

การศึกษาประสิทธิภาพวัสดุที่ใช้เพื่อป้องกันเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน (Cosmic Watch)
ผ่านการจำลองโดยใช้โปรแกรม Flair ชีบบทความภาษาอังกฤษ
The Efficiency Study of Materials for Muon Detector (Cosmic Watch) Using Flair
Simulation

วรวิทย์ แก้วสุขศรี¹, ภริดา เต็มอ่อน¹, อธิธิ สุวรรณดี¹

กนกกาญจน์ ฟองสมุทร¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย, ตำบลรอบเวียง, อำเภอเมืองเชียงราย, จังหวัดเชียงราย 57000, ประเทศไทย

Email: 05861voravaran@pcccr.ac.th:

บทคัดย่อ

อนุภาคมิวออน เป็นอนุภาคที่เกิดจากรังสีคอสมิก เมื่อเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกจะสามารถทะลุผ่านวัสดุหรือวัตถุต่าง ๆ ได้ดีกว่าอนุภาคชนิดอื่น ในการใช้งานเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออนจริง จะมีอนุภาคหรือรังสีอื่นที่เข้ามารบกวนตัวเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน ส่งผลให้การตรวจวัดขาดความแม่นยำ และหาอนุภาคมิวออนได้ยากมากขึ้น โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุที่นำมาใช้ป้องกันเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน โดยการใช้การจำลองผ่านโปรแกรม Flair ซึ่งเป็นโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการจำลองปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคกับสสาร โดยสร้างแบบจำลองเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออนและจำลองการตรวจวัดจำนวนอนุภาครวมถึงระดับพลังงานของมิวออน และทดลองการจำลองการชนของอนุภาคมิวออนกับตัวป้องกันเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออนที่สร้างจากวัสดุ ได้แก่ ตะกั่ว เหล็ก และโบรอน ซึ่งกำหนดให้ตัวป้องกันที่สร้างขึ้นมีขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำข้อมูลจำนวนอนุภาคที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออนที่หุ้มด้วยตัวป้องกันมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล ผลการทดลองพบว่าวัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ตะกั่ว สามารถวัดจำนวนอนุภาคมิวออนได้ 6.75×10^{-3} ตารางเซนติเมตรต่ออนุภาค รองลงมาได้แก่ เหล็ก สามารถวัดจำนวนอนุภาคมิวออนได้ 5.92×10^{-3} ตารางเซนติเมตรต่ออนุภาค และพบว่า โบรอน สามารถวัดจำนวนมิวออนได้ 5.08×10^{-3} ตารางเซนติเมตรต่ออนุภาค ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำสุด

คำสำคัญ: อนุภาคมิวออน, รังสีคอสมิก และโปรแกรม Flair

1. บทนำ

รังสีคอสมิก คือ อนุภาคพลังงานสูงจากอวกาศที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเทียบเท่ากับความเร็วแสงหรือเรียกว่า รังสีคอสมิกปฐมภูมิ (primary cosmic rays) เมื่อรังสีคอสมิกผ่านชั้นบรรยากาศจะเกิดการพุ่งชนกับโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศของโลกเรียกว่า รังสีคอสมิกทุติยภูมิ (secondary cosmic rays) ทำให้อนุภาคของรังสีคอสมิกเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ เรียกว่า ปรากฏการณ์ฝนอนุภาค (air shower) เป็นต้นกำเนิดของอนุภาคต่าง ๆ ซึ่งมิวออนเป็นอนุภาคที่ใช้ในการศึกษา

มิวออน เป็นอนุภาคมูลฐานชนิดเลปตอนที่คล้ายกับอิเล็กตรอนแต่มีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนประมาณ 200 เท่า และอนุภาคมิวออนสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบภายในโครงสร้างของวัตถุขนาดใหญ่ และตรวจวัดอนุภาคมิวออนได้ โดยใช้เครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน (Cosmic Watch)

ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาและสร้างแบบจำลองของเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน โดยใช้โปรแกรม Flair ด้วยวิธีการคำนวณ Monte Carlo หรือเทคนิคที่ใช้คาดเดาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน โดย

