ความปลอดภัยทางรังสีสำหรับแรงงานของโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก

ช่อแก้ว โตวณะบุตร (พ.บ.)[1], อลิสรา วงศ์สุทธิเลิศ (พ.บ.)[2], สมจิต พฤกษะริตานนท์ (พ.บ., วท.ม.)[3]

[1]กลุ่มงานรังสีรักษา โรงพยาบาลมะเร็งชลบุรี กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข
[2]สาขาวิชารังสีวิทยาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี
[3]สาขาวิชาเวชศาสตร์ชุมชน อาชีวเวชศาสตร์ และเวชศาสตร์ครอบครัว คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

บทคัดย่อ

แรงงานของโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและต้อกระจกจากการได้รับรังสีในสถานประกอบการหรือโรงงานอุตสาหกรรม แรงงานทางรังสีจึงควรมีความรู้ว่าอาชีพของตนมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีในรูปแบบใดและการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีในระหว่างการปฏิบัติงานแบบใดจึงจะเหมาะสม นอกจากนั้น หน่วยงานที่มีการใช้รังสีควรมีการอบรมด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีให้กับแรงงาน ควรจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันรังสี และกำหนดมาตรการการเฝ้าระวังอันตรายจากรังสีที่สอดคล้องกับบริบทของหน่วยงาน

คำสำคัญ ความเสี่ยงทางอาชีพ การป้องกันอันตรายจากรังสี แรงงานทางรังสี แรงงานด้านอุตสาหกรรม

ผู้นิพนธ์ที่รับผิดชอบ ช่อแก้ว โตวณะบุตร
กลุ่มงานรังสีรักษา โรงพยาบาลมะเร็งชลบุรี กรมการแพทย์
กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดชลบุรี
E-mail: chokaewt@hotmail.com

วันที่รับผลงาน สิงหาคม 2562 **วันที่ตอบรับผลงาน ตุลาคม ๒๕๖๒**

Radiation safety for EEC workers

Chokaew Tovanabutra (M.D.)[1], Alisara Wongsuttilert (M.D.)[2] and Somjit Prueksaritanond (M.D., M.Sc.)[3]

[1]Department of Radiation Oncology, Chonburi Cancer Hospital, Department of Medical Services, Ministry of Public Health
[2]Division of Radiology and Nuclear Medicine, Faculty of Medicine, Burapha University, Chonburi
[3]Division of Community Medicine, Occupational Medicine and Family Medicine, Faculty of Medicine, Burapha University, Chonburi

Abstract

EEC workers have a risk of cancers and cataracts from radiation exposure while working in the workplace or industrial factories. Radiation workers should know that their routine works would have a risk of what types of radiation they are exposed to? And what types of radiation protection equipment they should use during their operations? In addition, the agency should provide training courses on radiation protection for the workers, provide radiation protection equipment, and establish radiation surveillance measures that are consistent with the context of the agency.

Keywords Occupational risks, Radiation protection, Radiation workers, Industrial workforces

Corresponding author Chokaew Tovanabutra
Department of Radiation Oncology,
Chonburi Cancer Hospital, Department of Medical Services,
Ministry of Public Health, Chonburi, Thailand.
E-mail: chokaewt@hotmail.com

Recive Date : August 2019 **Accepted Date : October 2019**

บทนำ

หลังจากที่รัฐบาลไทยได้ผลักดันโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor หรือ EEC) เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของจังหวัดชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา ให้เป็นเขตเศรษฐกิจชั้นนำของอาเซียน รัฐบาลไทยได้นำแนวคิด “Thailand 4.0” มาใช้ในการพัฒนาและมุ่งเน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม หน่วยงานทั้งภาครัฐและอุตสาหกรรมในพื้นที่ EEC จึงมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการผลิตพลังงาน การพัฒนาสินค้า การขนส่ง และการบริการ หนึ่งในเทคโนโลยีดังกล่าวคือ เทคโนโลยีด้านรังสีและพลังงานนิวเคลียร์[1] เมื่อมีการนำอุปกรณ์และเครื่องจักรที่นำเทคโนโลยีด้านรังสีดังกล่าวมาใช้ในหน่วยงานเพิ่มขึ้น อาจทำให้บุคลากรทางรังสี (radiation workers) และแรงงานในภาคอุตสาหกรรม (industrial workforces) ในหน่วยงานนั้นเสี่ยงต่อการได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดและอาจเกิดความเจ็บป่วยจากการได้รับรังสีในระหว่างการทำงาน แม้ปัจจุบัน ปริมาณรังสีที่บุคลากรทางการแพทย์และแรงงานในภาคอุตสาหกรรมได้รับส่วนใหญ่จะเป็นการได้รับปริมาณรังสีระดับต่ำ (low-dose radiation) แต่มีรายงานว่าแรงงานที่ได้รับปริมาณรังสีระดับต่ำเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่สูงขึ้นเนื่องจากเกิดสภาวะไม่เสถียรของยีน (genetic instability)[3-7] มีรายงานจากการวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) พบว่า การได้รับรังสีปริมาณต่ำที่ 100 มิลลิเกรย์เป็นระยะเวลานานมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (excess relative risk at 100 mGy of 0.19; 95% CI 0.07 to 0.32)[8] พยาธิสภาพสำคัญที่ก่อให้เกิดสภาวะไม่เสถียรของยีน (genomic instability หรือ GI) และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งหลังได้รับรังสีคือ low-dose hyper radiosensitivity (HRS) และ radiation induced bystander effect (RIBE) ภาวะ HRS คือภาวะที่เซลล์เพิ่มความไวต่อรังสีหลังได้รับรังสีปริมาณต่ำกว่า 200-300 มิลลิเกรย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์ที่มีการแบ่งตัวเร็ว (actively proliferating cells) ส่วนภาวะ RIBE คือ ภาวะที่เซลล์ที่ได้รับรังสีกระตุ้นให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ข้างเคียงผ่านการทำลายสายทั้งสองของดีเอ็นเอ (double-strand break) ด้วย 2 กลไก คือ 1.เซลล์ที่ได้รับรังสีหลั่งอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไว (reactive oxygen species; ROS) มาทำลายเซลล์ข้างเคียง และ 2.เซลล์ที่ได้รับรังสีส่งสัญญาณผ่านรอยต่อระหว่างเซลล์ (cell-to-cell junctions)[2,8] บุคลากรที่ทำงานเกี่ยวกับรังสีจึงควรทราบขีดจำกัดปริมาณรังสี (dose limit) สำหรับผู้ปฏิบัติงานด้านรังสี เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในอนาคต จากเอกสารตีพิมพ์ของคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection หรือ ICRP) ฉบับที่ 60 ได้กำหนดให้ปริมาณรังสีที่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานได้รับ (occupational exposure) โดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 20 mSv ต่อปีในระยะเวลา 5 ปีติดต่อกันหรือไม่ควรเกิน 50 mSv ต่อปีในหนึ่งปีนั้น และปริมาณรังสีที่ผิวหนัง แขนขาของผู้ปฏิบัติงานได้รับไม่ควรเกิน 500 mSv ต่อปี ส่วนเลนส์ตา ICRP ฉบับที่ 60 ได้กำหนดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานได้รับโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 150 mSv ต่อปี แต่ ICRP ฉบับที่ 118 ได้ปรับขีดจำกัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานได้รับโดยเฉลี่ยให้เป็นไม่ควรเกิน 20 mSv ต่อปีในระยะเวลา 5 ปีติดต่อกันหรือไม่ควรเกิน 50 mSv ต่อปีในหนึ่งปีนั้น[2]

