

การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียม
เพื่อการประยุกต์ด้านการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Tm}$ UPCONVERSION LUMINESCENCE MATERIAL
FOR PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS

Miss Thanataon Pornphatdetaudom



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Ceramic Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

ธันต์ธอร์ พรพัฒน์เดชอุดม : การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อการประยุกต์ด้านการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (SYNTHESIS OF $\text{NaYF}_4:\text{Yb,Tm}$ UPCONVERSION LUMINESCENCE MATERIAL FOR PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์, 158 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลาย รวมถึงศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่อเฟส สัณฐานวิทยา และการเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลซึ่งมีประสิทธิภาพการเปล่งแสงสูงเมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมงโดยใช้กรดเอทิลีนไดเอมีนปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว ในขณะที่เมื่อทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายสามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลซึ่งมีประสิทธิภาพการเปล่งแสงสูงเมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรตเป็นเกลือหลอมละลาย อนุภาคที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายจะมีความเป็นผลึกสูง และมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่มีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างหน้าตัดที่มากกว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ซึ่งส่งผลให้มีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามวัสดุทั้งสองมีการเปล่งแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลมาเตรียมเป็นวัสดุประกอบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วนน้ำหนัก 1 ต่อ 2 พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายเมทิลออเรนจ์ภายใต้แสงจากหลอดซินอน 150 วัตต์ได้ โดยสามารถย่อยสลายเมทิลออเรนจ์ได้ร้อยละ 95 ในระยะเวลา 90 นาที ในขณะที่ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถย่อยสลายได้เพียงร้อยละ 88

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5671977823 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEYWORDS: NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ / UPCONVERSION / TiO₂ / PHOTOCATALYST / HYDROTHERMAL / MOLTEN SALT

THANATAON PORNPATDETAUDOM: SYNTHESIS OF NaYF₄:Yb,Tm UPCONVERSION LUMINESCENCE MATERIAL FOR PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS. ADVISOR: ASST. PROF. KARN SERIVALSATIT, Ph.D., 158 pp.

In the present work, β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ particles were synthesized by hydrothermal method and molten salt method. The effects of synthesized temperature and time on phase, morphology, and upconversion luminescence were also investigated. The results showed that pure hexagonal β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods with high upconversion luminescence were successfully synthesized by hydrothermal method at 200 °C for 18 hours using 2 mmol ethylenediaminetetraacetic acid as a dispersant. For molten salt method, pure hexagonal β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods with high upconversion luminescence were successfully synthesized at 400 °C for 2 hours using NaNO₃ and KNO₃ as molten salts. The β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods, synthesized by molten salt method, exhibited higher crystallinity and higher aspect ratio compared to that of β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods, synthesized by hydrothermal method. Consequently, the upconversion luminescence in the visible region of the β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods, synthesized by molten salt method were higher. However, the upconversion luminescences in the visible region of both microrods were comparable. The β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ and TiO₂ composites were prepared by physical mixing TiO₂ with the β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ microrods, synthesized by hydrothermal method at 200 °C for 18 hours. Photocatalytic activity of the prepared composite photocatalysts was analyzed by observing decomposition of methyl orange (MO) under a 150 watt xenon lamp. The result showed that the β -NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ and TiO₂ composite with weight ratio of 1:2 exhibited the best photocatalytic efficiency to decomposing MO and 95% of MO was decomposed in 90 minutes. Whereas, 88% of MO was decomposed for the pure TiO₂.

Department: Materials Science

Student's Signature

Field of Study: Ceramic Technology

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ การสนับสนุนและความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินการวิจัย จากท่านทั้งหลายและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ ๗๒ พรรษา

ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากโครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คลัสเตอร์วัสดุขั้นสูง โครงการ การพัฒนาวัสดุโพลีโตะคะตะลิสต์สมรรถนะสูง (RES560530219-AM)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำ ความรู้ การช่วยเหลือ และการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดการทำวิจัย

ศาสตราจารย์ยามาโนะ โยชิอากิ และกลุ่มโครงการแลกเปลี่ยน TWINCLE มหาวิทยาลัยชิบะ จังหวัดชิบะ ประเทศญี่ปุ่น สำหรับการต้อนรับ และการสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณาจารย์ และบุคลากรในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน สำหรับความรู้ คำชี้แนะในงานวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องของเล่มวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คุณวิระพงษ์ ครพนม และคุณบงกช พุฒแก้ว สำหรับการดำเนินการและการให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์ผลต่างๆ

สุดท้าย กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องรอบข้างทุกท่านที่อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันและวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน	4
2.2 ส่วนประกอบของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน.....	7
2.2.1 โฮสอินทรีย์	7
2.2.2 แลนทาไนด์ไอออน	10
2.3 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน.....	13
2.3.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	14
2.3.2 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	19
2.4 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน.....	24
2.4.1 การประยุกต์ด้านการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	24
2.4.2 การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง.....	25
2.4.3 ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.1 สังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	29
3.1.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	29
3.1.2 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	31
3.2 สังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	33
3.2.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	33
3.2.2 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	37
3.2.3 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	39
3.3 การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล (sol-gel)	43
3.4 การเตรียมวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของภายใต้แสงอาทิตย์	44
3.5 การวิเคราะห์ผล	45

3.5.1 วิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffractometry, XRD).....	45
3.5.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM).....	45
3.5.3 วิเคราะห์การเปล่งแสงด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี (Fluorescence Spectroscopy).....	45
3.5.4 วิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์.....	46
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย และการอภิปรายผล	50
4.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล.....	50
4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล.....	50
4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	56
4.1.3 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล	73
4.2 ผลการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	84
4.2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	84
4.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	92
4.2.3 ผลของปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	99
4.2.4 ผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	103
4.3 ผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์	137
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะ	144
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	144
5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต	146

ญ

หน้า

รายการอ้างอิง..... 148

ภาคผนวก 155

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 158



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	48
--------------	---	----



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แบบจำลองการเปล่งแสงแบบแอนติสโตกส์และสโตกส์.....	4
รูปที่ 2.2	แบบจำลองกลไกพื้นฐานในการเกิดอัปคอนเวอร์ชัน (ก) การดูดกลืนพลังงานที่สถานะกระตุ้น (ข) การคายพลังงานของโฟตอนที่สะสมในสถานะกระตุ้น (ค) การถ่ายเทพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น	6
รูปที่ 2.3	กลไกการเกิดการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอัปคอนเวอร์ชันของวัสดุเปล่งแสง อัปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและเออร์เบียม.....	7
รูปที่ 2.4	แผนภาพแสดงค่าพลังงานโฟนอนของสารประกอบชนิดต่างๆ	8
รูปที่ 2.5	แบบจำลองการเกิดการแยกชั้นพลังงานและการดูดกลืนแสง	9
รูปที่ 2.6	แบบจำลองโครงสร้างผลึกของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ (ก) โครงสร้างคิวบิก (ข) โครงสร้างเฮกซะโกนอล	10
รูปที่ 2.7	แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเมื่อมีการเจือไอออน ที่มีขนาดแตกต่างจากไอออนเดิม	11
รูปที่ 2.8	การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอัปคอนเวอร์ชันของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและเออร์เบียมและโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและทูลีียม เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....	12
รูปที่ 2.9	แบบจำลองชั้นพลังงานของแลนทาไนด์ไอออน (ก) อิตเทอร์เบียมไอออน (ข) ทูลีียมไอออน	13
รูปที่ 2.10	การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอัปคอนเวอร์ชันของวัสดุเปล่งแสงอัปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่ทำเป็นวัสดุคอมโพสิตกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (ก) สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล (ข) สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	14
รูปที่ 2.11	ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ก) 140 (ข) 220 องศาเซลเซียส.....	16
รูปที่ 2.12	ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (ก) 0.5 (ข) 1 (ค) 7 (ง) 24 ชั่วโมง.....	17
รูปที่ 2.13	แบบจำลองการล้อมรอบนิวเคลียสของโมเลกุลกรดเอทิลีนไอเดมีนเททราอะซิติก.....	18

รูปที่ 2.14 ผลของสารช่วยกระจายตัวต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้ปริมาณสารช่วยกระจายตัว 2 มิลลิโมล (ก) กรดเอทิลีนไดเอมีนเทรอะซีติก (ข) โซเดียมซิเตรต.....18

รูปที่ 2.15 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นในระบบเกลือหลอมละลาย (ก) ละลายเข้าไปในระบบเกลือและเกิดการตกตะกอนออกมา (ข) สารตั้งต้นหนึ่งเกิดการแพร่เข้าไปในอีกสารตั้งต้นหนึ่ง.....20

รูปที่ 2.16 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ก) 300 (ข) 400 (ค) 500 องศาเซลเซียส21

รูปที่ 2.17 ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (ก) 0.5 (ข) 1 (ค) 2 ชั่วโมง22

รูปที่ 2.18 ผลของสารตั้งต้นต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย โดยมีสารตั้งต้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ก) 4 (ข) 4.5 (ค) 6 (ง) 8 และ (จ) 12 มิลลิโมล.....23

รูปที่ 2.19 แบบจำลองกลไกการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่ทำเป็นวัสดุเชิงประกอบกับไทเทเนียมไดออกไซด์25

รูปที่ 2.20 แบบจำลองการเกิดการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง26

รูปที่ 2.21 แบบจำลองโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบโครงสร้างต่างๆ (ก) รูโพล์ (ข) อนาเทส (ค) บลูคโคท์.....27

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล30

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัว ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล32

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....36

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมเพื่อศึกษาผลของโซเดียมฟลูออไรด์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย.....	38
รูปที่ 3.5 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต	40
รูปที่ 3.6 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต	40
รูปที่ 3.7 เฟสไดอะแกรมของลิเทียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต	41
รูปที่ 3.8 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรต ลิเทียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต	41
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมเพื่อศึกษาผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย	42
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล.....	43
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของภายใต้แสงอาทิตย์	44
รูปที่ 3.12 สเปกตรัมของแสงของหลอดซินอน 150 วัตต์ (Hamamatsu L2175) ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์	47
รูปที่ 3.13 แผนภาพมาตรฐานของสารละลายเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 0.02 มิลลิโมลาร์	48
รูปที่ 4.1 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	51
รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	52
รูปที่ 4.3 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร	53

รูปที่ 4.4 การเปล่งแสง (ก) และ (ข) กลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชัน ของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....	55
รูปที่ 4.5 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง.....	56
รูปที่ 4.6 สันฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 18 ชั่วโมง.....	57
รูปที่ 4.7 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....	57
รูปที่ 4.8 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง ...	59
รูปที่ 4.9 สันฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 18 ชั่วโมง	60
รูปที่ 4.10 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร	61
รูปที่ 4.11 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง ...	62
รูปที่ 4.12 สันฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 (ง) ระยะเวลา 18 ชั่วโมง	63
รูปที่ 4.13 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร	64

- รูปที่ 4.14** เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง.....66
- รูปที่ 4.15** สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 (ง) 18 (จ) และ (ฉ) 24 ชั่วโมง.....67
- รูปที่ 4.16** การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....68
- รูปที่ 4.17** สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ..... 71
- รูปที่ 4.18** แบบจำลองการเปลี่ยนแปลง (ก) เฟสองค์ประกอบจากโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล และ (ข) สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล..... 72
- รูปที่ 4.19** แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาและการเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล..... 72
- รูปที่ 4.20** เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล..... 74
- รูปที่ 4.21** สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว (ก) และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ (ข) 1 (ค) 2 (ง) 4 และ (จ) 8 มิลลิโมล..... 75
- รูปที่ 4.22** การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 76

- รูปที่ 4.23** เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวใน ปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล.....78
- รูปที่ 4.24** สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดย (ก) ไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวใน ปริมาณ (ข) 1 (ค) 2 (ง) 4 และ (จ) 8 มิลลิโมล79
- รูปที่ 4.25** การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....80
- รูปที่ 4.26** เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติม สารช่วยกระจายตัว มีการเติมทีลีนไดเอมีนเทรอาอะซิติกและโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว.....81
- รูปที่ 4.27** แบบจำลองผลึก (ก) และสัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดย (ข) ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว (ค) มีการเติมกรดเอทีลีนไดเอมีนเทรอาอะซิติก และ (ง) โซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว.....82
- รูปที่ 4.28** การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว มีการเติมทีลีนไดเอมีนเทรอาอะซิติกและโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร83
- รูปที่ 4.29** เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง86

รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 (ง) 500 และ (จ) 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง87

รูปที่ 4.31 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร88

รูปที่ 4.32 การเปล่งแสง (ก) และ (ข) กลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย91

รูปที่ 4.33 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง93

รูปที่ 4.34 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง.....94

รูปที่ 4.35 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....95

รูปที่ 4.36 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....97

รูปที่ 4.37 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลง (ก) เฟสองค์ประกอบจากโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล และ (ข) สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย98

รูปที่ 4.38 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาและการเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย98

รูปที่ 4.39 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล..... 100

รูปที่ 4.40 สันฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ (ก) 3 (ข) 4 (ค) 5 และ (ง) 6 มิลลิโมล..... 101

รูปที่ 4.41 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 102

รูปที่ 4.42 เฟสองค์ประกอบของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรตโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 105

รูปที่ 4.43 สันฐานวิทยาของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือ (ก) โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต (ข) โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต (ค) โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และ (ง) โซเดียมไนเตรตโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 106

รูปที่ 4.44 การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 107

รูปที่ 4.45 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 109

รูปที่ 4.46 สันฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 110

รูปที่ 4.47 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและ
 ลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 111

รูปที่ 4.48 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่
 สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ
 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียม
 ไนเตรตและลิเทียมไนเตรต 113

รูปที่ 4.49 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่
 สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 114

รูปที่ 4.50 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์
 ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง
 โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและ
 ลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 115

รูปที่ 4.51 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่
 สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา
 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียม
 ไนเตรตและลิเทียมไนเตรต 117

รูปที่ 4.52 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่
 สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ
 (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำ
 การสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต 118

รูปที่ 4.53 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์
 ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรต
 และลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 119

รูปที่ 4.54 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่
 สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ
 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียม
 ไนเตรตและลิเทียมไนเตรต 121

- รูปที่ 4.55** สันฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต 122
- รูปที่ 4.56** การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือ โพแทสเซียมไนเตรต และลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 123
- รูปที่ 4.57** เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 125
- รูปที่ 4.58** สันฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 126
- รูปที่ 4.59** การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร..... 127
- รูปที่ 4.60** เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 129
- รูปที่ 4.61** สันฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต..... 130

รูปที่ 4.62 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอด ที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....	131
รูปที่ 4.63 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลาย	133
รูปที่ 4.64 แบบจำลองผลึก (ก) และสัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วย (ข) วิธีไฮโดรเทอร์มัล และ (ค) วิธีเกลือหลอมละลาย... ..	133
รูปที่ 4.65 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลาย เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร.....	134
รูปที่ 4.66 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาและการเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลาย.....	136
รูปที่ 4.67 เฟสองค์ประกอบของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2.....	138
รูปที่ 4.68 สัณฐานวิทยาของ (ก) ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล (ข) วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และ (ค) วัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2	139
รูปที่ 4.69 การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2 เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร	140

รูปที่ 4.70 สีของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง โดย (ก) ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา (ข) มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา และมีวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ (ค) 1ต่อ 1 (ง) 1 ต่อ 2 และ (จ) 1 ต่อ 4..... 142

รูปที่ 4.71 ผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์..... 143

รูปที่ ก-1 เฟสองค์ประกอบของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ 156



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงานวิจัย

วัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (photocatalyst) เป็นวัสดุหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสง (photocatalytic reaction) ได้โดยการดูดกลืนแสงที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานแบนด์แกพ (band gap energy) ซึ่งจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอน (electron, e^-) ในแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล (electron-hole pairs, e^-h^+) ที่จะไปทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจน (oxygen, O_2) และเกิดเป็นเรดิคอลลิสระ (free radical) ต่างๆได้ เช่น ไฮดรอกซิลเรดิคอล (hydroxyl radical, OH) และซูเปอร์ออกไซด์เรดิคอล (superoxide radical, O_2^-) [1] ซึ่งเรดิคอลลิสระเหล่านี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้จึงสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้ โดยวัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาได้สูง มีความเสถียรทั้งเชิงกายภาพและเชิงเคมีสูง รวมไปถึงไม่มีความเป็นพิษ และมีราคาถูกอีกด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีพลังงานแบนด์แกพอยู่ในช่วง 3.0 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งสามารถดูดซับแสงได้ในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร [2] จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงได้เพียงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light, UV) เท่านั้น ซึ่งในแสงอาทิตย์มีแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงร้อยละ 5 [3, 4] ทำให้การนำไทเทเนียมไดออกไซด์ไปใช้งานเป็นวัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงภายใต้แสงอาทิตย์มีข้อจำกัด จึงทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงภายใต้แสงอาทิตย์ ซึ่งหนึ่งในวิธีการนั้นคือการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ไปทำเป็นวัสดุประกอบร่วมกับวัสดุอื่นที่ช่วยในการดูดกลืนแสงช่วงอื่นที่มีอยู่ในแสงอาทิตย์และเกิดการถ่ายเทพลังงานหรืออิเล็กตรอนไปสู่ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเกิดการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงต่อไปได้ เช่น บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) [5] แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) [6] รวมไปถึงวัสดุอัพคอนเวอร์ชัน (Upconversion luminescence materials) ที่สามารถดูดซับแสงในช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared light, IR) และปลดปล่อยแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตให้ไทเทเนียม

ไดออกไซด์เกิดการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงต่อไปได้ เช่น อิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม ($\text{YF}_3: \text{Yb}, \text{Tm}$) [7] และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม ($\text{NaYF}_4: \text{Yb}, \text{Tm}$) [3, 4] เป็นต้น

วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเป็นวัสดุที่สามารถเปล่งแสงในช่วงพลังงานที่สูงเมื่อกระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานต่ำกว่าได้ เนื่องจากการกระตุ้นด้วยแสงของอิเล็กตรอนในแอคทิเวเตอร์ไอออน (sensitizer ion) ร่วมกับการได้รับการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอนในเซนซิไทเซอร์ไอออน (activator ion) จึงทำให้อิเล็กตรอนกระตุ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้น และสามารถเปล่งแสงในช่วงพลังงานที่สูงกว่าพลังงานแสงที่ได้รับเข้าไปได้ [8] วัสดุนี้นี้จึงได้นำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ (solar cells) [9] และในทางชีวภาพในการเป็นไบโอเลเบล (biolabels) [10] โดยส่วนประกอบสำคัญของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันประกอบไปด้วยโฮสอินทรีย์ (inorganic host) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพลังงานโฟนอนที่ต่ำ และมีความโปร่งใสในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นกว้าง เมื่อนำมาเจือแลนทานาไนด์ไอออน (Lanthanide ion, Ln^{3+}) จะสามารถเกิดการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันในช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่ต้องการได้ โดยสารประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (hexagonal) เป็นโฮสอินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีความเสถียรสูง และเมื่อนำมาเจือด้วยอิตเทอร์เบียมและทูลีียมจะให้ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันที่สูงกว่าการใช้โฮสอินทรีย์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก (cubic) สารประกอบในกลุ่มฟลูออไรด์ และสารประกอบในกลุ่มอื่นๆ [11] นอกจากนี้โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมจะเปล่งแสงในช่วงแสงสีฟ้าและแสงอัลตราไวโอเล็ต ภายใต้แสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร [3, 4, 11, 12] จึงสามารถนำไปทำเป็นวัสดุผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงภายใต้แสงอาทิตย์ได้

การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันด้วยวิธีการสังเคราะห์และสภาวะที่แตกต่างกันจะส่งผลให้สัณฐานวิทยา (morphology) และความเป็นผลึก (crystallinity) ของวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของวัสดุ ในงานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล (hydrothermal) และวิธีเกลือหลอมละลาย

(molten salt) ในสภาวะต่างๆ และวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ได้ รวมไปถึงทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่ทำเป็นวัสดุคอมโพสิตกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย

1.2.1 ศึกษากระบวนการสังเคราะห์และสมบัติเชิงแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม

1.2.2 ทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่ทำเป็นวัสดุคอมโพสิตกับไทเทเนียมไดออกไซด์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานวิจัย

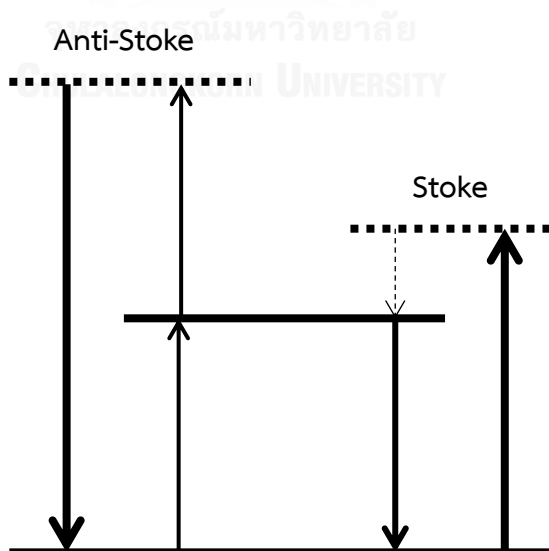
ได้วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงภายใต้แสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลไกการเกิดอัฟคอนเวอร์ชันและวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชัน

การเกิดการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอัฟคอนเวอร์ชัน (Upconversion Luminescence) เป็นการเปล่งแสงแบบแอนติสโตกส์ (anti-stokes emissions) ที่เกิดขึ้นจากการที่พลังงานแสงหรือโฟตอนกระตุ้น (excitation photon) มีพลังงานต่ำกว่าพลังงานแสงหรือโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา (emitted photon) [13] แต่เนื่องจากอิเล็กตรอน (electron, e^-) หรือไอออน (ion) ได้รับพลังงานแสงกระตุ้นซ้ำทำให้สามารถขึ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นได้ เมื่อปลดปล่อยพลังงานแสงออกมาจึงมีค่ามากกว่าพลังงานแสงที่ได้รับไป ซึ่งตรงข้ามกับการเปล่งแสงทั่วไปที่เป็นการเปล่งแสงแบบสโตกส์ (stoke emissions) ที่พลังงานแสงที่ให้ไปจะมากกว่าพลังงานที่เปล่งออกมา เนื่องจากเมื่ออิเล็กตรอนหรือไอออนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) มีความเสถียรต่ำจึงอาจเกิดการสูญเสียพลังงานจากการลดพลังงานลงมายังชั้นพลังงานที่ต่ำลง ก่อนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาเมื่อตกกลับลงมายังสถานะพื้น (ground state) จึงทำให้พลังงานแสงที่ปลดปล่อยออกมามีค่าที่ต่ำกว่าพลังงานแสงที่ได้รับไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1

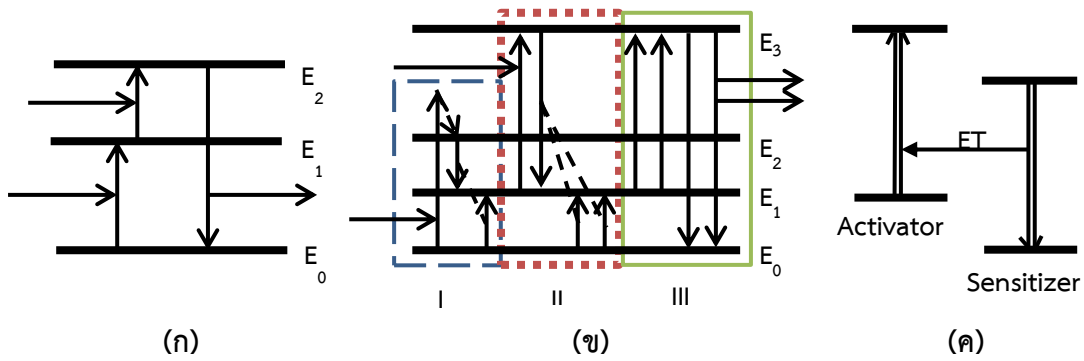


รูปที่ 2.1 แบบจำลองการเปล่งแสงแบบแอนติสโตกส์และสโตกส์

ลักษณะของการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันนี้เกิดขึ้นจากการถ่ายเทพลังงานระหว่างไอออนและเกิดการสะสมพลังงานทำให้อิเล็กตรอนสามารถกระตุ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นได้ผ่านการเกิดกลไกต่างๆ ซึ่งอาจเกิดได้จากเพียงกลไกเดียว หรือเกิดจากหลายกลไกพร้อมกัน โดยสามารถจำแนกออกเป็นกลไกพื้นฐานได้ 3 ชนิด [8] ได้แก่

1. กลไกการดูดกลืนพลังงานที่สถานะกระตุ้น (Excited State Absorption, ESA) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) คือการที่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น (E_0) ไปยังสถานะกระตุ้น (E_1) ได้รับพลังงานอีกครั้ง ทำให้ถูกกระตุ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่สูงขึ้น (E_2) เมื่ออิเล็กตรอนนั้นตกลงมายังสถานะพื้น จึงเกิดการปลดปล่อยพลังงานที่สูงกว่าพลังงานที่ได้รับในขั้นต้น ถือเป็นกลไกสำคัญในการเกิดการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชัน
2. กลไกการคายพลังงานของโฟตอนที่สะสมในสถานะกระตุ้น (Photon Avalanche, PA) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย โดยขั้นแรก (I) อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นได้รับพลังงานหนึ่งขึ้นไปยังสถานะกระตุ้น (E_2) และเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างอิเล็กตรอนนั้นไปยังอีกอิเล็กตรอนหนึ่งที่สถานะกระตุ้นต่ำกว่า (E_0) ที่เรียกว่า การเกิดคลอสรีแล็กเซชัน (Cross Relaxation) เหนี่ยวนำให้เกิดการสะสมอิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นกลาง (E_1) จากนั้นในขั้นถัดมา (II) อิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นกลาง (E_1) ได้รับพลังงานอีกครั้งและถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นที่สูงขึ้น (E_3) และเกิดคลอสรีแล็กเซชันถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นต่ำกว่าอีกครั้ง ทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นกลาง (E_1) มากยิ่งขึ้น จากนั้นในขั้นสุดท้าย (III) เมื่ออิเล็กตรอนที่สะสมในสถานะกระตุ้นกลาง (E_1) ถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นที่สูงขึ้น (E_3) อีกครั้งพร้อมกัน เมื่อตกลงมายังสถานะพื้น (E_0) จึงเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาพร้อมๆ กัน แสงที่เปล่งออกมาจากการปลดปล่อยพลังงานนั้นจึงเป็นแสงที่มีพลังงานสูงกว่าที่ได้รับและมีความเข้มที่สูงขึ้น
3. การถ่ายเทพลังงานไปยังระดับพลังงานข้างเคียงหรือระดับพลังงานที่สูงขึ้น (Energy Transfer Upconversion, ETU) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ค) คือการเกิดการถ่ายเทพลังงานของเซนซิไทเซอร์ไอออนซึ่งเป็นไอออนที่ได้รับพลังงานกระตุ้นโดยตรงไปยังแอคทิเวเตอร์ไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในแอคทิเวเตอร์ไอออนกระตุ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้น และเปล่งแสงในช่วง

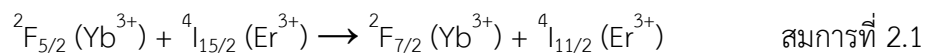
พลังงานที่สูงกว่าพลังงานแสงที่ได้รับมาได้ (indirect excitation) หรืออิเล็กตรอนนั้นอาจได้รับพลังงานและเกิดกลไกอื่นๆที่กล่าวมาในข้างต้นเพื่อกระตุ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นต่อไป



รูปที่ 2.2 แบบจำลองกลไกพื้นฐานในการเกิดอัปคอนเวอร์ชัน

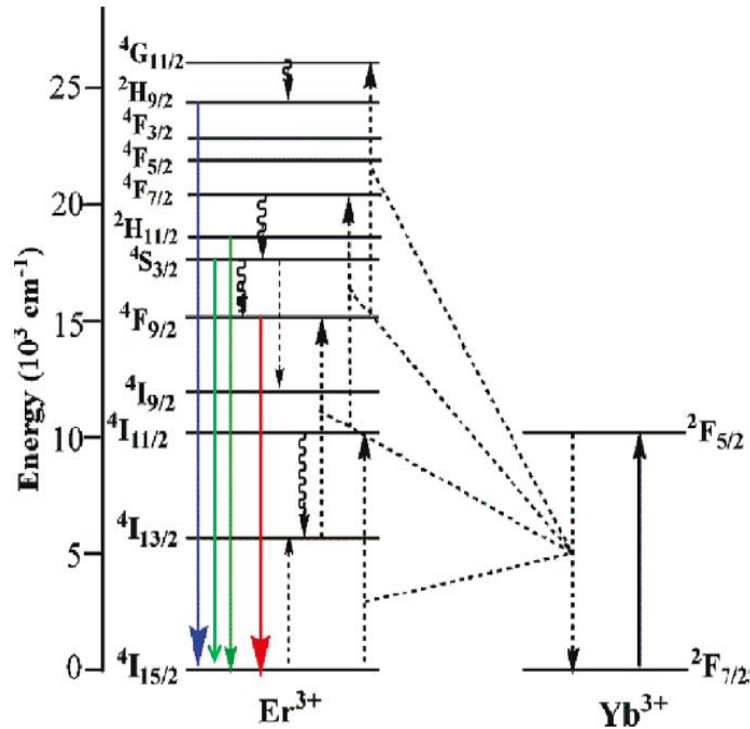
- (ก) การดูดกลืนพลังงานที่สถานะกระตุ้น (ข) การคายพลังงานของโฟตอนที่เหมาะสมในสถานะกระตุ้น
 (ค) การถ่ายเทพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น

ตัวอย่างเช่น ในวัสดุเปล่งแสงอัปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและเออร์เบียม สามารถเปล่งแสงสีแดง น้ำเงิน และเขียวได้เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เกิดได้จากกลไกการถ่ายเทพลังงานในขั้นแรก โดยในที่นี้อิตเทอร์เบียมไอออน (Yb^{3+}) จะประพฤติตัวเป็นเซนซิไเซอร์ไอออน และเออร์เบียมไอออน (Er^{3+}) จะประพฤติตัวเป็นแอตทิเวเตอร์ไอออน จะเห็นได้ว่าสถานะกระตุ้นของอิตเทอร์เบียมไอออนที่ชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ มีพลังงานที่เทียบเท่ากับที่ชั้นพลังงาน $^4I_{11/2}$ ของเออร์เบียมไอออน เมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ ตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จึงทำให้สามารถเกิดการถ่ายเทพลังงานจากไปยังชั้นพลังงาน $^4I_{15/2}$ ของเออร์เบียม และกระตุ้นอิเล็กตรอนขึ้นไปยัง ชั้นพลังงาน $^4I_{11/2}$ ของเออร์เบียมได้ โดยมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ 2.1



จากนั้น เมื่อมีการถ่ายเทพลังงานไปยังชั้นพลังงาน $^4I_{11/2}$ ของเออร์เบียมไอออนแล้วจึงเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างอิเล็กตรอนภายในเออร์เบียมไอออนเองทำให้เกิดคลอสรีแล็กเซชัน และเกิดการสะสมของอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงานที่สูงขึ้น สุดท้ายเมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นตกมายังชั้นพลังงานที่ต่ำกว่า จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสีต่างๆ คือแสงสีแดงเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน $^4F_{9/2}$ ตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^4I_{15/2}$ แสงสีน้ำเงินเกิดจากการที่

อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน $^2H_{9/2}$ ตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^4I_{15/2}$ และแสงสีเขียวเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน $^2H_{11/2}$ และ $^4S_{3/2}$ ตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^4I_{15/2}$



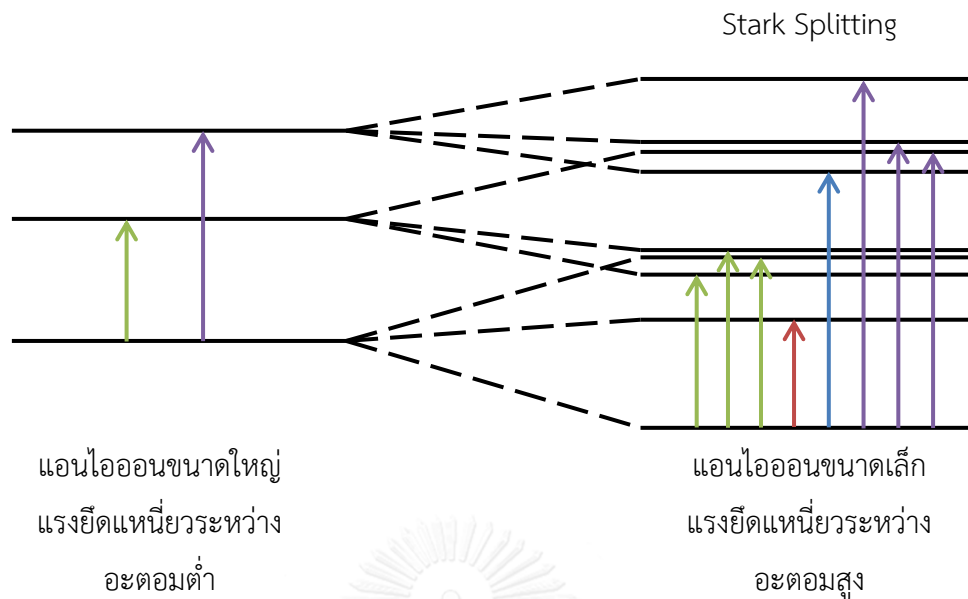
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอัฟคอนเวอร์ชันของวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและเออร์เบียม [8]

2.2 ส่วนประกอบของวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชัน

วัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชันประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ โฮสอินทรีย์ และแลนทาไนด์ไอออนที่เจือลงในโครงสร้างของโฮสอินทรีย์เพื่อให้เกิดการเปล่งแสง

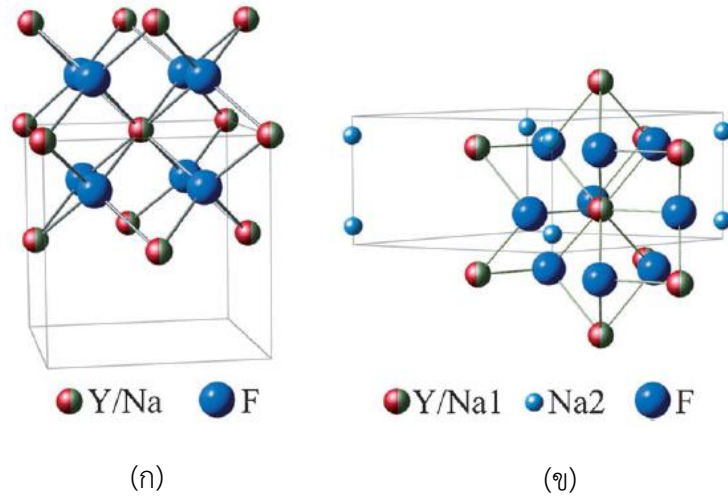
2.2.1 โฮสอินทรีย์

โฮสอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการเป็นวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชันที่ดีควรมีความโปร่งใสในช่วงความยาวคลื่นกว้างเพื่อให้แสงที่จะเข้าไปกระตุ้นสามารถผ่านเข้าไปกระตุ้นแลนทาไนด์ไอออน และแสงที่เปล่งออกมาจากแลนทาไนด์ไอออนสามารถทะลุผ่านโฮสอินทรีย์ออกมาได้ นอกจากนี้ควรมีพลังงานโฟนอน (phonon energy) ที่ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงานโดยไม่เกิดการเปล่งแสง (non-radiative losses) และเพิ่มระยะเวลาในการคงอยู่ในสถานะกระตุ้น (metastable energy lifetime) ของไอออนให้มีระยะเวลานานขึ้นเพื่อทำให้ไอออนสามารถรับพลังงานกระตุ้นซ้ำขณะที่



รูปที่ 2.5 แบบจำลองการเกิดการแยกชั้นพลังงานและการดูดกลืนแสง

สารประกอบในกลุ่มฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบที่มีแวนไอออน (anion) คือ ฟลูออไรด์ไอออน (F^-) และมีแคทไอออน (cation) เป็นไอออนชนิดต่างๆ ซึ่งสารประกอบฟลูออไรด์ที่นิยมนำมาใช้เป็นโฮสอินทรีย์อาจประกอบไปด้วยแคทไอออน 1 ชนิด เช่น อิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3) [17] แลนทานัมฟลูออไรด์ (LaF_3) [18] หรือประกอบไปด้วยแคทไอออน 2 ชนิด ($AReF_4$) ซึ่งมักประกอบไปด้วยอัลคาไลไอออน (Alkali ion, A) และไอออนของธาตุหายาก (rare earth ion, Re) เช่น โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($NaYF_4$) [19] ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$) [20] เป็นต้น โดยสารประกอบฟลูออไรด์ที่ประกอบไปด้วยแคทไอออนสองชนิดเป็นโฮสอินทรีย์ที่เมื่อเจือด้วยแลนทาไนด์ไอออนแล้วให้ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันที่ดีที่สุด [21] ซึ่งโฮสอินทรีย์ที่นิยมและได้รับความสนใจมาก ได้แก่ โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ซึ่งสามารถเกิดเป็นเฟสองค์ประกอบที่มีโครงสร้างได้ 2 รูปแบบ คือ โครงสร้างแบบคิวบิก และโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่าโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเมื่อนำมาเจือแลนทาไนด์ไอออนแล้วจะมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันที่สูงกว่าโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก (cubic) และสารประกอบในกลุ่มฟลูออไรด์อื่นๆ [11] ทำให้โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเป็นโฮสอินทรีย์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

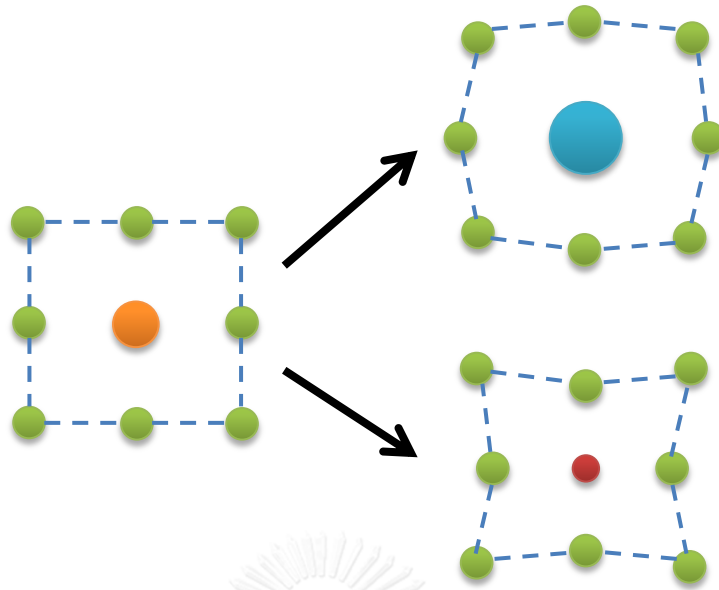


รูปที่ 2.6 แบบจำลองโครงสร้างผลึกของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

(ก) โครงสร้างคิวบิก (ข) โครงสร้างเฮกซะโกนอล [21]

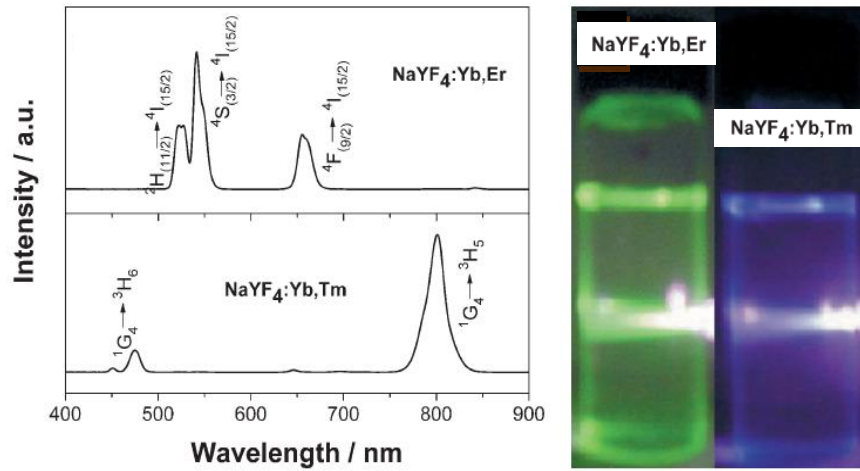
2.2.2 แลนทาไนด์ไอออน

การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของแลนทาไนด์ไอออนที่เจือในโฮสอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึกของโฮสอนินทรีย์และสนามผลึก (crystal field) ที่ล้อมรอบแลนทาไนด์ไอออนนั้น โดยที่การเจือแลนทาไนด์ไอออนลงในโฮสอนินทรีย์จะทำให้แลนทาไนด์ไอออนเข้าไปแทนที่อยู่ในตำแหน่งของไอออนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เช่น ในโฮสอนินทรีย์อิตเทรียมฟลูออไรด์ แลนทาไนด์ไอออนที่ถูกเจือเข้าไปจะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของอิตเทรียม และในโฮสอนินทรีย์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ แลนทาไนด์ไอออนที่ถูกเจือเข้าไปจะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของอิตเทรียมเช่นเดียวกัน ซึ่งการเจือแลนทาไนด์ไอออนเข้าป็นีจะส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกเนื่องจากขนาดของไอออนที่แตกต่างกัน หากไอออนที่เจือเข้าไปมีขนาดใหญ่กว่าไอออนเดิม ตำแหน่งที่ถูกแทนที่ก็จะเกิดการขยายขึ้น และในทางกลับกันหากไอออนที่เจือเข้าไปมีขนาดเล็กกว่าไอออนเดิม ตำแหน่งที่ถูกแทนที่ก็จะเกิดการหดตัวลง ดังแสดงในแบบจำลองในรูปที่ 2.7 ส่งผลให้โครงสร้างผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลง และเป็นผลให้การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันมีความแตกต่างกันด้วย



รูปที่ 2.7 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเมื่อมีการเจือไอออน
ที่มีขนาดแตกต่างจากไอออนเดิม

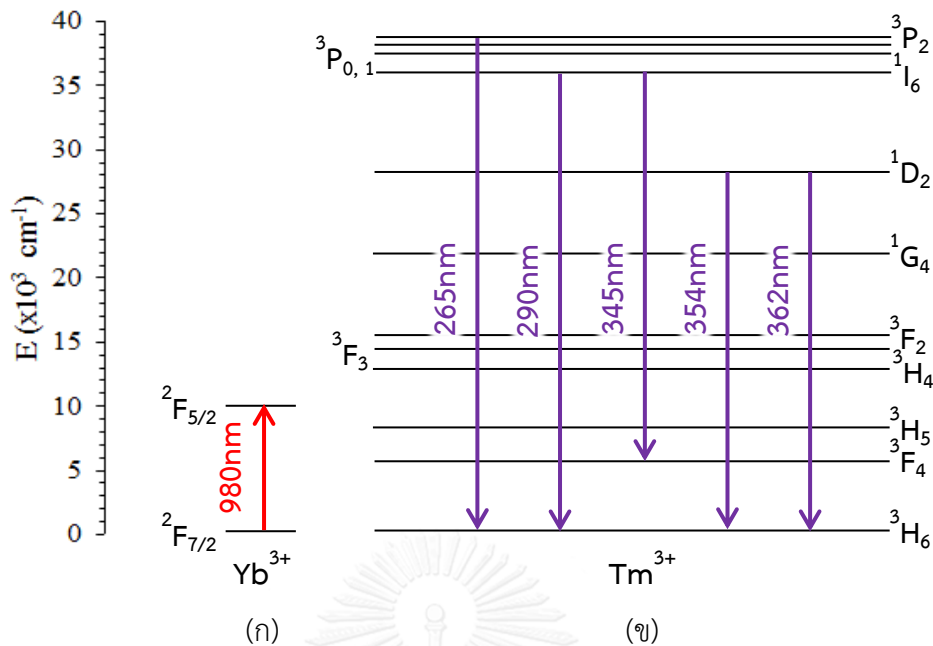
แลนทาไนด์ไอออนที่นิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันมีอยู่หลายชนิด เช่น เออร์เบียมไอออน (erbium ion, Er^{3+}) [22] อิตเทอร์เบียมไอออน (ytterbium ion, Yb^{3+}) [7] และทูลีียมไอออน (thulium ion, Tm^{3+}) [23] โดยการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากระดับพลังงานที่แตกต่างกันของแลนทาไนด์ไอออนนั้นจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดกลืนและการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ เช่น หากพิจารณาแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็นหรือแสงวิสิเบิล (visible light) โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและเออร์เบียม จะมีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดงและสีเขียว เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ในขณะที่โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและทูลีียม จะเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีฟ้า [24] เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและเออร์เบียมและโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่เจือด้วยอิตเทอร์เบียมและทูลีียม เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร [24]

อิตเทอร์เบียมไอออน (Yb^{3+}) เป็นแลนทาไนด์ไอออนที่มีชั้นพลังงานแบนด์แกพที่ไม่ซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) ซึ่งพลังงานแบนด์แกพระหว่างชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ และ $^2F_{5/2}$ นั้นสามารถดูดซับพลังงานในช่วงอินฟราเรดความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 980 นาโนเมตรได้ ทำให้อิตเทอร์เบียมไอออนเป็นไอออนที่นิยมนำมาใช้เจือในโฮสอนินทรีย์เพื่อใช้ในการดูดซับพลังงานจากแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 980 นาโนเมตร หรือแสงอินฟราเรดนั่นเอง โดยทำหน้าที่เป็นเซนซิไทเซอร์ไอออน และถ่ายเทพลังงานให้กับแลนทาไนด์ไอออนอื่นๆที่ทำหน้าที่เป็นแอกทิเวเตอร์ไอออนต่อไป

ทูลีียมไอออน (Tm^{3+}) เป็นแลนทาไนด์ไอออนหนึ่งที่มีชั้นพลังงานค่อนข้างซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) เป็นหนึ่งในไอออนที่มีชั้นพลังงานที่สูงทำให้มีความโดดเด่นในการนำมาใช้เจือในโฮสอนินทรีย์เพื่อการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสามารถเกิดได้จากไอออนในชั้นพลังงาน 3P_2 ตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 เกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร จากชั้นพลังงาน 1I_6 ตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 เกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร จากชั้นพลังงาน 1I_6 ตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3F_4 เกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 345 นาโนเมตร จากชั้นพลังงาน 1D_2 ตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 เกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 354 นาโนเมตร และจากชั้นพลังงาน 1D_2 ตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 เกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร [4, 12]



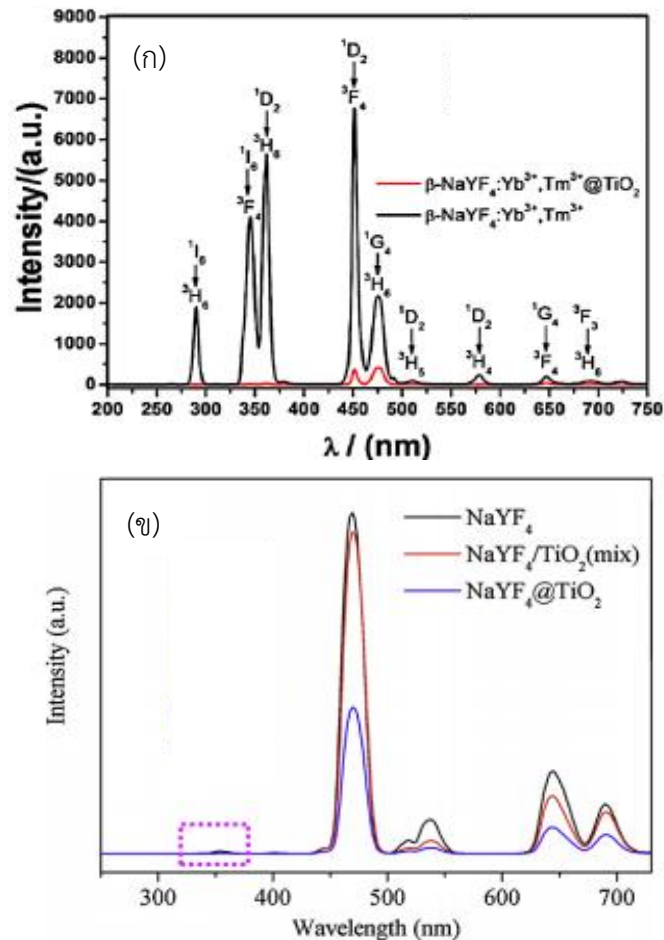
รูปที่ 2.9 แบบจำลองชั้นพลังงานของแลนทาไนด์ไอออน

(ก) อิตเทอร์เบียมไอออน (ข) ทูเลียมไอออน [4, 12]

