



การสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจือสารยูโรเปียม  
โดยวิธีการปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง  
Synthesis and Characterization of Aluminate: Eu<sup>2+</sup> Phosphor  
by Self-propagating High Temperature Synthesis

ทัตชนัชร สธภาพร  
Taschaporn Sathaporn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมวัสดุ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Materials Engineering  
Prince of Songkla University  
2555  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเต็สเซาร  
ยูโรเปียม โดยวิธีการปฏิกิริยาการก้ำวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง

ผู้เขียน              นางสาวทัศนัชร สถาพร

สาขาวิชา            วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม นิยมवास)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม นิยมवास)

.....กรรมการ  
(ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน  
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

( \_\_\_\_\_ )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

( \_\_\_\_\_ )

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

( \_\_\_\_\_ )

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ยูโรเปียม โดยวิธีการปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง
ผู้เขียน	นางสาวทัศนัชพร สถาพร
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ปีการศึกษา	2555

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือการสังเคราะห์ และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ยูโรเปียม โดยวิธีการปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง จากสารตั้งต้นในระบบโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ (แบเรียมเปอร์ออกไซด์ แคลเซียมเปอร์ออกไซด์ และ สตรอนเทียมเปอร์ออกไซด์ ) อะลูมิเนียม อะลูมินา ยูโรเปียมออกไซด์ ดิสโพรเซียมออกไซด์ ซึ่งสามารถแบ่งสารตั้งต้นเป็นสามระบบ โดยการทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ ชนิดของสารตัวเติม ( $\text{NaCl}$  และ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) ต่อการ เกิดปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตนเอง ที่อุณหภูมิสูง และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเจือและเจือร่วมในสารผลิตภัณฑ์ ส่วนที่สองของการทดลอง เป็นการทดสอบผลกระทบในการเจือยูโรเปียมและดิสโพรเซียมต่อสมบัติเชิงแสงของวัสดุเรืองแสงที่สังเคราะห์ได้

จากการศึกษาพบว่า มีความเป็นไปได้ในทางอุณหพลศาสตร์ที่จะสังเคราะห์สารเรืองแสง การเติมสารตัวเติมในระบบทำให้ขนาดอนุภาคที่ได้นั้นเล็กลงอย่างชัดเจน เงื่อนไขที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ ร้อยละ 10.5 โดยโมลและระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ ร้อยละ 6 โดยโมลซึ่งจะให้ค่าความเข้มแสงสูงสุดและเงื่อนไขที่เหมาะสมของสารเจือร่วมในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  คือ ร้อยละ 9 โดยโมล ร้อยละ 4 โดยโมล และระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  คือ ร้อยละ 3 โดยโมล ร้อยละ 3 โดยโมลตามลำดับ

วัสดุเรืองแสงแสดง สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 501 และ 523 นาโนเมตร ตามลำดับ และ สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 509 และ 524 นาโนเมตร สารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นเป็นเวลา 20 นาที ทำให้การเรืองแสงของสารผลิตภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  สามารถคงอยู่ได้ยาวนานกว่า 30 นาทีและ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

<b>Thesis Title</b>	Synthesis and characterization of aluminate: $\text{Eu}^{2+}$ phosphor by self-propagating high-temperature synthesis
<b>Author</b>	Miss Taschaporn Sathaporn
<b>Major Program</b>	Materials Engineering
<b>Academic Year</b>	2012

### ABSTRACT

The purpose of this research is the synthesis and characterization of aluminate:  $\text{Eu}^{2+}$  phosphor by self-propagating high-temperature synthesis from the alkaline earth metal (barium peroxide:  $\text{BaO}_2$ , calcium peroxide:  $\text{CaO}_2$  and strontium peroxide:  $\text{SrO}_2$ ) aluminum: Al, alumina:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , europium oxide:  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  and dysprosium oxide:  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  powders) which can be divided into three systems. The first part of the experiment was to study the feasibility of the synthesis, type of additive ( $\text{NaCl}$  and  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) on the reaction and optimization of rare earth doped and co-doped on  $\text{MAl}_2\text{O}_4$ . And the second part was to test the effect of  $\text{Eu}^{2+}$  doped and  $\text{Dy}^{3+}$  co-doped for optical properties of as-phosphorescent materials.

Studies have shown that it is thermodynamically feasible to synthesize phosphor materials. The effects of additives in the composition related to smaller particles size clearly. Based on the result with high brightness show after-glow phosphorescence with green region color, the optimum  $\text{Eu}^{2+}$  doping ratio was chosen as 10.5 mol% and 6 mol% for  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ . The optimum  $\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{Dy}^{3+}$  doping ratio was chosen as 9, 4 mol% and 3, 3 mol% for  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ , respectively

The main peak of the emission spectra of  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  were observed at 501 nm and 523 nm, respectively. And the main peak of the emission spectra of  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  were observed at 509 nm and 524 nm, respectively. Products which achieved by the  $\text{Dy}^{3+}$  co-doping have longer persistent luminescence. Products were exposed to UV lamp for 20 min. The decay time between the initial irradiation and afterglow measurements were 30 min and 1 h, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านทั้งที่ได้ออกนามและมีได้ออกนามที่กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธรรม นิยมวาส ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลามาเพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำ ดูแลตลอดช่วงการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิรวรรณ เหล่าศิริพจน์ ดร.วิญญู ราชเพ็ชร และรศ.วิระพงษ์ จิวประดิษฐ์กุลที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่คอยให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิบัติการและงานด้านเอกสารต่างๆ และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และวัสดุผสม สถาบันวิจัยวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ผศ.ดร. ชยุต นันทคุสิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมเซรามิกและวัสดุผสม รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดี

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย และน้องชาย ที่อยู่เบื้องหลังคอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ทัศนัชพร สถาพร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย	1
1.2 ทฤษฎีและหลักการ	3
1.2.1 ทฤษฎีของแสง	3
1.2.2 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)	6
1.2.3 ทฤษฎีของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Theory)	7
1.2.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED)	8
1.2.5 ปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบของแข็ง	12
1.2.6 การสังเคราะห์สารโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self-propagating High Temperature synthesis)	15
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
1.4 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง	34
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	35
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	35
1.7 สถานที่ทำการวิจัย	36
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
2.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง	37
2.2 สารเคมี	41
2.3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง	43



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 กิจกรรมตอนที่ 1: ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตทราไฮดรูโรเปียม	43
2.3.2 กิจกรรมตอนที่ 2: ศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	45
2.3.3 กิจกรรมตอนที่ 3: ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $BaAl_2O_4$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	46
2.3.4 กิจกรรมตอนที่ 4: ศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	47
2.3.5 กิจกรรมตอนที่ 5: การเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงา งาไดโอดเปล่งแสง (LED)	48
2.3.6 กิจกรรมตอนที่ 6: ศึกษาผลของสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ , $Dy^{3+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ , $Dy^{3+}$	50
2.3.7 กิจกรรมตอนที่ 7: ศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ , $Dy^{3+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ , $Dy^{3+}$	51
2.4 การดำเนินการทดลองโดยสรุป	53
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	60
3.1 ผลการวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์	60
3.1.1 ระบบ $BaO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$	61
3.1.2 ระบบ $CaO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$	63
3.1.3 ระบบ $SrO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$	64
3.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตทราไฮดรูโรเปียม	66
3.3 ผลการศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	70
3.4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $BaAl_2O_4$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	75

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ผลการศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$	76
3.5.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$	78
3.5.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$	82
3.6 ผลการเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED)	85
3.7 ผลการศึกษาผลของสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	87
3.7.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	87
3.7.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	90
3.8 ผลการศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	94
3.8.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	94
3.8.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$	98
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	102
4.1 สรุปผล	102
4.2 ข้อเสนอแนะ	105
บรรณานุกรม	106
ภาคผนวก	111
ตารางการคำนวณในการชั่งน้ำหนักสารตั้งต้นในระบบต่าง	112
อนุสิทธิบัตร	121
รางวัลนวัตกรรมสงขลานครินทร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระดับบัณฑิตศึกษา	133
ประวัติผู้เขียน	134

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้กระบวนการ SHS ในการสังเคราะห์ (Moore and Feng 1995)	21
2.1	วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	37
2.2	สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทดลอง	41
2.3	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.1-2.3	43
2.4	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.4-2.6	45
2.5	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.7 และ 2.8	47
2.6	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.9 และ 2.10	48
2.7	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.11 และ 2.12	50
2.8	ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ 2.13 และ 2.14	51
3.1	ผลของขนาดอนุภาคสารตั้งต้นในการบดเป็นเวลา 15 นาที	77
4.1	เงื่อนไขการเจอ-เจอร่วมในแต่ละระบบ	104

## รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงสเปกตรัมของแสง	3
1.2	แสดงสามเหลี่ยมสี CIE	4
1.3	แสดงแสงสีที่ฉายรวมกัน	5
1.4	สัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง	8
1.5	โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	9
1.6	หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง	10
1.7	ภาพแสดงเทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่นและเทคนิคการผสมสี	11
1.8	ปฏิกิริยาระหว่างสองผลึก (A และ B) ที่มีผิวสัมผัสหนึ่งด้าน ภายหลังการเริ่มต้นก่อรูปของผลึกภัณฑ์ C อีออนจาก A และ B จะต้องมีการแพร่ในทิศตรงกันข้ามผ่านชั้นของผลึกภัณฑ์ เพื่อก่อรูปเป็นผลึกภัณฑ์ใหม่ที่ผิวหน้ารอยต่อระหว่าง A/C และ B/C	13
1.9	ผลึกลูกบาศก์	14
1.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาสำหรับกระบวนการ SHS	16
1.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{ad}$ และ $\Delta H_{298}^{\circ}/C_p$ ของสารบางชนิดที่ผลิตโดย SHS	17
1.12	ลักษณะการเผาไหม้ ตามเวลา (t) ที่เปลี่ยนไปของสารใน กระบวนการ SHS	18
1.13	ลักษณะจำลองการเคลื่อนที่ของคลื่นของการเผาไหม้ที่ก้าวหน้าด้วยตัวเองแบบ Spinning Wave (a) และลักษณะของการกระจายความร้อนออกจากจุดศูนย์กลางของการจุดระเบิด (b)	19
1.14	ปรากฏการณ์ของปฏิกิริยาแบบ Propagating	19
1.15	ภาพถ่ายความเร็วสูงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ในแบบต่างๆ	20
1.16	ปรากฏการณ์ของปฏิกิริยาแบบ Bulk	20
1.17	สีของผลึก $BaAl_2O_4: Eu^{2+}, Dy^{3+}$ เปรียบเทียบกับผลึกชนิดอื่นๆ a) ผลึกภายใต้แสงที่มองเห็น b) ผลึกภายใต้ความมืด	24

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
1.18	ภาพแสดงภาพถ่ายของ $BaAl_2O_4$ ตามระนาบผลึก (0 0 1) บนตำแหน่งพื้นฐานของอะตอม	25
1.19	รูปร่างอนุภาคของผง BAM a) ผงทางการค้า (Kasei optonics) b) ผงที่สังเคราะห์ด้วยวิธีวิธีการปฏิบัติรักษาความร้อนอย่างรวดเร็ว	27
1.20	แผนภาพกลไกการเรืองแสงของวัสดุ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}, Yb^{3+}$	31
1.21	สีของการเรืองแสงของอนุภาคระดับนาโน a) $SrAl_2O_4: Eu^{2+}, Dy^{3+}$ b) $BaAl_2O_4: Eu^{2+}, Nd^{3+}$ c) $CaAl_2O_4: Eu^{2+}, La^{3+}$	32
1.22	สีของการเรืองแสงของผงตัวอย่าง a) $CaAl_2O_4: Eu^{2+}, Dy^{3+}$ b) $BaAl_2O_4: Eu^{2+}, Dy^{3+}$ c) $SrAl_2O_4: Eu^{2+}, Dy^{3+}$	34
2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (a) SHS reactor (b) Planetary Ball Mill (c) Two Roll Ball Mill Machine (d) Uniaxial Press (e) Cylindrical Tool Steel Mould (f) Low Temperature Furnace (1200 °C)	38
2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติ และทดสอบสมบัติ (a) Beaker and Cylinder (b) Hotplate-stirrer (c) Filter Paper (d) Microscope Slides and Cover Glasses	39
2.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติ (a) X-Ray Diffractometer (XRD) (b) Scanning Electron Microscope (SEM) With Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX) (c) Laser Particle Size Analyzer (LPSA)	40
2.4	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงแสง (a) Blacklight blue lamp (b) Fiber Optics Spectrometer	40
2.5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง (a) $BaO_2$ (b) $CaO_2$ (c) $SrO_2$ (d) $Eu_2O_3$ (e) $Dy_2O_3$ (f) $NaCl$ (g) $Al_2O_3$ (h) $Al$	42
2.6	ส่วนประกอบของเตาปฏิกรณ์ SHS (a) ภาพสเก็ต (b) เตาปฏิกรณ์ SHS เครื่องจริง	44

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.7	ลักษณะของชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจก (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ (b) ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต	49
2.8	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง	53
2.9	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง เพื่อศึกษาผล ของ ปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	54
2.10	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ศึกษาความเป็นไปได้ ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $BaAl_2O_4$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	55
2.11	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง เพื่อ ศึกษาผลของ ปริมาณของสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	56
2.12	ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงาน ไลดโอคเปล่งแสง (LED)	57
2.13	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง เพื่อศึกษาผลสารเจือ ร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	58
2.14	ขั้นตอนการ สังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม โดยวิธี ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง เพื่อ ศึกษาผลของ ปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	59
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.1 และ 3.1.1.1 ถึง 3.1.1.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐาน การคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry®)	62

### รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	แผนภาพสมมูลองค์ประกอบของ ระบบ บ $\text{BaO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$ ภายใต้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry <sup>®</sup> )	62
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.2 และ 3.1.2.1 ถึง 3.1.2.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐานการคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry <sup>®</sup> )	63
3.4	แผนภาพสมมูลองค์ประกอบของ ระบบ บ $\text{CaO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$ ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry <sup>®</sup> )	64
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.3 และ 3.1.3.1 ถึง 3.1.3.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐานการคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry <sup>®</sup> )	65
3.6	แผนภาพสมมูลองค์ประกอบของ ระบบ บ $\text{SrO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$ ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry <sup>®</sup> )	65
3.7	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ของระบบสารตั้งต้น (a) ภายใต้แสงขาว และ (b) ภายใต้แสง UV	67
3.8	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบสารตั้งต้น (a) $\text{BaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ (b) $\text{CaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ และ (c) $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$	67
3.9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ (a) $\text{BaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ (b) $\text{CaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ และ (c) $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$	69
3.10	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ $\text{BaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ $\text{CaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$	70
3.11	ผลิตภัณฑ์หลังการสังเคราะห์ที่เติม NaCl ของระบบ (a) 0.4mol และ (b) 1 mol	71
3.12	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ (a) $\text{BaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ (b) $\text{CaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$ และ (c) $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}^{2+}$	72

### รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ ที่เติมสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ (a) $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ (b) $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ (c) $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	73
3.14	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ที่เติม NaCl	74
3.15	ผลิตภัณฑ์หลังการสังเคราะห์ของระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ (a) $BaAl_2O_4$ และ (b) $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ (เติม $BaAl_2O_4$ )	75
3.16	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม ( $BaAl_2O_4$ )	76
3.17	ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS	76
3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาด และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตั้งต้น	77
3.19	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) ต่างกัน (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV	78
3.20	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ของระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) 10.5 mol %	79
3.21	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ของระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) ต่างกัน (a) 1 mol% (b) 6 mol% และ (c) 10.5 mol%	80
3.22	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) ต่างกัน	81



### รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.23	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2012)	82
3.24	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของ ผลิตภัณฑ์ ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ของระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 6 mol% (Sathaporn and Niyomwas 2012)	83
3.25	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 6 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)	83
3.26	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน	84
3.27	อุปกรณ์และลักษณะชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจก (a) แผ่นกระจก (b) LED chip (GaN) (c) เฟรมไม้ (d) เทปโฟมกาว (e) เทปใส และ (f) กระจกกาวย่น	85
3.28	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ที่ระดับความหนาต่างกัน	87
3.29	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV	88
3.30	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ ของผลิตภัณฑ์ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 10, 1mol %	89
3.31	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 10, 1mol %	89

### รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.32	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol %	90
3.33	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV	91
3.34	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 5, 1mol %	92
3.35	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 5, 1mol %	92
3.36	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1mol %	93
3.37	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 9mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV	94
3.38	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 9, 4mol %	95
3.39	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือรวม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 9, 4mol %	95
3.40	ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS	96

### รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.41	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 9mol %	97
3.42	ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 3mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV	98
3.43	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ หลังการสังเคราะห์ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 3, 3mol %	99
3.44	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 3, 3mol %	99
3.45	ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS	100
3.46	สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 3mol %	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย

ในการพัฒนาสารเรืองแสง (Phosphor) นั้นมีการพิจารณาสมบัติ ด้านลูมิเนสเซนส์ (Luminescence) ทั้งแบบ ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) และแบบ ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภทมีการศึกษาวิจัยทั้งการปรับสัดส่วนองค์ประกอบของสารเรืองแสงและขั้นตอนในกระบวนการผลิตสารเรืองแสง ลูมิเนสเซนส์ เมื่อกระตุ้นด้วยแสง (Photo Stimulated Luminescence, PSL) เป็นปรากฏการณ์ซึ่งค้นพบโดยเบ็กเคอเรล (Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ตอนกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุถูกกระตุ้นครั้งแรกด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เช่น รังสี และเปล่งแสงออกมา เมื่อถูกกระตุ้นครั้งที่สองด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น ปรากฏการณ์ PSL ไม่ได้ได้รับความสนใจ จนกระทั่งปลายสงครามโลกครั้งที่สอง มีการพัฒนาไปใช้ในการตรวจวัดรังสีอินฟราเรดของนักวิจัยในกองทัพญี่ปุ่นและใช้บันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีในสหรัฐอเมริกาในปี 1947 Imaging Plate (IP) จึงใช้บันทึกภาพถ่ายจากรังสีเอกซ์โดยใช้หลักการพื้นฐาน มาจากปรากฏการณ์ของ PSL ในการเก็บข้อมูลที่มาจากรังสี แล้วคายออกมาในรูปของแสง วัสดุที่เปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับรังสี แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ลำอิลเลกตรอน ความร้อน แรงกระแทก หรืออาจกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีในบางกรณี โดยทั่วไปวัสดุชนิดนี้ เรียกว่า วัสดุลูมิเนสเซนส์ (Luminescence Materials) แสงที่เปล่งออกมาจะหมดลงทันทีที่หยุดการกระตุ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "Fluorescence" สารเรืองแสงบางชนิดยังเปล่งแสงออกมาได้เมื่อหยุดการกระตุ้นแล้วซึ่งเรียกว่า " Phosphorescence" ส่วนคำว่า "Luminescence" เป็นคำรวมที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ในการเปล่งแสงทั้งสองแบบ (แม้ อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม 2535)

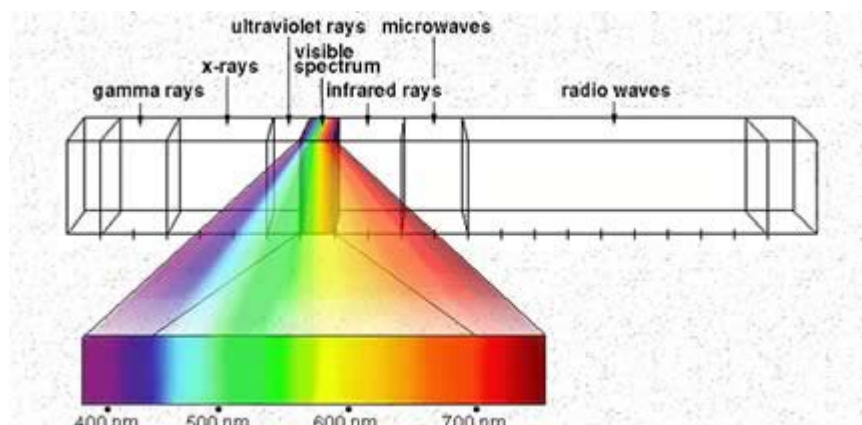
มีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเรืองแสงจำพวกซัลไฟด์ (S) เช่น  $\text{CaS:Eu}^{2+}$  (Chongfeng Guo และคณะ 2006) และ ( Xiong Zhaoxian และคณะ 2006)  $\text{CaS:Eu}^{2+}$ ,  $\text{SrS:Eu}^{2+}$ ,  $\text{CaS:Ce}^{3+}$ ,  $\text{SrS:Ce}^{3+}$ ,  $\text{CaS:Eu}^{2+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  และ  $\text{SrS:Eu}^{2+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  (Dongdong Jia และ Xiao-jun Wang 2007) หรือ  $(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{S:Eu}^{2+}$  (Yunsheng Hu et al. 2005) ปัญหาที่พบตามมาจาก การวิจัยวัสดุเรืองแสงข้างต้น คือ ความไม่เสถียรทางเคมี การเสื่อมสภาพของแสง โครงสร้างผลึก ระบบอะลูมินตซ์ซับซ้อนกว่าระบบซัลไฟด์ ซึ่งทำให้สมรรถนะในการเรืองแสงดีกว่า จึงเล็งเห็นว่า ควรที่จะศึกษาวัสดุเรืองแสงชนิดใหม่ เพื่อปรับปรุงสมบัติที่ยังค้อยู่เพื่อให้ดีขึ้น ในปัจจุบัน การศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเปล่งแสงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะธาตุหายาก เจืออะลูมินตซ์ และโลหะตัวใดตัวหนึ่ง ( $\text{MA}_2\text{O}_4: \text{R}^+$ ) ในกลุ่ม แคลเซียม (Ca) สตรอนเทียม (Sr) และแบเรียม (Ba) วัสดุผสมที่มีส่วนประกอบของวัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Electron emission materials) และโลหะ ออกไซด์ อื่น ๆ ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พัฒนาสมรรถนะของ จอแสดงผล นาฬิกา สัญญาณหรือเครื่องหมายจราจร โดยเฉพาะจอแสดงผล เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ประหยัดพลังงาน ความคมชัด และประสิทธิภาพของความสว่าง จากการศึกษาดังกล่าวทำให้ สามารถพัฒนาจอแสดงผลรุ่นใหม่ต่อไปได้ แต่ที่ผ่านมากการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสง (Phosphorescence materials) ยังใช้วิธีการแบบดั้งเดิม (Conventional process) เช่น ปฏิริยาสถานะ ของแข็ง (Solid-state reaction) กระบวนการทางโลหะกรรมวัสดุผง (Powder metallurgy) ซึ่งต้อง อาศัยอุณหภูมิสูงในการเผาอบผนึก (Sintering) และมีหลายขั้นตอน เช่น การให้ความร้อนเพื่อให้ได้ สารที่ต้องการ (Calcinations) ที่ต้องใช้เวลานาน การพ่นละอองประเภทที่ใช้เปลวไฟ (Flame spray pyrolysis) แต่ในปัจจุบันการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกชั้นสูงหรือวัสดุผสม เริ่มนิยมหันมาใช้วิธีการ สังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ปฏิริยาที่ก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self-propagating High Temperature Synthesis) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงเมื่อ เปรียบเทียบกับการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง วัสดุที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวและบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ SHS ยังเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงทำการสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของวัสดุ เรืองแสงแบเรียม อะลูมินตซ์ (Barium aluminate) ด้วยกระบวนการ SHS โดยใช้สารตั้งต้นเป็น  $\text{BaO}_2$ , Al และ  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ที่มีต่อสมบัติของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  รวมทั้งมีการเติมเกลือ (NaCl) ในสารตั้งต้น เพื่อศึกษาผลกระทบของโครงสร้างผลึก  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  เพื่อนำระบบของสารตั้งต้นมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเพื่อการใช้งาน การ ประหยัดพลังงานหรือประยุกต์ใช้เป็นชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

## 1.2 ทฤษฎีและหลักการ

### 1.2.1 ทฤษฎีของแสง

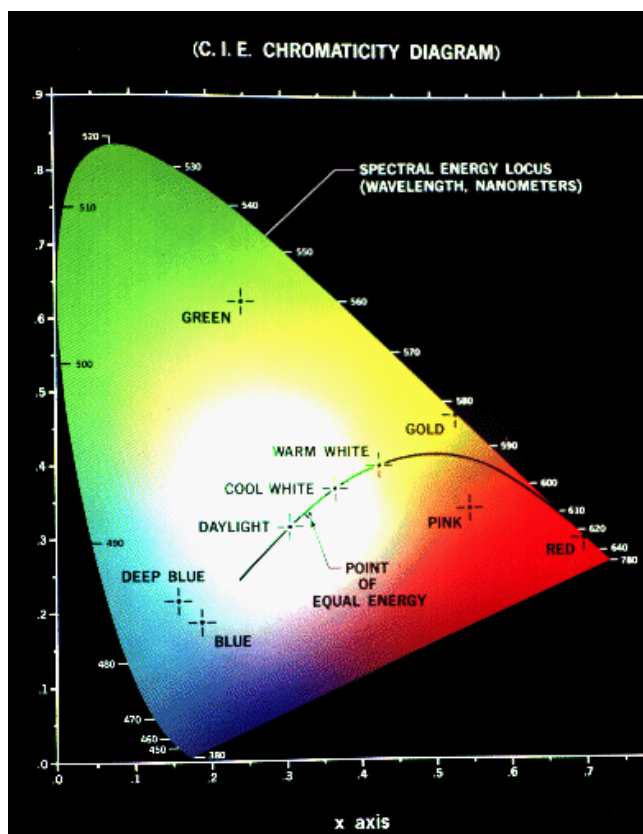
แสง เป็นพลังงาน รูปหนึ่ง ที่ตารับรู้และมีปฏิกิริยาตอบสนองด้วยกระบวนการวิเคราะห์แยกแยะของสมอง ตาสามารถบ่งบอกถึงสีและความเข้มของแสงที่มองเห็นได้



**รูปที่ 1.1** สเปกตรัมของแสง (<http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html> สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2553 )

สี คือลักษณะความเข้มของแสงที่ปรากฏแก่สายตาให้เห็นเป็นสี โดยผ่านกระบวนการรับรู้ด้วยตามองจะรับข้อมูลจากตา โดยที่ตาได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานแสงมาแล้วผ่านประสาทสัมผัสการมองเห็นผ่านศูนย์สลับเปลี่ยนในสมองไปสู่ศูนย์การมองเห็นภาพ การสร้างภาพหรือการมองเห็นก็คือ การที่ข้อมูลได้ผ่านการวิเคราะห์แยกแยะให้เรารับรู้ถึงสรรพสิ่งรอบตัว

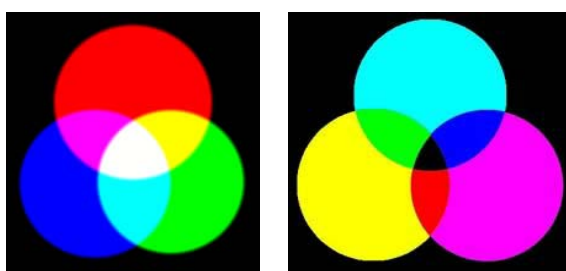
การตรวจวัดคลื่นแสงเริ่มขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 19 ในปี 1928 ไรท์ (W.D.Wright) และกิลด์ (J.Guild) ประสบความสำเร็จในการตรวจวัดคลื่นแสงครั้งสำคัญ และได้รับการรับรองจาก Commission Internationale de l'Eclairage หรือ CIE ในปี 1931 โดยถือว่าการตรวจวัดมาตรฐาน



รูปที่ 1.2 สามเหลี่ยมสี CIE (<http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html> สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2553 )

รูปสามเหลี่ยมสีเกือกม้า CIE ได้ถูกนำเสนอไว้ในปี 1931 โดยการวิเคราะห์สีจากแสงสเปกตรัม สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง แสดงถึงแสงสีขาวท่ามกลางแสงสเปกตรัมรอบรูปเกือกม้าโค้งรูปเกือกม้าแสดงความยาวคลื่นจาก 400- 700 nm สามเหลี่ยมสี CIE สร้างขึ้นตามระบบความสัมพัทธ์พิกัด X และ Y คาร์เตเซียน ในทางคณิตศาสตร์จากมุมตรง ข้าม 3 มุมของรูปเกือกม้า คือสีน้ำเงินม่วงเข้มประมาณ 400 nm สีเขียวประมาณ 520 nm และสีแดงประมาณ 700 nm คือสีจากแสง ที่จะนำมาผสมกันและก่อให้เกิดสีต่าง ๆ ขึ้น แสงสีแดงมีความยาวคลื่นสูงสุด แต่มีความถี่คลื่นต่ำสุด จะหักเหได้น้อยที่สุดและแสงสีม่วงจะมีความยาวคลื่นน้อยสุด แต่มีความถี่คลื่นสูงสุด และหักเหได้มากที่สุด ระบบการพิมพ์อุตสาหกรรม การถ่ายภาพ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ ได้ใช้โครงสร้างสีนี้เป็นหลัก ในระบบการพิมพ์ได้ใช้สีจากด้าน 3 ด้านของรูปเกือกม้าคือ สีเหลือง ฟ้า สีม่วงแดง และสีดำเป็นหลัก ส่วนในการถ่ายภาพ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ และจอคอมพิวเตอร์ ใช้สีจากมุมทั้งสาม คือ แดง เขียว และน้ำเงิน เป็นหลัก

ในราวปี ค.ศ. 1666 เซอร์ ไอแซค นิวตัน ได้แสดงให้เห็นว่า สีคือส่วนหนึ่งในธรรมชาติของแสงอาทิตย์ โดยให้ลำแสงส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเห เพราะแท่งแก้วปริซึมมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ เมื่อลำแสงหักเหผ่านปริซึมจะปรากฏแถบสีสเปกตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกว่า สีรุ้ง (Rainbow) คือ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง เมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสสาร พลังงานบางส่วนจะถูกดูดกลืนบางส่วน จะถูกสะท้อนให้ปรากฏเห็นได้ พื้นผิววัตถุที่เราเห็นเป็นสีแดง เพราะวัตถุดูดกลืนแสงสีอื่นไว้ และสะท้อนเฉพาะแสงสีแดงออกมา วัตถุสีขาวจะสะท้อนแสงทุกสี และวัตถุสีดำจะดูดกลืนแสงทุกสี



รูปที่ 1.3 แสงสีที่ฉายรวมกัน (<http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html> สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2553 )

จากทฤษฎีการหักเหของแสงของนิวตัน และจากสามเหลี่ยมสี CIE พบว่า แสงสี เป็นพลังงานเพียงชนิดเดียวที่ปรากฏสีจากด้านทั้ง 3 ด้านของรูปสามเหลี่ยมสี CIE นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดแม่สีของแสงไว้ 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แสงทั้งสามสีเมื่อนำมาฉายส่องรวมกัน จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ขึ้นมา คือ

แสงสีแดง + แสงสีเขียว = แสงสีเหลือง (Yellow)

แสงสีแดง + แสงสีน้ำเงิน = แสงสีแดงมาเจนตา (Magenta)

แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = แสงสีฟ้าไซแอน (Cyan)

และถ้าแสงสีทั้งสามสีฉายรวมกัน จะได้แสงสีขาว หรือ ไม่มีสี เราสามารถสังเกตแม่สีของแสงได้จากโทรทัศน์สี หรือจอคอมพิวเตอร์สี โดยใช้แว่นขยายส่องดูหน้าจอจะเห็นเป็นแถบสีแสงสว่าง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน นอกจากนี้เราจะสังเกตเห็นว่าเครื่องหมายของสถานีโทรทัศน์สีหลาย ๆ ช่อง จะใช้แม่สีของแสง ด้วยเช่นกัน ทฤษฎีของแสงสีนี้เป็นระบบสีที่เรียกว่า RGB (Red -Green-Blue) เราสามารถนำไปใช้ในการ ถ่ายทำภาพยนตร์ บันทึกภาพวิดีโอ การสร้างภาพ เพื่อแสดงทางคอมพิวเตอร์ การจัดไฟแสงสีในการแสดง การจัดฉากเวที เป็นต้น



แสงสีที่เป็นแม่สี คือ สีแดง น้ำเงิน เขียว จะเรียกว่า สีพื้นฐานบวก (Additive Primary Colors) คือ เกิดจากการหักเหของแสงสีขาว ส่วนสีใหม่ที่เกิดจากการผสมกันของแม่สีของแสงทั้งสามสี จะเรียกว่า สีพื้นฐานลบ (Subtractive Primary Colors) คือ สีฟ้าไซแอน (Cyan) สีแดงมาเจนต้า (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) ทั้งสามสีเป็นแม่สีที่ใช้ในระบบการพิมพ์ออฟเซตหรือที่เรียกว่า ระบบสี CMYK โดยมีสีดำ (Black) เพิ่มเข้ามา

(<http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html> สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2553)

ความสว่าง (Illumination) คือ ปริมาณแสงที่ตกบนพื้นผิวหนึ่งหน่วย วัตถุที่รับแสงได้มากจะเป็นวัตถุที่สว่างสุดใส วัตถุโปร่งใส (Transparent) เช่น แก้วใส เป็นวัตถุที่ยอมให้แสงผ่านได้ดี วัตถุโปร่งแสง (Translucent) เช่น แก้วฝ้ายอมให้แสงบางส่วนผ่านได้ และวัตถุทึบแสง (Opaque) จะกั้นแสงทั้งหมดไว้

การเปล่งแสงจากวัตถุร้อน (Incandescence) คือ การเปล่งแสงของสารซึ่งร้อนจัด เมื่อสารต่าง ๆ ร้อนขึ้นจะมีแสง สว่างจ้าหรือเรียกว่าสารนั้นเป็น สารอินแคนเดสเซนซ์ (Incandescent) สีของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับว่าสารนั้นร้อนเพียงใด เริ่มแรกวัตถุจะเปล่งแสงสีแดง ต่อมาเมื่อร้อนขึ้นอีกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและขาว เทียนให้แสงสว่างเพราะเปลวเทียนทำให้ผงเขม่าร้อน หลอดไฟที่ใช้กันตามบ้านส่วนใหญ่ประกอบด้วยหลอดทั้งสแตนเลสกันบาง ๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะร้อนขึ้นและให้แสงสว่างออกมา

(<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/3/fluorescent/fluorescent1.htm> สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2553)

### 1.2.2 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)

การเรืองแสงมีสองประเภทใหญ่ ๆ คือ ฟลูออเรสเซนซ์ และฟอสฟอเรสเซนซ์ สารเคมีหลายชนิดที่ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต และแสงที่ มองเห็นได้เข้าไป แล้วจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเปล่งแสง การเปล่งแสงมีด้วยกันหลายชนิด ทั้งนี้ แล้วแต่แหล่งพลังงานที่ทำให้โมเลกุลไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited state) เช่น โมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยากับโฟตอนของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิด Luminescent Molecules เรียกว่า Photoluminescence ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) และฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) การปล่อยแสงในรูปของการเรืองแสงแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

- ฟลูออเรสเซนซ์ หมายถึง แสงลูมิเนสเซนซ์ ที่ปล่อยออกมาหลังจากสารนั้นดูดกลืนแสงที่ผ่านเข้าไปในโมเลกุลด้วยช่วงเวลาการสลายตัว (Decay time) ไม่เกิน  $1 \times 10^{-6}$  วินาที

- ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) หมายถึง แสงลูมิเนสเซนซ์ที่ปล่อยออกมาหลังจากสารนั้น ดูดกลืนแสงที่ผ่านเข้าไปใน โมเลกุล ด้วยช่วงเวลาการสลายตัว นานกว่ากรณีฟลูออเรสเซนซ์มากกว่า  $1 \times 10^{-6}$  วินาที

ถ้าโมเลกุลของสารนั้น ใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีก็เรียกว่า Chemical luminescence หรือ Chemiluminescence และถ้าโมเลกุลได้รับพลังงานที่มีอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปเป็นโมเลกุลที่สถานะกระตุ้นเรียกว่า Radioluminescence นอกจากนี้ยังมี Bioluminescence หรือ Themoluminescence เป็นต้น Photoluminescence เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างกว้างขวาง

### 1.2.3 ทฤษฎีของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Theory)

ฟลูออเรสเซนซ์เกิดจากสารเคมีที่เป็น แก๊ส ของเหลว และของแข็ง เช่น ไอของ อะตอมโซเดียม ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ 3s เมื่อได้รับคลื่นแสงที่เหมาะสม (5896 และ 5890 Å) จะเปลี่ยนไปกลับสู่สถานะพื้น 3s โดยคายคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมออกมาทุกทิศทาง ฟลูออเรสเซนซ์แบบนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นเรียก คลื่นแสง เรโซแนนซ์ (Resonance radiation) หรือ เรโซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (Resonance fluorescence) โมเลกุลหรือไอออนที่มีหลายอะตอมให้เรโซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์และให้คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนเรียกว่า นอร์มัลฟลูออเรสเซนซ์ (Normal fluorescence) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเลื่อนสโตก (Stoke shift)

#### หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์

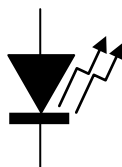
โฟโตลูมิเนสเซนซ์เป็นขบวนการไปสู่สถานะกระตุ้นและกลับสู่สถานะพื้น (Excitation-deexcitation) โดยมีโฟตอนแสงเข้าไปเกี่ยวข้อง คือ มีการดูดกลืน (Absorption) และปลดปล่อย (Emission) โฟตอนแสงออกมา

### 1.2.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED)

ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode) เรียกย่อ ๆ ว่า LED คือ ไดโอดซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ แสงที่เปล่งออกมีความยาวคลื่นเดียว ซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็น อันประกอบด้วยคลื่นที่มีหลายความยาวคลื่นรวมกัน

ไดโอดชนิดสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกอบกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อไดโอด ได้รับ โบแอสตรงจะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮล (Hole) ในฝั่งของสารกึ่งตัวนำชนิด P ทำให้เกิดพลังงานออกมาในรูปของการเปล่งแสง

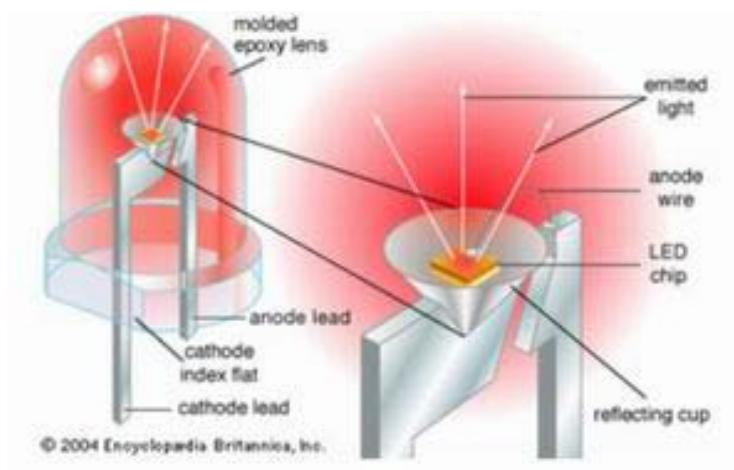
การใช้งานของ LED ที่เห็นได้บ่อย ๆ คือ ภาควงแสดงผลของเครื่องคำนวณ อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ที่ใช้ LED ซึ่งมี 7 ส่วนแสดงเป็นตัวเลขดังรูป ที่ 1.5 เมื่อนำ LED มาประกอบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นตัวรับแสงจาก LED โฟโตทรานซิสเตอร์จะให้กระแสที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มของแสงที่มาจาก LED อุปกรณ์ที่รวมกันระหว่าง LED กับโฟโตทรานซิสเตอร์เรียกว่า โฟโตไอโซเลชัน (Photo Isolation)



รูปที่ 1.4 สัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

#### องค์ประกอบของไดโอดเปล่งแสง

ภายในหลอด LED ประกอบด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสง มีเส้นลวดทองคำขนาดเล็กมากเชื่อมระหว่างสารกึ่งตัวนำและขา LED (ดังรูปที่ 1.5) ชิ้นส่วนทั้งหมดถูกบรรจุในพลาสติกใสทรงโดม ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง โดยลักษณะลำแสงที่ออกจากหลอด LED ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น รูปร่างของถ้วยสะท้อนแสง ขนาดของชิปสารกึ่งตัวนำ รูปร่างเลนส์ ระยะห่างระหว่างตัวชิปกับผิวพลาสติกที่หุ้มอยู่ เป็นต้น



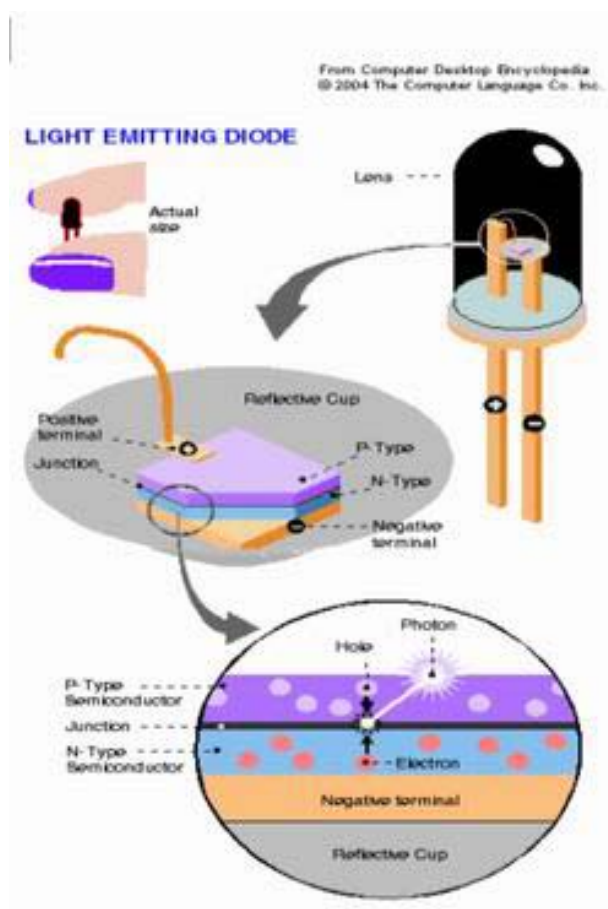
รูปที่ 1.5 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง (<http://www.vcharkarn.com/varticle/38778> สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2554)

### หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง

การรวมตัวและสลายตัวของ อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น และโฮลจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีใน LED เทียบได้กับการที่อิเล็กตรอนตกลงมาจากระดับชั้นพลังงานสูง (อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น) มายังชั้นที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า (แต่มีความเสถียรมากกว่า) ทำให้อิเล็กตรอน ปล่อยพลังงานออกมาในรูปโฟตอนแสง ซึ่งแสงที่ออกมาจากสารกึ่งตัวนำใน LED อาจเป็นแสงความถี่ต่ำในช่วงแสง อินฟราเรดที่ตามองไม่เห็น หรือแสงที่ตามองเห็นก็ได้

สิ่งที่เป็นตัวกำหนดความ ยาวคลื่นแสงคือ ชนิดของสารกึ่งตัวนำ หากเปลี่ยนชนิดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ความยาวคลื่นแสงที่ออกจากหลอด LED จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

หลอด LED ให้แสงสีขาว มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูงประมาณ 10-90 ลูเมน/วัตต์ ขณะที่อายุการใช้งานมากกว่า 80,000 ชั่วโมง



รูปที่ 1.6 หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง (<http://www.vcharkarn.com/varticle/38778> สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2554)

### ไดโอดเปล่งแสงชนิดแสงสีขาว

โดยทั่วไปหลอด LED สามารถเปล่งแสงออกมาได้เพียง ความยาวคลื่นเดียวเท่านั้น แต่แสงสีขาวประกอบด้วยแสงหลายสีผสมกัน ดังนั้นจึงมีความพยายามหาเทคนิคต่างๆ เพื่อให้ LED สามารถเปล่งแสงสีขาวออกมา ซึ่งปัจจุบันเทคนิคที่ใช้ผลิตหลอด LED ให้แสงสีขาวได้มี 2 เทคนิคด้วยกันคือ เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่น ( Wavelength Conversion) และเทคนิคการผสมสี (Colour Mixing)

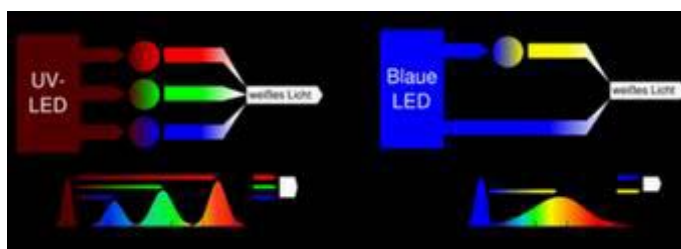
## การเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion)

เทคนิคนี้อาศัยสารเรืองแสงในการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งสามารถประยุกต์ได้ 3 รูปแบบด้วยกันคือ

1. การใช้ LED ให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง ( Yellow phosphor) แสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงสีเหลืองที่เคลือบอยู่ให้ปล่อยแสงสีเหลืองออกมา เมื่อปรับสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลืองให้พอเหมาะจะทำให้ดวงตาเห็นแสงที่ออกมาเป็นแสงสีขาว เทคนิคนี้พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท นิชิอะ ประเทศญี่ปุ่น และเป็นเทคนิคการทำ LED ให้แสงสีขาวที่มีต้นทุนต่ำที่สุดและใช้ผลิตหลอด LED ให้แสงสีขาวส่วนใหญ่ในขณะนี้

2. การเคลือบ LED ให้แสงสีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้คล้ายกับเทคนิคแรก แต่ใช้สารเรืองแสงที่ให้แม่สีแสงหลักร่วมกัน เมื่อผสมแสงที่ออกจากสารเรืองแสงแต่ละสีกับแสงสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน จะได้แสงสีขาวเช่นกัน จุดเด่นของเทคนิคนี้คือ แสงสีขาวที่ผลิตได้มีคุณภาพดีกว่าเทคนิคแรกแต่หลอด LED ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าด้วยเช่นกัน

3. การใช้ LED ที่เปล่งแสงผ่าน UV ร่วมกับสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้มีรูปแบบคล้ายกับเทคนิคการเรืองแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสง UV จะกระตุ้นให้สารเรืองแสงแต่ละสีปล่อยแม่สีแสงหลักออกมาผสมกันได้ เป็นแสงสีขาว



รูปที่ 1.7 เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่นและเทคนิคการผสมสี

(<http://www.vcharkarn.com/varticle/38778> สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2554)

### จุดเด่นของหลอดไดโอดเปล่งแสง

1. ตัวหลอดทนทานต่อแรงกระแทกกระทึกต่างๆ เพราะชิปเปล่งแสงบรรจุอยู่ในพลาสติกใสซึ่งแข็งและเหนียวตกไม่แตก

