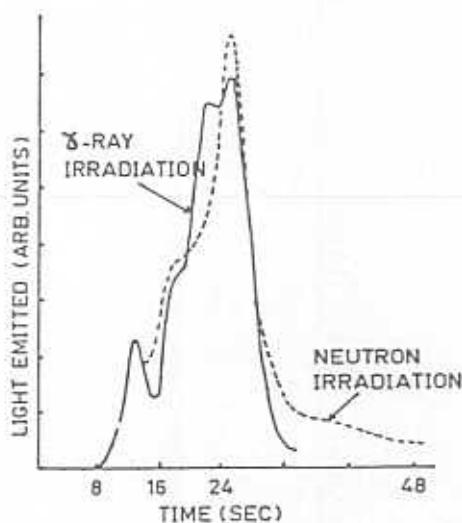


รูปที่ 2.2.2 แสดงผลของปริมาณรังสีที่มีต่อ glow curve (Cameron และคณะ, 1964)

4) ชนิดของรังสี (type of radiation) เมื่อ TLD ได้รับรังสีต่างชนิดกันจะให้ glow curve ที่มีรูปร่างต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2.3

5) ประวัติการได้รับรังสี และการ anneal ของ TLD

Daniels และ Rieman (1954) สังเกตุพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ anneal TLD ก่อนเริ่มน้ำไปใช้งานและก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ คือ 400 องศาเซลเซียส และยังพบว่าการ anneal ที่ 400 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มน้ำ TLD ไปใช้งานนั้น จะทำให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีเพิ่มขึ้นประมาณ 4 - 5 เท่า ปี พ.ศ. 1960 - 1964 (Cameron และคณะ, 1964) ได้มีการศึกษาผลดังกล่าว พบว่าเป็นความจริง แต่ยังอธิบายไม่ได้ว่า เพราะเหตุใดการ anneal ก่อนน้ำ TLD ไปใช้งาน จึงสามารถเพิ่ม sensitivity ได้



รูปที่ 2.2.3 glow curve ของ LiF (TLD-100) ซึ่งนำไปจายรังสีเทอร์มัลนิวตรอน และรังสีแคมมา (Cameron และคณะ, 1968)

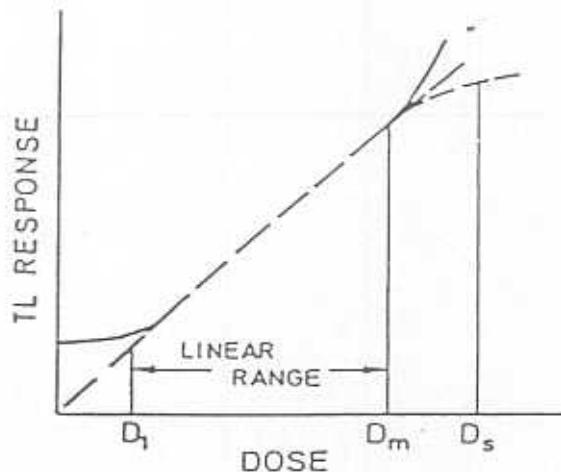
6) เครื่องมือที่ใช้บันทึก glow curve (recording instrument) กล่าวคือ ถ้าเครื่องมืออยู่ในสภาพที่ไม่ปกติ เช่น thermocouple ทำงานผิดปกติ หากไม่มีการปรับเทียบอุณหภูมิของ thermocouple ที่ให้กับ planchet อาจทำให้ต่าแห่งอุณหภูมิของพื้นหลักผิดไป

2.2.1.2) Sensitivity หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ปล่อยออกมานอก TLD ต่อหนึ่งหน่วยปริมาณรังสี สิ่งที่จะมีผลต่อ sensitivity คือ ปริมาณ TLD ที่ใช้ในการอ่าน ลักษณะรูปร่างของ TLD ขนาดของผลึก ประวัติการไดร์บรังสี ประวัติการ anneal เป็นต้น

2.2.1.3) Linearity หมายถึง ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอก TLD กับปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4 ช่วง  $D_1 - D_m$  เป็นช่วงที่ TLD มีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้น (linearity) สัญญาณที่ได้จาก TLD เป็นสัญญาณที่ลบค่าสัญญาณของ TLD ที่ไม่ได้รับรังสี (zero dose) แล้ว และ TL คิดจากผลรวมของสัญญาณได้ glow curve ทั้งหมด TLD แต่ละชนิดจะให้ผลการตอบสนองการวัดเป็นเชิงเส้น ของช่วงวัตปริมาณรังสีต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของ TLD แต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดง linearity range ของ TLD ชนิดต่างๆ (Oberhofer and Scharmann , 1980 )

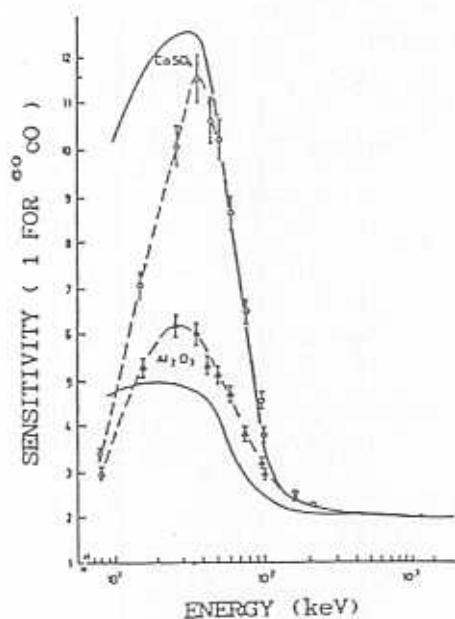
TL material	Linearity range for Co-60 gamma rays ( order of magnitude ) ( cGy )
LiF:Mg , Ti	$10^{-2} - 10^2$
$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$	$10^{-2} - 10^2$
$\text{CaF}_2:\text{Mn}$	$10^{-4} - 10^3$
$\text{CaF}_2:\text{Dy}$	$10^{-5} - 10^3$
BeO	$10^{-2} - 10^2$



รูปที่ 2.2.4 แสดงตัวอย่าง linearity ของ TLD ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ (Oberhofer and Scharmann, 1980)

2.2.1.4) Energy dependence เมื่อนำ TLD ไปจ่ายรังสีปริมาณเท่ากัน แต่ระดับพลังงานต่างกัน การตอบสนองต่อรังสีจะต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากที่พลังงานต่ำ ( $< 100\text{keV}$ ) จะเกิดปรากฏการณ์ photoelectric absorption ได้ดีกว่าที่พลังงานสูง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับเลขอะตอม atomic number (Z) ของ TLD ด้วย TLD ที่มีค่า Z ใกล้เคียงกับอากาศ คือ ประมาณ 7.64 เช่น LiF จะมีค่า energy response ตี คือมีค่าใกล้เคียง 1 กล่าวคือ การตอบสนองต่อรังสีจะขึ้นอยู่กับพลังงานน้อยมาก

Oberhofer และ Scharmann (1980)ได้กล่าวว่า วิธีการหาค่า energy response ทำได้ 2 วิธี คือวิธีการทดลอง โดยนำ TLD ไปจ่ายรังสีเอ็กซ์ ที่พลังงานต่ำ ๆ และรังสีแกมมา จาก Co-60 ที่ปริมาณรังสีเท่า ๆ กัน อีกวิธีหนึ่งคือ โดยวิธีการคำนวณหาค่าจากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงาน



รูปที่ 2.2.5 แสดง energy response ของ  $\text{CaSO}_4$  (○) และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (▲) \_\_\_\_\_ ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ----- ได้จากการทดลอง (Oberhofer and Scharmann, 1980)

ไฟต่อน รูปที่ 2.2.5 แสดง energy response curve โดยวิธีการค่า naïve เปรียบเทียบกับ การทดสอบของ TLD ชนิดต่างๆ

2.2.1.5) Fading หมายถึงการจางหายไปของสัญญาณใน TLD ตามกระบวนการเกิด เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ เมื่ออะดอม TLD ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานของไฟต่อน อิเล็กตรอนจะกระโดดไปค้างอยู่ในกับตัก การเก็บ TLD ไว้นาน ๆ หลังจาก TLD ได้รับรังสี หรืออุณหภูมิในการ เก็บสูง หรือมีแสงสว่างมาก จะมีผลทำให้อิเล็กตรอนที่ค้างอยู่ในกับตักที่ระดับพลังงานต่ำ ๆ ตกลงมาที่เอนบัวเลนซ์ เมื่อนำ TLD ไปอ่านค่าปริมาณแสง ค่าที่ได้จะมีค่าลดลงจากความเป็นจริง

บทที่ 3  
วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย

**3.1) วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการปลูกผัก**

3.1.1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเตาหยอดทรงกระบอก เช่น heater coil , alumina ทรงกระบอก, variac transformer, เซนเซอร์ทอนความร้อน, จำนวนหุ่มความร้อน, โลสต์มิเตอร์, แอมมิเตอร์, เทอร์โมคัปเปิล , อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำระบบควบคุมเตาความร้อน

3.1.2) อุปกรณ์สำหรับสร้างลิฟท์ยกเตาความร้อน เช่น อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ stepping motor, แกนเหล็กแบบเกลียว, function generator , แผ่นเหล็ก , แท่งเหล็ก

3.1.3) อุปกรณ์ที่ใช้ทำท่อสูญญากาศ เช่น ท่อสแตนเลส ท่อแก้วทนความร้อน ข้อต่อ และสายต่อสูญญากาศ , silicone grease

