

# การวัดปริมาณรังสีสมมูลเลนส์ตาในเนื้อเยื่อจำลองโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล

อัญมณี สักคีคันทภิญโญ<sup>1</sup>, ปานัสดา อวิคุณประเสริฐ<sup>1\*</sup>, วิฑิต พึ่งกัน<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

<sup>2</sup>กลุ่มมาตรฐานการวัดทางนิวเคลียร์และรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ 10900

## Measurements of Eye Lens Doses in Phantom Using Optically Stimulated Luminescence (OSL) Dosimeter

Anyamanee Sakkantapinyo<sup>1</sup>, Panatsada Awikunprasert<sup>1\*</sup>, Vithit Pungkun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

<sup>2</sup>Ionising Radiation Metrology Group, Office of Atoms for Peace, Bangkok, 10900

**หลักการและวัตถุประสงค์:** การใช้รังสีร่วมรักษาเป็นวิธีการที่เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดอันตรายต่อดวงตามากขึ้น และเป็นสาเหตุของอาการผิดปกติที่เลนส์ตา เช่น เลนส์ตาขุ่นมัวและต้อกระจก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอลชนิดนาโนดอทและการคำนวณค่าปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาจากการจำลองสถานการณ์ในเนื้อเยื่อจำลอง

**วิธีการศึกษา:** ฉายรังสีเอกซ์พลังงาน 33, 47 และ 65 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ด้วยปริมาณรังสี 500, 1,000 และ 2,000 ไมโครซีเวิร์ต ลงบนอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอลชนิดนาโนดอทที่วางอยู่บนเนื้อเยื่อจำลอง จากนั้น คำนวณค่าปริมาณรังสีและจำลองสถานการณ์การได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานกรณีสวมใส่และไม่สวมใส่แว่นตาตะกั่ว

**ผลการศึกษา:** ประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอลชนิดนาโนดอท มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.11 ถึง 5.84 ค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่ตำแหน่ง 3 มิลลิเมตร มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่อ้างอิงแบบเชิงเส้น ( $R^2 > 0.99$ ) และลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเลนส์ตาและแหล่งกำเนิดรังสีเพิ่มมากขึ้น เมื่อสวมใส่แว่นตาตะกั่วสามารถลดค่าปริมาณรังสีได้ถึง  $10^3$ - $10^{12}$  เท่า

**Background and Objective:** Intervention radiology is one of the medical procedure that induce a risk from x-ray ionizing radiation. The risk includes biological effect to eye lens, for example, lens opacities and cataract. The purpose of this study was to measure the eye lens doses in phantom using optically stimulated luminescence (nanoDot). The efficiency of OSL and the calculated personal dose equivalent for eye lens (Hp(3)) were simulated and performed using cylindrical phantom.

**Methods:** OSL nanoDot were placed on the phantom and irradiated with the x-ray energy of 33, 47, and 65 keV. The simulation of eye lens doses of occupational radiation workers in case of wearing and not wearing lead glasses were calculated at the doses of 500, 1000, and 2000 mSv.

**Results:** The results showed that the accuracy of OSL was 0.11% to 5.84%. The calculated Hp(3) was linearly related to delivered doses ( $R^2 > 0.99$ ). The Hp(3) decreased when the distance between the eye lens and radiation source was increased. With the radiation protection glasses, the occupational radiation dose was reduced from  $10^3$  to  $10^{12}$  times compare to without lead glasses.

**Conclusions:** The position and the angle of eye lens against the radiation source and lead absorption energies

\*Corresponding Author: Panatsada Awikunprasert, Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002. Email: panaaw@kku.ac.th

**สรุป:** ตำแหน่งและมุมที่เลนส์ตาทำกับแหล่งกำเนิดรังสี และการดูกลืนรังสีเอกซ์ของตะกั่วที่พนักงานต่างๆ มีผลต่อค่าปริมาณรังสี การสวมใส่แว่นตาตะกั่วช่วยลดปริมาณรังสีลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดเลนส์ตาขุ่นมัวและต่อกระจกได้ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล, ปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา, เนื้อเยื่อจำลอง, นาโนดอท

ศรีนครินทร์เวชสาร 2560; 32(5): 427-34. • Srinagarind Med J 2017; 32(5): 427-34.