2. มีอายุการใช้งานประมาณ 80000 - 100000 ชั่วโมง มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไส้
3. ตัวหลอดมีขนาดเล็กจึงสามารถประยุกต์หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานได้หลากหลาย
4. เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อยในขณะที่ทำงาน จึงสามารถสัมผัสหลอดได้โดยไม่ได้รับอันตรายจากความร้อนและไม่ใช้สารปรอทเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์
5. เหมาะกับการใช้งานที่ต้องมีการปิด-เปิดไฟบ่อยครั้ง โดยไม่มีผลต่ออายุการใช้งาน ต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หากเปิด-ปิดบ่อยครั้งจะเสียหาย

#### จุดด้อยของหลอดไดโอดเปล่งแสง

1. ไดโอดเปล่งแสงยังมีราคาค่อนข้างแพง
2. มีประสิทธิภาพการให้พลังงานแสงสว่างด้อยกว่าหลอดธรรมดา
3. ไม่สามารถผลิต LED ที่เปล่งแสงสีขาวที่แท้จริงได้

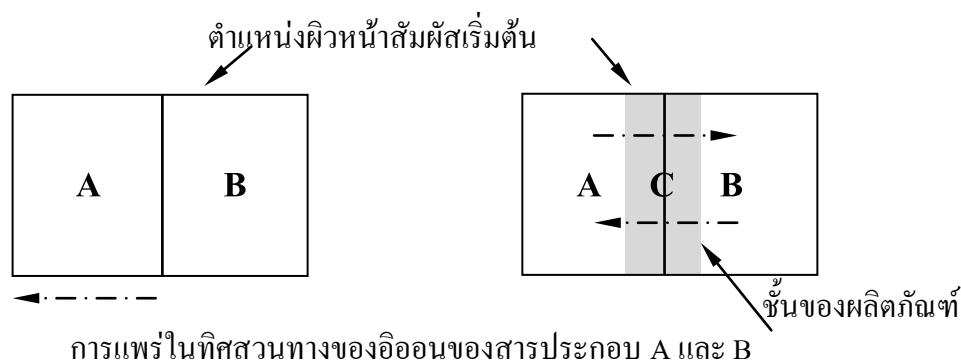
(<http://www.vcharkarn.com/varticle/38778> สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน 2554)

#### 1.2.5 ปฏิกริยาระหว่างสารประกอบของแข็ง

เมื่อสารประกอบของแข็งทำปฏิกริยาระหว่างกันที่อุณหภูมิสูง ไม่ได้หมายความว่าสารประกอบทุกตัว ยังคงรักษาสถานะของแข็งไว้ที่อุณหภูมิที่มีปฏิกริยาเกิดขึ้น เฟสของเหลว (หลอมละลายจากของแข็ง) หรือแม้แต่เฟสแก๊ส อาจมีส่วนร่วมทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลขึ้น

#### ลักษณะทั่วไปของปฏิกริยาของแข็ง

ในการที่จะทำความเข้าใจความแตกต่างระหว่างปฏิกริยาในสารละลายและในสถานะของแข็ง รวมทั้งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาของแข็ง จะใช้การพิจารณาปฏิกริยาทางความร้อนของผลึกสารประกอบ A และ B ที่สัมผัสกันอย่างแนบสนิทตลอดผิวหน้าด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 1.8 ในกรณีที่ไม่มีกรหลอมเหลวเกิดขึ้นในระหว่างปฏิกริยา ดังนั้นปฏิกริยาจะต้องเกิดขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างสารประกอบทั้งสองเป็นจุดเริ่มต้น แล้วต่อมาปฏิกริยาจะดำเนินไป โดยการแพร่เข้าสู่เนื้อผลิตภัณฑ์



**รูปที่ 1.8** ปฏิกริยาระหว่างสองผลึก (A และ B) ที่มีผิวสัมผัสหนึ่งด้าน ภายหลังจากการเริ่มต้นก่อรูปของผลิตภัณฑ์ C อีออนจาก A และ B จะต้องมีการแพร่ในทิศตรงกันข้ามผ่านชั้นของผลิตภัณฑ์ เพื่อก่อรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่มีผิวหน้ารอยต่อระหว่าง A/C และ B/C (สูตรรวม 2552)

ในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยา คือ การก่อเกิดนิวเคลียส (Nuclei) ของผลิตภัณฑ์ C ที่พื้นที่ผิวหน้าสัมผัสระหว่างสาร A และ B ซึ่งอาจพบอุปสรรคถ้าหากการก่อเกิดสารใหม่นี้ ต้องการการจัดระเบียบโครงสร้างใหม่อย่างสูง ซึ่งภายหลังกระบวนการนิวเคลียส (Nucleation) ของผลิตภัณฑ์ C ชั้นของผลิตภัณฑ์ได้ถูกก่อตัวขึ้น ในขั้นตอนนี้ผิวหน้าสัมผัสเพิ่มเป็น 2 ตำแหน่ง นั่นคือผิวหน้าสัมผัสระหว่างสาร A กับ สาร C และสาร B กับสาร C ในการที่จะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ การแพร่ในทิศสวนทางของอออนจากสาร A กับสาร B จะต้องเคลื่อนที่ผ่านชั้นของสาร C เพื่อไปสู่ผิวหน้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใหม่

เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ชั้นของผลิตภัณฑ์หนาขึ้น ส่งผลให้การแพร่ของอออนจากสาร A กับสาร B เพื่อไปทำปฏิกิริยายากขึ้น และทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง เนื่องจากชั้นของผลิตภัณฑ์ทำหน้าที่คล้ายเป็นแนวป้องกัน ในกรณีอย่างง่ายที่ปฏิกิริยาถูกควบคุมโดยการแพร่แบบแลตทิซ (lattice) ผ่านชั้นระนาบ (Planar Layer) กฎอัตรา (Rate Law) จะอยู่ในรูปของสมการพาราโบลา ดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot x^{-1} \quad (1.1)$$

โดยที่  $x$  คือ ปริมาณของปฏิกิริยา (ในที่นี้คือ ชั้นความหนาของผลิตภัณฑ์)

$t$  คือ เวลา

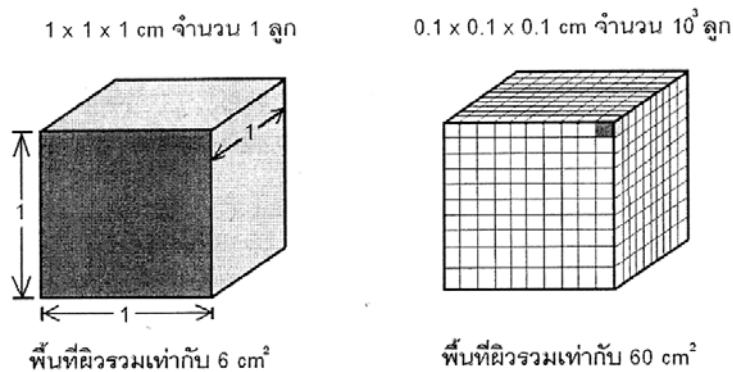
$k$  คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate Constant)



โดยปกติอออนจะถูกดักอยู่ในแลตทิซที่เหมาะสมและยากที่จะเคลื่อนย้ายไปสู่ตำแหน่งอื่นๆ มีเพียงแต่กรณีที่อุณหภูมิสูงเพียงพอที่อออนจะมีพลังงานเพียงพอในการแพร่ผ่านแลตทิซของผลึก โดยปกติสำหรับสารหนึ่งๆ อุณหภูมิ 2 ใน 3 ของจุดหลอมเหลว ก็เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการแพร่ดังกล่าวและส่งผลให้สามารถทำปฏิกิริยาสถานะของแข็งได้ (สุธรรม 2552)

### พื้นที่ผิวของของแข็ง

พื้นที่ผิวของของแข็งจำนวนหนึ่ง ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของของแข็งนั้นๆ การคำนวณอย่างง่ายแสดงได้ดังนี้ เช่น พิจารณาผลึกลูกบาศก์ที่มีปริมาตร  $1 \text{ cm}^3$  ซึ่งประกอบไปด้วย 6 ด้าน ที่มีพื้นที่ในแต่ละด้านเท่ากับ  $1 \text{ cm}^2$  นั่นคือมีพื้นที่ผิวรวมเท่ากับ  $6 \text{ cm}^2$  เมื่อตัดผลึกก้อนนี้ตามแนวขนานแต่ละด้านจะเป็น 10 ส่วนเท่าๆ กัน (ดังรูปที่ 1.5) ผลที่ได้ก็คือผลึกลูกบาศก์จำนวน  $10^3$  ลูก มีขนาด  $0.1 \times 0.1 \times 0.1 \text{ cm}$  ในแต่ละลูก ทั้งนี้ ผลึกลูกบาศก์จำนวน  $10^3$  ลูก มีมวลและปริมาตรรวมเท่ากันกับผลึกลูกใหญ่ แต่พื้นที่ผิวโดยรวมใหม่ จะมีค่ามากกว่าลูกบาศก์เดิมถึง 10 เท่า ( $10^3 \times 6 \times 0.01 \text{ cm}^2$ )



รูปที่ 1.9 ผลึกลูกบาศก์ (สุธรรม 2552)

ในการบดลดขนาดของอนุภาคในช่วงเวลาหนึ่ง สามารถลดขนาดผลึกจาก  $1 \text{ cm}^3$  ไปสู่อนุภาคในช่วงขนาด  $10 \mu\text{m}$  ดังนั้นถ้าหากทุกๆ อนุภาคเป็นผลึกลูกบาศก์ พื้นที่ผิวรวมของผงจะกลายเป็น  $6 \times 10^3 \text{ cm}^2$  ( $0.6 \text{ m}^2$ ) (ข้อสังเกต: ขนาดอนุภาค  $10 \mu\text{m}$  เป็นตัวแทนของระยะทางการแพร่โดยประมาณเท่ากับ  $10^4$  เท่าของหน่วยเซลล์ (Unit Cell))

แม้ว่าพื้นที่ผิวของของแข็ง จะเป็นตัวควบคุมส่วนใหญ่ของพื้นที่สัมผัสของเกรนของตัวทำปฏิกิริยาของสารผสม แต่ก็ไม่ได้ปรากฏอย่างชัดเจนโดยตรงในสมการความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการที่ 1.1 แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวได้ถูกใส่ไว้โดยอ้อมจากการที่มีผลผกผันของความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ (x) และพื้นที่ของการสัมผัส ดังตัวอย่างเช่น เมื่ออนุภาคลูกบาศก์ ขนาด  $10\ \mu\text{m}$  2 ลูก ทำปฏิกิริยาระหว่างกัน ชั้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปร้อยละ 50 คือความหนา  $10\ \mu\text{m}$  เมื่อขนาดของผลึกถูกลดลงเป็น  $1\ \mu\text{m}$  พื้นที่ผิวของผลึกที่มีน้ำหนักเท่ากัน จะเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่าตัว แต่ความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 50 มีค่าเพียง  $1\ \mu\text{m}$  ซึ่งตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 1.1 ผลที่ได้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น

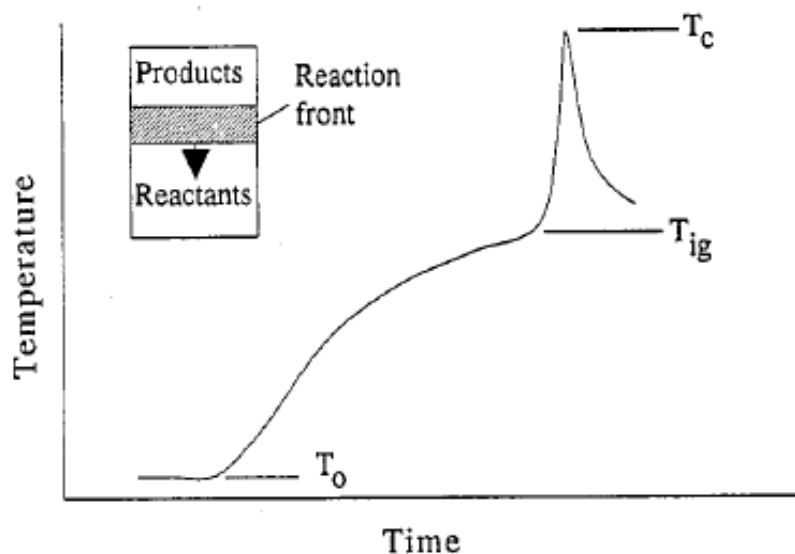
ในทางปฏิบัติ การที่จะทำให้ผิวสัมผัสของสารตั้งต้นของแข็งสัมผัสกันอย่างดีทุกส่วนเป็นไปได้ยาก โดยปกติ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารตั้งต้น จะมีค่าน้อยกว่าพื้นที่ผิวทั้งหมด พื้นที่ผิวสัมผัสอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้แรงกดอัดผงผสมสารตั้งต้นให้เป็นเม็ด (Pellet) อย่างไรก็ตามแม้จะใช้ความดันสูงในการอัด แต่ก็ไม่สามารถทำให้ได้ผิวสัมผัสสูงสุดได้ ผิวสัมผัสระหว่างสารสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกโดยการใช้แรงอัดและความร้อนในเวลาเดียวกัน แต่ก็ยังเป็นกระบวนการที่ช้า และอาจต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงต่อกระบวนการ (สุธรรม 2552)

### 1.2.6 การสังเคราะห์สารโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self-propagating High Temperature Synthesis: SHS)

ปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self Propagating High Temperature Synthesis: SHS) หรือเรียกอีกชื่อว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion: CS) เป็นกระบวนการที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสังเคราะห์วัสดุเซรามิกขั้นสูงทางด้านวิศวกรรม อาทิเช่น วัสดุทนไฟ (Refractory) วัสดุเชิงประกอบ เนื้อพื้นเซรามิก (Ceramic Matrix Composites) และสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallics Compounds) เนื่องจากมีข้อดีทางด้านประหยัดพลังงานและต้นทุนการผลิตต่ำกว่ากระบวนการผลิตวัสดุด้วยวิธีดั้งเดิม ในขณะที่เดียวกันก็สามารถผลิตวัสดุที่มีสมบัติใหม่ๆ (Varmar et al. 2004)

กระบวนการ SHS เริ่มต้นที่อุณหภูมิของสารตั้งต้น  $T_0$  ถูกให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิการจุดระเบิด  $T_{\text{ign}}$  ซึ่งก็คือจุดที่กระบวนการไม่ต้องการพลังงานเพิ่มเติมในการทำปฏิกิริยาแต่โคเนติกของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยอุณหภูมิทางทฤษฎีสูงสุดของปฏิกิริยา หรือเรียกว่า อุณหภูมิแอดิเยแบติก  $T_{\text{ad}}$  เกิดขึ้นภายใต้สมมติฐานการไม่สูญเสียความร้อนของปฏิกิริยาสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้ในความเป็นจริงค่าอุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา  $T_c$  จะมีค่าต่ำกว่า  $T_{\text{ad}}$

เสมอ โดยปกติการเตรียมผงอัดของสารตั้งต้นจะกระทำภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า  $T_0$  ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่างๆนี้กับเวลาได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.10

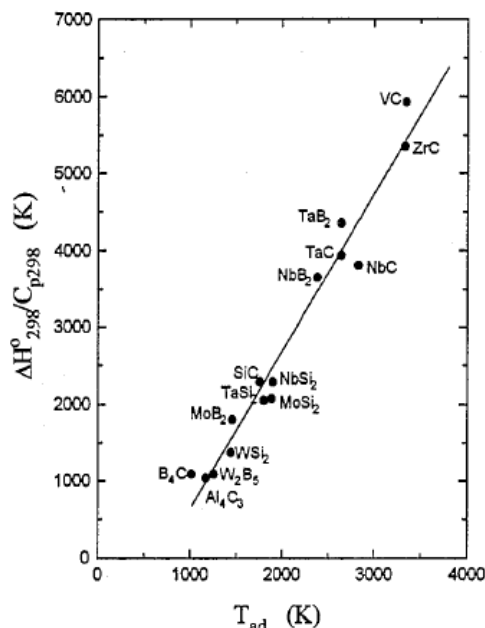


รูปที่ 1.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาสำหรับกระบวนการ SHS (Moore and Feng 1995)

การคำนวณค่า  $T_{ad}$  ภายใต้สภาวะแอดิเยแบติก สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ของเอนทาลปีของการก่อรูป (enthalpy of formation:  $\Delta H_T^\circ$ ) ของสารประกอบ ดังแสดงในสมการที่ 1.2 (Seungwon et al. 1996)

$$-\Delta H_T^\circ = H_{T_{ad}} - H_T = \int_T^{T_{ad}} nC_p dT \quad (1.2)$$

โดยปกติค่า  $T_{ad}$  จากปฏิกิริยาของระบบสารต่างๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1000 – 6000 K และได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_{ad}$  และ  $\Delta H_{298}^\circ/C_p$  ดังรูปที่ 1.11



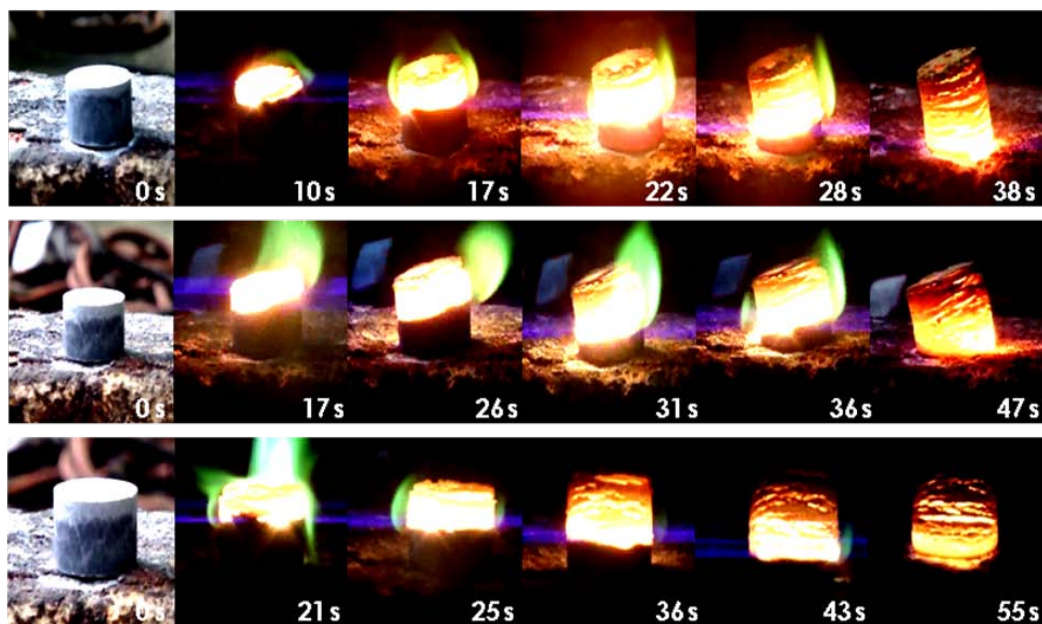
รูปที่ 1.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_{ad}$  และ  $\Delta H_{298}^{\circ}/C_p$  ของสารบางชนิดที่ผลิตโดย SHS (Moore and Feng 1995)

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนเฟสในผลิตภัณฑ์ก่อนที่ชิ้นงานจะมีอุณหภูมิถึง อุณหภูมิ แอเดียแบติก สมการที่ 1.2 จะมีการเพิ่มเทอมของความร้อนแฝงของการเปลี่ยนเฟส ดังแสดงใน สมการที่ 1.3 (Moore and Feng 1995)

$$\Delta H_T^{\circ} + \int_T^{T_{ad}} \sum n C_p dT + \sum n L = 0 \quad (1.3)$$

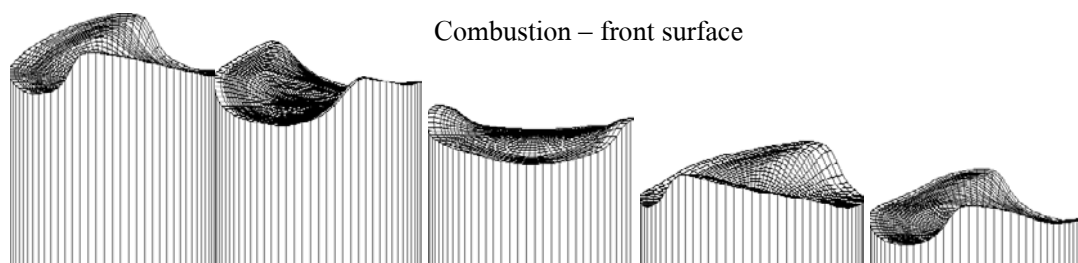
โดย  $n$  คือจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้  $C_p$  คือค่าความจุความร้อน  $L$  คือค่าเอนทัลปีของการเปลี่ยน เฟส ส่วนค่าความร้อนของการก่อรูป ( $\Delta H_T^{\circ}$ ) ที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งปกติ มักจะใช้  $T = 298 \text{ K}$  แต่ก็สามารถคำนวณที่อุณหภูมิอื่นๆ ได้ตามต้องการ ดังนั้นการคำนวณ สมการ ที่ 1.3 จะสามารถบอกค่า  $T_{ad}$  ที่ อุณหภูมิ  $T$  ตามต้องการ ซึ่งถึงแม้  $T_{ad}$  ที่คำนวณได้จะมีค่าสูงกว่า อุณหภูมิของปฏิกิริยาจริง แต่ผลการคำนวณสามารถ เป็นครรชนีบอกค่าอุณหภูมิของระบบที่จะ ทำการศึกษาและเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบการทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ ทั้งนี้ระบบที่มีค่า  $T_{ad} > 1800^{\circ}\text{C}$  จะสามารถเกิดปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองจนตลอดทั้งชิ้นงานภายหลังการจุดระเบิด

(Moore and Feng 1995) แต่ถ้า  $T_{ad} < 1800^{\circ}\text{C}$  ชิ้นงานจะต้องได้รับการอุ่นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะจุดระเบิดให้ชิ้นงาน

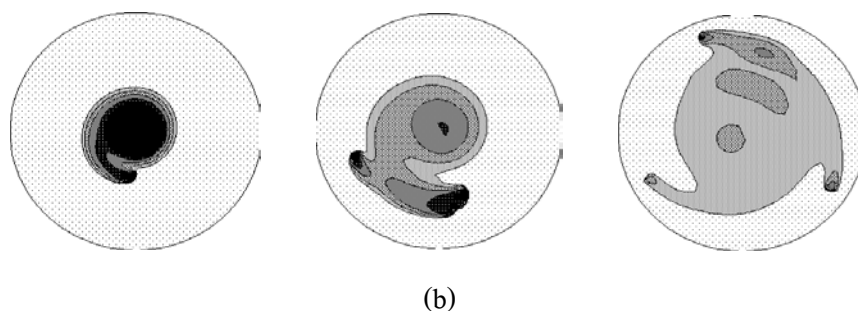


รูปที่ 1.12 แสดงลักษณะการเผาไหม้ ตามเวลา (t) ที่เปลี่ยนแปลงของสารในกระบวนการ SHS (ธวัช 2009)

รูปที่ 1.12 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนสิ้นสุดการทำปฏิกิริยา สังเกตเห็นได้ว่า ลักษณะของการก้าวหน้าด้วยตัวเองจะอยู่ในรูปแบบของการเคลื่อนที่แบบหมุนเหวี่ยง (Spinning) ดังแสดงไว้ในแบบจำลองในรูปที่ 1.13

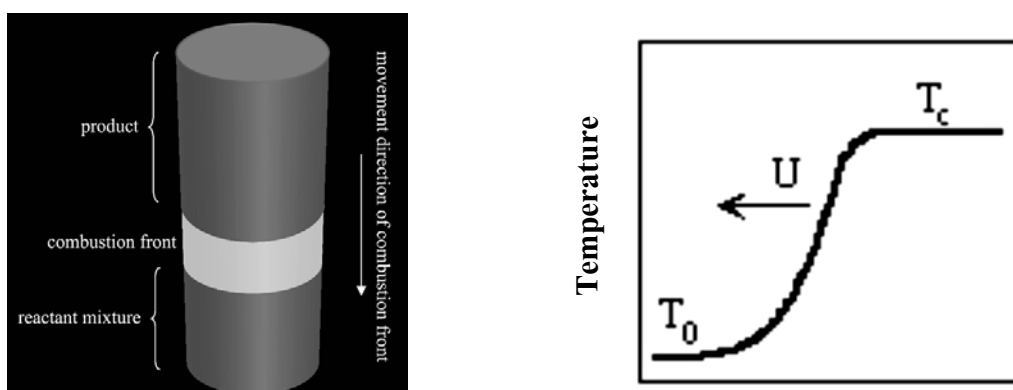


(a)



**รูปที่ 1.13** (a) ลักษณะจำลองการเคลื่อนที่ของคลื่นของการเผาไหม้ที่ก้าวหน้าด้วยตัวเองแบบ Spinning Wave และ (b) ลักษณะของการกระจายความร้อนออกจากจุดศูนย์กลางของการจุดระเบิด (Ivleva and Merzhanov 2000)

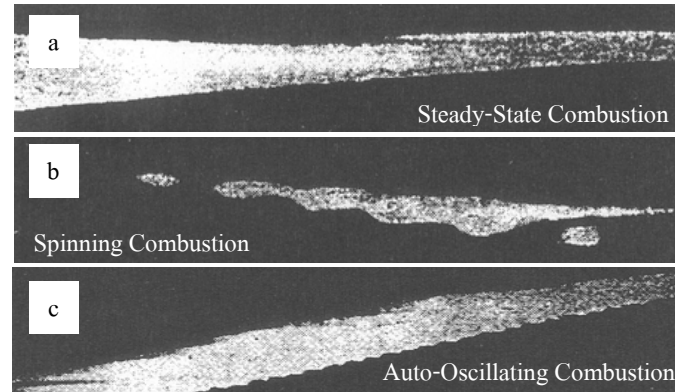
ปฏิกิริยาของ SHS แบ่งได้เป็นสองแบบ คือ แบบ Propagating และแบบ Bulk ปฏิกิริยาแบบ Propagating จะเกิดขึ้นเมื่อผงสารตั้งต้นที่ผ่านการอัดแน่นถูกจุดระเบิดด้วยความร้อนสูง ตามมาด้วยการก้าวหน้าด้วยตัวเองผ่านไปทั้งชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1.14



**รูปที่ 1.14** ปรัชการณณ์ของปฏิกิริยาแบบ Propagating (Varma et al. 2004)

ปฏิกิริยาแบบ Propagating อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การเผาไหม้แบบเสถียร (Stable Combustion) และแบบไม่เสถียร (Unstable Combustion) การเผาไหม้แบบเสถียรจะพบได้ในปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง (Solid-Solid Reaction) โดยที่คลื่นของการเผาไหม้ (Combustion Front) จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ (รูปที่ 1.15 a) สำหรับการเผาไหม้แบบไม่เสถียร คลื่นของการเผาไหม้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ยกตัวอย่างเช่น คลื่นการเผาไหม้แบบหมุน (Spinning) และคลื่น

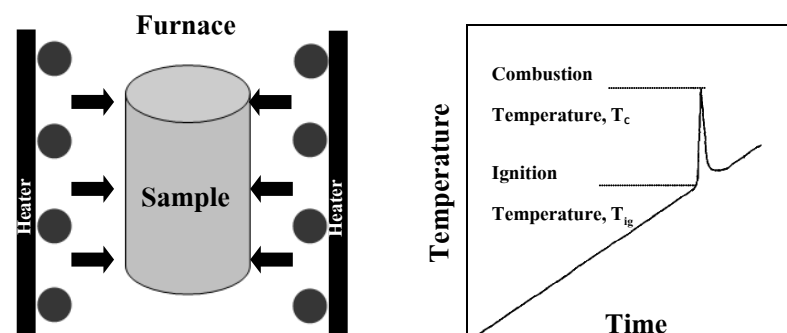
การเผาไหม้แบบแกว่งอัตโนมัติ (Auto-Oscillating) ดังรูปที่ 1.15 (b) และ 1.15 (c) ตามลำดับ (Yi and Moore 1990)



รูปที่ 1.15 ภาพถ่ายความเร็วสูงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ในแบบต่างๆ (Yi and Moore 1990)

คลื่นการเผาไหม้แบบหมุนเกิดขึ้นหลังจากการจุดระเบิดแล้วเกิดคลื่นความร้อนจากจุด (Spot) ผ่านชิ้นงานลงไปแบบก้นหอย (Spiral) เกิดขึ้นของการเผาไหม้ที่ผิวซึ่งมีระยะแคบๆ ประมาณ 2 mm คลื่นการเผาไหม้แบบแกว่งอัตโนมัติเป็นการเคลื่อนที่ด้วยอัตราช้าและเร็วอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงๆ ผลลัพธ์สุดท้ายจะมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ (Layers Structure) (Yi and Moore 1990)

ส่วนปฏิกิริยาแบบ “Bulk” เกิดขึ้นเมื่อผงอัดของสารตั้งต้นถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น ใส่ในเตาเผา จนกระทั่งถึงอุณหภูมิของปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างพร้อมเพรียงกันทั้งชิ้นงาน เรียกว่า การระเบิดทางความร้อน (Thermal Explosion)



รูปที่ 1.16 ปรากฏการณ์ของปฏิกิริยาแบบ Bulk (Yi and Moore 1990)

ปฏิกิริยาแบบนี้อาจจะถูกใช้เมื่อมีการสังเคราะห์สารที่ต้องการอุณหภูมิในการจุดระเบิดที่ต่ำหรือนำมาใช้ในการอุ่น (Preheat) สารที่มีอัตราการคายความร้อนที่ต่ำก่อนการจุดระเบิด (Ignition) (Yi and Moore 1990)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในกระบวนการ SHS มีหลายประการ ดังนี้ (Yi and Moore 1990)

- ขนาดอนุภาคของสารตั้งต้น (Reactant Particle Size)
- สัดส่วนทางเคมี (Stoichiometry) รวมถึงปริมาณของตัวทำละลาย (Diluents) และตัวไม่ทำปฏิกิริยา (Inert)
- ค่าความหนาแน่นก่อนทำปฏิกิริยา (Green Density)
- อุณหภูมิของการจุดระเบิด (Ignition Temperature)
- วิธีการจุดระเบิด (Ignition Technique)
- การสูญเสียความร้อน (Heat Loss) และการนำความร้อน (Thermal Conductivity)
- อุณหภูมิของการเผาไหม้ (Combustion Temperature)
- อุณหภูมิการอุ่นสาร (Preheat Temperature)
- อัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนและอัตราการเย็นตัว (Heating and Cooling Rate)
- เงื่อนไขทางกายภาพของสารตั้งต้น (Physical of Reactants e.g. Solid, liquid, Gas)
- สิ่งเจือปน (Impurities)

ตารางที่ 1.1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้กระบวนการ SHS ในการสังเคราะห์

(Moore and Feng 1995)

ประเภทของสารประกอบ	ตัวอย่างสารประกอบและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาของบางระบบ (°C)
โบไรด์ (Borides)	TiB <sub>2</sub> (3190), ZrB <sub>2</sub> (3310), NbB <sub>2</sub> (2400), TaB <sub>2</sub> (3370), MoB <sub>2</sub> (1800), LaB <sub>6</sub> (2800)
คาร์ไบด์ (Carbides)	TiC (3210), HfC (3900), B <sub>4</sub> C (1000), Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> (1200), TaC (2700), SiC (1800), WC (1000), ZrC (3400), NbC (2800)
คาร์ไบไนไตรด์ (Carbonitrides)	TiC-TiN, NbC-NbN, TaC-TaN



### ตารางที่ 1.1 (ต่อ) แสดงผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้กระบวนการ SHS ในการสังเคราะห์

(Moore and Feng 1995)

ประเภทของสารประกอบ	ตัวอย่างสารประกอบและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาของบางระบบ (°C)
ไนไตรด์ (Nitrides)	TiN (4900), ZrN (4900), BN (3700), AlN (2900), Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (4300), TaN (3360), HfN (5100)
ซิลิไซด์ (Silicides)	MoSi (1900), Ti <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> (2900), Zr <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> (2800), Nb <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> (3340), WSi <sub>2</sub> (1500), V <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> (2260)
ไฮไดรด์ (Hydrides)	TiH <sub>2</sub> , ZrH <sub>2</sub> , NbH <sub>2</sub>
สารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallics)	NiAl, FeAl, Ni <sub>6</sub> Ge, Ni Ti, CoTi, CuAl
คาลโคจีไนด์ (Chalcogenides)	MoS <sub>2</sub> , TaSe <sub>2</sub> , NbS <sub>2</sub> , WSe <sub>2</sub>
ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbides)	TiC-Ni, TiC-(Ni, Mo), WC-Co, Cr <sub>3</sub> C-(Ni, Mo)
วัสดุเชิงประกอบ (Composites)	TiC-TiB <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> C-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

### 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang C. และคณะ (2003) ศึกษาความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มแบเรียมอะลูมินेट (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ระดับนาโนแบบโครงสร้างผลึกสปีเนล ได้สำเร็จที่อุณหภูมิ 650 °C โดยใช้ BaAl<sub>2</sub> (DTPA) 1.6(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub> เป็นสารตั้งต้น สังเคราะห์จากวิธีปฏิกิริยาเคมีง่ายๆ และสามารถสลายไปเป็นแบเรียมอะลูมินेटที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 °C เฟสของผลึกที่มีโครงสร้างแบบสปีเนลถูกตรวจพบหลังจากแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 650 °C มากกว่า 4 ชั่วโมง ได้ขนาดผลึกเล็กกว่า 60 nm ขนาดเกรนประมาณ 60 nm และพื้นที่ผิวเท่ากับ 10.88 m<sup>2</sup>/g โดยเฉพาะการโตขึ้นของขนาดผลึกน้อยมาก เมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการแคลไซน์หรืออุณหภูมิการอบผนึก ซึ่งบ่งชี้ว่ามีแนวทางที่จะเตรียมวัสดุแบเรียมอะลูมินेटระดับนาโนได้ นอกจากนั้นวัสดุตัวนี้มีความเสถียรทางความร้อนที่ดี

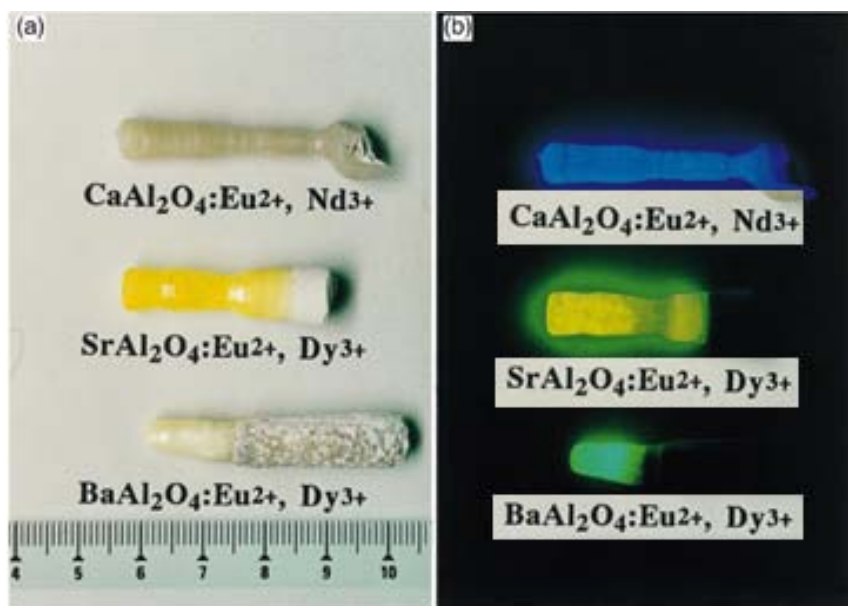
Xing D. และคณะ (2006) สังเคราะห์สารเรืองแสงสีเขียวแอมน้ำเงินจากแบเรียมอะลูมินेटเจือยูโรเปียม (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>) สำหรับพัฒนาการแสดงผลของจอพลาสมา ซึ่งเตรียมด้วยวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่อุณหภูมิสูงโดยใช้สารตั้งต้น BaCO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> บดผสม

ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว เผาที่อุณหภูมิ 1300°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจน น้อยโดยใช้ผงคาร์บอน ระดับนาโนเมตรเป็นตัวดึงออกซิเจน หลังจากนั้นทำการตรวจสอบ ลักษณะเฉพาะพบว่า พบเฟสแบเรียมอะลูมินต ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2  $\mu\text{m}$  เพียงเฟส เดียว สารผลิตภัณฑ์แสดงการปลดปล่อยแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน เมื่อกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต VUV (Vacuum Ultraviolet) จากนั้นนำไปอบอ่อนที่ 400-600 °C และนำไป VUV เป็นเวลา 300 ชั่วโมง สารตัวอย่างยังคงรักษา สภาพการเรืองแสงได้อย่างดีเยี่ยมและมีความเสถียรเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิการให้ความร้อนสูงขึ้นและเวลาในการฉายรังสีมากขึ้น สารตัวอย่างมีช่วงเวลาการสลายตัว (Decay time) 0.721  $\mu\text{s}$  และผลได้เชิงควอนตัม (Quantum yield) สูงถึง  $0.54 \pm 0.02$  ทั้งหมดคือ ลักษณะเฉพาะที่บ่งชี้ว่าสารปลดปล่อยแสงแบเรียมอะลูมินต เจือยูโรเปียม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) มี ศักยภาพที่จะพัฒนาจอแสดงผลพลาสมาได้

Ryu H. และ Bartwal K.S. (2008) ศึกษาลักษณะการเรืองแสงของแบเรียม อะลูมินต เจือยูโรเปียมและ เจือร่วม โครเมียม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Cr}^{3+}$ ) โดยการเปลี่ยนแปลงความ เข้มข้นของสารเจือร่วม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.1mol% และกำหนดความเข้มข้นของ  $\text{Eu}^{2+}$  เท่ากับ 1 mol% ซึ่งเตรียม โดยปฏิกิริยาสถานะของแข็งจากสารตั้งต้น  $\text{BaCO}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Eu}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{O}_3$  และ  $\text{B}_2\text{O}_3$  พบว่าแบเรียมอะลูมินตมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะ โกนอล การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ โครเมียมไม่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างผลึก รูปร่างของผลึกมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีเส้นใยเล็กๆเกาะ อยู่บนผิวหน้าผลึก สมบัติการเรืองแสงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเรืองแสงสีเขียวเมื่อถูกกระตุ้น ด้วยแสง อัลตราไวโอเลต การกระตุ้นและการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Cr}^{3+}$  ที่ความเข้มข้น แตกต่างกัน สเปกตรัมการกระตุ้นจะมีแถบกว้างระหว่างความยาวคลื่น 250-400 nm ส่วนการ ปลดปล่อยพลังงานมีความสมมาตรของแถบพลังงานและมีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 500 nm ทุก ความเข้มข้นของโครเมียม ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพลังงานมากที่สุด คือ 0.05 และ 0.1 mol %Cr ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เจือ  $\text{Cr}^{3+}$  แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เจือ 0.1 mol %Cr จะอยู่ได้ ยาวนานกว่าผลิตภัณฑ์ที่เจือ 0.05 mol %Cr จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการใช้  $\text{Cr}^{3+}$  เป็นสารเจือร่วมทำให้สร้างตำแหน่งว่างในโครงสร้างผลึกได้ลึกมากขึ้นทำให้วัสดุเรืองแสงแบเรียม อะลูมินตมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Katsumata T. และคณะ (1999) ศึกษาการ หลอกผลึกและลักษณะเฉพาะของวัสดุ เรืองแสงแบเรียมอะลูมินต เจือยูโรเปียมและเจือร่วมดิสโพรเซียม( $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ) โดยใช้ผง (4 N)  $\text{SrCO}_3$ , (4 N)  $\text{CaCO}_3$ , (3 N)  $\text{BaCO}_3$ , (4 N)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and (3 N)  $\text{Ln}_2\text{O}_3$  (Ln; Nd, Eu, Dy) เป็นสาร ตั้งต้น นำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปเผาอบผนังที่อุณหภูมิ 1150 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศปกติ ผลึกจะเติบโตโดยอาศัยเครื่องมือการปลูกผลึกแบบเลื่อนโชนผลึก (Floating

zone) พบว่าผลึกวัสดุเรืองแสงแสดงการเรืองแสงภายใต้ความมืดได้ยาวนาน ผลึกมีขนาด โตที่สุด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ยาว 10 mm ภายใต้บรรยากาศ 2.5% H<sub>2</sub>-Ar ผลึก BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> มีสี เหลืองซีดภายใต้แสงที่มองเห็น (Visible light) แต่มีสีเขียวแกมน้ำเงินภายใต้ความมืด (He-Cd laser irradiation) ดังรูปที่ 1.17

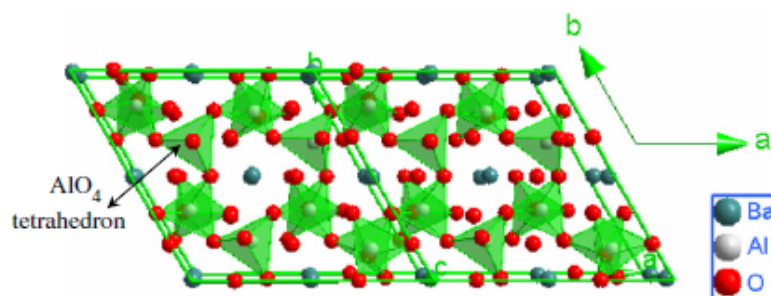


รูปที่ 1.17 สีของผลึก BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> เปรียบเทียบกับผลึกชนิดอื่นๆ a) ผลึกภายใต้แสงที่มองเห็น b) ผลึกภายใต้ความมืด (T. Katsumata et al 1999)

สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของผลึก BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> ซึ่งนำไปเปรียบเทียบกับผลึก SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> และ CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Nd<sup>3+</sup> จุดสูงสุดของสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานมีความยาวคลื่นเท่ากับ 520 nm สำหรับ SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, ความยาวคลื่น 450 nm สำหรับ CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Nd<sup>3+</sup> และความยาวคลื่น 500 nm สำหรับ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> การปลดปล่อยแสงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของ Eu<sup>2+</sup> (5d-4f) การเรืองแสงของผลึกยาวนานกว่า 2 ชั่วโมงหลังจากพ้นภาวะกระตุ้นแล้ว

Peng M. และ Hong G. (2007) ศึกษาการลดรูป Eu<sup>3+</sup> ไปเป็น Eu<sup>2+</sup> และสมบัติการเรืองแสงของวัสดุเรืองแสงแบบเรียวอะลูมิเนียมเต็ญโรเปียม (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu) ที่เตรียมจากปฏิกิริยาของแข็งภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนสูง โดยใช้ BaCO<sub>3</sub>, Al(OH)<sub>3</sub> และ Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4 N) เป็นสารตั้งต้น ปริมาณการเจือ Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เท่ากับ 1 mol% ของ Ba<sup>2+</sup> แล้วนำไปบดผสมในครกบดแล้วไปเผาที่ 1400 °C ในเข้าอะลูมินาเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โครงสร้างผลึกของ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> จัดอยู่ในจำพวกที่มี

โครงสร้างเป็นทรินดิไมต์ (Tridymite) ที่เหมือนกับ โครงสร้างทรินดิไมต์ของเบต้าซิลิกา ( $\beta\text{-SiO}_2$ ) ซึ่งจะเป็นประจุของ  $\text{Al}^{3+}$  แทนประจุ  $\text{Si}^{4+}$  ในโครงสร้างเตตระฮีดรอลของโครงสร้างทรินดิไมต์ Ba จะอยู่ในพื้นที่ช่องขนานกับแกน c ในรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 ภาพฉายของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ตามระนาบผลึก (0 0 1) บนตำแหน่งพื้นฐานของอะตอม (M. Peng and G. Hong 2007)

ที่อุณหภูมิห้อง  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล  $\text{P6}_3$  และมีโครงสร้างที่เกินมา ที่มีหน่วยเซลล์ (Unit Cell Parameter) คือ 2A (10.46 Å) และ C (8.80 Å) เมื่อ A และ C คือ แลตทิซพารามิเตอร์ของเฮกซะโกนอลทรินดิไมต์ ผลที่ได้คือ จากรูปแบบ XRD ซึ่งงานที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลซึ่งตรงกับมาตรฐาน (JCPDS Card no. 17-306) รูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงสูงสุดของ  $\text{Eu}^{3+}$  จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 550-750 nm และมีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 610 nm เนื่องจากการเปลี่ยนไดโพลไฟฟ้าของชั้นพลังงาน D ไป F พบว่าชิ้นงานเปล่งแสงสีเขียวเหลืองภายใต้การกระตุ้นจากหลอดไอปรอท (Hg lamp) มีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 498 nm ซึ่งคาดการณ์ว่าเป็นจุดสูงสุดของการเปล่งแสงที่มาจาก  $\text{Eu}^{2+}$  ในชิ้นงานที่สังเคราะห์ภายใต้บรรยากาศปกติ (Air) และจะมีที่ความยาวคลื่น 500 nm ในชิ้นงานที่สังเคราะห์ภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนน้อย (TCRA) กลไกการลดรูปของยูโรเปียม คือ ไอออนไตรวาเลนซ์ ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ที่เจือใน  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  จะไม่เท่ากันกับการแทนที่ไอออนของ  $\text{Ba}^{2+}$  เพื่อรักษาความสมดุลของประจุ  $\text{Eu}^{3+}$  สองไอออนจะต้องแทนที่  $\text{Ba}^{2+}$  สามไอออน ดังนั้นหนึ่งตำแหน่งว่างของ  $\text{V}''_{\text{Ba}}$  มีสองประจุลบและประจุบวกสองประจุของ  $[\text{Eu}^{3+}]_{\text{Ba}}$  จะถูกสร้างขึ้นด้วยการแทนที่ของทุกๆ  $\text{Eu}^{3+}$  สองไอออนในสารประกอบ ตำแหน่งว่างของ  $\text{V}''_{\text{Ba}}$  จะประพุดตัวเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในขณะที่  $[\text{Eu}^{3+}]_{\text{Ba}}$  สองไอออนกลายมาเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้น ที่อุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนในของ  $\text{V}''_{\text{Ba}}$  จะถูกปลดปล่อยในโฮสต์ (Host) ในเวลาเดียวกันการเคลื่อนย้ายของข้อบกพร่องใน

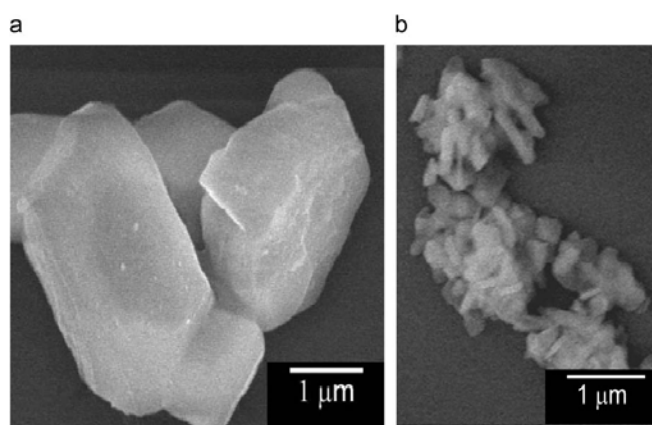
ไอศต์  $[Eu^{3+}]_{Ba}$  จะมีนัยมากกว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเพิ่มโอกาสการพบกันระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับข้อบกพร่อง  $[Eu^{3+}]_{Ba}$  เมื่อหนึ่งอิเล็กตรอนพบกับหนึ่งข้อบกพร่อง  $[Eu^{3+}]_{Ba}$  อิเล็กตรอนจะถูกจับไว้โดย  $[Eu^{3+}]_{Ba}$  จากนั้นจะถูกเติมในชั้นออร์บิทัล 4f ของ  $Eu^{3+}$  ซึ่งเป็นผลให้เกิดการลดรูปของ  $Eu^{3+}$  ไปเป็น  $Eu^{2+}$