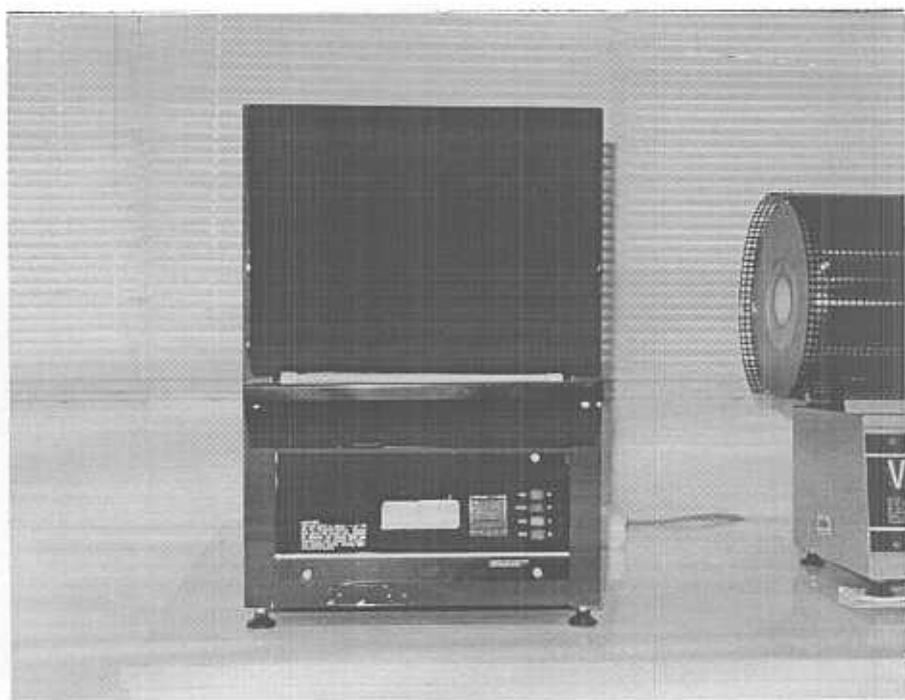
3.1.4) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำระบบ cooling ให้กับท่อสูญญากาศและปืน เช่น ถังน้ำ

3.1.5) ขนาในถุงปืนน้ำ , สายยาง

3.1.6) turbo molecular pump

3.1.7) เครื่องซั่งสารชนิดละเอียด

3.1.8) Annealing furnace ( 0-1200 องศาเซลเซียส ) ดังแสดงในรูปที่ 3.1.1

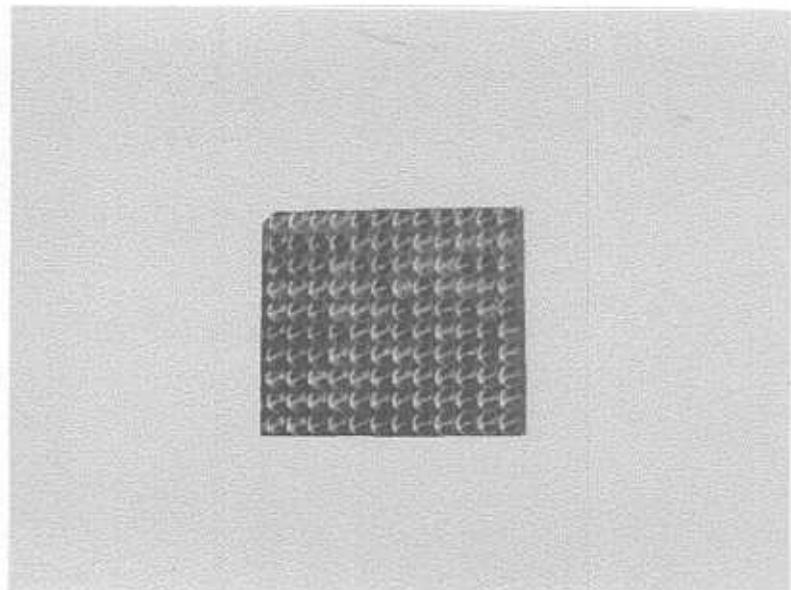


รูปที่ 3.1.1 แสดงเตาความร้อนที่ใช้ anneal TLD

- 3.1.8) Lithium fluoride (LiF) 99.5% บริษัท Fluka
- 3.1.9) Magnesium fluoride ( $MgF_2$ ) 97% บริษัท Fluka
- 3.1.10) Cupric fluoride Dihydrate ( $CuF_2 \cdot 2H_2O$ ) 97% บริษัท Fluka

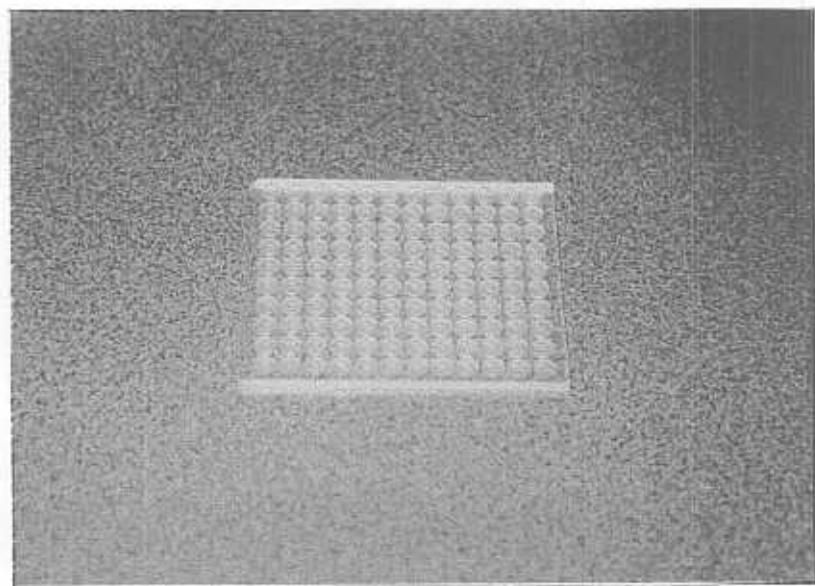
**3.2) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี**

- 3.2.1) ถาดอลูมิเนียมความร้อนล่า仇恨รับใส่ TLD เพื่อ anneal ตั้งแสดงในรูปที่ 3.2



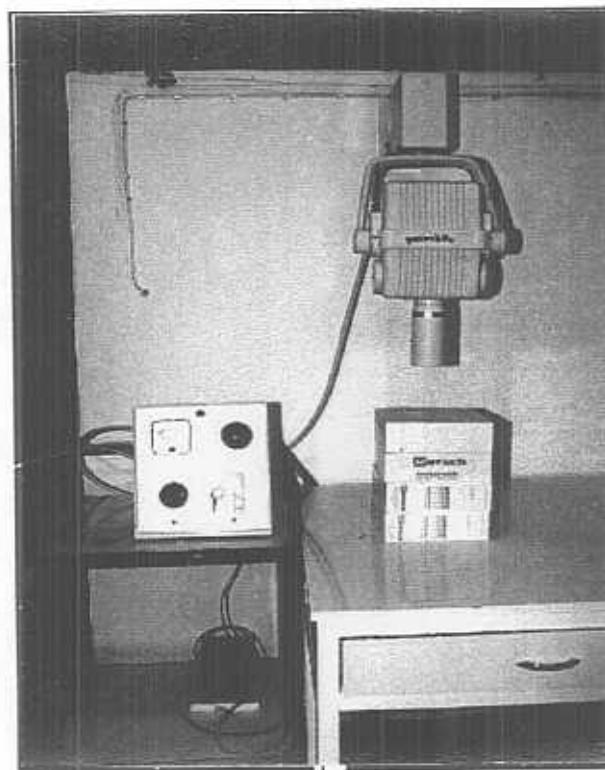
รูปที่ 3..2.1 แสดงถาดอลูมิเนียมล่า仇恨รับบรรจุ TLD เพื่อ anneal

- 3.2.2) ถาดอลูมพลาสติก ล่า仇恨รับใส่ TLD เพื่อฉายรังสี



รูปที่ 3..2.2 แสดงถาดพลาสติกล่า仇恨รับบรรจุ TLD เพื่อฉายรังสี

3.2.3) เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ " Diagnostic X-ray " 40 - 90 กิโลโวัลต์พีค Model 46 - 19706361 ของบริษัท GENDEX CORPORATION ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2.3 แสดงเครื่อง X-ray ที่ใช้สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

3.2.3) เครื่องฉายรังสีรักษาโรคมะเร็งด้วยแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์ - 60



รูปที่ 3.2.4 แสดงเครื่องฉายรังสีแกรมนาที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

3.2.5) เครื่องอ่าน TLD ของบริษัท Harshaw/Bicron Model 3500

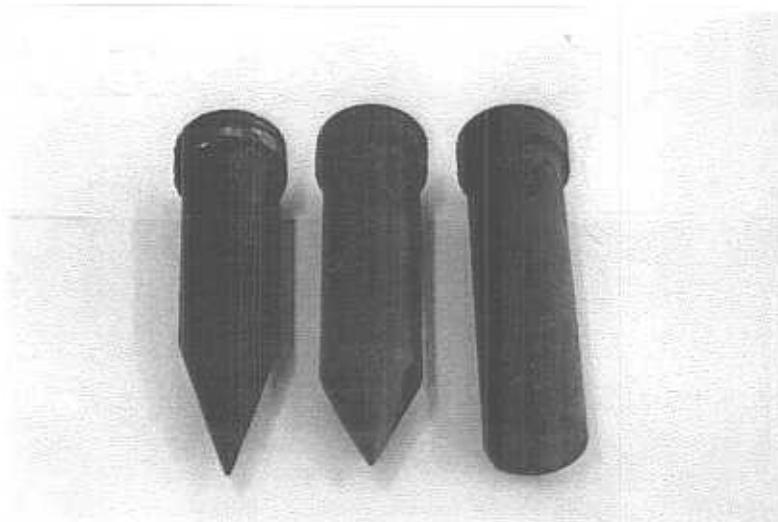


ป้าย 3.2.5 แสดงเครื่องอ่านปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาน้ำจาก TLD

3.3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1) ขั้นตอนการสร้างระบบในการปลูกผักเดี่ยว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1). การทำภาชนะบรรจุสารแบบแกรไฟต์ นำแกรไฟต์แท่งกลมมากลึงให้เป็นรูปทรงกระบอก โดยมีมุมแหลมที่ก้น 30 , 60 และ 120 องศา มีฝาปิดและเจาะรูสำหรับห้อยลวดทั้งสeten ดังแสดงในรูปที่ 3.3.1



