

## การเปรียบเทียบสมบัติการเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟาและโปรตอนในระบบแก้ว ทั้งสแตนบอเร็ตที่เจือด้วย $\text{CeF}_3$ และ $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ด้วยโปรแกรม SRIM

ศุภกิตติ์ ยลพันธ์<sup>1,2</sup>, เพ็ญญา จ้อยอ้าย<sup>1</sup>, วสุ ชิวสุขานนท์<sup>1,2</sup> และ วุฒิชัย ไชยภักษา<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

\*wuttichai@npru.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติการเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟาและโปรตอนในระบบแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  เปรียบเทียบกับแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ค่ากำลังหยุดยั้งมวล (mass stopping power) ค่าระยะความลึกเฉลี่ย (projected range) และการจำลองอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนถูกคำนวณด้วยโปรแกรม SRIM จากผลการจำลองของแก้วทั้งสองตัวอย่าง พบว่าเมื่อยิงอนุภาคแอลฟาด้วย  ${}^4_2\text{He}$  และอนุภาคโปรตอนด้วย  ${}^1_1\text{H}$  ค่ากำลังหยุดยั้งมวล และค่าระยะความลึกเฉลี่ย ของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  มีค่ามากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตที่เจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  การจำลองอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่มีความหนา 1 ไมโครเมตร ที่พลังงาน 50 keV พบว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  มีระยะของอนุภาคที่ผ่านเข้าไปในวัสดุมากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ส่งผลให้แก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  สามารถหยุดยั้งอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนที่ผ่านเข้าไปในวัสดุได้ดีกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$

**คำสำคัญ:** แอลฟา โปรตอน โปรแกรม SRIM แก้ว



## The comparison of alpha and proton interaction between $CeF_3$ and $Gd_2O_3$ doped tungsten borate glass systems using SRIM program

Supakit Yonphan<sup>1,2</sup>, Phennapha Joyai<sup>1</sup>, Wasu Cheewasukhanont<sup>1,2</sup> and Wuttichai Chaiphaksa<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University,

<sup>2</sup>Center of Excellence in Glass Technology (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University

\*wuttichai@npru.ac.th

### Abstract

In this work, the study of interaction of alpha and proton particles of  $CeF_3$  doped tungsten borate glass system were studied and were compared with  $Gd_2O_3$  doped tungsten borate glass. The mass stopping power, projected range and the simulation of alpha particles and proton particles were calculated using SRIM program. From the results, when shoot alpha particles with  ${}^4_2He$  and protons particles with  ${}^1_1H$ , the mass stopping power and projected range of  $CeF_3$ -doped tungsten borate glass were higher than those of that  $Gd_2O_3$ -doped tungsten borate glass. From the simulation of alpha particles and proton particles passing through the material at 1  $\mu m$  of thickness, with energy of 50 keV. The results showed that  $CeF_3$ -doped tungsten borate glass has more particles through the material than  $Gd_2O_3$ -doped tungsten borate glass. In other words,  $Gd_2O_3$ -doped tungsten borate glass can inhibit alpha and proton particles from entering the material better than  $CeF_3$ -doped tungsten borate glass. Therefore,  $Gd_2O_3$ -doped tungsten-borate glass had better inhibition of alpha particles and protons than  $CeF_3$ -doped tungsten-borate glass.

**Keywords:** alpha, proton, SRIM program, glass

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันสารกัมมันตภาพรังสีถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ เช่น การเกษตร การแพทย์ อุตสาหกรรม และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ หากไม่มีการป้องกันที่ดี กัมมันตภาพรังสีอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตได้ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องคิดค้นวัสดุเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันรังสี [1] โดยทั่วไป การกักรังสีทำได้โดยการใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว แต่ตะกั่วเป็นวัสดุที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นการศึกษาวัสดุกักรังสีโดยไม่ใช้ตะกั่วจึงเพิ่มมากขึ้น [2] วัสดุแก้วเป็นวัสดุที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ได้เปรียบกว่าวัสดุอื่นๆ เนื่องจากมีความโปร่งใส ง่ายต่อการผลิต และสามารถเพิ่มคุณสมบัติการกักรังสีได้โดยการเติมสารที่มีความหนาแน่นสูง เช่น บิสมีทออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ และแกโดลิเนียมออกไซด์ เป็นต้น [3]