## บทนำ

รังสีร่วมรักษา (intervention radiology) เป็นวิธีการรักษาโรคโดยการใช้เครื่องมือทางรังสี เช่น เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ที่สามารถแสดงภาพอวัยวะและพยาธิสภาพภายในร่างกาย โดยการสอดลวดนำสายสวนเข้าไปทำการตรวจหรือรักษาโรคที่เกิดขึ้น การใช้รังสีร่วมรักษาเป็นวิธีการที่ผู้ป่วย รังสีแพทย์ และผู้ปฏิบัติงานทางรังสีอาจได้รับอันตรายจากการใช้รังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นรังสีชนิดก่อไอออน มีความเสี่ยงของการเกิดอันตรายต่อดวงตาและเป็นสาเหตุของอาการผิดปกติที่เลนส์ตาจากการได้รับรังสี เช่น เลนส์ตาขุ่นมัว (opacities) ที่พบความผิดปกติของเลนส์ตาบริเวณนิวเคลียสชนิด posterior subcapsular opacities จากรายงานการศึกษาในผู้รอดชีวิตจากการระเบิดโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Chernobyl และจากผู้รอดชีวิตจากอาวุธนิวเคลียร์ใน Hiroshima และ Nagasaki ประเทศญี่ปุ่น<sup>1-4</sup> ในขณะที่ปฏิบัติงานกับรังสี ปัจจัยที่ทำให้เลนส์ตาได้รับปริมาณรังสีขึ้นกับมุมระหว่างดวงตาและแหล่งกำเนิดรังสี เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน การไม่ปฏิบัติตามกฎการป้องกันรังสีที่ถูกต้อง การสะสมของปริมาณรังสีบริเวณเลนส์ตาที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้ค่าปริมาณรังสีเลนส์ตาสะสมเฉลี่ยต่อปีเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด และก่อให้เกิดอันตรายต่อดวงตา

คณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection; ICRP) กำหนดค่าปริมาณรังสีสมมูลสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับเลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานลงจาก 150 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี เหลือเพียง 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี<sup>5,6</sup> การป้องกันอันตรายจากการได้รับรังสีของเลนส์ตาจึงมีความสำคัญ การทราบค่าปริมาณรังสีที่เลนส์ตาได้รับอย่างแม่นยำจะช่วยในการประเมินความเสี่ยงของอาการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องติดอุปกรณ์วัดรังสีประจำตัวบุคคล เช่น อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (optically stimulated

of X-ray affect to Hp(3). The Hp(3) was significantly reduced when wearing the lead glasses which help to reduce the risk of opacities and cataract.

**Keywords:** OSL dosimeter, equivalent eye lens doses, phantom, nanoDot

luminescence; OSL) ที่มีความแม่นยำ สามารถตรวจสอบปริมาณรังสีที่ได้รับและป้องกันความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากรังสีและไม่เกินค่ามาตรฐานที่ ICRP กำหนด ซึ่งเป็นการวัดค่าปริมาณรังสียังผลที่ร่างกายได้รับ อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณรังสีของอวัยวะภายในร่างกายรวมถึงที่ตำแหน่งเลนส์ตาไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรง ดังนั้นวิธีการวัดปริมาณรังสีที่เป็นไปได้คือการติดเครื่องมือวัดรังสีไว้บนร่างกายของแต่ละคน การวัดปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลของเลนส์ตา (personal dose equivalent at for eye lens; Hp(3)) จะต้องทำการวัดที่ความลึก 3 มิลลิเมตร จากระดับผิวกระจกตา ซึ่งเป็นตำแหน่งของเลนส์ตา โดยความแม่นยำและความถูกต้องของการวัดขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดรังสี วิธีการและค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบ<sup>7</sup>

นอกจากนี้ การวัดรังสีที่มีปริมาณต่ำมากๆ จากรังสีกระเจิงสู่เลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานทำได้ยากการวัดค่าปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่างๆ และสถานการณ์ต่างๆ จำเป็นต้องใช้การคำนวณในการศึกษานี้ใช้อุปกรณ์เนื้อเยื่อจำลองที่มีลักษณะเป็นอะคริลิกทรงกระบอกแทนศีรษะมนุษย์ (phantom) เพื่อวัดปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล ชนิดนาโนดอท (nanoDot)<sup>8</sup> วัดดูประสงค์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีในการวัดรังสีปริมาณต่ำๆ และวัดค่าปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาโดยใช้เนื้อเยื่อจำลองจากนั้น นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าปริมาณรังสี จากการจำลองสถานการณ์ของผู้ปฏิบัติในการปฏิบัติงานกับรังสี กรณีที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สวมแว่นตาป้องกันรังสีและสวมแว่นตาป้องกันรังสี

