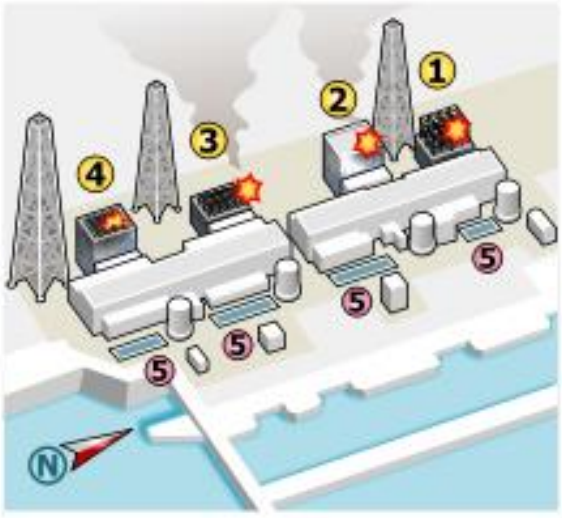
ฟุกุชิมะ: การระบายน้ำปนเปื้อนกัมมันตภาพรังสีที่บำบัดแล้วลงสู่ทะเล

อุษา กัลลประวิทย์ วราลี คงเจริญ สาเราะห์ นิยมเดชา ยุทธนา ตุ้มน้อย

[๑]สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

[๒]สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับแผนการจัดการและผลกระทบเนื่องจากการทิ้งน้ำปนเปื้อนกัมมันตภาพรังสีที่บำบัดแล้วจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ของบริษัทโตเกียวอิเล็กทริกเพาเวอร์ (TEPCO) ลงทะเล ซึ่งรัฐบาลญี่ปุ่นประกาศยืนยันเมื่อวันที่ ๑๓ เมษายน ค.ศ. ๒๐๒๑ ว่ามีแผนจะปล่อยน้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีกว่า ๑ ล้านตันที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะไดอิชิ ลงสู่ทะเล ท่ามกลางความวิตกกังวลจากประเทศเพื่อนบ้านและกระแสคัดค้านอย่างรุนแรงจากชุมชนชาวประมงในท้องถิ่น การระบายน้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีที่บำบัดแล้วนี้อาจเริ่มต้นในอีกหลายปีข้างหน้า และต้องใช้เวลานานนับสิบๆ ปีกว่าจะแล้วเสร็จ แต่ก็เรียกเสียงวิจารณ์ดังกระหึ่มจากทั้งในและนอกประเทศ รัฐบาลญี่ปุ่นอ้างว่าการปล่อยน้ำเหล่านี้ออกสู่ธรรมชาติมีความปลอดภัย เนื่องจากผ่านการบำบัดและขจัดสารกัมมันตรังสีออกเกือบหมด และเมื่อลงสู่มหาสมุทรก็จะยิ่งเจือจางลงไปอีก ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) โดย นายราฟาเอล มาริอาโน กรอสซี ผู้อำนวยการใหญ่ ได้ประกาศรับรองการปล่อยน้ำออกจากโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะไดอิชิ พร้อมยืนยันว่าโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แห่งอื่นๆ ในโลกก็มีกระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ไม่แตกต่างกัน นายกรัฐมนตรี โยชิฮิเดะ ซูงะ แห่งญี่ปุ่นกล่าวต่อที่ประชุมคณะรัฐมนตรีว่าการปล่อยน้ำออกจากโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะ “เป็นภารกิจที่หลีกเลี่ยงไม่ได้” และต้องใช้เวลาอีกหลายสิบปีกว่าจะปิดโรงไฟฟ้าแห่งนี้ลงอย่างถาวร โดยการปล่อยน้ำปนเปื้อนที่บำบัดแล้วจากโรงไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ “มั่นใจว่ามีความปลอดภัย” และต้องทำควบคู่ไปกับมาตรการ “ปกป้องชื่อเสียงของประเทศ”



รูปที่ ๑ แสดงแผนผังตำแหน่งที่ตั้งของเตาปฏิกรณ์ (Unit 1-5) และความเสียหายของโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะไดอิชิ®

ปัจจุบันมีน้ำปนเปื้อนรังสีกว่า ๑.๒๕ ล้านตันถูกกักเก็บอยู่ในแทงก์ขนาด ๑๔๐๐ ลูกบาศก์เมตรที่โรงไฟฟ้าฟุกุชิมะซึ่งมีทั้งน้ำที่ใช้หล่อเย็นแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ซึ่งเกิดการหลอมละลายหลังเหตุการณ์สึนามิเมื่อปี ค.ศ. ๒๐๑๑ รวมไปถึงน้ำฝนและน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาทุกๆ วัน โรงไฟฟ้าแห่งนี้มีการติดตั้งระบบปั๊มและกรองน้ำที่เรียกกันว่า Advanced Liquid Processing System (ALPS) ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละหลายตัน และกรองเอาสารกัมมันตรังสีส่วนใหญ่ออกไป บริษัทโตเกียวอิเล็กทริกเพาเวอร์ (TEPCO) ซึ่งเป็นผู้บริหารโรงไฟฟ้ามีแผนที่จะกรองน้ำเพื่อแยกไอโซโทปต่างๆ ออก เหลือเพียงทริเทียม (tritium) ซึ่งเป็นไอโซโทปหนึ่งใน ๓ ชนิดของอะตอมไฮโดรเจนที่ยากจะแยกออกจากน้ำได้ หลังจากนั้นก็จะนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปเจือจางเพิ่มอีกด้วยน้ำทะเลจนกระทั่งความเข้มข้นรังสีของทริเทียมไม่เกินกว่าที่กฎหมายกำหนดแล้วจึงจะปล่อยออกสู่ทะเล

