14-589

การประยุกต์ใช้เครื่องย่อยสลายสารในการเตรียมผลึก $CaSO_4(Dy)$ เพื่อใช้เป็นสารวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม

The Application of Kjeldahl Digestion in the Preparation of $CaSO_4(Dy)$ for Environmental Radiation Measurement

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จินตนา เหล่าไพบูลย์ อาจารย์เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์ นางสาวนวลฉวี เบ้ามา
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Assistant Professor Jintana Laopaiboon , Mr. Raewat Laopaiboon , Ms. Nuanchawee Baoma
Department of Physics, Faculty of Science Ubonratchatani University

ABSTRACT

The Kieldahl digestion was used to prepare $CaSO_4(Dy)$. The thermoluminescence dosimeter (TLD) was used to analyse samples recrystalized from solutions of $CaSO_4{:}2H_2O$ and Dy_2O_3 mixtures that were boiled in concentrated H_2SO_4 at 320°C. The response sensitivity of the $CaSO_4(Dy)$ powder to x-ray was found to be affected by the ratio of Dy_2O_3 , the amount of H_2SO_4 and the fitting condition of annealing (Pre-Irradiation at 600 °C for 1 hr and Post-Irradiation at 100°C for 10 min). It was found that the main glow peak was found to be at 217 °C with good linearity, a minimum detectable dose of about 157 μR, and sensitivity comparable to commercial $CaSO_4(Dy)$ (Harshaw, Germany) for exposure of 10 mR from x-ray in the vicinity. Repeated annealing further increases the sensitivity .

Key words : thermoluminescence dosimeter , glow curve , minimum detectable dose , anneal

บทคัดย่อ

ได้นำเครื่องย่อยสลายสารมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมผลึกเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ โดสิมิเตอร์ชนิด $CaSO_4(Dy)$ โดยใช้แคลเซียมซัลเฟตผสมกับสารโด๊ป คือ ดิสโพรเซียม ในอัตราส่วนต่างๆ กัน นำไปละลายในกรด ซัลฟูริกเข้มข้น แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 320 องศาเซลเซียส ได้ผงผลึกมีลักษณะสีขาวขุ่นเป็นเกล็ดแวววาว จากนั้นนำผงผลึกที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติการให้ TL โดยศึกษาลักษณะของ glow curve ศึกษาความเป็น linearity ของการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ หาปริมาณรังสีต่ำสุดที่ผลึก $CaSO_4(Dy)$ ที่เตรียมได้สามารถวัดได้ ศึกษาความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของผลึกที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับ $CaSO_4(Dy)$ ซึ่งผลิตในเชิงพาณิชย์จาก ต่างประเทศ ศึกษาผลของการ anneal ที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ โดยทำการ anneal ผลึก $CaSO_4(Dy)$ ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนการฉายรังสีเอกซ์ และ anneal

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังการฉายรังสี ผลที่ได้คือ glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้มี main glow peak อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 217 องศาเซลเซียส มีความเป็นเชิงเส้นดี ปริมาณรังสีต่ำสุดที่สามารถวัดได้คือประมาณ 157 μR มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ใกล้เคียงกับ $CaSO_4$(Dy) ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ และการ anneal ตามเงื่อนไขนี้สามารถเพิ่มความไวในการตอบสนองต่อรังสีได้

บทนำ

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (TLD) เป็นเครื่องมือวัดรังสีชนิดหนึ่งที่ใช้ผลึกของสารบางอย่างที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยจะมีการเติมสารบางอย่างที่เรียกว่า impurity เช่น Mn, Mg, Dy ลงไปด้วยเป็นปริมาณน้อย ๆเพื่อให้เกิด trap หรือ metastable state ขึ้นภายในอะตอมของสาร คุณสมบัติพิเศษของผลึก TLD คือ เมื่อได้รับพลังงานจากรังสีจะทำให้เกิดสภาวะกึ่งเสถียร (metastable state) ขึ้นภายในอะตอม โดยพลังงานจำนวนหนึ่งจะเก็บไว้ในผลึกและเป็นการเก็บอย่างถาวรในระดับอุณหภูมิปกติ ผลึก TLD นี้จะเก็บพลังงานนี้ไว้จนกระทั่งได้รับความร้อนที่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้อะตอมนั้นกลับสู่สภาวะพื้นฐาน (ground state) ได้ดังเดิมและคายพลังงานออกมาในรูปของแสงสว่าง พลังงานในรูปแสงสว่างที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้โดยใช้หลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปแสงสว่างให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและปริมาณแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่สะสมไว้