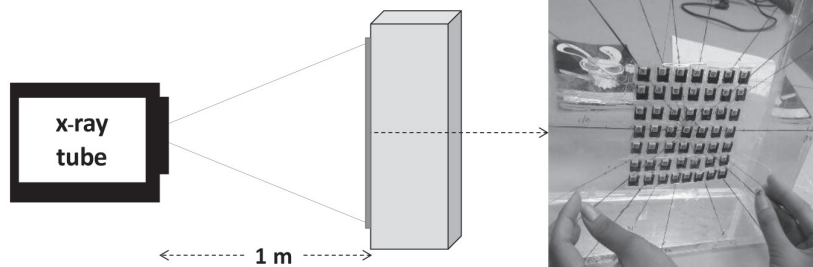
## วิธีการศึกษา

### การทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์วัดรังสี

ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีในการวัดค่าปริมาณรังสีต่ำๆ และตรวจสอบความถูกต้องในการวัดค่าปริมาณรังสีเพื่อคัดเลือกเฉพาะอุปกรณ์วัดรังสีที่มีค่า

ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ 15 มาใช้ในการทดลองต่อไป จัดวางเนื้อเยื่อจำลองอะคริลิกทรงสี่เหลี่ยมบรรจุน้ำ (water phantom) ห่างจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 1 เมตร โดยใช้เลเซอร์ด้านข้างและด้านหลังจากชุดอุปกรณ์ เพื่อปรับระยะให้ตรงกับลำรังสีเอกซ์ที่ปล่อยจากเครื่องเอกซเรย์ จากนั้น ติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท (nanoDot

OSL Dosimeter, LANDAUER®, Illinois, USA) รวม 50 แผ่น บนกึ่งกลาง phantom (รูปที่ 1) ตั้งค่าเครื่องฉายรังสีเอกซ์ โดยกำหนดความต่างศักย์ที่ให้กับหลอดเอกซเรย์เท่ากับ 80 กิโลโวลต์ (kV) และฉายปริมาณรังสีเอกซ์ 1,000 ไมโครซีเวิร์ต ( $\mu\text{Sv}$ ) บนแผ่น nanoDot ที่ติดไว้บนเนื้อเยื่อจำลอง จากนั้น นำไปอ่านค่าและบันทึกค่าปริมาณรังสี

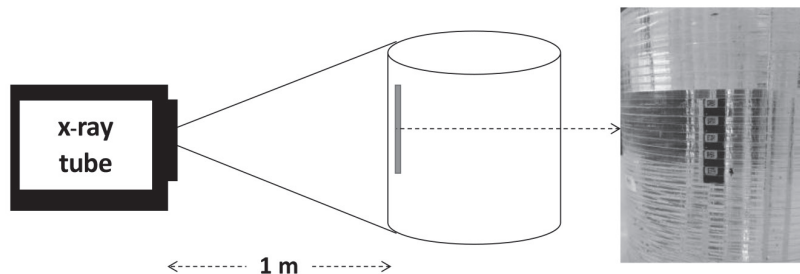


รูปที่ 1 การจัดวางอุปกรณ์และแผ่นวัดรังสี nanoDot บน phantom น้ำเพื่อทดสอบประสิทธิภาพแผ่นวัดรังสี

### การวัดปริมาณรังสีสมมูลเลนส์ตา Hp(3) โดยใช้เนื้อเยื่อจำลอง

วางเนื้อเยื่อจำลองอะคริลิกทรงกระบอก (phantom) ห่างจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 1 เมตร โดยใช้เลเซอร์ด้านข้างและด้านหลังจากชุดอุปกรณ์ เพื่อปรับระยะให้ตรงกับลำรังสีเอกซ์ที่ปล่อยจากเครื่องเอกซเรย์ใส่อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท จำนวน 5 แผ่น ใน phantom ที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร จากผิว phantom (รูปที่ 2) จากนั้น ตั้งค่าเครื่องฉายรังสีเอกซ์โดยกำหนดความต่างศักย์ที่

ให้กับหลอดเอกซเรย์เท่ากับ 40, 60 และ 80 kV จะได้รังสีเอกซ์พลังงาน 33, 47 และ 65 keV ตามลำดับ และกำหนดเวลาฉายรังสีเพื่อให้ได้ปริมาณรังสีเท่ากับ 500, 1,000 และ 2,000  $\mu\text{Sv}$  หรือเท่ากับ 1 Sv/y, 2 Sv/y และ 4S v/y ตามลำดับโดยชั่วโมงทำงาน 2,000 ชั่วโมง/ปี ค่าที่กำหนดอ้างอิงจากการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ทำให้เกิดเลนส์ตาคุ้งนั่ว (0.5-2.0 Sv) และต่อกระจก (5.0 Sv)<sup>9</sup> ฉายรังสีเอกซ์ลงบนแผ่นนาโนดอทครั้งละ 5 แผ่น ที่พลังงานและปริมาณรังสีที่กำหนด นำไปอ่านค่าและบันทึกค่าปริมาณรังสี