สร้างแบบจำลองเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน
เสมือนจริงเพื่อตรวจสอบและอธิบายพฤติกรรมของ
อนุภาคมิวออนที่ผ่าน Cosmic Watch และศึกษา
ประสิทธิภาพของวัสดุที่สามารถใช้ในการป้องกัน
อนุภาคมิวออนของเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน
โดยที่จะใช้วัสดุทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ โบรอน, เหล็ก
และตะกั่ว ที่มีคุณสมบัติในการป้องกัน Cosmic
Watch จากรังสีที่จะมารบกวนในการจับหาอนุภาคมิวออน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วิธีเข้าโปรแกรม Flair

2.1.1 เปิดโปรแกรม Ubuntu จากนั้นใช้
คำสั่ง `cd` แล้วตามด้วยชื่อไฟล์ที่ต้องการจะเปิด
ต่อมาใช้คำสั่ง

`export DISPLAY=:0` จากนั้นกด `enter` และพิมพ์
คำสั่ง `flair` เพื่อเปิดหน้าต่างโปรแกรม Flair

2.2 SiPM

2.2.1 เลือกหน้าต่าง Input จากนั้นเปิดไฟล์
`sipm` แล้วตรวจสอบข้อมูลภายในหน้าต่าง Input

2.2.2 `save` เพื่อบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล
`.inp` ต่อมาหน้าต่างบันทึกจะขึ้นให้บันทึกเป็นไฟล์
นามสกุล `.flair` ให้กดจากภาพหน้าต่างบันทึก

2.2.3 ไปที่หน้าต่าง `compile` นำเข้าข้อมูล
ที่ได้บันทึกไปก่อนหน้าเพื่อสร้าง `cycle` ใน
การ run โปรแกรม

2.2.4 ไปที่หน้าต่าง `Run` แล้วกดเลือกไฟล์
`.inp` ที่บันทึกไว้ ตั้งชื่อหัวข้องาน run

2.2.5 กำหนดจำนวนครั้งที่ประมวลผล
ต่อมาเลือกกล่องข้อความ `Exe.` แล้วเลือก

`>fluka<` และกดเริ่มการประมวลผลข้อมูล
ของโปรแกรม

2.2.6 เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผล ให้เลือก
หน้าต่าง `Data` จากนั้นเลือกข้อมูลทั้งหมด
ที่ได้มาแล้วกด `process` เพื่อรวมข้อมูลให้
อยู่ในไฟล์ `.txt`

2.2.7 ทำการปิดโปรแกรม Flair โดยที่ไม่
ต้องกดบันทึก หน้าต่างโปรแกรม Ubuntu จะแสดง
ขึ้นมา

2.2.8 ใช้คำสั่ง `wc -l *21 >` ชื่อไฟล์ตาม
ด้วย `.txt` กด `enter` แล้วตามด้วยคำสั่ง `vim` ชื่อไฟล์
ตามด้วย `.txt` เพื่อแสดงข้อมูลอนุภาคที่ตรวจจับได้
ในแต่ละรอบของการประมวลผลข้อมูล

2.2.9 บันทึกผลและทำซ้ำขั้นตอนเดิมโดย
เพิ่มระดับพลังงานของอนุภาคให้มากขึ้นที่
ละ 10 เท่า

2.3 M1 Boron, M2 Iron, M3 Lead

2.3.1 เลือกหน้าต่าง Input จากนั้นเปิด
ไฟล์ `M1` เพิ่มวัสดุป้องกันเข้ามาภายใน
หน้าต่าง Input โดยที่จะใช้วัสดุป้องกัน
ได้แก่ โบรอน (Boron)

2.3.2 ตรวจสอบข้อมูลภายในหน้าต่าง
Input จากนั้นกด `save` เพื่อบันทึกเป็นไฟล์
นามสกุล `.inp` ต่อมาหน้าต่างบันทึกจะขึ้น
ให้บันทึกเป็นไฟล์นามสกุล `.flair` ให้กด
จากภาพหน้าต่างบันทึก

2.3.3 จากนั้นไปที่หน้าต่าง `compile`
นำเข้าข้อมูลที่ได้บันทึกไปก่อนหน้าเพื่อ
สร้าง `cycle` ในการ run โปรแกรม

2.3.4 ไปที่หน้าต่าง `Run` แล้วกดเลือกไฟล์
`.inp` ที่บันทึกไว้ ตั้งชื่อหัวข้องาน run