TLD สามารถวัดรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีเบต้าและโฟตอนได้ในช่วง 10^{-3} เกรย์ ถึงประมาณ 10^5 มิลลิเกรย์ TLD ที่ใช้อยู่ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น CaF_2(Mn), CaF_2(Dy), LiF(Mg,Ti), $Li_2B_4O_7$ (Cu,Ag), $CaSO_4$(Mn), $CaSO_4$(Dy) และ MgB_4O_7(Dy) เป็นต้น การนำเอา TLD แต่ละชนิดไปใช้งานจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่ปฏิบัติและคุณสมบัติเฉพาะของ TLD ชนิด $CaSO_4$(Dy) จัดเป็น TLD ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้วัดรังสีในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีความไวต่อรังสีสูงและมีความแม่นยำสูง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์[1] และสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ[2] สามารถเตรียมเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ โดสิมิเตอร์ ชนิด $CaSO_4$(Dy) ขึ้นใช้ได้เองในประเทศไทย และมีการให้บริการ $CaSO_4$(Dy) นี้กับผู้ต้องการวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม หรือวัดปริมาณรังสีหน้าจอโทรทัศน์ ฯลฯ

เนื่องจากในปัจจุบันขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของ $CaSO_4$(Dy) แบบเก่านั้นจะต้องใช้เวลาในการปลูกผลึกมากและในการเตรียมแต่ละครั้งได้ผงผลึกของ $CaSO_4$(Dy) ในปริมาณที่ไม่มากนัก จากปัญหาดังกล่าวจึงได้นำเครื่องย่อยสลายสารมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมผงผลึกของ $CaSO_4$(Dy) ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องย่อยสลายสารสามารถปลูกผงผลึกได้ครั้งละปริมาณที่มากกว่า มีระบบควบคุมอุณหภูมิที่ดี สะดวกต่อการใช้และไม่เป็นอันตรายต่อผู้เตรียม

วิธีการทดลอง

1. ขั้นตอนการตกผลึกสาร $CaSO_4$(Dy)

1.1 ทดลองหาปริมาณสารโด๊ป (Dy_2O_3) ที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม $CaSO_4$(Dy)

สารเคมี	ปริมาณ
แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4 .2H_2O$ analytical grade)	10 กรัม
กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4)	11.7 มิลลิลิตร
ดิสโพรเซียมออกไซด์ (Dy_2O_3)	0.01, 0.11, 0.22, 0.33, 0.44 wt%Dy (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของ Dyใน $CaSO_4$)

ขั้นตอนการทดลอง

- ชั่ง $CaSO_4.2H_2SO_4$ 10 กรัม เติมสารโด๊ป Dy_2O_3 และเติมสารละลาย Conc. H_2SO_4 นำไปให้ความร้อนแก่สารละลายด้วยเครื่องย่อยสลายสาร (Gerhardt kjeldatherm ,เยอรมันนี) การให้ความร้อนจะให้ขั้นตอนเดียว คือใช้อุณหภูมิประมาณ 320 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายแห้ง จะได้ผลึกสีขาวของ $CaSO_4$(Dy) ที่มีความชื้นของกรดเหลืออยู่
- นำผลึกที่เตรียมได้นี้ไปบดด้วยครกบดสาร
- นำผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่ได้ไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อไล่ไอกรด โดยนำผลึกใส่ใน crucible คลุมปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์เพื่อกันการออกซิไดซ์
- นำผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่แห้งสนิทมาบดด้วยครกบดสารอีกครั้งก่อนนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนเพื่อเลือกขนาดผลึก โดยคัดเอาขนาดตั้งแต่ 90-300 μm
- นำผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่ผ่านการคัดเลือกขนาดไปทดสอบคุณสมบัติการให้ TL

1.2 ทดลองหาปริมาณกรด Conc. H_2SO_4 ที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม $CaSO_4$(Dy)

สารเคมี	ปริมาณ
แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4 .2H_2O$ analytical grade)	10 กรัม
กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4)	* 7, 10, 13, 16, 18, 20 มิลลิลิตร
ดิสโพรเซียมออกไซด์ (Dy_2O_3)	**0.22 wt%Dy (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของ Dyใน $CaSO_4$)

