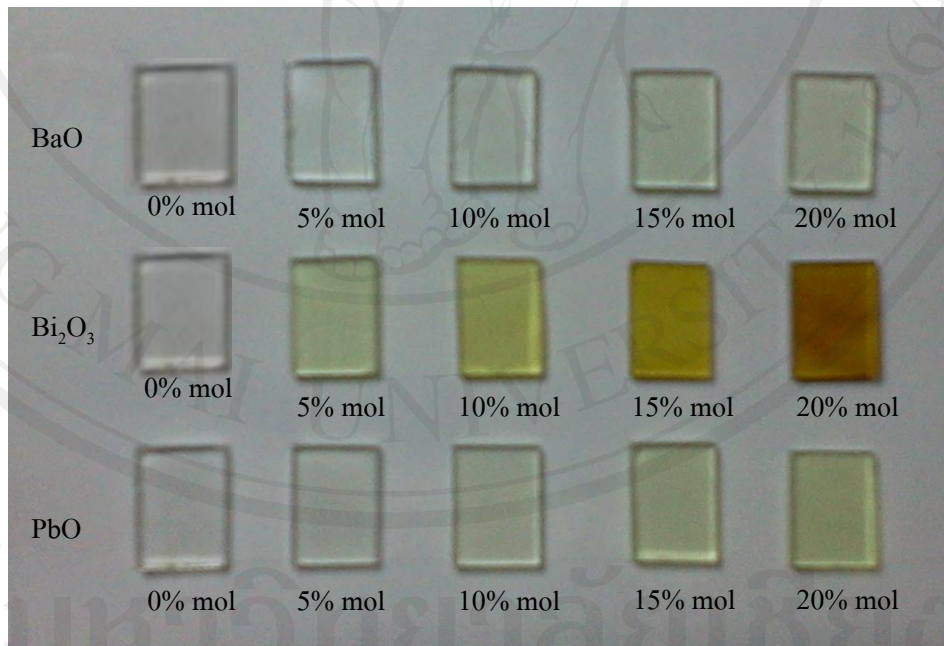


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและผลิตแก้ว

จากการออกแบบและผลิตแก้วจากสูตร $(50-x) \text{SiO}_2 : 15\text{B}_2\text{O}_3 : 2\text{Al}_2\text{O}_3 : 10\text{CaO} : 23\text{Na}_2\text{O}$ โดยเพิ่มคุณสมบัติช่วยในการกำบังรังสีของแก้ว โดย x คือ สารที่ต้องการเติมเข้าไปในโครงสร้าง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ แบเรียมออกไซด์ (BaO) บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3) และ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ โดย $x=0, 5, 10, 15, 20$ % mol ตามลำดับ แล้วนำแก้วไปขัดและตัดให้มีขนาด $1.5 \times 1 \times 0.3 \text{ cm.}^3$ เพื่อควบคุมความหนาของแก้ว และ เพื่อ สะดวกต่อการนำไปทดสอบในกระบวนต่างๆ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเติมต่างๆ

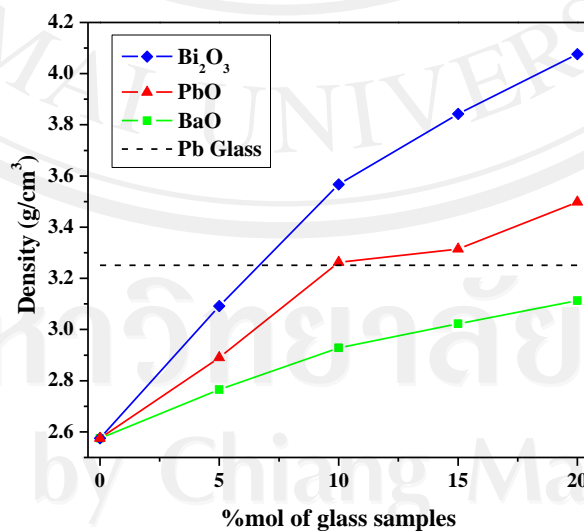
4.2 ผลการวัดความหนาแน่นของแก้ว

จากการทดลองวัดค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา โดยหาได้จากการชั่งน้ำหนักของแก้วในอากาศและน้ำหนักของแก้วที่ชั่งในน้ำแล้วนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความหนาแน่นของแก้วจากสมการที่ 15 ผลการวัด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และความหนาแน่นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ความหนาแน่น (g/cm^3) | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | BaO | Bi_2O_3 | PbO | Pb Glass |
| 0 | 2.5754 ± 0.0001 | 2.5754 ± 0.0001 | 2.5754 ± 0.0001 | 3.2510 ± 0.0004 |
| 5 | 2.7646 ± 0.0001 | 3.0918 ± 0.0002 | 2.8903 ± 0.0001 | |
| 10 | 2.9288 ± 0.0000 | 3.5674 ± 0.0001 | 3.2629 ± 0.0000 | |
| 15 | 3.0222 ± 0.0001 | 3.8426 ± 0.0000 | 3.3142 ± 0.0001 | |
| 20 | 3.1123 ± 0.0001 | 4.0762 ± 0.0002 | 3.4975 ± 0.0002 | |

จากตารางที่ 4.1 นำค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาแสดงดั่งเส้นปะซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาแน่นของแก้วในแกน y

จากการวัด พบว่าค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อ เปรอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เดิมเข้าไป เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา พบว่า ค่าความหนาแน่นของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา มีค่าเท่ากับ 3.2510 ± 0.0004 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแก้วที่เดิมแบบเรียบทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และต่ำกว่าแก้วที่เดิมบิสมัทและตะกั่วที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10, 15, 20 ตามลำดับ

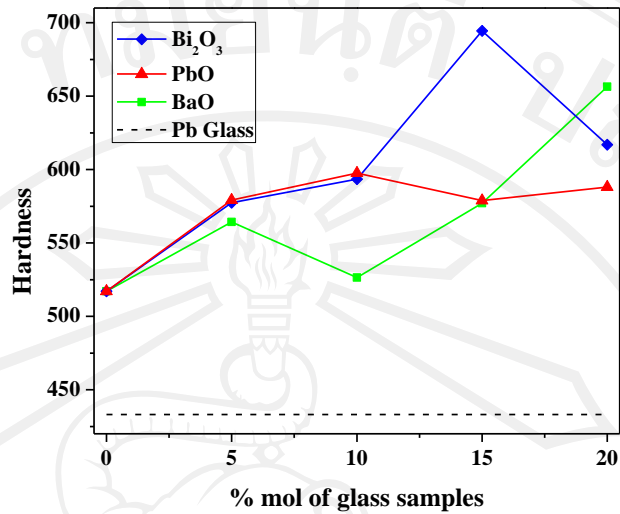
4.3 ผลการวัดค่าความแข็ง

จากการวัดค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา โดยใช้เครื่อง Digital Micro Vickers Hardness Tester โดยทำการหาค่าที่ตำแหน่งต่างๆบนแก้วตัวอย่างและกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา 5 ตำแหน่ง ผลการวัด ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและความแข็งของแก้วที่เดิมแบบเรียบ บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าความแข็ง | | | |
|-------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 517.12±0.01 | 517.12±0.01 | 517.12±0.01 | 433.18±0.02 |
| 5 | 564.24±0.00 | 577.34±0.00 | 579.14±0.01 | |
| 10 | 526.36±0.01 | 593.46±0.01 | 597.56±0.00 | |
| 15 | 577.02±0.01 | 694.40±0.00 | 578.82±0.00 | |
| 20 | 655.42±0.00 | 616.82±0.01 | 588.06±0.01 | |

