บทที่ 2

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ คุณสมบัติ และวิธีการเตรียม

2.1 เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (thermoluminescence dosimeter ; TLD)

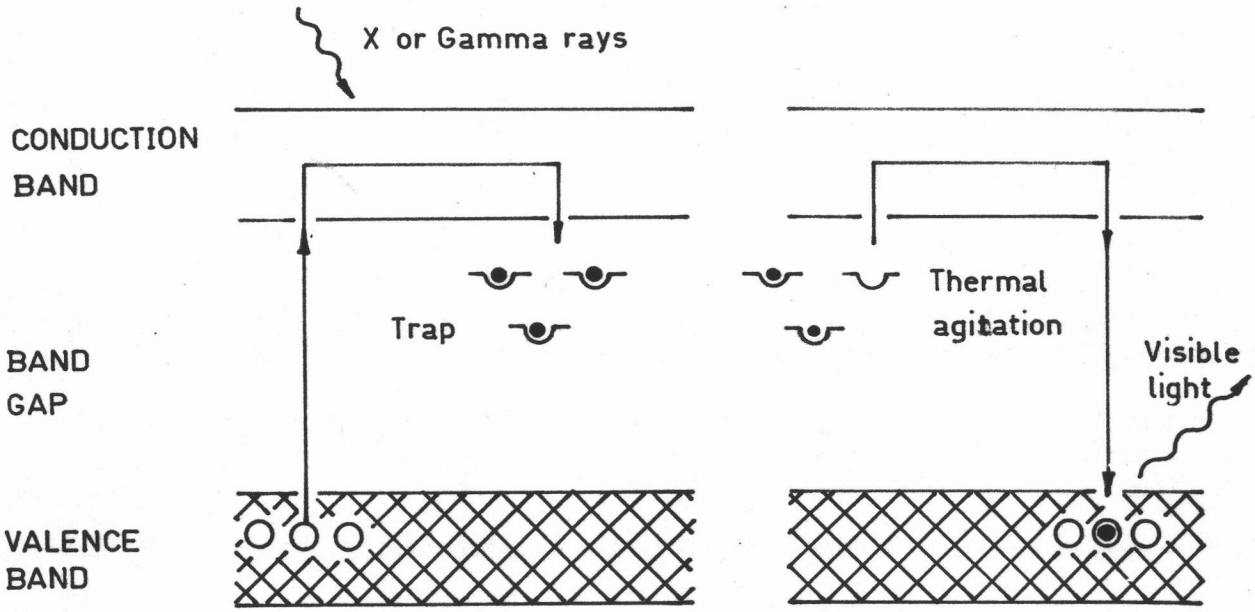
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (TLD) เป็นเครื่องวัดรังสีที่ใช้ผลึกสารบางอย่างเป็นตัววัด ผลึกที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้ว จะทำให้เกิดสถานะกึ่งเสถียรขึ้นในอะตอม โดยที่พลังงานจำนวนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในผลึก และเป็นการเก็บอย่างถาวร ผลึกพวกนี้จะรักษาพลังงานนั้นไว้ จนกระทั่งได้รับพลังงานความร้อนที่เหมาะสมปริมาณหนึ่ง จึงจะคายออกมาในรูปแสงสว่าง และอะตอมกลับสู่สถานะพื้นฐานดังเดิม จึงเรียกผลึกพวกนี้ว่า thermoluminescence crystal พลังงานในรูปแสงสว่างนี้ สามารถวัดได้โดยการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) ซึ่งปริมาณแสง จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่สะสมไว้

TLD สามารถนำไปใช้วัดรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และ รังสีเบตา ได้ โดยมีการตอบสนองต่อรังสีสูง ในช่วงปริมาณรังสี 10 มิลลิเกรย์ ถึงประมาณ 10^5 มิลลิเกรย์

TLD มีหลายชนิดเช่น $CaF_2(Mn)$, $CaF_2(Dy)$, $LiF(Mg,Ti)$, $Li_2B_4O_7(Cu,Ag)$, $MgB_4O_7(Dy)$, $CaSO_4(Mn)$ และ $CaSO_4(Dy)$ เป็นต้น การนำ TLD แต่ละชนิดไปใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่ปฏิบัติ กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของ TLD ; TLD แต่ละชนิดได้มีการผลิตออกมาในหลายรูปแบบ เช่น เป็นผงผลึก อัดเป็นเม็ด เป็นแท่งกลม เป็นแผ่นบาง

อิเล็กตรอนในอะตอมของผลึกสาร ซึ่งเป็นฉนวนทางไฟฟ้า ที่ยังไม่ถูกรบกวนด้วยรังสีจะถูกยึดอยู่ในอะตอม โดยหมุนรอบนิวเคลียส ด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวที่แน่นอนสำหรับวงโคจรหนึ่ง ๆ แถบพลังงานเหล่านี้ เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (valence band) ซึ่งมีพลังงานต่ำ ถ้าอิเล็กตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่งได้รับพลังงานภายนอก ไม่ว่าจาก โฟตอน หรือ อนุภาคก็ตาม อิเล็กตรอนจะกระโดดขึ้นไปอยู่ ในแถบคอนดัคชัน (conduction band) ซึ่งอิเล็กตรอน