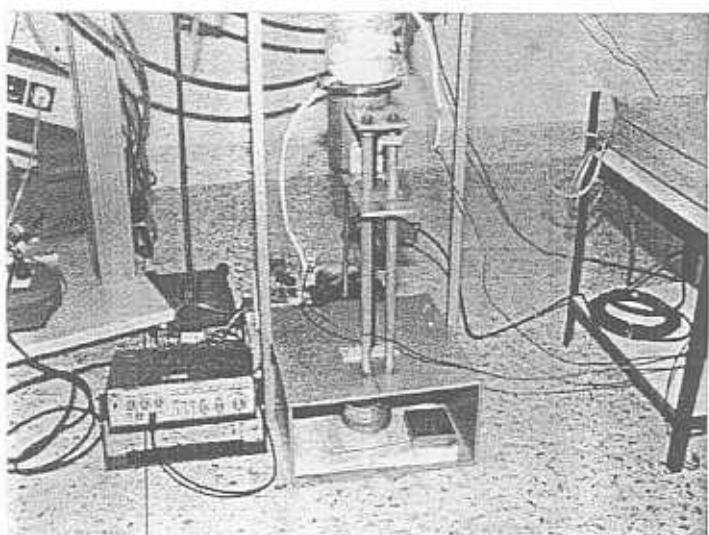
รูปที่ 3.3.1 แสดงภาชนะบรรจุสารแบบแกรไฟต์

2) การทำเตาหลอมทรงกระบอก นำท่ออลูมินา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 มิลลิเมตร ความยาวห่อ 150 มิลลิเมตร มาพันด้วยชุดสวัสดิ์ความร้อน kantal ซึ่งจะเป็นสปริง นำมาพันที่ท่ออลูมินา หุ้มชุดสวัสดิ์ด้วยชิ้นเม็ดทอนความร้อน ชั้นนอกหุ้มด้วยแสบสกอส ดังแสดงในรูป 3.3.2 โดยจะใช้ variac transformer เป็นตัวป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่เตาความร้อน

3) การทำลิฟท์ยกเตาความร้อน ทำแท่นเหล็กยึดแกนเหล็กเกลียวโดย ด้านล่างแกนเหล็กเกลียวต่อกับ stepping motor สร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับควบคุมความเร็วของ stepping motor ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3



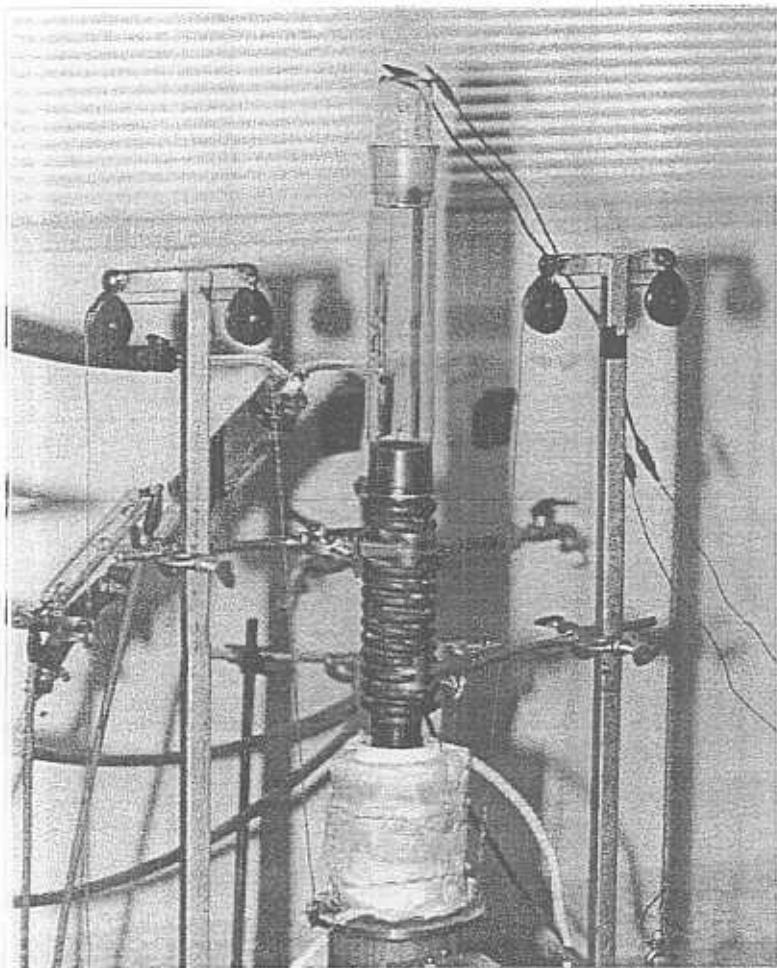
รูปที่ 3.3.2 แสดงเตาความร้อนทรงกระบอก



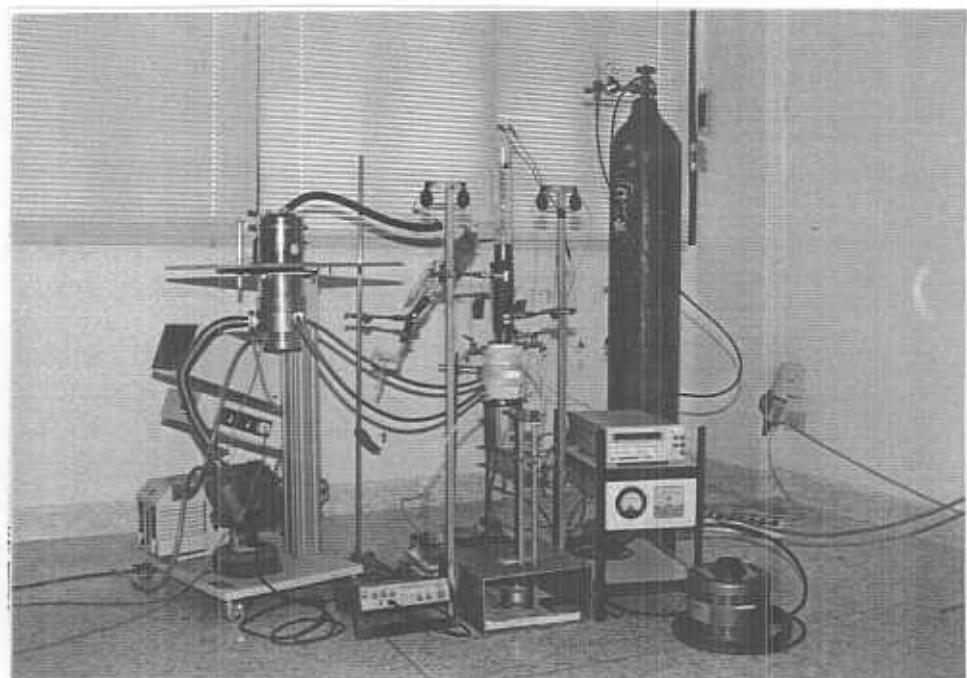
รูปที่ 3.3 .3 แสดงลิฟท์สำหรับยกเตาความร้อนทรงกระบอก

ให้จดทราบ ศูนย์ข้อมูลห้องอันนั้น
-------------------------------------

- 4) การทำระบบห่อสุญญาการ ได้ออกแบบห่อโดยใช้ห่อสแตนเลสซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38.35 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 225 มิลลิเมตร ปลายด้านล่างของห่อเชื่อมติดด้วยแผ่นสแตนเลส ส่วนบนของห่อได้ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.50 มิลลิเมตร มาเชื่อมต่อโดยรอบเพื่อใช้เป็นระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ ดัดจากระบบทหล่อเย็นใช้ห่อแก้วทันความร้อน ขนาดความยาวประมาณ 28.5 มิลลิเมตร ต่อกับระบบปั๊มสุญญาการ ส่วนบนสุดของห่อแก้วจะเป็นฝาครอบปิดห่อที่มีที่สำหรับแขวนภาชนะบรรจุสาร และแขวนเกอร์โนมคัปเปิลได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3.4



รูปที่ 3.3.4 แสดงระบบห่อสุญญาการ



รูปที่ 3.3.5 แสดงเครื่องมือปลูกผลีกเดียวที่ประกอบขึ้นเอง

### 3.3.2) ขั้นตอนการปลูกผลีกเดียว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ซั่งน้ำหนัก LiF และสารที่ใช้เป็นตัวไดป คือ  $MgF_2$  และ  $CuF_2 \cdot 2H_2O$
- 2) บดผสมสารในที่บดสาร
- 3) นำสารที่บดแล้วบรรจุลงใน ภาชนะบรรจุสาร
- 4) นำภาชนะบรรจุสาร แขวนในห้องสูญญากาศ ในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิเหมาะสม
- 5) เปิดปั๊มสูญญากาศ เดาความร้อน ระบบหล่อเย็นโดยให้ความร้อนกับผลีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเลื่อนลิฟท์ยกเดาความร้อนขึ้นอย่างช้าๆ เป็นเวลา 30 ชั่วโมง จึงลดอุณหภูมิของเดาลงสู่อุณหภูมิห้อง

### 3.3.3) ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของผลีกเดียว

ก่อนที่จะนำผลีก LiF ที่เตรียมได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านรังสินันต้องนำผลีกไปตัดเป็นเม็ดขนาดประมาณ  $4 \times 4 \times 1$  มิลลิเมตร และนำไป anneal แบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติทางรังสีดังต่อไปนี้

#### 1) การศึกษาคุณสมบัติของ glow curve

นำเม็ดผลีก LiF ที่ฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน มาอ่านค่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมานอกจากผลีกด้วยเครื่องอ่าน TLD สังเกตลักษณะพิเศษลักษณะของ glow curve ที่ได้

#### 2) การศึกษา linearity

ก่อนการศึกษา linearity ของ TLD หรือก่อนการนำ TLD ไปใช้งานนั้นถ้าจะให้ได้ข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงสูง จะต้องนำ TLD ไปหาค่าแก้เมื่องจาก ความไวในการตอบสนองต่อรังสีก่อน ซึ่งเรียกค่าแก้นี้ว่า elementary correction factor เรียกว่า ECF โดยการนำ TLD ไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสีเท่า ๆ กัน และนำมาอ่านสัญญาณแสงของ TLD แต่ละเม็ด ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของสัญญาณแสงที่

จ่ายรังสีเข้าทั้ง 3 ครั้งของ TLD แต่ละเม็ด มหาค่าเฉลี่ยรวมของ TLD ทั้งหมดที่จะนำไปใช้งาน ในที่นี้ใช้ผลึก LiF 20 เม็ด ถ้าให้  $X$  คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณแสงของ LiF 20 เม็ด และให้  $X_1, X_2, \dots, X_{20}$  การหาค่าแก้เนื่องจากความไวของ TLD แต่ละเม็ดเพื่อให้แต่ละเม็ดมีความไวเท่ากัน สามารถคำนวณได้โดยนำค่า  $X$  หารด้วย  $X_1, X_2, \dots, X_{20}$  ตามลำดับ เมื่อได้ค่า ECF ประจำตัวของเม็ดผลึกแต่ละเม็ดแล้ว ก่อนนำไปใช้งานต้องนำ ผลึกไป anneal ที่ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ต่อด้วย 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปปลารังสีที่ปริมาณรังสี  $10^1 - 10^3$  cGy นำมาอ่านปริมาณแสงด้วยเครื่องอ่าน TLD นำค่า ECF ของ TLD แต่ละเม็ดเข้าไปคูณปริมาณแสงที่อ่านได้ของ TLD แต่ละเม็ด ( ให้เป็น corrected reading ) จึงจะเป็นค่าปริมาณแสงที่ถูกต้อง นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณแสง ( corrected reading ) กับปริมาณรังสี

