นิพนธ์ต้นฉบับ

การประเมินความเสี่ยงมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

สุรศักดิ์ บูรณตรีเวทย์*

บทคัดย่อ

จากการศึกษาประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ โดยใช้แบบจำลองการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ๔ ขั้นตอนของ U.S. National Academy of Sciences พบว่า กัมมันตรังสีสามารถก่อให้เกิดมะเร็งหลายชนิด จากการประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับผลกระทบต่อสุขภาพได้ค่า slope factor สำหรับการก่อให้เกิดมะเร็งจากกัมมันตรังสีเป็น ๑๘.๙/Gy หรือ ๑๘.๙/Sv จากการประเมินระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีได้ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีสูงสุดต่อวัน (Maximum daily dose) สำหรับกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่โดยรอบภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๒๗๖.๗–Sv กลุ่มกู้ภัยภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๒๕๒–Gy กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๑๑.๒–Sv และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๗.๒–Sv และจากการประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์พบว่า กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์มีโอกาสเกิดมะเร็ง ๓.๑ เท่ามากกว่าคนทั่วไป และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ๐.๐๘ เท่ามากกว่าคนทั่วไป

คำสำคัญ: ความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

* โครงการจัดตั้งสถานเวชศาสตร์ชุมชนและเวชศาสตร์ครอบครัว คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทนำ

ประเทศต่างๆ ทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยต่างมีความพยายามในการหาพลังงานทางเลือกมาทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานนิวเคลียร์เป็นทางเลือกหนึ่งที่ประเทศไทยเห็นว่าเป็นพลังงานสะอาดและมีความปลอดภัยสูงในการนำมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีความเชื่อมั่นในประเด็นที่เกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย เท่าใดนัก วิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment) ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาความเสี่ยงของสิ่งคุกคามต่อสุขภาพไม่ว่าจะเป็นด้านกายภาพ ชีวภาพ หรือสารเคมี โดยการนำข้อมูลต่างๆ ของสิ่งคุกคามต่อสุขภาพนั้นมาประกอบกันเพื่อประเมินหาความเสี่ยงต่อสุขภาพทั้งด้านการก่อให้เกิดโรคมะเร็งและโรคอื่นๆ ของสิ่งคุกคามต่อสุขภาพนั้น วิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพเป็นการประเมินโดยอาศัยองค์ประกอบรอบด้าน ทำให้มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูง ดังนั้นการนำเอาวิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมาใช้ในการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ทั้งด้านการก่อให้เกิดมะเร็งจึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบในการพิจารณาการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทยต่อไป จากการค้นหาบทความวิจัยใน Pubmed โดยใช้คำค้นหาเป็น Health risk assessment from ionizing radiation of nuclear power plant พบว่ามีบทความวิจัยปรากฏ ๑๖ ชิ้น โดยมีเพียง ๑ ชิ้นที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ คือเรื่อง Comparative health risk assessment of nuclear power and coal power in China[๑] แต่งานวิจัยดังกล่าวประเมินความเสี่ยงเฉพาะการเสียชีวิตจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เปรียบเทียบกับการเสียชีวิตจากโรงไฟฟ้าพลังถ่านหินเท่านั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการเกิดโรคมะเร็งในกลุ่มคนงานที่ทำงานสัมผัสกัมมันตรังสีในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์และประชาชนทั่วไปที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

วิธีการศึกษา

ใช้แบบจำลองการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ๔ ขั้นตอนของ U.S. National Academy of Sciences[๒] โดย ๑) ประเมินสิ่งคุกคามจากการค้นหาข้อมูลของกัมมันตรังสีจากพลังงานนิวเคลียร์ในเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ๒) ประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับการเกิดโรคมะเร็งจากการศึกษาที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ นำข้อมูลการประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีจากพลังงานนิวเคลียร์กับการเกิดโรคมะเร็งที่ได้มาหาค่าอัตราความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (Unit cancer risk-UCR หรือ slope factor) โดยการศึกษานี้ใช้ค่า Excess Relative Risk (ERR) ซึ่งมีค่าเท่ากับ Relative Risk (RR) - ๑ โดยเลือกจากการศึกษาในมนุษย์ที่มีค่า ERR ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่มากที่สุดมาเป็นค่าอัตราความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง ด้วยเหตุผลในการพิทักษ์สุขภาพของกลุ่มเสี่ยงที่ไวต่อการรับสัมผัส ๓) ประเมินระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีโดยใช้ข้อมูลการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์จากแหล่งข้อมูลที่มีการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ นำข้อมูลระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ที่ได้ข้างต้นมาคำนวณหาค่าปริมาณที่ได้รับโดยเฉลี่ยต่อวันตลอดชีพ (Lifetime average daily dose-LADD) และ ๔) ประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง = UCR × LADD
(Cancer risk)

โดย UCR = ค่าอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (Unit cancer risk)

LADD = ค่าปริมาณกัมมันตรังสีที่ได้รับโดยเฉลี่ยต่อวันตลอดชีพ (Lifetime average daily dose)

ผลการศึกษา

การเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสกัมมันตรังสี[๓-๕]