มีเสียงคัดค้านจากชุมชนชาวประมงในท้องถิ่นด้วยเกรงว่าการปล่อยน้ำที่ปนเปื้อนจากโรงไฟฟ้าจะทำลายความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของอาหารทะเลจากจังหวัดฟุกุชิมะ ซึ่งต้องใช้เวลานานหลายปีกว่าจะกอบกู้คืนมาได้ นอกจากเสียงคัดค้านจากคนในพื้นที่เองแล้ว ท่าทีของรัฐบาลญี่ปุ่นยังนำมาซึ่งเสียงวิจารณ์จากประเทศเพื่อนบ้าน โดยล่าสุดกระทรวงการต่างประเทศจีนได้ออกคำแถลงตำหนิโตเกียวว่า “ขาดความรับผิดชอบอย่างยิ่ง” พร้อมเตือนให้ญี่ปุ่นชะลอแผนการปล่อยน้ำ จนกว่าจะบรรลุข้อตกลงกับประเทศใกล้เคียงที่มีส่วนได้ส่วนเสียรวมถึง IAEA อีกทั้งยังขู่กลายๆ ว่าจะขอสงวนสิทธิ์ที่จะใช้มาตรการตอบโต้ หากญี่ปุ่นยังคงเดินหน้าทำตามแผนเดิม ก่อนหน้านั้นกระทรวงการต่างประเทศเกาหลีใต้ก็ได้แสดงความ “ผิดหวังอย่างยิ่ง” ต่อการตัดสินใจของญี่ปุ่น ในขณะที่กระทรวงการต่างประเทศสหรัฐฯ ออกมาถือหางโตเกียว โดยระบุว่าที่ผ่านมารัฐบาลญี่ปุ่น “ได้ดำเนินการตัดสินใจอย่างโปร่งใส และใช้แนวทางที่สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยนิวเคลียร์ที่ทั่วโลกยอมรับ ”

ผู้เขียนได้รวบรวมเหตุการณ์สำคัญ ณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ในระยะเวลา ๑๐ ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. ๒๐๑๑-๒๐๒๑) โดยสืบค้นข้อมูลจากเอกสารเผยแพร่ต่างๆ และข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง เช่น จากเว็บไซต์ของ METI เป็นต้น เพื่อศึกษารูปแบบผลกระทบจากแผนการทิ้งน้ำกัมมันตภาพรังสีที่บำบัดแล้วจากโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะของบริษัท TEPCO ดังกล่าว ต่อน่านน้ำและสิ่งแวดล้อมของไทย ตลอดจนความเป็นไปได้ที่เจ้าหน้าที่ของไทยจะเข้าไปมีส่วนร่วมในการสังเกตการณ์แผนปฏิบัติการดังกล่าว

๑. เหตุการณ์สำคัญ ณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ในระยะเวลา ๑๐ ปีที่ผ่านมา

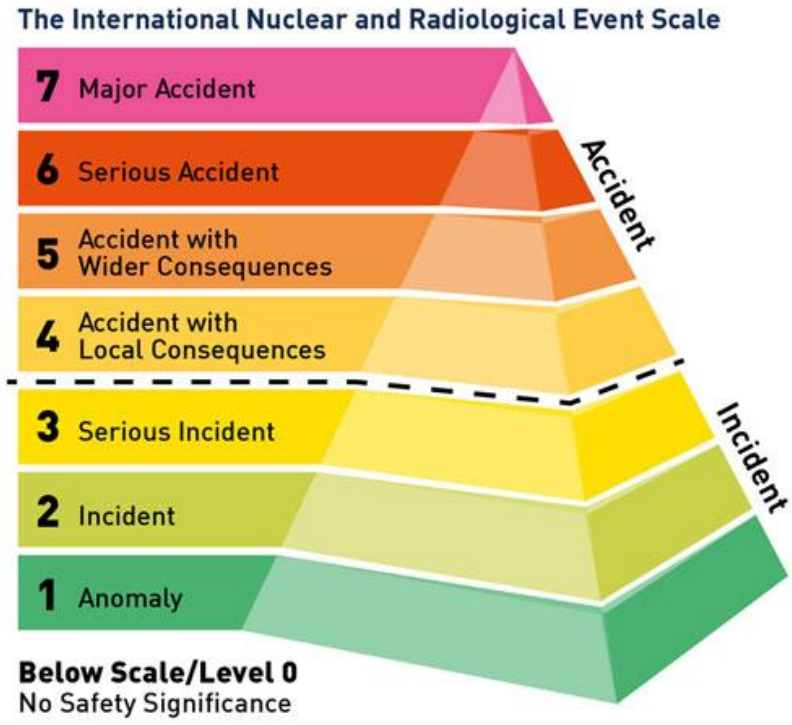
หลังจากแผ่นดินไหวขนาด ๙.๑ ริกเตอร์ นอกชายฝั่งตะวันออกของญี่ปุ่น ประมาณ ๗๐ กิโลเมตร เมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. ๒๐๑๑ ทำให้เกิดสึนามิขนาดยักษ์ความสูงถึง ๑๕ เมตร ทำลายโครงสร้างพื้นฐานจำนวนมากในเมืองใกล้เคียงตามแนวชายฝั่งของญี่ปุ่นได้แก่ ฟุกุชิมะ กุนมะ อิบารากิ และโทจิงิ และสร้างความเสียหายให้กับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ส่งผลให้ระบบจ่ายไฟฉุกเฉินและระบบทำความเย็นของเครื่องปฏิกรณ์ (หมายเลข ๑-๓ รูปที่ ๑) ต้องถูกปิดใช้งาน

ตารางที่ ๑ แสดงลำดับเหตุการณ์สำคัญ ณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ในระยะเวลา ๑๐ ปีที่ผ่านมา

