การสอบเทียบมาตรฐานการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูง

*สุมาลี นิลพฤกษ์[1] หริเนตร มุ่งพยาบาล[1] อารักษ์ วิทิตธีรานนท์[1] และธงชัย สุดประเสริฐ[1]

[1]สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2596 7600 โทรสาร 0 2562 0093 E-mail: sumalee@oaep.go.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสอบเทียบมาตรฐานการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูง โดยการหาสภาวะที่มีผลต่อการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนช่วงตั้งแต่ 0.1 ถึง 50 กิโลเกรย์ ประกอบด้วย ตำแหน่ง ผลของอุณหภูมิ เสถียรภาพ และช่วงของปริมาณรังสีดูดกลืน ด้วยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีมาตรฐานอ้างอิงชนิดสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต และอะลานีน/อีพีอาร์โดสิมิเตอร์ พบว่าทุกตำแหน่งของการฉายรังสีมีการกระจายของปริมาณรังสีดูดกลืนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งอุณหภูมิขณะฉายรังสีมีผลในช่วงปริมาณรังสีดูดกลืน 10 – 50 กิโลเกรย์ โดยมีค่าความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ 0.25 % ต่อ °C และช่วงปริมาณรังสีดูดกลืนที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 ช่วงตั้งแต่ 0.1-1 กิโลเกรย์ และ 1-50 กิโลเกรย์ โดยแต่ละช่วงมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และแบบเอกซ์โพเนนเชียล ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่น้อยกว่า 0.9999 เปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีกับห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งประเทศอังกฤษ พบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่มากกว่าร้อยละ 1 การศึกษานี้ สามารถใช้เป็นสภาวะสำหรับควบคุมการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูงได้

คำสำคัญ : ปริมาณรังสีดูดกลืน สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต อะลานีน/อีพีอาร์โดสิมิเตอร์

Calibration of Absorbed Dose for High-Dose Level

*Sumalee Ninlaphruk[1], Harinate Mungpayaban[1], Arag Vitittheeranon[1] and Thongchai Soodprasert[1]

[1]Office of Atoms for Peace, 16 Vibhavadi Rangsit Road, Bangkok 10900

Phone: 0 2596 7600, Fax: 0 2562 0093, E-mail: sumalee@oaep.go.th

Abstract

This work reports appropriate conditions for calibrating an absorbed dose for high-dose level. The calibration conditions consisting of irradiation position, irradiation temperature, fading effect and absorbed dose range were observed in the absorbed dose range 0.1 – 50 kGy by using Fricke and alanine as standard dosimeters. The results showed that there was no significant difference at 95% confidence in the dose distribution in every position in the phantom. The irradiation temperature had an effect on the absorbed dose range between 10 and 50 kGy with a relative percent difference 0.25% /°C. The appropriate absorbed dose range for the calibration was divided into two ranges: 0.1 to 1 kGy and 1 to 50 kGy which could be shown in the linearity and the exponential relationship respectively. The correlation coefficients were less than 0.9999. The comparison of an accuracy of the

method with the primary standard laboratory in United Kingdom showed that an error was not more than 1%. It can be concluded that those conditions can be used to control an absorbed dose for high-dose level.