จะอยู่ในสภาวะที่ตื่นตัว ในขณะเดียวกันในแถบพลังงาน วาเลนซ์แบนด์ จะมีโฮล (hole) เกิดขึ้นแทนที่อิเล็กตรอนที่หายไป ส่วนในแถบช่องว่าง (band gap) ซึ่งอยู่ระหว่างแถบวาเลนซ์ และ แถบคอนดัคชัน จะมีกับดัก (trap) อยู่ ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าแถบพลังงานแถบคอนดัคชัน เล็กน้อย กับดักนี้สามารถดักจับอิเล็กตรอนจาก แถบพลังงานคอนดักชันได้ แต่จะไม่ยอมปล่อยให้ อิเล็กตรอนกลับคืนสู่แถบพลังงานคอนดัคชัน แต่ถ้ามีการกระตุ้นโดยให้ความร้อนเข้าไปในผลึกสารทำให้อิเล็กตรอนในกับดักมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดกลับ คืนสู่แถบพลังงานคอนดัคชัน อีกครั้ง ต่อจากนั้นอิเล็กตรอน จะกลับลงมารวมกับโฮล ในแถบพลังงานวาเลนซ์ พร้อมกับคายพลังงานออกมาในรูปแสงสว่าง โดยความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับ ปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



a) เมื่อได้รับพลังงานรังสี b) เมื่อได้รับพลังงานความร้อน

รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอม TLD เมื่อได้รับรังสี

2.2 คุณสมบัติของ TLD

Yamashita และคณะ (1970) ได้กล่าวว่า คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของสารเรืองแสงที่จะนำมาใช้เป็น TLD ได้ดีนั้น จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. มีความไว ในการตอบสนองต่อรังสีสูง

ข. สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้เป็นเวลานาน ในที่อุณหภูมิปกติ

ค. มี glow curve ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ง. สเปคตรัมของแสงที่ปล่อยออกมา มีความยาวคลื่นสั้น เหมาะสมกับหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube)

จ. มีความคงที่ของกับดัก (trap)

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ TLD ทั่ว ๆ ไป

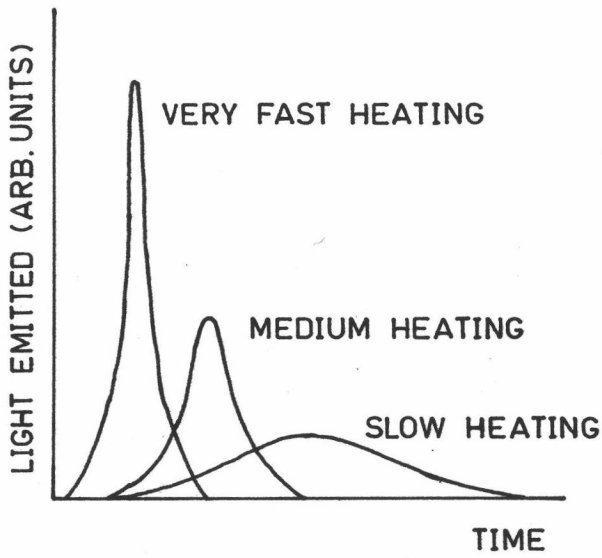
การที่จะนำ TLD มาใช้งานได้นั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 Glow curve

glow curve คือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มของแสงที่ TLD ปล่อยออกมา (TL) กับอุณหภูมิ หรือเวลาที่ใช้ให้ความร้อน ถ้าอัตราการให้ความร้อน(heating rate)กับ TLD มีค่าคงที่สม่ำเสมอ กราฟทั้งสองนี้จะคล้ายกันมาก พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับเวลา จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ total TL ในขณะที่พื้นที่ใต้กราฟที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับอุณหภูมิ อธิบายได้ยากกว่า ดังนั้นถ้ากล่าวถึง glow curve ปกติจะหมายถึงกราฟที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง TL กับเวลา

ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลทำให้ glow curve เปลี่ยนแปลงไปได้แก่

1) อัตราการให้ความร้อน (heating rate) การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อน จะมีผลต่อ glow curve อย่างมาก กล่าวคือถ้าเพิ่มอัตราการให้ความร้อนขึ้นเป็น 2 เท่า จะทำให้ความสูงของพีคเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่ความกว้างของพีคจะแคบลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

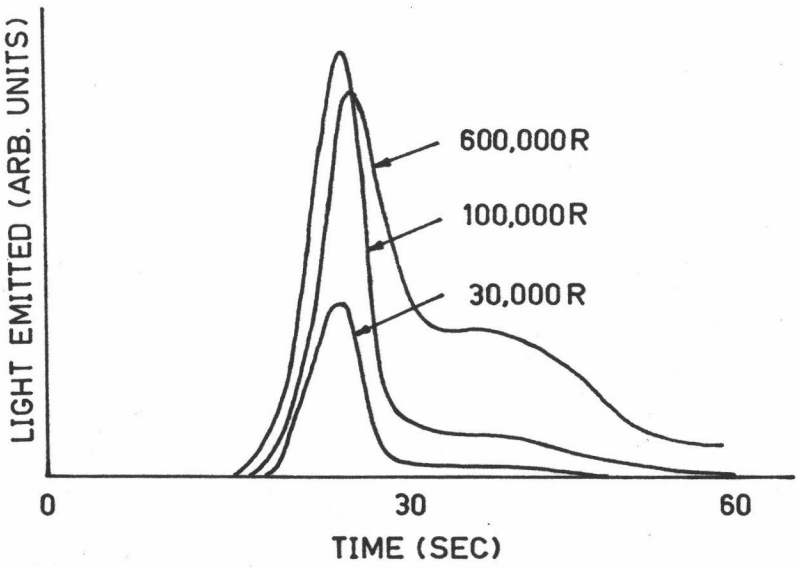


รูปที่ 2.2 แสดงผลการเปลี่ยนแปลง heating rate ที่มีผลต่อรูปร่างของ glow curve (Cameron และคณะ , 1968)