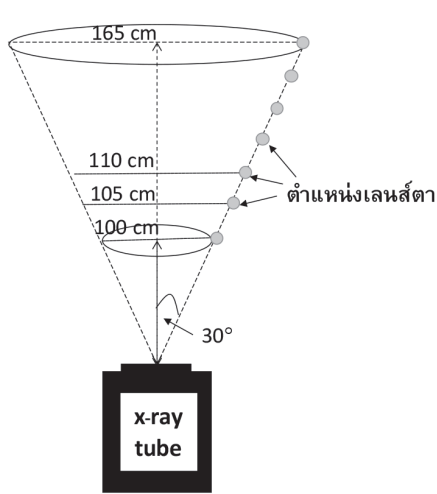


รูปที่ 2 การจัดวางอุปกรณ์และอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท บน phantom อะคริลิกทรงกระบอก เพื่อวัดค่าปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) ที่ความลึก 3 มิลลิเมตร

### การคำนวณปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) เมื่อผู้ปฏิบัติงานไม่สวมแว่นตาป้องกันรังสี

ในการปฏิบัติงานกับเครื่องฟลูออโรสโคปี กรณีที่หลอดเอกซเรย์อยู่ได้เตียง ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีอาจได้รับรังสีเอกซ์กระเจิงเข้าสู่ดวงตา เกิดการสะสมของปริมาณรังสีที่เลนส์ตา การจำลองตำแหน่งเลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานและระยะห่าง

จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้ตรีโกณมิติ เมื่อดวงตาทำมุม 30 องศา และห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี 100 เซนติเมตร ในแนวระดับ จากนั้น เพิ่มระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์และเลนส์ตาคั้งละ 5 เซนติเมตร จนถึง 165 เซนติเมตร (รูปที่ 3) และคำนวณค่า Hp(3) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของเลนส์ตา โดยใช้กฎผกผันกำลังสอง



รูปที่ 3 จุดของดวงตาทำมุม 30 องศา รอบแหล่งกำเนิดรังสีแบบจุดในแนวระดับ

### การคำนวณปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) เมื่อผู้ปฏิบัติงานสวมแว่นตาป้องกันรังสี

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสี เช่น แว่นตาป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของตะกั่ว ช่วยลดปริมาณรังสีจากการกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่ออกจากแหล่งกำเนิดรังสี โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของตะกั่วที่พลังงานต่างๆ (ตารางที่ 1)<sup>10</sup> จากนั้น แทนค่าลงในสมการการดูดกลืนรังสี เพื่อคำนวณค่า Hp(3) จากการจำลองสถานการณ์การปฏิบัติงานเมื่อผู้ปฏิบัติงานสวมแว่นตาป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของตะกั่ว โดยใช้ปริมาณรังสีที่คำนวณได้จากเลนส์ตามีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ 135 เซนติเมตร ในแนวระดับ และทำมุม 30 องศา กับแหล่งกำเนิดรังสี

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ของตะกั่วความหนา 0.075 เซนติเมตร

วัสดุ	พลังงาน (keV)	ความหนาแน่น (gm/cm <sup>3</sup> )	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (cm <sup>2</sup> /g)	ความหนา (cm)
ตะกั่ว	30.00		30.32	
Z=82	40.00	11.34	14.36	0.075
	60.00		50.21	

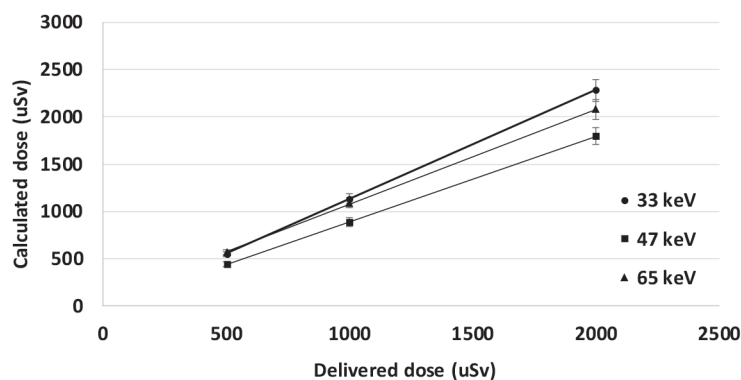
### ผลการศึกษา

#### ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การวัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท

ผลการทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์การวัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอทที่ติดบน phantom น้ำ จำนวน 50 แผ่น ด้วยปริมาณรังสี 1,000 ไมโครซีเวิร์ต พบว่า อุปกรณ์การวัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอททั้งหมด มีค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีเท่ากับ  $933.784 \pm 30.64$  ไมโครซีเวิร์ต และพบค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.11-5.84

#### ปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) โดยใช้เนื้อเยื่อจำลอง

ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่กำหนดให้ (delivered dose) และปริมาณรังสีที่คำนวณได้ (calculated dose) จากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท มีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้น โดยค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 1.00, 1.00 และ 0.99 ที่พลังงาน 33, 47 และ 65 keV ตามลำดับ (รูปที่ 4) โดยค่า Hp(3) ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าปริมาณรังสีที่กำหนดให้ทุกพลังงาน และที่พลังงาน 33 และ 65 keV ปริมาณรังสีทั้ง 3 ค่า มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนในช่วง 12-15 แต่ที่พลังงาน 47 keV ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน 7-10 (ตารางที่ 2)



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ให้และปริมาณรังสีที่วัดได้

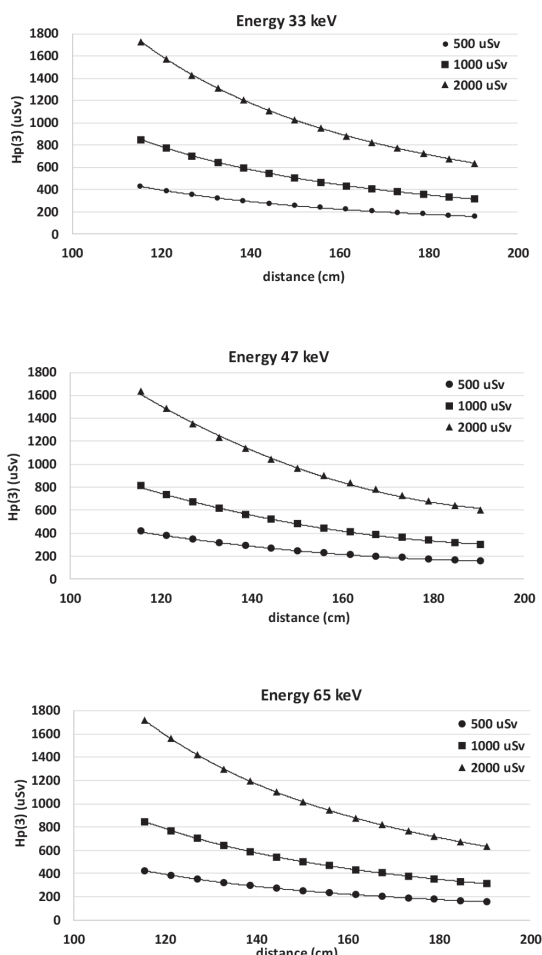
**ตารางที่ 2** ค่าปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาที่คำนวณได้จากการวัดที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร ของ phantom อะคริลิกทรงกระบอก และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

พลังงาน (keV)	Hp(3) (μSv)		
	500	1,000	2,000
33	567.27	1132.30	2305.81
%error ± S.D.	13.45 ± 34.39	13.23 ± 31.50	15.29 ± 98.94
47	552.36	1077.20	2176.38
%error ± S.D.	10.47 ± 29.42	7.72 ± 40.76	8.82 ± 53.58
65	564.77	1130.22	2292.40
%error ± S.D.	12.95 ± 14.30	13.02 ± 47.30	14.62 ± 130.51

**ปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) เมื่อผู้ปฏิบัติงานไม่สวมแว่นตาป้องกันรังสี**

เมื่อนำกฏกำลังสองผกผันมาใช้ในการจำลองสถานการณ์การได้รับรังสีของเลนส์ตา พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างดวงตากับแหล่งกำเนิดรังสีเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณรังสี 500 μSv ค่า Hp(3) ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณรังสี

เพิ่มขึ้นเป็น 1,000 μSv ค่า Hp(3) ลดลงเร็วขึ้น และปริมาณรังสี 2,000 μSv ค่า Hp(3) ลดลงอย่างรวดเร็ว และให้ผลเช่นเดียวกันที่พลังงาน 33, 47 และ 65 keV ซึ่งพบว่า กฏกำลังสองผกผัน จะช่วยลดปริมาณรังสีสูงๆ ลงได้มากเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5)



