



Fukushima Daiichi Nuclear Accident : Causes and Social Impacts

Vutthi Bhathumnavin

Professor, School of Management Technology, Shinawatra International University

Duchduen Bhanthumnavin

*Associate Professor, The Graduate School of Social and Environmental Development,
National Institute of Development Administration*

Abstract

The great earthquake of 9.0 richter on March 11, 2011 off the Pacific coast of Miyagi Prefecture, Japan followed by great tsunami of 14 meter height at the coast had damaged Fukushima Daiichi nuclear power station. This disastrous event has caused many consequences of nuclear energy crises through which have been carried on until present. In the article, series of events happened at Fukushima Daiichi are described and explained e.g. loss of coolant accident (LOCA), a reason Fukushima Daiichi and other nuclear power stations nearby can survive from the great disastrous event. The safety principle for nuclear power plant (NPP), Defense in Depth, of IAEA is pointed out. The safety culture and additional measures for safety of NPP are suggested. Social impacts, suggestions and roles of nuclear power for development through the utilization of small and medium reactors (SMR) are briefly described together with comparison between SMR and large nuclear reactor (LR). SMR is suggested as one of potential candidates for nuclear power development in the future.

Key words: Earthquake, Tsunami, Defense in depth, LOCA , Safety culture,
Social impacts, SMR.



อุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ : สาเหตุและผลกระทบต่อสังคม

วราทิ พันธ์มนาวิน

ศาสตราจารย์ คณะการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยชินวัตร

ดุจเดือน พันธ์มนาวิน

รองศาสตราจารย์ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

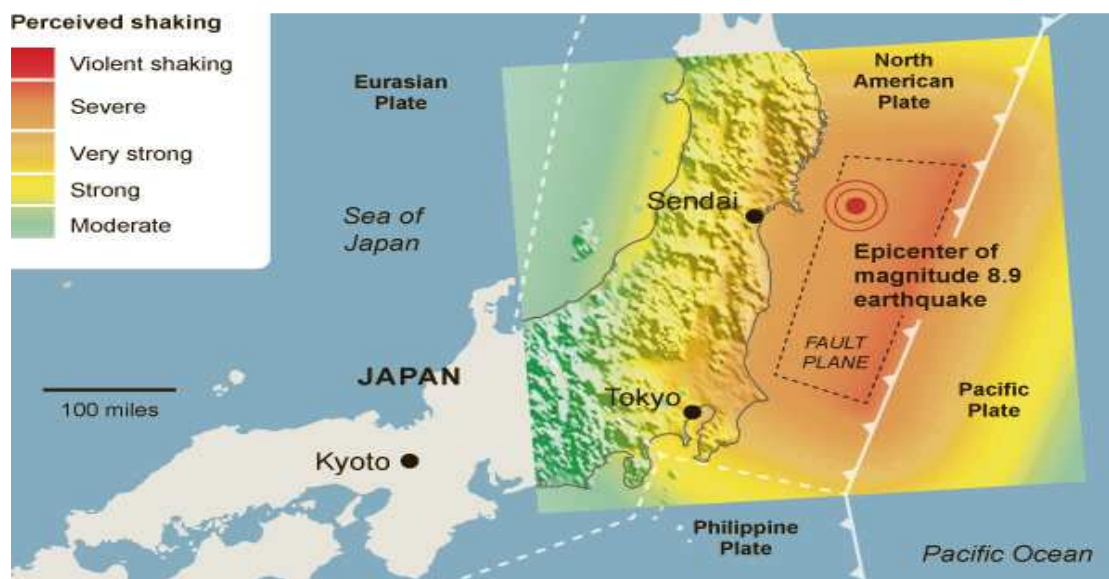
บทคัดย่อ

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ชายฝั่งทะเลบริเวณ จังหวัดมิยาจิ ประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2554 มีแรงสั่นสะเทือนวัดได้ 9.0 ริคเตอร์ และต่อมาตามด้วยคลื่นยักษ์สึนามิที่มีความสูง 14 เมตร ภัยกระทบในบริเวณดังกล่าวซึ่งมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ ตั้งอยู่ ทำให้เกิดวิกฤติการณ์นิวเคลียร์ครั้งใหญ่ต่อมา ในบทความนี้กล่าวถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิที่มีผลกระทบต่อระบบป้องกันภัยพิบัติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นอย่างไรบ้าง โดยจะเน้นถึงระบบป้องกันภัยในเชิงลึก (Defense in depth) ของเตาปฏิกรณ์รุ่นที่สอง (Generation II) ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ตลอดจนระบบป้องกันของบ่อพักเก็บเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว และได้มีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ โดยที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ อยู่ห่างออกไปเพียง 20 กิโลเมตร และโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อื่นที่อยู่ใกล้ๆ ในรัศมี 60 กิโลเมตร กลับสามารถทนต่อสาเหตุเหล่านั้นได้ และปิดตัวลงอย่างดี ในตอนท้ายได้มีข้อสรุป และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงความปลอดภัยและวัฒนธรรมความปลอดภัยสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ดำเนินการอยู่ และเพิ่มมาตรฐานความปลอดภัยของเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในอนาคต นอกจากนี้ได้มีการแนะนำเกี่ยวกับเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ขนาดเล็กและขนาดกลางที่จะเริ่มใช้งานในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะเป็นคำตอบในการพัฒนาใช้พลังงานนิวเคลียร์ในอนาคต

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว สึนามิ การป้องกันเชิงลึก วัฒนธรรมความปลอดภัย เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กและขนาดกลาง

บทนำ

การเกิดแผ่นดินไหวครั้งร้ายแรงในระดับ 9.0 ริคเตอร์ (Richter Scale) เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2554 ที่จุดห่างออกไปประมาณ 160 กิโลเมตร นอกชายฝั่งทะเล จังหวัดมิยาจิ (Miyagi) ประเทศญี่ปุ่น (ภาพ 1) และต่อมาเกิดคลื่นสึนามิ (Tsunami) สูงประมาณ 14 เมตรพัดมากระทบชายฝั่งทะเลในบริเวณแคว้น Tohoku เป็นผลให้เมืองต่างๆ ที่อยู่บริเวณนั้น เช่น เมืองเซ็นได (Sendai) ได้รับความเสียหายอย่างหนัก เหตุการณ์ร้ายแรงที่ติดตามมาก็คือ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ (Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant) ได้รับความเสียหายอย่างมาก โดยเฉพาะเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เครื่องที่ 1, 2, 3 ซึ่งกำลังทำงานอยู่ (ส่วนเครื่องที่ 4, 5 และ 6 อยู่ระหว่างการหยุดเพื่อทำการบำรุงรักษาตามปกติ)



ภาพ 1 บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว 9 ริคเตอร์ เป็นเวลา 5 นาที ที่ประเทศญี่ปุ่น ในวันที่ 11 มีนาคม 2554 (New York Times, 2011)

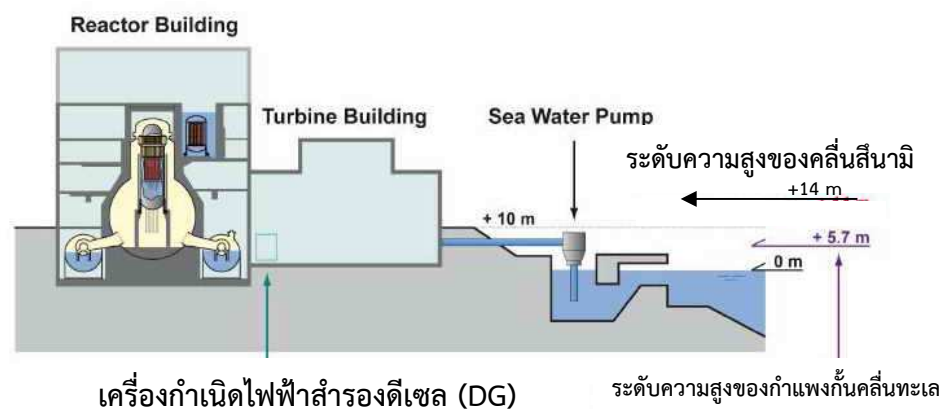
การเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนี้ เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เครื่องที่ 1, 2, 3 ได้ทำการปิดตัวเอง (หยุดปฏิกิริยานิวเคลียร์) โดยอัตโนมัติ ตามการออกแบบที่ได้กำหนดไว้ในด้านการต่อต้านแผ่นดินไหว ถึงแม้ว่ากระแสไฟฟ้าจากภายนอกที่จ่ายให้กับการทำงานของโรงไฟฟ้านี้เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ถูกตัดขาดอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตาม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองดีเซล (Diesel Generator: DG) สำหรับเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์แต่ละหน่วย ได้เปิดทำงานทันที (ตามระบบความปลอดภัยออกแบบไว้) โดยสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นตัวเตาปฏิกรณ์ไว้ได้ในระยะเวลาประมาณ 55 นาที (Mohrbach and Linnemann, 2011, p.9) แต่ก็ต้องหยุดทำงานเพราะถูกคลื่นยักษ์สึนามิพัดลมน้ำท่วม

การปิดเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์อย่างกะทันหัน (Scram) นั้น เป็นไปตามการออกแบบไว้ในระบบความปลอดภัย แต่เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ก็ยังจำเป็นต้องมีเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นต่อไปอีกเนื่องจากในขณะที่หยุดทำงานนั้น เตาปฏิกรณ์ยังคงมีอุณหภูมิสูงมาก และยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่ต่อไปอีกอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากการสลายตัวอย่างต่อเนื่องของธาตุกัมมันตรังสีอื่น (กากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์) ที่เรียกว่า Decay heat ในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้น้ำหล่อเย็นต่อไปอีกอย่างน้อยประมาณ 72 ชั่วโมง กว่าที่จะทำให้ตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์พร้อมทั้งแท่งเชื้อเพลิงเหล่านี้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C หรือควรจะอยู่ที่ประมาณ 50°C จึงจะเรียกว่าเป็นหยุดเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ได้อย่างปกติ (Cold shut down)

การทำงานของระบบการปิดเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ นั้น ทำงานในสถานะ Scram ซึ่งไปตามการออกแบบเอาไว้ในกรณีอุบัติเหตุฉุกเฉิน และการทำงาน

ของเครื่อง DG ก็เริ่มทำงานทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกตัดขาด และ DG ทำอยู่ได้ประมาณ 55 นาที แต่ต่อมาเครื่อง DG ก็หยุดทำงาน ทั้งนี้ก็เพราะเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ขนาดสูง 14 เมตร พัดข้ามกำแพงป้องกันคลื่นทะเลซึ่งสูงเพียง 5.7 เมตร (ตามที่อยู่แบบไว้เมื่อ 40 ปี ก่อนหน้านี้) (ภาพ 2 จาก Mohrbach and Linnemann, 2011, p.10) เป็นผลให้น้ำทะเลเข้าท่วมเครื่อง DG ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องชั้นล่าง (Basement) ของโรงไฟฟ้า จึงทำให้ไฟฟ้าช็อตเครื่อง DG และหยุดทำงานลง ทำให้ระบบหล่อเย็นฉุกเฉินของเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เครื่องที่ 1, 2, 3 หยุดทำงานไปด้วย