2) ขนาด รูปร่างลักษณะของ TLD เนื่องจากส่วนของ TLD ที่สัมผัสกับ heating element จะได้รับความร้อนก่อน ส่วนที่อยู่ห่างออกไปจะได้รับความร้อนจากการนำความร้อน ดังนั้นจะเห็นว่า ขนาด รูปร่าง และสภาพการนำความร้อนของ TLD มีผลต่อ glow curve อย่างมาก ถ้า TLD มีความหนามากเกินไป ส่วนที่อยู่ห่างจาก heating element จะยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ จึงให้ glow peak ที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่ส่วนที่อยู่ใกล้ heating element จะให้ glow peak ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งผลรวมก็คือ glow curve ค่อนข้างจะกว้างขึ้นมาก และมีรูปร่างผิดไปจากเดิมเพราะพีคมาซ้อนกัน ซึ่งผลนี้จะเกิดขึ้น เมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนสูง (high heating rate)

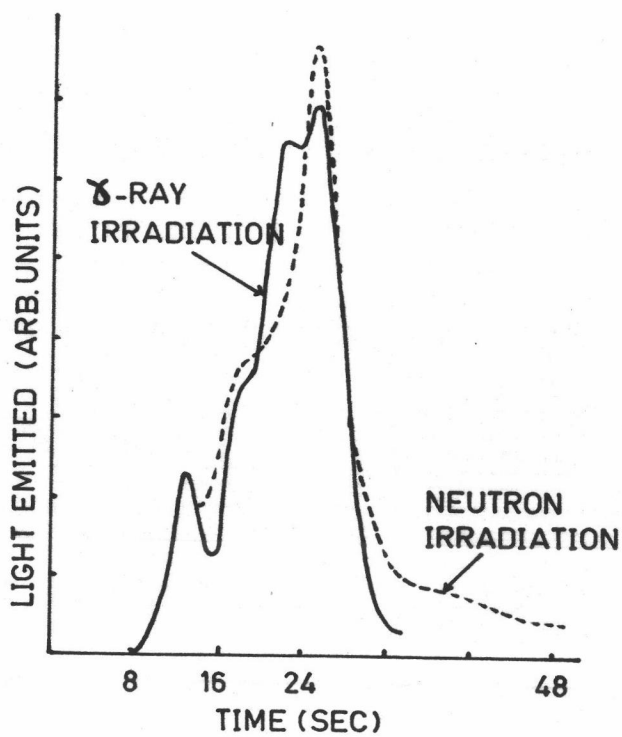
สำหรับ TLD ที่เป็นผงผลึก มีสภาพการนำความร้อนต่ำกว่าแบบอัดเป็นเม็ด ดังนั้นถ้าจะให้ได้ glow curve ที่ดีจะต้องเกลี่ยผงผลึกให้มีความบางและสม่ำเสมอเท่ากัน โดยต้องใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำ (slow heating rate)

3) ระดับของปริมาณรังสี (level of exposure) ปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับจะมีผลต่อ glow curve ด้วย เพราะกับดัก ต่าง ๆ จะไม่อิ่มตัวที่ปริมาณรังสีเดียวกัน ดังแสดงใน รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงผลของปริมาณรังสีที่มีต่อ glow curve (Cameron และคณะ , 1964)

4) ชนิดของรังสี (type of radiation) เมื่อ TLD ได้รับรังสีต่างชนิดกัน จะให้ glow curve ที่มีรูปร่างต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 glow curve ของ LiF(TLD-100) ซึ่งนำไปฉายรังสีเทอร์มัลนิวตรอน และรังสีแกมมา (Cameron และคณะ , 1968)

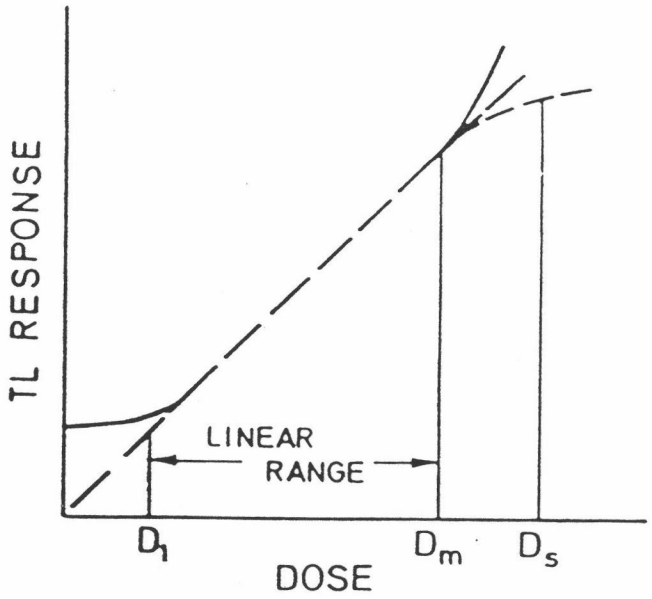
5) ประวัติการได้รับรังสี และการ anneal ของ TLD

Daniels และ Rieman (1954) สังเกตุพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการ anneal TLD ก่อนเริ่มนำไปใช้งาน และ ก่อนนำไปใช้ใหม่ คือ 400 องศาเซลเซียส และยังพบว่าการ anneal ที่ 400 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มนำ TLD ไปใช้งานนั้น จะทำให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสี เพิ่มขึ้นประมาณ 4 - 5 เท่า ปี ค.ศ. 1960-1964 (Cameron และคณะ , 1964) ได้มีการศึกษาผลดังกล่าว พบว่าเป็นความจริง แต่ยังอธิบายไม่ได้ว่า เพราะเหตุใด การ anneal ก่อนนำ TLD ไปใช้งาน จึงสามารถเพิ่ม sensitivity ได้

6) เครื่องมือที่ใช้บันทึก glow curve (recording instrument)กล่าวคือ ถ้าเครื่องมืออยู่ในสภาพที่ไม่ปกติ เช่น thermocouple ทำงานผิดปกติ หากไม่มีการปรับเทียบ อุณหภูมิของ thermocouple ที่ให้กับ planchet อาจทำให้ ตำแหน่งอุณหภูมิของพีคหลักผิดไป

