การประเมินปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสีแกมมาโดยใช้ MCNP 5

ทัศนีย์ เจริญนาม[1*] อรรถพร ภัทรสุมันต์[1] และ ชนาธิป ทิพยกุล[2]

บทคัดย่อ

ได้คำนวณอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่ตำแหน่งฉายรังสีอัญมณี (center turntable) ของเครื่องฉายรังสีแกมมาด้วยโคบอลต์-60 ที่มีค่ากัมมันตภาพ 70 kCi ของศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยใช้โมเดล 3 มิติของโค้ดคอมพิวเตอร์แบบมอนติคาร์โล MCNP 5 (Monte Carlo Computer Code) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัดจริงโดยใช้เครื่องวัดรังสีชนิด Amber Perspex และ Red Perspex ที่ใช้ในงานประจำ พบว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการคำนวณโดยใช้ MCNP 5 นี้สามารถนำมาใช้ประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่ตำแหน่งฉายรังสีอัญมณีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : อัตราปริมาณรังสี, เครื่องวัดรังสี, มอนติคาร์โล, เครื่องฉายรังสีแกมมา

[1] ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ศูนย์เครื่องปฏิกรณ์, สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมลล์: tasanee@tint.or.th รับเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2556 ตอบรับเมื่อ 28 เมษายน 2557

Dosimetric Assessment of the Gamma Irradiation Facility using MCNP 5

Tasanee Charoennam[1*] Attaporn Pattarasumunt[1] and Chanatip Tippayakul[2]

Abstract

The gamma dose rates during the operation of the 70 kCi Co-60 irradiator of Gems Irradiation Center, Thailand Institute of Nuclear Technology, were calculated using the three dimensional model of the Monte Carlo computer code, MCNP 5. The results were compared with the actual measurements obtained from the routine dosimetry system, Amber and Red Perspex. The agreements of the calculated and the measured results showed that MCNP 5 can be used efficiently to determine the dose rate of this facility.

Keywords : Dose rate, Dosimeter, MCNP, irradiator

[1] Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

[2] Reactor Center, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)

[*] Corresponding author, E-mail: tasanee@tint.or.th Received 4 February 2013, Accepted 28 April 2014

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำรังสีมาใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย อุตสาหกรรมการฉายรังสีเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่นำเทคนิคนิวเคลียร์มาใช้ โดยนำวัสดุมาฉายรังสีให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางชีววิทยาหรือทางกายภาพ เพื่อประโยชน์ในด้านการกำจัดจุลินทรีย์หรือการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุให้ดีขึ้น ในกระบวนการฉายรังสีนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมเป็นอันดับแรก ๆ คือ การควบคุมปริมาณรังสีที่ตัวอย่างได้รับให้เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น ในการปรับปรุงคุณภาพสีของอัญมณี ถ้าปริมาณรังสีสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด สีอัญมณีอาจจะเข้มหรืออ่อนเกินไป ดังนั้นก่อนการฉายรังสีตัวอย่างควรทราบอัตราปริมาณรังสีในบริเวณที่จะฉายรังสีก่อน เพื่อให้สะดวกรวดเร็วในการดำเนินงาน และตัวอย่างได้รับปริมาณรังสีตรงตามต้องการ

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) ที่สามารถช่วยในการประเมินหาอัตราปริมาณรังสีแกมมาในตำแหน่งฉายรังสี โดยการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉายรังสี คำนวณหาอัตราปริมาณรังสี เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนการฉายรังสี ช่วยให้ประหยัดเวลาและเครื่องวัดรังสีที่ต้องใช้ในการตรวจสอบปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนการฉายรังสี และสามารถพัฒนาแบบจำลองมาใช้ในงานออกแบบการกำบังรังสีในด้านความปลอดภัยของห้องฉายรังสีได้ โดยเปรียบเทียบอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากเทคนิคการคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โลกับระบบวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องวัดรังสีในกลุ่มที่ใช้ในงานประจำ (Routine/working dosimeter) ของเครื่องฉายรังสีแกมมา

2. การคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) [1-2]

การคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) ในด้านของเทคโนโลยีนิวเคลียร์นั้น เป็นการคำนวณโดยใช้การสร้างแบบจำลองในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม ไม่มีทิศทางแน่นอน หลักการคำนวณด้วยวิธีมอนติคาร์โล จะทำการกำหนดทางเดินสุ่ม (Random Walk) ของอนุภาคที่พิจารณาว่ามีทิศทางและพฤติกรรมอย่างไรโดยอาศัยตัวแปรต่าง ๆ อันได้แก่ ชนิดของอนุภาค (Source Particle) รูปทรงและรูปแบบการจัดวางของระบบที่ต้องการประเมิน (System Geometry) ชนิดและค่าความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุและภาคตัดขวาง (Material and Cross Section) รวมทั้งรูปแบบการประเมินจำนวนครั้งการเกิดอันตรกิริยา (Tallying or Scoring of quantity of Interest) การประเมินหาอัตราปริมาณรังสีแกมมาในตำแหน่งฉายรังสีตามเงื่อนไขและรูปแบบต่าง ๆ ที่กำหนด กระทำได้โดยอาศัยการจำลองเหตุการณ์การเกิดอันตรกิริยาแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างโฟตอนกับวัสดุที่พิจารณาจากทางเดินสุ่มที่ได้จากตัวแปรข้างต้น การกำหนดทางเดินสุ่ม จะกำหนดโดยอาศัยความสัมพันธ์ ระหว่างการสุ่มตัวเลข (Random Number) และทฤษฎีความน่าจะเป็น (Theory of Probability)

MCNP [3] เป็นโปรแกรมการคำนวณที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ Los Alamos National Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค นิวตรอน โฟตอน อิเล็กตรอน ดูการเคลื่อนที่ของอนุภาคใด ๆ เพียงชนิดเดียว หรือคู่ใดคู่หนึ่งของนิวตรอน โฟตอน หรือ อิเล็กตรอน MCNP 5 (Monte Carlo N–Particle version 5) ได้เริ่มนำมาใช้งานในปี 2003 โดยเพิ่มการทำงาน photonuclear collision physics, superimposed mesh tallies, time splitting, และ plotter upgrades นอกจากนี้ ยังมีการปรับปรุงการคำนวณแบบขนาน โดยเพิ่มการสนับสนุนการใช้งาน OpenMP (Open Multi-Processing) และ MPI (Message Passing Interface) ด้วย การใช้งานจะต้องสร้างแฟ้มข้อมูลป้อนเข้า (Input File) ตามลำดับการอ่านข้อมูลของ MCNP ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่เป็นคำสั่งนิยามเซลล์ (Cell Card), ส่วนคำสั่งนิยามพื้นผิว (Surface Card) และส่วนคำสั่งกำหนดข้อมูลหลัก โดยส่วนคำสั่งกำหนดข้อมูลหลักจะแบ่งเป็น 4 ส่วนย่อย คือ 1) คำสั่งนิยามต้นกำเนิดรังสี (Source) ประกอบไปด้วยชนิดรังสี, พลังงาน, ขนาด และค่ากัมมันตภาพของต้นกำเนิดรังสี 2) คำสั่งนิยามตัวประมาณค่า (Tally) งานวิจัยนี้ใช้ F4 Tally เป็นคำสั่งคำนวณนับค่าฟลักซ์ภายในเซลล์ 3) คำสั่งนิยามชนิดของวัสดุ (Materials) เป็นคำสั่งในการกำหนดชนิดของวัสดุในแบบจำลอง เครื่องฉายรังสีนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 วัสดุกำบังรังสีทำจากตะกั่ว ภาชนะฉายรังสีเป็นอลูมิเนียม ที่หมุนตัวอย่างขณะฉายรังสีเป็นเหล็ก ท่อนำต้นกำเนิดรังสีเป็นสแตนเลส และที่ว่างทั้งหมดให้เป็นอากาศ 4) คำสั่งนิยามหยุดการทำงาน (Problem Cut off) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการหยุดการคำนวณโดยกำหนดเงื่อนไขการหยุดการคำนวณ ด้วยการกำหนดเวลา หรือจำนวนอนุภาคที่สุ่มครบตามจำนวนที่กำหนดไว้

3. ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose) [4]

การวัดปริมาณรังสีดูดกลืนเป็นการวัดพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อหน่วยมวลของวัสดุในบริเวณที่สนใจ กำหนดให้พลังงานเฉลี่ย $d\bar{\varepsilon}$ ที่ทำให้ตัวกลางแตกตัวเป็นไอออน หารด้วยมวล dm ที่เป็นปริมาตรของตัวกลาง ตามสมการ