หมายเหตุ

* ในที่นี้ปริมาณกรดเป็นตัวกำหนดเวลาในการเตรียมผลึก

* 0.22 wt%Dy คือปริมาณของดิสโพรเซียมที่ให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงที่สุดจากการทดลอง 1.1

วิธีการเตรียมผลึก $CaSO_4$(Dy) เช่นเดียวกับ การทดลอง 1.1

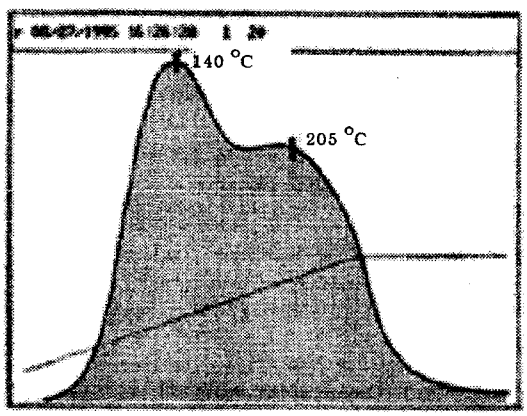
2. ขั้นตอนการทดสอบสมบัติการให้แสง (TL)

ฉายรังสีเอกซ์ให้แก่ผงผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้ที่พลังงาน 128 keV ปริมาณรังสี 10 mR อ่านค่าปริมาณแสง (TL) และเปรียบเทียบปริมาณแสงที่อ่านได้ ซึ่งหัวข้อที่ทำการศึกษามีดังนี้

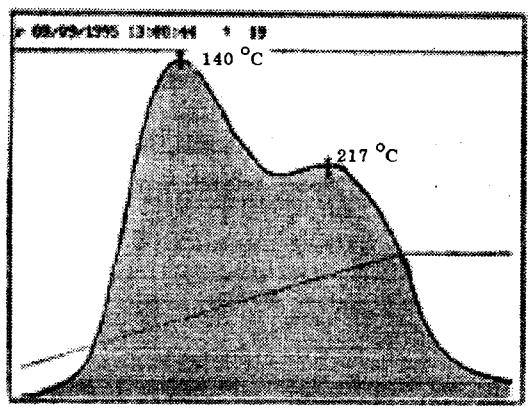
1. ศึกษาสมบัติของ glow curve จากผงผลึกที่เตรียมได้จากการทดลอง 1.1
2. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Dy_2O_3 ที่มีต่อค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสี (sensitivity) (การทดลอง 1.1)
3. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Conc. H_2SO_4 ที่มีต่อค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสี (การทดลอง 1.2)
4. ศึกษาความเป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณแสงต่อปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ (linearity)
5. ศึกษาปริมาณรังสีต่ำสุดที่ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้สามารถวัดได้
6. เปรียบเทียบค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีระหว่าง $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้และ $CaSO_4$(Dy) ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw (เยอรมันนี)
7. ศึกษาผลของการ anneal ก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสีแก่ผงผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้

ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาสมบัติของ glow curve



รูปที่ 10 แสดง glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้ 0.22 wt%Dy, H_2SO_4 11.7 ml เมื่อนำไปฉายรังสีเอกซ์ ที่พลังงาน 128 keV ปริมาณรังสี 10 mR (การทดลอง 1.1)



รูปที่ 11 แสดง glow curve ของ $CaSO_4$(Dy) ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้ 0.22 wt%Dy, H_2SO_4 13 ml เมื่อนำไปฉายรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ปริมาณรังสี 10 mR (การทดลอง 1.2)

2. ผลการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Dy_2O_3 ที่มีต่อค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสี (sensitivity) (การทดลอง 1.1)

ตารางที่ 3

wt% Dy	เตรียมผลึกครั้งที่ 1		เตรียมผลึกครั้งที่ 2	
	$\bar{X} \pm SD$ * (μC)	Sensitivity (μC/R)	$\bar{X} \pm SD$ * (μC)	Sensitivity (μC/R)
0.01	1.387 ± 0.145	138.7	1.629 ± 0.209	162.9
0.11	5.491 ± 0.173	549.1	5.554 ± 0.206	554.4
0.22	6.495 ± 0.231	649.5	6.454 ± 0.172	645.4
0.33	5.728 ± 0.426	572.8	5.614 ± 0.302	561.4
0.44	3.607 ± 0.330	360.7	4.391 ± 0.263	439.1

