



การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์
ของระบบแก้วบิสมัทแบรเรียมบอร์เรทด้วยการเจือซาแมเรียม



ดร.รังสรรค์ ร่วมนิคม

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประจำปีงบประมาณ 2559

Study on Physical, Structural, Optical and Luminescence Properties of
 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO-B}_2\text{O}_3$ Glass Systems Doped with Sm^{3+}

Dr. Rungsan Ruamnikhom



Granted by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal 2016

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการดำเนินวิจัยจนแล้วเสร็จ และผลงานสามารถตีพิมพ์ลงในวารสารระดับนานาชาติได้อย่างสมบูรณ์และมีประโยชน์กับองค์กร

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลีมสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ แก้วขาวหัวหน้าศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือทดสอบสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการตีพิมพ์ลงในวารสารระดับนานาชาติได้อย่างสมบูรณ์

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อองค์กรและผู้เกี่ยวข้องมากที่สุด จึงขอมอบผลความสำเร็จทั้งหมดนี้ให้แก่คณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูแก่แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากพบข้อบกพร่องใดๆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับและยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ดร.รังสรรค์ ร่วมนิคม

กันยายน 2559



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ	Inn 002/2559
ชื่อโครงการ	การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วบิสมัทแบรเรียมบอร์เรทด้วยการเจือซาแมเรียม
ชื่อผู้วิจัย	ดร.รังสรรค์ ร่วมนิคม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเจือไอออนของธาตุซาแมเรียมลงในระบบแก้วบิสมัทแบรเรียมบอร์เรทที่เตรียมขึ้นจากสูตร $(50-x)B_2O_3:50Bi_2O_3:xSm_2O_3$ (เมื่อ $x = 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ และ 2.50 เปอร์เซ็นต์โมล) ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้พบว่า ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลาร์ของระบบแก้วมีค่า 4.80-4.91 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร 50.19-51.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร/โมล ตามลำดับ เมื่อวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 - 1,800 นาโนเมตร พบพีคของการดูดกลืนแสงจำนวน 10 พีค ที่ความยาวคลื่น 374, 388, 402, 942, 1079, 1226, 1405, 1471, 1523 และ 1585 นาโนเมตร ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ${}^6P_{7/2}$, ${}^4G_{11/2}$, ${}^6P_{3/2}$, ${}^6F_{11/2}$, ${}^6F_{9/2}$, ${}^6F_{7/2}$, ${}^6F_{5/2}$, ${}^6F_{3/2}$, ${}^6H_{15/2}$ และ ${}^6F_{1/2}$ ตามลำดับ และได้ทำการวัดการเปล่งแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟซีนอนที่ความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสง 4 พีคที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน คือ ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ (564 นาโนเมตร สีเหลืองอ่อน) ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ (600 นาโนเมตร สีส้มเข้ม) ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$ (645 นาโนเมตร สีแดงเข้ม) และ ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ (709 นาโนเมตร สีแดงอ่อน)

สำคัญ : แก้วบิสมัทแบรเรียมบอร์เรท, ซาแมเรียมออกไซด์, สมบัติเชิงกายภาพ, สมบัติเชิงแสง, การเปล่งแสง

E-mail Address : rungsan.rua@rmutr.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2558 – กันยายน 2559

Abstract

Code of project: Inn 002/2559

Name of project: Study on Physical, Structural, Optical and Luminescence Properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO-B}_2\text{O}_3$ Glass Systems Doped with Sm^{3+}

Research name: Dr. Rungsan Ruamnikhom

In this study, the effect of Sm^{3+} ions doped in glasses of the composition in mol% $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 40\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{BaO} : x\text{Sm}_2\text{O}_3$ (where $x = 0, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ and 2.50). The BiBaBO glasses have been prepared by melt-quench technique. The results show the densities and molar volume of glasses are between $4.80\text{-}4.91 \text{ g/cm}^3$ and $50.19\text{-}51.58 \text{ cm}^3/\text{mol}$, respectively. The absorption spectra consists of ten absorption peaks that are located at 374, 388, 402, 942, 1079, 1226, 1405, 1471, 1523 and 1585 nm, and are assigned to ${}^6\text{P}_{7/2}$, ${}^4\text{G}_{11/2}$, ${}^6\text{P}_{3/2}$, ${}^6\text{F}_{11/2}$, ${}^6\text{F}_{9/2}$, ${}^6\text{F}_{7/2}$, ${}^6\text{F}_{5/2}$, ${}^6\text{F}_{3/2}$, ${}^6\text{H}_{15/2}$ and ${}^6\text{F}_{1/2}$ transitions, respectively. The luminescence spectra exhibited four emission peaks corresponding to the ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{5/2}$ (564 nm yellow, weak), ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$ (600 nm orange, strong), ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{9/2}$ (645 nm red, strong) and ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$ (709 nm red, weak) transitions.

Keyword : BiBaBO, Sm_2O_3 , Physical Properties, ptical Properties, Luminescence

E-mail Address : rungsan.rua@rmutr.ac.th

Period of project : October 2558 – September 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 การดำเนินการวิจัย	3
1.6 สถานที่ทำการทดลอง	4
1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1.1 สมบัติและโครงสร้างของแก้ว(structure and properties of glass)	6
2.1.2 สมมติฐานการเกิดแก้วในระดับอะตอม (Atomic Hypothesis of Glass Formation)	7
2.1.3 สมบัติของวัสดุแก้ว	9
2.1.4 สมบัติทางกลของวัสดุแก้ว	9
2.1.4.1 Elasticity	9
2.1.4.2 Compressive strength	10
2.1.4.3. Tensile strength	10
2.1.5 สมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของวัสดุแก้ว	10
2.1.6 สมบัติทางความร้อนของวัสดุแก้ว	10
2.1.6.1 การขยายตัวเชิงเส้น (Linear expansion)	10
2.1.6.2 Thermal stress	11
2.1.7 สมบัติทางแสงของวัสดุแก้ว	11
2.1.7.1 Spectrophotometric characteristics	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.7.2 Natural light, daylight factor	1
2.1.7.3 การเปล่งแสง (Luminescence)	12
2.1.7 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุแก้ว	13
2.1.8 สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว	13
2.1.9 การผลิตแก้วและวัสดุอัญฐาน	14
2.1.10 การใช้งานวัสดุแก้ว	14
2.1.11 อุตสาหกรรมแก้วและกระจก	18
2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	21
3.1 ศึกษาหาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและกำหนดสูตรแก้วในงานวิจัย	21
3.2 การเตรียมสารตัวอย่าง	21
3.3 การศึกษาสมบัติเฉพาะด้านของวัสดุแก้ว	30
3.3.1 การวัดความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล (Density and Molar Volume Measurement)	31
3.3.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตถึงช่วงที่ตามองเห็น (UV/VIS Spectrophotometer)	33
3.3.3 การเปล่งแสง(Photoluminescence)	34
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของระบบแก้ว	37
4.2 สมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-VIS-NIR	38
4.3 การหาค่าช่องว่างของแถบพลังงาน (Band gap)	39
4.4 สมบัติการเปล่งแสง (Photoluminescence properties)	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ประวัติผู้วิจัย	45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย	4
2.1 ชื่อเรียกของการลูมิเนสเซนซ์โดยแบ่งตามวิธีการกระตุ้น	12
3.1 แสดงสูตรระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรทที่เติม Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	22
3.2 แสดงมวลอะตอมของธาตุ B Ba Bi O และ Sm	22
3.3 แสดงสัดส่วนมวลสารในการเตรียมแก้วที่มีความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ต่างๆ	23
3.4 ความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0°C และความดัน 1 บรรยากาศ	32
4.1 แสดงสูตรระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรทที่เติม Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	36



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของผลึกควอทซ์ (quartz crystal) และแก้วควอทซ์ (quartz glass)	7
2.2 โครงสร้างวงแหวนของสารประกอบโบรอนออกไซด์	8
2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นที่อุณหภูมิต่างๆ	9
2.4 แก้วในงานก่อสร้าง (Constructions)	14
2.5 แก้วบรรจุภัณฑ์ (Containers)	15
2.6 แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty glass)	15
2.7 แก้วเครื่องประดับตกแต่ง (Ornaments & Figurines)	16
2.8 แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass)	16
2.9 แก้วในงานทางแสง (Optical glass)	17
2.10 แก้วในงานอื่นๆ (Other Glass)	17
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการหลอมแก้ว	25
3.2 ถ้วยอลูมินาที่ใช้หลอมแก้ว	26
3.3 เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงที่ใช้สำหรับหลอมแก้ว	26
3.4 แก้วหลอมเหลวภายในเตาไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส	27
3.5 บล็อกที่ทำจากสแตนเลส	27
3.6 เทแก้วหนืดลงในบล็อกสแตนเลสที่อบให้มีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	28
3.7 แก้วที่ถูกเทลงในบล็อกที่ทำจากสแตนเลส	28
3.8 เตาอบไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูง	29
3.9 แก้วที่ได้ก่อนตัดและขัด	29
3.10 ระบบแก้วบิสมัทแบเรียมบอร์เรทที่เติมด้วยซาแมเรียมไอออนความเข้มข้นต่างๆ	30
3.11 กระบวนการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของระบบแก้ว	31
3.12 เครื่องชั่งมวล ที่มีค่าความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง	33
3.13 เครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer (Shimadzu UV-3100, Japan)	34
3.14 เครื่อง Spectrofluorophotometer (Shimadzu RF-5301PC, Japan)	35
3.15 เครื่อง Luminescence spectrometer (Quanta Master 3)	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

	หน้า
4.1 ระบบแก้วหลังจากตัดและขัดสำหรับวัดสมบัติทางฟิสิกส์	
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลกับ ปริมาณความเข้มข้นของซามาเรียมไอออน	36 37
4.3 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของระบบแก้วที่ความยาวคลื่นต่างๆ	
4.4 การหาค่า $(ah\nu)^{1/2}$ ที่พลังงานต่างๆ ความเข้มข้นของซามาเรียม ไอออนที่ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์	38 39
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่องว่างแถบพลังงานขึ้นกับปริมาณความ เข้มข้นของซามาเรียมไอออนที่ความเข้มข้นต่างๆ	39
4.6 สเปกตรัมของการคายพลังงานเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 408 นา โนเมตร	40
4.7 แผนภาพการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อกระตุ้นด้วย ความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันชีวิตประจำวันของมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ แก้วจึงเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น งานก่อสร้าง (Constructions) บรรจุก๊าซ (Containers) เครื่องประดับ ตกแต่ง (Ornaments and Figurines) อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass) อุปกรณ์ที่ใช้ในงานทางแสง (Optical glass) ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี (Radiation Shielding Materials) เป็นต้น ในปี 2539 วัสดุแก้วมีมูลค่าการนำเข้าและส่งออกรวมสูงถึง 8,700 ล้านบาท โดยมีการส่งออกมากกว่านำเข้าถึง 47% นับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการส่งออก จึงมีความจำเป็นต้องสนับสนุนงานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแก้วในการแข่งขันกับตลาดโลกสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว อุตสาหกรรมการผลิตแก้วจึงมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจ เช่น เทคโนโลยีการผลิตใยแก้วนำแสง (Fiber Optics) โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ใยแก้วสำหรับวัสดุเสริมแรงและเลนส์ (Lens) เป็นต้น

โบริกออกไซด์บริสุทธิ์ (B_2O_3) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้ว (Glass former) ที่สำคัญนอกเหนือจากแก้วซิลิกา และแก้วฟอสเฟต โดยยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่น่าสนใจ เนื่องจากการจับตัวกันของอะตอมโบรอนกับอะตอมออกซิเจนที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ส่งผลให้แก้วมีโครงสร้างที่หลากหลาย [1] แก้วบอร์เรทเมื่อถูกหลอมเหลวจะมีความหนืดสูงและมีแนวโน้มการก่อตัวที่เป็นลักษณะผลึกในเนื้อแก้ว นอกจากนี้แก้วบอร์เรทที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆ มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแสงทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น จึงทำให้แก้วบอร์เรทเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านทัศนศาสตร์ [2]

บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) เมื่อมีการหลอมเหลวไม่สามารถเป็นเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแก้วได้ เนื่องจากมีไอออนของบิสมัท (Bi^{3+}) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน ส่งผลให้โมเลกุลของบิสมัทออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทรกในเนื้อแก้ว ซึ่งคุณสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับออกไซด์ของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของสูตรแก้ว เช่น แก้วที่มีการเติม Bi_2O_3 มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูง และมีเสถียรภาพทางเคมีและกายภาพสูง ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง เช่น ทำเป็นแก้วเซรามิก (Glass ceramics) ชั้นสำหรับอุปกรณ์แสงและอิเล็กทรอนิกส์ (Layers for optical and electronic devices) เซ็นเซอร์เชิงความร้อน และเชิงกล (Thermal and mechanical sensors) และหน้าต่างสะท้อนแสง (Reflecting windows) เป็นต้น [3]

แก้วที่มีส่วนผสมระหว่างบิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) กับโบริกออกไซด์ เรียกว่า แก้วบิสมัทบอร์เรท (Bismuth borate glass) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงแสงให้มีหลากหลายขึ้นอยู่กับสารประกอบ และอัตราส่วนของสารประกอบที่ใช้ในการเตรียมแก้ว นอกจากนี้แก้วบิสมัทบอร์เรทเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง

อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ ดัชนีหักเหสูงและมีเสถียรภาพทางเคมีและกายภาพสูง [3] ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการพัฒนาแก้วสำหรับใช้งานในด้านรังสีเอกซ์ด้วย โดยแก้วที่มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูงจะเกิดอันตรกิริยาได้ดีต่อรังสีเอกซ์ (X-ray) หรือใช้เป็นวัสดุเรืองแสง รวมทั้งใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ตอบสนองต่อแสง (Optoelectronic) ดังนั้นแก้วระบบ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ จึงมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [4]

นอกจากนี้แก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษชนิดอื่น ที่เกิดจากการเติมวัตถุดิบอื่นๆ ลงไป เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของแก้ว เช่น แก้วคริสตัลที่เกิดจากการเติมตะกั่ว และกลายเป็นสารประกอบออกไซด์ (PbO) ในเนื้อแก้ว เพื่อให้แก้วหนักขึ้น เนื้อแก้วหยุ่นเหนียวและแวววาว แต่ตะกั่วมีความเป็นพิษจึงทำให้มีการเติมออกไซด์ของแบเรียมและสังกะสี (BaO , ZnO) เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกไซด์ของตะกั่ว สำหรับการใช้งานทางด้านกำบังรังสี

ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำปรับปรุงคุณสมบัติของแก้ว โดยเตรียมแก้วจากระบบบิสมัทแบเรียมบอร์เรท มาประยุกต์ใช้งานเชิงแสงและงานทางด้านรังสี เช่น ใช้เป็นหน้าต่างกำบังรังสี วัสดุกำบังรังสีแกมมา และหัวนับวัดรังสี [5-6] มีงานรายงานวิจัยไม่น้อยที่ทำการศึกษาระบบคุณสมบัติต่างๆ ของแก้วในระบบ $\text{Bi}_2\text{O}_3 : \text{BaO} : \text{B}_2\text{O}_3$ [7-11] แต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาโครงสร้างและการเปล่งแสงของแก้วยังมีน้อย มีเพียงในปี 2010 Egorysheva และคณะ ที่ได้เจือ Eu^{3+} ลงในระบบแก้วบิสมัทแบเรียมบอร์เรท และในปี 2014 Rungsan และคณะ ก็ได้เจือ Er^{3+} , Nd^{3+} ลงในระบบแก้วบิสมัทแบเรียมบอร์เรท ทำให้ได้คุณสมบัติในการเปล่งแสงที่ดีในช่วงอินฟราเรด [12-13]

ในปัจจุบันนี้แก้วที่มีการเจือธาตุหายาก (Rare earths) มีความน่าสนใจอย่างมากในการประยุกต์ใช้ อย่างมีศักยภาพ เนื่องจากมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 4f-4f ทำให้ไอออนของธาตุหายากมีคุณสมบัติในการเปล่งแสง ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ทำให้แก้วที่ได้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานเป็นต้นกำเนิดของแสงเลเซอร์และอุปกรณ์นับวัดรังสี [14].

ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่าการศึกษาข้อมูลวัสดุแก้วด้วยการวัดคุณสมบัติต่างๆ ทางฟิสิกส์อย่างมีประสิทธิภาพมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ต่อบุคคลทั่วไปและขยายตัวไปสู่ภาคอุตสาหกรรม ด้วยการพัฒนาสูตรแก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวด้วยการเจือไอออนของซาแมเรียม (Sm^{3+}) ลงในระบบแก้ว $\text{Bi}_2\text{O}_3 : \text{BaO} : \text{B}_2\text{O}_3$ ที่มีสมบัติการวาวแสงเมื่อได้รับพลังงานจากการกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานแตกต่างกัน เพื่อศึกษาการตอบสนองและอธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานอย่างลึกซึ้ง และเป็นแนวทางสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุทางแสงได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นวัสดุแสดงผล วัสดุโฟโตนิกส์ หรือวัสดุตรวจวัดรังสี เป็นต้น [15]. นอกจากนี้ระบบแก้วดังกล่าวยังไม่มีผู้ใดเคยศึกษามาก่อนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อเตรียมระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรทจากสูตร $(40-x)B_2O_3 : 40Bi_2O_3 : 20BaO : xSm_2O_3$ (เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล)

2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ระบบแก้วระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรท

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง

1.1 เตรียมแก้วจากสูตร $(40-x)B_2O_3 : 40Bi_2O_3 : 20BaO : xSm_2O_3$ (เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล) เพื่อนำไปคำนวณสัดส่วนมวลสารเพื่อใช้ในกระบวนการหลอมแก้ว

1.2 นำแก้วตัวอย่างที่ได้ไปตัดและขัดให้มีขนาดเหมาะสมกับเครื่องมือวัดคุณสมบัติต่างๆทางฟิสิกส์

2. ขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ทางฟิสิกส์ เช่น สมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ต่อบุคคลทั่วไปและขยายตัวไปสู่ภาคอุตสาหกรรม
2. เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมแก้วได้นำสูตรแก้วที่วิจัยได้ไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดความเหมาะสมกับสมบัติต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด
3. เพื่อลดความเสี่ยงจากการใช้แก้วที่มีออกไซด์ของสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบ
4. ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง

1.5 การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาโครงการ มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. การเตรียมสารตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารตั้งต้นต่าง ๆ ดังนี้ $(40-x)B_2O_3 : 40Bi_2O_3 : 20BaO : xSm_2O_3$ โดยที่ x คือ จำนวนโมลของซาแมเรียมออกไซด์ (Sm_2O_3) ที่ใส่ลงไป ปริมาณต่างๆ กัน โดยมีปริมาณ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ซึ่งสารเตรียมส่วนผสมของสารตั้งต้นมวลรวม 20 กรัม จากนั้นนำสารตั้งต้นในการผลิตแก้ว และนำส่วนผสมของสารตั้งต้นมาผสมให้เข้ากัน นำมาใส่ในครุชีเบิล (Crucible) ที่เตรียมไว้ นำเข้าเตาเผาสาร โดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนกับชุดตัวอย่างที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

กระบวนการวิจัย	ระยะเวลาปีงบประมาณ 2559											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้ว												
4.วัดคุณสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้างทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้ว												
5.ศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้จากเครื่องมือวัด												
6.สรุปผลที่ได้จากการทดลอง												
7.นำเสนอและเผยแพร่งานวิจัยในระดับนานาชาติ												
8.เขียนและส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์												

หมายเหตุ : แผนการดำเนินงาน อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม



บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แก้ววิทยาศาสตร์ (science glasses) โครงสร้างแก้ว (structure of glass) และสมบัติแก้ว (properties of glass)

เมื่อจินตนาการภาพการทดลองทางวิทยาศาสตร์ คนส่วนมากจะจินตนาการถึงนักวิทยาศาสตร์ผมยู่ทำการทดลองวิทยาศาสตร์โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (laboratory equipment) และเครื่องแก้วทางวิทยาศาสตร์ (laboratory glassware) ใส่สารเคมีวางเรียงรายอยู่เต็มไปหมดและมีควันสีขาวลอยออกมาจากการทดลองนั้น เครื่องแก้วที่พบเห็นได้ เช่น หลอดทดลอง (test tube) บีกเกอร์ (beaker) ขวดก้นกลม (round bottom flask) เป็นต้น ซึ่งเครื่องแก้วนี้ไม่รวมอยู่ในกลุ่มของสารเคมี (chemicals) และกลุ่มของเครื่องมือ แต่จะแยกออกมาเป็นกลุ่มของเครื่องแก้วต่างหาก แน่แน่นอนว่าเครื่องแก้วมีสำคัญอย่างมากในการทำปฏิบัติการเพราะมีความจำเป็น 3 ประการดังนี้

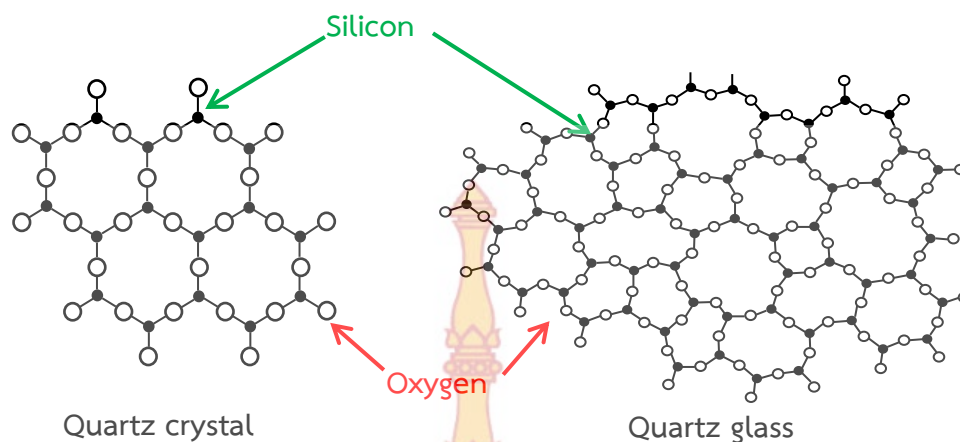
1. แก้วมีความใส ทำให้สังเกตเห็นปฏิกิริยาภายในได้อย่างชัดเจน
2. เป็นวัสดุที่มีความเสถียรมาก ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นได้ง่าย
3. ง่ายต่อการออกแบบเป็นรูปร่างต่างๆ เพื่อใช้สร้างอุปกรณ์ที่มีรูปร่างเหมาะสมกับการทดลอง

นอกจากนี้ยังสามารถซ่อมแซมได้หากชำรุด

2.1.1 สมบัติและโครงสร้างของแก้ว(structure and properties of glass)

คำจำกัดความที่เป็นมาตรฐานของแก้วเมื่อปี ค.ศ. 1985 คือ “ของแข็งที่ไม่เป็นผลึก” (“noncrystalline solid”) ส่วน ASTM (Americal Society for Testing Material) ให้คำจำกัดความว่า “เป็นสารอนินทรีย์ที่เกิดจากการหลอมและเย็นตัวลงจนได้สถานะที่มีความคงตัวโดยไม่เกิดเป็นผลึก” แต่หลังจากปีค.ศ. 1985 มีการคิดค้นแก้วที่เกิดจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ และโลหะขึ้นมา ทำให้เกิดคำจำกัดความที่มีความถูกต้องมากกว่าคือ “วัสดุใดๆ ที่มีการเย็นตัวลงเร็วเพียงพอที่ทำให้ไม่เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก”

ทำไมแก้วจึงมีคุณสมบัติแตกต่างกัน พิจารณาได้จากโครงสร้างของผลึกควอทซ์ (quartz crytal) และแก้วควอทซ์ (quartz glass) โดยการเปรียบเทียบโครงสร้างในระดับโมเลกุล



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผลึกควอทซ์ (quartz crystal) และแก้วควอทซ์ (quartz glass)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผลึกควอทซ์ คือ ซิลิคอน (Si) และ ออกซิเจน (O) โดยมีสูตรเคมีเป็น SiO_2 ไม่มีธาตุอื่นปนอยู่ ซึ่ง SiO_2 จะเป็นส่วนประกอบหลักของแก้วทั่วไป โครงสร้างของผลึกควอทซ์จะมีการจัดเรียงเป็นรูปทรงแบบเตตระฮีดรอน (tetrahedral) ที่เกิดจากอะตอมออกซิเจน และมีอะตอมของซิลิคอนอยู่ในช่องว่างแบบเตตระฮีดรอน (tetrahedral hole) ซึ่งอะตอมออกซิเจน 2 อะตอมจะเชื่อมต่อกับออกซิเจนอะตอมอื่นในลักษณะ 3 มิติ (ดังภาพซ้าย) และมีความเป็นระเบียบของโครงสร้าง (เป็นผลึก) เมื่อเราหลอมผลึกควอทซ์ และทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว การเชื่อมต่อแบบผลึกจะเปลี่ยนเป็นการเชื่อมต่อแบบไม่เป็นระเบียบ (ภาพด้านขวา) เรียกชื่อใหม่ว่า “fused quartz” “fused silica” หรือ “quartz glass” จะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป นอกจากนั้นเรายังสามารถเติมสารเคมีอื่นๆ ลงไปเพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี เช่นเติมโลหะสีมีสีลงไปเพื่อให้มีสีต่างๆ ตามความต้องการในการใช้งาน

2.1.2 สมมติฐานการเกิดแก้วในระดับอะตอม (Atomic Hypothesis of Glass Formation)

โดยทั่วไปแล้วธาตุในหมู่ที่ 5 และ 6 สามารถเกิดเป็นแก้วได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ออกซิเจน (Oxygen) ซัลเฟอร์ (Sulphur) เซเลเนียม (Selenium) และเทลลูเรียม (Tellurium) นอกจากธาตุที่กล่าวมาแล้วนั้น สารประกอบออกไซด์บางชนิดสามารถเกิดเป็นแก้วได้ด้วย ตัวอย่างเช่น โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) เจอเมเนียมไดออกไซด์ (GeO_2) และฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_2O_5) และด้วยเหตุที่ว่าสารประกอบออกไซด์บางชนิด เมื่อนำมาผสมเข้าด้วยกันสามารถทำให้เกิดเป็นแก้วได้ จึงมีการแบ่งส่วนประกอบพื้นฐานในการเกิดเป็นแก้วออกเป็น 3 ประเภท โดยจำแนกตามหน้าที่คือ โครงข่ายแก้ว หรือการก่อตัวเป็นแก้ว (Network Former หรือ Glass Former)

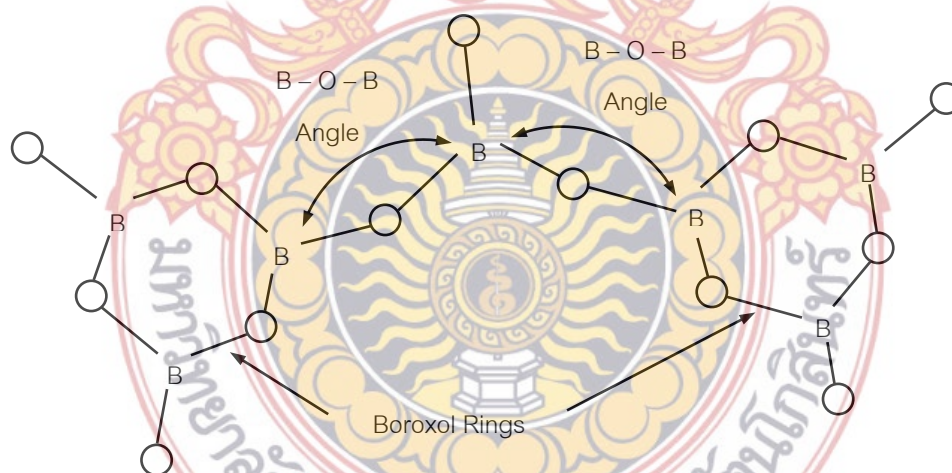
โครงข่ายแก้ว (Network Former) เป็นกลุ่มของการประกอบออกไซด์ที่สามารถเกิดเป็นแก้วได้ด้วยตัวเองภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น SiO_2 , GeO_2 , As_2O_3 , P_2O_5 และ B_2O_3 กลุ่มของสารประกอบออกไซด์ที่

ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้ว มักมีโครงสร้างที่เป็น Tetrahedral และจะมี Bond strength สูง (Single bond strength > 80 kcal/mol)

Network Modifier เป็นกลุ่มของสารประกอบออกไซด์ที่ทำหน้าที่ทำลายความต่อเนื่องของโครงสร้างที่เกิดจากพวกโครงข่ายแก้ว สารประกอบออกไซด์ในกลุ่มนี้จะมีค่า Bond strength ต่ำ (Single bond strength < 60 kcal/mol) มักเป็นสารประกอบออกไซด์ที่อยู่ในกลุ่มของ Alkali metal oxide เช่น Li_2O , Na_2O , K_2O หรือกลุ่มของ Alkali earth oxide เช่น CaO และ MgO เป็นต้น

Intermediate จะเป็นกลุ่มของสารประกอบออกไซด์ ที่ทำหน้าที่เชื่อมโครงสร้างสารประกอบออกไซด์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น Al_2O_3 , BeO , TiO_2 , ZrO_2 เป็นต้น ซึ่งมักจะเป็นกลุ่มที่มีเวเลนซ์ (valence) ต่ำ แต่เลขที่มีโคออดิเนต (coordination number) สูงกว่าส่วนประกอบพื้นฐาน 2 ประเภทแรก ตัวอย่างของสารประกอบออกไซด์ที่จำแนกเป็น Network Former, Network Modifier และ Intermediate

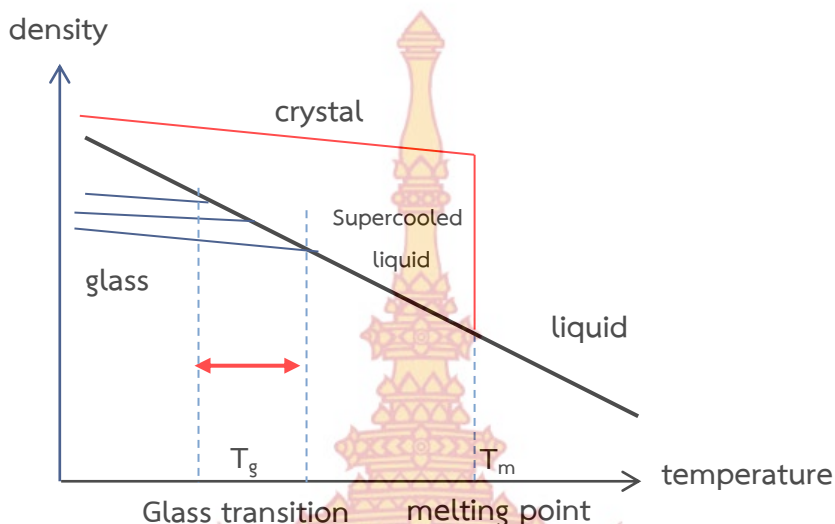
โบรอนออกไซด์ หากมีอยู่ในเนื้อแก้วโดยประมาณน้อยกว่าร้อยละ 28 โดยน้ำหนัก จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างโครงข่าย แต่หากมีปริมาณมากกว่านั้นจะเป็นตัวช่วยให้แก้วหลอม (Fluxing agent) ย่างขึ้นออกไซด์ชนิดนี้มีผลทำให้แก้วทนความร้อนและทนต่อการกร่อนของสารเคมีได้ดีทำให้แก้วมีความแวววาว แต่อย่างไรก็ตาม โบรอนออกไซด์จะมีผลต่อเนื้อแก้วในการลดค่าความหนืดของแก้วหลอม เพิ่มค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนได้มากกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมออกไซด์เป็นตัวช่วยหลอม วัตถุประสงค์ให้ B_2O_3 ได้แก่ กรดบอริก (boric acid) และบอแรกซ์ (borax) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างวงแหวนของสารประกอบโบรอนออกไซด์

