**บทที่ 5**

**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

งานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของธาตุหมู่ 1 ต่อสมบัติทางกายภาพ ทางแสงและการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้ว และศึกษาศักยภาพสำหรับเป็นตัวกลางเลเซอร์โดยใช้ทฤษฎี Judd-Ofelt และโครงการย่อยที่ 2 ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของแก้วลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม อะลูมิเนียมฟอสเฟต เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ (Sm2O3) ต่อสมบัติทางกายภาพ ทางแสงและการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้ว สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์สีส้ม ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

**5.1 สรุปผลการวิจัย**

โครงการย่อยที่ 1

จากการทดลองหลอมแก้วอะลูมิเนียมฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt-quenching technique) ตัวอย่างแก้วหลอมที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมีลักษณะใสสม่ำเสมอ และมีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากซาแมเรียมออกไซด์เป็นสารเคมีที่ให้สีเหลือง

**5.1.1 การวิเคราะห์ดรรชนีหักเห**

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแก้วลิเทียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต พบว่าความหนาแน่นและดรรชนีหักเหแสงของแก้ว LAPSm, NAPSm และ KAPSm มีแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยดรรชนีหักเหแสงขึ้นกับความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว

**5.1.2 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง**

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วอะลูมิเนียมฟอสเฟต ในช่วงความยาวคลื่น 300-1800 นาโนเมตร สามารถพบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมด 8 พีค โดยตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงอินฟราเรดใกล้ โดยความยาวคลื่น 1379 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่ตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด นอกจากนี้พบว่าลักษณะของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วทั้งสามสูตร มีรูปร่างคล้ายกัน แตกต่างกันเฉพาะความเข้มของการดูดกลืนแสง

**5.1.3 การวิเคราะห์การเปล่งแสง**

จากการศึกษาการเปล่งแสงของแก้วลิเทียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ในช่วงความยาวคลื่น 500-750 นาโนเมตร พบว่าเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 401 นาโนเมตร สามารถพบสเปกตรัมการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้วได้อย่างชัดเจน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 561, 597, 644 และ 704 นาโนเมตร โดยตัวอย่างแก้วสามารถเปล่งแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 597 นาโนเมตร จากการเปรียบเทียบสเปกตรัมการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้วทั้งสามสูตรพบว่า ความเข้มของการเปล่งแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าเพิ่มขึ้นตามรัศมีไอออนของธาตุหมู่ 1 โดยแก้ว KAPSm เปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงกว่าแก้ว NAPSm และ LAPSm ตามลำดับ

**5.1.4 การศึกษาศักยภาพสำหรับเป็นตัวกลางเลเซอร์ โดยการวิเคราะห์ Judd-Ofelt**

การศึกษาศักยภาพสำหรับเป็นตัวกลางเลเซอร์ของแก้วอะลูมิเนียมฟอสเฟตเจือด้วย Sm2O3 ที่ความเข้มข้น 0.50 ร้อยละโดยโมล พบว่าตัวอย่างแก้วสามารถเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 6H5/2**→**6F7/2 ได้ดีที่สุด เนื่องจากค่าความแรงของการสั่นที่ได้จากการทดลองและได้จากการคำนวณมีค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาและเปรียบเทียบค่า Ω2 ของตัวอย่างแก้วทั้งสามสูตร สามารถพบแนวโน้มของค่า Ω2 เป็น KAPSm > NAPSm > LAPSm แสดงให้เห็นว่าลิแกนด์ที่ล้อมรอบ Sm3+ ของแก้ว KAPSm มีความไม่สมมาตรสูงเมื่อเทียบกับแก้ว NAPSm และ LAPSm จากการพิจารณาค่า , และ ****สรุปได้ว่าแก้ว KAPSm สามารถกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 401 nm แล้วทำให้เกิดการเปล่งแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 597 nm ได้โดยใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์เป็นวัสดุตัวกลางเลเซอร์ของแข็งที่เปล่งแสงส้มได้ดีกว่าแก้ว NAPSm และ LAPSm ตามลำดับ