2.3 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน

วิธีการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากส่งผลต่อสมบัติของวัสดุอพัคอนเวอร์ชันที่เตรียมได้ จากงานวิจัยท่านมาพบว่าวิธีการสังเคราะห์วัสดุอพัคอนเวอร์ชันนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น วิธีการสลายด้วยความร้อน (thermolysis) [25] วิธีไมโครเวฟ (microwave) [26] วิธีเกลือหลอมละลาย [27] และวิธีไฮโดรเทอร์มัล [28] เป็นต้น โดยการสังเคราะห์และสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้สัณฐานวิทยาและความเป็นผลึกของวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของวัสดุ ดังเช่นตัวอย่างความสามารถในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชันของวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล [4] และวิธีเกลือหลอมละลาย [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ถึงแม้โฮสจะเป็นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเป็นเฮกซะโกนอลเช่นเดียวกัน แต่ความสามารถในการเปล่งแสงที่ได้นั้น วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลจะมีสัดส่วนของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตรที่มากกว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ด้วยเหตุนี้การเลือกวิธีการสังเคราะห์จึงเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลต่อสมบัติ

ของวัสดุออปคอนเวอร์ชันที่เตรียมได้ โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาการสังเคราะห์วัสดุออปคอนเวอร์ชันด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลายเป็นหลัก



รูปที่ 2.10 การเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดออปคอนเวอร์ชันของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่ทำเป็นวัสดุคอมโพสิตกับไทเทเนียมไดออกไซด์

(ก) สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล [4] (ข) สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย [12]

2.3.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

วิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นหนึ่งในวิธีสังเคราะห์วัสดุเซรามิกที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่สามารถสังเคราะห์สารประกอบที่ต้องการได้ในขั้นตอนเดียวโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีความยุ่งยากหรืออุปกรณ์ที่มีราคาแพง [29] และใช้ตัวทำละลายคือน้ำซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม [8] ซึ่งวิธีนี้จะเตรียมโดยการละลายสารตั้งต้นซึ่งมักเป็นเกลือที่มีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี เช่น สารประกอบเกลือคลอไรด์ หรือสารประกอบเกลือไนเตรต เป็นต้น ละลายใน

น้ำเตรียมเป็นสารละลายเริ่มต้นก่อน โดยอาจมีการปรับความเป็นกรดต่างหรือเติมตัวทำให้ตกตะกอน (precipitant) เพื่อให้เกิดตะกอนของสารตั้งต้นเกิดขึ้น จากนั้นจึงนำไปใส่ในภาชนะที่ปิดอย่างมิดชิด มักใช้เป็นภาชนะเทฟลอน (Teflon-lined autoclave) และใส่ลงในภาชนะสแตนเลส (stainless steel) ที่หีบอึกขึ้นและขันปิดแน่นอย่างมิดชิด แล้วจึงนำไปใส่ในเตาเพื่อให้ความร้อน โดยลักษณะการปิดอย่างมิดชิดนี้ทำให้ภายในเกิดเป็นระบบปิดเมื่อมีการให้อุณหภูมิระบบภายในจะเกิดความดันไอของน้ำมากขึ้นช่วยให้ระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังพิจารณาด้วยสมการของพลังงานเสรีกิ๊บส์ (Gibbs free energy) ดังแสดงในสมการที่ 2.2 หากกำหนดให้พลังงานเสรีกิ๊บส์มีค่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลกับการสังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนที่ความดันบรรยากาศปกติ จะสามารถแปลงสมการที่ 2.2 ให้อยู่ในรูปของความดันและอุณหภูมิได้ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพื่อให้ระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกันหรือก็คือมีค่าพลังงานเสรีกิ๊บส์ที่เท่ากันแล้ว เมื่อสังเคราะห์สารด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลซึ่งมีความดัน (P_h) ที่สูงกว่าการสังเคราะห์ที่ความดันบรรยากาศปกติ (P_p) อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล (T_h) จะมีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนที่ความดันปกติ (T_p) เสมอ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลได้รับความนิยมเนื่องจากทำให้สามารถเตรียมการสังเคราะห์สารที่อุณหภูมิต่ำได้

$$\Delta G = RT \ln(P) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่	ΔG	คือ พลังงานเสรีกิ๊บส์
	R	คือ ค่าคงที่ของแก๊ส
	T	คือ อุณหภูมิ
	P	คือ ความดัน

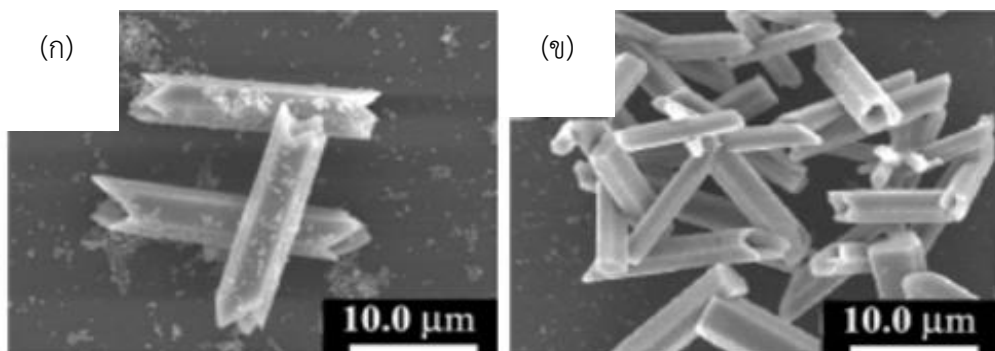
$$\ln\left(\frac{P_p}{P_h}\right) = T_h - T_p \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

โดยที่	P_h	คือ ความดันที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล
	P_p	คือ ความดันที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่ความดันบรรยากาศปกติ
	T_h	คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล
	T_p	คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่ความดันบรรยากาศปกติ

โดยลักษณะการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการสังเคราะห์เป็นปฏิกิริยาไอออนิก (ionic reaction) คือในระบบจะมีไอออนต่างๆกระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมไอออนจึงเกิดการเคลื่อนที่และเกาะตัวกันเกิดเป็นสารประกอบขึ้นในระบบ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ได้แก่

1. อุณหภูมิ

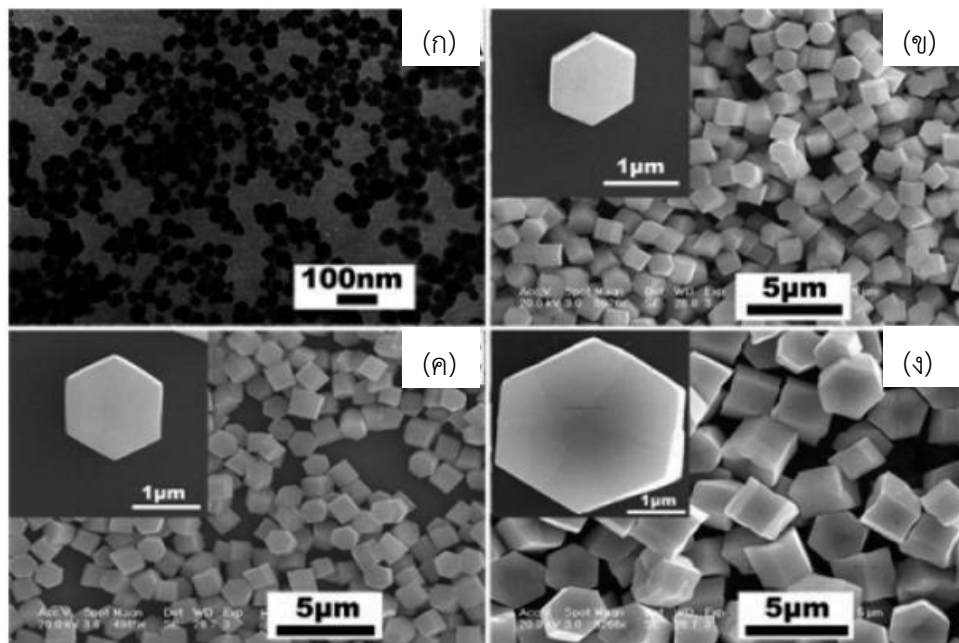
โดยในสารละลายที่ประกอบไปด้วยไอออนต่างๆกระจายตัวอยู่นั้น หากระบบได้รับความร้อนที่ไม่เพียงพอ หรืออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมก็อาจไม่สามารถทำให้เกิดสารประกอบที่ต้องการได้ และส่งผลต่อการเกิดนิวเคลียสของสาร (nucleation) คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำเกิดการกลายเป็นไอ จนเมื่ออุณหภูมิสูงพอจนทำให้มีความเข้มข้นถึงค่าวิกฤต ไอออนจะเกิดการเกาะตัวรวมกันเกิดเป็นนิวเคลียสเพื่อรอการเติบโตต่อไปเป็นผลึกและอนุภาคลักษณะต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 140 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) และ (ข) [30] ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส อนุภาคมีลักษณะเป็นแท่งของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลและมีอนุภาคทรงกลมเล็กๆของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกกระจายอยู่ที่ผิว แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสไม่สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนได้ ในขณะที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนได้



รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ก) 140 (ข) 220 องศาเซลเซียส [30]

2. เวลา

เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อการเติบโตของลิกและอนุภาค (growth) เมื่อมีนิวเคลียสเกิดขึ้นในระบบแล้ว เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นจะทำให้นิวเคลียสเกิดการสะสมของไอออนมากขึ้น และเกิดการเติบโตของผลึกมากยิ่งขึ้น ดังแสดงตัวอย่างอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาที่มากขึ้นจาก 0.5 1 7 และ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นขนาดที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคอย่างชัดเจน [31]

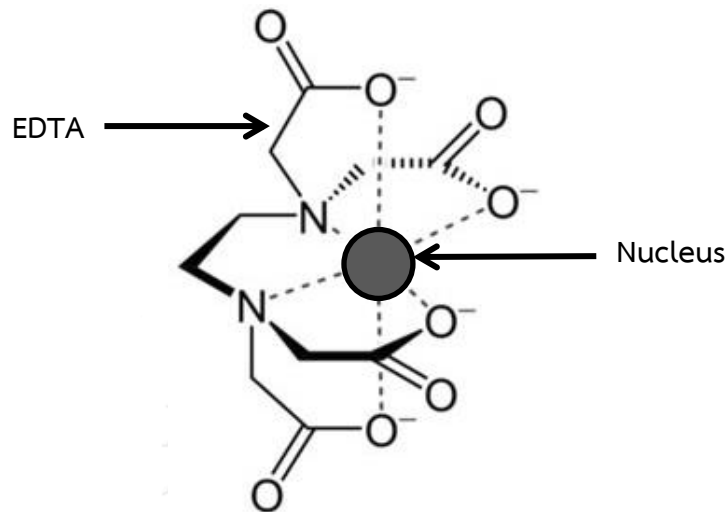


รูปที่ 2.12 ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (ก) 0.5 (ข) 1 (ค) 7 (ง) 24 ชั่วโมง [31]

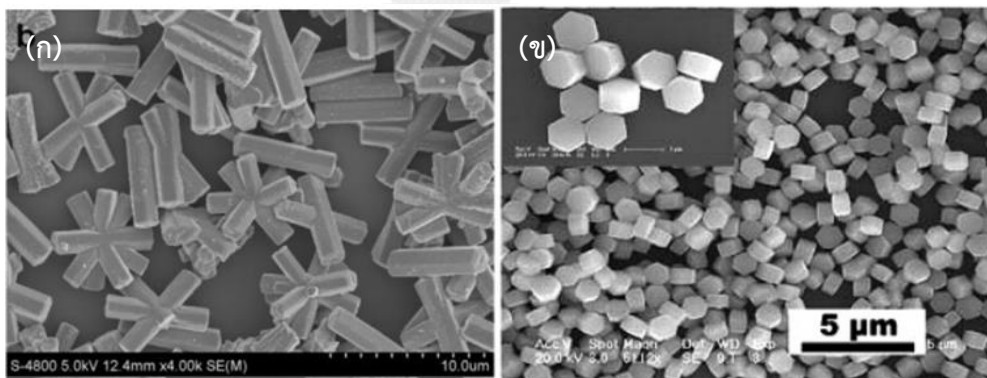
3. สารช่วยกระจายตัว (dispersant) หรือสารคีเลต (chelating agent)

สารช่วยกระจายตัวหรือสารคีเลตจะมีผลต่อรูปร่างและลักษณะของการเติบโตของผลึกโดยตรง เนื่องจากโดยส่วนมากสารเหล่านี้มักเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่หรือเป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ที่ต่อกันเป็นสายยาวและมีปลายที่เป็นไอออนชนิดต่างๆ โมเลกุลเหล่านี้จะไปล้อมรอบนิวเคลียสที่เกิดขึ้นในระบบและเกิดการยับยั้งการเติบโตของผลึกในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังแสดงแบบจำลองการล้อมรอบนิวเคลียสของโมเลกุลของกรดเอทิลีนไอเดมีนเททราอะซิติกในรูปที่ 2.13 [32] จึงเกิดการเติบโตเป็นผลึกที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่

สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ที่ใช้สารช่วยกระจายตัวเป็นกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติก อนุภาคจะมีรูปร่างเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งที่มีความยาวมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ก) [4] ในขณะที่ถ้าใช้โซเดียมซิเตรต อนุภาคจะมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่มีความยาวน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ข) [31]



รูปที่ 2.13 แบบจำลองการล้อมรอบนิวเคลียสของโมเลกุลกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติก [32]



รูปที่ 2.14 ผลของสารช่วยกระจายตัวต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้ปริมาณสารช่วยกระจายตัว 2 มิลลิโมล

(ก) กรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติก [4] (ข) โซเดียมซิเตรต [31]

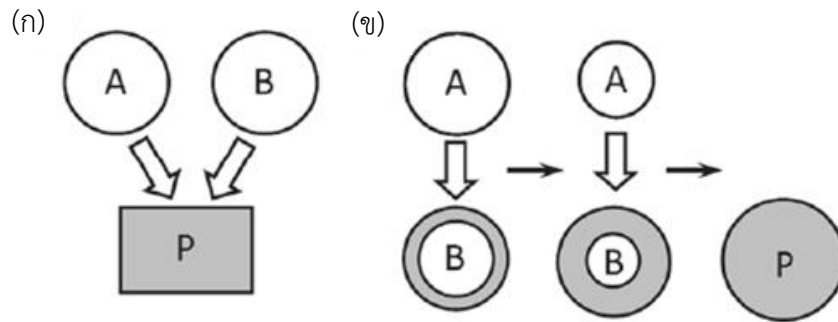
ปัจจัยที่กล่าวถึงข้างต้นเป็นเพียงปัจจัยหลักที่งานวิจัยนี้มีความสนใจ แต่นอกเหนือจากปัจจัยเหล่านี้ยังมีปัจจัยอื่นๆในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่ส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของวัสดุที่สังเคราะห์ เช่น การใช้สารตั้งต้นที่ให้ไอออนต่างๆในรูปสารประกอบหรือเกลือที่แตกต่างกัน ค่าความเป็นกรดเบสในการเตรียม เป็นต้น

2.3.2 การสังเคราะห์วัสดุแปลงแสงอวกอนเวร์ชันด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

วิธีเกลือหลอมละลายเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายใช้อุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อน สามารถสังเคราะห์ได้ที่ละจำนวนมาก และไม่เป็พิษต่อสิ่งแวดล้อม [27, 33, 34] รวมไปถึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่พบว่าวิธีเกลือหลอมละลายนั้นสามารถสังเคราะห์วัสดุที่มีความเป็นผลึกสูงได้อีกด้วย [35] นอกจากนี้เกลือยังได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารเติมแต่ง (additive) ในการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือช่วยลดอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่สารประกอบในระบบมีสถานะเป็นของแข็ง (solid state) มาเป็นระยะเวลาาน แต่จะใช้เกลือในปริมาณน้อย ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายนั้นจะใช้เกลือในปริมาณมาก โดยส่วนประกอบหลักของการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ และสารประกอบเกลือเพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลาย ซึ่งขั้นตอนในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน [36] คือ

2.3.2.1 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา (reaction stage)

เมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมตัว (melting temperature) ของระบบเกลือแล้ว ทำให้เกลือที่หลอมละลายนั้นทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (solvent) ของระบบ จากนั้นสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์จึงเกิดการทำปฏิกิริยากัน ซึ่งสามารถเกิดได้ 2 รูปแบบ คือ สารตั้งต้นทั้งหมด (A, B) ละลายเข้าไปในระบบเกลือและเกิดการตกตะกอนออกมา (solution-precipitation process) ได้สารที่ต้องการ (P) และในอีกรูปแบบหนึ่งคือการที่สารตั้งต้นหนึ่ง (A) เกิดการแพร่เข้าไปในอีกสารตั้งต้นหนึ่ง (B) ทำให้สารที่ต้องการ (P) จะเกิดที่บริเวณผิวก่อนแล้วจึงเกิดไล่เข้าไปยังเนื้อของสารตั้งต้นด้านในจนหมด (solution-diffusion process) ซึ่งการเกิดในแบบที่สองนี้สารที่สังเคราะห์ได้จะมีสัณฐานวิทยาที่เหมือนกับสารตั้งต้น (B) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นในระบบเกลือหลอมละลาย

(ก) ละลายเข้าไปในระบบเกลือและเกิดการตกตะกอนออกมา (ข) สารตั้งต้นหนึ่งเกิดการแพร่เข้าไปในอีกสารตั้งต้นหนึ่ง [36]

2.3.2.2 ขั้นตอนการเติบโตของอนุภาค (particle-growth stage)

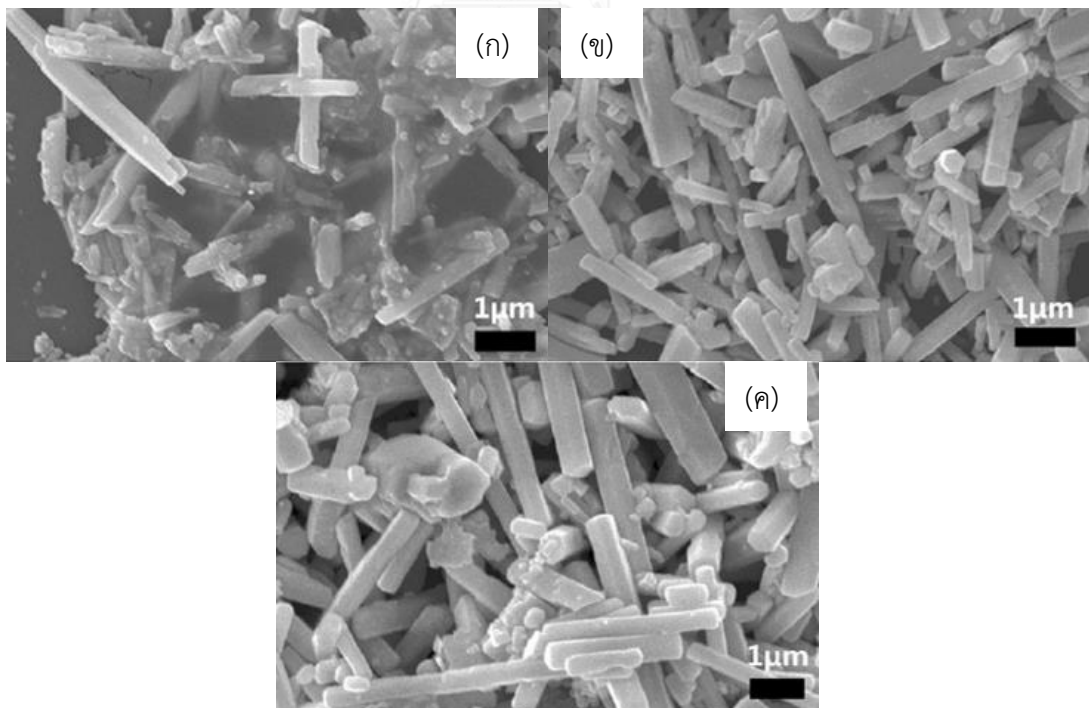
เมื่อมีการเกิดนิวเคลียสของสารเริ่มต้นขึ้นแล้ว ความเข้มข้นของไอออนของสารตั้งต้นในระบบเกลือจะลดต่ำลง อุณหภูมิที่ให้อาจทำให้เกิดการเติบโตของอนุภาคอาจเป็นการเพิ่มขนาดของอนุภาคให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเกิดการแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดการเติบโตของอนุภาคนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) และความสามารถในการละลาย (solubility) ของสารตั้งต้น และโครงสร้างผลึกที่ผิวของอนุภาคที่เกิดขึ้น

เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล การสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายนั้น อนุภาคหรือวัสดุที่สังเคราะห์ในสภาวะที่แตกต่างกันจะมีสมบัติและสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ได้แก่

1. อุณหภูมิ

ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายนั้น การใช้อุณหภูมิที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลเพียงแค่การเกิดนิวเคลียสของสารหรือการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อย้อนไปถึงทั้งการละลายของระบบเกลือ และสารตั้งต้น ซึ่งมีผลต่อการเกิดนิวเคลียส การเกิดปฏิกิริยา และการเติบโตของผลึกและอนุภาคด้วยเช่นกัน หากระบบได้รับความร้อนที่ไม่เพียงพอ หรืออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมก็อาจไม่สามารถทำให้เกิดสารประกอบที่ต้องการได้ และส่งผลต่อการเกิดนิวเคลียสของสารและการเติบโตของผลึก คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ภายในระบบเกลือที่หลอมละลาย ไอออนจะเกิดการเกาะตัวรวมกันเกิดเป็นนิวเคลียสเพื่อรอการเติบโตต่อไปเป็นผลึกและอนุภาคลักษณะต่างๆ หรือเกิด

การแพร่ของสารตั้งต้นหนึ่งเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับอีกสารตั้งต้นหนึ่งได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงตัวอย่างอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายโดยใช้ระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต ($\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$) โดยมีสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารคือสารประกอบไนเตรตของธาตุหายาก (ReNO_3) และโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ก) (ข) และ (ค) [34] ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อนุภาคมีลักษณะเป็นแท่งของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลและมีอนุภาคทรงกลมเล็กๆของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกกระจายอยู่ผิว แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสไม่สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนได้ ในขณะที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนได้ และอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสโดยรวมจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเล็กน้อย

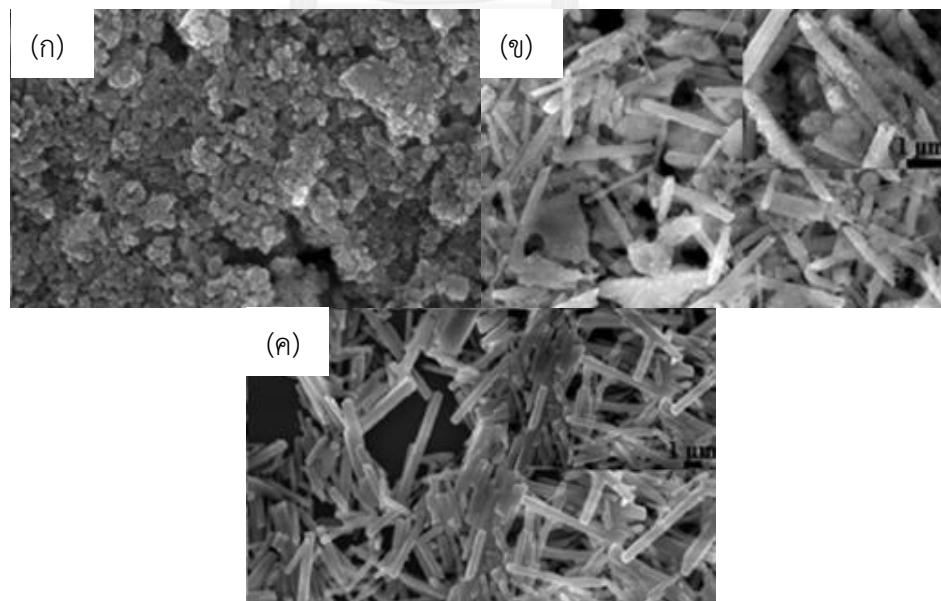


รูปที่ 2.16 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ก) 300 (ข) 400 (ค) 500 องศาเซลเซียส [34]

2. เวลา

เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อการเติบโตของลิกและอนุภาค และการแพร่เพื่อเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ที่อุณหภูมิเดียวกันหากให้ความร้อนในระยะเวลาที่สั้นกว่าอาจส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ไม่สมบูรณ์ นั่นคือจะส่งผลต่อการเกิดนิวเคลียส การเกิดปฏิกิริยา และการเติบโตของลิกและอนุภาคด้วยเช่นกัน ดังแสดงตัวอย่าง อนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย โดยใช้ระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต ($\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$) โดยมีสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารคือ สารประกอบไนเตรตของธาตุหายาก (RENO_3) และโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาที่มากขึ้นจาก 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง ตามรูปที่ 2.17 (ก) (ข) และ (ค) [35] ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง อนุภาคมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมเล็กๆเกาะกลุ่มกันของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิก แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมงไม่สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลได้ และเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลได้ และจะได้โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน เมื่อใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

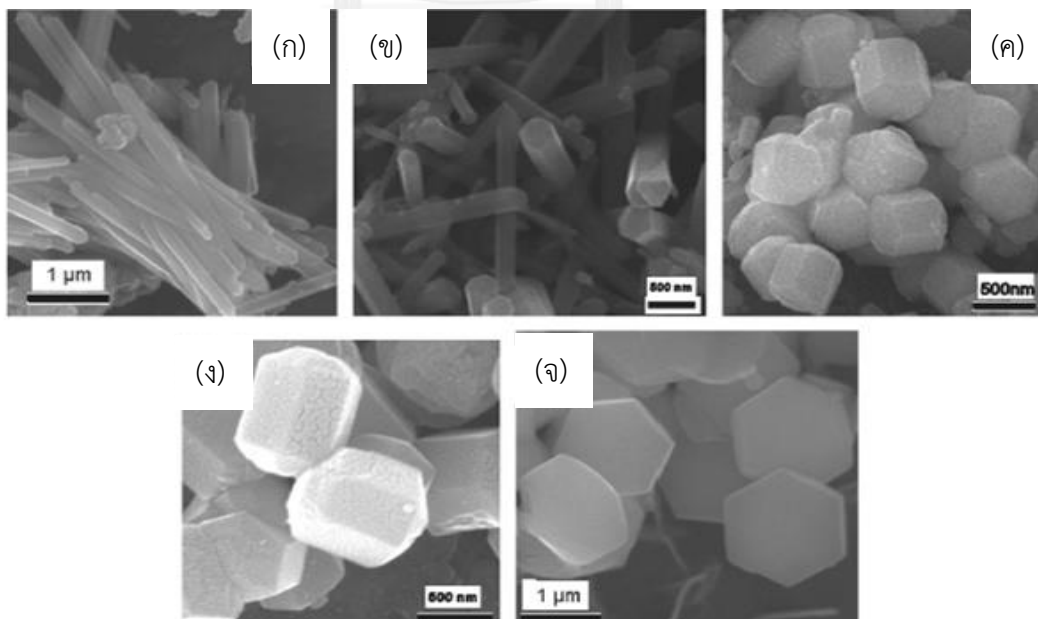


รูปที่ 2.17 ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่

อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (ก) 0.5 (ข) 1 (ค) 2 ชั่วโมง [35]

3. สารตั้งต้น

สารตั้งต้นจะมีผลต่อรูปร่างและลักษณะของการเติบโตของผลึกโดยตรง เนื่องจากในระบบเกลือหลอมละลายนั้น จะประกอบไปด้วยไอออนชนิดต่างๆกระจายอยู่ภายในระบบ สารตั้งต้นที่แตกต่างกันทั้งในด้านของชนิดและปริมาณนั้น จะส่งผลให้มีความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งไอออนเหล่านั้นอาจเกิดการยับยั้งการเติบโตของผลึกในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และทำให้เกิดการเติบโตของผลึกในทิศทางจำเพาะ ดังแสดงตัวอย่างอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย โดยใช้ระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและแอมโมเนียมไนเตรต ($\text{NaNO}_3\text{-NH}_4\text{NO}_3$) โดยมีสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารคือ สารประกอบไนเตรตของธาตุหายาก (RENO_3) และแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 4 มิลลิโมล ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) อนุภาคที่ได้เป็นอนุภาคแท่งของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลและเมื่อเพิ่มปริมาณของแอมโมเนียมฟลูออไรด์มากขึ้นเป็น 4.5 6 8 และ 12 มิลลิโมล ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข) (ค) (ง) และ (จ) ตามลำดับ อนุภาคโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลจะมีความยาวที่สั้นลง ซึ่งในที่นี้แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียมฟลูออไรด์มีผลในการยับยั้งการเติบโตของผลึกของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลในหน้าผลึก (0001) หรือทำให้ผลึกที่ได้มีความยาวตามแนวแกน c ที่สั้นลงนั่นเอง



รูปที่ 2.18 ผลของสารตั้งต้นต่อการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย โดยมีสารตั้งต้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ก) 4 (ข) 4.5 (ค) 6 (ง) 8 และ (จ) 12 มิลลิโมล [27]

4. ระบบเกลือ

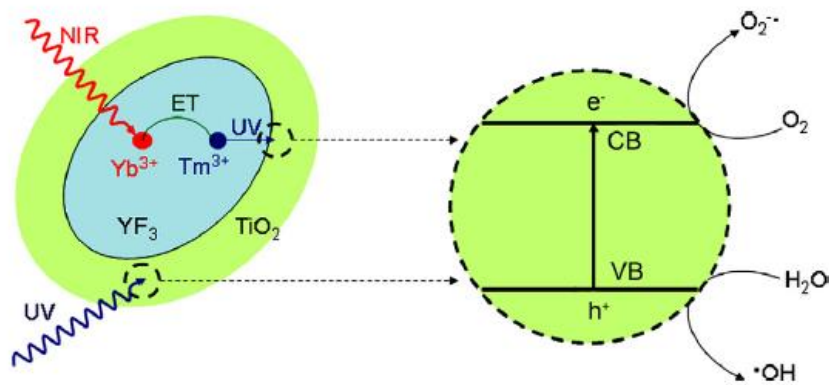
เกลือที่นิยมนำมาใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น เกลือคลอไรด์ เกลือไนเตรต และเกลือซัลเฟต เป็นต้น ในการนำเกลือเหล่านี้มาใช้มักเป็นการนำมาผสมกัน 2 หรือ 3 ชนิด เพื่อให้ได้เป็นส่วนผสมยูเทคติก (eutectic) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมตัวที่ต่ำลง เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่มีอุณหภูมิหลอมตัวที่ 801 และ 770 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนโมล 1 ต่อ 1 จะมีอุณหภูมิหลอมตัวลดลงอยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส เป็นต้น ในการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายนั้นเมื่อใช้ระบบเกลือโซเดียมคลอไรด์และโพแทสเซียมคลอไรด์ จะใช้อุณหภูมิสังเคราะห์อยู่ที่ 800 องศาเซลเซียส [33] ซึ่งถือว่ายังใช้อุณหภูมิที่สูงอยู่ในขณะที่เมื่อใช้ระบบเกลือโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) และโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) ซึ่งอุณหภูมิหลอมตัวที่ 308 และ 334 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนโมล 2 ต่อ 1 จะมีอุณหภูมิหลอมตัวลดลงอยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส จะใช้อุณหภูมิสังเคราะห์อยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า [12, 34] รวมไปถึงเมื่อใช้ระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและแอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) ซึ่งอุณหภูมิหลอมตัวที่ 308 และ 169.6 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนโมล 21 ต่อ 79 จะมีอุณหภูมิหลอมตัวลดลงอยู่ที่ 120 องศาเซลเซียส จะใช้อุณหภูมิสังเคราะห์อยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส [27] ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับระบบเกลือในงานวิจัยอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามระบบเกลือที่มีการใช้แอมโมเนียมไนเตรตจะต้องมีการปิดภาชนะในการเผาอย่างมิดชิด เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนจะเกิดการสลายตัวให้แอมโมเนียแก๊สออกมา ซึ่งหากภาชนะปิดไม่มิดชิดแล้วจะทำให้ระบบเกลือเกิดความไม่สมดุลเนื่องจากการระเหยออกของแอมโมเนียแก๊สและทำให้สารตั้งต้นไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบเกลือเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตได้รับความนิยมมากที่สุดเพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

2.4 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน

2.4.1 การประยุกต์ด้านการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

ปัจจุบันวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันนิยมนำไปใช้ในการทำโซลาร์เซลล์ [9] และในทางชีวภาพในการเป็นไบโอเลเบล [10] เนื่องจากมีสมบัติในการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ที่ดี และมีความเป็นพิษ (cytotoxicity) ที่ต่ำ [37-39] นอกจากนี้จากสมบัติของวัสดุอพัคคอนเวอร์ชันที่

สามารถดูดซับแสงในช่วงแสงอินฟราเรดและเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ทำให้มีการนำไปเตรียมเป็นวัสดุประกอบหรือเจือในวัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ [3, 4, 12, 40, 41] เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีพลังงานแบนด์แกปอยู่ในช่วง 3.0 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งสามารถดูดซับแสงได้ในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร [2] จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงได้เพียงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตเท่านั้น ซึ่งในแสงอาทิตย์มีแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงร้อยละ 5 [3, 4] ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่ภายนอกสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต จากแสงอาทิตย์โดยตรงเพื่อเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ ในขณะที่แสงอินฟราเรดที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่ดูดกลืนไปจะผ่านชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปกระตุ้นวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชันอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมให้เกิดการเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตให้แก่ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงต่อไปได้อีก [7] ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้น



รูปที่ 2.19 แบบจำลองกลไกการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุเปล่งแสงอัฟคอนเวอร์ชันอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่ทำเป็นวัสดุเชิงประกอบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ [7]

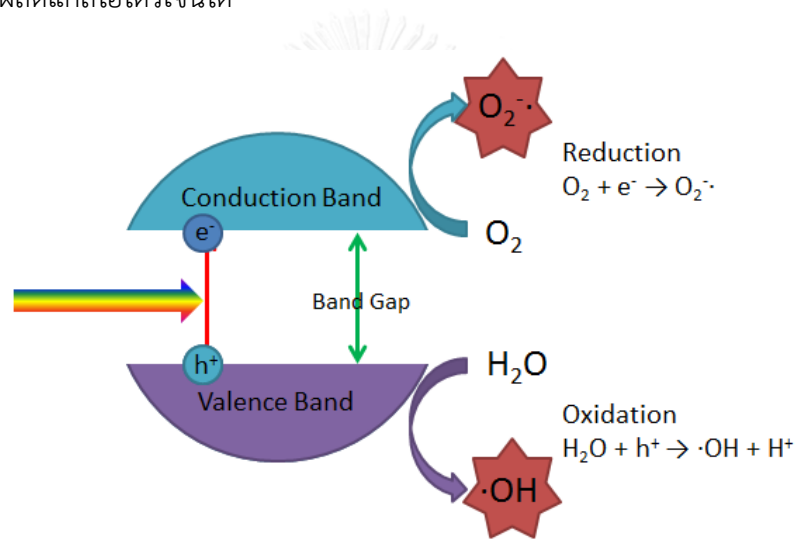
2.4.2 การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการกระตุ้นด้วยแสงหรือมีการดูดซับพลังงานแสงที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานแบนด์แกป จากนั้นสารเร่งปฏิกิริยาจะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้น (activation energy) ของการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น โดยส่วนประกอบของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ วัสดุเร่งปฏิกิริยา พลังงานแสง ออกซิเจน หรือตัวออกซิแดนท์ (Oxidants) อื่นๆ และน้ำ เมื่อวัสดุเร่งปฏิกิริยาดูดกลืนแสง ($h\nu$) ที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานแบนด์แกป ซึ่งจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้าทำให้เกิดคู่

อิเล็กตรอนโฮล ($h^+ + e^-$) ได้ดังแสดงตัวอย่างโดยให้วัสดุเร่งปฏิกิริยา คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในสมการที่ 2.4 [42]



ซึ่งอิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) กับออกซิเจนและเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล (superoxide radical, O_2^-) ในขณะที่โฮลจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำและเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, $\cdot OH$) [1, 2] ดังแสดงในแบบจำลองในรูปที่ 2.20 ซึ่งเรดิคัลอิสระเหล่านี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้จึงสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้



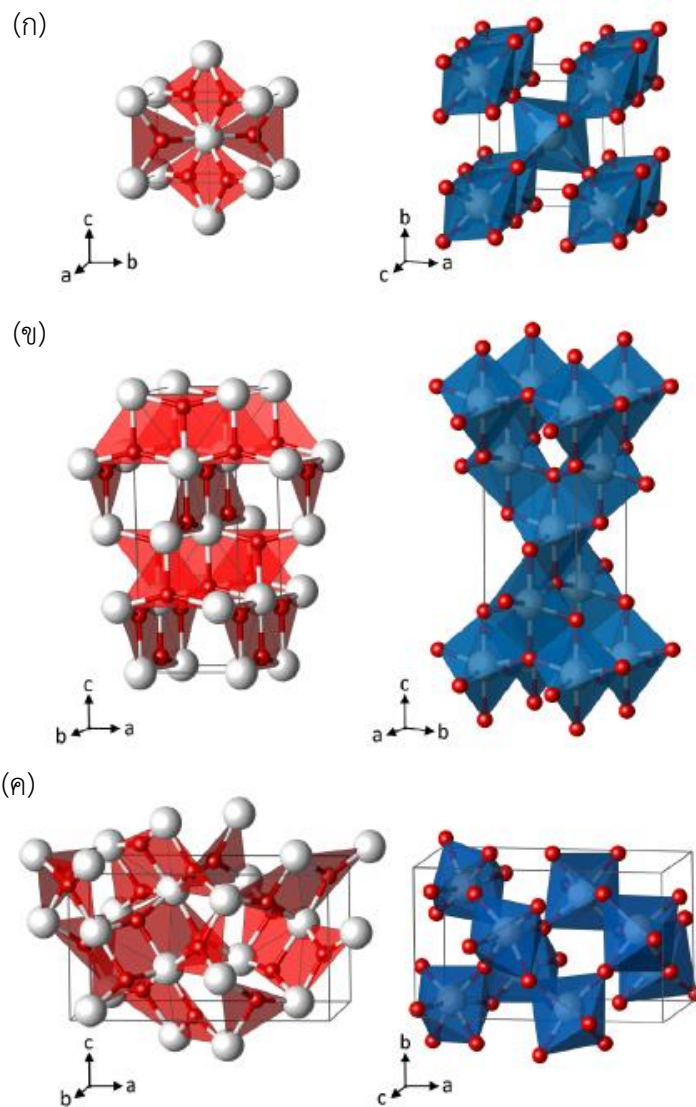
รูปที่ 2.20 แบบจำลองการเกิดการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง [1, 2]

โดยวัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาได้สูง มีความเสถียรทั้งเชิงกายภาพและเชิงเคมีสูง รวมไปถึงไม่มีความเป็นพิษ และมีราคาถูกอีกด้วย

2.4.3 ไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึก 3 รูปแบบ คือ รูไทล์ (rutile) ที่มีโครงสร้างออร์โธโรมบิก (orthorhombic) และอนาเทส (anatase) และบรูคไคท์ (brookite) ที่มีโครงสร้างเทตระโกนอล (tetragonal) ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก) (ข) และ (ค) [43] ตามลำดับ โครงสร้างอนาเทส รูไทล์ และบรูคไคท์ จะอยู่ในรูป TiO_6 ซึ่งเป็นปิระมิดฐานคู่สี่เหลี่ยมหรือออกตะฮีดรอล (octahedral) โครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันเนื่องจากการบิดตัว และการเรียงตัวของออกตะฮีดรอลที่แตกต่าง

กัน โดยรูไทล์เกิดมาจากการเรียงโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลต่อกัน ในขณะที่อนาเทสเกิดจากการเรียงโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอลต่อกัน และบลูคไคท์เกิดมาจากการเรียงตัวโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลมาต่อกัน



รูปที่ 2.21 แบบจำลองโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบโครงสร้างต่างๆ

(ก) รูไทล์ (ข) อนาเทส (ค) บลูคไคท์ [43]

โครงสร้างผลึกที่ต่างกันของทั้ง 3 รูปแบบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ส่งผลให้มีสมบัติของแต่ละโครงสร้างผลึกที่ต่างกันและทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นและค่าพลังงานแบนด์แกพ โดยค่าความหนาแน่นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ อนาเทส

และบรูคโคท มีค่าเท่ากับ 4.250 3.894 และ 4.123 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ และมีพลังงานแบนด์แกพของแต่ละโครงสร้างเท่ากับ 3.02 3.23 และ 3.78 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ จึงทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และบรูคโคท เนื่องจากโครงสร้างผลึกของรูไทล์ที่มีความหนาแน่นมากทำให้เกิดการรวมตัวใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล (recombination) ได้ง่ายกว่าโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ส่วนโครงสร้างแบบบรูคโคทไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการศึกษามากนัก เนื่องจากการเตรียมโครงสร้างผลึกแบบบรูคโคทให้บริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสในการนำมาเป็นวัสดุเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงมากกว่าโครงสร้างในแบบอื่นๆ

จากการศึกษาข้อมูลในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาวัสดุเปล่งแสงอำพคอนเวออร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง โดยเน้นศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลายต่อสัณฐานวิทยา ความเป็นผลึก และความสามารถในการเปล่งแสงด้วยกลไกการเกิดอำพคอนเวออร์ชันของวัสดุ รวมไปถึงนำวัสดุเปล่งแสงอำพคอนเวออร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่เตรียมได้ไปทำเป็นวัสดุคอมโพสิตกับไททาเนียมไดออกไซด์และทดสอบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมได้ภายใต้แสงอาทิตย์

บทที่ 3

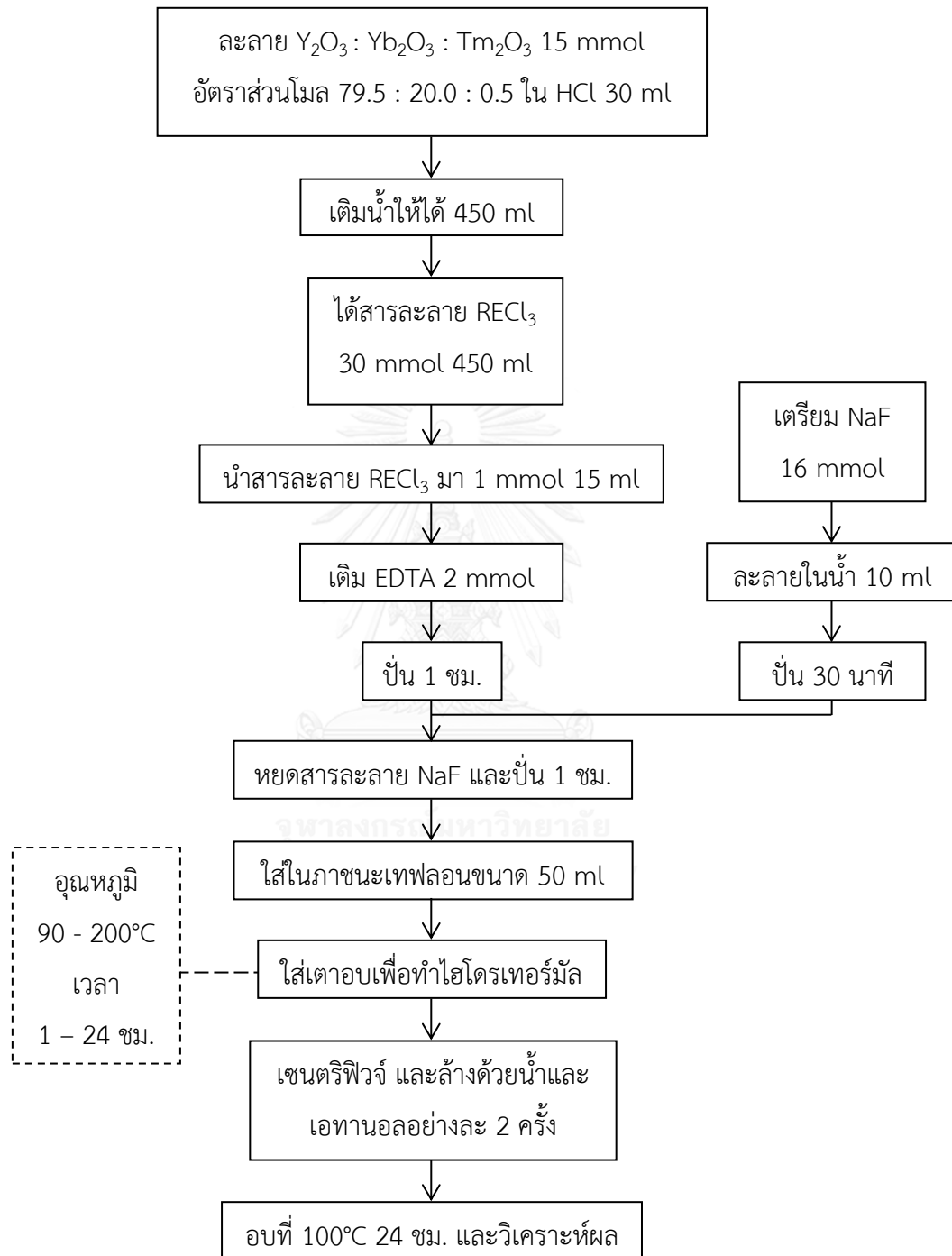
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

3.1.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

เตรียมสารละลายคลอไรด์ของธาตุหายาก (Rare Earth Chloride, $RECl_3$, RE คือ Y^{3+} Yb^{3+} และ Tm^{3+}) โดยการละลายอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide, Y_2O_3 , REacton, 99.9%) อิตเทอร์เบียมออกไซด์ (ytterbium oxide, Yb_2O_3 , SIGMA-ALDRISH, 99.9%) และทูลีียมออกไซด์ (thulium oxide, Tm_2O_3 , SIGMA-ALDRISH, 99.9%) ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่ออิตเทอร์เบียมต่อทูลีียมเท่ากับ 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ปริมาณรวม 15 มิลลิโมล ในกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl, QReC, 37%) 30 มิลลิลิตร เมื่อละลายผงออกไซด์จนเป็นสารละลายใสแล้ว เติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลายปริมาตร 450 มิลลิลิตร จะได้สารละลายคลอไรด์ของธาตุหายาก ความเข้มข้น 30 มิลลิโมล 450 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายคลอไรด์ของธาตุหายากมา 1 มิลลิโมล 15 มิลลิลิตร เติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซิติก (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA, AJAX, 99.0%) ปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว และกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ละลายโซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride, NaF, CARLO ERBA, 99%) โดยใช้อัตราส่วนโมลธาตุหายากต่อฟลูออไรด์เท่ากับ 1 ต่อ 16 ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร โดยกวนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที แล้วหยดลงในสารละลายที่เติมสารช่วยกระจายตัวแล้วในข้างต้นและกวนต่ออีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่เตรียมได้ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายขุ่น (milky solution) ใส่ในภาชนะเทพลอน ขนาด 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปทำไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงในเตา จากนั้นนำสารที่ได้ไปเซนทริฟิวจ์ (centrifuge) เพื่อแยกตะกอนสารออกจากสารละลาย และล้างด้วยเอทานอล (ethanol, C_2H_5OH , CARLO ERBA, 95%) 2 ครั้ง และน้ำกลั่นอุ่น 2 ครั้ง สุดท้ายนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์

วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา

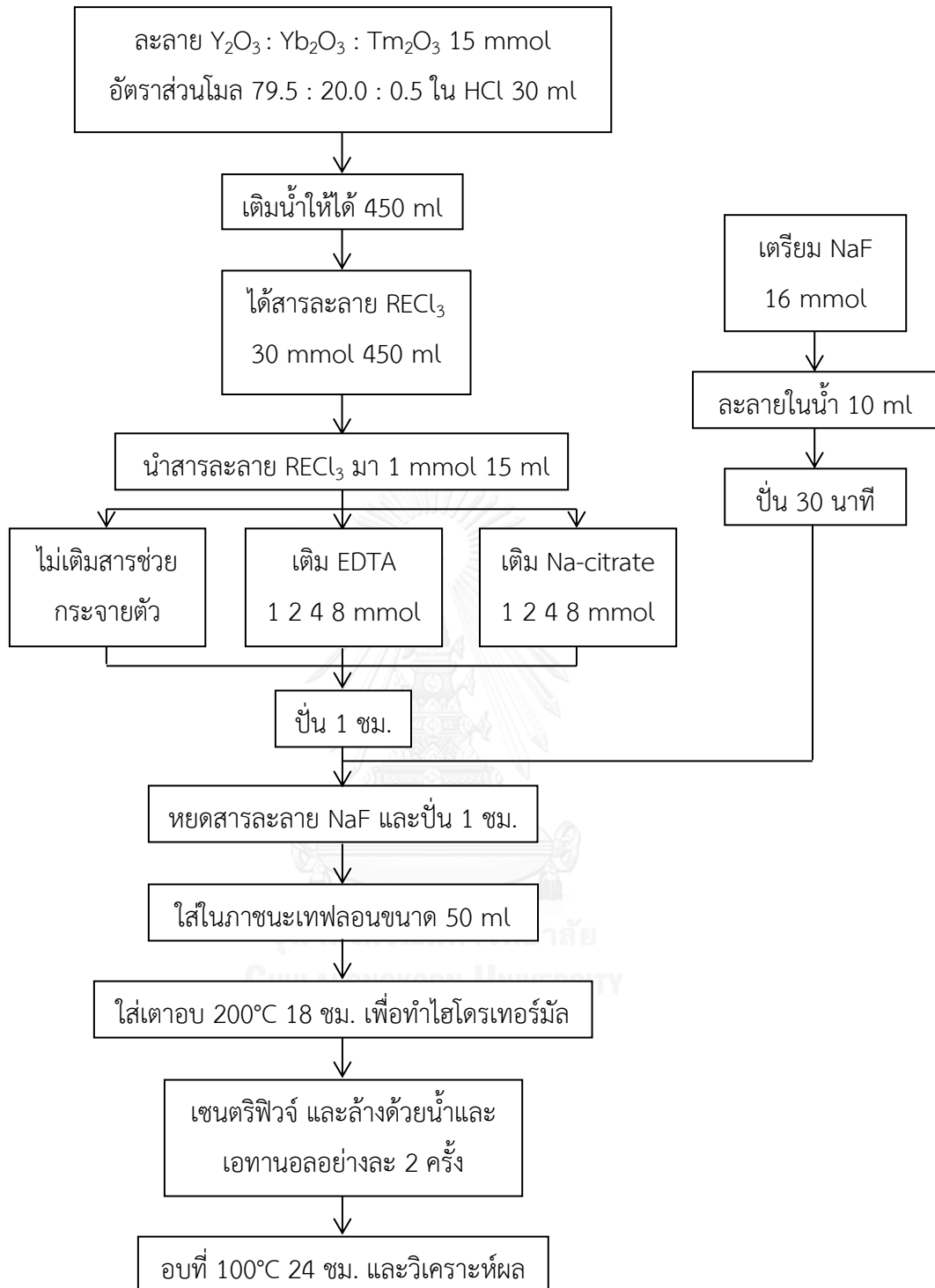
ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

3.1.2 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและ ทูลีเยมเพื่อศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

เตรียมสารละลายคลอไรด์ของธาตุหายาก โดยการละลายอิตเทรียมออกไซด์ อิตเทอร์เบียมออกไซด์ และทูลีเยมออกไซด์ ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่ออิตเทอร์เบียมต่อทูลีเยมเท่ากับ 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ปริมาณ 15 มิลลิโมล ในกรดไฮโดรคลอริก 30 มิลลิลิตร เมื่อละลายผงออกไซด์จนเป็นสารละลายใสแล้ว เติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลายปริมาตร 450 มิลลิลิตร จะได้สารละลายคลอไรด์ของธาตุหายากความเข้มข้น 30 มิลลิโมล 450 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายคลอไรด์ของธาตุหายากที่เตรียมไว้มา 1 มิลลิโมลคือ 15 มิลลิลิตร แบ่งการเติมสารช่วยกระจายตัวออกเป็นสามกลุ่ม คือ

1. ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว
2. มีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล
3. มีโซเดียมซิเตรต (sodium citrate, $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, AJAX, 99.0%) เป็นสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล

เติมสารช่วยกระจายตัวลงในสารละลายคลอไรด์ของธาตุหายากข้างต้น และกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ละลายโซเดียมฟลูออไรด์ โดยใช้อัตราส่วนโมลธาตุหายากต่อฟลูออไรด์เป็น 1 ต่อ 16 ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร โดยกวนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที แล้วหยดลงในสารละลายที่เติมสารช่วยกระจายตัวแล้วในข้างต้นและกวนต่ออีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่เตรียมได้ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายขุ่นใสในภาชนะเทฟลอนขนาด 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปทำไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงในเตา จากนั้นนำสารที่ได้ไปเซนทริฟิวจ์เพื่อแยกตะกอนสารออกจากสารละลาย และล้างด้วยเอทานอล 2 ครั้ง และน้ำกลั่นอุ่น 2 ครั้ง สุดท้ายนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและทูลีเยมเพื่อศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมเพื่อศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัว

ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮดรเทอร์มัล

3.2 สังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและ ทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

3.2.1 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและ ทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

เตรียมสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม (rare earth nitrate, $\text{RE}(\text{NO}_3)_3$) โดยการละลายอิตเทรียมออกไซด์ อิตเทอร์เบียมออกไซด์ และทูลีียมออกไซด์ ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่ออิตเทอร์เบียมต่อทูลีียมเท่ากับ 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ในกรดไนตริก (nitric acid, HNO_3 , CARLO ERBA, 69.5%) จนได้เป็นสารละลายใส และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งกลายเป็นผงสีขาว สารที่ได้จากการเตรียมเป็นสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ($\text{Re}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบเบื้องต้นพบว่าสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่เตรียมได้ประกอบไปด้วยเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำ 1 โมเลกุล (yttrium nitrate hydrate, $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-032-1438) 3 โมเลกุล ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-032-1440) และ 6 โมเลกุล ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-001-0080) โดยไม่ทราบสัดส่วนที่แน่นอน จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณหาจำนวนโมลของธาตุหายากที่แน่นอนได้ ดังนั้นจึงทำการหาน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่เตรียมได้ โดยนำผงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ให้ได้สารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสม (Re_2O_3) เพื่อหาน้ำหนักที่หายไปดังสมการที่ 3.1

$$W_l \% = \frac{|W_d - W_f|}{W_d} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดยที่ W_l % คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการเผา

W_d คือ น้ำหนักของสารประกอบไนเตรตของธาตุหายากผสมก่อนเผา (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักของสารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสมหลังเผา (กรัม)

เมื่อกำหนดหาน้ำหนักที่ไปจากสมการที่ 3.1 ได้แล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่ต้องใช้จริง ตัวอย่างเช่นใน

การเตรียมสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสแล้ว สามารถหาร้อยละน้ำหนักที่หายไปได้ 67.56 หากเราต้องการธาตุหายากผสม 1 มิลลิโมล จะต้องใช้สารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสม 0.5 มิลลิโมล เนื่องจากในสารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสม 1 โมเลกุล จะมีไอออนของธาตุหายากอยู่ 2 อะตอม โดยกำหนดให้สารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสมซึ่งประกอบไปด้วยอิตเทรียม ไอออนร้อยละ 79.5 อิตเทอร์เบียมไอออนร้อยละ 20.0 และทูลีียมไอออนร้อยละ 0.5 ($(Y_{79.5}Yb_{20.0}Tm_{0.5})_2O_3$) 0.5 มิลลิโมล มีน้ำหนักโมเลกุล 0.1301 กรัม (อิตเทรียมไอออนมีน้ำหนัก 88.91 กรัม อิตเทอร์เบียมไอออนมีน้ำหนัก 173.0 กรัม ทูลีียมไอออนมีน้ำหนัก 168.9 กรัม และออกซิเจนไอออนมีน้ำหนัก 16.0 กรัม) นำน้ำหนักที่หายไป และน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสมที่ต้องการ ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่ต้องใช้ดังสมการที่ 3.2

$$W_{Re(NO_3)_3 \cdot xH_2O} = \frac{W_{Re_2O_3}}{100 - W_1} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

โดยที่ $W_{Re(NO_3)_3 \cdot xH_2O}$ คือ น้ำหนักของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (กรัม)

$W_{Re_2O_3}$ คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการเผา (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของสารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสม (กรัม)

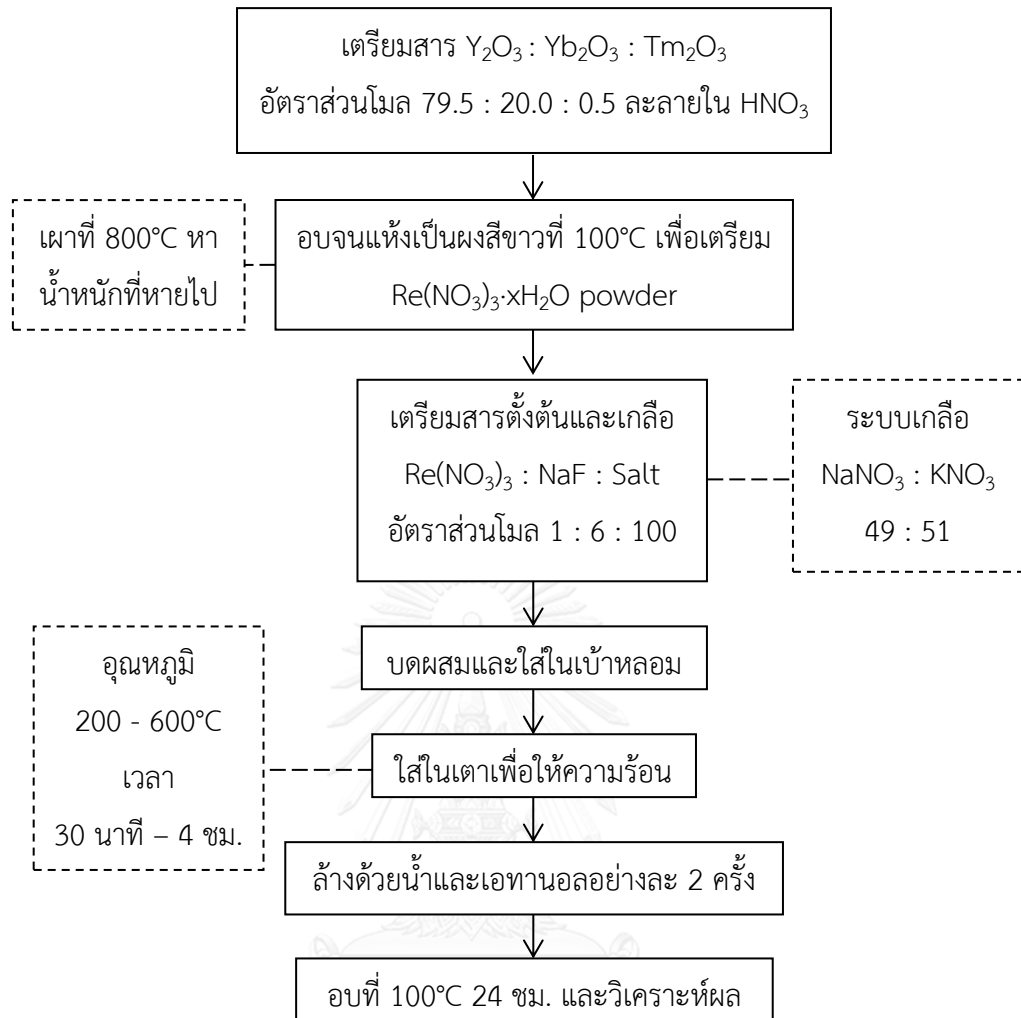
ดังนั้น จะต้องใช้สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ 0.4011 กรัม เมื่อมีร้อยละน้ำหนักที่หายไป 67.56 จึงจะได้ธาตุหายากผสม 1 มิลลิโมล ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$W_{Re(NO_3)_3 \cdot xH_2O} = \frac{0.1301}{100 - 67.56} \times 100 = 0.4011 \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

โดยที่ $W_{Re(NO_3)_3 \cdot xH_2O}$ คือ น้ำหนักของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (กรัม)

จากนั้นเตรียมสารประกอบต่างๆโดยแบ่งสารออกเป็น 2 ส่วน คือสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชัน ได้แก่ สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม และโซเดียม

ฟลูออไรด์ และเกลือเพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลาย กำหนดสัดส่วนโมลของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมต่อโซเดียมฟลูออไรด์ต่อเกลือเท่ากับ 1 ต่อ 6 ต่อ 100 เกลือที่ใช้เพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่ โซเดียมไนเตรต (sodium nitrate, NaNO_3 , CARLO ERBA, 99.5%) และโพแทสเซียมไนเตรต (potassium nitrate, KNO_3 , AJAX, 99.0%) กำหนดสัดส่วนตามสัดส่วนยูเทคติกที่ทำให้สามารถหลอมละลายได้ในอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด คือสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไนเตรตต่อโพแทสเซียมไนเตรตเท่ากับ 49 ต่อ 51 จะมีอุณหภูมิยูเทคติกอยู่ที่ 223 องศาเซลเซียส นำสารทั้งหมดที่เตรียมได้มาบดผสมด้วยโกร่งอะลูมินา และใส่เข้าหลอม (crucible) เพื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงในเตา จากนั้นนำสารที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และเอทานอล 2 ครั้ง สุดท้ายนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทเรียมฟลูออไรด์

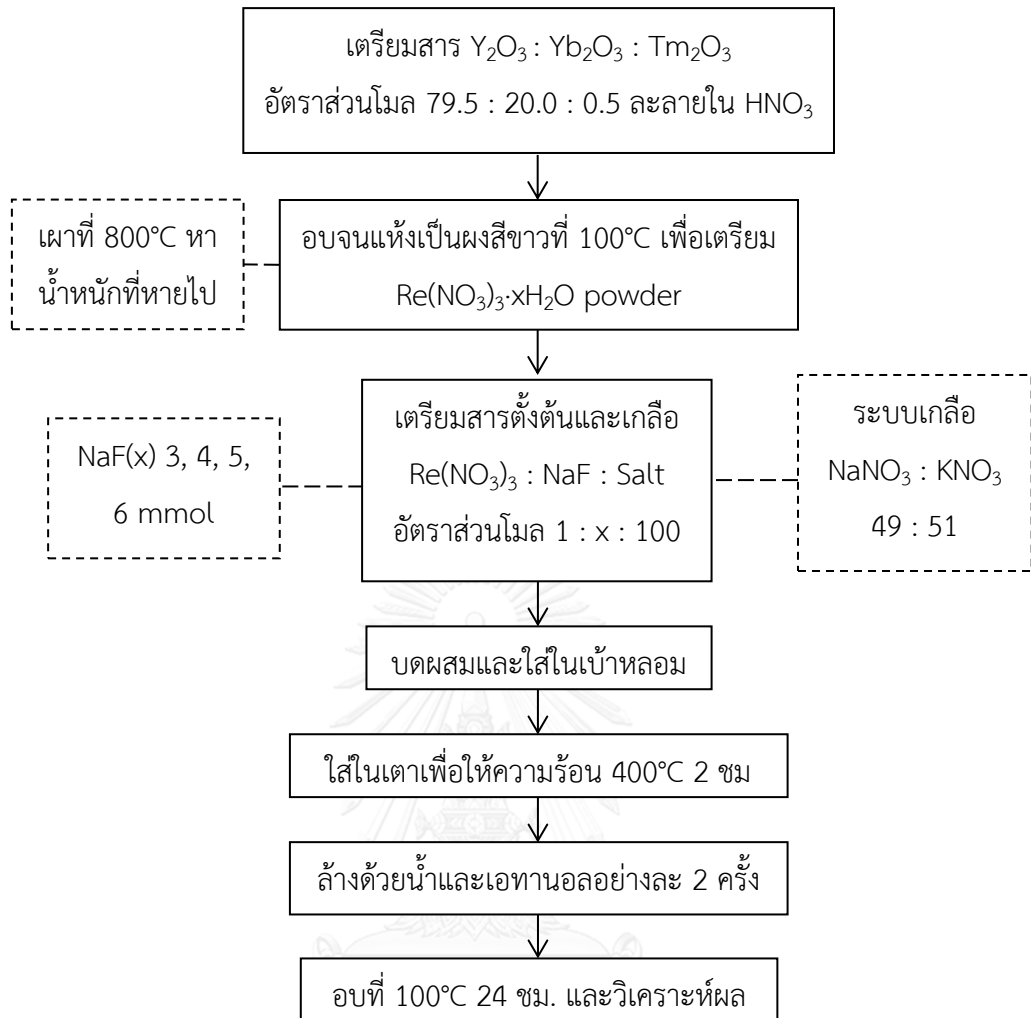
เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา

ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

3.2.2 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

เตรียมสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม โดยการละลายอิตเทรียมออกไซด์ อิตเทอร์เบียมออกไซด์ และทูลีียมออกไซด์ ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่ออิตเทอร์เบียมต่อทูลีียมเป็น 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ในกรดไนตริกจนได้เป็นสารละลายใส และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งกลายเป็นผงสีขาว จากนั้นเตรียมสารประกอบต่างๆโดยแบ่งสารออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชัน ได้แก่ สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม และโซเดียมฟลูออไรด์ และเกลือเพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลาย กำหนดสัดส่วนโมลของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมต่อโซเดียมฟลูออไรด์ต่อเกลือเท่ากับ 1 ต่อ x ต่อ 100 โดยสารประกอบเกลือไนเตรตของแร่หายากผสมดังกล่าวจะใช้สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบแทน และ x ในที่นี้คือปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ปริมาณต่างๆกัน ได้แก่ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล

เกลือที่ใช้เพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่ โซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต กำหนดสัดส่วนตามสัดส่วนยูเทคติกที่ทำให้สามารถหลอมละลายได้ในอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด คือสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไนเตรตต่อโพแทสเซียมไนเตรตเท่ากับ 49 ต่อ 51 จะมีอุณหภูมิยูเทคติกอยู่ที่ 223 องศาเซลเซียส นำสารทั้งหมดที่เตรียมได้มาบดผสมด้วยโกร่งอะลูมินา และใส่เข้าหลอมเพื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงในเตา จากนั้นนำสารที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และเอทานอล 2 ครั้ง สุดท้ายนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทเรียมฟลูออไรด์

เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของโซเดียมฟลูออไรด์

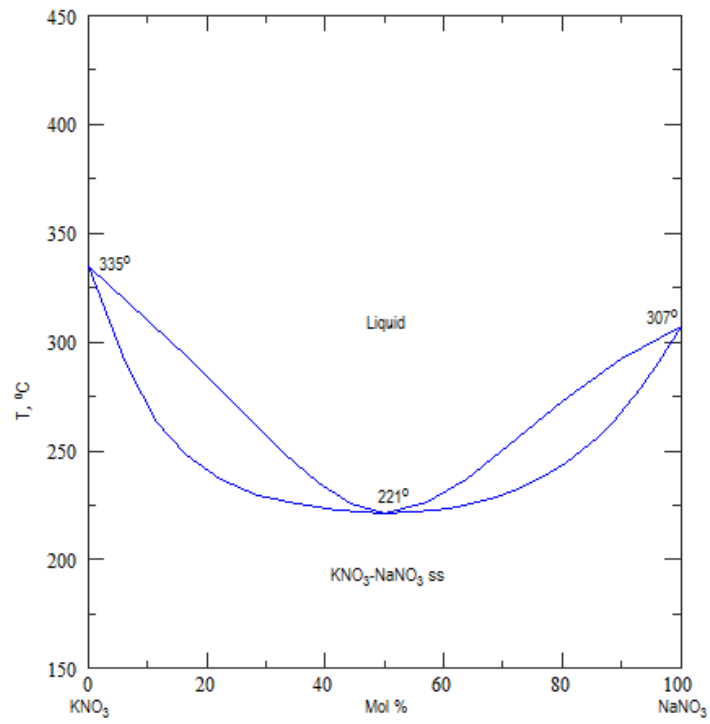
ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

3.2.3 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

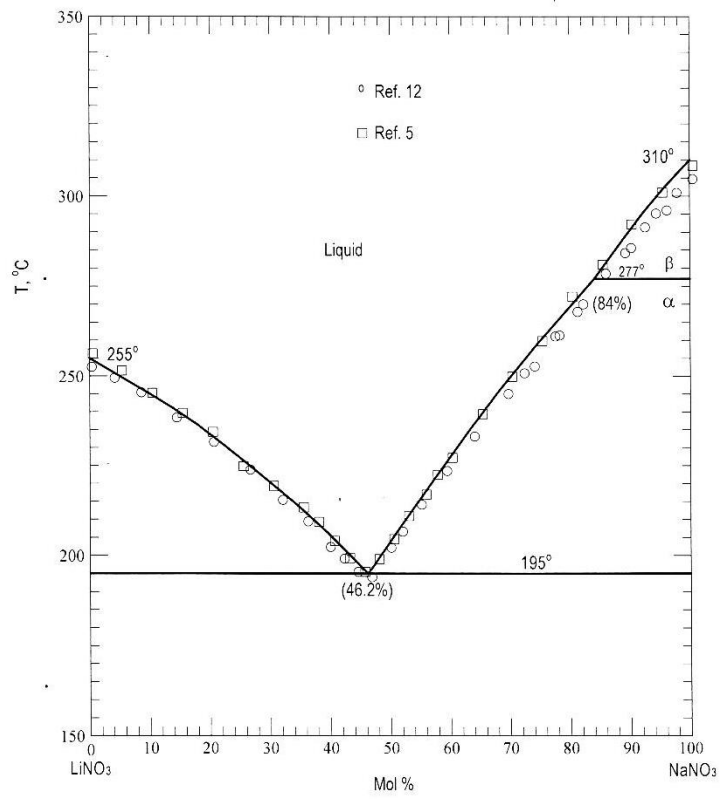
เตรียมสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม โดยการละลายอิตเทรียมออกไซด์ อิตเทอร์เบียมออกไซด์ และทูลีียมออกไซด์ ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่ออิตเทอร์เบียมต่อทูลีียมเท่ากับ 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ในกรดไนตริกจนได้เป็นสารละลายใส และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งกลายเป็นผงสีขาว จากนั้นเตรียมสารประกอบต่างๆโดยแบ่งสารออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชัน ได้แก่ สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม และโซเดียมฟลูออไรด์ และเกลือเพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลาย กำหนดสัดส่วนโมลของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมต่อโซเดียมฟลูออไรด์ต่อเกลือเป็น 1 ต่อ 6 ต่อ 100 โดยสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมดังกล่าวจะใช้สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบแทน

เกลือเพื่อให้เกิดระบบเกลือหลอมละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่ โซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต และลิเทียมไนเตรต (lithium nitrate, LiNO_3 , Fluka, $\geq 98.0\%$) จะทำการกำหนดสัดส่วนตามสัดส่วนยูเทคติก ที่ทำให้สามารถหลอมละลายได้ในอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด โดยแบ่งออกเป็น 4 ระบบดังนี้

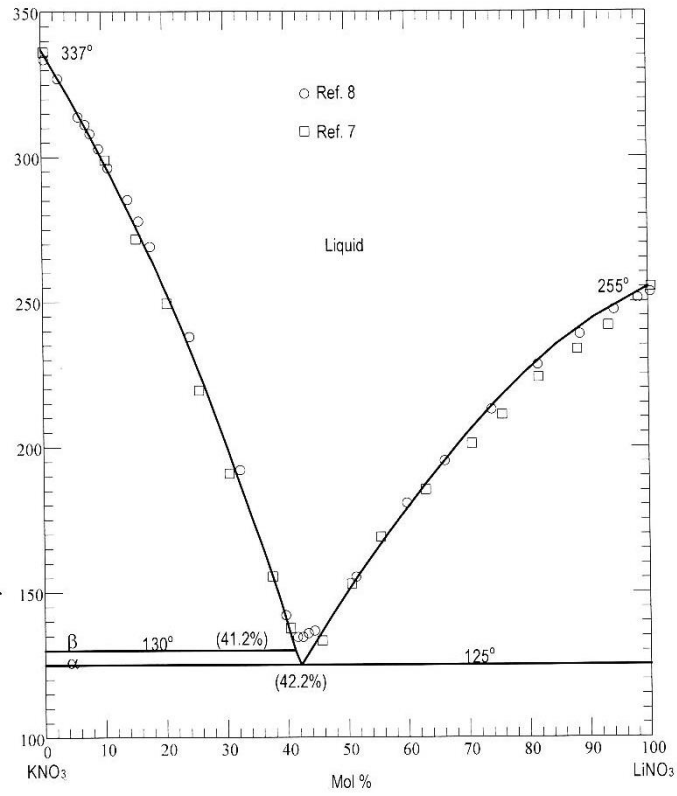
1. โซเดียมไนเตรตต่อโพแทสเซียมไนเตรต โดยมีสัดส่วนยูเทคติกโดยโมล 49 ต่อ 51 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 [44]
2. โซเดียมไนเตรตต่อลิเทียมไนเตรต โดยมีสัดส่วนยูเทคติกโดยโมล 46.2 ต่อ 53.8 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 [45]
3. โพแทสเซียมไนเตรตต่อลิเทียมไนเตรต โดยมีสัดส่วนยูเทคติกโดยโมล 57.8 ต่อ 42.2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 [45]
4. โซเดียมไนเตรตต่อโพแทสเซียมไนเตรตต่อลิเทียมไนเตรต โดยมีสัดส่วนยูเทคติกโดยโมล 17.81 ต่อ 44.67 ต่อ 37.52 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 [46]



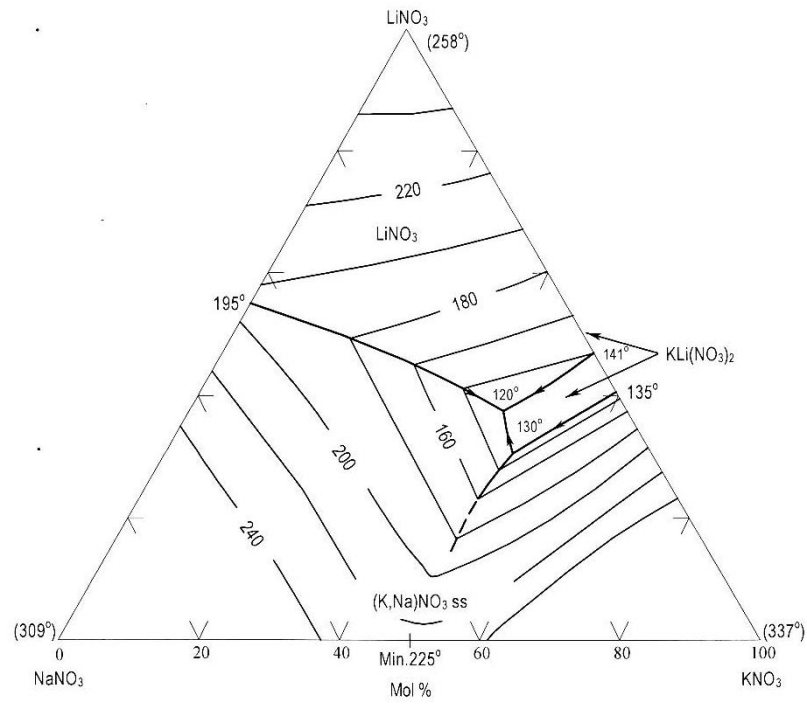
รูปที่ 3.5 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต [44]



รูปที่ 3.6 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต [45]

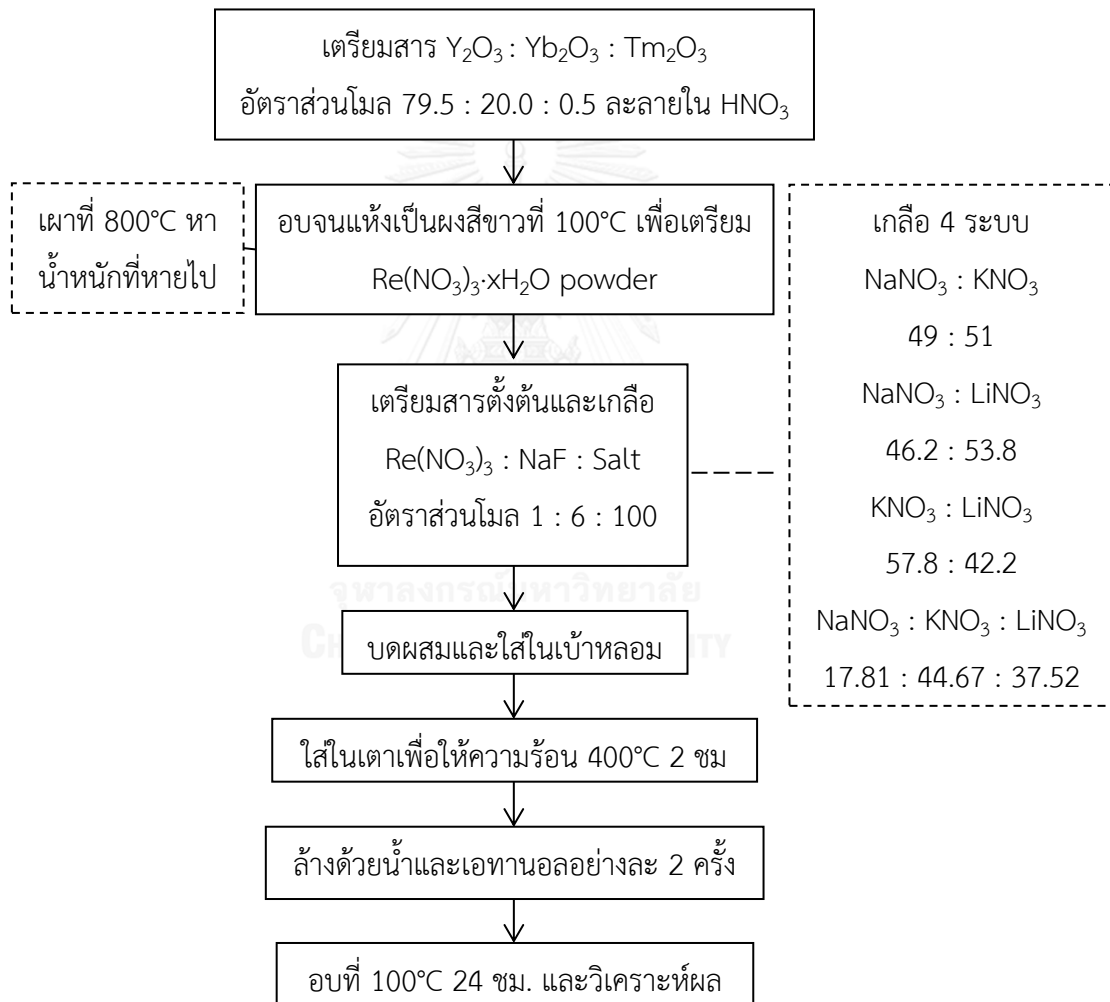


รูปที่ 3.7 เฟสไดอะแกรมของลิเทียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต [45]



รูปที่ 3.8 เฟสไดอะแกรมของโซเดียมไนเตรต ลิเทียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต [46]

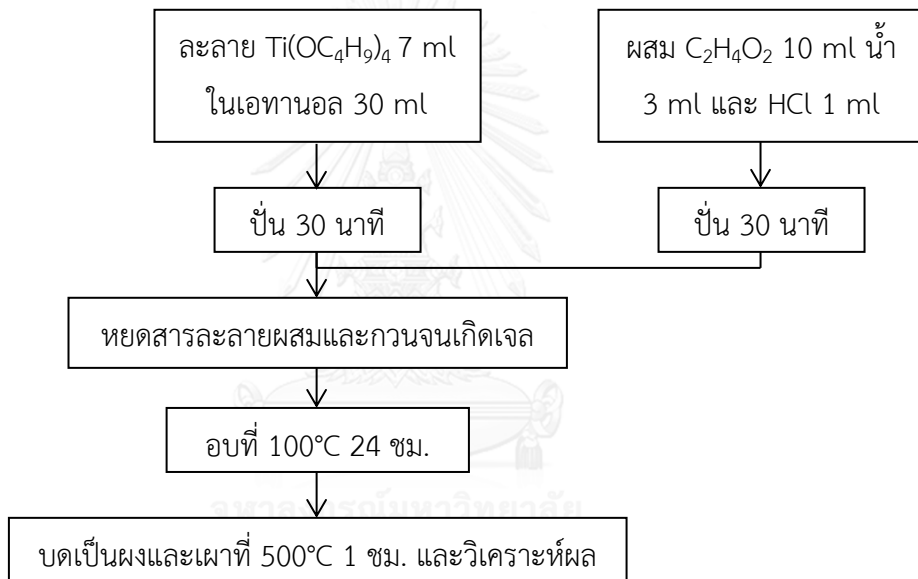
โดยสัดส่วนของทั้ง 4 ระบบจะมีอุณหภูมิยุคตกอยู่ที่ 223 195 125 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นำสารทั้งหมดที่เตรียมได้มาบดผสมด้วยโกรงอะลูมินา และใส่เข้าหลอมเพื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงในเตา จากนั้นนำสารที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และเอทานอล 2 ครั้ง สุดท้ายนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพื่อศึกษาผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

3.3 การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล (sol-gel)

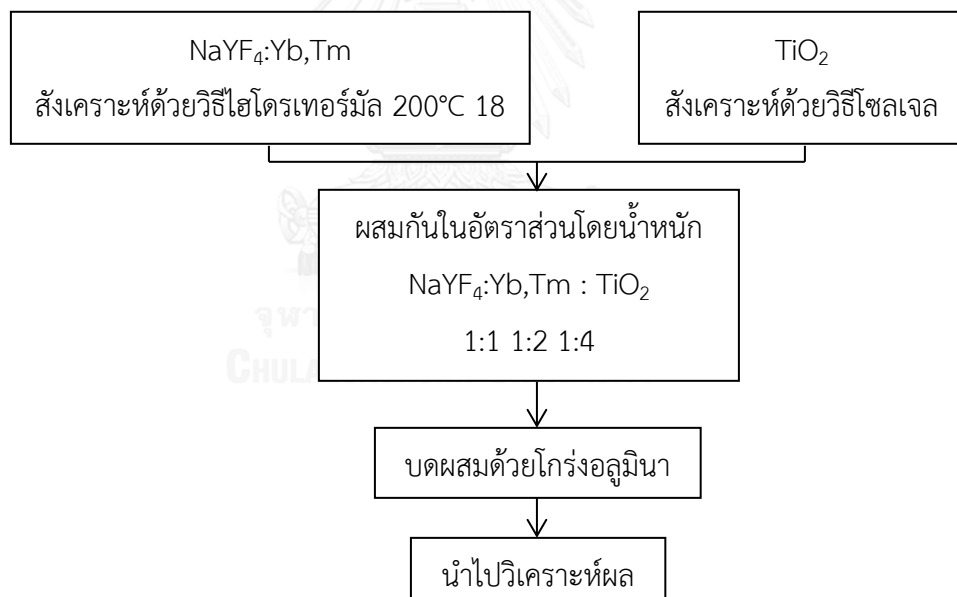
ละลายเตตระบิวทิลไททาเนต (tetrabutyl titanate, $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$, Fluka, $\geq 97.0\%$) 7 มิลลิลิตร ในเอทานอล 30 มิลลิลิตร และป่นเป็นเวลา 30 นาที เตรียมสารละลายผสมกรดอะซิติก (acetic acid, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, RCI Labscan, 99.7%) 10 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตร โดยป่นเตรียมไว้เป็นเวลา 30 นาที และหยดลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นและป่นจนเกิดเจล นำเจลที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วไปนำบดเป็นผง และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยสรุปขั้นตอนการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล

3.4 การเตรียมวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของภายใต้แสงอาทิตย์

นำวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเทราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว มาผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 1 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 4 โดยกำหนดปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์คงที่ที่ 0.2 กรัมในทุกอัตราส่วน จากนั้นนำไปบดผสมด้วยโกร่งอะลูมินาให้ส่วนผสมมีความละเอียดและกระจายตัวกัน และนำไปวิเคราะห์ผล โดยสรุปขั้นตอนการเตรียมวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของภายใต้แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของภายใต้แสงอาทิตย์

3.5 การวิเคราะห์ผล

3.5.1 วิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffractometry, XRD)

นำผงตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงในแท่นใส่สารให้เต็ม และใส่แผ่นกระจก (glass slide) กดทับเบาๆ เพื่อทำผิวหน้าสารตัวอย่างให้เรียบ และนำไปวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (D8 ADVANCE, Bruker AXS Model D8 Discover) โดยมีแหล่งกำเนิดแสงเอกซเรย์คือ Cu K α มีความยาวคลื่น 0.154 นาโนเมตร ที่ค่าความต่างศักย์ 40 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้า 25 มิลลิแอมแปร์ อัตราการวิเคราะห์เฟสเป็น 0.2 องศาต่อวินาที และใช้ค่า 2theta 5 ถึง 80 องศา

3.5.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

นำผงตัวอย่างที่เตรียมได้เก็บไว้ในเครื่องควบคุมความชื้น (desiccator) เสมอ ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล เพื่อให้สารแห้งสนิท นำผงตัวอย่างอย่างโรยลงบนคาร์บอนเทป (carbon tape) และใช้ลูกยางเป่าลมให้สารส่วนเกินหลุดออกไป จากนั้นนำไปเคลือบผิวด้วยทองคำเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ดี และนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-6010LV, JEOL) โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์

3.5.3 วิเคราะห์การเปล่งแสงด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี (Fluorescence Spectroscopy)

นำผงตัวอย่างใส่ลงในที่ใส่สารแบบผงและขันปิดที่ใส่สารให้แน่น ฝั่่งที่ปิดจะเกลี่ยให้สารอัดแน่น และนำไปวิเคราะห์การเปล่งแสงด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี (Perkin Elmer, LS55) โดยในการวัดจะใช้เลเซอร์ไดโอด (laser diode) ความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ความเข้มแสง 200 มิลลิวัตต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงกระตุ้น ซึ่งยิ่งลำแสงจากภายนอกตัวเครื่องสะท้อนกับกระจกเงาไปกระทบที่ผิวของภาชนะใส่สาร โดยตัวรับสัญญาณการเปล่งแสงจะวิเคราะห์ความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 700 นาโนเมตร โดยมีช่องเปิดรับแสงกว้าง 20 นาโนเมตร

3.5.4 วิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียม และทูลีเยียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงทำโดยการวิเคราะห์การสลายตัว (degradation) ของสารละลายเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange, $C_{14}H_{14}N_3SO_3Na$, AJAX, Lab) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีเยียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้หลอดซีนอน (Xenon lamp, Hamamatsu L2175) 150 วัตต์ ในขั้นต้นจะเริ่มโดยการจัดทำแผนภาพมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์ โดยการเตรียมสารละลายเมทิลออเรนจ์ เริ่มต้น โดยในการทดสอบนี้จะใช้สารละลายเมทิลออเรนจ์ที่มีความเข้มข้น 0.02 มิลลิโมลาร์ และนำมาเจือจางจากความเข้มข้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 80 60 40 และ 20 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-Visible Spectrophotometry, UV-2550, Shimadzu) โดยวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่เมทิลออเรนจ์มีค่าการดูดกลืนที่สูงที่สุด จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 464 นาโนเมตรของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆเขียนแผนภาพความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์นั้นๆ ทำให้ได้แผนภาพมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์ และหาสมการความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองในรูปแบบของสมการเส้นตรงดังสมการที่ 3.4

$$y = cx$$

สมการที่ 3.4

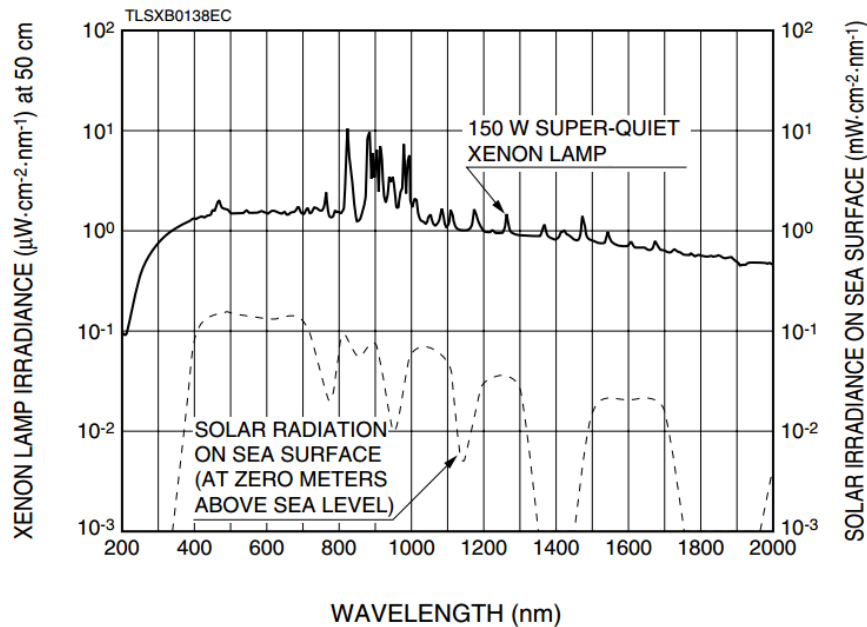
โดยที่ y คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ (มิลลิโมลาร์)

c คือ ความชันของแผนภาพเส้นตรง

x คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์

เมื่อได้แผนภาพมาตรฐานแล้ว จึงทำการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยการวิเคราะห์การสลายตัวของสารละลายเมทิลออเรนจ์ เนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีเยียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์ โดยในการทดสอบนี้จะใช้หลอดซีนอน 150 วัตต์ (Hamamatsu L2175) เป็นตัวแทนของแสงอาทิตย์ หลอดซีนอนนี้มีแสงความยาวคลื่นต่ำสุดที่ 185 นาโนเมตร และสูงสุดที่ 2000 นาโนเมตร และมีสเปกตรัม

ของแสดงดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยมีความเข้มแสงในช่วงแสงวิสิเบิลอยู่ในช่วง 800 ลักซ์ (lux) และมีความเข้มแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในช่วง 40 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมของแสงของหลอดซีนอน 150 วัตต์ (Hamamatsu L2175) ที่ใช้ในการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์

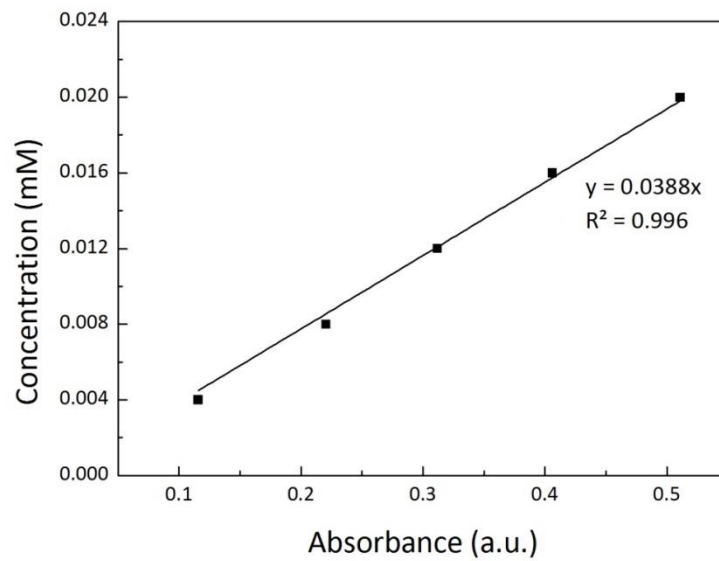
การทดสอบเริ่มจากเติมวัสดุผสมที่เตรียมไว้ลงไปกวนอย่างต่อเนื่องในสารละลายเมทิลออลเรนจ์ที่มีความเข้มข้น 0.02 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยในการทดสอบจะทำการกวนสารละลายที่เติมวัสดุผสมแล้วในที่มีดเป็นเวลา 90 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของการดูดซับและการคายซับ (adsorption/desorption equilibrium) ที่ผิวของวัสดุ และกวนภายใต้หลอดซีนอนต่ออีก 90 นาที โดยจะเก็บสารละลาย 4 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาที จากนั้นกรองวัสดุผสมออกด้วยตัวกรองพีทีเอฟอี (Polytetrafluorethylene, PTFE) และนำสารละลายที่ได้ไปวัดการดูดกลืนแสงวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี และนำไปแทนในสมการที่ 3.4 เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออลเรนจ์ที่เวลาต่างๆ

ตัวอย่างเช่น ในการจัดทำแผนภาพมาตรฐานหลังจากเตรียมสารละลายเมทิลออลเรนจ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆและวัดการดูดกลืนแสงได้ดังตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลาย

เมทิลออเรนจ์และค่าการดูดกลืนแสงไปจัดทำแผนภาพมาตรฐานได้ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของแผนภาพได้ดังแสดงในสมการที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ (มิลลิโมลาร์)	0.02	0.016	0.012	0.008	0.004
ค่าการดูดกลืนแสง	0.51096	0.40613	0.31172	0.22046	0.1156



รูปที่ 3.13 แผนภาพมาตรฐานของสารละลายเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 0.02 มิลลิโมลาร์

$$y = 0.0388x$$

สมการที่ 3.5

โดยที่ y คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ (มิลลิโมลาร์)

x คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลออเรนจ์

ดังนั้น ถ้าสารละลายที่เก็บในการทดสอบเมื่อหลังจากกรองแล้วนำเฉพาะสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่เหลืออยู่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.15784 นำค่าที่ได้แทนลงในค่า x ในสมการที่ 3.4 จะสามารถคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ได้ 0.00612 มิลลิโมลาร์

จากการเก็บสารละลายที่เวลาต่างๆและคำนวณได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่เวลานั้นๆแล้ว สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยแผนภาพความสัมพันธ์

ระหว่างความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ทำการศึกษาสารละลายได้ และสามารถหาอัตราการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดังสมการที่ 3.6

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kt \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

โดยที่ C_0 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์เริ่มต้นก่อนให้พลังงานแสง (มิลลิโมลาร์)

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่เวลาใดๆขณะให้พลังงานแสง(มิลลิโมลาร์)

k คือ อัตราการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

t คือ เวลาใดๆ (นาท)

โดยอัตราการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับนั้นจะเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงในช่วงที่กวนภายใต้หลอดซินอน ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุได้รับพลังงานแสงและสามารถเกิดการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้นั่นเอง

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย และการอภิปรายผล

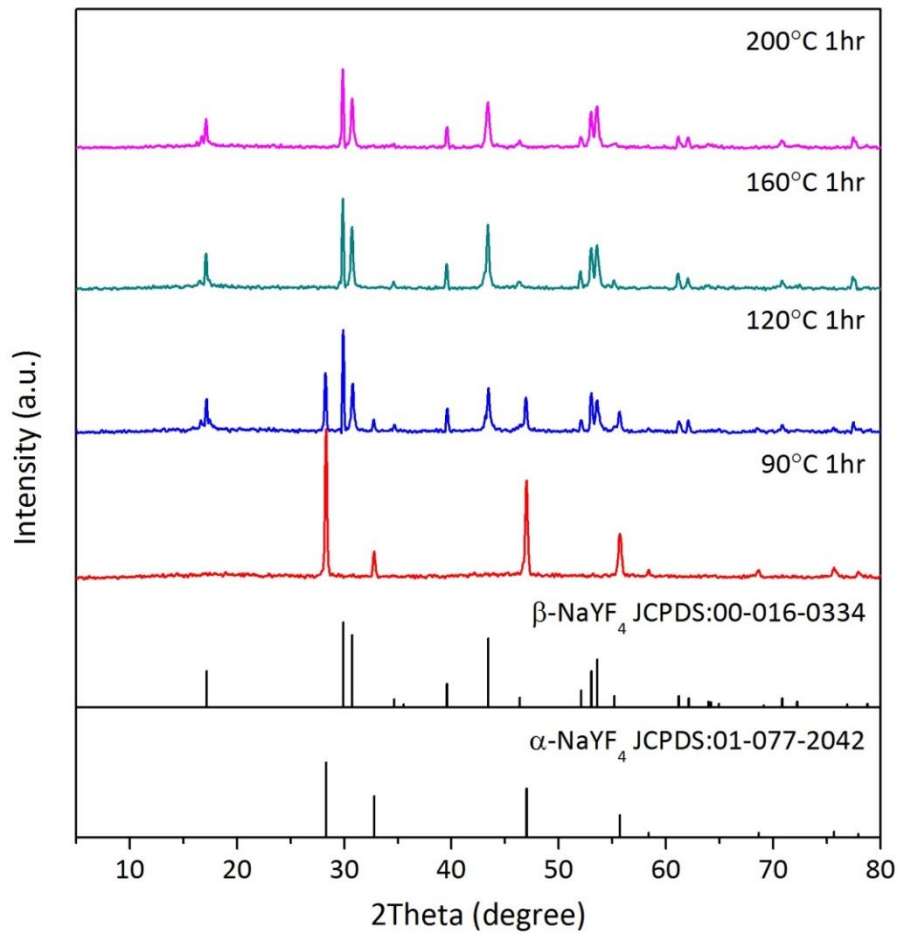
4.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอรชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