ความปลอดภัยทางรังสีสำหรับบุคลากรทางการแพทย์

บุคลากรทางการแพทย์เป็นกลุ่มแรงงานที่มีอัตราการได้รับรังสีจากการทำงานสูงกว่าบุคลากรกลุ่มอื่นๆ [9] โดยเฉพาะอย่างยิ่งบุคลากรของงานสวนหัวใจและหลอดเลือด (cardiac catheterization)[10-14] งานผ่าตัดที่ใช้เครื่องฟลูโอโรสโคปี (image-guided intervention procedure หรือ IGIP)[18-23] และงานรังสีร่วมรักษา (interventional radiology)[18-23] เนื่องจาก

กลุ่มงานดังกล่าวใช้เครื่องฟลูโอโรสโคปี (fluoroscopy) ร่วมกับการรักษาโรค ผลลัพธ์ที่น่าสนใจคือ ศัลยแพทย์มือหนึ่งหรือแพทย์ผู้ทำหัตถการหลักของงานสวนหัวใจและหลอดเลือดจะได้รับรังสีกระเจิง (scatter radiation) ปริมาณสูงที่สุดในทีม[12-13] อวัยวะที่ได้รับรังสีกระเจิงสูงคือผิวหนังบริเวณมือและเลนส์ตา[13-14] การสวมแว่นตาแก้วตะกั่ว (lead eyeglasses) เพื่อป้องกันรังสีกระเจิงและใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีขณะทำหัตถการจะช่วยลดรังสีกระเจิงที่บุคลากรได้รับ Alazzoni และคณะ รายงานประสิทธิภาพของหมวกป้องกันรังสีแบบใหม่ พบว่าสามารถลดรังสีกระเจิงเฉลี่ยที่ศีรษะของผู้ปฏิบัติงานได้รับถึง 4.79 μSv (P<0.001)[15] นอกจากการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันรังสี แพทย์และนักรังสีการแพทย์ควรปรับเทคนิคการถ่ายภาพเพื่อลดรังสีกระเจิงจากเครื่องฟลูโอโรสโคปีที่ปล่อยออกมาในช่วงปฏิบัติงาน เช่น ลดการใช้ digital subtraction acquisitions หลีกเลี่ยงการถ่ายภาพด้านข้างที่ต้องหมุนหัวเครื่องฟลูโอโรสโคปีในแนวนอน (lateral angulation) และควรใช้ฉากกำบังรังสีตลอดระยะเวลาที่ทำการผ่าตัด เป็นต้น[16] สำหรับการผ่าตัดกระดูกและข้อโดยใช้ เครื่องฟลูโอโรสโคปี ศัลยแพทย์จะได้รับรังสีกระเจิงปริมาณสูงสุดและศัลยแพทย์รุ่นเยาว์จะได้รับรังสีกระเจิงในปริมาณที่สูงกว่าศัลยแพทย์ที่มีประสบการณ์ การทำผ่าตัดเล็ก (minimally invasive procedures) ก็จะได้รับรังสีกระเจิงสูงกว่าการทำผ่าตัดใหญ่ (open procedures)[17-19] ส่วนการศึกษาปริมาณรังสีกระเจิงที่บุคลากรงานผ่าตัดสมองและงาน endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP) ได้รับพบว่า ศัลยแพทย์มือหนึ่งได้รับรังสีกระเจิงที่สูงกว่าศัลยแพทย์ที่เป็นผู้ช่วย พยาบาล และนักรังสีการแพทย์เช่นกัน อวัยวะที่ได้รับรังสีกระเจิงสูงคือ ทรวงอก เลนส์ตา ต่อมไทรอยด์ และผิวหนังมือและขา[20-22] ดังนั้นตำแหน่งและหน้าที่ของบุคลากรในห้องผ่าตัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณรังสีที่บุคลากรได้รับ การใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีแบบ real-time สำหรับศัลยแพทย์มือหนึ่ง[20] และการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันรังสี[19,22] เช่น เสื้อตะกั่วสำหรับป้องกันรังสีที่ทรวงอก แผ่นตะกั่วบริเวณเชิงกราน การสวมแว่นตาแก้วตะกั่วป้องกันเลนส์ตา และการสวมปลอกคอตะกั่วป้องกันรังสีบริเวณต่อมไทรอยด์ โดยออกแบบการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันรังสีที่เหมาะสมกับบุคลากรแต่ละรายจะช่วยให้บุคลากรสามารถปฏิบัติงานได้คล่องตัวและช่วยลดความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีกระเจิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับงานรังสีร่วมรักษาพบว่าอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งของนักรังสีการแพทย์ในงานรังสีร่วมรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งผิวหนังชนิด melanoma (HR, 1.30; 95% CI, 1.05–1.61) และมะเร็งเต้านม (HR, 1.16; 95% CI, 1.02–1.32)[24-25] ส่วนกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานในงานรังสีวินิจฉัย งานรังสีรักษา และงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ มีรายงานว่าได้รับรังสีกระเจิงต่อปีในปริมาณที่ไม่เกินขีดจำกัดปริมาณรังสีที่ ICRP กำหนด[26-31] จากรายงานของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งสหประชาชาติว่าด้วยผลของรังสีปรมาณู (the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation หรือ UNSCEAR) ในปี พ.ศ. 2551 พบว่างานรังสีวินิจฉัย/งานรังสีร่วมรักษามีค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสีรายกลุ่ม (estimated average collective dose) สูงกว่างานงานรังสีรักษาและงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เพราะมีบุคลากรที่ทำงานในหน่วยงานดังกล่าวจำนวนมากกว่า ส่วนการประเมินปริมาณรังสียังผลต่อปี พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ของงานรังสีร่วมรักษามีค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปี (estimated average annual effective dose) สูงที่สุด รองลงมาคือ บุคลากรของงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ งานรังสีวินิจฉัย และงานรังสีรักษาตามลำดับ (ตารางที่ 1)[32] แม้ว่าบุคลากรดังกล่าวจะได้รับรังสีกระเจิงต่อปีในปริมาณที่ไม่เกินขีดจำกัด แต่พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อการเกิดมะเร็งเต้านมถึง 2.9 เท่า (adjusted OR=2.90, 95% CI: 1.19-7.04) และมะเร็ง

หลอดอาหาร 4.2 เท่า (OR=4.19, 95% CI: 1.87-9.38) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับรังสี[33-34] ด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ นักรังสีการแพทย์จะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่าแพทย์หรือพยาบาล เพราะนักรังสีการแพทย์เป็นผู้เตรียมสารละลายหรือแคปซูลที่บรรจุสารกัมมันตรังสีสำหรับตรวจวินิจฉัยหรือรักษาผู้ป่วย รวมทั้งเป็นผู้จัดการขยะรังสี ปริมาณรังสีที่นักรังสีการแพทย์ผู้เตรียมสารขึ้นอยู่กับชนิดของสารกัมมันตรังสี ปริมาณของกัมมันตภาพ (activity) ที่เตรียม และจำนวนครั้งที่เตรียม โดยผิวหนังบริเวณมือจะเป็นบริเวณของร่างกายที่ได้รับปริมาณรังสีสูงที่สุด[32]