หมายเหตุ

* $\bar{X} \pm SD$ = Average reading ± standard deviation

3. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Conc. H_2SO_4 ที่มีต่อค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสี (การทดลอง 1.2)

ตารางที่ 4

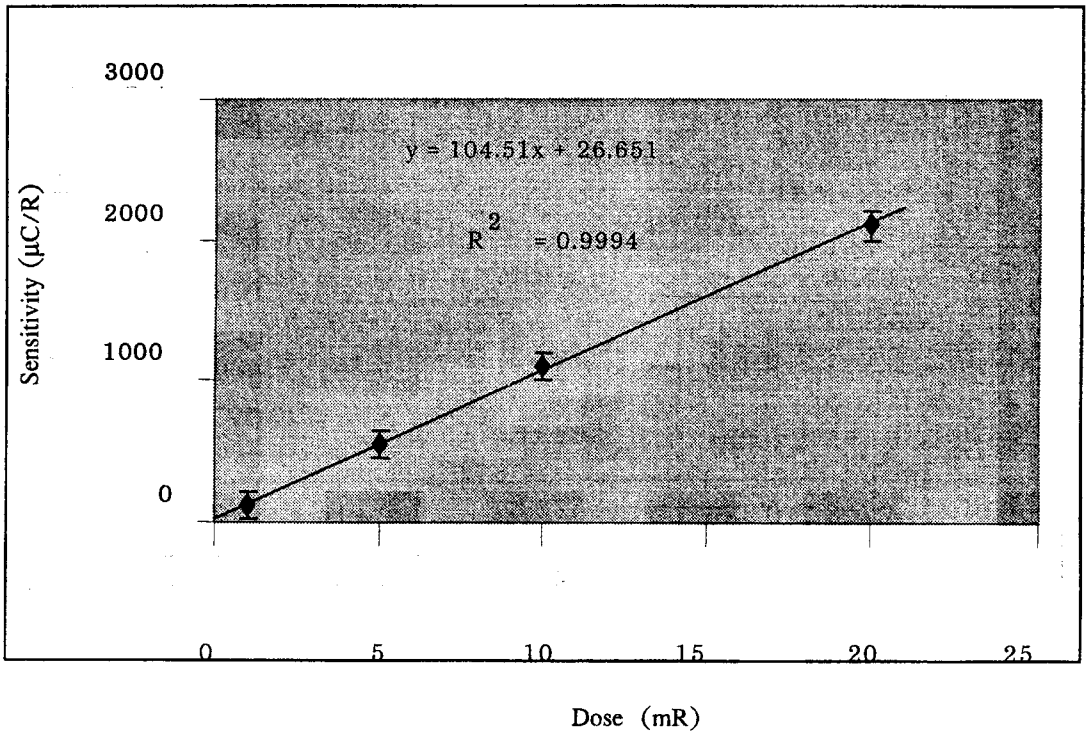
ปริมาณกรด (ml)	เวลา ** (min)	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
		$\bar{X} \pm SD$ * (μC)	Sensitivity (μC/R)	$\bar{X} \pm SD$ * (μC)	Sensitivity (μC/R)
7	210	3.011 ± 0.467	301.1	4.551 ± 0.682	455.1
10	270	4.451 ± 0.256	445.1	5.344 ± 0.319	534.4
13	330	6.135 ± 0.247	613.5	6.597 ± 0.246	659.7
16	390	5.325 ± 0.232	532.5	6.164 ± 0.414	616.4
18	450	4.813 ± 0.241	481.3	6.048 ± 0.283	604.8
20	540	4.081 ± 0.537	408.1	5.776 ± 0.382	577.6

หมายเหตุ

*$\bar{X} \pm SD$ = Average reading ± standard deviation

** เวลาที่ใช้ในการย่อยสารละลายจนกระทั่งกรดแห้ง

4. ผลการศึกษา linearity



รูปที่ 13 แสดงกราฟของ linearity ที่ได้จาก 0.22 wt%Dy, H_2SO_4 13 ml

5. ศึกษาปริมาณรังสีต่ำสุดที่ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้สามารถวัดได้