Stefani R. และคณะ (2009) ทำการทดลองและศึกษาสมบัติการเรืองแสงของแบเรียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรโรเปียมและเจอร์มาเนียมดีสโพรเซียม ( $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ ) โดยเตรียมจากวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็งระหว่างอุณหภูมิ 700-1500 °C และความเข้มข้นของสารเจือแตกต่างกันใน mol% ของแบเรียม ( $Eu^{2+}/Dy^{3+}$ : 0.50/0.50, 0.25/0.25, 0.25/0.50, 0.10/0.10, 1.0/2.8 และ 1.0/2.0 จากสารตั้งต้น  $Ba(NO_3)_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  และ  $Dy(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  พบว่าที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปในการสลายตัวของ  $Ba(NO_3)_2$  และที่อุณหภูมิ 700 °C พบเฟสของ  $BaAl_2O_4$  ที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิการสังเคราะห์ก็จะยิ่งพบเฟสของ  $BaAl_2O_4$  มากยิ่งขึ้นสมบัติการเรืองแสงพบว่ามียูดับ 2 จุด คือที่ความยาวคลื่น 435 และ 500 nm เนื่องจากโครงสร้างผลึกมีพื้นที่ของ  $Ba^{2+}$  สองพื้นที่ ความเข้มแสงของการปลดปล่อยพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเจือและสารเจือรวมเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาการสลายตัวของสารเรืองแสงมีค่ายาวนานมากขึ้นกว่าผลิตภัณฑ์เรืองแสงเดิม(ไม่มีการเจือรวม)

Chang H. และคณะ (2005) สังเคราะห์อนุภาคสารเรืองแสงสีน้ำเงินแบเรียมแมกนีเซียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรโรเปียม ( $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ , (BAM:Eu)) โดยวิธีการเผาด้วยละอองเปลวไฟ กำหนดความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.3 M สำหรับทุกๆการทดลองและความเข้มข้นของยูโรเปียมจะทำการปรับเปลี่ยนจาก 3-14 % ขึ้นกับแบเรียม พบว่าสารผลิตภัณฑ์แสดงการเรืองแสงสีน้ำเงิน นั้นแสดงให้เห็นว่าเนื้อชิ้นงานเป็นเฟสของ BAM สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงเป็นแถบกว้างและมีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 450 nm ค่าที่เหมาะสมในการเจือ คือ 12 %Eu ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงสุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุเรืองแสงในทางการค้าแล้วปรากฏว่า มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและรูปร่างดีกว่า ซึ่งขนาดอนุภาคของทางการค้ามีขนาดประมาณ 3  $\mu m$  มีรูปร่างไม่แน่นอน ส่วนอนุภาคที่สังเคราะห์จากวิธีการเผาด้วยละอองเปลวไฟมีขนาดเล็กกว่า 1  $\mu m$  มีรูปร่างค่อนข้างกลม ความเข้มแสงของวัสดุเรืองแสงหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 1400 °C จะมีค่าสูงกว่าวัสดุเรืองแสงหลังการสังเคราะห์และมีค่าสูงเป็น 85% เมื่อเทียบกับวัสดุเรืองแสงในทางการค้า

Won C.W. และคณะ (2010) สังเคราะห์วัสดุเรืองแสงสีน้ำเงินแบเรียมแมกนีเซียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรโรเปียม ( $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ , BAM) ที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน โดยวิธีปฏิกิริยาคายความร้อนอย่างรวดเร็ว และศึกษาสมบัติการเรืองแสงของวัสดุ พบว่าจะพบเฟส BAM เพียงเฟสเดียวก็ต่อเมื่อความเข้มข้นของสารตัวเติม ( $KClO_3$ ) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.0 mol ถ้าต่ำกว่านั้นเฟส

ระหว่างปฏิกิริยา (Intermediate Phase) เช่น  $BaAlO_2$  จะก่อรูปขึ้นในผลิตภัณฑ์ ผงตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีขนาดอนุภาคเล็กมากขนาดเล็กกว่าไมครอนและ มีการกระจาย ของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงแคบ ขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 100-500 nm ในขณะที่ผงจากการค้ามีขนาดอนุภาคใหญ่ประมาณ 1-3  $\mu m$  และขนาดเกรนไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 1400 °C ภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน นั้นแสดงถึงความเสถียรทางความร้อนและความเป็นผลึกสูง ดังแสดงในรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 รูปร่างอนุภาคของผง BAM a) ผงทางการค้า (Kasei optonics) b) ผงที่สังเคราะห์ด้วยวิธีวิธีการปฏิกิริยาความร้อนอย่างรวดเร็ว (C.W. Won et al 2010)

ความสัมพันธ์ของสเปกตรัมการปลดปล่อย แสงของ BAM ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อน มีค่าเพียง 84% เมื่อเทียบกับผงจากการค้า แต่หลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้ว สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ BAM ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้เพิ่มขึ้นเป็น 105% เมื่อเทียบกับผงจากการค้า จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า ผง BAM ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการปฏิกิริยาความร้อนอย่างรวดเร็วแสดงให้เห็นว่ามีสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานสูงและมีแนวโน้มในการผลิตวัสดุเรืองแสงสีน้ำเงินสำหรับ การพัฒนาการแสดงผลของจอพลาสมาและอุปกรณ์เรืองแสงอื่นๆ

Zhang D. และคณะ (2010) ทำการสังเคราะห์แบเรียมไทโออะลูมิเนียมเตเจอร์โรเปียมด้วยวิธีการอบผนึกและการตกสะสมของฟิล์มบางด้วยวิธีสปีเตอร์ริงที่ใช้ความถี่วิทยุ พบว่าได้สารประกอบหลักในระบบ Ba-Al-S ของวัสดุฐานคือแบเรียมเตตระอะลูมิเนียมซัลไฟด์ ( $BaAl_4S_7$ ) แม้ว่าการรายงานจะแสดงว่าเกิดการก่อตัวของ  $BaAl_4S_4$  ที่ 800°C และ  $BaS \cdot Al_2S_3$  ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอาจจะหายไปเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 800 – 1000 °C แต่ก็ไม่มีหลักฐานพิสูจน์การหายไปของ

สารประกอบสองชนิดนี้ ออกซิเจนเป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิดแบเรียมอะลูมินेट ( $BaAl_2O_4$ ) จุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงาน คือ 470 nm เมื่อความยาวคลื่นของการกระตุ้นอัลตราไวโอเล็ตเป็น 200, 300 และ 320 nm ตามลำดับ ส่วนฟิล์มบางของ  $Ba-Al-S:Eu$  สามารถสังเคราะห์ได้สำเร็จ สารประกอบในฟิล์มบางเป็นโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกของ  $BaAl_4S_7:Eu$  และสิ่งเจือปน  $BaSO_4$  และ  $BaAl_4S_7$  มีผลต่อสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนส์ของฟิล์ม  $BaS$  เป็นสิ่งเจือปนอีกตัวหนึ่งที่อยู่ในฟิล์ม แต่ในส่วนนี้  $BaS$  ไม่มีผลกระทบต่อการก่อเกิดของชั้นการเรืองแสงสีน้ำเงิน  $BaAl_4S_7$  ทำให้จุดสูงสุดของการปลดปล่อยแสงสีน้ำเงินคาดเคลื่อนและครอบคลุมจุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานโฟโตลูมิเนสเซนส์ของ  $BaAl_4S_7:Eu$  ออกซิเจนที่เป็นสิ่งเจือปนนั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกระบวนการสังเคราะห์ นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันของฟิล์ม คือ  $BaSO_4$  แทนที่จะเป็น  $BaAl_2O_4$  ซึ่งทำให้จุดสูงสุดของการปลดปล่อยแสงสีน้ำเงินเลื่อนไปอยู่ที่ ความยาวคลื่น 415.2 nm

Tanaka S. (2000) และคณะได้ทำการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงสีน้ำเงินแคลเซียมอะลูมินेटเจือยูโรเปียม ( $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ) สำหรับการพัฒนาการแสดงผลของจอพลาสมาโดยเตรียมจากการเผาสองขั้นตอน ผลที่ได้คือ ในการเผาขั้นต้นที่  $1500^\circ C$  พบว่าเกิดเฟสอื่นๆในระบบ  $CaO-Al_2O_3$  เช่น  $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$  (C12A7)  $CaAl_4O_7$  (CA2) เพื่อที่จะกำจัดเฟสอื่นออกไปต้องนำไปเผาสองขั้นตอนโดยเผาที่  $1100^\circ C$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำไปอบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่กำจัดเฟสอื่นออกอย่างสมบูรณ์แล้วนี้จะนำมาเผาใหม่ที่  $1300^\circ C$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและ  $1500^\circ C$  เป็นเวลา 30 นาที สารตัวอย่าง  $BaMgAl_{10}O_7$  (BAM):  $Eu^{2+}$  มีปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 440 nm แสดงการเรืองแสงในช่วงสีน้ำเงิน สารตัวอย่าง  $Ca:Eu^{2+}$  มีความเข้มแสงในการปลดปล่อยพลังงานสูงสุดเป็น 50% ของ BAM ดังนั้นคาดว่าวัสดุเรืองแสง  $Ca:Eu^{2+}$  สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับจอพลาสมาได้เพราะว่ามีความต้านทานการเสื่อมสภาพโดยความร้อนมากกว่าเมื่อเทียบกับ BAM ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มแสงเพียง 50% ของ BAM

Yuanhua L. (2002) และคณะทำการศึกษาผลกระทบของสารเจือปนที่แตกต่างกันของวัสดุเรืองแสงแคลเซียมอะลูมินेट ( $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $RE^{3+}$  RE: Dy, Nd, La) โดยการเตรียมจากการเผาอบหนักที่อุณหภูมิสูง ผลที่ได้คือ พบเฟสบริสุทธิ์ของ  $CaAl_2O_4$  และทุกตัวอย่างมีการปลดปล่อยแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 440 nm ความเข้มแสงของ  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Nd^{3+}$  มีค่ามากกว่า  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  และ  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $La^{3+}$  เนื่องจาก  $Nd^{3+}$  สามารถถ่ายโอนการดูดกลืนพลังงานไปสู่ตัวปลดปล่อยแสง  $Eu^{2+}$  อย่างมีประสิทธิภาพและระดับกับดัก (trap level) ของ  $Nd^{3+}$  มีความเหมาะสมกว่าอีกสองสาร การเรืองแสงที่นานกว่า 10 ชั่วโมงของวัสดุพบว่า วัสดุ  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,

$\text{Nd}^{3+}$  มีความเข้มแสงมากกว่า  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  และ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{La}^{3+}$  ดังนั้น สารเจือร่วมนีโอติเมียม (Nd) มีความเหมาะสมในการเจือที่สุด

Chengkang C. (2006) และคณะได้ทำการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงแคลเซียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรเฟอโรเปียมและเจือร่วมนีโอติเมียม ( $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ) โดยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยนำผงที่เตรียมได้จากวิธีนี้ไปเปรียบเทียบกับผงผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาของแข็ง ผลที่ได้คือ เมื่อนำผงที่ได้จากการตกตะกอนร่วมไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C และ 1050 °C จะพบเฟสอื่น ( $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ ) ที่เป็นเฟสระหว่างปฏิกิริยาของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  แต่ที่อุณหภูมิ 1150 °C จะพบเฟส  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  เพียงอย่างเดียว โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่เตรียมมีการเกาะตัวกันอย่างแน่นและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20-30 nm เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 960 °C มีขนาดอนุภาค 70-80 nm ที่อุณหภูมิ 1150 °C มีขนาดอนุภาค 300 nm ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากวิธีปฏิกิริยาของแข็ง โดยปกติจะมีขนาดอนุภาคประมาณ 10-20  $\mu\text{m}$  ผงผลิตภัณฑ์จะปลดปล่อยแสงในช่วงสีน้ำเงินเมื่อได้รับแสง UV ผงจากวิธีการตกตะกอนร่วมจะมีการปลดปล่อยแสงสูงสุดมีความยาวคลื่น 423 nm และผงจากวิธีปฏิกิริยาของแข็งปลดปล่อยแสงสูงสุดมีความยาวคลื่น 436 nm การลดลงของประจุของผงจากวิธีการตกตะกอนร่วมมีค่าความเข้มแสงเริ่มต้นน้อยกว่าผงจากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง

Zhao C. และ Chen D. (2007) ทำการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงแคลเซียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรเฟอโรเปียมและเจือร่วมนีโอติเมียม ( $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ) โดยวิธีการเผาไหม้และศึกษาสมบัติทางแสง ผลที่ได้คือ พบเฟสโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  ที่อุณหภูมิการสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 400 °C เมื่ออุณหภูมิการเผาอบผนึกเพิ่มขึ้นเฟสโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกจะเพิ่มขึ้นและคงที่ที่ 500 °C มีการปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 440 nm และความเข้มขึ้นของสารเจือที่ทำให้ความเข้มแสงสูงสุดคือ  $\text{Eu}^{2+}0.01\text{mol}\%$  และ  $\text{Nd}^{3+}0.01\text{mol}\%$  เมื่อนำวัสดุไปกระตุ้นด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 15 นาทีและเมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงออก ความเข้มแสงของวัสดุจะลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่ ความเร็วในการลดลงของประจุเมื่อค่าของ Eu/Nd เท่ากับ  $\frac{1}{2}$  จะทำให้ความเร็วในการลดลงช้าลงและเมื่อ  $\text{Nd}^{3+}$  น้อยเกินไปก็จะมีโครงสร้างกับดักในเมททริกซ์ไม่เพียงพอแต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ความเข้มแสงลดลง เมื่อกำหนดความเข้มขึ้น  $\text{Eu}^{2+}$  เท่ากัน ถ้าเพิ่มความเข้มขึ้นของ  $\text{Nd}^{3+}$  กับดักและหลุมก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจะทำให้เกิดการเรืองแสงที่ยาวนานขึ้น

Tainyou P. (2003) และคณะทำการสังเคราะห์สตรอนเทียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรเฟอโรเปียมและเจือร่วมดิสโพรเซียม ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ) ระดับนาโนเมตร โดยการเผาไหม้โดยใช้สารละลายไกลซีนไนเตรตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่เตรียมจากปฏิกิริยาของแข็ง ผลที่ได้คือ วัสดุมีเฟสโครงสร้างแบบโมโนคลินิกของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  ผิวหน้าของวัสดุมีรอยแตก รูพรุน และช่องว่าง

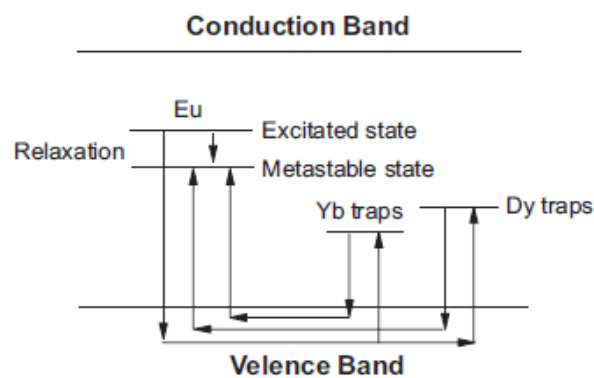


จำนวนมากเนื่องจากการปลดปล่อยของแก๊สในระหว่างการเผาไหม้ ผงวัสดุมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีการเกาะกลุ่มกันด้วยขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5-30 nm เมื่อนำไปติดออกซิไดซ์ขนาดเกรนจะเพิ่มขึ้น 15-45 nm และมีการเกาะกลุ่มรวมตัวกันอย่างแน่นและเกิดคอคอดระหว่างอนุภาค ค่าความเข้มแสงการปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 513 nm และความเข้มแสงในการลดลงของประจุมิต่ำต่ำกว่าวัสดุจากปฏิกิริยาของแข็ง เนื่องจากการนำวัสดุไปติดออกซิไดซ์ทำให้ข้อบกพร่องในกาย การบิดเบี้ยวของผลึกลดลงทำให้ระดับกับดักตื้นกว่าวัสดุจากปฏิกิริยาของแข็ง

Wu Z.C. (2006) และคณะ ได้ทำการเตรียมวัสดุเรืองแสงสตรอนเทียมอะลูมิเนียมเจือยูโรเปียม ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) และศึกษาสมบัติการเรืองแสงสำหรับไอโอดเปล่งแสง (LEDs) ศึกษาด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็งแล้วนำวัสดุเรืองแสงที่ได้ไปผสมเรซิน ครอบป็นชิปอินเดียมแกเลียมไนไตรด์ (InGaN chip) แล้วบ่มที่ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ในทุกความเข้มข้นของการเจือยูโรเปียมพบว่าเกิดเฟส  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  เพียงอย่างเดียว โดยมีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีเกรนละเอียดขนาดเฉลี่ย 7-8  $\mu\text{m}$  ผงวัสดุจะปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 516 nm ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเจือที่ความเข้มข้นมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง ค่าความเข้มข้นของการเจือที่ดีที่สุดคือ 6 mol% และเมื่อนำไปรวมกับ LED การปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 516 nm และที่ 614 nm ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของยูโรเปียม และที่ 397 nm เป็นของอินเดียมแกเลียมไนไตรด์ ดังนั้น  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  จึงเป็นวัสดุเรืองแสงที่ดีสำหรับใช้พัฒนา LED

Xiao L. (2009) และคณะทำการศึกษาผลของกระบวนการผสมสารตั้งต้นที่ส่งผลต่อการเรืองแสงของสตรอนเทียมอะลูมิเนียมเจือยูโรเปียมและเจือร่วมดิสโพรเซียม ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ dry-mixing (บดผงสารตั้งต้นด้วยเครื่องบด 30 นาที) wet-mixing (ผสมสารตั้งต้นแบบเปียกแล้วนำไปบด 30 นาทีแล้วทำให้แห้ง) new-mixing (บด 30 นาทีแล้วผสมแบบเปียก โดยเติม Deionized water ระหว่างการปั่นกวน 10 นาทีแล้วทำให้แห้งที่ 150 °C) ผลที่ได้คือ วิธีที่ 1 ผงมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มรวมตัวกันอย่างหนาแน่น วิธีที่ 2 มีขนาดอนุภาค 1.5  $\mu\text{m}$  และ วิธีที่ 3 มีขนาดอนุภาค 4  $\mu\text{m}$  ผงมีการกระจายอนุภาคที่ดีและมีรูพรุนจำนวนมากระหว่างอนุภาค วิธีที่ 1 และ 3 มีการกระจายของเฟสของผลึกที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิกของสตรอนเทียมอะลูมิเนียมเหมือนกันแต่วิธีที่ 2 จะเกิดเฟสอื่น ( $\text{SrAl}_4\text{O}_7$  และ  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ ) ที่เป็นเฟสระหว่างปฏิกิริยาของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  จำนวนมาก ผงวัสดุจะปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 514 nm ซึ่งอยู่ในช่วงแสงสีเขียว ผงจากวิธีที่ 3 จะเปล่งแสงและมีช่วงเวลากการสลายตัวการเรืองแสงดีที่สุดเนื่องจากการกระจาย โครงสร้างจุลภาคและขนาดอนุภาคดี และเฟสมีความบริสุทธิ์สูง

Chen R. (2008) และคณะทำการทดลองการปรับเปลี่ยนสมบัติการเรืองแสงของ สตรอนเทียมอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรฟอสเฟตและเจอร์มาเนียม (SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup>) ด้วยการโคปิตเตอร์เบียม (Yb<sup>3+</sup>) พบว่าถ้าจะสังเคราะห์โดยการเผาไหม้ผงที่ได้คือ การเจือ Yb<sup>3+</sup> ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 0.01 mol พบว่าเกิดเฟส SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> เพียงเฟสเดียวแต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.01 mol จะเกิดเฟสอื่น (YbAlO<sub>3</sub>) และขนาดเกรนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนักประมาณ 34 nm มีการปลดปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 513 nm เมื่อการเจือ Yb<sup>3+</sup> เพิ่มขึ้นความเข้มแสงของวัสดุจะมีค่ามากขึ้นด้วยและช่วงเวลาสลายตัวการเรืองแสงจะมีค่าน้อยลงเนื่องจากระดับกับดักของ Yb<sup>3+</sup> จะน้อยกว่า Dy<sup>3+</sup> และถูกกระตุ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องจึงทำให้เกิดการลดลงของประจวบอย่างรวดเร็วและค่าความเข้มข้นของการเจือที่ดีที่สุดคือ 0.01 mol

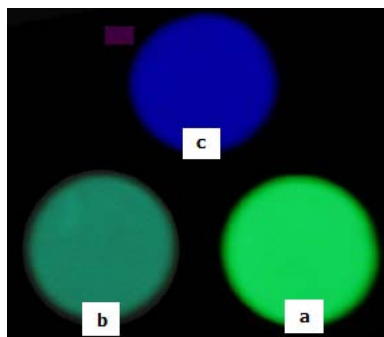


รูปที่ 1.20 ภาพกลไกการเรืองแสงของวัสดุ SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> (R. Chen et al 2007)

Eu<sup>2+</sup> จะเป็นตัวกลางในการปลดปล่อยแสง Dy<sup>3+</sup> มีระดับกับดักที่ลึกและ Yb<sup>3+</sup> จะมีระดับกับดักที่ตื้น เมื่อเริ่มกระตุ้นวัสดุเรืองแสงด้วยแสง UV ก็เป็นการกระตุ้นชั้นพลังงานของ Eu<sup>2+</sup> โดยตรงซึ่งจะเกิดโฮล (Hole) มากมาย บางโฮลที่ว่างก็จะปลดปล่อยความร้อนลงไปสู่ชั้นวาเลนซ์ ในระหว่างนั้นส่วนที่ปลดปล่อยจะผ่านวาเลนซ์และโดนจับด้วยประจุ Dy<sup>3+</sup> และ Yb<sup>3+</sup> เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงออก ประจุ Eu<sup>1+</sup> ที่ถูกกระตุ้นจะคืนสู่สภาพกึ่งเสถียร หลุมกับดักจะปลดปล่อยความร้อนสู่วาเลนซ์และย้ายไปรวมกับอิเล็กตรอนที่เกินมาในสถานะกึ่งเสถียร (Eu<sup>2+</sup>) นำไปสู่การเรืองแสงที่ยาวนาน

Zifeng Q. และคณะ (2007) สังเคราะห์อนุภาคโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมระดับนาโน (MAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, R<sup>3+</sup>) โดยใช้สารเจือ คือ ยูโรเปียมและธาตุหายากในการเจือร่วม โดยที่ M คือ Sr, Ba และ Ca; R คือ Dy, Nd และ La ที่มีความเข้มในการส่องสว่างและยาวนาน ด้วยวิธีการ

สังเคราะห์แบบเผาไหม้ ที่ใช้ยูเรียเป็นเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 600 °C โดยไม่ทำการอบอ่อนหลังจากสังเคราะห์ในครั้งแรก ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$  และ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{La}^{3+}$  พบเฟสของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก (JCPDS 74-0794) เฟสของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (JCPDS 73-0202) และเฟสของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างผลึกแบบอโรทอมบิก (JCPDS 34-0440) แสดงให้เห็นว่ามีความบริสุทธิ์และเป็นผลึกสูง การเจือสารเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อโครงสร้างผลึก ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 31, 20 และ 44 nm ตามลำดับ สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  มีความยาวคลื่นเท่ากับ 370 nm จากภาวะกระตุ้น สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$  มีความยาวคลื่นเท่ากับ 350 nm จากภาวะกระตุ้น และสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{La}^{3+}$  มีความยาวคลื่นเท่ากับ 336 nm จากภาวะกระตุ้น จุดสูงสุดของสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานลูมิเนสเซนส์เคลื่อนที่ไปเล็กน้อยคือ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ความยาวคลื่นเท่ากับ 516 nm  $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$  ความยาวคลื่นเท่ากับ 440 nm และ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{La}^{3+}$  ความยาวคลื่นเท่ากับ 500 nm สีของการเรืองแสงของอนุภาคแต่ละชนิด ดังนี้ สีเขียวแกมเหลือง สีเขียวแกมน้ำเงิน และสีน้ำเงินแกมม่วง ตามลำดับซึ่งนี้คือปรากฏการณ์จากการเปลี่ยนเมทริกของโครงสร้างผลึก



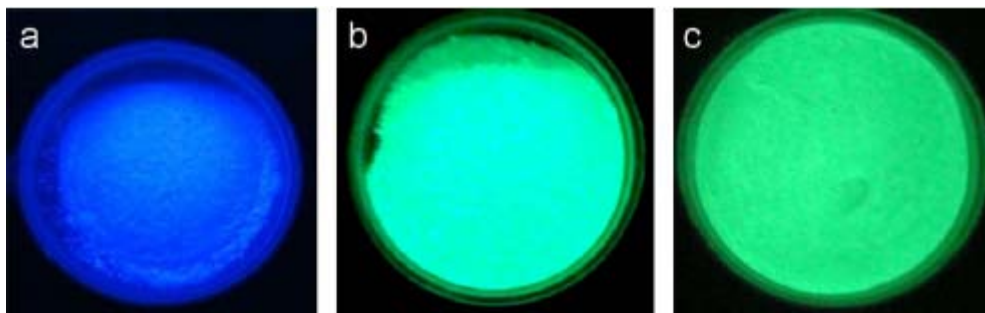
**รูปที่ 1.21** สีของการเรืองแสงของอนุภาคระดับนาโน a)  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  b)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$  c)  $\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{La}^{3+}$  (Q. Zifeng et al 2007)

ในกรณีนี้  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างผลึกแบบอโรทอมบิกและแบบโมโนคลินิก ซึ่งมีช่องว่างที่เหมาะสมทำให้สามารถคงสภาพการเรืองแสงได้ยาวนาน ส่วน  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลจะสร้างช่องว่างที่แคบทำให้เวลาในการลดลงของประจุนั้นสั้น

Vijay S. และคณะ (2007) ศึกษาและเตรียมวัสดุเรืองแสงแบบริยวมอะลูมิเนียมเตเจียูโรเปียม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}$ ) และซิงค์อะลูมิเนียมเตเจียูโรเปียม ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{3+}$ ) ด้วยวิธีวิธีการเผาไหม้โดยใช้

ยูเรียเป็นเชื้อเพลิง ตรวจสอบข้อมูลของสารประกอบ  $Ba_{0.99}Eu_{0.01}Al_2O_4$  (JCPDS, 71-1323) ตรงกันกับตัวอ้างอิง มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล สารประกอบ  $Zn_{0.99}Eu_{0.01}Al_2O_4$  (JCPDS, 82-1043) มีโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกและไม่พบสารประกอบและสิ่งเจือปนอื่นใด  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$  จะเรืองแสงในช่วงสีน้ำเงินหรือเขียว และมีจุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่น 439 nm ส่วน  $ZnAl_2O_4:Eu^{3+}$  เรืองแสงสีแดงและมีจุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่น 613 nm ตำแหน่งของจุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานระหว่าง  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$  และ  $ZnAl_2O_4:Eu^{3+}$  พิจารณาจากโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันของ เมทริก สเตปคริมจาก EPR (Electron Paramagnetic Resonance) ระบุว่าสเตปคริมของ  $BaAl_2O_4:Eu$  แสดง  $Eu^{2+}$  ที่ตำแหน่งสมมาตร แต่สเตปคริมของ  $ZnAl_2O_4:Eu$  ไม่มีสัญญาณระบุว่าแสดง  $Eu^{2+}$  แต่สเตปคริมของโฟโตลูมิเนสเซนส์แสดง  $Eu^{3+}$  ให้เห็นที่ตำแหน่งสมมาตร ดังนั้นการสังเคราะห์นี้ทำให้ได้วัสดุเรืองแสงทั้งสีเขียวแกมน้ำเงินและสีแดงของ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$  และ  $ZnAl_2O_4:Eu^{3+}$  ตามลำดับ อนุภาค ที่ได้มีรูปร่างเป็นแผ่นเหลี่ยมเนื่องจากยูเรียทำให้เกรนโต

Mothudi B.M. และคณะ (2009) สังเคราะห์แบเรียมอะลูมินิต แคลเซียมอะลูมินิต สตรอนเทียมอะลูมินิต เจือยูโรเปียมและเจือร่วมดิสโพรเซียม และศึกษาโครงสร้างผลึก อิทธิพลของวัสดุฐานที่ส่งผลต่อสมบัติการเรืองแสง โดยวิธีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 500 °C โดยใช้ยูเรียเป็นเชื้อเพลิง หลังการสังเคราะห์ พบโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลีนิกของ  $CaAl_2O_4$  (JCPDS: 70-0134) และเฟสอื่นๆและสิ่งเจือปนที่ก่อตัวในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ พบโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลของ  $BaAl_2O_4$  (JCPDS: 17-0306) และโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลีนิกของ  $SrAl_2O_4$  (JCPDS: 34-379) ผิวหน้าของผงตัวอย่างแสดงให้เห็นช่องว่างและรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากแก๊สภายในพยายามหนีออกมาในระหว่างกระบวนการ อนุภาคเรียงตัวไม่เป็นระเบียบมีรูปร่างไม่แน่นอน แถบสเตปคริมการปลดปล่อยพลังงานการเรืองแสงของ  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  มีช่วงแคบและสมมาตรมีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 449 nm แถบสเตปคริมการปลดปล่อยพลังงานการเรืองแสงของ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  มีจุดหลักที่ความยาวคลื่น 450 nm และที่ความยาวคลื่น 500 nm แถบสเตปคริมการปลดปล่อยพลังงานการเรืองแสงของ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  สมมาตร จุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 528 nm ผงตัวอย่างหลังจากถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตจะเรืองแสงสีดังนี้  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  เรืองแสงสีน้ำเงินแกมม่วง  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  เรืองแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน และ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  เรืองแสงสีเขียว



รูปที่ 1.22 สีของการเรืองแสงของผงตัวอย่าง a)  $\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  b)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  c)  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  (B.M. Mothudi et al 2009)

#### 1.4 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปวัสดุผสมที่มีส่วนประกอบระหว่าง วัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอนกับ โลหะออกไซด์ อื่น ๆ จะประกอบไปด้วยวัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอนอย่างน้อย หนึ่งชนิด ดังตัวอย่างเช่น  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{BaZrO}_3$ ,  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{ZrO}_3$ ,  $\text{Ba}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ ,  $\text{BaCeO}_3$ ,  $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{Y}_2\text{O}_4$  และ  $\text{BaTiO}_3\text{-MgO}$  ซึ่งถูกเผยแพร่ในสิทธิบัตรของ Vivek และคณะ 1998 หรือสิทธิบัตร ของ Rooksby 1954 ซึ่งใช้  $\text{Ba}_2\text{TiO}_4$  เป็นวัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอน รวมทั้งสิทธิบัตร ของ Paul และคณะ 1960 ซึ่งใช้  $\text{BaAl}_2\text{O}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ba}$  เป็นวัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอน ในปีค.ศ. 1994 Yoshihiko Mueayama และคณะได้ขอทำการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับการสังเคราะห์โลหะอะลูมิเนียม (  $\text{MAl}_2\text{O}_4: \text{R}^+$  ) โดยที่ M คือ สตรอนเทียม (Sr) แคลเซียม (Ca) แบเรียม (Ba)  $\text{R}^+$  คือ  $\text{Eu}^{2+}$   $\text{Dy}^{3+}$   $\text{Nd}^{3+}$  ด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูงโดยใช้เตาไฟฟ้า ผลที่ได้ คือ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างแบบสปิเนล จุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่น 520 nm แสงที่เปล่งออกมาเป็นช่วงสีเขียว  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  มีโครงสร้างแบบ โมโนคลินิก จุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่น 442 nm แสงที่เปล่งออกมาเป็นช่วงสีน้ำเงิน  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  และมีจุดสูงสุดของการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่น 500 nm แสงที่เปล่งออกมาเป็นสีเขียว ซึ่งสังเคราะห์มาใช้แทนพวกโลหะซัลไฟด์ที่ไม่เสถียรทางเคมีและเสื่อมสภาพเร็ว รวมทั้งสิทธิบัตรของ Peter และคณะ 2006 เกี่ยวกับอุปกรณ์ปลดปล่อยแสงรวมไปถึงการใช้  $\text{Eu}^{2+}$  เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา ปีค.ศ.1998 Alok Mani Srivastava และคณะขอขึ้นจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับวัสดุเรืองแสงและแหล่งกำเนิดแสงที่สังเคราะห์จาก  $\text{Ba}_2\text{SiO}_4: \text{Eu}^{2+}$   $\text{Ba}_2\text{MgSiO}_7: \text{Eu}^{2+}$   $\text{Ba}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7: \text{Eu}^{2+}$   $\text{BaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}$   $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_{27}: \text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$  ซึ่งประกอบด้วยแสงสีเขียว แดง และน้ำเงิน ที่มีความส่องสว่างสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปสร้างและพัฒนาสารปลดปล่อยแสงกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting Diodes, LEDs) เลเซอร์กึ่งตัวนำ (Semiconductor Lasers) หรือสิทธิบัตรของ

Srivastava และคณะ 2001) รวมทั้งสิทธิบัตรของ Antoinette และคณะ 2008 ต่อมา Mark J. Hampden-Smith และคณะทำการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับผงวัสดุเปล่งแสง วิธีการสังเคราะห์ผงวัสดุ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเครือบริษัทของเขา วิธีที่ใช้ในการผลิต คือ การพ่นละอองผง ซึ่งขนาดอนุภาคมีขนาดเล็ก การกระจายของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงแคบๆ มีความบริสุทธิ์สูง มีเป็นเป็นผลึกสูงและรูปร่างค่อนข้างกลมทำให้สมบัติการเปล่งแสงดีขึ้นและสามารถเพิ่มอายุการใช้งาน สามารถปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น จอ แสดงภาพทั้งแบบ Flat Panel Display และ Plasma Display

จากสิทธิบัตรที่ได้ทบทวนมาในข้างต้น พบว่า ผู้ขอจดสิทธิบัตรสำหรับกระบวนการหรือวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสง ทั้งแบบที่ใช้ผงเป็นวัตถุดิบตั้งต้นและสารตัวเติม อย่างไรก็ตามยังไม่มีส่วนที่ซ้ำกับงานวิจัยที่จะนำเสนอ ในวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้พอที่จะสรุปในเบื้องต้นได้ว่า งานวิจัยนี้มีศักยภาพในการยื่นขอจดสิทธิบัตรได้ ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์อย่างแพร่หลายแก่อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ทางกรรมขนส่งต่างๆ ซึ่ง จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เพิ่มอายุการใช้งานและประหยัดพลังงาน

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการหาสภาวะหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรฟอสเฟต จากสารตั้งต้น  $MO_2$  (M=Ba, Ca, Sr)- $Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$  ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ตรวจสอบลักษณะ โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พิสูจน์ทราบเฟสที่ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD) และทดสอบสมบัติเชิงแสงของสารเรืองแสงที่สังเคราะห์และผลิตได้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุเรืองแสง ชนิดอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรฟอสเฟต ได้ด้วยกระบวนการ ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิ สูงจากวัสดุผง (Self-propagating high temperature synthesis: SHS)

1.6.2 ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารตั้งต้นและทราบสภาวะเหมาะสมของตัวแปรต่างๆ

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาเกี่ยวกับการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงที่ใช้งานทางด้านอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้

1.6.4 สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ในอนาคต

## 1.7 สถานที่ทำการวิจัย

1.7.1 ห้องปฏิบัติการวิจัย กลุ่มวิศวกรรมเซรามิกและวัสดุผสม สถาบันวิจัยวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7.2 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7.3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## บทที่ 2

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียม เจือสารยูโรเปียมโดยวิธีปฏิบัติการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง รวมถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของสารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจือสารยูโรเปียมโดยวิธีปฏิบัติการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1 ถึง 2.4

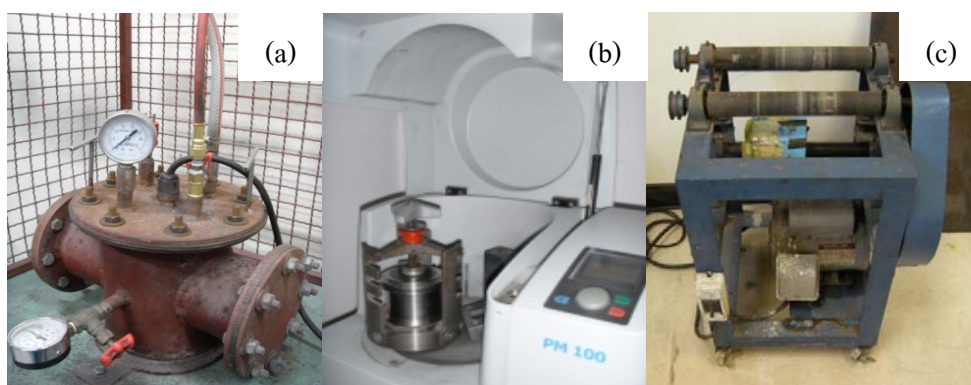
ตารางที่ 2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ	แบบ/รุ่น
Electronic Balance	Pioneer	P4214
Beaker	Pyrex	250 ml
Cylinder	Pyrex	100 ml
Magnetic Bar	-	-
Hotplate-stirrer	LMS	HTS-1003
Filter paper	Whatman	Circles 125 mm $\phi$
Two Roll Ball Mill Machine	Constructed by Dr.Wiriya Thongruang	-
Uniaxial Press	Herzog	TP 20 P
SHS Reactor	Constructed by Dr.Sutham Niyomwas	-

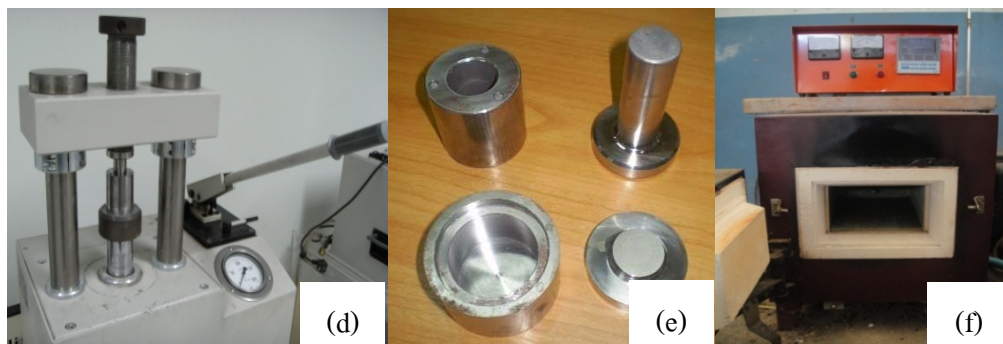


ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

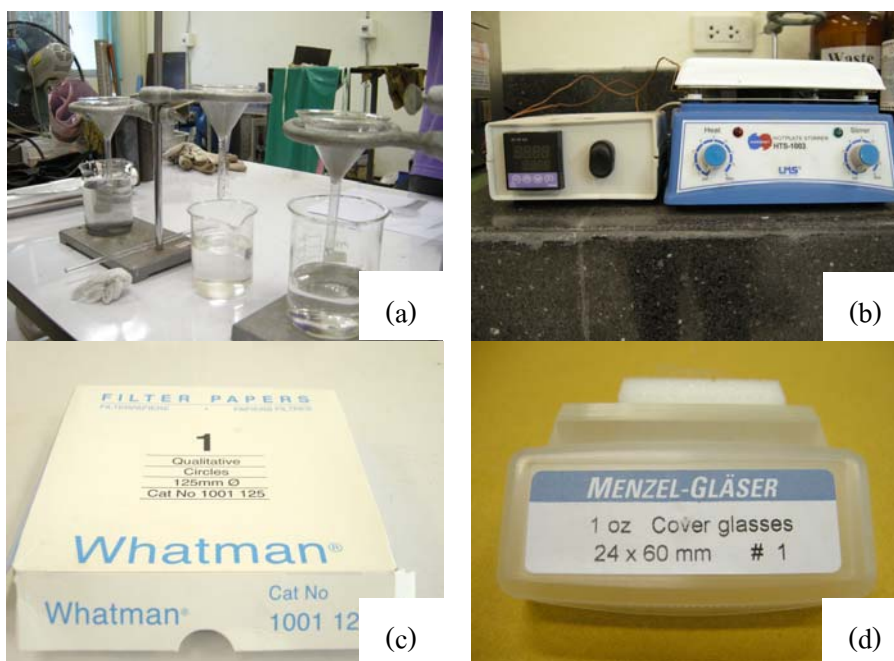
เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ	แบบ/รุ่น
Microscope Slides	Sail Brand	25.4×76.2 (1"×3") 1mm-1.2mm Thick
Cover Glasses	Menzel-Glaser	24×60 mm
X-Ray Diffractometer (XRD)	Philips	X'Pert MPD
Scanning Electron Microscope (SEM) With Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX)	JEOL,FEI Oxford	JSM-5800 LV,QUANTA 400 ISIS 300
Blacklight blue lamp	Santory	F10T8BLB 10 Watt
Fiber Optic Spectrometer	Ocean optics	USB4000
Laser Particle Size Analyzer (LPSA)	Beckman Coulter	LS230
Planetary Ball Mill	Retsch	PM 100/200
Oven	Memmert	UNE 400
Tool Steel Mold (2.54 cm $\phi$ )	Constructed by Dr.Sutham Niyomwas	SKD 11
Low Temperature Furnace (1200 °C)	Constructed by Dr.Sutham Niyomwas	-



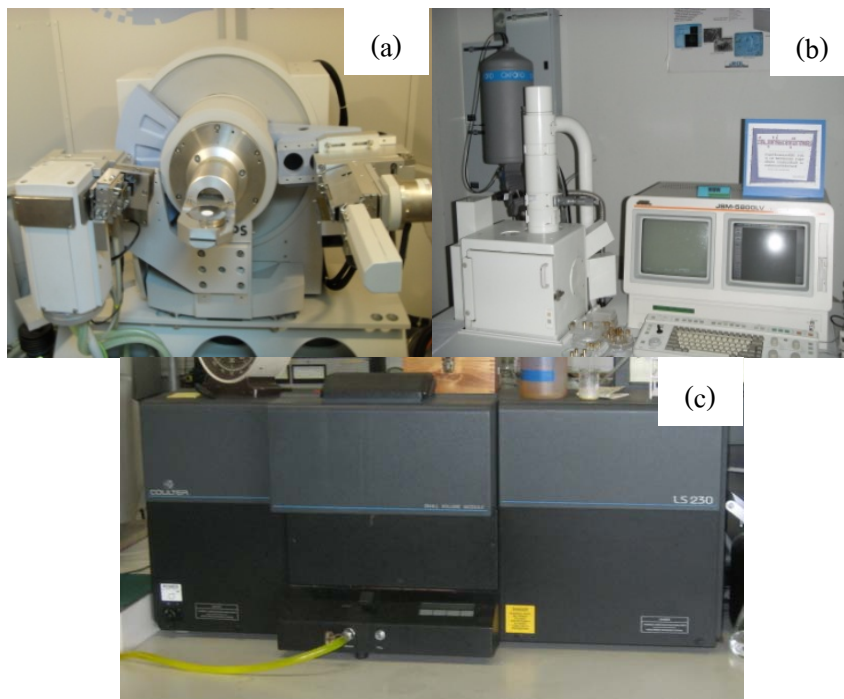
รูปที่ 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (a) SHS Reactor (b) Planetary Ball Mill (c) Two Roll Ball Mill Machine



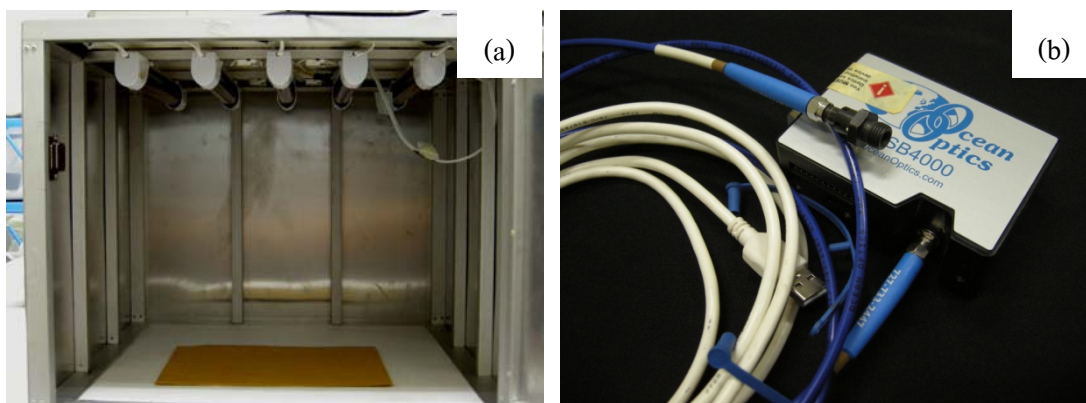
รูปที่ 2.1 (ต่อ) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (d) Uniaxial Press (e) Cylindrical Tool Steel Mould และ (f) Low Temperature Furnace (1200 °C)



รูปที่ 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะและทดสอบสมบัติ (a) Beaker and Cylinder (b) Hotplate-stirrers (c) Filter Paper และ (d) Microscope Slides and Cover Glasses



รูปที่ 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะ (a) X-Ray Diffractometer (XRD) (b) Scanning Electron Microscope (SEM) With Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX) และ (c) Laser Particle Size Analyzer (LPSA)