มะเร็งจากการรับสัมผัสกัมมันตรังสีเป็นชนิดเดียวกับมะเร็งที่พบในคนทั่วไปที่ไม่ได้รับสัมผัสกัมมันตรังสีอย่างไรก็ตามหลังจากได้รับสัมผัสกัมมันตรังสี มะเร็งเหล่านี้อาจมีความถี่ในการเกิดเพิ่มขึ้นและสามารถสังเกตพบจากการศึกษาทางระบาดวิทยาเท่านั้น มะเร็งที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการสัมผัสกัมมันตรังสี ได้แก่ มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งต่อมธัยรอยด์, non-Hodgkin's lymphoma, Hodgkin's disease, multiple myeloma, solid cancers, มะเร็งมดลูก รังไข่ ต่อมลูกหมาก ต่อมน้ำลาย ทางเดินอาหาร ปอด กระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ผิวหนัง และมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดในรายที่มีอายุถึงช่วงที่

มีโอกาสเกิดมะเร็งเหล่านั้น (ยกเว้น มะเร็งเม็ดเลือดขาว) มะเร็งเม็ดเลือดขาวจากกัมมันตรังสีมีระยะเวลาการเกิดหลังการรับสัมผัสสั้นที่สุดเพียง ๒ ปี ในขณะที่มะเร็งชนิดอื่นๆ จากกัมมันตรังสีเกิดขึ้นหลังการรับสัมผัสมากกว่า ๒๐ ปี มะเร็งหลายชนิดไม่พบว่าเกิดจากการรับสัมผัสกัมมันตรังสี อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการเกิดมะเร็งชนิดนั้นหลังการได้รับสัมผัสใช้ระยะเวลานานเกินกว่าช่วงชีวิตของคน

การประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับการเกิดมะเร็ง (Carcinogenic dose-response assessment)

ในการประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับการเกิดมะเร็งในครั้งนี้ ใช้วิธีการหาค่า slope factor ซึ่งเป็นค่าโอกาสการก่อให้เกิดมะเร็งต่อการรับสัมผัสกัมมันตรังสีหนึ่งหน่วย โดยในการศึกษานี้พิจารณาหาค่า slope factor จากค่า excess relative risk ในการศึกษาต่างๆ ที่ทำการศึกษาถึงผลการเกิดและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดต่างๆ จากการสัมผัสกัมมันตรังสีทั้งจากกลุ่มผู้รอดชีวิตจากการระเบิดนิวเคลียร์ในญี่ปุ่น (ตารางที่ ๑) กลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ Chernobyl (ตารางที่ ๒) และกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ (ตารางที่ ๓-๔)

จากการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับการก่อให้เกิดมะเร็งในกลุ่มต่างๆ ข้างต้น (ตารางที่ ๑-๔) ค่า Excess Relative Risk (ERR) ที่สูงสุดที่มีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นค่าที่ได้จากการศึกษาในกลุ่มประชากรที่อาศัยอยู่ใน Ukrane และ Belarus ซึ่งได้รับผลกระทบจากอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ Chernobyl[๖] (Jacob et al. ๒๐๐๖) พบว่าประชากรกลุ่มดังกล่าวมีค่า excess relative risk สำหรับการเกิด/เสียชีวิตด้วยมะเร็งต่อมธัยรอยด์ เป็น ๑๘.๕ (๕๕% CI ๑๑.๑-๒๖.๗)/Gy

ในการศึกษานี้ต่อไปจึงจะใช้ค่า slope factor สำหรับการก่อให้เกิดมะเร็งจากกัมมันตรังสีเป็น ๑๘.๕/Gy หรือ ๑๘.๕/Sv

ตารางที่ ๑ ค่าความเสี่ยงในการเกิดหรือเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มผู้รอดชีวิตจากระเบิดนิวเคลียร์ในญี่ปุ่น

มะเร็ง	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๕๐% CI) ต่อ ๑ Sv	เอกสารอ้างอิง	มะเร็ง	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๕๐% CI) ต่อ ๑ Sv	เอกสารอ้างอิง
solid cancer ทุกชนิด (ป่วย)	๐.๖๒ (๐.๕๕, ๐.๖๕)	(๗)	กระเพาะอาหาร (ป่วย)	๐.๓๗ (๐.๒๖, ๐.๔๕)	(๗)
solid cancer ทุกชนิด (ตาย)	๐.๔๘ (๐.๔๐, ๐.๕๗)	(๘)	กระเพาะอาหาร (ตาย)	๐.๒๘ (๐.๑๔, ๐.๔๒)	(๑๒)
ต่อมน้ำลาย (ป่วย)	๒.๕๕ (๐.๘๗, ๕.๗๒)	(๗)	ลำไส้ใหญ่ (ป่วย)	๐.๖๗ (๐.๑, ๑.๓)	(๑๐)
ต่อมน้ำลาย (ป่วย)	๘.๓๐ (๒.๕๖, ๒๕.๖)	(๕)	ลำไส้ใหญ่ (ตาย)	๐.๗๑ (๐.๐๖, ๑.๔)	(๑๑)
หลอดอาหาร (ป่วย)	๐.๓๗ (-๐.๔๕, ๑.๓๑)	(๑๐)	ลำไส้ใหญ่ (ป่วย)	๐.๖๔ (๐.๔๒, ๐.๕๐)	(๗)
หลอดอาหาร (ตาย)	๐.๗๖ (๐.๐๒, ๑.๕๕)	(๑๑)	ลำไส้ใหญ่ (ตาย)	๐.๕๑ (๐.๑๗, ๐.๕๔)	(๑๒)
หลอดอาหาร (ป่วย)	๐.๕๑ (๐.๑๔, ๐.๕๕)	(๗)	ลำไส้ตรง (ป่วย)	๐.๑๘ (<๐, ๐.๔๖)	(๗)
หลอดอาหาร (ตาย)	๐.๖๕ (๐.๒๔, ๑.๒๘)	(๑๒)	ลำไส้ตรง (ตาย)	๐.๓๖ (<๐, ๐.๘๘)	(๑๒)
กระเพาะอาหาร (ป่วย)	๐.๓๐ (๐.๒, ๐.๕)	(๑๐)	ตับ (ป่วย)	๐.๔๘ (๐.๐๔, ๐.๕๖)	(๑๐)
กระเพาะอาหาร (ตาย)	๐.๒๔ (๐.๐๓, ๐.๕)	(๑๑)	ตับ (ตาย)	๐.๔๒ (๐.๐๔, ๐.๘๓)	(๑๑)
ตับ (ป่วย)	๐.๔๑ (๐.๒๒, ๐.๖๓)	(๗)	กระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (ป่วย)	๑.๖๔ (๐.๔๐, ๔.๓๑)	(๗)
ตับ (ตาย)	๐.๕๑ (๐.๓๐, ๐.๗๕)	(๑๒)	กระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (ตาย)	๐.๘๘ (<๐, ๓.๐๓)	(๑๒)
ตับอ่อน (ป่วย)	๐.๒๕ (<๐, ๐.๗๒)	(๗)	ผิวหนัง (ป่วย)	๐.๘๘ (๐.๔, ๑.๕)	(๑๐)