แก้วบอเรตถูกใช้เป็นโครงสร้างหลักของแก้วเนื่องจากมีคุณสมบัติที่น่าสนใจและเหมาะสำหรับการผลิตโฮสต์แก้ว เช่น มีความหนาแน่นสูง ทนความร้อน และความต้านทานเชิงกลสูง [4] ทังสแตน (W) เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจในการนำมา

เป็นไอสมแก้วเช่นกัน เพราะ มีความหนาแน่นสูง ( $19.250 \text{ g/cm}^3$ ) มีเลขอะตอมเท่ากับ 74 และถูกนำมาใช้งานที่หลากหลาย เช่น การป้องกันรังสี เส้นใยในหลอดไฟ ซุปเปอร์อัลลอย และหลอดเอกซ์เรย์ [5] สำหรับการเจือไอออน  $\text{Ce}^{3+}$  ได้รับความสนใจอย่างมากสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพเพื่อใช้เป็นวัสดุซิลิลเลเตอร์ (scintillator) และด้วยคุณสมบัติของ Ce ที่มีจำนวนเลขอะตอมสูง (58) ในขณะที่การเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันรังสีด้วยแกโดลิเนียม (Gd) ก็เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับวัสดุป้องกันรังสี เนื่องจากมีเลขอะตอมสูง (64) และความหนาแน่นสูง ( $7.895 \text{ g/cm}^3$ ) และไม่ทำให้เกิดสีในแก้ว [6]

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาสมบัติการเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟาและโปรตอนในระบบแก้ว ทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  เปรียบเทียบกับแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ในสูตรแก้ว  $66\text{WO}_3 : 20\text{R} : 34\text{B}_2\text{O}_3$  (เมื่อ R คือ  $\text{CeF}_3$  และ  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) เพื่อประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวัสดุแก้วเพื่อใช้เป็นวัสดุในการกำบังอนุภาคแอลฟาและโปรตอน สำหรับการคำนวณค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวล (mass stopping power) ค่าระยะความลึกเฉลี่ย (projected range) และการจำลองอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอน ได้ถูกคำนวณและรายงานผลในช่วงพลังงาน 0.01 MeV ถึง 10 MeV โดยใช้โปรแกรม SRIM [7] ประยุกต์ใช้ในงานเกี่ยวกับการพัฒนาวัสดุแก้วเพื่อใช้เป็นวัสดุในการกำบังอนุภาคแอลฟาและโปรตอน

## 2. ทฤษฎี

ค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวล แสดงถึง พลังงานที่ใช้ในการหยุดอนุภาคที่มีประจุซึ่งเกิดจากการชนของอนุภาคกับเนื้อวัสดุ จนทำให้สูญเสียพลังงานทั้งหมด โดยสามารถอธิบายด้วยสมการในรูปแบบทั่วไปของ Bethe-Bloch ดังสมการต่อไปนี้ [8]

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_A m_e r_e^2 c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right] \quad (1)$$

เมื่อ  $-\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx}$  หมายถึง กำลังหยุดยั้งมวล,

$r_e = e^2/m_e c^2$  หมายถึง รัศมีของคลาสสิกอิเล็กตรอน, มีค่าเท่ากับ  $2.818 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$ ,

$N_e = N_A \cdot Z \cdot \rho / A$

$2\pi N_A m_e r_e^2 c^2 = 0.1535 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$ ,

$m_e$  หมายถึง มวลของอิเล็กตรอน, มีค่าเท่ากับ  $0.55110 \text{ MeV}/c^2 = 9.110 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,

$N_A$  หมายถึง เลขอาโวกาโดร, มีค่าเท่ากับ  $6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ,

$I$  หมายถึง ศักยภาพในการแตกตัวเป็นไอออน (กระตุ้น) ของเป้าหมาย,

$Z, A$  หมายถึง เลขอะตอมและน้ำหนักอะตอมของตัวกลางดูดซับ,

$\rho$  หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุ

$\beta = v/c$ ,  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$  หมายถึง อนุภาคตกกระทบ,