เดือน/ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ	ข้อสังเกต
๒๐๑๑	ญี่ปุ่นประกาศเพิ่มความรุนแรงของระดับมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี (INES) เป็น ระดับ ๗ (เมษายน) “อุบัติเหตุรุนแรงสูงสุด”	ระดับเดียวกับเชอร์โนบิล (อุบัติเหตุใหญ่)
๒๐๑๒	-TEPCO ยอมรับเป็นครั้งแรกว่าล้มเหลวในการใช้มาตรการที่เข้มงวดขึ้นในการป้องกันภัยพิบัติ เนื่องจากกลัวว่าจะเกิดการฟ้องร้องหรือการประท้วงต่อโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ของบริษัท (ตุลาคม) -TEPCO จะสามารถบรรเทาผลกระทบจากอุบัติเหตุได้หากมีระบบพลังงานและระบบทำความเย็นที่หลากหลายโดยให้ความสำคัญกับมาตรฐานสากลและข้อเสนอแนะอย่างใกล้ชิด และให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมด้วยทักษะการจัดการวิกฤตที่นำไปใช้ได้จริง	
๒๐๑๓	รัฐบาลญี่ปุ่นยอมรับว่ามีการรั่วไหลของน้ำกัมมันตภาพรังสีลงสู่น้ำบาดาลและลงสู่มหาสมุทรตั้งแต่ปี ค.ศ. ๒๐๑๑ ทำให้เกิดกัมมันตภาพรังสีในน้ำใต้ดิน ซึ่งมีผลกระทบต่อน้ำดื่มและในมหาสมุทรแปซิฟิก สำนักงานกำกับดูแลนิวเคลียร์ของญี่ปุ่น (Japanese Nuclear Regulation Authority, NRA) ประกาศความรุนแรงของการรั่วไหลของน้ำตามมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี (INES) ที่ระดับ ๓ (สิงหาคม) “อุบัติการณ์รุนแรง”	
๒๐๑๔	เนื่องจากมีปัญหากับอุปกรณ์วัด จึงมีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลที่นำมาจากบ่อน้ำในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. ๒๐๑๓ อีกครั้ง เพื่อยืนยันค่ากัมมันตภาพรังสีบีตาของสทรอนเซียม-๙๐ (ค่าครึ่งชีวิต: ๒๘.๗๙ ปี) ยืนยันจาก ๐.๙ MBq/L เป็น ๕ MBq/L ซึ่งสูงเป็นประวัติการณ์ ค่ากัมมันตภาพรังสีบีตารวม (Gross Beta) ซึ่งจะรวมค่ากัมมันตภาพรังสีบีตาจากอิตเทรียม (Y-90 ค่าครึ่งชีวิต ๒.๕ วัน) และไอโซโทปอื่นเท่ากับ ๑๐ MBq/L TEPCO รายงานว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วทั้งหมดได้ถูกนำออกจากแหล่งกักเก็บที่เครื่องปฏิกรณ์ #๔ อย่างปลอดภัยแล้ว (ธันวาคม)	
๒๐๑๕	สร้างกำแพงป้องกันชายทะเลแล้วเสร็จเพื่อลดปริมาณน้ำปนเปื้อนที่รั่วไหลลงสู่ทะเล	
๒๐๑๖	มีการประเมินปริมาณกากกัมมันตรังสีที่จะมีถึงปี ค.ศ. ๒๐๒๗	
๒๐๑๗	หุ่นยนต์ควบคุมระยะไกลถ่ายภาพแรกของแกนที่หลอมละลายของเครื่องปฏิกรณ์ # ๓ (กรกฎาคม)	
๒๐๑๘	มีการตรวจสอบห้องกักกันหน่วยที่ ๒ ด้วยกล้องพบว่า "ไม่มีความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญ" ที่ผนังด้านใน อัตราปริมาณรังสีในห้องกักกันแตกต่างกันระหว่าง ๗-๔๒ เกรย์/ชม. ขึ้นกับตำแหน่งที่วัด	
๒๐๑๙	หุ่นยนต์ที่มี "นิ้ว" สองนิ้วสัมผัสกับเศษเชื้อเพลิงในแทงก์กักกันหลัก (PCV) ของเครื่องปฏิกรณ์ # ๒ เป็นครั้งแรก และสามารถเคลื่อนย้ายเศษซาก ๗ ใน ๑๐ ตำแหน่งที่ตรวจสอบได้ (กุมภาพันธ์)	ทำให้มีความหวัง

๒. มาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี (International Nuclear and Radiological Event Scale; INES)

ในการเตรียมความพร้อมฉุกเฉินด้านนิวเคลียร์ INES ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารความสำคัญด้านความปลอดภัยของเหตุการณ์นิวเคลียร์และกัมมันตภาพรังสีต่อสาธารณชน โดยจำแนกเหตุการณ์นิวเคลียร์ออกเป็น ๗ ระดับ (รูปที่ ๒ และตารางที่ ๒)



รูปที่ ๒ แสดงมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี [๒]
(International Nuclear and Radiological Event Scale; INES)

จากรูปที่ ๒ แผนภูมิแสดงมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี จำแนกเหตุการณ์ตามนัยสำคัญด้านความปลอดภัย (ล่างไปบน) จากน้อยไปหามาก จากความผิดปกติ อุบัติการณ์ อุบัติการณ์ร้ายแรง อุบัติเหตุที่มีผลกระทบภายในสถานประกอบการนิวเคลียร์ อุบัติเหตุที่มีผลกระทบในวงกว้าง อุบัติเหตุร้ายแรง และอุบัติเหตุรุนแรงสูงสุด ตามลำดับ ดังนี้

- เหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญด้านความปลอดภัยมาก ระดับ ๔-๗ เรียกว่า "อุบัติเหตุ"
- เหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญด้านความปลอดภัยน้อยลงมา ระดับ ๑-๓ เรียกว่า "อุบัติการณ์"
- ส่วนเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญด้านความปลอดภัย ระดับ ๐ เรียกว่า "การเบี่ยงเบน"

ตารางที่ ๒ คำอธิบายมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี (INES)[๓]