อย่างไรก็ตาม ยังมีระบบป้องกันสำรองอีกชั้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่ง (Redundant system) ของระบบความปลอดภัย คือ แบตเตอรี่สำรอง เพื่อคลื่นความดันใต้น้ำที่เกิดจากความร้อนที่ยังคงปลดปล่อยออกมาจากเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยระบบป้องกันนี้สามารถทำงานได้อีกประมาณ 8 ชั่วโมง ก็หมดพลังงานแบตเตอรี่ นอกจากนี้แล้ว หลังเกิดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ และมีคลื่นสึนามิพัดมาทำลายโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ แล้วนั้น ยังมีผลจากแผ่นดินไหวครั้งแรกที่เรียกว่า (After shock) ขนาด 6.0 ถึง 7.9 ริกเตอร์ ตามมาอีกประมาณเกือบหนึ่งร้อยครั้ง ในวันและสัปดาห์ต่อมา ซึ่งเป็นการเขย่าเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั้ง 6 เครื่องของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ครั้นแล้วครั้งเล่า จึงก่อให้เกิดความหักพัง ทรุดตัวและเสียหายต่อระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ระบบท่อนำระบายความร้อน และอื่นๆ (ซึ่งทนทานได้ในการเกิดแผ่นดินไหวครั้งแรกเท่านั้น) ยังผลให้เกิดเหตุการณ์รุนแรงทางอุบัติเหตุของ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ต่อมาเป็นระลอกๆ ตามลำดับ ซึ่งจะได้อธิบายไว้ในตอนท้ายของบทความนี้



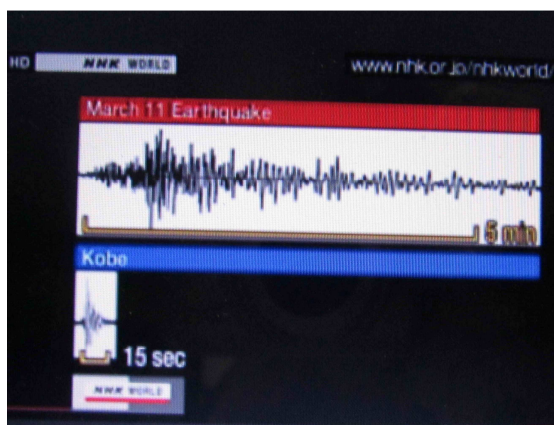
ภาพ 2 ความสูงของกำแพงกันคลื่นทะเล และตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองดีเซล (Mohrbach and Linnemann, 2011, p.10)

เพื่อให้ทราบถึงพลังงานมหาศาลของแผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์ ครั้งนี้ จะเห็นได้จากการ รายงานว่า ตัวเกาะญี่ปุ่นได้เคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมไปประมาณ 3 เมตร พลังงานอันเกิดจาก แผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์นี้ (ตาม ตาราง 1) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับได้กับพลังงานนิวเคลียร์จากลูก ระเบิดทิ้งที่เมืองฮิโรชิมา (Hiroshima) โดยลูกระเบิดนิวเคลียร์ที่ฮิโรชิมา 1 ลูก มีค่า

ตาราง 1 การเปรียบเทียบขนาดของแผ่นดินไหว กับพลังงานที่ปลดปล่อย (Backbench media, 2011)

<u>Richter</u> <u>Magnitude</u>	<u>Amount of TNT</u>	<u>Joule equivalent</u>
0	1 kg (2.2 lb)	4.2 MJ
1	32 kg (70 lb)	132.3 MJ
2	1 metric ton	4.18 GJ
3	31.6 metric tons	132.3 GJ
4	1 kiloton	4.18 TJ
5	31.6 kilotons	134.4 TJ
6	1 megaton	4.18 PJ
7	31.6 megatons	132.3 PJ
8	1 gigaton	4.18 EJ
9	31.6 gigatons	132.3 EJ
13	10 ⁸ megatons	372.9 ZJ

พลังงานเท่ากับ 16 กิโลตันของ TNT ดังนั้น จากตาราง 1 แผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์ มีค่าพลังงาน เท่ากับ 31.6×10^6 กิโลตัน ของ TNT จึงเทียบได้เท่ากับ ระเบิดที่ฮิโรชิมา จำนวนมากถึง 2 ล้านลูก (2×10^6 ลูก) แผ่นดินไหวครั้งนี้เกิดมีระยะเวลาประมาณ 5 นาที เมื่อเทียบกับแผ่นดินไหวที่เมือง โกเบ (Kobe) เมื่อปี ค.ศ. 1985 ซึ่งเกิดแผ่นดินไหวเพียง 15 วินาทีเท่านั้น แต่ทำให้เมือง Kobe เสียหายอย่างมาก ไฟไหม้ และผู้คนเสียชีวิตจำนวนมาก (ภาพ 3)



Sendai
แผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์
วันที่ 11 มีนาคม 2554
เป็นเวลา 5 นาที

Kobe
(Great Hanshin quake)
แผ่นดินไหว 7.3 ริคเตอร์
วันที่ 17 มกราคม 2538
เป็นเวลา 15 วินาที

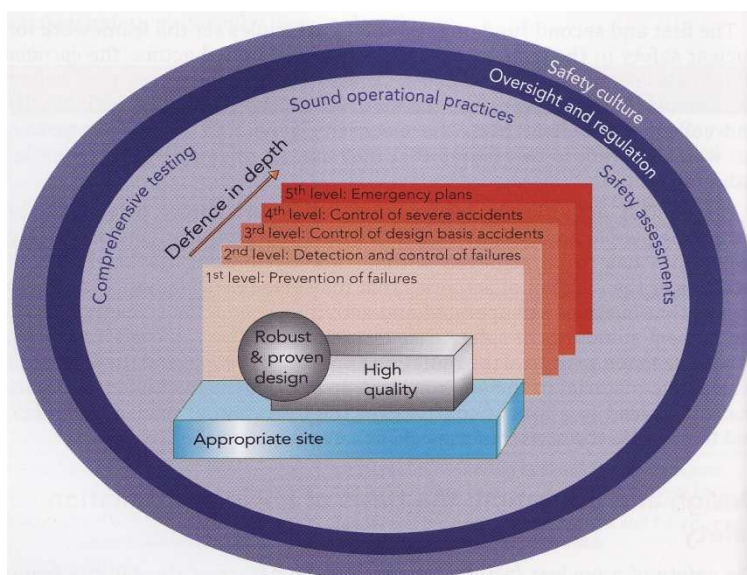
ภาพ 3 เปรียบเทียบขนาดและจำนวนเวลาของแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น (NHK World, 2011)

ความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เพื่อความเข้าใจในเหตุการณ์ครั้งนี้ดีขึ้น จำเป็นต้องกล่าวถึงความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ตามที่ ทบวงปรมาณูเพื่อสันติ (IAEA) ของสหประชาชาติกำหนดไว้ความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear power plant safety) นั้นทางประเทศตะวันตกที่ผลิตเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ได้ตระหนักเป็นอย่างดีตั้งแต่แรกของการออกแบบเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยใช้หลักปรัชญาของความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ (Nuclear safety) และวัฒนธรรมความปลอดภัย (Safety culture) ซึ่งเป็นหลักที่แตกต่างจากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์สหภาพโซเวียต (ประเทศรัสเซียในปัจจุบัน) ซึ่งมีระบบความปลอดภัยที่น้อยกว่า จึงเกิดกรณีการระเบิดโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Chernobyl ในปี ค.ศ. 1986 (NEA, 2010)

หลักการความปลอดภัยด้านนิวเคลียร์นั้น ได้เน้นถึงการใช้พลังงานนิวเคลียร์ โดยพยายามลดการแพร่กระจายรังสีและธาตุกัมมันตรังสีจากเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ที่อาจเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและสุขภาพของผู้ปฏิบัติการในโรงงาน ต่อประชาชนภายนอก และความเสียหายเชิงกายภาพ ตลอดจนทางด้านการเกษตร ปศุสัตว์ และประมง

หลังจากอุบัติเหตุที่ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Chernobyl แล้ว IAEA ได้ออกมาตรการทางด้านความปลอดภัยของโรงไฟฟ้าและเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์อย่างรัดกุม โดยใช้หลักการป้องกันเชิงลึก (Defense in depth) (IAEA 1996; Nuclear Energy Agency, 2005) ดังแสดงไว้ในภาพ 4 (รายละเอียดเกี่ยวกับการป้องกันเชิงลึกตลอดจนวัฒนธรรมความปลอดภัย หาอ่านได้จาก Bhanthumnavin and Bhanthumnavin, 2009)



ภาพ 4 หลักการป้องกันเชิงลึกหลายระดับ (Defense in depth) (ปรับมาจาก IAEA, 1996)

จากภาพ 4 องค์ประกอบของการป้องกันเชิงลึก แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับแรก การป้องกันความล้มเหลวในการดำเนินการ (Prevention of failure)

ระดับที่สอง การค้นหา และควบคุมไม่ให้เกิดความล้มเหลว (Detection and control of failure)

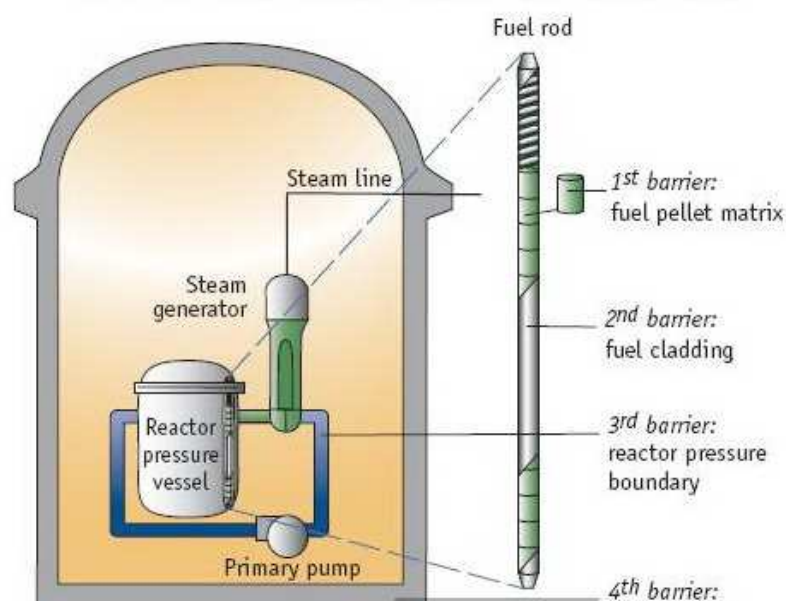
ระดับที่สาม การควบคุมอุบัติเหตุ อันเกิดจากการออกแบบป้องกันไว้ล่วงหน้า (Control of design accidents)

ระดับที่สี่ การควบคุมอุบัติเหตุที่รุนแรง (Control of severe accidents)

ระดับที่ห้า การมีแผนสำหรับกรณีฉุกเฉินที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Emergency plans)

สำหรับการป้องกันการแพร่กระจายรังสีจากเตาปฏิกรณ์ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้น การป้องกันเชิงลึกได้ถูกจัดทำไว้เป็นระดับความป้องกันต่างๆ ดังแสดง ในภาพ 5 จะเห็นว่า

การป้องกันระดับแรก คือ การจัดทำเชื้อเพลิงยูเรเนียมในรูปแบบอัดแน่นเป็นแท่ง (Pellet) หลายแท่งทรงกระบอก เซรามิก (Ceramic) ทนความร้อนสูง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร



ภาพ 5 ระบบการป้องกันการแพร่กระจายรังสีในอาคารเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Energy Agency, 2005, p.43)

การป้องกันระดับที่สอง แท่งเชื้อเพลิงยูเรเนียมใส่บรรจุ ในกระบอกโลหะผสมเซอร์คอลลอย (Zirconium alloy) ที่มีความแข็งแรง และทนต่อความร้อนสูง มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1850°C (Floweserve, 1998) และทนทานต่อการสึกกร่อนจากการเกิดสนิม เมื่อแช่ในน้ำก็ทนทานต่อการแผ่รังสีต่างๆ และนิวตรอน

การป้องกันระดับที่สาม การป้องกันปฏิกรณ์และการรักษาระดับแรงดันของน้ำที่หล่อเย็น การกักเก็บปฐมภูมิ (Primary containment) โดยการใช้คอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 15 ถึง 20 เซนติเมตร (ในปัจจุบัน) ห่อหุ้มตัวปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ทั้งนี้เพื่อกันการแพร่กระจายของรังสี ไอ น้ำ และก๊าซไฮโดรเจน หากมีการระเบิดของท่อ น้ำ หรือ มีการแตกรั่วของตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์

การป้องกันระดับที่สี่ เป็นการป้องกันการแพร่กระจายของรังสีต่างๆ นิวตรอน และธาตุกัมมันตรังสี ที่จะแพร่ออกไปสู่ภายนอกอาคาร การป้องกันนี้เป็นการกักเก็บทุติยภูมิ (Secondary containment) ประกอบด้วยอาคารที่มีผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 1.5 ถึง 2.0 เมตร เพื่อป้องกันการแพร่กระจายนิวตรอน และการพุ่งเข้าชนของอากาศยานจากผู้ก่อการร้าย อาคารแบบนี้ได้มีการรับรองโดยการทำการทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ พุ่งเข้าชนของเครื่องบินโดยสาร 4 เครื่องยนต์ บรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิงเต็มพิกัด (Nuclear Energy Institute, 2002)

การป้องกันเชิงลึก ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ดังกล่าวมาในตอนต้นนั้น จำเป็นต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ วัฒนธรรมความปลอดภัย (Safety culture) (Haukelid, 2008) และความรับผิดชอบต่อสังคม (Social responsibility) (Bhanthumnavin & Bhanthumnavin, 2009, p 124 ; Mazuo, 2008) นอกจากนี้ IAEA ได้แทรกเอาไว้ในกฎข้อบังคับต่างๆ อีกด้วย โดยเน้นหลักของ Defense in depth และยังออกมาตรการต่างๆ เกี่ยวกับสถานที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Site section rules) วัสดุการก่อสร้างตลอดจนการออกแบบของระบบต่างๆ ในโรงงาน นอกจากนี้ทางประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีองค์กรของรัฐ USNRC (United States Nuclear Regulation Council) เป็นผู้ตรวจสอบแบบ และระบบของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อย่างเข้มงวด ซึ่งเป็นที่ยอมรับของประเทศต่างๆ ทั่วโลก ถ้าหากไม่ผ่านเกณฑ์ต่างๆ ของทาง USNRC แล้ว การสร้างเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้นก็จะถูกระงับ

จากการสำรวจ การได้รับปริมาณของรังสีที่แพร่กระจายมาสู่มนุษย์นั้น ทาง USNRC (2008) แสดงไว้ตามตาราง 2 ดังนี้

ตาราง 2 การวัดผลของการแผ่รังสี (US Nuclear Regulation Council, 2008)

กิจกรรม	ปริมาณการรับรังสี (Millirems :mrem)
1. การรับรังสีตามปกติตลอดระยะเวลา 1 ปี จากแหล่งต่างๆ	360.00
2. การรับรังสีจากการถ่ายภาพ x-ray ฟัน (Full set)	40.00
3. การรับรังสีจากการถ่ายภาพ x-ray ทรวงอก 1 ครั้ง	8.00
4. การรับรังสีจากการโดยสารเครื่องบิน ไป-กลับ 1 ครั้ง ระหว่างกรุงวอชิงตันดีซี - นครลอสแอนเจลิส	5.00
5. การรับรังสีจากการอยู่อาศัยใกล้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นเวลา 1 ปี	0.10

จากตาราง 2 จะพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความปลอดภัยสูง เป็นต้นว่าผู้ที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ติดกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ตลอด 1 ปี จะได้รับการแผ่รังสีเพียง 0.10 rem ซึ่งน้อยกว่า 80 เท่า เมื่อผู้นั้นได้รับการฉายรังสีเอ็กซเรย์ทรวงอกเพียง 1 ครั้ง (8.0 rem) นอกจากนี้ข้อมูลที่ USNRC แสดงถึงการรับรังสีของพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (Boiling Water Reactor : BWR) ของสหรัฐอเมริกา ตลอดเวลา 1 ปี จะได้รับรังสีเพียง 0.1 rem/คน/ปี (USNRC, 2007) ซึ่งต่ำกว่าระดับมาตรฐานหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพที่กำหนดไว้โดย Nuclear Energy Association (NEA) ว่าไม่เกิน 2.0 milliseivert (หรือเท่ากับ 20.0 rem/ปี/คน) ถึง 200 เท่า (NEA, 2005; US Nuclear Regulatory Commission, 2007) เมื่อมีการเปรียบเทียบความปลอดภัยอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์ กับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงแบบฟอสซิล แล้วจะพบว่า อุบัติเหตุร้ายแรงถึงเสียชีวิตจากการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์แล้ว พลังงานนิวเคลียร์จะมีอุบัติเหตุที่มีจำนวนผู้เสียชีวิตน้อยที่สุด (Burghern, Hirschberg and Ortig, 2004) ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 สรุปการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงที่มีการสูญเสียชีวิตมากกว่า 5 คน ขึ้นไปตามประเภทของพลังงานต่างๆ ในช่วงปี ค.ศ.1969-2000 (Burghern, Hirschberg and Ortig, 2004)

จากตาราง 3 การเสียชีวิตทางด้านพลังงานนิวเคลียร์มีเพียงครั้งเดียว คือในการระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Chernobyl ประเทศสหภาพโซเวียต มีจำนวน 31 คน แม้แต่ในปัจจุบันอุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไคอชิ ยังไม่มีผู้เสียชีวิตอันเนื่องมาจากนิวเคลียร์เลย จากที่กล่าวมาข้างต้นเราจะพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นมีกฎระเบียบและการควบคุมการดำเนินการอย่างรัดกุม และปลอดภัยมากกว่าที่ผู้คนทั่วไปคิด

ตาราง 3 สรุปการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงที่มีการสูญเสียชีวิตมากกว่า 5 คนขึ้นไป ตามประเภทของพลังงานต่างๆ ในช่วงระหว่าง ปี ค.ศ. 1969 – 2000 (Burghern, Hirschberg, & Ortiz, 2004)

ประเภทพลังงาน	เหตุการณ์ทั่วโลก	
	อุบัติเหตุ	จำนวนผู้เสียชีวิต
ถ่านหิน	1,221	25,107
น้ำมัน	397	20,218
ก๊าซธรรมชาติ	135	2,043
LPG	105	3,921
พลังงานน้ำ	11	29,938
นิวเคลียร์	1	31
รวม	1,870	81,258

ข้อสังเกตเกี่ยวกับเหตุการณ์และสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ

เป็นที่ทราบแล้วว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทั่วไปที่ใช้เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ออกแบบภายใต้มาตรฐานของประเทศทางตะวันตกหรือของญี่ปุ่นก็ตาม มีความปลอดภัยสูง และทำงานได้ดีมาตลอดระยะเวลามากกว่า 50 ปี ของการใช้ในเชิงพาณิชย์และในเชิงการทหาร แต่แล้วทำไมจึงมีปัญหามากมายเกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ เท่านั้น ซึ่งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อื่น เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดนิ (Fukushima Daini) และ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ออนากาวา (Onagawa 1, Onagawa 2, Onagawa 3) ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง และได้รับอิทธิพลจากแผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์ พร้อมทั้งถูกคลื่นยักษ์สึนามิซัดถล่มเช่นเดียวกัน แต่ยังสามารถหยุดการทำงานแบบปกติ (Scram-cold shut down) ไม่เกิดการระเบิดเสียหายเหมือนอย่างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ ได้อย่างใด

เพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้น ควรทราบภูมิหลังของกลุ่มเตาปฏิกรณ์ที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ (Daiichi) และฟูกูชิม่า ไดนิ (Daini) รวมทั้งระบบป้องกันการแพร่กระจายรังสีและธาตุกัมมันตรังสี (Containment) ก่อนโดยศึกษาจากตาราง 4 (IAEA, 2009, 2011; TEPCO, 2011)

ทำไมจึงเกิดปัญหาอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่โรงไฟฟ้า Fukushima Daiichi

โดยทั่วไปแล้ว การผลิตเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์และระบบต่างๆ ที่ใช้ในโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์นั้น IAEA และ USNRC ได้มีกฎข้อบังคับอย่างเข้มงวด อาทิ เช่น ตั้งแต่การเลือกสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า ตลอดจนถึงระบบความปลอดภัย การบรรเทาสาธารณภัยอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ เป็นต้น คำถามจึงมีว่า แล้วทำไมจึงมีอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่ Fukushima Daiichi ? ในบทความนี้จะกล่าวถึงภูมิหลังของโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งนี้ เกี่ยวกับชนิดของเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ กำลังการผลิต และเหตุการณ์แผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์ ที่จังหวัดมิยาจิ (Miyagi) คลื่นสึนามิ และผลกระทบที่ตามมาจนเป็นเหตุให้เกิดการรั่วแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสี และการหลอมละลายบางส่วน (Partial melt down) ของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

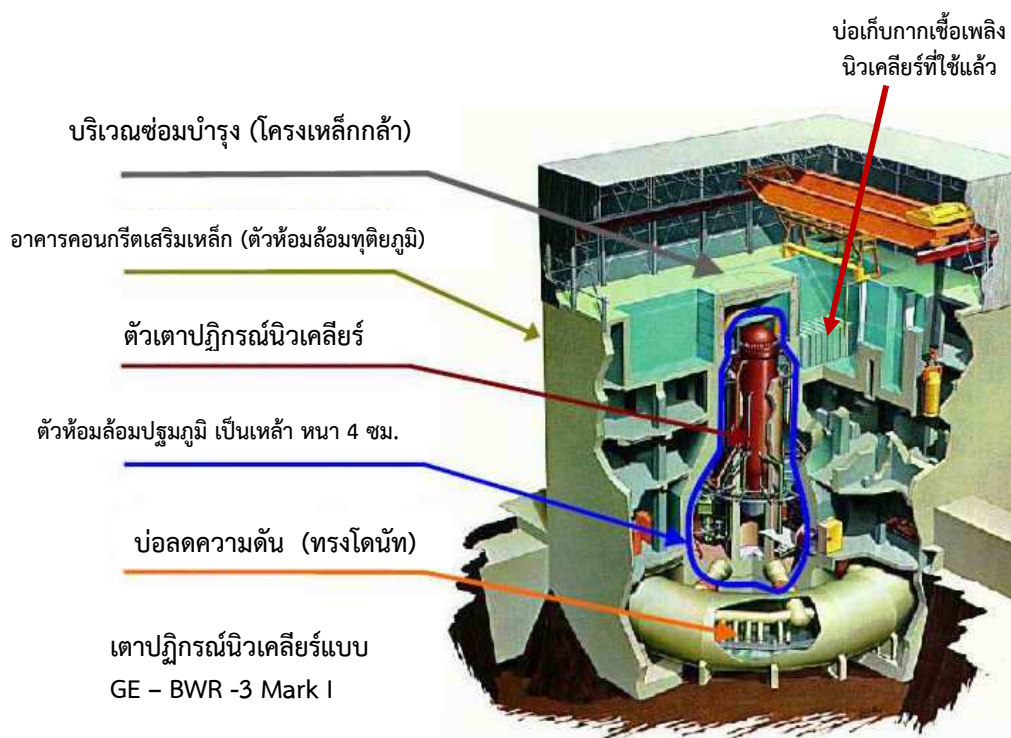
โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ เป็นโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ประเทศญี่ปุ่นจัดสร้างขึ้น สร้างเสร็จและผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ครั้งแรก วันที่ 26 มีนาคม ค.ศ.1971 (เกือบ 40 ปี ก่อนจะมีอุบัติเหตุ) แล้วนับว่าโรงงานไฟฟ้าแห่งนี้มีอายุใช้งานมานานและเก่าแล้ว (ปกติจะมีอายุใช้งานประมาณ 40 ปี) แต่เนื่องจากการปรับปรุงซ่อมบำรุงเปลี่ยนวัสดุต่างๆ ให้ดีขึ้น รัฐบาลญี่ปุ่นจึงยืดอายุให้ใช้งานต่อไปอีก 10 ปี

โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งนี้มีเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่สร้างต่อๆ มาในระยะไล่ๆ กัน รวมแล้ว 6 เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยใช้เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ออกแบบและผลิตโดยบริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริก (General Electric: G.E, USA) เป็นเตาปฏิกรณ์น้ำเดือด (Boiling Water Reactor: BWR) รุ่นที่ BWR-3 โดยมีโดมเหล็กกล้า (Containment) รุ่น Mark I (MKI) (ภาพ 6) ตามการออกแบบในสมัยนั้น มีความหนา 4.0 เซนติเมตร ครอบคลุมป้องกันการแพร่กระจายของรังสี และธาตุกัมมันตรังสีจากปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (IAEA, 2011)

จะเห็นว่าความหนาของเหล็กกล้าของโดมนั้นมีความหนาน้อย (เพียง 4.0 เซนติเมตร) ทำให้การทำงานป้องกันอาจจะไม่เพียงพอหากเกิดอุบัติเหตุชนิด LOCA (Loss of coolant accident) หรือมีการเปลี่ยนแปลงสภาพความดันภายในโดมอย่างรวดเร็ว (Dynamic pressure load) ด้วยเหตุนี้วิศวกรนิวเคลียร์ผู้ออกแบบจำนวน 3 คน ที่ออกแบบเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่นนี้ (BWR-3 Mark I) ได้ทำการเตือนบริษัท General Electric (G.E) แล้วแต่ไม่เป็นผล จึงประท้วงด้วยการลาออกทันทีเมื่อปี ค.ศ. 1975 วิศวกร 3 นายนั้นได้รับสมญานามว่า จีอี-ทรี (GE-THREE) (ABC News, 2011)

ต่อมาบริษัท GE ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมตามข้อบังคับของ USNRC ที่ปรับปรุงเพิ่มเติมใหม่ในภายหลัง แต่อย่างไรก็ตาม เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ BWR-3 Mark I เป็นรุ่นแรกๆ ถูกออกแบบมานานกว่า 40 ปีมาแล้ว ดังนั้นระบบความปลอดภัยยังต้องมีการพัฒนาในเวลาต่อมา

จากตาราง 4 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ที่แสดงไว้เราจะพบว่า ถึงแม้จะเกิดแผ่นดินไหวที่ศูนย์กลางห่างจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ไป 160 กิโลเมตร ที่ความรุนแรง 9.0 ริคเตอร์ และมี Ground peak acceleration (GPA) ที่ค่าประมาณ 3.0 G ที่ระดับลึกใต้ทะเล 32 กิโลเมตร (USGS, 2011) แต่ความสั่นสะเทือนที่วัดได้ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมานั้นอยู่ในเกณฑ์ที่การออกแบบก่อสร้างสามารถรองรับได้ (ตาราง 4) จึงเห็นว่าภัยพิบัติอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์ นั้นไม่ได้ทำลายโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ แต่อย่างใด ถึงแม้จะออกแบบไว้เมื่อ 40 ปี มาแล้ว ซึ่งเมื่อเทียบกับกับการออกแบบโรงไฟฟ้านิวเคลียร์รุ่นปัจจุบัน รุ่นที่ Generation III+ และในอนาคตอันใกล้รุ่น IV (Generation IV) การออกแบบด้านแผ่นดินไหวจะยิ่งดีขึ้นตามลำดับ (ภาพ 7)

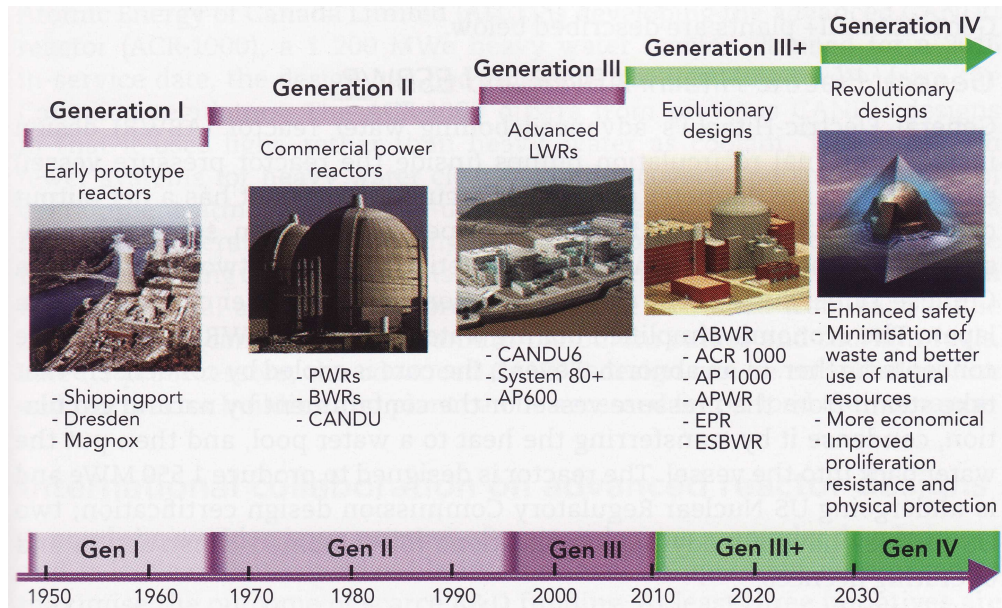


ภาพ 6 เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ระบบ GE BWR-3, Mark-I (ดัดแปลงจาก NRC, 2011)

ตาราง 4 ข้อมูลทางเทคนิคโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Fukushima Daiichi และ Fukushima Daiini (PGA ที่ศูนย์กลางแผ่นดินไหวเท่ากับ $2.99g=2933gal$, หรือ 9.0 ริกเตอร์)

โรงไฟฟ้า หน่วย (IAEA,2009;2011)	ประเภทเตา ปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (IAEA,2009;2011)	โคมครอบคลุม Containment (IAEA,2009;2011)	เริ่มจ่ายกระแสไฟ (IAEA,2009;2011)	พลังงาน (MWe) (IAEA,2009;2011)	ผู้ผลิตเตาปฏิกรณ์ นิวเคลียร์ (IAEA,2009;2011)	ความสามารถรับมือ แผ่นดินไหว (gal*) (TEPCO, 2011)	ค่าเฉลี่ยแผ่นดินไหว (gal) ที่โรงไฟฟ้า (IAEA,2009;2011)	ความสูงของแพ่งกัน คลื่นทะเล (เมตร) (IAEA,2009;2011)
Fukushima Daiichi (I)								
1	BWR 3	MK I	26 มีนาคม 1971	460	General Electric	487-489	460-447	5.7
2	BWR 4	MK I	18 กรกฎาคม 1974	784	General Electric	441-438	348-550	5.7
3	BWR 4	MK I	27 มีนาคม 1976	784	Toshiba	449-441	322-507	5.7
4	BWR 4	MK I	12 ตุลาคม 1978	784	Hitachi	447-445	281-319	5.7
5	BWR 4	MK I	18 เมษายน 1978	784	Toshiba	452-452	311-548	5.7
6	BWR 5	MK II	24 ตุลาคม 1979	1,100	General Electric	445-448	298-444	5.7
Fukushima Daiini (II)								
1	BWR 5	MK II	31 กรกฎาคม 1981	1067	Toshiba	434-434	254-230	5.2
2	BWR 5	MK II (adv)	23 มิถุนายน 1983	1067	Hitachi	428-429	243-196	5.2
3	BWR 5	MK II (adv)	14 ธันวาคม 1984	1067	Toshiba	428-430	277-216	5.2
4	BWR 5	MK II (adv)	17 ธันวาคม 1986	1067	Hitachi	415-415	210-205	5.2

หมายเหตุ * gal เป็นหน่วยวัด peak ground acceleration (PGA) อันเกิดจากแผ่นดินไหว : $1g = 100 gal$ โดย g เป็นอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตรต่อ (วินาที)²



ภาพ 7 ภาพการพัฒนาเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Energy Agency, 2008, p. 373)

ดังนั้น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ จึงมั่นคงปลอดภัยจากแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในครั้งนี้ ซึ่งรุนแรงที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เคยได้รับผลกระทบมา จึงเชื่อได้ว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ออกแบบโดยประเทศตะวันตก (อเมริกา, อังกฤษ, ฝรั่งเศส, เยอรมัน) และ ญี่ปุ่น มีความทนทานต่อเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังนั้น ประชาชนไม่ควรกลัวโดยไร้เหตุผล

แต่แล้วทำไมจึงมีอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ คำตอบก็คือ คลื่นยักษ์สึนามิ กล่าวคือ ประมาณหนึ่งชั่วโมงต่อมาหลังจากเกิดแผ่นดินไหว ปรากฏคลื่นยักษ์สึนามิขนาดสูงประมาณ 14 เมตร พัดกระหน่ำชายฝั่งที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ตั้งอยู่ โดยที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นมีกำแพงกันคลื่นทะเลสูงเพียง 5.7 เมตรเท่านั้น (World Nuclear News, 2011)