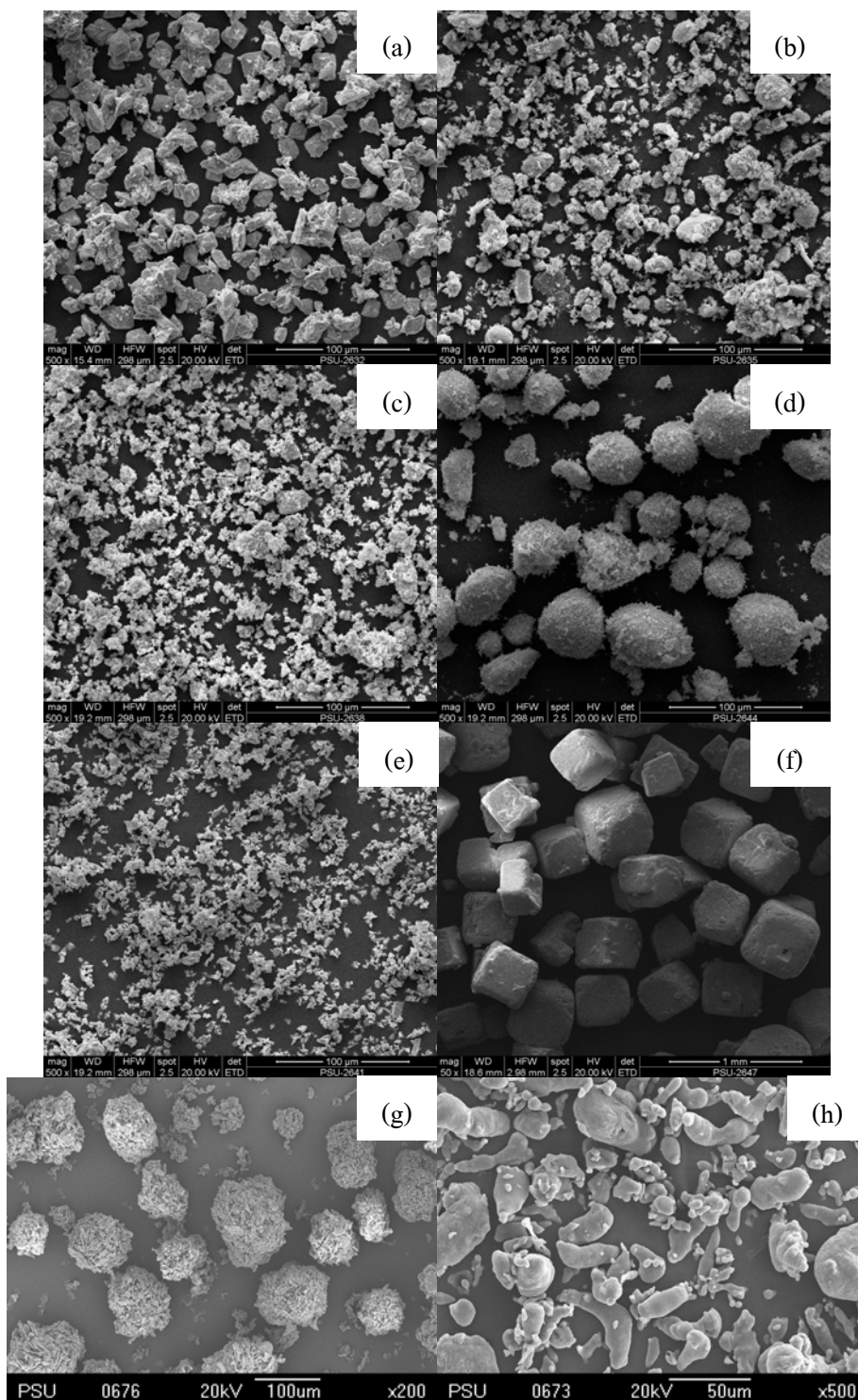
รูปที่ 2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงแสง (a) Blacklight blue lamp และ (b) Fiber Optics Spectrometer

## 2.2 สารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทดลอง

ชื่อทางการค้า	ขนาดอนุภาค ( $\mu\text{m}$ )	ความบริสุทธิ์ (%)	ผู้ผลิต / ให้ความอนุเคราะห์
Aluminum Powder (Al)	45	99	Himedia Laboratories
Aluminum Dioxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )		99	Fluka
Barium Peroxide ( $\text{BaO}_2$ )	45	93	Fluka
Calcium Peroxide ( $\text{CaO}_2$ )	< 74	75	Aldrich
Dysprosium Oxide ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ )		99.9	Aldrich
Europium Oxide ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )	< 150 nm	99.5	Aldrich
Sodium Chloride (NaCl)		99.9	
Strontium Peroxide ( $\text{SrO}_2$ )	45	98	Aldrich
Distilled Water	-	-	Supplied, Support by Department of Mining and Materials Engineering
Epoxy resin	-	-	Pattax-Duro Clear Quickset Epoxy

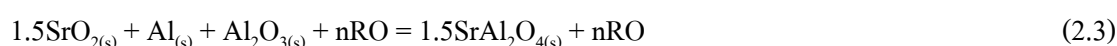
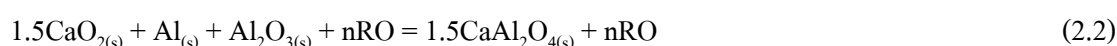
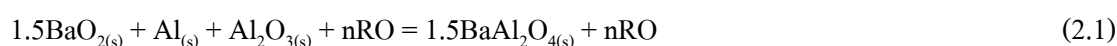


รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง (a)  $\text{BaO}_2$  (b)  $\text{CaO}_2$  (c)  $\text{SrO}_2$  (d)  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (e)  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  (f)  $\text{NaCl}$  (g)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ (h)  $\text{Al}$

## 2.3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง

### 2.3.1 กิจกรรมตอนที่ 1: ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจือสารยูโรเปียม

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจือสารยูโรเปียม จากการทำปฏิกิริยาของผงผสมสารตั้งต้น คือผงเบเรียมเปอร์ออกไซด์ หรือผงแคลเซียมเปอร์ออกไซด์ หรือผงสตรอนเทียมเปอร์ออกไซด์ กับผงอะลูมินา ผงอะลูมิเนียม และผงยูโรเปียมออกไซด์ ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง โดยมีปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกิริยาจากสมการที่ (2.1-2.3) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.1)-(2.3)

	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ระบบ BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.0050
	สารตั้งต้น	CaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ระบบ CaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.00215
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.2496	0.9430	0.007
	สารตั้งต้น	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ระบบ SrO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.00292
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1504	0.5682	0.0057

### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.1.1 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.3 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.1.2 บดผสมสารตั้งต้นด้วย Two Roll Ball Mill Machine เป็นเวลา 30 นาที

2.3.1.3 นำผงผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดในแกนเดียวเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm ด้วยขนาดแรงอัด 40 kN

2.3.1.4 นำลวดทังสเตน (ได้จากหลอดไฟฟ้า) ประกอบเข้ากับระบบจุดระเบิดที่ฝาเตา (ลักษณะของเตาปฏิกรณ์ SHS แสดงไว้ในรูปที่ 2.6) แล้วนำชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปไปใส่ในเตาปฏิกรณ์ SHS ในตำแหน่งที่ลวดทังสเตนลอยอยู่เหนือชิ้นงานเล็กน้อยหรือสัมผัสพอดี แล้วจึงปิดเตาให้แน่น

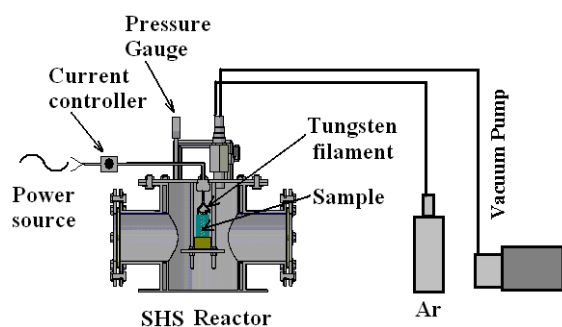
2.3.1.5 เปิด Vacuum Pump เพื่อดูดอากาศออก ก่อนจะเติมแก๊สอาร์กอน ให้ความดันภายในเตาเท่ากับ 0.5 MPa (ในขณะที่ปิดวาล์ว ด้าน Vacuum Pump เพื่อดูดอากาศออกให้ปิดวาล์ว ด้าน ท่อแก๊สอาร์กอน และปิดวาล์ว ด้าน Vacuum Pump เมื่อเปิดวาล์วด้าน ท่อแก๊สอาร์กอนเพื่อเติมอาร์กอน)

2.3.1.6 ทำขั้นตอนข้อ 2.3.1.5 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง และปิดวาล์วทุกตัว

2.3.1.7 จุดระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยา โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้กับลวดทังสเตนในเตาปฏิกรณ์ SHS

2.3.1.8 ปล่อยความดันและฝุ่นผงหลังจากการจุดระเบิดแล้ว ออกสู่ระบบกักเก็บเปิดเตานำชิ้นงานออกจากเตาปฏิกรณ์

2.3.1.9 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยา องค์ประกอบลักษณะสัณฐานวิทยาแบบส่องกวาด (SEM) และทดสอบสมบัติเชิงแสง ตามลำดับ



(a)

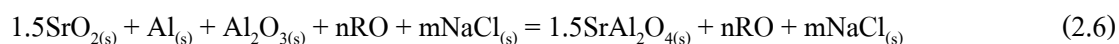
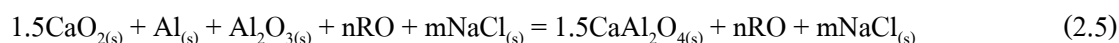
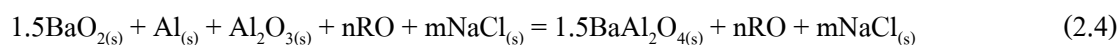


(b)

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเตาปฏิกรณ์ SHS (a) ภาพสเก็ต และ (b) เตาปฏิกรณ์ SHS เครื่องจริง

### 2.3.2 กิจกรรมตอนที่ 2: ศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

เป็นที่ทราบแล้วจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สารเรืองแสงมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้มีการวิจัยถึงหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของสารผลึกภัณฑ์ และหนึ่งในหลายๆปัจจัยนั้นก็คือ ขนาดอนุภาคของสารผลึกภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำการวิจัยศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมในระบบ ที่ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของผลึกภัณฑ์นั้นมีขนาดเล็กลง ด้วยอัตราส่วนเชิงโมลคือ 0-1 โมล โดยมีปฏิกิริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกิริยาจากสมการที่ (2.4)-(2.6) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

m คือ จำนวนโมลของสารตัวเติม (NaCl)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.4)-(2.6)

ระบบ	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaCl
BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	0.4000
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.0060	0.0920
ระบบ	สารตั้งต้น	CaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaCl
CaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.00215	0.4000
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.2496	0.9430	0.0081	0.2162
ระบบ	สารตั้งต้น	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaCl
SrO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.00292	0.4000
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1504	0.5682	0.0063	0.1303



### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.2.1 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.4 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.2.2 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.8 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

2.3.2.3 นำชิ้นงานมาบดด้วยโกร่ง

2.3.2.4 ใส่ชิ้นงานลงในบีกเกอร์เพื่อชะละลายเกลือ (NaCl) ออก ด้วยน้ำกลั่น โดยการนำไปกวนด้วยเครื่องกวน (Stirrer) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

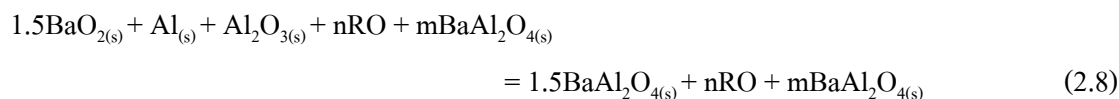
2.3.2.5 นำชิ้นงานที่ผ่านการชะละลายแล้วมาผ่านน้ำกลั่นอีกครั้งและกรองคัดแยกสารผลิตภัณฑ์ จากนั้นอบทิ้งไว้ให้แห้ง

2.3.2.6 ทำการระเหิดเกลือ (NaCl) อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 0.195 °C/s

2.3.2.7 วิเคราะห์องค์ประกอบ ลักษณะสัญญาณวิทยาและทดสอบสมบัติเชิงแสงตามลำดับ

### 2.3.3 กิจกรรมตอนที่ 3: ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  โดยทำการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีขนาดอนุภาคเล็กลงโดยไม่เสียเนื้อผลิตภัณฑ์หลักไป ดังนั้นจึงทำการวิจัยศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมในระบบ ด้วยอัตราส่วนเชิงโมล คือ 0-1 โมล โดยมีปฏิกิริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกิริยาจากสมการที่ (2.7)-(2.8) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

m คือ จำนวนโมลของสารตัวเติม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ )

ตารางที่ 2.5 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.7) และ (2.8)

	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000		
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014		
ระบบ	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.1000	0.2000
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.1386	0.2010

### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.3.1 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.5 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.3.2 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.9 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

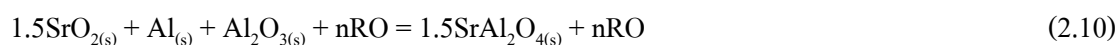
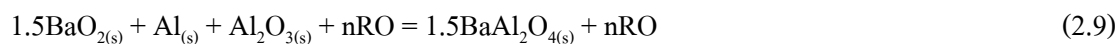
2.3.3.3 นำชิ้นงานผลิตภัณฑ์ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ไปบดด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้หม้อบดและลูกบดซิลิกอนไนไตรด์ ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

2.3.3.4 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.5 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.3.5 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.9 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

### 2.3.4 กิจกรรมตอนที่ 4: ศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในระบบ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> และ SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>

จากการศึกษาหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของสารผลิตภัณฑ์ หนึ่งในหลายๆปัจจัยนั้นก็คือ ปริมาณสารเจือในสารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำการวิจัยศึกษาผลของปริมาณสารเจือในระบบ ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติที่แตกต่าง โดยการปรับเปลี่ยค่าปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีความส่องสว่างสูงและอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ด้วยอัตราส่วนเชิงโมล คือ 0.01-0.15 โมล โดยมีปฏิกริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกริยาจากสมการที่ (2.9)-(2.10) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.9) และ (2.10)

ระบบ	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.0139
ระบบ	สารตั้งต้น	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1504	0.5682	0.0196

### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.4.1 บดสารตั้งต้น (BaO<sub>2</sub>, SrO<sub>2</sub> และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้หม้อบดและลูกบอลซิลิกอนไนไตรต์ ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

2.3.4.2 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.6 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.4.3 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.9 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

### 2.3.5 กิจกรรมตอนที่ 5: การเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED)

ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยนำสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ มาเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ เพื่อให้ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินชนิดชิปส่องผ่านแผ่นกระจกที่เคลือบด้วยผงผลิตภัณฑ์ให้เกิดการรวมแสงแล้วทำให้เกิดแสงสีขาว ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน และเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ไดโอดเปล่งแสงสีขาวอีกด้วย

### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.5.1 บดสารผลิตภัณฑ์ ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) ด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้หม้อบดและลูกบอลซิลิกอนไนไตรต์ ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

2.3.5.2 เตรียมชั้นความหนาของสารเรืองแสงที่จะทำการเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ โดยวัดความหนาจากชั้นของเทป

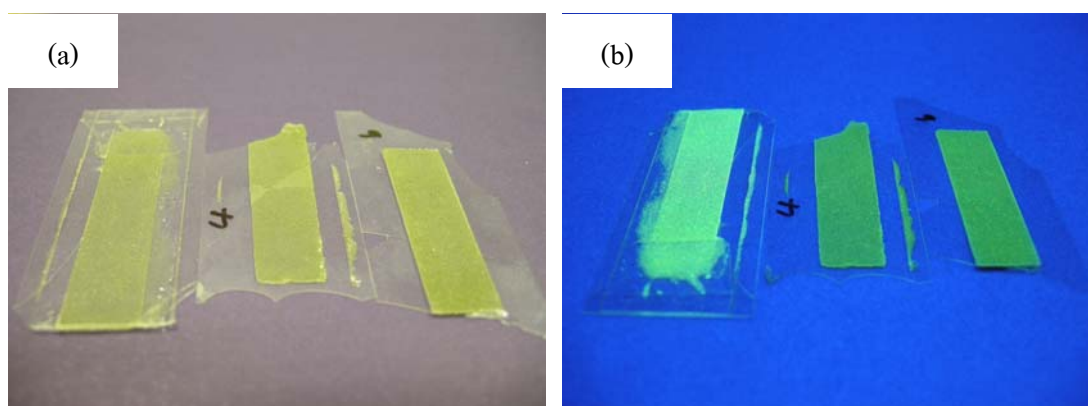
2.3.5.3 เตรียมกาวประสาน โดยผสม Epoxy resin และ hardener ในอัตราส่วน 1:1

2.3.5.4 กวนผสมผงสารผลิตภัณฑ์ให้เข้ากับกาวประสาน

2.3.5.5 นำผงสารผลิตภัณฑ์ผสมกาวประสานที่ได้มาเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ที่เตรียมไว้ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

2.3.5.6 นำไปบ่มในเตาอบที่อุณหภูมิ  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.3.5.7 วิเคราะห์สมบัติทางแสง โดยนำแผ่นกระจกสไลด์มาวางบนไดโอดเปล่งแสงชนิดชิป (LED chip)



รูปที่ 2.7 ลักษณะของชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจก (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ (b) ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

### 2.3.6 กิจกรรมตอนที่ 6: ศึกษาผลของสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$

เนื่องจากสมบัติของสารเรืองแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดีนั้นต้องมีค่าความส่องสว่างสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้นจึงทำการวิจัยศึกษาผลของสารเจือร่วมในระบบ ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติที่ดีขึ้น จึงปรับเปลี่ยนค่าปริมาณสารเจือที่เหมาะสม โดยกำหนดอัตราส่วนเชิงโมลของสารเจือร่วมที่ 0.01 โมลเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้น ด้วยอัตราส่วนเชิงโมลของสารเจือ คือ 0.01-0.15 โมล โดยมีปฏิกริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกริยาจากสมการที่ (2.11)-(2.12) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $Eu_2O_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

RE คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $Dy_2O_3$ )

m คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.11) และ (2.12)

ระบบ	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0100	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.0139	0.0147
ระบบ	สารตั้งต้น	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0100	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1504	0.5682	0.0196	0.0208

#### ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.6.1 บดสารตั้งต้น (BaO<sub>2</sub>, SrO<sub>2</sub> และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้หม้อบดและลูกบอลซิลิกอนไนไตรต์ ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

2.3.6.2 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.7 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.6.3 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.9 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

### 2.3.7 กิจกรรมตอนที่ 7: ศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ และ $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$

จากหัวข้อข้างต้นทำให้ทราบว่าผลกระทบของสารเจือร่วมนั้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความส่องสว่างสูงและมีการเปล่งแสงที่ยาวนานยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงทำการวิจัยศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วมในระบบ โดยการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ที่เหมาะสมเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้น โดยอัตราส่วนเชิงโมลของสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) สำหรับระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$  คือ 0.09 โมล และสำหรับ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$  คือ 0.03 โมล โดยมีปฏิกิริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกิริยาจากสมการที่ (2.13-2.14) ดังนี้



เมื่อ RO คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $Eu_2O_3$ )

n คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

RE คือ สารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก ( $Dy_2O_3$ )

m คือ จำนวนโมลของสารประกอบออกไซด์ของสินแร่หายาก (Rare Earth)

ตารางที่ 2.8 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในสมการที่ (2.13) และ (2.14)

ระบบ	สารตั้งต้น	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0900	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0147
ระบบ	สารตั้งต้น	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrO <sub>2</sub> -Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วนโดยโมล	1.5000	1.0000	1.0000	0.0300	0.0100
	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	1.0000	0.1504	0.5682	0.0558	0.0208

### ขั้นตอนการดำเนินการ

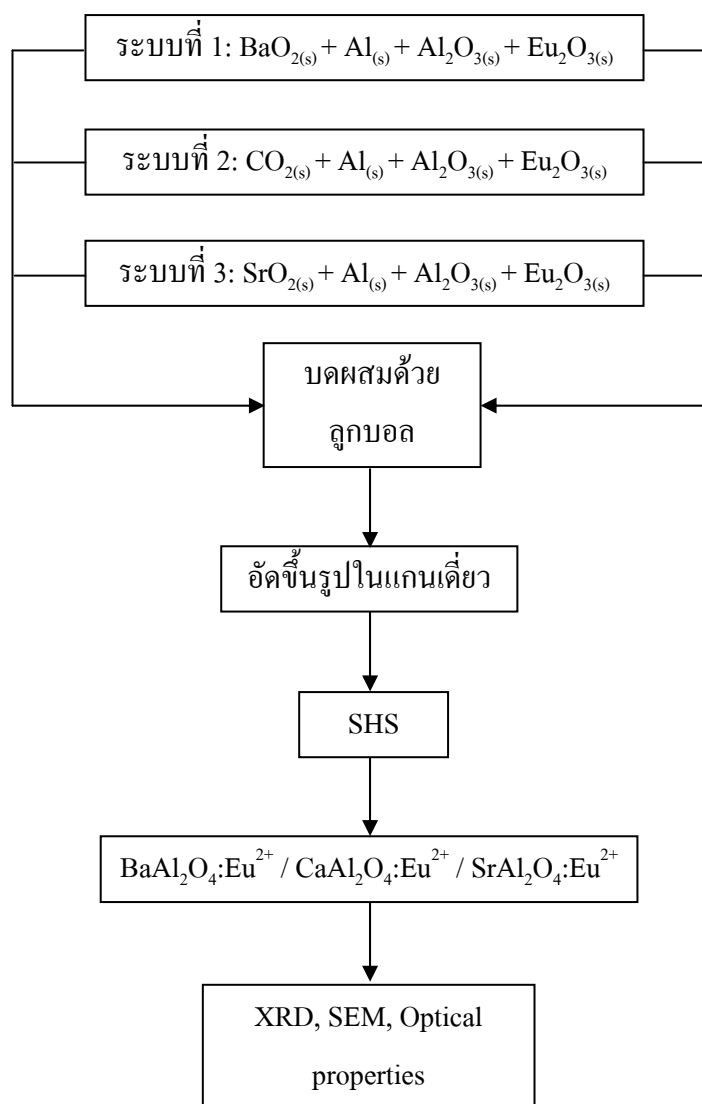
2.3.7.1 บดสารตั้งต้น ( $\text{BaO}_2$ ,  $\text{SrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้หม้อบดและลูกบอลซิลิกอนไนไตรต์ ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

2.3.7.2 ชั่งสารตั้งต้นทั้งหมดตามสัดส่วนน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 2.8 เพื่อให้ได้สารตั้งต้นที่มีปริมาณพอเหมาะ

2.3.7.3 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3.1.2 ถึง 2.3.1.9 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น

## 2.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

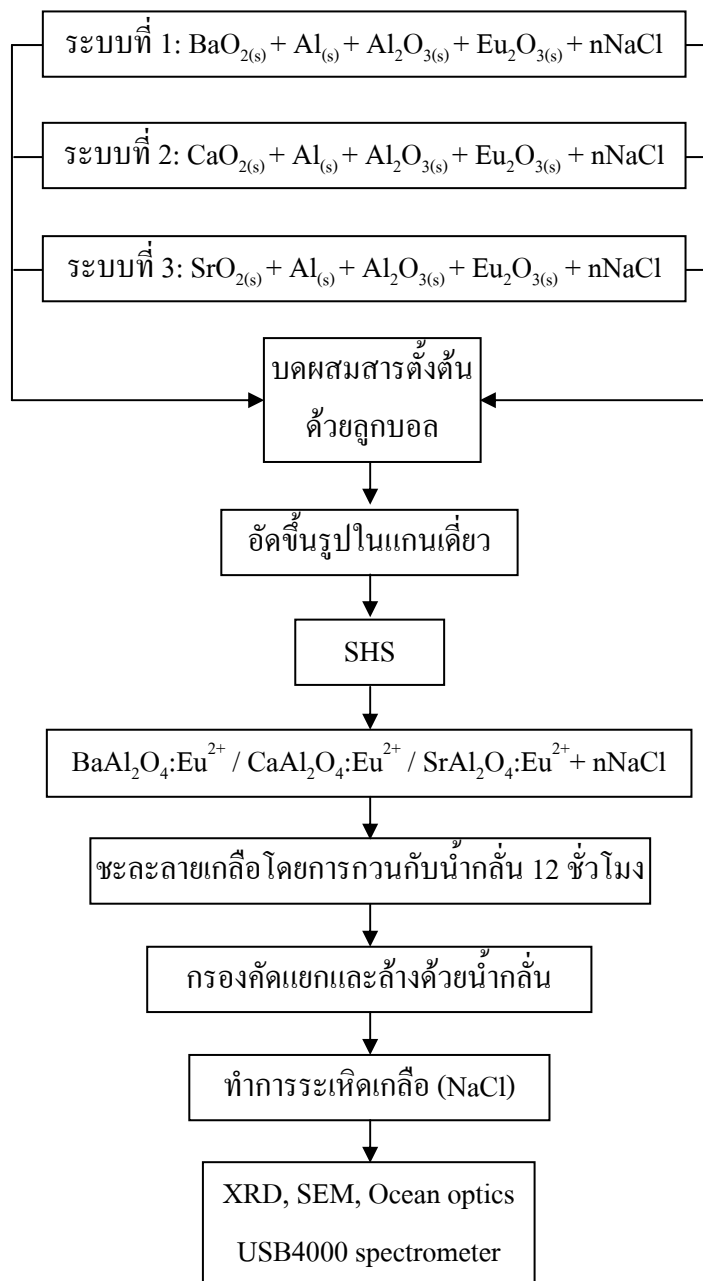
### การทดลองที่ 1



**รูปที่ 2.8** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตเจอร์เปียม โดยวิธีปฏิกิริยา  
ก้ำวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง

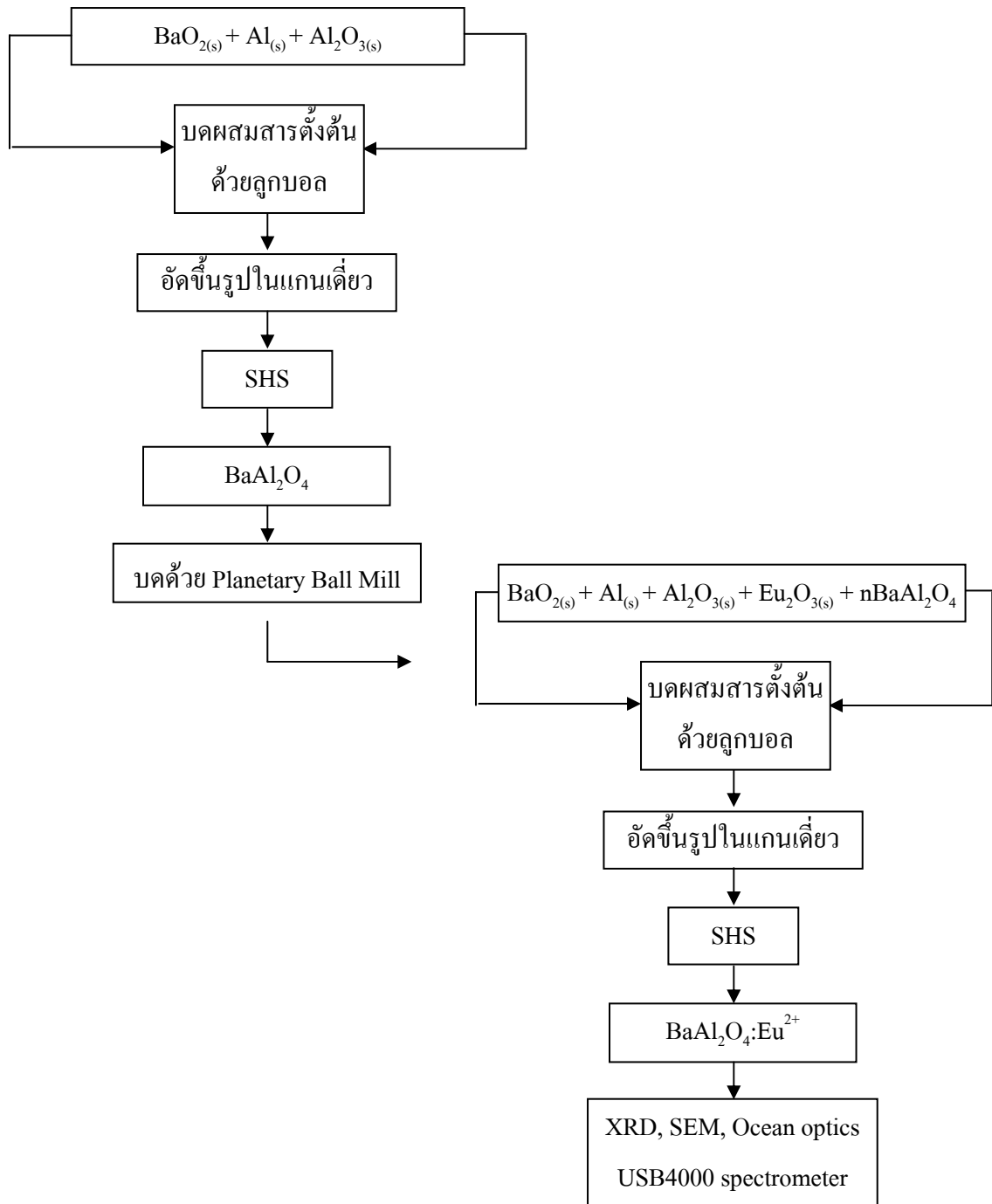


## การทดลองที่ 2



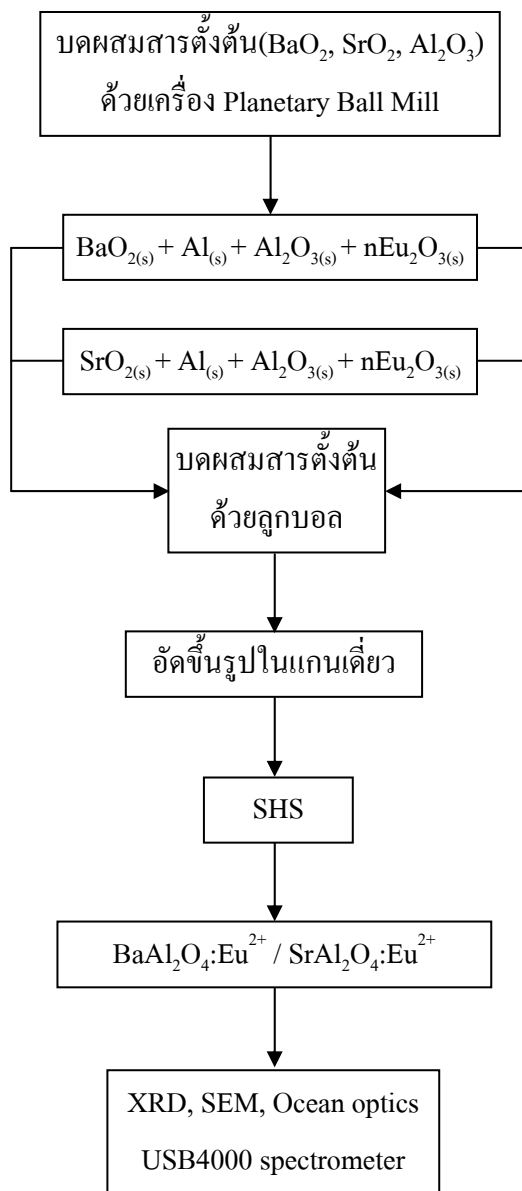
**รูปที่ 2.9** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตเจอร์ยูโรเปียม โดยวิธีปฏิกิริยา  
กึ่งหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงเพื่อศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ  
BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> และ SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>

**การทดลองที่ 3**



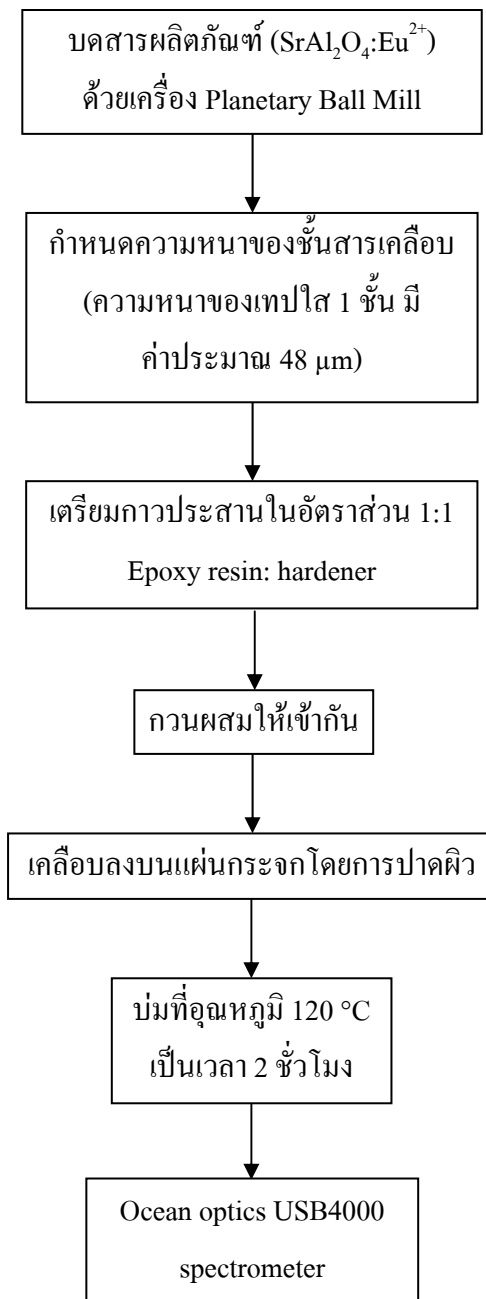
**รูปที่ 2.10** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ยูโรเปียม โดยวิธีปฏิบัติการกำหนดด้วยตัวเองที่อุณหภูมิต่ำศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ในระบบ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>

#### การทดลองที่ 4



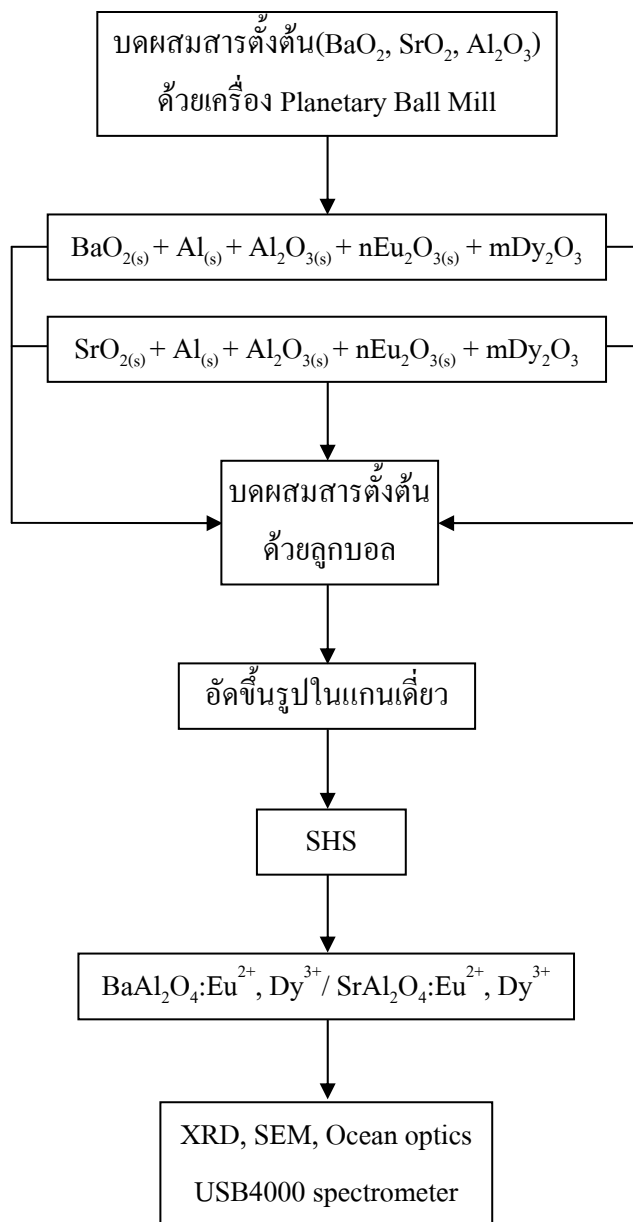
**รูปที่ 2.11** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจอร์เมียม โดยวิธีปฏิกิริยา  
 ก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงเพื่อศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในระบบ  
 BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> และ SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>

การทดลองที่ 5



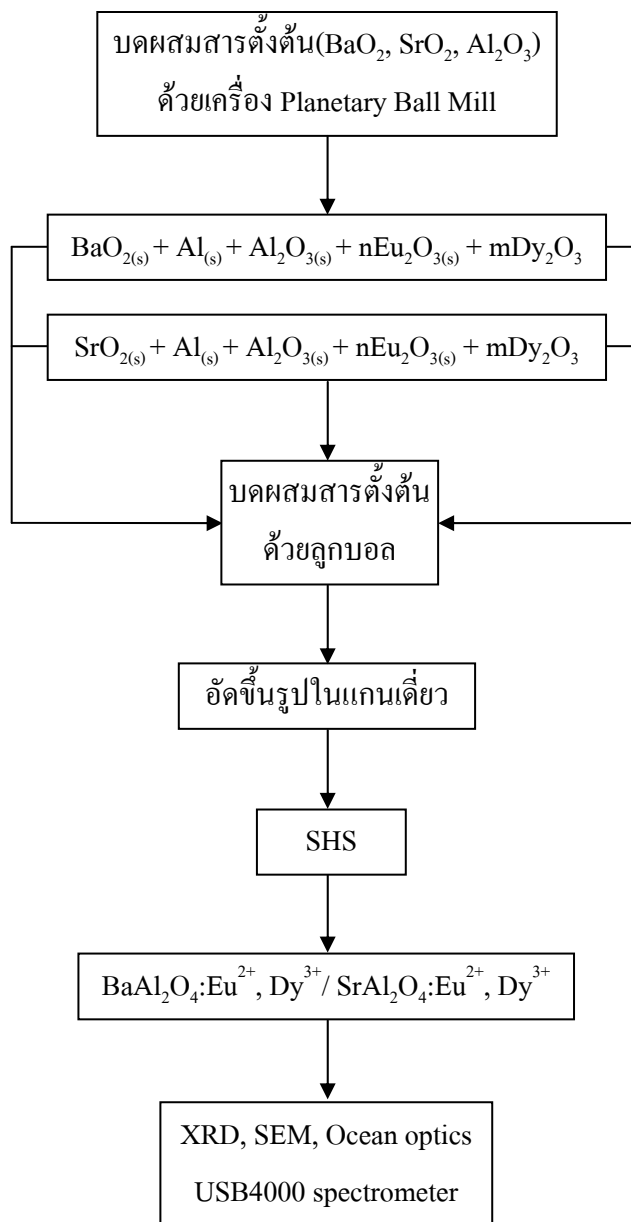
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED)

**การทดลองที่ 6**



**รูปที่ 2.13** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตเจอร์ไอโอโดสโรเปียม โดยวิธีปฏิกิริยา  
ก้ำวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงเพื่อศึกษาผลสารเจือร่วม (Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในระบบ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> และ  
SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>

การทดลองที่ 7



**รูปที่ 2.14** ขั้นตอนการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเจอร์เมียม โดยวิธีปฏิกิริยา  
ก้ำวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารเจอร์เมียม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ  
 $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการคำนวณและวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงของสารตั้งต้นในระบบต่างๆ ส่วนที่สองเป็นการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตเจอร์ยูโรเปียม โดยศึกษาความเป็นไปได้ในสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตเจอร์ยูโรเปียม ศึกษาผลกระทบของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) และ (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ปริมาณของสารเจือ (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) การเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED) และผลกระทบของสารเจือร่วม (Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะด้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตามลำดับ และส่วนสุดท้ายเป็นผลการศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์

ในการวิเคราะห์อาศัยหลักการพลังงานกิบส์ต่ำที่สุด (Gibb's Energy Minimization) ในการคำนวณความเข้มข้นสมดุล (Equilibrium Concentration) ของสารผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการของปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Gokcen and Reddy 1996)

พัฒนาการของการก่อรูปของสาร จำนวนจากการลดลงของบรรยากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 3000 °C และในการคำนวณสมมติให้เป็นสภาวะแก๊สอุดมคติ (ideal gas) และการผสมของแก๊สอุดมคติ และเฟสควบแน่น (Condensed phase) เป็นเฟสบริสุทธิ์ พลังงานกิบส์รวมของระบบ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$G = \sum_{gas} n_i (g_i^\circ + RT \ln P_i) + \sum_{condensed} n_i g_i^\circ + \sum_{solution} n_i (g_i^\circ + RT \ln x_i + RT \ln \gamma_i) \quad (3.1)$$

เมื่อ G คือ พลังงานกิบส์รวมของระบบ

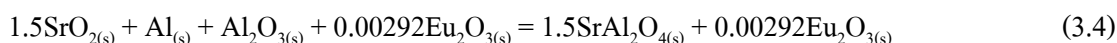
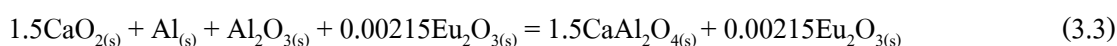
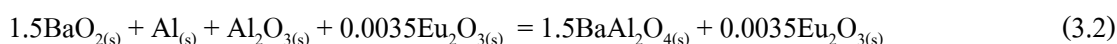
$g_i$  คือ โมลาร์มาตรฐานของพลังงานกิบส์ของสาร  $i$  ที่ค่าความดันและอุณหภูมิ

$n_i$  คือ จำนวนโมลของสาร  $i$

$x_i$  คือ สัดส่วนโมลของสาร  $i$

$\gamma_i$  คือ สัมประสิทธิ์แอกติวิตี้ของสาร  $i$

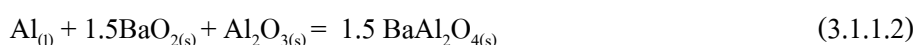
ปฏิกิริยาเคมีโดยรวมของการวิจัยหลัก แสดงไว้ดัง (3.2)-(3.3)



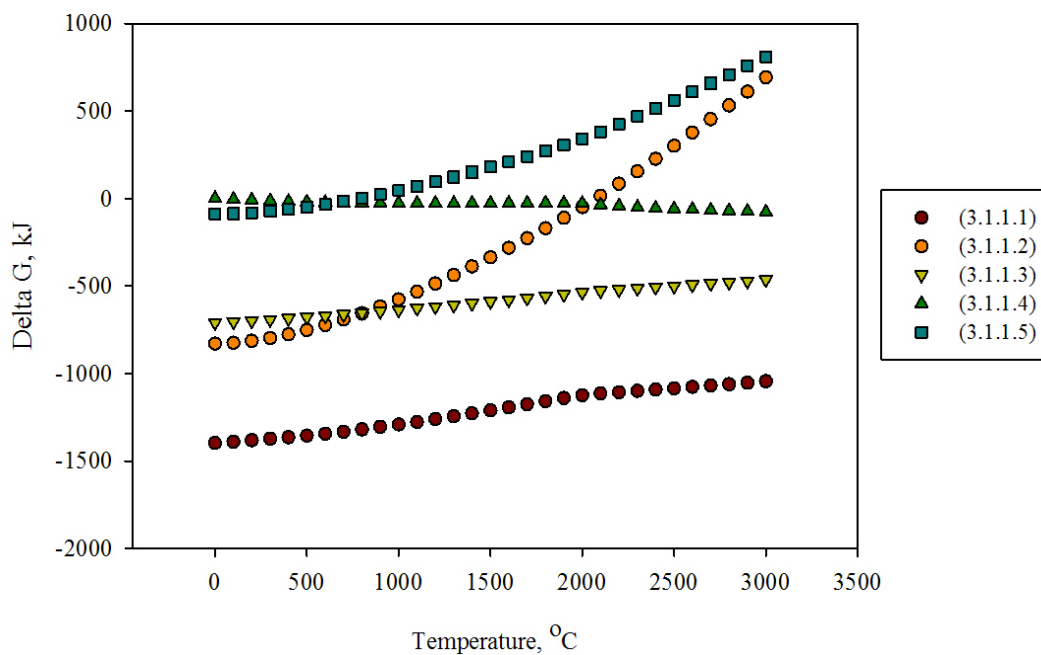
จากสมการปฏิกิริยาดังกล่าว สามารถคำนวณหาอุณหภูมิเอเดียบติกได้เท่ากับ 2964.6 °C (3.1) 2963.9 °C (3.2) และ 2926.4 °C (3.3) ตามลำดับ (Outokumpu HSC Chemistry<sup>®</sup> for Window, HSC 4.0) โดยหลักการ (สุธรรม 2552) ปฏิกิริยาจะสามารถเกิดขึ้นด้วยตัวเองเนื่องจากปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่ออุณหภูมิเอเดียบติกของปฏิกิริยามากกว่า 1800 °C ซึ่งจากการคำนวณอุณหภูมิเอเดียบติกที่ได้มีค่าสูงกว่า 1800 °C เพราะฉะนั้น มีความเป็นไปได้ในการอาศัยปฏิกิริยาการก่อกำเนิดด้วยตัวเองเพื่อสังเคราะห์สารในทั้ง 3 ระบบนี้

### 3.1.1 ระบบสารตั้งต้น BaO<sub>2</sub>-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

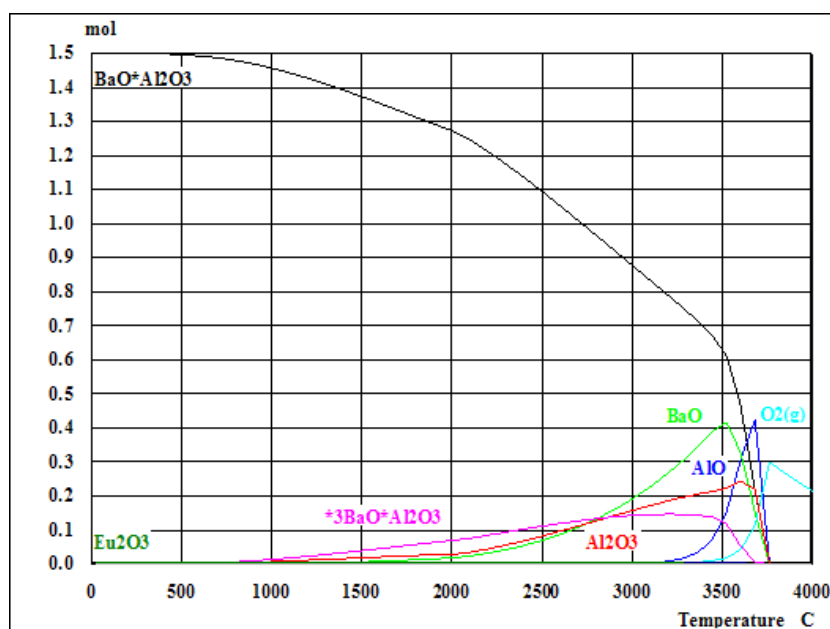
ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการก่อกำเนิดด้วยตัวเอง BaO<sub>2</sub>, Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันของธาตุและปฏิกิริยาในขั้นตอนระหว่างกลาง (Intermediate) ดังสมการที่ (3.1.1.1)-(3.1.1.5) และมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และการก่อรูปเป็นสารประกอบต่างๆที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2