Keywords: absorbed dose, Fricke and alanine dosimeter

1.บทนำ

ความถูกต้องของการวัดปริมาณรังสี เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างมากในการวัดปริมาณรังสี เพราะเป็นสิ่งที่ยืนยันว่าการฉายรังสีครั้งนั้น ผลิตภัณฑ์ที่นำมาฉายรังสีได้รับปริมาณรังสีตรงตามต้องการ และเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะยืนยันถึงปริมาณรังสีที่ผลิตภัณฑ์ได้รับ คืออุปกรณ์วัดปริมาณรังสี (dosimeter) ซึ่งจะต้องมีสมบัติที่คงตัว และสามารถวัดปริมาณรังสีได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีมีหลายประเภทตามสมบัติและการใช้ประโยชน์[1] เช่น สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (fricke solution) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีมาตรฐานอ้างอิง (reference standard dosimeter) ที่มีคุณภาพและความแม่นยำในการวัดสูงมาก สามารถวัดปริมาณรังสีได้ตั้งแต่ 40-400 เกรย์ ใช้ปรับเทียบอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่ใช้ในงานประจำ (routine dosimeter) อะลานีนหรืออีพีอาร์โดสิมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีมาตรฐานเคลื่อนย้าย[2] (transfer standard dosimeters) สามารถวัดปริมาณรังสีได้ตั้งแต่ 0.1-100 กิโลเกรย์ เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่มีคุณภาพ มีความแม่นยำในการวัดสูงมาก เสถียรภาพดี และมีความสะดวกต่อการขนส่งระยะไกล อีกทั้งทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency; IAEA) ซึ่งให้การยอมรับอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีดูดกลืนชนิดนี้ ให้เป็นสารมาตรฐานทุติยภูมิในการตรวจวัดปริมาณรังสีดูดกลืนสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐานการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนเพื่อใช้เป็นวิธีการในการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูงต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์

2.1 กระบอกฉายรังสี (phantom) ทำจากวัสดุชนิดพอลีเมทิลเมทาครีเลตรูปทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร ผนังหนา 5 มิลลิเมตร

2.2 เครื่องอีเอสอาร์สเปกโทรมิเตอร์ รุ่น A300 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Bruker Biospin

2.3 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-3101PC ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Shimadzu

2.4 สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.001โมลาร์

2.5 อะลานีน แบบเม็ด น้ำหนัก 64.5±0.5 มิลลิกรัม ผลิตภัณฑ์ Bruker Biospin

2.6 เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น Gammacell 220 Excel ผลิตภัณฑ์ของ Nordion

3. วิธีการ

3.1 ศึกษาการกระจายปริมาณรังสีดูดกลืนในกระบอกฉายรังสี

เตรียมสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E1026-04 บรรจุลงในกระบอกฉายรังสีในตำแหน่งที่ 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 รูปที่ 1. ฉายรังสีที่เวลา 18.7 68.0 และ 141.8 วินาที ตามลำดับ วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 303 นาโนเมตร

3.2 การหาอัตราปริมาณรังสี (dose rate)

นำสารละลายจากข้อ 3.1 บรรจุในกระบอกฉายรังสีตำแหน่งที่ 1 ฉายรังสีที่เวลา 18.7 43.3 68.0 92.6 และ 141.8 วินาที ตามลำดับ วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 303 นาโนเมตร

3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิขณะฉายรังสี

บรรจุอะลานีนในขวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และสูง 22 มิลลิเมตร จากนั้นใส่ในกระบอกฉายรังสีที่ตำแหน่งที่ 1 ฉายรังสีที่ปริมาณ 1 กิโลเกรย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 10 ± 1 องศาเซลเซียส อ่านค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสีด้วยเครื่องอีเอสอาร์ สภาวะตามตารางที่ 1 ทำการทดลองซ้ำที่ปริมาณรังสีเดิม เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 20 30 40 และ 50 ± 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำอีกแต่เปลี่ยนปริมาณรังสีเป็น 10 และ 50 กิโลเกรย์

3.4 ศึกษาความคงตัวของอะลานีนหลังฉายรังสี

บรรจุอะลานีนในลักษณะเดียวกับข้อ 3.2 ฉายรังสีที่ปริมาณ 1 กิโลเกรย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 35±2 องศาเซลเซียส เก็บที่อุณหภูมิระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40-60% อ่านค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสีด้วยเครื่องอีเอสอาร์ เป็นเวลา 6 เดือน ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณรังสีเป็น 10 และ 50 กิโลเกรย์

3.5 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืนต่อเวลาฉายรังสี

บรรจุอะลานีน ในลักษณะเดียวกับข้อ 3.2 ฉายรังสีที่ปริมาณตั้งแต่ 0.1-50 กิโลเกรย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 35±2 องศาเซลเซียส อ่านค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสีด้วยเครื่องอีเอสอาร์ สภาวะตามตารางที่ 1