จากตารางที่ 4.2 นำค่าความแข็งเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาแสดงดังเส้นปะซึ่งเป็นค่าความแข็งที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างและกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ในแกน x และค่าความแข็งของแก้วในแกน y

จากการวัดพบว่าค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดที่เติมเบเรียม, บิสมัท และตะกั่วมีค่าความแข็งมากกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น

4.4 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

4.4.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

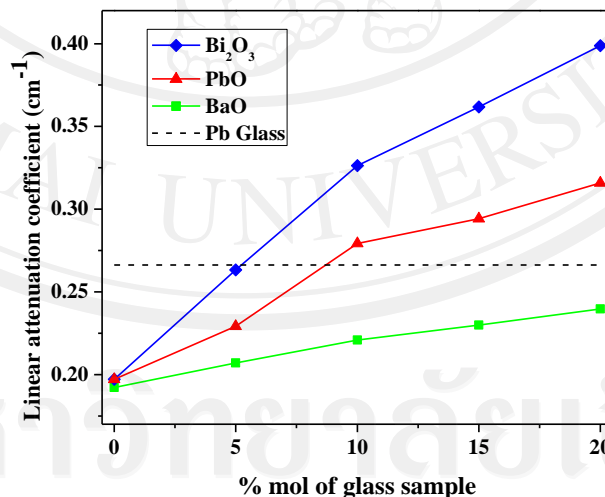
จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs¹³⁷ มีความแรง (Activity) 11 mCi โดยผลิตเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2539 นำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 6 และหาค่า μ จากสมการ ผลการศึกษา ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา จากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (cm ⁻¹) | | | | | | | | | กระจกตะกั่ว |
|-------------------------------|---|--------|------|--------------------------------|--------|------|---------------|--------|------|---------------|
| | BaO | | | Bi ₂ O ₃ | | | PbO | | | |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | |
| 0 | 0.1922±0.0077 | 0.1968 | 2.35 | 0.1972±0.0077 | 0.1968 | 2.35 | 0.1972±0.0077 | 0.1968 | 2.35 | 0.2663±0.0140 |
| 5 | 0.2070±0.0067 | 0.2115 | 2.11 | 0.2633±0.0048 | 0.2644 | 0.42 | 0.2292±0.0058 | 0.2351 | 2.51 | |
| 10 | 0.2209±0.0059 | 0.2243 | 1.51 | 0.3263±0.0034 | 0.3249 | 0.44 | 0.2793±0.0043 | 0.2781 | 0.43 | |
| 15 | 0.2299±0.0055 | 0.2317 | 0.78 | 0.3618±0.0029 | 0.3642 | 0.66 | 0.2942±0.0040 | 0.2930 | 0.42 | |
| 20 | 0.2396±0.0052 | 0.2388 | 0.36 | 0.3988±0.0026 | 0.3971 | 0.42 | 0.3158±0.0036 | 0.3184 | 0.81 | |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{การทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

นำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาแสดงดังเส้นปะซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x

และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y จากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 0.2663 ± 0.0140 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาคิดว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

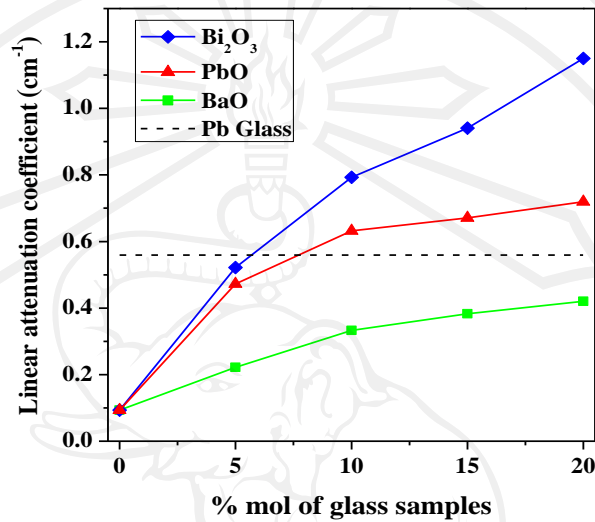
4.4.2 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์

จากการวัดรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม จากเครื่องเอกซ์เรย์ทั่วไปที่พลังงาน 100 kVp และ 120 kVp ตามลำดับ หรือปริมาณโฟตอนซึ่งตั้งค่าอยู่ในช่วง 20-100 keV และ 45-110 keV ตามลำดับ จากนั้นนำแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา มากำบังรังสีด้านหน้าหัวนับวัด แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟ (Net area) ซึ่งเป็นความเข้มของรังสี เพื่อนำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 6 และหาค่า μ จากสมการ ผลการศึกษา ดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 120 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (cm^{-1}) | | | |
|-------------------------------|--|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | BaO | Bi_2O_3 | PbO | Pb Glass |
| 0 | 0.0934 ± 0.0111 | 0.0934 ± 0.0111 | 0.0934 ± 0.0111 | 0.5594 ± 0.0152 |
| 5 | 0.2221 ± 0.0123 | 0.5220 ± 0.0144 | 0.4725 ± 0.0134 | |
| 10 | 0.3326 ± 0.0132 | 0.7928 ± 0.0171 | 0.6319 ± 0.0154 | |
| 15 | 0.3830 ± 0.0137 | 0.9404 ± 0.0187 | 0.6712 ± 0.0157 | |
| 20 | 0.4200 ± 0.0142 | 1.1500 ± 0.0190 | 0.7192 ± 0.0166 | |

นำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาแสดงตั้งเส้นปะซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.5