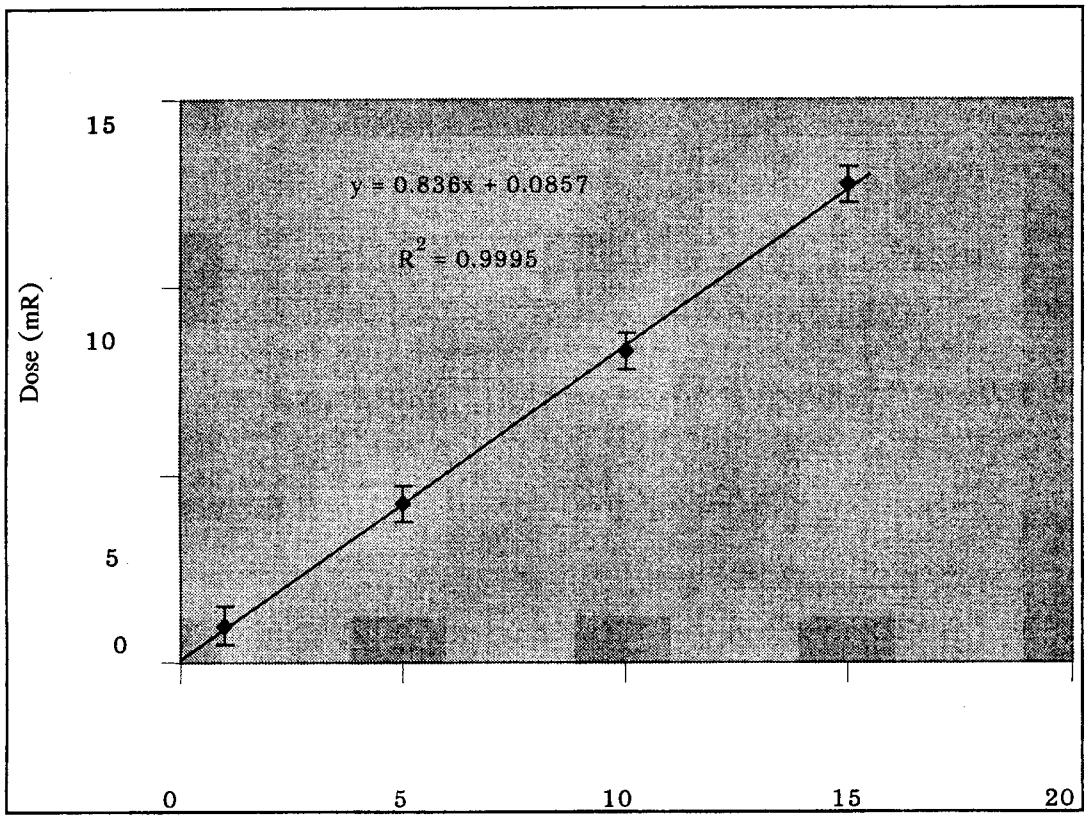
ตารางที่ 6

ปริมาณรังสี (mR)	ปริมาณแสง (μC)					X| ± SD * (μC)	X|-Bkg (μC)
0	0.0080 1	0.0080 1	0.0081 1	0.0082 2	0.0082 2	0.00811 ± 0.105	-
1	0.978	1.092	1.094	0.917	0.873	0.994 ± 0.100	0.986
5	4.212	4.214	4.327	4.552	4.017	4.264 ± 0.196	4.256
10	8.133	8.913	8.247	8.084	8.017	8.264 ± 0.352	8.286
15	13.21	12.18	12.69	13.1	12.52	12.740 ± 0.423	12.732

หมายเหตุ

* X| ± SD = Average reading ± standard deviation

** X| - Bkg = Average reading (μC) – back ground (μC)



รูปที่ 14 แสดง calibration curve เพื่อหาค่า minimum detectable dose จาก 0.22 wt%Dy, H_2SO_4 13 ml

6. เปรียบเทียบค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีระหว่าง $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้และ $CaSO_4$(Dy) ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ของบริษัท Harshaw