$\delta$  หมายถึง density effect correction (สำคัญเมื่อต้องใช้พลังงานสูง),

$C$  หมายถึง shell correction (สำคัญเมื่อต้องใช้พลังงานต่ำ),

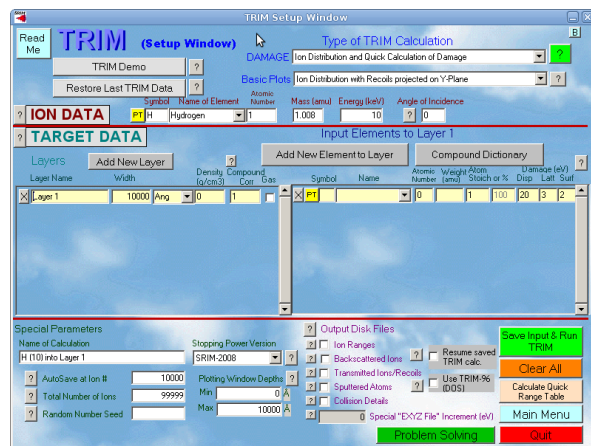
$W_{max} \approx 2m_e c^2 (\beta\gamma)^2$ , for  $M \gg m_e$  หมายถึง พลังงานจลน์สูงสุดที่จ่ายให้กับอิเล็กตรอนในการชนหนึ่งครั้ง

ค่าระยะความลึกเฉลี่ย แสดงถึง ค่าความลึกเฉลี่ยของไอออนที่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสสาร ซึ่งใช้สำหรับการประมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาคในการใช้งานการจำลองแบบต่างๆ โดยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ [9]

$$R(\beta) = \left( \frac{M}{Z^2} \right) R_p(\beta) \quad (2)$$

เมื่อ  $R_p(\beta)$  หมายถึง ค่าระยะความลึกเฉลี่ย สำหรับอนุภาคที่มีประจุ และ  $\beta$  หมายถึง อนุภาคหนัที่มีความเร็วต้นเท่ากัน

โปรแกรม Stopping and Range of Ion in Matter (SRIM) เป็นโปรแกรม free software ที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาการกำบังรังสีไอออนในสสารที่มีประจุไฟฟ้า (อนุภาคโปรตอนและแอลฟา) โดยที่โปรแกรม SRIM สามารถจำลองการเกิดอันตรกิริยาโดยการยิงอนุภาคแอลฟาด้วย  ${}^4_2\text{He}$  และอนุภาคโปรตอนด้วย  ${}^1_1\text{H}$  และใช้จำลองภาพอนุภาคแอลฟาและโปรตอนที่ผ่านเข้าไปในวัสดุ [7] มากกว่านั้น โปรแกรม SRIM ถูกใช้ในงานวิจัยอื่นๆ และได้ตีพิมพ์ผลงานในวารสารที่ได้รับการยอมรับ [10-12]