ด้วยเหตุนี้คลื่นยักษ์สึนามิสูง 14 เมตร จึงท่วมพื้นที่โรงงานอาคารที่ติดตั้งเครื่องดีเซลปั่นไฟฟ้าสำรอง (Emergency Diesel Generator; DG) มีข้อสังเกตว่า โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ออนนากาวา ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับศูนย์กลางของแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ และโคนสึนามิสูง 14 เมตรพัดกระหน่ำรวมทั้งโคน After shock ที่ตามมาภายในหลังอีกเป็นร้อยครั้ง สามารถหยุดทำงานได้อย่างเป็นปกติเป็นไปตามที่ได้ออกแบบสร้างไว้ และไม่มีการรั่วซึมแพร่กระจายของรังสีและธาตุกัมมันตรังสีแต่อย่างใด โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ออนนากาวาประสบความสำเร็จในการป้องกันภัยพิบัติ ก็เพราะ 1) ได้ก่อสร้างภายหลัง และมีการออกแบบให้ด้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวสูง 2) มีกำแพงกันคลื่นทะเล (คลื่นสึนามิ) สูงถึง 20 เมตร และ 3) ด้วยกำแพงกันคลื่นทะเลจึงสามารถป้องกันเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าสำรองดีเซล (DG) จากการถูกคลื่นสึนามิทำลาย ดังนั้นเหตุการณ์ของ LOCA จึงไม่เกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม DG ยังคงทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (ซึ่งปิดการทำงานแล้ว) แต่ยังคงมีความร้อนชนิด Decay heat เหลืออยู่ ซึ่งตามธรรมชาติจะต้องใช้เวลาประมาณอย่างน้อย 3 วัน จึงจะหล่อเย็นลดอุณหภูมิของน้ำหล่อแท้งเชื้อเพลิงในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ให้เหลือประมาณ 50°C จึงจะเป็นการหยุดการทำงานอย่างสมบูรณ์ (Cold shut down) แต่เครื่อง DG ทำงานได้เพียง 55 นาที ก็หยุดทำงาน สาเหตุคงจะเกิดการชอร์ตในเครื่องเนื่องจากน้ำท่วม และต่อมาเบตเตอร์รีสำรอง (ซึ่งเป็นระบบหล่อเย็นขั้นสุดท้าย) คงทำงานต่อไปอีกประมาณ 8 ชั่วโมงก็หมดพลังงาน ดังนั้นทุกอย่างในระบบการหล่อเย็นเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ หยุดทำงานหมดทุกระบบ ในสถานะเช่นนี้ เรียกว่า อุบัติเหตุอันเนื่องมาจากการสูญเสียการหล่อเย็น (Loss of Cooling Accident: LOCA) สถานะอย่างนี้เป็นปัญหาหลักที่สำคัญที่วิศวกรออกแบบโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ได้ตระหนักในการออกแบบและเตรียมการแก้ไข โดยมีระบบป้องกันเป็นชั้น ๆ มาตลอด ในปัจจุบันเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีการออกแบบที่ดีกว่ารุ่น BWR-3 Mark I อย่างมาก อาทิเช่น เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ รุ่น Generation III+ การออกแบบไว้โดยจะมีโอกาสที่จะเกิด LOCA เพียง 10^{-8} (สิบกำลังลบแปด) เมื่อเทียบกับรุ่น Generation II (ที่ใช้ในแบบโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ซึ่งมีเพียง 10^{-5} (สิบกำลังลบห้า) เท่านั้น ดังนั้นเตาปฏิกรณ์รุ่น Generation III+ ที่ใช้ในปัจจุบันหรือกำลังจะสร้างใหม่ จะมีโอกาสเกิด LOCA น้อยกว่ารุ่นเดิมถึง 1,000 เท่า

เมื่อเกิดมีสถานะ LOCA ขึ้นแล้ว เหตุเลวร้ายต่างๆ จะตามมาเป็นระลอกๆ ขึ้นอยู่กับการแก้ไขสถานการณ์เฉพาะหน้าที่จะทำได้ดีและรวดเร็วอย่างไร เช่น มีเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ อาทิ เครื่องวัดรังสีจำนวนมาก รถยนต์สูบน้ำดับเพลิง รถยนต์ (หุ่นยนต์) ที่ใช้เทซีเมนต์บังคับระยะไกล ฯลฯ ในสภาพปกติ อุปกรณ์และช่างเทคนิค จะสามารถเข้าไปซ่อม โดยขนอุปกรณ์หนักต่างๆ เข้าพื้นที่ได้ทันทีและสะดวก แต่เหตุการณ์แผ่นดินไหวรุนแรง ผสมกับการทำลายล้างสาธารณูปโภค โดยคลื่นยักษ์สึนามิ ทำให้ถนน ทางคมนาคม ระบบไฟฟ้ากำลังและอาหารต่างๆ เสียหาย ขาดการนำเครื่องจักรกลขนาดหนักเข้าไปในพื้นที่ได้ ดังนั้นเมื่อโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ ถูกคลื่นยักษ์สึนามิถล่มแล้วทำให้เหตุการณ์ LOCA เลวร้ายยิ่งขึ้น ทำให้ขาดการหล่อเย็นแท้งเชื้อเพลิงเกิดความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ระดับน้ำหล่อเย็นแท้งเชื้อเพลิงลดลง แท้งเชื้อเพลิงจึงสัมผัสกับอากาศ และมีความร้อนสูงน้ำหล่อเย็นตรงรอบๆ แท้งหุ้มเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ทำปฏิกิริยากับโลหะผสมหุ้มแท้งเชื้อเพลิงที่ทำให้โลหะผสมเซอร์โคเมียม (Zircalloy) เกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น ดังปฏิกิริยา



จากข้อมูลพบว่า Zirconium 1 กิโลกรัมจะทำปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน 44.2 กรัม (โดยการประมาณ) พบว่าเกิดก๊าซไฮโดรเจน (Mohrbach and Linnemann, 2011, p. 41)

300-1000 กิโลกรัม ที่เตาปฏิกรณ์ หมายเลข 1

300-1000 กิโลกรัม ที่เตาปฏิกรณ์ หมายเลข 2 และ 3

และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเบากว่าอากาศจะลอยตัวขึ้นสูงไปสู่อากาศชั้นบน ซึ่งเป็นบริเวณระบบครอบคลุมทุติยภูมิ (Secondary containment) มีโครงสร้างการป้องกันน้อยกว่าระบบครอบคลุมปฐมภูมิ (Primary containment) ที่หุ้มเตาปฏิกรณ์อยู่ เมื่อมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนสูงพอ และพบกับก๊าซออกซิเจนในอากาศ จึงเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงขึ้น ทำให้หลังคาและผนังอาคารชั้นบนของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ พังพินาศเหลือแต่โครงอาคาร แต่บริเวณอาคารส่วนต่ำลง ซึ่งเป็นระบบครอบคลุมปฐมภูมิยังคงสภาพอยู่ และตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ยังปลอดภัย แต่ระดับน้ำหล่อเย็นแท่งเชื้อเพลิงลดลงต่ำ เพราะน้ำระเหยจากความร้อนของตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จึงทำให้แท่งเชื้อเพลิงร้อนขึ้น และเมื่อสัมผัสกับอากาศ จึงปล่อยกากเชื้อเพลิงที่เป็นไอ (ละออง) ที่ค้างอยู่และเป็นธาตุกัมมันตรังสี (เช่น I^{131} , Cs^{137}) ออกมา

นอกจากนี้ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบหล่อเย็นของเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์แล้ว ยังเกิดมีปัญหาดามาทบ่อเก็บกากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (Spent fuel pool) ซึ่งถูกเก็บไว้ที่เหนือเตาปฏิกรณ์ก็ถูกเปิดโล่ง (ตามแบบที่ออกไว้) เมื่อได้รับความร้อนที่หลงเหลือจากเตาปฏิกรณ์ จึงทำให้น้ำในบ่อพักระเหยและระดับน้ำลดลง ทำให้แท่งเชื้อเพลิงใช้แล้วสัมผัสกับอากาศ จึงปลดปล่อย I^{131} และ Cs^{137} ออกอีก เกิดการแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสี ออกสู่บรรยากาศและบริเวณที่อยู่ใกล้เคียง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จากการเกิด LOCA ขึ้น ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนขึ้นภายในอาคารโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ และส่งผลกระทบต่ออื่นๆ ตามมาอีกมากมาย ดังแสดงไว้ในแผนภาพข้างล่างนี้ (ภาพ 8)

เหตุการณ์ดังกล่าวได้ส่งผลกระทบในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการยอมรับทางสังคมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในอนาคต (Public acceptance of nuclear power plant) เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามหากมองด้วยความเป็นจริง และใช้เหตุผล เราจะพบว่า ระบบการป้องกันภัยและระบบความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้น ได้ถูกออกแบบมาเมื่อ 40 ปี ก่อน และในขณะนั้นได้มีศึกษาข้อมูลต่างๆ ประกอบการพิจารณาสถานที่ตั้ง (Siting) ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อย่างดีแล้ว เหตุการณ์แผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิครั้งนี้รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของญี่ปุ่น ที่มีการบันทึกเอาไว้

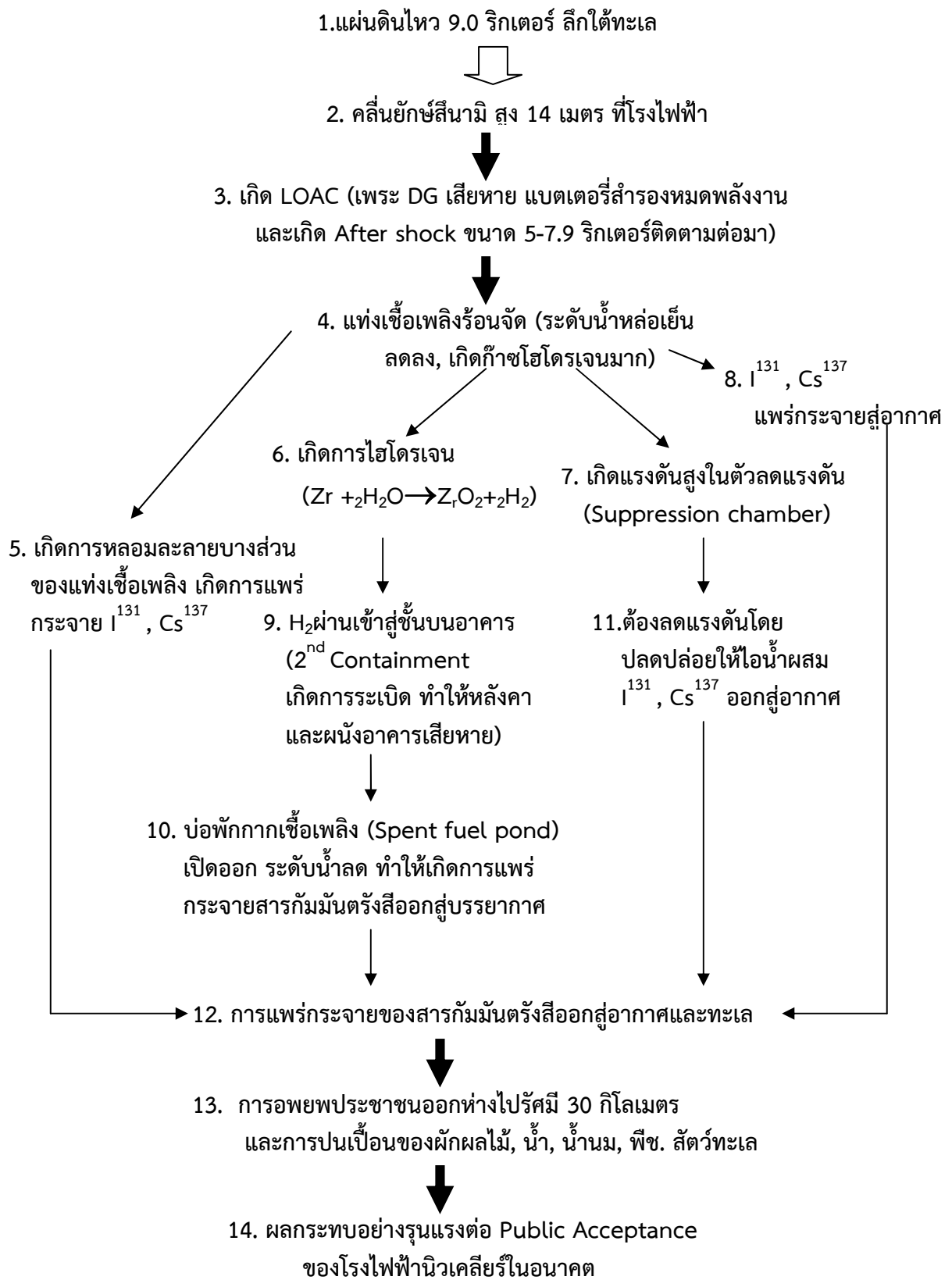
ดังนั้นการออกแบบโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นี้จึงจัดอยู่ใน**ลักษณะเกินความคาดหมายของภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้น** (Beyond the design limits) ซึ่งจะพบบ่อยในงานก่อสร้างอื่นๆ ในลักษณะของงานออกแบบทางวิศวกรรม (เหตุการณ์ที่เกินความคาดหมายของการออกแบบ)