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (1)$$

หน่วย SI ของปริมาณรังสีดูดกลืนคือ เกรย์ (Gray) ตัวย่อใช้ Gy และมีหน่วยเก่าคือ แรด (rad) โดยที่ 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืน $\dot{D}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีต่อหน่วยของเวลา

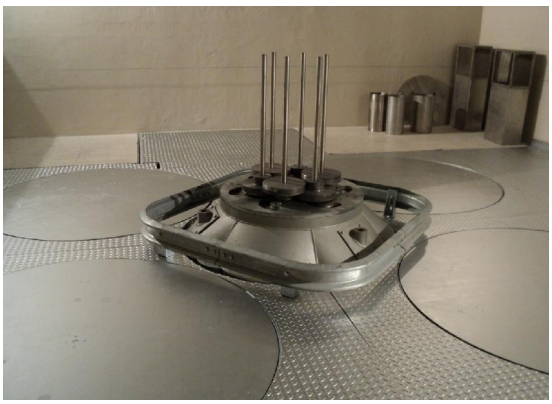
$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (2)$$

ในทางปฏิบัติแล้วค่าปริมาณรังสีดูดกลืน และค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนมักจะวัดแบบค่าเฉลี่ยในวัสดุปริมาตรใหญ่ ต่างจากที่อธิบายไว้ตามนิยาม เนื่องจากไม่สามารถวัดปริมาณรังสีเหล่านี้ ในวัสดุปริมาตรเล็ก ๆ ที่เราสนใจได้ เพราะการวัดรังสียังขึ้นกับขนาดของเครื่องวัดรังสีที่ไวต่อรังสี และการกำหนดเงื่อนไขการฉายรังสีเพื่อระบุปริมาณรังสีในวัสดุ เพราะวัสดุที่

แตกต่างกัน จะมีคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีที่แตกต่างกันด้วย

4. เครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60

รังสีแกมมา (Gamma ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น จัดอยู่ในกลุ่มรังสีก่อไอออน (ionizing radiation) ที่ปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของนิวเคลียส จึงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีลักษณะพลังงานเฉพาะ เราเรียกไอโซโทปที่ปล่อยรังสีว่าไอโซโทปรังสีหรือสารกัมมันตรังสี ตัวอย่างไอโซโทปรังสีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น โคบอลต์-60 และ ซีเซียม 137



รูปที่ 1 เครื่องฉายรังสีแกมมาโดยไอโซโทปรังสีโคบอลต์-60

เครื่องฉายรังสีแกมมาโดยไอโซโทปรังสีโคบอลต์-60 (Multi-Purpose Gemstone Irradiator) ของศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีลักษณะเป็นห้องฉายรังสี ขนาด 7 เมตร x 7 เมตร x 4 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 1.88 เมตร มีต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 จำนวน 6 แท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร ถูกจัดวางในแนวตั้งล้อมเป็นรูปหกเหลี่ยมดังรูปที่ 1 มีค่ากัมมันตภาพรวม 70 kCi โดยแต่ละแท่งจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 1100-1200 Ci การเก็บต้นกำเนิดรังสีเป็นแบบแห้ง (Dry Storage) ที่เก็บและวัสดุกำบังรังสีทำด้วยตะกั่วอยู่ด้านล่างของห้องฉายรังสี เมื่อต้องการใช้งานต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 จะถูกดันด้วยระบบนิวแมติกขึ้นไปที่ท่อด้านบน พื้นที่ฉายรังสีจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือบริเวณด้านในวงล้อมของต้นกำเนิดรังสี (Center turntable) จะเป็นบริเวณที่มีอัตราปริมาณรังสีสูงและมีแท่นวางตัวอย่างที่ขับเคลื่อนให้สามารถหมุนตัวอย่างขณะฉายรังสี เพื่อให้ได้ปริมาณรังสีที่สม่ำเสมอ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นบริเวณด้านนอกวงล้อมต้นกำเนิดรังสี ซึ่งจะมีอัตราปริมาณรังสีต่ำกว่า เครื่องฉายรังสีแกมมานี้ ผลิตโดยบริษัท Power Plus System Ltd., ประเทศอังกฤษ

5. ระบบการวัดปริมาณรังสี (Dosimetry System)