ตารางที่ ๑ ค่าความเสี่ยงในการเกิดหรือเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มผู้รอดชีวิตจากระเบิดนิวเคลียร์ในญี่ปุ่น (ต่อ)

มะเร็ง	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๙๐% CI) ต่อ ๑ Sv	เอกสารอ้างอิง	มะเร็ง	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๙๐% CI) ต่อ ๑ Sv	เอกสารอ้างอิง
ตับอ่อน	<๐ (<๐, ๐.๓๓)	(๑๒)	malignant melanoma	<๐ (<๐, ๐.๗๔)	(๗)
ปอด (ป่วย)	๑.๐๐ (๐.๖, ๑.๔)	(๑๐)	malignant melanoma (ตาย)	๐.๓๐ (<๐, ๒.๑๐)	(๑๒)
ปอด (ตาย)	๐.๔๘ (๐.๑๖, ๐.๘)	(๑๑)	non-melanoma (ป่วย)	๑.๓๓ (๐.๘๕, ๑.๘๘)	(๗)
ปอด (ป่วย)	๐.๖๕ (๐.๔๕, ๐.๕๒)	(๗)	เต้านมเพศหญิง (ป่วย)	๑.๗๔ (๑.๑, ๒.๒)	(๑๐)
ปอด (ตาย)	๐.๘๔ (๐.๕๕, ๑.๑๑)	(๑๒)	เต้านมเพศหญิง (ตาย)	๑.๒๘ (๐.๕๗, ๒.๑)	(๑๑)
กระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (ป่วย)	๑.๔๒ (<๐.๒, ๔.๕)	(๑๐)	เต้านมเพศหญิง (ป่วย)	๑.๔๕ (๑.๑๗, ๑.๘๕)	(๗)
กระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (ตาย)	๑.๐๗ (<๐.๒, ๓.๓)	(๑๓)	เต้านมเพศหญิง (ตาย)	๑.๓๕ (๐.๘๓, ๒.๑๐)	(๑๒)
มดลูก (ป่วย)	๐.๑๐ (<๐, ๐.๓๒)	(๗)	กระเพาะปัสสาวะ (ตาย)	๑.๑๗ (๐.๓๖, ๒.๓๐)	(๑๒)
มดลูก (ตาย)	๐.๐๕ (<๐, ๐.๔๔)	(๑๒)	ไต (ป่วย)	๐.๑๖ (<๐, ๐.๗๘)	(๗)
รังไข่ (ป่วย)	๐.๖๑ (๐.๐๘, ๑.๓๕)	(๗)	ไต (ตาย)	๐.๓๕ (<๐, ๑.๕๑)	(๑๒)
รังไข่ (ตาย)	๑.๑๘ (๐.๓๕, ๒.๓๑)	(๑๒)	สมองและระบบประสาทส่วนกลาง (ป่วย)	๐.๒๒ (<๐, ๑.๓)	(๑๐)
ต่อมลูกหมาก (ป่วย)	๐.๑๔ (-๐.๖, ๑.๐)	(๑๐)	สมองและระบบประสาทส่วนกลาง (ป่วย)	๐.๕๕ (๐.๑๖, ๑.๐๗)	(๗)
ต่อมลูกหมาก (ป่วย)	๐.๑๒ (<๐, ๐.๕๑)	(๗)	สมองและระบบประสาทส่วนกลาง (ป่วย)	๑.๒ (๐.๖, ๒.๑)	(๑๔)
ต่อมลูกหมาก (ตาย)	๐.๔๐ (<๐, ๑.๓๑)	(๑๒)	สมองและระบบประสาทส่วนกลาง (ตาย)	๒.๘๖ (๐.๘๓, ๖.๗๖)	(๑๒)
กระเพาะปัสสาวะ (ป่วย)	๐.๗๖ (๐.๓, ๒.๑)	(๑๐)	ต่อมธัยรอยด์ (ป่วย)	๑.๕ (๐.๕, ๒.๑)	(๑๐)
กระเพาะปัสสาวะ (ตาย)	๐.๕๘ (-๐.๔๐, ๑.๗๒)	(๑๑)	ต่อมธัยรอยด์ (ป่วย)	๑.๕๕ (๑.๑๐, ๒.๑๕)	(๗)
กระเพาะปัสสาวะ (ป่วย)	๐.๕๒ (๐.๔๖, ๑.๕๐)	(๗)	ต่อมธัยรอยด์ (ตาย)	<๐ (<๐, ๐.๔๒)	(๑๒)
Non-Hodgkin's lymphoma (ป่วย)	๐.๐๘ (<๐, ๐.๖๒)	(๑๕)	Multiple myeloma (ตาย)	๑.๑๕ (๐.๑๒, ๓.๒๗)	(๑๑)
Non-Hodgkins lymphoma (ตาย)	๐.๐๑ (<๐, ๐.๔๒)	(๑๑)	เม็ดเลือดขาว (ป่วย)	๔.๘๔ (๓.๕๕, ๖.๔๔)	(๑๕)
Hodgkin's disease (ป่วย)	๐.๔๓ (-๑.๖, ๓.๕)	(๑๕)	เม็ดเลือดขาว (ตาย)	๔.๐๒ (๓.๐๒, ๕.๒๖)	(๘)
Multiple myeloma (ป่วย)	๐.๒๐ (<-๐.๒, ๑.๗)	(๑๕)			