2.1.3 สมบัติของวัสดุแก้ว

สมบัติพื้นฐานของวัสดุอสัณฐานหรือแก้วคือ Glass transition temperature หรือ T_g จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งที่จะบอกว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุอสัณฐานหรือแก้วหรือไม่



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุแก้วกับผลึก สำหรับผลึกนั้นเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของมันอย่างรวดเร็ว นั่นคือเกิดการหลอมละลายกลายเป็นของเหลวที่จุดหลอมเหลว หรือ T_m แต่สำหรับแก้วแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยที่ Glass transition temperature หรือ T_g กลายเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก เรียกว่า supercooled liquid ก่อนที่จะหลอมเหลวเป็นของเหลวต่อไป เนื่องจากแก้วเกิดจากของเหลวที่ถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการตกผลึก แก้วจึงมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวที่หนืดมากสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามแรงกระทำจากภายนอกได้ แต่ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยและจะเกิดขึ้นช้ามากจนไม่อาจสังเกตได้

สมบัติของวัสดุแก้วนั้นมักจะขึ้นอยู่กับสารชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในแก้ว ทำให้ลักษณะพันธะในแก้วเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะส่งผลไปยังลักษณะทางเคมีและกายภาพของแก้วนั้น

2.1.4 สมบัติทางกลของวัสดุแก้ว

2.1.4.1 Elasticity

แก้วเป็น elastic material ที่สมบูรณ์แบบ คือมันจะไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร แต่มันมีความเปราะ ซึ่งหมายถึงมันจะแตกเมื่อได้รับความเค้น (stress) เพิ่มขึ้น

a. Young's modulus, E เป็นค่าที่แสดงถึงแรงดึงตามทฤษฎีที่ใช้ในการทำให้แก้วยืดออกให้ยาวขึ้นเท่ากับความยาวเดิมของมัน หน่วยมีค่าเป็นแรงต่อพื้นที่ สำหรับแก้วตามมาตรฐานยุโรปจะมีค่า $E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa} = 70 \text{ GPa}$

b. Poisson's ratio : μ (lateral contraction coefficient) เมื่อวัสดุถูกดึงด้วยแรงขนาดตามขวางของมันจะลดลง ค่า μ คือความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ลดลงตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแรง กับหน่วยของความเครียด (strain) ตามทิศทางของแรง สำหรับแก้วในงานก่อสร้างค่า $\mu = 0.22$

2.1.4.2 Compressive strength

แก้วมีค่า compressive strength สูงมาก คือ 1000 N/mm^2 หรือ 1000 MPa หมายถึงในการทำให้แก้วขนาด 1 cm^3 แตกละเอียดลงได้ต้องให้น้ำหนักถึง 10 ตัน

2.1.4.3. Tensile strength

แก้วตามปกติจะมี tensile strength ประมาณ $40 \text{ MPa} (\text{N/mm}^2)$ และอาจทำให้เพิ่มสูงขึ้นถึง $120\text{-}200 \text{ MPa}$ เมื่อผ่านกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงต่างๆ

2.1.5 สมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของวัสดุแก้ว

Density

ความหนาแน่นของแก้วธรรมดาประมาณ 2.5 ซึ่งทำให้กระจกที่มีความหนา 1 มม. และขนาด 1 m^2 มีน้ำหนัก 2.5 กก.

Lead silicate	2.85-3.12
Soda-lime	2.48-2.60
Aluminosilicate	2.47-2.65
Borosilicate	2.24-2.41
96%Silica (Vycor)	2.20

2.1.6 สมบัติทางความร้อนของวัสดุแก้ว

2.1.6.1 การขยายตัวเชิงเส้น (Linear expansion)

ค่า Linear expansion จะแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งวัดจากการยืดออกต่อหน่วยความยาว เมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิทุก $1 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยทั่วไปค่านี้จะวัดที่อุณหภูมิในช่วง $20 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ค่าสัมประสิทธิ์ของ linear expansion ของแก้วคือ $9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ เช่น แก้วความยาว 2 เมตร เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น $30 \text{ }^\circ\text{C}$ จะยาวเพิ่มขึ้น $= (2000 \text{ mm.}) \times (9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}) \times (30 \text{ }^\circ\text{C}) = 0.54 \text{ มิลลิเมตร}$

2.1.6.2 Thermal stress

เนื่องจากแก้วมีการนำความร้อนที่ต่ำ การทำให้แผ่นแก้วร้อนหรือเย็นเฉพาะที่จะทำให้เกิดความเค้นที่ทำให้แผ่นแก้วแตกได้ เช่นกระจกที่ใส่กรอบและทิ้งไว้ในที่มีแสงแดดจัด อุณหภูมิของขอบกระจกที่อยู่ในกรอบจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าส่วนอื่น จึงเป็นเรื่องจำเป็นในการคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ในการใช้งานกระจก การทำ heat treatment จะทำให้แก้วทนความต่างของอุณหภูมิได้ประมาณ 150 – 200 °C

2.1.7 สมบัติทางแสงของวัสดุแก้ว

2.1.7.1 Spectrophotometric characteristics

การแผ่รังสี (Radiation)

เมื่อแสง (solar) ตกกระทบแก้วจะมีส่วนหนึ่งที่สะท้อนกลับ(reflected) ส่วนหนึ่งถูกดูดกลืน(absorbed) และส่องผ่านไป (re-transmitted) อัตราส่วนระหว่างความเข้มของแสงเหล่านี้กับแสงเริ่มต้น (incident solar radiation) จะบ่งบอกถึงสมบัติของแก้ว 3 ตัว คือ reflectance factor, absorptance factor และ transmittance factor ซึ่งเมื่อพล็อตสมบัติแต่ละชนิดที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน ก็จะได้กราฟในลักษณะของสเปกตรัมของแก้ว ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนเหล่านี้ได้แก่ สีของแก้ว ความหนา และสารเคลือบในกรณีที่แก้วนั้นมีการเคลือบด้วย

Solar factor

solar factor หรือค่า g ของแก้ว คือ เปอร์เซนต์ของพลังงานความร้อนรวมที่เกิดจากแสงที่ผ่านเข้ามาในห้องทางแก้วหรือกระจกนั้น ค่าพลังงานรวมได้จากแสงที่ผ่านเข้ามา โดยตรงกับพลังงานส่วนที่แก้วดูดกลืนไว้ และส่งผ่านออกมาด้านในของห้อง

Light transmittance and reflectance factors

คือ อัตราส่วนของแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็น (light) ที่ถูกส่องผ่านหรือสะท้อนกลับกับแสงเริ่มต้นสำหรับกระจกที่หนามากหรือมีการเคลือบหรือ laminated ถึงแม้จะไม่มีสี แต่อาจทำให้แสงที่ส่องผ่านมามีสีเขียวหรือสีฟ้าได้

2.1.7.2 Natural light, daylight factor

สำหรับกระจกต่างๆ daylight factor คืออัตราส่วนของแสงภายใน ณ จุดหนึ่ง เทียบกับแสงภายนอก วัดในแนวระนาบจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับช่วงเวลาในแต่ละวัน เช่น ในห้องที่มี daylight factor = 0.10 ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับหน้าต่าง และ = 0.01 ณ ด้านหลังของห้อง (เป็นค่าเฉลี่ยของห้องปกติ), ที่ระดับความเข้มแสงภายนอก 5000 lux (วันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก) จะทำให้ทราบว่าภายในห้องบริเวณใกล้หน้าต่างจะมีแสงสว่าง 500 lux และด้านหลังห้อง 50 lux และถ้าความเข้มแสงภายนอก 20000 lux (วันที่ท้องฟ้าโปร่ง) จะมีแสงสว่างที่หน้าต่างและด้านหลังห้องเป็น 2000 และ 200 lux ตามลำดับ ซึ่ง factor เหล่านี้จะทำให้สามารถคำนวณเพื่อให้ทราบปริมาณแสงตามธรรมชาติและปริมาณแสงที่ต้องการในห้องต่างๆ ได้

2.1.7.3 การเปล่งแสง (Luminescence)

การเปล่งแสงเป็นกระบวนการเปล่งแสงในรูปของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(ที่ไม่ใช่พลังงานความร้อน) โดยการกระตุ้นให้วัตถุเปล่งแสงออกมา ซึ่งแบ่งการเปล่งแสง ออกเป็น 2 ประเภท คือ การวาวแสง หรือ ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) และ การเรืองแสง หรือ ฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence)

การวาวแสง (Fluorescence) การที่พลังงาน(ที่ไม่ใช่พลังงานความร้อน) กระตุ้นให้วัตถุเปล่งแสงออกมา ในช่วงที่มีการให้พลังงานเท่านั้นโมเลกุลของวัตถุดูดกลืนโฟตอนพลังงานสูง (แสงอัลตราไวโอเล็ต : UV) และปล่อยโฟตอนพลังงานต่ำ (แสงที่ตามองเห็น : VIS) กลับออกมา พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปจะกลายเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุ ซึ่งเมื่ออะตอมที่อยู่ในวัตถุดูดกลืนพลังงานจากแสงที่ได้รับการกระตุ้น จะมีการย้ายระดับพลังงานไปในระดับพลังงานที่สูงขึ้นจากนั้นจะคายพลังงานออกมาทันทีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

การเรืองแสง (Phosphorescence) การที่พลังงาน (ที่ไม่ใช่พลังงานความร้อน) กระตุ้นให้วัตถุเปล่งแสงออกมา ในช่วงหลังการให้พลังงานวัตถุดูดกลืนพลังงานจากแสงของต้นกำเนิดก่อน แล้วปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงในเวลาต่อมา เมื่อหยุดการกระตุ้นแล้ว การเปล่งแสงจะยังมีอยู่ต่อไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง การเปล่งแสงก็จะหยุดลง การเปล่งแสงแบบ Luminescence ซึ่งเกิดจากการที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานสูงลงมาระดับที่มีพลังงานต่ำกว่า วิธีการกระตุ้นให้พลังงานกับวัสดุที่มีหลายวิธี เช่น การส่องแสง การยิงอิเล็กตรอน การยิงไอออน การเพิ่มความดันและความร้อน ซึ่งเรียก การเปล่งแสง โดยแบ่งตามวิธีการกระตุ้นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชื่อเรียกของการลูมิเนสเซนซ์โดยแบ่งตามวิธีการกระตุ้น

ชนิดของการลูมิเนสเซนซ์	วิธีการกระตุ้น
โฟโตลูมิเนสเซนซ์(Photoluminescence) - ชนิดสโตกส์(Stoke Type) - ชนิดแอนติสโตกส์(Anti-Stoke Type)	แสง
อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์(Electroluminescence) - อินทรินอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ - ไดโอดเปล่งแสง	ไฟฟ้า
แคโทลูมิเนสเซนซ์ (Cathodeluminescence)	อิเล็กตรอน
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ Thermoluminescence)	ความร้อน
ไตรโบลูมิเนสเซนซ์ (Triboluminescence)	การเสียดสี
เคมีคัลลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence)	ปฏิกิริยาเคมี

2.1.7 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุแก้ว

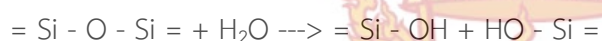
1. Dielectric constant ที่ความถี่ 1MHz, 20 °C

Glass Ceramic	7.730
Soda-lime	7.200
Potash Soda Lead Silicate	6.700
Borosilicate (Pyrex)	4.600
96%Silica (Vycor)	3.300

2.1.8 สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว

เมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น โลหะ และโพลีเมอร์ แก้วนั้นมีความทนทานต่อสารเคมีมากกว่า จึงนิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามแก้วก็สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้

1. ปฏิกิริยาของโครงสร้างแก้วกับความชื้น แก้วที่ทิ้งไว้นานอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีกับความชื้นได้ ดังต่อไปนี้



สำหรับในสภาพที่เป็นด่าง จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับความชื้น



ปฏิกิริยาในสภาพที่เป็นกรด



จะเห็นว่าในสภาพที่เป็นด่างจะเกิดปฏิกิริยาที่ต่อเนื่อง ซึ่งทำลายโครงสร้างของแก้วได้มากกว่าสภาพที่เป็นกรด

2. ปฏิกิริยาของ Na_2O กับความชื้น ชั้นของแก้วที่มีปริมาณ Na_2O มากอาจเกิดปฏิกิริยากับความชื้นได้ง่าย ดังต่อไปนี้



NaOH ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 ในอากาศ



เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Blooming โดย Na_2CO_3 มีลักษณะเป็นฝ้าขาวและจะหนาขึ้นเรื่อยๆ และ NaOH ซึ่งเป็นด่างจะกัดกร่อนชั้นซิลิกาด้วย การนำขวดเก่าไปล้างฝ้าขาวนี้ออกและนำไปบรรจุน้ำ อาจพบตะกอนของซิลิกาที่ก้นขวดหรือขวดที่ล้างแล้วเก็บไว้ ก็อาจพบว่ามีสารตกตะกอนเป็นแผ่นๆ ขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Flaking

2.1.9 การผลิตแก้วและวัสดุสังเคราะห์

1. Melting and Quenching

คือการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการผลิตแก้วโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม เทคนิคต่างๆ ในการขึ้นรูปแก้วในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ นั้น จะแตกต่างกันออกไป

2. Sol-gel method

คือ การใช้สารละลายของสารอนินทรีย์และตัวเร่ง ทำให้เกิดปฏิกิริยา polymerization ขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ โดยวิธีนี้สามารถใช้ในการ coat ผิววัสดุ การดึงเป็นเส้นใย และการผลิตฟิล์มบาง

3. Sputtering method

คือ การทำให้เกิดความต่างศักย์สูงในสุญญากาศ ทำให้เกิดไอของสารขึ้นไปทำปฏิกิริยาหรือเกาะตัวบน target ซึ่งวิธีการนี้มักจะใช้ในการผลิตฟิล์มบางต่างๆ

4. วิธีการอื่นๆ ได้แก่ วิธีการสำหรับผลิตแก้วพิเศษบางประเภท เช่น

- แท่งแก้ว preform สำหรับผลิตใยแก้วนำแสง
- แผ่นโซล่าเซลล์

2.1.10 การใช้งานวัสดุแก้ว

วัสดุศาสตร์จะแบ่งชนิดของแก้วตามประเภทของการใช้งานดังต่อไปนี้

1. แก้วในงานก่อสร้าง (Constructions) เช่น กระจกแผ่น กระจกฉนวน อิฐแก้ว (Glass block) เป็นต้น ต้องมีความแข็งแรง ความโปร่งใสสูง สามารถผลิตในปริมาณมากเพื่อให้คุ้มกับการลงทุน



รูปที่ 2.4 แก้วในงานก่อสร้าง (Constructions)

2. แก้วบรรจุภัณฑ์ (Containers) เช่น ขวด แก้วน้ำ และภาชนะต่างๆ ควรจะมีความทนทานทางกายภาพและทางเคมีระดับในระดับหนึ่ง และควรสามารถนำกลับมาล้างใช้ใหม่อย่างน้อย 50 ครั้ง