การวัดปริมาณรังสีดูดกลืนโดยระบบวัดปริมาณรังสีประกอบด้วยเครื่องวัดรังสีชนิดที่เปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีเมื่อได้รับรังสี เครื่องวัดผลที่เกิดขึ้นจากรังสีในเครื่องวัดรังสี ตัวอย่างเช่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และอิเล็กตรอนพาราแมกนิติกเรโซแนนซ์สเปกโตมิเตอร์ (EPR) เป็นต้น เครื่องวัดความหนา และมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เช่น ความยาวคลื่นและมาตรฐานการดูดกลืนแสง และต้องมีขั้นตอนการใช้ระบบเครื่องมือที่ดีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงและ

ถูกต้อง สามารถทำซ้ำและควบคุมคุณภาพการวัดปริมาณรังสีได้

ในการวิจัยนี้ใช้ Amber Perspex dosimeter [5] และ Red Perspex dosimeter [6] ซึ่งเป็นเครื่องวัดรังสีชนิด Poly-methylmethacrylate (PMMA) ขนาด 30 มิลลิเมตร x 11 มิลลิเมตร หนา 3 ± 0.55 มิลลิเมตร มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ 6% [7] จัดอยู่ในกลุ่มที่ใช้ในงานประจำ เป็นเครื่องวัดรังสีที่ใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมการฉายรังสี ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดรังสีคือ เมื่อนำไปฉายรังสี สีของเครื่องวัดรังสีจะเปลี่ยนไป ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของเครื่องวัดรังสีเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer) มีค่าเปลี่ยนไปตามปริมาณรังสีที่ได้รับ โดยที่ Amber Perspex dosimeter จะวัดค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 651 nm และสามารถวัดปริมาณรังสีแกมมาได้ในช่วง 1-30 kGy ส่วน Red Perspex dosimeter จะวัดค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 640 nm และสามารถวัดปริมาณรังสีแกมมาได้ในช่วง 5-50 kGy การคำนวณหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืน ทำได้โดยนำค่าการดูดกลืนหารด้วยค่าความหนาของเครื่องวัดรังสี แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ทำการสอบเทียบไว้ ซึ่งในการวิจัยนี้ จะใช้ระบบวัดปริมาณรังสีของผู้ผลิตเครื่องฉายรังสี ในการวัดค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่เครื่องวัดรังสีได้รับ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งนั้น ๆ

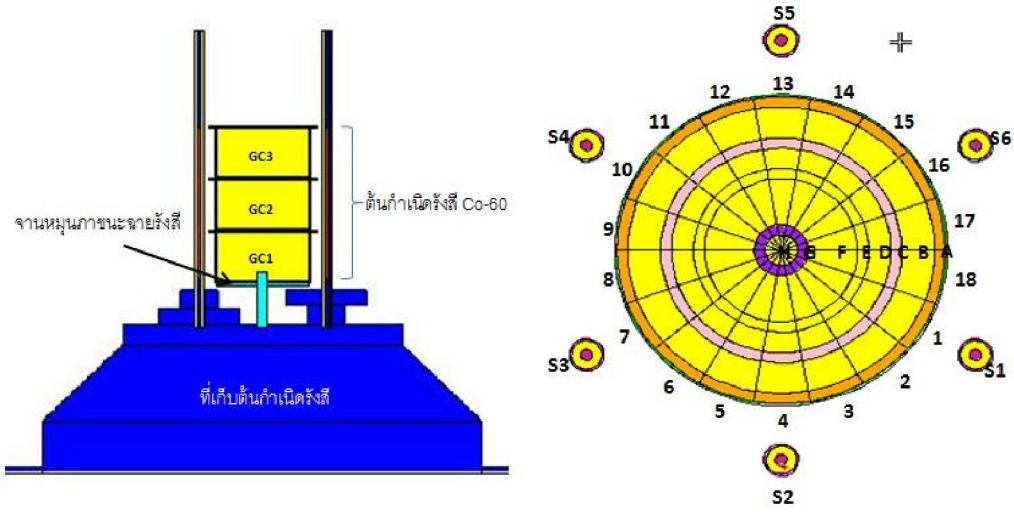
6. ผลการวิจัย

6.1 แบบจำลองเครื่องฉายรังสีแกมมา

จากการสร้างแบบจำลองเครื่องฉายรังสีแกมมาและภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างฉายรังสี (Gems container) ที่ตำแหน่ง Center turntable ด้วย MCNP 5