ระดับ (Level)	ผลกระทบ (Impact)			ตัวอย่างเหตุการณ์
	ภายนอกสถานที่ตั้ง (Off-Site)	ในสถานที่ตั้ง (On-site)	ความสูญเสียการป้องกันเชิงลึก (Defence in Depth Degradation)	
ระดับ ๗ อุบัติเหตุรุนแรงสูงสุด / อุบัติเหตุใหญ่หลวง (Major Accident)	อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกสถานประกอบการนิวเคลียร์ในปริมาณมหาศาล มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง			-Chernobyl ยูเครน (ค.ศ.๑๙๘๖) เชื้อเพลิงเกิดการหลอมเหลวและเกิดเพลิงไหม้
ระดับ ๖ อุบัติเหตุรุนแรง (Serious Accident)	อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกสถานประกอบการนิวเคลียร์ในปริมาณสูงและต้องดำเนินการตามแผนฉุกเฉินเฉพาะที่อย่างเต็มรูปแบบ			-Mayak ที่ Ozersk รัสเซีย (ค.ศ ๑๙๕๗) โรงงานแปรสภาพซ้ำเชื้อเพลิง เกิดสภาวะวิกฤต
ระดับ ๕ อุบัติเหตุที่มีผลกระทบถึงภายนอกสถานที่ตั้ง (Accident with wider consequences)	มีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกสถานประกอบการนิวเคลียร์ปริมาณจำกัด ทำให้ต้องมีการใช้แผนฉุกเฉินเฉพาะที่บางส่วน หรือ	อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิด ความเสียหายรุนแรงต่อสถานประกอบการนิวเคลียร์ (ต่อแกน เครื่องปฏิกรณ์ หรือต่อ ตัวกั้นทางรังสี)		-Windscale กองทัพบก อังกฤษ (ค.ศ. ๑๙๕๗) -Three Mile Island สหรัฐอเมริกา (ค.ศ. ๑๙๗๙) เกิดเชื้อเพลิงหลอมเหลว
ระดับ ๔ อุบัติเหตุที่ไม่มีผลกระทบภายนอก สถานที่ตั้ง (Accident with local consequences)	มีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกสถานประกอบการนิวเคลียร์เล็กน้อย ยังผลให้กลุ่มบุคคลที่ล่อแหลมต่อเหตุการณ์ได้รับปริมาณรังสีในเกณฑ์กำหนด หรือก่อให้เกิดความเสียหายในสถานที่ตั้ง (On-site)	อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายในระดับสำคัญต่อแกนเครื่องปฏิกรณ์ ตัวกั้นทางรังสี และผู้ปฏิบัติงาน		Saint-Laurent A๑ ฝรั่งเศส (ค.ศ. ๑๙๖๙) เชื้อเพลิงแตก และ A๒ (ค.ศ.๑๙๘๐) แกรไฟต์ร้อนเกิน -Tokai-mura ญี่ปุ่น (ค.ศ. ๑๙๙๙) สภาวะวิกฤต ในโรงงานผลิตเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ระดับทดลอง
ระดับ ๓ อุบัติการณ์รุนแรง หรือ เหตุขัดข้องรุนแรง (Serious Incident)	มีการแพร่กระจายสารกัมมันตรังสีปริมาณเล็กน้อยออกสู่ภายนอกสถานประกอบการนิวเคลียร์ กลุ่มบุคคลที่ล่อแหลมต่อเหตุการณ์ได้รับรังสีในช่วงเป็นเศษส่วนในสิบของเกณฑ์กำหนด หรือก่อให้เกิดความเสียหายในสถานที่ตั้ง (On-site)	เหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีภายในบริเวณสถานประกอบการนิวเคลียร์อย่างรุนแรง ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขอนามัย	เหตุการณ์ที่ใกล้เคียงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเหลือเพียงระบบป้องกันขั้นสุดท้าย ยังคงทำงานอยู่	-Vandellos สเปน ปี ๑๙๘๙ เทอร์ไบน์ ติดไฟ -Davis-Besse สหรัฐอเมริกา (ค.ศ. ๒๐๐๒) การกัดกร่อนอย่างรุนแรง -Paks ฮังการี (ค.ศ. ๒๐๐๓) เชื้อเพลิงเสียหาย
ระดับ ๒ อุบัติการณ์ หรือ เหตุขัดข้อง (Incident)	ไม่มีผลกระทบ	เหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีภายในบริเวณสถานประกอบการนิวเคลียร์อย่างมีนัยสำคัญ ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์กำหนด หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานที่ตั้ง (On-site)	เหตุการณ์ซึ่งส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยอย่างมีนัยสำคัญ แต่ระบบป้องกันอื่น ๆ ยังสามารถควบคุมสภาวะผิดปกติอื่น ๆ ได้	

ตารางที่ ๒ คำอธิบายมาตราระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์และรังสี (INES)[๓] (ต่อ)

ระดับ (Level)	**ผลกระทบ** (Impact)			**ตัวอย่างเหตุการณ์**
	ภายนอกสถานที่ตั้ง (Off-Site)	**ในสถานที่ตั้ง** (On-site)	**ความสูญเสียการป้องกันเชิงลึก** (Defence in Depth Degradation)	
ระดับ ๑ เหตุผิดปกติ (Anomaly)	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	เหตุการณ์ที่แตกต่างจากเงื่อนไขตามที่อนุญาตให้เดินเครื่องของสถานประกอบการนิวเคลียร์แต่ไม่มีผลกระทบด้านความปลอดภัย ไม่มีการเปื้อนสารกัมมันตรังสี หรือผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับรังสีเกินเกณฑ์กำหนด	
ระดับ ๐ การเบี่ยงเบน (Deviation)	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	เหตุการณ์ที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการเดินเครื่องของสถานประกอบการนิวเคลียร์ตามปกติ ไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต่าง ๆ	
ต่ำกว่า ๐	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่ส่งผลต่อกระทบต่อความปลอดภัยใด ๆ	

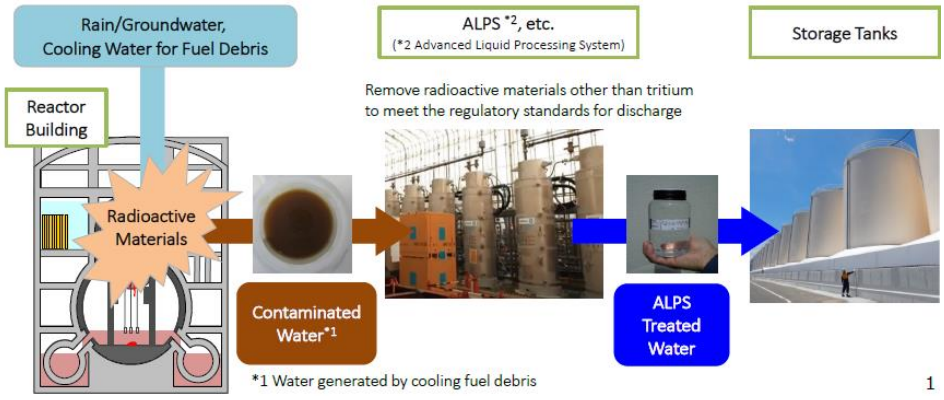
๓. การขจัดสิ่งปนเปื้อนและการจัดเก็บน้ำกัมมันตภาพรังสีชั่วคราว[๔,๕]

การฉีดน้ำรีไซเคิลอย่างต่อเนื่องไปยังแกนกลางที่เสียหายทั้งสามแกนในช่วง ๑๐ ปีที่ผ่านมา จำเป็นต้องมีการประมวลผลอย่างต่อเนื่องของซีเซียมและสทรอนเชียมที่มีการปนเปื้อนสูงจากห้องใต้ดิน ด้วยในบรรดาผลิตภัณฑ์ฟิชชันรังสีแกมมาที่ปนเปื้อนและมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดมาจากซีเซียม-๑๓๗ (Cs-137 ค่าครึ่งชีวิต ๓๐.๑๗ ปี) ส่วนสทรอนเชียม-๙๐ เป็นผลิตภัณฑ์ฟิชชันรังสีบีตาที่ปนเปื้อนและมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดเช่นกัน (Sr-90 ค่าครึ่งชีวิต ๒๘.๗๙ ปี) ระบบการกำจัดซีเซียมขั้นต้น (Kurion และ SARRY) ทำการบำบัดน้ำปนเปื้อนมากกว่า ๒.๔ ล้านตัน เพื่อลดระดับรังสีแกมมา ซึ่งสามารถกำจัดซีเซียมได้เกือบ ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ จนถึงปัจจุบันระบบเหล่านี้ใช้ซีโอไลต์ดูดซับกัมมันตภาพรังสีสูงซึ่งถูกจัดเก็บไว้ในแทงก์ขนาด ๑๔๐๐ ลูกบาศก์เมตร มากกว่า ๑,๐๐๐ แทงก์ ณ โรงงานฟุกุชิมะ