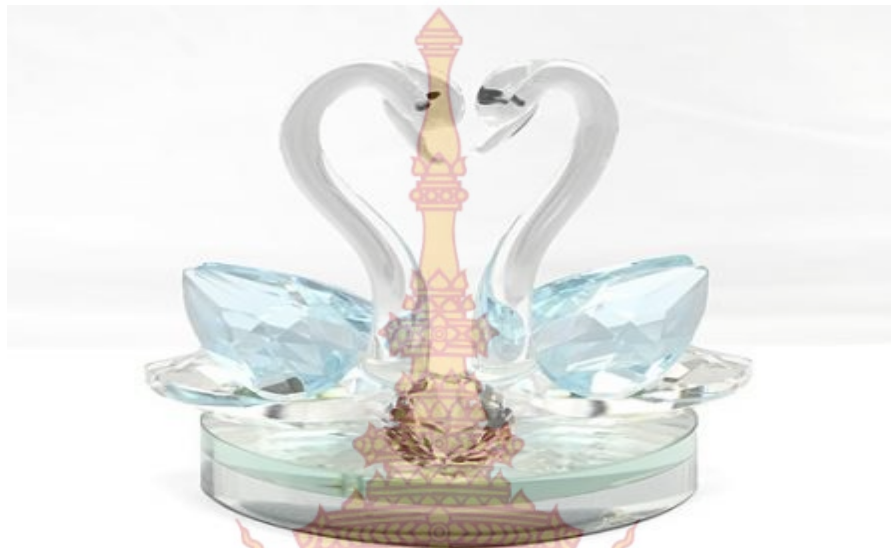
รูปที่ 2.5 แก้วบรรจุภัณฑ์ (Containers)

3. แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty glass) เช่น กระจกนิรภัยชนิดต่างๆ กระจกฉนวน กระจกเสริมลวด เป็นการนำกระจกแผ่นแบบ float มาอบ ดัด ตัดแต่ง ซึ่งจะทำให้ได้กระจกที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ มีความทนทานมากขึ้น กระจกนิรภัยจะช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากการแตกได้



รูปที่ 2.6 แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty glass)

4. แก้วเครื่องประดับ ตกแต่ง (Ornaments & Figurines) เช่น แก้วคริสตัล ของชำร่วยต่างๆ แก้วสลัก เจียรระโน มักเป็นแก้วพวก borosilicate ซึ่งสามารถนำมาเป่าขึ้นรูปได้ง่าย หรือแก้วผสมตะกั่ว ซึ่งจะทำให้แกะสลักและเจียรระโนได้ง่าย



รูปที่ 2.7 แก้วเครื่องประดับตกแต่ง (Ornaments & Figurines)

5. แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass) เช่น Cathode-ray tubes, capacitors, resistors, computer components และ print circuits เป็นต้น แก้วที่ใช้จะต้องมีค่า dielectric ที่ดี มีการสูญเสียทางไฟฟ้าน้อยในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันสูง หน้าจอทีวี แก้วสำหรับการป้องกันการแผ่รังสี ก็ควรมีปริมาณตะกั่วที่สูง



รูปที่ 2.8 แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass)

6. แก้วในงานทางแสง (Optical glass) เช่น หลอดไฟ ต้องมีทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนเลนส์ ยี่แก้วนำแสง ต้องใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง



รูปที่ 2.9 แก้วในงานทางแสง (Optical glass)

7. แก้วในงานอื่นๆ (Other Glass) เช่น ยี่แก้ว โฟมแก้ว วัสดุคอมโพสิต ต้องสามารถใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน ทนความร้อน และมีความต้านทานไฟฟ้าที่ดี ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่จะนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แก้วในงานอื่นๆ (Other Glass)

2.1.11 อุตสาหกรรมแก้วและกระจก

อุตสาหกรรมกระจกแผ่นในประเทศไทย

เริ่มต้นครั้งแรกจากการก่อตั้ง บริษัท กระจกไทย จำกัด ด้วยทุนจดทะเบียน 6 ล้านบาท ในปี 2506 ต่อมาบริษัท อาซาฮิกลาส จำกัดของญี่ปุ่น ได้เข้ามาถือหุ้น 50% จึงได้เปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท กระจกไทย-อาซาฮิ จำกัด และมีบริษัทในเครือ บริษัท บางกอกโพลตกลาส จำกัด ก่อตั้งขึ้นในปี 2534 ในช่วงแรกนี้ กลุ่มบริษัทกระจกไทย-อาซาฮิ เป็นกลุ่มบริษัทที่มีส่วนแบ่งตลาดมากกว่า 90%

นอกจากนี้รัฐบาลได้ดำเนินนโยบายจำกัดกำลังการผลิตของอุตสาหกรรมกระจกในไทย ทำให้ไม่เกิดคู่แข่งรายใหม่ และยังมีการคุ้มครองด้านภาษี คือ เก็บภาษีนำเข้ากระจกสูงถึง 50% ทำให้ไม่มีการแข่งขันจากการนำเข้ามากนัก

ต่อมาได้มีการร่วมลงทุนระหว่างเครือซีเมนต์ไทย กับ Gardian industries ของสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งบริษัท กระจกสยามการ์เดียน จำกัด ในปี 2535 ทำให้มีการแข่งขันในประเทศขึ้น นอกจากนี้ยังมีบริษัท กระจกสยาม จำกัด ซึ่งผลิตกระจกแผ่นสีชา กระจกลอยลายในราคาต่ำ ทำให้ในปี 2539 ทำให้บริษัทกระจกไทย-อาซาฮิ มีส่วนแบ่งตลาดลดลงเหลือประมาณ 32% บริษัทบางกอกโพลตกลาส 18% บริษัทกระจกสยามการ์เดียน 22% บริษัทกระจกสยาม 8% และกระจกนำเข้า 20%

หลังจากที่ทั้งบริษัทกระจกไทย-อาซาฮิ และกระจกสยามการ์เดียน ได้ขยายกำลังผลิตโดยตั้งโรงงานใหม่ที่ระยองทำให้ในปี 2540 ประเทศไทยมีกำลังผลิตกระจกรวมประมาณ 834,500 ตัน/ปี ซึ่งเกินปริมาณความต้องการภายในประเทศ ทำให้เริ่มมีการส่งออกกระจกที่เกินความต้องการไปต่างประเทศ และยังก่อให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การเพิ่มประสิทธิภาพการแข่งขันด้วยกลยุทธ์ทางการค้า และการลดต้นทุนต่างๆ เช่น บริษัทกระจกไทย-อาซาฮิ เริ่มผลิตกระจกแปรรูปต่างๆ ในปี 2538 พร้อมกับสามารถลดต้นทุนการบริหารงานได้ถึง 8-10% ลดอัตราการสูญเสียจากการขนย้ายได้ไม่เกิน 1% จากเดิม 5-7% และได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO9002 ในปี 2539 ส่วนบริษัทกระจกสยามการ์เดียน ได้ใช้ระบบ QCS (Quality, Cleanliness, Safety) เพื่อสร้างความพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า การใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทันสมัยในการผลิตและการให้บริการ เช่น ใช้ระบบ Bar code และระบบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการผลิต การควบคุม stock และการขาย

ในปี 2536 ประเทศไทยได้ลดภาษีนำเข้ากระจกตามข้อตกลงการจัดตั้งเขตการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) ทำให้มีการนำเข้ากระจกจากอินโดนีเซียและมาเลเซียมากขึ้น และเนื่องจากภาษีนำเข้ากระจกจะต้องลดลงไปเรื่อยๆ ผู้ประกอบการเรียกร้องให้รัฐบาลปรับโครงสร้างภาษี โดยเฉพาะภาษีการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบ แต่เนื่องจากการนำเข้ากระจกคุณภาพสูงที่ไม่ได้ผลิตในกลุ่มอาเซียนก็ยังมีปริมาณไม่ลดลง จึงเชื่อว่าผู้ผลิตกระจกไทยจำเป็นต้องมีการปรับตัวในแนวทางที่จะเน้นการผลิตกระจกที่มีคุณภาพสูงขึ้น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมกับควบคุมการสูญเสียให้น้อยลง ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางที่จะทำให้อุตสาหกรรมกระจกไทยสามารถมีศักยภาพแข่งขันได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าพบว่า มีนักวิจัยกลุ่มต่างๆ ที่ได้ทำการวิจัยศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแก้วที่มีสูตรต่างกัน ดังนี้

ในปี 2002 Duk-Nam, K. [13] ได้ทำการการศึกษาศึกษาคุณภาพของแก้วที่มีส่วนประกอบ $\text{BaO} - \text{ZnO} - \text{B}_2\text{O}_3$ โดยใช้ออกไซด์ของแบเรียมและสังกะสีแทนการใช้ออกไซด์ของตะกั่ว ในการหลอมแก้วที่อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ (500-600 องศาเซลเซียส) สำหรับใช้ทำชั้นไดอิเล็กทริกของแผงจอพลาสมา (PDP) และมีการหาค่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะ (T_G) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (α) และคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ) ของแก้วที่เตรียมขึ้น

ในปี 2006 Isabella-loana, O. และคณะ [14] ได้รายงานผลของการเจือ Er^{3+} ลงในแก้วบิสมาทเบอร์เรท ที่มีองค์ประกอบจากสูตร $(\text{Er}_2\text{O}_3)_y(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{B}_2\text{O}_3)_{1-x-y}$ โดยที่ $x = 0.25-0.65$ และ $y = 0.0025$ จากนั้นทำการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ Judd-Ofelt พบพีคการเปล่งแสงที่ 1.53 ไมโครเมตร การเกิดปรากฏการณ์ Upconversion ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงาน

ในปี 2008 Yousefa, E.S. และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาแก้วบิสมาทเบอร์เรทที่มีการเจือกับไอออนที่หายาก จากแก้วที่มีองค์ประกอบ $20\text{Bi}_2\text{O}_3 - 80\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{RE}_2\text{O}_3$ ใน mol% โดยที่ RE Pr, ND, Sm, Eu, Gd และ Er โดยการวัดค่าความเร็วโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่อุณหภูมิห้องและหาค่าอัตราส่วนของปัวซอง วัดความแข็งด้วยเครื่อง microhardness อุณหภูมิเดอบาย และมีการคำนวณเพื่อหาความร้อนแฝง โมดูลัสยืดหยุ่น รูปแบบการเชื่อมต่อแบบโครงสร้างชั้นสองมิติ ค่าทางทฤษฎีของโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนของปัวซองที่คำนวณได้โดยใช้แบบจำลองทางทฤษฎีของการบีบอัดและทฤษฎี Makishima และ Mackenzie

ในปี 2006 Eun-Sub, Lim. และคณะ [16] ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของตะกั่วออกไซด์ (PbO) ที่ถูกแทนด้วยแบเรียมออกไซด์ (BaO) ของระบบแก้ว $\text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ในการหลอมแก้วที่อุณหภูมิต่ำโดยปราศจากสารตะกั่ว โดยควบคุมปริมาณของ SiO_2 ให้คงที่และแปรค่าปริมาณ BaO ที่แตกต่างกัน ศึกษาและรวบรวมพฤติกรรมของการตกผลึกในระหว่างการเกิดตัวเป็นแก้วและจากกระบวนการหลอมแก้ว

ในปี 2008 Egorysheva, A. V. และคณะ [17] ได้รายงานผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติโครงสร้าง คุณสมบัติทางแสง และคุณสมบัติทางความร้อนของระบบแก้ว ที่เตรียมขึ้นจากองค์ประกอบ $x\text{Bi}_2\text{O}_3: (95 - x) \text{B}_2\text{O}_3: 5\text{BaO}$ ($x = 20, 35, 50, 70 \text{ mol\%}$)

ในปี 2008 Sharaf, L.M. และคณะ [18] ได้ทำการวัดสเปกตรัมดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของแก้ว TeO_2 บริสุทธิ์และที่มีการเจือออกไซด์ของหายากที่แตกต่างกัน $\text{La}_2\text{O}_3, \text{CeO}_2, \text{Pr}_2\text{O}_3, \text{Sm}_2\text{O}_3, \text{Nd}_2\text{O}_3$ และ Yb_2O_3

ด้วยปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก โดยที่ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของแก้วสามารถให้ข้อมูลเพื่อใช้หาการ จัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในแก้วได้

ในปี 2009 Doweidar, H. และคณะ[19] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติยืดหยุ่นและอุณหภูมิเดอบาย การ วิเคราะห์โครงสร้างพันธะของ RO ที่อยู่ในโครงข่ายแก้วบอร์เรท การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นและ ปริมาตรเชิงโมลของปริมาณ RO จากแก้วที่เตรียมขึ้นจากสูตร $xRO - 30Bi_2O_3 - (70 - x) B_2O_3$ ($0 \leq x \leq 30$ mol%, R = Zn, Ba)

ในปี 2009 Ali, A.A.[20] ที่ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ความเข้มของการสั่น (oscillator strengths) พารามิเตอร์ Judd-Ofelt ช่องว่างแถบการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของแก้ว ที่มีองค์ประกอบ $20Bi_2O_3 : 60BO_3 : (20 - x)CaF_2 : xSm_2O_3$ ($0 \leq x \leq 1.5$ mol%) โดยข้อมูลที่ได้จากการ วิจัยได้นำมาใช้เป็นข้อมูลในเชิงพาณิชย์เกี่ยวข้องกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเลเซอร์ไดโอดสีฟ้า ไฟ LED สีฟ้า และสีฟ้าสีเขียว และ เป็นใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์

ในปี 2010 Wenjie, Q. และคณะ[21] ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของระบบแก้วที่เตรียมขึ้น จากสูตร $Bi_2O_3 - B_2O_3 - BaO$ เพื่อทดแทนระบบแก้วที่มีองค์ประกอบของ PbO สำหรับใช้ทำแผงวาง อิเล็กทรอนิกส์ (electronic paste)



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการดำเนินงานขั้นตอนต่างๆ ที่วางแผนในการศึกษาการเตรียมเตรียมระบบแก้วบิสมีท์แบเรียมบอร์เรทจากสูตร $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 40\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{BaO} : x\text{Sm}_2\text{O}_3$ (เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้ว ซึ่งมีเนื้อหาเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาหาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและกำหนดสูตรแก้วในงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลต่างๆ เช่น วารสาร สิ่งพิมพ์ สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เพื่อหาแนวทางของการกำหนดสูตรแก้วและปรับปรุงคุณสมบัติของสูตรแก้วพื้นฐาน เพื่อวางแผนงานต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยขั้นต่อไป

3.2 การเตรียมสารตัวอย่าง

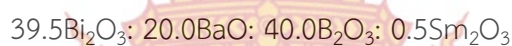
งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารตั้งต้นต่างๆ ดังนี้ $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 40\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{BaO} : x\text{Sm}_2\text{O}_3$ โดยที่ x คือจำนวนโมล Sm_2O_3 ที่ใส่ลงไปโดยปริมาณต่างๆ กัน โดยมีปริมาณ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ที่เตรียมได้จากสารเคมี Bi_2O_3 , H_3BO_3 , BaO และ Sm_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูง (LAB GRADE – High purity) ซึ่งได้สูตรแก้วระบุดังตารางที่ 3.1 ซึ่งสารเตรียมส่วนผสมของสารตั้งต้นมวลรวม 20 กรัม จากนั้นนำสารตั้งต้นในการผลิตแก้ว และนำส่วนผสมของสารตั้งต้นมาผสมให้เข้ากัน นำมาใส่ในครุชีเบิล (Crucible) ที่เตรียมไว้ นำเข้าเตาเผาสาร โดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนกับชุดตัวอย่างที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว เปิดฝาเตา นำเอาครุชีเบิลออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ที่ไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปิดเตาไฟฟ้ารอจนอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา นำตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมาตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ เซนติเมตร

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรระบบแก้วบิสมีท์แบบเรียบมอร์เรทที่เติม Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่างที่	Sm_2O_3 (mol%)	สูตรแก้ว
1	0.00	$40.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3$
2	0.50	$39.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 0.5\text{Sm}_2\text{O}_3$
3	1.00	$39.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.0\text{Sm}_2\text{O}_3$
4	1.50	$38.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.5\text{Sm}_2\text{O}_3$
5	2.00	$38.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.0\text{Sm}_2\text{O}_3$
6	2.50	$37.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.5\text{Sm}_2\text{O}_3$

ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนมวลสาร

ต้องการเตรียมแก้วจากสูตร



ตารางที่ 3.2 แสดงมวลอะตอมของธาตุ B Ba Bi O และ Sm

ธาตุ	มวลอะตอม (กรัม/โมล)
B	10.81100
Ba	137.32700
Bi	208.98038
O	15.99940
Sm	150.36000

มวลโมเลกุลของสารประกอบ

$$\begin{aligned}
 \text{B}_2\text{O}_3 &= (10.81100 \times 2) + (15.99940 \times 3) = 69.62 && \text{กรัม/โมล} \\
 \text{BaO} &= (137.32700 \times 1) + (15.99940 \times 1) = 153.33 && \text{กรัม/โมล} \\
 \text{Bi}_2\text{O}_3 &= (208.98038 \times 2) + (15.99940 \times 3) = 465.96 && \text{กรัม/โมล} \\
 \text{Sm}_2\text{O}_3 &= (150.36000 \times 2) + (15.99940 \times 3) = 348.72 && \text{กรัม/โมล}
 \end{aligned}$$

มวลโมเลกุลของสูตรแก้วที่มีความเข้มข้นของ Sm_2O_3 เป็น 0.5 เปอร์เซ็นต์โมล

$$(0.395)(69.62) + (0.400)(465.96) + (0.200)(153.33) + (0.005)(348.72) = 246.29 \text{ กรัม/โมล}$$

สัดส่วนของมวลสารแต่ละองค์ประกอบย่อย

$$\begin{aligned} \text{B}_2\text{O}_3 &= (0.395)(69.62)/(246.29) &= 0.1117 \\ \text{BaO} &= (0.200)(153.33)/(246.29) &= 0.1245 \\ \text{Bi}_2\text{O}_3 &= (0.400)(465.96)/(246.29) &= 0.7568 \\ \text{Sm}_2\text{O}_3 &= (0.005)(348.72)/(246.29) &= 0.0071 \end{aligned}$$

สำหรับการเตรียมส่วนผสมเพื่อใช้สำหรับหลอมแก้วตัวอย่างที่มีมวล 20 กรัม

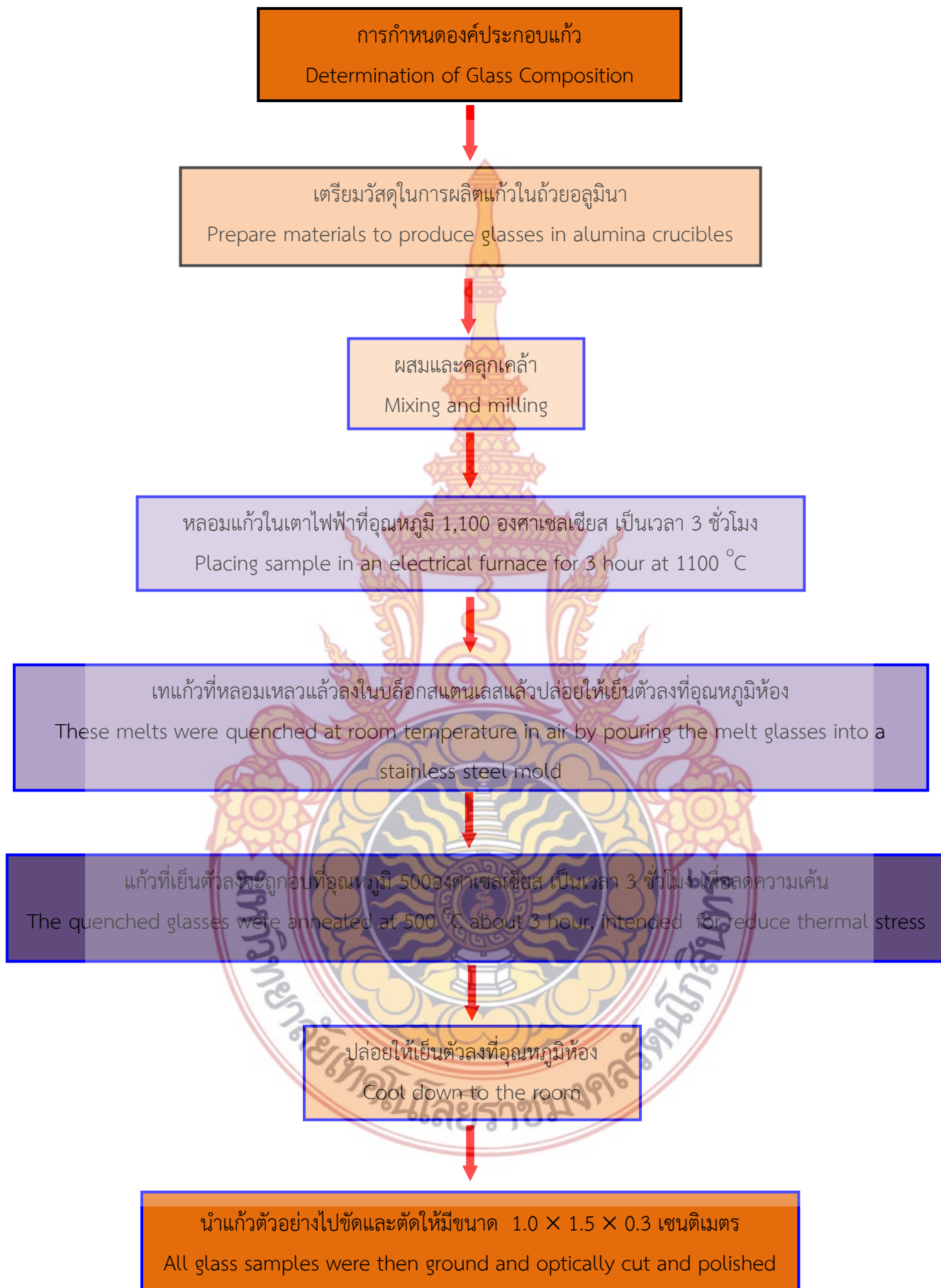
$$\begin{aligned} \text{B}_2\text{O}_3 &= (0.1117)(20 \text{ กรัม}) &= 2.2340 \text{ กรัม} \\ \text{BaO} &= (0.1245)(20 \text{ กรัม}) &= 2.4900 \text{ กรัม} \\ \text{Bi}_2\text{O}_3 &= (0.7568)(20 \text{ กรัม}) &= 15.1360 \text{ กรัม} \\ \text{Sm}_2\text{O}_3 &= (0.0071)(20 \text{ กรัม}) &= 0.1420 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.3 แสดงสัดส่วนมวลสารในการเตรียมแก้วที่มีความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ต่างๆ

องค์ประกอบสูตรแก้ว	มวล โมเลกุล (กรัม/โมล)	สัดส่วนของมวลสารแต่ละองค์ประกอบ			
		B_2O_3	BaO	Bi_2O_3	Sm_2O_3
$40.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3$	244.8980	0.1137	0.1252	0.7611	0
$39.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 0.5\text{Sm}_2\text{O}_3$	246.2935	0.1117	0.1245	0.7568	0.0071
$39.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.0\text{Sm}_2\text{O}_3$	247.6890	0.1096	0.1238	0.7525	0.0141
$38.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.5\text{Sm}_2\text{O}_3$	249.0845	0.1076	0.1231	0.7483	0.0210
$38.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.0\text{Sm}_2\text{O}_3$	250.4800	0.1056	0.1224	0.7441	0.0278
$37.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.5\text{Sm}_2\text{O}_3$	251.8755	0.1037	0.1218	0.7400	0.0346

องค์ประกอบสูตรแก้ว	มวลส่วนผสมปริมาณ 20 (กรัม)			
	B ₂ O ₃	BaO	Bi ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
40.0Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃	2.2740	2.5040	15.2220	0
39.5Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃ :0.5Sm ₂ O ₃	2.2340	2.4900	15.1360	0.1420
39.0Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃ :1.0Sm ₂ O ₃	2.1920	2.4760	15.0500	0.2820
38.5Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃ :1.5Sm ₂ O ₃	2.1520	2.4620	14.9660	0.4200
38.0Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃ :2.0Sm ₂ O ₃	2.1120	2.4480	14.8820	0.5560
37.5Bi ₂ O ₃ : 20.0BaO: 40.0B ₂ O ₃ :2.5Sm ₂ O ₃	2.0740	2.4360	14.8000	0.6920





รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการหลอมแก้ว

จากตารางที่ 3.1 เมื่อทำการซังและผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ดังกล่าวใส่ลงในถ้วยอลูมินา แสดงดังรูปที่ 3.2

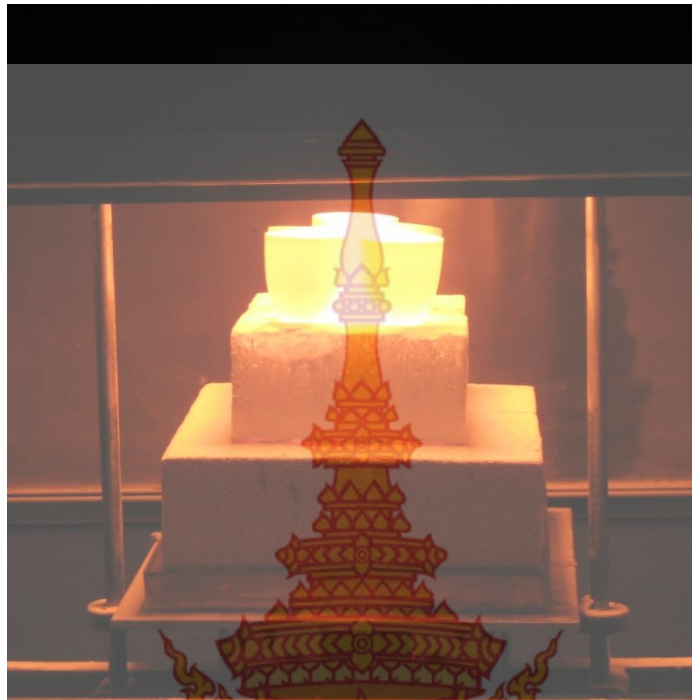


รูปที่ 3.2 ถ้วยอลูมินาที่ใช้หลอมแก้ว

จากนั้นนำสารตั้งต้นที่อยู่ในถ้วยอลูมินาไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงที่ใช้สำหรับหลอมแก้ว

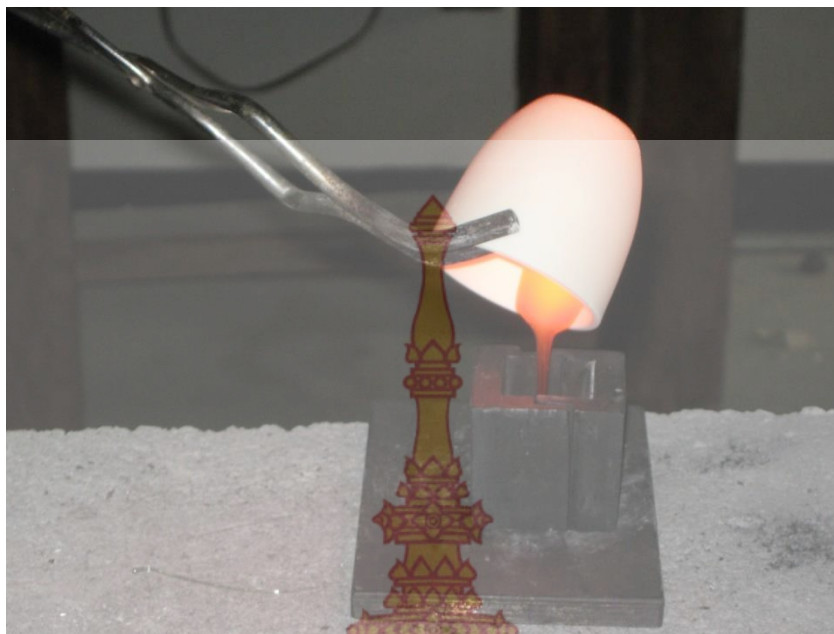


รูปที่ 3.4 แก้วหลอมเหลวภายในเตาไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำแก้วที่หลอมเหลวแล้วเทลงในบล็อกที่ทำจากสแตนเลสที่อบให้มีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3. 6



รูปที่ 3.5 บล็อกที่ทำจากสแตนเลส



รูปที่ 3.6 เทแก้วหนืดลงในบล็อกสแตนเลสที่อบให้มีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากบล็อกสแตนเลส ดังรูปที่ 3.7 แล้วนำไปอบในเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.8 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปิดเตาไฟฟ้ารอจนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นนำตัวอย่างแก้วที่ได้จากกระบวนการหลอมมาตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10 เพื่อศึกษาและสมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป



รูปที่ 3.7 แก้วที่ถูกเทลงในบล็อกที่ทำจากสแตนเลส



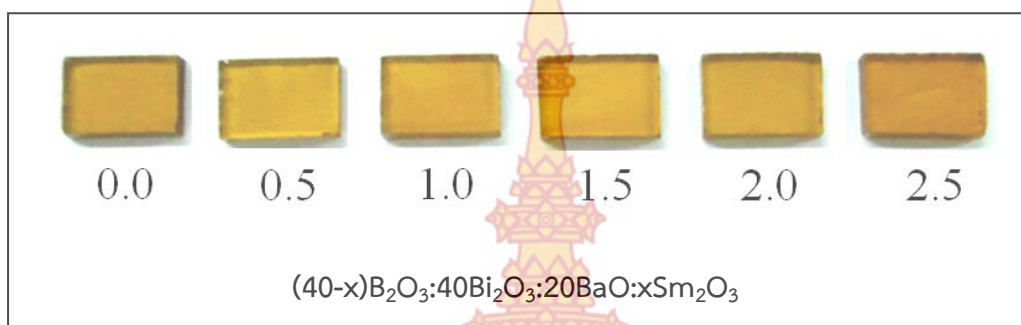
รูปที่ 3.8 เต้าอบไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูง .



รูปที่ 3.9 แก้วที่ได้ก่อนตัดและขัด

3.3 การศึกษาสมบัติเฉพาะด้านของวัสดุแก้ว

ระบบแก้วบิสมีทแบรเรียมบอร์เรทที่เติมด้วยซาแมเรียมไอออน จากสูตร $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3:40\text{Bi}_2\text{O}_3:20\text{BaO}:x\text{Sm}_2\text{O}_3$ โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ที่ตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10 เพื่อศึกษาและสมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป



รูปที่ 3.10 ระบบแก้วบิสมีทแบรเรียมบอร์เรทที่เติมด้วยซาแมเรียมไอออนความเข้มข้นต่างๆ

ระบบแก้วที่ได้จะทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วด้วยเทคนิคของเครื่องมือที่แตกต่างกันต่างๆ เช่น วัดความหนาแน่นของระบบแก้วโดยอาศัยหลักของอาร์คิมิดีสก์ คำนวณมวลโมลเฉลี่ยของแก้ว เพื่อคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว วัดช่วงการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer เพื่อศึกษาระดับพลังงาน (Energy level) ของธาตุหายากที่มีอยู่ในโครงสร้างแก้วเพื่อหาค่าพลังงานการกระตุ้น (Excitation energy) ของการเปล่งแสง (luminescence) ที่ถูกต้อง ศึกษาสมบัติโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) โดยเลือกพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสม (Excitation energy) และเปรียบเทียบค่าความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา เพื่อได้แก้วที่มีความเข้มแสงสูงสุด ซึ่งมีกระบวนการวัด ดังรูปที่ 3.11 และเครื่องมือวัดคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.12 – 3.14



รูปที่ 3.11 กระบวนการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของระบบแก้ว

3.3.1 การวัดความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล (Density and Molar Volume Measurement)

ความหนาแน่น (density : ρ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวล (mass) ต่อปริมาตร (volume) ของสารนั้น และมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) โดยการหาความหนาแน่นของสารใดๆ ได้นั้น ต้องทราบมวลและปริมาตรของสารนั้น ในที่นี้มวลแทนสัญลักษณ์ด้วย m มีหน่วยเป็น กรัม (g) หรือกิโลกรัม (kg) การหามวลทำได้โดยการชั่ง ซึ่งค่ามวลที่วัดได้จะออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม 2 หรือ 4 ตำแหน่ง แล้วแต่ความละเอียดของเครื่องชั่งที่ใช้ ส่วนปริมาตรแทนสัญลักษณ์ด้วย V และมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) หรือลูกบาศก์เมตร (m^3) ปริมาตรของวัตถุใดๆ สามารถหาได้หลายวิธี

เช่น การใช้กระบอกตวงหรือหลอดฉีดยาตวงหาปริมาตรของของเหลว สำหรับของแข็ง แบ่งการหาปริมาตรออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการใช้สูตรหาปริมาตรของของแข็งที่มีรูปทรงเรขาคณิต และวิธีอาร์คิมิดีสเป็นวิธีที่อาศัยการแทนที่ของของเหลวที่ทราบค่าความหนาแน่นด้วยวัตถุที่เป็นของแข็งและไม่เกิดปฏิกิริยาหรือเปลี่ยนรูป แล้วหาปริมาตรของของเหลวที่ล้นออกมา หรือกล่าวได้ว่า หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedean's principle) คือ ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่จะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุที่แทนที่ลงในของเหลวนั้นเสมอ

เนื่องจากของไหล (fluid) เช่น ของเหลวจะมีปริมาตรคงตัวและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุและจะมีปริมาตรลดลงเล็กน้อยเมื่อถูกแรงอัด แต่แก๊สก็เป็นของไหลที่มีรูปร่างและปริมาตรที่ไม่คงตัว โดยปริมาตรมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ และเมื่อมีแรงอัดกระทำต่อแก๊ส ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างมาก นอกจากนี้ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเหลวแม้ว่าจะมีรูปร่างไม่แน่นอนตามภาชนะที่บรรจุ แต่จะมีปริมาตรคงที่ค่าหนึ่ง (ที่อาจขึ้นกับอุณหภูมิ) จึงจัดของเหลวเป็นของไหลที่อัดไม่ได้ (Incompressible fluid) แก๊สหรืออากาศมีปริมาตรที่ไม่แน่นอน เมื่อเปลี่ยนไปสู่ภาชนะที่ใหญ่กว่า ก็สามารถกระจายไปเต็มภาชนะใหม่นั้นได้ จึงจัดแก๊สหรืออากาศเป็นของไหลที่อัดได้ (Compressible fluid) ทั้งนี้สารแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1 บรรยากาศ ดังตารางที่ 3.4

ตาราง 3.4 ความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1 บรรยากาศ

สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)
ออสเมียม	22.5 × 10 ³	ปรอท	13.6 × 10 ³
ทอง	19.3 × 10 ³	น้ำทะเล	1.024 × 10 ³
ยูเรเนียม	18.7 × 10 ³	น้ำ (4 °C)	1.00 × 10 ³
ตะกั่ว	11.3 × 10 ³	เอทิลแอลกอฮอล์	0.79 × 10 ³

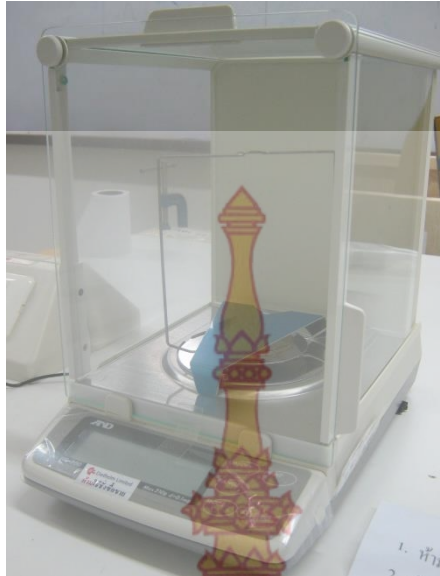
ในการหาความหนาแน่นด้วยชุดทดสอบหาความหนาแน่นของ Sartorius จะใช้หลักการของ อาร์คิมิดีสเช่นกัน โดยขณะที่ของแข็งจมอยู่ในของเหลวที่ทราบค่าความหนาแน่นในงานวิจัยนี้ใช้ไซลีน (xylene) จะมีแรงลอยตัว (Buoyancy force) ที่มีค่าเท่ากับ น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยปริมาตรของของแข็งนั้นๆ ทั้งนี้สามารถใช้ชุดทดสอบหาความหนาแน่นของวัตถุขณะที่ชั่งในอากาศและที่ชั่งในน้ำ กรณีที่เกิดแรงลอยตัวขณะทำการทดสอบนั้น ความถ่วงจำเพาะของของแข็งจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\rho = \left(\frac{W_a}{W_a - W_b} \right) \rho_b \quad (3.1)$$

เมื่อ W_a คือน้ำหนักของแก้วที่ชั่งในอากาศ (นิวตัน)

W_b คือน้ำหนักของแก้วที่ชั่งในไซลีน (นิวตัน)

ρ_b คือความหนาแน่นของไซลีน (8.63×10² กิโลกรัม/เมตร³) ρ คือความหนาแน่นของแก้ว (กิโลกรัม/เมตร³)



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งมวลที่มีค่าความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ปริมาตรเชิงมวล (V_m) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_m = \frac{\text{molar wt.}}{\text{density}} = \frac{M_T}{\rho} \quad (3.2)$$

เมื่อ M_T คือ นำหนักโมเลกุลรวมของระบบแก้วที่มีองค์ประกอบของสารหลายชนิด

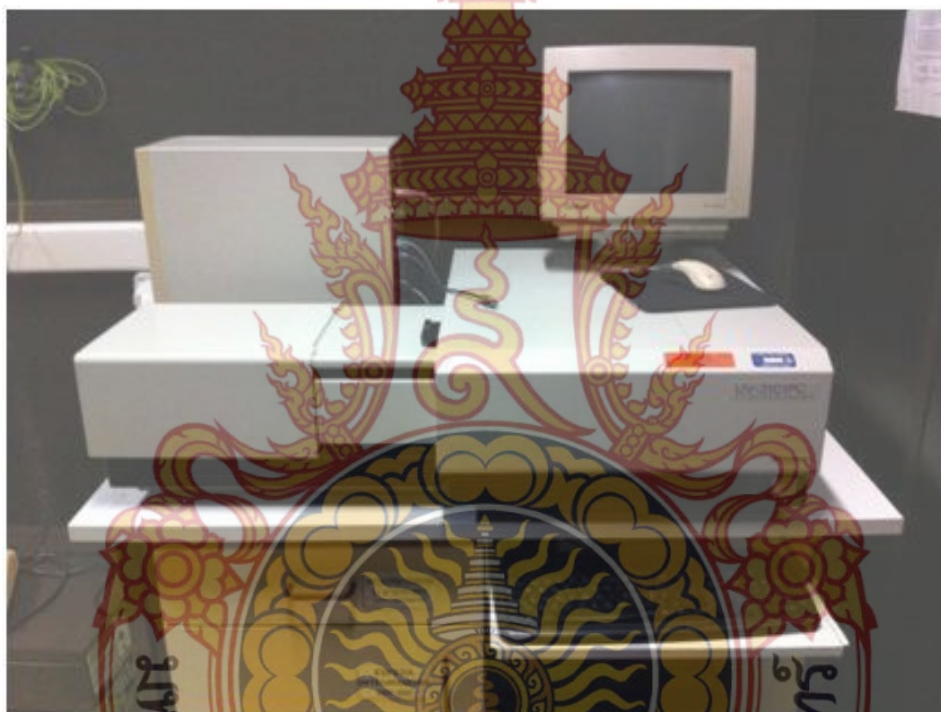
$$M_T = x_{\text{Bi}_2\text{O}_3} Z_{\text{Bi}_2\text{O}_3} + x_{\text{B}_2\text{O}_3} Z_{\text{B}_2\text{O}_3} + x_{\text{Sm}_2\text{O}_3} Z_{\text{Sm}_2\text{O}_3} \quad (3.3)$$

โดยที่ $x_{\text{Bi}_2\text{O}_3}$, $x_{\text{B}_2\text{O}_3}$ และ $x_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ คือปริมาณสัดส่วนของออกไซด์ที่อยู่ในรูปของสารประกอบของบิสมาทโบรไรต์ และซาแมเรียม ตามลำดับ ส่วน $Z_{\text{Bi}_2\text{O}_3}$, $Z_{\text{B}_2\text{O}_3}$ และ $Z_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ คือมวลโมเลกุลของสารประกอบออกไซด์ของบิสมาท โบรไรต์ และซาแมเรียม ตามลำดับ

3.3.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตถึงช่วงที่ตามองเห็น (UV/VIS Spectrophotometer)

UV/VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยชิ้นตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในชิ้นตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของชั้นตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ส่งผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สเปกตรัมของการส่งผ่านแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตถึงช่วงที่ตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรดด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer (UV-3600, Shimadzu) ดังรูปที่ 3.13 ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องในช่วงความยาวคลื่น 185 – 3,300 นาโนเมตร



รูปที่ 3.13 เครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer (Shimadzu UV-3100, Japan)

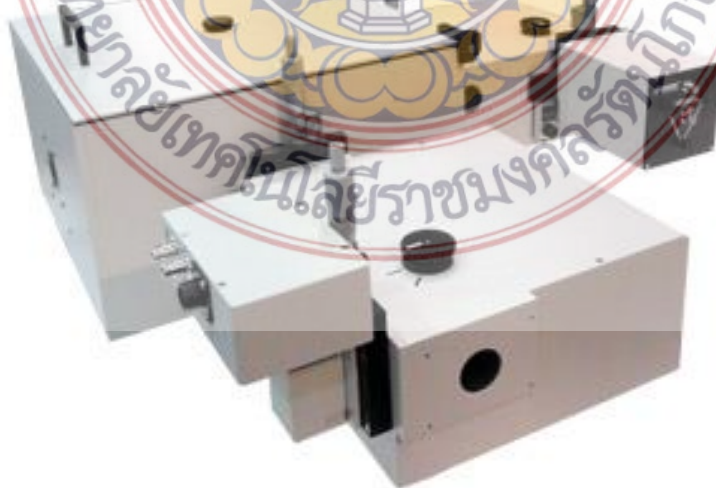
3.3.3 การเปล่งแสง(Photoluminescence)

สำหรับการศึกษาการเปล่งแสงของระบบแก้ว โดยการวัดสเปกตรัมของการส่งผ่านภายใต้อุณหภูมิห้องด้วยเครื่อง Spectrofluorophotometer (Shimadzu RF-5301PC, Japan) ในการวัดคุณสมบัติของการดูดกลืนและการส่งผ่านแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ โดยเครื่องวัดดังกล่าวมีหลอดซีนอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 3.14 เครื่อง Spectrofluorophotometer (Shimadzu RF-5301PC, Japan)

สำหรับการวัดสเปกตรัมของการส่งผ่านใกล้ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด Quanta Master 3 luminescence spectrometer จาก Photon Technology Internationa ((PTI) ที่ได้แสดงดังรูป 3.15 โดยใช้ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 974 นาโนเมตร ภายใต้อุณหภูมิห้อง โดยมีแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดซีนอน



รูปที่ 3.15 เครื่อง Luminescence spectrometer (Quanta Master 3)

บทที่ 4

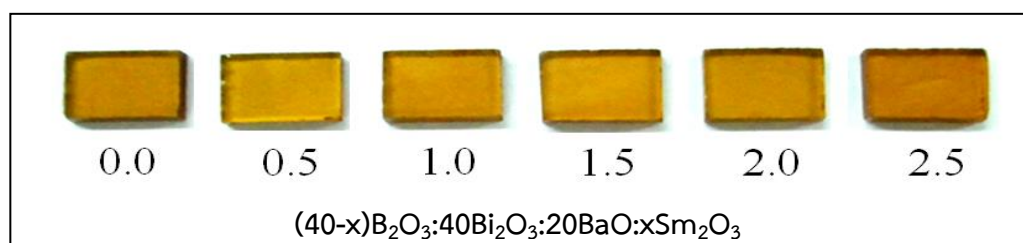
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารตั้งต้นต่างๆ ดังนี้ $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 40\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{BaO} : x\text{Sm}_2\text{O}_3$ โดยที่ x คือจำนวนโมล Sm_2O_3 ที่ใส่ลงไปปริมาณต่างๆ กัน โดยมีปริมาณ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ที่เตรียมขึ้นจากสารเคมี Bi_2O_3 , H_3BO_3 , BaO และ Sm_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูง (LAB GRADE – High purity) ซึ่งได้สูตรแก้วสรุปดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสารเตรียมส่วนผสมของสารตั้งต้นมวลรวม 20 กรัม จากนั้นนำสารตั้งต้นในการหลอมแก้ว มาผสมให้เข้ากันในครุชีเบล (Crucible) ที่เตรียมไว้ จากนั้นนำเข้าเตาเผาสาร โดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนในการหลอมแก้วที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้สารตั้งต้นหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว เมื่อแก้วหลอมตัวตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำแก้วที่หลอมเหลวแล้วเทแก้วเหลวลงในบล็อกที่ทำจากสแตนเลส ที่ไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากบล็อก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปิดเตาไฟฟ้ารอจนอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา นำตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมาตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ เซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรระบบแก้วบิสมีท์แบเรียมบอร์เรทที่เติม Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่างที่	Sm_2O_3 (mol%)	สูตรแก้ว
1	0.00	$40.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3$
2	0.50	$39.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 0.5 \text{Sm}_2\text{O}_3$
3	1.00	$39.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.0 \text{Sm}_2\text{O}_3$
4	1.50	$38.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 1.5 \text{Sm}_2\text{O}_3$
5	2.00	$38.0\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.0 \text{Sm}_2\text{O}_3$
6	2.50	$37.5\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20.0\text{BaO} : 40.0\text{B}_2\text{O}_3 : 2.5 \text{Sm}_2\text{O}_3$

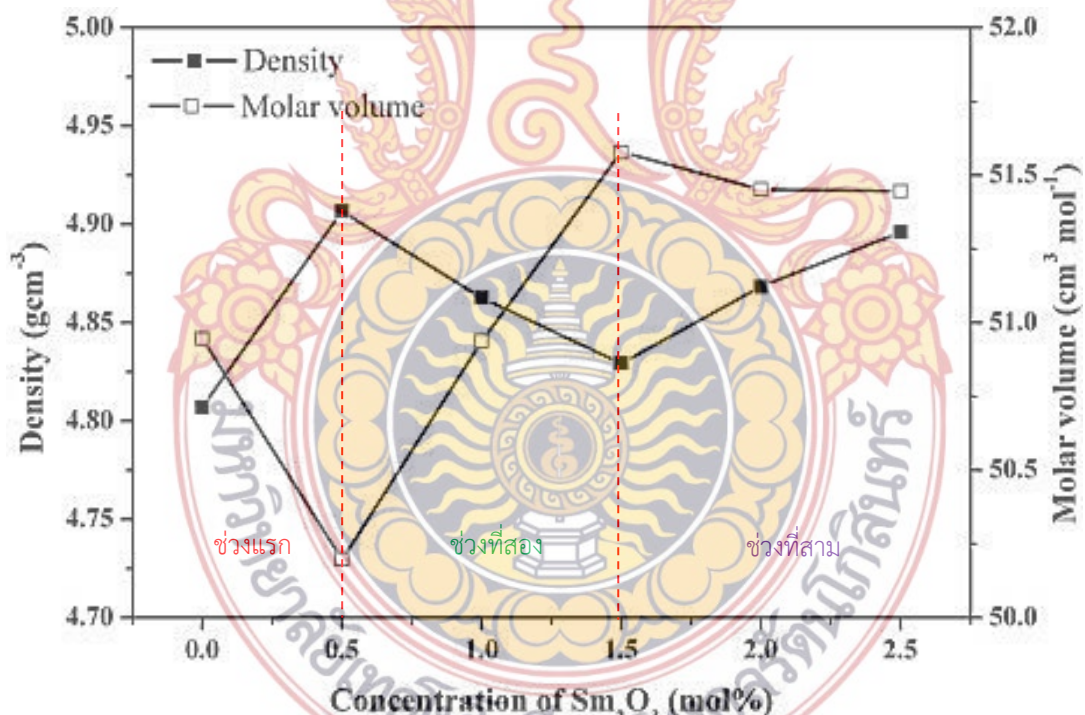
จากรูปที่ 4.1 ระบบแก้วบิสมีท์แบเรียมบอร์เรทที่เติมด้วยซาแมเรียมไอออน จากสูตร $(40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : 40\text{Bi}_2\text{O}_3 : 20\text{BaO} : x\text{Sm}_2\text{O}_3$ โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ที่ตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ เซนติเมตร เพื่อศึกษาและสมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป



รูปที่ 4.1 ระบบแก้วหลังจากตัดและขัดสำหรับวัดสมบัติทางฟิสิกส์

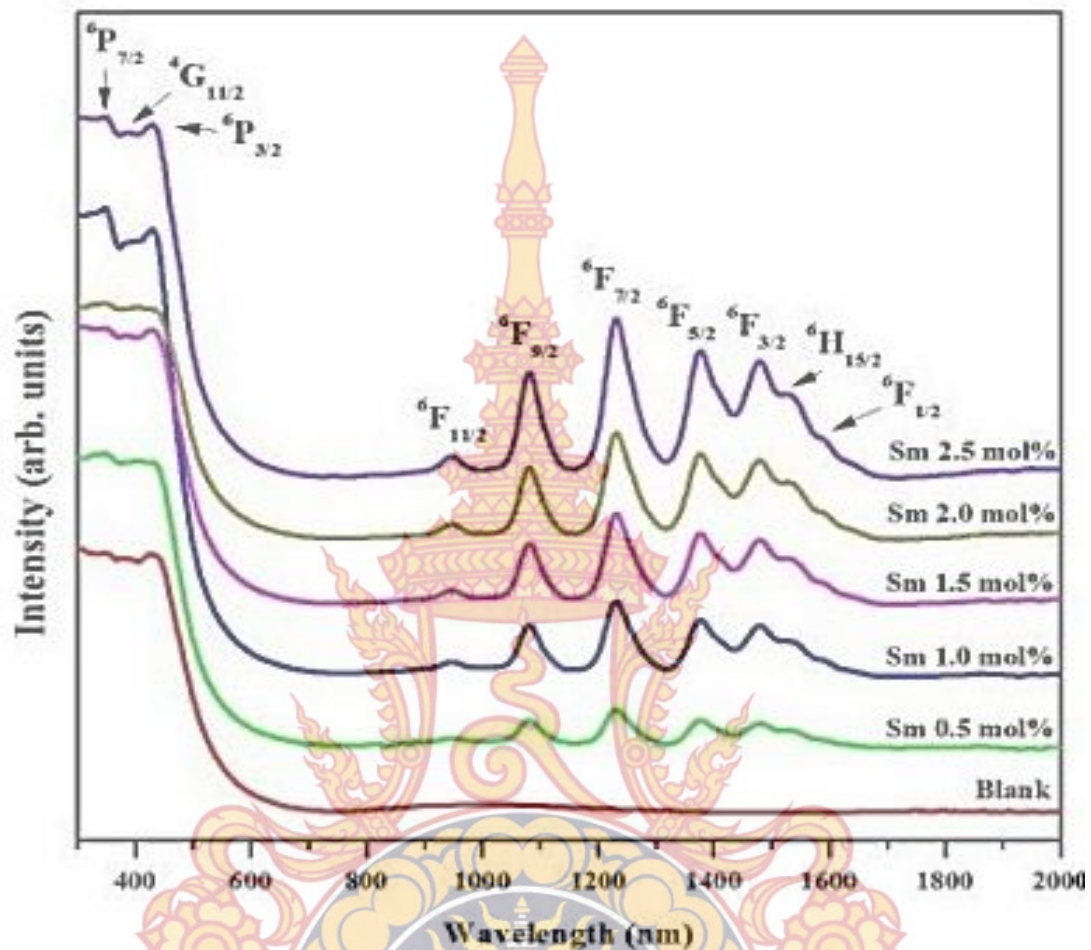
4.1 ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของระบบแก้ว

ผลของความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของระบบแก้วแสดงในรูปที่ 4.2 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเชิงโมลที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแก้วแต่มีแนวโน้มตรงข้ามกัน จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 การเพิ่มขึ้นของปริมาตรเชิงโมลกับค่าความเข้มข้นของ Sm_2O_3 เนื่องจากผลของออกซิเจนที่ไม่เป็นสะพานเชื่อมต่อประจุในโครงสร้างของแก้วเพิ่มขึ้น รูปแบบของความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลที่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 แสดงดังรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นมีความผันแปรกับปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ในช่วงแรกและช่วงที่สามส่วนปริมาตรเชิงโมลจะลดลงในช่วงแรกของความเข้มข้นของ Sm_2O_3 0.50 เปอร์เซ็นต์โมล เนื่องจาก Sm^{3+} ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายแก้ว ช่วงความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ระหว่าง 0.50 - 1.50 เปอร์เซ็นต์โมล ปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้นเนื่องไอออนของ Sm^{3+} เข้าไปแทรกในเครือข่ายแก้วทำให้พันธะออกซิเจนขาดออกจากกัน (จำนวน NBOs เพิ่มขึ้น) ทำให้ค่าปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้นและคงที่เพราะไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงข่ายแก้วได้อีก (จำนวน NBOs ไม่เพิ่มขึ้น) แต่ความหนาแน่นยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลกับปริมาณความเข้มข้นของ ซามาเรียมไอออน

4.2 สมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-VIS-NIR

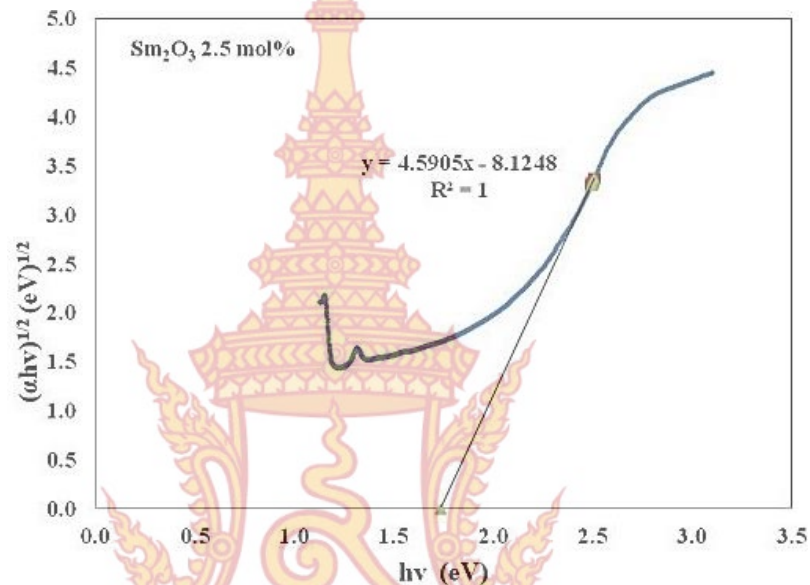


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของระบบแก้วที่ความยาวคลื่นต่างๆ

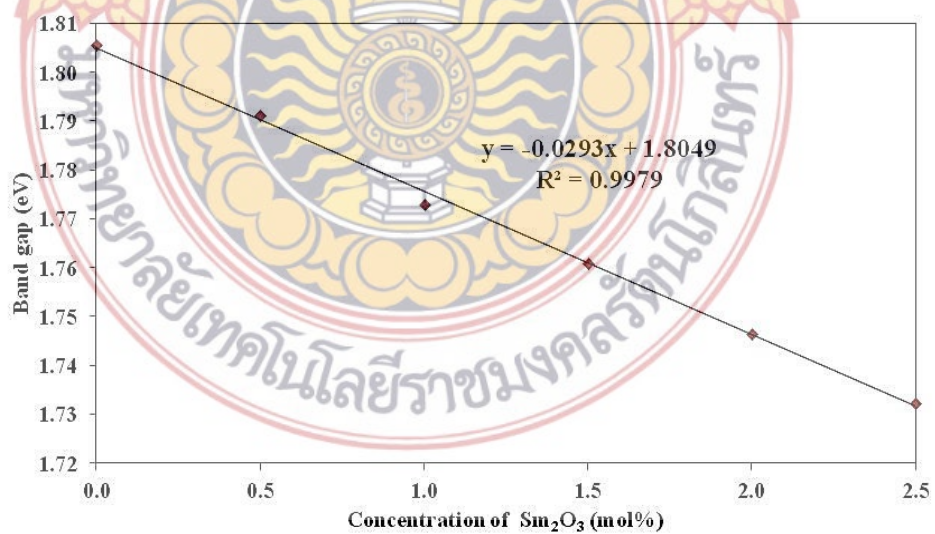
จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของระบบแก้วบิสมีท์แบรเรียมบอร์เรทที่เติมด้วยซาแมเรียมไอออนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่นกว้างตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตถึงช่วงใกล้ย่านรังสีฟราเรด(UV-VIS-NIR) ในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 2,000 นาโนเมตร โดยบันทึกผลที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 จากผลที่ได้พบว่า สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของระบบแก้วมีลักษณะของการดูดกลืนคล้ายกัน แต่ค่าความเข้มของแต่ละยอดพีคมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมไอออน ซึ่งแต่ละกราฟความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ มียอดพีคอยู่ที่ตำแหน่งของความยาวคลื่นดังต่อไปนี้ คือ 374, 388, 402, 942, 1079, 1226, 1405, 1471, 1523 และ 1585 นาโนเมตร ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนของระดับพลังงานสถานะของอิเล็กตรอน ${}^6P_{7/2}$, ${}^4G_{11/2}$, ${}^6P_{3/2}$, ${}^6F_{11/2}$, ${}^6F_{9/2}$, ${}^6F_{7/2}$, ${}^6F_{5/2}$, ${}^6F_{3/2}$, ${}^6H_{15/2}$ และ ${}^6F_{1/2}$ ตามลำดับ การหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน(optical energy band gaps)

สามารถหาได้จากการทำนายนอกช่วงของข้อมูลด้วยเทคนิคของ Tauc's expression ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า ค่าช่องว่างแถบพลังงานของระบบแก้วบิสมัทแบเรียมโบรไมด์ที่มีค่าแปรผกผันโดยมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับปริมาณความเข้มข้นของซามาเรียมไอออน แสดงดังรูปที่ 4.5 หรือกล่าวได้ว่าค่าช่องว่างแถบพลังงานลดลงด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของซามาเรียมไอออน

4.3 การหาค่าช่องว่างของแถบพลังงาน(Band gap)



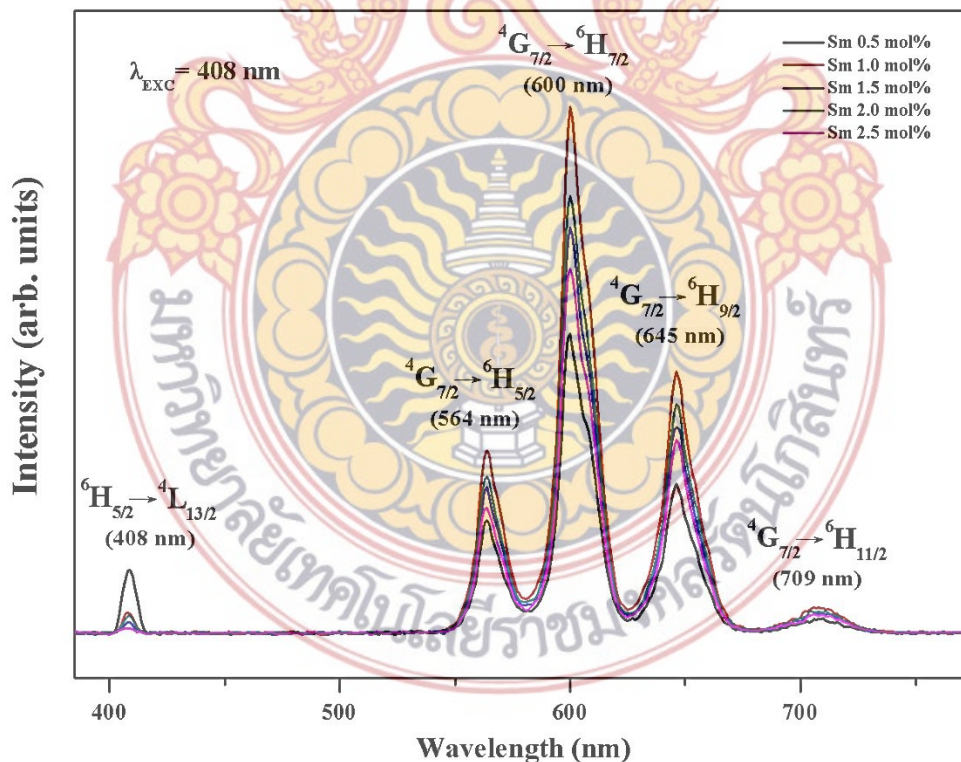
รูปที่ 4.4 การหาค่า $(\alpha hv)^{1/2}$ ที่พลังงานต่างๆ ความเข้มข้นของซามาเรียมไอออนที่ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล



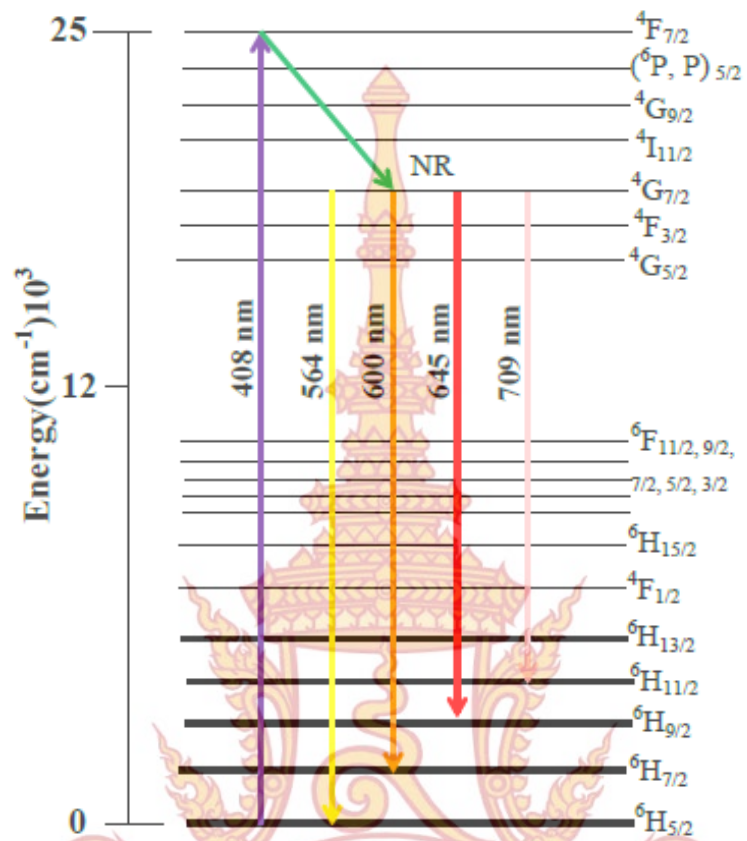
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับปริมาณความเข้มข้นของซามาเรียมไอออน