ตารางที่ 1 ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสีรายกลุ่มและค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลของบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานในงานรังสีร่วมรักษา งานรังสีวินิจฉัย งานรังสีรักษา และงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์[32]

	งานรังสีร่วมรักษา	งานรังสีวินิจฉัย	งานรังสีรักษา	งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์
ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสีรายกลุ่ม (ซีเวิร์ต-คน)	3,370		60	87
ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปี (มิลลิซีเวิร์ตต่อปี)	1.6[ก] 3.1[ข]	0.5[ก] 1.2[ข]	0.5	0.7

หมายเหตุ [ก]ปริมาณรังสีของบุคลากรทางการแพทย์ที่ได้รับการติดตาม (monitored workers); [ข]ปริมาณรังสีของบุคลากรทางการแพทย์ที่ได้รับการตรวจวัดการได้รับรังสี (measurably exposed workers)

บุคลากรทางการแพทย์ที่ได้รับรังสีกระเจิงในระหว่างการปฏิบัติงาน นอกจากนั้นจะเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งบางชนิดสูงกว่าบุคลากรที่ไม่ได้รับรังสี ยังพบอุบัติการณ์ของโรคหลอดเลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติ (early atherosclerosis) โรคหลอดเลือดสมอง (stroke) และต้อกระจกเพิ่มขึ้นด้วย[35-37] มีรายงานว่าเลนส์ตาของบุคลากรงานรังสีร่วมรักษามีค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปีถึง 49.3 มิลลิซีเวิร์ต[38] ในปี พ.ศ.2560 ประเทศไทยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่เลนส์ตาได้รับระหว่างการสวมใส่แว่นตาที่มีเลนส์แก้วตะกั่วและไม่มีในบุคลากรของงานสวนหัวใจและหลอดเลือด โดยวัดปริมาณรังสีจากเครื่องวัดรังสี OSL ชนิด nanoDot ที่ติดทั้งด้านในและด้านนอกของแว่นตา พบว่าเลนส์ตาด้านขวาได้รับปริมาณรังสีไม่เกินค่าขีดจำกัดเมื่อสวมใส่แว่นทั้ง 2 ชนิด ส่วนเลนส์ตาด้านซ้ายของบุคลากร 2 รายจาก 42 รายพบว่าได้รับปริมาณรังสีที่ได้รับสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อสวมใส่แว่นตาที่ไม่มีเลนส์แก้วตะกั่ว (22 mSv และ 32 mSv ตามลำดับ) และเลนส์ตาซ้ายได้รับรังสีกระเจิงลดลงหลังสวมใส่แว่นตาที่มีเลนส์แก้วตะกั่ว[39-40] บุคลากรจึงควรใช้ฉากป้องกันรังสี สวมใส่แว่นตาแก้วตะกั่ว ยืนหรือนั่งโดยรักษาระยะห่างจากหลอดเอกซเรย์ระบบฟลูโอโรสโคปี และวางหัววัด (flat panel detector) ให้ชิดกับผู้ป่วย เพื่อลดปริมาณรังสีกระเจิงและลดการเกิดต้อกระจกในอนาคต[41-43] ผลลัพธ์จากงานวิจัยข้างต้นทำให้ ICRP ลดระดับขีดจำกัดปริมาณรังสีที่ดวงตาได้รับจากไม่ควรเกิน 150 mSv ต่อปี (ICRP 1990) เป็นเฉลี่ยไม่ควรเกิน 20 mSv ต่อปีในระยะเวลา 5 ปีติดต่อกันหรือไม่ควรเกิน 50 mSv ต่อปีในหนึ่งปีนั้น (ICRP 2012)[43-44] สำหรับบุคลากรของงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์พบว่าปริมาณรังสีที่เลนส์ตาได้รับไม่เกินขีดจำกัดปริมาณรังสีที่ ICRP กำหนด[44]

ความปลอดภัยทางรังสีสำหรับแรงงานในภาคอุตสาหกรรม

ด้านแรงงานในภาคอุตสาหกรรมก็มีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีเช่นกัน เมื่อย้อนดูประวัติศาสตร์ ในปี ค.ศ. 1934 มาดามคูรี (Marie Curie) เสียชีวิตจากภาวะไขกระดูกฝ่อ (aplastic anemia) เพราะได้รับปริมาณรังสีจากการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลายาวนาน[9] หลังจากการเสียชีวิตของมาดามคูรีในครั้งนั้นทำให้ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีตระหนักถึงอันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสี ในปี ค.ศ. 1989 สภาการวัดและป้องกันรังสีแห่งชาติ (National Council on Radiation Protection and Measurements หรือ NCRP) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รายงานอาชีพที่ได้รับปริมาณรังสีรอบปีสูงสุด คือ คนงานเหมืองแร่ยูเรเนียมใต้ดิน (underground uranium miners) คนงานในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (nuclear power plant workers) คนงานประกอบแท่งเชื้อเพลิง (fuel fabricators) แพทย์ (physicians) ลูกเรือบนเครื่องบิน (flight crews) คนงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม (industrial radiographers) และคนงานหยั่งธรณีหลุมเจาะ (well loggers)[45]

แรงงานภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ EEC จะมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีขณะทำงานจาก 2 แหล่ง แหล่งแรกคือรังสีที่มาจากธรรมชาติ (natural sources of radiation) เช่น ลูกเรือบนเครื่องบินที่ได้รับรังสีคอสมิก (cosmic ray) และคนงานในอุตสาหกรรมกลั่นก๊าซและน้ำมัน (gas and oil extraction) ที่ได้รับรังสีแกมมาจากเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างการขุดเจาะน้ำมัน แหล่งที่สองคือรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made sources) เช่น คนงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมและคนงานหยั่งธรณีหลุมเจาะที่ได้รับรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์จากอุปกรณ์ที่ใช้[32]

ตารางที่ 2 ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสีรายกลุ่มและค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลของแรงงานภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่ EEC[32]

	แรงงานที่ได้รับรังสี ที่มาจากธรรมชาติ		แรงงานที่ได้รับรังสี ที่มนุษย์สร้างขึ้น	
	ลูกเรือบนเครื่องบิน	คนงานในอุตสาหกรรมกลั่นก๊าซและน้ำมัน	คนงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม	คนงานหยั่งธรณีหลุมเจาะ
ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสีรายกลุ่ม (ซีเวิร์ต-คน)	165	na	170	0.71
ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปี (มิลลิซีเวิร์ตต่อปี)	1.80	0.11–0.45[ก] 0.02–0.1[ข] 0-0.28[ค] 2.8-4.1[ง]	1.50	0.50

หมายเหตุ n/a, not available หรือไม่ปรากฏข้อมูล; [ก]ปริมาณรังสีที่ได้รับจากการสูดดม; [ข]ปริมาณรังสีที่ได้รับจากการการกลืน; [ค]ปริมาณรังสีที่ได้รับจากท่อที่ไม่ได้ทำความสะอาด; [ง]ปริมาณรังสีที่ได้รับจากท่อที่ตกกระจายลงบนพื้น (pipe scale dispersed on the ground)