หลังจากการกำจัดซีเซียมขั้นต้นระดับรังสีแกมมาจะลดลงเพื่อให้สามารถกำจัดเกลือโดยระบบออสโมซิสผันกลับหรือออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis, RO) ซึ่งเป็นกระบวนการกรองด้วยเยื่อเมมเบรน โดยการให้ความดันที่สูงกว่าความดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่จากจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าผ่านเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (semi permeable membrane) ไปยังสารละลายที่เจือจางกว่า ซึ่งจะแยก Sr-90 และไอโซโทปอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นสูงออกจากน้ำที่ปนเปื้อน น้ำที่บริสุทธิ์ขึ้นจะถูกฉีดกลับเข้าไปที่ส่วนบนของแกนเครื่องปฏิกรณ์

๔. ระบบการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced liquid waste processing systems; ALPS)[๔,๕]

ระบบการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (ALPS) สามระบบสร้างขึ้นเพื่อกำจัดสารไอโซโทป Sr-90 และสารไอโซโทปอื่น ๆ อีก ๖๒ ชนิดออกไปจนระดับรังสีแกมมาต่ำกว่ามาตรฐานสากลการควบคุมการปล่อยน้ำจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ลงมหาสมุทร เหลือแต่ทริเทียม (**H-3**) แต่ระดับความแรงรังสีต่ำพอที่จะทำให้เจือจางลงได้ต่ำกว่ามาตรฐานความปลอดภัยสากลและการปกป้องสิ่งแวดล้อม จนถึงปัจจุบันระบบเหล่านี้ได้บำบัดน้ำกัมมันตรังสีไปแล้วกว่า ๑.๒ ล้านตัน



รูปที่ ๓ แสดงกลไกการเกิดน้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีและระบบการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (ALPS) [๔,๕]

รูปที่ ๔ แสดงภาพแทงก์เหล็กขนาด ๑๔๐๐ ลูกบาศก์เมตร มากกว่า ๑,๐๐๐ แทงก์ถูกเก็บเบียดอัดแน่นในฟุกุชิมะ[๖]

เดือนเมษายน ค.ศ. ๒๐๒๑ TEPCO ประกาศว่าจะทิ้งน้ำกัมมันตภาพรังสีหลายล้านเมตริกตันลงในมหาสมุทรแปซิฟิก เนื่องจากความจุในการจัดเก็บ ๑.๓๗ เมตริกตัน จะเต็มภายในปลายปี ค.ศ. ๒๐๒๒

๕. น้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีเกิดขึ้นได้อย่างไร[๔,๕]

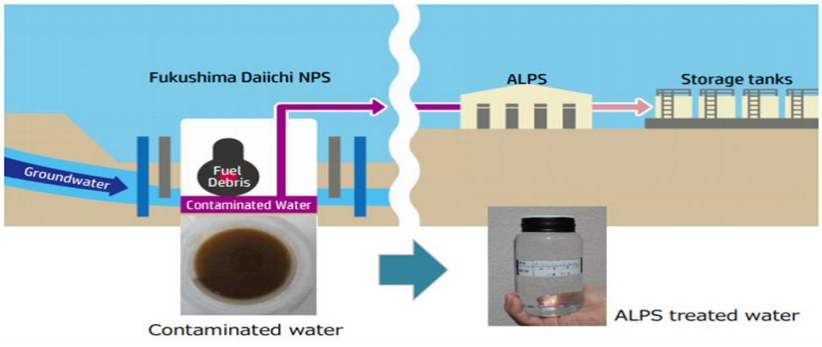
แหล่งน้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีของโรงไฟฟ้าฟุกุชิมะไดอิชิมาจาก ๓ แหล่งใหญ่ คือ

(๑) น้ำหล่อเย็น เพื่อให้ซากแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์อยู่ในสภาพคงที่

(๒) น้ำบาดาล ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำภายในอาคารเสมอ และไหลเข้าสู่อาคารอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ปนเปื้อนในเครื่องปฏิกรณ์ไหลออกจากอาคารเครื่องปฏิกรณ์

(๓) น้ำฝนแทรกซึมทะลุหลังคาอาคาร

รูปที่ ๕ แสดงภาพน้ำบาดาลไหลเข้าสู่อาคารอย่างต่อเนื่อง[๔]



Status of treated water in FDNPS (As of February, 2021)	
Tank storage volume	About 1.25 million ㎥
Tank capacity (at the end of 2020)	About 1.37million ㎥
Increase of treated water	About 50,000 to 60,000 ㎥/year

รูปที่ ๖ แสดงแหล่งที่มาของน้ำปนเปื้อนกัมมันตรังสีและวิธีการบำบัดด้วย ALPS เพื่อลดปริมาณ Sr-90 และสถานะของน้ำที่บำบัด ณ กุมภาพันธ์ ค.ศ. ๒๐๒๑ (FDNPS; Fukushima Diichi Nuclear Power Stations)[๔]

๖. การเกิดทริเทียม (H-3 ค่าครึ่งชีวิต ๑๒.๓๒ ปี)

ทริเทียมมักถูกผลิตขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์โดยการกระตุ้นนิวตรอนของลิเทียม-๖ ปลดปล่อยทริเทียมและฮีเลียม ทริเทียมส่วนใหญ่ที่ผลิตในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาจากโบรอน ซึ่งเป็นตัวดูดซับนิวตรอนที่ดี ใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ สุดท้าย **H-3** จะกลับเข้าไปยังน้ำหล่อเย็น

ทริเทียมปริมาณเล็กน้อย อาจเกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียม-๒๓๕ ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ หรือเมื่อมีสารเคมีอื่นๆ (เช่น ลิเทียมหรือน้ำมวลหนัก) ในน้ำหล่อเย็นดูดซับนิวตรอน

๗. กำจัดทริเทียมออกได้ไหม[๔,๕]