2.2.1.2 Sensitivity หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ปล่อยออกมาจาก TLD ต่อหนึ่งหน่วยปริมาณรังสี สิ่งที่จะมีผลต่อ sensitivity คือ ปริมาณ TLD ที่ใช้ในการอ่าน , ลักษณะรูปร่างของ TLD , ขนาดของผลึก , ประวัติการได้รับรังสี , ประวัติการ anneal เป็นต้น

2.2.1.3 Linearity หมายถึงความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ระหว่างปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจาก TLD กับ ปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับ ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 ช่วง $D_1 - D_m$ เป็นช่วงที่ TLD มีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้น (linearity) สัญญาณที่ได้จาก TLD เป็นสัญญาณที่ลบค่าสัญญาณของ TLD ที่ไม่ได้รับรังสี (zero dose)แล้ว และ TL คิดจากผลรวมของสัญญาณใต้ glow curve ทั้งหมด



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่าง linearity ของ TL ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ (Oberhofer and Scharmann , 1980)

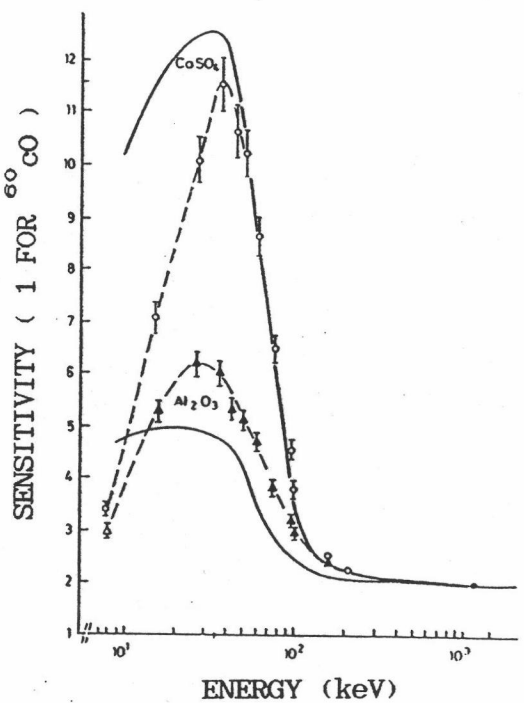
TLD แต่ละชนิดจะให้ผลการตอบสนองการวัดเป็นเชิงเส้น ของช่วงวัดปริมาณรังสีต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว ของ TLD แต่ละชนิด ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

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

TL material	Linearity range for Co-60 gamma rays (order of magnitude) (rad)
LiF:Mg,Ti	10^{-2} - 10^{2}
$Li_2B_4O_7$:Mn	10^{-2} - 10^{2}
CaF_2:Mn	10^{-4} - 10^{3}
CaF_2:Dy	10^{-5} - 10^{3}
BeO	10^{-2} - 10^{2}

2.2.1.4 Energy dependence เมื่อนำ TLD ไปฉายรังสีปริมาณเท่ากัน แต่ระดับพลังงานต่างกัน การตอบสนองต่อรังสีจะต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ที่พลังงานต่ำ (< 100 keV)จะเกิดปรากฏการณ์ photoelectric absorption ได้ดีกว่าที่พลังงานสูง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับ atomic number (Z) ของ TLD ด้วย TLD ที่มีค่า Z ใกล้เคียงกับอากาศ คือ ประมาณ 7.64 จะมีค่า energy response ดี คือมีค่าใกล้เคียง 1 กล่าวคือ การตอบสนองต่อรังสีจะขึ้นอยู่กับพลังงานน้อยมาก

Oberhofer และ Scharman (1980) ได้กล่าวว่า วิธีการหาค่า energy response ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการทดลอง โดยนำ TLD ไปฉายรังสีเอกซ์ ที่พลังงานต่าง ๆ และ รังสีแกมมาจาก Co-60 ที่ปริมาณรังสีเท่า ๆ กัน อีกวิธีหนึ่ง คือ โดยวิธีการคำนวณหาค่าจากสัมประสิทธิการดูดกลืนพลังงานโฟตอน รูปที่ 2.6 แสดง energy response curve โดยวิธีการคำนวณ เปรียบเทียบกับ การทดลอง ของ TLD ชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 แสดง energy response ของ $CaSO_4$ (o) และ Al_2O_3 (▲)
——— ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ------ ได้จากการทดลอง
(Oberhofer and Scharmann , 1980)