### 3) การศึกษาปริมาณรังสีต่ำสุดที่ผลึก LiF สามารถตรวจได้ (minimum detectable dose)

นำเม็ดผลึกที่ได้ไปปลารังสีแแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ด้วยปริมาณรังสีต่ำๆ ต่างๆ กัน จากนั้นนำไปอ่านค่าสัญญาณแสง โดยต้องอ่านค่าสัญญาณแสงของเม็ดผลึกที่ไม่ได้จ่ายรังสี ( background ) ด้วย ทำ calibration curve โดยให้แกนนอนเป็นสัญญาณแสงที่แก้ค่า ECF และ ลบด้วยสัญญาณแสง ของผลึกที่ไม่ได้จ่ายรังสีที่แก้ค่า ECF และ เช่นกัน แกนตั้งเป็นปริมาณรังสีที่จ่าย จากนั้นนำค่า 3 เท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( standard deviation : SD ) ของสัญญาณแสงไปอ่านค่าปริมาณรังสีใน calibration curve ที่ทำไว้ ค่าที่อ่านได้นี้ถือเป็นค่าปริมาณรังสีต่ำสุดที่ผลึก LiF นี้สามารถตรวจได้ การใช้ 3SD นี้ จะให้ค่าความเชื่อมั่น 99.87 เปอร์เซ็นต์

### 4) การศึกษาความไว ( sensitivity ) ใน การตอบสนองต่อรังสี

นำหัวรังสี LiF ที่เตรียมได้ และหัวรังสีที่ผลิตจากต่างประเทศ มาจ่ายรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่พลังงานของโฟตอน 70 kVp นำมาอ่านค่าปริมาณแสงด้วยเครื่องอ่าน TLD

### 5) การศึกษา fading

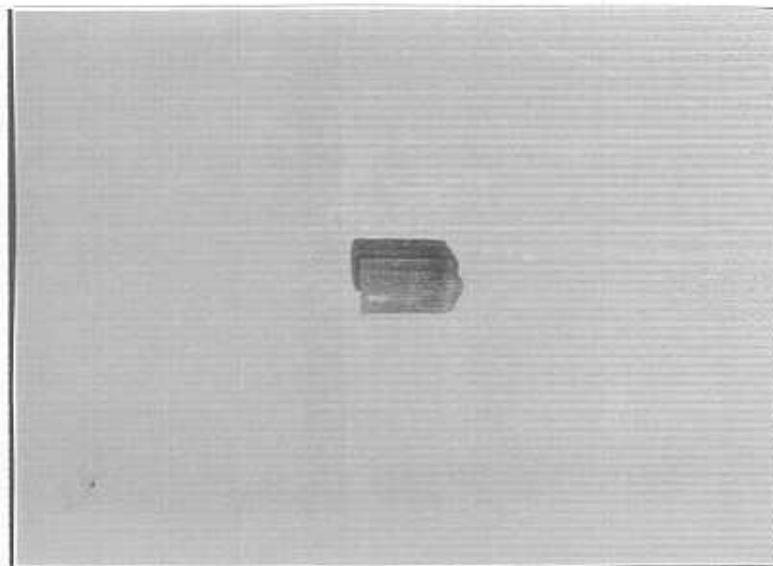
นำหัวรังสีที่เตรียมได้ไปปลารังสีแแกมมา จากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ด้วยปริมาณรังสี ค่าหนึ่ง นำมาอ่านค่าสัญญาณแสงด้วยเครื่องอ่าน TLD ในวันต่อมา และเก็บส่วนหนึ่งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ) เป็นเวลา 15 วัน และ 1 เดือน จึงนำมาอ่านค่าสัญญาณแสง นำค่าสัญญาณแสงที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อดูปริมาณแสงที่ลดลง ( fading )

บทที่ 4  
ผลการวิจัย

#### 4.1 ) ผลการทดลองปัลอกผลึก

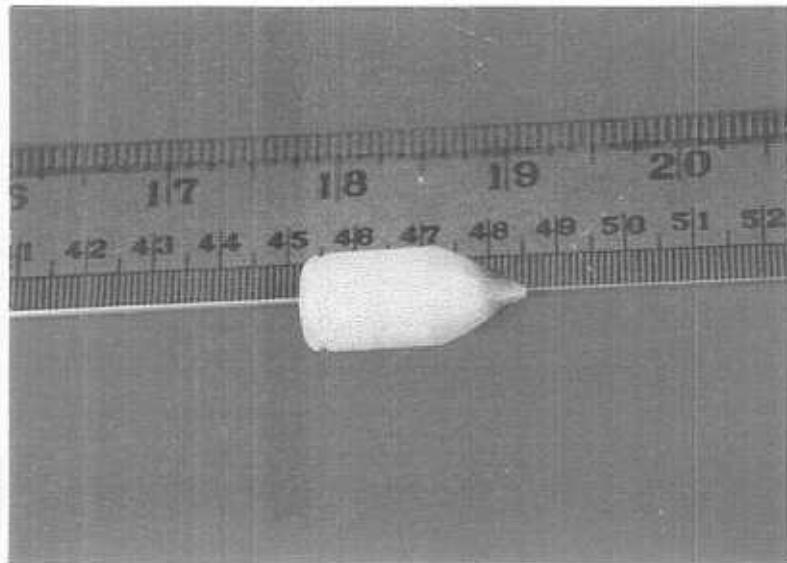
จากการทดลองปัลอกผลึก LiF โดยใช้ตัวโด๊ป 2 ตัว ด้วยอัตราส่วนผสมดังนี้คือ LiF 1.86 mole%, CuF<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0.06 mole% โดยตั้งอุณหภูมิที่จุดคุณย์กลางเดา 925 องศาเซลเซียส ใช้อัลฟ์ยกเตา ความร้อนขึ้นอย่างช้า ปัลอกผลึกเป็นเวลา 30 ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดการเคลื่อนที่ของเตาหลอมและลดกระแสไฟฟ้าลงจนอุณหภูมิของผลึกเท่ากับอุณหภูมิห้องใช้เวลาอีก 17 ชั่วโมง

จากการทดลองปัลอกผลึกโดยใช้ภาชนะบรรจุสารที่มีมุ่มปลายแหลม 30 องศา พบร่วมได้ผลึกเดียวสารที่ได้มลักยณะเป็นผงสีดำเพราะมีแกรไฟต์จากภาชนะบรรจุสารมาป่น ส่วนผลึกที่ทดลองใช้ภาชนะที่มีมุ่มปลายแหลม 120 องศา น้ำ้ได้ผลึกที่มีลักษณะเป็นผลึกเดียวที่ไม่สมบูรณ์นัก และมีรอยแตก ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1

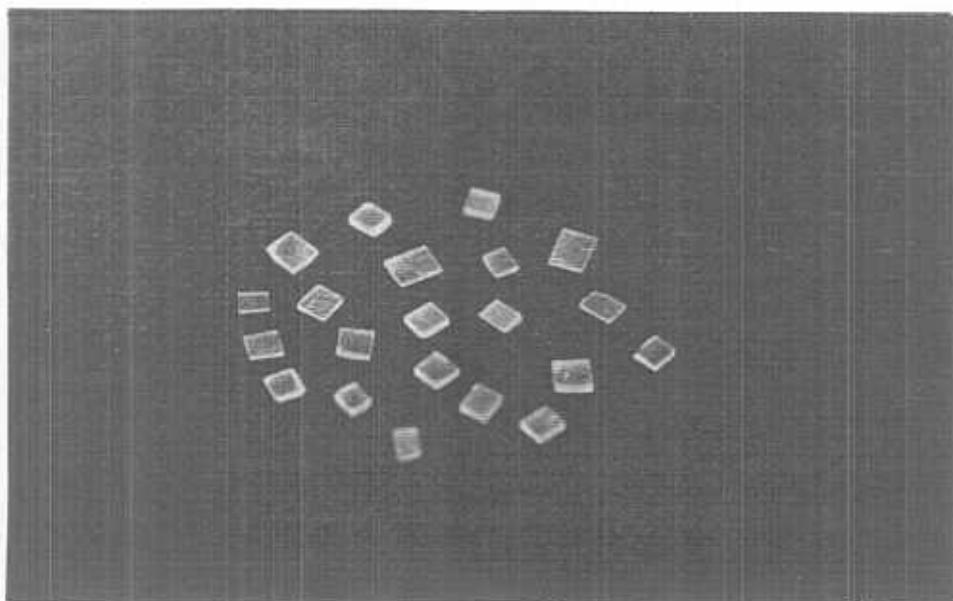


รูปที่ 4.1.1 แสดงผลึกที่ได้จากการใช้ภาชนะบรรจุสารทรงกระบอกที่มีมุ่มปลายแหลม 120 องศา

ส่วนผลึกที่มีลักษณะที่ดีที่สุด คือผลึกที่ได้จากการใช้ภาชนะบรรจุสาร ที่มีมุ่มปลายแหลมเป็นมุ่ม 60 องศา มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกเหมือนภาชนะบรรจุสาร สูงประมาณ 3 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.8 เซนติเมตร ปลายผลึกมีลักษณะแหลมตามมุมภาชนะบรรจุสาร ผลึกที่ได้มลักยณะลีกาวaise ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2



รูปที่ 4.1.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ภาชนะบรรจุสารทรงกระบอกที่มีมุมปลาย แหลม 60 องศา จากการนำผลลัพธ์มาตัดเป็นเม็ดสี่เหลี่ยมมีขนาด  $4 \times 4 \times 1$  มิลลิเมตรได้ผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้เป็นหัววัดรังสีดังแสดงในรูปที่ 4.1.3