ตารางที่ ๒ ค่าความเสี่ยงในการเกิดหรือเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ Chernobyl

กลุ่มที่ศึกษา	ชนิดของมะเร็ง	ค่าทางสถิติ	เอกสารอ้างอิง
Ukranian Chernobyl cleanup workers	Leukemia	ERR ๓.๔๔ (๙๕% CI ๐.๔๓, ๙.๓๘)/Gy	(๑๖)
Ukranian Chernobyl cleanup workers	Chronic lymphocytic leukemia	ERR ๔.๐๙ (๙๕% CI <๐, ๑๔.๔๑)/Gy	(๑๖)
Ukranian Chernobyl cleanup workers	Non- chronic lymphocytic leukemia	ERR ๒.๗๓ (๙๕% CI <๐, ๑๓.๕๐)/Gy	(๑๖)
Ukranian children aged 0-5 years at time of accident	Leukemia	RR ๒.๔ (๙๕% CI ๑.๔, ๔.๐) RR ๒.๕ (๙๕% CI ๑.๔, ๕.๕) (males) RR ๒.๕ (๙๕% CI ๑.๒, ๕.๑) (diagnosed ๑๙๘๗-๑๙๙๒)	(๑๗)
Ukranian children aged 0-5 years at time of accident	Myeloid leukemia	RR ๕.๘ (๙๕% CI ๑.๔, ๒๔.๖)	(๑๗)
Chernobyl liquidators	Leukemia, non-Hodgkin lymphoma, other lymphoid, lymphatic cancers	ERR ๐.๖๐ (๙๐% CI -๐.๐๒, ๒.๓๕)/๑๐๐ mGy	(๑๘)
Chernobyl liquidators	Chronic lymphocytic leukemia	ERR ๐.๕๐ (๙๐% CI -๐.๓๘, ๕.๗)/๑๐๐ mGy	(๑๘)
Hungarian population	Childhood leukemia	Elevated incidence rate ๒.๕% (๙๕% CI -๘.๑%, ๑๔.๓%)	(๑๙)
Ukranian individuals in most heavily contaminated areas	Thyroid cancer	ERR ๕.๒๕ (๙๕% CI ๑.๗, ๒๗.๕)/Gy	(๒๐)
Russian Chernobyl emergency workers	Thyroid cancer	SIR ๓.๔๗ (๙๕% CI ๒.๘๐, ๔.๒๕) SIR ๖.๖๒ (๙๕% CI ๔.๖๓, ๙.๐๙) worked in April-July ๑๙๘๖ SIR ๗.๙๗ (๙๕% CI ๕.๒๔, ๑๑.๕๒) ๑๐ yr-latent period	(๒๑)
Estonian and Latvian Chernobyl cleanup workers	All cancers	SIR ๑.๑๕ (๙๕% CI ๐.๙๘, ๑.๓๔)	(๒๒)
Estonian and Latvian Chernobyl cleanup workers	Leukemia	SIR ๑.๕๓ (๙๕% CI ๐.๖๒, ๓.๑๗)	(๒๒)
Estonian and Latvian Chernobyl cleanup workers	Thyroid cancer	SIR ๗.๐๖ (๙๕% CI ๒.๘๔, ๑๔.๕๕)	(๒๒)

ตารางที่ ๒ ค่าความเสี่ยงในการเกิดหรือเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ Chernobyl (ต่อ)

กลุ่มที่ศึกษา	ชนิดของมะเร็ง	ค่าทางสถิติ	เอกสารอ้างอิง
Estonian and Latvian Chernobyl cleanup workers	Brain cancer	SIR ๒.๑๔ (๙๕% CI ๑.๐๗, ๓.๘๓)	(๒๒)
Ukranian and Belarusian settlements	Thyroid cancer	EAR ๒.๖๖ (๙๕% CI ๒.๑๙, ๓.๑๓)/๑๐,๐๐๐ PY-Gy ERR ๑๘.๙(๙๕% CI ๑๑.๑, ๒๖.๗)/Gy	(๖)
Belarusian and Russian children	Thyroid cancer	OR ๕.๕(๙๕% CI ๓.๑, ๙.๕)/Gy to ๘.๔(๙๕% CI ๔.๑, ๑๗.๓)	(๒๓)
Chernobyl liquidators	All solid cancers	SIR ๐.๘๘(๙๕% CI ๐.๗๖, ๑.๐๒) ERR ๐.๙๕(๙๕% CI -๑.๕๒, ๔.๔๙)	(๒๔)

ตารางที่ ๓ ค่าความเสี่ยงในการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งที่ไม่ใช่มะเร็งเม็ดเลือดขาวจากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