จากตารางที่ 2 จะพบว่า ลูกเรือบนเครื่องบินเป็นอาชีพที่เสี่ยงต่อการได้รับรังสีที่มาจากธรรมชาติสูงที่สุด (ค่าประมาณการเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปีคือ 1.80 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี) โดยลูกเรือจะได้รับรังสีคอสมิกระหว่างปฏิบัติงานบนเครื่องบิน ปัจจุบันเขตพื้นที่ EEC มีสนามบินจำนวน 2 แห่งคือ สนามบินสุวรรณภูมิและสนามบินอู่ตะเภา สนามบินทั้ง 2 แห่งนี้มีอัตราการเพิ่มจำนวนเที่ยวบินสูงขึ้นทุกปี การควบคุมปริมาณรังสีที่ลูกเรือบนเครื่องบินไม่ให้เกินขีดจำกัดปริมาณรังสีจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ มีรายงานปริมาณรังสีที่ลูกเรือของเที่ยวบินเชิงพาณิชย์ (commercial flight) จะได้รับในแต่ละเที่ยวบิน พบว่าปริมาณรังสีมีค่าตั้งแต่ 0.3 ไมโครซีเวิร์ตต่อเที่ยวบิน จนถึงเกินกว่า 60.0 ไมโครซีเวิร์ตต่อเที่ยวบิน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเส้นรุ้ง (latitude) ระดับความสูงของเครื่องบิน (altitude) และระยะเวลาในการบิน (duration) นอกจากนั้น ปริมาณรังสีที่ลูกเรือได้รับยังขึ้นกับเส้นทางการบิน (flight routes) และจำนวนชั่วโมงบินต่อปี (hours flown per year)[32] มีการศึกษาอัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งที่สัมพันธ์กับการได้รับรังสีของลูกเรือสายการบินเชิงพาณิชย์ 10 ประเทศ พบว่า อัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งที่สัมพันธ์กับการได้รับรังสีของลูกเรือชายในห้องนักบินลดลง (Standardized mortality ratio หรือ SMR เท่ากับ 0.73) แต่อัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งที่สัมพันธ์กับการได้รับรังสีของลูกเรือในห้องโดยสารทั้งเพศหญิงและเพศชายไม่เปลี่ยนแปลง ที่น่าสนใจคือพบอัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งผิวหนังชนิด malignant melanoma ของลูกเรือชายในห้องนักบินเพิ่มขึ้น (SMR เท่ากับ 1.57)[46] ดังนั้น ลูกเรือบนเครื่องบินจึงควรปฏิบัติตามกฎของคณะกรรมการการบินพลเรือนเรื่องการตรวจวัดระดับรังสีและปฏิบัติตามแนวทางการป้องกันอันตรายจากรังสีคอสมิกอย่างเคร่งครัด

สำหรับอุตสาหกรรมกลั่นก๊าซและน้ำมันในภาคตะวันออก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) มีโรงแยกก๊าซธรรมชาติตั้งอยู่ที่ ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ทำให้คนงานที่ทำงานในโรงแยกก๊าซมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีแกมมาจากเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ที่อยู่ในเปลือกโลกซึ่งถูกขุดขึ้นมาในระหว่างการขุดเจาะน้ำมัน รังสีแกมมาที่ปล่อยจากเรเดียม-226 สามารถแทรกซึมผ่านผนังของท่อและภาชนะ นอกจากนั้น เรเดียม-226 ยังสามารถตกค้างเป็นคราบสกปรกหรือตะกอนภายในท่อและภาชนะดังกล่าว คนงานที่ทำงานในโรงแยกก๊าซจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับรังสีแกมมา 2 ทางคือ 1. สูดดม (inhalation) ฝุ่นเรเดียมจากท่อระหว่างก๊าซหรือน้ำมันไหลผ่าน (pipe rattling) 2. การกลืน (ingestion) ฝุ่นเรเดียมจากท่อแบบไม่ตั้งใจ 3. การได้รับรังสีจากท่อที่ไม่ได้ทำความสะอาด (uncleaned pipes) และ 4. การได้รับรังสีจากท่อที่ตกกระจายลงบนพื้น (pipe scale dispersed on the ground) โดยปกติท่อและภาชนะโรงแยกก๊าซจะมีตัวกำบังรังสี แต่มีคนงานบางกลุ่มที่เสี่ยงต่อการได้รับรังสีมากกว่าปกติ เช่น คนงานบำรุงเครื่อง คนงานความสะอาดเครื่องมือที่ปนเปื้อนเรเดียม คนงานขนย้ายขยะหรือเครื่องมือที่มีการปนเปื้อนเรเดียม และคนงานกำจัดขยะปนเปื้อนเรเดียม[32] คนงานกลุ่มนี้ควรได้รับการตรวจวัดปริมาณรังสีเป็นประจำทุกปี

คนงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมคือ คนงานกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ที่มีรังสีเอกซเรย์หรือรังสีแกมมาสำหรับถ่ายภาพวัสดุต่างๆ เพื่อตรวจสอบรอยรั่วหรือรอยร้าวของวัสดุนั้นๆ เช่น ท่อส่งน้ำมัน แนวเชื่อม เหล็กหล่อ เสาปูน แผงบอร์ดอิเลคทรอนิคส์ เป็นต้น มีการศึกษาในประเทศอิหร่านพบว่า แรงงานกลุ่มนี้มีสภาวะไม่เสถียรของยีนสูงกว่าประชากรทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) เพราะรังสีที่แรงงานเหล่านี้ได้รับเป็นรังสีชนิดก่อไอออน[47] การศึกษาในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนยังพบว่า แรงงานกลุ่มนี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดต้อกระจกสูงกว่าคนทั่วไป ความเสี่ยงจะลดลงหากมีการใช้แผ่นตะกั่วกันรังสี สวมใส่แว่นตาแก้วตะกั่ว

และสวมใส่ชุดตะกั่วกันรังสี (lead aprons) ระหว่างการปฏิบัติงาน[48]

สำหรับคนงานหยั่งธรณีหลุมเจาะ คนงานกลุ่มนี้จะใช้กัมมันตรังสีหรือเครื่องเอกซเรย์วัดลักษณะทางธรณีวิทยา เช่น ความพรุน ความหนาแน่น และส่วนประกอบของพื้นที่บริเวณที่ทำการขุดเจาะเพื่อค้นหาแร่ธาตุ น้ำมัน หรือก๊าซ[32] คนงานกลุ่มนี้ควรสวมใส่ชุดตะกั่วกันรังสีและถุงมือกันรังสีในระหว่างปฏิบัติงาน ควรพกเครื่องวัดปริมาณรังสีในระหว่างปฏิบัติงานทุกครั้ง และควรมีการวางป้ายเตือนและจำกัดพื้นที่ (control area) ไม่ให้ผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าไปในบริเวณที่กำลังหยั่งธรณีหลุมเจาะ[49]

อันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสีชนิดก่อไอออน

เมื่อเซลล์ของร่างกายได้รับรังสีชนิดก่อไอออน (ionizing radiation) รังสีจะทำอันตรกริยา (interaction) กับส่วนประกอบของเซลล์ เกิดการทำลายสายดีเอ็นเอ (DNA damage) และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีน หากกระบวนการซ่อมแซมเซลล์ของร่างกาย (cell repair) ไม่มีประสิทธิภาพพอจะเกิดผลกระทบต่อร่างกายดังต่อไปนี้[50]

1. ผลของรังสีระยะเฉียบพลัน (acute radiation effect)

เกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นหลังได้รับปริมาณรังสีที่เกินกว่าระดับที่ก่อให้เกิดอันตราย (threshold dose) ทำให้เซลล์เกิดการตายและอวัยวะของร่างกายอาจสูญเสียหน้าที่การทำงาน เช่น แรงงานที่ได้รับปริมาณรังสีเกิน 1 Gy (100 rad) ในเวลาอันสั้น จะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร ไข้สูง ท้องเสีย และอาจพบอาการแดงคันที่ผิวหนัง โดยไม่มีสาเหตุของอาการที่ชัดเจน หากพบแรงงานที่มีอาการดังกล่าวควรสอบถามประวัติการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีหรือเหตุการณ์ที่เสี่ยงต่อการได้รับรังสีเพื่อช่วยในการวินิจฉัย

2. ผลของรังสีระยะยาว (long-term radiation effect)

หากเซลล์ของร่างกายได้รับปริมาณรังสีระดับต่ำในระยะเวลานานๆ เซลล์อาจจะมีการซ่อมแซมทำให้ได้เซลล์ใหม่ที่ผิดปกติ เพิ่มความเสี่ยงต่อการกลายพันธุ์ของเซลล์ (cell mutation) และการเกิดโรคมะเร็ง (radiation-induced second cancer) มีรายงานพบว่า ผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์ที่ ICRP กำหนดเป็นระยะเวลานานพบอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวสูงขึ้นในช่วง 5-10 ปี และพบมะเร็งชนิดเป็นก้อน (solid cancers) สูงขึ้นในช่วง 20 ปี ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีควรเฝ้าระวังปริมาณรังสีที่ตนได้รับให้อยู่ในเกณฑ์ตามที่ ICRP กำหนด ส่วนการเกิดโรคทางพันธุกรรม (hereditary diseases) มีรายงานว่า การได้รับรังสีไม่ได้ทำให้เกิดโรคทางพันธุกรรมในรูปแบบใหม่ แต่เป็นการเพิ่มอัตราการกลายพันธุ์โดยธรรมชาติ (spontaneous mutation rate) ของโรคทางพันธุกรรมที่มีอยู่เดิม (ปกติเกิดขึ้นไม่เกินร้อยละ 1-6)

3. ผลของรังสีต่อทารกในครรภ์ (teratogenic effect)[50-55]

แม้ว่าทารกในครรภ์จะได้รับปริมาณรังสีน้อยกว่ามารดาเพราะรังสีถูกดูดกลืนในเนื้อเยื่อระหว่างผิวหนังถึงมดลูก แต่เนื่องจากทารกในครรภ์มีความไวต่อรังสีชนิดก่อไอออนอย่างมาก ทำให้ปริมาณรังสีที่ได้รับแม้ว่าไม่เกิดผลกระทบต่อมารดาแต่อาจมีผลกระทบต่อทารกในครรภ์ เช่น การเจริญเติบโตล่าช้า (growth retardation) รูปร่างผิดปกติ (malformations) การทำงานของสมองบกพร่อง (impaired brain function) และเกิดมะเร็งในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทารกที่มีอายุครรภ์อยู่ในช่วง 12 สัปดาห์แรก ทารกของแรงงานที่ตั้งครรภ์ทั้งภาคอุตสาหกรรมและทางการแพทย์อาจได้รับรังสีอย่างไม่ได้ตั้งใจในขณะปฏิบัติงาน โดยทารกอาจจะได้รับรังสีจากภายนอก (เช่น นักรังสีการแพทย์ได้รับรังสีในระหว่างการเอกซเรย์ผู้ป่วยโดยไม่ทราบว่าตนเองตั้งครรภ์ แรงงานหญิงที่ตรวจสอบแผงบอร์ดอิเลคทรอนิคส์ที่ตั้งครรภ์แต่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสี

หรือไม่ได้รับการปรับเปลี่ยนตำแหน่งงานที่เหมาะสมในระหว่างการตั้งครรภ์ เป็นต้น) หรือได้รับรังสีจากภายใน (เช่น แรงงานหญิงรับประทานสารกัมมันตรังสีเพื่อการรักษาโรคโดยไม่ทราบว่าตั้งครรภ์ นักรังสีการแพทย์ห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ไม่ทราบว่าตนเองตั้งครรภ์และรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีหรือมีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีเข้าทางบาดแผล เป็นต้น) สารกัมมันตรังสีบางชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของทารก เช่น สารกัมมันตรังสีไอโอดีนที่มีการสะสมในทารกมากกว่าที่เนื้อเยื่อของมารดา สารกัมมันตรังสีบางชนิดสามารถสะสมในเนื้อเยื่อรอบมดลูกและกระเพาะปัสสาวะของมารดา ซึ่งอาจแผ่รังสีไปยังทารกในครรภ์ นอกจากนี้ สารกัมมันตรังสีบางชนิดมีความจำเพาะกับอวัยวะและเนื้อเยื่อของทารก เช่น สาร Iodine-131 หรือ Iodine-123 จะสะสมในต่อมไทรอยด์ สาร Iron-59 สะสมในตับ สาร Gallium-67 สะสมในม้าม สาร Strontium-90 และ Yttrium-90 สะสมในกระดูก ทำให้การประเมินปริมาณรังสีที่ทารกในครรภ์ได้รับต้องทำด้วยความระมัดระวังและรอบคอบโดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ เช่น นักฟิสิกส์รังสี เป็นต้น หากทารกได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอก เราสามารถวัดปริมาณรังสีบริเวณท้องของมารดาเพื่อคำนวณปริมาณรังสีที่คาดว่าทารกในครรภ์จะได้รับ แต่ถ้าทารกได้รับรังสีจากภายในร่างกายของมารดา เช่น มารดารับประทานสารกัมมันตรังสี รับประทานอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี หรือมีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีเข้าทางบาดแผล สารกัมมันตรังสีจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดและผ่านรกเข้าสู่ทารกในครรภ์ได้ กรณีดังกล่าวการคำนวณปริมาณรังสีที่ทารกในครรภ์ได้รับจะมีความซับซ้อนมากกว่า

ผลกระทบต่อสุขภาพทารกเมื่อทารกได้รับรังสีมีทั้งผลกระทบที่ไม่ใช่โรคมะเร็ง (non-cancer health effects) เช่น ความผิดปกติแต่กำเนิด (congenital effects) และผลกระทบที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogenic effects) พบว่า ทารกที่ได้รับรังสีน้อยกว่า 0.05 Gy ตลอดระยะการตั้งครรภ์จะไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติแต่กำเนิด ส่วนปริมาณรังสีที่อาจก่อให้เกิดความผิดปกติแต่กำเนิดอยู่ในช่วง 0.1-0.2 Gy ความผิดปกติแต่กำเนิดของทารกยังขึ้นกับช่วงอายุครรภ์ที่ได้รับรังสีดังนี้

- ก่อนอายุครรภ์ 2 สัปดาห์ (หลังการปฏิสนธิ) ปริมาณรังสีที่มากกว่า 0.1 Gy มักจะทำให้ตัวอ่อน เสียชีวิต เนื่องจากระยะนี้ตัวอ่อนประกอบด้วยเซลล์ตั้งต้นเพียงไม่กี่เซลล์ ความเสียหายที่เกิดขึ้นเพียงหนึ่งเซลล์สามารถทำให้ตัวอ่อนเสียชีวิตและไม่สามารถฝังตัวในมดลูกได้
- อายุครรภ์ 16 สัปดาห์ขึ้นไป ระบบประสาทส่วนกลางของทารกในครรภ์มีความไวต่อรังสีลดลง ทารกจะเกิดความผิดปกติแต่กำเนิดเมื่อปริมาณรังสีที่ได้รับสูงกว่า 0.5 - 0.7 Gy
- อายุครรภ์ 26 สัปดาห์ขึ้นไป เป็นระยะที่ทารกในครรภ์มีความไวต่อรังสีน้อยที่สุด แต่ถ้าทารกได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 1 Gy จะเสี่ยงต่อการคลอดก่อนกำหนดและมีอัตราการตายคลอดสูงขึ้น