จากกราฟสเปกตรัมของการเปล่งแสงเมื่อใช้แสงจากหลอดไฟซีนอนที่มีความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร กระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระบบแก้ว แสดงดังรูปที่ 4.6 พบเกิดการเปล่งแสง 4 พีคที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนคือ ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ (564 นาโนเมตร สีเหลืองอ่อน) ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ (600 นาโนเมตร สีส้มเข้ม) ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$ (645 นาโนเมตร สีแดงเข้ม) และ ${}^4G_{7/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ (709 นาโนเมตร สีแดงอ่อน) และจากงานวิจัย พบว่าความเข้มข้นของไอออนของธาตุซาแมเรียม 1.00 เปอร์เซ็นต์ในโมล ที่เจือลงในระบบ แก้วบริสุทธิ์แบบเรียบบอร์เรทให้ค่าความเข้มของพีคสูงสุด ที่ความเข้มข้นมากกว่า 1.00 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มของพีคการเปล่งแสงกลับมีค่าลดลงเนื่องมาจากความเข้มข้นของไอออนที่ใส่เข้าไปมีปริมาณมากเกินไป (concentration quenching) แสดงดังรูปที่ 4.6 จากรูปที่ 4.7 เป็นแผนภาพส่วนหนึ่งที่แสดงกระบวนการคายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการคายพลังงานความร้อน (non-radiative (NR)) เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ใน ซามาเรียมจากชั้นระดับพลังงาน ${}^4F_{7/2}$ และมีการคายพลังงานในรูปของพลังงานความร้อนมายังระดับพลังงานสถานะ ${}^4G_{7/2}$ และคายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังระดับพลังงานสถานะ ${}^4G_{7/2}$ ซึ่งอยู่ในความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านที่ตามองเห็นถึงย่านใกล้อินฟราเรด (VIS-IR)

4.4 สมบัติการเปล่งแสง(Photoluminescence properties)



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของการคายพลังงานเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร



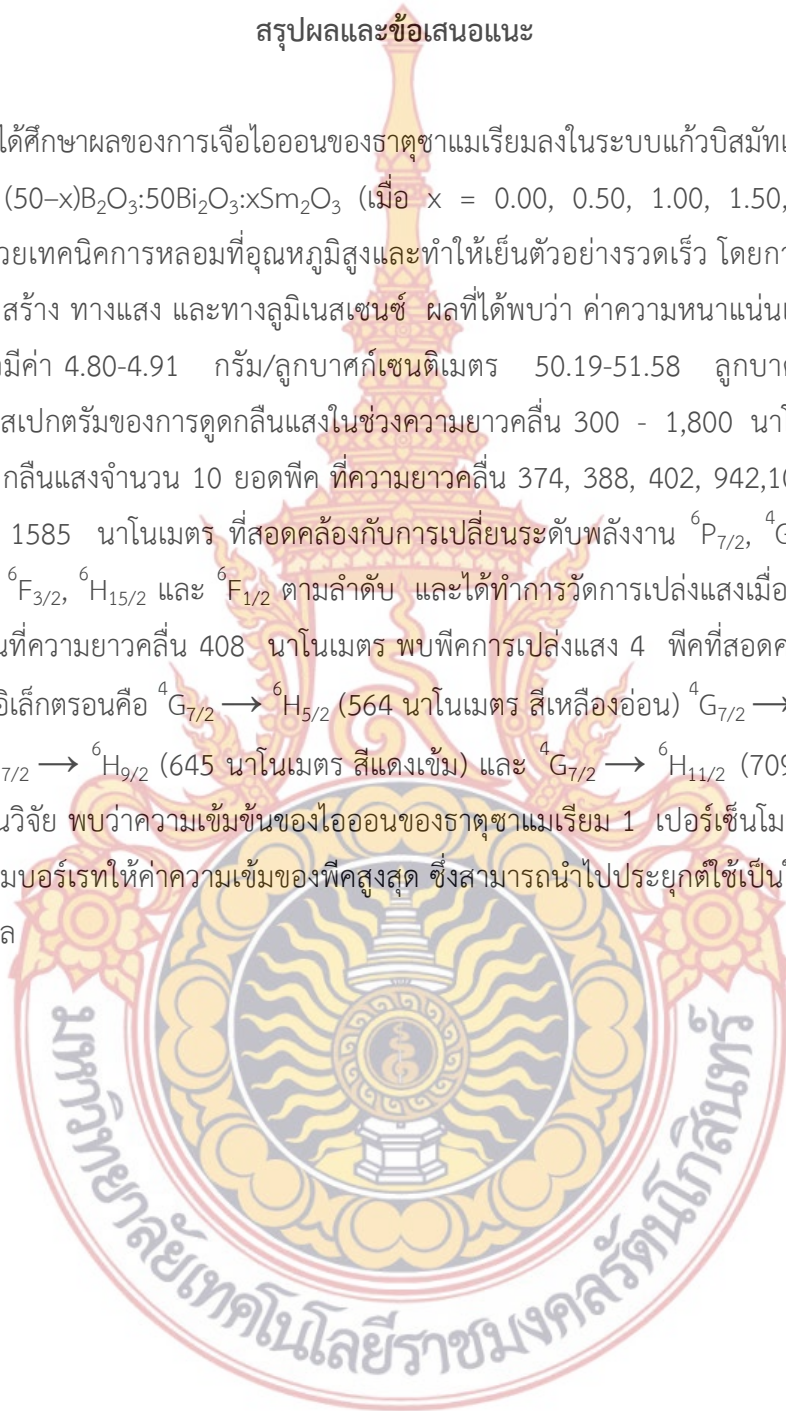
รูปที่ 4.7 แผนภาพการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเจือไอออนของธาตุซาแมเรียมลงในระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรทที่เตรียมขึ้นจากสูตร $(50-x)\text{B}_2\text{O}_3:50\text{Bi}_2\text{O}_3:x\text{Sm}_2\text{O}_3$ (เมื่อ $x = 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ และ 2.50 เปอร์เซ็นต์โมล) ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางโครงสร้าง ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ ผลที่ได้พบว่า ค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลาร์ของระบบแก้วมีค่า 4.80-4.91 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร 50.19-51.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร/โมล ตามลำดับ เมื่อวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 - 1,800 นาโนเมตร พบจำนวนยอดพีกของการดูดกลืนแสงจำนวน 10 ยอดพีก ที่ความยาวคลื่น 374, 388, 402, 942, 1079, 1226, 1405, 1471, 1523 และ 1585 นาโนเมตร ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงาน ${}^6\text{P}_{7/2}$, ${}^4\text{G}_{11/2}$, ${}^6\text{P}_{3/2}$, ${}^6\text{F}_{11/2}$, ${}^6\text{F}_{9/2}$, ${}^6\text{F}_{7/2}$, ${}^6\text{F}_{5/2}$, ${}^6\text{F}_{3/2}$, ${}^6\text{H}_{15/2}$ และ ${}^6\text{F}_{1/2}$ ตามลำดับ และได้ทำการวัดการเปล่งแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟซีนอนที่ความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร พบพีกการเปล่งแสง 4 พีกที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนคือ ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{5/2}$ (564 นาโนเมตร สีเหลืองอ่อน) ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$ (600 นาโนเมตร สีส้มเข้ม) ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{9/2}$ (645 นาโนเมตร สีแดงเข้ม) และ ${}^4\text{G}_{7/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$ (709 นาโนเมตร สีแดงอ่อน) และจากงานวิจัย พบว่าความเข้มข้นของไอออนของธาตุซาแมเรียม 1 เปอร์เซ็นต์โมล ที่เจือลงในระบบแก้วบิสมีทแบเรียมบอร์เรทให้ค่าความเข้มของพีกสูงสุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นไส้หลอดไฟแอลอีดี และหน้าจอสถาปัตยกรรม



บรรณานุกรม

- [1] Mohapatra, S.D., 2009, FTIR Analysis of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Glass System Doped with Nd_2O_3 , Sciences Indexed, Vol. 3, No. 5, pp. 11–18.
- [2] Becker, P., 1998, “Borate Materials in Nonlinear Optics”, Advance Materials, Vol. 10, pp. 979–986.
- [3] Robert, H.D., 1994, Glass Science, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [4] Becker, P., 2003, “Thermal and Optical Properties of Glasses of the System $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ ”, Crystal Research and Technology, Vol. 1, pp. 74–81.
- [5] J. Kaewkhao, A. Pokaipisit, and P. Limsuwan, “Study on borate glass system containing with Bi_2O_3 and BaO for gamma-rays shielding materials: comparison with PbO ,” Journal of Nuclear Materials, vol. 399, no. 1, pp. 38–40, 2010.
- [6] K. Boonin, J. Kaewkhao, and P. Limsuwan, “Optical Investigation of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ Glass System,” Advanced Materials Research, vol. 93-94, pp. 336–339, 2010.
- [7] S. Sindhu, S. Sanghi, A. Agarwal, V. P. Seth, and N. Kishore, “Effect of Bi_2O_3 content on the optical band gap, density and electrical conductivity of $\text{MO}\cdot\text{Bi}_2\text{O}_3\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ ($\text{M} = \text{Ba}, \text{Sr}$) glasses,” Materials Chemistry and Physics, vol. 90, no. 1, pp. 83–89, 2005.
- [8] A. V. Egorysheva, V. D. Volodin, and V. M. Skorikov, “Glass formation in the $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ system,” Inorganic Materials, vol. 44, no. 11, pp. 1261–1265, 2008.
- [9] C. Feifei, D. Shixun, N. Qiuhua, X. Tiefeng, S. Xiang, and W. Xunsi, “Glass formation and optical band gap studies on $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ ternary system,” Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition, vol. 24, no. 5, pp. 716–720, 2009.
- [10] H. Doweidar and Y. B. Saddeek, “FTIR and ultrasonic investigations on modified bismuth borate glasses,” Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 355, no. 6, pp. 348–354, 2009.
- [11] W. Qiao and P. Chena, “Study on the properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ lead-free glass using in the electronic pastes,” Glass Physics and Chemistry, vol. 36, no. 3, pp. 304–308, 2010.
- [12] A. V. Egorysheva, V. D. Volodin, A. A. Chistyakov, Y. A. Kuzishchin, V. M. Skorikov, and T. D. Dudkina, “Luminescence of europium-doped $\text{BaO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ glasses,” Inorganic Materials, vol. 46, no. 12, pp. 1384–1390, 2010.
- [13] Ruamnikhom, R., Limsuwan, P., Horprathum, M., Chanthima, N., Kim, H. J., Ruengsri, S. and Kaewkhao, J., 2014, “Up and Down-Conversion Luminescence Properties of Nd^{3+} Ions

Doped in $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO-B}_2\text{O}_3$ Glass System”, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2014.

[14] G. Lakshminarayana, Rong Yang, Mengfei Mao, Jianrong Qiu, Spectral analysis of RE^{3+} (RE = Sm, Dy, and Tm): $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ glasses, *Optical Materials*. 31 (2009) 1506–1512.

[15] Tirtha Som, Basudeb Karmakar, Infrared-to-red upconversion luminescence in samarium-doped antimony glasses, *Journal of Luminescence*. 128 (2008) 1989–1996

[16] Duk-Nam, K., Jae-yeol, L., Jeung-Soo, H. and Hyung-sun, K., 2002, “Thermal and Electrical Properties of $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ Glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 306, pp. 70–75.

[17] Isabella-loana, O., Hartmut, H. and Klaus, B., 2006, “Luminescence of Erbium-Doped Bismuth-Borate Glasses”, *Optical Materials*, Vol. 28, pp. 1136–1142.

[18] Yousefa, E.S., 2006, “Effect of Rare Earth (Pr_2O_3 , Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 , Gd_2O_3 and Er_2O_3) on the Acoustic Properties of Glass Belonging to Bismuth-Borate System”, *Solid State Communication*, Vol. 139, pp. 108–113.

[19] Eun-Sub, L., Byung-Sook, K., Joon-Hyung L. and Jeong-Joo K., 2006, “Effect of BaO Content on the Sintering and Physical Properties of $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ Glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 352, pp. 821–826.

[20] Egorysheva, A.V., Volodin, V.D. and Skorikov, V.M., 2008, “Glass Formation in the $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ System”, *Inorganic Materials*, Vol. 44, No. 11, pp. 1261–1265.

[21] Sharaf, L.M. and El-Deen, M., 2008, “IR and UV Spectral Studies for Rare Earths-Doped Tellurite Glasses”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 465, pp. 333–339.

[22] Doweidar, H. and Yasser, B.S., 2009, “FTIR and Ultrasonic Investigations on Modified Bismuth Borate Glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 355, pp. 348–354.

[23] Ali, A.A., 2009, “Optical Properties of Sm^{3+} -Doped CaF_2 Bismuth Borate Glasses”, *Journal of Luminescence*, Vol. 129, pp. 1314–1319.

[24] Wenjie, Q. and Chen, P., 2010, “Study on the Properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ Lead Free Glass Using in the Electronic Pastes”, *Glass Physics and Chemistry*, Vol. 36, No. 3, pp. 304–308.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ดร. รังสรรค์ ร่วมนิคม
Dr. Rungsan Ruamnikhom

วัน เดือน ปีเกิด 26 มกราคม พ.ศ. 2528

สถานที่ทำงาน คณะศิลปศาสตร์ หน้าที่ศาลายา สาขาวิชาศึกษาทั่วไป-วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์)
ตำแหน่ง อาจารย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 02-8894585-7 ต่อ 2922
โทรศัพท์มือถือ 092-2648466
โทรสาร 02-8894585-7 ต่อ 2920
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) sunny_dpst@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบัน	สำเร็จการศึกษา	เกรดเฉลี่ยสะสม
ปริญญาเอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2557	-
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยศิลปากร	พ.ศ. 2554	3.95
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยศิลปากร	พ.ศ. 2551	3.44 (เกียรตินิยม)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Glass Science and Technology

High T_c Superconductors

ผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ

ประเภท	ชื่อผู้เขียน / ชื่อผลงาน / ชื่อวารสาร / วัน เดือน ปี
--------	--

<p>การตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ</p>	<p>- R. Ruamnikhom, P. Limsuwan, M. Horprathum, N. Chanthima, H. J. Kim, S. Ruengsri and J. Kaewkhao, 2014, "Up and down-conversion luminescence properties of Nd³⁺ ions doped in Bi₂O₃-BaO-B₂O₃ glass system", Advances in Materials Science and Engineering, Vol. 2014, Article ID 751973, 5 pages http://dx.doi.org/10.1155/2014/751973.</p>
<p>การประชุมวิชาการระดับนานาชาติภาคการบรรยาย และมีเอกสารฉบับเต็ม</p>	<p>-Rungsan Ruamnikhom, Pichet Limsuwan, Natthakridta Chanthima, Jakrapong Kaewkhao, 2013 "Preparation and Properties of Er³⁺ Doped with Bi₂O₃-BaO-B₂O₃ Glass", Advanced Materials Research, Vol. 770, pp. 54 – 58.</p> <p>-R. Ruamnikhom, M. Horprathum, P. Eiamchai, N. Chanthima, J. Kaewkhao and P. Limsuwan, 2013, "NIR Luminescence properties of Nd³⁺ and Er³⁺ ions doped Bi₂O₃-BaO-B₂O₃ glass system", Burapha University International Conference, pp. 595 – 602.</p> <p>-Wongproma, K., Ruamnikhom, R., Ruangtawee, Y. and Kaewkhaob, J., 2012, "Electrical Properties of Soda Lime Silica Glass Doped with Iron (III) Oxide at Temperature", Journal of Material Science and Applied Energy, Vol. 2, pp. 14-16.</p> <p>-S. Rattanaveeranon, R. Ruamnikhom, S. Pangmanayon, "Growth of Zinc Oxide Nanoparticles on Graphene Assembly Using to Detect of Acetone Concentrations", Key Engineering Materials, Vols. 675-676, pp. 125-129, 2016</p> <p>-R. Ruamnikhom, J. Kaewkhao, "The Improvement of Bismuth Barium Borate Glasses through the Applications of Sm³⁺ Dopant", Key Engineering Materials, Vols. 675-676, pp. 401-404, 2016</p>