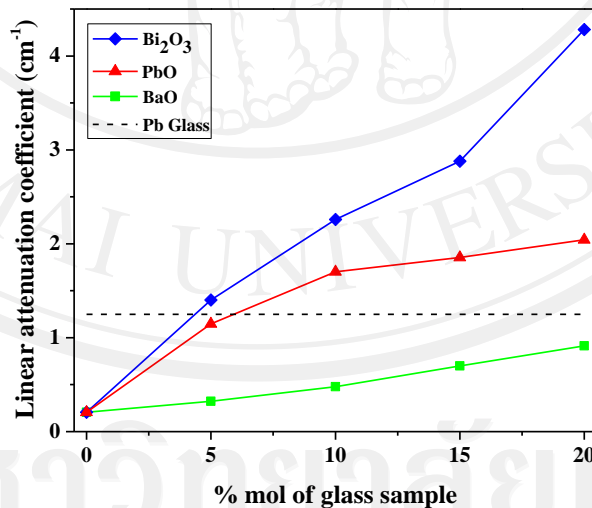
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่พลังงาน 120 kVp พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 0.5594 ± 0.0152 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุก เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาคือดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและ ตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา เครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 100 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (cm^{-1}) | | | |
|-------------------------------|--|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | BaO | Bi_2O_3 | PbO | Pb Glass |
| 0 | 0.2050 ± 0.0052 | 0.2050 ± 0.0052 | 0.2050 ± 0.0052 | 1.2491 ± 0.0072 |
| 5 | 0.3229 ± 0.0085 | 1.4015 ± 0.0058 | 1.1467 ± 0.0060 | |
| 10 | 0.4780 ± 0.0094 | 2.2594 ± 0.0067 | 1.7026 ± 0.0063 | |
| 15 | 0.6997 ± 0.0078 | 2.8791 ± 0.0069 | 1.8540 ± 0.0063 | |
| 20 | 0.9129 ± 0.0069 | 4.2818 ± 0.0051 | 2.0426 ± 0.0064 | |

นำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่มีในท้องตลาด แสดงด้วยเส้นประซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 100 kVp พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 1.2491 ± 0.0072 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุก เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทมี คุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 ตามลำดับ และแก้วที่เติมตะกั่วมีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10, 15, 20 ตามลำดับ

4.5 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่า

4.5.1 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่าจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

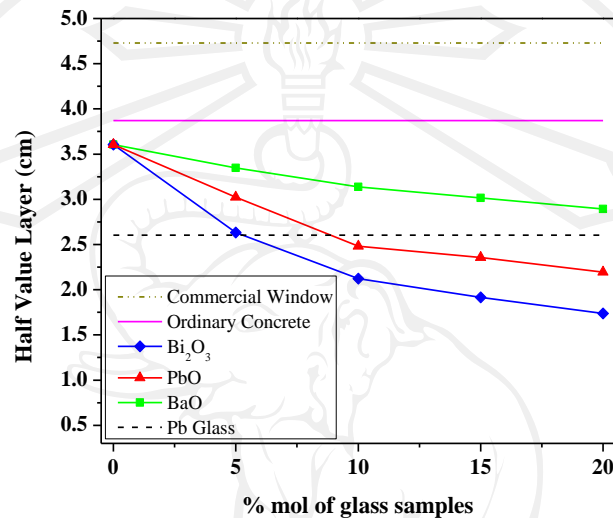
จากการศึกษาเพื่อหาค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs^{137} ความแรง 11 mCi โดยผลิตเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2539 นำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 8 โดยคำนวณหาค่า HVL ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ที่พลังงาน 662 keV

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าความหนาครึ่งค่า (cm) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------|------|--------------------------------|--------|------|---------------|--------|------|---------------|
| | BaO | | | Bi ₂ O ₃ | | | PbO | | | Pb Glass |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดสอบ |
| 0 | 3.6064±0.0077 | 3.5216 | 2.41 | 3.6064±0.0077 | 3.5216 | 2.41 | 3.6064±0.0077 | 3.5216 | 2.41 | 2.6026±0.0140 |
| 5 | 3.3474±0.0067 | 3.2767 | 2.16 | 2.6317±0.0048 | 2.6206 | 0.42 | 3.0238±0.0058 | 2.9481 | 2.57 | |
| 10 | 3.1366±0.0059 | 3.0894 | 1.53 | 2.1239±0.0034 | 2.1333 | 0.44 | 2.4811±0.0043 | 2.4916 | 0.42 | |
| 15 | 3.0148±0.0055 | 2.9912 | 0.79 | 1.9155±0.0029 | 1.9030 | 0.66 | 2.3553±0.0040 | 2.3651 | 0.42 | |
| 20 | 2.8918±0.0052 | 2.9023 | 0.36 | 1.7378±0.0026 | 1.7452 | 0.42 | 2.1943±0.0036 | 2.1764 | 0.82 | |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{ทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

จากตารางที่ 4.6 นำค่าความหนาครึ่งค่าของกระจกทั่วไป (Commercial window) มีค่าเท่ากับ 4.73 คอนกรีตทั่วไป (Ordinary concrete) มีค่าเท่ากับ 3.872 [15] แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา แสดงดังเส้นประซึ่งเป็นค่าความหนาครึ่งค่าที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วจากการทดสอบในแกน y จากการวัดด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

จากการศึกษา ค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับ กระจกทั่วไป คอนกรีต พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด มีค่าความหนาครึ่งค่าดีกว่า คอนกรีต และ กระจกทั่วไป และค่าความหนาครึ่งค่าลดลงเมื่อ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.6026 ± 0.0140 มีค่าต่ำกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

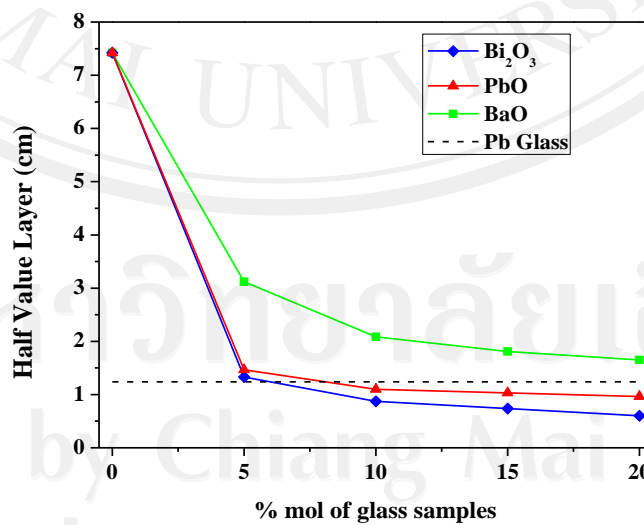
4.5.2 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่าจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์

จากการวัดรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่พลังงาน 100 kVp และ 120 kVp ตามลำดับ เพื่อนำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 8 โดยคำนวณหาค่า HVL ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่ค่าพลังงาน 120 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าความหนาครึ่งค่า (cm) | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 7.4205±0.0111 | 7.4205±0.0111 | 7.4205±0.0111 | 1.2388±0.0152 |
| 5 | 3.1199±0.0123 | 1.3276±0.0144 | 1.4667±0.0134 | |
| 10 | 2.0838±0.0132 | 0.8741±0.0171 | 1.0967±0.0154 | |
| 15 | 1.8093±0.0137 | 0.7369±0.0187 | 1.0324±0.0157 | |
| 20 | 1.6499±0.0142 | 0.6026±0.0190 | 0.9636±0.0166 | |