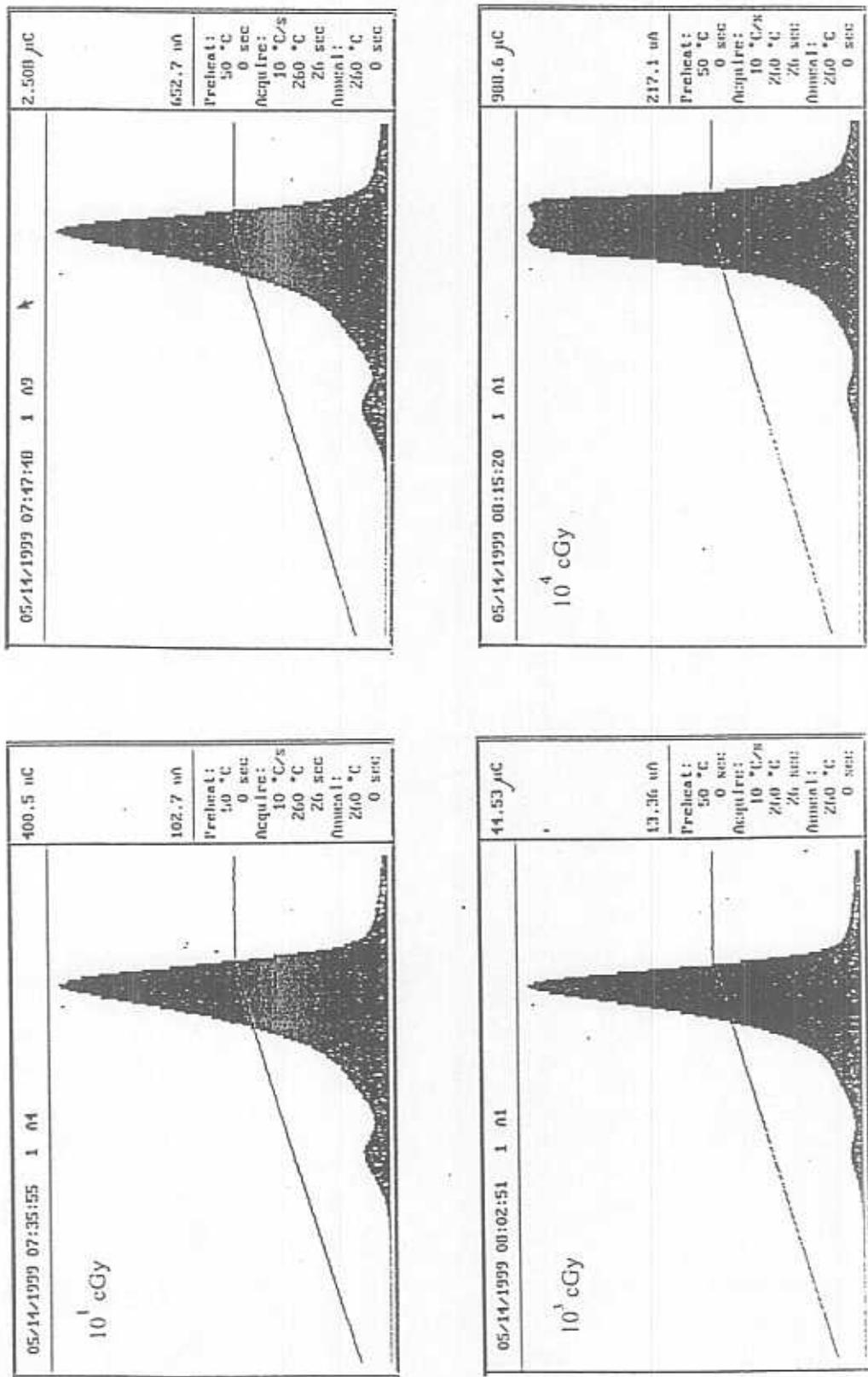


รูปที่ 4.1.3 แสดงผลลัพธ์ที่ตัดเพื่อนำไปใช้เป็นหัววัดรังสี

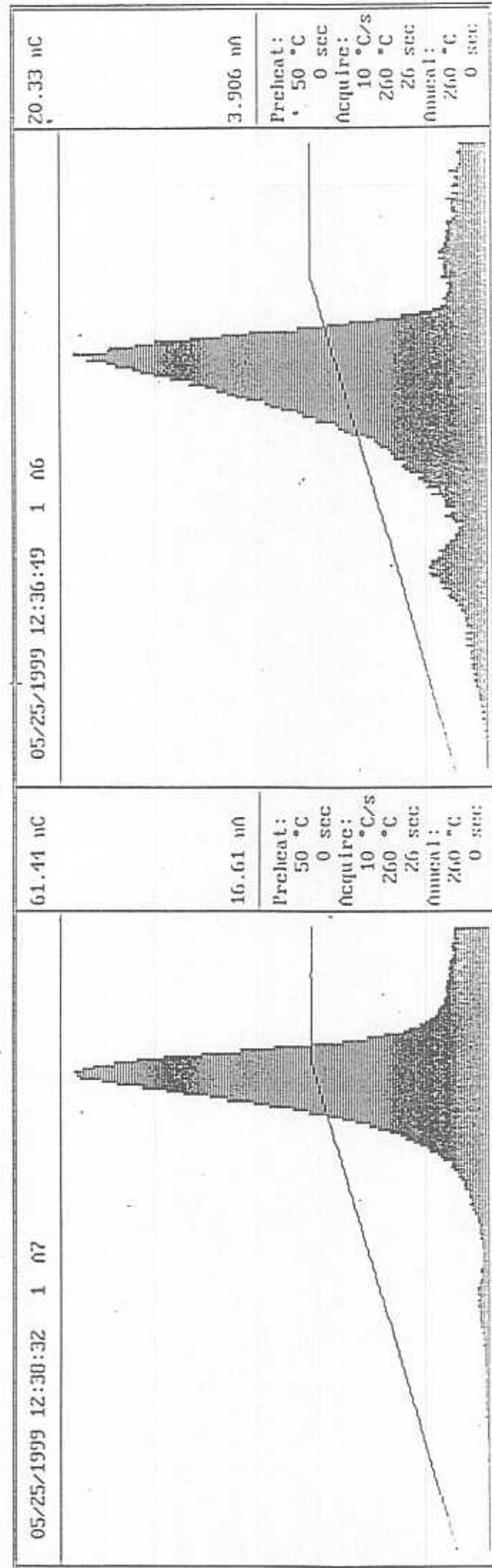
#### 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

##### 4.2.1) ผลการทดสอบ Glow Curve

จากการนำหัววัดรังสี TLD ที่ได้ ไปฉายรังสีแคมนาที่พลังงานของโพตอน 1025 MeV ด้วยปริมาณรังสีต่าง ๆ ตั้งแต่  $10^{-1}$  cGy ถึง  $10^{-4}$  cGy พบว่า ได้ glow curve ลักษณะดังรูปที่ 4.2.1 โดยพบว่ามีพิกเซลล์คงที่ ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส และจากการนำหัววัดรังสีที่ได้ไปฉายรังสีเอกซ์ ที่พลังงาน 70 kVp 15 mA ที่ปริมาณรังสี 16 mR ได้ glow curve ดังแสดงในรูปที่ 4.2.2(a)



รูปที่ 4.2.1 แสดง glow curve ที่ได้จากการ量หัววัดรังสี LiF ที่ติดอยู่ในป้ายรังสีแคมมจาก โคบล็อต -60 ที่ปริมาณรังสีต่อ งาน



รูปที่ 4.2.2 แสดงลักษณะ Glow Curve ที่ได้จากการนำพาร์ดไปเผาร้อนสีดำ ที่พื้นงาน 70 kVr ด้วย บริการณ์สี 16 mR

#### 4.2.2 ) ผลการศึกษา linearity

จากการนำหัววัดที่ได้ไปจ่ายรังสีแกรมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ กัน เพื่อหาค่า ECF ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 แสดงข้อมูลการหาค่า ECF

หัววัดที่	น้ำหนัก ( มิลลิกรัม )	สัญญาณแสงเฉลี่ย (uC) จ่ายรังสีแกรมมา 3 ครั้ง	ECF
1	42.88	3.920	0.730
2	43.3	3.963	0.722
3	43.56	3.570	0.801
4	45.19	3.714	0.770
5	37.13	3.010	0.950
6	40.36	3.165	0.904
7	32.62	2.624	1.090
8	27.56	2.717	1.053
9	39.96	3.457	0.828
10	29.94	2.872	0.996
11	30.21	2.290	1.249
12	28.46	2.540	1.126
13	28.38	2.508	1.141
14	27.60	2.567	1.114
15	28.35	2.528	1.1132
16	30.40	2.423	1.181
17	26.36	2.299	1.244
18	20.77	2.378	1.203
19	26.55	2.329	1.228
20	24.82	2.351	1.217
		X + SD 2.861 + 0.784	