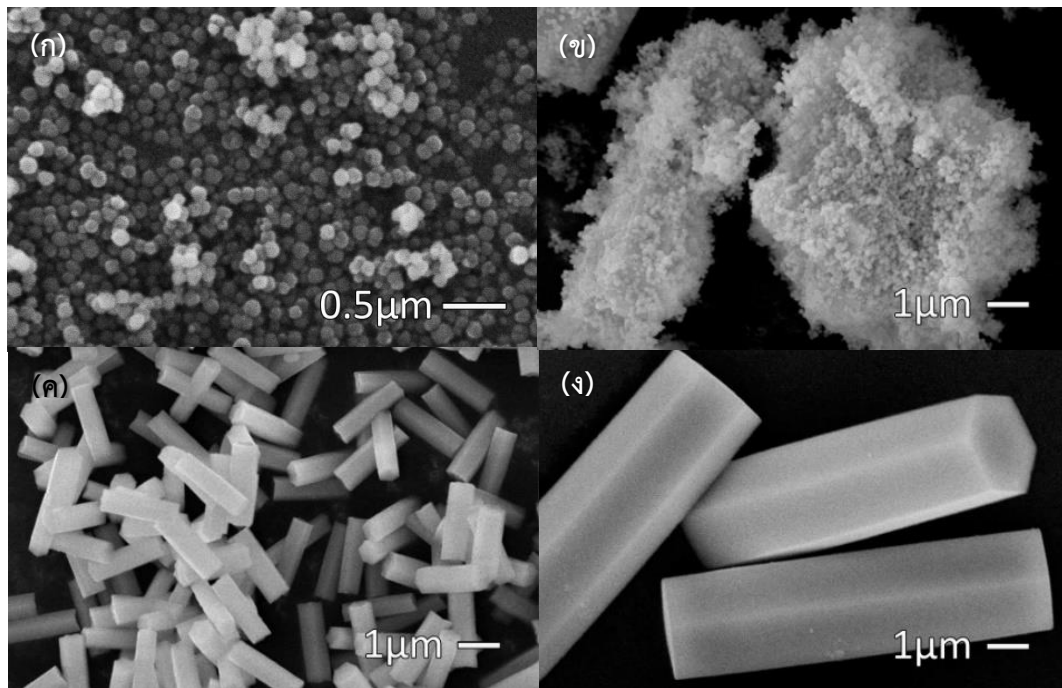
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอรชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเทรอาอะซีติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัวผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก (α - NaYF_4 , JCPDS no. 01-077-2042) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 120 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 , JCPDS no. 00-016-0334) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 160 และ 200 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยที่ไม่มีเฟสอื่นเจือปน

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก-ง) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมีอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิกลักษณะเป็นทรงกลมมีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 120 องศาเซลเซียส จะพบอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิกกระจายตัวและเกาะกลุ่มกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ และล้อมรอบอนุภาคที่มีลักษณะเป็นแท่งของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลไว้ [34] ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 160 และ 200 องศาเซลเซียส จะพบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้า

หกละเอียดได้อย่างชัดเจน โดยวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสมี้อนุภาคขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน ความยาว 2 ถึง 3 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) และจะมีอนุภาคปริซึมหกละเอียดแท่งยาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 200 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ง)

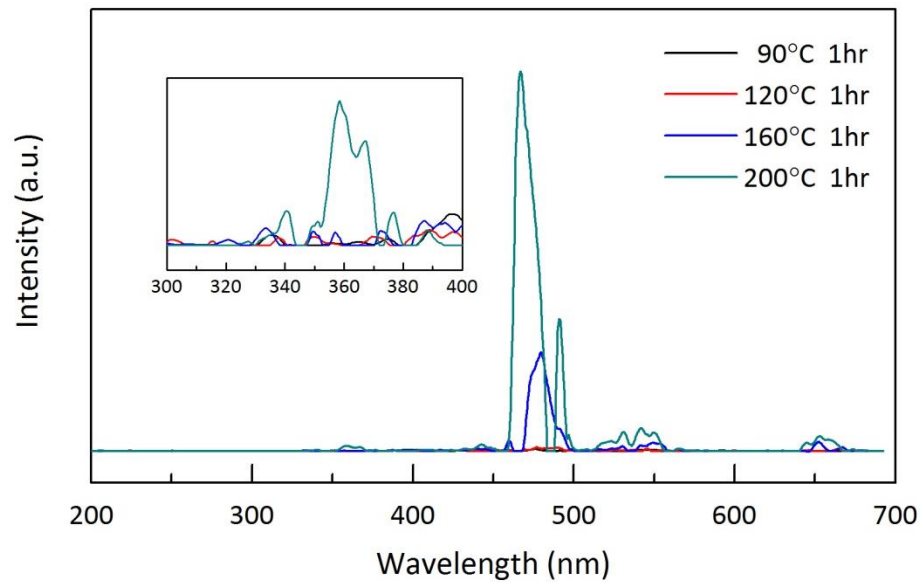


รูปที่ 4.1 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปทอนเวอ์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวกิก และวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่มีเฟสองค์ประกอบผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวกิกและเฮกซะโกนอลมีการเปล่งแสงที่ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 160 องศาเซลเซียส และจะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุดทั้งในช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเมื่อเจือด้วยอิตเทอร์เปียมและทูลียมแล้วจะมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่สูงกว่าโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวกิก และจะมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่สูงขึ้นเมื่อมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.3 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 120 160 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

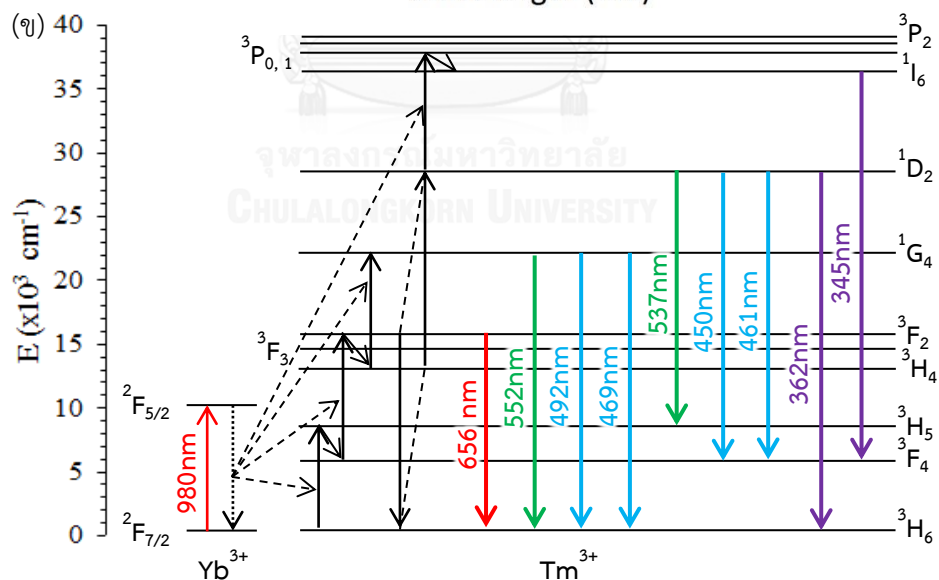
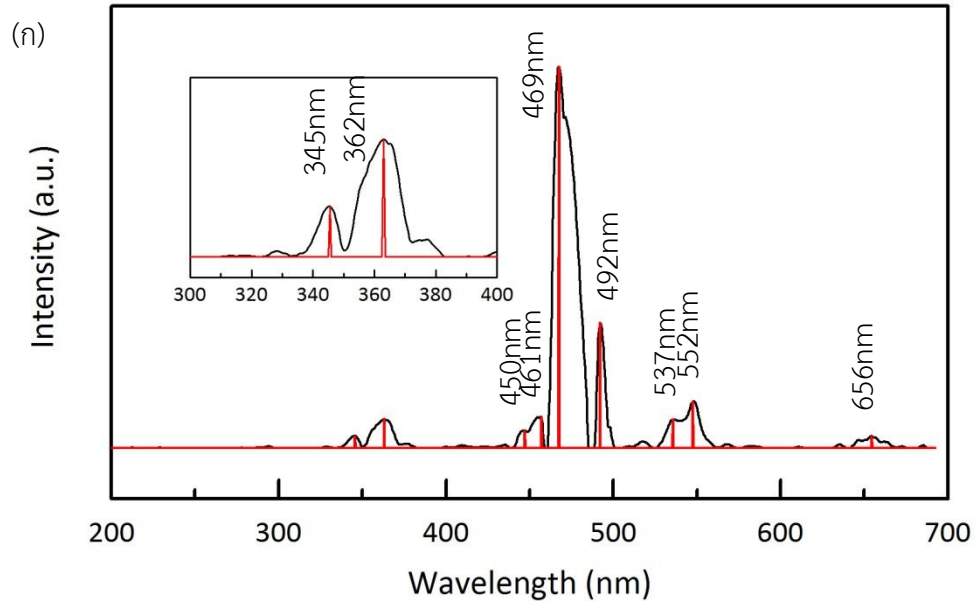
โดยหากพิจารณาการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเทรฮาอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว จะพบการเปล่งแสงที่ชัดเจนในช่วงแสงวิสิเบิล คือ แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 450 461 469 และ 492 นาโนเมตร แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 537 และ 552 นาโนเมตร และแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 656 นาโนเมตร และพบการเปล่งแสงที่ชัดเจนในช่วงอัลตราไวโอเล็ตคือที่ความยาวคลื่น 345 และ 362 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) โดยมีกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข) สามารถแบ่งลักษณะการเกิดการเปล่งแสงได้ 3 ลักษณะ [4, 12, 47-49] คือ

1. เมื่ออิตเทอร์เบียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้น อิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาซ้ำๆ โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน

3F_2 เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 656 นาโนเมตร ในขณะที่อิเล็กตรอนบางส่วนที่อยู่ในชั้นพลังงาน 3F_2 ที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3H_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เปียมไอออนอีกครั้ง จึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 1G_4 เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 469 492 และ 552 นาโนเมตร

2. เมื่ออิตเทอร์เปียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เปียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาบ้าง ๆ พร้อมกับมีการเกิดคลอสรีเล็กเซชันของอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเองร่วมด้วย โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เปียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3F_2 ที่ชั้นพลังงานนี้อิเล็กตรอนจึงเกิดคลอสรีเล็กเซชันเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเองทำให้สามารถขึ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นคือชั้นพลังงาน 1D_2 ได้ เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_5 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 537 นาโนเมตร เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3F_4 จะเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 450 และ 461 นาโนเมตร และเมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร
3. เมื่ออิตเทอร์เปียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เปียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาบ้าง ๆ พร้อมกับมีการเกิดคลอสรีเล็กเซชันของอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเอง และสุดท้ายยังได้รับการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เปียมไอออนอีกครั้ง โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เปียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3F_2 ที่ชั้นพลังงานนี้อิเล็กตรอนจึงเกิดคลอสรีเล็กเซชันเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเองทำให้

สามารถขึ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นคือชั้นพลังงาน 1D_2 ได้ สุดท้ายจึงได้รับการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งและถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน $^3P_{0,1}$ อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 1I_6 ก่อนที่จะตกกลับลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 345 นาโนเมตรนั่นเอง



รูปที่ 4.4 การเปล่งแสง (ก) และ (ข) กลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชัน ของโซเดียมอิตเทเรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

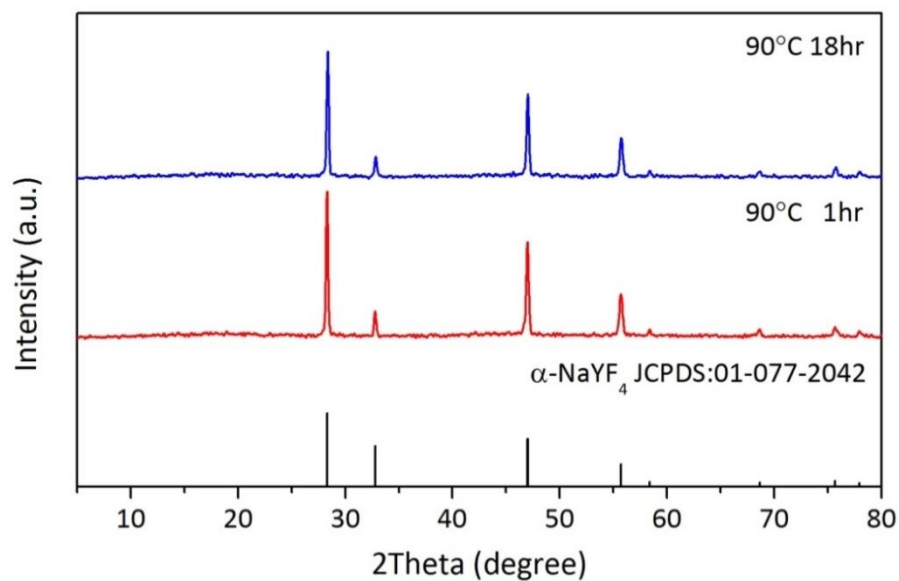
ความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

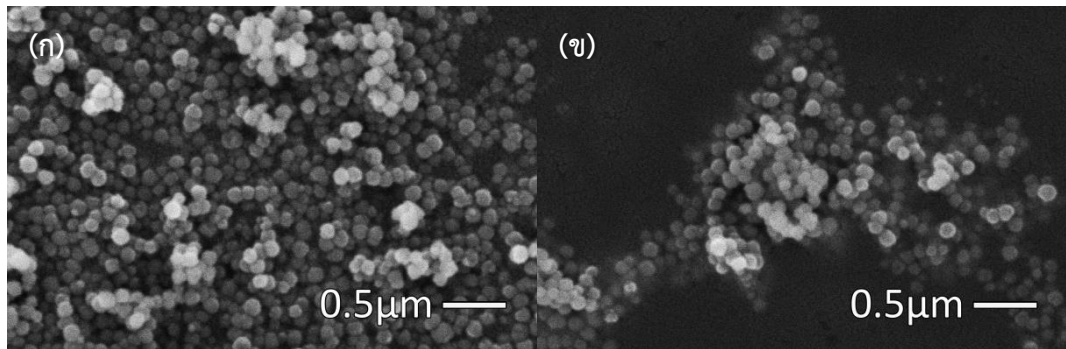
4.1.2.1 การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก (α -NaYF₄, JCPDS no. 01-077-2042) และแม้จะมีการเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็น 18 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้ก็ยังคงมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิกเช่นเดิม

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก-ข) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิกลักษณะเป็นทรงกลมมีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) และแม้จะมีการเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็น 18 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้ก็ยังมีลักษณะเป็นทรงกลม ดังรูปที่ 4.6 (ข) ที่มีขนาดของอนุภาคคงเดิม

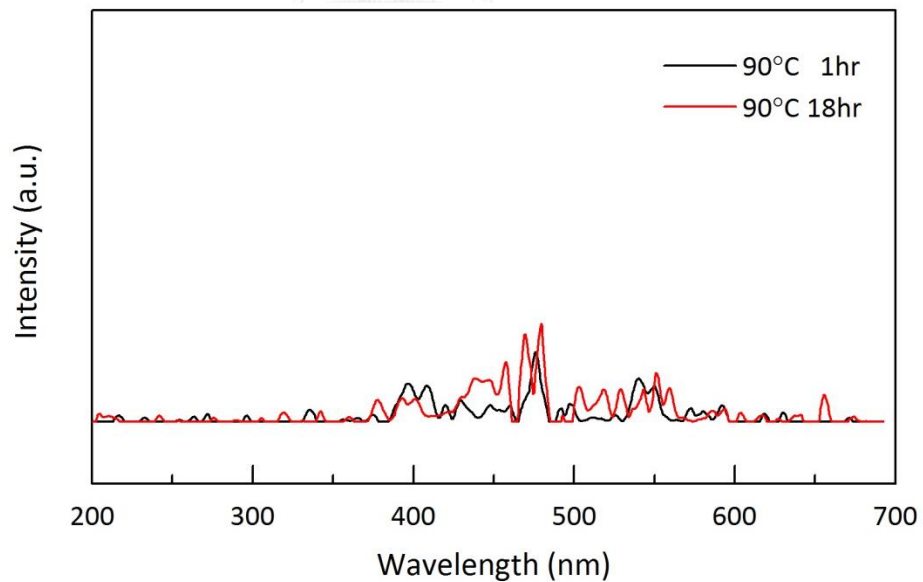


รูปที่ 4.5 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของโพลีอิมิดเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 และ (ข) 18 ชั่วโมง

การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง ซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโพลีอิมิดเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างควิบิกมีการเปล่งแสงที่ต่ำ



รูปที่ 4.7 การเปล่งแสงของโพลีอิมิดเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.1.2.2 การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

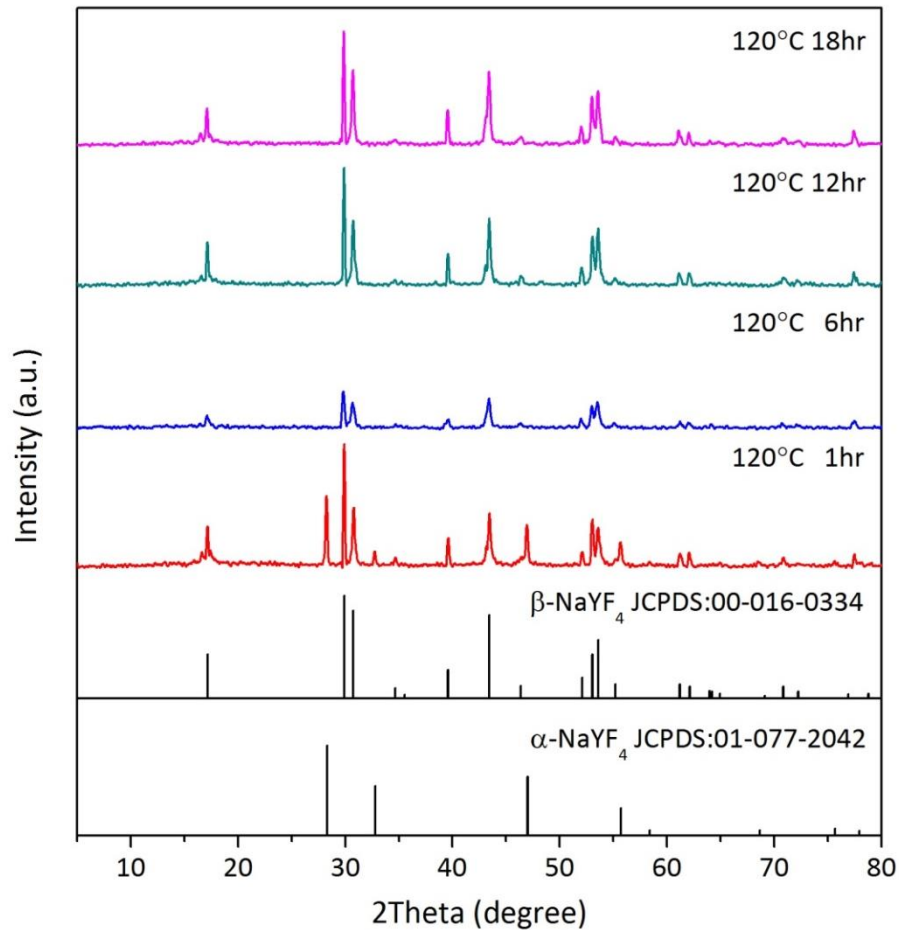
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะมีเฟสองค์ประกอบผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิก (α - NaYF_4 JCPDS no. 01-077-2042) และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 JCPDS no. 00-016-0334) เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงขึ้นไป วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน และมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์นานขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก-ง) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างคิวบิกกระจายตัวและเกาะกลุ่มกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ และล้อมรอบอนุภาคที่มีลักษณะเป็นแท่งของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลไว้ [34] ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 6 12 และ 18 ชั่วโมง มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้าหกเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนุภาคสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

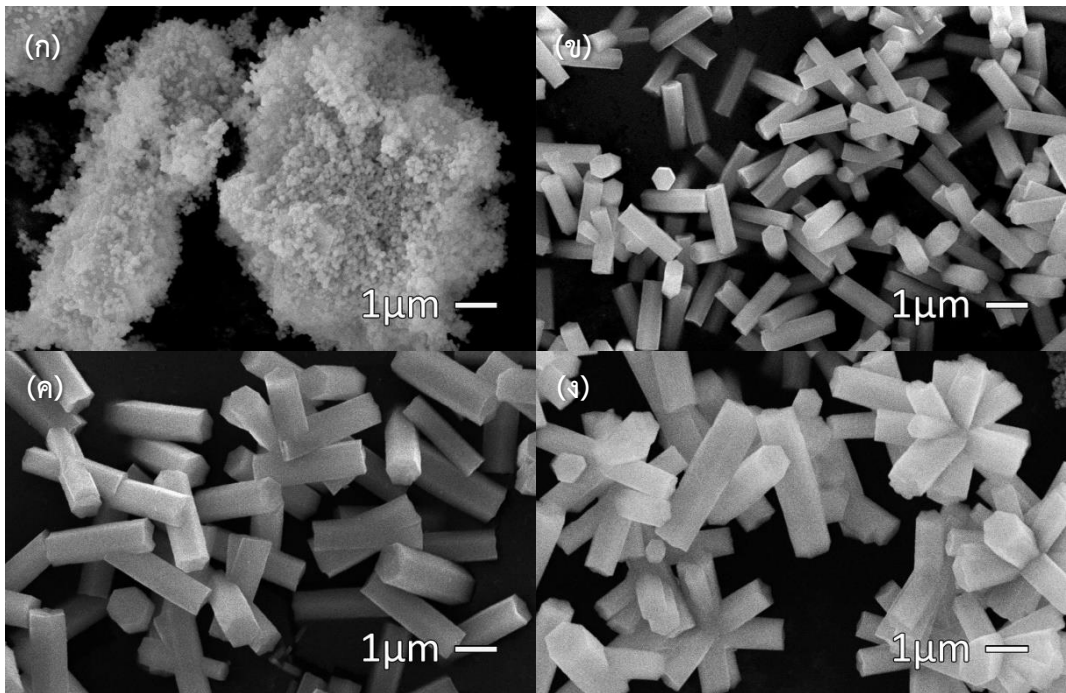
1. การเพิ่มขนาดของอนุภาคและเกิดอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ข) และ (ค) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 1.5 ถึง 2 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ขนาดของอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวจะเพิ่มขึ้นเป็นขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน ความยาว 2 ถึง

3 ไมครอน และปรากฏอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไว้ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคแท่งที่พัฒนาขึ้นเป็นลักษณะรูปกากบาทเกิดขึ้นอีกด้วย

2. การเปลี่ยนแปลงจากอนุภาคอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่พัฒนาขึ้นเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ค) และ (ง) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไว้ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง จึงปรากฏอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่พัฒนาขึ้นเป็นทรงกลมมากขึ้น

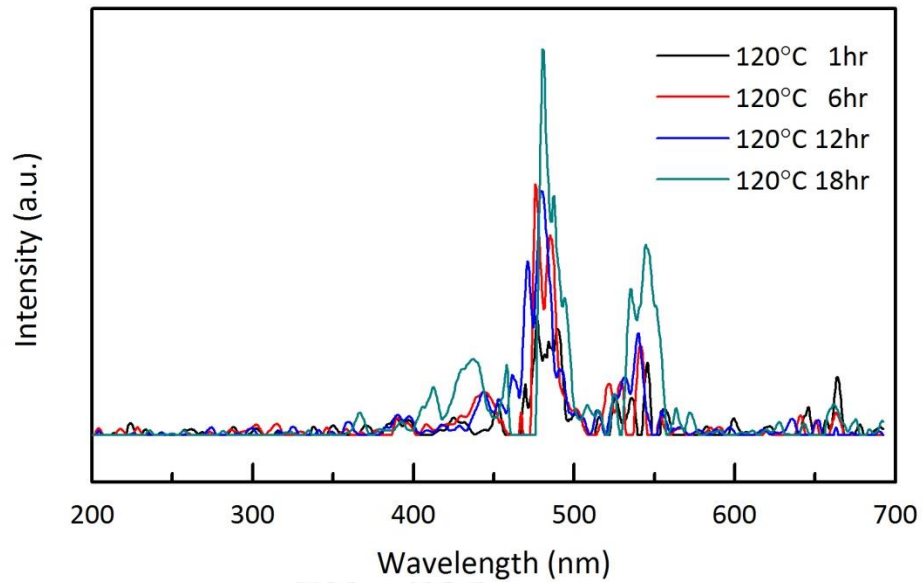


รูปที่ 4.8 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 18 ชั่วโมง

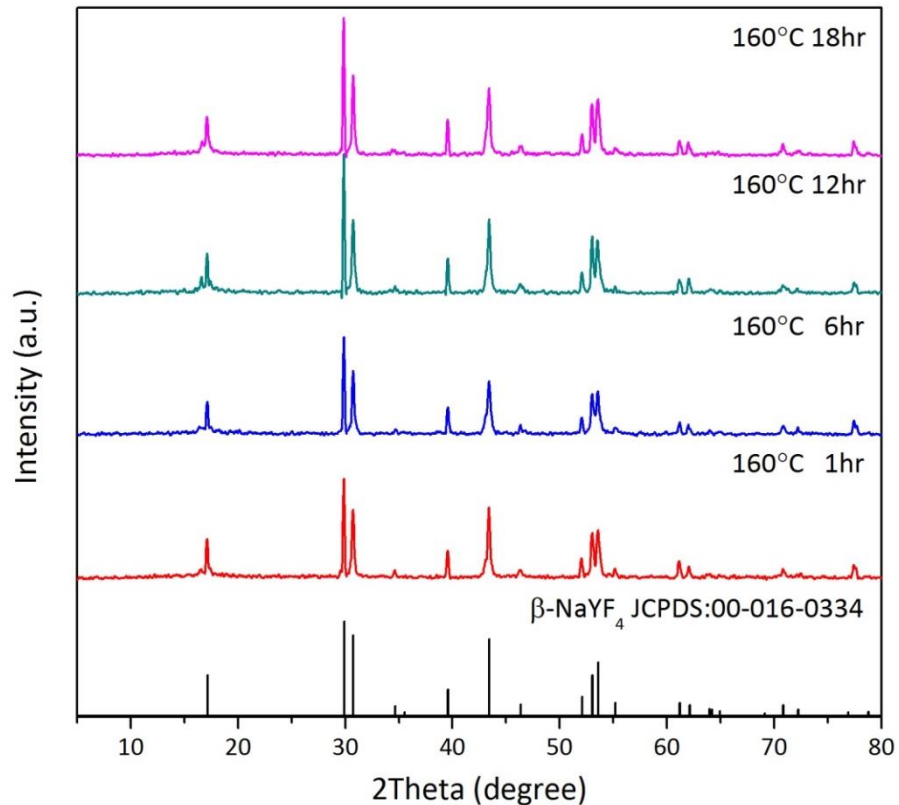
ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมงที่มีเฟสองค์ประกอบผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างควบิกและเฮกซะโกนอลมีการเปล่งแสงที่ต่ำที่สุด เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงขึ้นไป วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียว โดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนจะทำให้มีการเปล่งแสงที่สูงขึ้น โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 18 ชั่วโมงมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเมื่อมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น มีขนาดอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ใหญ่ขึ้น หรือเกิดเป็นอนุภาคปริซึมที่ผสมกันเป็นทรงกลมที่มากขึ้น จะส่งผลให้มีการเปล่งแสงที่สูงขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.10 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.1.2.3 การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเทรอะซีดีคปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียว โดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ และมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์นานขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 6 ชั่วโมงไปเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่สูงขึ้น



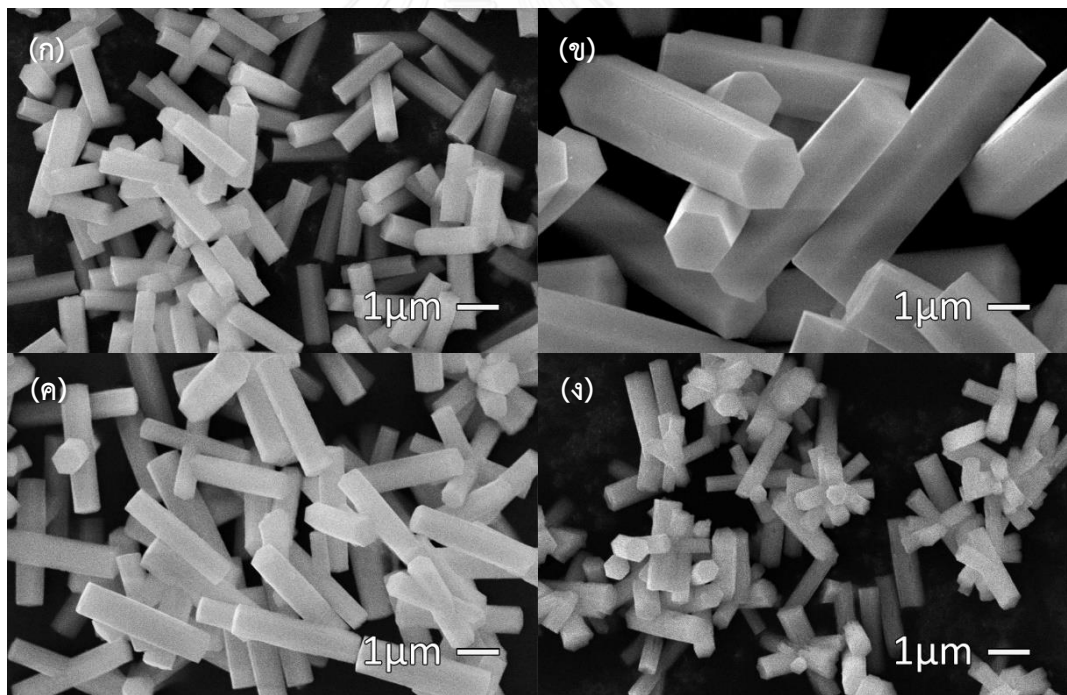
รูปที่ 4.11 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ก-ง) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้าหกเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนุภาคสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. การเพิ่มขนาดของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 1.5 ถึง 2 ไมครอน ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ขนาดของอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวจะเพิ่มขึ้นเป็นขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจนตามลำดับ

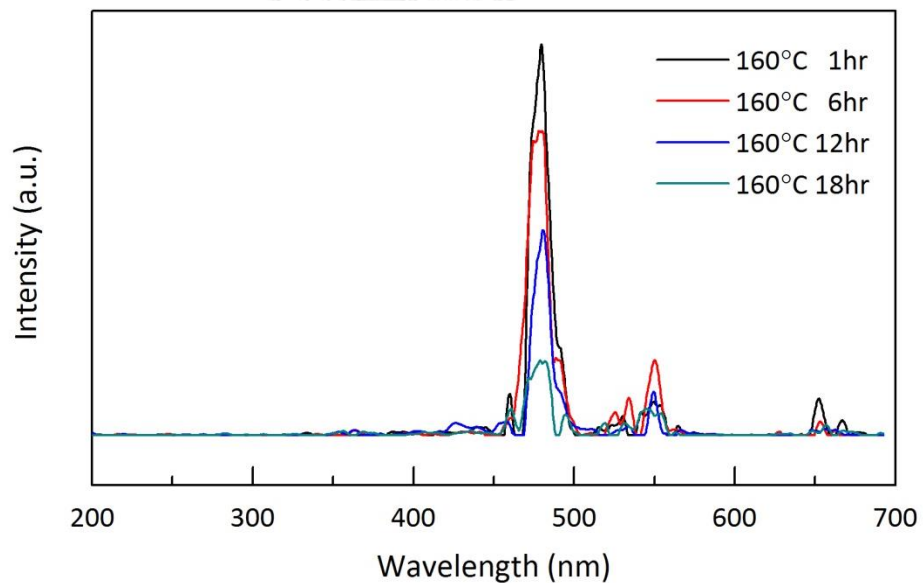
2. การลดขนาดของอนุภาคและเกิดอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ข) และ (ค) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 6 ชั่วโมงมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ขนาดของอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวจะลดลงเป็นขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.7 ไมครอน ความยาว 2 ถึง 2.5 ไมครอน และปรากฏอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้เกิดขึ้นอีกด้วย

3. การเปลี่ยนแปลงจากอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ค) และ (ง) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวผสมกับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง จึงปรากฏอนุภาคปริซึมที่ผสมกันเป็นทรงกลมมากขึ้น



รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา (ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 (ง) ระยะเวลา 18 ชั่วโมง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัญญาณวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงด้านการเปล่งแสงที่ลดลงเมื่อสังเคราะห์ด้วยระยะเวลาที่นานขึ้น โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมงที่มีความเป็นผลึกต่ำที่สุด กลับมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์นานขึ้นจะมีการเปล่งแสงที่ลดลงตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทำให้สังเกตได้ว่าการสังเคราะห์วัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสนี้อาจเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์ขึ้นจึงส่งผลให้มีการเปล่งแสงที่ลดลง



รูปที่ 4.13 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 และ 18 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.1.2.4 การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

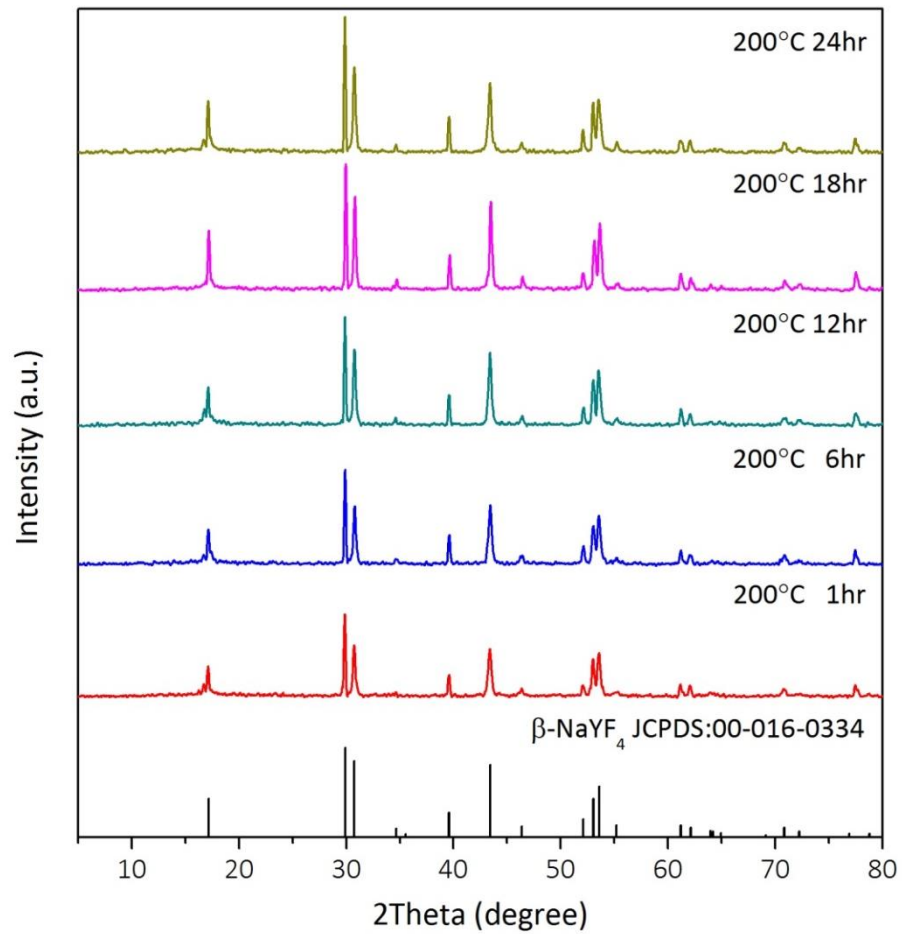
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ และมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์นานขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก-จ) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้าหกเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนุภาคสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

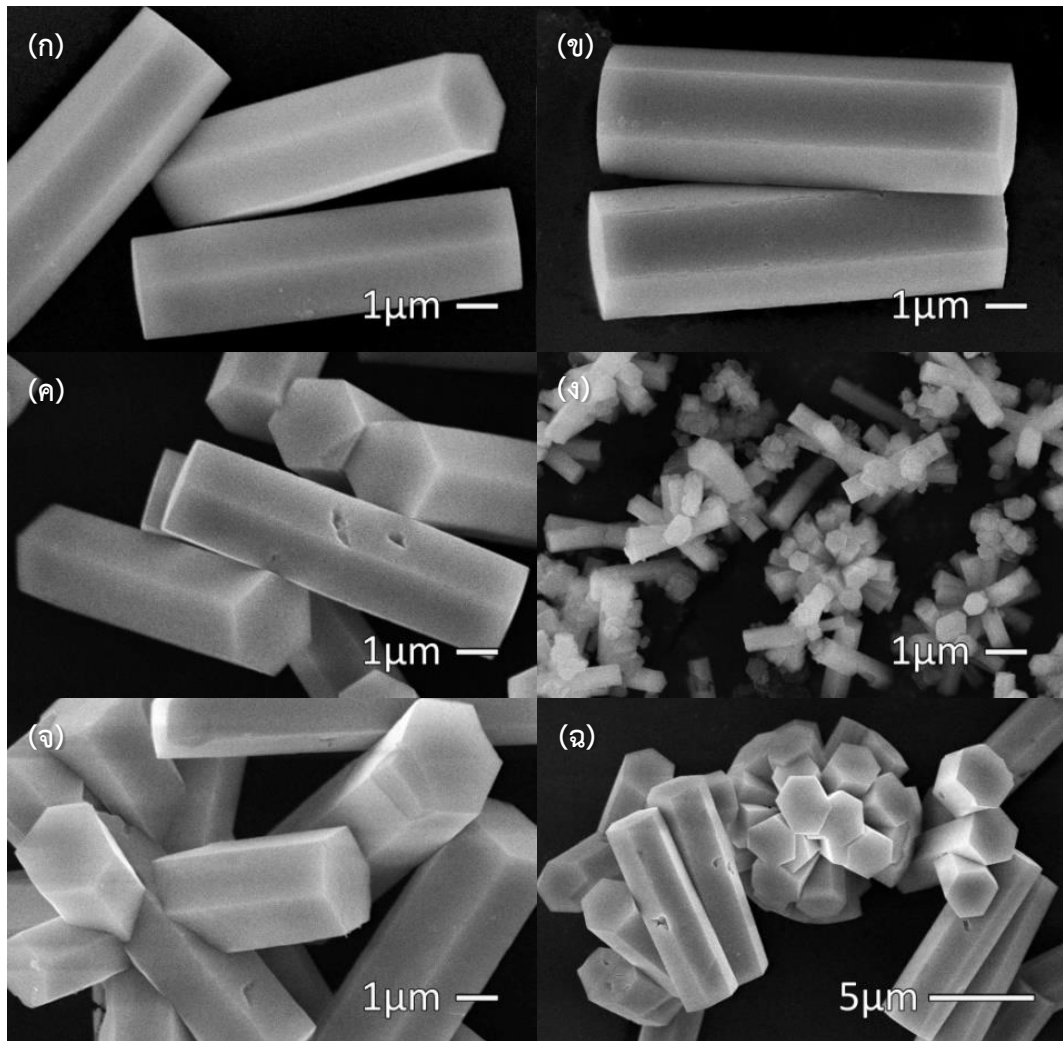
1. การเปลี่ยนแปลงจากอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสานกันเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก) (ข) (ค) และ (ง) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 6 และ 12 ชั่วโมง มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดใกล้เคียงกันที่ขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง จึงปรากฏอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสานกันเป็นทรงกลมมากขึ้น และขนาดของอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมมีขนาดเล็กลง

2. การเพิ่มขนาดของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ง) และ (จ) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 18 ชั่วโมง มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสานกันเป็นทรงกลม ที่มีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 1.5 ถึง 2 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ขนาดของ

อนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวและอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสานกันเป็นทรงกลมจะเพิ่มขึ้นเป็นขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน โดยจะสามารถสังเกตเห็นอนุภาคปริซึมผสานกันเป็นทรงกลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.15 (ฉ)



รูปที่ 4.14 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของโซเดียมออกไซด์เทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่

สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

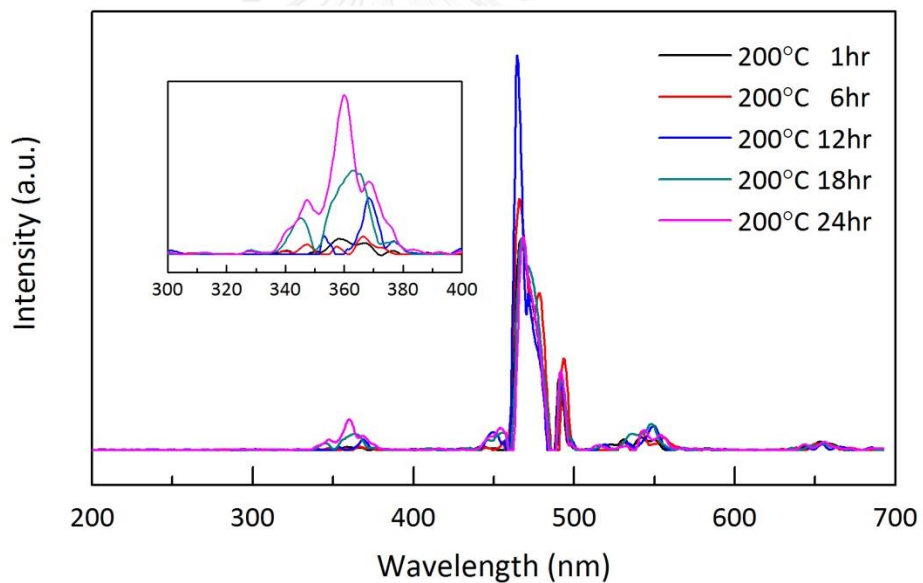
(ก) 1 (ข) 6 (ค) 12 (ง) 18 (จ) และ (ฉ) 24 ชั่วโมง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วงการเปล่งแสง คือ

1. การเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิล วัสดุออปคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 ชั่วโมงมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 1 6 และ 12 ชั่วโมงนั้นจะมีลักษณะของอนุภาคที่คล้ายคลึงกันคือมีลักษณะเป็น

อนุภาคปริซึมแท่งยาวที่มีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 18 ชั่วโมงอย่างชัดเจน โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 ชั่วโมงเป็นวัสดุที่มีความเป็นผลึกสูงสุด จึงทำให้มีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่สูงที่สุด

2. การเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต ดังแสดงในส่วนขยายในรูปที่ 4.16 วัสดุที่มีระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สูงที่สุด รองลงมาเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะของอนุภาคที่มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมจึงทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 12 และ 24 ชั่วโมงมีการเปล่งแสงที่สูงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต แม้ว่าจะมีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลที่ต่ำกว่าวัสดุที่มีอนุภาคเป็นแท่งเดี่ยวที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 16 และ 12 ชั่วโมงก็ตาม



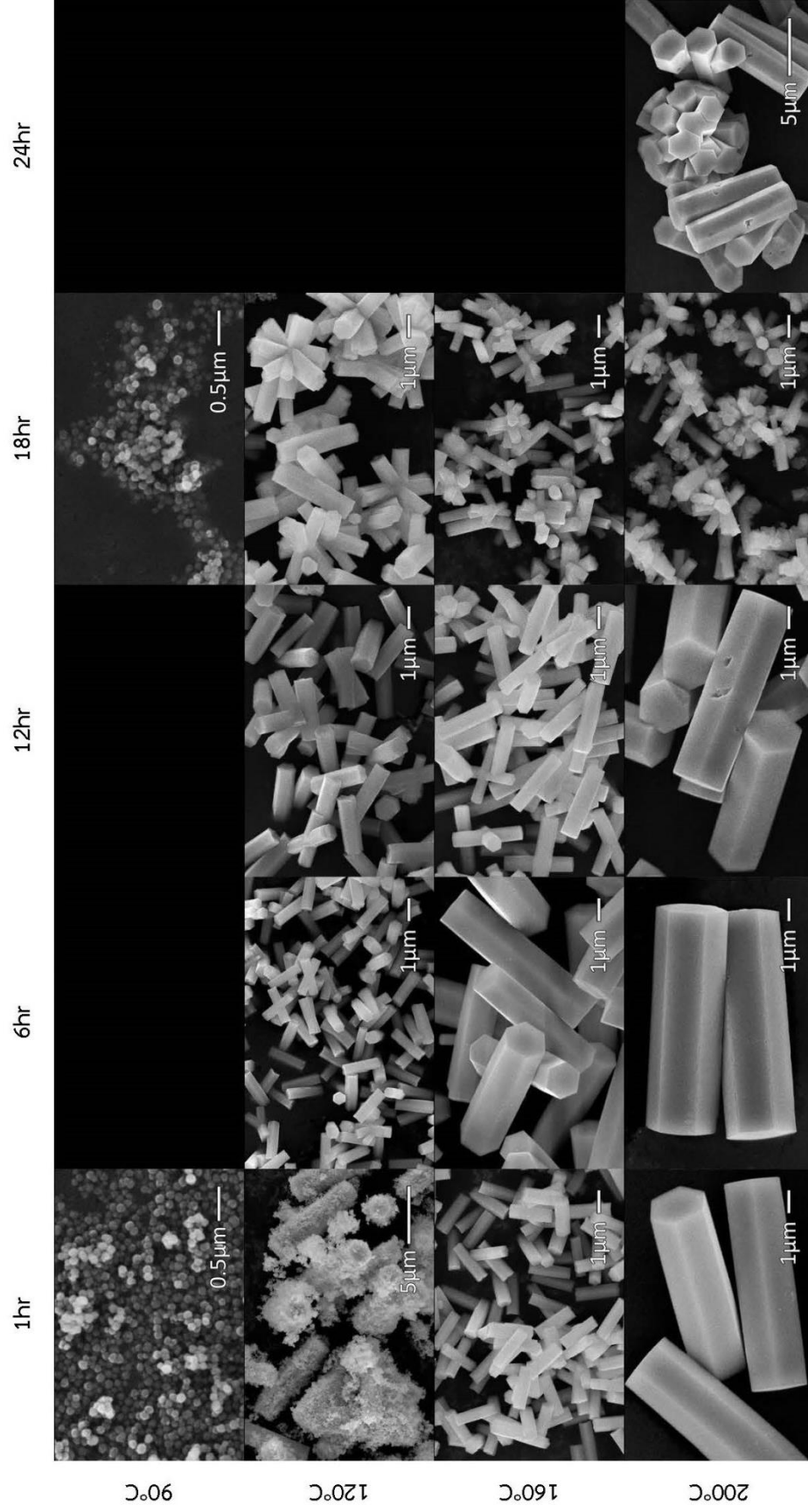
รูปที่ 4.16 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว พบว่าจะสามารถสังเคราะห์เปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมได้เมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 120 องศาเซลเซียสขึ้นไป และจะสังเคราะห์ได้วัสดุที่มีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียส โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มที่จะมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น

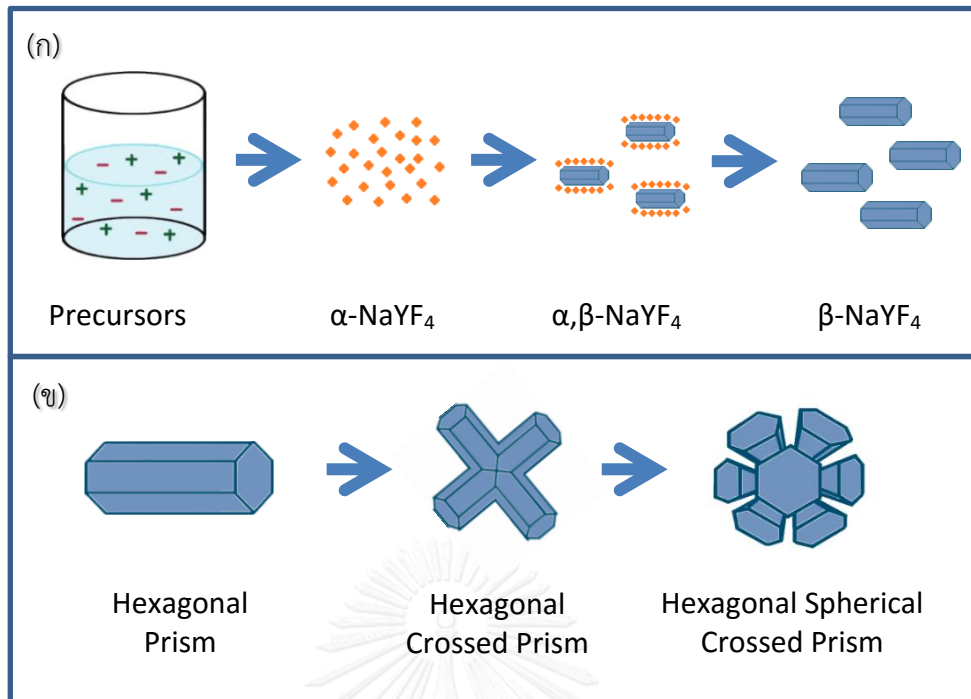
สามารถสรุปภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนุภาคได้ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ดังจะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาได้ในรูปที่ 4.18 (ก) โดยเริ่มต้นจากการเกิดนิวเคลียสของสารในระบบซึ่งเกิดเป็นเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิก จากนั้นเมื่อมีการให้อุณหภูมิที่ยาวนานขึ้นหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกอาจเกิดการละลายกลับเข้าไปในระบบอีกครั้ง หรือเกิดการเกาะตัวรวมกันและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นเฮกซะโกนอล โดยในขั้นต้นอาจเกิดเป็นลักษณะเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกที่มีการล้อมรอบผลึกของเฮกซะโกนอลไว้ [34] จากนั้นเมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดเป็นเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน ในลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว (hexagonal prism) เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการสังเคราะห์ที่ยาวนานขึ้น จะเกิดการพัฒนาของการเกิดอนุภาคจากการเกิดเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ (hexagonal crossed prism) และอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลม (hexagonal spherical crossed prism) ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ข) ตามลำดับ และเกิดการเติบโตของผลึกอีกครั้งทำให้อนุภาคปริซึมที่ผสมกันเป็นทรงกลมมีขนาดใหญ่ขึ้น

โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์สัณฐานวิทยา และการเปล่งแสงได้ ดังรูปที่ 4.19 โดยหากแบ่งการพิจารณาเป็นช่วงแสงวิลีเบลและแสงอัลตราไวโอเล็ตแล้ว พบว่าเมื่อมีการให้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้น แนวโน้มที่วัสดุมีความเป็นผลึกสูงจะส่งผลให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มี

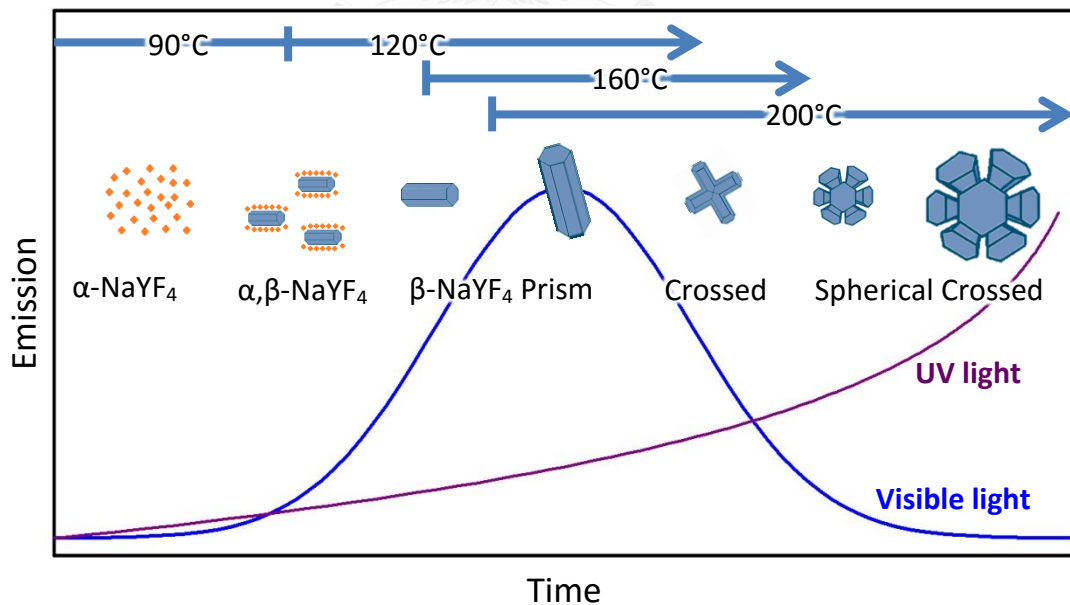
การเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่ดีขึ้น และเมื่อถึงสถานะที่เหมาะสมที่สุดสถานะหนึ่งซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลอนูภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือที่ขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน จะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด เมื่อมีการมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้นจากสถานะที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะทำให้การเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลลดลงอีกครั้ง อาจเกิดจากการที่วัสดุเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกและอนุภาค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ และอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้แม้จะส่งผลให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลที่ลดลง ดังสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสที่เมื่อใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ที่นานขึ้นจะมีการเปล่งแสงที่ลดลง แต่จะทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มากขึ้น ดังสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 และ 24 ชั่วโมง โดยที่วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่ปรากฏอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือที่ขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 9 ถึง 10 ไมครอน จะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สูงที่สุดเช่นกัน



รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของโพลีไวนิลิดฟลูออไรด์เจือตีเทอร์ไบรียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.18 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลง (ก) เฟสองค์ประกอบจากโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ โครงสร้างคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล และ (ข) สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล



รูปที่ 4.19 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาและการเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

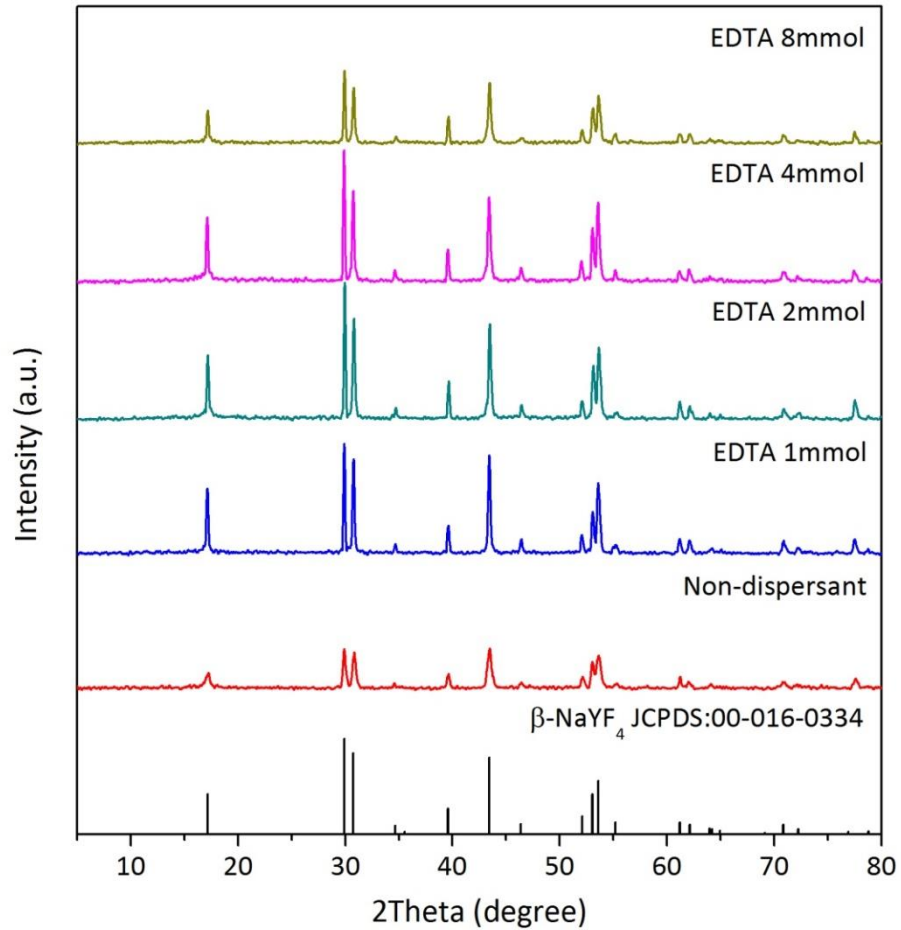
4.1.3 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

4.1.3.1 ผลของกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

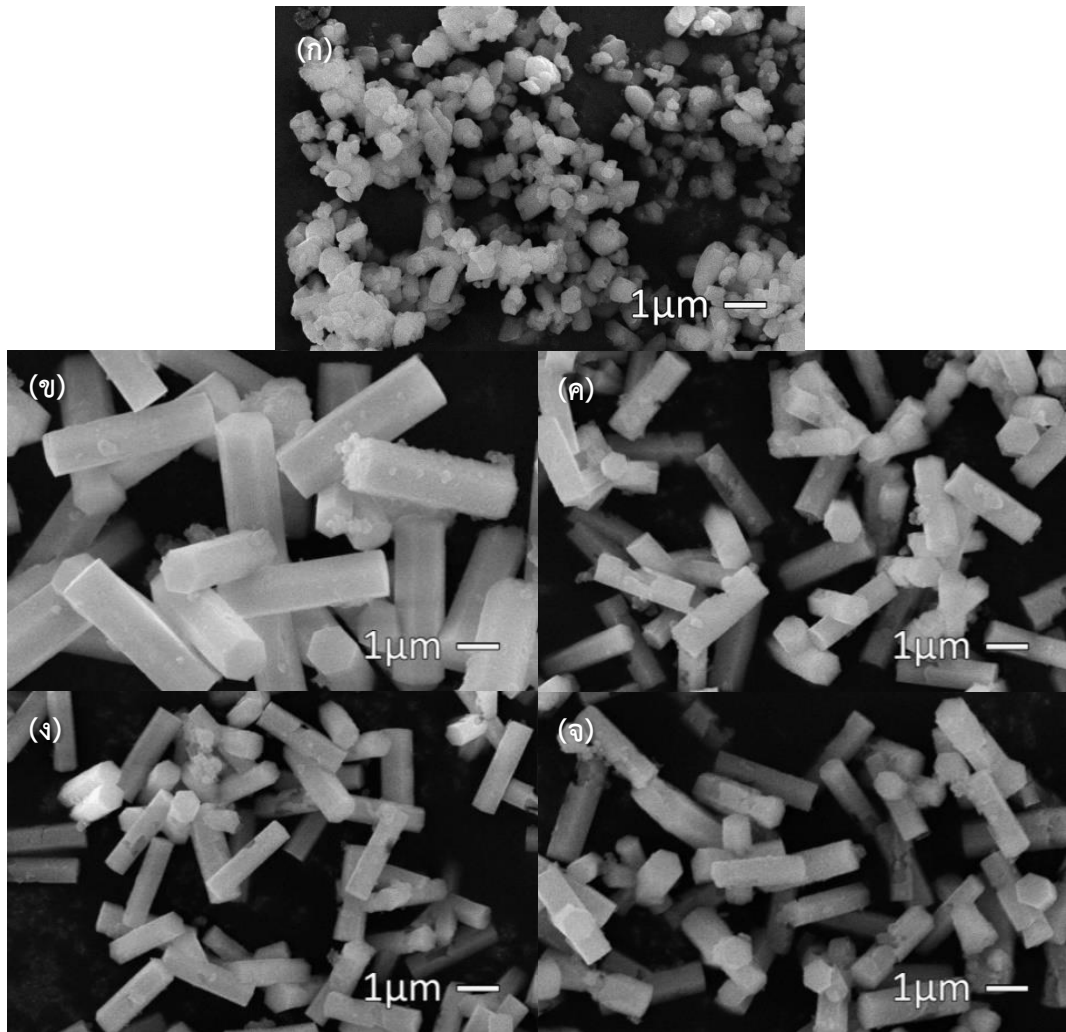
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 , JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกปริมาณการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติก เมื่อมีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกจะทำให้วัสดุมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูงขึ้น โดยการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกในปริมาณ 2 มิลลิโมล จะทำวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกที่สูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกในปริมาณ 4 และ 8 มิลลิโมล ปริมาณของกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกที่มากเกินไปจะทำให้ความเป็นผลึกของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ลดลงตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ก.-จ.) พบว่าวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ก) มีอนุภาคที่รูปร่างที่ไม่แน่นอนมีขนาดอยู่ช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน ในขณะที่วัสดุที่มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารช่วยกระจายตัวจะมีอนุภาคเป็นปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว แสดงให้เห็นว่าการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกจะส่งผลต่อการเติบโตของผลึกในรูปแบบที่จำเพาะ โดยวัสดุที่มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 1 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.5 ไมครอน ความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง 4 ถึง 5 ไมครอนซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ข) และเมื่อมีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 2 มิลลิโมลขึ้นไปขนาดอนุภาคจะเล็กลง ดังแสดงใน

รูปที่ 4.21 (ข) (ค) และ (ง) ซึ่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกันโดยมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน ความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง 2 ถึง 3 ไมครอน



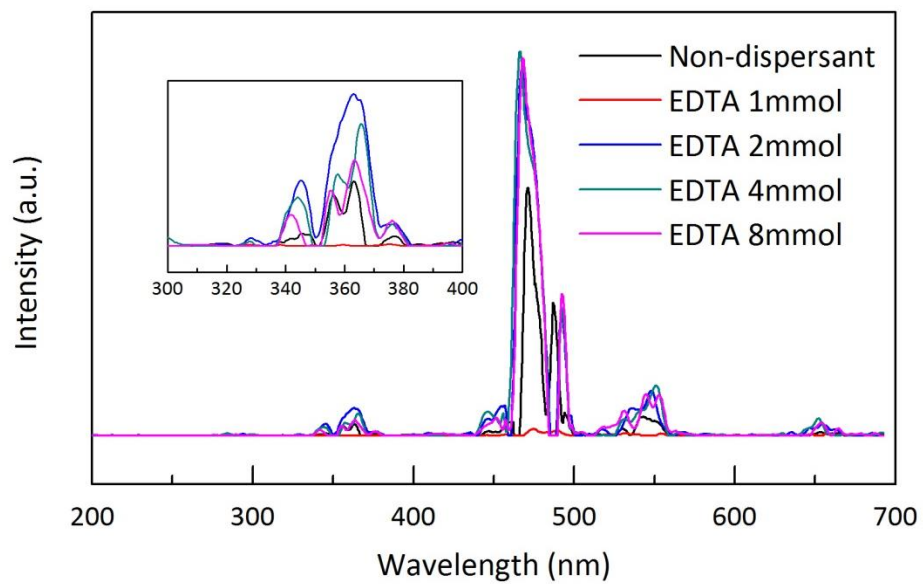
รูปที่ 4.20 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว และมีโดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล



รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของโซเดียมออกไซด์เตรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว (ก) และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ (ข) 1 (ค) 2 (ง) 4 และ (จ) 8 มิลลิโมล

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.22 วัสดุที่มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกจะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว และมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการเปล่งแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าวัสดุที่มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกใน

ปริมาณ 1 มิลลิโมล แทบจะไม่มี การเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตเลย เมื่อมีการเพิ่ม ปริมาณกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็น 2 มิลลิโมล จะมีการเปล่งแสงในช่วงแสง อัลตราไวโอเล็ตที่สูงขึ้น และเมื่อมีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกในปริมาณ 4 และ 8 มิลลิโมล ปริมาณของกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกที่มากเกินไปที่ทำให้ความเป็นผลึกของ วัสดุที่สังเคราะห์ได้ต่ำลงจะทำให้การเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตลดลงเช่นเดียวกัน



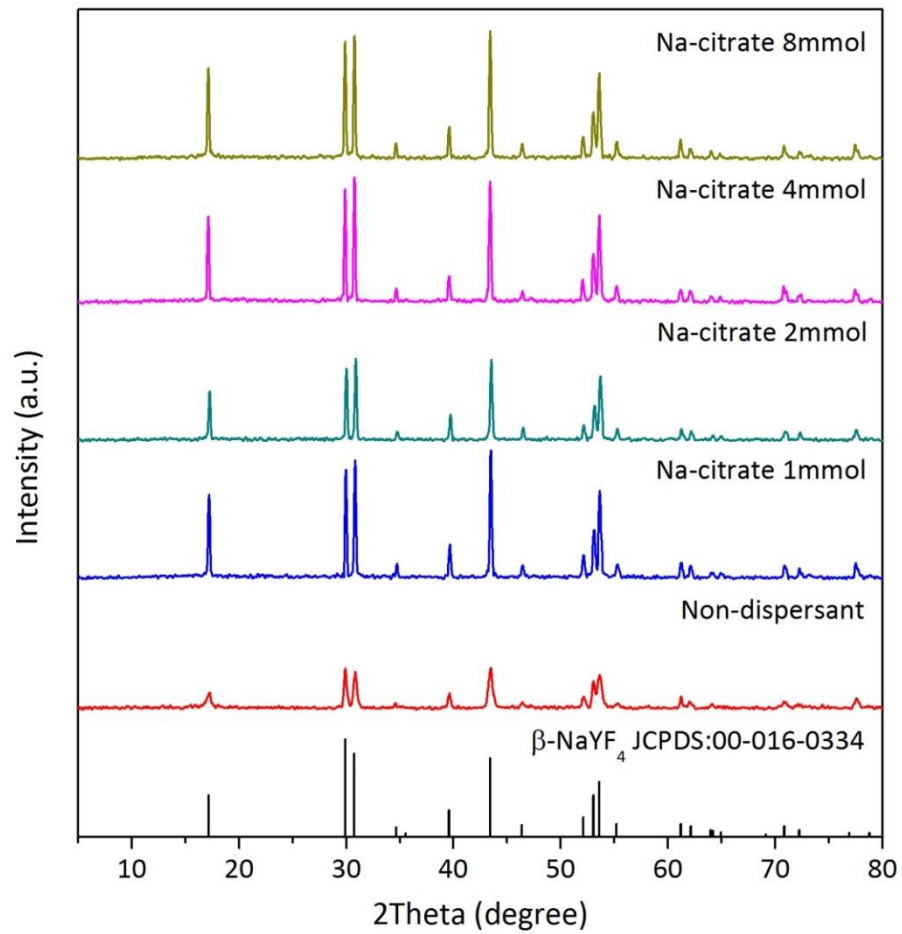
รูปที่ 4.22 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.1.3.2 ผลของโซเดียมซิเตรตที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

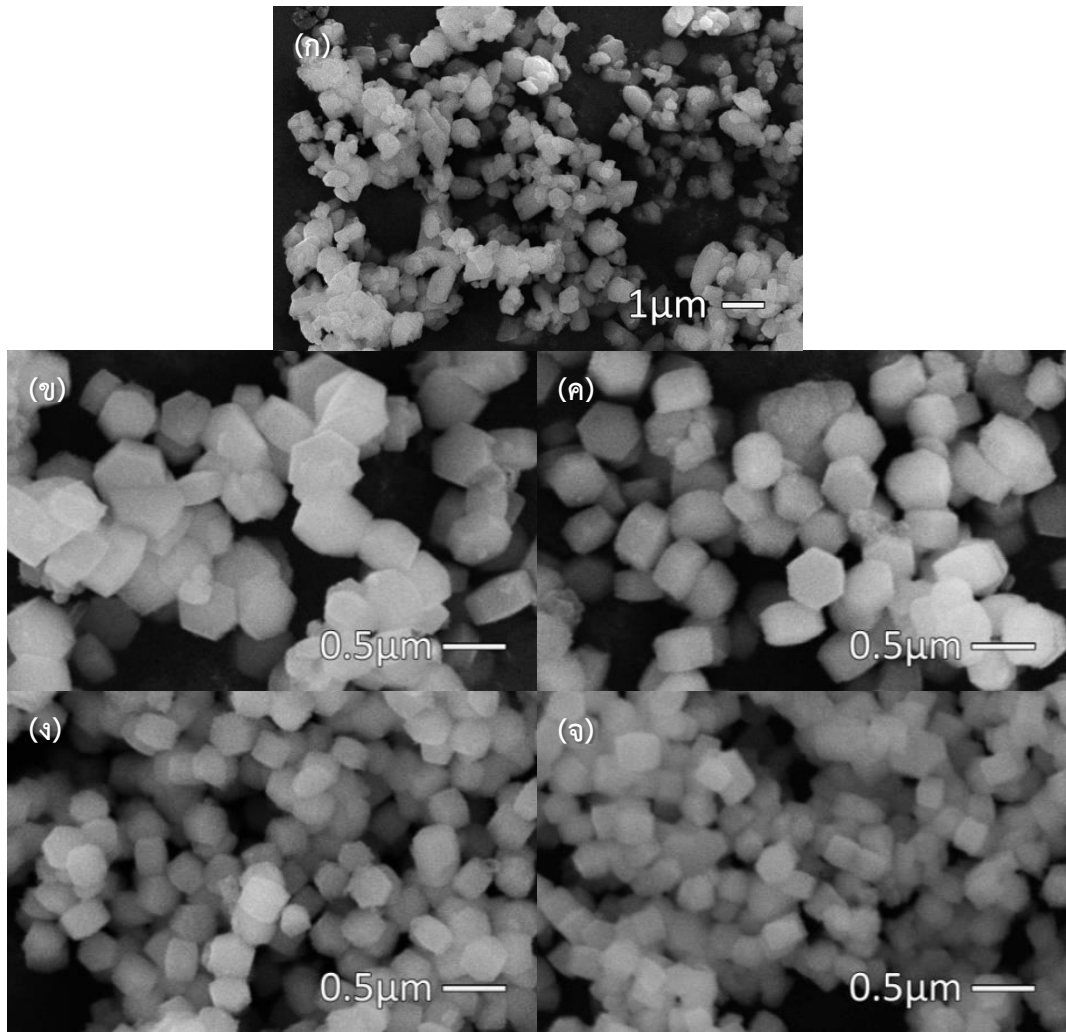
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอัลฟอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกปริมาณการเติมโซเดียมซิเตรต โดยการเติมโซเดียมซิเตรตจะทำให้วัสดุมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มี

การเติมสารช่วยกระจายตัว โดยการเติมโซเดียมซิเตรตในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบที่เกิดขึ้นไม่ชัดเจน

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก-จ) พบว่าวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก) มีอนุภาคที่รูปร่างที่ไม่แน่นอนมีขนาดอยู่ช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน ในขณะที่วัสดุที่มีการเติมโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวจะมีอนุภาคเป็นปริซึมหกเหลี่ยมแท่งสั้น แสดงให้เห็นว่าการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเทรธาอะซิติกจะส่งผลต่อการเติบโตของผลึกในรูปแบบที่จำเพาะ โดยการเติมโซเดียมซิเตรตในปริมาณ 1 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 0.6 ไมครอน และมีความหนาอยู่ในช่วงระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 ไมครอนซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ข) เมื่อมีการเติมโซเดียมซิเตรตในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะมีขนาดอนุภาคจะเล็กลง โดยเมื่อเติมโซเดียมซิเตรตในปริมาณ 2 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ไมครอน และมีความหนาอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.3 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ค) และเมื่อเติมโซเดียมซิเตรตในปริมาณ 4 และ 8 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีอนุภาคที่ขนาดที่ใกล้เคียงกันโดยมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 ไมครอน และมีความหนาอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ถึง 0.2 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ง) และ (จ)



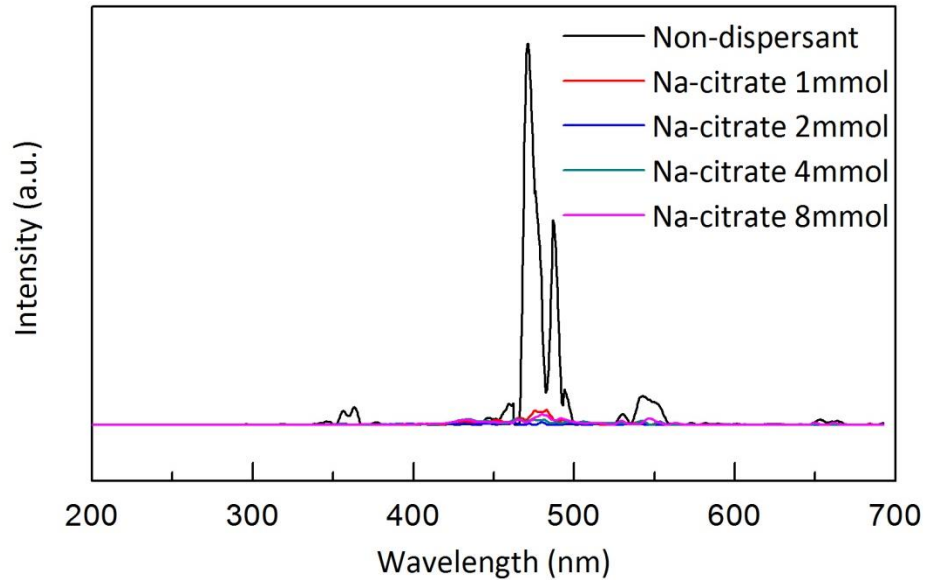
รูปที่ 4.23 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเตรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล



รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดย (ก) ไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ (ข) 1 (ค) 2 (ง) 4 และ (จ) 8 มิลลิโมล

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.25 พบว่าวัสดุที่มีการเติมโซเดียมซิเตรตแม้วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีความเป็นผลึกที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีเติมสารช่วยกระจายตัวแล้ว แต่การเปล่งที่ได้กลับมีค่าที่ต่ำหรือแทบไม่พบ

การเปล่งแสงเลย ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะของอนุภาคที่มีลักษณะเป็นปริซึมหกเหลี่ยมแท่งสั้น อาจส่งผลทำให้มีการเปล่งแสงที่ต่ำด้วย

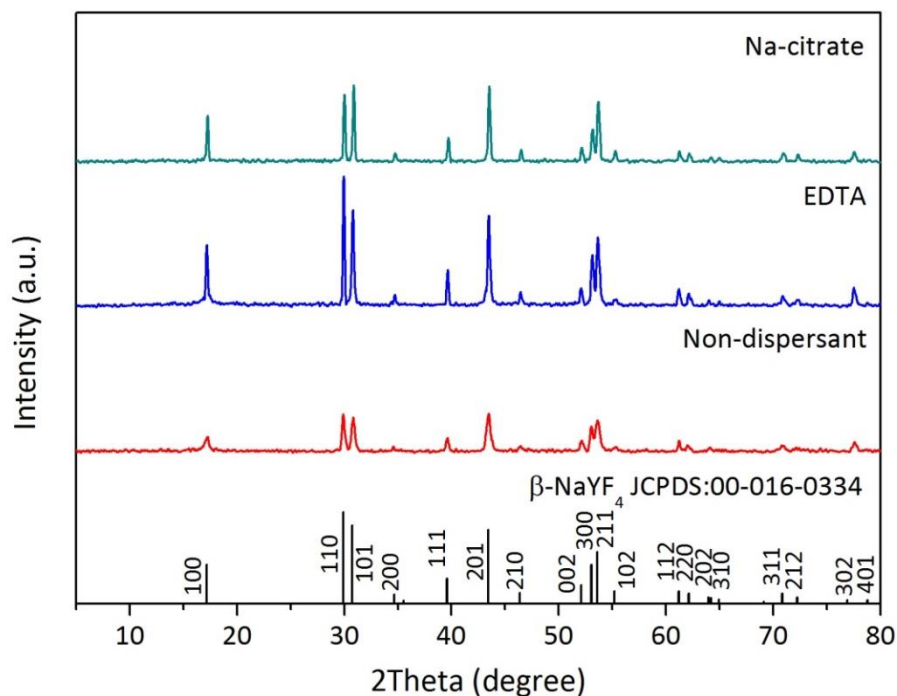


รูปที่ 4.25 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการใช้สารช่วยกระจายตัว และมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวในปริมาณ 1 2 4 และ 8 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

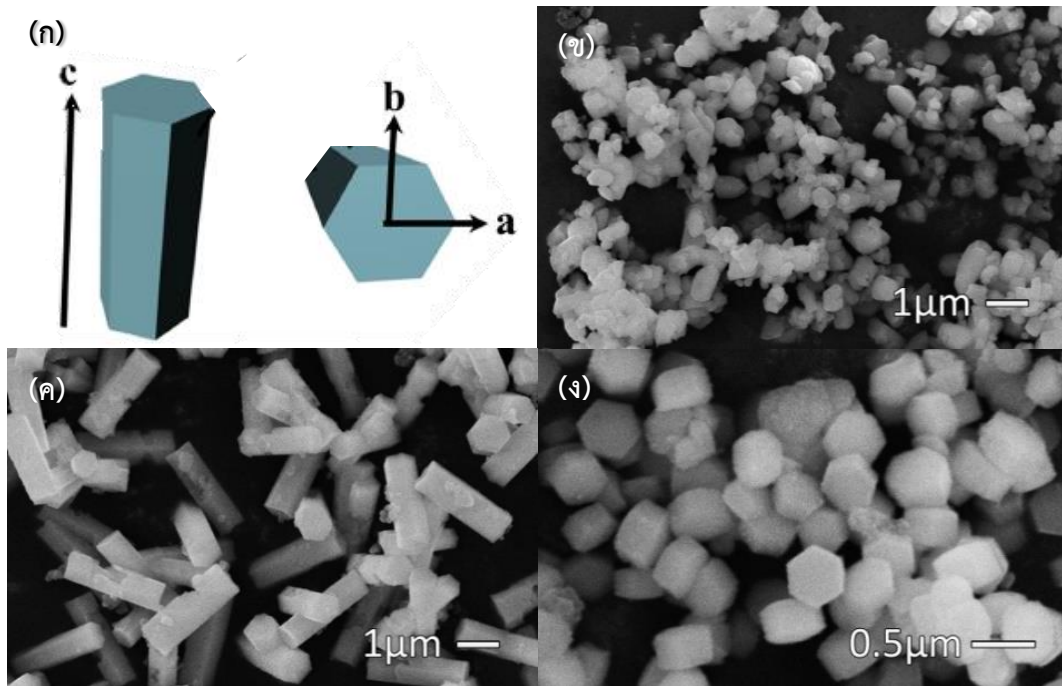
จากการศึกษาผลการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีการเติมสารช่วยกระจายตัวที่แตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็นวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเตทราอะซิติกเป็นสารช่วยกระจายตัว และเติมโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β - NaYF_4 JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกการเติมสารช่วยกระจายตัวที่แตกต่างกัน โดยการใช้สารช่วยกระจายตัวที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะของเฟสองค์ประกอบที่เกิดขึ้น โดยเมื่อพิจารณาความสูงของพีคบริเวณ 30 องศาซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดหน้าผลึก (110) และ (101) จะเห็นได้ว่าวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว และมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเตทราอะซิติก (EDTA) เป็นสารช่วยกระจายตัวนั้นจะมีความสูงของพีคของหน้าผลึก

(110) สูงกว่าพีคของหน้าผลึก (101) ในขณะที่วัสดุที่เติมโซเดียมซิเตรตจะพีคของหน้าผลึก (110) ต่ำกว่าพีคของหน้าผลึก (101) เป็นผลให้ลักษณะอนุภาคของวัสดุที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้สารช่วยกระจายตัวที่ต่างกันจะมีลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งหน้าผลึก (110) โดยตำแหน่งตัวเลขทั้งสามตัวแทนตามแกน (abc) นั้นบ่งบอกถึงหน้าผลึกที่ขนานไปตามแกน c ในขณะที่หน้าผลึก (101) ที่สามารถบ่งบอกถึงหน้าผลึกที่ตั้งฉากกับแกน c [26] แสดงในรูปที่ 4.27 (ก) แสดงว่าหากการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบตรวจพบความสูงของพีคของหน้าผลึก (110) มากกว่าพีคของหน้าผลึก (101) แล้วลักษณะของอนุภาคที่ปรากฏจะเป็นอนุภาคที่มีการเติบโตไปตามแกน c ได้มาก

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ข-ง) วัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัวนั้นจะปรากฏรูปร่างไม่ชัดเจน ในขณะที่วัสดุที่มีการเติมโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว จะมีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว คือมีการเติบโตไปตามแนวแกน c ที่มาก และวัสดุที่มีการเติมโซเดียมซิเตรตจะมีการเติบโตไปตามแนวแกน c ต่ำ ทำให้มีลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งสั้นนั่นเอง

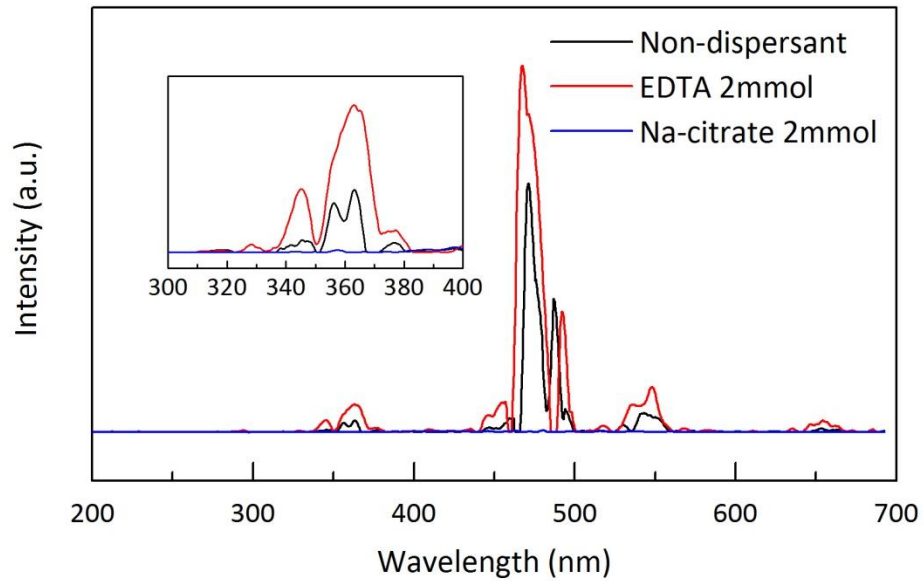


รูปที่ 4.26 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเตรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว มีกรตเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกและโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว



รูปที่ 4.27 แบบจำลองผลึก (ก) และสัณฐานวิทยาของโซเดียมออกไซด์เตรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียม และทูลีเยียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดย (ข) ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว (ค) มีการเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติก และ (ง) โซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.28 โดยที่วัสดุที่มีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวที่มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งสั้นจะมีการเปล่งแสงที่ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัวและวัสดุที่มีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติกเป็นสารช่วยกระจายตัวที่มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว นอกจากนี้การเติมกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซีติกเป็นสารช่วยกระจายตัวยังช่วยเพิ่มการเปล่งแสงได้ทั้งในช่วงแสงวิสิเบิล และแสงอัลตราไวโอเล็ต ดังแสดงในส่วนขยายของแผนภาพในรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการเปล่งแสงหลักขึ้นอยู่กับความยาวของอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งที่เกิดขึ้น ยิ่งอนุภาคมีความยาวมากความสามารถในการเปล่งแสงก็จะยิ่งสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจเกิดจากความหนาแน่นของแลนทาไนด์ไอออนที่เจืออยู่ในระบบที่มีไม่เท่ากันในแต่ละหน้าผลึก จึงทำให้แต่ละหน้าผลึกเกิดการดูดกลืนและเปล่งแสงต่างกัน



รูปที่ 4.28 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเตรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว มีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกและโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัว เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

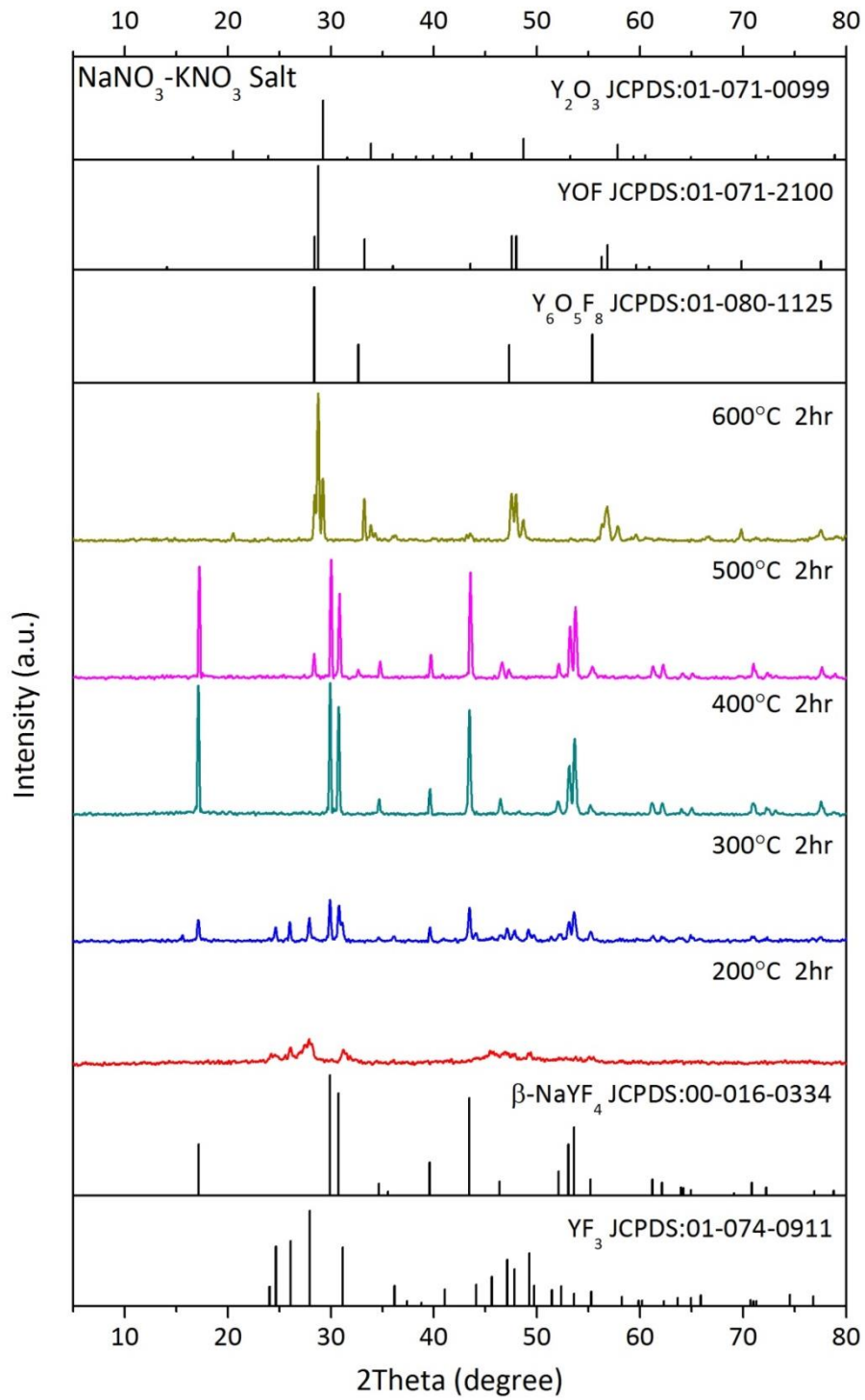
4.2 ผลการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

4.2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

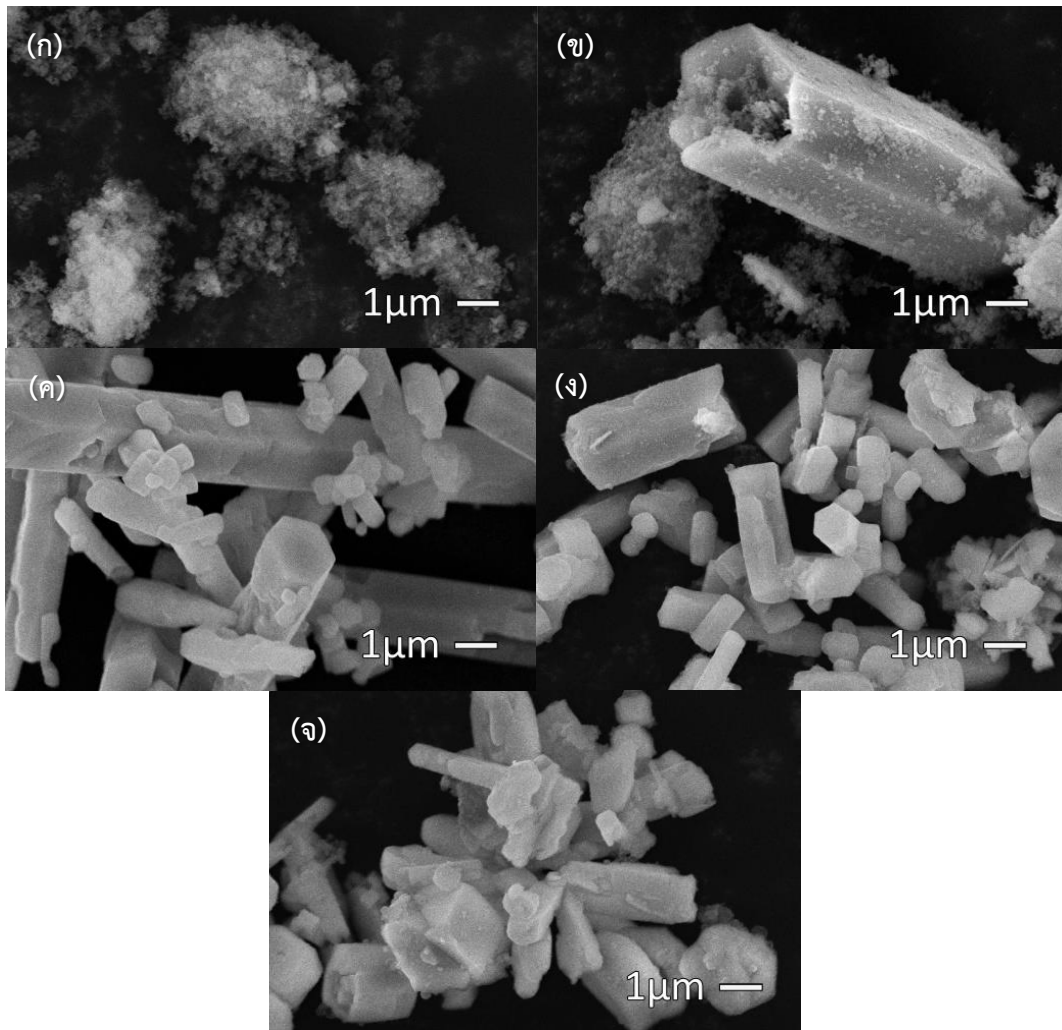
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.29 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีเฟสองค์ประกอบอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออร์โธโรมบิก (orthorhombic) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล ($\beta-NaYF_4$, JCPDS no. 00-016-0334) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยที่ไม่มีเฟสองค์ประกอบอื่นเจือปน และมีความเป็นผลึกที่สูง ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูง และมีความกว้างที่แคบซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่สูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะเริ่มเกิดเฟสผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลและอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ (Y_2O_3 , JCPDS no. 01-080-1125) และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนเฟสองค์ประกอบไปเป็นเฟสผสมของอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ (YOF , JCPDS no. 01-071-2100) และอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3 , JCPDS no. 01-071-0099) โดยไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ก-จ) วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสมีอนุภาคของอิตเทรียมฟลูออไรด์เป็นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน และมีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ (agglomerate) ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ก) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส จะพบอนุภาคปริซึม

หกลีเย่มแ่งกหลวงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอนอลซึ่งปรากฏให้เห็นสันของปริซึมด้านข้างอย่างชัดเจนและมีความกลวงภายในแ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ข) โดยมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ความยาว 5 ถึง 10 ไมครอน และมีอนุภาคขนาดเล็กของอิตเทรียมฟลูออไรด์กระจายตัวอยู่ล้อมรอบทั้งภายในและภายนอกของอนุภาคปริซึมหกลีเย่มแ่งกหลวง [26] เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคปริซึมหกลีเย่มแ่งยาวของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอนอลที่เห็นหน้าหกลีเย่มได้อย่างชัดเจน แต่มีขนาดที่หลากหลายปะปนกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ค) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 20 ไมครอน แต่จะสังเกตได้ว่าโดยรวมแล้วอนุภาคมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างหน้าตัดมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีรูปทรงไม่แน่นอนของอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ง) ปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกลีเย่มแ่งยาวของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอนอล และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีรูปทรงไม่แน่นอนของอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ และอิตเทรียมออกไซด์ปะปนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (จ) โดยไม่พบอนุภาคปริซึมหกลีเย่มแ่งยาวของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอนอลเลย



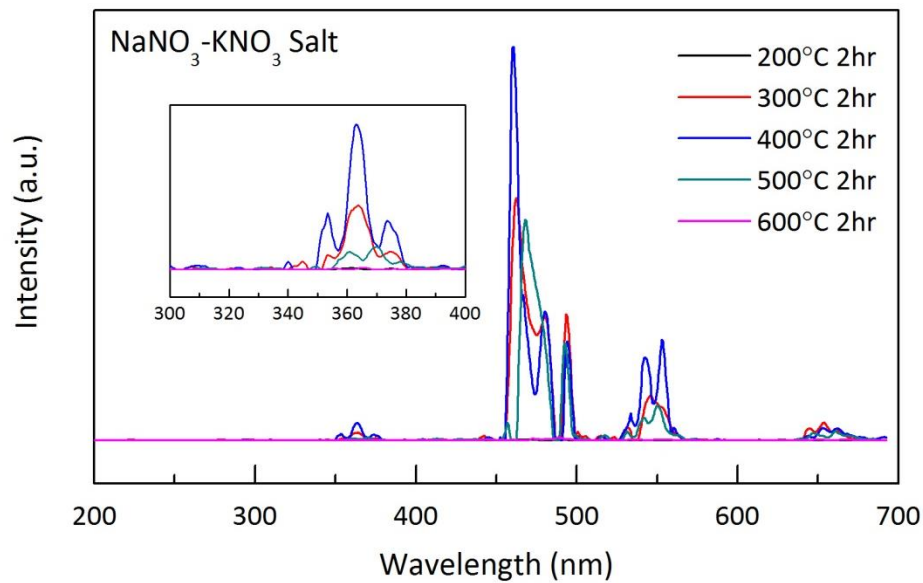
รูปที่ 4.29 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 (ง) 500 และ (จ) 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.31 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งวัสดุที่สังเคราะห์ได้ไม่พบเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส ซึ่งวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลและอิตเทรียมฟลูออไรด์จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์

เป็น 400 องศาเซลเซียส ซึ่งวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เพียงเฟสเดียว โดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนจะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียสวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสผสมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลและอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ จะมีการเปล่งแสงที่ลดลง และแทบไม่พบการเปล่งแสงเลยเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสซึ่งวัสดุที่สังเคราะห์ได้ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย



รูปที่ 4.31 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่

สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

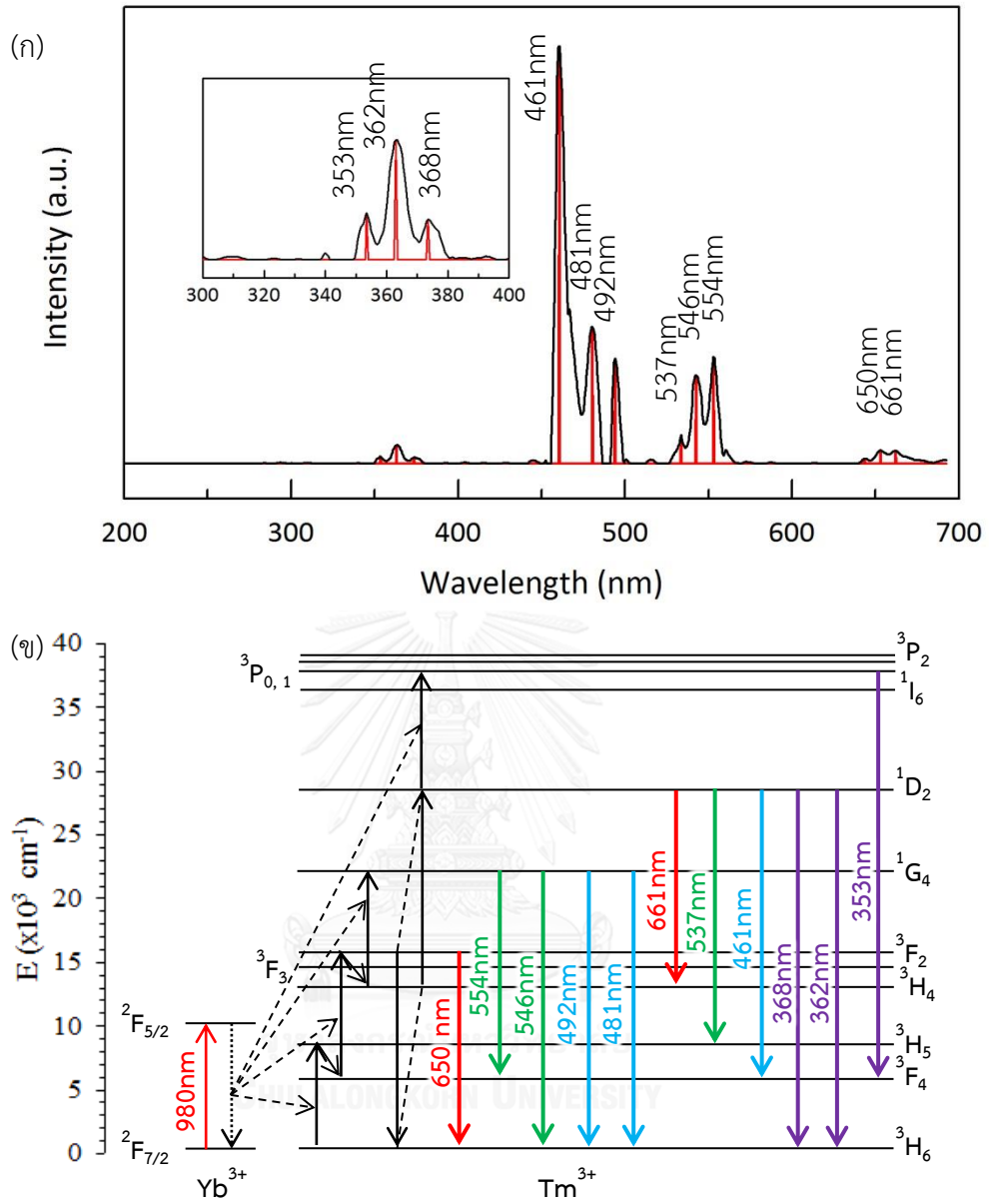
โดยหากพิจารณาการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต จะพบการเปล่งแสงที่ชัดเจนในช่วงแสงวิสิเบิล คือ แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 461 481 และ 492 นาโนเมตร แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 537 546 และ 554 นาโนเมตร และแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 650 และ 661 นาโนเมตร และพบการเปล่งแสงที่ชัดเจนในช่วงอัลตราไวโอเล็ตคือที่ความยาวคลื่น 353 362 และ 368 นาโนเมตร ดังแสดงใน

รูปที่ 4.32 (ก) โดยมีกลไกการเกิดอพัคอนเวอร์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.32 (ข) สามารถแบ่งลักษณะเกิดการเปล่งแสงได้ 3 ลักษณะ [4, 12, 47-49] คือ