สำหรับผลกระทบที่ก่อให้เกิดมะเร็งพบว่าทารกที่ได้รับรังสีมีความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งในเด็ก (childhood cancer) เพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีหลักฐานยืนยันว่า ทารกที่ได้รับรังสีจะมีความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (lifetime cancer risk) สูงกว่าทารกทั่วไป มีรายงานว่า ทารกที่ได้รับปริมาณรังสีไม่เกิน 0.05 Gy มีอุบัติการณ์การเกิดโรคมะเร็งในเด็กเพียงร้อยละ 0.3-1.0 ในขณะที่ทารกที่ได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 0.5 Gy จะพบอุบัติการณ์มากกว่าร้อยละ 6.0 โดยไม่คำนึงถึงอายุครรภ์ในขณะที่ทารกได้รับรังสี เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ได้รับแต่ละช่วงอายุครรภ์กับการก่อมะเร็งยังไม่ชัดเจน ปัจจุบันจึงมีการยอมรับว่า ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งในเด็กเมื่อได้รับรังสีเท่ากันตลอดทุกช่วงอายุครรภ์ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในสัตว์ทดลองพบว่า ช่วงระยะท้ายของการตั้งครรภ์มีความไวต่อการเกิดมะเร็งอย่าง

ชัดเจน ในขณะที่ระยะแรกของการตั้งครรภ์ (ระยะ blastogenesis และ organogenesis) พบว่าความไวต่อการเกิดมะเร็งไม่เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ICRP จึงได้เสนอแนะว่า คนงานสตรีตั้งครรภ์สามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมที่มีรังสีได้ หากรับรองได้ว่าปริมาณรังสีที่ทารกในครรภ์ได้รับ (fetal dose) ต่ำกว่า 1 มิลลิซีเวิร์ต ตลอดระยะเวลาการตั้งครรภ์ และถ้าปริมาณรังสีที่ตัวอ่อนได้รับน้อยกว่า 100 มิลลิเกรย์ สตรีท่านนั้นไม่จำเป็นต้องยุติการตั้งครรภ์เพราะโอกาสที่ทารกจะเป็นโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวหรือมะเร็งชนิดเป็นก้อนในอนาคตน้อยกว่าร้อยละ 1.0 แต่ถ้าปริมาณรังสีที่ตัวอ่อนได้รับมากกว่า 500 มิลลิเกรย์ จะส่งผลให้มีการทำลายตัวอ่อนอย่างมีนัยสำคัญและอาจจะต้องพิจารณายุติการตั้งครรภ์ โดยพิจารณาอายุครรภ์ของมารดาร่วมด้วย อนึ่งความไวของรังสียังขึ้นอยู่กับอายุครรภ์เช่น ไตรมาสแรกของการตั้งครรภ์ มีความไวต่อรังสีสูงสุดและมีความเสี่ยงสูงสุด ดังนั้น หากผู้ปฏิบัติงานทราบว่าตนกำลังตั้งครรภ์ ควรแจ้งให้หัวหน้างานหรือหน่วยงานทราบเพื่อปรับเปลี่ยนหน้าที่และภาระงานให้สัมผัสกับรังสีลดลง และหากแรงงานหญิงวัยเจริญพันธุ์ต้องได้รับการรักษาด้วยรังสี แรงงานหญิงดังกล่าวควรได้รับการสอบถามประวัติการตั้งครรภ์และควรตรวจสอบการตั้งครรภ์หากไม่แน่ใจว่าตั้งครรภ์หรือไม่ทุกราย

จากผลกระทบของรังสีต่อร่างกายที่กล่าวมาข้างต้น บุคลากรที่ทำงานด้านรังสีทั้งทางการแพทย์และในภาคอุตสาหกรรมจึงควรปฏิบัติตามหลักการป้องกันอันตรายจากรังสีชนิดก่อไอออนเพื่อลดปริมาณรังสีที่ตนจะได้รับระหว่างการปฏิบัติงาน โดยใช้หลักการ As Low As Reasonably Achievable หรือ ALARA ดังต่อไปนี้[56]

1. มีการตัดสินใจใช้รังสีอย่างสมเหตุสมผล (justification of the practice) ว่าการใช้รังสีมีประโยชน์มากกว่าอันตราย

2. มีการกำหนดระดับของการป้องกันอันตรายจากรังสีให้เหมาะสมกับสภาพของการปฏิบัติงานนั้นๆ (optimization of radiation protection) เช่น ลดปริมาณรังสีลงเมื่อคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีเป็นที่ยอมรับ

3. มีการกำหนดขีดจำกัดปริมาณรังสีส่วนบุคคล (individual dose limitation)

เทคนิคพื้นฐานในการป้องกันอันตรายจากรังสีส่วนบุคคลมีปัจจัยที่ควรพิจารณา 3 ประการ[56]

1. เวลา (time) หมายถึง บุคลากรควรควบคุมเวลาในการปฏิบัติงานกับสารรังสีให้เหลือน้อยที่สุด โดยปริมาณรังสีจะแปรผันโดยตรงตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป (ปริมาณรังสี α ระยะเวลา)

2. ระยะทาง (distance) หมายถึง บุคลากรควรรักษาระยะห่างระหว่างตนเองกับสารรังสีหรือแหล่งกำเนิดรังสี ปริมาณรังสีจะลดลงตามระยะทางยกกำลังสอง (ปริมาณรังสี μ 1 / ระยะทาง^2) โดยพิจารณาระยะที่เหมาะสมตามความแรงของต้นกำเนิดรังสีและความเหมาะสมในการปฏิบัติงานของสาขาอาชีพนั้นๆ

3. เครื่องกำบังรังสี (shielding) หมายถึง บุคลากรควรใช้อุปกรณ์กำบังรังสี อาทิ แว่นตาแก้วตะกั่ว เสื้อตะกั่ว ฉากตะกั่ว ปลอกคอตะกั่ว ในกรณีที่ไม่สามารถลดระยะเวลาการปฏิบัติงานหรืออยู่ห่างจากสารรังสีหรือแหล่งกำเนิดรังสีได้ แว่นตาแก้วตะกั่ว (lead eyeglasses) จะใช้เลนส์ที่ทำมาจากแก้วตะกั่ว (lead glass หรือ lead crystal) แก้วชนิดนี้จะใช้ตะกั่วออกไซด์ (lead oxide) แทนที่แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) และใช้โพแทสเซียมออกไซด์ (potassium oxide) แทนที่โซเดียมออกไซด์ (sodium oxide) โดยตะกั่วจะถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างเคมีของแก้วและถ้าแก้วมีปริมาณของตะกั่วสูงถึงร้อยละ 65 จะทำให้แก้วมีคุณสมบัติในการสามารถดูดซับรังสีเอกซ์และแกมม่าได้ดี[57]

ดังนั้นสถานประกอบการหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำรังสีมาใช้ ควรมีมาตรการ