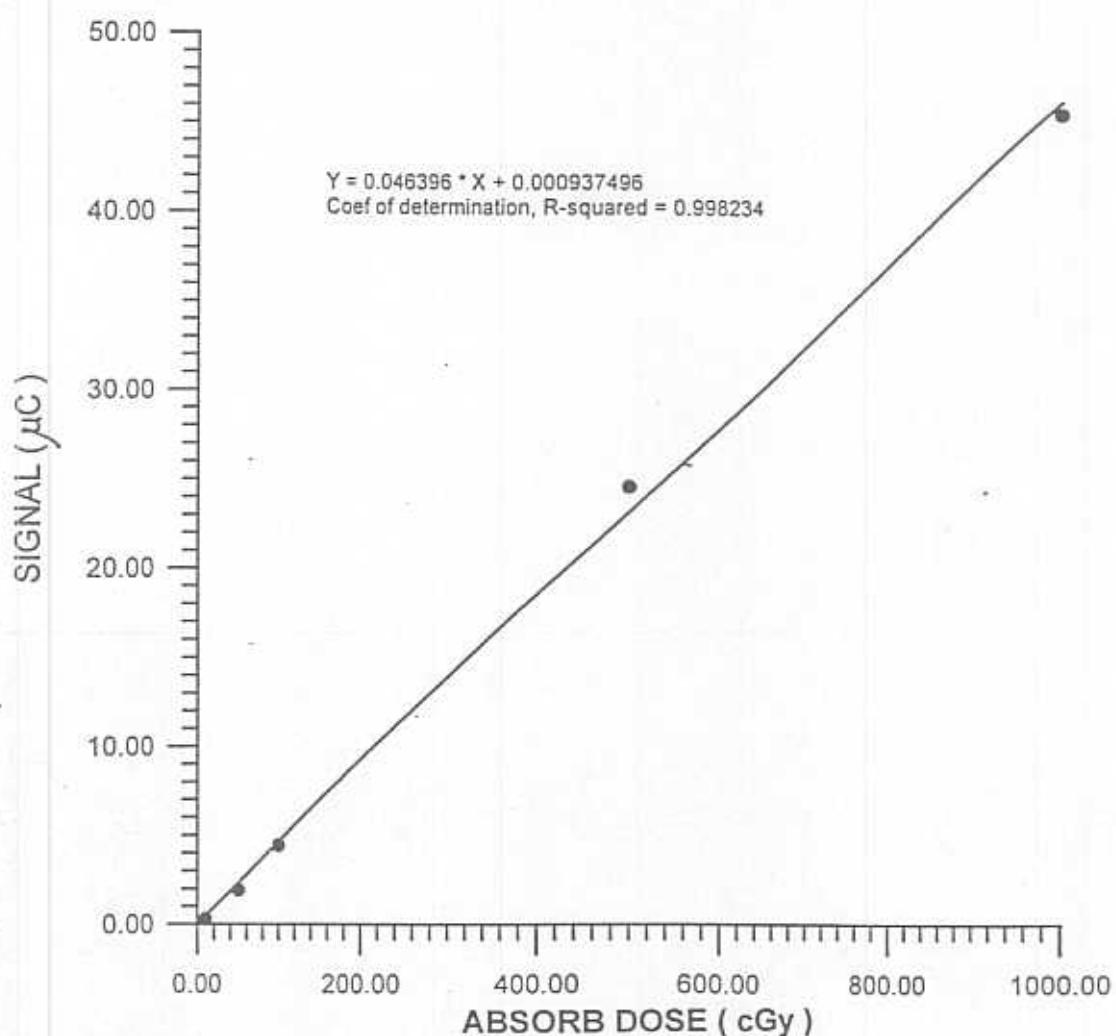
และจากการนำเม็ดผลึกไปจ่ายรังสีที่ปริมาณรังสีต่างๆ กัน ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.2.2 เมื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับสัญญาณแสงได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2.3

ตารางที่ 4.2.2 แสดงสัญญาณแสงของหัววัดที่เตรียมได้เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาจากโคนอลต์-60 ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ กัน

Absorb Dose ( cGy )	Corrected Reading *			X + SD** ( n = 3 )
	( $\mu$ C )			
$1 \times 10^1$	0.279	0.290	0.290	$0.286 \pm 0.006$
$5 \times 10^1$	2.180	1.502	2.130	$1.937 \pm 0.378$
$1 \times 10^2$	5.094	3.571	4.682	$4.449 \pm 0.788$
$5 \times 10^2$	29.690	30.086	30.064	$29.947 \pm 0.222$
$1 \times 10^3$	42.938	48.614	45.617	$45.723 \pm 2.839$

\* corrected reading = reading x ECF

\*\* X + SD = average corrected reading + standard deviation



รูปที่ 4.2.3 แสดง linearity ของหัววัดรังสีที่เตรียมได้ เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาจากโคนอลต์-60 ที่ปริมาณรังสี  $10^1 - 10^3$  cGy

4.2.3 ) ผลการศึกษา minimum detectable dose

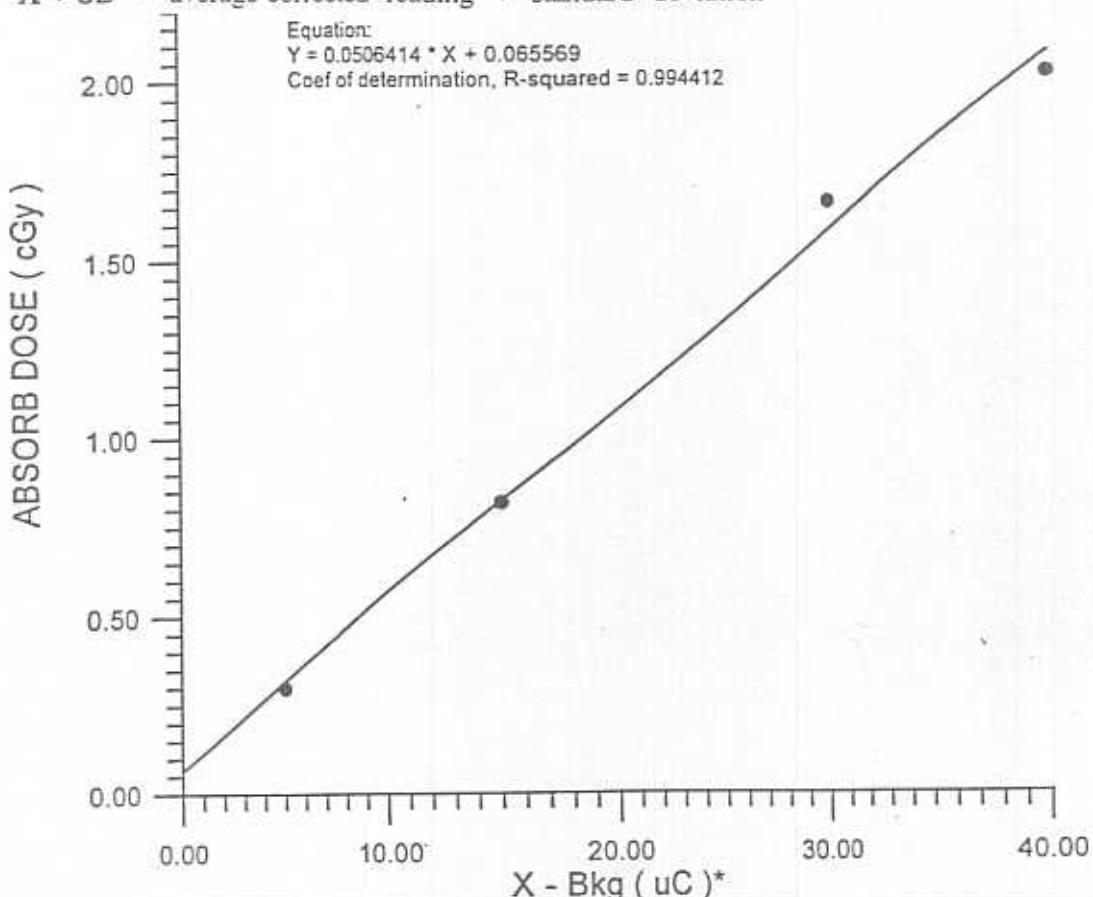
จากการนำเม็ดผลึก ไปฉายรังสีแกรมมาที่ปริมาณรังสีต่ำๆ ได้ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 4.2.3 เมื่อนำข้อมูลน้ำหนัก calibration curve จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2.4

ตารางที่ 4.2.3 แสดงสัญญาณแสงของหัววัดที่เตรียมได้เมื่อนำไปฉายรังสีแกรมมาจากcobolt-60 ด้วยปริมาณรังสีต่ำๆ ดังนี้

Absorb-Dose(cGy)	Corrected Reading ( uC )			X + SD** ( n = 3 )
0.000*	N=15			0.0019±0.0003
5	0.297	0.315	0.292	0.301±0.012
15	0.836	0.776	0.853	0.822±0.040
30	1.477	1.708	1.817	1.669±0.174
40	2.381	2.305	2.091	2.259±0.150

\* background ของหัววัดที่ไม่ได้ฉายรังสี

\*\* X + SD = average corrected reading + standard deviation



รูปที่ 4.2.4 แสดง calibration curve เพื่อหาค่า minimum detectable dose ของหัววัดรังสีที่เตรียมได้

จากการนำหัวดรังสีที่เตรียมได้และหัวดรังสีที่ผลิตจากต่างประเทศ ( TLD 100) ไปฉายรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 70 kVp ด้วยปริมาณรังสี 16 mR นำมาอ่านค่าสัญญาณแสงหลังฉายรังสีเป็นเวลา 5นาที ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.2.4 และได้ Glow Curve ดังแสดงในรูปที่ 4.2.2 a) และ b)

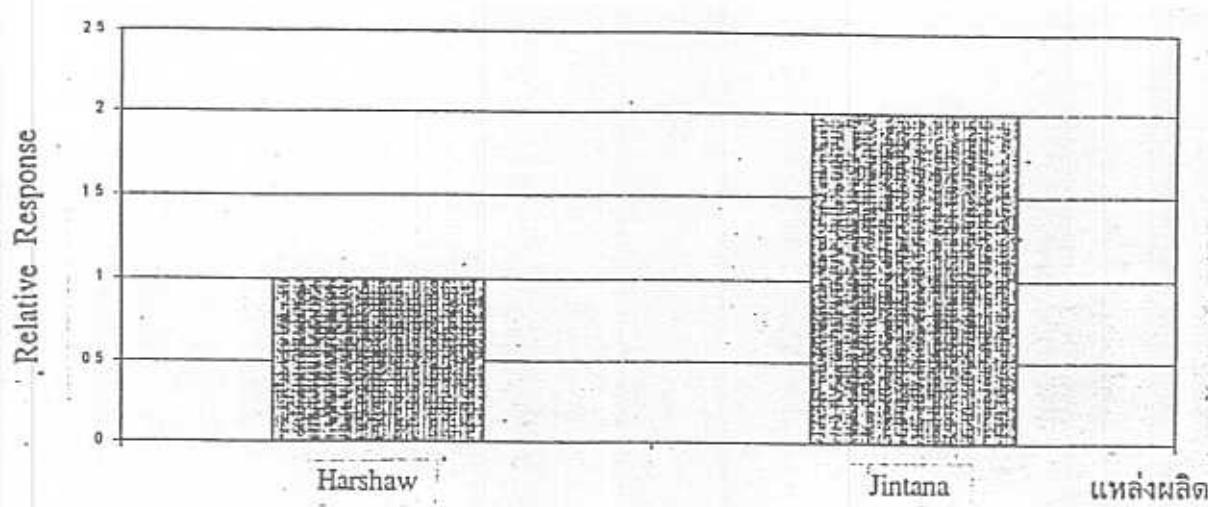
ตารางที่ 4.2.4 แสดงการเปรียบเทียบ sensitivity ของหัวดรังสีที่เตรียมโดย Jintana ( LiF single crystal) กับหัวดรังสีที่ผลิตโดยบริษัท Harshaw ( LiF poly crystal : TLD 100) เมื่อนำไปฉายรังสีเอกซ์