**รูปที่ 5** ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) จากการคำนวณ เมื่อใช้รังสีเอกซ์พลังงาน 33, 47 และ 65 keV (บน กลาง ล่าง ตามลำดับ) และระยะทางจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงเลนส์ตา กรณีไม่สวมแว่นตาป้องกันรังสี



**การคำนวณปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตา Hp(3) เมื่อผู้ปฏิบัติงานสวมแว่นตาป้องกันรังสี**

เมื่อจำลองสถานการณ์การได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีเมื่อสวมแว่นตาป้องกันรังสีขณะปฏิบัติงาน พบว่าที่ปริมาณรังสี 500  $\mu\text{Sv}$  ค่า Hp(3) ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 1,000  $\mu\text{Sv}$  ค่า Hp(3) ลดลงด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น และปริมาณรังสี 2,000  $\mu\text{Sv}$  ค่า Hp(3) ลดลงอย่างรวดเร็ว มีแนวโน้มเหมือนกันทุกช่วงพลังงาน 33, 47 และ 65 keV

เป็นไปตามกฎผกผันกำลังสอง และการสวมใส่แว่นตาตะกั่วป้องกันรังสี ที่มีความหนา 0.075 เซนติเมตร ช่วยลดปริมาณรังสี Hp(3) ที่พลังงาน 33 keV มากถึง  $10^9$  เท่าของปริมาณรังสี Hp(3) เมื่อเทียบกับการไม่สวมใส่แว่นตาป้องกันรังสีที่พลังงาน 47 keV ปริมาณรังสี Hp(3) ลดลง  $10^3$  เท่า และพลังงาน 65 keV สามารถลดค่าปริมาณรังสี Hp(3) ได้มากที่สุดถึง  $10^{12}$  เท่า (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่ได้จากการคำนวณ ที่พลังงานต่างๆ เปรียบเทียบเมื่อผู้ปฏิบัติงานสวมและไม่สวมแว่นตาป้องกันรังสีจากวัสดุตะกั่ว

พลังงาน (keV)	ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ( $\mu\text{Sv}$ )					
	500		1,000		2,000	
	ไม่สวมแว่น	สวมแว่น*	ไม่สวมแว่น	สวมแว่น*	ไม่สวมแว่น	สวมแว่น*
33	233.45	$1.48 \times 10^{-9}$	465.97	$2.95 \times 10^{-9}$	948.89	$6.00 \times 10^{-9}$
47	227.31	$1.13 \times 10^{-3}$	443.29	$2.20 \times 10^{-3}$	895.63	$4.45 \times 10^{-3}$
65	232.42	$6.61 \times 10^{-17}$	465.11	$1.16 \times 10^{-16}$	943.38	$2.36 \times 10^{-16}$

\*ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่คำนวณได้เมื่อผู้ปฏิบัติงานสวมแว่นตาตะกั่ว มีค่าต่ำกว่าความละเอียดของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี

**วิจารณ์**

ในทางปฏิบัติไม่สามารถติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอตในตำแหน่งเลนส์ตาจริงได้ แต่จะใช้การติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอตไว้ที่ด้านข้างของดวงตาหรือบนแว่นตาป้องกันรังสี ในการศึกษานี้ ใช้การติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอตที่ตำแหน่ง 3 มิลลิเมตร ในเนื้อเยื่อจำลองอะคริลิกทรงกระบอกที่ตำแหน่งนี้จึงได้ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณรังสี Hp(3) ที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าปริมาณรังสีที่ฉาย เนื่องมาจากการกระเจิงของรังสีเอกซ์บริเวณเนื้อเยื่อจำลองกลับเข้าสู่อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอต

การจำลองสถานการณ์การได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานรังสีเมื่อไม่สวมใส่แว่นตาตะกั่ว พบว่าค่าปริมาณรังสี Hp(3) เฉลี่ยที่คำนวณได้ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างดวงตากับแหล่งกำเนิดรังสีเพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามกฎผกผันกำลังสอง นอกจากนี้อัตราเร็วในการลดลงของค่าปริมาณรังสี Hp(3) ยังขึ้นกับปริมาณรังสี โดยปริมาณรังสีสูงปริมาณรังสี Hp(3) จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตำแหน่งของเลนส์ตา ดังนั้นตำแหน่งการยืนปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่จึงมีผลต่อการสะสมของรังสีเอกซ์ในเลนส์ตา