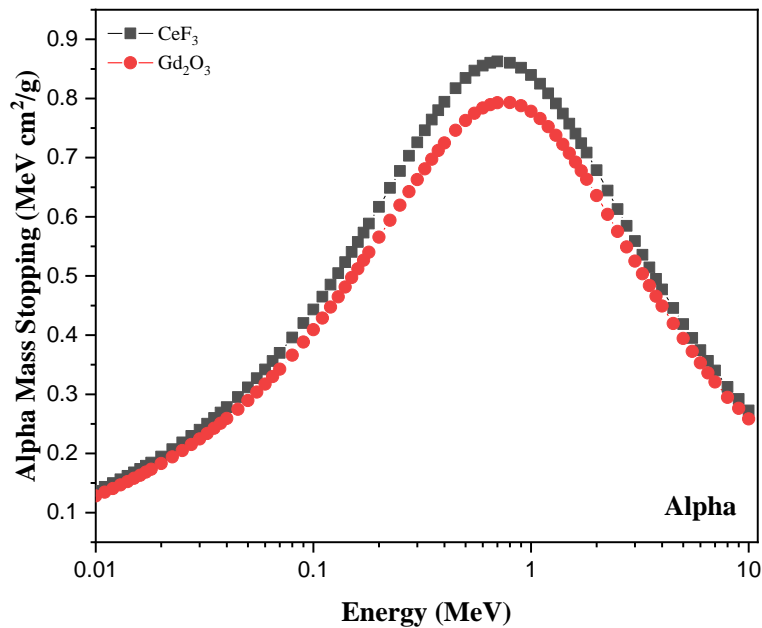


ภาพที่ 1 ภาพตัวอย่างโปรแกรม SRIM

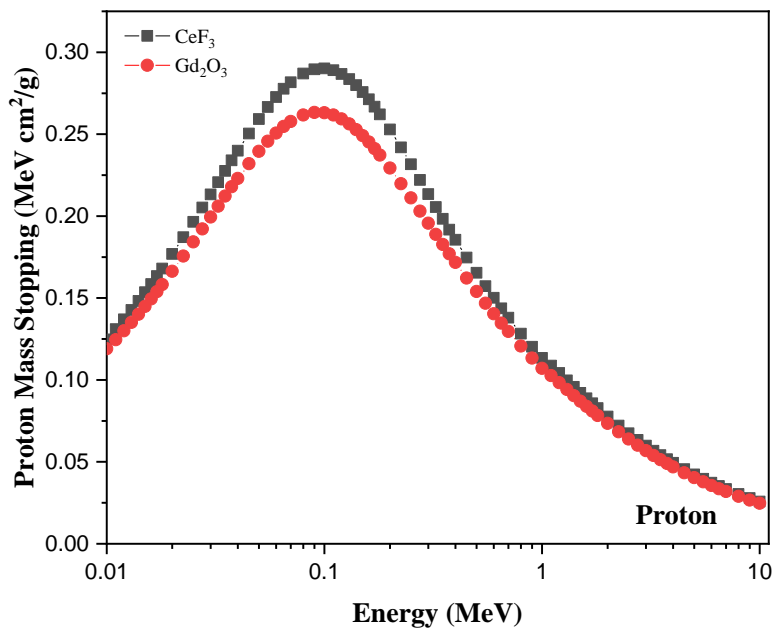
### 3. ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสมบัติการเกิดอันตรกิริยาเมื่อยิงอนุภาคแอลฟาด้วย  ${}^4_2\text{He}$  และยิงอนุภาคโปรตอนด้วย  ${}^1_1\text{H}$  ในระบบแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  และเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  จากสูตร  $66\text{WO}_3 : 20\text{R} : 34\text{B}_2\text{O}_3$  (เมื่อ R คือ  $\text{CeF}_3$  และ  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) โดยใช้โปรแกรม SRIM ในช่วงพลังงาน 0.01 MeV ถึง 10 MeV (ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวล (mass stopping power) ของแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $\text{CeF}_3$  และ แก้วทั้งสแตนบอเรตที่เจือด้วย  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ของอนุภาคแอลฟาและโปรตอน ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลของแก้วทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงพลังงานที่ 1 MeV จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงตามพลังงานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ที่พลังงาน 1 MeV อนุภาคแอลฟาและโปรตอนจะสูญเสียพลังงานทั้งหมดไปจากการเคลื่อนที่ผ่านวัสดุแก้วดังนั้นค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลจึงมีค่าลดลง และจากการเปรียบเทียบค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลของแก้วทั้งสแตนบอเรต

เจือด้วย  $CeF_3$  และแก้วทังสเตนบอเร็ตที่เจือด้วย  $Gd_2O_3$  พบว่า ค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลของแก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  มีค่ามากกว่าแก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  เนื่องจากอัตราการสูญเสียพลังงานจลน์นั้นขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่ง  $Gd$  (157.25) มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่า  $Ce$  (140.12) ส่งผลให้  $Gd$  มีความหนาแน่นสูงกว่าตามไปด้วย ผลจากการเปรียบเทียบเห็นได้ชัดเจนว่า ในการหยุดยั้งอนุภาคของทั้งแอลฟาและอนุภาคโปรตอน แก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  ต้องใช้พลังงานมากกว่าแก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$



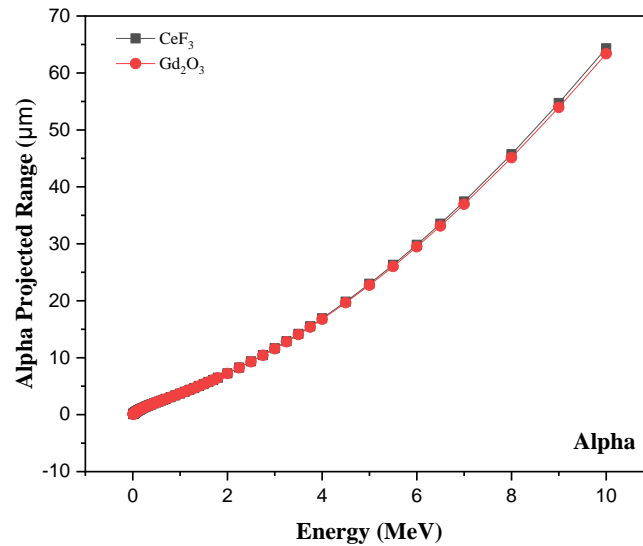
ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลอนุภาคแอลฟาของแก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  และ  $Gd_2O_3$