อย่างไรก็ตามจากภาพต่างๆ หลังเกิดเหตุการณ์จะพบว่าอาคารโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยังคงยืนหยัด ไม่พังทลายลงมาจากการเกิดแผ่นดินไหวแต่อย่างใด หากแต่เป็นคลื่นยักษ์สึนามิสูง 14 เมตร พัดกระหน่ำ ทำให้น้ำท่วมเครื่องดีเซลกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (DG) ข้อผิดพลาดในการออกแบบคือ สร้างเชื่อมกับคลื่นน้ำทะเลต่ำเกินไป (สูงเพียง 5.7 เมตร) และติดตั้งเครื่อง DG ไว้ในชั้นล่างสุด (Basement) ของอาคารที่อยู่ริมทะเล จึงถูกทำลายโดยคลื่นสึนามิได้ง่าย ดังนั้นจึงทำให้กระแสไฟฟ้าสำรองจ่ายให้ DG หยุด ส่งผลให้เกิดสถานะ LOCA ขึ้น และมีผลเสียหายต่อมาดังแสดงไว้ใน ภาพ 8 ประมวลเหตุการณ์ในตอนต้น

เราไม่ควรตระหนกตกใจจนเกินไป จะทำให้หยุดการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการพัฒนา ดังจะเห็นได้จากการแถลงการณ์ของรัฐมนตรีกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา ดร.สตีเวน ชู ที่ได้แถลงไว้ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2011 (ภายหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัตินี้) (Schoof, 2011) ว่ารัฐบาลสหรัฐจะดำเนินการพัฒนาการใช้พลังงานนิวเคลียร์ต่อไปโดยจะทำแบบผสม (Energy mixed) กับพลังงานอื่นๆ (Renewable energy) เพื่อลดสถานะโลกร้อนให้ได้ตามนโยบายการลดสถานะโลกร้อนของสหรัฐอเมริกา (Chu, 2011)

นอกจากนี้ ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรชิ โคมิยามา (Hiroshi Komiyama) อดีตอธิการบดีมหาวิทยาลัยโตเกียว ปัจจุบัน ซึ่งเป็นประธานสถาบันวิจัย บริษัท มิตซูบิชิ ได้กล่าวว่า ประเทศญี่ปุ่นยังคงต้องใช้พลังงานนิวเคลียร์ไปอย่างน้อยถึงปี ค.ศ. 2050 หรือจนกว่าจะพัฒนาพลังงานหมุนเวียนในราคาถูกมาทดแทนพลังงานนิวเคลียร์ (Asia News, 2011)

อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาเครื่องเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กและกลาง (IAEA, 1985; 1997) (Small and Medium Sized Power) (Reachis, SMR) และได้มีการแสดงรายละเอียดไว้ในบทความของวารสารต่างๆ แล้ว (Bhanthumnavin and Bhanthumnavin, 2010) ซึ่ง SMR นี้จะเป็นคำตอบที่ดีแก่สังคมที่กังวลในด้านต่างๆ ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่ มาตรฐาน 1000 MWe อาทิ เช่น งบประมาณการลงทุนสูง ระยะเวลาการก่อสร้างยาวนาน สถานที่ตั้ง ความปลอดภัย และการดำเนินงาน เป็นต้น



ภาพ 8 ประมวลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ (Fukushima Daiichi NPP) หลังจากเกิดแผ่นดินไหว 9.0 ริคเตอร์

Bhanthumnavin และ Bhanthumnavin (2010) ได้แสดงข้อได้เปรียบและข้อเปรียบเทียบระหว่าง SMR และ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่ (LR: 1000 MWe) เอาไว้แล้ว ตามเอกสารอ้างอิงข้างต้น รายละเอียดพอสรุปไว้ในตาราง 5 ดังนี้

ตาราง 5 การเปรียบเทียบ Small and Medium Reactor กับ Large Reactor

การเปรียบเทียบ	โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่ (LR)	โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็ก/กลาง (SMR)
1. ขนาดกำลังไฟฟ้า	1000 เมกกะวัตต์ (MWe)	335 MWe และสามารถต่อเพิ่มแบบอนุกรมได้ เช่น 335 MWe x 3 โรง = 1005 MWe
2. ที่ตั้งของเตาปฏิกรณ์	บนดิน ในอาคารและมีโดมเหล็กกล้าครอบ	ฝังอยู่ใต้ดิน
3. ระยะเวลาเติมเชื้อเพลิง	ทุกๆ 2 ถึง 3 ปี	ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงตลอดอายุงาน (30 ปี)
4. การกำจัดกากเชื้อเพลิง	ต้องหาที่บำบัดกากเชื้อเพลิง ก่อส่งไปทำ reprocessing	บริษัทที่จำหน่ายจะเป็นผู้ดำเนินการจัดการกับกากเชื้อเพลิง โดยขนเตาปฏิกรณ์เดิมกลับไป
5. ขนาดของเตาปฏิกรณ์	ขนาดใหญ่มาก ต้องขนมาประกอบ สร้าง ณ ที่ตั้งโรงไฟฟ้า	ขนาดเบามาก ขนส่งด้วยเตาปฏิกรณ์ทั้งชุด มาได้ทางรถ เรือ หรือรถไฟ
6. สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า	ใช้พื้นที่มาก ต้องการแหล่งน้ำขนาดใหญ่	ใช้พื้นที่น้อย ไม่ต้องการแหล่งน้ำขนาดใหญ่
7. ความปลอดภัย	ปลอดภัยสูง มีโดมเหล็กกล้าครอบ ซึ่งอยู่ในตัวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	ปลอดภัยสูง เพราะฝังใต้ดิน ลดความเสี่ยงการถูกโจมตี การระเบิด และการก่อวินาศกรรม
8. เศรษฐศาสตร์	ใช้หลัก “เศรษฐศาสตร์จากขนาดของการผลิต” (Economy of scale) เท่านั้น จึงลดต้นทุนการสร้างได้น้อย เพราะเป็นการผลิตแบบ “First- of – A- Kind” (FOAK) และใช้วิศวกรและผู้เชี่ยวชาญจำนวนมากหลายร้อยคน	ไม่ขึ้นกับ “เศรษฐศาสตร์จากขนาดของการผลิต” (Economy of scale) แต่ขึ้นกับ “เศรษฐศาสตร์ของการผลิตจำนวนมาก” (Economy of mass production; Economy of repetition) ซึ่งเป็น “N th - of A-Kind” (NOAK) ทำให้ได้มาตรฐานและคุณภาพดี และราคาถูกลง ใช้วิศวกรประมาณ 50 คน
9. เงินลงทุนก่อสร้าง	US\$ 4,000 ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (Ingersoll, 2009, p. 594)	US\$ 1,030-1,240 ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (Kuznetsov, 2008)
10. ระยะเวลาก่อสร้าง (1000 MWe)	ประมาณ 10 ปี ต่อโรงไฟฟ้า ทำให้มีความเสี่ยงในด้านต่างๆ เช่น ความแปรปรวนของอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน ราคาวัสดุ ก่อสร้างที่แปรผัน และตลอดระยะเวลา 10-12 ปีนี้ จะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้ใช้ได้เลย	ประมาณ 3 ปีต่อโรงไฟฟ้า ถ้าต้องการ 1000 MWe สามารถสร้าง 3 โรงพร้อมกัน เสร็จภายใน 3 ปี
11. เงินทุนหมุนเวียน	เงินทุนหมุนเวียนสูงมาก	จะใช้เงินทุนหมุนเวียนเพียง 35% เมื่อเทียบกับ LR ที่มีขนาดกำลังการผลิตเดียวกัน
12. ระบบเครือข่ายไฟฟ้า	ถ้าใช้ LR กับประเทศที่มี Grid ขนาดเล็ก จะต้องเสียค่าลงทุนเพื่อสร้าง Grid ใหม่เพิ่มขึ้น	สามารถใช้ได้อย่างดีกับระบบ Grid ขนาดเล็ก

ผลกระทบทางสังคมและข้อเสนอแนะ

จากเหตุการณ์อุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไคอิชิ เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2554 จนถึงปัจจุบันนี้ ถึงแม้ว่าเหตุการณ์อยู่ในสถานะที่ควบคุมได้แล้วก็ตาม แต่ก็ต้องใช้ระยะเวลาหลายเดือน หรืออาจจะเป็นปี ในการทำให้กลับสู่สภาพเดิม บทเรียนที่ได้รับจากเหตุการณ์นี้เราควรใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อไปในภาคหน้าตั้งแต่ การพัฒนาด้านความปลอดภัย ด้านการบรรเทาสาธารณภัย การเตรียมพร้อมทางเศรษฐกิจ การให้ความรู้แก่ประชาชน และการยอมรับทางสังคม ในเรื่องของกรนำเทคโนโลยีมาใช้เป็นต้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์นี้ และผลต่อเนื่องมา พอจะสรุปได้ประเด็นหลักคือ