เป็นเรื่องยากมากที่จะขจัดน้ำมวลหนักออกจากน้ำมวลปกติ เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมือนกัน ในปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีการแยกน้ำมวลหนักความเข้มข้นต่ำออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดปริมาณมาก (แม้แต่ IAEA)

๘. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีสารกัมมันตภาพรังสีอื่นๆหรือไม่[๔,๕]

น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วประมาณ ๗๐% ที่เก็บไว้ในแทงก์มีสารกัมมันตรังสีอื่นๆ นอกเหนือจากทริเทียมที่ความเข้มข้นเกินมาตรฐานกำหนด ดังนั้นการกรองน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงได้เริ่มต้นขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการกำกับดูแลของนิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีที่ไม่ใช่ไอโซโทปตั้งแต่ปี ค.ศ. ๒๐๒๐ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกเจือจางอย่างเพียงพอเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการกำกับสารไอโซโทปก่อนที่จะปล่อยลงสู่ทะเล

๙. มาตรฐานการควบคุม Tritium

Tritium มีอยู่ในธรรมชาติ ระดับความแรงรังสี ในน้ำประปาแตกต่างกันตามพื้นที่ ปริมาณทริเทียมในน้ำประปาประเทศไทยจากงานวิจัยปี ค .ศ. ๒๐๑๙ พบปริมาณทริเทียมอยู่ในช่วง ๐.๔๑ – ๐.๗๕ Bq/L ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก[๗] ส่วนในร่างกายมนุษย์มี **Tritium** ในระดับเป็นหลัก ๑๐ Bq
ค่ามาตรฐานการควบคุม Tritium ในน้ำดื่มในแต่ละประเทศแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ ๓

ตารางที่ ๓ ค่ามาตรฐาน Tritium ในน้ำดื่มในบางประเทศ

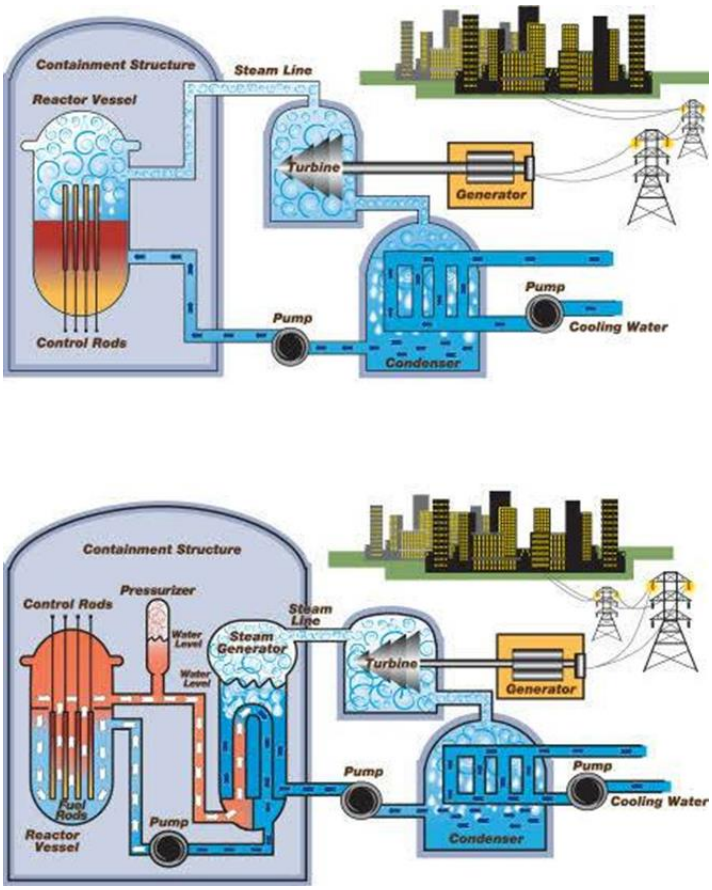
ประเทศ / หน่วยงาน	ค่ามาตรฐาน Tritium ในน้ำดื่ม**(Bq/L)**
ออสเตรเลีย	๗๖,๑๐๓
ฟินแลนด์	๓๐,๐๐๐
WHO	๑๐,๐๐๐
สวิตเซอร์แลนด์	๑๐,๐๐๐
รัสเซีย	๗,๗๐๐
แคนาดา (ออนตาริโอ)	๗,๐๐๐
สหรัฐอเมริกา	๗๔๐
European Union[๑]	๑๐๐[๑]
ODWAC **proposed** limits	๒๐
แคลิฟอร์เนีย (ค่าเป้าหมาย ยังไม่บังคับใช้)	๑๔.๘

อ้างอิงจาก http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/health/tritium/tritium-in-drinking-water.cfm[๘]

- ค่ามาตรฐานการควบคุม Tritium ในน้ำบำบัดระบายจากโรงงานนิวเคลียร์ (จำแนกตาม graded approach ชนิดและกำลังของเครื่องปฏิกรณ์/สถานประกอบการนิวเคลียร์/ปี)
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะปล่อย Tritium ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของเสียที่เป็นของเหลวที่ปล่อยผ่าน และชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ โดยทั่วไป PWRs จะมีการปล่อย Tritium สูงกว่า BWR

Boiling Water Reactor (BWR); ๑๐๐๐ GBq/GWe(a)

Pressurized Water Reactor (PWR); ๒๖๐๐๐ GBq/GWe(a)



รูปที่ ๗ แสดงแผนภาพชนิดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

บน: Boiling Water Reactor (BWR) ล่าง: Pressurized Water Reactor(PWR)[๙]

ตัวอย่าง เครื่องปฏิกรณ์ Fukushima Daiichi (รุ่น Mark I) เป็นเครื่องปฏิกรณ์น้ำเดือด (BWR) ออกแบบในช่วงต้นทศวรรษ ๑๙๖๐ ก่อสร้างโดยบริษัท GE ร่วมกับ Toshiba และ Hitachi Unit ๑ มีกำลังการผลิต ๔๖๐ MWe Unit ๒-๕ กำลังการผลิต ๗๘๔ MWe และ Unit ๖ กำลังการผลิต ๑๑๐๐ MWe ตามลำดับ กำลังการผลิตรวม ๔.๖๙๖ GWe

มาตรฐานการกำกับดูแลทริเทียมของสำนักงานกำกับดูแลนิวเคลียร์ของญี่ปุ่น (NRA) กำหนดระดับความแรงรังสีในการระบาย H-3 ในน้ำ คือ ๖๐,๐๐๐ Bq/L