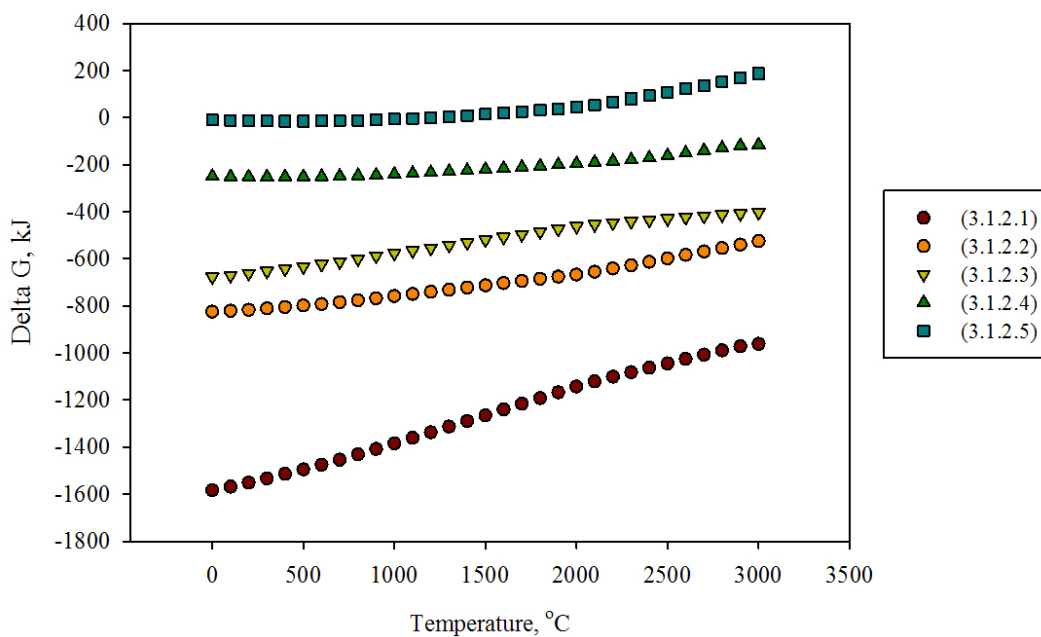
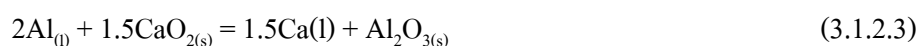
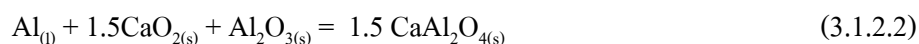
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.1 และ 3.1.1.1 ถึง 3.1.1.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐานการคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry®)



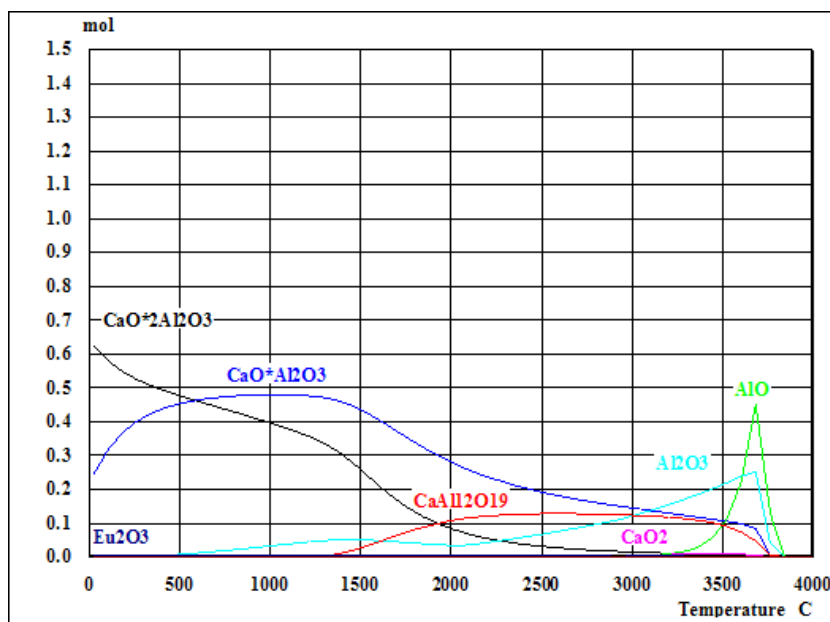
รูปที่ 3.2 แผนภาพสมดุลองค์ประกอบของระบบ  $\text{BaO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$  ภายใต้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry®)

### 3.1.2 ระบบสารตั้งต้น $\text{CaO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$

ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการก้ำวหน้าด้วยตัวเอง  $\text{CaO}_2$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันของธาตุและปฏิกิริยาในขั้นตอนระหว่างกลาง (Intermediate) ดังสมการที่ (3.1.2.1)-(3.1.2.5) และมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และการก่อรูปเป็นสารประกอบต่างๆที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



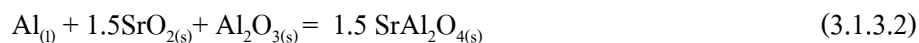
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.2 และ 3.1.2.1 ถึง 3.1.2.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐานการคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry®)

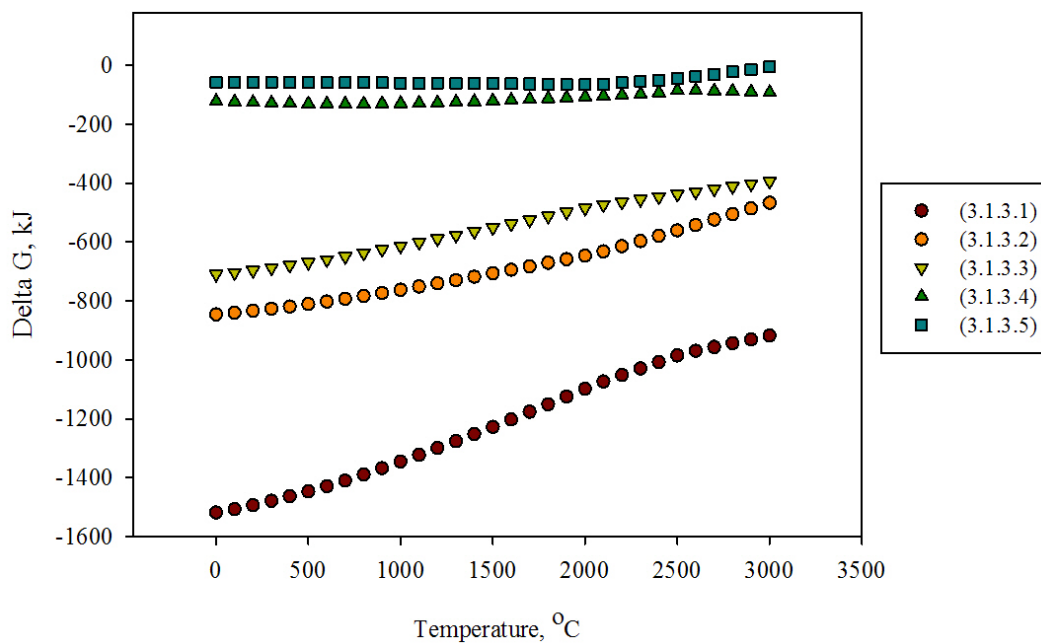


รูปที่ 3.4 แผนภาพสมดุลองค์ประกอบของระบบ CaO<sub>2</sub>-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ภายใต้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry<sup>®</sup>)

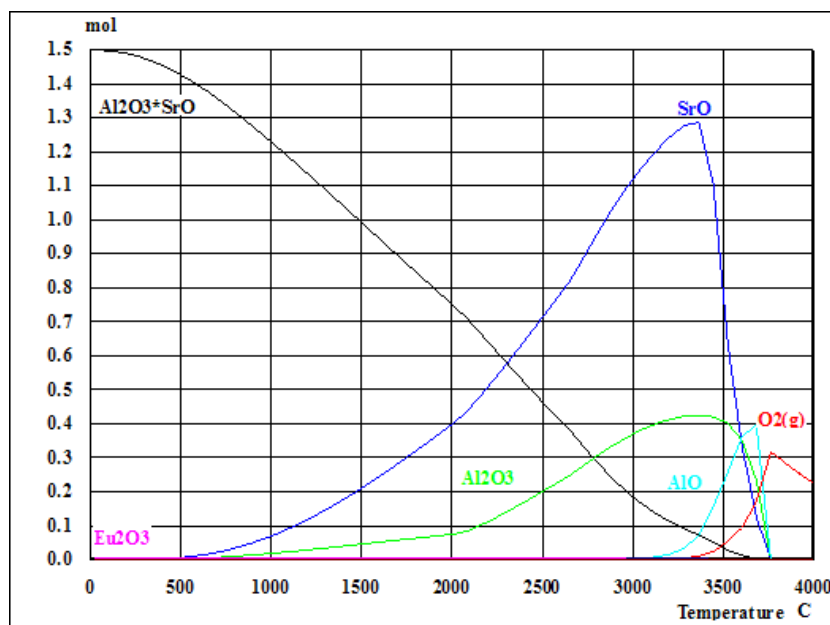
### 3.1.3 ระบบสารตั้งต้น SrO<sub>2</sub>-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการก่อกำเนิดด้วยตัวเอง SrO<sub>2</sub>, Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันของธาตุและปฏิกิริยาในขั้นตอนระหว่างกลาง (Intermediate) ดังสมการที่ (3.1.3.1)-(3.1.3.5) และมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และการก่อรูปเป็นสารประกอบต่างๆที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกิบส์ของปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 3.3 และ 3.1.3.1 ถึง 3.1.3.5 ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 3000 °C (พื้นฐานการคำนวณจากโปรแกรม HSC Chemistry®)



รูปที่ 3.6 แผนภาพสมดุลองค์ประกอบของระบบ  $\text{SrO}_2\text{-Al-Al}_2\text{O}_3$  ภายใต้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน (แผนภาพจากโปรแกรม HSC Chemistry®)

จากรูปที่ 3.1-3.6 แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในทางอุณหพลศาสตร์ที่จะสังเคราะห์สารเรืองแสงในระบบ  $BaO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$ ,  $CaO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$  และ  $SrO_2-Al-Al_2O_3-Eu_2O_3$  โดยที่ปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงจะเริ่มก่อรูปขึ้นที่อุณหภูมิหลอมเหลวของ Al ( $660\text{ }^{\circ}C$ ) เมื่อ Al หลอมเหลวทำปฏิกิริยากับ  $MO_2$  ( $M=Ba, Ca, Sr$ ) ในรูปของของแข็งทำให้ MO ก่อรูปขึ้นพร้อมกับ  $Al_2O_3$  ในขณะเดียวกัน Al  $MO_2$  และ  $Al_2O_3$  (สมการที่ 3.1.1.2 3.1.2.2 และ 3.1.3.2) ก็อาศัยความร้อนจากปฏิกิริยาในสมการที่ (3.1.1. 3.1.2.1 และ 3.1.3.1) ทำให้  $MA_2O_4$  ก่อรูปขึ้น (สมการที่ 3.1.1.2 3.1.2.2 และ 3.1.3.2) นอกจากนี้ Al หลอมเหลวส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ  $MO_2$  อีกบางส่วนและได้เป็น M อิสระกับ  $Al_2O_3$  (สมการที่ 3.1.1.3 3.1.2.3 และ 3.1.3.3) ซึ่ง M อิสระนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารเจือ  $Eu_2O_3$  และได้เป็น MO และไอออนอิสระของ Eu (สมการที่ 3.1.1.4 3.1.2.4 และ 3.1.3.4) สำหรับ MO ที่เหลือจะเข้าทำปฏิกิริยาในช่วงสุดท้ายของปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงกับ  $Al_2O_3$  และก่อรูปเป็น  $MA_2O_4$  อย่างสมบูรณ์ (สมการที่ 3.1.1.5 3.1.2.5 และ 3.1.3.5) ตามลำดับ

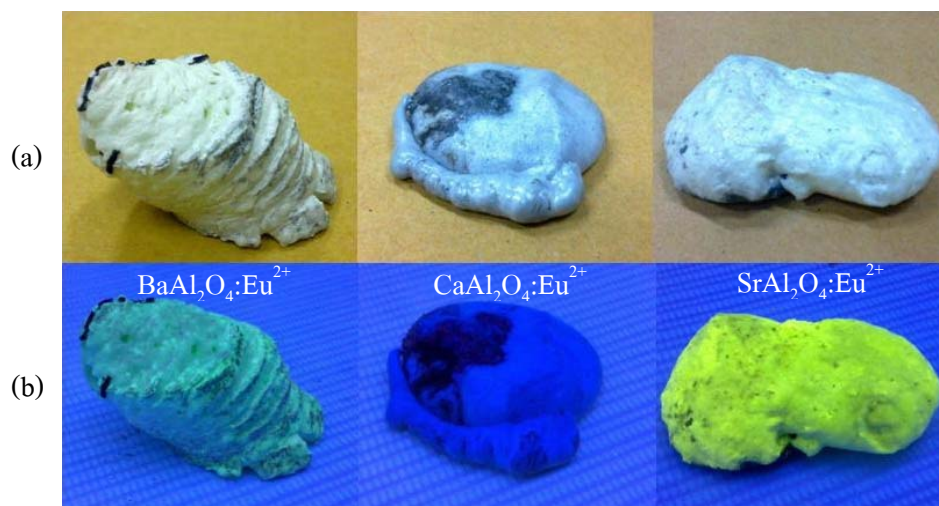
ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ในระบบต่างๆ ด้วยภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล โดยจะพิจารณาถึงรูปร่างและความสม่ำเสมอของเนื้อผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้น การก่อรูปของผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคสมบัติเชิงแสง ซึ่งจะแบ่งพิจารณาในแต่ละเงื่อนไขดังนี้

### 3.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมินตเจือสารยูโรเปียม

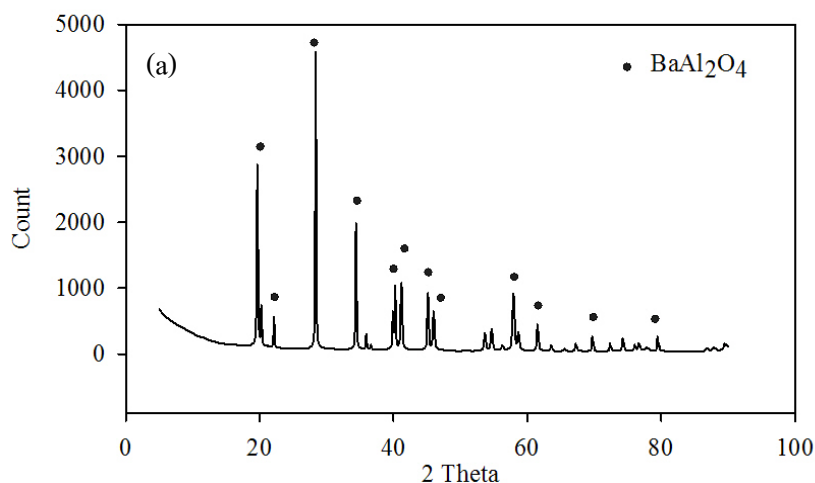
ลักษณะชิ้นงานหลังการสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.7 เมื่อจุดระเบิดและเกิดปฏิกิริยาขึ้น ความร้อนที่คายออกมาทำให้สารตั้งต้นเริ่มหลอมละลาย และเกิดการก้าวหน้าของแนวคลื่นความร้อน ซึ่งความดันของแก๊สจะช่วยเพิ่มแรงกดดันให้เฟสที่เป็นของเหลวนำความร้อนที่คายออกมาไปใช้ในการเผาไหม้ชิ้นงานได้อย่างทั่วถึงทุกบริเวณ เนื่องจากอุณหภูมิเอเดียเบติกในการสังเคราะห์สูงเกินกว่าจุดหลอมเหลวของชิ้นงานจึงทำให้ชิ้นงานเกิดการหลอมรวมกันเป็นชิ้นเดียว ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองจางและสีม่วงภายใต้แสงที่มองเห็นได้ (รูปที่ 3.7 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน สีม่วงแกมน้ำเงิน และสีเขียวแกมเหลือง สำหรับ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $CaAl_2O_4:Eu^{2+}$  และ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$  ตามลำดับ (รูปที่ 3.7 (b))

ข้อมูลจาก XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ในระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$  และ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$  ซึ่งประกอบด้วยเฟสเดียวของ  $BaAl_2O_4$  และ  $SrAl_2O_4$  ไม่พบสารผลิตภัณฑ์ตัวอื่นหรือสารตั้งต้นในระบบ และปริมาณของสารเจือเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อ

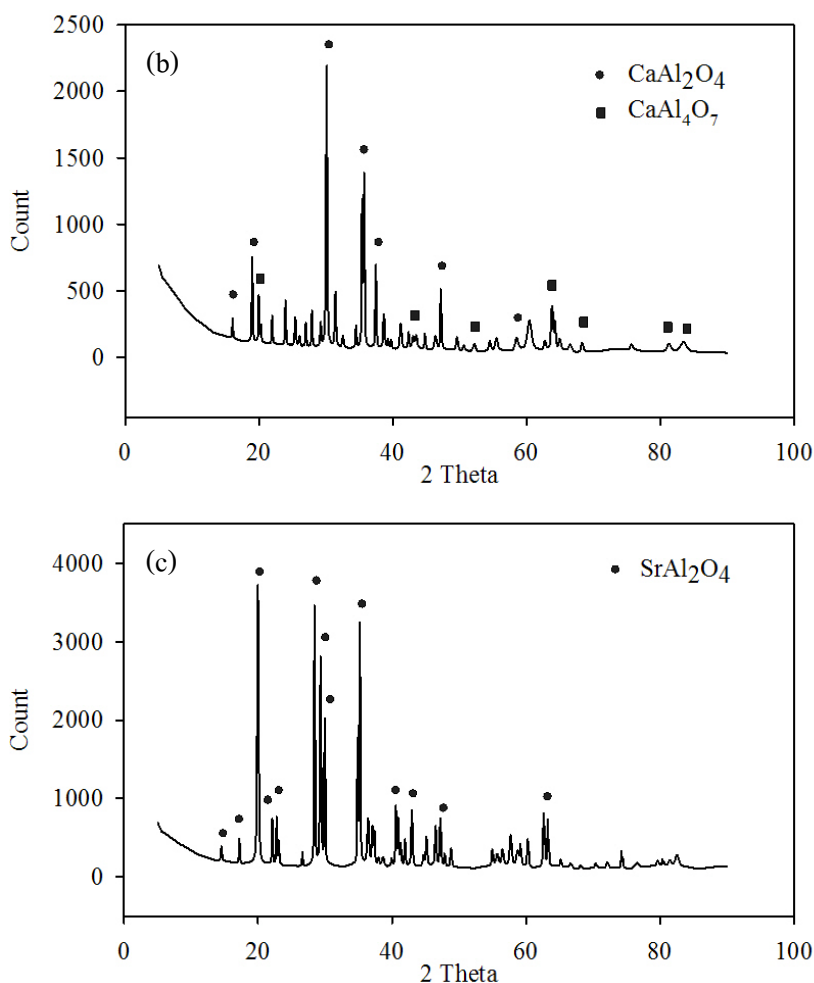
องค์ประกอบเฟสดังรูปที่ 3.8 (a) และ (c) แต่ในระบบ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  การก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วย  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  ที่เป็นเฟสหลัก ในขณะที่เดียวกันก็พบเฟส  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$  ซึ่งเป็นเฟสระหว่างปฏิกิริยา (Intermediate Phase) ดังรูปที่ 3.8 (b)



รูปที่ 3.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ของระบบสารตั้งต้น (a) ภายใต้แสงขาว และ (b) ภายใต้แสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2011)



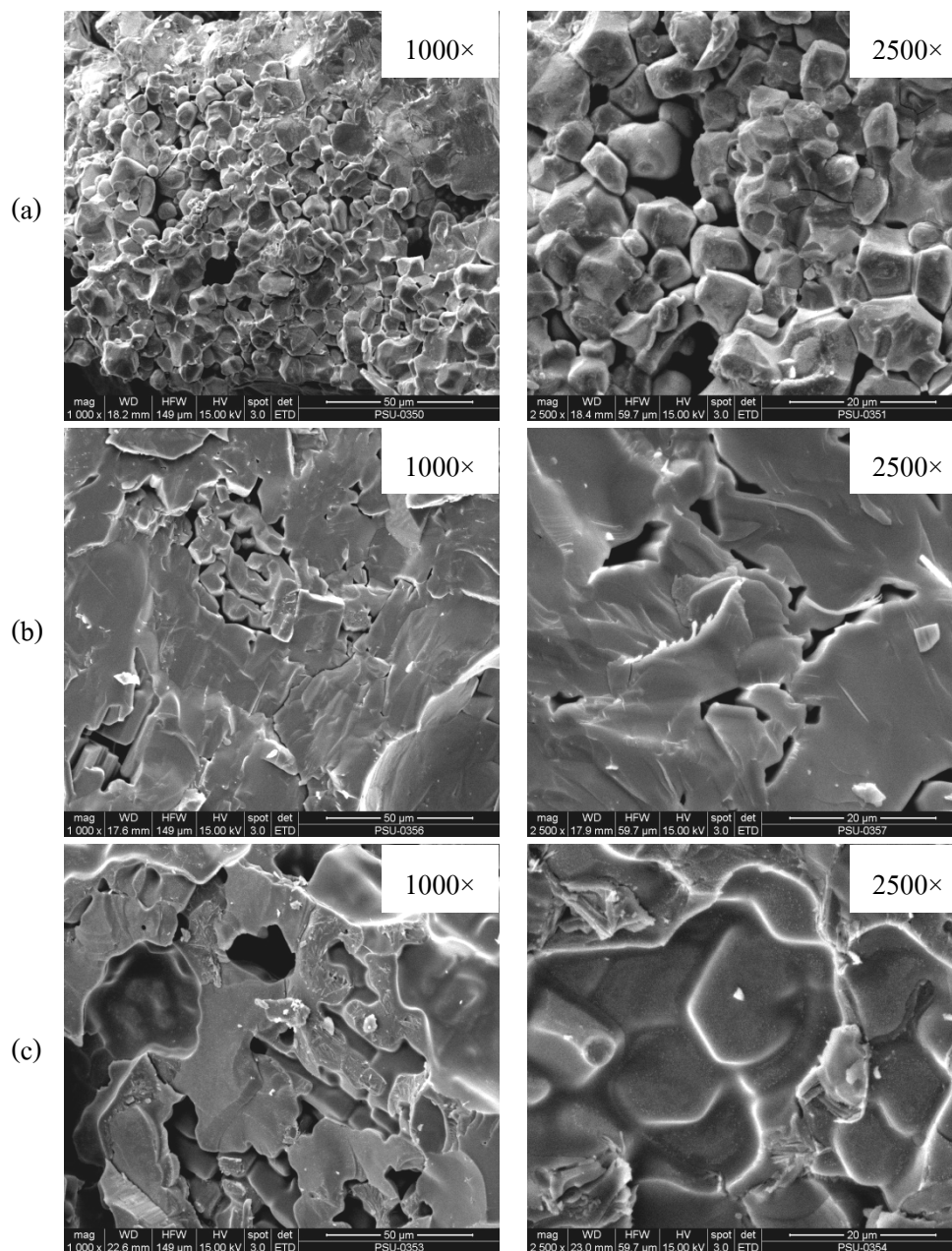
รูปที่ 3.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบสารตั้งต้น (a)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (b)  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ (c)  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (Sathaporn and Niyomwas 2011)



รูปที่ 3.8 (ต่อ) รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบสารตั้งต้น (a) BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (b) CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> และ (c) SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (Sathaporn and Niyomwas 2011)

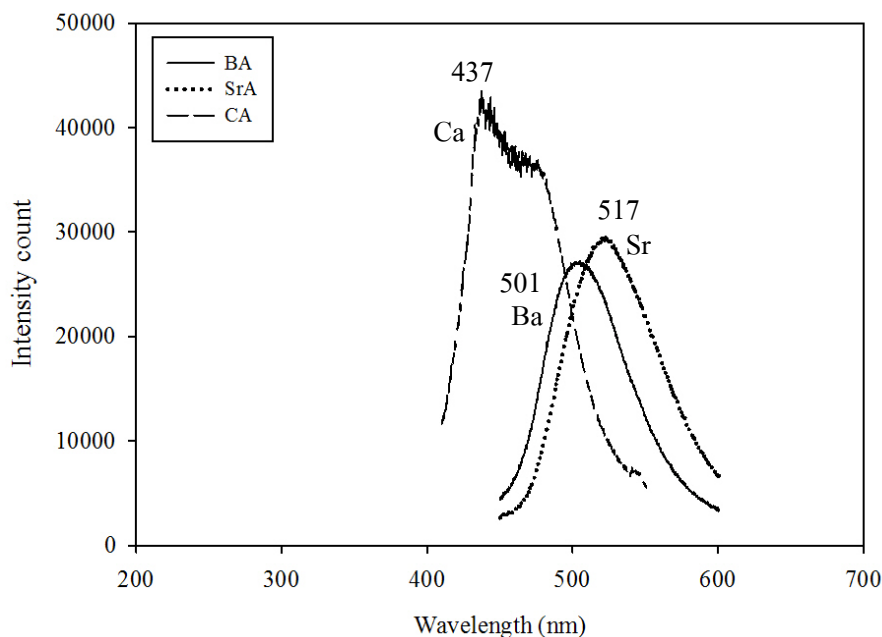
รูปที่ 3.9 (a) แสดงโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเอง จากการพิสูจน์เฟสที่เกิดขึ้นพบว่า ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> มีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เชื่อว่าเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10-15 μm เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเฟสของเหลวเกิดการตกผลึกอีกครั้งซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แนวปฏิกิริยามีค่าสูงในกระบวนการ SHS ตามที่สารเรืองแสงที่ถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยปกติเกรนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10-20 μm (Kim et al. 2006) ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ SHS ก็มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกัน ในอีกสองระบบอนุภาค

เกิดการหลอมเหลวเกือบจะเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมกับการก่อตัวของคอคอ (Neck) ดังรูปที่ 3.9 (b) และ (c) สืบเนื่องจากลักษณะชิ้นงานหลังการสังเคราะห์ที่ไม่สามารถคงรูปร่างไว้ได้



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ (a) BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (b) CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (c) SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (Sathaporn and Niyomwas 2011)





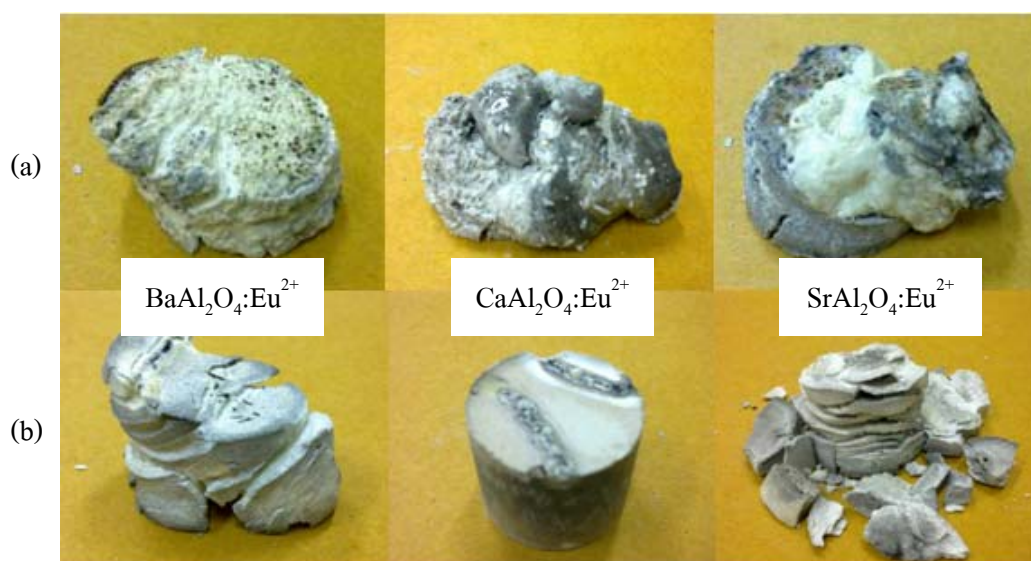
**รูปที่ 3.10** สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$   $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (Sathaporn and Niyomwas 2011)

รูปที่ 3.10 แสดงสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$   $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่อุณหภูมิห้อง เส้นทึบแทนรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 501 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เส้นประแทนรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มียอดหลักที่ความยาวคลื่น 437 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน และเส้นจุดแทนรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 517 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว การที่สารเรืองแสงเปลี่ยนสีจากสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นสีม่วงแกมน้ำเงิน แล้วเป็นสีเหลืองแกมเขียว ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของเมททริก (Qiu et al. 2007)

### 3.3 ผลการศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

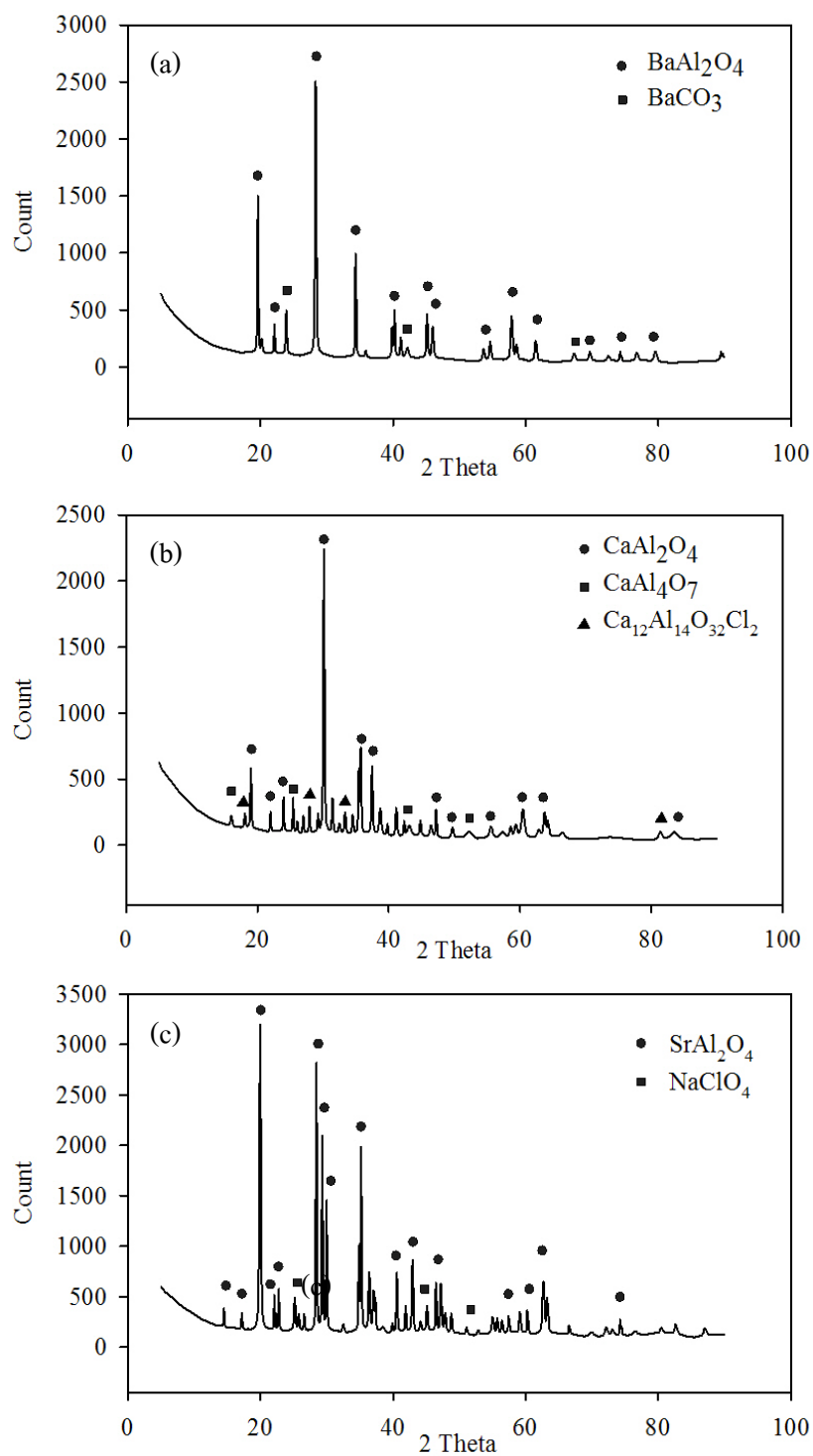
ในหัวข้อนี้จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของสารผลิตภัณฑ์ คือ ขนาดอนุภาค เพื่อให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดเล็กลงซึ่งจะทำให้สมบัติเชิงแสงนั้นดีขึ้น

จึงทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนเชิงโมลของสารตัวเติม (NaCl) คือ 0 ถึง 1 โมล จากรูปที่ 3.11 (a) แสดงผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม (NaCl) จำนวน 0.4 โมลสามารถเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ แต่เมื่อเติมสารตัวเติม (NaCl) จำนวน 1 โมลพบว่าระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนระบบ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl นั้นไม่เกิดปฏิกิริยา รูปที่ 3.11 (b)

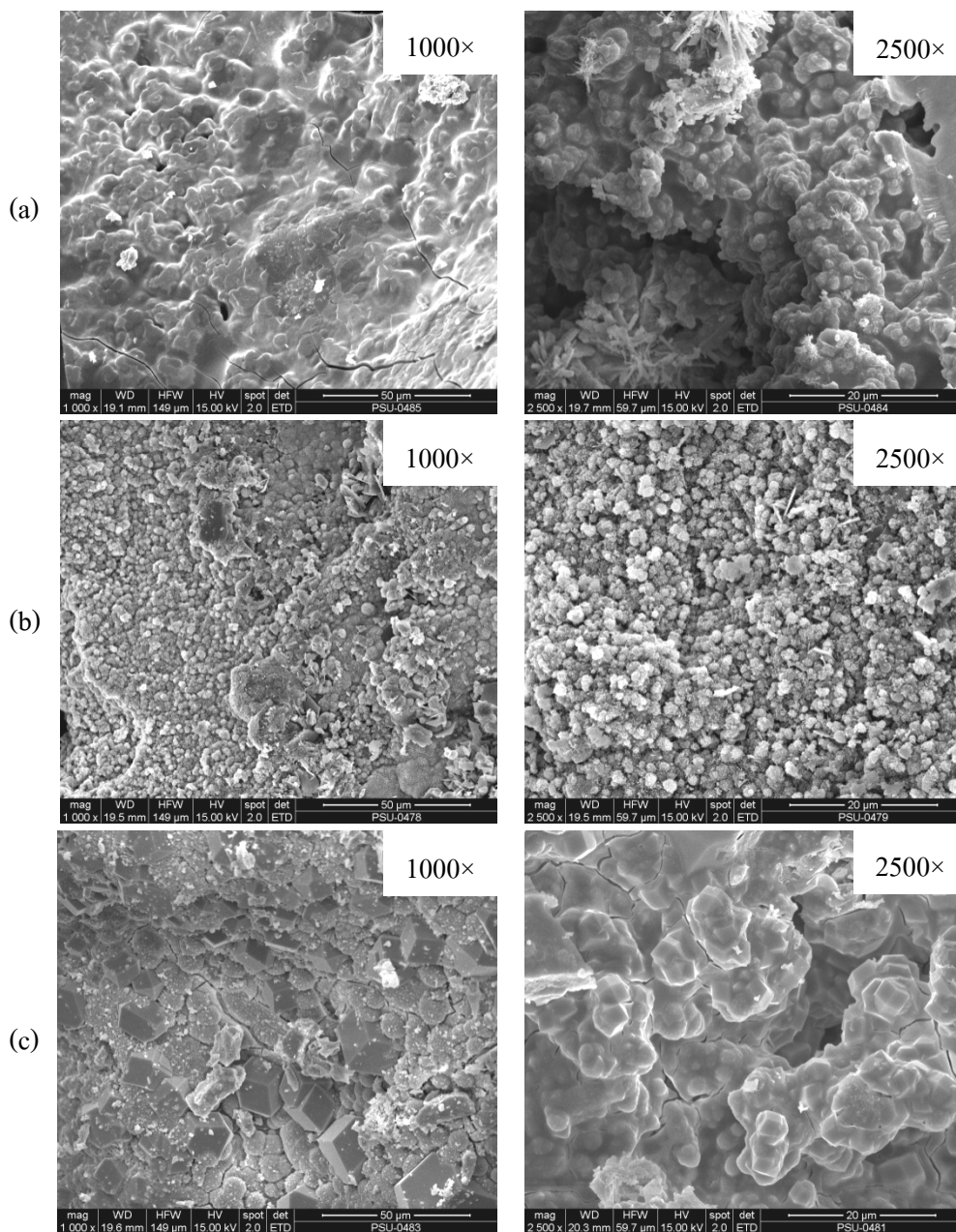


รูปที่ 3.11 ผลิตภัณฑ์หลังการสังเคราะห์ที่เติม NaCl ของระบบ (a) 0.4mol และ (b) 1 mol

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปพิสูจน์ทราบเฟสหลังจากทำการชะละลายเกลือออกด้วยน้ำกลั่นและทำการระเหิดเกลือพบว่าในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl ประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  และพบสารประกอบคาร์บอเนต ( $\text{BaCO}_3$ ) ดังรูปที่ 3.12 (a) ในระบบ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl ประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  โดยมีเฟสระหว่างปฏิกิริยา คือ  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$  และ  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}\text{Cl}_2$  รวมอยู่ด้วยดังรูปที่ 3.12 (b) ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ -NaCl ประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  และสารประกอบคลอไรด์ คือ  $\text{NaClO}_4$  ดังรูปที่ 3.12 (c) จาก XRD จะเห็นว่าผลจากการเติมเกลือ (NaCl) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่นนอกจากเฟสหลัก ซึ่งอาจเกิดจากสารปนเปื้อนของเตาเผาหรือเกิดสารประกอบอื่นๆในระบบ



รูปที่ 3.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ (a)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (b)  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ (c)  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

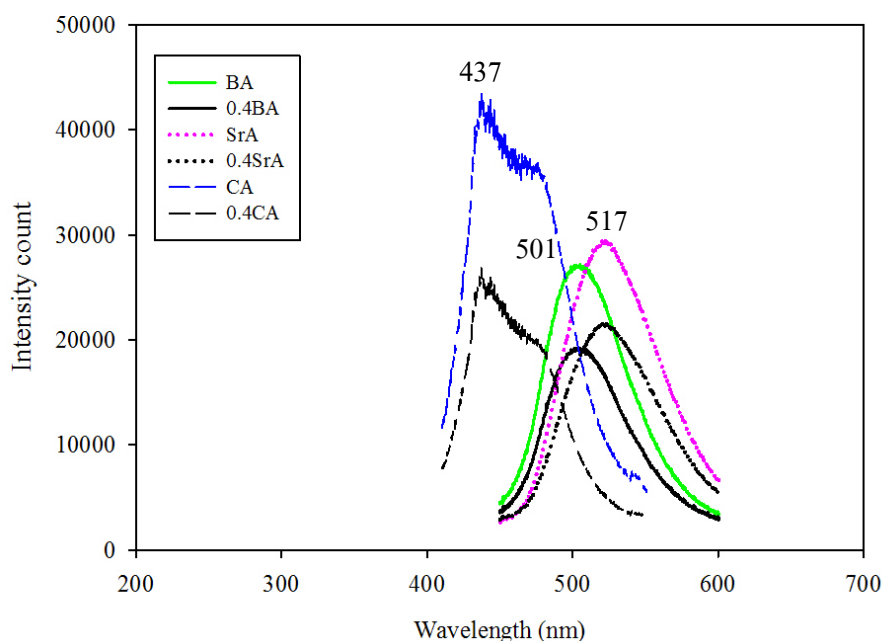


**รูปที่ 3.13** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ (a)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (b)  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (c)  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ในระบบที่เติม NaCl จากปฏิกิริยาการกั่วหน้าด้วยตัวเอง พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{MAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ( $\text{M}=\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Sr}$ ) เกิดการหลอมเหลวรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและอนุภาคมีขนาดเล็กและละเอียดกว่าผลิตภัณฑ์ในระบบที่ไม่เติมสารตัวเติม (NaCl) เนื่องจากสารตัวเติมจะทำหน้าที่เป็นอ่างดูดซับความร้อน (Heat

Sink) ทำให้อุณหภูมิเอเดียเบติกของระบบลดลง จึงส่งผลให้การโตของเกรนนั้นถูกจำกัด แต่ก็ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ของเกลือในระบบนั้นหลงเหลือติดค้างอยู่ในโครงสร้าง ถึงแม้ว่าจะทำการชะละลาย (Leaching) ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและทำการระเหิดเกลือที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

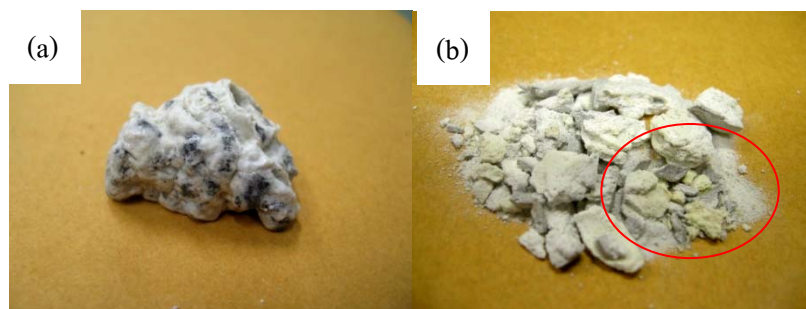
ถึงแม้ว่าขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์นั้นเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดเพื่อการปรับปรุงสมบัติเชิงแสง แต่การที่สารตัวเติม (NaCl) เหล่านั้นติดค้างอยู่ในโครงสร้าง ส่งผลให้ความเข้มแสงที่ผลิตภัณฑ์เปล่งออกมามีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่เติม NaCl ดังรูปที่ 3.14 แสดงสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$   $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่อุณหภูมิห้อง เส้นที่เปรียบเทียบรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 501 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เส้นเปรียบเทียบรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 437 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว และเส้นจุดแทนรูปแบบสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 517 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว



รูปที่ 3.14 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$   $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่เติม NaCl

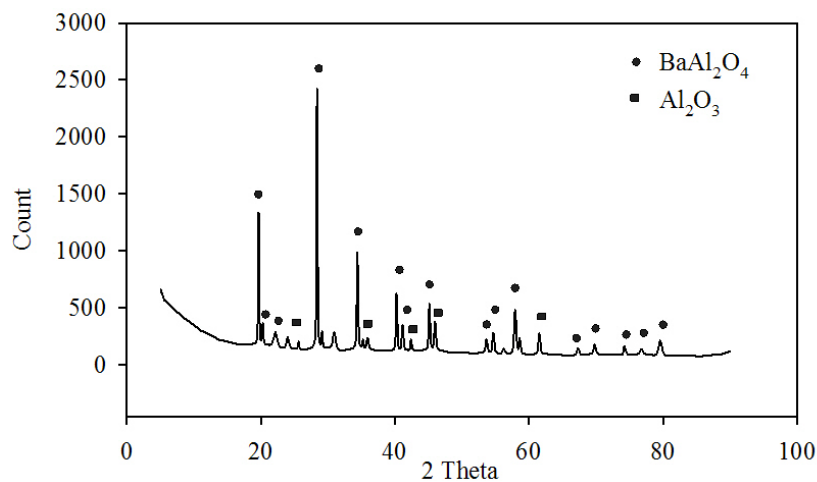
### 3.4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

จากระบบที่เติมสารตัวเติม ( $\text{NaCl}$ ) ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์ด้อยลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสารประกอบที่เกิดจากสารตัวเติมนั้นยังคงติดค้างอยู่ในตัวโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$   $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  และ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ส่งผลให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดอนุภาคเล็กลงและไม่เสียเนื้อผลิตภัณฑ์หลักไป แต่เมื่อทำการสังเคราะห์ ปรากฏว่าชิ้นงานหลังการสังเคราะห์นั้นเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ แยกออกเป็นสองบริเวณ คือ บริเวณที่เป็นสีขาวเทา และบริเวณสีเหลืองจางๆ (รูปที่ 3.15 (b) ภายในวงกลมสีแดง)

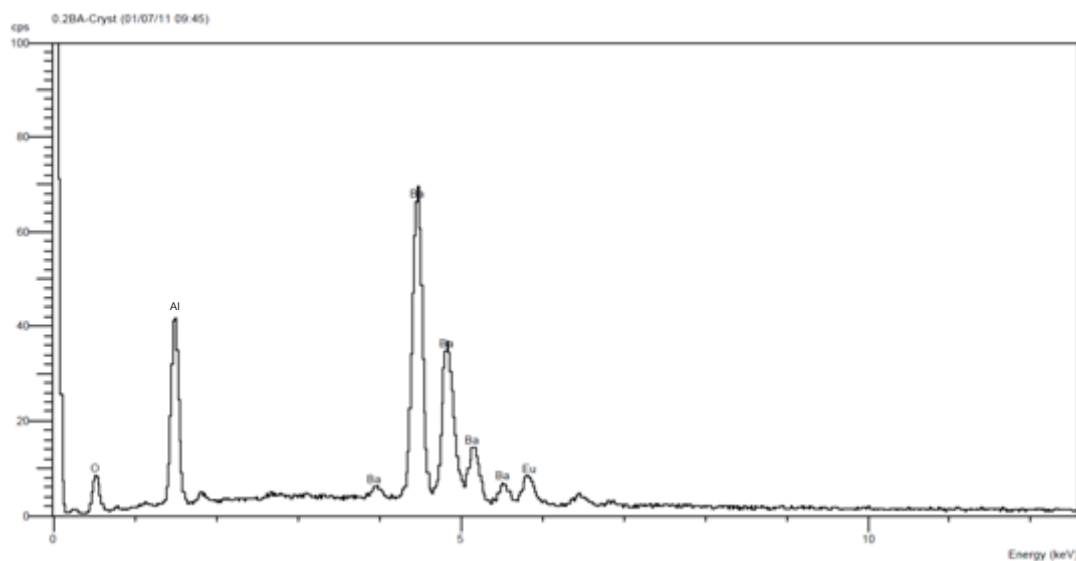


รูปที่ 3.15 ผลิตภัณฑ์หลังการสังเคราะห์ของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (a)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  และ (b)  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (เติม  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ )

จากการพิสูจน์ทราบเฟสด้วย XRD เป็นที่ยืนยันว่า สารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้นั้น (รูปที่ 3.16) มีเฟสหลักคือ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  และมีสารประกอบที่เหลืออยู่ในระบบ คือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการไม่สมบูรณ์ จึงทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อนำไปพิสูจน์ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ด้วยเทคนิค EDX พบว่าธาตุกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ประกอบไปด้วยธาตุแบเรียม (Ba) อะลูมิเนียม (Al) ออกซิเจน (O) และสุดท้ายคือ ยูโรเปียม (Eu) ซึ่งตรงกับสูตรโครงสร้างของแบเรียมอะลูมิเนียมเตตเรียมยูโรเปียม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) (รูปที่ 3.17) แต่เนื่องจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ แยกออกเป็นสองบริเวณ ดังนั้นจึงจบประเด็นการสังเคราะห์สารเรืองแสงโดยการเติมสารตัวเติมชนิด  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$



รูปที่ 3.16 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารตัวเติม ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ )



รูปที่ 3.17 ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS

### 3.5 ผลการศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{+2}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