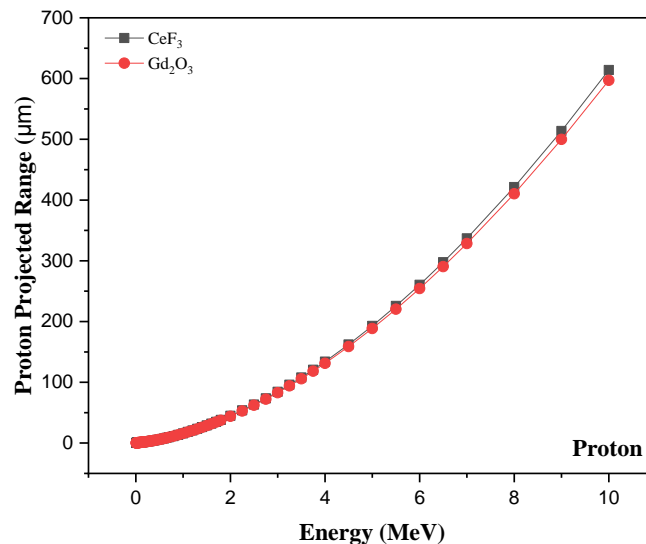
ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลอนุภาคโปรตอนของแก้วทังสเตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  และ  $Gd_2O_3$



จากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงค่าระยะความลึกเฉลี่ยในแก้วทั้ง 2 ระบบ ที่ช่วงพลังงาน 0.01 MeV ถึง 10 MeV ของอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอน ตามลำดับ โดยที่ค่าระยะความลึกเฉลี่ยแสดงถึงค่าความลึกเฉลี่ยของไอออนที่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสสาร ซึ่งถ้าค่านี้ต่ำหมายถึงความสามารถในการก้ำกัอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจะก้ำกัได้ดี จากการจำลองพบว่า ค่าระยะความลึกเฉลี่ยของแก้วทั้งสองมีระยะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น จากผลการคำนวณค่าระยะความลึกเฉลี่ยของแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $CeF_3$  มีค่าระยะความลึกเฉลี่ยมากกว่าแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $Gd_2O_3$  ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $Gd_2O_3$  ช่วยหยุดยั้งอนุภาคที่มีประจุได้ดีกว่าแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $CeF_3$



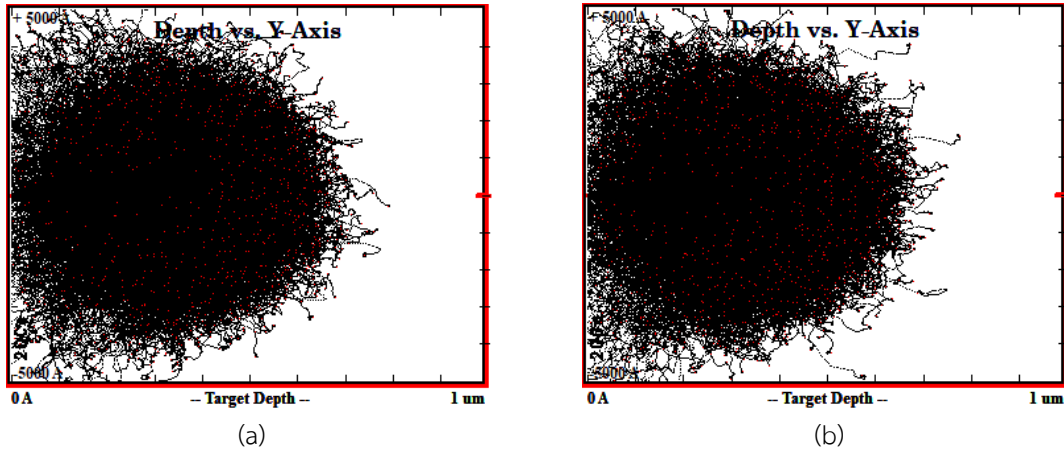
ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบค่าระยะความลึกเฉลี่ยอนุภาคแอลฟาของแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $CeF_3$  และ  $Gd_2O_3$