กลุ่มที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๙๐% CI) ต่อ ๑ Sv		เอกสารอ้างอิง
NRRW	๐.๐๘๖ (๙๕% CI -๐.๒๘, ๐.๕๒)		(๒๕)
Hanford, ORNL, Rocky Flats	๐.๐ (<๐.๘ NE)		(๒๖)
U.S. nuclear facility workers	๐.๕๐๖ (๙๕% CI -๒.๐๑, ๔.๖๔)		(๒๗)
Three-country combined analyses (Canada, U.K., U.S.	-๐.๐๗ (-๐.๓๙, ๐.๓๐)		(๒๓)
Republic of Korea	๑.๖๙ (๙๕% CI -๒.๐๗, ๘.๒๑)	รวมมะเร็งเม็ดเลือดขาว	(๒๘)
Japan	SMR ๐.๙๘ (๙๕% CI ๐.๙๓, ๑.๐๔)	รวมมะเร็งเม็ดเลือดขาว	(๒๙)
Hanford	-๐.๐ (<๐, ๑.๙)		(๓๐)
Oak Ridge Y-๑๐, X-๑๒	๑.๔๕ (๙๕% CI ๐.๑๕, ๓.๔๘)	รวมมะเร็งเม็ดเลือดขาว	(๓๑)
Rocky Flats	<๐ (<๐, ๐)		(๒๖)
AEA	๐.๘ (๙๕% CI -๑.๐, ๓.๑)		(๓๒)
AWE	๗.๖ (๙๕% CI ๐.๔, ๑๕.๓)		(๓๓)
Capenhurst	-๑.๓ (<๐, ๒.๔)	เฉพาะเพศชาย	(๓๔)
Sellafield	๐.๑๑ (-๐.๔, ๐.๘)		(๓๕)
Springfields	๐.๖๔ (-๐.๙๕, ๒.๗)	เฉพาะเพศชาย	(๓๖)
AECL	๐.๐๔๙ (-๐.๖๘, ๒.๑๗)		(๓๗)
Canadian NDR	๓.๐ (๑.๑, ๔.๘)		(๓๘)
Canadian nuclear workers	๒.๘๐ (๙๕% CI -๐.๐๓๘, ๗.๑๓)		(๓๙)
Combined UK nuclear industry workforce	-๐.๐๒ (๙๕% CI -๐.๕, ๐.๖)		(๔๐, ๔๑)

ตารางที่ ๔ ค่าความเสี่ยงในการเสียชีวิตด้วยมะเร็งเม็ดเลือดขาว ยกเว้น Chronic lymphocytic leukemia จากการสัมผัสกัมมันตรังสีในกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

กลุ่มที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ย excess relative risk (๙๐% CI) ต่อ ๑ Sv		เอกสารอ้างอิง
Hanford	-๑.๑ (<๐, ๓.๐)		(๓๐)
ORNL	๖.๔ (-๑๑.๒, ๒๔.๐)		(๔๒)
UKAEA	-๔.๒ (-๕.๗, ๒.๖)		(๓๒)
Capenhurst	-๑.๒๗ (<๐, ๒.๗๕)	เฉพาะเพศชาย	(๓๔)
Sellafield	๑.๖ (๙๕% CI ๑.๐-๒.๒)	ในลูกของคนงานชาย	(๔๓)
Sellafield	๑๓.๙๒ (๑.๙๔, ๗๐.๕๒)		(๓๕)
Springfields	-๑.๘๙ (<-๑.๙๗, ๑๓.๑)	เฉพาะเพศชาย	(๓๖)
AECL	๑๙.๐ (๐.๑๔, ๑๑๓)		(๓๗)
Canadian NDR	๐.๔ (-๔.๙, ๕.๗)		(๓๘)
Canadian nuclear workers	๕๒.๕ (๙๕% CI ๐.๒๑, ๒๙๑)		(๓๙)
Combined UK nuclear workers	๔.๑๘ (๙๕% CI ๐.๔, ๑๓.๔)		(๔๐, ๔๑)
NRRW	๒.๕๕ (-๐.๐๓๒, ๗.๑๖)		(๒๕)
Hanford, ORNL, Rocky Flats	-๑.๐ (๙๕% CI <๐, ๒.๒)		(๒๖)
U.S. nuclear facility workers	๖.๙๒/๑๐ mSv		(๔๔)
Multiple myeloma			
U.S. nuclear facility workers	๕.๖๗ (๙๕% CI -๒.๕๖, ๓๐.๔)		(๒๗)
Three-country combined analyses	๒.๑๘ (๐.๑๓, -๕.๗)		(๔๕)

การประเมินระดับการสัมผัสกัมมันตรังสี (Exposure Assessment)

ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีในการศึกษานี้ได้มาจากการตรวจวัดและการประมาณค่าจากการศึกษาที่ดำเนินการในกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ Chernobyl และกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ได้นำมาคำนวณหาค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อวัน ตามตารางที่ ๕ ต่อไปนี้

ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีสูงสุดต่อวัน (Maximum daily dose) ที่จะใช้ในการประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคที่ไม่ใช่มะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ต่อไป ผู้วิจัยเลือกจากค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อวันที่สูงที่สุดในแต่ละกลุ่มในตารางที่ ๕ ได้ค่า Maximum daily dose เป็นดังตารางที่ ๖ ต่อไปนี้

