

การเตรียมแก้วตะกั่วเพื่อใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสี

กมลพรรณ เพ็งพัค¹, นิภาพร เจริญไทย^{2*}, วิทวัส เชาวงชัยยง¹ และ กอบวุดิ รุจิจนากุล¹

Preparation of Lead Glass Using as a Radiation Protected Material

Kamonpan Pengpat¹, Nipaphat Charoenthai^{2*}, Wittawat Chavengchaiyong¹
and Gobwute Rujijanagul¹

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิจนุโลก 65000

*Corresponding author. E-mail: nipaphat_c@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติของแก้วตะกั่วป้องกันรังสี แก้วตะกั่วได้ถูกเตรียมขึ้นโดยกระบวนการหลอมที่มีปริมาณตะกั่วออกไซด์ตั้งแต่ร้อยละ 41.6 – 75.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของเงื่อนไขของกระบวนการเตรียมแก้วต่อการสร้างตัวของเฟสและการแน่นตัวของแก้วตะกั่วเพื่อหาสภาวะในการหลอม โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหลอมแก้วมีค่าอยู่ในช่วง 1150 ถึง 1250 °C และอุณหภูมิในการอบอ่อนอยู่ที่ 500 °C สีของแก้วตะกั่วที่ได้มีสีเหลืองจนถึงสีเหลืองอมเขียวตามปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าแก้วตะกั่วมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ส่วนค่าความหนาแน่น ค่าครรชนหักเหและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแก้วตะกั่วที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 °C และเผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์สูงสุด ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปเป็นวัสดุป้องกันรังสีได้

คำสำคัญ: แก้วตะกั่ว ครรชนหักเหของแสง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ วัสดุป้องกันรังสี

Abstract

In this work, the properties of lead glass for using as a radiation protected material was studied. The lead glass was prepared by melting technique. PbO was added into glass in different compositions (41.6 – 75.5 wt %). Effect of processing conditions on phase formation and densification of lead glass were investigated. It was found that the optimum firing temperatures were

between 1150 to 1250 °C and the optimum annealing temperature was 500 °C. Moreover, the color of glass changes from yellow to yellow green with an increasing amount of PbO. The lead glass shows amorphous structure. Density, refractive index and x-ray absorption coefficient of the glass increases with increasing of PbO. In addition, lead glass fired at 1150 °C for 4 hours shows the highest value of x-ray absorption coefficient and suitable for radiation protected material.

Keywords: lead glass, refractive index, x-ray absorption coefficient, radiation protection material

บทนำ

แก้วตะกั่วเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมาก ในการนำมาเป็นตัวกำบังรังสี เนื่องจากประกอบด้วยอะตอมขนาดใหญ่ และอยู่ใกล้ชิดกันมาก จึงดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ได้หมด มีประโยชน์สำคัญในการป้องกันเครื่องถ่ายภาพรังสีและฟิล์มที่ยังไม่ได้ใช้จากรังสีเอ็กซ์ และยังใช้กำบังรังสีให้กับผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการฉายรังสีในโรงพยาบาลและในด้านทันตกรรม นอกจากนั้นยังนำมาใช้ในสถานีพลังงานนิวเคลียร์ และทำตู้สำหรับขนส่งสารกัมมันตรังสี เพราะสมบัติของความโปร่งใสของแก้วที่ทำให้เราให้เห็นกระบวนการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์ นอกจากนั้นแก้วตะกั่วยังสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบหรือเติมด้วยธาตุที่มีมวลอะตอมหนักต่างๆ เพื่อเสริมให้มีสมบัติในการป้องกันรังสีได้หลายชนิด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแก้วนั้นๆ จากการศึกษาความสามารถในการเกิดเป็นแก้วและพฤติกรรมการเย็นตัวของแก้ว $2\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\text{-}4\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ พบว่าที่สัดส่วนประกอบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ PbO เท่ากับ 86.5, 88 และ 90 สามารถเกิดเป็นแก้วได้โดยปราศจากผลึก (Weinberg *et al.*, 1986) ต่อมาได้มีการศึกษาการเตรียมและลักษณะเฉพาะของแก้ว $\text{PbO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ พบว่าแก้วที่มีปริมาณ Bi_2O_3 เพิ่มมากขึ้นจะไปลดความหนาแน่นของแก้วลงอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นของแก้วที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 6.0 ถึง 8.1 g/cm³ (Van Kirk and Martin, 1992) และเมื่อทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาระหว่างสารแบเรียมไทเทเนตที่มีต่อแก้วสองระบบ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$, PbO-SiO_2 และ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ พบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เกิดปฏิกิริยาการแทนที่โครงสร้างของ BaTiO_3 ด้วยอะตอมของ Pb และ Bi ตามลำดับและเกรนของ BaTiO_3 มีแนวโน้มโตขึ้น (Kuromitsu *et al.*, 1994) จากนั้นได้มีผู้ทำการศึกษาโครงสร้างของแก้ว $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ ที่มีส่วนประกอบของเลดออกไซด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 25-80 โดยโมล ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) ปรากฏว่า กราฟแสดงพีคที่แยกจากกันอย่างชัดเจนของกลุ่มพันธะ Pb-O และ Pb-Pb โดยส่วนประกอบที่มีเลดออกไซด์อยู่ในปริมาณมากจะมีเลข