3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการสอบเทียบ

บรรจุอะลานีน ในลักษณะเดียวกับข้อ 3.2 ฉายรังสีที่ปริมาณรังสีตั้งแต่ 0.1-50 กิโลเกรย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 35±2 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งอะลานีนที่ฉายรังสีแล้วไปอ่านค่าปริมาณรังสีที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐานปฐมภูมิแห่งประเทศอังกฤษ เปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 1. สภาวะในการอ่านค่าตอบสนองต่อปริมาณรังสีด้วยเครื่องอีเอสอาร์

Parameter	**Absorbed dose range 0.1-1 kGy**	**Absorbed dose range 1-50 kGy**
Microwave frequency	9.8510 GHz	9.8510 GHz
Microwave power	4.00 mW	4.00 mW
Modulation frequency	100 kHz	100 kHz
Modulation amplitude	5 G	1 G
Sweep width	200G	200G
Time constant	163.84 msec.	163.84 msec.
Receiver gain	3.17×10^{3}	3.17×10^{2}

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาการกระจายปริมาณรังสีดูดกลืนในกระบอกฉายรังสี

ผลจากการทดลอง พบว่าตำแหน่งการฉายรังสีทั้ง 8 ตำแหน่ง มีค่าการกระจายปริมาณรังสีดูดกลืนใกล้เคียงกัน ตารางที่ 2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนไม่มากกว่าร้อยละ1 แสดงว่าการฉายรังสีในกระบอกชนิดนี้เกิดสมดุลของอิเล็กตรอนเท่ากัน ซึ่งจะได้รับปริมาณรังสีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีในทุกตำแหน่งที่ฉายรังสี และเมื่อคำนวณค่าทางสถิติด้วย t-test พบว่าค่าที่ได้จากการทดลอง (t_{exp}) มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต (t_{crit}) แสดงว่าค่าปริมาณรังสีดูดกลืนทั้ง 8 ตำแหน่ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รูปที่ 2

4.2 ผลการหาอัตราปริมาณรังสี

ผลการหาอัตราปริมาณรังสีต่อเวลาฉายรังสี พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการฉายรังสี (วินาที) กับปริมาณรังสีดูดกลืน (เกรย์) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเป็นไปตามสมการถดถอย (linear regression) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่ตอบสนองต่อปริมาณรังสีที่ดีมาก เหมาะที่จะใช้เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีมาตรฐานอ้างอิง ส่วนสมการ $y = 2.0621x + 11.2421$ รูปที่ 3 แสดงถึงค่าอัตราปริมาณรังสีซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.06 เกรย์ต่อวินาที ซึ่งค่าที่ได้นี้สามารถนำไปใช้คำนวณเวลาในการปรับเทียบมาตรฐานอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดอื่นได้

ตารางที่ 2. การกระจายปริมาณรังสีดูดกลืนในกระบอกฉายรังสี ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

Positions	**Absorbed Dose (Gy)**		
1	49.860	151.418	301.786
2	49.756	151.485	303.039
3	49.548	151.418	303.100
4	49.514	151.733	302.340
5	49.479	151.455	303.166
6	49.790	151.275	301.437
7	49.479	151.699	303.106
8	49.790	151.356	301.369
Average	49.652	151.480	302.418
S.D.	0.161	0.159	0.788
%CV	0.325	0.105	0.261
t_{exp}	0.856	1.375	0.949
t_{crit}	2.032	2.032	2.032

4.3 ผลของอุณหภูมิขณะฉายรังสี

ผลจากการทดลอง พบว่าการฉายรังสีที่ปริมาณ 1 กิโลเกรย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 10-50 ± 1 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณรังสีดูดกลืนไม่แตกต่างกัน แสดงว่าที่ปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ อุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณรังสี แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีเป็น 10 และ 50 กิโลเกรย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการตอบสนองของอะลานีนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และมีค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ (Relative Percent Difference) เท่ากับ 0.25%/°C ซึ่งเป็นไปตามการทดลองของ M.F. Desrosiers และคณะ [3,4]