จากตารางที่ 4.7 นำค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาแสดงดั่งเส้นปะซึ่งเป็นค่าความครึ่งค่าที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.8



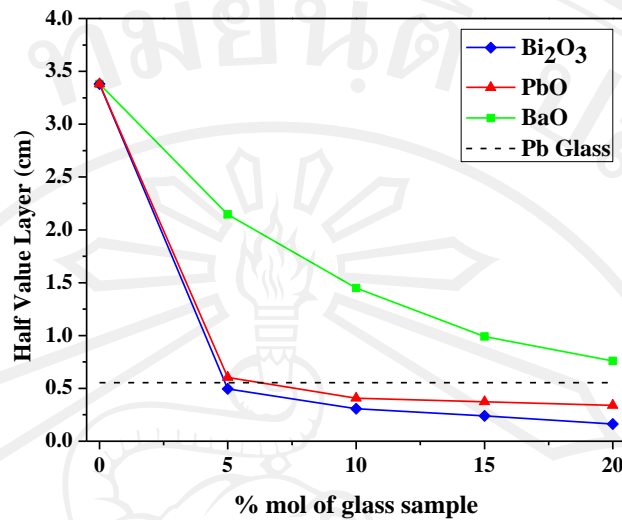
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และ ค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp

จากการศึกษา ค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 120 kVp พบว่า ค่าความหนาครึ่งค่าลดลงเมื่อ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา พบว่า ค่าความหนาครึ่งค่าของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา มีค่าเท่ากับ 1.2388 ± 0.0152 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 100 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าความหนาครึ่งค่า (cm) | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 3.3806 ± 0.0052 | 0.2958 ± 0.0052 | 0.2958 ± 0.0052 | 1.8025 ± 0.0072 |
| 5 | 2.1465 ± 0.0085 | 2.0224 ± 0.0058 | 1.6547 ± 0.0060 | |
| 10 | 1.4498 ± 0.0094 | 3.2603 ± 0.0067 | 2.4568 ± 0.0063 | |
| 15 | 0.9904 ± 0.0078 | 4.1546 ± 0.0069 | 2.6754 ± 0.0063 | |
| 20 | 1.6499 ± 0.0069 | 0.6026 ± 0.0051 | 0.9636 ± 0.0064 | |

จากตารางที่ 4.8 นำค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา แสดงด้วยเส้นประซึ่งเป็นค่าความครึ่งค่าที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp

จากการศึกษา ค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 100 kVp พบว่า ค่าความหนาครึ่งค่าลดลงเมื่อ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา พบว่า ค่าความหนาครึ่งค่าของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา มีค่าเท่ากับ 1.8025 ± 0.0072 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

4.6 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

4.6.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

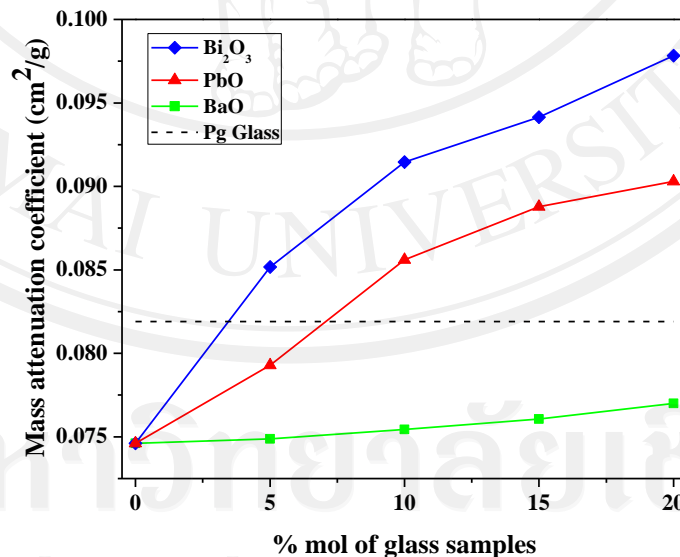
จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และ กระจกตะกั่ว โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs^{137} ความแรง 11 mCi ผลิตเมื่อวันที่ 9 กันยายน ปี พ.ศ. 2539 นำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 7 เพื่อหาค่า μ_m จากสมการ ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา จากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล $\times 10^{-2}$ (cm ² /g) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--------|------|--------------------------------|--------|------|---------------|--------|------|---------------|
| | BaO | | | Bi ₂ O ₃ | | | PbO | | | Pb Glass |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | การทดลอง |
| 0 | 7.4615±0.0001 | 7.6410 | 2.35 | 7.4615±0.0001 | 7.6410 | 2.35 | 7.4615±0.0001 | 7.6410 | 2.35 | 8.1905±0.0001 |
| 5 | 7.4883±0.0001 | 7.6500 | 2.11 | 8.5168±0.0001 | 8.5530 | 0.42 | 7.9293±0.0001 | 8.1330 | 2.51 | |
| 10 | 7.5437±0.0001 | 7.6590 | 1.51 | 9.1463±0.0001 | 9.1060 | 0.44 | 8.5603±0.0001 | 8.5240 | 0.43 | |
| 15 | 7.6058±0.0001 | 7.6660 | 0.78 | 9.4149±0.0001 | 9.4770 | 0.66 | 8.8779±0.0001 | 8.8410 | 0.42 | |
| 20 | 7.6997±0.0001 | 7.6720 | 0.36 | 9.7832±0.0001 | 9.7420 | 0.42 | 9.0299±0.0001 | 9.1040 | 0.81 | |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{การทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

จากตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา แสดงดังเส้นปะซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y จากการทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 8.1905 ± 0.0001 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาคิดว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

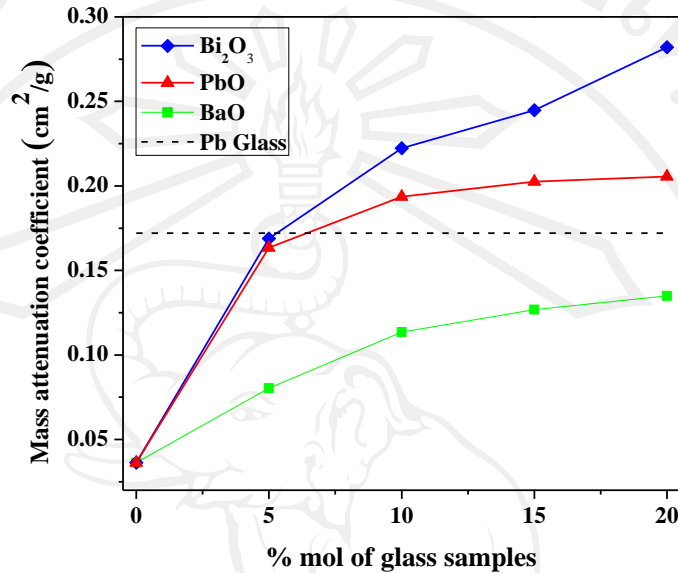
4.6.2 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์

จากการวัดรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปที่ 100 kVp และ 120 kVp ตามลำดับ หรือปริมาณโฟตอนซึ่งตั้งค่าอยู่ในช่วง 20-100 keV และ 45-110 keV ตามลำดับ จากนั้นนำแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา มากำบังรังสีด้านหน้าหัวนับวัด เพื่อนำมาคำนวณ โดยใช้สมการที่ 7 เพื่อหาค่า μ_m จากสมการ ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 120 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g) | | | |
|-------------------------------|---|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | BaO | Bi_2O_3 | PbO | Pb Glass |
| 0 | 0.3626 ± 0.0004 | 0.0363 ± 0.0004 | 0.0363 ± 0.0004 | 0.1721 ± 0.0025 |
| 5 | 0.0803 ± 0.0010 | 0.1688 ± 0.0023 | 0.1635 ± 0.0021 | |
| 10 | 0.1136 ± 0.0014 | 0.2222 ± 0.0036 | 0.1937 ± 0.0028 | |
| 15 | 0.1267 ± 0.0017 | 0.2447 ± 0.0043 | 0.2025 ± 0.0030 | |
| 20 | 0.1350 ± 0.0018 | 0.2821 ± 0.0054 | 0.2056 ± 0.0032 | |

จากตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่ว แสดงดังเส้นปะซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.11



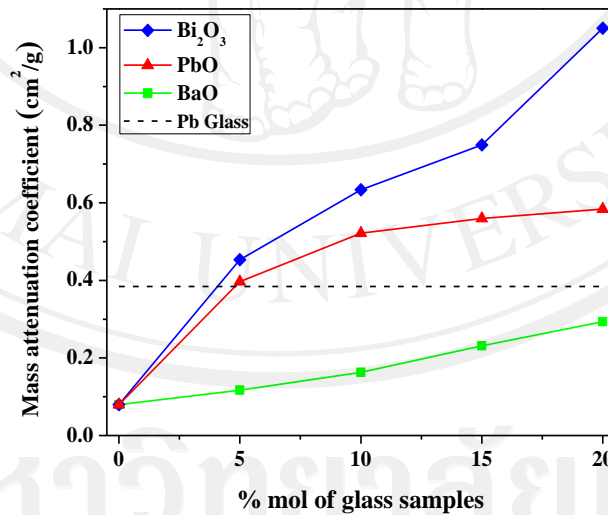
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 120 kVp พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 0.1721 ± 0.0025 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาคือว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมัทและตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา จากการผลิตด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 100 kVp

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g) | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 0.0796±0.0004 | 0.0796±0.0004 | 0.0796±0.0004 | 0.3842±0.0025 |
| 5 | 0.1168±0.0010 | 0.4533±0.0023 | 0.3967±0.0021 | |
| 10 | 0.1632±0.0014 | 0.6334±0.0036 | 0.5218±0.0028 | |
| 15 | 0.2315±0.0017 | 0.7493±0.0043 | 0.5594±0.0030 | |
| 20 | 0.2933±0.0018 | 1.0505±0.0054 | 0.5840±0.0032 | |

จากตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่ว แสดงดังเส้นปะซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ เขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp

จากการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด เทียบกับ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 100 kVp พบว่า แก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีดีขึ้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่า เท่ากับ 0.3842 ± 0.0025 มีค่าสูงกว่าแก้วที่เติมแบเรียมทุก เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการกำบังรังสีของ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาดีกว่าแก้วที่เติมแบเรียมในงานวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของแก้วที่เติมบิสมาทและ ตะกั่ว มีคุณสมบัติการกำบังรังสีที่ดีกว่ากระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10 15 และ 20 ตามลำดับ

4.7 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลจากการทดลองและค่าจากทฤษฎี

จากการทดสอบและค่าจากทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม XCOM เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลและอันตรกิริยาย่อยของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลจากการทดสอบ, จากการคำนวณ และอันตรกิริยาย่อยของแบเรียม ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของแก้วที่เติมแบเรียม กับ

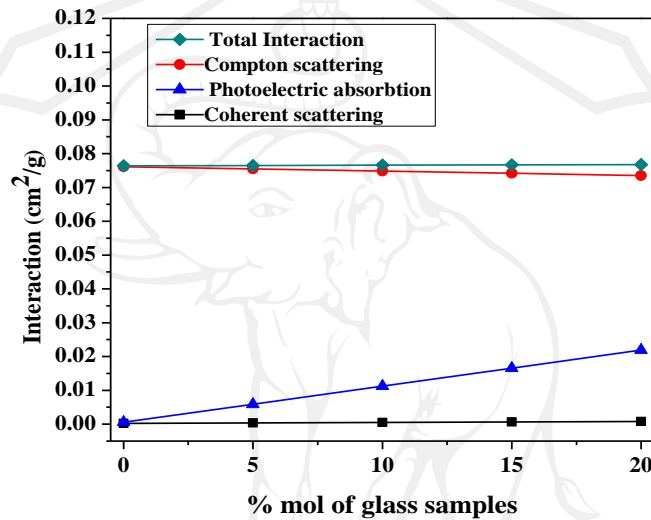
ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี และอันตรกิริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ

| เปอร์เซ็นต์ ความ เข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล ($\mu_m \times 10^{-2} \text{ (cm}^2/\text{g)}$) | | | | | |
|--|---|--------|------|---------------------|----------------------|----------|
| | Total interaction | | | Partial interaction | | |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | Compton scattering | Photoelectric effect | Coherent |
| 0 | 7.4615±0.0001 | 7.6410 | 0.02 | 7.6110 | 0.0058 | 0.0254 |
| 5 | 7.4883±0.0001 | 7.6500 | 0.02 | 7.5490 | 0.0591 | 0.0392 |
| 10 | 7.5437±0.0001 | 7.6590 | 0.02 | 7.4840 | 0.1125 | 0.0529 |
| 15 | 7.6058±0.0001 | 7.6660 | 0.00 | 7.4180 | 0.1658 | 0.0667 |
| 20 | 7.6997±0.0001 | 7.6720 | 0.00 | 7.3520 | 0.2192 | 0.0805 |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{การทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วของแก้วที่เติมแบเรียม ออกไซด์ที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมี เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.05

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ แก้วที่เติมแบเรียม และอันตรกิริยาย่อย ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมแบเรียมในแกน x และอันตรกิริยาย่อยในแกน y

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลจากการทดสอบ, จากการคำนวณ และอันตรกิริยาย่อยของบิสมัท ดังตารางที่ 4.13