โคออดิเนตเท่ากับ 6 ส่วนประกอบที่มีเลขออกไซด์ในปริมาณต่ำจะมีเลขโคออดิเนต เท่ากับ 3 (Takaishi *et al.*, 2000)

สำหรับส่วนประกอบของแก้วป้องกันรังสีนั้นสามารถหาได้ในประเทศ และกรรมวิธีการทำนั้นสามารถทำได้ในประเทศไทย แต่จากการตรวจสอบพบว่าแก้วตะกั่วที่มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีได้ยังไม่มีการผลิตในประเทศ การทดลองครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาเงื่อนไขการเตรียมแก้วตะกั่วป้องกันรังสี เพื่อใช้ในการด้านการศึกษาแพทย์ ชดเชยการนำวัสดุเข้าจากต่างประเทศ พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้และเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับแก้วป้องกันรังสีและสาขาที่เกี่ยวข้อง

วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการผลิตแก้วด้วยวิธีการหลอม และการระงับ ซึ่งก็คือ การหลอมแก้วสูตรต่างๆ แล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการผลิตแก้วโดยทั่วไป

1. ชั่งสารเคมีที่ใช้เตรียมแก้วตะกั่ว และผสมสารเคมีในแต่ละสูตร ตามตาราง 1 ให้เข้ากัน โดยใช้ครกบดสาร บดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารที่ผสมแล้วใส่ลงในถ้วยหลอมแก้ว

ตาราง 1 อัตราส่วน % โดยน้ำหนักของแก้วตะกั่ว

สารเคมี	% โดยน้ำหนัก							
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8
SiO ₂	30.53	27.94	25.76	23.06	20.87	18.02	15.48	12.78
K ₂ CO ₃	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
Al ₂ O ₃	0.92	0.85	0.78	0.70	0.63	0.55	0.47	0.39
Na ₂ CO ₃	13.88	12.70	11.71	10.48	9.48	8.19	7.04	5.81
MgO	0.92	0.85	0.78	0.70	0.63	0.55	0.47	0.39
CaO	4.63	4.23	3.91	3.49	3.16	2.73	2.35	1.94
H ₃ BO ₃	6.47	5.93	5.46	4.89	4.42	3.82	3.28	2.71
ZnO	0.92	0.85	0.78	0.70	0.63	0.55	0.47	0.39
Pb ₃ O ₄	41.63	46.56	50.74	55.91	60.12	65.54	70.39	75.55

2. นำสารที่ผสมแล้วใส่ลงในถ้วยหลอมแก้ว ทำการหลอมแก้วในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะการเผาคือ ไม่มีการเผาแซ่ และมีการเผาแซ่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3. เมื่อหลอมแก้วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดจะทำการขึ้นรูปแก้วโดยการเปิดเตาแล้วนำถ้วยหลอมออกจากเตา เทน้ำแก้วที่หลอมลงบนแม่พิมพ์เหล็กกล้าแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศอย่างรวดเร็ว รอจนกระทั่งแก้วเริ่มแข็งตัวจึงถอดแม่พิมพ์นำแก้วออกจากแม่พิมพ์

4. ทำการอบชิ้นงานแก้ว โดยการนำแก้วที่ผ่านการขึ้นรูปมาใส่ในเตาอบแก้ว ที่อุณหภูมิ 500 °C จากนั้นจะทำการปิดเตาแล้วปล่อยให้ชิ้นงานและเตาเย็นตัวลงพร้อมกันจนถึงอุณหภูมิห้อง จะได้ชิ้นงานแก้วตะกั่ว

5. ทำการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแก้วที่เตรียมได้โดยทำการหา ค่าความหนาแน่นของแก้วด้วยเครื่องชั่งสารสำหรับวัดค่าความหนาแน่น วัดค่าดัชนีหักเหของแก้วด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractrometer) รุ่น Electronic Abbe-Refractrometer AR2008 และวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของแก้วที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D 500 ของบริษัท Siemens

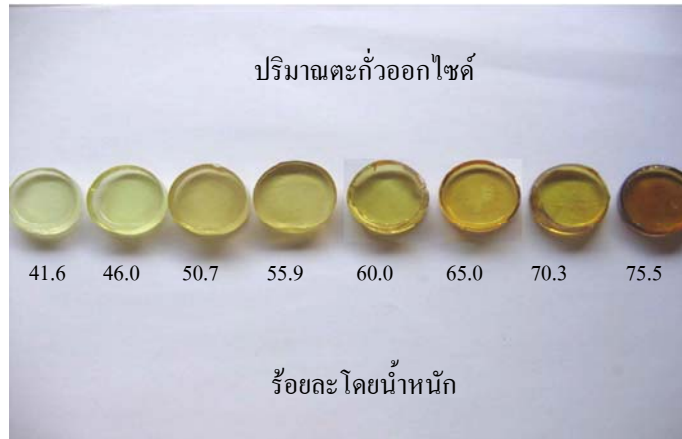
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การเผาแก้วตะกั่วที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแซ่ และการเผาแก้วตะกั่วที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยมีการเผาแซ่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบลักษณะทางกายภาพของแก้วตะกั่วตัวอย่างที่เตรียมได้ดังนี้ เนื้อแก้วมีสีเหลืองอ่อน สีเหลืองเขียว และสีเหลืองเข้ม ตามปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่ใส่ลงไป รูป 1 แสดงตัวอย่างของแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C แบบไม่มีการเผาแซ่ (รูป 1 ก) และเผาแซ่ 4 ชั่วโมง (รูป 1 ข) โดยสีจะเข้มขึ้นจากซ้ายไปขวา นอกจากนี้ยังมีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ มันวาว สำหรับผลการทดลองอื่นๆจะได้แสดงดังต่อไปนี้

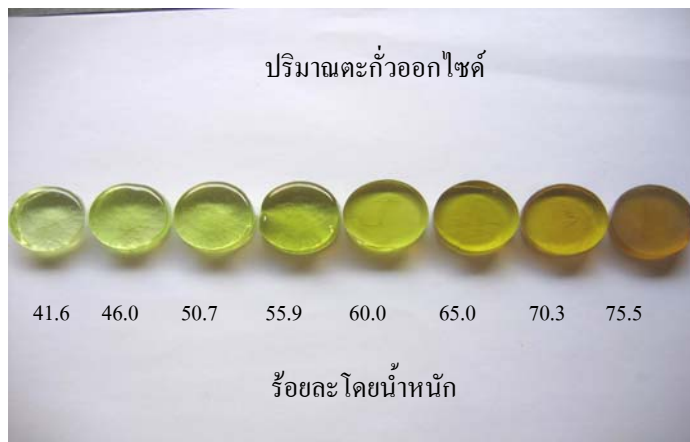
1. ค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่ว

เมื่อนำชิ้นงานแก้วตะกั่วที่เตรียมได้ มาทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแก้วทั้ง 8 อัตราส่วน ได้ผลแสดงดังตาราง 2 จากตารางพบว่าแก้วตะกั่วที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแซ่ และโดยมีการเผาแซ่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่วที่ได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตะกั่วออกไซด์ และจากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างสองอุณหภูมิ จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่วที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 °C มีค่ามากกว่าค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C ทั้งนี้เนื่องมาจากการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ปริมาณตะกั่วออกไซด์ระเหยออกจากรูปแก้วมากกว่า โดยจะเห็นได้ชัดเจนที่ปริมาณตะกั่วตั้งแต่ร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่วจากการไม่เผาแซ่ และการเผาแซ่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าการเผาแก้ว โดยไม่มีการเผาแซ่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าค่าความหนาแน่นใน

สภาวะเผาแซ่ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของเวลาในการเผาแซ่มีผลต่อการระเหยของตะกั่วออกไซด์ออกจากน้ำแก้วมากกว่า



(ก)



(ข)

รูป 1 แก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C (ก) ไม่มีการเผาแซ่ (ข) เผาแซ่ 4 ชั่วโมง (ตัวเลขในรูปแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของ Pb_3O_4)