โครงการย่อยที่ 2

จากการทดลองหลอมแก้วลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่เจือด้วย Sm3+ โดยใช้สูตร 15R2O : 20Al2O3 : (65-x)P2O5 : xSm2O3 โดยที่ R2O คือ Li2O, Na2O และ K2O เมื่อ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (mol%) ด้วยเทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (melt-quenching technique) ตัวอย่างแก้วหลอมที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ใสสม่ำเสมอ และมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Sm2O3

**5.1.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่น**

จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของแก้ว LAPSm และ NAPSm มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นกราฟเส้นตรงโดยเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 0.05–2.00 mol% และ 0.10–2.00 mol% ตามลำดับ สำหรับแก้ว KAPSm มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง เพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นที่ความเข้มข้น 0.50–2.00 mol% โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามวลโมเลกุลของ Sm2O3 มีค่ามากกว่ามวลโมเลกุลของ P2O5 เมื่อ Sm2O3เข้าไปแทนที่ P2O5 ในโครงร่างแก้ว จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ปริมาณความเข้มข้น 2.00 mol% มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด โดยที่ตัวอย่างแก้ว NASm มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือ KASm และ LASm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.6754, 2.6557 และ 2.6038 g/cm3 ตามลำดับ

**5.1.6 การวิเคราะห์ปริมาตรเชิงโมล**

การวิเคราะห์หาค่าปริมาตรเชิงโมล (Vm, cm3/mol) ของตัวอย่างแก้วที่เจือ Sm3+ ที่มีความเข้มข้นของ Sm2O3 เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ตามลำดับ พบว่าที่ปริมาตรความเข้มข้น 2.00 mol% ปริมาตรเชิงโมลของแก้ว NASm มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ KASm และ LASmโดยมีค่าเท่ากับ 55.9199, 47.5238 และ 46.0019 cm3/mol ตามลำดับ

**5.1.7 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง**

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้วที่เจือ Sm3+ ที่มีความเข้มข้นของ Sm2O3 เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตร้าไวโอเลต (UV) วิสิเบิล (Vis) และอินฟาเรดใกล้ (NIR) ได้ทั้งหมด 8 พีค โดยที่ความยาวคลื่น 401 นาโนเมตร จะให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด และความเข้มของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของ Sm2O3

**5.1.8 การวิเคราะห์การเปล่งแสง**

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้วที่เจือ Sm3+ ที่มีความเข้มข้นของ Sm2O3 เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ตามลำดับ ด้วยเครื่องแครี่ อิคลิพฟลูออเรสเซนต์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของ Sm2O3 เท่ากับ 2.00 mol% เมื่อให้ความยาวคลื่นสำหรับการเปล่งแสง () ที่ 597 นาโนเมตร สามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมของการถูกกระตุ้นของตัวอย่างแก้ว LAPSm, NAPSm และ KAPSm ได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 10 พีค เมื่อให้ความยาวคลื่นสำหรับการกระตุ้น () ที่ 401 นาโนเมตร พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมของการเปล่งแสงได้อย่างทั้งหมด 4 พีค จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเจือ Sm2O3 ลงไปในแก้ว LAPSm และ KAPSm อะลูมิเนียมฟอสเฟต คือ 0.50 mol% สำหรับแก้ว NAPSm คือ 1.00 mol%

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

ควรมีการศึกษาผลของธาตุหมู่ 2 เพิ่มเติม โดยเพิ่มธาตุแมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และสตรอนเชียม (Sr )เข้าไปในระบบแก้ว เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของระบบแก้วทั้งสามว่าแก้วสูตรใดสามารถเปล่งแสงได้ดีที่สุดและเหมาะสำหรับเป็นตัวกลางเลเซอร์ของแข็งได้ดีที่สุด นอกจากนี้ควรมีการศึกษาธาตุแรเอิร์ทตัวอื่นๆ เช่น ดิสโพรเซียม (Dy) และยูโรเพียม (Eu)

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการศึกษาผลของธาตุหมู่ 2 เพิ่มธาตุแมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และสทรอนเซียม (Sr) เข้าไปในระบบแก้ว เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของระบบแก้วทั้งสามว่าแก้วสูตรใด หรือหมู่ใด สามารถเปล่งแสงได้ดีที่สุดและเหมาะสำหรับเป็นตัวกลางเลเซอร์สีส้มชนิดใหม่จากแก้วฟอสเฟตที่เจือด้วย Sm2O3ได้ดีที่สุด