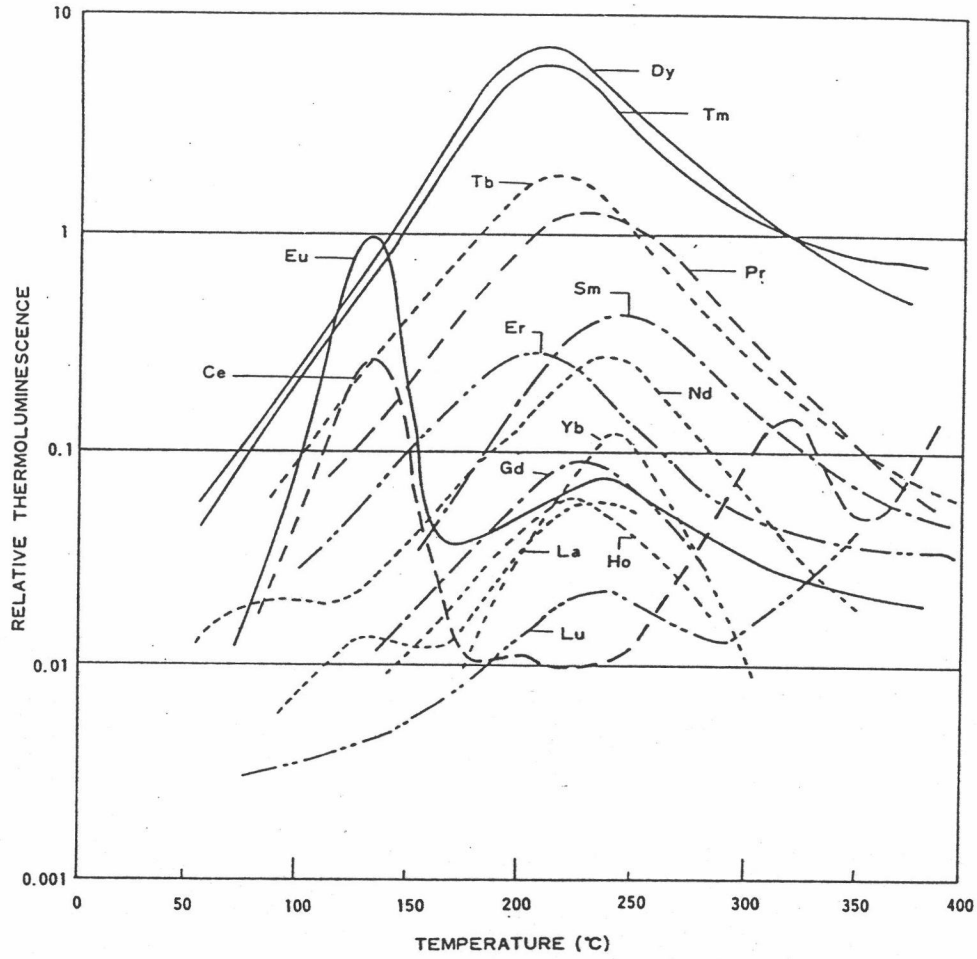
2.2.1.5 Fading หมายถึง การจางหายไปของสัญญาณใน TLD ตามกระบวนการเกิด เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์นั้น เมื่ออะตอม TLD ถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน ของโฟตอน อิเล็กตรอนจะกระโดดไปค้างอยู่ในกับดัก การเก็บ TLD ไว้นาน ๆ หลังจาก TLD ได้รับรังสี หรืออุณหภูมิในการเก็บสูง หรือมีแสงสว่างมาก จะมีผลทำให้ อิเล็กตรอน ที่ค้างอยู่ในกับดักที่ระดับพลังงานต่ำ ๆ ตกลงมาที่แถบพลังงานวาเลนซ์ เมื่อนำ TLD ไปอ่านค่าปริมาณแสง ค่าที่ได้จะมีค่าลดลงจากความเป็นจริง

2.2.2 คุณสมบัติของ $CaSO_4$(Dy)

Yamashita และ คณะ (1968) กล่าวถึงคุณสมบัติของ $CaSO_4$(Dy) ดังต่อไปนี้

$CaSO_4$(Dy) จัดเป็นสารเรืองแสง (phosphor) ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นTLD ได้ ตรงตามที่ Yamashita และคณะ (1970) กล่าวไว้ทุกประการ

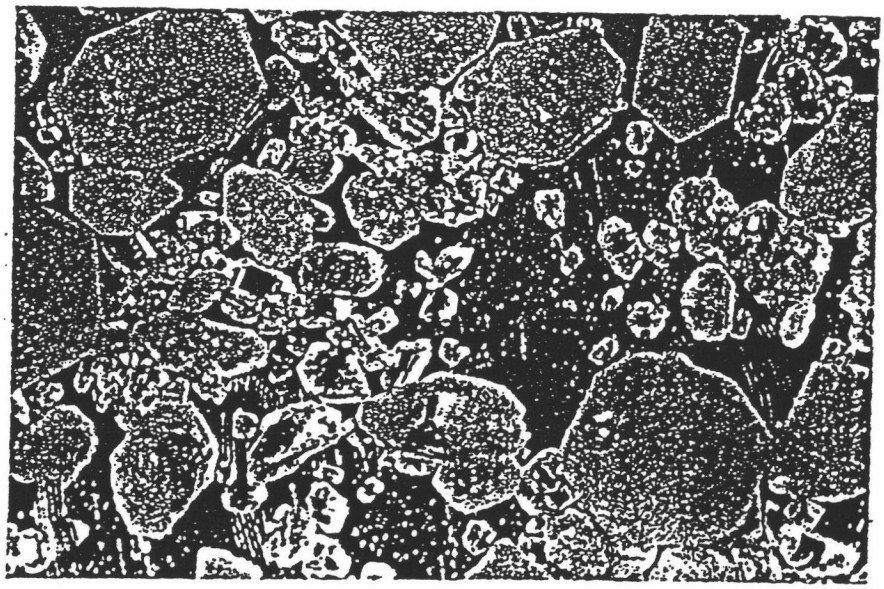
ผลจากการเตรียม TLD ชนิด $CaSO_4$ ของ Yamashita T. และคณะ (1968) ซึ่ง กระตุ้น (activated) ด้วย rare earth ion 14 ชนิด คือ Dy , Tm , Td , Pr , Sm , Er , Nd , Yb , Gd , La , Ho , Lu , Eu , Ce และเปรียบเทียบ glow curve ที่ได้ ดังแสดงใน รูปที่ 2.7 พบว่า $CaSD_4$(Dy) เป็น TLD ที่มี sensitivity สูงสุด



รูปที่ 2.7 แสดง thermoluminescence glow curve ของ $CaSO_4$ ที่กระตุ้นด้วย rare earth ion ต่าง ๆ กัน 14 ชนิด (Yamashita และ คณะ,1968)

ลักษณะผงผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่ได้จากการเตรียมโดย Yamashita และคณะ (1968) มีลักษณะเป็นผลึกเดี่ยว (single crystals) มีความยาว 1-3 มิลลิเมตร ดังแสดงใน รูปที่ 2.8