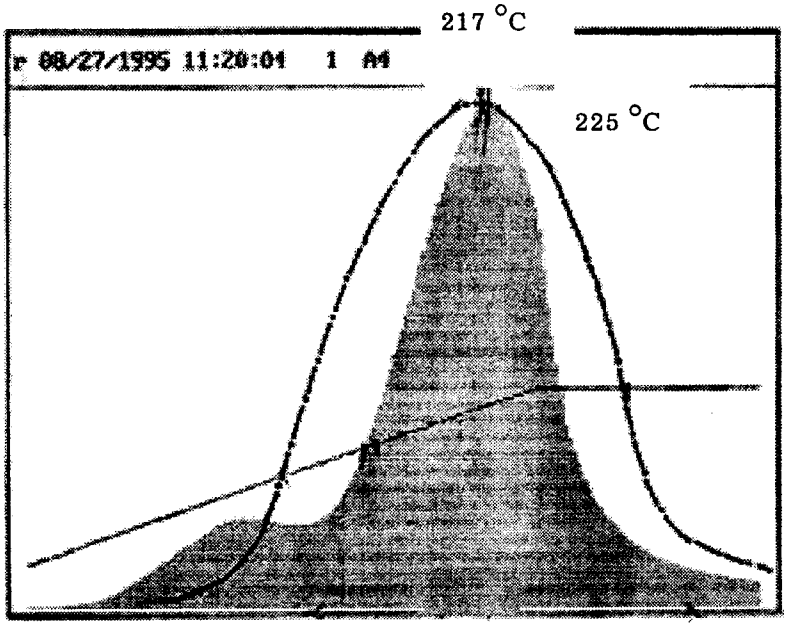
ตารางที่ 7

TLD	ปริมาณแสง (μC)				X̄ ± SD * (μC)	Sensitivity (μC/R)
$CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้	6.623 6.389 6.358	6.088 6.473 6.152	6.303 6.373 6.182	6.202 6.212 6.446	6.342 ± 0.156	634.2
TLD 900 (Harshaw)	6.438 6.407 6.623	6.116 6.782 6.424	6.200 7.164 6.827	6.613 6.428 6.717	6.566 ± 0.283	656.6

หมายเหตุ

* X̄ ± SD = Average reading ± standard deviation

$CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้และ TLD 900 (Harshaw) ได้ผ่านการ anneal ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนฉายรังสีและอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังฉายรังสี ก่อนที่จะนำมาอ่านค่า TL



หมายเหตุ

_____ : TLD 900 ของ Harshaw

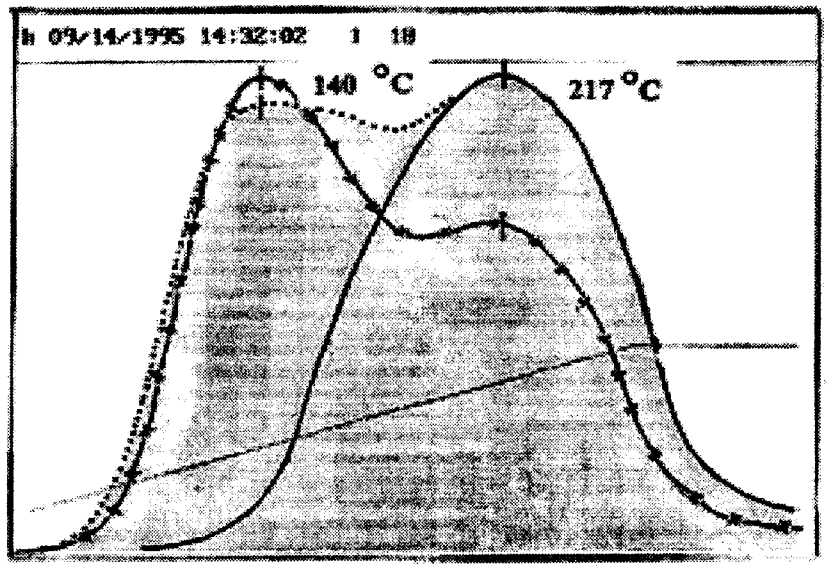
._._._._._ : $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้

รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบ glow curve ของ $CaSO_4$ (Dy) ที่เตรียมได้กับ TLD 900 ของ Harshaw

7. ศึกษาผลของการ anneal ก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสีแก่ผงผลึก $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้

ตารางที่ 8

Character of TLD	ปริมาณแสง (μC)						$\bar{X} \pm$ SD * (μC)	Sensitivity (μC/R)
Not anneal	6.225	6.447	6.242	6.294	6.516	6.224	6.348 ± 0.200	634.8
	6.457	6.001	6.566	6.081	6.472	6.648		
Anneal at 600 °C for 1 Hr before dosed	11.17	10.42	10.55	10.61	10.28	10.26	10.613 ± 0.349	1061.3
	10.46	10.82	10.47	10.85	10.19	11.27		
Anneal at 600 °C for 1 Hr before dosed and anneal at 100 °C for 10 min. after dosed	6.772	8.051	6.772	7.117	6.979	6.902	7.029 ± 0.340	702.9
	6.982	6.911	7.121	6.913	6.911	6.912		