ด้านความปลอดภัย ในกรณีนี้สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ความปลอดภัยภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อเกิดอุบัติเหตุ และความปลอดภัยภายนอกโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เมื่อสารกัมมันตรังสี แพร่กระจายสู่อากาศ และทะเล ด้านความปลอดภัยภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นี้ส่วนใหญ่จะเป็นไปตามความปลอดภัยที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ถูกออกแบบไว้เมื่อ 40 ปีก่อน มีความปลอดภัยดี ในกรณีนี้สามารถทนแรงแผ่นดินไหวได้ตามที่ได้กล่าวมาในตอนต้นแล้ว อย่างไรก็ตาม การป้องกันคลื่นสึนามินั้นยังไม่ดีพอ เพราะมีกำแพงกันคลื่นทะเลสูงเพียง 5.7 เมตรเท่านั้น เมื่อเทียบกับความสูงของคลื่นสึนามิ ในครั้งนี้ ซึ่งสูง 14 เมตร คลื่นสึนามิจึงซัดเข้าท่วมอาคารที่ติดตั้งทะเลและเป็นที่ตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสำรอง (DG) ซึ่งติดตั้งในที่ที่ไม่สมควรคือ อยู่ท่าอาคารชั้นใต้ดิน (Basement) น้ำทะเลจึงท่วมเครื่องที่ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าสำรองจ่ายเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นยังผลให้เกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากขาดน้ำหล่อเย็น (Loss-of-coolant accident: LOCA) อีกประการหนึ่งการออกแบบเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ระบบ BWR-3 MKI ของบริษัท GE นั้น ยังไม่มีความปลอดภัยดีพอหากมีกรณี LOCA เกิดขึ้นอย่างทันที ทั้งนี้เพราะได้จัดให้บ่อพักกากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (Spent fuel pool) ไว้ภายในตัวอาคารปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ชั้นบนในส่วนที่เป็นระบบครอบคลุมทุติยภูมิ (Secondary containment) ซึ่งมีโครงสร้างไม่แข็งแรงพอ หากมีการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนและโดยเฉพาะบ่อพักกากเชื้อเพลิงใช้แล้วนี้ อยู่เหนือบริเวณเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ดังนั้นเมื่อเกิด LOCA ขึ้น น้ำหล่อรอบแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะเดือดระเหย ลดระดับลงและทำให้ตัวเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ร้อนขึ้น เกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำหล่อเย็นทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนลอยสู่เบื้องบน จากการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนทำให้หลังคาและผนังอาคารเปิดออก น้ำในบ่อเก็บกากเชื้อเพลิงใช้แล้วจะร้อน และระเหย ระดับน้ำลดลง ทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วสัมผัส กับอากาศ ปลดปล่อยธาตุกัมมันตรังสี I^{131} และ Cs^{137} ออกมาสู่อากาศ

นอกจากนี้ ในส่วนของโดมคลุมเตาปฏิกรณ์ระบบครอบคลุมปฐมภูมิ (Primary containment) ที่ห่อหุ้มด้วยเหล็กกล้า นั้น ความหนาของเหล็กกล่ามีเพียง 4.0 เซนติเมตร อาจจะไม่

สามารถป้องกันการแปรเปลี่ยนของความดันของไอน้ำอันเนื่องมาจาก LOCA ได้มากพออาจ ปริ หรือ ร้าว ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนรั่วออกมาจากเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แล้วเกิดการระเบิดทำความเสียหายต่ออาคารและบ่อพักเชื้อเพลิง เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของบริษัท GE รุ่นต่อๆ มา เช่น BWR-4 MK II, BWR-5 MK III ได้เพิ่มความหนาของโดมคลุมเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็น 14.0 เซนติเมตรแล้ว

ดังนั้นจากบทเรียนที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไคอชิ การสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่ในอนาคต จึงควรคำนึงถึง 1) การสร้างกำแพงกั้นน้ำทะเลที่มีความสูงอย่างน้อย 20 เมตร สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ต้องอยู่ติดทะเลเปิด 2) ระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉินจะต้องมีการป้องกันการถูกตัดขาดและพังทลายจากการถูกน้ำท่วม 3) โดมเหล็กกล้าจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 25-30 เซนติเมตร และ 4) บ่อพักกากเชื้อเพลิง ควรอยู่นอกอาคารเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แต่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง และต้องมีการป้องกันการแพร่กระจายของรังสีและธาตุกัมมันตรังสี

ด้านความปลอดภัยภายในโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นรัฐบาลญี่ปุ่น โดย JAEA (Japan Atomic Energy) ได้วางระเบียบ และกำหนดแผนปฏิบัติการไว้อย่างดี อาทิ เช่น แผนอพยพประชากรที่ตั้งอยู่อาศัยภายในรัศมี 10 กิโลเมตร, 20 กิโลเมตร, 30 กิโลเมตร (ซึ่งขึ้นอยู่กับการฟุ้งกระจายของละอองสารกัมมันตรังสี) ไว้อย่างดี มีเครื่องอุปโภคบริโภคพอสมควร นอกจากนี้ ยังเตรียมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (Potassium Iodine, KI) เป็นชนิดเม็ดไว้แจกให้แก่ประชาชนในกรณีที่ได้รับฝุ่นละอองของธาตุกัมมันตรังสี I^{131} เข้าทางการหายใจ และอาหารน้ำดื่ม ในระยะ 24 ชั่วโมงของการได้รับ I^{131}

ดังนั้นสำหรับประเทศไทยถึงแม้ยังไม่มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็ตาม บทเรียนต่างๆ ควรศึกษาไว้เพื่อในยามจำเป็นจะได้มีความพร้อมตลอดเวลา โดยเฉพาะวัฒนธรรมความปลอดภัย (Safety culture) นั้นจำเป็นอย่างยิ่ง **การจัดตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ประสบความสำเร็จ จะต้องเริ่มจากการปลูกฝังวัฒนธรรมความปลอดภัยแก่เยาวชน ซึ่งเป็นผู้ที่อยู่ในยุคของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อีก 10-20 ปี ข้างหน้า ดังนั้น การเริ่มต้นปลูกฝังอบรมและพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จึงเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วนอย่างยิ่ง เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานานในการสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง รัฐบาลจึงสมควรดำเนินการโดยเร็วที่สุดในทุกด้าน โดยจัดให้ “พลังงานนิวเคลียร์” เป็น “วาระแห่งชาติ” (National Agenda) (Bhanthumnavin and Bhanthumnavin, 2010) เพราะมีความจำเป็นที่ต้องใช้องค์ความรู้จากหน่วยงานและสาขาวิชาในทุกด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเริ่มต้นจากองค์ความรู้จากการวิจัยด้านการยอมรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่สาขาจิตพฤติกรรมศาสตร์ในประเทศไทยได้สร้างไว้แล้ว ในการขับเคลื่อนให้เยาวชน ผู้นำชุมชน และประชาชนทั่วไป มีความตื่นตัวและมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องและมีความพร้อมในด้านพลังงานนิวเคลียร์ รวมทั้ง**

บุคคลเหล่านี้จะต้องได้รับการปลูกฝังและเสริมสร้างจิตและพฤติกรรมของความเป็นระเบียบวินัย และการมีวัฒนธรรมความปลอดภัย อีกด้วย

ผลกระทบทางเศรษฐกิจ อุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ครั้งนี้ยังผลให้เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาลไม่ว่าจะเกิดกับประเทศญี่ปุ่น เท่านั้นหากจะยังเกิดกับประเทศไทย, ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศที่กำลังพัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์อีกด้วย ผลที่ปรากฏชัดขึ้นเรื่อยๆ คือ ประเทศญี่ปุ่นค่า GDP ของไตรมาสที่ผ่านมาลดลงมาก และโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ (โดยเฉพาะสมอล) อุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ โดยโรงงานเสียหายและถูกทำลาย พนักงานของโรงงานต่างๆ สูญหายและเสียชีวิต ตลอดจนขาดปัจจัยในการดำรงชีวิต ทำให้การทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ต้องหยุดชะงักลง จึงเกิดภาวะการขาดอะไหล่หรือชิ้นส่วนต่างๆ ในสายการผลิต เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ที่จะมาประกอบในประเทศสหรัฐอเมริกาและในประเทศไทย ซึ่งบริษัทรถยนต์บางยี่ห้อประกอบรถยนต์ส่งขายไม่ทันกำหนด ทำให้ขาดรายได้ เป็นต้น

สำหรับ อุตสาหกรรมการเกษตรและประมง นับเป็นภาคธุรกิจที่กระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของชาวญี่ปุ่นทั้งหมดและอาจจะกระทบต่อประชาชนทั่วโลกที่บริโภคอาหารจากประเทศญี่ปุ่นด้วย เนื่องจากคลื่นสึนามิได้ทำลายเรือประมง ท่าเรือประมง ตลอดจนทำให้ชาวบ้านที่เป็นชาวประมงเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก รวมทั้งทำลายแปลงผักพืชผลอีกหลายแสนไร่ ประกอบกับการแพร่กระจายละอองธาตุกัมมันตรังสี จากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ก็ยังทำให้ทำให้เกิดผลกระทบมีความรุนแรงทวีคูณยิ่งขึ้น ดังจะเห็นการชะลอการส่งออกอาหาร พืชผักผลไม้ อาหารทะเล และเนื้อสัตว์ จากเขตภัยพิบัติมาขายในภายในประเทศญี่ปุ่น รวมทั้งผลกระทบต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารจากญี่ปุ่นด้วย เนื่องจากผู้บริโภคเกิดความหวั่นวิตกของปริมาณการปนเปื้อนของธาตุกัมมันตรังสีในอาหารเหล่านี้ ทำให้อุตสาหกรรมการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารของญี่ปุ่นถูกผลกระทบอย่างรุนแรงด้วย สำหรับประเทศไทยอาจได้รับผลดีจากการขายผลิตภัณฑ์อาหารได้เพิ่มขึ้น

เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นต้องทำการปฏิสังขรณ์ และก่อสร้างอาคารทดแทนอาคารและสิ่งก่อสร้างที่ถูกทำลายลงไปจากคลื่นสึนามิ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุก่อสร้างเป็นจำนวนมาก จึงคาดได้ว่าในอีก 2-3 ปี นับจากนี้เป็นต้นไป ประเทศญี่ปุ่นจะมีการนำเข้าวัสดุก่อสร้าง เช่น ซีเมนต์, เหล็กก่อสร้าง, ไม้ ฯลฯ มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลกด้วย

ที่กระทบหนักในอนาคตสำหรับประเทศญี่ปุ่นอีกด้านหนึ่งคือ อุตสาหกรรมนิวเคลียร์ ทั้งนี้ เพราะประชากรอาจจะให้สนับสนุนให้ใช้พลังงานนิวเคลียร์เพื่ออุตสาหกรรมน้อยลง ทำให้การพัฒนาการส่งออก (ขาย) โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มีอนาคตไม่แน่นอน ญี่ปุ่นต้องทำงานหนักในการฟื้นฟู

ความเชื่อมั่นและความปลอดภัยให้กับรัฐบาลในประเทศอาเซียน, ตะวันออกกลาง, ยุโรปตะวันออก, ตลอดจนประเทศมองโกเลีย โดยบางประเทศนำโดยประเทศเยอรมัน ได้ตัดสินใจระงับโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยจะหันมาใช้พลังงานหมุนเวียนแทน แต่อย่างไรก็ตาม ประเทศอุตสาหกรรมต่างๆ ยังคงเผชิญกับปัญหาของพลังงานหมุนเวียนเหล่านี้ที่จะกระทบในด้านต้นทุนราคาที่สูง และไม่สามารถนำมาใช้ได้ต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก รวมทั้งเทคโนโลยีของพลังงานเหล่านี้ยังต้องใช้เวลาพัฒนาอีก 15-20 ปี ซึ่งระหว่างนั้นจะใช้พลังงานหลักอะไรมาทดแทน นั่นคือปัญหาที่รัฐบาลในแต่ละประเทศที่ไม่แน่ใจในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะต้องหาคำตอบและหนทางแก้ไขให้ได้ ซึ่งการพึ่งพาพลังงานจากประเทศเพื่อนบ้าน ไม่ใช่คำตอบที่เป็นการแก้ไขปัญหาในระยะยาว แต่อาจกลับสร้างปัญหาในเรื่องของ “ความมั่นคงทางด้านพลังงาน” (Energy security) ให้แก่ประเทศอีกด้วย ดังนั้น หลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เกาหลีใต้ อินเดีย จีน ยังมีการเดินหน้านำเสนอโครงการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยให้มีการทบทวนเรื่องความปลอดภัยไปพร้อมๆ กันด้วย จะเห็นได้ว่า จึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงได้ยากในการใช้พลังงานนิวเคลียร์ไปพลางๆ ก่อนที่พลังงานหมุนเวียนจะถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงสุคน่าเชื่อมั่น ดังนั้น จึงต้องให้ความรู้อย่างจริงจังแก่ประชาชน เพื่อก่อให้เกิดการยอมรับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ต่อไปอย่างปลอดภัย