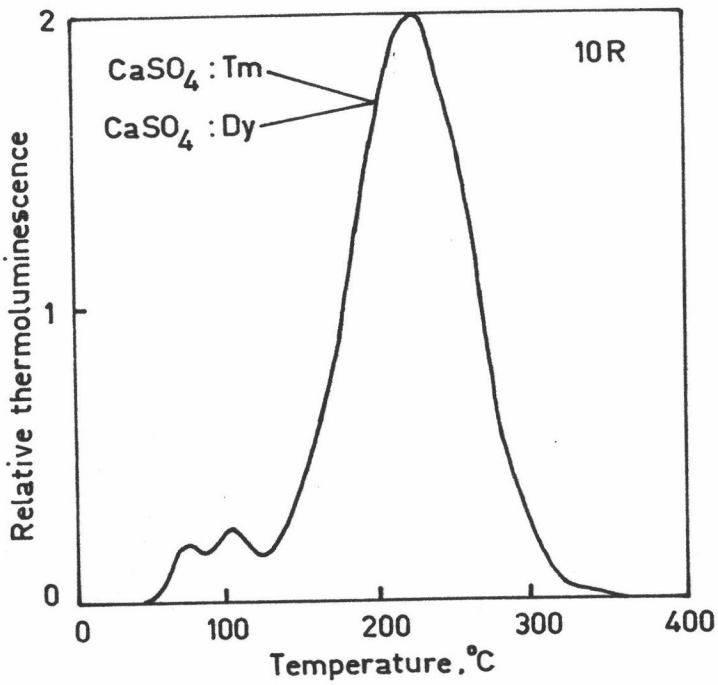
018600



รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายการกระจายขนาดของรูปผลึก $CaSO_4$(Dy) จากกล้องจุลทรรศน์ (x 10 เท่า) (Yamashita และ คณะ , 1968)

2.2.2.1 Glow peak

TL glow peak ของ $CaSO_4$(Dy) ที่ปล่อยออกมา มีพีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส และมีพีคแรก 2 พีค อยู่ติดกัน คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 80 และ 120 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน รูปที่ 2.9 สเปคตรัมของแสง ที่ปล่อยออกมามีความยาวคลื่น 4800 Å และ 5700 Å

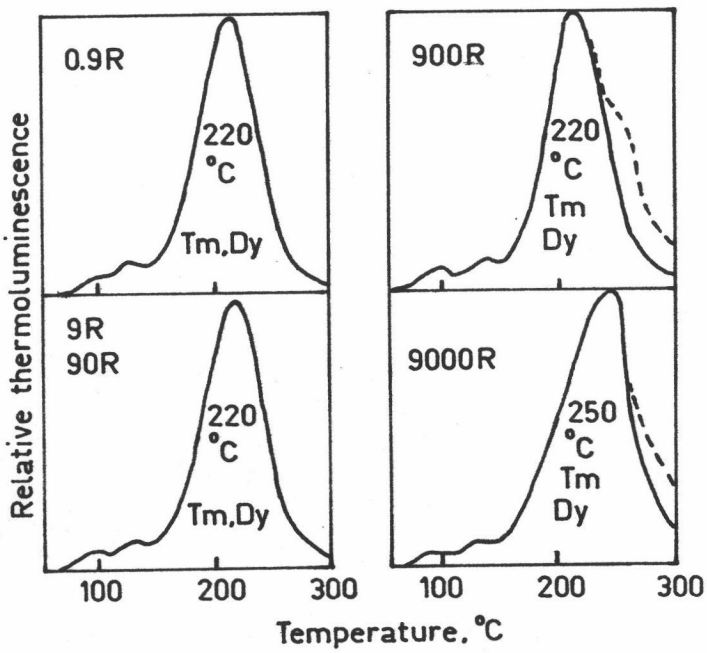


รูปที่ 2.9 ลักษณะ glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาจาก ^{137}Cs (Oberhofer and Scharmann ,1980)