หมายเหตุ

———— : anneal at 600 °C for 1 Hr before dosed and anneal at 100 °C for 10 min after dosed

&&&&. : anneal at 600 °C for 1 Hr before dosed

--*--*--*-- : not anneal

รูปที่ 16 แสดง glow curve ของ TLD เมื่อฉายรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 128 keV ปริมาณรังสี 10 mR โดยผ่านการ anneal ในลักษณะต่างกัน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษา Glow curve

จากการศึกษาลักษณะ glow curve ของ $CaSO_4(Dy)$ ที่เตรียมได้จากการทดลอง 1.1 และการทดลอง 1.2 พบว่า ได้ผลึกของ $CaSO_4(Dy)$ ที่มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงทั้งสองหัวข้อ โดยจากการทดลอง 1.1 จะมีพีคแรกอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส และมีพีคหลัก (main glow peak) อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 205 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 10 และจาก การทดลอง 1.2 จะมีพีคแรกอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส และมีพีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 217 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 11 และเมื่อทำการทดลองซ้ำในเงื่อนของแต่ละการทดลอง พบว่า ได้ผลการทดลองเช่นเดิม คือ มีพีคแรกและพีคหลักคงที่ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของ TLD[1), (5)]

2. การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณดิสโพรเซียมออกไซด์ (Dy_2O_3) ที่มีต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี (sensitivity)

จากข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่า ที่ปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียม 0.22 wt%Dy (ปริมาณกรดเท่ากับ 11.7 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการเตรียม 5 ชั่วโมง) ให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์สูงที่สุด และจะลดลงที่ปริมาณความเข้มข้นของ 0.22 wt%Dy ต่ำหรือสูงกว่านี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมน้อยกว่า 0.22 wt%Dy เป็นปริมาณที่น้อยเกินไปที่จะทำให้เกิดผลึกที่มีสมบัติเป็น TLD ได้ และที่ปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมสูงกว่า 0.22 wt%Dy อาจทำให้เกิดการทึบแสงขึ้นในผลึก จึงทำให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีลดลง [1] ซึ่งในการเตรียมผลึก $CaSO_4$(Dy) เพื่อนำไปใช้งานควรเลือกใช้ที่ปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมเท่ากับ 0.22 wt%Dy เนื่องจากมีความเหมาะสมมากกว่าที่เปอร์เซนต์อื่น

3. การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซัลฟูริกเข้มข้นต่อความไวในการตอบสนองต่อรังสี (sensitivity)

จากข้อมูลในตารางที่ 4 พบว่า ที่ปริมาณกรดเท่ากับ 13 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการเตรียมผลึก 5 ชั่วโมง 30 นาที ให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงที่สุด มีพี คแรกอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส มีพีคหลักอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 217 องศาเซลเซียส ซึ่งถือเป็นปริมาณกรดที่เหมาะสมในการเตรียมผงผลึกเพื่อนำไปใช้งาน เมื่อพิจารณาที่ปริมาณกรดมากกว่า 13 มิลลิลิตร แม้จะมีพีคหลักที่อุณหภูมิสูงกว่าและมีค่าควมไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงใกล้เคียงกับที่ปริมาณกรดเท่ากับ 13 มิลลิลิตรแต่เนื่องจากในการเตรียมผลึกใช้เวลานานเกินไป คือที่ปริมาณกรด 16 18 และ 20 มิลลิลิตร ใช้เวลา 6 ชั่วโมง 30 นาที 7 ชั่วโมง 30 นาที และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งปริมาณกรด เวลาและเชื้อเพลิง และที่อุณหภูมิของการเตรียมผลึกนั้นสูงถึงประมาณ 320 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรด จะทำให้หลอดแก้วเตรียมสาร (flask) ชำรุดเสียหายได้

4. การศึกษา linearity

จากข้อมูลในตารางที่ 5 และรูปที่ 13 ซึ่งใช้ผลึกที่เตรียมได้จาก การทดลองหัวข้อที่ 2 คือ 0.22 wt%Dy และ กรดซัลฟูริกเข้มข้น 13 มิลลิลิตร ซึ่งให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูงสุดในการศึกษา linearity จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ TLD ได้รับกับสัญญาณ TL ที่อ่านได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นดี