การประยุกต์ใช้ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ในการศึกษานี้ให้เหมาะกับการวัดปริมาณรังสีในงานรังสีร่วมรักษาแบบฟลูออโรสโคปี

การศึกษาค้นคว้านี้ทำให้ทราบว่า การคำนวณค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่ตำแหน่งเลนส์ตาจริง จะได้ค่ามากกว่าการคำนวณจากเครื่องมือวัดรังสีที่ติดตั้งตำแหน่งอื่นบนร่างกาย แต่การศึกษาค้นคว้านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง เนื่องจากไม่สามารถติดแผ่นนาโนคอตในดวงตาได้ นอกจากนี้การวัดค่าปริมาณรังสี Hp(3) ได้อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องนำปัจจัยอื่นๆ มาพิจารณาด้วย เช่น การแผ่รังสีจากหลอดเอกซเรย์ ซึ่งไม่ใช่แหล่งกำเนิดรังสีแบบจุด (point source) ส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณปริมาณรังสีที่ระยะต่างๆ นอกจากนี้ควรพิจารณาปริมาณรังสีที่มีการสะท้อนและกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่มาจากเครื่องกำเนิดรังสีรอบแหล่งกำเนิด ขนาดเตียงฟลูออโรสโคปี เนื้อเยื่อและความหนาของผู้ป่วย ตำแหน่งดวงตาของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงาน ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีและดวงตา พลังงานและปริมาณรังสีที่ใช้ในการรักษาขึ้นกับความหนาของร่างกายผู้ป่วยแต่ละคน และระยะเวลาการได้รับรังสี

ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่คำนวณจากการจำลองสถานการณ์การปฏิบัติงาน โดยพิจารณาระยะห่างระหว่าง

ดวงตา กับแหล่งกำเนิดรังสี โดยใช้กฎผกผันกำลังสองพบว่า เมื่อดวงตาทำมุม 30 องศา กับแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยสวมใส่แว่นตาป้องกันรังสีจากวัสดุตะกั่วที่มีความหนาอย่างน้อย 0.75 มิลลิเมตร สามารถลดค่าปริมาณรังสี Hp(3) ได้มากถึง  $10^3$  ถึง  $10^{12}$  เท่า ดังนั้น การสวมใส่แว่นตาป้องกันรังสีที่ทำจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลมาก เช่น ตะกั่ว จะช่วยลดค่าปริมาณรังสีที่สะสมในเลนส์ตาได้มากกว่า แว่นตาที่ทำจากแก้ว หรือพลาสติก จากข้อกำหนดค่าปริมาณรังสีสมมูลสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับเลนส์ตาที่ ICRP กำหนดคือ 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยระยะเวลาในการทำงานของบุคลากรด้านรังสีไม่เกิน 2,000 ชั่วโมงต่อปี จึงไม่ควรได้รับปริมาณรังสี Hp(3) เกิน 10 ไมโครซีเวิร์ตต่อชั่วโมง การปฏิบัติงานรังสีรักษาฟลูออโรสโคปใช้พลังงานและปริมาณรังสีต่ำในการปฏิบัติงาน ทำให้ค่าปริมาณรังสี Hp(3) ที่เลนส์ตาได้รับแต่ละครั้งจึงไม่เกินค่าปริมาณรังสีขีดเริ่มเปลี่ยนของผลชัดเจน (threshold for deterministic effect) หรือเมื่อได้รับปริมาณรังสีที่มากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะแสดงอาการบาดเจ็บของเลนส์ตาอย่างชัดเจน ได้แก่ เลนส์ตาขุ่นมัวคือ 0.5-2.0 ซีเวิร์ต และต่อกระจกคือ 5.0 ซีเวิร์ต<sup>10</sup> สำหรับผลของรังสีแบบไม่แสดงผลชัดเจน (stochastic effect) ซึ่งก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บจากรังสีต่อดวงตา เป็นเรื่องยากในการศึกษาและมีข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากอาการบาดเจ็บที่เลนส์ตาต้องอาศัยระยะเวลาในการแสดงอาการ มีเพียงข้อมูลทางสถิติของผู้ได้รับรังสีและมีการสะสมปริมาณรังสีต่ำๆ ที่เลนส์ตา แสดงรายงานอาการบาดเจ็บของเลนส์ตาที่มีสาเหตุจากรังสี<sup>6</sup> และการลดลงของค่าขีดจำกัดปริมาณรังสีสมมูลของเลนส์ตาตามประกาศของ ICRP<sup>5</sup>