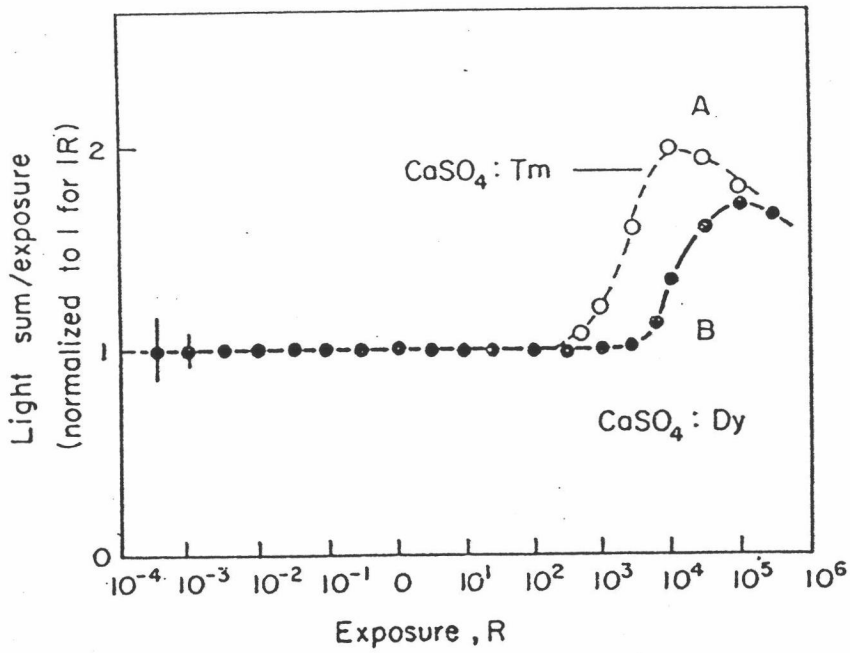
2.2.2.2 Linearity

จากการศึกษา คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น (linearity) โดย Yamashita และคณะ (1970) ได้พบว่า ความไวในการตอบสนองต่อรังสี ของ$CaSO_4$(Dy) จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น (linearity) ระหว่างปริมาณแสง ที่ปล่อยออกมา (TL) กับปริมาณรังสีที่ $CaSO_4$ ได้รับ โดยจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ไปจนถึง 3×10^3 R เริ่ม supralinear จากช่วง 3×10^3 R ถึง 10^5 R และจะเริ่ม saturation ที่ประมาณ 10^5 R มี minimum detectable dose ต่ำกว่า 5×10^{-4} R โดยมี standard deviation $\pm$ 20 % นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ปริมาณรังสีต่ำกว่า 300 R พีคหลักของ $CaSO_4$(Tm) และ $CaSO_4$(Dy) จะอยู่ในช่วงประมาณ 220 องศาเซลเซียส แต่ถ้าฉายรังสี ด้วยปริมาณรังสีที่มากขึ้น คือ ประมาณ 900 R จะปรากฏพีคที่ 250 องศาเซลเซียส ขึ้นมาอีกพีคหนึ่ง ใน TLD ชนิด $CaSO_4$(Tm) และที่ปริมาณรังสีมาก ๆ

ประมาณ 9000 R ขึ้นไปใน $CaSO_4$(Dy) จะปรากฏพีคที่ 250 องศาเซลเซียส ขึ้นเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี กับปริมาณแสงที่ปล่อยออกมา มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น คือ กลายเป็นช่วง supralinearity



รูปที่ 2.10 แสดง glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) และ $CaSO_4$(Tm) ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ เส้นประ (-------) คือ TL จาก $CaSO_4$(Tm) ที่ 900 R และจาก $CaSO_4$(Dy) ที่ 9000 R (Yamashita และคณะ , 1971)



รูปที่ 2.11 แสดง linearity ของ $CaSO_4$(Dy) เปรียบเทียบกับ $CaSO_4$(Tm)

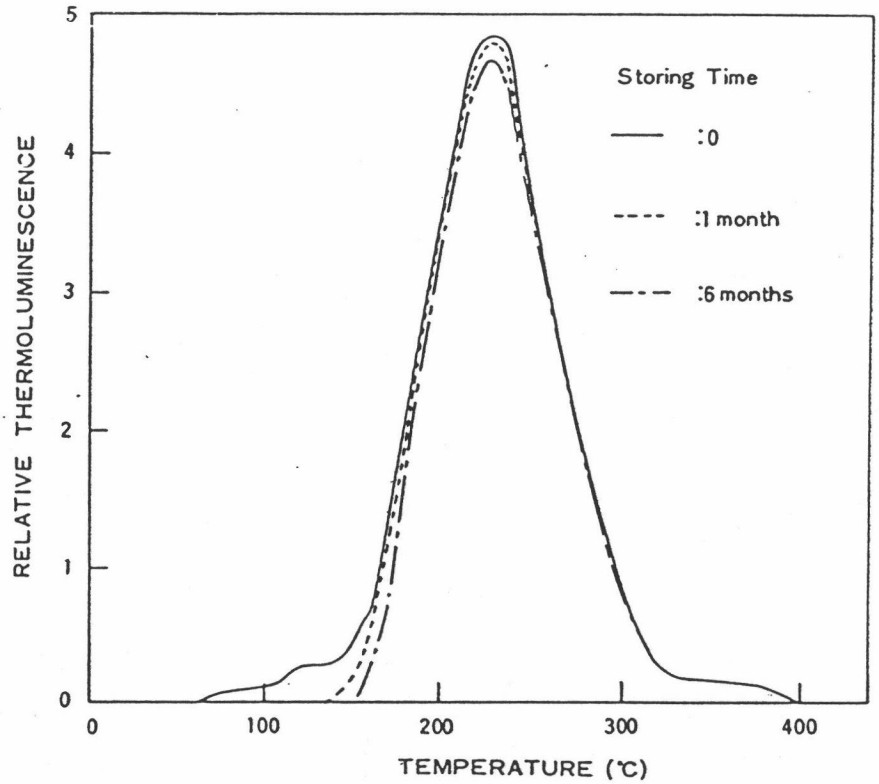
(Yamashita และ คณะ ,1971)

2.2.2.3 Fading

Yamashita และ คณะ (1971) ได้ศึกษา glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ซึ่งเก็บไว้ในที่มืด ในอุณหภูมิห้อง หลังฉายรังสี 10 R ทิ้งไว้เป็นเวลาต่างกัน จึงนำมาอ่าน พบว่ามี fading น้อยมาก คือประมาณ 1-2 เปอร์เซนต์ต่อเดือน และ 5-6 เปอร์เซนต์ต่อ 6 เดือน พบว่าพีคเล็ก ๆ ที่มีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส นั้นจะใช้เวลาหลายชั่วโมงจึงจะ fade ถ้าเก็บ $CaSO_4$ (Dy) ที่ฉายรังสีแล้ว ไว้ในห้องที่มีความเข้มแสง 30 lux จะมี fading มากขึ้น คือประมาณ 5 เปอร์เซนต์ต่อเดือน ถ้านำ $CaSO_4$(Dy) ที่ฉายรังสีแกมมา แล้วนำไปไว้กลางแสงอาทิตย์ ในฤดูร้อนและฤดูหนาว พบว่าในฤดูหนาวจะ fadeไป 3 เปอร์เซนต์ต่อเดือน ฤดูร้อน fade ไป 30 เปอร์เซนต์ต่อเดือน