แหล่งผลิต TLD	สัญญาณแสง ( $\mu\text{C}$ ) n=6						$X \pm SD$	Relative Response
	44.85	44.16	44.37	44.74	44.28	46.82		
Jintana	44.85	44.16	44.37	44.74	44.28	46.82	$44.87 \pm 0.992$	2
Harshaw**	22.76	21.57	21.08	24.85	23.36	20.33	$22.33 \pm 1.657$	1

\* น้ำหนัก/1 หัวด = 10 mg

\*\* น้ำหนัก/1 หัวด = 40 mg

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2.4 นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบความไวในการตอบสนองต่อรังสีของหัวดังทั้ง 2 ชนิด ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.5 เปรียบเทียบ Sensitivity ของหัวดรังสีจาก 2 แหล่ง

#### 4.2.5 ) ผลการตีกษา fading

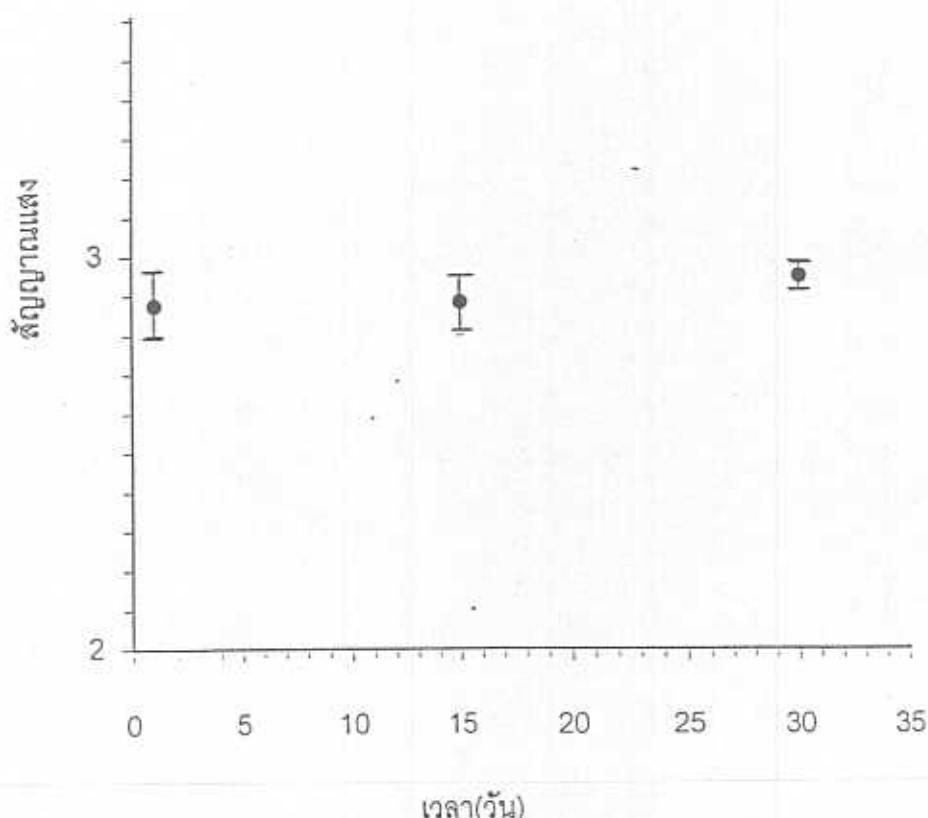
จากการนำเม็ดผลึกไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 100 cGy นำมาอ่านค่าสัญญาณแสงที่เวลาต่าง ๆ กันได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2.5

ตารางที่ 4.2.5 แสดงค่าสัญญาณแสงจากหัวดูรังสี ที่นำไปฉายรังสีแกมมา ด้วยปริมาณรังสี 100 cGy และนำมาอ่านค่าสัญญาณแสงที่เวลาต่าง ๆ กัน

เวลาหลังฉายรังสี (วัน)	Corrected Reading ( $\mu\text{C}$ )*			$X \pm SD$
1	2.775	2.933	2.916	$2.875 \pm 0.087$
15	2.960	2.841	2.851	$2.884 \pm 0.066$
30	2.946	2.947	2.966	$2.953 \pm 0.011$

\* Corrected Reading = สัญญาณแสง  $\times$  ECF  $\times$  ค่าแก้เนื่องจาก sensitivity ของเครื่องอ่าน TLD

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2.5 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแสงกับเวลาหลังฉายรังสี ดังแสดงในรูปที่ 4.2.6



รูปที่ 4.2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแสงกับเวลาหลังฉายรังสี

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัยการทดสอบระบบที่ใช้ปัลกอกพลีก

จากการทดลองพัฒนาลดความร้อนในลักษณะต่างๆ กัน และทดสอบเดาหลอมที่สร้างขึ้นพบว่าได้เดาหลอมที่มีการกระจายความร้อนเหมาะสม กับภาชนะบรรจุสาร และความเร็วของลิฟท์ยกเตา ที่จะใช้เป็นเดาปัลกอกพลีกเดียวได้ ห้องเป็นเตาที่ประยัดพลาสติก อีกด้วย

ลิฟท์ที่สร้างขึ้นสำหรับยกเตาหลอมนั้นเนื่องจากใช้ stepping motor เป็นตัวควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ ลักษณะการเคลื่อนที่จะไม่เรียนเหมือนใช้ระบบเกียร์แต่มีข้อดีตรงที่สามารถออกแบบให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ง่ายกว่า และราคาไม่แพงเท่าการใช้ระบบ เกียร์

#### 5.2 สรุปผลการทดลองปัลกอกพลีก

ผลลัพธ์ที่มีลักษณะภายนอกดีที่สุดคือผลลัพธ์ที่ปัลกอกโดยใช้ภาชนะบรรจุสารรูปทรงกระบอกที่มีนูนแหนบ 60 องศา เพราะมีลักษณะใสและสามารถดัดอุณหภูมิระนาบได้โดยง่าย

#### 5.3 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางรังสี

5.3.1 ลักษณะ glow curve ที่ได้เป็นลักษณะที่ดีมาก คือมีตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักคงที่ และมีพีคเดียวที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ในปรากฏพีคแรกใหญ่ที่เกิดจากอิเล็กตรอนไปค้างอยู่ในชุดดิน ฯ แม้จะอ่านค่าสัญญาณแสงหลังจากรังสีในวันเดียวกันซึ่งเป็นข้อดีตรงที่ในการนำ TLD ชนิดนี้ไปใช้งานนั้นถ้าเป็นงานที่ต้องการทราบผลเร็วๆ ต่อเนื่องกันได้โดยไม่ต้องใช้เทคนิค preheating anneal เพื่อให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในชุดดินฯ ลงมาในแทนพลาสติกที่มีอุณหภูมิต่ำๆ จะเป็นพีคที่ไม่มีความคงที่ สามารถนำเข้าเครื่องอ่านได้โดยการนำไป preheating anneal ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หรือนำ TLD ที่ฉายรังสีแล้วมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้เพื่อให้พีคแรกของ glow curve ลดลงแต่พีคหลักยังคงที่ ส่วนลักษณะ glow curve ของ TLD-100 จะปรากฏ 2 พีค คือมีพีคแรก และพีคหลัก Glow curve ที่ได้จากหัวตัวที่เตรียมได้และนำไปปะปนรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา มีลักษณะเหมือนกัน และคงว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความลึกของ trap คงที่

5.3.2 มีความเป็นเส้น直 (linearity) ระหว่างปริมาณรังสี และสัญญาณแสง ในช่วงปริมาณรังสี absorb dose ระหว่าง  $10^1 - 10^3$  cGy ดี

5.3.3 หัวตัวรังสีที่เตรียมได้สามารถตัวบ่งชี้ปริมาณรังสีแกมมาได้ดีถึง  $6.57 \times 10^{-2}$  cGy โดยมีค่าความเชื่อมั่น 99.87 เปอร์เซ็นต์

5.3.4 มีความไวในการตอบสนองต่อรังสี (sensitivity) เอกซ์ที่ปริมาณรังสี 16 mR สูงกว่า TLD ชนิด LiF(TLD 100) ของบริษัท Harshaw ประมาณ 2 เท่า

5.3.5 จากการศึกษา fading ไม่พบการจำเพาะไปของปริมาณแสงในเวลา 1 เดือน

จากคุณสมบัติที่ได้ทดสอบดังกล่าวมาแล้วข้างต้น นับว่า TLD ชนิด LiF แบบผลึกเดียว ที่ เตรียมขึ้นได้อ่อนนี้ เป็นหัววัดรังสีที่มีคุณสมบัติที่ดี เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล เพื่อเฝ้าระวังอันตรายจากรังสีได้เป็นอย่างดี

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 หัววัดรังสีที่ได้นี้ สามารถนำไปบรรจุลงใน TLD Card เพื่อให้บริการฟิล์มหัววัดรังสีประจำบุคคลได้ แต่ต้องมีการพัฒนาการทำ Bar Code ที่ดิตอยู่บน TLD Card เพื่อสามารถนำหัววัดไปเข้าเครื่องอ่าน TLD แบบอัตโนมัติของต่างประเทศซึ่งบ้านเราริบกันอยู่ หากมีการพัฒนา งานนี้ต่อหน้าว่าเป็นประโยชน์ต่อประเทศไทยอย่างมาก หรือหากจะนำไปใช้กับระบบเครื่องอ่าน TLD ที่ไม่อัตโนมัติก็อาจนำหัววัดที่เตรียมขึ้นได้นี้ ไปบรรจุทำเป็นหัวแหวน เพื่อวัดรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสี

5.4.2 หัววัดรังสีที่ได้นี้สามารถนำไปใช้วัดปริมาณรังสีที่ รังสีแพทย์ให้แก่คนไข้โดยตรง หรือใช้ในงานรังสีวินิจฉัย เพื่อควบคุมคุณภาพในการรักษา และวินิจฉัยโรคได้โดยตรง