๑๐. เหตุใดจึงต้องมีการระบายน้ำที่บำบัดด้วย ALPS[๔,๕]

TEPCO ให้เหตุผลในประเด็นนี้ไว้อย่างน้อย ๓ ประการ คือ

(๑) แทงก์เก็บจะเต็มความจุในฤดูร้อนปี ค.ศ. ๒๐๒๒
(๒) การรื้อถอนโรงงานฟุกุชิมะไดอิชิ (FDNPS) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการฟื้นฟูฟุกุชิมะ เพื่อให้การฟื้นฟูเสร็จสมบูรณ์ จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายแทงก์ทั้งหมดออกไป
(๓) ปัญหาการระบายน้ำปนเปื้อนที่บำบัดแล้วไม่สามารถเลื่อนอีกต่อไปได้

TEPCO มีแผนที่จะบำบัดและเจือจางน้ำก่อนสูบออกในอีกประมาณ ๒ ปีนับจากปี ค.ศ. ๒๐๒๑ จะมีน้ำกัมมันตภาพรังสีมากกว่าหนึ่งล้านเมตริกตันจากโรงงานที่ต้องระบายออก อาจใช้เวลาหลายทศวรรษกว่าจะระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทั้งหมด

๑๑. การระบายน้ำบำบัดจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะ (FDNPS) ทิ้งลงทะเลมีอันตรายหรือไม่

Brent Heuser ศาสตราจารย์ด้านวิศวกรรมแห่งมหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ให้ความเห็นว่าแผนการของญี่ปุ่นที่จะปล่อยน้ำกัมมันตภาพรังสีที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะที่พังเสียหายจะมี “ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นศูนย์”[๑๐]

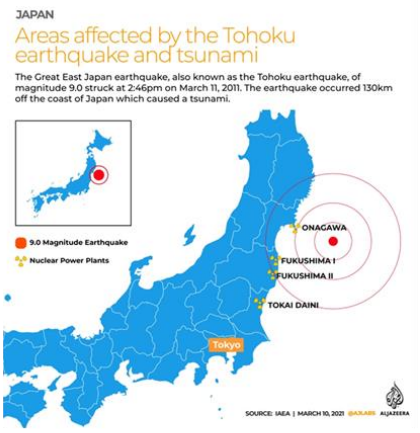
ในขณะที่นายราฟาเอล มาริอาโน กรอสซี ผู้อำนวยการใหญ่ IAEA ยินดีกับการประกาศของญี่ปุ่นและให้การสนับสนุนแผนการดังกล่าวของญี่ปุ่นโดยกล่าวในแถลงการณ์ว่า “วิธีการกำจัดน้ำที่ญี่ปุ่นเลือกนั้นเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและสอดคล้องกับแนวปฏิบัติสากล”[๑๑]

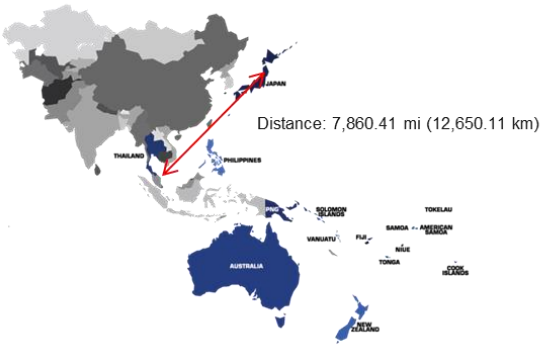
สหรัฐอเมริกา ให้ความเห็นว่าแผนปฏิบัติการของญี่ปุ่นมีความโปร่งใสและแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับ “มาตรฐานความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก”[๑๒]

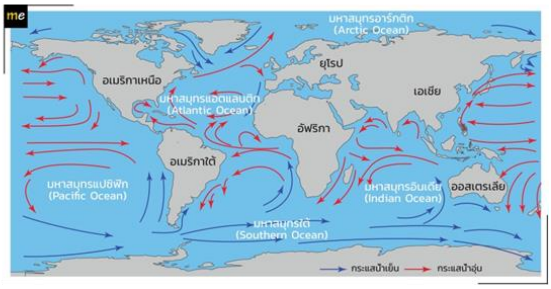
U.S. FDA ให้ความเห็นต่อข้อกังวลใจเกี่ยวกับทริเทียมว่า “การบริโภค Tritium มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ต่ำมาก ผลกระทบความเสี่ยงด้านสุขภาพใดๆ จะลดลงอีกจากการเจือจางเมื่อปล่อยลงสู่มหาสมุทร ยังไม่มีหลักฐานว่าสารกัมมันตรังสีจากเหตุการณ์ฟุกุชิมะมีอยู่ในแหล่งอาหารของสหรัฐฯในระดับที่ไม่ปลอดภัยหรือจะก่อ ให้เกิดความกังวลด้านสาธารณสุขและเชื่อว่าภารกิจนี้จะไม่ส่งผลต่อความปลอดภัยของอาหารที่นำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นและผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศของสหรัฐฯ รวมทั้ง อาหารทะเลที่จับได้นอกชายฝั่งสหรัฐอเมริกา”[๑๓]

๑๒. ข้อกังวลใจของประเทศเพื่อนบ้านญี่ปุ่นและประเทศไทย

หากพิจารณาจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวและสึนามิในโทโฮคุ (ชายฝั่งตะวันออกของญี่ปุ่น) และกระแสน้ำในมหาสมุทรแปซิฟิกทั่วไป ไม่น่าแปลกใจว่าทำไมจีนและเกาหลีจึงแสดงความกังวลใจ เนื่องจากที่ตั้งทางธรณีวิทยาของทั้งสองประเทศใกล้ประเทศญี่ปุ่นที่สุด ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่การระบายน้ำปนเปื้อนรังสีลงสู่มหาสมุทรแปซิฟิกอาจส่งผลกระทบต่อการทำประมงและการขายอาหารทะเลของญี่ปุ่น จีนและเกาหลีในบริเวณน่านน้ำใกล้เคียง[๑๔]







รูปที่ ๘ แสดงตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว[๑๕] ที่ตั้งของประเทศเพื่อนบ้าน[๑๖] ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุถึงอ่าวไทย[๑๗] และสภาพการหมุนเวียนของกระแสน้ำอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิก[๑๘]