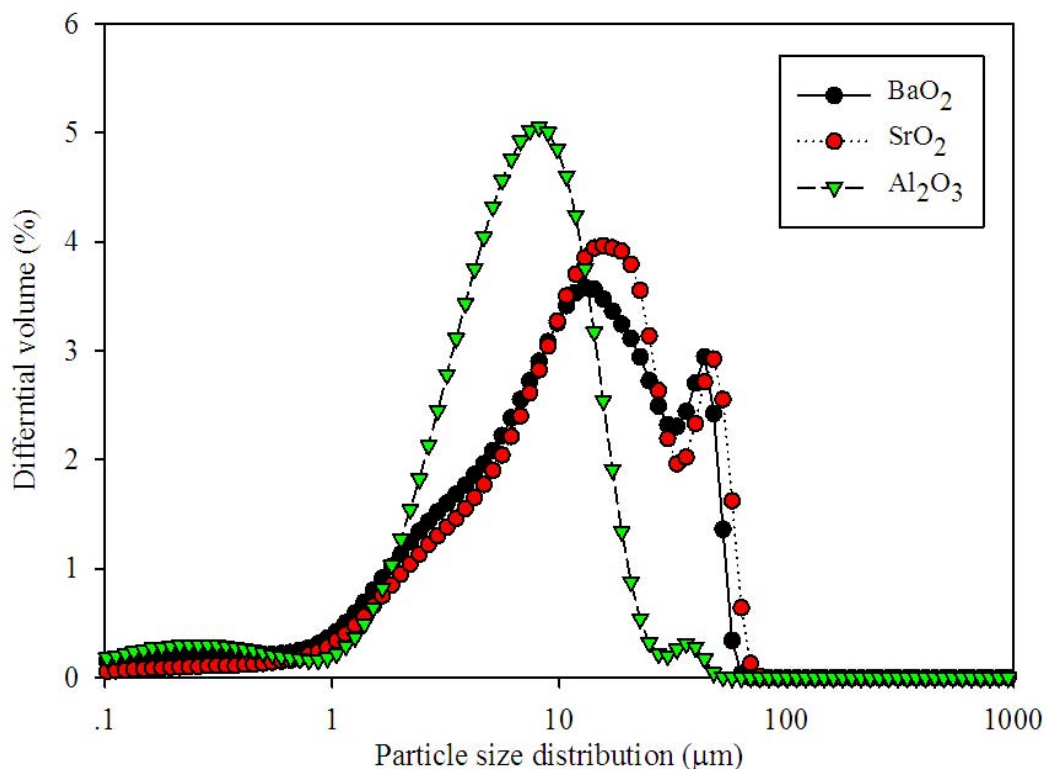
จากการศึกษาหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของสารผลิตภัณฑ์ และหนึ่งในหลายๆปัจจัยนั้นก็คือ ปริมาณสารเจือในสารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของปริมาณสารเจือในระบบ ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยการ

ปรับเปลี่ยนค่าปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีความส่องสว่างสูงและอายุการใช้งานยาวนานขึ้นด้วยอัตราส่วนเชิงโมล คือ 1-15 mol% และทำการบดสารตั้งต้นด้วยเครื่องบดลดขนาดแบบแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยลูกบอล (Planetary Ball Mill) เป็นเวลา 15 นาที

ขนาดอนุภาคของสารตั้งต้นและลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาคแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ผลของขนาดอนุภาคสารตั้งต้นโดยการบดเป็นเวลา 15 นาที

ชนิดสารตั้งต้น	ปริมาตร (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\mu\text{m}$ )
BaO <sub>2</sub>	100	15.88	14.21
SrO <sub>2</sub>	100	18.21	15.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100	7.988	6.202

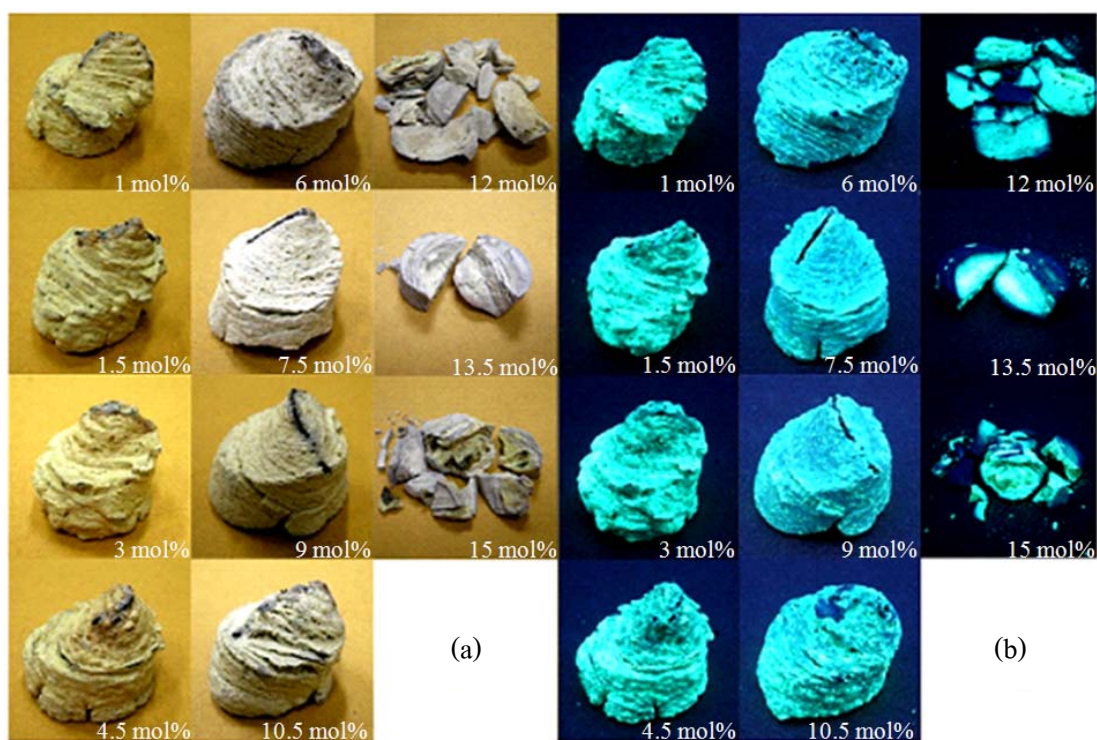


รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาด และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตั้งต้น



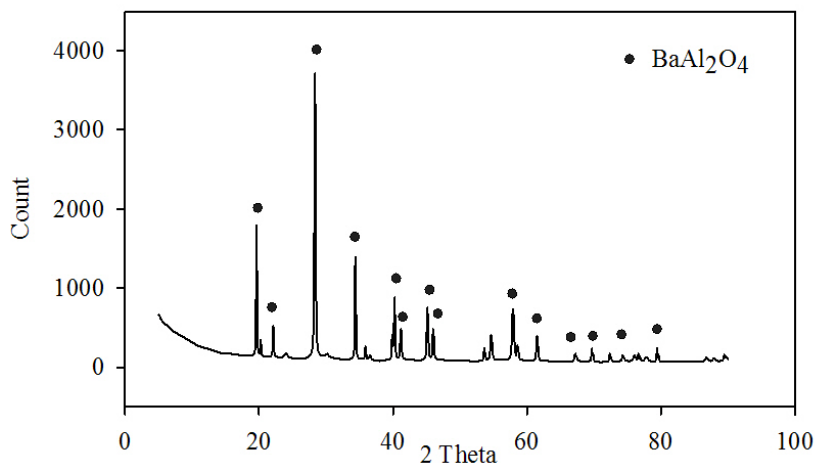
### 3.5.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

รูปที่ 3.19 แสดงภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกัน จากรูปผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณสารเจือ 1-10.5 mol% สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณสารเจือ 12-15 mol% เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอัตราส่วนของสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองจางๆ (รูปที่ 3.19 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน (รูปที่ 3.19 (b))



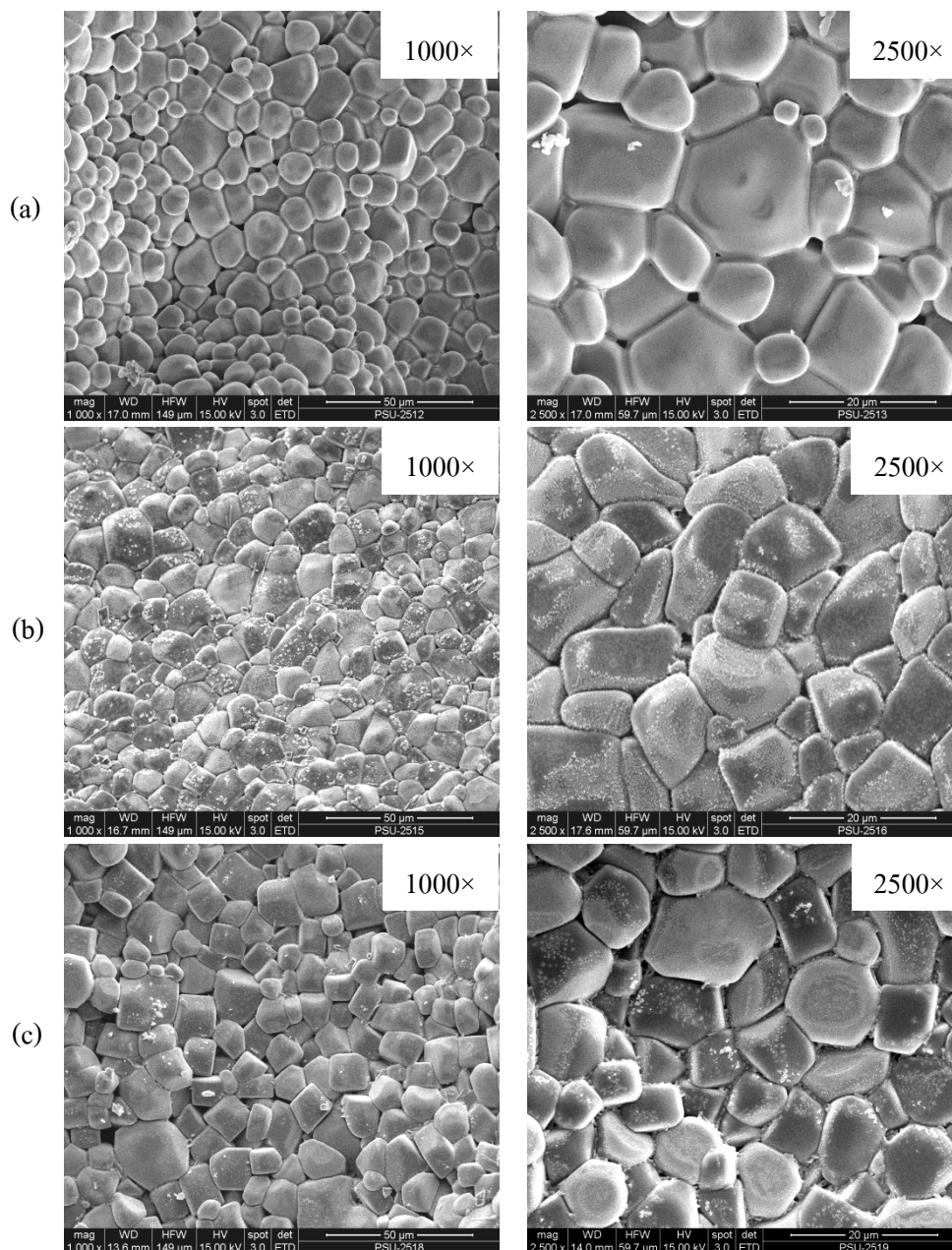
รูปที่ 3.19 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2012)

ข้อมูลจาก XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ 10.5 mol% ซึ่งประกอบด้วยเฟสเดียวของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ไม่พบสารผลิตภัณฑ์ตัวอื่นหรือสารตั้งต้นในระบบและปริมาณของสารเจือที่น้อยกว่า 10.5 mol% ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของเฟสของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ดังแสดงรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 10.5 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

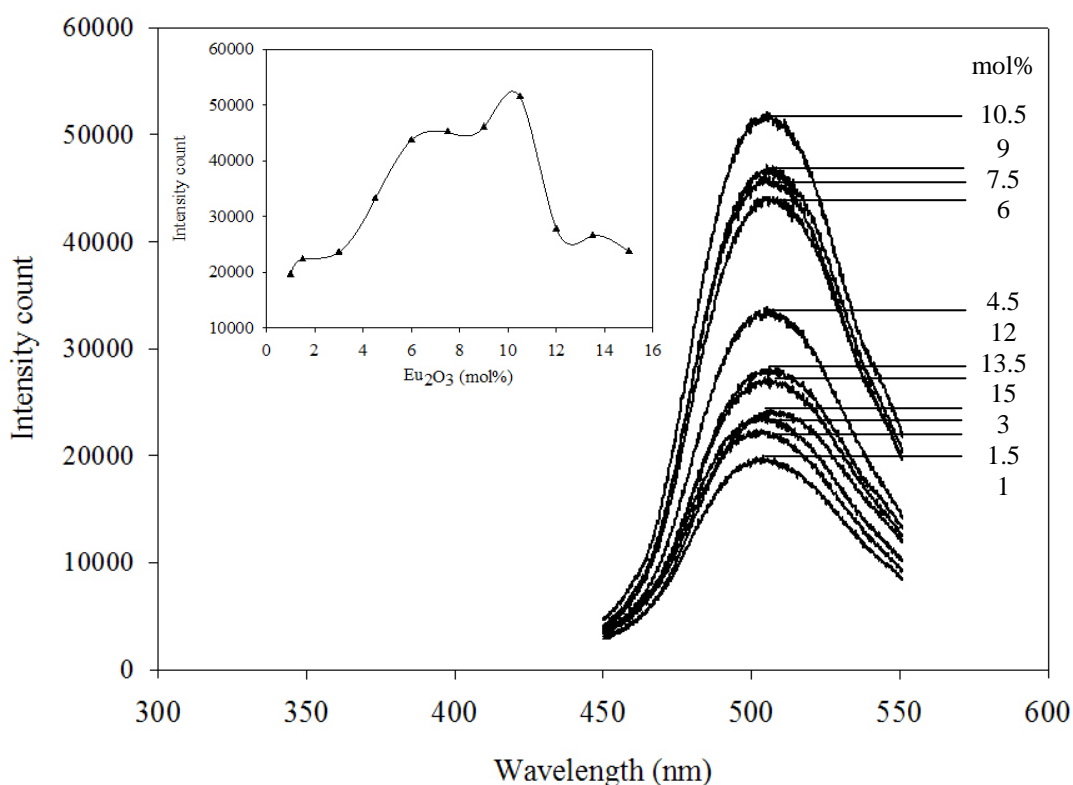
รูปที่ 3.21 แสดงให้เห็น โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้ำวหน้าด้วยตัวเอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1-15  $\mu\text{m}$  เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของเฟสของเหลวเกิดการตกผลึกซ้ำซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แนวปฏิกิริยามีค่าสูงในกระบวนการ SHS ซึ่งเหมือนกันกับระบบแรกเริ่มที่ศึกษาความเป็นไปได้ แต่ลักษณะเกรนที่ได้ในระบบนี้จะมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นรูปร่างเด่นชัดมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นผลจากการบดลดขนาดสารตั้งต้น 2 ขั้นตอน (บดสารตั้งต้นแต่ละชนิดก่อนทำการตวงและบดผสมอีกครั้ง) เพื่อให้สารตั้งต้นนั้นมีขนาดเล็กที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเกิดการทำปฏิกิริยา อนุภาคจะได้มีอัตราการโตที่ใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 3.21** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (a) 1 mol% (b) 6 mol% และ (c) 10.5 mol% (Sathaporn and Niyomwas 2012)

ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารเจือในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเปล่งแสงของสารผลิตภัณฑ์ โดยปกติอัตราส่วนสารเจือที่น้อยจะให้การเปล่งแสงน้อย แต่การเจือมากเกินไปนั้นบางทีอาจจะส่งผลให้การเปล่งแสงลดลง ในหัวข้อนี้จึงทำการแปรค่าที่เหมาะสมต่อ

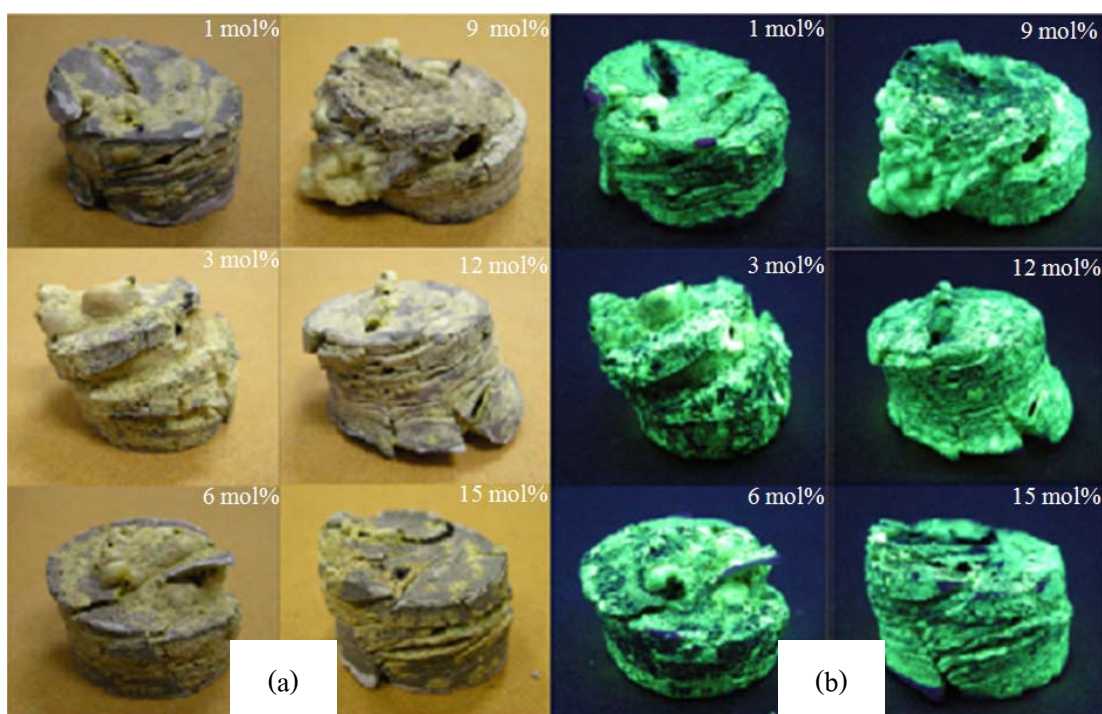
ค่าความเข้มแสง โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1 ถึง 15 mol% ของยูโรเปียมไอออน ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในรูปที่ 3.22 เป็นสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกัน ที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 501 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารยูโรเปียม ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ 10.5 mol%



รูปที่ 3.22 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (Sathaporn and Niyomwas 2012)

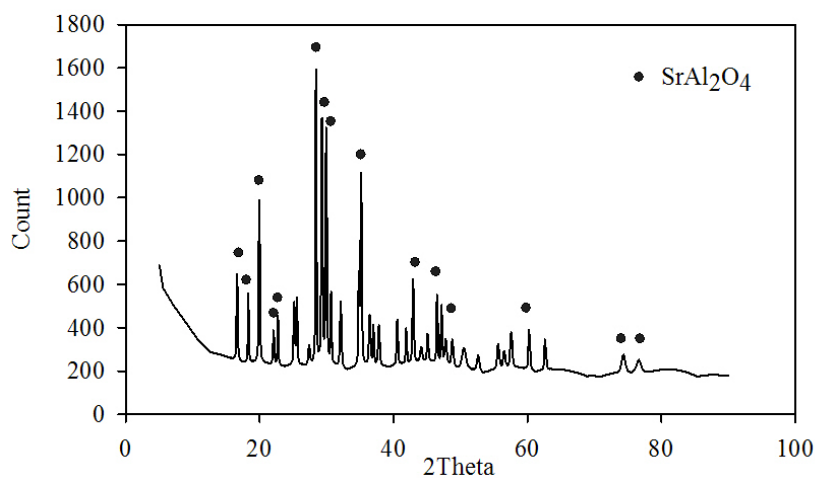
### 3.5.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

รูปที่ 3.23 แสดงภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกัน จากรูปผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณเจือ 1-15 mol% เกิดปฏิกิริยาก่อนข้างสมบูรณ์ ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเทา (รูปที่ 3.23 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมเหลือง (รูปที่ 3.23 (b))

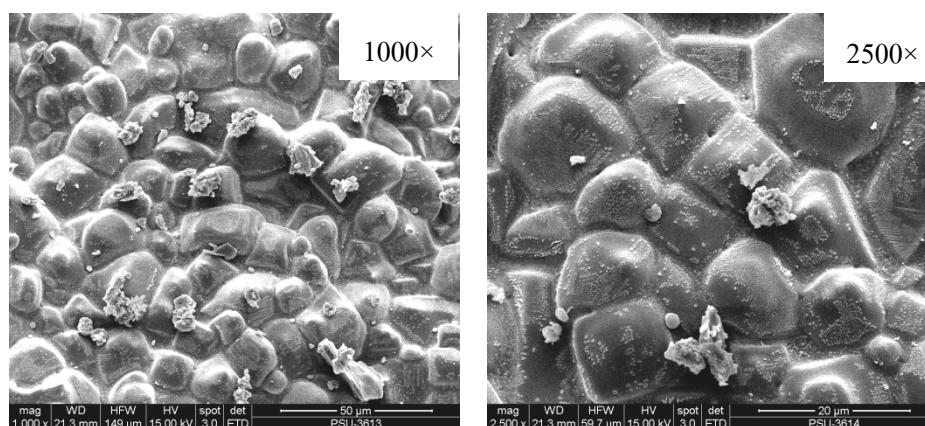


รูปที่ 3.23 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2012)

จากรูปแบบ XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ 6 mol % ซึ่งประกอบด้วยเฟสเดี่ยวของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  ไม่พบสารผลิตภัณฑ์ตัวอื่นหรือสารตั้งต้นในระบบและปริมาณของสารเจือเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของเฟสดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ของระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 6 mol% (Sathaporn and Niyomwas 2012)

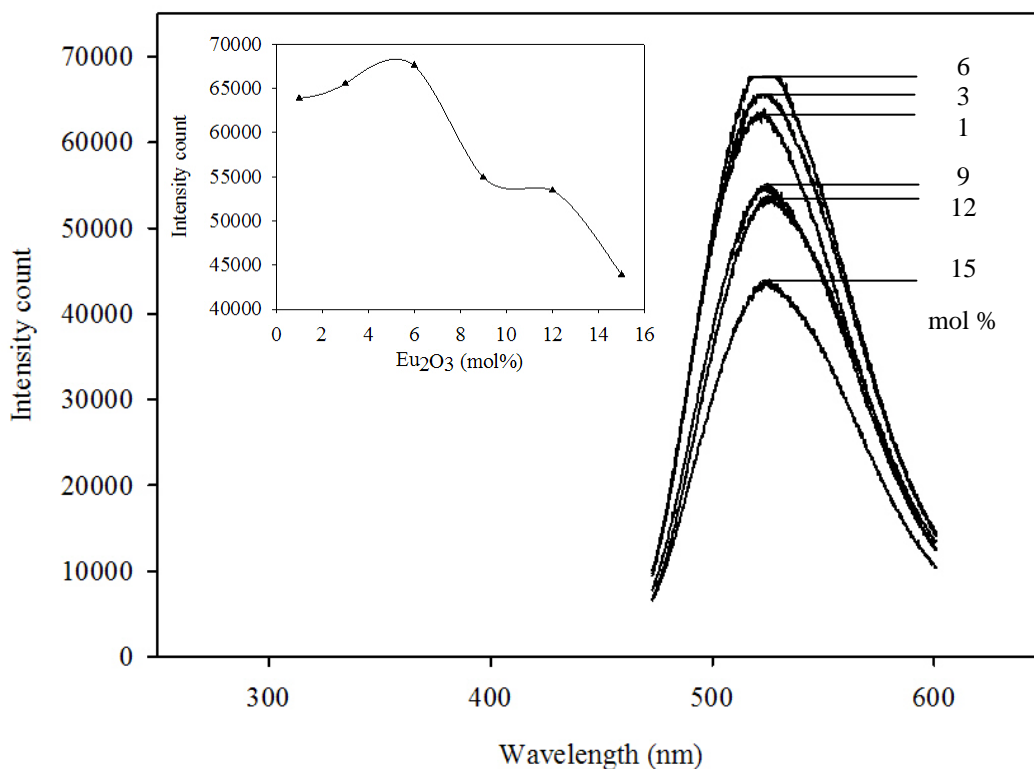


รูปที่ 3.25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 6 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

รูปที่ 3.25 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้ำวหน้าด้วยตัวเอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10-15  $\mu\text{m}$  แตกต่างกับระบบแรกเริ่ม ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) ที่ไม่ได้บดลดขนาดสารตั้งต้น 2 ชั้นตอน ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของอนุภาคเกิดการหลอมเหลวเกือบจะเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมกับการก่อตัวของคอคอด แต่ในระบบนี้

ลักษณะเกรนที่ได้ในระบบนี้จะมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นรูปร่างเด่นชัดมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งรูปแบบของโครงสร้างจุลภาคจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

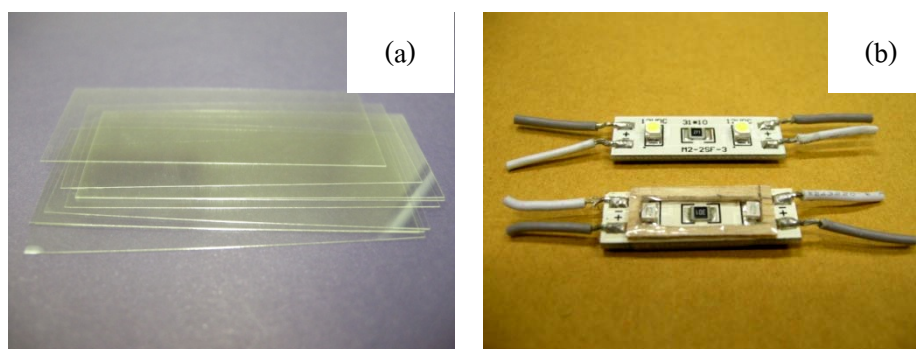
ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารเจือในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเปล่งแสงของสารผลิตภัณฑ์ หัวข้อนี้จึงทำการแปรค่าที่เหมาะสม โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1-15 mol% ของยูโรเปียมไอออน ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในรูปที่ 3.26 เป็นสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกันที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 523 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารยูโรเปียม ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้น จนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ 6 mol%



รูปที่ 3.26 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน (Sathaporn and Niyomwas 2012)

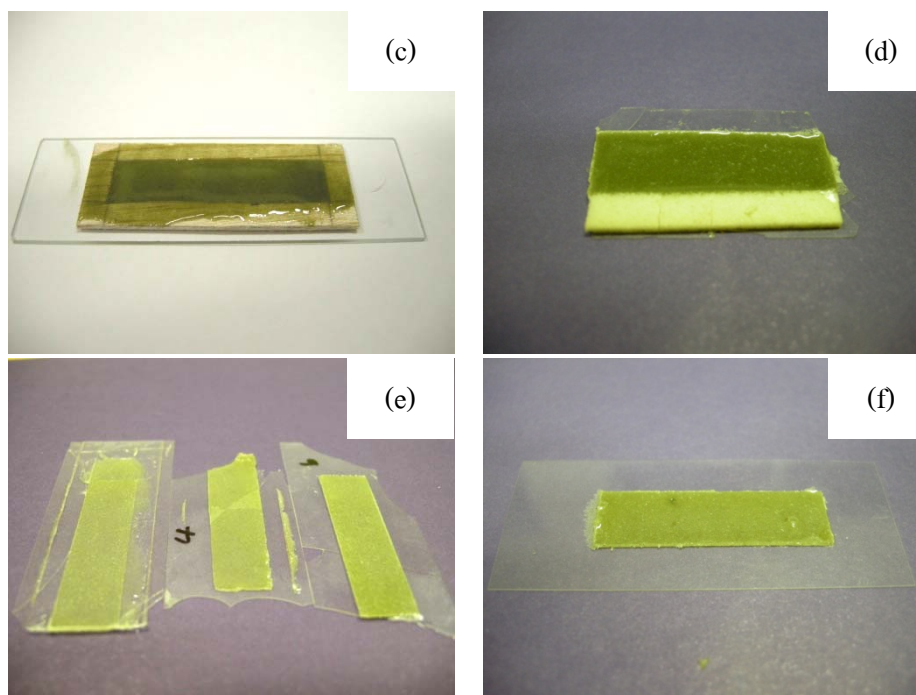
### 3.6 ผลการเตรียมชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED)

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในงานไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยที่นำผงสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้นั้น มาเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ เพื่อให้ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินชนิดชิปนั้นส่องผ่านแผ่นกระจกที่เคลือบด้วยสารผลิตภัณฑ์และเกิดการรวมแสงแล้วทำให้เกิดแสงสีขาว ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไดโอดเปล่งแสงสีขาวอีกด้วย โดยใช้สารผลิตภัณฑ์  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ในการทดลองนี้ อุปกรณ์และลักษณะชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจกได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.27 โดยเตรียมชิ้นความหนาของสารเรืองแสงที่จะทำการเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ ซึ่งสามารถแบ่งชิ้นงานตามความหนาได้ 4 ระดับ คือ ใช้เฟรมไม้มีความหนาประมาณ 1 mm เทปโฟมกาวที่มีความหนาประมาณ 1.6 mm เทปใส 1 ชั้นที่มีความหนาประมาณ 48  $\mu\text{m}$  และกระดาษกาวย่น 1 ชั้นที่มีความหนาประมาณ 140  $\mu\text{m}$  หลังจากการบ่มกาวประสานที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าเฟรมไม้ที่ใช้นั้นติดกับกาวประสานไม่สามารถแกะออกจากกันได้ ส่วนเทปโฟมกาวและเทปใสทำให้กระจกสไลด์แตกหักเนื่องจากเทปมีแรงยึดเกาะกระจกสูงแต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้กระดาษกาวย่นก็สามารถขจัดปัญหาการแตกหักของกระจกไปได้



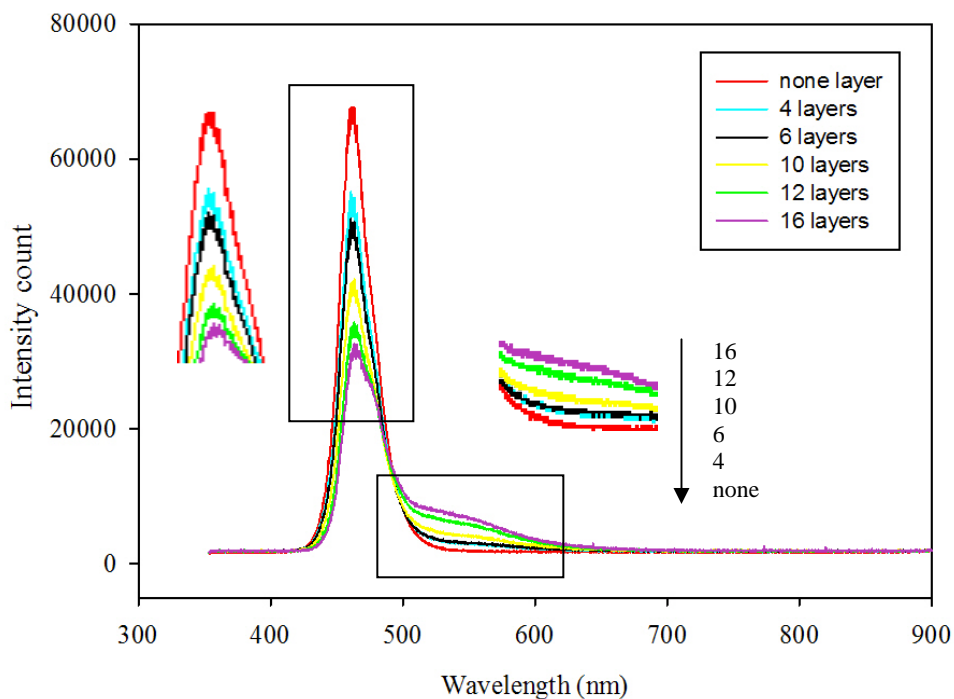
รูปที่ 3.27 อุปกรณ์และลักษณะชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจก (a) แผ่นกระจก (b) LED chip (GaN)





รูปที่ 3.27 (ต่อ) อุปกรณ์และลักษณะชิ้นงานหลังเคลือบสารเรืองแสงบนแผ่นกระจก (c) เฟรมไม้ (d) เทปโฟมขาว (e) เทปใส และ (f) กระดาษกาวย่น

การใช้ LED ให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง (Yellow phosphor) แสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงสีเหลืองที่เคลือบอยู่ให้ปล่อยแสงสีเหลืองออกมา เมื่อปรับสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลืองให้พอเหมาะจะทำให้สามารถมองแสงที่เปล่งออกมาเป็นแสงสีขาว และเป็นเทคนิคการทำ LED ให้แสงสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุด และใช้ผลิตหลอด LED ให้แสงสีขาวส่วนใหญ่ในตอนนี้ จากการทดลองเพิ่มขึ้นความหนาของสารเรืองแสงที่ผลิตได้พบว่า เกิดจุดยอดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน 2 จุด จุดยอดแรก คือ จุดยอดของ LED ที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน และจุดยอดที่ 2 คือ จุดยอดของสารเรืองแสงที่สังเคราะห์ได้เปล่งแสงสีเขียวแกมเหลืองและพบว่าเมื่อความหนาของชั้นสารเรืองแสงเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดที่เปล่งออกมาจาก แสงสีน้ำเงินเข้มกลายเป็นสีน้ำเงินอ่อนจนเกือบเป็นสีฟ้าใส ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ถึงแนวโน้มของการทำงานร่วมกันระหว่าง LED กับสารเรืองแสงที่จะเปล่งแสงสีขาวออกมา ถ้าได้รับการแปรค่าปริมาณที่เหมาะสมแล้ว และมีโอกาสในการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้ LED เปล่งแสงสีขาวที่เสถียรมากขึ้นด้วย

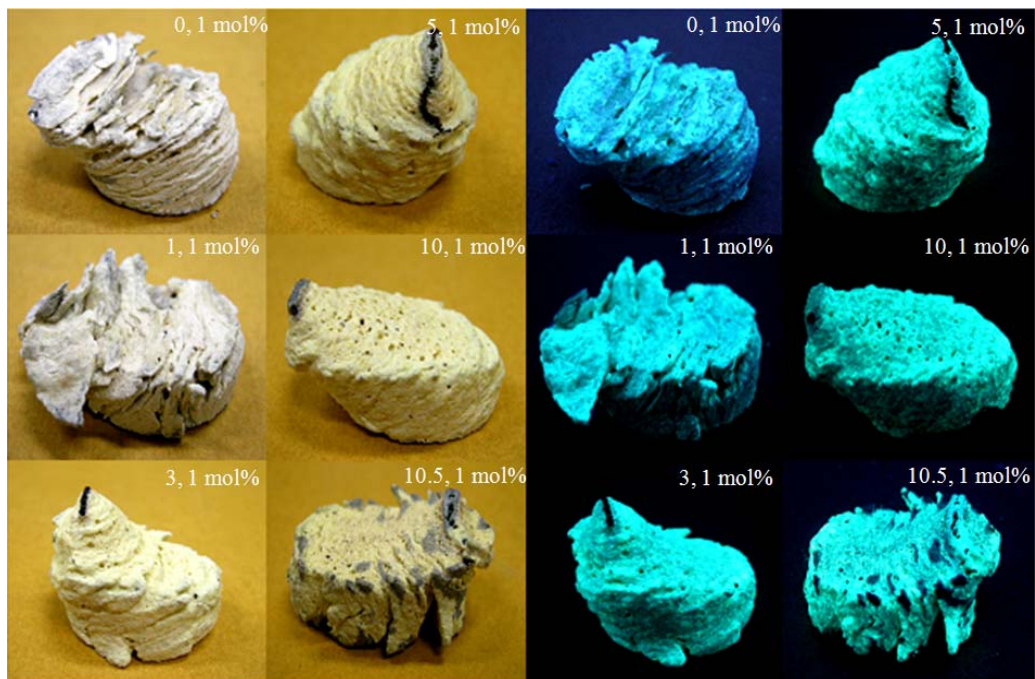


รูปที่ 3.28 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่ระดับความหนาต่างกัน

### 3.7 ผลการศึกษาผลของสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$

#### 3.7.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$

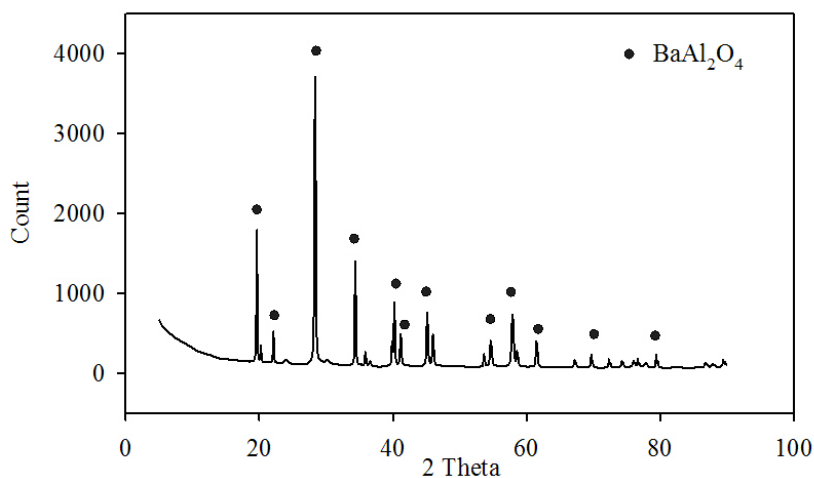
เนื่องจากสมบัติของสารเรืองแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดีนั้นต้องมีค่าความส่องสว่างสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จากการศึกษาผลของสารเจือร่วมในระบบ ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ที่เหมาะสมโดยกำหนดสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ที่ 1 mol% เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.29 ภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกัน จากรูปผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณสารเจือ 0-10.5 mol% สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองจางๆ (รูปที่ 3.29 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน (รูปที่ 3.29 (b))



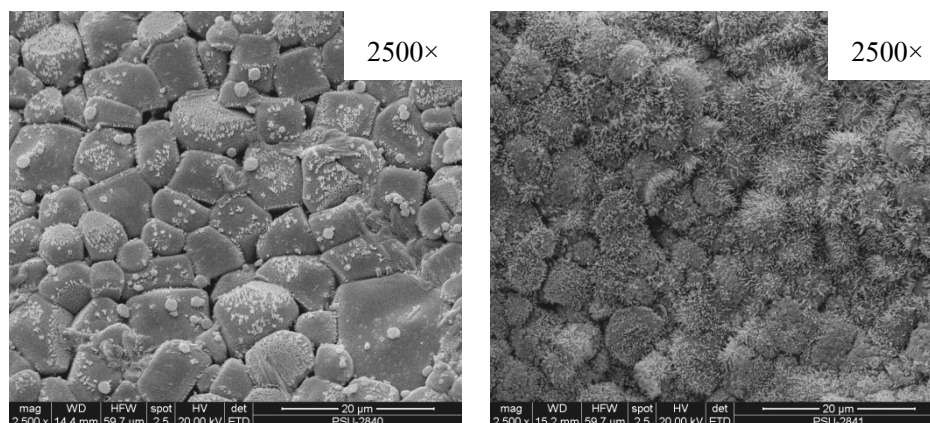
รูปที่ 3.29 ผลึกภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol % (a) ภายใต้งแสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้งแสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2012)

จากรูปแบบ XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลึกภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือและเจือร่วม 10 mol % และ 1 mol % ซึ่งประกอบด้วยเฟสเดี่ยวของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ไม่พบสารผลึกภัณฑ์ตัวอื่นหรือสารตั้งต้นในระบบและปริมาณของสารเจือเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบเฟสดังรูปที่ 3.30

รูปที่ 3.31 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาคของผลึกภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  (ที่ปริมาณสารเจือ 10 mol % และ 1 mol %) จากปฏิกิริยาการก้าวหน้าด้วยตัวเอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10–15  $\mu\text{m}$  ลักษณะเกรนที่ได้ในระบบนี้จะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นรูปร่างเด่นชัดมากขึ้นกว่าเดิม แตกต่างกับระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ที่มีแท่งเล็กๆล้อมรอบอยู่ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเติมสารเจือร่วมลงไปในระบบ



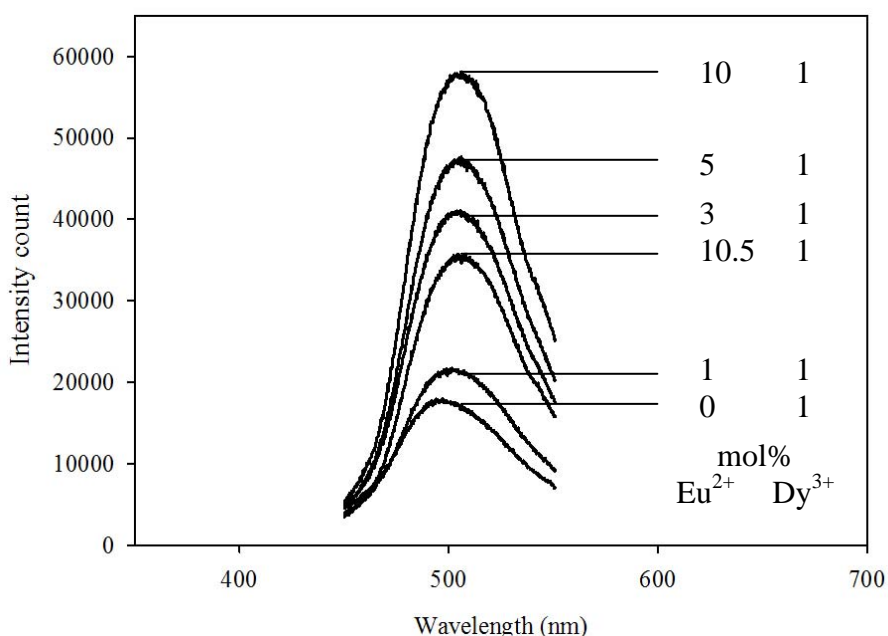
**รูปที่ 3.30** รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 10, 1mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)



**รูปที่ 3.31** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 10, 1mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

ผลของอัตราส่วนที่ต่างกันของสารเจือและสารเจือร่วมในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเรืองแสงและการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นของสารผลิตภัณฑ์ จึงได้ทำการแปรค่าสารเจือที่เหมาะสม โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1-10.5 mol% ของยูโรเปียมไอออน ( $\text{Eu}^{2+}$ ) โดยกำหนดสารเจือร่วม ( $\text{Dy}^{3+}$ ) ที่ 1 mol% ในรูปที่ 3.32 เป็นสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกันที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการ

ปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 503 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เมื่อเติม  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  เข้าไปในระบบทำให้เกิดการเลื่อนของความยาวคลื่นเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเรืองแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารยูโรเปียม ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  คือ 10 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสง หลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 1 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 3 วินาที ซึ่งระบบที่ไม่เติมสารเจือร่วมนั้นไม่สามารถเรืองแสงได้เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงออก

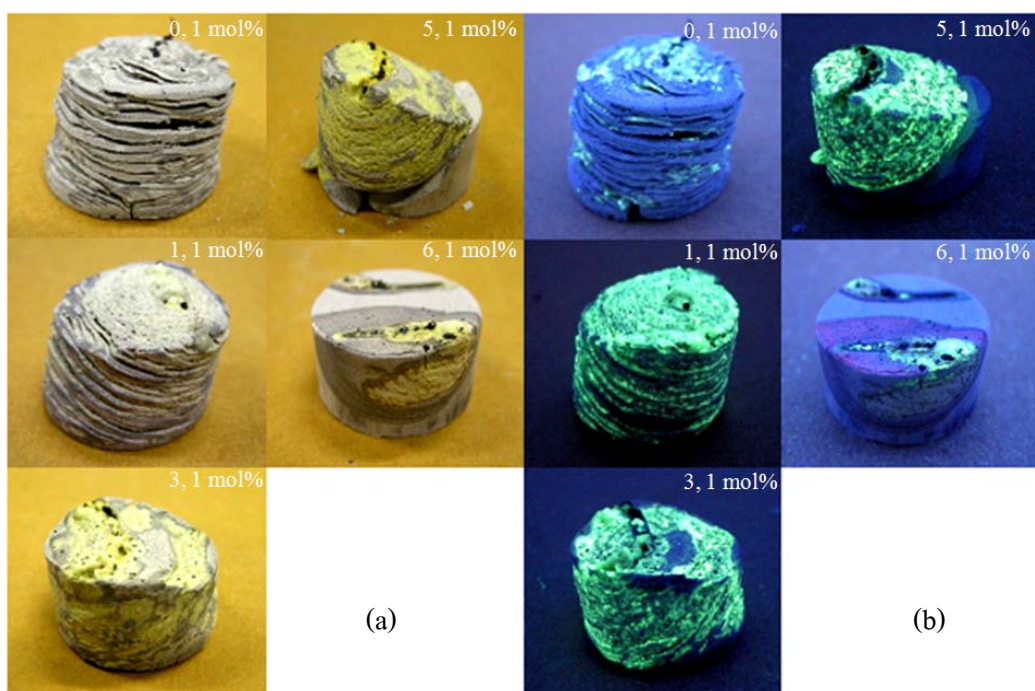


**รูปที่ 3.32** สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

### 3.7.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$

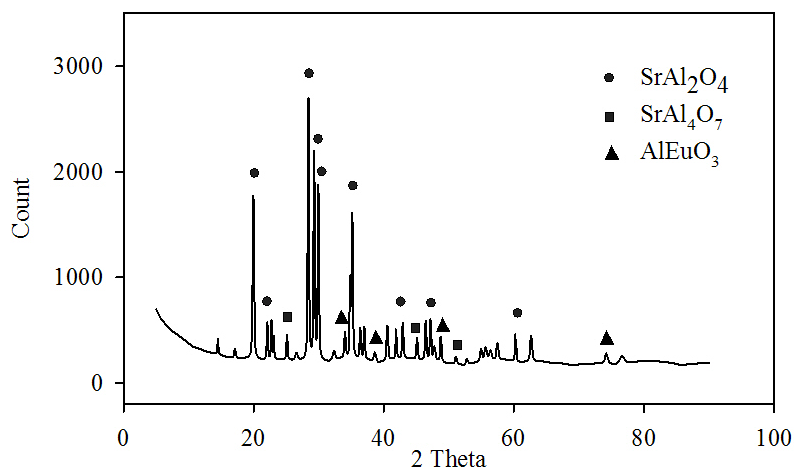
จากการวิจัยศึกษาผลของสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงแสงของผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ที่เหมาะสมโดยกำหนด

สารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ที่ 1 mol% เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้นดังรูปที่ 3.33 แสดงภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกัน จากรูปภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์จะมีสีเหลือง ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จะมีสีเทา (รูปที่ 3.33 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมเหลือง (รูปที่ 3.33 (b))