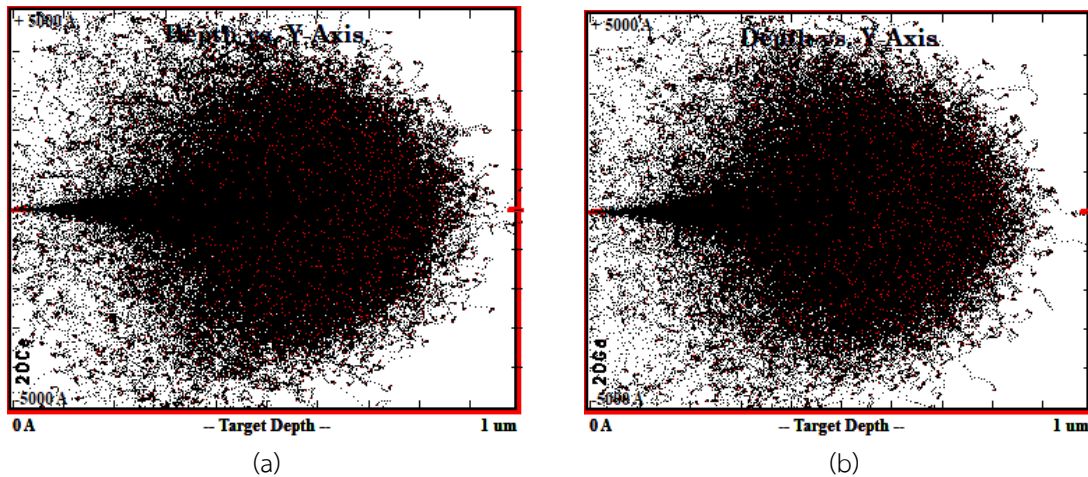
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่าระยะความลึกเฉลี่ยอนุภาคโปรตอนของแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $CeF_3$  และ  $Gd_2O_3$

จากภาพที่ 6 และภาพที่ 7 เป็นภาพการจำลองอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอน ที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่มีความหนา 1 ไมโครเมตร ที่พลังงาน 50 keV ของแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $CeF_3$  ดังแสดงในภาพที่ 6 (a) และแก้วทั้งสองชนิดโดยเฉลี่ยด้วย  $Gd_2O_3$  ดังแสดงในภาพที่ 6 (b) สำหรับอนุภาคแอลฟา และในส่วนของการจำลองอนุภาคโปรตอนถูกแสดงในภาพที่

7 (a) และภาพที่ 7 (b) จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ระยะของอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนที่ผ่านเข้าไปในวัสดุไปในตัวอย่างแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  สามารถผ่านเข้าไปได้มากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  ดังนั้น แก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  สามารถหยุดยั้งอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนที่ผ่านเข้าไปในวัสดุได้ดีกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$



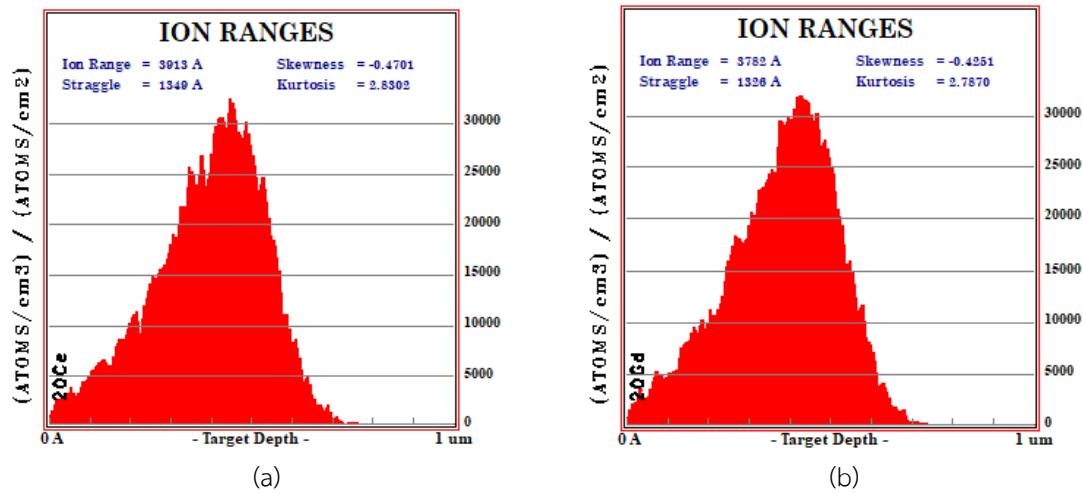
ภาพที่ 6 ภาพการจำลองอนุภาคแอลฟาของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย (a)  $CeF_3$  และ (b)  $Gd_2O_3$