ตาราง 2 ค่าความหนาแน่นของแก้วตะกั่ว

% Pb ₃ O ₄	ความหนาแน่น (g/cm ³)			
	T = 1150 °C, 0 h	T = 1250 °C, 0 h	T = 1150 °C, 4 h	T = 1250 °C, 4 h
41.6	3.8815	3.8515	3.8527	3.8230
46.0	4.0854	4.0462	4.0546	3.9317
50.7	4.3009	4.2687	4.2522	4.0433
55.9	4.5851	4.5060	4.4664	4.3364
60.0	4.8099	4.6221	4.6702	4.4593
65.0	5.1142	4.9547	4.8450	4.5779
70.3	5.2662	5.0669	5.0471	4.6961
75.5	5.6639	5.3472	5.2374	4.9083

2. ค่าดัชนีหักเหของแก้วตะกั่ว

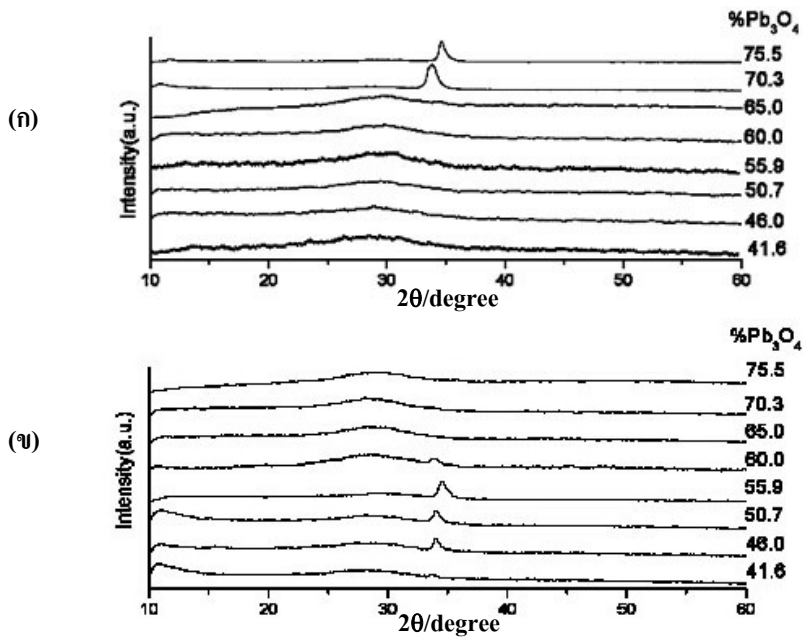
เมื่อนำชิ้นงานแก้วตะกั่วที่เตรียมได้ มาทดสอบหาค่าดัชนีหักเหของแก้วทั้ง 8 อัตราส่วน ได้ผลแสดงดังตาราง 3 พบว่าแก้วตะกั่วที่อุณหภูมิการเผา 1150 °C ทั้งที่ไม่มีการเผาแซ่และมีการเผาแซ่ ค่าดัชนีหักเหของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าดัชนีหักเหของแก้วตะกั่วที่อุณหภูมิการเผา 1250 °C โดยไม่มีการเผาแซ่ และมีการเผาแซ่ มีค่าค่อนข้างคงที่โดยค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.585 -1.589 และจะเห็นความแตกต่างของค่าดัชนีหักเหระหว่างแก้วตะกั่วทั้งสองอุณหภูมิการเผาที่ 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแซ่และมีการเผาแซ่ ได้อย่างชัดเจนที่ปริมาณตะกั่วตั้งแต่ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก จากการเปรียบเทียบค่าดัชนีหักเหของแก้วตะกั่วที่ผ่านการเผาในสภาวะต่างๆ พบว่าแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C โดยไม่มีการเผาแซ่มีค่ามากกว่าการเผาแก้วที่สภาวะอื่น ๆ และค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มตะกั่วออกไซด์ (PbO) เป็นการเพิ่มการเกาะตัวของตะกั่วในแก้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างจนทำให้ค่าดัชนีหักเหและการกระจายแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหสูงขึ้น

ตาราง 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วตะกั่ว

% Pb ₃ O ₄	ค่าดัชนีหักเห			
	T = 1150 °C , 0 h	T = 1250 °C , 0 h	T = 1150 °C , 4 h	T = 1250 °C , 4 h
41.6	1.5791	1.5850	1.5800	1.5870
46.0	1.5800	1.5891	1.5870	1.5874
50.7	1.5850	1.5892	1.5887	1.5876
55.9	1.5889	1.5893	1.5889	1.5886
60.0	1.5898	1.5893	1.5890	1.5887
65.0	1.5911	1.5894	1.5891	1.5889
70.3	1.5915	1.5894	1.5895	1.5890
75.5	1.5922	1.5897	1.5900	1.5902