ตารางที่ ๕ ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ในกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มที่ศึกษา	ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อปี	ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อวัน	เอกสารอ้างอิง
กลุ่มเด็กที่อาศัยอยู่ใน Ukraine ภายหลังอุบัติภัย Chernobyl	๔.๕-๑๐๑ mSv	๑๒.๓-๒๗๖.๗ μSv	(๔๖)
Chernobyl recovery operation workers (๑๙๘๖-๑๙๘๙)	๔๖ mGy	๑๒๖ μGy	(๔๗-๔๙)
Belarus	๙๒ mGy	๒๕๒ μGy	
Russian Federation Ukraine	๑๒๖ mGy	๒๔๕ μGy	
กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์			(๕๐)
๑๙๗๕-๑๙๗๙	๔.๑ mSv	๑๑.๒ μSv	
๑๙๘๐-๑๙๘๔	๓.๕ mSv	๙.๖ μSv	
๑๙๘๕-๑๙๘๙	๒.๕ mSv	๖.๘ μSv	
กลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๐.๐๗๓ mSv	๐.๒ μSv	(๔)

ตารางที่ ๖ ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีสูงสุดต่อวัน (Maximum daily dose) ในกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มที่ศึกษา	ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีสูงสุดต่อวัน	เอกสารอ้างอิง
กลุ่มประชาชนที่อยู่โดยรอบภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๒๗๖.๗ μSv	(๔๖)
กลุ่มกู้ภัยภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๒๕๒ μGy	(๔๗-๔๙)
กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๑๑.๒ μSv	(๕๐)
กลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๐.๒ μSv	(๔)

การประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ (Cancer risk characterization)

การประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสี ประเมินจากสูตร ดังต่อไปนี้

Cancer risk = slope factor x lifetime average dose

ทั้งนี้ อาศัยค่า slope factor สำหรับการก่อให้เกิดมะเร็งจากกัมมันตรังสีที่ได้จากการประเมินในส่วนของการประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับผลกระทบต่อสุขภาพข้างต้น ซึ่งได้ค่าเป็น ๑๘.๕/Gy หรือ ๑๘.๕/Sv สำหรับค่า lifetime average dose ใช้ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อปีที่มากที่สุดของแต่ละกลุ่มในตาราง ๖ มาคูณด้วยระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส สำหรับกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ใช้ค่าระยะเวลาการทำงาน ๔๐ ปี และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ใช้ค่าระยะเวลา ๖๐ ปี จากการคำนวณค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ในกลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์พบได้ค่าความเสี่ยงเป็น ๓.๑ ซึ่งหมายถึงมีโอกาสเกิดมะเร็ง ๓.๑ เท่ามากกว่าคนทั่วไป (ตารางที่ ๗) และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ๐.๐๘ เท่ามากกว่าคนทั่วไป (ตารางที่ ๗) ซึ่งค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งของทั้งสองกลุ่มสูงกว่าค่าการเกิดมะเร็งในคนปกติทั่วไปที่ไม่ได้สัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

ตารางที่ ๗ ค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) จากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

กลุ่มที่ศึกษา	Slope factor	ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีต่อปี	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ปี)	ค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer risk)
กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๑๘.๕/Gy (Sv)	๔.๑ mSv	๔๐	๓.๑
กลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์	๑๘.๕/Gy (Sv)	๐.๐๗๓ mSv	๖๐	๐.๐๘

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ โดยใช้แบบจำลองการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ๔ ขั้นตอนของ U.S. National Academy of Sciences พบว่ากัมมันตรังสีสามารถก่อให้เกิดมะเร็งหลายชนิด จากการประเมินความสัมพันธ์ของระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีกับผลกระทบต่อสุขภาพได้ค่า slope factor สำหรับการก่อให้เกิดมะเร็งจากกัมมันตรังสีเป็น ๑๘.๕/Gy หรือ ๑๘.๕/Sv จากการประเมินระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีได้ค่าระดับการสัมผัสกัมมันตรังสีสูงสุดต่อวัน (Maximum daily dose) สำหรับกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่โดยรอบภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๒๗๖.๗ μSv กลุ่มกู้ภัยภายหลังเกิดอุบัติภัยโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๒๕๒ μGy กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๑๑.๒ μSv และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าเป็น ๐.๒ μSv และจากการประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์พบว่า กลุ่มพนักงานโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์มีโอกาสเกิดมะเร็ง ๓.๑ เท่ามากกว่าคนทั่วไป และกลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์มีค่าความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ๐.๐๘ เท่ามากกว่าคนทั่วไป

จากการเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆ พบว่าไม่มีการศึกษาอื่นที่ใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงเช่นเดียวกับการศึกษาชิ้นนี้ สำหรับการศึกษาระดับนานาชาติของทั้งองค์การอนามัยโลก[๕๑] สหประชาชาติ[๔, ๕, ๕๐] U.S. National Research Council[๕๒, ๕๓] และ U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry ASTDR[๓] ซึ่งใช้วิธีการประเมินและแบบจำลองที่แตกต่างกันไป ต่างพบว่าการได้รับสัมผัสกัมมันตรังสีก่อให้เกิดมะเร็งอย่างชัดเจน

ข้อจำกัดของการศึกษานี้ขึ้นอยู่กับข้อสมมติฐานสำหรับการประเมินในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งมุ่งเน้นการประเมินเพื่อพิทักษ์สุขภาพของผู้ที่ทำงานและประชาชนรอบโรงงาน ดังนั้นค่าที่ประเมินได้จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างอนุรักษ์นิยม กล่าวคือเป็นค่าที่เป็นโอกาสเสี่ยงสูงสุดที่แต่ละกลุ่มมีโอกาสเกิดมะเร็งได้ ซึ่งในข้อเท็จจริงอาจเกิดมะเร็งได้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ประเมินได้ นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินโดยอาศัยแบบจำลองแบบง่ายๆ ไม่ได้ซับซ้อน เนื่องจาก ข้อจำกัดด้านงบประมาณและเวลา สำหรับการศึกษาต่อไปอาจดำเนินการประเมินโดยอาศัยแบบจำลองซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้น ข้อเสนอแนะจากการศึกษาครั้งนี้ในเชิงนโยบายแสดงให้เห็นว่าควรมีการพิจารณาหาแนวทางป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในกลุ่มต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการก่อตั้งโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๒

เอกสารอ้างอิง

๑. Ren T, Li Y, Fang D, Li H. Comparative health risk assessment of nuclear power and coal power in China. J Radiol Prot 1998;18:29-36.