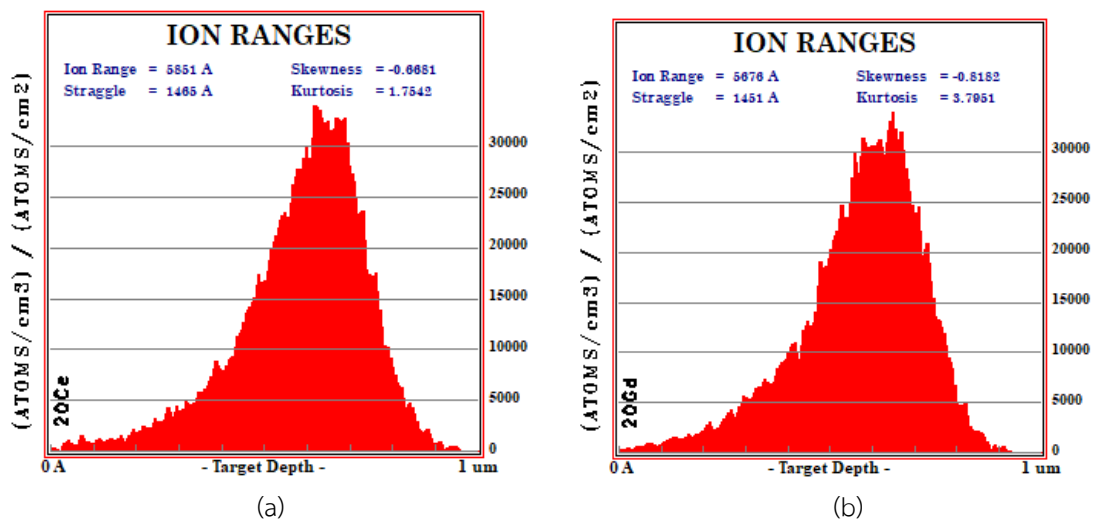
ภาพที่ 7 ภาพการจำลองอนุภาคโปรตอนของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย (a)  $CeF_3$  และ (b)  $Gd_2O_3$

ภาพที่ 8 และภาพที่ 9 แสดงช่วงความลึกของไอออน (ion range) ของแอลฟาไอออนที่สามารถผ่านเข้าไปในตัวอย่างแก้วที่พลังงาน 50 keV ของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  และแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  ดังแสดงในภาพที่ 8 (a) และ 8 (b) ตามลำดับ จากผลการจำลองพบว่า สำหรับ ช่วงความลึกของไอออนของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  มีค่าเท่ากับ 0.3913 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  ที่มีช่วงความลึกของไอออนเท่ากับ 0.3782 ไมโครเมตร และจากภาพที่ 9 (a) และภาพที่ 9 (b) แสดงช่วงความลึกของไอออนของโปรตอนไอออนในตัวอย่างแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  และแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  ตามลำดับ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ช่วงความลึกของไอออนของแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  มีค่าเท่ากับ 0.5851 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  ที่มีช่วงความลึกของไอออนเท่ากับ 0.5676 ไมโครเมตร จากผลการจำลองของทั้งแอลฟาไอออนและโปรตอนไอออนของแก้วทั้งสอง สรุปได้ว่า แก้วทั้งสแตนบอเร็ตเจือด้วย  $CeF_3$  มีช่วงความลึกของไอออนของแอลฟาและโปรตอนไอออน

มากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  จึงสามารถหยุดยั้งแอลฟาไอออนและโปรตอนไอออนได้ดีกว่าแก้วที่เจือด้วย  $Gd_2O_3$



ภาพที่ 8 ช่วงความลึกของไอออน (ion range) แอลฟาไอออนของแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย (a)  $CeF_3$  และ (b)  $Gd_2O_3$



ภาพที่ 9 ช่วงความลึกของไอออน (ion range) โปรตอนไอออนของแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย (a)  $CeF_3$  และ (b)  $Gd_2O_3$

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการเปรียบเทียบสมบัติการเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟาและโปรตอนในระบบแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  และแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  จากสูตร  $66WO_3 : 20R : 34B_2O_3$  (เมื่อ R คือ  $CeF_3$  และ  $Gd_2O_3$  โดยใช้โปรแกรม SRIM ในช่วงพลังงาน 0.01 MeV ถึง 10 MeV พบว่า ค่ากำลังหยุดยั้งโดยมวลของแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  มีค่ามากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  สำหรับค่าระยะความลึกเฉลี่ยของแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  มีระยะความลึกเฉลี่ยมากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  แสดงถึงอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนนั้นสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสสารได้มากกว่า จากการจำลองอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนที่พลังงาน 50 keV พบว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  มีระยะของอนุภาคที่ผ่านเข้าไปในวัสดุมากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  และจากผลการจำลองช่วงแอลฟาไอออนและโปรตอนไอออนที่สามารถผ่านเข้าไปในตัวอย่างแก้ว พบว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  มีช่วงความลึกของ