การศึกษานี้ ทำการวัดปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาในเนื้อเยื่อจำลองโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 33, 47 และ 65 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์เท่านั้น และใช้การจำลองสถานการณ์จากการใช้รังสีร่วมรักษาแบบฟลูออโรสโคปในการคำนวณปริมาณรังสี Hp(3) ที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับขณะปฏิบัติงานที่ระยะต่างๆ และเปรียบเทียบปริมาณรังสี Hp(3) กรณีสวมใส่และไม่สวมใส่แว่นตาป้องกันรังสี แต่ในการปฏิบัติงานจริงมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าปริมาณรังสีที่เลนส์ตาได้รับ และการสะสมปริมาณรังสีที่เลนส์ตาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน มีความเสี่ยงต่อการเกิดของเลนส์ตาขุ่นมัว และต่อกระจกชนิด posterior subcapsular opacities ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีจำเป็นต้องตระหนักถึงอันตราย และสวมใส่แว่นตาป้องกันรังสีขณะปฏิบัติงานทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัยของเลนส์ตา

## สรุป

การวัดปริมาณรังสีสมมูลประจำตัวบุคคลที่เลนส์ตาในเนื้อเยื่อจำลองโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอท เพื่อให้ทราบค่าแนวโน้มปริมาณรังสีสมมูลเลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีร่วมรักษาโดยใช้เครื่องฟลูออโรสโคปพร้อมด้วย จำเป็นต้องมีการป้องกันอันตรายของรังสีต่อดวงตา โดยในการศึกษานี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอทซึ่งอยู่ในช่วงยอมรับได้ตามผลการรายงานปริมาณรังสีบุคคลของสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์<sup>11</sup> ที่มีช่วงความไม่แน่นอนร้อยละ 15 และอยู่ในช่วงมาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอทของบริษัท Landauer<sup>12</sup> ที่กำหนดความถูกต้องร้อยละ  $\pm 10$  สามารถวัดค่าปริมาณรังสีสะสมปริมาณรังสีต่ำๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลบนร่างกายขณะปฏิบัติงาน จึงเป็นการเฝ้าระวังค่าปริมาณรังสีบุคคลได้เป็นอย่างดีนอกจากนี้ การสวมแว่นตาป้องกันรังสี จะช่วยลดปริมาณรังสี Hp(3) ได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปฏิบัติงานในบริเวณที่มีปริมาณรังสีสูงๆ การเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีและสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันรังสี จะช่วยลดปริมาณรังสี Hp(3) สะสมที่เลนส์ตาได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

1. Sanchez RM, Vano E, Fernandez JM, Ginjaume M, Duch MA. Measurements of eye lens doses in interventional cardiology using OSL and electronic dosimeters. *Radiat Prot Dosimetry* 2014; 162: 569-76.
2. Klein BE, Klein R, Linton KL, Franke T. Diagnostic x-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am J Public Health* 1993; 83: 588-90.
3. Vano E, Gonzalez L, Beneytez F, Moreno F. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol* 1998; 71: 728-33.
4. Day R, Gorin MB, Eller AW. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys* 1995; 68: 632-642.
5. Authors on behalf of ICRP, Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-thresh-old doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP* 2012; 41: 1-322.

6. Lima AR, Da Silva FCA, Hunt JG. An overview of equivalent dose in eye lens of occupational radiation workers in medical, industrial, and nuclear areas. INAC2013: Proceedings of the International Nuclear Atlantic Conference; 2013 Nov 24-29 Recife, PE, Brazil; 2013: 1-11.
7. Mariotti F, Gualdrini G. Eye lens dosimetry A new Monte Carlo approach to define the operational quantity Hp(3). ENEA-TR-BAS; 2009: Italy
8. InLight Complete Dosimetry System Solution nanoDot Dosimeter. Landauer, Glenwood, Illinois 2012. Available from: [http://www.landauer.com/uploadedFiles/InLight\\_nanoDot\\_FN.pdf](http://www.landauer.com/uploadedFiles/InLight_nanoDot_FN.pdf) [Cited June 14, 2016]
9. ICRP publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 1991; 21(1-3): 1-201.
10. Internal Sources - National Institute of Standards and Technology (NIST). X-Ray Mass Attenuation Coefficients. Available: <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>. [Cited September 21, 2016]
11. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation and cataract: Staff protection. Vienna International Centre, 2013.
12. สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์. รายงานปริมาณรังสีบุคคลประจำเดือนธันวาคม. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2559.