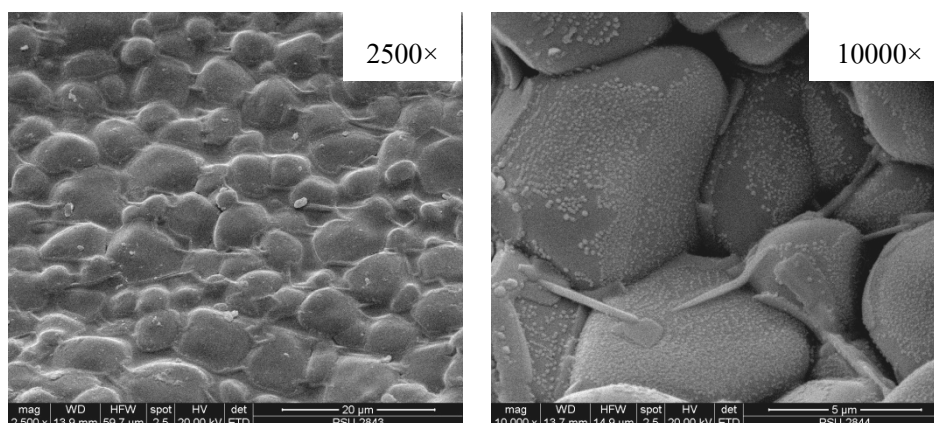


**รูปที่ 3.33** ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV (Sathaporn and Niyomwas 2012)

จากรูปแบบ XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือและเจือร่วม 5 mol % และ 1 mol % ซึ่งประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  ในขณะเดียวกันก็พบเฟส  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$  ซึ่งเป็นเฟสระหว่างปฏิกิริยา และเฟส  $\text{AlEuO}_3$  ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.34



**รูปที่ 3.34** รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 5, 1 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

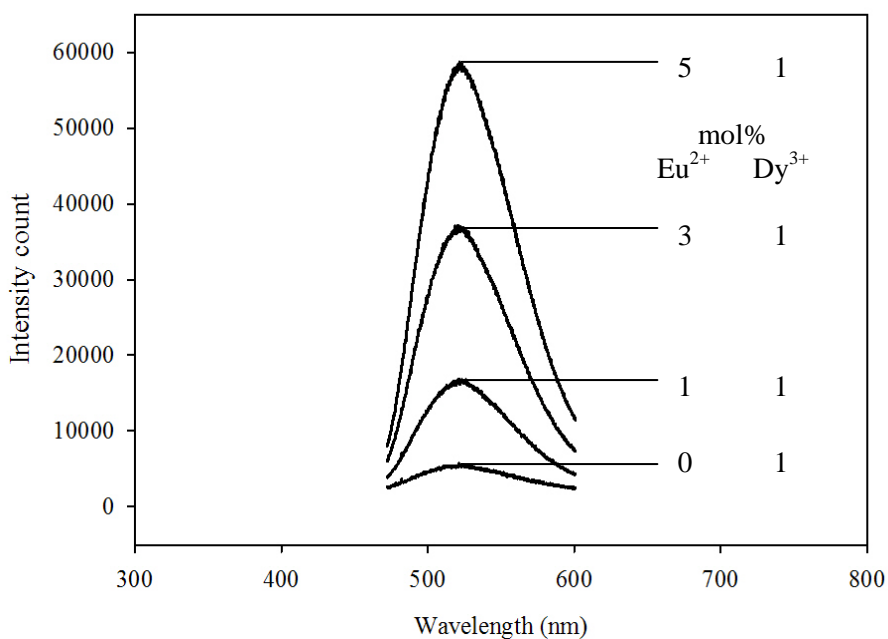


**รูปที่ 3.35** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 5, 1 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)

รูปที่ 3.35 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้ำวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10–15  $\mu\text{m}$

และลักษณะเกรนที่ได้ในระบบนี้ จะมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นรูปร่างเด่นชัดซึ่งคล้ายคลึงกับระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  (6 mol %) แต่จะมีแท่งเล็กๆ พาดผ่านระหว่างเกรนแต่ละเกรน

ผลของอัตราส่วนที่ต่างกันของสารเจือและสารเจือร่วมในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเรืองแสงและการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นของสารผลิตภัณฑ์ โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1-6 mol% ของยูโรเปียมไอออน ( $\text{Eu}^{2+}$ ) โดยกำหนดสารเจือร่วม ( $\text{Dy}^{3+}$ ) ที่ 1 mol% ในรูปที่ 3.36 เป็นสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกันที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 523 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เมื่อเติม  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  เข้าไปในระบบทำให้เกิดการเลื่อนของความยาวคลื่นเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเรืองแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารยูโรเปียม ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  คือ 5 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 1 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 1 นาที ซึ่งระบบที่ไม่เติมสารเจือร่วมนั้นไม่สามารถเรืองแสงได้เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงออก



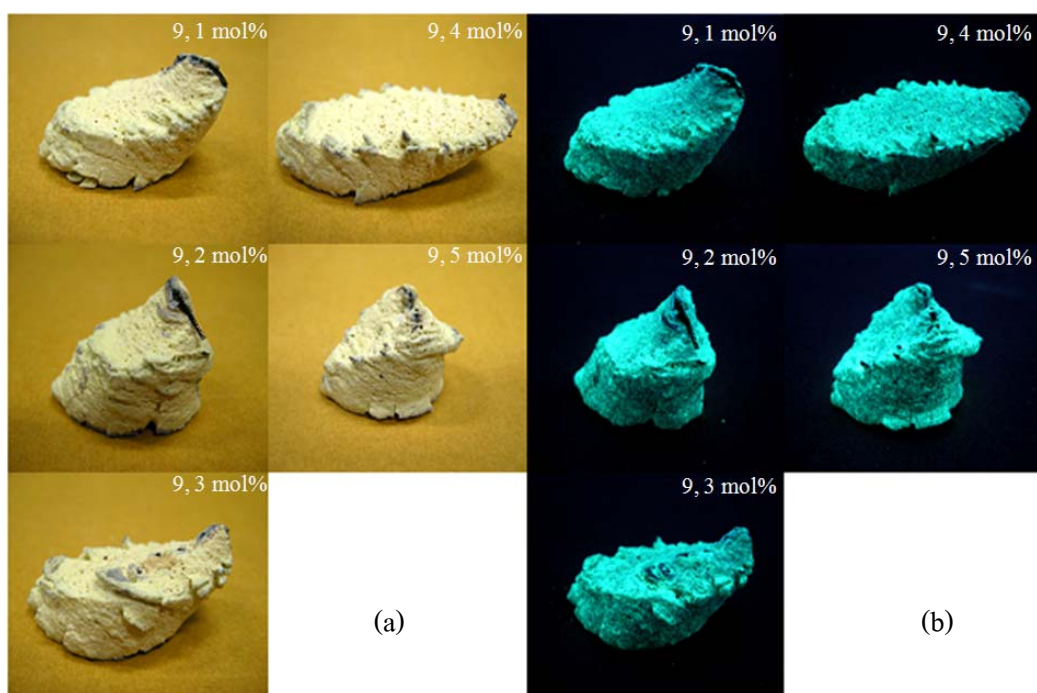
**รูปที่ 3.36** สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 1 mol % (Sathaporn and Niyomwas 2012)



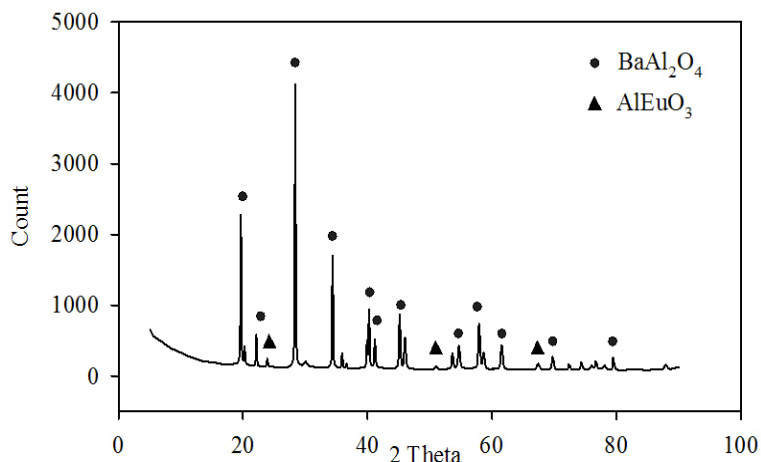
### 3.8 ผลการศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ในระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$ และ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$

#### 3.8.1 ระบบ $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ , $\text{Dy}^{3+}$

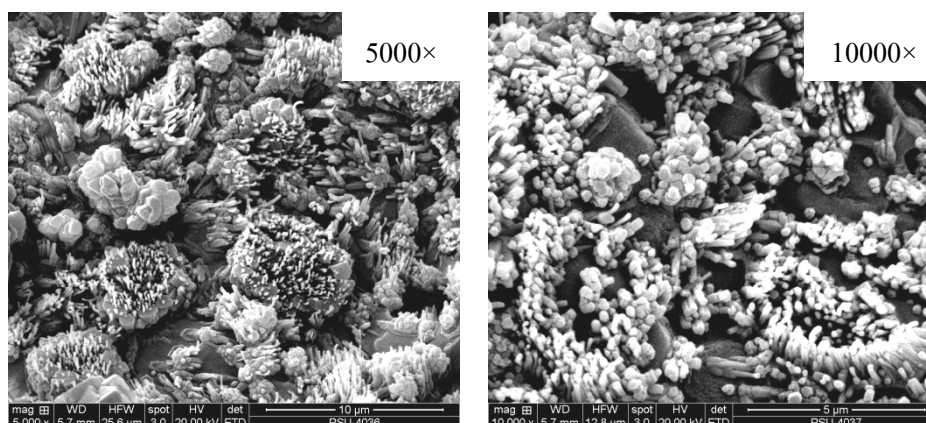
จากหัวข้อ 3.7 ทำให้ทราบว่าผลกระทบของสารเจือร่วมนั้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความส่องสว่างสูงและมีการเปล่งแสงที่ยาวนานยิ่งขึ้น จากการศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ในระบบ โดยการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณสารเจือร่วม  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  ที่เหมาะสมเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้น กำหนดอัตราส่วนเชิงโมลของสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) สำหรับระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  คือ 9 mol% ดังแสดงในรูปที่ 3.37 ผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณสารเจือร่วม 1-5 mol% สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองจาง (รูปที่ 3.37 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน (รูปที่ 3.37 (b))



รูปที่ 3.37 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 9 mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง UV



รูปที่ 3.38 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 9, 4 mol %



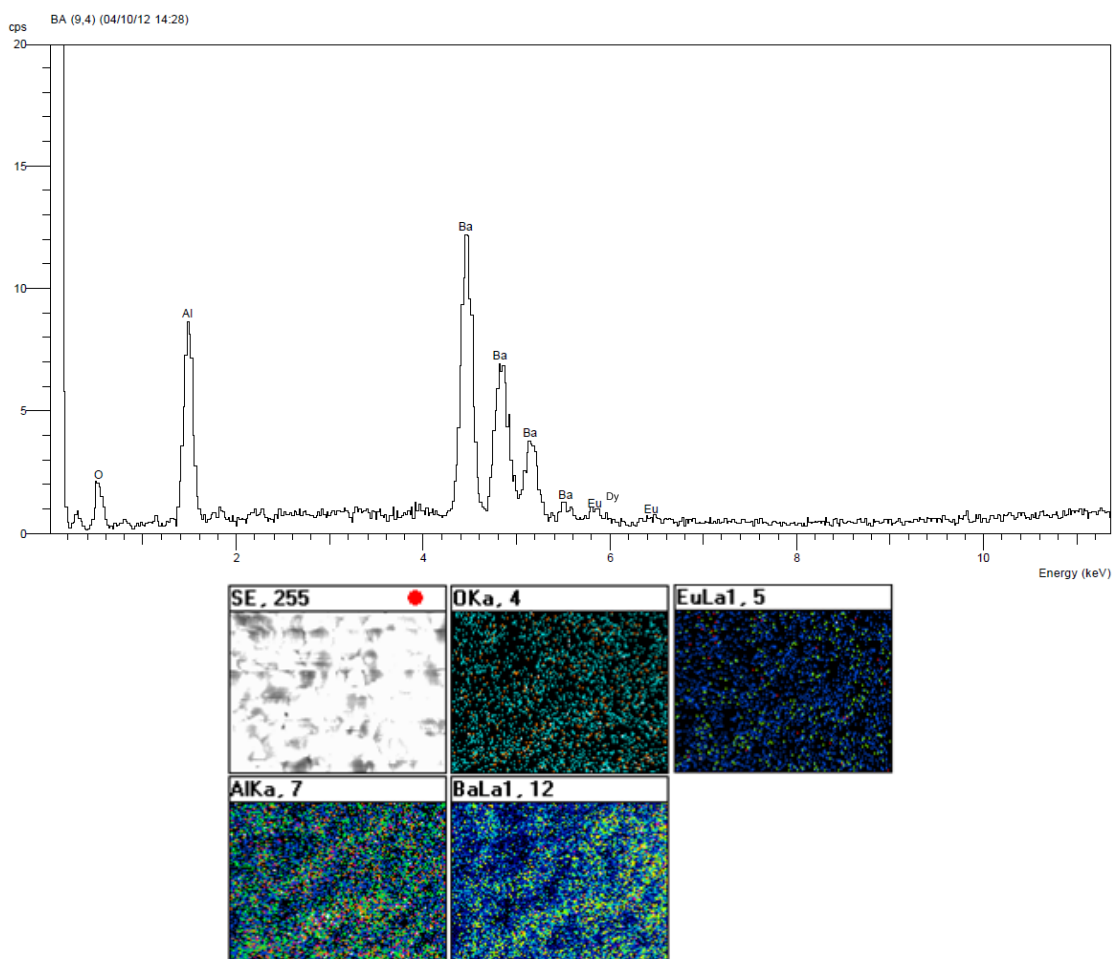
รูปที่ 3.39 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 9, 4 mol %

จากผล XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ 9 mol % และ 4 mol % ซึ่งประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  ในขณะเดียวกันก็พบเฟส  $\text{AlEuO}_3$  ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.38

รูปที่ 3.39 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้าวน้ำด้วยตัวเอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของ

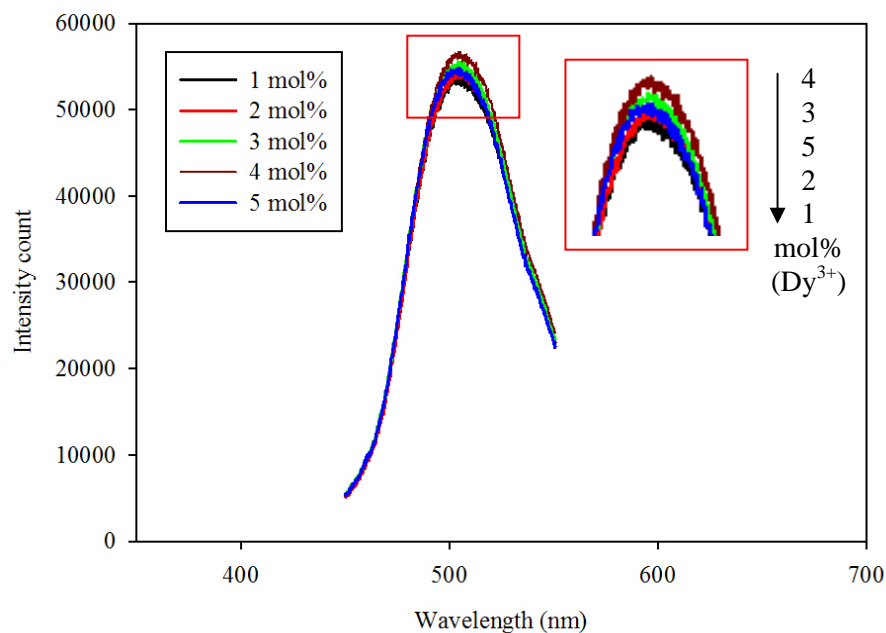
เกรนขนาดเล็กพร้อมกับการก่อรูปของแท่งเล็กๆ ที่บริเวณคอคอดและขอบเกรนของอนุภาคมากขึ้น  
อย่างเห็นได้ชัด ทำให้ชิ้นงานมีพื้นที่ผิวในการรับแสงมากขึ้นส่งผลให้มีสมบัติเชิงแสงที่ดี

จากการพิสูจน์ทราบเฟสด้วย XRD เป็นที่ยืนยันว่า สารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้  
นั้น (รูปที่ 3.38) มีเฟสหลักคือ  $BaAl_2O_4$  และมีสารประกอบที่เหลืออยู่ในระบบ คือ  $AlEuO_3$  และเมื่อนำไปพิสูจน์ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ด้วยเทคนิค EDX พบว่าธาตุ  
กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ประกอบไปด้วยธาตุแบเรียม (Ba) อะลูมิเนียม (Al) ออกซิเจน (O) ยูโร  
เปียม (Eu) และสุดท้ายคือ ดิสโพรเซียม (Dy) ซึ่งตรงกับสูตรโครงสร้างของแบเรียมอะลูมิเนียมเตทริอู  
โรเปียมและเจอร์ร่วมดิสโพรเซียม ( $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS

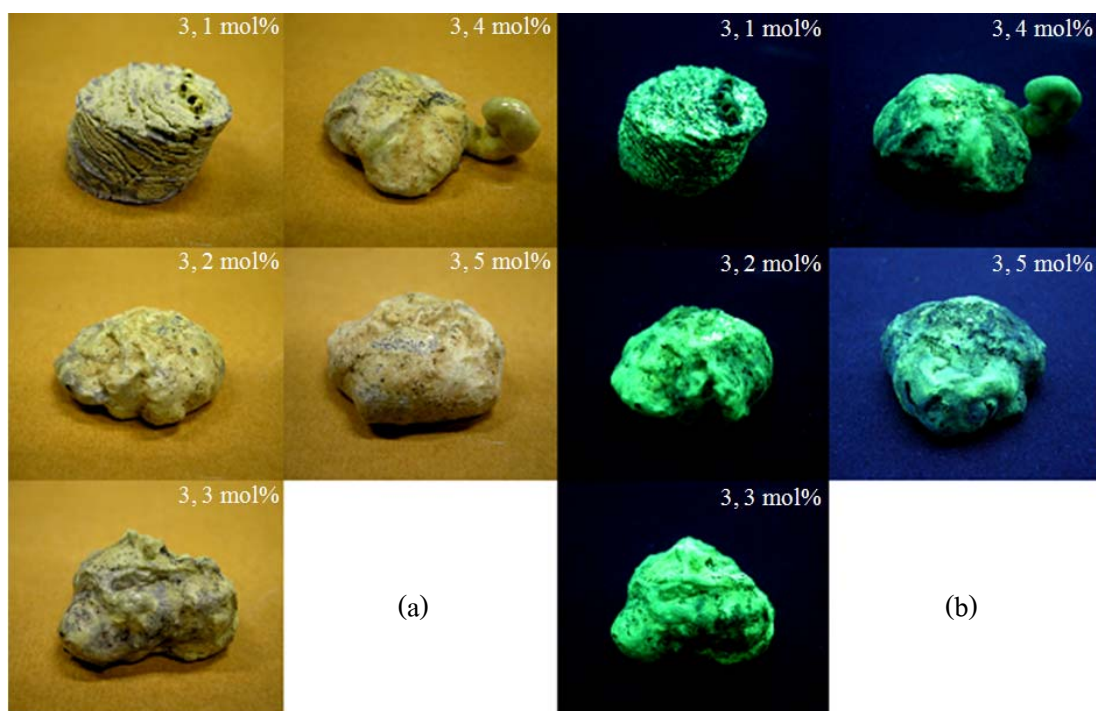
ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารเจือร่วมในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเรืองแสงและการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นของสารผลิตภัณฑ์ โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1-5 mol% ของดิสโพรเซียมไอออน ( $Dy^{3+}$ ) โดยกำหนดสารเจือ ( $Eu^{2+}$ ) ที่ 9 mol% ในรูปที่ 3.41 แสดงสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วมต่างกันที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 509 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเรืองแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารดิสโพรเซียม ( $Dy^{3+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือร่วมในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือร่วมในระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  คือ 4 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 30 นาที ซึ่งยาวนานกว่าระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  (10 mol%, 1 mol%)



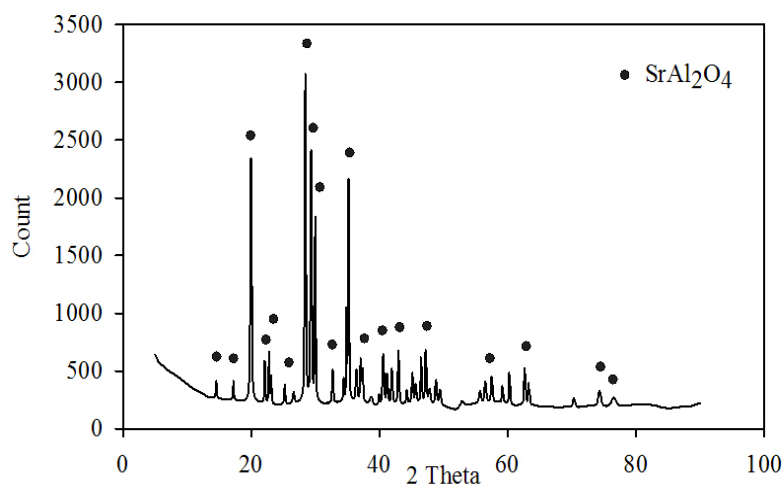
รูปที่ 3.41 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) 9 mol %

### 3.8.2 ระบบ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$

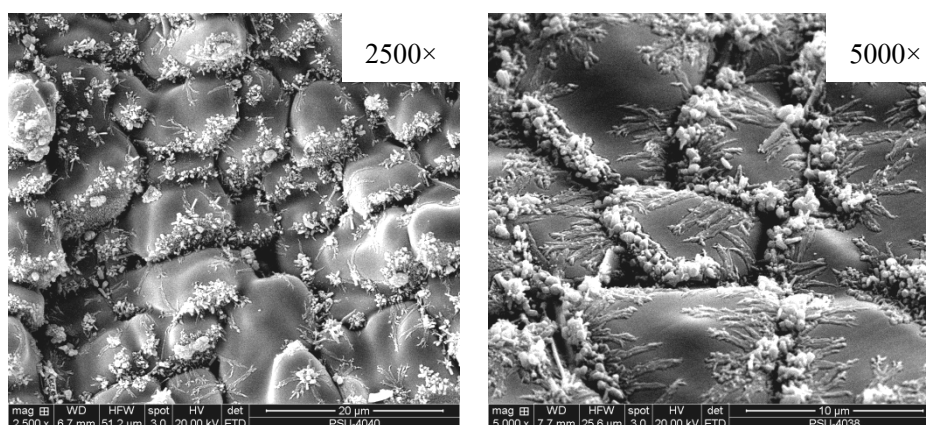
จากการวิจัยศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วมในระบบ โดยการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ที่เหมาะสมเพื่อให้สารผลิตภัณฑ์มีการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นได้ยาวนานขึ้น โดยกำหนดอัตราส่วนเชิงโมลของสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) สำหรับ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  คือ 3 mol% ดังรูปที่ 3.42 แสดงภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วมต่างกัน จากรูปผลิตภัณฑ์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่เติมสารเจือร่วม 2-5 mol% เกิดการหลอมเหลวไม่สามารถคงรูปร่างไว้ได้ ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง (รูปที่ 3.41 (a)) แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลิตภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมเหลือง (รูปที่ 3.41 (b))



รูปที่ 3.42 ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์ในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) 3mol % (a) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ และ (b) ภายใต้แสง ภายใต้แสง UV



รูปที่ 3.43 รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 3, 3 mol %



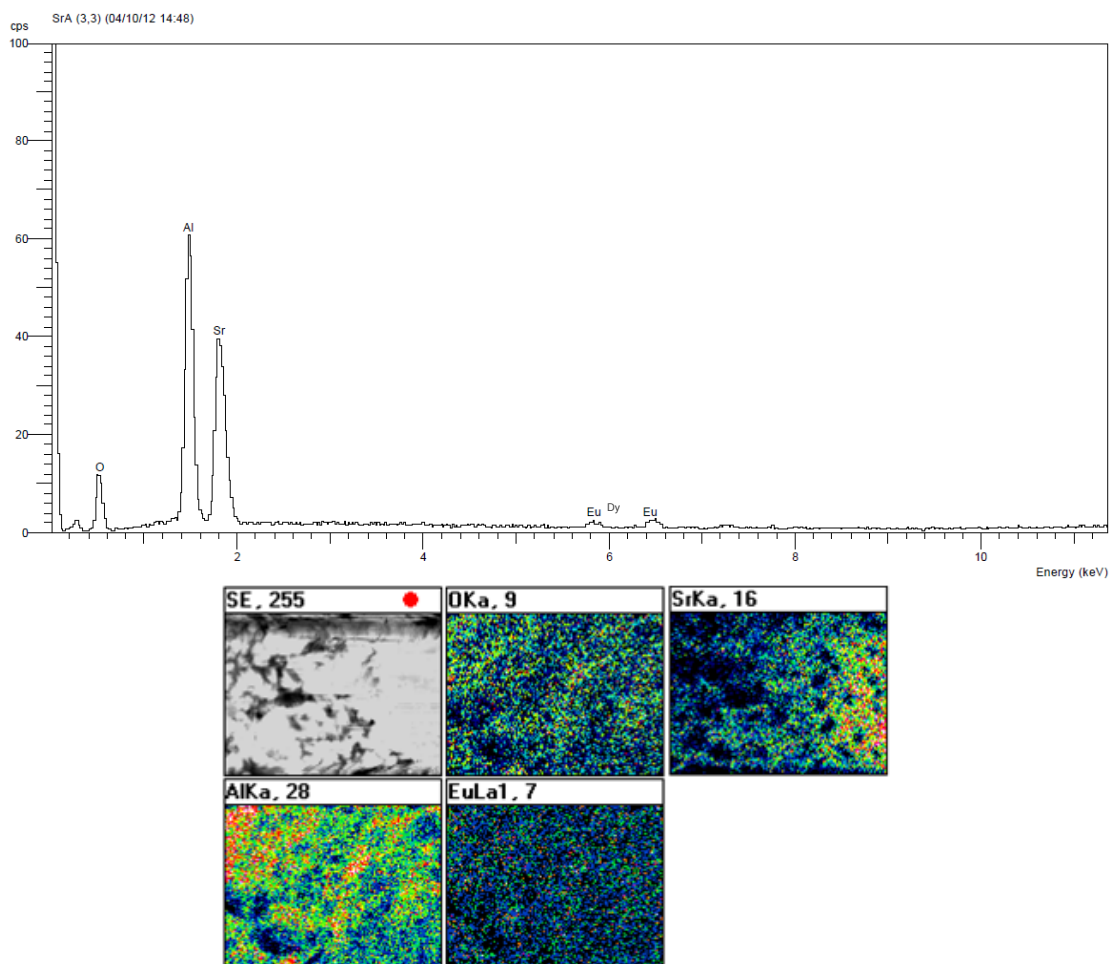
รูปที่ 3.44 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของผลิตภัณฑ์ระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) และเจือร่วม ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) 3, 3 mol %

จาก XRD แสดงให้เห็นการก่อรูปของสารผลิตภัณฑ์  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  หลังการสังเคราะห์ที่ปริมาณสารเจือ 3 mol % และเจือร่วม 3 mol % ซึ่งประกอบด้วยเฟสหลักของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  ไม่พบสารผลิตภัณฑ์ตัวอื่นหรือสารตั้งต้นในระบบและปริมาณของสารเจือเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบเฟสดังรูปที่ 3.43

โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการก้าวน้ำด้วยตัวเอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของเกรนขนาดเล็กพร้อม

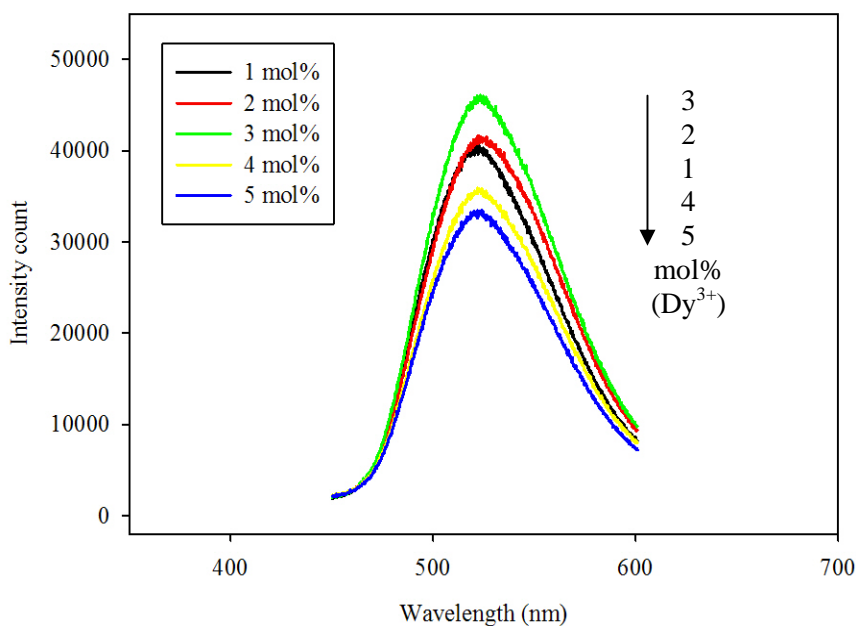
กับการก่อรูปของแท่งเล็กๆ บริเวณอนุภาคที่คอคอด ขอบเกรน และไล่ไปตามเกรนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทำให้ชิ้นงานมีพื้นที่ผิวในการรับแสงมากขึ้นส่งผลให้มีสมบัติเชิงแสงที่ดีดังแสดงในรูปที่ 3.44

จากการพิสูจน์ทราบเฟสด้วย XRD เป็นที่ยืนยันว่า สารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้นั้น (รูปที่ 3.43) มีเฟสหลักคือ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  และเมื่อนำไปพิสูจน์ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ด้วยเทคนิค EDX พบว่าธาตุกระจายอย่างสม่ำเสมอ ประกอบไปด้วยธาตุ สตรอนเทียม (Sr) อะลูมิเนียม (Al) ออกซิเจน (O) ยูโรเปียม (Eu) และสุดท้ายคือ ดิสโพรเซียม (Dy) ซึ่งตรงกับสูตรโครงสร้างของสตรอนเทียมอะลูมิเนียมเตตระไฮดรูโรเปียมและเจอร์รวมดิสโพรเซียม ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ที่ก่อรูปขึ้นหลังการสังเคราะห์ด้วยวิธี SHS

ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารเจือร่วมในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเรืองแสงและการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นของสารผลิตภัณฑ์ โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเชิงโมล 1-5 mol% ของดิสโพรเซียมไอออน ( $Dy^{3+}$ ) โดยกำหนดสารเจือ ( $Eu^{2+}$ ) ที่ 3 mol% ในรูปที่ 3.46 แสดงสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วมต่างกันที่อุณหภูมิห้อง สเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 524 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงในการเรืองแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารดิสโพรเซียม ( $Dy^{3+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือร่วมในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือร่วมในระบบ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  คือ 3 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้นเป็นเวลา 20 นาที ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 1 ชั่วโมง ซึ่งยาวนานกว่าระบบ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  (5 mol%, 1 mol%)



รูปที่ 3.46 สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของระบบ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ต่างกัน โดยกำหนดปริมาณสารเจือ ( $Eu_2O_3$ ) 3 mol %



## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผล

4.1.1 จากการทดลองในงานวิจัยนี้ สามารถสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการปฏิกิริยาการก่อกำเนิดด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง โดยการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกันสามระบบ คือ

**ระบบที่ 1:** แบเรียมเปอร์ออกไซด์ ( $\text{BaO}_2$ ) + อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + อะลูมิเนียม (Al) + ยูโรเปียมออกไซด์ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) สำหรับ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ผลึกภัณฑ์มีสีเหลืองจางๆภายใต้แสงที่มองเห็นได้ แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลึกภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานมีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 501 nm

**ระบบที่ 2:** แคลเซียมเปอร์ออกไซด์ ( $\text{CaO}_2$ ) + อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + อะลูมิเนียม (Al) + ยูโรเปียมออกไซด์ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) สำหรับ  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ผลึกภัณฑ์มีสีม่วงภายใต้แสงที่มองเห็นได้ แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลึกภัณฑ์จะเปล่งแสงสีม่วงแกมน้ำเงิน สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานมีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 437 nm

**ระบบที่ 3:** สตรอนเทียมเปอร์ออกไซด์ ( $\text{SrO}_2$ ) + อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + อะลูมิเนียม (Al) + ยูโรเปียมออกไซด์ ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) สำหรับ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  ผลึกภัณฑ์มีสีเหลืองจางๆและสีม่วงภายใต้แสงที่มองเห็นได้ แต่เมื่ออยู่ภายใต้แสง UV ผลึกภัณฑ์จะเปล่งแสงสีเขียวแกมเหลือง สเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานมีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 517 nm

4.1.2 จากการศึกษาผลของสารตัวเติม (NaCl และ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ) ในระบบเพื่อให้ลดขนาดอนุภาคของผลึกภัณฑ์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงแสงให้ดียิ่งขึ้น พบว่าถึงแม้ว่าผลกระทบของสารตัวเติมส่งผลให้ขนาดอนุภาคของผลึกภัณฑ์นั้นเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดแต่ค่าความเข้มแสงนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบเฟสของผลึกภัณฑ์ที่เกิดสารประกอบตัวอื่นนอกจากสารผลึกภัณฑ์ที่ต้องการ

4.1.3 ขนาดอนุภาคของสารตั้งต้นที่ผ่านการบดลดขนาดเป็นเวลา 15 นาทีส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยเป็นการรวมกลุ่มกันของเกรนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10-15  $\mu\text{m}$  ลักษณะเกรนที่ได้ในระบบนี้จะมีขนาดละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นรูปร่างค่อนข้างมากขึ้น และผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารเจือในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะการเรืองแสงของสารผลิตภัณฑ์ โดยปกติอัตราส่วนสารเจือที่น้อยจะให้การเรืองแสงน้อย แต่การเจือมากเกินไปนั้นบางที่อาจจะส่งผลให้การเรืองแสงลดลง ค่าความเข้มแสงในการเรืองแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเจือสารยูโรเปียม ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ในปริมาณที่มากขึ้นจนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดก็จะลดลง เนื่องจากสารเจือในระบบมีมากเกินไป ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ 10.5 mol% สเปกตรัมการปล่อยแสงของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 501 nm ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  คือ 6 mol% สเปกตรัมการปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 523 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว

4.1.4 จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยการนำสารผลิตภัณฑ์  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  มาเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ เพื่อให้ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินชนิดชิปนั้นส่องผ่านแผ่นกระจกที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ) ให้เกิดการรวมแสงแล้วทำให้เปล่งแสงสีขาว เมื่อเพิ่มความหนาของสารเรืองแสงที่ผลิตได้พบว่าเกิดจุดยอดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน 2 จุด จุดยอดแรก คือ จุดยอดของ LED ที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน และจุดยอดที่ 2 คือ จุดยอดของสารเรืองแสงที่สังเคราะห์ได้เปล่งแสงสีเขียวแกมเหลืองและพบว่าเมื่อความหนาของชั้นสารเรืองแสงเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีที่เปล่งออกมาจาก แสงสีน้ำเงินเข้มกลายเป็นสีน้ำเงินอ่อนจนเกือบเป็นสีฟ้าใส นั้นแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการทำงานร่วมกันที่กระหว่าง LED กับสารเรืองแสงที่จะเปล่งแสงสีขาวออกมา

4.1.5 จากการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเจือ ( $\text{Eu}^{2+}$ ) ที่เหมาะสมโดยกำหนดสารเจือร่วม ( $\text{Dy}^{3+}$ ) ที่ปริมาณ 1 mol% พบว่าสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือต่างกันที่อุณหภูมิห้อง มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 503 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  คือ 10 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 1 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 3 วินาที สเปกตรัมการปล่อยพลังงานของ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 523 nm ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  คือ 5 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 1 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้นานกว่า 1 นาที ซึ่งระบบที่ไม่เติมสารเจือร่วมนั้นไม่สามารถเรืองแสงได้เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงออก

4.1.6 ผลกระทบของปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy^{3+}$ ) โดยกำหนดสารเจือ ( $Eu^{2+}$ ) ที่ 9mol% สำหรับระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  พบว่าสเปกตรัมของการปลดปล่อยพลังงานของ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  ที่ปริมาณสารเจือร่วมต่างกันที่อุณหภูมิห้อง มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 509 nm ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียว ค่าที่เหมาะสมของสารเจือร่วมในระบบ  $BaAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  คือ 9 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 4 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 30 นาที สำหรับระบบ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  กำหนดสารเจือ ( $Eu^{2+}$ ) ที่ 3 mol% พบว่าสเปกตรัมการปลดปล่อยพลังงานของ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  มีจุดยอดที่ความยาวคลื่น 524 nm ค่าที่เหมาะสมของสารเจือในระบบ  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  คือ 3 mol% ส่วนสารเจือร่วมมีผลต่อการคงอยู่ของแสงหลังจากได้รับการกระตุ้น จากการเติมสารเจือร่วมที่ 3 mol% ทำให้สารผลิตภัณฑ์สามารถเรืองแสงได้ยาวนานกว่า 1 ชั่วโมง ซึ่งระบบที่เติมสารเจือร่วมเพียง 1 mol% นั้นสามารถเรืองแสงได้ระยะเวลาสั้นกว่า สำหรับเงื่อนไขการเจือ-เจือร่วมในแต่ละระบบได้รวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการเจือ-เจือร่วมในแต่ละระบบ

ระบบสารตั้งต้น	ปริมาณสารเจือ- เจือร่วม (mol%)		สมบัติของวัสดุภายใต้แสง UV		การคงอยู่ ของแสง
	$Eu^{2+}$	$Dy^{3+}$	สี	ความยาวคลื่น (nm)	Decay time
ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์					
$BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.350	-	เขียวแกมน้ำเงิน	501	-
$CaAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.215	-	น้ำเงินแกมม่วง	437	-
$SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.292	-	เขียวแกมเหลือง	517	-
ศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl)					
$BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.350	-	เขียวแกมน้ำเงิน	501	-
$CaAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.215	-	น้ำเงินแกมม่วง	437	-
$SrAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.292	-	เขียวแกมเหลือง	517	-
ศึกษาผลของการเปลี่ยนสารตัวเติม ( $BaAl_2O_4$ )					
$BaAl_2O_4:Eu^{2+}$	0.350	-	-	-	-

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ระบบสารตั้งต้น	ปริมาณสารเจือ- เจือร่วม (mol%)		สมบัติของวัสดุภายใต้แสง UV		การคงอยู่ ของแสง
	Eu <sup>2+</sup>	Dy <sup>3+</sup>	สี	ความยาวคลื่น (nm)	Decay time
ศึกษาผลของปริมาณสารเจือ (Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )					
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	10.5	-	เขียวแกมน้ำเงิน	501	-
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	6.0	-	เขียวแกมเหลือง	523	-
ศึกษาผลของสารเจือร่วม (Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )					
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> , Dy <sup>3+</sup>	10.0	1.0	เขียวแกมน้ำเงิน	503	3 s
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> , Dy <sup>3+</sup>	5.0	1.0	เขียวแกมเหลือง	523	1 min
ศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม (Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )					
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> , Dy <sup>3+</sup>	9.0	4.0	เขียวแกมน้ำเงิน	509	30 min
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> , Dy <sup>3+</sup>	3.0	3.0	เขียวแกมเหลือง	524	1 hr

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในกระบวนการสังเคราะห์ควรที่จะทดลองซ้ำเพื่อความถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์) ในวันที่ทำการทดลอง

4.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสารผลิตภัณฑ์ควรที่จะทำการสอบเทียบหรือทำความสะอาดให้บ่อยครั้งเพื่อให้ได้ผลการทดลองนั้นมีความบริสุทธิ์และความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

- แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม. (2535), *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ “Principles and techniques of instrumental analysis”* โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- Chongfeng, G., Dexiu, H., and Qiang, S., (2006) “Methods to improve the fluorescence intensity of CaS:Eu<sup>2+</sup> red-emitting phosphor for white LED”, *Mater. Sci. Eng. B*, 130, 189-193.
- Xiong, Z., Chen, Y., Chen, Z., and Song, C., (2006). “Modification of Luminescent Properties of Red Sulphide Phosphors for White LED Lighting”, *J.Rare Earth.*, Volume 24, Issue 1, Supplement 1, December 2006, Pages 133–136.
- Dongdong, J., and Xiao-jun, W., (2007). “Alkali earth sulfide phosphors doped with Eu<sup>2+</sup> and Ce<sup>3+</sup> for LEDs”, *Opt. Mater.*, Volume 30, (3), November, Pages 375–379
- Yunsheng, H., Weidong, Z., Hongqi, Y., Shusheng, Z., Ying, F., Xiaowei, H., (2005). "Preparation and luminescent properties of (Ca<sub>1-x</sub>, Sr<sub>x</sub>)S:Eu<sup>2+</sup> red-emitting phosphor for white LED," *J. Lum.*, vol. 111, pp. 139-145.
- <http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html>, retrieved on 09 October, 2010
- <http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/3/fluorescent/fluorescent1.htm>, retrieved on 09 October, 2010
- [mis.sc.chula.ac.th/ChemII3.ppt](http://mis.sc.chula.ac.th/ChemII3.ppt), retrieved on 09 October, 2010
- <http://www.vcharkarn.com/varticle/38778>, retrieved on 22 June, 2011
- สุธรรม นิชมวาส.(2552), *การสังเคราะห์วัสดุอนินทรีย์*, หน่วยโสตทัศนศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- Moore, J. and Feng, H.(1995), “Combustion synthesis of advanced materials: Part I Reaction parameters”, *Prog. In Mater. Sci.*, 39, 243-273.
- Seungwon, K., Moonhee, L., Taeyong N., and Chul, L.(1996), “Preparation of barium titanate by homogeneous precipitation”, *J. Mater. Sci.*, 31, 3643-3645.
- วิช ชนะดี. (2009), *การสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของวัสดุผสมไทเทเนียมไดออกไซด์-มัลไลต์ โดยกระบวนการ SHS*, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Varma, A., and Mukasyan, A.S. (2004). “Combustion Synthesis of Advanced Materials: Fundamentals and Applications.” *Korean J. Chem. Eng.*, 21(2), 527-536.

- Ivleva, T.P., and Merzhanov, A.G. (2000). "Three-Dimensional Spinning Waves in the Case of Gas-Free Combustion." *Dokl. Phys.*, 45(4), 136-141.
- Yi, H.C., and Moore, J.J. (1990). "Review Self-propagating High-Temperature (Combustion) Synthesis (SHS) of Powder-Compacted Materials." *J. Mater. Sci.*, 25, 1159-1168.
- Zhang, C., Wang, L., Cui, L., and Zhu, Y., (2003). "A novel method for the synthesis of nano-sized  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  with thermal stability", *J. Crystal Growth*, 255, 317–323.
- Xing, D., Gong, M., Qiu, X., Yang, D. and Cheah, K., (2006). "A bluish green barium aluminate phosphor for PDP application", *Mater. Lett.*, 60, 3217–3220S.
- Ryu, H., and Bartwal, K., S., (2008). "Investigations on luminescence characteristics of Eu and Cr codoped  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ", *Mater. Chem. Phys.* 111, 186–189.
- T. Katsumata, R., Sakai, S., Komuro, Morikawa, T., and Kimura, H., (1999). "Growth and characteristics of long duration phosphor crystals", *J. Crystal Growth*, 198/199, 869-871
- Peng, M., and Hong, G., (2007). "Reduction from  $\text{Eu}^{3+}$  to  $\text{Eu}^{2+}$  in  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ : Eu phosphor prepared in an oxidizing atmosphere and luminescent properties of  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ : Eu", *J. Lum.* 127, 735–740.
- Stefani, R., Rodrigues, L., C., V., Carvalho, C., A., A., Felinto, M., C., F., C., Brito, H., F., and Lastusaari, M., J., H., (2009). "Persistent luminescence of  $\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{Dy}^{3+}$  doped barium aluminate ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ : $\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ) materials", *Opt. Mater.* 31, 1815–1818.
- Chang, H., Wuled Lenggoro, I., Ogi, T. and Okuyama, K., (2005). "Direct synthesis of barium magnesium aluminate blue phosphor particles via a flame route", *Mater. Lett.*, 59, 1183–1187.
- Won, C., W., Nersisyan, H., H., Won, H., I., Kwon, S., J., Kim, H., Y., and Seo, S., Y., (2010). "Synthesis of nano-size  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ : $\text{Eu}^{2+}$  blue phosphor by a rapid exothermic reaction", *J. Lum* 130, 678–681.
- Zhang, D., Zhinong, Y., Wei, X., Ting, Z., Zhao, D., and Wuyu, W., (2010). "Analysis of europium doped luminescent barium thioaluminate", *J. Rare Earth.*, Vol., 28, No., 2, Apr., p. 185.