ไอออนของไอออน (ion range) มากกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  จึงสรุปได้ว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  นั้นมีความสามารถในการหยุดยั้งอนุภาคแอลฟาและอนุภาคโปรตอนได้ดีกว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $CeF_3$  จากผลงานวิจัย คาดว่าแก้วทั้งสแตนบอเรตเจือด้วย  $Gd_2O_3$  จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานเกี่ยวกับการพัฒนาวัสดุแก้วเพื่อใช้เป็นวัสดุในการกำบังอนุภาคแอลฟาและโปรตอน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครปฐม และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาเอก (NRCT5-RRI63015-P19)

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mhare, M. H. A., Alajerami, Y. S. M., Dwaikat, Nidal, Al-Buriah, M. S., Alqahtani, Muna, Alshahri, Fatimh, Saleh, Noha, Alonizan, N., Saleh, M. A. and Sayyed, M. I. (2020) Investigation of photon, neutron and proton shielding features of  $H_3BO_3$ -ZnO- $Na_2O$ -BaO glass system. Nuclear Engineering and Technology
- [2] Bektasoglu, M., Ali Mohammad, M. (2020) Investigation of radiation shielding properties of  $TeO_2$ -ZnO-Nb $_2O_5$ - $Gd_2O_3$  glasses at medical diagnostic energies. Ceram. Int. 46 (Issue 10), 16217–16223
- [3] Chanthima, N., Kaewkhao, J. (2013) Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1 keV to 100 GeV. Ann. Nucl. Energy 55, 23–28
- [4] Al-Buriah, M. S., Alajerami, Y. S. M., Abouhaswa, A. S., Alalawi, Amani, Nutaro, Tanin, Tonguc, Baris, (2020) Effect of chromium oxide on the physical, optical, and radiation shielding properties of lead sodium borate glasses. J. Non-Cryst. Solids 544, 120171
- [5] Esawii, H. A., Salama, E., El-ahll, L. S., Moustafa, M. and Saleh, H. M. (2022) High impact tungsten-doped borosilicate glass composite for gamma and neutron transparent radiation shielding, Progress in Nuclear Energy, Volume 150
- [6] Kaewjang, S., Maghanemi, U., Kothan, S., Kim, H. J., Limkitjaroenporn, P., Kaewkhao, J. (2014) New gadolinium based glasses for gamma-rays shielding materials. Nucl. Eng. Des. 280 (December), pp21–26
- [7] Ziegler, J. F., Ziegler, M. D. and Biersack, J. P. (2010) Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 268, 1818–1823
- [8] M. S. Sylvie Braibant, Giorgio Giacomelli, *Particles and Fundamental Interactions*, 1st ed. Springer Dordrecht, 2012.
- [9] Olarinoye, I. O., El-Agawany, F. I., Gamal, A., Yousef, E. S. and Rammah, Y. S. (2021) Investigation of mechanical properties, photons, neutrons, and charged particles shielding characteristics of  $Bi_2O_3/B_2O_3/SiO_2$  glasses. Appl. Phys. A, 127



- [10] Chaiphaksa, W., Yonphan, S., Chanthima, N., Kaewkhao, J., Sanwaranatee, N.W. (2020). Computational approach of alpha and proton interaction of gadolinium bismuth borate glass system using SRIM program, *Materials Today: Proceedings*, Volume 65, Part 4, Pages 2416-2420, ISSN 2214-7853.
- [11] Sayyed, M.I., Kamislioglu, M., Jecong, J.F.M. (2022). Investigation of photon attenuation factors for  $\text{TeO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$  glass systems using SRIM codes, EPICS2017 library and Phy-X/PSD, *Optik*, Volume 257.
- [12] Ravangvong, S., Sriwongsa, K., Glumglomchit, P., Phamornsut, K., Yampichai, N., Tantiwatcharakultorn, A., Sangngoen, S., Kaewkhao, J. (2022). Behaviors of  $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$  glass system for ionizing radiation shielding performance: photon, protons and alpha particles, *Materials Today: Proceedings*, Volume 65, Part 4, 2022, Pages 2269-2276, ISSN 2214-7853,