การป้องกันอันตรายจากรังสีทั้งส่วนบุคคลและในสถานที่ทำงาน การป้องกันอันตรายจากรังสีส่วนบุคคลนอกจากจะอบรมบุคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจเรื่องเทคนิคพื้นฐานในการป้องกันรังสีดังกล่าวข้างต้น หน่วยงานควรมีมาตรการให้บุคลากรควรติดอุปกรณ์วัดรังสีส่วนบุคคลชนิด optically stimulated luminescence dosimetry (OSL) หรือ electronic personal dosimeters (EPD) ให้บุคลากรพกติดตัวในระหว่างการปฏิบัติงาน นอกจากนั้น หน่วยงานควรมีมาตรการป้องกันอันตรายจากรังสีในสถานที่ทำงาน ปริมาณรังสีที่เกินเกณฑ์ในสถานที่ทำงานเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น การรั่วไหลของรังสีจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางรังสีที่ชำรุดหรือเสื่อมสภาพ การปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีในอากาศ ในน้ำ พื้นผิวของเครื่องมือ หรือผนังและพื้นของสถานที่ทำงาน เป็นต้น หน่วยงานจึงต้องจัดหาเครื่องสำรวจปริมาณรังสีในพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่น เครื่องวัดไกเกอร์-มูลเลอร์ เคาน์เตอร์ (Geiger-Müller counter) และเครื่องวัดชนิด Ionization Chamber[57] เพื่อให้บุคลากรทางรังสีใช้สำรวจและเฝ้าระวังปริมาณรังสีในสถานที่ทำงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

สรุป

การเติบโตของโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกทำให้มีหน่วยงานที่นำรังสีมาใช้ทั้งด้านการแพทย์และด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นทุกปี แม้ว่าแรงงานที่ทำงานด้านรังสีส่วนใหญ่จะได้รับปริมาณรังสีในระหว่างการทำงานไม่เกินเกณฑ์ที่ ICRP กำหนด แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปริมาณรังสีที่แรงงานได้รับนั้นเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและต้อกระจก แรงงานที่ทำงานด้านรังสีจึงควรมีความรู้ว่าอาชีพของตนมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีในรูปแบบใด รวมทั้งควรตระหนักถึงความสำคัญของการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีในระหว่างการปฏิบัติงานและปฏิบัติตามมาตรการการป้องกันรังสีของหน่วยงานอย่างเคร่งครัด

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. เผยแผนพัฒนานิวเคลียร์ ปี 60- 69 เพื่อคนไทย ยึดนโยบายรัฐไทยแลนด์ 4.0 – ประชารัฐ. (2560, มิถุนายน). สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. เข้าถึงเมื่อ: 01 มิถุนายน 2560. เข้าถึงได้จาก: http://www.oap.go.th/component/content/article/98-thai/information/news/584-60-69-4-0
2. Piotrowski I, Kulcenty K, Suchorska WM, Skrobała A, Skórsk, M, Kruszyna-Mochalska M, et al. Carcinogenesis induced by low-dose radiation. Radiol Oncol. 2017; 51: 369-77.
3. Sigurdson AJ, Bhatti P, Preston DL, Doody MM, Kampa D, Alexander BH, et al. Routine diagnostic X-ray examinations and increased frequency of chromosome translocations among U.S. radiologic technologists. Cancer Res. 2008; 68: 8825-31.
4. Zakeri F, Hirobe T. A cytogenetic approach to the effects of low levels of ionizing radiations on occupationally exposed individuals. Eur J Radiol. 2010ว 73: 191-5.
5. Djokovic-Davidovic J, Milovanovic A, Milovanovic J, Antic V, Gajic M. Analysis of chromosomal aberrations frequency, haematological parameters and received doses by nuclear medicine professionals. J BUON. 2016; 21: 1307-15.

6. Kumar D, Kumari S, Salian SR, Uppangala S, Kalthur G, Challapalli S, et al. Genetic instability in lymphocytes is associated with blood plasma antioxidant levels in health care workers occupationally exposed to ionizing radiation. Int J Toxicol. 2016; 35: 327-35.
7. Qian QZ, Cao XK, Liu HY, Shen FH, Wang Q, Tong JW, et al. Analysis of hemogram of radiation workers in Tangshan, China. J Clin Lab Anal. 2016; 30: 682-8.
8. Daniels RD. Schubauer-Berigan MK. A meta-analysis of leukaemia risk from protracted exposure to low-dose gamma radiation. Occup Environ Med. 2011; 68: 457-64.
9. Linet MS, Kim KP, Miller DL, Kleinerman RA, Simon SL, Berrington GA. Historical review of occupational exposures and cancer risks in medical radiation workers. Radiat Res. 2010; 174: 793-808.
10. Venneri L, Rossi F, Botto N, Andreassi MG, Salcone N, Emad A, et al. Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: insights from the National Research Council's Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report. Am Heart J. 2009; 157: 118-24.
11. Beganović A, Bašić B, Gazdić-Šantić M, Kulić M, Spužić M, Skopljak-Beganović A, et al. Occupational and patient exposure in interventional cardiology in Bosnia and Herzegovina. Radiat Prot Dosimetry. 2011; 147: 102-5.
12. Kaljevic J, Ciraj-Bjelac O, Stankovic J, Arandjic D, Bozovic P, Antic V. Occupational dose assessment in interventional cardiology in Serbia. Radiat Prot Dosimetry. 2016; 170: 279-83.
13. Sauren LD, van Garsse L, van Ommen V, Kemerink GJ. Occupational radiation dose during transcatheter aortic valve implantation. Catheter Cardiovasc Interv. 2011; 78: 770-6.
14. Bacchim Neto FA, Alves AF, Mascarenhas YM, Nicolucci P, Pina DR. Occupational radiation exposure in vascular interventional radiology: A complete evaluation of different body regions. Phys Med. 2006; 32: 1019-24.
15. Alazzoni A, Gordon CL, Syed J, Natarajan MK, Rokoss M, Schwalm J D, et al. Randomized controlled trial of radiation protection with a patient lead shield and a novel, nonlead surgical cap for operators performing coronary angiography or intervention. Circ Cardiovasc Interv. 2015; 8: e002384.
16. Mohapatra A, Greenberg RK, Mastracci TM, Eagleton MJ, Thornsberry B. Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures. J Vasc Surg. 2013; 58: 702-9.
17. Radhi AM, Masbah O, Shukur MH, Shahril Y, Taiman K. Radiation exposure to operating theatre personnel during fluoroscopic-assisted orthopaedic surgery. Med J Malaysia. 2016; 61 (Suppl A): 50-2.