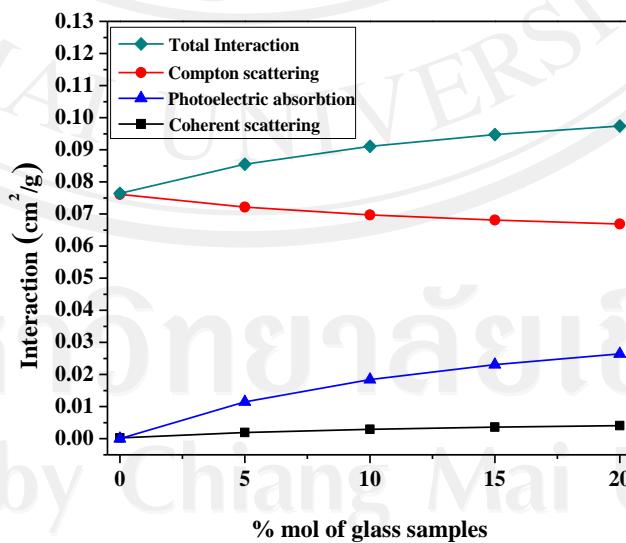
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมบิสมัทกับ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากการทดลองและจากการทฤษฎี และอันตรกิริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ_m) $\times 10^{-2}$ (cm^2/g) | | | | | |
|-------------------------------|--|--------|------|--|----------------------|----------|
| | Total interaction | | | Partial interaction ($\times 10^{-2}$) | | |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | Compton scattering | Photoelectric effect | Coherent |
| 0 | 7.4615 \pm 0.0001 | 7.6410 | 0.02 | 7.6110 | 0.0055 | 0.0249 |
| 5 | 8.5168 \pm 0.0001 | 8.5530 | 0.00 | 7.2120 | 1.1500 | 0.1916 |
| 10 | 9.1463 \pm 0.0001 | 9.1060 | 0.00 | 6.9700 | 1.8430 | 0.2926 |
| 15 | 9.4149 \pm 0.0001 | 9.4770 | 0.01 | 6.8080 | 2.3109 | 0.3604 |
| 20 | 9.7832 \pm 0.0001 | 9.7420 | 0.01 | 6.6910 | 2.6420 | 0.4089 |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{ทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

จากตารางที่ 4.13 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมบิสมัทได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.05

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมบิสมัท และอันตรกิริยาย่อย ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมบิสมัท ในแกน x และอันตรกิริยาย่อยในแกน y

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลจากการทดสอบ, จากการคำนวณ และอันตรกิริยาย่อยของตะกั่ว ดังตารางที่ 4.14

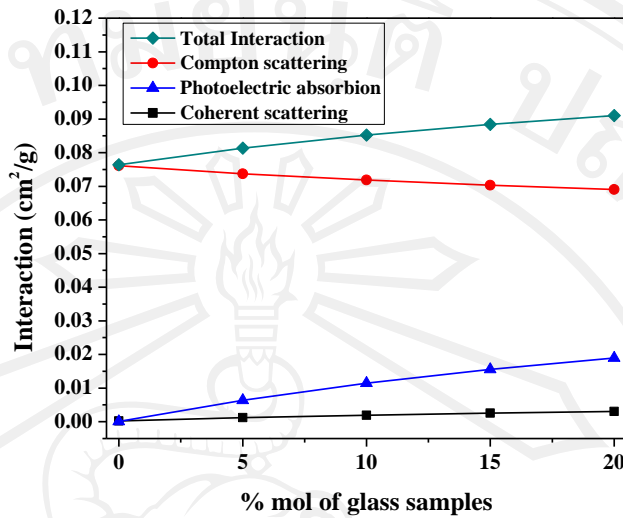
ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของแก้วของแก้วที่เติมตะกั่ว ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี และอันตรกิริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (μ_m) $\times 10^{-2}$ (cm ² /g) | | | | | |
|-------------------------------|--|--------|------|--|----------------------|----------|
| | Total interaction | | | Partial interaction (x10 ⁻²) | | |
| | การทดลอง | ทฤษฎี | %RD | Compton scattering | Photoelectric effect | Coherent |
| 0 | 7.4615 \pm 0.0001 | 7.6410 | 0.00 | 7.6110 | 0.0055 | 0.0249 |
| 5 | 7.9293 \pm 0.0001 | 8.1330 | 0.20 | 7.3730 | 0.6410 | 0.1190 |
| 10 | 8.5603 \pm 0.0001 | 8.5240 | 0.00 | 7.1850 | 1.1450 | 0.1936 |
| 15 | 8.8878 \pm 0.0001 | 8.8410 | 0.00 | 7.0330 | 1.5540 | 0.2542 |
| 20 | 9.0299 \pm 0.0001 | 9.1040 | 0.01 | 6.9060 | 1.8930 | 0.3044 |

หมายเหตุ %RD = อัตราร้อยละของผลต่างระหว่างการทดลองกับทฤษฎี (Relative difference) = $\frac{|\text{ทดลอง} - \text{ทฤษฎี}|}{\text{ทฤษฎี}} \times 100$

จากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมตะกั่วที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.05

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมตะกั่ว และอันตรกิริยาย่อย ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมตะกั่วในแกน x และอันตรกิริยาลดลงในแกน y

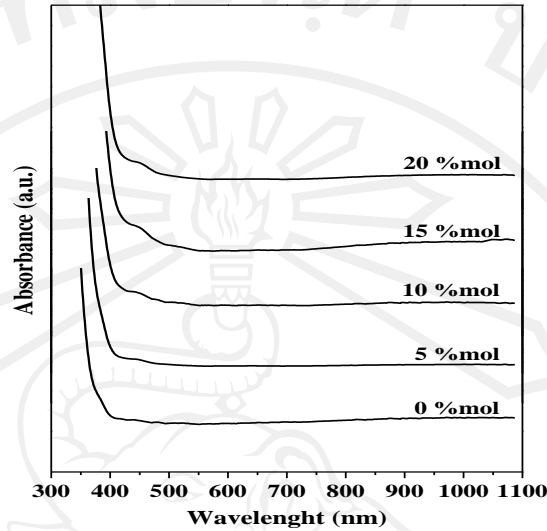
4.8 ผลการวัดการดูดกลืนแสง

จากการวัดการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น Cary50 ของบริษัท Varian โดยตั้งค่าความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 ถึง 1100 นาโนเมตร เกรตติงที่ใช้คือ 1,200 เส้นต่อมิลลิเมตร ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าความยาวคลื่นขีดเริ่ม (Cut-off wavelength) ของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท และตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าความยาวคลื่นขีดเริ่ม (nm) | | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----|----------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 326 | 326 | 326 | 334 |
| 5 | 337 | 363 | 341 | |
| 10 | 347 | 387 | 354 | |
| 15 | 358 | 409 | 368 | |
| 20 | 367 | 437 | 380 | |