5.4.3 ระบบปลูกผลึกที่สร้างขึ้นเองนี้ผลิตผลึกได้ครั้งละ 1 ผลึก ตัดออกเป็นเม็ดหัววัด รังสีได้ประมาณ 30 หัววัด ใช้เวลาในการเตรียมงานทดสอบระบบ ปลูกผลึก และทดสอบคุณ สมบัติทางรังสีรวมล้วนเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน ซึ่งใช้เวลาในการผลิตมาก หากมีการพัฒนา ระบบนี้ต่อไปให้ปลูกผลึกได้ครั้งละจำนวนมาก ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานและประหยัดแรงงานก็จะสามารถให้บริการหัววัดรังสีแก่หน่วยงานที่ต้องการใช้หัววัดรังสีนี้ในงานประจำ หรืองาน วิจัยได้ อีกทั้งผู้วิจัยยังต้องการพัฒนาระบบที่ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม เพื่อเป็นการควบคุม repeatability ของการผลิต โดยเฉพาะปัญหาอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้มีความยากลำบากในการปลูกผลึก อีกทั้งงบประมาณที่ได้มีจำกัด หากมีแหล่งเงินทุนที่ มองเห็นความสำคัญของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะพัฒนาระบบ และทดลองปลูกผลึกให้ ได้คุณภาพที่ดียิ่ง ฯขึ้นต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

- (1) Brian, R. Pamplin , Crystal Growth, Pergamon Press , Oxford 10-7-98
- (2) Burke,k., Sutton,D., Optimization and Deconvolution of Lithium Fluoride TLD-100 in Diagnostic Radiology. British Journal of Radiology,1997 Vol.70.PP.261-271
- (3) Cameron , J. R. , Zimmerman, D. , Kenney, G. , BuchR., Bland,R., and Grant,R., Thermoluminescent Radiation Dosimetry Utilizing LiF. Health Physics, Vol.10, PP.25-29 , 1964 , Pergamen Press .
- (4) Cameron , J.R., Sutharalingam ,N., Kenney,G.N., Thermoluminescent Dosimetry, University of wisconsin Press , 1968
- (5) Carrillo,Re.,Pearson,DW.,Deluca,PM., Mackay,JF., Thermoluminescent Response of Lithium-Fluoride ( TLD-100 ) to Monoenergetic Photon Beams of 600,730 , 900 and 1500 eV,Radiation Protection Dosimetry,1993, Vol.47 No.1-4,PP.519-524
- (6) Daniel,F.,and Rieman ,W.P.,Thermoluminscent Dosimeter. Final Report Project 4-12-80-001 , Chemical Procurement Agency,1954
- (7) Driscollt,C.M.H., Mc Whan,A.F., Hagant,J.B.O., Dodson,J.. Mundy,S.J.,Todd,C.D.. The charateristics of New LiF Perparations and Sensitised LiE Radiation Protection Dosimetry Vol 17.pp.367-371(1986),Nuclear Technology Publishing.
- (8) Gangang,C.;The influence of non-emission competitive centres(NECC) on  $\gamma$ -ray dose response of LiF-TLD. Appl. Phys. 22(1989) 812-816. Printed in the UK.
- (9) Hirming , C.R. , Detection and Determination Limits for Thermoluminescence Dosimetry. Health Physics Society,1992 , pp.223-227
- (10) Johnson,T.L.,Robinson,R.L.,Luersen,R.B., Eading of LiF-Teflon Dosimeters used in Identification Badges. Health Physics, Pergamon Press,1977,Vol.(jan), pp.31-32
- (11) Kitahara, A., Saitok, M., Harasawa , S., Analysis of the Thermoluminescence Response of LiF Poder to Thermal Neutron and Gamma Ray Exposure. Health Physics,Pergamon Press 1976.vol.31(July),pp.41-46
- (12) Laudise,R.A., the Growth of single Crystals. Prentice Hall,1970. New Jersey
- (13) Larry, A., Handling Technique for Thermoluminescent Dosimeters. Health Physics, Pergamon Press 1976.Vol31(Dec.),pp.525-527.
- (14) Mahajna ,S.,Yossian.D., Horowitz,YS., Mechanisms in the Thermoluminescence

- of LiF-Mg,Cu,P.Radiation Effects and Defects in Solids,1995,Vol.136,No.1-4,PP.1091-1095
- (15) Nakajima , T ., Watanabe, S., Influence of Heating Conditions on the Thermoluminescence Sensitivity of TLD-LiF PhosPhors. International Journal of Applied Radiation and Isotopes,1976 , Vol.27, PP.113-121, Pergamon Press.
- (16) Nakajima,T., Murayama,Y.,Matsuzawa,T.,and Koyana,A.,Development of a New Highly Sensitive LiF Thermoluminescence Dosimeter and its Applications. Nuclear Instruments and Methods,1978,PP.155-162,North-Holland Publishing.
- (17) Nakajima,T.,Murayama,Y.,Matzuzawa,T.,Preparation and Dosimetric Properties of a highly Sensitive LiF Thermoluminescent Dosimeter. Health Physics Vol 36 (January).PP. 79-82 , 1979 , Pergamon Press.
- (18) Niewiadomski,T.,Pressure Deformation and Recovery of Thermoluminescence in Lithium Fluoride. Health Physics,1976 ,Vol 31 PP.373-376 , Pergamon Press .
- (19) Niwa,T.,Kawai,H.,Morishima,H.,Koga T.,Perparation of Single-Crystal LiF TLD and its Characteristics. Journal of the atomic energy society Japan , 1993,Vol . 35 , No.12,PP. 1098-1102
- (20) Niwa,T., Morishim,H.,Koga,T., Kawai,H.,and Nishiwaki,Y., Single crystal LiF Thermoluminescence Dosemeters Radiation Protection Dosimetry,Vol.5, No.1-4 , PP.333-334 , Nuclear Technology Publishing.
- (21) Oberhofer,M.,and Scharmann,a.,Applied Themoluminescence Dosimetry, Adam Hilger Ltd,1979 , Bristol.
- (22) Peto",A'.,Uchrin,Gy., Solid State Dosimetry, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 65 Nos.1-4 and Vol.66 Nos.1-4 ,1996,Nuclear Technology Publishing .
- (23) Pradhan,A.S.,Thermoluminescence Dosimetry and its Application. Radiation Protection Dosimetry,Vol.1, No3,PP.153-167,1981,NuclearTechnology Publishing.
- (24) Reddy,A.R.,Ayyangar,K., and Pradhan,A.S., Finger Dosimeter of Radiation Worker with TL Phosphors. Proceeding of the National Symposium on Thermoluminescence and Its Application 2 (1975) 510-520
- (25) Shoushan,w.,Guolong,C.,Fang,W.,Yuanfang,L.,Ziying,Z., and Jianhuan.Z.. Newly Developed Highly Sensitivity LiF (Mg,Cu,P) TL Chips with high Signal-To-Noise Ratio Radiation Protection Dosimetry, Vol 14 No.3 PP.223-227,1986, Nuclear Technology Publishing.
- (26) Vij,D.R., Thermoluminescent Materials. PTR Prentice Hall , New Jersey, 1993

- (27) Wang ,C.,Lian ,C., Thermoluminescent Dosimetry. Regional Training Course on radiation Dosimtry,Shanghai,Chaina,9 October-4 November 1989
- (28) Wibb ,G.A., Dauch,J.E., and Bodin,G., Operational Evaluation of a new high sensitivity Thermoluminescent dosimeter. Health Physics, 1972,.Vol.23 (July) , PP 89-94 , Pergamon Press .
- (29) Ziying, Z., Shoushan,W., Fang,W., Guolong,C.,Yuanfang,L., and Jianhuan,Z., Measurement of Extremely Low Level Dose with LiF(Mg,Cu,P) TL Chip. Radiation Protection Dosimetry,Vol 7 PP.415-418, 1986 ,Nuclear Technology Publishing.

## การพนวก

Type	Materials	Applications	Effective atomic No.(Z) for photoelectric absorption	TL emission spectrum	Sensitivity at $^{60}\text{Co}$ relative to LiF	Energy response 30 kV/ $^{60}\text{Co}$	Useful Range	Finding
TLD-100	Lithium Fluoride LiF (natural)	Health and medical physics	8.2	3500-6000Å (4000 max)	1.0	1.25	10μGy-10Gy	*Negligible 5%/yr at 20°C
TLD-100H (GR-200)	LiF:Mg,Cu,P (Natural)	Environmental Personnel Extremity dosimetry	8.2	4000Å	15	1.06	1μGy-10Gy	Negligible
TLD-600	Lithium-6 Isotope Fluoride	Neutron dosimetry	8.2	3500-6000Å (5000 max)	1.0	1.25	10μGy-10Gy	Negligible 5%/yr at 20°C
TLD-600H (GR-206)	LiF:Mg,Cu,P (Natural)	Neutron dosimetry	8.2	4000Å	15	1.06	1μGy-10Gy	Negligible
TLD-700	Lithium-7 Isotope Fluoride	Gamma dosimetry	8.2	3500-6000Å (4000 max)	1.0	1.25	10μGy-10Gy	*Negligible 5%/yr at 20°C
TLD-700H (GR-207)	LiF:Mg,Cu,P (Li Isotope)	Gamma dosimetry	7.4	4000Å	15	1.06	1μGy-10Gy	Negligible
TLD-200 <sup>a</sup>	Calcium Fluoride Dysprosium CaF <sub>2</sub> :Dy	Environmental dosimetry	16.3	Peaks at 4835Å	30 at 5765Å	-12.5	.1μGy-10Gy	10% in 1st 24 hrs; 16% total in 2 wks
TLD-400	Calcium Fluoride Manganese CaF <sub>2</sub> :Mn	Environmental and high dose dosimetry	16.3	4400-6000Å (5000 Max)	10	-13	.1μGy-100Gy	10% in 1st 24 hrs; 15% total in 24 hrs.
TLD-500	Aluminum Oxide Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C	Environmental dosimetry	10.2	4200Å	30	2.9	.05μGy-1Gy	3% per year
TLD-800	Lithium Borate Manganese Li <sub>2</sub> B <sub>3</sub> O <sub>5</sub> :Mn	Kilorad and Megarad dosimetry	7.4	5300-6300Å (6050 Max)	0.15	0.9	.5μGy-10 <sup>5</sup> Gy	<5% in 3 months
TLD-900	Calcium Sulphate Dysprosium CaSO <sub>4</sub> :Dy	Environmental dosimetry	15.5	4800Å 5700Å	20	-12.5	1μGy-100Gy	2% in 1 month 8% in 6 months

ที่มา: บริษัท Harshaw  
และข้อมูลเพิ่มเติม