5. การหาปริมาณรังสีต่ำสุดที่ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้สามารถวัดได้ (minimum detectable dose)

จากข้อมูลในตารางที่ 6 และรูปที่ 14 พบว่า สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีเอกซ์ได้ต่ำถึง 157 μR โดยมีค่าความเชื่อมั่นได้ 99.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมโดย Yamashita และคณะ[1], [4]

6 การศึกษาความไวในการตอบสนองต่อรังสีระหว่าง TLD ชนิด $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้กับ TLD ชนิด $CaSO_4$(Dy) (ชื่อทางการค้าคือ TLD 900) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Harshaw

จากข้อมูลในตารางที่ 7 และรูปที่ 15 พบว่า ความไวในการตอบสนองต่อรังสีของ $CaSO_4$ (Dy) ที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกับ TLD 900 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Harshaw และมีพีคหลักที่ใกล้เคียงกัน คือ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้มีพีคหลักที่อุณหภูมิประมาณ 217 องศาเซลเซียส และ TLD 900 มีพีคหลักที่อุณหภูมิประมาณ 225 องศาเซลเซียส

7 การศึกษาผลการ anneal $CaSO_4$(Dy) ก่อนการฉายรังสี (Pre- Irradiation Anneal) และหลังฉายรังสี (Post- irradiation Anneal) เปรียบเทียบกับ $CaSO_4$(Dy) ที่ไม่ผ่านการ anneal

จากข้อมูลในตารางที่ 8 และรูปที่ 16 พบว่า เมื่อนำ $CaSO_4$(Dy) ที่เตรียมได้ไปผ่านการ anneal ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง[4] ก่อนการฉายรังสีจะให้ค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และเมื่อนำ $CaSO_4$(Dy) ที่ผ่านการ anneal ด้วยเงื่อนไขดังกล่าวมาฉายรังสีแล้วนำไป anneal ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที[4] เพื่อเป็นการลบพีคแรกที่มีระดับพลังงานต่ำออกไป[3] แล้วนำมาอ่านค่า TL จะพบว่ามีปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ $CaSO_4$(Dy) ที่ไม่ผ่านการ anneal ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการ anneal ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนการฉายรังสีและ anneal ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังการฉายรังสีทำให้ความไวในการตอบสนองต่อรังสีเพิ่มขึ้นจริง

จากการเตรียมผลึกด้วยเครื่องย่อยสลายสารนี้ให้ผลการทดลองที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ คือ สามารถเตรียมผงผลึก $CaSO_4$(Dy) ได้ครั้งละมากกว่าเดิม 2 เท่า ประหยัดเวลาได้ 1.6 เท่า[1] และผลึกที่ได้มีค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีที่สูงใกล้เคียงกับ TLD ที่ผลิตจากต่างประเทศ (Harshaw, เยอรมันนี) และสามารถใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการ anneal เพื่อปรับปรุงค่าความไวในการตอบสนองต่อรังสีได้[4]

เอกสารอ้างอิง

(1) จินตนา เหล่าไพบูลย์. 2535. **การศึกษาวิธีการผลิต $CaSO_4(Dy)$ เพื่อใช้เป็นเทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดสิมิเตอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,กรุงเทพฯ. 82 หน้า

(2) วรวุฒิ ศรีรัตน์ชัชวาลย์. 2530. **การศึกษาเพื่อผลิต $CaSO_4(Dy)$ โดสิมิเตอร์ โดยเทคนิคการตกผลึก.** ใน: รายงานวิชาการประจำปี 2530 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน

(3) Mckeever, S.W.S, Moscowitch, M. and Towsend, P.D. **Thermoluminescence Dosimetry Meter : Properties and Uses.** Nuclear Technology Publishing Ashford, Kent TN 231 YW. England. 440 p.

(4) Radiation Protection Dosimetry : **TLD Material.** [http://Bicron.com/rmp/tld_mat.htm]. December 2000

(5) Yamashita, T., Nada, N., Onishi, H. and Kitamura, S. 1971. **Calcium Sulfate Activated by Thallium or Dysprosium for Thermoluminescence Dosimetry.** Health Physics. 21 : 295