สำหรับประเทศไทย หากพิจารณาจากตำแหน่งทางธรณีวิทยา ระยะทางจากฟุกุชิมะถึงอ่าวไทย (๗,๘๖๐.๔๑ ไมล์/๑๒,๖๕๐.๑๑ กิโลเมตร) และกระแสน้ำอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิก มีความเป็นไปได้น้อยมากที่กัมมันตภาพรังสีจะส่งผลกระทบต่อชายฝั่งทะเลของประเทศไทย แต่การตรวจสอบอาหารทะเลจากชายฝั่งของประเทศไทยจะยังคงต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องโดยความร่วมมือของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและหน่วยงานพันธมิตรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมประมง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมควบคุมมลพิษ และ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เป็นต้น หน่วยงานเหล่านี้จะร่วมกันตรวจสอบสภาพแวดล้อมทางทะเลตามแนวชายฝั่งของประเทศไทยตั้งแต่ต้นจนจบภารกิจนี้ การตรวจสอบอาหารทะเลนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นจะดำเนินการเพื่อประกันความปลอดภัยของผู้บริโภคไทยเช่นเดียวกัน

จากข้อมูลที่ว่าญี่ปุ่นมีแผนที่จะระบายน้ำที่ปนเปื้อน **H-3** ลงสู่ทะเลที่ระดับ ๒๒,๐๐๐ GBq/a (เจือจาง **H-3** เป็น ๑๕๐๐ Bq/L ก่อนระบายทิ้ง) ซึ่งเป็นระดับปฏิบัติการปกติเดียวกับที่ใช้ในการระบาย **H-3** ที่ปนเปื้อนจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะก่อนเหตุการณ์ในปี ค.ศ. ๒๐๑๑ จากข้อมูลนี้ประมาณการว่าจะสามารถระบายน้ำทิ้งได้ ๓๖๗ ล้านตัน/ปี

๑๓. ข้อเสนอเพื่อลดความกังวลและผลกระทบของรังสีต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

เพื่อลดความกังวลและผลกระทบของรังสีต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศเพื่อนบ้านและทุกฝ่ายที่อาจได้รับผลกระทบและเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม ประเทศไทยและประเทศอื่น ๆ รวมถึงองค์กรระหว่างประเทศ อาจมีข้อเสนอร่วมกัน ดังนี้

๑) ขอให้ญี่ปุ่นเปิดเผยข้อมูลที่ถูกต้อง ตรงไปตรงมา รายงานผลการวัดกัมมันตภาพรังสีอย่างสม่ำเสมอและทันเวลา (ก่อนและหลังการระบายน้ำ) รวมถึงระดับ **H-3** และสารกัมมันตภาพรังสีอื่นๆ

๒) เปิดโอกาสให้ประเทศที่สามเข้าร่วมในคณะทำงานด้านเทคนิคเพื่อประเมินขั้นตอนการดำเนินการ เพื่อความโปร่งใสของญี่ปุ่นและเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในประเทศเหล่านั้นและองค์กรระหว่างประเทศ

๓) คณะทำงานด้านเทคนิคจะเป็นการดำเนินการร่วมกันภายใต้กรอบพหุภาคี ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจากประเทศจีน เกาหลีใต้ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากประเทศที่สามและ IAEA เป็นผู้ประสานงาน เพื่อดำเนินการประเมินความปลอดภัยอย่างเป็นธรรมในการปฏิบัติการดังกล่าว และเพื่อให้มั่นใจว่าการดำเนินการเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยสากล

ซึ่งการดำเนินการตามข้อเสนอข้างต้นจำเป็นต้องได้รับงบประมาณสนับสนุนการร่วมภารกิจจากรัฐบาลของประเทศสมาชิกและจาก IAEA

เอกสารอ้างอิง

๑. Timeline of the Fukushima Daiichi nuclear disaster https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_Fukushima_Daiichi_nuclear_disaster
๒. International Nuclear and Radiological Event Scale (about emergency preparedness); https://www.nrc.gov/about-nrc/emerg-preparedness/about-emerg-preparedness/emerg-classification/event-scale.html
๓. สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ และมาตราระหว่างประเทศ ว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์ http://wwwo.tint.or.th/nkc/nkc๕๔/content-oo๑/nstkc๕๔-o๒๙.html
๔. METI Q&A; https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/qa.html
๕. METI, The Situation of TEPCO's Fukushima Daiichi NPS, https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/๒oo๑๙๑oo๒๙_๔.pdf
๖. Fukushima: Japan may have to dump radioactive water into the sea, environment minister says; https://www.abc.net.au/news/๒oo๑๙-oo๙-oo๑/fukushima-japan-may-have-to-dump-radioactive-water-into-the-sea/oo๑๔๙๘๔๕o
๗. วารสารคลินิกน้ำสะอาด การประปานครหลวง ปีที่ ๖ ฉบับที่ ๒ ธันวาคม ๒๕๖๓-มกราคม ๒๕๖๔

๘. Tritium in drinking water, The Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/health/tritium/tritium-in-drinking-water.cfm
๙. Roman Mouginot and Hannu Hänninen, Microstructures of nickel- base alloy dissimilar Metal welds, Aalto University, ๒๐๑๒
๑๐. https://www.cnbc.com/๒๐๒๑/๐๔/๑๖/fukushima-japans-plan-to-dump-radioactive-water-is-not-dangerous-prof-says.html
๑๑. IAEA Ready to Support Japan on Fukushima Water Disposal, Director General Grossi Says, https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-ready-to-support-japan-on-fukushima-water-disposal-director-general-grossi-says
๑๒. U.S. expresses support for Japan's release of Fukushima nuclear plant water, https://www.reuters.com/business/environment/us-expresses-support-japans-release-fukushima-nuclear-plant-water-2021-04-13/
๑๓. FDA Response to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Facility Incident, https://www.fda.gov/news-events/public-health-focus/fda-response-fukushima-daiichi-nuclear-power-facility-incident
๑๔. South Korea and China are unhappy with Japan's decision to release radioactive water from Fukushima into the Pacific Ocean, https://www.insider.com/south-korea-china-object-to-japan-releasing-fukushima-water-into-sea-2021-4
๑๕. The Fukushima disaster in maps and charts; Ten years after Japan’s deadly earthquake and tsunami, we take a look at how the disaster unfolded.; https://www.aljazeera.com/news/2021/3/10/fukushima-disaster-in-maps-and-charts
๑๖. https://bangkok.unesco.org/content/asia-and-pacific
๑๗. East Asia Asia-Pacific Pacific Ocean Middle East Map, asia, world, world Map png, https://www.pngegg.com/en/png-zukun
๑๘. https://www.slideshare.net/tanujjoshig609/ocean-currents-pacific