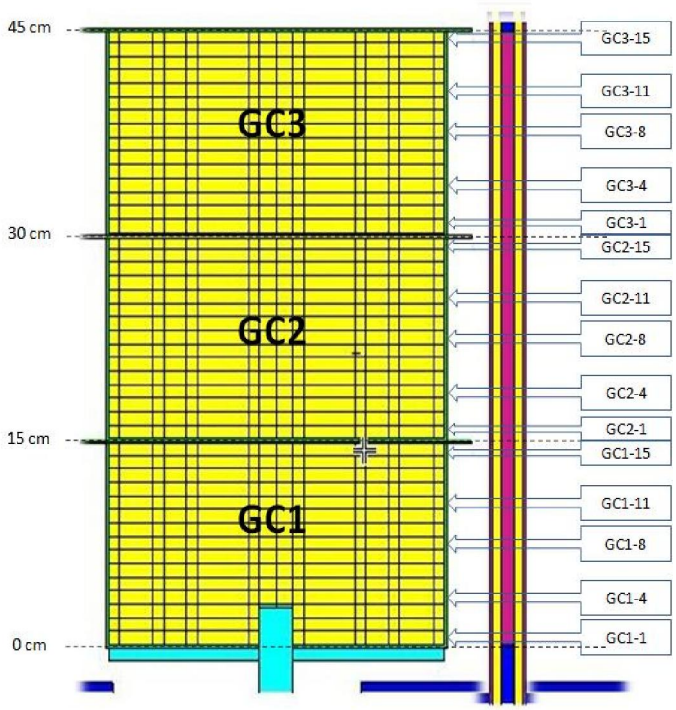
รูปที่ 2 (a) เป็นภาคตัดขวางในระนาบ yz จะเห็นตำแหน่ง Center turntable และลักษณะการวางภาชนะอลูมิเนียมสำหรับใส่ตัวอย่างฉายรังสีเรียงซ้อนกัน กำหนดชื่อเรียกว่า GC1, GC2 และ GC3 จากล่างขึ้นบนตามลำดับ รวมถึงส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ต้นกำเนิดรังสี ที่เก็บต้นกำเนิดรังสี

ส่วนรูปที่ 2 (b) เป็นภาคตัดขวางในระนาบ xy จะเห็นตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี S1-S6 เรียงตัวกันรอบภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างฉายรังสี ซึ่งภายในได้สร้างเซลล์เพื่อเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราปริมาณรังสี โดยเซลล์คือรูปทรงที่มีปริมาตรหรือประกอบขึ้นจากพื้นผิว ทำให้เป็นรูปทรงปิดและมีขอบเขตที่แน่นอน การกำหนดชื่อของแต่ละเซลล์เพื่อใช้ในการอ้างอิง เช่น 1A คือตำแหน่งเซลล์ที่ตรงกับ S1 อยู่ในวง A 2A จะอยู่ต่อจาก 1A ตามเข็มนาฬิกา ส่วน 1B จะอยู่ถัดเข้าไปด้านใน 1A และแบ่งเซลล์ในภาชนะฉายรังสีอัญมณีในระนาบ yz เป็นดังรูปที่ 3 โดยกำหนดชื่อตามตำแหน่งภาชนะและความสูง เช่น GC1-1 คือเซลล์แรกจากก้นภาชนะ GC1



(a) (b)

รูปที่ 2 แบบจำลองเครื่องฉายรังสีแกมมาด้วย MCNP 5 (a) ภาคตัดขวางในระนาบ yz (b) ภาคตัดขวางในระนาบ xy



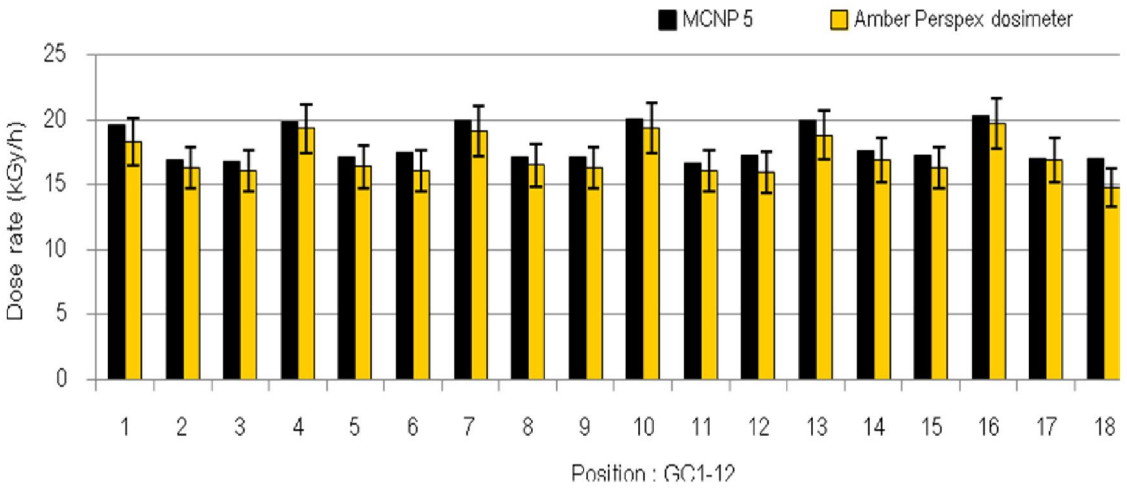
รูปที่ 3 แบบจำลองที่ตำแหน่งฉายรังสีอัญมณีด้วย MCNP 5 ภาคตัดขวางในระนาบ yz