ด้านการยอมรับของสังคม (Public acceptance) ด้านการยอมรับนี้เป็นหัวใจสำคัญแห่งความประสบความสำเร็จในการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ทางด้านพลเรือน (ในการพัฒนาประเทศ) จำเป็นต้องให้ความรู้ ความเข้าใจ และการมีส่วนร่วมของประชาชนในโครงการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่มีใช้เฉพาะพลังงานนิวเคลียร์เท่านั้น รวมทั้งด้านอื่นๆ อีกด้วย (รายละเอียดของการยอมรับทางสังคมหาอ่านได้จาก Bhanthumnavin and Bhanthumnavin, 2010; NEA / OECD, 2000; Shiraga, 2002)

การให้ความรู้แก่ประชาชน ด้านนี้เป็นด้านที่สำคัญที่สุด เพราะความรู้ที่ถูกต้องและเป็นเหตุเป็นผลในเชิงวิทยาศาสตร์ จะทำให้ประชาชนตัดสินใจจะทำการสนับสนุนโครงการต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ก็เพื่ออนาคตของพวกเขาตนเอง การให้ความรู้ที่ถูกต้อง ผ่านทางการศึกษาในระบบ (Formal education) และนอกระบบ (Informal education) นั้น (หารายละเอียดได้จาก Bhanthumnavin and Bhanthumnavin, 2010)

ตัวอย่างของการขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการได้รับรังสี จากพลังงานนิวเคลียร์จนทำให้เกิดการกีดกัน (Discrimination) ทางสังคมในประเทศญี่ปุ่นกับประชากรของพวกเขาเองที่ถูกเรียกว่าเป็นพวก **ฮิบากุชะ (Hibakusha)** ประชากรกลุ่มนี้เป็นชาวญี่ปุ่นที่น่าสงสารเพราะถูกรังสีจากลูกกระเบิดปรมาณูที่เมืองฮิโรชิมา และนางาซากิได้รับบาดเจ็บหนักแต่รอดชีวิต เป็นพวกที่ผู้คนทั่วไปรังเกียจที่จะพบ, สัมผัส, แต่งงานด้วย, หรือทำงานร่วมกันด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะเข้าใจผิดๆ ว่า

ภายในร่างกายของพวกอิวาคูชะ มีรังสีนิวเคลียร์แฝงอยู่ เมื่อเข้าใกล้ ตัวผู้มาเข้าใกล้จะได้รับรังสีนิวเคลียร์แล้วเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือชีวิตได้ หรือหากแต่งงานด้วย ลูกออกมาจะกลายพันธุ์ เพราะเซลล์ร่างกายของพวกอิวาคูชะ พกพิการด้วยรังสีนิวเคลียร์ไปแล้วเป็นต้น (Japan Time, 2011)

แม้แต่ในปัจจุบันอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า ไดอิจิ ทำให้สารกัมมันตรังสีแพร่ออกมาจนต้องทำให้อพยพประชากรในรัศมี 30 กิโลเมตรออกมา มีเด็กหญิงอายุ 8 ขวบ ชาวเมืองมินาโชมะ โดยที่เธอไม่มีใบรับรองกัมมันตภาพรังสี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรีบอพยพมากับครอบครัวรวมอยู่ด้วย เด็กหญิงคนนี้เป็นโรคผิวหนังเมื่อไปที่โรงพยาบาล โรงพยาบาลปฏิเสธที่จะตรวจดูอาการ เพราะเข้าใจว่าเด็กหญิงคนนี้เป็นพวกอิวาคูชะ เราจะเห็นว่า แม้เวลาผ่านไป 66 ปี หลังเหตุการณ์ที่ระเบิดที่เมืองอิโรชิม่า และนางาซากิแล้วก็ตาม (ASTV Manager Online, 2011) ดังนั้นการให้การศึกษาและความรู้ทางด้านพลังงานนิวเคลียร์และรังสีจะต้องกระทำตลอดเวลาต่อเนื่อง เพื่อความเข้าใจที่ดีของประชาชน

เอกสารอ้างอิง

- ABC News. (2011). *Fukushima : Mark I Nuclear Reactors Design*. Retrieved from <http://abcnews.go.com/Blotter/fukushima-mark-nuclear-reactor-design-caused-ge-scientist/story?id=1314128>
- ASTV Manager Online. (2011). ชาวฟูกูชิม่าเศร้า, เป็นพลเมืองชั้น 2, คนญี่ปุ่นผวารังสี. Retrieved from <http://www.manager.co.th/Daily/ViewNews.aspx?NewsID=9540000046301> (13 เมษายน, 2554).
- Backbench media. (2011). *The Richter Scale Equation and Earthquakes*. Retrieved from <http://www.backbenchmedia.com/richter-scale-equation-earthquakes/>.
- Bhanthumnavin, V., & Bhanthumnavin, D. (2009). Nuclear Power Plant: Knowledge, Safety culture and acceptance. *Journal of Social Development*, 11(2), 114-141.
- Bhanthumnavin, V., & Bhanthumnavin, D. (2010). Small and Medium Nuclear Reactor for Development. *Journal of Social Development*, 12(2), 53-91.
- Burghern, P.S. Hirschberg, A. .H., & Ortiz, R.A. (2004). *Severe accidents in the energy sector*. Final Report to the European Commission of the EU 5th Frame work Programme “New Elements for the Assessment of External costs from Energy Technology (New Ext) DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD), Brussels, Belgium.

- Chu, S. (2011). *Why we need more nuclear power*. Retrieved from <http://www.facebook.com/notes/steven-chu/why-we-need-more-nuclear-power/336162546856>.
- Flowserve. (1998). *Zirconium alloy data sheet*. Flowserve Corporation, Ohio, USA.
- Haukelid, K. (2008). Theories of (safety) culture revisited - an anthropological approach. *Safety Science*, 46(3) 413-426.
- IAEA (2011). *Japan: Nuclear Power Reactors. Power Reactor Information System - PRIS*. Retrieved from <http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.powrea.htm?country=JP>.
- IAEA. (1985). *Small and Medium Power Reactors: Project Initiation study phase I*. IAEA-TEDOC 374. Vienna, Austria.
- IAEA. (1997). *Introduction to small and medium reactors in developing countries*. IAEA-TECDOC-999. Vienna, Austria.
- IAEA. (2009). Reactors in operation. Retrieved from http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010_CD/pages/AnnexII/tables/table2.htm.
- Ingersoll, D.T. (2009). Deliberately small reactors and the second nuclear era. *Progress in Nuclear Energy* 51, 589-603.
- International Atomic Energy Agency. (1996). *Defense in depth in nuclear safety*. INSAG-10, IAEA. Vienna, Austria.
- International Atomic Energy Agency. (1996). *Defense in Depth Nuclear Safety*. INSAG-10, IAEA, Vienna Austria.
- Japan Times. (2011). *Prejudice haunts atomic bomb survivors*. Retrieved from <http://search.japantimes.co.jp/cgi-bin/nn20010508m1.html>.
- Komiyama, H. (2011). Asia focus: Interviewing Hiroshi Komiyama. *Asia Views*, 4(12), April-May, 2011, 16-17.
- Kuznetsov, V. (2008). Option for small and medium sized reactors (SMRs) to overcome loss of economic of scale and incorporate increased proliferation resistance and energy security. *Progress in Nuclear energy*, 5, 242-250.
- Mazuo, J. (2008). The Social responsibility in nuclear energy. *Progress in Nuclear Energy*, 50, 694-699.
- Mohrbach, L, & Linnemann, T. (2011). *The Tohoku-Taiheiyu-Oki earthquake and subsequent*

- tsunami on March 11, 2001*,(p.9). Retrieved from http://files.messe.de/001/media/02informationenfrbesucher/vortraege/2011_4/Power-Plant-Technology_Consequences-for-Nuclear-Power-Plants-in-Northeast-Honshu.pdf.
- National research Institute for Earth science and Disaster prevention. (2011) . *2011 Off the pacific coast of Tohoku earthquake, strong ground motion*. Retrieved 20 May, 2011 , [http://www.K-net.Bosai.go.jp/k-net/topics/Tohoku Taiheiyo 2011 03 11/neid Kyoshin.e.pdf](http://www.K-net.Bosai.go.jp/k-net/topics/Tohoku_Taiheiyo_2011_03_11/neid_Kyoshin.e.pdf).
- NEA / OECD. (2000). *Nuclear energy in sustainable development perspective*, Paris, France.
- NEA. (2010). Chernobyl accident. World Nuclear Association. Retrieved from <http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.html>.
- New York Times. (2011). *How Shifting Plates Caused the Earthquake and Tsunami in Japan*. Retrieved from <http://www.nytimes.com/interactive/2011/03/11/world/asia/maps-of-earthquake-and-tsunami-damage-in-japan.html?ref=asia>.
- NHK World. (2011). Live broadcast comparing earthquake at Kobe and Sendai. March 19, 2011.
- NRC. (2011). *GE BWR-3, Mark-I*. General Electric. Retrieved from [www. Nucleartourist.com](http://www.Nucleartourist.com).
- Nuclear Energy Agency. (2005). *Chapter 5 Nuclear Safety in Nuclear Energy today* (pp 41-48). OECD, France.
- Nuclear Energy Agency. (2008). Chapter 13 Advanced reactor. In *Nuclear energy outlook*. (pp. 373). Nuclear Energy Agency. OECD, Paris, France.
- Nuclear Energy Institute. (2002). *Analysis of nuclear power plants shows aircraft crash would not breach structure housing reactor fuel*. Retrieved from. www.nei.org/newandevents/aircraftbreach.
- Schoof, R. (2011). *Japan's nuclear crisis comes home as fuel risks get fresh look*. Retrieved from <http://www.mcclatchydc.com/2011/04/12/112048/us-begins-to-reconsider-nuclear.html>.
- Shiraga, K. (2002). Understanding society and nuclear energy. *NEA News*, 20(2), 4-6.
- TEPCO. (2011). *The record of earthquake intensity observed at Fukushima Daiichi nuclear power plant station and Fukushima Daini nuclear power station*. Interim report. Press release. Retrieved from <http://www.jpubb.com/en/press/32055/>.

US Geology Survey. (2011). *Magnitude 9.0 - NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN.*

Retrieved from <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/usc0001xgp.php#details>.

US Nuclear Regulatory Commission. (2008). *Radiation and its health effects*. Retrieved from www.nrc.gov/about-nrc/radiation/rad-health-effects.html. October 2009.

US Nuclear Regulatory Commission. (2007). *NUREG-0713 Occupational radiation exposure at commercial nuclear reactor and other facilities. 40th Annual report* (p. 4-12). Retrieved from. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0713/v29/sr0713v29.pdf>. November 2009.

World Nuclear News. (2011). Stabilization at Fukushima Daiichi. Retrieved from http://www.world-nuclear-news.org/RS_Stabilization_at_Fukushima_Daiichi_20031111.html.