- 2.3.5 จากนั้นกำหนดจำนวนครั้งที่จะประมวลผล ต่อมาเลือกกล่องข้อความ Exe. แล้วเลือก >fluka< และกดเริ่มการประมวลผลข้อมูลของโปรแกรม
- 2.3.6 เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผล ให้เลือกหน้าต่าง Data จากนั้นเลือกข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาแล้วกด process เพื่อรวมข้อมูลให้อยู่ในไฟล์ .txt
- 2.3.7 ทำการปิดโปรแกรม Flair โดยที่ไม่ต้องกดบันทึก หน้าต่างโปรแกรม Ubuntu จะแสดงขึ้นมา
- 2.3.8 ใช้คำสั่ง `wc -l *21 > ชื่อไฟล์ตามด้วย .txt` กด enter แล้วตามด้วยคำสั่ง `vim ชื่อไฟล์ตามด้วย .txt` เพื่อแสดงข้อมูลอนุภาคที่ตรวจจับได้ในแต่ละรอบของการประมวลผลข้อมูล
- 2.3.9 บันทึกผลและทำซ้ำขั้นตอนเดิมโดยเพิ่มระดับพลังงานของอนุภาคให้มากขึ้นทีละ 10 เท่า
- 2.3.10 ทำซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนข้อมูลวัสดุที่ใช้ไฟล์ M2 ที่ใช้วัสดุ คือ เหล็ก และ M3 ที่ใช้วัสดุ คือ ตะกั่ว ตามลำดับ

2.4 การบันทึกข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมมาคำนวณโดยใช้สูตร Count Per Beam Luminosity (CBL) แล้วสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นภาพและเข้าใจได้ง่ายขึ้น

3.สรุปและอภิปรายผล

3.1 สรุปผลการทดลอง

วัสดุป้องกันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันในการลดการรบกวนของอนุภาคที่ไม่ต้องการในการตรวจวัดอนุภาคมิวออน โดยตะกั่วมีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันอนุภาคอื่น ๆ ด้วย

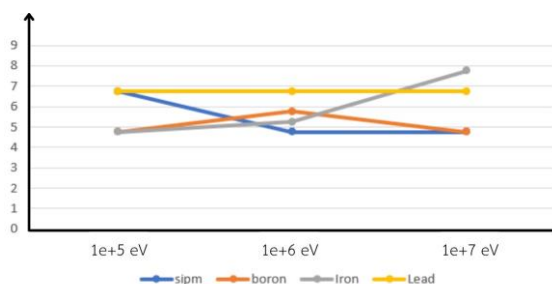
ความหนาแน่นสูงจึงสามารถใช้ความหนาแน่นที่เหมาะสมกับพื้นที่จำกัด ส่วนเหล็กมีประสิทธิภาพรองลงมาแต่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง ส่วนโบรอนมีจุดเด่นในการดูดซับนิวตรอน แม้จะไม่เหมาะกับการป้องกันรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2 อภิปรายผลการทดลอง

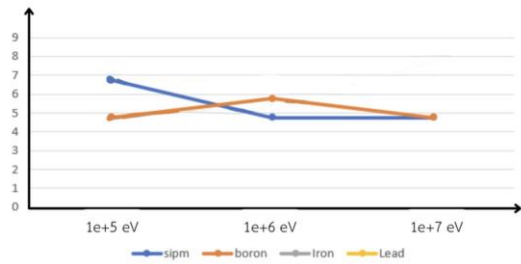
ตะกั่วสามารถลดรังสีรบกวนได้ดีในขนาดบาง แต่มีน้ำหนักมากและเปราะง่าย เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่จำกัดหรือภายในห้องควบคุม เหล็กต้องใช้ความหนาแน่นมากขึ้นแต่มีความแข็งแรงและทนทาน เหมาะกับการใช้งานภาคสนามที่ต้องการความมั่นคง โบรอนเหมาะกับการดูดซับนิวตรอน และควรใช้ร่วมกับวัสดุอื่นในระบบป้องกันหลายชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม

Material \ Energy	1e+5 eV	1e+6 eV	1e+7 eV
SiPM	6.75×10^{-3}	4.75×10^{-3}	4.75×10^{-3}
Boron	4.75×10^{-3}	5.75×10^{-3}	4.75×10^{-3}
Iron	4.75×10^{-3}	5.25×10^{-3}	7.75×10^{-3}
Lead	6.75×10^{-3}	6.75×10^{-3}	6.75×10^{-3}