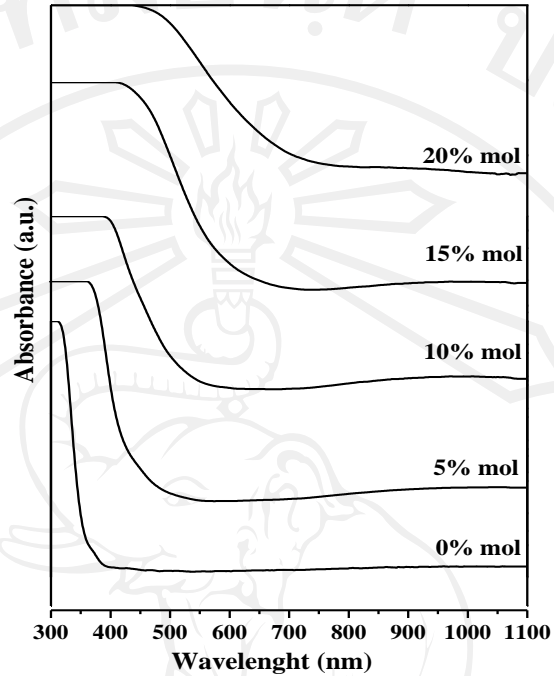
การดูดกลืนแสงของแก้วที่เติมแบเรียม ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมแบเรียมในช่วง 300-1100 นาโนเมตรในแกน x กับค่าการดูดกลืนแสงในแกน y

จากรูปที่ 4.16 พบว่าค่าความยาวคลื่นขีดเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแบเรียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีพีกความสูงขนาดเล็กที่ตำแหน่งประมาณ 450 นาโนเมตรที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแบเรียม 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการดูดกลืนของ เหล็กประจุ+3 (Fe^{3+}) และพบพีกกว้าง (Broad peak) ที่ความยาวคลื่น 1050 นาโนเมตร อันเนื่องมาจากการดูดกลืนของ เหล็กประจุ+2 (Fe^{2+}) โดยจะพบชัดเจนที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแบเรียมที่ 10 และ 15 ทั้งนี้ผลของการทดลองดังกล่าวอาจเกิดจากการปนเปื้อนของเหล็กในทรายแก้วที่ใช้ในการหลอมแก้ว

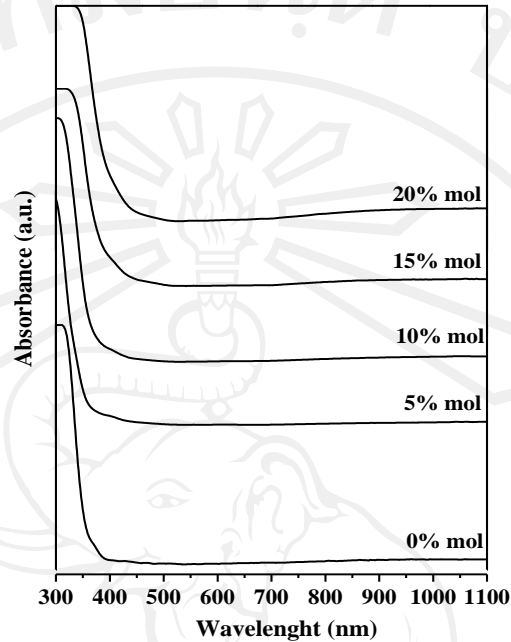
ค่าการดูดกลืนแสงของบิสมัท ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมบิสมัทในช่วง 300-1100 นาโนเมตร
ในแกน x กับค่าการดูดกลืนแสง ในแกน y

จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความยาวคลื่นขีดเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของบิสมัทเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีพีคกว้าง (Board peak) ที่ความยาวคลื่น 1000 นาโนเมตร อันเนื่องมาจากการดูดกลืนของ เหล็กประจุ+2 (Fe^{2+}) โดยจะพบชัดเจนที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแบเรียมที่ 5 และ 10 ทั้งนี้ผลของการทดลองดังกล่าวอาจเกิดจากการปนเปื้อนของเหล็กในทรายแก้วที่ใช้ในการหลอมแก้ว

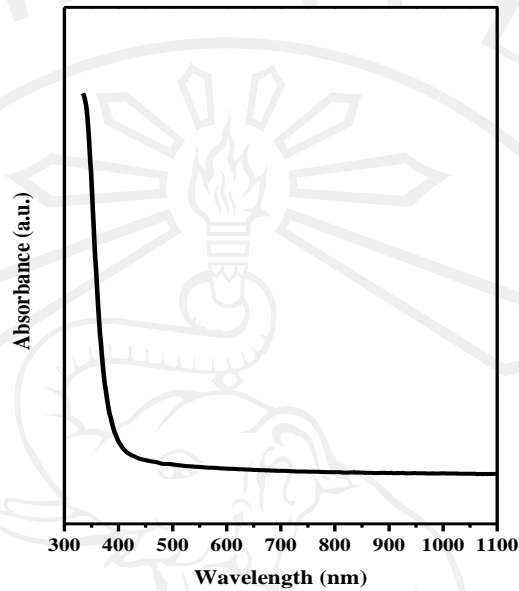
ค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่ว ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมตะกั่วในช่วง 300-1100 นาโนเมตร ในแกน x กับค่าการดูดกลืนแสง ในแกน y

จากรูปที่ 4.18 พบว่าค่าความยาวคลื่นขีดเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของบิสมัทเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีพีคกว้าง (Broad peak) ที่ความยาวคลื่น 1050 นาโนเมตร อันเนื่องมาจากการดูดกลืนของ เหล็กประจุ+2 (Fe^{2+}) โดยจะพบชัดเจนที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแบเรียมที่ 15 และ 20 ทั้งนี้ผลของการทดลองดังกล่าวอาจเกิดจากการปนเปื้อนของเหล็กในทรายแก้วที่ใช้ในการหลอมแก้ว

ค่าการดูดกลืนแสงของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงความยาวคลื่นของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาในช่วง 300-1100 นาโนเมตร ในแกน x กับค่าการดูดกลืนแสง ในแกน y

จากรูปที่ 4.19 พบว่าค่าความยาวคลื่นขีดเริ่มของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา คือ 334 นาโนเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วทั้ง 3 ชนิดจากงานวิจัยพบว่า มีค่าความยาวคลื่นขีดเริ่มต่ำกว่า แก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท และตะกั่ว ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 5 ถึง 20 ตามลำดับ

4.9 ผลการวัดดัชนีการหักเหแสง

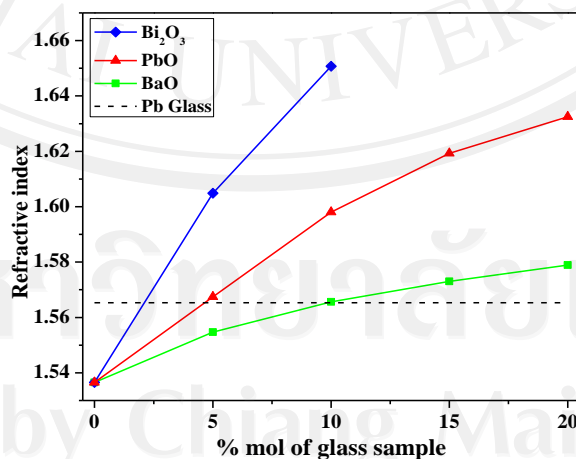
จากการวัดดัชนีหักเหแสงของแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดและ กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ด้วยเครื่อง Abbe Refractometer รุ่น ATAGO ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าดัชนีหักเหแสงของแก้วที่มีส่วนผสมของแก้วที่เดิมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา

| เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (%mol) | ค่าดัชนีหักเหแสง | | | |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| | BaO | Bi ₂ O ₃ | PbO | Pb Glass |
| 0 | 1.5365±0.0003 | 1.5365±0.0003 | 1.5365±0.0003 | 1.5653±0.0001 |
| 5 | 1.5547±0.0001 | 1.6049±0.0001 | 1.5674±0.0002 | |
| 10 | 1.5656±0.0003 | 1.6507±0.0001 | 1.5980±0.0001 | |
| 15 | 1.5730±0.0003 | NA | 1.6193±0.0007 | |
| 20 | 1.5789±0.0002 | NA | 1.6325±0.0001 | |