๒. National Academy of Sciences (NAS). Risk assessment in the federal government: managing the process. Washington, DC: National Academy Press; 1983.

๓. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for ionizing radiation. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 1999.

๔. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2000.

๕. UNSCEAR. Effects of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2006.

๖. Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurniy M, Demidchik Y, Gavrilin Y, et al. Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. Radiat Res 2006;165:1-8.

๗. Preston D, Ron E, Takuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat Res 2007;168:1-64.

๘. Preston DL, Pierce DA, Shimizu Y, Cullings HM, Fujita S, Funamoto S, et al. Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates. Radiat Res 2004;162:377-89.

๙. Land CE, Saku T, Hayashi Y, Takahara O, Matsuura H, Tokuoka S, et al. Incidence of salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987: evaluation of radiation-related risk. Radiat Res 1996;146:28-36.

๑๐. Thompson DE, Mabuchi K, Ron E, Soda M, Tokunaga M, Ochikubo S, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987. Radiat Res 1994;137: S17-67.

๑๑. Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors Report 12, Part I: cancer: 1950-1990. Radiat Res 1996;146:1-27.

๑๒. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiat Res 2003;160:381-407.

๑๓. Ron E, Preston DL, Mabuchi K, Thompson DE, Soda M. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part IV: Comparison of cancer incidence and mortality. Radiat Res 1994;137: S98-112.

๑๔. Preston DL, Ron E, Yonehara S, Kobuke T, Fujii H, Kishikawa M, et al. Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure. J Natl Cancer Inst 2002;94:1555-63.

๑๕. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E, Kuramoto A, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma, and multiple myeloma, 1950-1987. Radiat Res 1994;137:68-97.

๑๖. Romanenko AY, Finch SC, Hatch M, Lubin JH, Bebeshko VG, Bazyka DA, et al. The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chornobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. Radiat Res 2008;17:711-20.

๑๗. Noshchenko AG, Bondar OY, Drozdova VD. Radiation-induced leukemia among children aged 0-5 years at the time of the Chernobyl accident. Int J Cancer 2010;127:412-26.

๑๘. Kesminiene A, Evrard AS, Ivanov VK, Malakhova IV, Kurtinaitis J, Stengrevics A, et al. Risk of hematological malignancies among Chernobyl liquidators. Radiat Res 2008;170: 721-35.

๑๙. Török S, Borgulya G, Lobmayer P, Jakab Z, Schuler D, Fekete G. Childhood leukaemia incidence in Hungary, 1973-2002. Interpolation model for analysing the possible effects of the Chernobyl accident. Eur J Epidemiol 2005;20:899-906.

๒๐. Tronko MD, Howe GR, Bogdanova TI, Bouville AC, Epstein OV, Brill AB, et al. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the chornobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening. J Natl Cancer Inst 2006;98:897-903.

๒๑. Ivanov VK, Chekin SY, Kashcheev VV, Maksioutov MA, Tumanov KA. Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia. Radiat Environ Biophys 2008;47:463-7.

๒๒. Rahu M, Rahu K, Auvinen A, Tekkel M, Stengrevics A, Hakulinen T, et al. Cancer risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998. Int J Cancer 2006; 119:162-8.

๒๓. Cardis E, Kesminiene A, Ivanov V, Malakhova I, Shibata Y, Khrouch V, et al. Risk of thyroid cancer after exposure to 131I in childhood. J Natl Cancer Inst 2005;97:724-32.

๒๔. Ivanov VK, Gorski AI, Tsyb AF, Ivanov SI, Naumenko RN, Ivanova LV. Solid cancer incidence among the Chernobyl emergency workers residing in Russia: estimation of radiation risks. Radiat Environ Biophys 2004; 43:35-42.

๒๕. Muirhead CR, Goodill AA, Haylock RG, Vokes J, Little MP, Jackson DA, et al. Occupational radiation exposure and mortality: second analysis of the National Registry for Radiation Workers. J Radiol Prot 1999;19:3-26.

๒๖. Gilbert ES, Cragle DL, Wiggs LD. Updated analyses of combined mortality data for workers at the Hanford Site, Oak Ridge National Laboratory, and Rocky Flats Weapons Plant. Radiat Res 1993;136:408-21.

๒๗. Howe GR, Zablotska LB, Fix JJ, Egel J, Buchanan J. Analysis of the mortality experience amongst U.S. nuclear power industry workers following chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res 2004;162:517-26.

๒๘. Jeong M, Jin YW, Yang KH, Ahn YO, Cha CY. Radiation exposure and cancer incidence in a cohort of nuclear power industry workers in the Republic of Korea, 1992-2005. Radiat Environ Biophys 2010;49:47-55.

๒๙. Iwasaki T, Murata M, Ohshima S, Miyake T, Kudo S, Inoue Y, et al. Second analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1997. Radiat Res 2003;159:228-38.

๓๐. Gilbert E.S, Omohundro E, Buchanna J, Holter N. Mortality of workers at the Hanford Site: 1945-1986. Health Phys 1993;64:577-90.