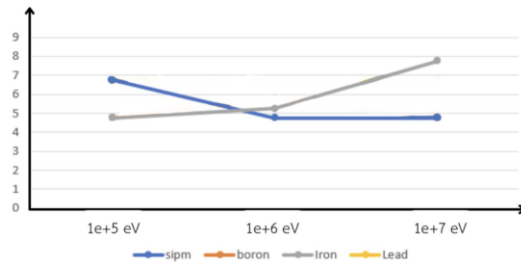
ตารางที่ 1 ค่าของจำนวนอนุภาคมิวออนเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ให้อนุภาคจริงในแบบจำลองของการใช้วัสดุต่างชนิดในการทำตัวป้องกันเครื่องตรวจวัดอนุภาคมิวออน



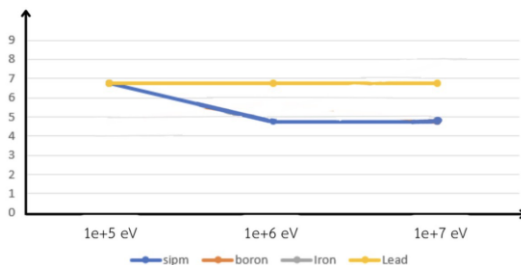
รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนอนุภาคมิวออนเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ให้อนุภาคจริงในแบบจำลองของการใช้วัสดุต่างชนิดสำหรับการทำตัวป้องกันเครื่องตรวจวัดอนุภาคมิวออน



รูปที่ 2 แสดงจำนวนอนุภาคมิวออนเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ให้อนุภาคจริงในแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบตัวป้องกันที่ทำจากวัสดุโบรอนกับเครื่องตรวจจับที่ไม่มีตัวป้องกัน



รูปที่ 3 แสดงจำนวนอนุภาคมิวออนเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ให้อนุภาคจริงในแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบตัวป้องกันที่ทำจากวัสดุเหล็กกับเครื่องตรวจจับที่ไม่มีตัวป้องกัน



รูปที่ 4 แสดงจำนวนอนุภาคมิวออนเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ให้อนุภาคจริงในแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบตัวป้องกันที่ทำจากวัสดุตะกั่วกับเครื่องตรวจจับที่ไม่มีตัวป้องกัน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาและ จำลองขนาดและวัสดุในการทำตัวป้องกันเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออน (Cosmic Watch) โดยใช้โปรแกรม Flair ฉบับนี้สำเร็จลงแล้ว คณะผู้จัดทำขอขอบคุณความอนุเคราะห์ของบุคคล ดังต่อไปนี้

คุณครู กนกกาญจน์ ฟองสมุทร ครูที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทาน ดูแล

ระหว่างการดำเนินการ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การดำเนินงานและรูปเล่มรายงานฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ดร.วันสว่าง สิงห์ชัย ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย ที่ได้ส่งเสริม พัฒนาแหล่งเรียนรู้และห้องปฏิบัติการในโรงเรียนที่เอื้อต่อการค้นคว้าและการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- Akitaka, A. et al. (2018). A Nuclear Emulsion Detector for the Muon Radiography of a Glaciers Structure. 3-10. <https://doi.org/10.14456/instruments2020007>
- Ariga, A. et al. (2018). A Nuclear Emulsion Detector for the Muon Radiography of Glacier Structure. Japan. https://science.howstuffworks.com/muon.htm?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR2CFNXVnTycb9dGtWV1uJQ0ZkaxfBobVDNogVm6QeDpWk6n9xrSSPocJo_aem_Tel5qzTBFrZi79Z6vz8liw
- Cheng, J. (2019, July 16). The mysterious, invisible rays that are killing electronics — and maybe you. Vox. <https://www.vox.com/the-highlight/2019/7/16/17690740/cosmic-rays-universe-theory-science>
- Massachusetts Institute of Technology. (n.d.). About CosmicWatch. CosmicWatch. <http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/about>
- Sanuki, T. et al. (2018). Measurements of atmospheric muon spectra at mountain altitude. <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0205427>



Spencer, N. (2018). The Physics Behind the
Cosmic Watch Desktop Muon Detectors.
<https://arxiv.org/abs/1908.00146>

U.S. Department of Energy. (n.d.). DOE
explains...muons.
[https://www.energy.gov/science/doe-
explainsmuons](https://www.energy.gov/science/doe-explainsmuons)