4.4 ผลการศึกษาความคงตัวของอะลานีนหลังการฉายรังสี

ผลของอะลานีนหลังการฉายรังสี พบว่าค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสีมีค่าคงที่ แม้จะเก็บเป็นเวลา 6 เดือน รูปที่ 4 แสดงว่า อะลานีนหลังฉายรังสี จำนวนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพสูงและคงที่ เหมาะสมที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี เพราะเมื่อได้รับรังสีแล้วสามารถเก็บไว้ได้ระยะเป็นเวลานาน

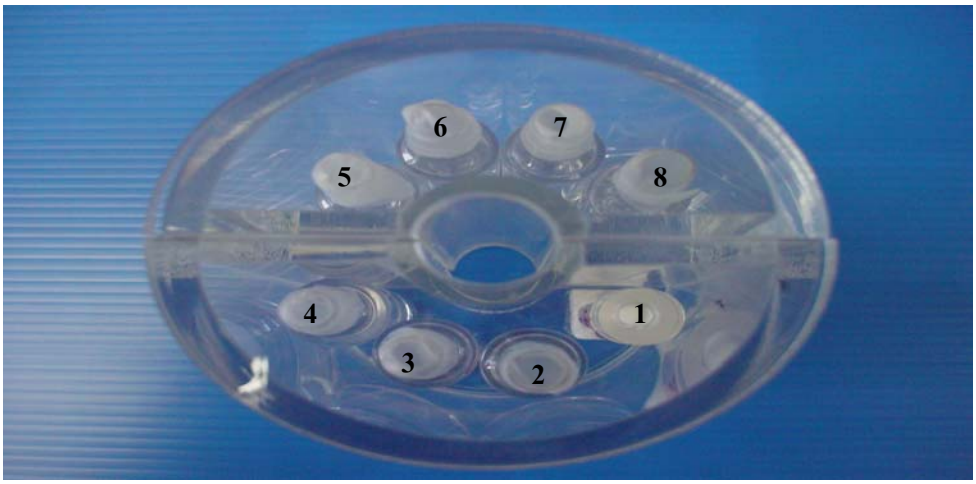
4.5 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืนต่อเวลาฉายรังสี

ผลจากการอ่านค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสีต่าง ๆ สามารถแบ่งช่วงปริมาณรังสีดูดกลืนได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงปริมาณรังสีดูดกลืนที่ 0.1-1.0 กิโลเกรย์ และ 1-50 กิโลเกรย์ และเมื่อสร้างกราฟ

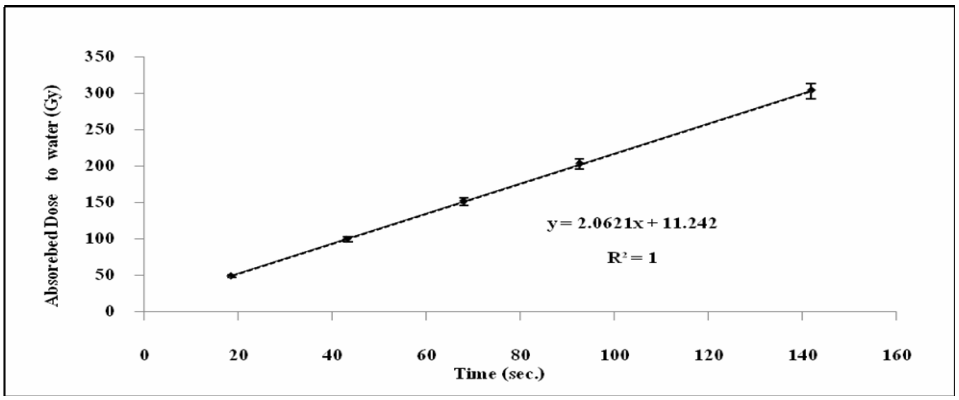
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืนกับค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสี พบว่าช่วงปริมาณรังสีดูดกลืนที่ 0.1-1 กิโลเกรย์ มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และช่วงปริมาณรังสีดูดกลืนที่ 1-50 กิโลเกรย์ มีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล และทั้งสองช่วงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่น้อยกว่า 0.9999 รูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงปริมาณรังสีทั้งสองช่วงมีความเหมาะสมในการวัดปริมาณรังสี