นอกจากนี้เขายังได้ศึกษา ผลของแสงอาทิตย์ และแสงไฟภายในห้อง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง $CaSO_4$(Dy), CaF_2(Mn) และ LiF(Mg) พบว่า แสงอาทิตย์มีผลต่อการ fade ของ $CaSO_4$(Dy) ต่ำที่สุด ถ้านำ $CaSO_4$(Dy) ที่ยังไม่ได้ฉายรังสี ไปทิ้งไว้กลาง

แสงแดด ฤดูร้อน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเกิดสัญญาณแสงเทียบเท่ากับ $CaSO_4$(Dy) ที่ได้รับรังสีแกมมา 10 mR การทิ้ง $CaSO_4$(Dy) ที่ยังไม่ฉายรังสีไว้ภายใต้แสงไฟในห้อง ไม่พบความแตกต่างของสัญญาณแสง

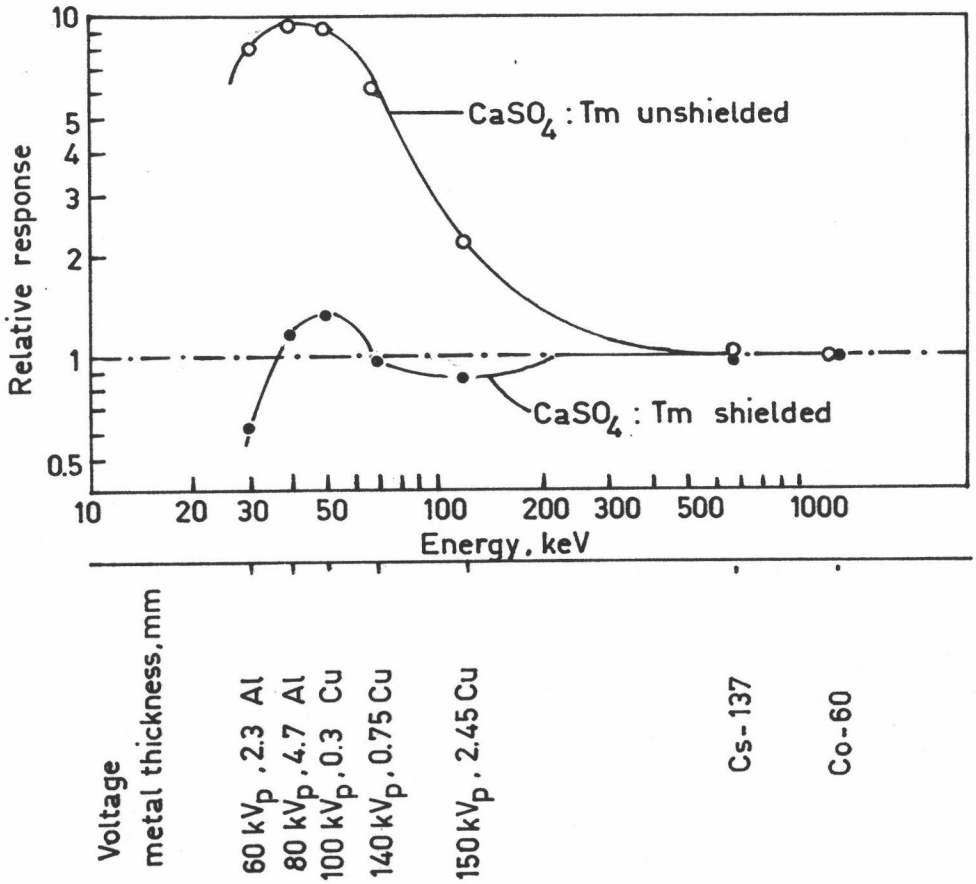


รูปที่ 2.12 แสดง glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ที่เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้ที่เวลาต่าง ๆ กัน หลังฉายรังสี (Yamashita และคณะ , 1968)

2.2.2.4 Energy dependence

จากรูปที่ 2.6 แสดงค่า energy response ของ $CaSO_4$ จากการทดลองของ Oberhofer(1980) พบว่า ค่า response ของ $CaSO_4$ ที่พลังงานรังสีเอกซ์ 35 keV มีค่าประมาณ 11.5 เท่า เมื่อเทียบกับพลังงานของรังสีแกมมาจาก Co-60

Yamashita และคณะ(1971)ได้ศึกษาวิธีการลด energy response ของ $CaSO_4$(Tm) โดยหุ้มแคปซูล TLD ด้วย shield ซึ่งทำจาก Al และ Cu ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดง energy response of $CaSO_4$(Tm) dosimeter (Yamashita และคณะ , 1971)

energy response ของ $CaSO_4$(Tm) ที่พลังงานรังสีเอกซ์ 50 keV มีค่าประมาณ 10 เท่า เมื่อเทียบกับพลังงานรังสีแกมมาจาก Co-60 (กราฟเส้นที่มี relative response = 1) แต่เมื่อนำ energy compensation shield ที่ความหนาต่าง ๆ กันมาหุ้มแคปซูล พบว่าค่า response ที่พลังงานรังสีเอกซ์ 50 keV เทียบกับพลังงานรังสีแกมมาจาก Co-60 ลดลงเหลือ ~ 1.4 เท่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 วิธีการเตรียม $CaSO_4$(Dy)

Yamashita และคณะ(1968) เป็นผู้ประสบความสำเร็จในการเตรียม TLD ชนิด $CaSO_4$(Dy) เป็นครั้งแรก โดยวิธีการเตรียมดังนี้

นำ analytical-reagent-grade $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ และ reagent-grade activator Dy_2O_3 รวมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และนำไปละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น จนได้สารละลายอิ่มตัว นำสารละลายอิ่มตัวนั้นไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส จนไอกรดระเหยออกไปหมด จะได้ผลึกสาร TLD ชนิด $CaSO_4$(Dy)