6.2 ผลการคำนวณหาอัตราปริมาณรังสีแกมมา

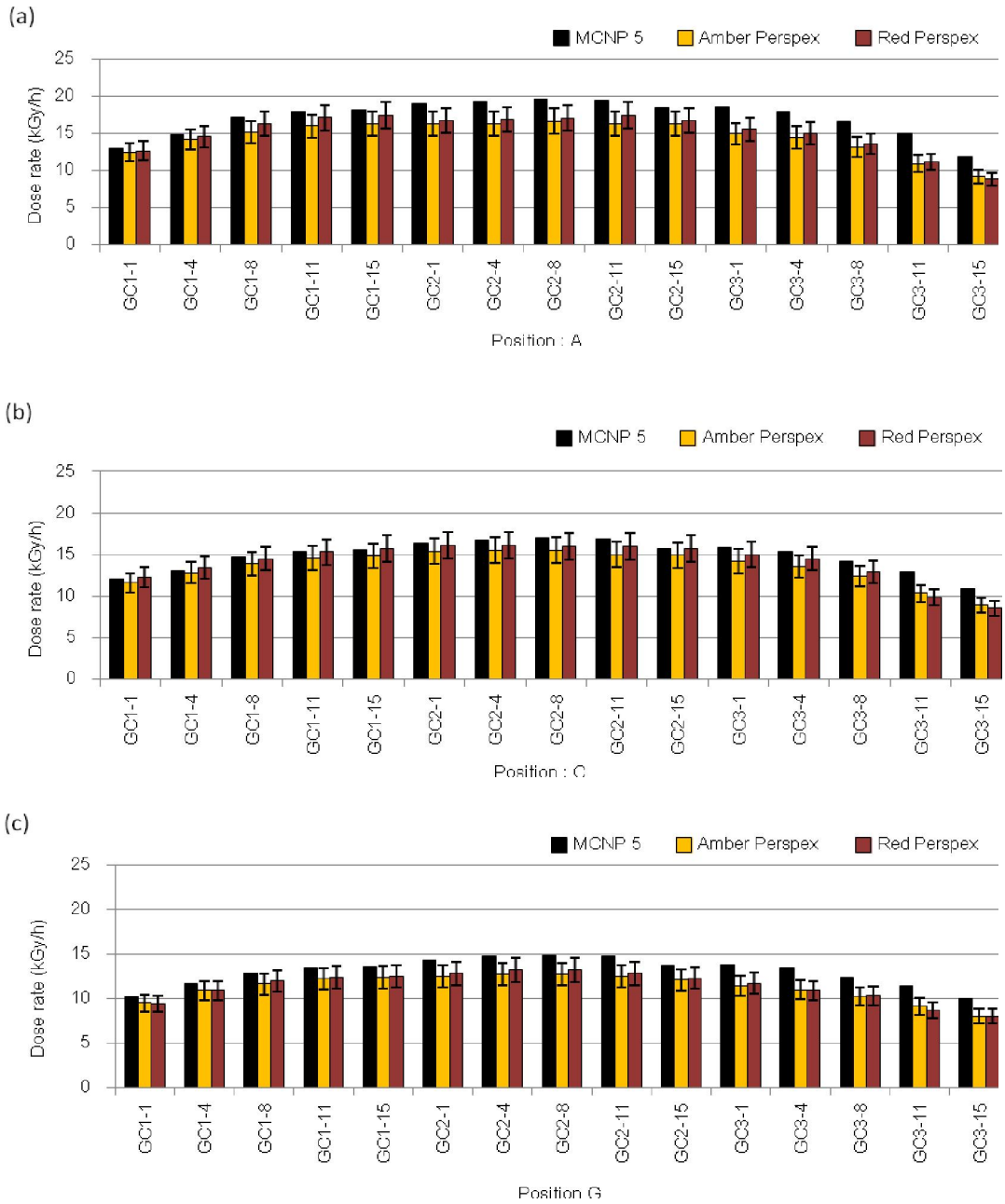
ในกรณีที่ไม่หมุน center turntable เพื่อพิจารณาการกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีที่ตำแหน่งวง A พบว่าที่ตำแหน่งตรงกับต้นกำเนิดรังสี 1A, 4A, 7A, 10A .13A และ 16A จะมีอัตราปริมาณรังสีสูงกว่าตำแหน่งข้างเคียง เพราะอยู่ติดกับต้นกำเนิดรังสี ซึ่งสอดคล้องกันทั้งการคำนวณด้วย MCNP 5 และการวัดรังสีด้วย Amber Perspex Dosimeter และมีอัตราปริมาณรังสีที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของระบบวัดปริมาณรังสีแกมมาที่ยอมรับได้ในการฉายรังสีอัญมณีที่ ± 10 % จะพบว่าผลจากการคำนวณด้วย MCNP 5 ค่าอัตราปริมาณรังสีส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนนั้น แสดงดังรูปที่ 4