4.6 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการสอบเทียบ

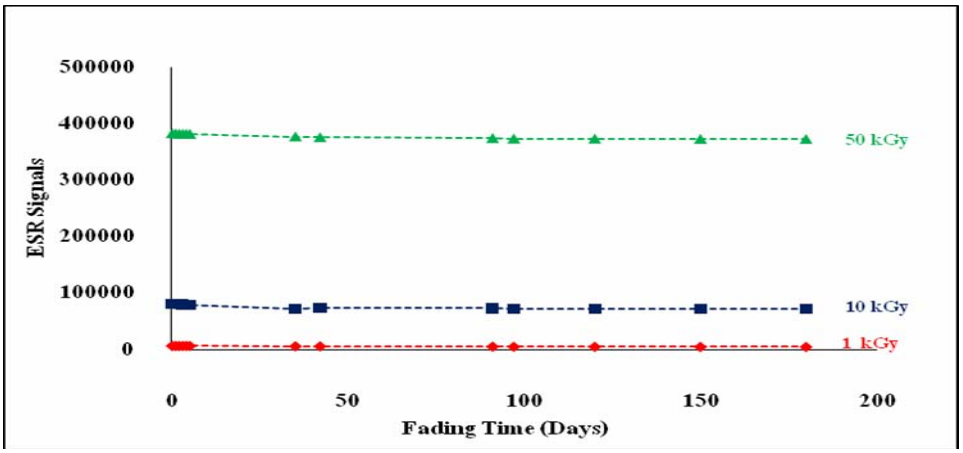
จากการทดลองส่งอะลานีนที่ฉายรังสีไปอ่านค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ห้องปฏิบัติการปฐมภูมิแห่งประเทศอังกฤษ เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองตามวิธีการข้างต้น พบว่าค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ 0.1-50 กิโลเกรย์ มีค่าไม่แตกต่างจากห้องปฏิบัติการปฐมภูมิแห่งประเทศอังกฤษ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่มากกว่าร้อยละ 1 รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ใช้ในการทดลองมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ควบคุมการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูงได้



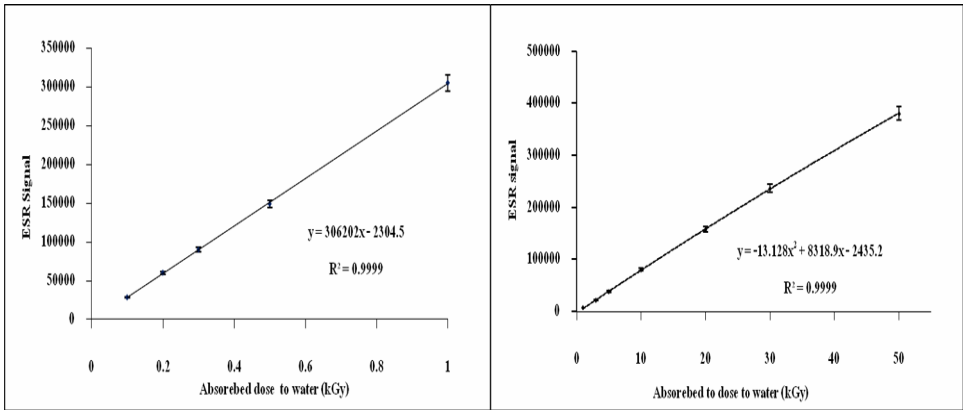
รูปที่ 1. ตำแหน่งต่าง ๆ ของการฉายรังสีในกระบอกฉายรังสี