*NA = ไม่สามารถวัดค่าได้

จากตารางที่ 4.16 พบว่าค่าดัชนีหักเหแสงแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแบเรียม, บิสมัท และ ตะกั่วเพิ่มขึ้น และที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 15 และ 20 ตามลำดับไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่อง Abbe Refractometer และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาค่าดัชนีหักเหแสงของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยามีค่าเท่ากับ 1.5653±0.0001 แสดงดังเส้นปะ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ไม่สามารถระบุเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นได้ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแก้วที่เดิมแบเรียมที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 10, 15, 20 ตามลำดับและต่ำกว่าแก้วที่เดิมบิสมัทและตะกั่วทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าดัชนีหักเหของแก้วในแกน y

4.10 ผลการคำนวณค่าความคุ้มค่าในการเตรียมกระจก

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่าความคุ้มค่าหากมีการนำงานวิจัยไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยในเบื้องต้นกำหนดให้การผลิตแก้วใช้การประเมินราคาในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) โดยเตรียมกระจกเพื่อใช้ในการทำบั้งรังสีแทนกระจกตะกั่วที่มีขนาด $15 \times 15 \times 0.7$ เซนติเมตรที่เทียบเท่ากับขนาดที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการคำนวณความคุ้มค่าได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จำนวนมวลของกระจกตะกั่วได้จากสมการที่ 15

เมื่อ ความหนาแน่นของกระจกตะกั่ว = $3.2510 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

ปริมาตรของกระจกตะกั่ว = $15 \times 15 \times 0.7 = 157.5 \text{ (g)}$

สามารถหามวลของกระจกตะกั่วได้ = $3.2510 \times 157.5 = 512.0325 \text{ (g)}$

ขั้นตอนที่ 2 จำนวนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขึ้นรูปแก้วในงานวิจัย

- เบ้าใส่สาร ไบละ 10 บาท ใช้ครั้งละ 10 ใบต่อการหลอมแก้ว 1 ครั้ง
- ค่าเสื่อมสภาพต่อการใช้งาน 1 ครั้ง คิดเป็น 0.01 % ของราคาเครื่อง (ราคาเครื่อง = 40,000 บาท)
- ทราช ปริมาณ 1000 กิโลกรัม ราคา 350 บาท
- สาร B_2O_3 ใช้ H_3BO_3 ปริมาณ 450 กรัม ราคา 230 บาท
- สาร Al_2O_3 ปริมาณ 500 กรัม ราคา 80 บาท
- สาร CaO ปริมาณ 250 กรัม ราคา 45 บาท
- สาร Na_2O ใช้ Na_2CO_3 ปริมาณ 350 กรัม ราคา 45 บาท
- สาร BaO ใช้ $BaCO_3$ ปริมาณ 100 กรัม ราคา 30 บาท
- สาร Bi_2O_3 ปริมาณ 500 กรัม ราคา 2,470 บาท
- สาร PbO ปริมาณ 250 กรัม ราคา 2,865 บาท

*หมายเหตุราคาดังกล่าวเป็นราคาโดยประมาณการ

ตัวอย่าง การหลอมแก้วที่เติม PbO ในปริมาณ 10.0 mol% หนัก 512.0325 กรัม

จำนวน 10 เบ้า 1 ครั้งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- เตาหลอมที่ใช้ไฟฟ้า 15 แอมแปร์ 220 โวลต์ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ใช้ไฟ 23.1 หน่วย
- เตาอบแก้วที่ใช้ไฟฟ้า 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ไฟ 3.3 หน่วย
คิดเป็นค่าไฟทั้งสิ้น $(15 \times 1.8632) + (10 \times 2.5026) + (1.4 \times 2.7549) = 56.83$ บาทต่อครั้ง
- ค่าเสื่อมสภาพต่อการใช้งาน 1 ครั้ง คิดเป็น 0.01 % ของราคาเครื่อง เป็นเงิน 4 บาทต่อครั้ง
- ค่าเบ้าใส่สาร ไบละ 10 บาท ใช้ครั้งละ 10 ใบ เป็นเงิน 100 บาทต่อครั้ง

| | |
|--|--|
| • ค่าทราย | ใช้ปริมาณ 156.3515 กรัม ราคา 0.05 บาท |
| • ค่าสาร B_2O_3 ใช้ H_3BO_3 | ใช้ปริมาณ 60.3069 กรัม ราคา 30.82 บาท |
| • ค่าสาร Al_2O_3 | ใช้ปริมาณ 13.2668 กรัม ราคา 2.12 บาท |
| • ค่าสาร CaO | ใช้ปริมาณ 36.4868 กรัม ราคา 6.57 บาท |
| • ค่าสาร Na_2O ใช้ Na_2CO_3 | ใช้ปริมาณ 158.5958 กรัม ราคา 20.39 บาท |
| • ค่าสาร PbO | ใช้ปริมาณ 145.2431 กรัม ราคา 1,664.49 บาท |
| คิดเป็นค่าสารเคมีทั้งสิ้น | $= (0.05 + 30.82 + 2.12 + 6.57 + 20.39 + 1,664.49)$ $= \underline{1,724.44}$ บาทต่อแผ่น |
| รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปกระจกทั้งสิ้น | $= (56.83 + 4 + 100 + 1,724.44)$ $= \underline{1,885.27}$ บาทต่อแผ่น |

กระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาที่ขนาด $15 \times 15 \times 0.7$ เซนติเมตร มีราคาอยู่ที่ 5,000 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาในระดับปฏิบัติการ ซึ่งคาดว่าหากออกสู่ระดับอุตสาหกรรมจริง ราคาของสารเคมี วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ ต่อหน่วยจะลดลงประมาณ 50 % และกำไรต่อหน่วย และต่อระยะเวลาจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและลงทุนไม่สูง ตลอดจนได้กระจกที่มีประสิทธิภาพในการกำบังรังสีสูง และเหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้ในแผนกรังสี อีกทั้งลดการนำเข้ากระจกจากต่างประเทศ