เมื่อพิจารณาค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องวัดรังสีที่ 6% จะพบว่าตำแหน่งที่ 1A, 6A, 12A, 13A และ 18A มีค่าเกิน แต่ในทางปฏิบัติจะยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนของระบบวัดปริมาณรังสีที่ ± 10 % พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน ± 10 % ในตำแหน่งที่ 18A เพียงตำแหน่งเดียว



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจาก Amber Perspex Dosimeter กับการคำนวณด้วย MCNP 5 ที่ตำแหน่ง 1A-18A ความสูง 12 cm จากก้นภาชนะ GC1 โดยไม่หมุน center turntable และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดรังสีที่ ± 10 %



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีแกมมาจาก Amber Perspex Dosimeter, Red Perspex Dosimeter และการคำนวณด้วย MCNP 5 ที่ตำแหน่งวง A C และ G ดังรูปที่ (a), (b) และ (c) ตามลำดับ โดยหมุน Center turntable และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดรังสีที่ ± 10 %

จากการวัดปริมาณรังสีแกมมาด้วย Amber Perspex Dosimeter และ Red Perspex Dosimeter พบว่าอัตราปริมาณรังสีสูงที่สุดที่ตำแหน่งวง A รองลงมาเป็นที่ตำแหน่งวง C และ G ตามลำดับ และมีปริมาณรังสีสูงที่ภาชนะ GC2 ซึ่งมีแนวโน้มตรงกับผลการคำนวณจาก MCNP 5 และเมื่อเปรียบเทียบผลการวัดระหว่าง Amber Perspex Dosimeter และ Red Perspex Dosimeter พบว่าการวัดที่ตำแหน่งอัตราปริมาณรังสีสูง Red Perspex Dosimeter จะได้ค่าวัดสูงกว่า Amber Perspex Dosimeter แต่ในตำแหน่งที่อัตราปริมาณรังสีต่ำกว่า 15 kGy ค่าวัดปริมาณรังสีที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าอัตราปริมาณรังสีด้วย MCNP 5 ที่ภาชนะ GC1 และ GC2 ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน ± 15 % ของระบบวัดปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสี และพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่ภาชนะ GC3 โดยเฉพาะตำแหน่ง GC3-11 และ GC3-15 ที่ตำแหน่งวง A, C และ G มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 30 %