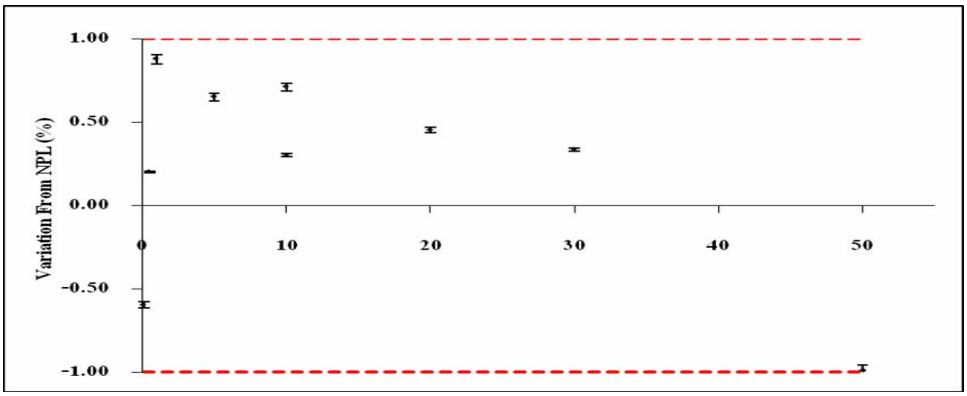
รูปที่ 2. อัตราปริมาณรังสี (Gy/sec)



รูปที่ 3. ความคงตัวของอะลานีนหลังการฉายรังสี



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืนต่อค่าการตอบสนองต่อปริมาณรังสี ที่ช่วงปริมาณรังสีดูดกลืน 0.1-1 กิโลเกรย์ และ1-50 กิโลเกรย์



รูปที่ 5. ความแตกต่างของปริมาณรังสีจากการทดลองเทียบกับห้องปฏิบัติการมาตรฐานปฐมภูมิ

5. สรุป

การสอบเทียบมาตรฐานการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูงช่วงปริมาณรังสี 0.1-50 กิโลเกรย์ สามารถทำได้ด้วยการใช้สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ในการหาค่าการกระจายของปริมาณรังสีดูดกลืน และหาอัตราปริมาณรังสี เนื่องจากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดนี้เป็นอุปกรณ์วัดมาตรฐานอ้างอิงที่มีความแม่นยำในการวัดสูง แต่ไม่สามารถใช้วัดปริมาณรังสีสูงได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดที่สามารถวัดปริมาณรังสีได้ในช่วง 40-400 เกรย์ เท่านั้น จึงจำเป็นต้องนำอะลานีน/อีพีอาร์โดสิมิเตอร์ ที่สามารถวัดปริมาณรังสีได้ตั้งแต่ 0.1-100 กิโลเกรย์ มาใช้ในการสอบเทียบมาตรฐานปริมาณรังสีดูดกลืนในปริมาณรังสีที่สูงขึ้น จากการศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการฉายรังสี พบว่าอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดนี้มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีที่ดี มีความคงตัวหลังจากการฉายรังสี และสามารถวัดปริมาณรังสีได้ในช่วงกว้าง และมีความแม่นยำในการวัดสูงมาก สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนระดับสูงได้

6. เอกสารอ้างอิง

1. American Society for Testing and Materials,1997.Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for radiation processing, E 1261-94, 667
2. American Society for Testing and Materials, 2004.Standard Practice for Use of an Alanine-EPR Dosimetry System, International Standards Organisation & American Society for Testing and Materials, Designation iso/astm 51670: (E).
3. Desorosiers, M.F., Sarenee L, Cooper, James M, 2004. A study of the alanine dosimeter irradiation temperature coefficient in the -77 °C to +50 °C range. Radiation Physics and Chemistry. 71, 363-368.
4. Desorosiers, M.F., Peters,M . Puhl,J.M. A study of the alanine dosimeter irradiation temperature coefficient from 25°C to 80°C Radiation Physics and Chemistry. 71, 363-368.
5. American Society for Testing and Materials, 2005. Standard Practice for Use of Estimating Uncertainties in Dosimetry for Radiation Processing, Inernational Standards Organisation & American Society for Testing and Materials, Designation iso/astm 51707:(E).