18. Mahajan A, Samuel S, Saran AK, Mahajan MK, Mam MK. Occupational radiation exposure from C arm fluoroscopy during common orthopaedic surgical procedures and its prevention. J Clin Diagn Res. 2015; 9: 1-4.
19. Kesavachandran CN, Haamann F, Nienhaus A. Radiation exposure of eyes, thyroid gland and hands in orthopaedic staff: a systematic review. Eur J Med Res. 2012; 30: 17-28.
20. James RF, Wainwright KJ, Kanaan HA, Hudson S, Wainwright ME, Hightower JH, et al. Analysis of occupational radiation exposure during cerebral angiography utilizing a new real time radiation dose monitoring system. J Neurointerv Surg. 2015; 7: 503-8.
21. Sulieman A, Elzaki M, Khalil M. Occupational exposure to staff during endoscopic retrograde cholangiopancreatography in Sudan. Radiat Prot Dosimetry. 2011; 144: 530-3.
22. Oztas E, Parlak E, Kucukay F, Arhan M, Daglı U, Etik DO, et al. The impact of endoscopic retrograde cholangiopancreatography education on radiation exposure to experienced endoscopist: 'trainee effect'. Dig Dis Sci. 2012; 57: 1134-43.
23. Lönnroth N, Hirvonen-Kari M, Timonen M, Savolainen S, Kortesniemi M. Transition in occupational radiation exposure monitoring methods in diagnostic and interventional radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2012; 151: 58-66.
24. Rajaraman P, Doody MM, Yu C L, Preston DL, Miller JS, Sigurdson A J, et al. Cancer risks in U.S. radiologic technologists working with fluoroscopically guided interventional procedures, 1994-2008. AJR Am J Roentgenol. 2016; 206: 1101-8.
25. Ko S, Kang S, Ha M, Kim J, Jun JK, Kong KA, et al. Health effects from occupational radiation exposure among fluoroscopy-guided interventional medical workers: a systematic review. J Vasc Interv Radiol. 2018; 29: 353-66.
26. Masood K, Ahmad M, Zafar J, ul Haq M, Ashfaq A, Zafar H. Assessment of occupational exposure among Pakistani medical staff during 2007-2011. Australas Phys Eng Sci Med. 2012; 35: 297-300.
27. Saengruang-Orn S, Mongkolsuk M, Rangsiphat T. The average collective equivalent dose and fatal cancer risk for radiation workers in Radiology department at Phramongkutklao hospital, 2004-2008. J Med Assoc Thai. 2012; 95(Suppl 5): S96-102.
28. Samerdokiene V, Atkocius V, Ofomala R. Radiation exposure received by the medical radiation workers in Lithuania at the Institute of oncology, Vilnius university, 2004-2011. Radiat Prot Dosimetry. 2013; 157: 152-7.

29. Park M, Kim GS, Ji YH, Jung MS, Kim KB, Jung H. Trends of the effective dose distribution of occupational exposures in medical and research departments for KIRAMS in Republic of Korea. Radiat Prot Dosimetry. 2014; 158: 241-5.
30. ALMasri HY, Kakinohana Y, Yogi T. Occupational radiation monitoring at a large medical center in Japan. Radiol Phys Technol. 2014; 7: 271-6.
31. Lee J, Cha ES, Jeong M, Lee WJ. A national survey of occupational radiation exposure among diagnostic radiologic technologists in South Korea. Radiat Prot Dosimetry. 2015; 167: 525-31.
32. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008 Report: 01 Annex B (Exposures of the public and workers from various sources of radiation). New York: United Nations Publications; 2008.
33. Wang FR, Fang QQ, Tang WM, Xu XS, Mahapatra T, Mahapatra S, at el. Nested case-control study of occupational radiation exposure and breast and esophagus cancer risk among medical diagnostic X-ray workers in Jiangsu of China. Asian Pac J Cancer Prev. 2015; 16: 4699-704.
34. Preston DL, Kitahara CM, Freedman DM, Sigurdson AJ, Simon SL, Little MP, et al. Breast cancer risk and protracted low-to-moderate dose occupational radiation exposure in the US radiologic technologists cohort, 1983-2008. Br J Cancer. 2016; 115: 1105-12.
35. Hamada N, Fujimichi Y, Iwasaki T, Fujii N, Furuhashi M, Kubo E, et al. Emerging issues in radiogenic cataracts and cardiovascular disease. J Radiat Res. 2014; 55: 831-46.
36. Andreassi MG, Piccaluga E, Gargani L, Sabatino L, Borghini A, Faita F, et al. Subclinical carotid atherosclerosis and early vascular aging from long-term low-dose ionizing radiation exposure: a genetic, telomere, and vascular ultrasound study in cardiac catheterization laboratory staff. JACC Cardiovasc Interv. 2015; 8: 616-27.
37. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, et al. Incidence and mortality risks for circulatory diseases in US radiologic technologists who worked with fluoroscopically guided interventional procedures, 1994-2008. Occup Environ Med. 2016; 73: 21-7.
38. Koukorava C, Carinou E, Simantirakis G, Vrachliotis TG, Archontakis E, Tierris C, et al. Doses to operators during interventional radiology procedures: focus on eye lens and extremity dosimetry. Radiat Prot Dosimetry. 2011; 144: 482-6.

39. Matsubara K, Lertsuwunseri V, Srimahachota S, Krisanachinda A, Tulvatana W, Khambhiphant B, et al. Eye lens dosimetry and the study on radiation cataract in interventional cardiologists. Phys Med. 2017; 44: 232-35.
40. Krisanachinda A, Srimahachota S, Matsubara K. The current status of eye lens dose measurement in interventional cardiology personnel in Thailand. Radiol Phys Technol. 2017; 10: 142-7.
41. Sánchez RM, Vano E, Fernández JM, Pifarré X, Ordiales JM, Rovira JJ, et al. Occupational eye lens doses in interventional cardiology. A multicentric study. J Radiol Prot. 2016; 36: 133-43.
42. Principi S, Farah J, Ferrari P, Carinou E, Clairand I, Ginjaume M. The influence of operator position, height and body orientation on eye lens dose in interventional radiology and cardiology: Monte Carlo simulations versus realistic clinical measurements. Phys Med. 2016; 32: 1111-7.
43. Vaes B, Van Keer K, Struelens L, Schoonjans W, Nijs I, Vandevenne J, et al. Eye lens dosimetry in anesthesiology: a prospective study. J Clin Monit Comput. 2017; 31: 303-08.
44. Barnard SG, Ainsbury EA, Quinlan RA, Bouffler SD. Radiation protection of the eye lens in medical workers--basis and impact of the ICRP recommendations. Br J Radiol. 2016; 89(1060): 20151034.
45. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). NCRP Report No. 101: Exposure of the U.S. populations from occupational radiation. Maryland: NCRP; 1989.
46. Shakeri M, Zakeri F, Changizi V, Rajabpour MR, Farshidpour MR. A cytogenetic biomonitoring of industrial radiographers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation by using cbmn assay. Radiat Prot Dosimetry. 2017; 175: 246-51.
47. Lian Y, Xiao J, Ji X, Guan S, Ge H, Li F, et al. Protracted low-dose radiation exposure and cataract in a cohort of Chinese industry radiographers. Occup Environ Med. 2015; 72: 640-7.
48. Hall EJ, Giaccia, eds. Radiobiology for the radiologist. 6th ed. Philadelphia: Walter Kluwer Health/Lippincott William & Wilkin; 2005.
49. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation protection and the management of radioactive waste in the oil and gas industry. 2003. Vienna: IAEA.
50. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Radiation and pregnancy: a fact sheet for clinicians. 2018. [Internet]. Accessed: August 10, 2018. Available from: https://emergency.cdc.gov/radiation/prenatalphysician.asp.
51. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Publication 84: Pregnancy and medical radiation. New York: Elsevier Science; 2000.

52. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Publication 90: biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). New York: Elsevier Science; 2003.
53. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). NCRP Report No. 128: Radionuclide exposure of the embryo/fetus. Maryland: NCRP; 1998.
54. Schull WJ. Effects of atomic radiation, a half-century of studies from Hiroshima and Nagasaki. New York: Wiley-Liss & Sons; 1995.
55. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2000: Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations Publications; 2000.
56. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสีระดับ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. 2546.
57. กมลพรรณ เพ็งพัด, นิภาภัทร เจริญไทย, วิทวัส เชวงชัยยง, กอบวุฒิ รุจิจนากุล. การเตรียมแก้วตะกั่วเพื่อใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสี. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 2548; 2: 41-50.