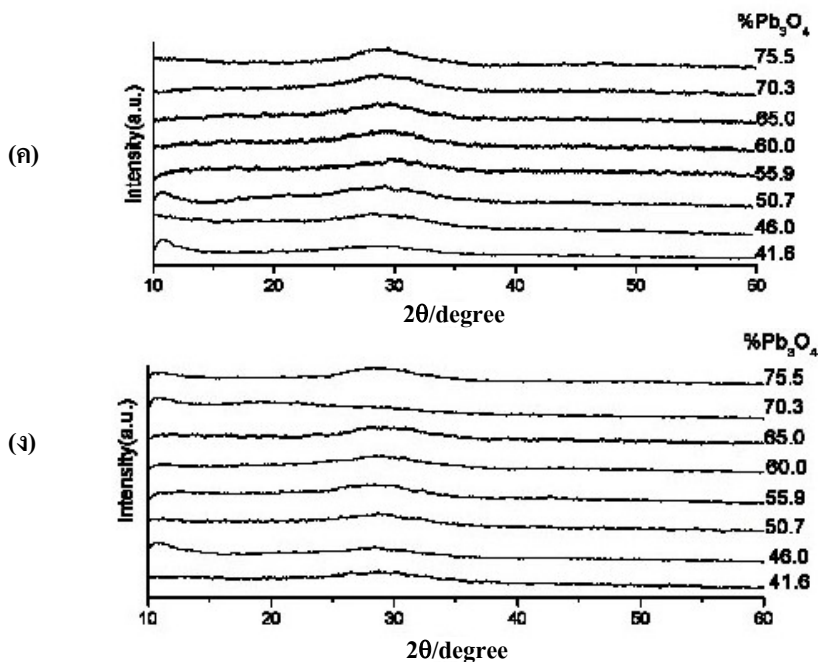
3. ผลการวิเคราะห์แก้วตะกั่วด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของแก้วตะกั่วทั้ง 8 อัตราส่วนที่เตรียมได้ที่สภาวะการเผาต่างๆ แสดงดังรูป 2



รูป 2 X-ray diffraction pattern ของแก้วตะกั่ว

(ก) เเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C ไม่มีการเผาแซ่ (ข) เเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C เเผาแซ่ 4 ชั่วโมง



รูป 2 (ต่อ) X-ray diffraction pattern ของแก้วตะกั่ว

(ก) เเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C ไม่มีการเผาแช่ (ง) เเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C เเผาแช่ 4 ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ของแก้วตะกั่วพบว่าแก้วตะกั่วเเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแช่พบว่าเส้นกราฟที่ปรากฏมีลักษณะกว้าง ไม่มีพีคเกิดขึ้น ซึ่งแสดงการไม่เกิดผลึกขึ้นในเนื้อแก้ว หรือเรียกว่าการ เป็นอสัณฐานของแก้ว แต่ที่ปริมาณตะกั่วร้อยละ 70.3 และ 75.5 โดยน้ำหนักสำหรับแก้วตะกั่วเเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C และที่ปริมาณตะกั่วตั้งแต่ร้อยละ 41.6 ถึง 55.9 โดยน้ำหนักสำหรับแก้วตะกั่วเเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าเส้นกราฟที่เกิดขึ้นมีพีคเกิดขึ้นมา คาดว่าจะเกิดผลึกของซิลิเกตตะกั่วขึ้น ดังนั้นการเกิดผลึกของแก้วจะเกิดที่อุณหภูมิการเเผาที่ 1150 °C ที่ปริมาณตะกั่วมาก และการเกิดผลึกของแก้วสามารถเกิดได้ที่ปริมาณตะกั่วน้อย ที่อุณหภูมิการเเผาที่ 1250 °C แสดงให้เห็นว่าการเกิดผลึกในแก้วจะเกิดได้ที่ปริมาณตะกั่วและอุณหภูมิการเเผาที่เหมาะสมเท่านั้น เมื่อพิจารณาแก้วตะกั่วเเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยมีการเผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเส้นกราฟที่ปรากฏมีลักษณะกว้าง ไม่มีพีคเกิดขึ้นซึ่งแสดงการไม่เกิดผลึกขึ้นในเนื้อแก้วหรือเรียกว่าการเป็นอสัณฐานของแก้ว และเมื่อเปรียบเทียบการไม่เผาแช่กับการเผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมงของแก้วที่ปริมาณตะกั่วต่าง ๆ กันพบว่าการเผาแช่ทำให้ไม่เกิดความเป็ผลึกในแก้วขึ้น เนื่องจากการเผาแช่เป็นการให้พลังงานกับแก้วมากกว่าเมื่อเทียบกับการไม่เผาแช่มีผลทำให้ตะกั่วออกไซด์ในแก้วระเหยออกไปจึงไม่เกิดผลึกขึ้น

4. ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี

เมื่อนำชิ้นงานแก้วตะกั่วที่เตรียมได้ มาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแก้วทั้ง 8 อัตราส่วน ได้ผลแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแก้วตะกั่ว

% Pb ₃ O ₄	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี (ต่อมิลลิเมตร)			
	T = 1150 °C , 0 h	T = 1250 °C , 0 h	T = 1150 °C , 4 h	T = 1250 °C , 4 h
41.6	4.3800	4.8121	3.8500	4.7873
46.0	5.0000	5.0300	5.1340	4.9800
50.7	5.6000	5.5700	6.0180	5.5000
55.9	6.0180	5.7830	7.5010	5.9060
60.0	6.1800	5.8250	7.5500	5.9200
65.0	6.1900	5.9000	7.6000	5.9500
70.3	6.1500	6.0000	7.6300	6.0500
75.5	6.0570	6.0214	7.6630	6.0906

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิการเผา 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแช่ และมีการเผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของแก้วตะกั่วที่เตรียมได้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแก้วมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีที่สูง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณตะกั่วในเนื้อแก้วเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี (ทั้งนี้ค่านี้ไม่ได้คิดเทียบกับความหนาแน่น) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C มีค่ามากกว่าแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C เนื่องจากผลลดของปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่ระเหยออกจากเนื้อแก้วที่เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C จะมีการระเหยของตะกั่วออกไซด์มากกว่าการเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C แต่เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของแก้วตะกั่วเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C โดยมีการเผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์สูงที่สุด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเผาแช่จะทำให้ตะกั่วออกไซด์กระจายตัวในเนื้อแก้วได้ดีขึ้น โดยจากตารางค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์อยู่ในช่วง 7.50 – 7.66 ต่อมิลลิเมตร ที่ปริมาณตะกั่วออกไซด์ตั้งแต่ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จึงเหมาะสมในการนำแก้วตะกั่วดังกล่าวมาทำเป็นวัสดุป้องกันรังสี

สรุปผลการทดลอง

แก้วตะกั่วสามารถเตรียมได้โดยทำการหลอมแก้วที่อุณหภูมิ 1150 °C และ 1250 °C โดยไม่มีการเผาแช่ และ มีการเผาแช่ 4 ชั่วโมง แล้วนำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 °C จากการตรวจสอบคุณสมบัติของแก้วตะกั่วที่เตรียมได้พบว่า เมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น จะทำให้แก้วมีค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์สูงขึ้น โดยแก้วตะกั่วที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 °C เผาแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่ปริมาณตะกั่วออกไซด์ร้อยละ 55.0 ถึง 75.5 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ อยู่ในช่วง 7.50 - 7.66 ต่อมิลลิเมตร ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นวัสดุป้องกันรังสีได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

- Kuromitsu, Y. 1994. Evolution of Interfacial Microstructure between Barium Titanate and Binary Glasses. *Journal of American Ceramics Society*. 77(3) : 825-856.
- McColm, I.J. 1994. *Dictionary of Ceramic Science and Engineering*, Plenum Press, New York.
- Meyers, R.A. 1992. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, v.7, 2nd ed., Academic Press, Inc.
- Takaishi, T. 2000. Structural Study of PbO-B₂O₃ Glasses by X-ray Diffraction and ¹¹B MAS NMR Techniques. *Journal of American Ceramics Society*. 83(10) : 2543-2548.
- Van Kirk, S.E., and Martin, S.W. 1992. Preparation and Characterization of High-Density PbO-Bi₂O₃-B₂O₃ Glasses. *Journal of American Ceramics Society*. 75(4) : 1028-1031.
- Weinberg, M.C., Smith, G.L., and Neilson, G.F. 1986. Glass Formation and Crystallization of High Lead Content PbO-B₂O₃ Composition. *Journal of American Ceramics Bulletin*. 65(11) : 1502-1505.