๓๑. Frome EL, Cragle DL, Watkins JP, Wing S, Shy CM, Tankersley WG, et al. A mortality study of employees of the nuclear industry in Oak Ridge, Tennessee. Radiat Res 1997;148:64-80.

๓๒. Fraser P, Carpenter L, Maconochie N, Higgins C, Booth M, Beral V. Cancer mortality and morbidity in employees of the United Kingdom Atomic Energy Authority, 1946-86. Br J Cancer 1993;67:615-24.

๓๓. Beral V, Fraser P, Carpenter L, Booth M, Brown A, Rose G. Mortality of employees of the Atomic Weapons Establishment, 1951-1982. Br Med J 1988;297:757-70.

๓๔. McGeoghegan D, Binks K. The mortality and cancer morbidity experience of workers at the Capenhurst uranium enrichment facility 1946-95. J Radiol Prot 2000;20:381-401.

๓๕. Douglas AJ, Omar RZ, Smith PG. Cancer mortality and morbidity among workers at the Sellafield plant of British Nuclear Fuels. Br J Cancer 1994;70:1232-43.

๓๖. McGeoghegan D, Binks K. The mortality and cancer morbidity experience of workers at the

Springfields uranium production facility, 1946-95. J Radiol Prot 2000;20:111-37.

๓๗. Gribbin, MA, Weeks JL, Howe GR. Cancer mortality (1956-1985) among male employees of Atomic Energy of Canada Limited with respect to occupational exposure to external low-linear-energy-transfer ionizing radiation. Radiat Res 1993;133:375-80.

๓๘. Ashmore JP, Krewski D, Zielinski JM, Jiang H, Semenciw R, Band PR. First analysis of mortality and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. Am J Epidemiol 1998;148:564-74.

๓๙. Zablotska LB, Ashmore JP, Howe GR. Analysis of mortality experience amongst Canadian nuclear power industry workers following chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res 2004;161:633-41.

๔๐. Carpenter L, Higgins C, Douglas A, Fraser P, Beral V, Smith P. Combined analysis of mortality in three United Kingdom nuclear industry workforces, 1946-1988. Radiat Res 1994;138:224-38.

๔๑. Carpenter L, Higgins C, Douglas A, Maconochie NE, Omar RZ, Fraser P, et al. Cancer mortality in relation to monitoring for radionuclide exposure in three UK nuclear industry workforces. Br J Cancer 1998;78:1224-32.

๔๒. Wing S, Shy C, Wood J, Wolf S, Cragle D, Frome E. Mortality among workers at Oak Ridge National Laboratory. Evidence of radiation effects in follow-up through 1984. J Am Med Assoc 1991;265:1397-402.

๔๓. Dickinson HO, Parker L. Leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children of male Sellafield radiation workers. Int J Cancer 2002; 99:437-44.

๔๔. Wing S, Richardson D, Wolf S, Mihlan G, Crawford-Brown D, Wood J. A case control study of multiple myeloma at four nuclear facilities. Ann Epidemiol 2000;10:144-53.

๔๕. Cardis E, Gilbert ES, Carpenter L, Howe G, Kato I, Armstrong BK, et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. Radiat Res 1995;142:117-32.

๔๖. Noshchenko AG, Zamostyan PV, Bondar OY, Drozdova VD. Radiation-induced leukemia risk among those aged 0-20 at the time of the Chernobyl accident: a case-control study in the Ukraine. Int J Cancer 2002;99:609-18.

๔๗. Kenigsberg J, Kruk J. Exposure of Belarusian Liquidators of the Chernobyl accident consequences and possibilities of stochastic effects prognosis. In: Proceeding 2nd International Scientific Conference Mitigation of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl NPP: Status and Perspectives. 62-66. Gomel, Belarus. 4-26-0040a; 2004.

๔๘. Ministry of Health of Ukraine. Chernobyl State Registry Data. Kiev; 1999.

๔๙. Cardis E, Okeanov AE. What is feasible and desirable in the epidemiologic follow-up of Chernobyl? In: The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. In: Eds Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN, et al editors. Proceedings of the First International Conference, Minsk, Belarus, March 1996. EUR 16544; 1996. p. 835-50.

๕๐. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 1993.

๕๑. WHO. Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes. Geneva: World Health Organization; 2006.

๕๒. BEIR V. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, National Research Council. Washington, DC: National Academy Press; 1990.

๕๓. BEIR VII. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation, National Research Council. Washington, DC: National Academy Press; 2006.

Abstract

Assessment on cancer risk from exposure to ionizing radiation of nuclear power plant

Surasak Buranatrevedh

Department of Community and Family Medicine, Faculty of Medicine, Thammasat University

The U.S. National Academy of Sciences' four steps of health risk assessment were used to do quantitative cancer risk assessment from exposure to ionizing radiation of nuclear power plant. Ionizing radiation could cause several cancers. From dose-response assessment, slope factor for cancer from ionizing radiation was 18.9/Gy or 18.9/Sv. From exposure assessment, the maximum daily dose of population lived near nuclear power plant accident was 276.7 μSv/day. The maximum daily dose of nuclear power plant recovery operations workers was 252 μGy/day. The maximum daily dose of nuclear power plant workers was 11.2 μSv/day. The maximum daily dose of population lived near nuclear power plant was 0.2 μSv/day. Cancer risk from exposure to ionizing radiation of nuclear power plant among nuclear power plant workers was 3.1 times more than general population. Cancer risk from exposure to ionizing radiation of nuclear power plant among population lived near nuclear power plant was 0.08 times more than general population.

Key words: Cancer risk from nuclear power plant