- Tanaka, S., Ozaki, I., Kunimoto, T., Ohmi, K., and Kobayashi, H., (2000). “Blue emitting  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  phosphors for PDP application”, *J. Lum.*, 87-89, 1250-1253.
- Lin, Y., Tang, Z., Zhang, Z., and Nan, C., (2003). “Influence of co-doping different rare earth ions on the luminescence of  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ -based phosphors”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 23, 175–178.
- Chang, C., Xu, J., Jiang, L., Mao, D. and Ying, W., (2006). “Luminescence of long-lasting  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Nd}^{3+}$  phosphor by co-precipitation method”, *Mater. Chem. Phys.*, 98, 509–513.
- Zhao, C. and Chen, D., (2007). “Synthesis of  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Nd}$  long persistent phosphor by combustion processes and its optical properties”, *Mater. Lett.* 61, 3673–3675.
- Peng, T., Yang, H., Pu, X., Hu, B., Jiang, Z., and Yan, C., (2004). “Combustion synthesis and photoluminescence of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu},\text{Dy}$  phosphor nanoparticles”, *Mater. Lett.*, 58, 352– 356.
- Wu, Z., C., Shi, J., X., Wang, J., Wu, H., Su, Q., and Gong, M., L., (2006). “Synthesis and luminescent properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  green-emitting phosphor for white LEDs”, *Mater. Lett.* 60, 3499–3501.
- Xiao, L., Meng, S., Junying, Z., and Tianmin, W., (2010). “Effect of mixing process on the luminescent properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  long afterglow phosphors”, *J. Rare Earth.*, vol., 28, no., 1, Feb., p., 150.
- Chen, R., Wang, Y., Hu, Y., Hu, Z., and Liu, C., (2008). “Modification on luminescent properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  phosphor by  $\text{Yb}^{3+}$  ions doping”, *J. Lum.*, 128, 1180–1184.
- Qiu, Z., Zhou, Y., Lu, M., Zhang, A., and Ma, Q., (2007). “Combustion synthesis of long-persistent luminescent  $\text{MAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{R}^{3+}$  (M = Sr, Ba, Ca, R = Dy, Nd and La) nanoparticles and luminescence mechanism research”, *Acta Mater.*, 55, 2615–2620.
- Singh, V., Natarajan, V., and Zhu, J., (2007). “Studies on Eu doped Ba and Zn aluminate phosphors prepared by combustion synthesis”, *Opt. Mater.*, 29, 1447–1451.
- Mothudi, B., M., Ntwaeaborwa, O., M., Botha, J., R., and Swart, H., C., (2009). “Photoluminescence and phosphorescence properties of  $\text{MAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$

- (M=Ca, Ba, Sr) phosphors prepared at an initiating combustion temperature of 500 °C”, *Physica B*, 404, 4440–4444.
- Vivek, M., Hemant, S., B., David R., W., Thomas, O., L., and Susan, M., (1998). (Philips Electronics North America Corporation), “Emission materials for discharge lamps and method for manufacturing electrode structures with such materials”, U.S. Patent 5,744,905 April 28, 1998.
- Rooksby, P., H., (1954). (GEN ELECTRIC), “Thermionic cathode”, U.S. Patent 2,686,274 August 10, 1954.
- Davis, P., B., O’neill, C., F., Stanley, L., S., and Dimitrios, M., S., (1960). (GEN ELECTRIC), “Electrode for electric discharge device”, U.S. Patent 2,957,231 October 25, 1960.
- Yoshihiko, M., Nobuyoshi, T., Yasumitsu, A., and Takashi, M., (1995). (Nemoto & Co., Ltd), “Phosphorescent phosphor”, U.S. Patent 5,424,006 June 13, 1995.
- Peter, S., Thomas, J., Walter, Ma., Hans-Dieter, B., S Wolfgang,., and Henning, H., (2006). (Koninklijke Philips Electronics N.V.), “Light-emitting device comprising an Eu (II)-activated phosphor”, U.S. Patent 7,061,024 June 13, 2006.
- Alok, M., S., and William W., B., (2001). (General Electric Company), “Green-light emitting phosphors and light sources using the same”, U.S. Patent 6,278,135 August 21, 2001.
- Alok, M., S., and Duggal A., R., (2001). (General Electric Company), “Phosphors for light generation from light emitting semiconductors”, U.S. Patent 6,255,670 July 03, 2001.
- Anne, C., A., D., Hubertus, T., H., and Yuan Q., L., (2008). (Osram Opto Semiconductor GmbH), “Luminescent material, especially for LED application”, U.S. Patent 7,351,356 April 01, 2008.
- Mark, J., H., S., TiVo, T., K., James, C., Daniel, J., S., Quint, H., P., Klaus, K., (2007). (Cabot Corporation), “Photoluminescent phosphor powders, methods for making phosphor powders and devices incorporating same” U.S. Patent 7,229,572 June 12, 2007.



- Gokcen, N., A., and Reddy, R., G., (1996). "Thermodynamics (second ed.)", Plenum Press, New York, U.S.A., pp. 291-294.
- Kim, J.,S., Park, Y.,H., Choi, J.,C., Park, H.,L, Kim, G., and Joong, H.,Y.,. (2006). "Color tunability of nanophosphors by changing cations for solid-state lighting", *Solid State Commun.*, 137,(4),187-190.
- Sathaporn, T., and Niyomwas, S., "Synthesis and Characterization of  $MAI_2O_4$  (M=Ba, Ca, Sr) Phosphor by Self-propagating High Temperature Synthesis" *Energy Procedia*, 9, 410-417.
- Sathaporn, T., and Niyomwas, S., "Optimization of Rare Earth Dope on  $MAI_2O_4$  (M = Ba, Sr) by Self-Propagating High Temperature Synthesis" *Advanced Materials Research*, 488-489, 442-446.
- Sathaporn, T., and Niyomwas, S., "Synthesis of  $Eu^{2+}$ ,  $Dy^{3+}$  co-doped  $MAI_2O_4$  phosphor (M = Ba, Sr) by *in situ* Self-Propagating High Temperature Synthesis" *Advanced Materials Research*, 626, 908-912.

ภาคผนวก

ตารางการคำนวณในการชั่งน้ำหนักสารตั้งต้นในระบบต่างๆ

ตารางที่ 1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารเรืองแสงชนิดอะลูมิเนียมเตทราไฮโดรยูโรเปียม

ระบบ BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000	<b>0.0035</b>
	Wt. Ratio(g)	1.000	0.1062	0.4014	0.005
	Wt.(15g)	9.9173	1.0535	3.9811	0.048
ระบบ CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	Reactant	CaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Molar Ratio	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.00215</b>
	Wt. Ratio(g)	1.0000	0.2496	0.9430	0.0070
	Wt.(15g)	6.8195	1.7018	6.4310	0.0477
ระบบ SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	Reactant	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Molar Ratio	1.500	1.0000	1.0000	<b>0.00292</b>
	Wt. Ratio(g)	1.000	0.1504	0.5682	0.0057
	Wt.(15g)	8.6989	1.3081	4.9431	0.0498

ตารางที่ 2. ศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติม (NaCl) ในระบบ

ระบบ BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> - NaCl	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaCl
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>0.0000</b>
	Wt. Ratio(g)	1.000	0.1062	0.4014	0.005	0.0000
	Wt.(15g)	9.9173	1.0535	3.9811	0.0481	0.0000
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>0.2000</b>
	Wt. Ratio(g)	1.000	0.1062	0.4014	0.0048	0.0460
	Wt.(15g)	9.6245	1.0224	3.8635	0.0467	0.4429
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>0.4000</b>
	Wt. Ratio(g)	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.0920
	Wt.(15g)	9.3485	0.9931	3.7527	0.0453	0.8604
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>0.6000</b>
	Wt. Ratio(g)	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.1381

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระบบ BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> - NaCl	<b>Wt.(15g)</b>	9.0878	0.9654	3.6481	0.0441	1.2546
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>0.8000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.1841
	<b>Wt.(15g)</b>	8.8413	0.9392	3.5492	0.0429	1.6274
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.000	1.000	0.0035	<b>1.0000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.2301
	<b>Wt.(15g)</b>	8.6079	0.9144	3.4554	0.0417	1.9805

ระบบ CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> - NaCl	<b>Reactant</b>	<b>CaO<sub>2</sub></b>	<b>Al</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>NaCl</b>
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.00215	<b>0.0000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0070	0.0000
	<b>Wt.(15g)</b>	6.8195	1.7018	6.4310	0.0477	0.0000
	<b>Molar Ratio</b>	3.0000	2.0000	2.0000	0.00215	<b>0.2000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0006	0.1081
	<b>Wt.(15g)</b>	6.5182	1.6266	6.1468	0.0038	1.3036
	<b>Molar Ratio</b>	3.0000	2.0000	2.0000	0.00215	<b>0.4000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0006	0.2162
	<b>Wt.(15g)</b>	6.2257	1.5537	5.8710	0.0036	1.3460
	<b>Molar Ratio</b>	3.0000	2.0000	2.0000	0.00215	<b>0.6000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0006	0.3243
	<b>Wt.(15g)</b>	5.9584	1.4869	5.6189	0.0035	1.9323
	<b>Molar Ratio</b>	3.0000	2.0000	2.0000	0.00215	<b>0.8000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0006	0.4324
	<b>Wt.(15g)</b>	5.7130	1.4257	5.3875	0.0033	2.4704
	<b>Molar Ratio</b>	3.0000	2.0000	2.0000	0.00215	<b>1.0000</b>
<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.2496	0.9430	0.0006	0.5405	
<b>Wt.(15g)</b>	5.4871	1.3693	5.1745	0.0032	2.9658	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระบบ	Reactant	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaCl
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> - NaCl	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>0.0000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.000	0.1504	0.5682	0.0057	0.0000
	<b>Wt.(15g)</b>	8.6989	1.3081	4.9431	0.0498	0.0000
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>0.2000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0010	0.0651
	<b>Wt.(15g)</b>	8.4047	1.2639	4.7759	0.0080	0.5475
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>0.4000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0010	0.1303
	<b>Wt.(15g)</b>	8.1088	1.2194	4.6078	0.0077	1.0564
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>0.6000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0010	0.1954
	<b>Wt.(15g)</b>	7.8329	1.1779	4.4510	0.0074	1.5307
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>0.8000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0010	0.2606
	<b>Wt.(15g)</b>	7.5753	1.1391	4.3046	0.0072	1.9738
	<b>Molar Ratio</b>	1.500	1.0000	1.0000	0.00292	<b>1.0000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0010	0.3257
	<b>Wt.(15g)</b>	7.3340	1.1029	4.1675	0.0070	2.3887

ตารางที่ 3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ โดยการเปลี่ยนชนิดสารตัวเติม (BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Molar Ratio	1.500	1.000	1.000
	Wt. Ratio(g)	1.000	0.1062	0.4014
	Wt.(15g)	19.8984	2.1138	7.9878

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระบบ	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>0.0000</b>
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.0000
	<b>Wt.(15g)</b>	9.9173	1.0535	3.9811	0.0481	0.0000
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>0.2000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.2010
	<b>Wt.(15g)</b>	8.7539	0.9299	3.5140	0.0425	1.7597
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>0.4000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.4020
	<b>Wt.(15g)</b>	7.8347	0.8323	3.1451	0.0380	3.1499
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>0.6000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.6031
	<b>Wt.(15g)</b>	7.0903	0.7532	2.8462	0.0344	4.2759
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>0.8000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	0.8041
	<b>Wt.(15g)</b>	6.4750	0.6878	2.5993	0.0314	5.2065
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.0035	<b>1.0000</b>
	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0048	1.0051
	<b>Wt.(15g)</b>	5.9580	0.6329	2.3917	0.0289	5.9884

ตารางที่ 4. ศึกษาผลของปริมาณของสารเจือ (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในระบบ

ระบบ	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0100</b>
1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0139
	<b>Wt.(15g)</b>	9.8586	1.0473	3.9575	0.1366

ตารางที่ 4 (ต่อ)

	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0150</b>
1.5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	9.8139	1.0425	3.9396	0.2040
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>
3 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0416
	<b>Wt.(15g)</b>	9.6823	1.0286	3.8867	0.4025
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0450</b>
4.5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0623
	<b>Wt.(15g)</b>	9.5541	1.0149	3.8353	0.5957
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0600</b>
6 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0831
	<b>Wt.(15g)</b>	9.4293	1.0017	3.7852	0.7839
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0750</b>
7.5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1039
	<b>Wt.(15g)</b>	9.3077	0.9888	3.7364	0.9672
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>
9 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247
	<b>Wt.(15g)</b>	9.1892	0.9762	3.6888	1.1459
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1050</b>
10.5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1455
	<b>Wt.(15g)</b>	9.0736	0.9639	3.6424	1.3201
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1200</b>
12 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1663
	<b>Wt.(15g)</b>	8.9610	0.9519	3.5972	1.4899
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1350</b>
13.5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1870
	<b>Wt.(15g)</b>	8.8511	0.9403	3.5531	1.6556

ตารางที่ 4 (ต่อ)

	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	0.1500
15 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.2078
	<b>Wt.(15g)</b>	8.7439	0.9289	3.5100	1.8173

ระบุ	Reactant	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0100</b>
1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0196
	<b>Wt.(15g)</b>	8.6295	1.2977	4.9036	0.1693
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>
3 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588
	<b>Wt.(15g)</b>	8.4390	1.2690	4.7954	0.4965
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0600</b>
6 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.1177
	<b>Wt.(15g)</b>	8.1686	1.2284	4.6418	0.9613
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>
9 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.1765
	<b>Wt.(15g)</b>	7.9150	1.1902	4.4976	1.3971
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1200</b>
12 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.2354
	<b>Wt.(15g)</b>	7.6766	1.1544	4.3622	1.8068
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1500</b>
15 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.2942
	<b>Wt.(15g)</b>	7.4522	1.1206	4.2347	2.1924



ตารางที่ 5. สัดส่วนของสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ

ระบบ	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> ,Dy <sup>3+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0100</b>
0 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0000	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.8532	1.0467	3.9554	0.0000	0.1447
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0100</b>	<b>0.0100</b>
1 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0139	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.7644	1.0373	3.9197	0.1353	0.1434
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0100</b>
3 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0416	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.5913	1.0189	3.8502	0.3987	0.1409
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0500</b>	<b>0.0100</b>
5 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.0693	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.4244	1.0012	3.7832	0.6529	0.1384
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.1000</b>	<b>0.0100</b>
10 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1386	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.0313	0.9594	3.6254	1.2513	0.1326

ระบบ	Reactant	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> ,Dy <sup>3+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0100</b>
0 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0000	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.6236	1.2968	4.9003	0.0000	0.1793
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0100</b>	<b>0.0100</b>
1 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0196	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.5275	1.2823	4.8457	0.1673	0.1773
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0100</b>
3 mol%, mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.3415	1.2544	4.7400	0.4908	0.1734

ตารางที่ 5 (ต่อ)

	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0500</b>	<b>0.0100</b>
5 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0981	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.1634	1.2276	4.6388	0.8006	0.1697
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0600</b>	<b>0.0100</b>
6 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.1177	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.0772	1.2146	4.5898	0.9505	0.1679

ตารางที่ 6. ศึกษาผลของปริมาณสารเจือร่วม ( $Dy_2O_3$ ) ในระบบ

ระบบ	Reactant	BaO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> ,Dy <sup>3+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>	<b>0.0100</b>
9 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0147
	<b>Wt.(15g)</b>	9.1072	0.9675	3.6559	1.1357	0.1337
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>	<b>0.0200</b>
9 mol%,2 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0294
	<b>Wt.(15g)</b>	9.0267	0.9589	3.6236	1.1256	0.2651
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>	<b>0.0300</b>
9 mol%,3 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0441
	<b>Wt.(15g)</b>	8.9477	0.9505	3.5918	1.1158	0.3942
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>	<b>0.0400</b>
9 mol%,4 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0587
	<b>Wt.(15g)</b>	8.8700	0.9423	3.5607	1.1061	0.5210
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0900</b>	<b>0.0500</b>
9 mol%,5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1062	0.4014	0.1247	0.0734
	<b>Wt.(15g)</b>	8.7936	0.9342	3.5300	1.0966	0.6457

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ระบบ	Reactant	SrO <sub>2</sub>	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> ,Dy <sup>3+</sup>	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0100</b>
3 mol%,1 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.0208
	<b>Wt.(15g)</b>	8.3415	1.2544	4.7400	0.4908	0.1734
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0200</b>
3 mol%,2 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.0416
	<b>Wt.(15g)</b>	8.2461	1.2400	4.6858	0.4852	0.3428
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0300</b>
3 mol%,3 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.0624
	<b>Wt.(15g)</b>	8.1530	1.2260	4.6329	0.4797	0.5085
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0400</b>
3 mol%,4 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.0832
	<b>Wt.(15g)</b>	8.0619	1.2123	4.5811	0.4744	0.6704
	<b>Molar Ratio</b>	1.5000	1.0000	1.0000	<b>0.0300</b>	<b>0.0500</b>
3 mol%,5 mol%	<b>Wt. Ratio(g)</b>	1.0000	0.1504	0.5682	0.0588	0.1039
	<b>Wt.(15g)</b>	7.9728	1.1989	4.5305	0.4691	0.8287

 คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร		สำหรับเจ้าหน้าที่	
		วันรับคำขอ 19 มิ.ย. 2555	เลขที่คำขอ 1203000389
<input type="checkbox"/> การประดิษฐ์ <input type="checkbox"/> การออกแบบผลิตภัณฑ์ <input checked="" type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร		วันยื่นคำขอ 19 มิ.ย. 2555 สัญลักษณ์เจ้าพนักงานประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542		ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์ วันประกาศโฆษณา เลขที่ประกาศโฆษณา วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	
1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ “กระบวนการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมด้วยวิถีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเร่งที่ อุณหภูมิสูง”		3.1 สัญชาติ ไทย 3.2 โทรศัพท์ 02-564-7000 ต่อ 1314 – 1350 3.3 โทรสาร 02 564 7003 อีเมล flo@tmc.nstda.or.th	
2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน		5.1 ตัวแทนเลขที่ 1463,1731,2180 5.2 โทรศัพท์ 02 5647000 5.3 โทรสาร 025647003 5.4 อีเมล ipm@tmc.nstda.or.th	
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยาน วิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120		4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ <input checked="" type="checkbox"/> ผู้รับโอน <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น	
5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์) น.ส.อรุณศรี ศรีธนฉัตรพิทล และบริษัท นายชาญชัย นิพัทธ์กุล และบริษัท นางรัตดา เวียงสิน อยู่ที่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120		6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) 1. นายสุธรรม นียมवास 2. น.ส.ศันษาพร สภาพร อยู่ที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	
7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ _____ วันยื่น _____ เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ <input type="checkbox"/> คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง <input type="checkbox"/> ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ <input type="checkbox"/> ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ			

หมายเหตุ ในกรณีที่ไมอาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

8. การยื่นคำขออนุญาตออกฉายนางักร				
วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการ ประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				
8.4 <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย <input type="checkbox"/> ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ <input type="checkbox"/> ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้				
9. การแสดงการประดิษฐ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด วันแสดง                      วันเปิดงานแสดง                      ผู้จัด				
10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ				
10.1 เลขทะเบียน		10.2 วันที่ฝากเก็บ	สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ	
11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำ เป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา <input type="checkbox"/> อังกฤษ <input type="checkbox"/> ฝรั่งเศส <input type="checkbox"/> เยอรมัน <input type="checkbox"/> ญี่ปุ่น <input type="checkbox"/> อื่น ๆ				
12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียนและประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้ หลังจากวันที่                      เดือน                      พ.ศ. <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้                      ระบุเลขหมาย                      ในประกาศโฆษณา				
13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย ก. แบบพิมพ์คำขอ                      2                      หน้า ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์                      7                      หน้า ค. ข้อเท็จจริง                      2                      หน้า ง. รูปเขียน                      -                      รูป                      -                      หน้า จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์ <input type="checkbox"/> รูปเขียน                      -                      รูป                      -                      หน้า <input type="checkbox"/> ภาพถ่าย                      -                      รูป                      -                      หน้า ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์                      1                      หน้า			14. เอกสารประกอบคำขอ <input type="checkbox"/> เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบ ผลิตภัณฑ์ <input type="checkbox"/> หนังสือมอบอำนาจ <input type="checkbox"/> เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ <input type="checkbox"/> เอกสารการขอรับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่น คำขอในประเทศไทย <input type="checkbox"/> เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ <input checked="" type="checkbox"/> เอกสารอื่น ๆ เอกสารประกอบการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร	
15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า <input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน <input type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก				
16. ลายมือชื่อ ( <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร; <input checked="" type="checkbox"/> ตัวแทน)  <div style="text-align: right;"> (น.ส.อรุณศรี ศรีธนะอิทธิพล) ตัวแทนผู้รับมอบอำนาจ</div>				

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่  
เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

หน้า 1 ของจำนวน 7 หน้า

### รายละเอียดการประดิษฐ์

#### ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

กระบวนการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง

#### 5 สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมวัสดุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Synthesis Alkaline earth aluminate phosphor by Self-propagating High Temperature synthesis)

#### ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

- 10 ในการพัฒนาสารเรืองแสง (Phosphor) นั้นมีการพิจารณาสมบัติในการเรืองแสง ทั้งแบบฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) และแบบฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท มีการศึกษาวิจัย ทั้งการปรับสัดส่วนองค์ประกอบของสารเรืองแสง และขั้นตอนในกระบวนการผลิตวัสดุเรืองแสงที่มีใช้ในปัจจุบัน ในกลุ่ม วัสดุเรืองแสงจำพวกซัลไฟด์ (Sulfide, S) เช่น วัสดุเรืองแสงแคลเซียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยยูโรเปียม (Europium doped Calcium Sulfide, CaS:Eu<sup>2+</sup>), สตรอนเตียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยยูโรเปียม (Europium doped Strontium Sulfide, SrS:Eu<sup>2+</sup>), แคลเซียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยซีเรียม (Cerium doped Calcium Sulfide, CaS:Ce<sup>3+</sup>), สตรอนเตียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยซีเรียม (Cerium doped Strontium Sulfide, SrS:Ce<sup>3+</sup>), แคลเซียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยยูโรเปียมและซีเรียม (Europium Cerium doped Calcium Sulfide, CaS:Eu<sup>2+</sup>, Ce<sup>3+</sup>) และ สตรอนเตียมซัลไฟด์ที่โคปด้วยยูโรเปียมและซีเรียม (Europium Cerium doped Strontium Sulfide, SrS:Eu<sup>2+</sup>, Ce<sup>3+</sup>) มีปัญหาคือ ความไม่เสถียรทางเคมี การเสื่อมสภาพของแสง ทำให้แสงที่เปล่งภายหลังการถูกกระตุ้นคงอยู่ไม่ยาวนาน แต่ วัสดุเรืองแสง กลุ่มโลหะ อะลูมิเนียม มีโครงสร้างผลึกระบบอะลูมิเนียมซัลไฟด์ที่ซับซ้อนกว่าระบบซัลไฟด์ ซึ่งทำให้สมรรถนะในการเรืองแสงดีกว่า และมีแสงที่เปล่งภายหลังการถูกกระตุ้นคงอยู่ยาวนาน ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเปล่งแสงเป็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะธาตุหายาก เจือโลหะอะลูมิเนียม (Europium doped alkaline earth aluminate, MA<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: R<sup>+</sup>) โดย M เป็น โลหะตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่ม แคลเซียม สตรอนเตียม และเบเรียม วัสดุผสมที่มี
- 25 ส่วนประกอบระหว่าง วัสดุปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Electron emission materials) กับ โลหะออกไซด์ อื่น ๆ ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พัฒนาสมรรถนะของจอแสดงภาพ นาฬิกา สัญลักษ์หรือเครื่องหมายจราจร โดยเฉพาะจอแสดงภาพ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ประหยัดพลังงานความ

## หน้า 2 ของจำนวน 7 หน้า

คมชัด และประสิทธิภาพของความสว่าง จากการศึกษาดังกล่าวทำให้สามารถพัฒนาจอแสดงภาพรุ่นใหม่ต่อไปได้

5 ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน การสังเคราะห์วัสดุเรืองแสง (Phosphorescence materials) จะใช้วิธีการแบบดั้งเดิม เช่น ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid-state reaction) ในกระบวนการทางโลหะกรรมวัสดุผง ดังเช่นที่  
 10 ถูกเปิดเผยใน สิทธิบัตรหมายเลข US 3294699 ซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิ สูงในการสังเคราะห์ โดยมักจะอยู่ระหว่าง 1400 – 1600 °C และต้องใช้เวลานาน ในการสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื่องจากปฏิกิริยาถูกควบคุมด้วยกระบวนการแพร่ ทำให้กรรมวิธีการผลิตนี้ ต้องการใช้พลังงานค่อนข้างสูงในการสังเคราะห์ ทั้งนี้การสังเคราะห์โดยวิธี การพ่นแห้งสารละลาย ที่เป็นสารตั้งต้น ซึ่งถูกเปิดเผยใน สิทธิบัตร  
 15 หมายเลข US 5023015 หรือใช้เลเซอร์ไฟโรไลซิส สารละลาย ที่เป็นสารตั้งต้น ซึ่งถูกเปิดเผยใน สิทธิบัตรหมายเลข US 7101520 B2 หรือ วิธีการตกตะกอนร่วม ซึ่งถูกเปิดเผยใน สิทธิบัตรหมายเลข CN 101671556 รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์การเผาไหม้ จากสารละลาย ที่ถูก เปิดเผยใน เอกสาร โฆษณา สิทธิบัตรหมายเลข  
 20 US 2011/0012059 A1 US 2011/0001154 A1 หรือ US 2010/0092363 A1 ได้ใช้สารตั้งต้น ที่มีราคาแพงและประกอบไปด้วยวิธีการที่ซับซ้อน

25 แต่ในปัจจุบันการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกขั้นสูงหรือวัสดุผสม เริ่มนิยมหันมาใช้วิธีการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self-propagating High Temperature synthesis: SHS) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง  
 30 วัสดุที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวและบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ SHS ยังเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาไปสู่ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ไม่ต้องลดรูปสารออกไซด์ซึ่งมักจะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า เนื่องจากความร้อนที่คายมาจากแนวปฏิกิริยา ส่งผลให้ระบบมีอุณหภูมิสูงมาก (1400 – 4000°C) ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ด้วยตัวเอง เพียง  
 35 ต้องการพลังงานในการจุดระเบิดเท่านั้น วัสดุที่ต้องใช้ อุณหภูมิสูง ในการสังเคราะห์ จึงสามารถ สังเคราะห์โดยวิธีนี้ได้ โดยไม่ใช่เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงที่มีราคาแพง รวมทั้งเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ได้รับความนิยมจากนักวิชาการ และอุตสาหกรรมทางด้านวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุเซรามิกและ วัสดุผสมที่ต้องสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ กระบวนการปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่  
 40 อุณหภูมิสูง ที่ใช้ผงคาร์บอนเป็นเชื้อเพลิง มีการกำหนดชื่อใหม่ว่าการสังเคราะห์ออกไซด์ด้วยการเผาไหม้คาร์บอน (Carbon combustion synthesis of oxide) ซึ่งเปิดเผยโดย เอกสาร ประกาศ โฆษณาคำขอรับสิทธิบัตรหมายเลข US2006/0097419 A1 โดยสามารถสังเคราะห์ ผงเซรามิกออกไซด์ได้หลายชนิดรวมทั้ง วัสดุ  
 45 ปลดปล่อยอิเล็กตรอน เช่น แบเรียมไททาเนต (Barium Titanate, BaTiO<sub>3</sub>)

30

## หน้า 3 ของจำนวน 7 หน้า

- แม้ว่าจะมีการทำกระบวนการปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูงมาใช้ในการสังเคราะห์โลหะ แอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินด เช่น บทความเรื่อง Pressure-assisted SHS synthesis of  $MgAl_2O_4$ -TiAl in situ composites with interpenetrating networks ซึ่งตีพิมพ์ในวารสาร Acta Materialia Volume 50 ปี ค.ศ. 2002 หน้า 1961 -1971 ซึ่งได้เปิดเผยกรรมวิธีการสังเคราะห์ แมกนีเซียมอะลูมินด ( Magnesium aluminate,  $MgAl_2O_4$  ) โดยใช้สารตั้งต้น คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide,  $TiO_2$  ) , แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) และ อะลูมินัม ( Aluminum, Al) ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ซึ่ง นอกจากจะได้แมกนีเซียมอะลูมินดแล้ว ยังมีเฟสของ ไททาเนียมอะลูมิไนด์ (Titanium aluminide, TiAl) ปน อยู่ด้วยเสมอ และกระบวนการดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้คือวัสดุ ผสมของแมกนีเซียมอะลูมินด -ไททาเนียมอะลูมิไนด์ (Magnesium aluminate - Titanium aluminide,  $MgAl_2O_4$  - TiAl) ที่สามารถนำไปใช้งานเชิงโครงสร้างที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่สามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัส โดยในการประดิษฐ์นี้ ระบบสารตั้งต้นได้รับการออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีเพียง แอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินด เจือด้วยออกไซด์ของลิเธียมหรือฮาฟเนียม อันจะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเรืองแสง ฟอสฟอรัสได้ต่อไป

## ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

- 15 การประดิษฐ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของ โลหะแอลคาไลน์ เอิร์ธอะลูมินด โดยที่ผงวัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในขั้นตอนเดียว จากการทำปฏิกิริยาของ ผสมผสมของสารตั้งต้นที่ประกอบด้วย ก) ผงออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ ข) ผงอะลูมินา ค) ผง อะลูมินัม และ ง) ผงออกไซด์ของลิเธียมหรือฮาฟเนียม ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเอง ที่อุณหภูมิสูง

วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์นี้ คือ เพื่อแก้ไขปัญหาที่ได้กล่าวไว้ในภูมิหลัง โดยสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินด ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง โดย เลือกใช้สารตั้งต้นและอัตราส่วนเชิง โมลของสารตั้งต้นที่ทำให้ได้วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอล คาไลน์เอิร์ธอะลูมินดเพียงเฟสเดียว ไม่มีเฟสของวัสดุอื่นๆเจือปน อีกทั้งถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในขั้นตอน เดียว

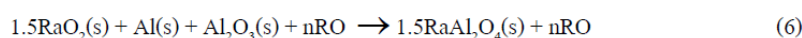
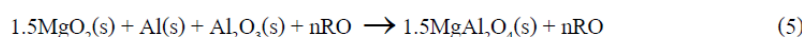
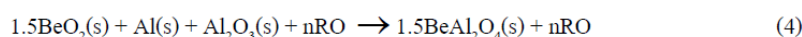
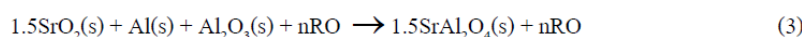
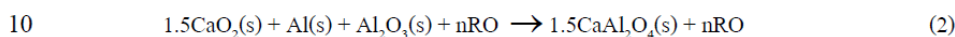
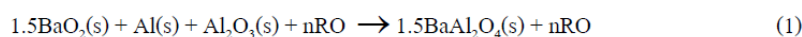
- 20 วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบเรืองแสง โดยใช้เป็นสารเคลือบเรืองแสงใน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จอแสดงภาพ นาฬิกา สัญลักษณ์เครื่องหมายจราจร หรือหลอด LED เป็นต้น



### การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัส ของ โลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินา ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น คือ ผงออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ( Alkaline earth Oxide) ผงอะลูมินา (Alumina,  $Al_2O_3$ ) ผงอะลูมิเนียม (Aluminum, Al) และผงออกไซด์ของดินแร่หายาก (Rare earth Oxide) ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเอง ที่อุณหภูมิสูงการเลือกใช้สารตั้งต้นดังกล่าว ทำให้สามารถสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินาเพียงเฟสเดียว ไม่มีสารอื่นเจือปนและเกิดขึ้นในขั้นตอนเดียว

โดยมีปฏิกิริยารวมระหว่างสารตั้งต้นและผลของปฏิกิริยาที่ได้ ดังนี้



เมื่อ RO คือสารประกอบออกไซด์ของดินแร่หายาก เช่น ยูโรเปียมออกไซด์ (Europium Oxide,  $Eu_2O_3$ ), ดิสโพรเซียมออกไซด์ (Dysprosium Oxide,  $Dy_2O_3$ ) และส่วนผสมของสารดังกล่าว

n คือ จำนวน โมลของสารประกอบออกไซด์ของดินแร่หายาก มีค่าระหว่าง

$$0.01 \text{ โมล} < n < 0.15 \text{ โมล}$$

กระบวนการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินา ตามการประดิษฐ์นี้ ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- การเตรียมผสมของสารตั้งต้น ที่ประกอบด้วยผงออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ กับผงอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) ผงอะลูมิเนียม (Al) และผงออกไซด์ของดินแร่หายาก (Rare Earth Oxide)
- การอัดขึ้นรูปผสมของสารตั้งต้นดังกล่าวเป็นชิ้นงานตั้งต้น
- การจุดระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยาที่บริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานตั้งต้นดังกล่าวภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สามารถดำเนินไปเองภายหลังการจุดระเบิด ภายหลังจากจุดระเบิด และ

หน้า 5 ของจำนวน 7 หน้า

- เคลื่อนตัวไปจนถึงอีกด้านหนึ่งของชิ้นงานได้ผลผลิตเป็นผงวัสดุผสม ที่มีเฟสหลักคือ
- แบเรียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Barium Aluminate,  $BaAl_2O_4:R^+$  ),
- แคลเซียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Calcium Aluminate,  $CaAl_2O_4:R^+$  ),
- สตรอนเตียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Strontium Aluminate,  $SrAl_2O_4:R^+$  ),
- 5 เบริลเลียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Beryllium Aluminate,  $BeAl_2O_4:R^+$  ),
- แมกนีเซียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Magnesium Aluminate,  $MgAl_2O_4:R^+$  )
- หรือ เรเดียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ด้วยดินแร่หายาก ( Rare Earth doped Radium Aluminate,  $RaAl_2O_4:R^+$  )
- ( $R^+$  คือ ดินแร่หายาก ได้แก่ ยูโรเปียม และดิสโพรเซียม)
- ขั้นตอนเตรียมผงผสมของสารตั้งต้นดังกล่าว เป็นการทำให้ส่วนผสมทั้ง 4 ตัว คือ ผงออกไซด์ของ
- 10 โลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ ผงอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) ผงอะลูมิเนียม (Al) และผงออกไซด์ของดินแร่หายาก (Rare Earth Oxide) ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาจทำได้โดยการบดผสมด้วยเครื่องบดผสม (Ball Mill) หรือด้วยวิธีอื่นใดที่เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับบุคคลที่อยู่ในสาขาวิทยาการนี้ จนได้ส่วนผสมที่สม่ำเสมอ โดยที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ย
- ของผงผสม ที่พึงประสงค์ คือ อยู่ในช่วง 5 -10 ไมโครเมตร ทั้งนี้กระบวนการสังเคราะห์ ดังกล่าวนี้อาจสามารถ
- ปรับปริมาณสัดส่วนผงออกไซด์ของดินแร่หายากและกลุ่มของสารตั้งต้น ตามอัตราส่วนเชิงโมล ที่ทำให้
- 15 สามารถสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมได้ในขั้นตอนเดียว โดย
- อัตราส่วนเชิงโมลของออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ/ อะลูมินา/ อะลูมิเนียม และผงออกไซด์ของดินแร่
- หายาก ที่พึงประสงค์ เท่ากับ 1.5/1/1/n ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (6)
- ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปผงผสมของสารตั้งต้นให้เป็นชิ้นงานตั้งต้นดังกล่าวนี้ ที่พึงประสงค์คือ ควรอัด
- 10 ให้ชิ้นงานตั้งต้นให้มีความหนาแน่นระหว่าง 50 – 70 % ของความหนาแน่นทางทฤษฎี
- ขั้นตอนการจุกะเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยการจุกะเบิดด้วยลวดความร้อน เช่น ลวด
- ทังสเตน หรือ ลวดนิโครม หรือจุกะเบิดด้วยลำแสงเลเซอร์ แต่มิได้เป็นการจำกัดแต่อย่างใด ที่บริเวณผิว
- ด้านบน ปฏิกิริยาจะดำเนินไปเอง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตนเองที่อุณหภูมิสูง เป็น
- กระบวนการที่ใช้พลังงานน้อยมากในการจุกะเบิด ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลาอัน
- สั้น (ไม่ถึง นาที)
- 20
- วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบเรืองแสง เช่น โดยใช้เป็นสารเคลือบเรือง
- 25 แสงใน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จอแสดงภาพ นาฬิกา สัญญาณเครื่องหมายจราจร หรือหลอด
- ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) เป็นต้น

## หน้า 6 ของจำนวน 7 หน้า

เพื่อให้สามารถเข้าใจการประดิษฐ์ได้ดียิ่งขึ้น จะทำการยกตัวอย่างกรรมวิธีการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมเนด ตามการประดิษฐ์นี้ได้แก่  $BaAl_2O_4:R^+$  และ  $SrAl_2O_4:R^+$  ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1

- 5 เตรียมผงผสมสารตั้งต้นโดยซึ่งสารตามอัตราส่วนเชิงโมล ของ แบเรียมเปอร์ออกไซด์/อะลูมินา/อะลูมิเนียม/ยูโรเปียมออกไซด์ เท่ากับ  $1.5/1/1/0.007$  หรือคิดเป็น สัดส่วนน้ำหนัก ของ แบเรียมเปอร์ออกไซด์/อะลูมินา/อะลูมิเนียม/ยูโรเปียมออกไซด์ เท่ากับ  $9.4134/3.7789/1 /0.0913$  กรัม นำผงผสมสารตั้งต้นไป บดผสม ด้วยเครื่องบดผสม ที่ ความเร็ว 250 rpm เป็นเวลา 60 นาที นำผงผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดสาร แนวตั้ง โดยใช้ความดัน 1000 psi นำลวดทังสเตน ประกอบเข้ากับระบบจุดระเบิดที่เตาปฏิกรณ์ SHS แล้วนำชิ้นงานที่
- 10 ได้จากการอัดขึ้นรูปไปใส่ในเตา ในตำแหน่งที่ลวดทังสเตนลอยอยู่เหนือชิ้นงานเล็กน้อยหรือสัมผัสพอดี แล้วจึงปิดเตาให้แน่น เปิดปั๊มสุญญากาศ เพื่อดูดอากาศออก ก่อนจะเติมแก๊สอาร์กอน ให้ความดันภายในเตาเท่ากับ 0.5 MPa จุดระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยา โดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้กับลวดทังสเตนในเตาปฏิกรณ์ SHS
- 15 ภายหลังปฏิกิริยา เปิดเตา นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ศึกษา โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน ( X-ray Diffraction, XRD) พบว่าผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วย สารหลักเพียงชนิดเดียวชนิด คือ แบเรียมอะลูมิเนียมไดโอบด้วยยูโรเปียม (Europium doped Barium Aluminate,  $BaAl_2O_4:Eu^+$ )

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติการเรืองแสงด้วยเครื่อง สเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น Ocean Optics USB4000 Spectrometer) ภายใตแสง UV พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นวัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัส ที่มีการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่น 501 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน

ตัวอย่างที่ 2

- 20 เตรียมผงผสมสารตั้งต้นโดย ซึ่งสารตามอัตราส่วนเชิงโมล ของ สตรอนเตียมเปอร์ออกไซด์/อะลูมินา/อะลูมิเนียม/ยูโรเปียมออกไซด์ เท่ากับ  $1.5/1/1/0.007$  หรือคิดเป็น สัดส่วนน้ำหนัก ของ สตรอนเตียมเปอร์ออกไซด์/อะลูมินา/อะลูมิเนียม/ยูโรเปียมออกไซด์ เท่ากับ  $6.6500/3.7789/1 /0.0913$ กรัม นำผงผสมสารตั้งต้นไปบดผสม ด้วย เครื่องบดผสม ที่ ความเร็ว 250 rpm เป็นเวลา 60 นาที นำผงผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดสาร แนวตั้งโดยใช้ความดัน 1000 psi นำลวดทังสเตน ประกอบเข้ากับระบบจุดระเบิดที่เตาปฏิกรณ์ SHS
- 25 แล้วนำชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปไปใส่ในเตา ในตำแหน่งที่ลวดทังสเตนลอยอยู่เหนือชิ้นงานเล็กน้อยหรือสัมผัสพอดี แล้วจึงปิดเตาให้แน่น เปิดปั๊มสุญญากาศ เพื่อดูดอากาศออก ก่อนจะเติมแก๊สอาร์กอน ให้ความดันภายในเตาเท่ากับ 0.5 MPa จุดระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยา โดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้กับลวดทังสเตนในเตาปฏิกรณ์ SHS ภายหลังปฏิกิริยา เปิดเตา นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ศึกษา โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรค

หน้า 7 ของจำนวน 7 หน้า

ชั้น (X-ray Diffraction, XRD) พบว่าผลึกภัณฑ์ประกอบไปด้วย สารหลักเพียงชนิดเดียวชนิด คือ สตรอนเทียมอะลูมิเนียมโคบอลต์ดอปด้วยยูโรเปียม (Europium doped Strontium Aluminate,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^+$ )

5 นำผลึกภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติการเรืองแสงด้วยเครื่อง สเปกโตรมิเตอร์ (รุ่น Ocean Optics USB4000 Spectrometer) ภายใต้แสง UV พบว่าผลึกภัณฑ์ที่ได้เป็นวัสดุเรืองแสงฟอสเฟอร์ ที่มีการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่น 437 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเหลืองแกมเขียว

10 ถึงแม้ว่าการประดิษฐ์จะได้รับการบรรยายโดยสมบูรณ์ก็ตาม ย่อมเป็นที่เข้าใจได้ว่าการดัดแปลง หรือ แก้ไขต่างๆ โดยผู้ที่มีความชำนาญในระดับสามัญในศิลปะและวิทยาการที่เกี่ยวข้อง โดยที่ยังอยู่ภายในขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์อาจทำได้ ขอบเขตของการประดิษฐ์นี้ย่อมเป็นไปตามลักษณะของการประดิษฐ์ที่ได้ระบุไว้ในข้อถือสิทธิที่แนบท้าย รวมทั้งยังครอบคลุมถึงลักษณะของการประดิษฐ์ที่แม้จะมีได้ระบุไว้ในข้อถือสิทธิโดยเฉพาะเจาะจง แต่เป็นสิ่งที่มิประโยชน์ใช้สอยและทำให้เกิดผลในทำนองเดียวกันกับลักษณะของการประดิษฐ์ที่ได้ระบุไว้ในข้อถือสิทธิด้วย

#### วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

เหมือนกับที่บรรยายมาแล้วในหัวข้อ การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

หน้า 1 ของจำนวน 2 หน้า

### ข้อถ้อยสิทธิ

1. กระบวนการสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมิเนียมด้วยวิธีปฏิกิริยา  
 ก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ที่ประกอบด้วยขั้นตอน
  - 5
    - การเตรียมผสมของสารตั้งต้น ที่ประกอบด้วยผงออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth Oxide), ผงอะลูมินา (Alumina,  $Al_2O_3$ ), ผงอะลูมิเนียม (Aluminum, Al), และ ผงออกไซด์ของดินแร่หายาก (Rare Earth Oxide)
    - การอัดขึ้นรูปผสมของสารตั้งต้นดังกล่าวเป็นชิ้นงานตั้งต้น
    - การจุ่มระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยาที่บริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานตั้งต้นดังกล่าว ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สามารถดำเนินไปเองภายหลังการจุ่มระเบิด
- 10 2. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่ง ออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธดังกล่าว เลือกได้จากกลุ่มที่ประกอบด้วย แบเรียมเปอร์ออกไซด์ (Barium Peroxide,  $BaO_2$ ), แคลเซียมเปอร์ออกไซด์ (Calcium Peroxide,  $CaO_2$ ), สตรอนเตียมเปอร์ออกไซด์ (Strontium Peroxide,  $SrO_2$ ), เบริลเลียมเปอร์ออกไซด์ (Beryllium Peroxide,  $BeO_2$ ), แมกนีเซียมเปอร์ออกไซด์ (Magnesium Peroxide,  $MgO_2$ ), และ เรเดียมเปอร์ออกไซด์ (Radium Peroxide,  $RaO_2$ )
- 15 3. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่งในอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ, อะลูมินา, อะลูมิเนียม และออกไซด์ของดินแร่หายาก คือ  $1.5/1/1/n$  โมล โดยที่  $n$  คือจำนวนโมลของออกไซด์ของดินแร่หายาก
4. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 3 ที่ซึ่ง จำนวนโมลของออกไซด์ของดินแร่หายาก อยู่ระหว่าง  $0.0001 \text{ โมล} < n < 0.05 \text{ โมล}$
- 20 5. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่ง ผงผสมของสารตั้งต้นดังกล่าวถูกบดให้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย อยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร
6. กระบวนการสังเคราะห์ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่ง ชิ้นงานตั้งต้นดังกล่าว มีความหนาแน่นที่พึงประสงค์ คือ อยู่ระหว่าง 50 – 70 % ของความหนาแน่นทางทฤษฎี
7. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่งขั้นตอนการจุ่มระเบิดดังกล่าว เลือกได้จากวิธีการจุ่มระเบิดด้วยลวดความร้อน และลำแสงเลเซอร์
- 25 8. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1 ที่ซึ่ง แก๊สเฉื่อยดังกล่าว เลือกได้จากกลุ่มที่ประกอบด้วย แก๊สอาร์กอน และแก๊สไนโตรเจน

## หน้า 2 ของจำนวน 2 หน้า

9. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถือสิทธิ 7 ที่ซึ่ง ลวดความร้อนเลือกได้จากกลุ่มที่ประกอบด้วย ลวดทังสเตน (Tungsten, W) และ ลวดนิโครม (Nichrome)
  10. กระบวนการสังเคราะห์ ตามข้อถือสิทธิ 1 หรือ 3 หรือ 4 ที่ซึ่งออกไซด์ของดินแร่หายากเลือกได้จากกลุ่มที่ประกอบด้วย ยูโรเปียมออกไซด์ (Europium Oxide,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ), ดิสโพรเซียมออกไซด์ (Dysprosium Oxide,  $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) และส่วนผสมของสารดังกล่าว
- 5

หน้า 1 ของจำนวน 1 หน้า

### บทสรุปการประดิษฐ์

การประดิษฐ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินา ด้วยวิธีปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง (Self-propagating High Temperature synthesis, SHS) โดยการเลือกใช้ชนิดและอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นที่ทำให้ได้วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธอะลูมินาเพียงเฟสเดียว ไม่มีเฟสของวัสดุอื่นๆเจือปน อีกทั้งถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในขั้นตอนเดียว กระบวนการสังเคราะห์วัสดุเรืองแสงตามการประดิษฐ์นี้ ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมผสมของสารตั้งต้น ที่ประกอบด้วยผงออกไซด์ของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth Oxide), ผงอะลูมินา (Alumina,  $Al_2O_3$ ), ผงอะลูมิเนียม (Aluminum, Al), และผงออกไซด์ของดินแร่หายาก (Rare Earth Oxide) และอัดขึ้นรูปผสมของสารตั้งต้นดังกล่าวเป็นชิ้นงานตั้งต้น จากนั้นทำการจุดระเบิดเริ่มต้นปฏิกิริยาที่บริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานตั้งต้นดังกล่าว ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สามารถดำเนินไปเองภายหลังการจุดระเบิด วัสดุเรืองแสงฟอสฟอรัสที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบเรืองแสง โดยใช้เป็นสารเคลือบเรืองแสงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จอแสดงภาพ นาฬิกา สัญลักษณ์เครื่องหมายจราจร หรือหลอด LED เป็นต้น



## มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อประกาศเกียรติคุณ

### นางสาวทัศนัชพร สถาพร

ในฐานะนักศึกษาที่ได้รับรางวัลนวัตกรรมสงขลานครินทร์ ประจำปี 2554

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รางวัลที่ 3 ระดับบัณฑิตศึกษา

ผลงาน : การสังเคราะห์สารเรืองแสงฟอสฟอรัสชนิดอะลูมิเนียมเจอร์เมเนียม

ยูโรเปียมโดยวิธีปฏิกิริยาแก้วหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง

สมควรยกย่องชมเชยเพื่อเป็นเกียรติประวัติและแบบอย่าง

แก่นักศึกษาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สืบไป

ให้ไว้ ณ วันที่ 26 เดือนมิถุนายน พุทธศักราช 2555

เนื่องในงานวันนักวิจัยและนวัตกรรม ม.อ. ครั้งที่ 6 ประจำปี 2555

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล)

อธิการบดี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์