7. สรุปผล

จากการสร้างแบบจำลองและคำนวณอัตราปริมาณรังสีด้วย F4 Tally ซึ่งเป็นตัวประมาณค่าฟลักซ์เฉลี่ยในเซลล์ของการคำนวณมอนติคาร์โล เปรียบเทียบกับระบบวัดปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสีแกมมาไอโซโทปรังสีโคบอลต์-60 ของศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ซึ่งเป็นระบบวัดปริมาณรังสีที่ใช้เครื่องวัดรังสีในกลุ่มที่ใช้ในงานประจำ ผลการเปรียบเทียบอัตราปริมาณรังสีจาก Amber Perspex Dosimeter และ Red Perspex Dosimeter กับการคำนวณด้วย MCNP 5 มีแนวโน้มการกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีไปในทิศทางเดียวกัน และค่าอัตราปริมาณรังสีจากการคำนวณด้วย MCNP 5 ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 15 % ของระบบวัดปริมาณรังสีของเครื่องฉายรังสีแกมมา และมีเพียงบางตำแหน่งที่มีผลการคำนวณคลาดเคลื่อนมากกว่า ± 15 % เนื่องจากในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าข้อมูลของเครื่องฉายรังสีจากแบบแปลนเครื่องฉายรังสีของผู้ผลิต ร่วมกับการวัดขนาดจริงของเครื่องฉายรังสีมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และสร้างแบบจำลองให้มีความซับซ้อนน้อย เพื่อให้ใช้เวลาในการคำนวณสั้น แต่ยังได้ค่าอัตราปริมาณรังสีใกล้เคียงค่าที่ถูกต้อง รวมถึงความคลาดเคลื่อนในการติดเครื่องวัดรังสีอาจทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนไปด้วย หรือความไม่ครบถ้วนของการระบุข้อมูล เงื่อนไข ในรายละเอียดการออกแบบระบบเครื่องฉายรังสีใน MCNP 5 ซึ่งถ้าแก้ไขข้อมูลให้ตรงกับการวัดปริมาณรังสีจริงให้มากที่สุด ผลการคำนวณที่ได้จะมีความถูกต้องมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าวิธีการคำนวณหาอัตราปริมาณรังสีด้วย MCNP 5 สามารถนำมาใช้ประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่ตำแหน่งฉายรังสีอัญมณีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. ข้อเสนอแนะ

1. การเปรียบเทียบค่าอัตราปริมาณรังสีในปริมาตรขนาดเล็กนั้น มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดเครื่องวัดรังสีในภาชนะฉายรังสีได้สูง อาจปรับเปลี่ยนวิธีการคำนวณโดยให้คำนวณหาอัตราปริมาณรังสีในบริเวณที่สนใจหลาย ๆ ตำแหน่ง แล้วหาแนวโน้มการกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีเป็นภาพใหญ่แทน

2. ความถูกต้องของเครื่องวัดรังสีที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมีความถูกต้องน้อยกว่า เครื่องวัดรังสีในกลุ่มที่อยู่ใน

ระดับชั้นที่สูงกว่า อาจปรับเปลี่ยนชนิดเครื่องวัดรังสี เพื่อให้ค่าปริมาณรังสีที่วัดได้มีความถูกต้องมากขึ้น ความถูกต้องแม่นยำของการวัดปริมาณรังสีนอกจากจะขึ้นกับชนิดของเครื่องวัดรังสีแล้ว ยังขึ้นกับการสอบเทียบและสภาวะแวดล้อมขณะฉายรังสีด้วย

3. การคำนวณด้วย MCNP 5 เพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่มีความถูกต้องสูงนั้น จะต้องระบุข้อมูลในการออกแบบระบบให้ตรงกับสภาวะแวดล้อมจริงมากที่สุด เช่น วัสดุที่ใช้ทำเครื่องฉายรังสี อุปกรณ์การฉายรังสี ตำแหน่ง ขนาด การจัดวาง และรายละเอียดของต้นกำเนิดรังสี เป็นต้น

9. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Thepphasut, “Assessment of x-ray dose rate around a mobile cargo container inspection system of the thai customs department”, Master Thesis, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, 2005.

[2] T. Piroonpan, “Development of a simulation model for calculating gamma ray detection efficiency by MCNP-4A”, Master Thesis, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, 2002.

[3] X-5 Monte Carlo Team, “MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5 Volume I: Overview and Theory”, Los Alamos Nation Laboratory, USA, 2003, (revised 2008)

[4] International Atomic Energy Agency, “Dosimetry for Food Irradiation” Technical Reports Series 409, Vienna, 2002.

[5] Harwell Dosimeters, “Harwell Amber 3042 Dosimeters” Available: http://www.harwelldosimeters.co.uk/harwell-amber-3042, 15 January, 2013.

[6] Harwell Dosimeters, “Harwell Red 4034 Dosimeters” Available: http://www.harwell-dosimeters.co.uk/harwell-red-4034, 15 January 2013.

[7] C. Oliveira, J. Salgada, M. Luisa Botelho and L.M. Ferrira, “Monte Carlo studies for irradiation process planning at the Portuguese gamma irradiation facility” Applied Radiation and Isotope 53, 2000, pp. 867-875