1. เมื่ออิตเทอร์เบียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาซ้ำๆ โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3F_2 เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ในขณะที่อิเล็กตรอนบางส่วนที่อยู่ในชั้นพลังงาน 3F_2 ที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3H_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 1G_4 เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3F_4 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 554 นาโนเมตร และเมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 481 492 และ 546 นาโนเมตร
2. เมื่ออิตเทอร์เบียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน $^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน $^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาซ้ำๆ พร้อมกับมีการเกิดคลอสรี่เล็กเซชันของอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเองร่วมด้วย โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3F_2 ที่ชั้นพลังงานนี้อิเล็กตรอนจึงเกิดคลอสรี่เล็กเซชันเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยกันเองทำให้สามารถขึ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นคือชั้นพลังงาน 1D_2 ได้ เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_4 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 661 นาโนเมตร เมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_5 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 537 นาโนเมตร เมื่อตกกลับมา

ยังชั้นพลังงาน 3F_4 จะเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 461 นาโนเมตร และเมื่อตกกลับมายังชั้นพลังงาน 3H_6 จึงเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 362 และ 368 นาโนเมตร

- เมื่ออิตเทอร์เบียมไอออนได้รับพลังงานกระตุ้นอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน ${}^2F_{7/2}$ ไปยังชั้นพลังงาน ${}^2F_{5/2}$ เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังชั้นพลังงาน ${}^2F_{7/2}$ จะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนไปยังทูลีียมไอออน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ของทูลีียมไอออนได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาบ้าง ๆ พร้อมทั้งมีการเกิดคลอสรีเล็กเซชันของอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยตัวเอง และสุดท้ายยังได้รับการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้ง โดยที่อิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน 3H_6 ถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3H_5 อิเล็กตรอนที่มีความเสถียรต่ำจึงลดพลังงานลงโดยการตกลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และได้รับพลังงานที่ถ่ายเทมาจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งจึงถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน 3F_2 ที่ชั้นพลังงานนี้ อิเล็กตรอนจึงเกิดคลอสรีเล็กเซชันเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนภายในทูลีียมไอออนด้วยตัวเองทำให้สามารถขึ้นไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นคือชั้นพลังงาน 1D_2 ได้ สุดท้ายจึงได้รับการถ่ายเทพลังงานจากอิตเทอร์เบียมไอออนอีกครั้งและถูกกระตุ้นไปยังชั้นพลังงาน ${}^3P_{0,1}$ เมื่อตกกลับลงมายังชั้นพลังงาน 3F_4 และเกิดการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 353 นาโนเมตรนั่นเอง



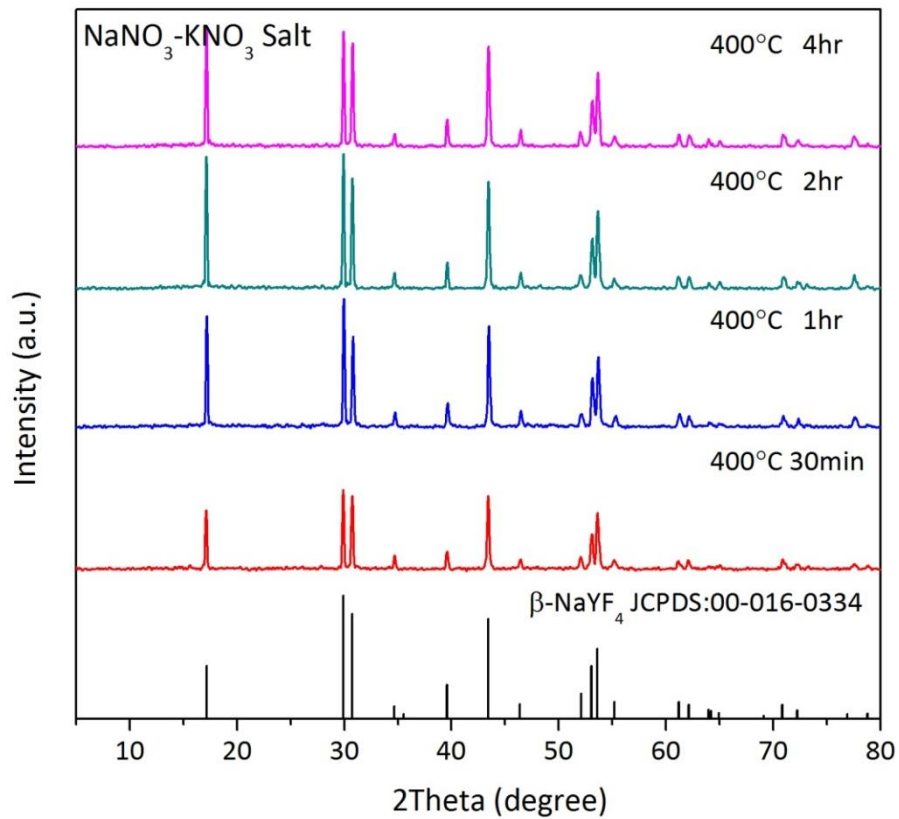
รูปที่ 4.32 การเปล่งแสง (ก) และ (ข) กลไกการเกิดอพัคคอนเวอร์ชันของโซเดียมอิตเทรียม ฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

4.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

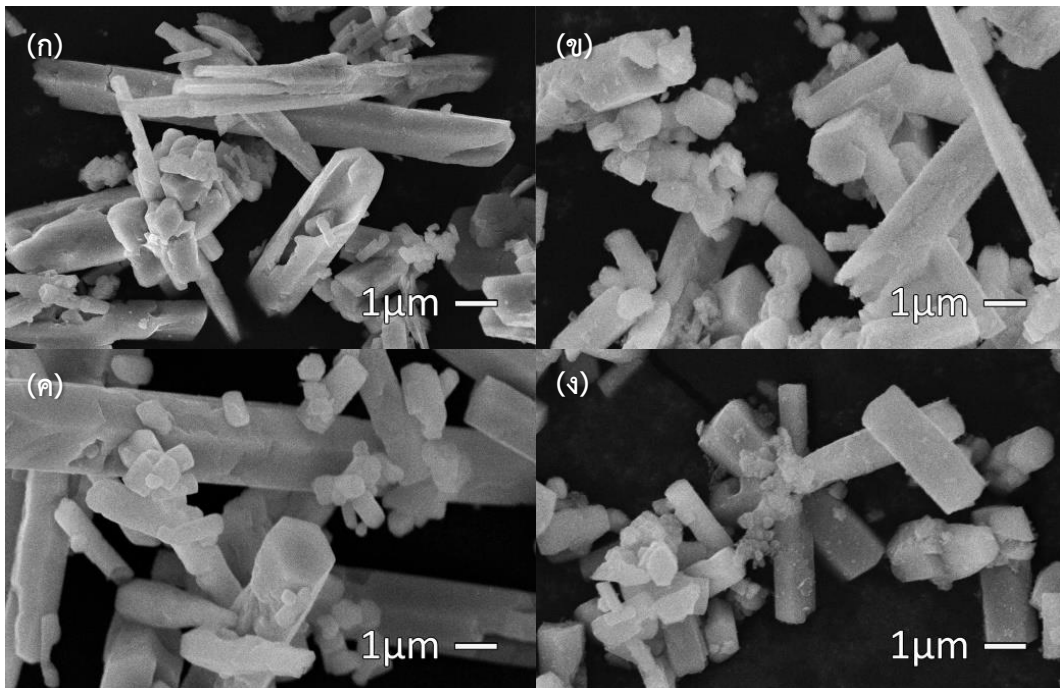
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปติคัลอินทรีย์ชั้นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.33 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β -NaYF₄ JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียว โดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ และมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์นานขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งมีพีคบริเวณ 17 และ 30 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่สูงขึ้น โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะมีความเป็นผลึกที่สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะมีความเป็นผลึกที่ต่ำลง

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (ก.-ง.) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที จะพบอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลางของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลซึ่งปรากฏให้เห็นสันของปริซึมด้านข้างอย่างชัดเจนและมีความกลมภายในแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (ก) โดยมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 5 ถึง 10 ไมครอนปะปนอยู่กับอนุภาคแท่งยาวความกว้างหน้าตัด 0.3 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 5 ถึง 10 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่มีหน้าตัดเป็นรูปหกเหลี่ยมอย่างชัดเจน แต่มีขนาดที่หลากหลายปะปนกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (ข) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 0.5 ถึง 1 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.5 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 15 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (ค) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 20 ไมครอน และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา

4 ชั่วโมง จะเริ่มพบอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมโซเดียมไควต์ที่มีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.5 ไมครอน ความยาว 5 ถึง 10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.34 (ง) ปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

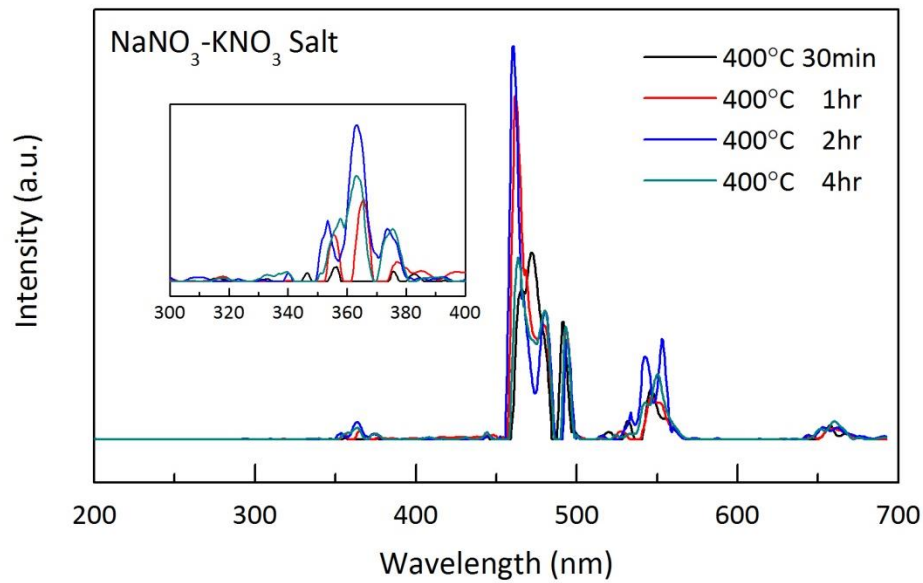


รูปที่ 4.33 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.34 สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.35 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที ที่มีความเป็นผลึกที่ต่ำที่สุด และมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลางปะปนอยู่ จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำที่สุด เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมงวัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีอนุภาคเป็นปริซึมหกเหลี่ยมที่สมบูรณ์ และมีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีการเปล่งแสงที่มากขึ้น โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 2 ชั่วโมงจะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุดในช่วงแสงวิสิเบิล และแสงอัลตราไวโอเล็ต และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์ขึ้นเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่ลดลง แต่มีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดในลักษณะเดียวกันกับวัสดุโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่เมื่อมีอนุภาคเริ่มเกิดเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ปะปนอยู่มากขึ้นจะมีการเปล่งแสงวิสิเบิลที่ลดลงแต่จะมีการเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เพิ่มขึ้น



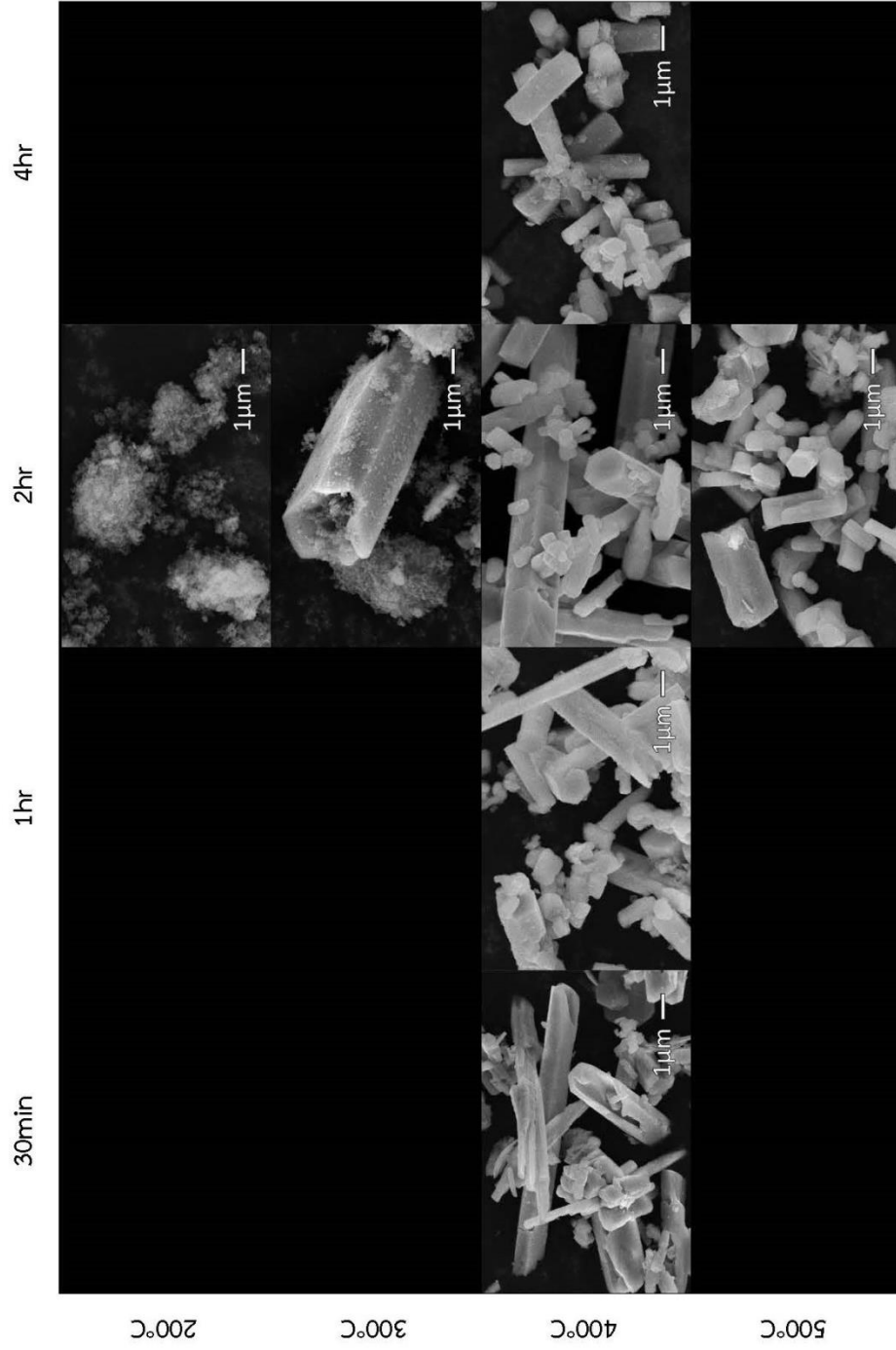
รูปที่ 4.35 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต พบว่าจะสามารถสังเคราะห์ได้วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มที่จะมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น

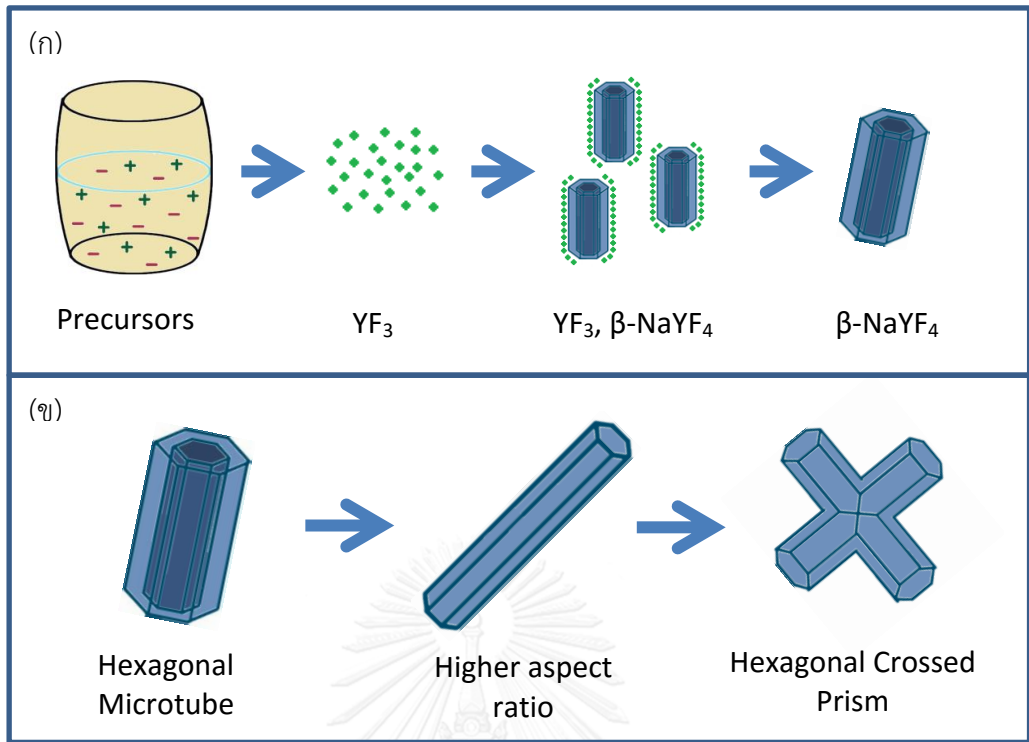
สามารถสรุปภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนุภาคได้ดังแสดงในรูปที่ 4.36 ดังจะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาได้ดังรูปที่ 4.37 (ก) โดยเริ่มต้นจากการเกิดนิวเคลียสของสารในระบบซึ่งเกิดเฟสของอิตเทรียมฟลูออไรด์ จากนั้นเมื่อมีการให้อุณหภูมิที่ยาวนานขึ้นหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น อิตเทรียมฟลูออไรด์อาจเกิดการละลายกลับเข้าไปในระบบอีกครั้ง หรือเกิดการเกาะตัวรวมกันและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล โดยในขั้นต้นอาจเกิดเป็นลักษณะเฟสอิตเทรียมฟลูออไรด์ล้อมรอบผลึกของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลไว้ [26] จากนั้นเมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมจะ

เกิดเป็นเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลทั้งหมดโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลาง (hexagonal microtube) และเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่ยาวนานขึ้น จะเกิดการพัฒนาของการเกิดอนุภาคจากการเกิดเป็นปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลางไปเป็นอนุภาคปริซึมแท่งยาว และอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 (ข) ตามลำดับ

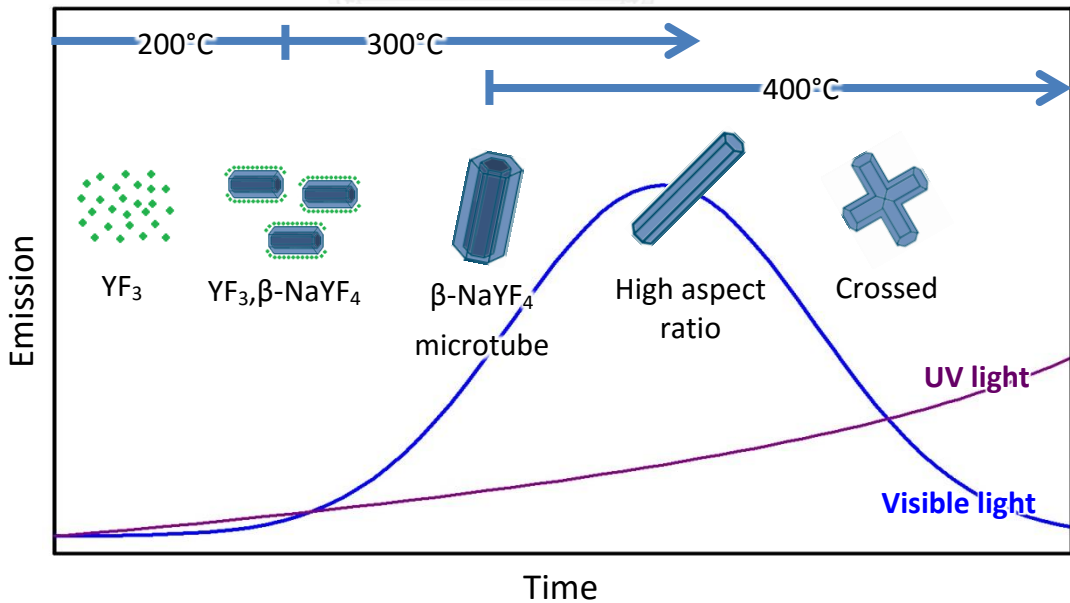
โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ สันฐานวิทยา และการเปล่งแสงได้ ดังรูปที่ 4.38 โดยหากแบ่งการพิจารณาเป็นช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตแล้ว พบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้น แนวโน้มที่วัสดุมีความเป็นผลึกสูงขึ้นจะทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงที่ดีขึ้น และเมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสภาวะหนึ่งซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดหลากหลาย ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 20 ไมครอน แต่โดยรวมแล้วมีขนาดที่ใหญ่ที่สุดและมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างที่มาก จะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด เมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะทำให้การเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลลดลงอีกครั้ง อาจเกิดจากการที่วัสดุเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกและอนุภาค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้แม้จะส่งผลให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลที่ลดลง แต่จะทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มากขึ้น ดังสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.36 สัณฐานวิทยาของเซเดียมเอตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทังสเตมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.37 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลง (ก) เฟสองค์ประกอบจากโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ โครงสร้างคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล และ (ข) สัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ อิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย



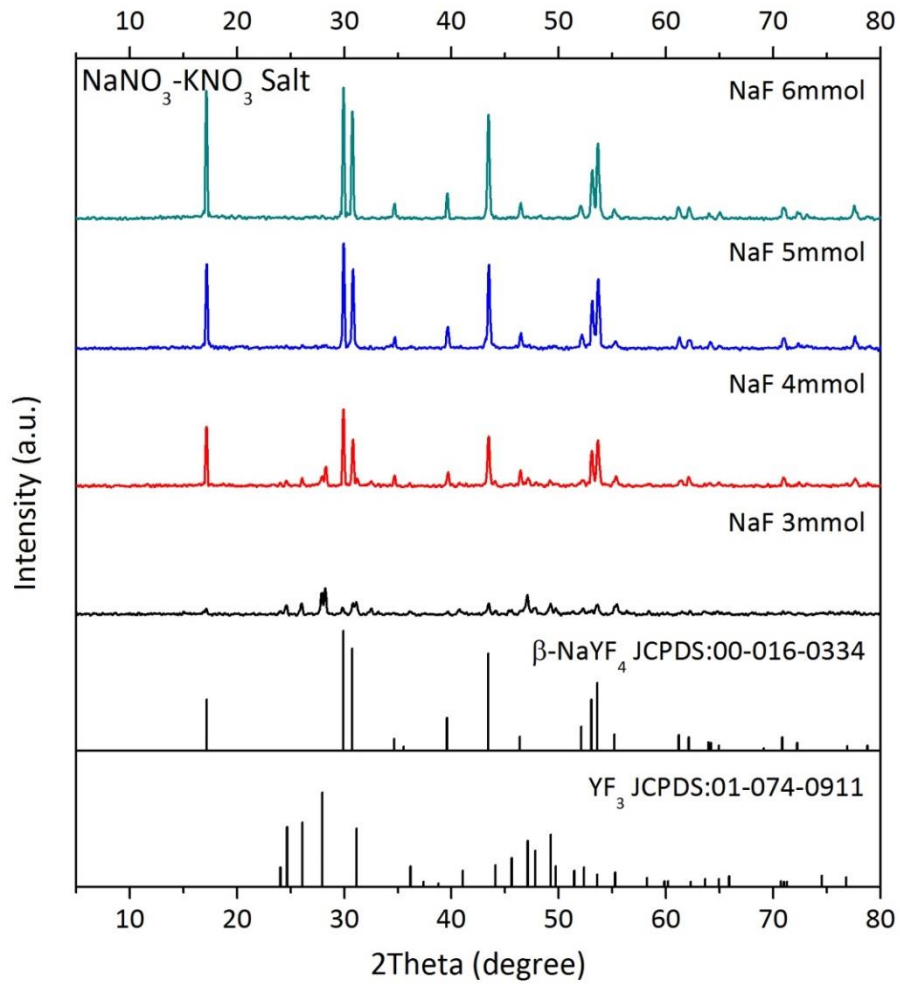
รูปที่ 4.38 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาและการเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

4.2.3 ผลของปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

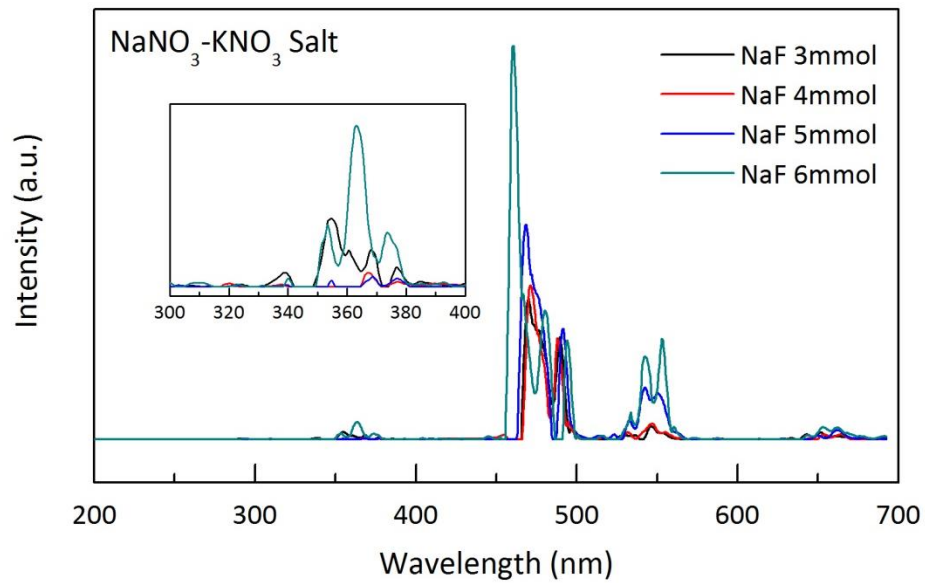
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอ์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 มิลลิโมล จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์มากขึ้นเป็น 4 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล ($\beta-NaYF_4$, JCPDS no. 00-016-0334) เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์เป็น 5 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยที่ไม่มีเฟสอื่นเจือปน และมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์เป็น 6 มิลลิโมล

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.40 (ก-ง) วัสดุที่สังเคราะห์โดยใช้โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ 3 มิลลิโมล มีอนุภาคปริมาตรคู่ฐานสี่เหลี่ยมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.40 (ก) ขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.5 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่ปรากฏสันด้านข้างให้เห็นอย่างชัดเจน โดยมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 30 ไมครอน เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์มากขึ้นเป็น 4 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีอนุภาคปริมาตรคู่ฐานสี่เหลี่ยมที่มีการเกาะกลุ่มกันปะปนอยู่กับอนุภาคแท่งที่มีขนาดที่หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.40 (ข) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ไมครอน ความยาว 4 ถึง 5 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 30 ไมครอน และเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์มากขึ้นเป็น 5 และ 6 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้ มีขนาดและลักษณะอนุภาคโดยรวมที่ใกล้เคียงกัน โดยมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้าหกเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน แต่มีขนาดที่หลากหลายปะปนกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.40 (ค) และ (ง) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาด

ความกว้างหน้าต่างตั้งอยู่ในช่วงจ 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมี
ขนาดความกว้างหน้าต่างตั้งอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 30 ไมครอน



รูปที่ 4.39 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่
สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล



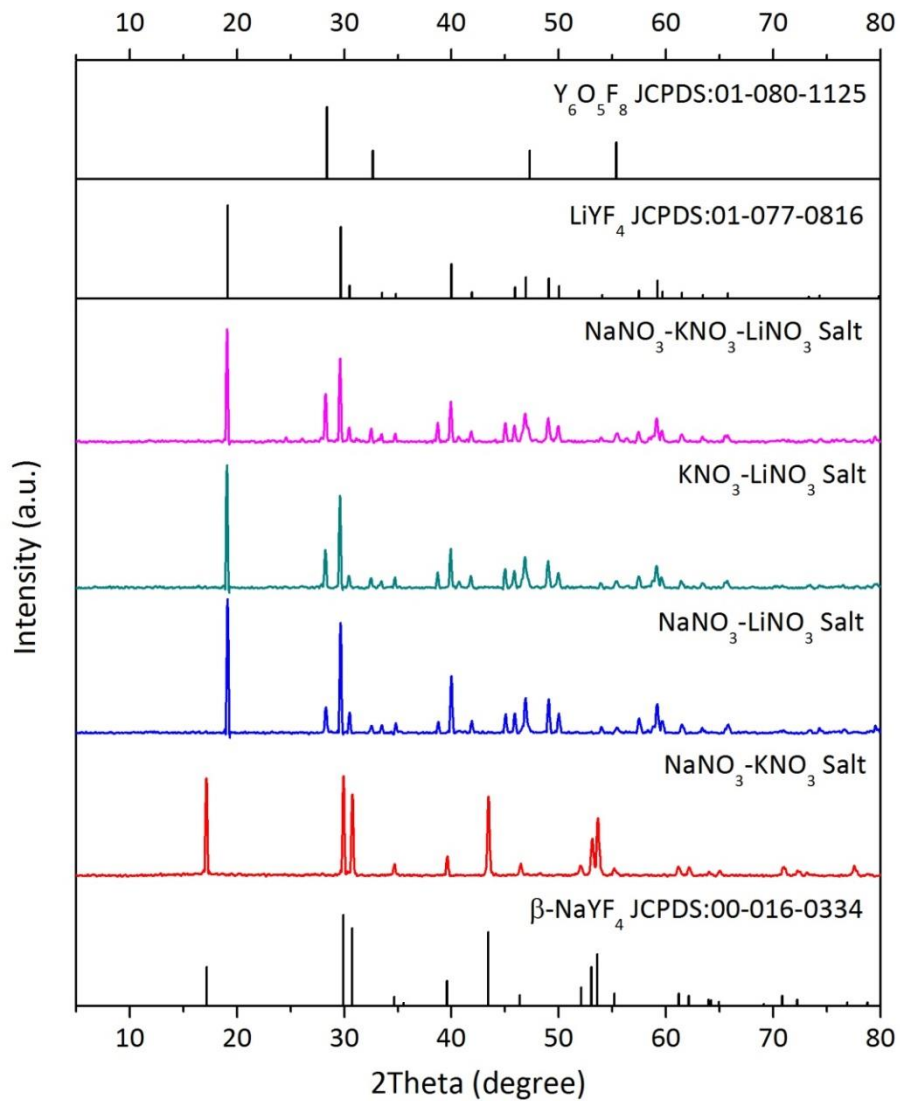
รูปที่ 4.41 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 3 4 5 และ 6 มิลลิโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4 ผลของระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

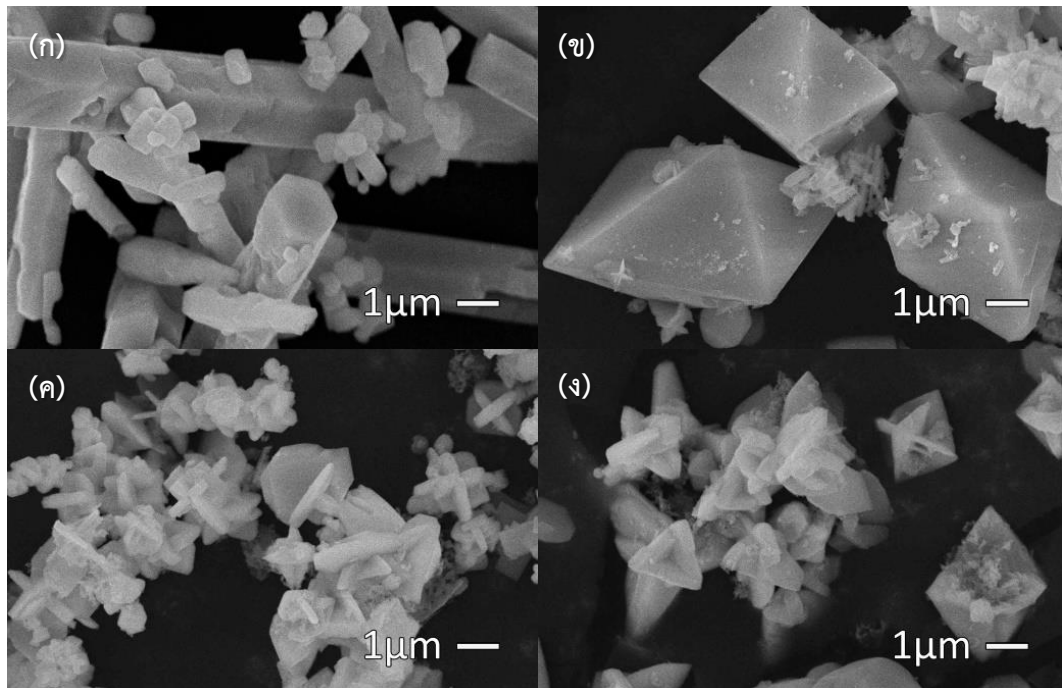
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.42 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต จะมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล ($\beta\text{-NaYF}_4$, JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยที่ไม่มีเฟสองค์ประกอบอื่นเจือปน ในขณะที่วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต จะมีเฟสผสมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ (LiYF_4 , JCPDS no. 01-077-0816) และอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($\text{Y}_6\text{O}_5\text{F}_8$, JCPDS no. 01-080-1125) โดยไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย อาจเกิดจากลิเทียมไอออนซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักอะตอมที่เบากว่าโซเดียมไอออน จึงทำให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า จึงทำให้การสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือที่มีลิเทียมไอออนอยู่ในระบบเกิดเป็นเฟสลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์แทนโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต จะมีความเป็นผลึกของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สูงที่สุด ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.42 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง รองลงมาเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตตามลำดับ ในทางกลับกันวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต จะมีความเป็นผลึกของอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่สูงที่สุด ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.42 ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง รองลงมาเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตตามลำดับ อาจเนื่องจากระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรต

และลิเทียมไนเตรตมีอุณหภูมิหลอมตัวที่สัดส่วนยูเทคติกที่ใช้ในการทดลองที่ต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ถึงแม้จะทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำลง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดเป็นเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์มากขึ้นแทน รองลงมาเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตซึ่งมีอุณหภูมิหลอมตัวที่สัดส่วนยูเทคติกที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส และโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตซึ่งมีอุณหภูมิหลอมตัวที่สัดส่วนยูเทคติกที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.43 (ก.-จ.) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เห็นหน้าหกเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน แต่มีขนาดที่หลากหลายปะปนกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.43 (ก) ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 20 ไมครอน วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตมีอนุภาคปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเทตราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.43 (ข) โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ไมครอน ความกว้าง 5 ถึง 6 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน ในขณะที่วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตจะมีอนุภาคที่ลักษณะและขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.43 (ค) และ (ง) ซึ่งอนุภาคแผ่นที่ผสมกันเป็นปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเทตราโกนอลขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน



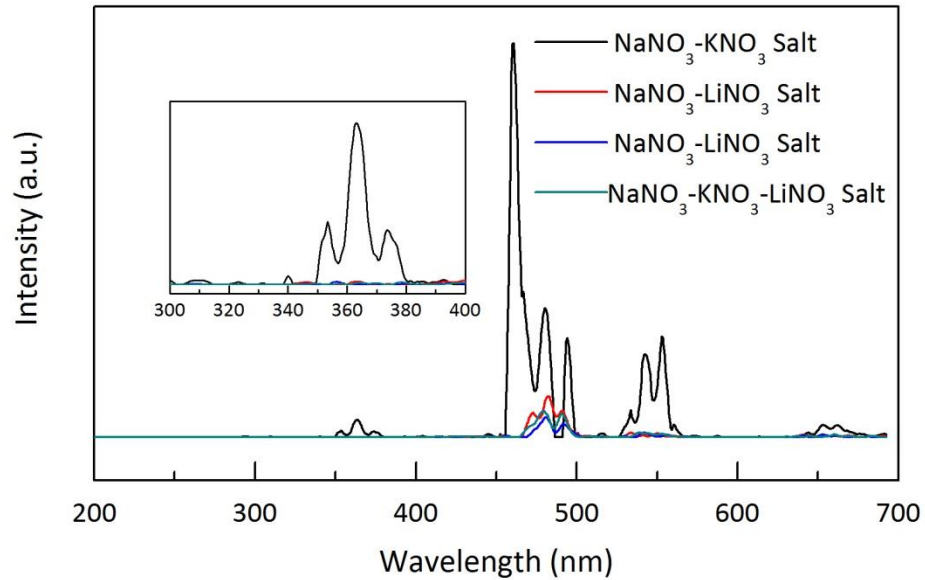
รูปที่ 4.42 เฟสองค์ประกอบของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต



รูปที่ 4.43 สัณฐานวิทยาของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือ (ก) โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต (ข) โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต (ค) โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และ (ง) โซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.44 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตซึ่งมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน จะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุดในช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ต ในขณะที่วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตซึ่งไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลยจะมีการเปล่งแสงที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่แทบไม่พบการเปล่งแสงเลย โดยวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตจะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและ

ลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรตซึ่งมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่ใกล้เคียงกัน

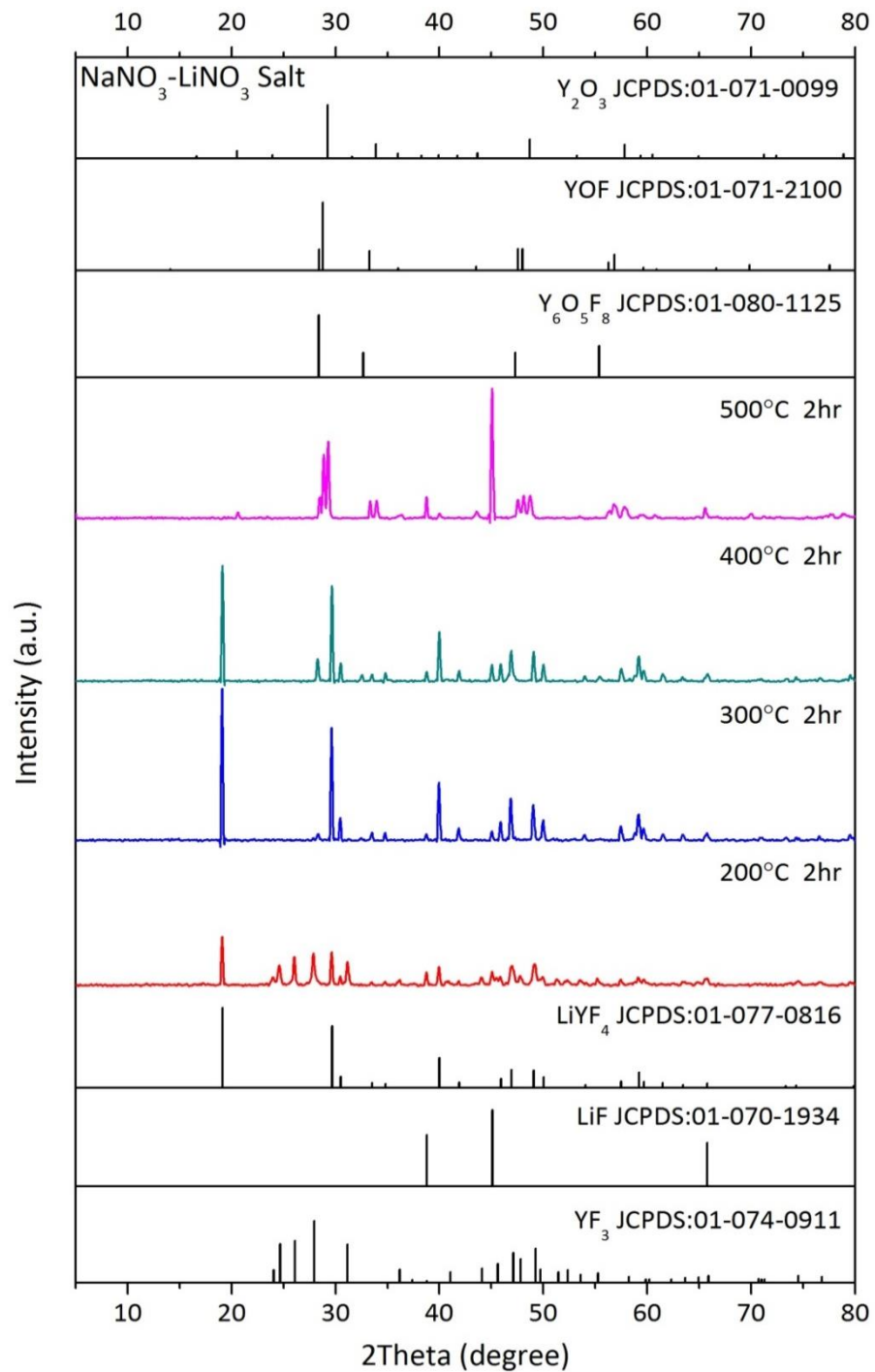


รูปที่ 4.44 การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4.1 ผลของระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

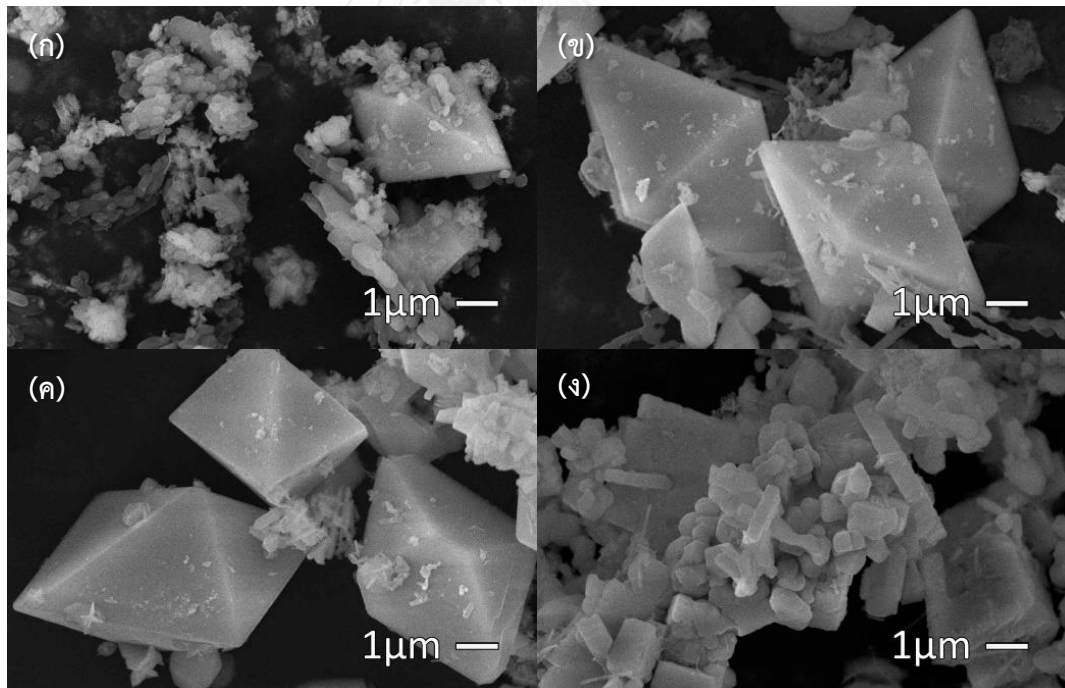
4.2.4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.45 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF , JCPDS no. 01-070-1934) และลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$, JCPDS no. 01-077-0816) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($Y_6O_5F_8$, JCPDS no. 01-080-1125) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกลดลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 และ 33 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนเฟสองค์ประกอบไปเป็นเฟสผสมของลิเทียมฟลูออไรด์ซึ่งมีความเป็นผลึกที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ซึ่งมีพีคบริเวณ 45 องศาที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน อิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ (YOF , JCPDS no. 01-071-2100) และอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3 , JCPDS no. 01-071-0099) โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย



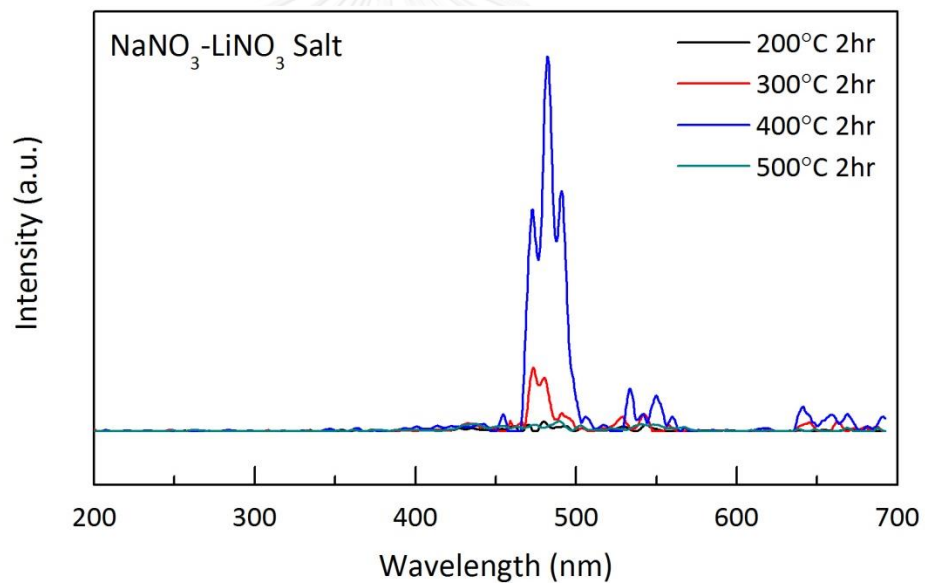
รูปที่ 4.45 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ก-ง) วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสมีอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ก) โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 ไมครอน ความกว้าง 3 ถึง 4 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคขนาดเล็กเกาะกลุ่มกัน และอนุภาคที่มีรูปทรงไม่แน่นอน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส อนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์จะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ข) ที่ความยาว 6 ถึง 7 ไมครอน ความกว้าง 4 ถึง 5 ไมครอน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส มีอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ค) โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ไมครอน ความกว้าง 5 ถึง 6 ไมครอน และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่มีรูปทรงไม่แน่นอน และอนุภาคทรงเหลี่ยมปะปนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ง)



รูปที่ 4.46 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือ โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาจะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอ็อปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.47 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งมีเฟสผสมที่มีเฟสลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกที่ต่ำ จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำหรือแทบไม่พบการเปล่งแสงเลย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้น และจะมีการเปล่งแสงสูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 400 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่พบเฟสลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์แทบไม่พบการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตเลย

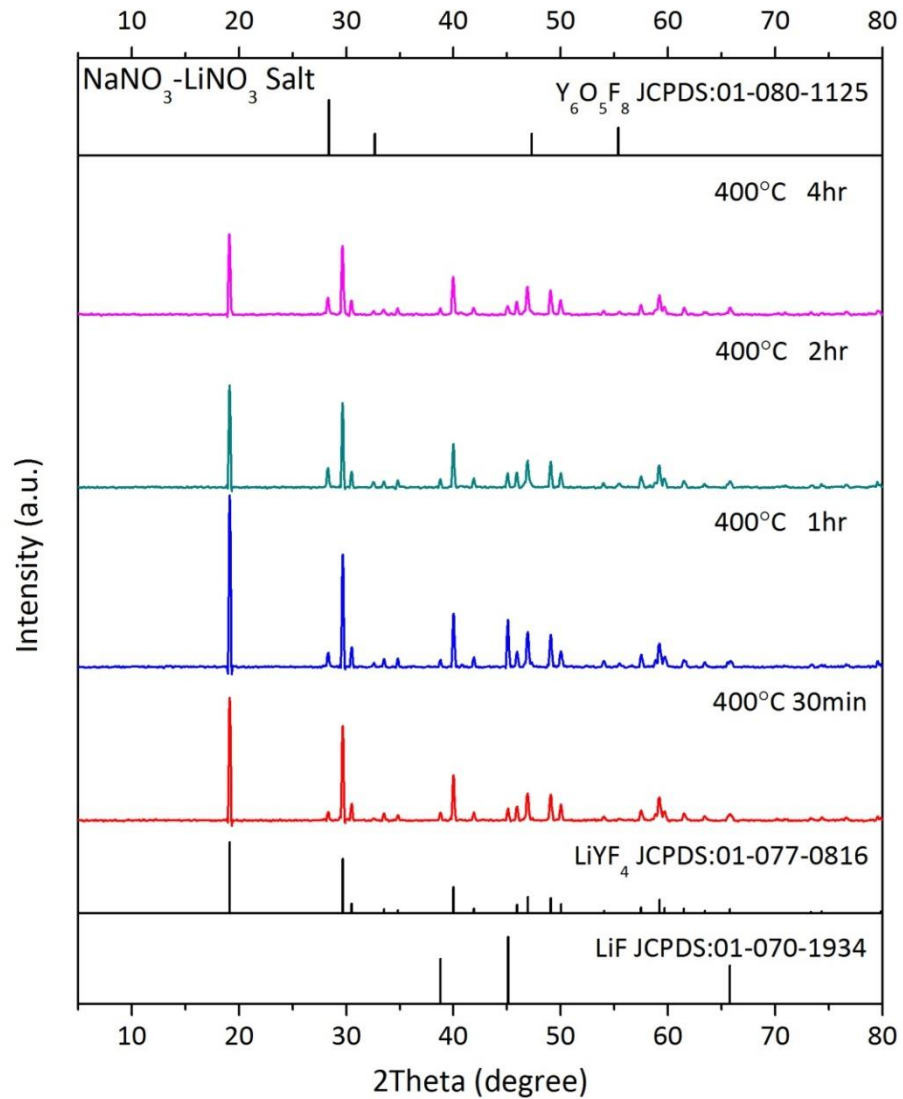


รูปที่ 4.47 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

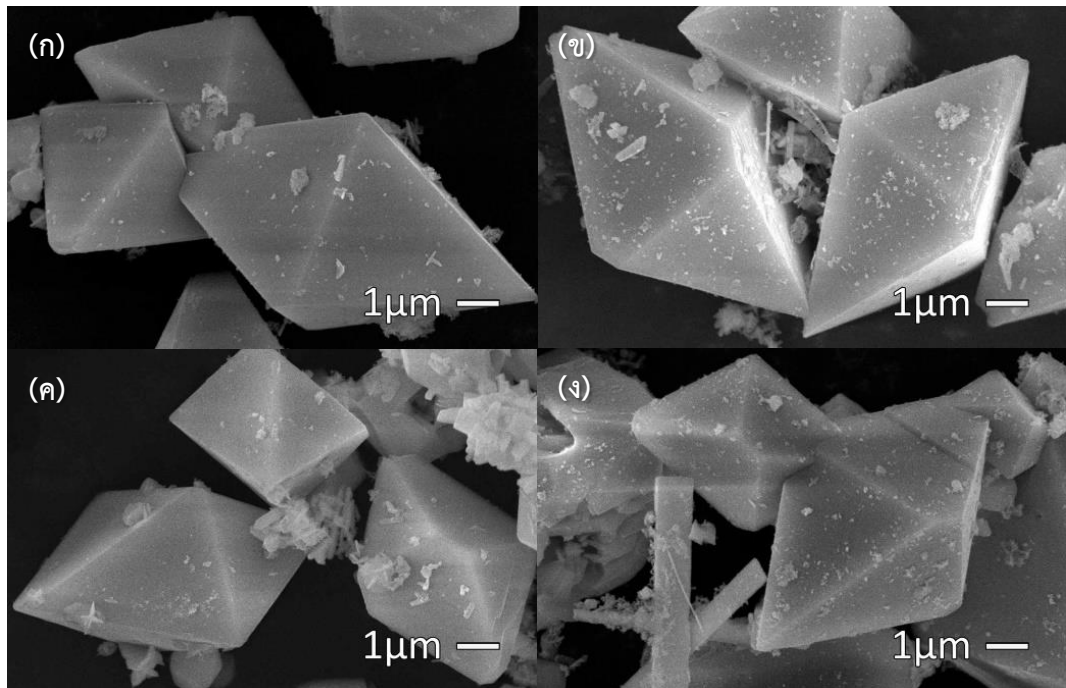
4.2.4.1.2 ผลของเวลาใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.48 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสผสมลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF, JCPDS no. 01-070-1934) ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ (LiYF_4 , JCPDS no. 01-077-0816) และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($\text{Y}_6\text{O}_5\text{F}_8$, JCPDS no. 01-080-1125) ในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลาจาก 30 นาทีเป็น 1 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีความเป็นผลึกของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่สูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.48 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีความเป็นผลึกของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่ลดลงตามลำดับ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกระยะเวลาการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.49 (ก-ง) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง มีอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.46 (ก)และ (ข) โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 8 ถึง 9 ไมครอน ความกว้าง 6 ถึง 7 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง จะมีขนาดของอนุภาคโดยรวมที่ลดลงเล็กน้อย โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ไมครอน ความกว้าง 5 ถึง 6 ไมครอน โดยในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์จะพบอนุภาคที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกันปะปนอยู่ และวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 4 ชั่วโมงจะพบอนุภาคแท่งที่มีความกว้างหน้าตัด 0.5 ถึง 1 ไมครอน ความยาว 8 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งอาจเป็นอนุภาคของอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ซึ่งมีโครงสร้างออร์โธโรมบิกปะปนอยู่

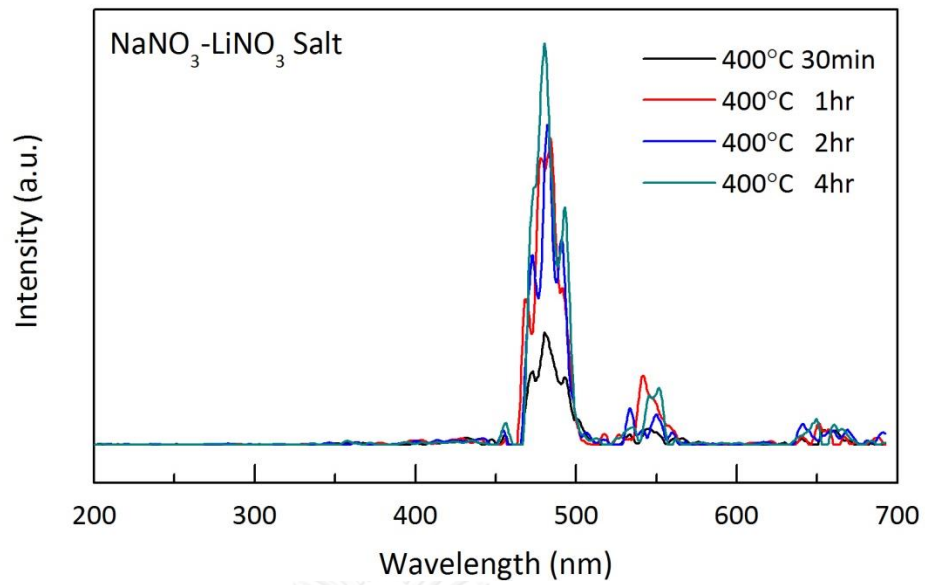


รูปที่ 4.48 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต



รูปที่ 4.49 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.50 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลาที่สูงขึ้นจากระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกระยะเวลาการสังเคราะห์แทบไม่พบการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตเลย

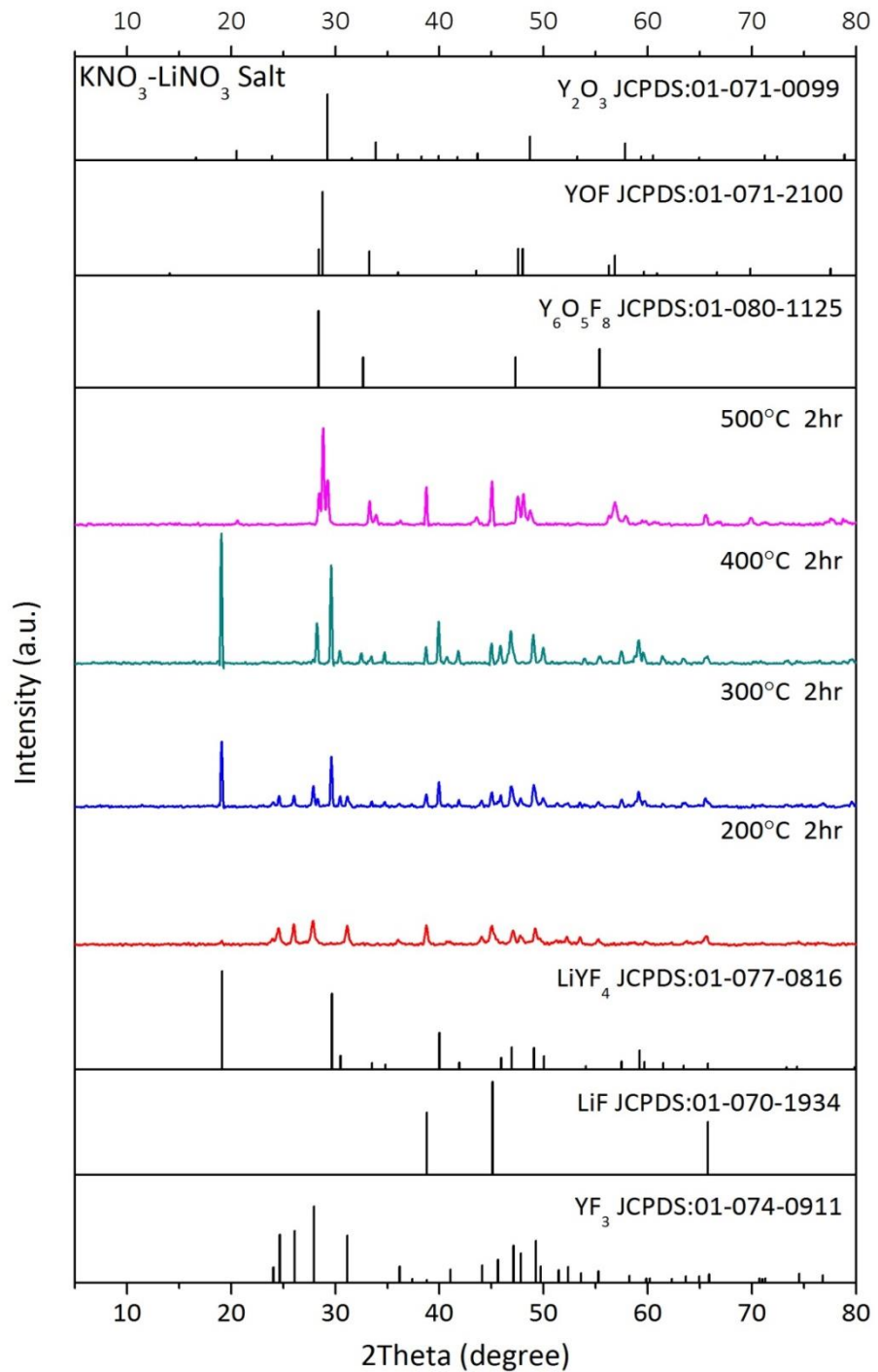


รูปที่ 4.50 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4.2 ผลของระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

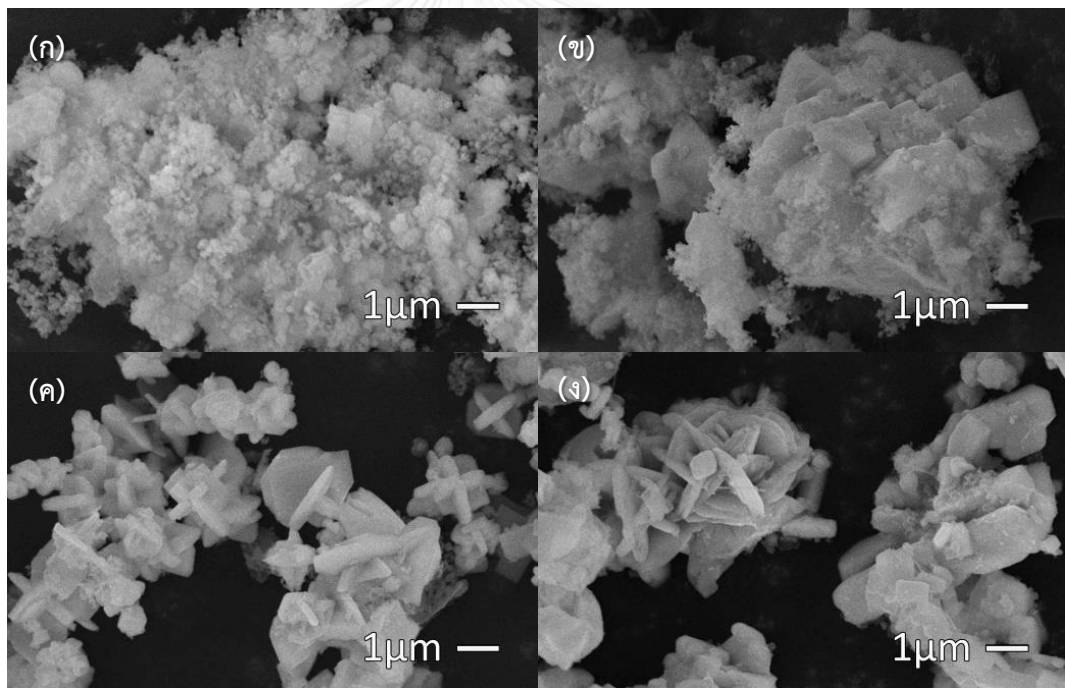
4.2.4.2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.51 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) และลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF , JCPDS no. 01-070-1934) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ลิเทียมฟลูออไรด์ ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$, JCPDS no. 01-077-0816) และอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($Y_6O_5F_8$, JCPDS no. 01-080-1125) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมลิเทียมฟลูออไรด์ และลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.51 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 และ 33 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนเฟสองค์ประกอบไปเป็นเฟสผสมของลิเทียมฟลูออไรด์ อิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ (YOF , JCPDS no. 01-071-2100) และอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3 , JCPDS no. 01-071-0099) โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย



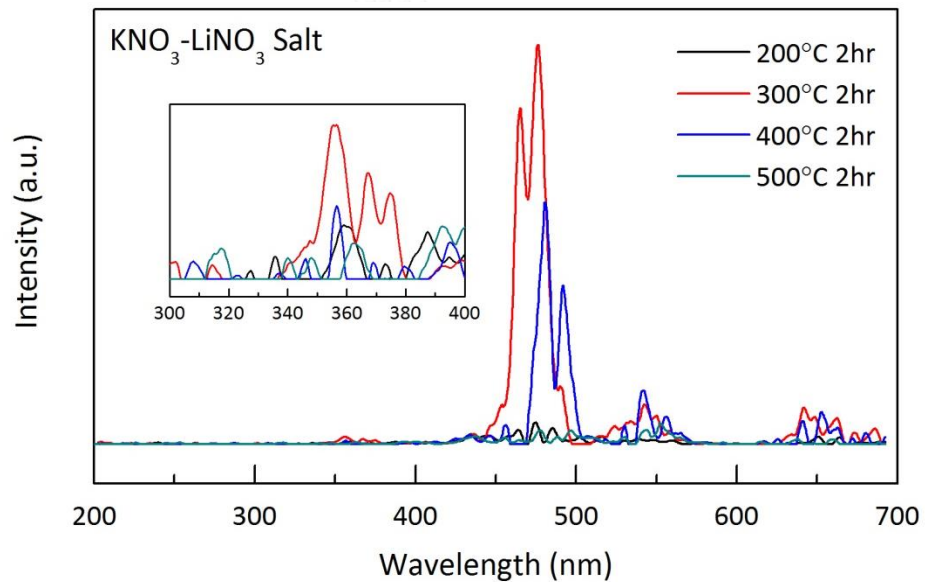
รูปที่ 4.51 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอเรียมและฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ก-ง) วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสมีอนุภาคขนาดเล็กที่มีการเกาะกลุ่มกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ก) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส มีอนุภาคทรงเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ข) โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน เกาะกลุ่มรวมกันกับอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส มีอนุภาคแผ่นที่ผสานกันเป็นปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ค) ขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคแผ่นที่ผสานกันเป็นปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ง)



รูปที่ 4.52 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาจะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.53 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่สูงที่สุด และพบการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่ลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ



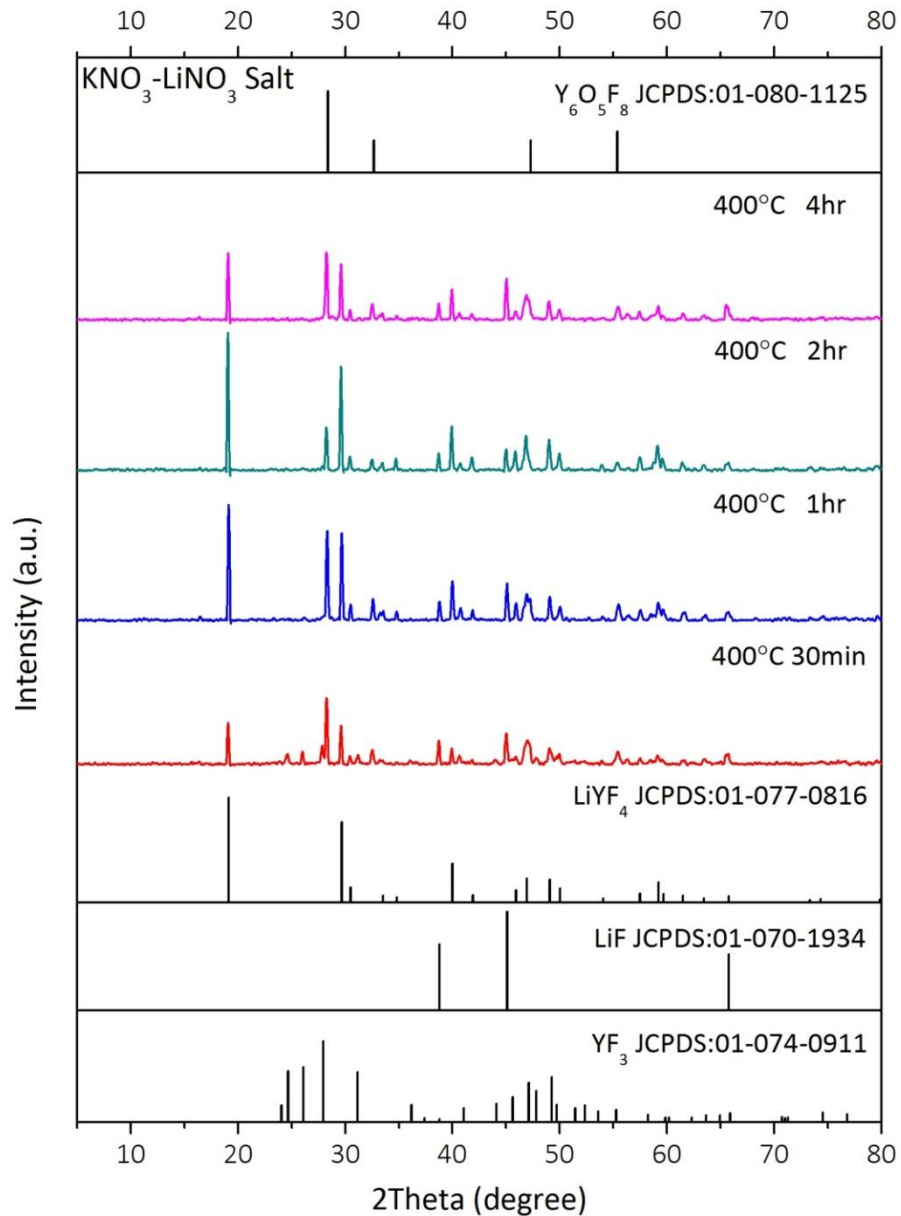
รูปที่ 4.53 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

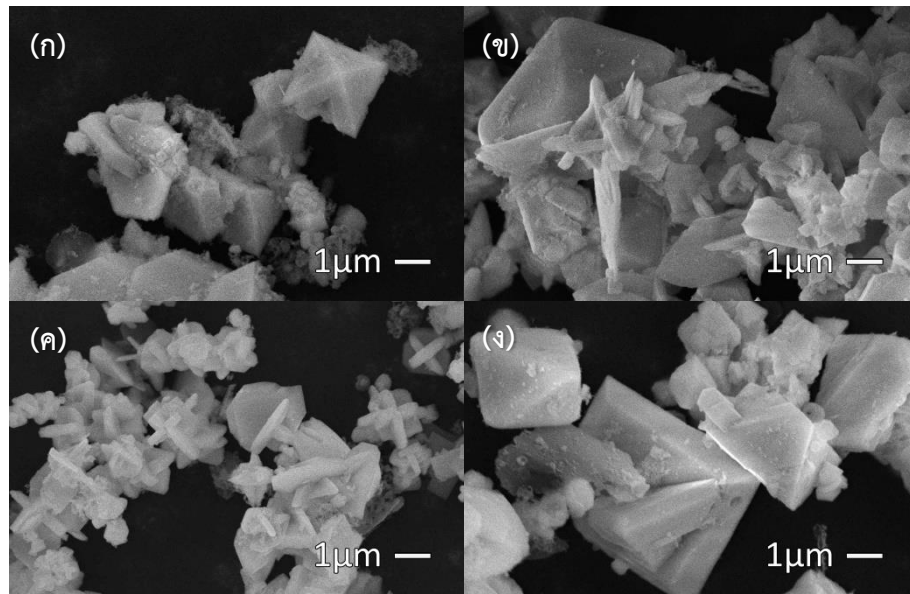
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.54 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF , JCPDS no. 01-070-1934) ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$, JCPDS no. 01-077-0816) และอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($Y_2O_3F_8$, JCPDS no. 01-080-1125) เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง จะมีเฟสผสมลิเทียมฟลูออไรด์ ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.54 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 และ 33 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และจะมีเฟสลิเทียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงที่สุดเมื่อสังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ก-ง) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที มีอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ก) โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ก) โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 5 ถึง 6 ไมครอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีอนุภาคแผ่นที่ผสานกันเป็นปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ค) ขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะ

กลุ่มกัน และเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง อนุภาคแผ่นที่ผลานกันเป็นปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ง) ขนาดอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมขนาดอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 ไมครอน

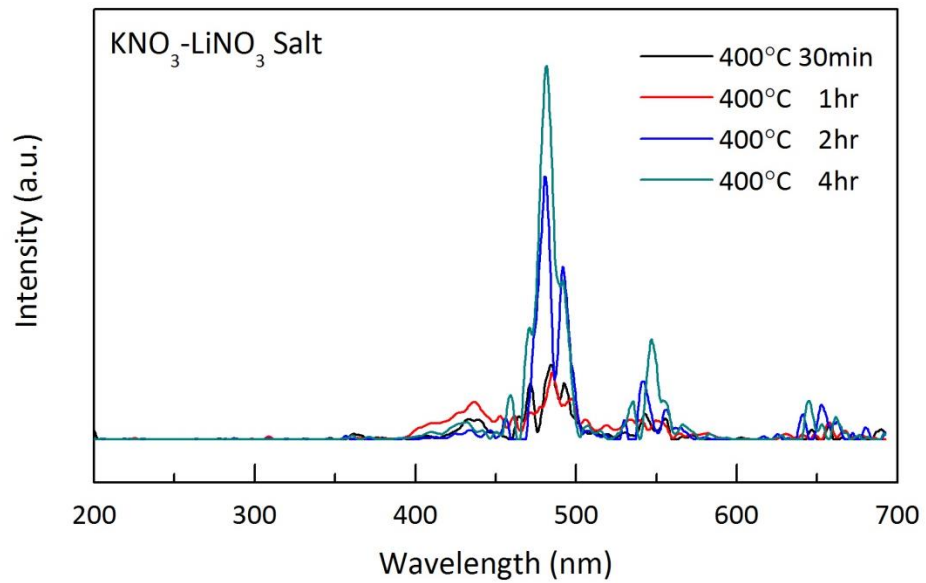


รูปที่ 4.54 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้ไซเตียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต



รูปที่ 4.55 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปคโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.56 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลาที่สูงขึ้นจากระยะเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกระยะเวลาการสังเคราะห์ไม่พบการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต

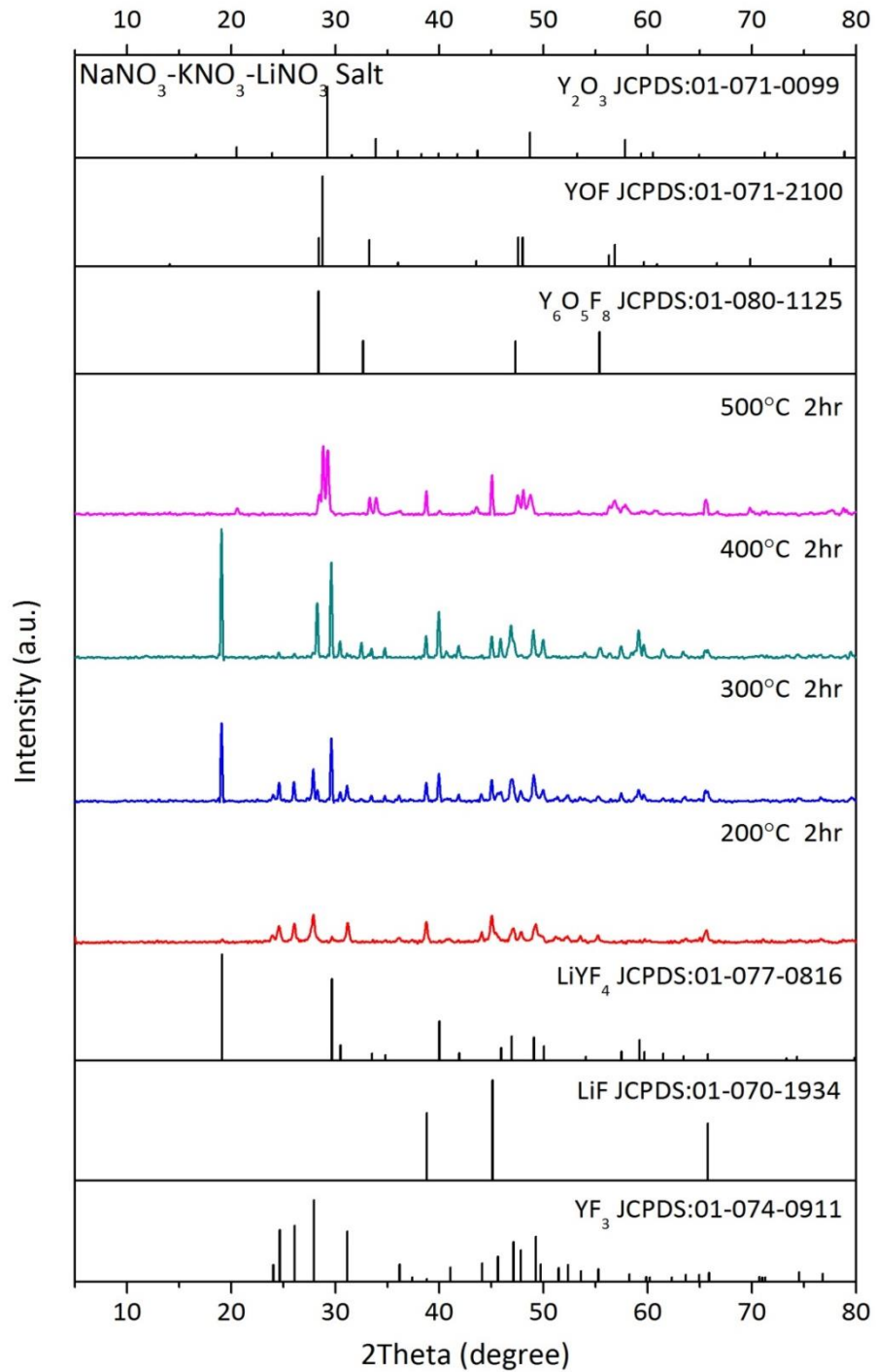


รูปที่ 4.56 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4.3 ผลของระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

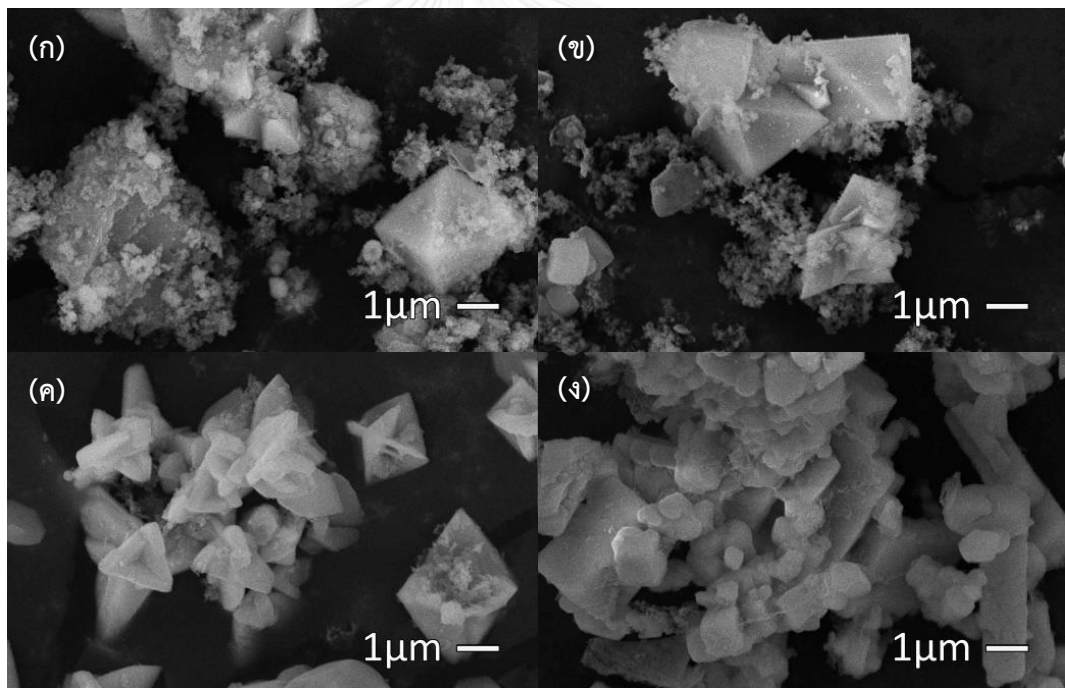
4.2.4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 300 400 500 และ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.56 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF , JCPDS no. 01-070-1934) และลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$, JCPDS no. 01-077-0816) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ลิเทียมฟลูออไรด์ ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ และอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($Y_6O_5F_8$, JCPDS no. 01-080-1125) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมลิเทียมฟลูออไรด์ และลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.56 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 และ 33 องศาที่สูงขึ้น และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนเฟสองค์ประกอบไปเป็นเฟสผสมของลิเทียมฟลูออไรด์ อิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ (YOF , JCPDS no. 01-071-2100) และอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3 , JCPDS no. 01-071-0099) โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย



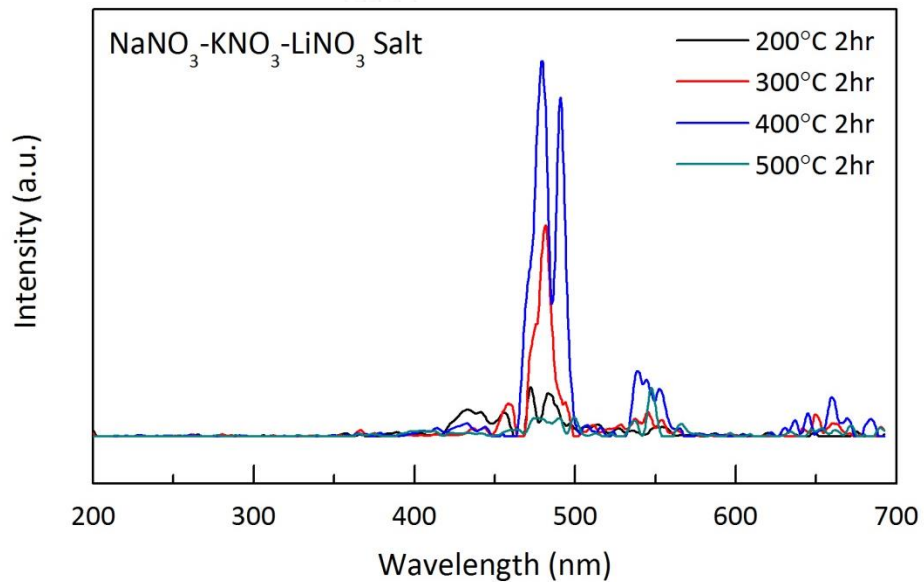
รูปที่ 4.57 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.58 (ก-ง) วัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียสมีอนุภาคปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอลที่มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.58 (ก) และ (ข) ขนาดอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 ไมครอนปะปนอยู่กับอนุภาคขนาดเล็กที่เกาะกลุ่มกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 400 องศาเซลเซียส มีอนุภาคแผ่นที่ผสมกันเป็นปิรามิดคู่ฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.58 (ค) ขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคที่ไม่แน่นอนเกาะกลุ่มกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.58 (ง)



รูปที่ 4.58 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ (ก) 200 (ข) 300 (ค) 400 และ (ง) 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาจะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.59 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 300 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้น และจะมีการเปล่งแสงสูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 400 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 500 องศาเซลเซียส จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิในการสังเคราะห์แทบไม่พบการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตเลย



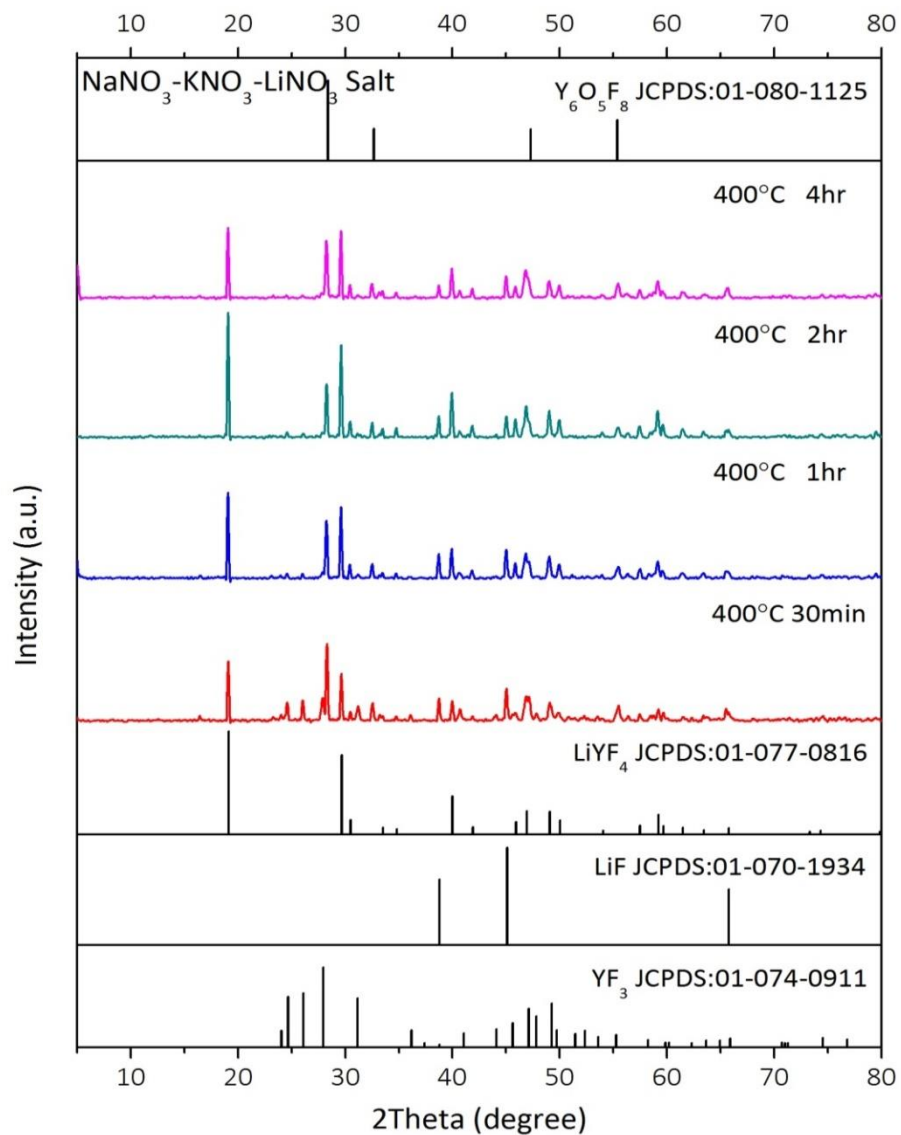
รูปที่ 4.59 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 200 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

4.2.4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรต และลิเทียมไนเตรต

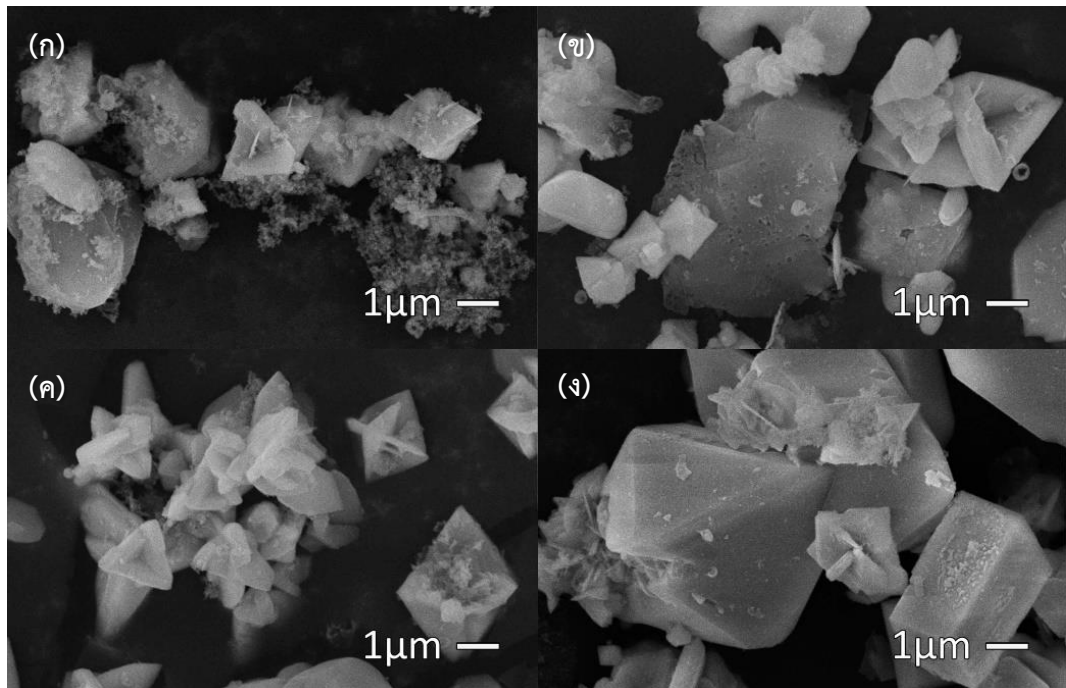
ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.60 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ (YF_3 , JCPDS no. 01-074-0911) ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF , JCPDS no. 01-070-1934) ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ($LiYF_4$, JCPDS no. 01-077-0816) และอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ ($Y_6O_5F_8$, JCPDS no. 01-080-1125) เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง จะมีเฟสผสมลิเทียมฟลูออไรด์ ลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากเฟสองค์ประกอบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.60 ซึ่งมีพีคบริเวณ 19 29 และ 40 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และเฟสอิตเทรียมออกซีฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งมีพีคบริเวณ 28 และ 33 องศาที่สูงขึ้น และมีความกว้างที่แคบลง และจะมีเฟสลิเทียมฟลูออไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูงที่สุดเมื่อสังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัสดุที่สังเคราะห์ได้ในทุกช่วงอุณหภูมิการสังเคราะห์ไม่พบเฟสของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเลย

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.61 (ก.-ง.) พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที มีอนุภาคปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมและอนุภาคแผ่นที่ผสมกันเป็นปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.61 (ก) โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 ไมครอน ปะปนอยู่กับอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีอนุภาคปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 4.61 (ก) โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน อนุภาคแผ่นที่ผสมกันเป็นปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมขนาดอยู่ในช่วง 5 ถึง 6 ไมครอน และอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนขนาดอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ไมครอนปะปนอยู่ เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีอนุภาคแผ่นที่ผสมกันเป็น

ปิรามิดคูลูฐานสี่เหลี่ยมของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเททราโกนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.61 (ค) ขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน และอนุภาคที่มึรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน และเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง อนุภาคปิรามิดคูลูฐานสี่เหลี่ยมจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.61 (ง) ขนาดอยู่ในช่วง 9 ถึง 10 ไมครอน อนุภาคแท่งเหลี่ยมขนาดอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 ไมครอน และอนุภาคที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน

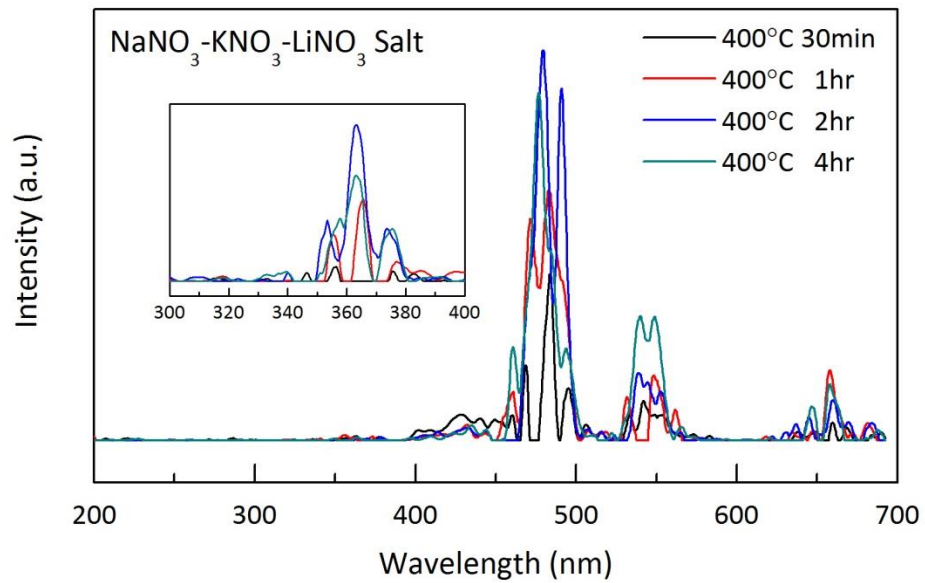


รูปที่ 4.60 เฟสองค์ประกอบของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต



รูปที่ 4.61 สัณฐานวิทยาของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 30 นาที (ข) 1 (ค) 2 และ (ง) 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตโพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต

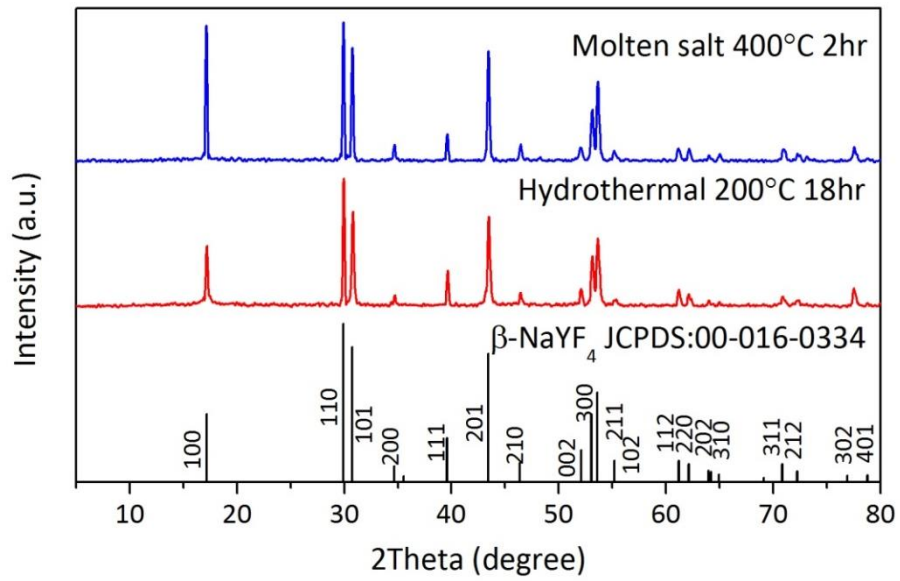
ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.62 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยระยะเวลา 30 นาที จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง จะมีการเปล่งแสงที่สูงขึ้นทั้งในช่วงแสงวิสิเบิล และแสงอัลตราไวโอเล็ตตามลำดับ และจะมีการเปล่งแสงสูงที่สุดเมื่อใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะมีการเปล่งแสงที่ต่ำลงทั้งในช่วงแสงวิสิเบิล และแสงอัลตราไวโอเล็ต



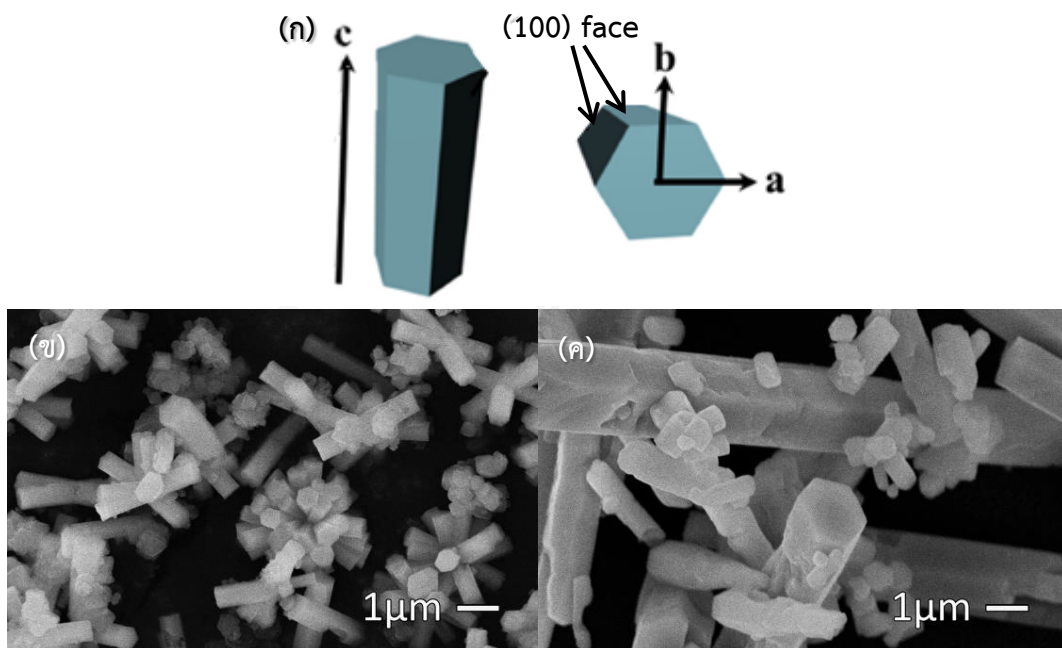
รูปที่ 4.62 การเปล่งแสงของลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 1 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวออร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต พบว่าการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือที่มีลิเทียมไอออนอยู่ในระบบวัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสองค์ประกอบหลักเป็นลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์แทนโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ซึ่งอาจเกิดจากลิเทียมไอออนซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักอะตอมที่เบาว่าโซเดียมไอออน จึงทำให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า ถึงแม้จะสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำลง แต่วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวออร์ชันที่สังเคราะห์ได้ที่มีไฮโซอินทรีย์เป็นลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เมื่อเจือด้วยอิตเทอร์เบียมและทูลเลียมจะมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่ต่ำกว่าโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์

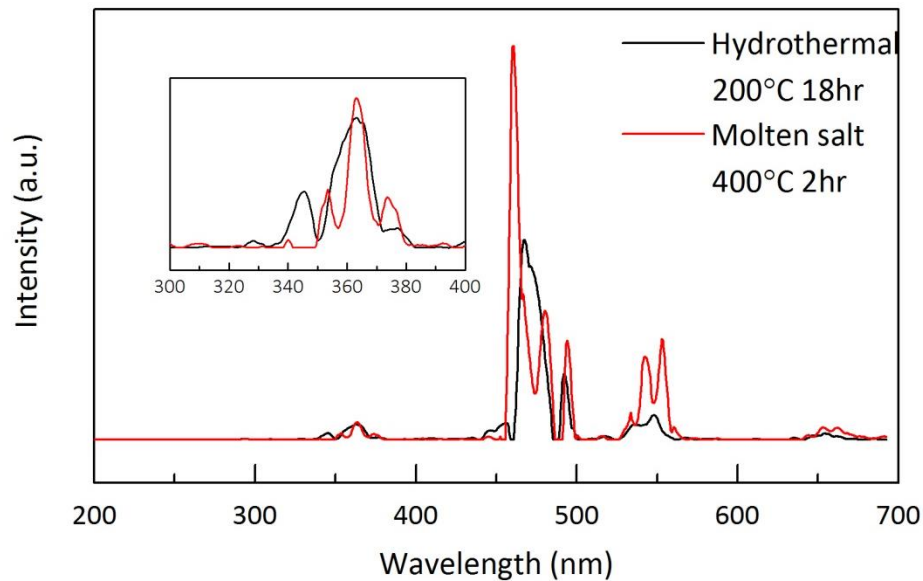
จากผลการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลาย พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้ที่มีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงทั้งในช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเลตเฉลี่ยแล้วดีที่สุด คือวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเทรอะซีติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัว และวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมฟลูออไรด์ปริมาณ 6 มิลลิโมล และทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต เมื่อนำวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้ง 2 วิธีนี้มาเปรียบเทียบกัน ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.63 พบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล (β -NaYF₄ JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนและมีความเป็นผลึกที่สูงใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสูงของพีคบริเวณ 17 องศาซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดหน้าผลึก (100) โดยตำแหน่งตัวเลขทั้งสามตัวแทนตามแกน (abc) ดังแสดงแบบจำลองผลึกในรูปที่ 4.64 (ก) จะเห็นได้ว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายจะมีความสูงของพีคที่บริเวณ 17 องศาที่สูงกว่า แสดงว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้มีหน้าผลึกที่ขนานแนวแกน c หรือตั้งฉากแนวแกน a ที่มาก คือมีผลึกที่มีความยาวตามแนวแกน c ที่มากจึงปรากฏหน้าผลึกด้านข้างของอนุภาคปริซึมแท่งยาวได้เยอะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.64 (ข-ค) วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ดังแสดงในรูปที่ 4.64 (ข) จะมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างหน้าตัดของอนุภาคโดยรวมที่น้อยกว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.62 (ค) ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเฟสองค์ประกอบและสัณฐานวิทยานี้จะส่งผลต่อการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.65 วัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลจะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่ต่ำกว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามการเปล่งแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตของวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสองวิธีจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.63 เฟสองค์ประกอบของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลาย



รูปที่ 4.64 แบบจำลองผลึก (ก) และสัณฐานวิทยาของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ด้วย (ข) วิธีไฮโดรเทอร์มัล และ (ค) วิธีเกลือหลอมละลาย

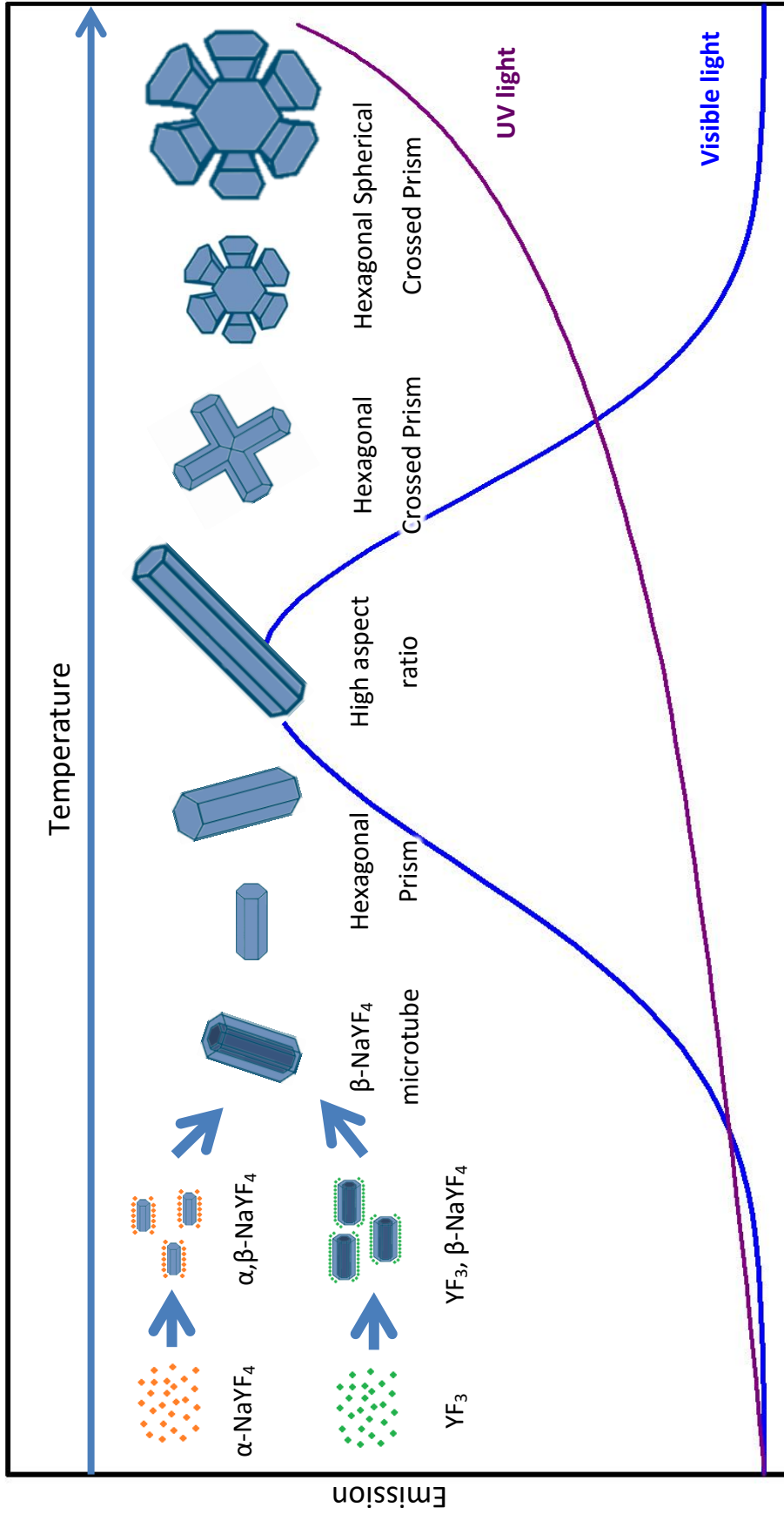


รูปที่ 4.65 การเปล่งแสงของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวิธีเกลือหลอมละลาย เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ สันฐานวิทยา และการเปล่งแสงได้ ดังรูปที่ 4.66 การสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงออปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมสามารถเกิดเฟสเริ่มต้นได้ 2 ลักษณะคือ เกิดเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่โครงสร้างคิวบิก หรือเกิดเฟสอิตเทรียมฟลูออไรด์ จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้น โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่โครงสร้างคิวบิกและอิตเทรียมฟลูออไรด์อาจเกิดการละลายกลับเข้าไปในระบบอีกครั้ง หรือเกิดการเกาะตัวรวมกันและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล โดยในขั้นต้นอาจเกิดเป็นลักษณะเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างคิวบิกหรืออิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีการล้อมรอบผลึกของเฮกซะโกนอลไว้ เมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดเป็นเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลทั้งหมดโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปนในลักษณะเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลวง และพัฒนาเป็นอนุภาคปริซึมแท่งยาวในที่สุด โดยหากแบ่งการพิจารณาเป็นช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตแล้ว พบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้น แนวโน้มที่วัสดุมีความเป็นผลึกสูงขึ้นจะทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงที่ดีขึ้น และเมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสภาวะหนึ่ง ซึ่งทำให้

วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอนอนูภาค ปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีสัดส่วนความกว้างหน้าตัดต่อความยาวที่สูงที่สุด จะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่สูงที่สุด เมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและ ระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะทำให้การเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิล ลดลงอีกครั้ง อาจเกิดจากการที่วัสดุเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกและอนุภาค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ และ อนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้แม้จะส่งผล ให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลที่ลดลง แต่จะทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มากขึ้น





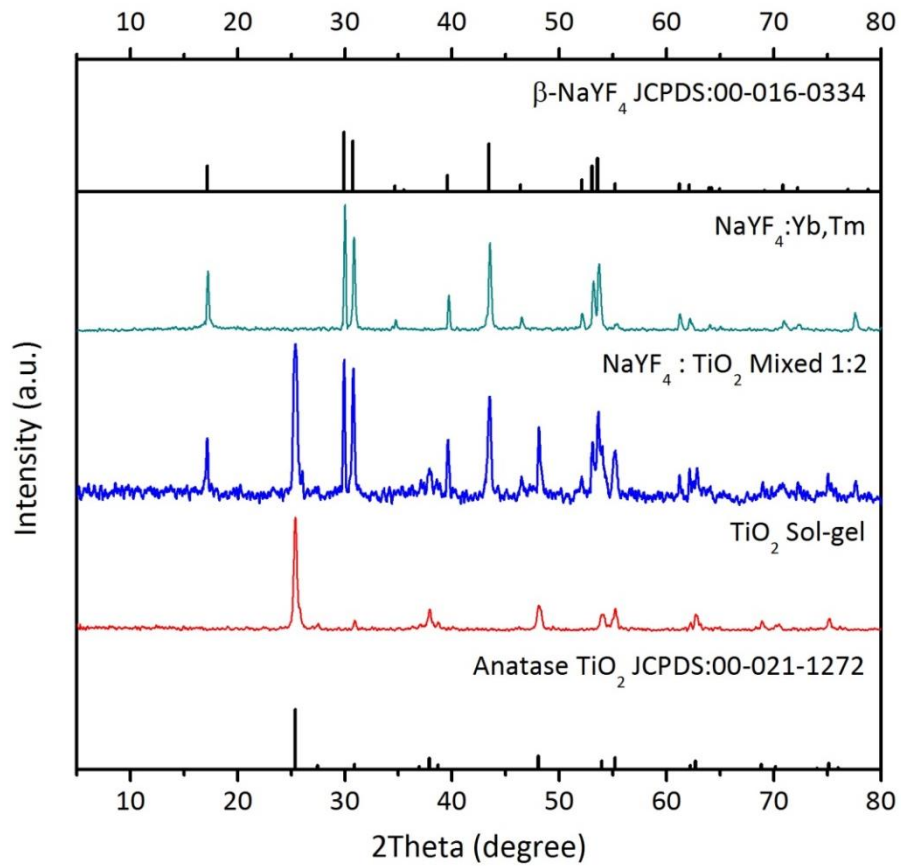
รูปที่ 4.66 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสของโครงสร้างผลึกและการเปล่งแสงของโซเดียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและยูเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลาย

รูปที่ 4.66 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงเฟสของโครงสร้างผลึกและการเปล่งแสงของโซเดียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและยูเลียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลาย

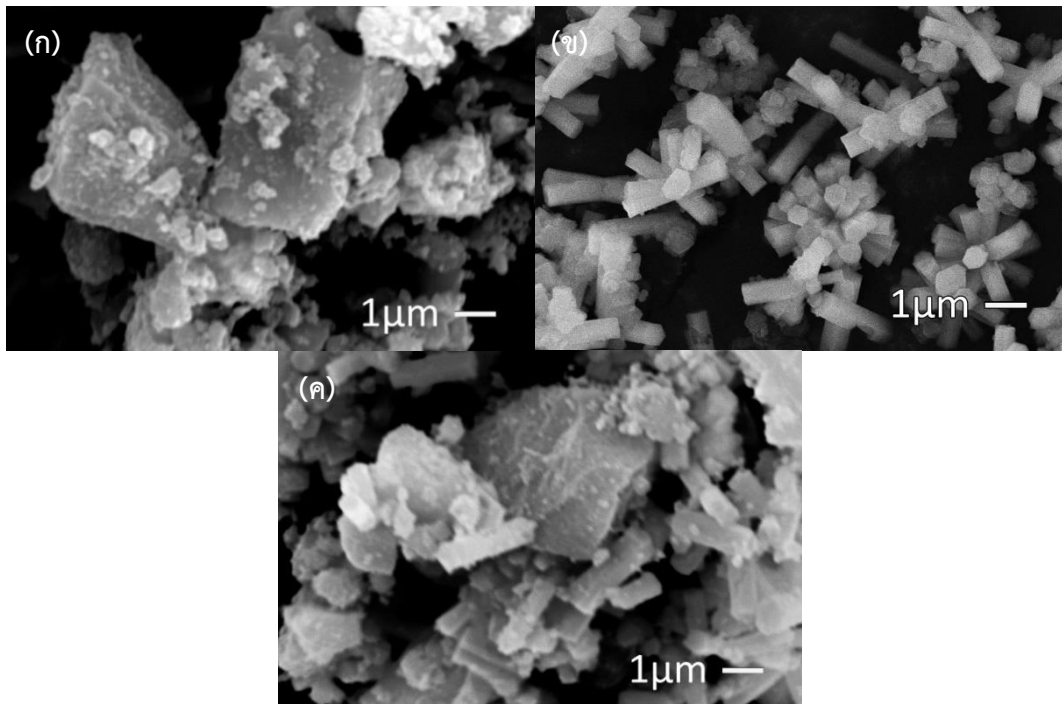
4.3 ผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์

ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยการวิเคราะห์การสลายตัวของสารละลายเมทิลออเรนจ์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้หลอดซินอน 150 วัตต์ ผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.67 ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล มีเฟสองค์ประกอบอนาเทส (TiO_2 , JCPDS no. 00-021-1272) และวัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีกรดเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติกปริมาณ 2 มิลลิโมลเป็นสารช่วยกระจายตัวมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล ($\beta\text{-NaYF}_4$ JCPDS no. 00-016-0334) เพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน เมื่อนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ต่อ 2 วัสดุผสมที่เตรียมได้จะมีเฟสผสมของอนาเทสและโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล โดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยาต่อกันและเกิดเป็นเฟสอื่นเจือปน

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.67 (ก-ค) ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจลมีลักษณะเป็นอนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอนที่มีการเกาะตัวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.68 (ก) ขนาดอยู่ในช่วง 5 ถึง 6 ไมครอน และมีอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่เกาะกลุ่มกันกระจายอยู่โดยรอบ วัสดุเปล่งแสงอพัคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวปะปนอยู่กับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.68 (ข) ที่มีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 1.5 ถึง 2 ไมครอน เมื่อนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ต่อ 2 วัสดุผสมที่เตรียมได้จะมีอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.68 (ค)



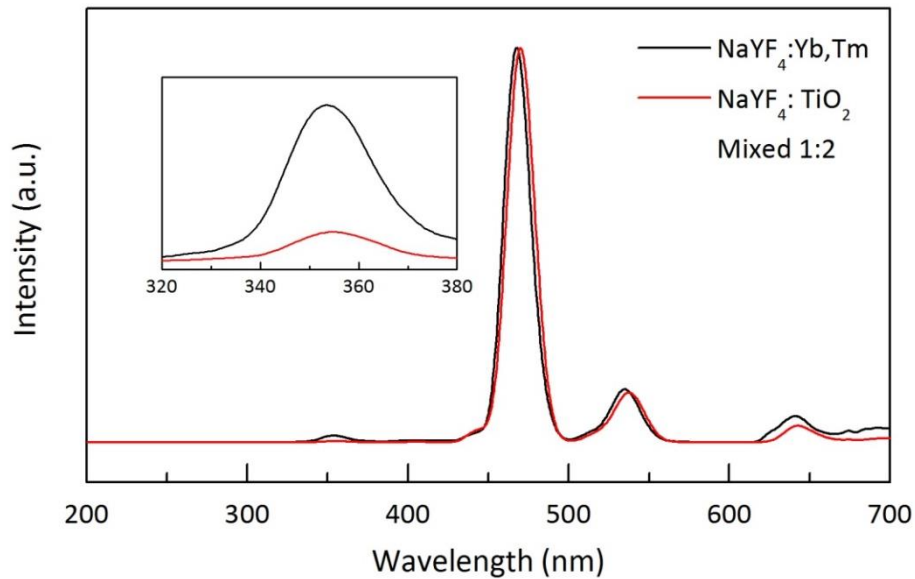
รูปที่ 4.67 เฟสองค์ประกอบของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอ์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์
ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2



รูปที่ 4.68 สัณฐานวิทยาของ (ก) ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล (ข) วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และ (ค) วัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2

การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2 เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 4.69 โดยในการวัดจะใช้เลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร ความเข้มแสง 70 มิลลิวัตต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงกระตุ้น ซึ่งยิ่งลำแสงจากภายนอกตัวเครื่องสะท้อนกับกระจกเงาไปกระทบที่ผิวของภาชนะใส่สาร โดยตัวรับสัญญาณการเปล่งแสงจะวิเคราะห์ความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 700 นาโนเมตร โดยมีช่องเปิดรับแสงกว้าง 10 นาโนเมตร พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลและวัสดุผสมแล้วในช่วงการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลยังให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนขยายของแผนภาพที่แสดงในรูป

ที่ 4.68 ซึ่งแสดงการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตจะพบว่าวัสดุมีการเปล่งแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตที่ลดลงจนแทบไม่พบการเปล่งแสงเลย แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ถูกเปล่งออกมาจากวัสดุเปล่งแสงอพคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมได้


















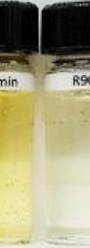














รูปที่ 4.69 การเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอพคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2 เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร

ผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์ โดยการกวนสารละลายเมทิลลอเรนจ์ที่เติมวัสดุผสมแล้วในที่มีดเป็นเวลา 90 นาที และกวนภายใต้หลอดซีนอนต่ออีก 90 นาที โดยจะเก็บสารละลาย 4 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาที จากนั้นกรองวัสดุผสมออก สีของสารละลายเมทิลลอเรนจ์ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป แสดงดังรูปที่ 4.70 และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลลอเรนจ์ที่เวลาต่างๆ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ทำการเก็บสารละลายได้ดังแสดงในรูปที่ 4.71 พบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถสลายเมทิลลอเรนจ์ได้ร้อยละ 88 เมื่อ

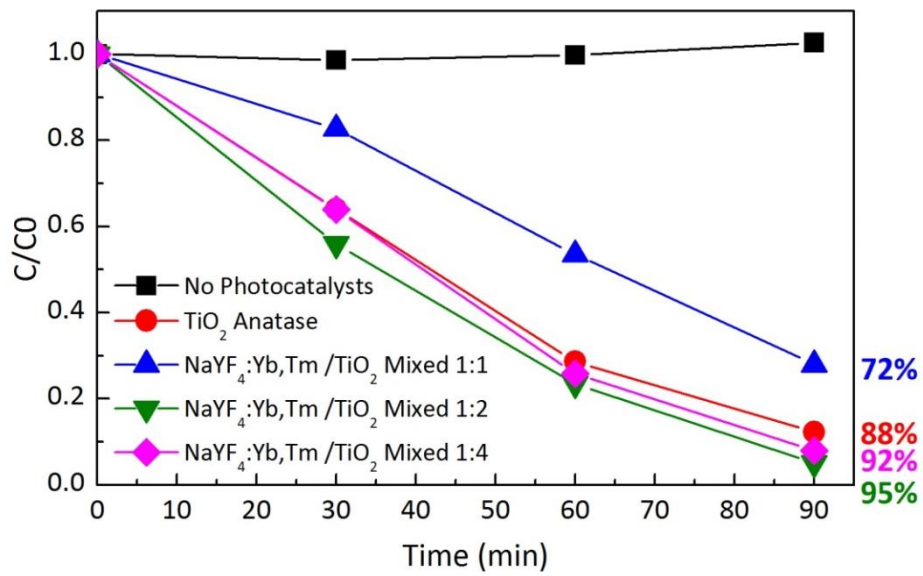
เตรียมเป็นวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ต่อ 4 และ 1 ต่อ 2 ซึ่งมีปริมาณโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพิ่มขึ้น จะสามารถสลายเมทิลออเรนจ์ได้เพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 92 และ 95 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตชั้นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมสามารถดูดซับแสงอินฟราเรดที่ได้จากหลอดซินอนและเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับเพื่อเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงต่อไปได้ ทำให้เมื่อวัสดุผสมมีปริมาณโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่มากขึ้น จึงทำให้วัสดุผสมสามารถเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงและสลายเมทิลออเรนจ์ได้มากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม วัสดุผสมที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ต่อ 1 ซึ่งมีปริมาณโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมเพิ่มขึ้นอีก จะสามารถสลายเมทิลออเรนจ์ได้ลดลงที่ร้อยละ 72 เนื่องจากวัสดุผสมที่มีโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการกระเจิงแสง (scattering) จากหลอดซินอนมากยิ่งขึ้น ทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ตจากหลอดซินอนได้น้อยลง นอกจากนี้ปริมาณอนุภาคโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่มากขึ้น อาจเกิดการดูดซับเมทิลออเรนจ์ที่ผิว ทำให้เมทิลออเรนจ์ที่ถูกดูดซับที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อเกิดการย่อยสลายเนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงลดลง จึงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงได้น้อยลงด้วย

จากการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอาทิตย์ พบว่าวัสดุเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตชั้นโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้จริง โดยโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมจะดูดซับแสงอินฟราเรดและเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับเพื่อเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงต่อไปได้

สารละลาย เมทิลออเรนจ์ เริ่มต้น	กวนในที่มืด (นาที)			กวนภายใต้ หลอดซีโนอน (นาที)		
	30	60	90	30	60	90
(ก)						
(ข)						
(ค)						
(ง)						
(จ)						

รูปที่ 4.70 สีของสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง โดย (ก) ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา (ข) มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา และมีวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เปียมและทูลเลียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์

(ค) 1 ต่อ 1 (ง) 1 ต่อ 2 และ (จ) 1 ต่อ 4



รูปที่ 4.71 ผลการวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของวัสดุผสมโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจือ

อิตเทอร์เบียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลาย และปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อเฟสองค์ประกอบที่เกิดขึ้น สันฐานวิทยา และความสามารถในการเปล่งแสงของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ ตลอดจนการทำให้เป็นวัสดุผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อวิเคราะห์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงภายใต้แสงอาทิตย์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

5.1.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ที่มีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน และมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่สูงที่สุดได้ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวปะปนกับอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผานกันเป็นทรงกลม โดยมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 ไมครอน ความยาว 1.5 ถึง 2 ไมครอน

5.1.2 สามารถสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย ที่มีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน และมีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่สูงที่สุดได้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดที่หลากหลายปะปนกันอยู่ ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ไมครอน ความยาว 1 ถึง 2 ไมครอน และขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดความกว้างหน้าตัดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2 ไมครอน ความยาว 10 ถึง 20 ไมครอน

5.1.3 วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายมีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่มีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างหน้าตัดที่มากกว่าวัสดุที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ซึ่งส่งผลให้มีการเปล่งแสง

ในช่วงวิสิเบิลที่มากกว่าด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

- 5.1.4 วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมที่สังเคราะห์ได้จากทั้งวิธีไฮโดรเทอร์มัล และวิธีเกลือหลอมละลายมีแนวโน้มที่จะมีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น
- 5.1.5 สารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล มีผลต่อสัญญาณวิทยาของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ โดยเมื่อไม่มีการใส่สารช่วยกระจายตัวจะทำให้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน เมื่อมีการดอเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารช่วยกระจายตัวจะทำให้มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแก่ยาว และเมื่อมีโซเดียมซิเตรตเป็นสารช่วยกระจายตัวจะทำให้มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแก่สั้น
- 5.1.6 ปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย เมื่อมีปริมาณ 3 และ 4 มิลลิโมล วัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสผสมของอิตเทรียมฟลูออไรด์ และโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ ในขณะที่เมื่อมีปริมาณ 5 และ 6 มิลลิโมลวัสดุที่สังเคราะห์ได้จะมีเฟสองค์ประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ที่มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลเพียงเฟสเดียวโดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน และจะมีความเป็นผลึก และประสิทธิภาพในการเปล่งแสงทั้งในช่วงแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สูงที่สุดเมื่อมีปริมาณ 6 มิลลิโมล
- 5.1.7 ระบบเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลายที่มีลิเทียมไอออนอยู่ในระบบ คือ ระบบเกลือโซเดียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต และโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรตและลิเทียมไนเตรต วัสดุสังเคราะห์ได้จะมีเฟสลิเทียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เป็นเฟสหลักแทนโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์ เกิดจากลิเทียมไอออนซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักอะตอมที่เบาว่าโซเดียมไอออน จึงทำให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า
- 5.1.8 วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลเลียม จะเกิดเป็นเฟสโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์โครงสร้างเฮกซะโกนอลในลักษณะเริ่มต้นเป็นอนุภาค

ปริซึมหกเหลี่ยมแท่งกลวง เมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้น จะพัฒนาเป็นอนุภาคปริซึมแท่งยาวที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น และทำให้มีการเปล่งแสงที่ดีขึ้น และเมื่อถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสภาวะหนึ่ง ซึ่งทำให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีสัดส่วนความกว้างหน้าตัดต่อความยาวที่สูงที่สุดจะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงวิสิเบิลที่สูงที่สุด เมื่อมีการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นและระยะเวลาการสังเคราะห์ที่นานขึ้นจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ และอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมตามลำดับ ส่งผลให้วัสดุที่สังเคราะห์ได้มีการเปล่งแสงในช่วงวิสิเบิลลดลง แต่จะมีการเปล่งแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มากขึ้น

- 5.1.9 วัสดุเปล่งแสงอ็อปคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้จริง โดยโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมจะดูดซับแสงอินฟราเรดและเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดซับเพื่อเกิดปฏิกิริยาเร่งเชิงแสงต่อไปได้ โดยวัสดุผสมที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ต่อ 2 สามารถสลายเมทิลออเรนจ์ได้มากที่สุดที่ร้อยละ 95 ในระยะเวลา 90 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

- 5.2.1 ศึกษากลไกการเปลี่ยนแปลงอนุภาคจากอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาว ไปเป็นอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมไขว้ และอนุภาคปริซึมหกเหลี่ยมที่ผสมกันเป็นทรงกลมของโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมที่ส่งผลต่อการเปล่งแสงวิสิเบิลที่ลดลง และการเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เพิ่มขึ้น
- 5.2.2 ศึกษาผลของไอออนที่อยู่ในระบบเกลือต่อเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยา และการเปล่งแสงของวัสดุเปล่งแสงอ็อปคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย

- 5.2.3 ศึกษาผลของปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเกลือหลอมละลายต่อเฟสองค์ประกอบ สัณฐานวิทยา และการเปล่งแสงของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ เพื่อเพิ่มปริมาณสารที่สังเคราะห์ได้ต่อการเตรียมในแต่ละครั้ง
- 5.2.4 ศึกษาการเตรียมสารประกอบเกลือไนเตรตของแร่หายากเพื่อให้ได้เฟสองค์ประกอบสารประกอบเกลือไนเตรตของแร่หายากที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบเพียงเฟสเดียวเพื่อใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงอพัคคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมด้วยวิธีเกลือหลอมละลาย
- 5.2.5 ศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ที่ผิวของอนุภาคโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม เพื่อเพิ่มการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่โซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียมแปลงออกมาของไทเทเนียมไดออกไซด์ และลดการเกิดการกระเจิงแสงภายนอก

รายการอ้างอิง

- [1] A. Fujishima and X. Zhang, "Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches," Comptes Rendus Chimie 9 (2006): 750-760.
- [2] A. Fujishima, T. N. Rao, and D. A. Tryk, "Titanium dioxide photocatalysis," Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 1 (2000): 1-21.
- [3] Y. Tang, W. Di, X. Zhai, R. Yang, and W. Qin, "NIR-Responsive Photocatalytic Activity and Mechanism of NaYF₄:Yb,Tm@TiO₂ Core-Shell Nanoparticles," ACS Catalysis 3 (2013): 405-412.
- [4] D.-X. Xu, Z.-W. Lian, M.-L. Fu, B. Yuan, J.-W. Shi, and H.-J. Cui, "Advanced near-infrared-driven photocatalyst: Fabrication, characterization, and photocatalytic performance of β -NaYF₄:Yb³⁺,Tm³⁺@TiO₂ core@shell microcrystals," Applied Catalysis B: Environmental 142-143 (2013): 377-386.
- [5] J. Xu, Y. Ao, D. Fu, and C. Yuan, "Synthesis of Bi₂O₃-TiO₂ composite film with high-photocatalytic activity under sunlight irradiation," Applied Surface Science 255 (2008): 2365-2369.
- [6] W. Zhao, Z. Bai, A. Ren, B. Guo, and C. Wu, "Sunlight photocatalytic activity of CdS modified TiO₂ loaded on activated carbon fibers," Applied Surface Science 256 (2010): 3493-3498.
- [7] Q.-L. Ye, X. Yang, C. Li, and Z. Li, "Synthesis of UV/NIR photocatalysts by coating TiO₂ shell on peanut-like YF₃:Yb,Tm upconversion nanocrystals," Materials Letters 106 (2013): 238-241.
- [8] J. Chen and J. X. Zhao, "Upconversion Nanomaterials: Synthesis, Mechanism, and Applications in Sensing," Sensors 12 (2012): 2414-2435.
- [9] S. K. W. MacDougall, A. Ivaturi, J. Marques-Hueso, K. W. Krämer, and B. S. Richards, "Broadband photoluminescent quantum yield optimisation of Er³⁺-doped β -NaYF₄ for upconversion in silicon solar cells," Solar Energy Materials and Solar Cells 128 (2014): 18-26.

- [10] Q. Liu, W. Feng, and F. Li, "Water-soluble lanthanide upconversion nanophosphors: Synthesis and bioimaging applications in vivo," Coordination Chemistry Reviews 273–274 (2014): 100-110.
- [11] W. Wang, W. Huang, Y. Ni, C. Lu, L. Tan, and Z. Xu, "Graphene supported β -NaYF₄:Yb³⁺,Tm³⁺ and N doped P25 nanocomposite as an advanced NIR and sunlight driven upconversion photocatalyst," Applied Surface Science 282 (2013): 832-837.
- [12] W. Wang, M. Ding, C. Lu, Y. Ni, and Z. Xu, "A study on upconversion UV–vis–NIR responsive photocatalytic activity and mechanisms of hexagonal phase NaYF₄:Yb³⁺,Tm³⁺@TiO₂ core–shell structured photocatalyst," Applied Catalysis B: Environmental 144 (2014): 379-385.
- [13] F. Auzel, "Upconversion and Anti-Stokes Processes with f and d Ions in Solids," Chemical Reviews 104 (2003): 139-174.
- [14] A. Biswas, G. Maciel, C. Friend, and P. Prasad, "Upconversion properties of a transparent Er³⁺–Yb³⁺ co-doped LaF₃–SiO₂ glass-ceramics prepared by sol–gel method," Journal of non-crystalline solids 316 (2003): 393-397.
- [15] A. Shalav, B. Richards, and M. Green, "Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Up-conversion," Solar Energy Materials and Solar Cells 91 (2007): 829-842.
- [16] P. Egger, P. Rogin, T. Riedener, H. U. Güdel, M. S. Wickleder, and J. Hulliger, "Ba₂ErCl₇—a new near IR to near UV upconversion material," Advanced Materials 8 (1996): 668-672.
- [17] G. Wang, W. Qin, Y. Xu, L. Wang, G. Wei, P. Zhu, *et al.*, "Size-dependent upconversion luminescence in YF₃:Yb³⁺/Tm³⁺ nanobundles," Journal of Fluorine Chemistry 129 (2008): 1110-1113.
- [18] Y. Wei, F. Lu, X. Zhang, and D. Chen, "Polyol-mediated synthesis of water-soluble LaF₃:Yb,Er upconversion fluorescent nanocrystals," Materials Letters 61 (2007): 1337-1340.

- [19] Y. Liu and Q. Yang, "Synthesis of NaYF₄ nanocrystals doped with Yb³⁺/Er³⁺ and influence of citric acid on the green and red luminescence," Optics Communications 284 (2011): 4496-4500.
- [20] X. Xue, L. Wang, L. Huang, D. Zhao, and W. Qin, "Effect of alkali ions on the formation of rare earth fluoride by hydrothermal synthesis: structure tuning and size controlling," CrystEngComm 15 (2013): 2897-2903.
- [21] D. Tu, Y. Liu, H. Zhu, R. Li, L. Liu, and X. Chen, "Breakdown of Crystallographic Site Symmetry in Lanthanide-Doped NaYF₄ Crystals," Angewandte Chemie International Edition 52 (2013): 1128-1133.
- [22] X. Wang, G. Shan, K. Chao, Y. Zhang, R. Liu, L. Feng, *et al.*, "Effects of Er³⁺ concentration on UV/blue upconverted luminescence and a three-photon process in the cubic nanocrystalline Y₂O₃:Er³⁺," Materials Chemistry and Physics 99 (2006): 370-374.
- [23] S. D. Jackson, "Cross relaxation and energy transfer upconversion processes relevant to the functioning of 2 μm Tm³⁺-doped silica fibre lasers," Optics Communications 230 (2004): 197-203.
- [24] G. S. Yi and G. M. Chow, "Synthesis of Hexagonal-Phase NaYF₄:Yb,Er and NaYF₄:Yb,Tm Nanocrystals with Efficient Up-Conversion Fluorescence," Advanced Functional Materials 16 (2006): 2324-2329.
- [25] J.-C. Boyer, F. Vetrone, L. A. Cuccia, and J. A. Capobianco, "Synthesis of Colloidal Upconverting NaYF₄ Nanocrystals Doped with Er³⁺, Yb³⁺ and Tm³⁺, Yb³⁺ via Thermal Decomposition of Lanthanide Trifluoroacetate Precursors," Journal of the American Chemical Society 128 (2006): 7444-7445.
- [26] M. Ding, C. Lu, Y. Ni, and Z. Xu, "Rapid microwave-assisted flux growth of pure β-NaYF₄:Yb³⁺, Ln³⁺ (Ln = Er, Tm, Ho) microrods with multicolor upconversion luminescence," Chemical Engineering Journal 241 (2014): 477-484.

- [27] X. Huang, G. Hu, Q. Xu, X. Li, and Q. Yu, "Molten-salt synthesis and upconversion of hexagonal $\text{NaYF}_4:\text{Er}^{3+}:\text{Yb}^{3+}$ micro-/nano-crystals," Journal of Alloys and Compounds 616 (2014): 652-661.
- [28] H. Chen, X. Zhai, D. Li, L. Wang, D. Zhao, and W. Qin, "Water-soluble Yb^{3+} , Tm^{3+} codoped NaYF_4 nanoparticles: Synthesis, characteristics and bioimaging," Journal of Alloys and Compounds 511 (2012): 70-73.
- [29] M. M. Lencka and R. E. Riman, "Thermodynamic modeling of hydrothermal synthesis of ceramic powders," Chemistry of materials 5 (1993): 61-70.
- [30] J. Zhuang, L. Liang, H. H. Sung, X. Yang, M. Wu, I. D. Williams, *et al.*, "Controlled hydrothermal growth and up-conversion emission of NaLnF_4 (Ln= Y, Dy-Yb)," Inorganic chemistry 46 (2007): 5404-5410.
- [31] C. Li, Z. Quan, J. Yang, P. Yang, and J. Lin, "Highly uniform and monodisperse β - $\text{NaYF}_4:\text{Ln}^{3+}$ (Ln= Eu, Tb, Yb/Er, and Yb/Tm) hexagonal microprism crystals: hydrothermal synthesis and luminescent properties," Inorganic chemistry 46 (2007): 6329-6337.
- [32] G. Jishkariani, G. Jandieri, D. Sakhvadze, G. Tavadze, G. Z. G. Oniashvili, and Z. Aslamazishvili, "Ecological Problems Related to Mining-Metallurgical Industries and Innovatory, Energy-Efficient Ways of Solving Them," 2012).
- [33] M. Ding, W. Huang, L. Cao, C. Lu, J. Song, Y. Ni, *et al.*, "Flux growth of honeycomb-like β - $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}$, $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ crystals with multicolor upconversion luminescence," Materials Letters 86 (2012): 58-61.
- [34] M. Ding, C. Lu, L. Cao, J. Song, Y. Ni, and Z. Xu, "Facile synthesis of β - $\text{NaYF}_4:\text{Ln}^{3+}$ (Ln= Eu, Tb, Yb/Er, Yb/Tm) microcrystals with down-and up-conversion luminescence," Journal of Materials Science 48 (2013): 4989-4998.
- [35] M. Ding, J. Xi, S. Yin, and Z. Ji, "Molten salt synthesis, growth mechanism of β - NaYF_4 and tunable luminescence properties of β - $\text{NaYF}_4:\text{Tb}^{3+}$ microrods," Superlattices and Microstructures 83 (2015): 390-400.

- [36] T. Kimura, *Molten salt synthesis of ceramic powders*: INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [37] L. Cheng, C. Wang, and Z. Liu, "Upconversion nanoparticles and their composite nanostructures for biomedical imaging and cancer therapy," *Nanoscale* 5 (2013): 23-37.
- [38] Q. Liu, B. Yin, T. Yang, Y. Yang, Z. Shen, P. Yao, *et al.*, "A general strategy for biocompatible, high-effective upconversion nanocapsules based on triplet-triplet annihilation," *Journal of the American Chemical Society* 135 (2013): 5029-5037.
- [39] F. Chen, S. Zhang, W. Bu, X. Liu, Y. Chen, Q. He, *et al.*, "A "Neck-Formation" Strategy for an Antiquenching Magnetic/Upconversion Fluorescent Bimodal Cancer Probe," *Chemistry-A European Journal* 16 (2010): 11254-11260.
- [40] J. Wang, J. Li, Y. Xie, C. Li, G. Han, L. Zhang, *et al.*, "Investigation on solar photocatalytic degradation of various dyes in the presence of Er^{3+} : $\text{YAlO}_3/\text{ZnO-TiO}_2$ composite," *Journal of environmental management* 91 (2010): 677-684.
- [41] J. Wang, T. Ma, G. Zhang, Z. Zhang, X. Zhang, Y. Jiang, *et al.*, "Preparation of novel nanometer TiO_2 catalyst doped with upconversion luminescence agent and investigation on degradation of acid red B dye using visible light," *Catalysis Communications* 8 (2007): 607-611.
- [42] A. Fujishima, X. Zhang, and D. A. Tryk, " TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena," *Surface Science Reports* 63 (2008): 515-582.
- [43] M. Landmann, E. Rauls, and W. Schmidt, "The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO_2 ," *Journal of Physics: Condensed Matter* 24 (2012): 195503.
- [44] C. Kramer and C. Wilson, "The phase diagram of $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$," *Thermochemica Acta* 42 (1980): 253-264.

- [45] J. Sangster and A. Pelton, "Critical coupled evaluation of phase diagrams and thermodynamic properties of binary and ternary alkali salt systems," Special Report to the Phase Equilibria Program, American Ceramic Society, Westerville, OH 1987).
- [46] A. Bergman and K. Noguev, "Fusion Diagram of the System Potassium, Lithium, Ammonium, Nitrate Ternary System," Zh. Neorg. Khim 7 (1962): 351-355.
- [47] C. Yildirim and Ö. Birer, "Ultraviolet upconversion spectra of sonochemically synthesized doped NaYF₄ crystals," Chemical Physics 445 (2014): 46-52.
- [48] V. Mahalingam, F. Vetrone, R. Naccache, A. Speghini, and J. A. Capobianco, "Colloidal Tm³⁺/Yb³⁺-Doped LiYF₄ Nanocrystals: Multiple Luminescence Spanning the UV to NIR Regions via Low-Energy Excitation," Advanced Materials 21 (2009): 4025-4028.
- [49] F. Pandozzi, F. Vetrone, J.-C. Boyer, R. Naccache, J. A. Capobianco, A. Speghini, *et al.*, "A spectroscopic analysis of blue and ultraviolet upconverted emissions from Gd₃Ga₅O₁₂: Tm³⁺, Yb³⁺ nanocrystals," The Journal of Physical Chemistry B 109 (2005): 17400-17405.

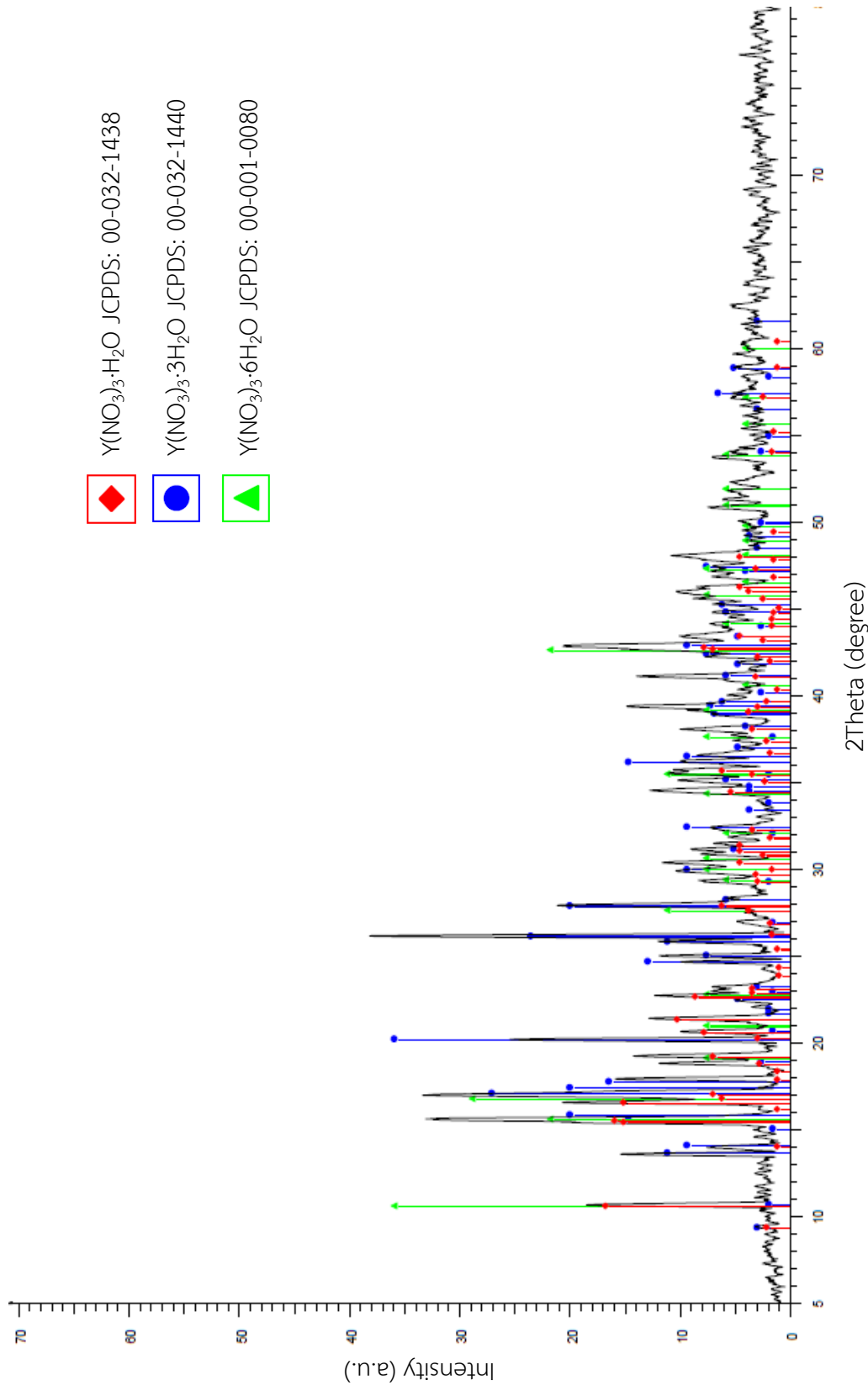


ภาคผนวก

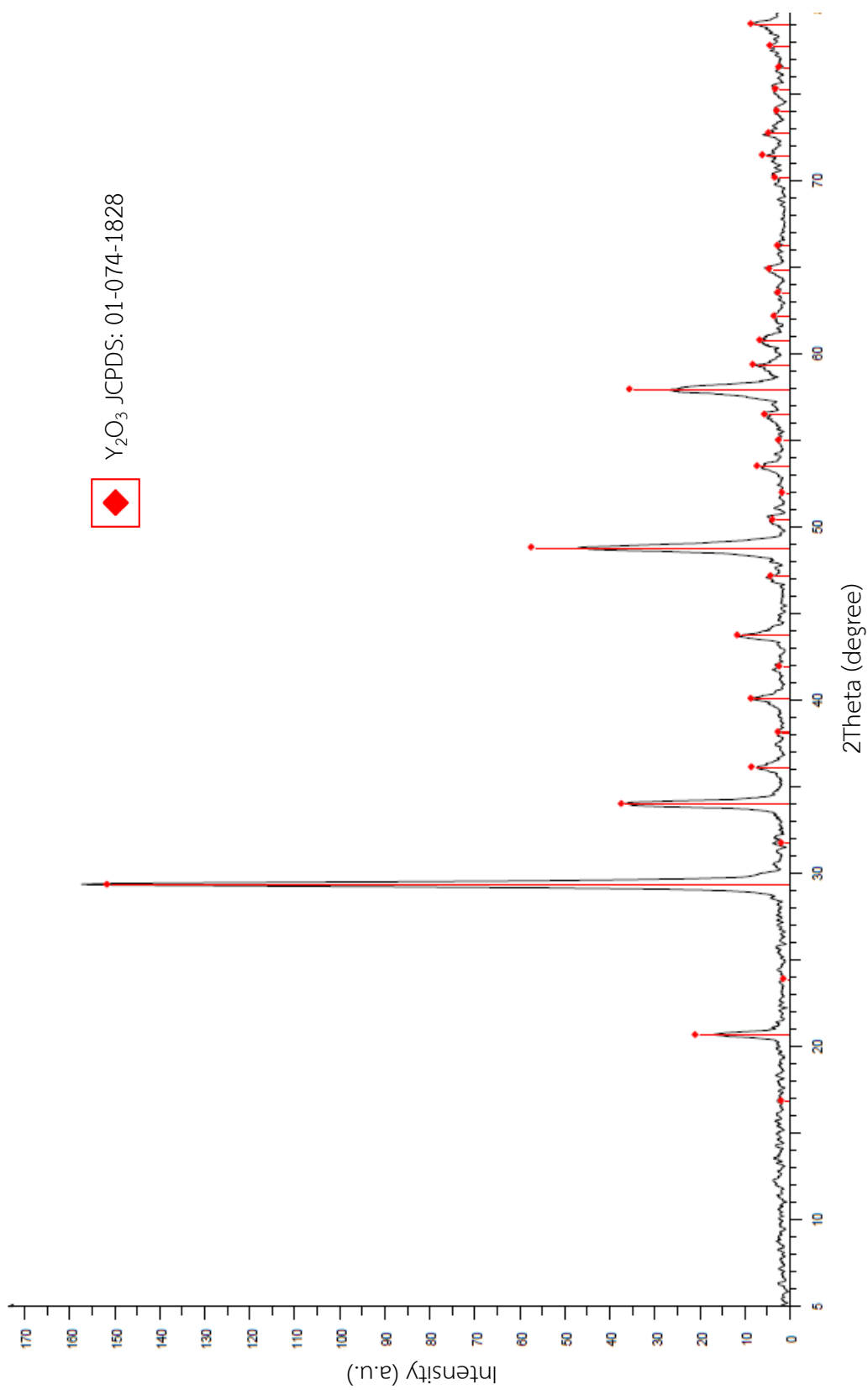
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสม เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมวัสดุเปล่งแสง อັฟคอนเวอร์ชันโซเดียมอิตเทรียมฟลูออไรด์เจืออิตเทอร์เบียมและทูลีียม ที่เตรียมโดยการละลาย อิตเทรียมออกไซด์ อิตเทอร์เบียมออกไซด์ และทูลีียมออกไซด์ ในอัตราส่วนโมลอิตเทรียมต่อ อิตเทอร์เบียมต่อทูลีียมเป็น 79.5 ต่อ 20 ต่อ 0.5 ในกรดไนตริก จนได้เป็นสารละลายใส และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งกลายเป็นผงสีขาว สารที่ได้จากการเตรียมเป็น สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ($\text{Re}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) โดยมีผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ ก-1 พบว่ามีเฟส องค์ประกอบผสมของเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำ 1 โมเลกุล (yttrium nitrate hydrate, $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-032-1438) 3 โมเลกุล ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-032-1440) และ 6 โมเลกุล ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, JCPDS no. 00-001-0080) โดยไม่ทราบสัดส่วนที่แน่นอน จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณหาจำนวนโมลของธาตุหายากที่แน่นอนได้ เมื่อทำการหาน้ำหนักที่หายไปของ สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่เตรียมได้ โดยนำผงที่ได้ไปชั่ง น้ำหนัก และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ให้ได้สารประกอบออกไซด์ของธาตุหายากผสม สารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากผสมที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจะมีผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังแสดงในรูปที่ ก-2 พบว่ามีเฟสองค์ประกอบอิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3 JCPDS no. 01-074-1828)



รูปที่ ก-1 เฟสองค์ประกอบของสารประกอบเกลือไนเตรตของธาตุหายากที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธันต์ธอร์ พรพัฒน์เดชอุดม เกิดเมื่อวันที่ 5 เดือนพฤศจิกายน ปี พุทธศักราช 2555 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต แขนงวิชาเซรามิกและวัสดุศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้ารับการศึกษาคือในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556 ภายใต้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ ๗๒ พรรษา

ในระหว่างการศึกษาในระดับปริญญาโท ได้มีการเข้าร่วมประชุมและเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์ ในหัวข้อ “Synthesis and Photocatalytic Performance of NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺ and TiO₂ Composite” ในการประชุม The 6th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology and The 21st PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers ณ ห้องออดิทอเรียม ชั้น 8 อาคารเฉลิมราชกุมารี ๖๐ พรรษา (อาคารจามจุรี 10) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในวันที่ 21 เดือนเมษายน ปีพุทธศักราช 2558 และได้รับรางวัล Gold Poster Presentation Award ในกลุ่ม Smart and Advanced Materials

และในหัวข้อ “Phase-Selective Hydrothermal Preparation and Upconversion Luminescence of NaYF₄:Yb³⁺/Tm³⁺” ในการประชุม International Conference on Traditional and Advanced Ceramics 2015 (ICTA2015) ณ The Bangkok International Trade and Exhibition Centre (BITEC) บางนา กรุงเทพมหานคร ในระหว่างวันที่ 9 ถึง 11 เดือนกันยายน ปีพุทธศักราช 2558 และได้รับรางวัล Best Poster Award ในกลุ่ม Advanced Ceramics