รายการอ้างอิง

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 25 ปี แห่งความมุ่งมั่น. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2537.
2. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานไฟฟ้าของประเทศไทย2536. กรุงเทพมหานคร: ธรรมดาเพรส, 2537.
3. Toshiba Nuclear Energy. Japan, 1990.
4. Knief, Ronald, Allen. Nuclear Energy Technology. Washiton D.C. : Hemispher, 1981.
5. Lamarsh, R. , John. Introduction to Nuclear Engineering (2 nd. ed.). Massachusetts: Addison-wesley, 1983.
6. Mitsubishi Heavy Indusries Limited. PWR Nuclear Power Plant. Japan, 1990.
7. Ikeda, Yasuhiro. Outline of Nuclear Power Plant Systems in Japan (PWR). International Seminar on Nuclear Safety, Japan, Nov. 26 to Dec. 15, 1993.
8 El-Wakil, M. M. Power Plant Technology (2 nd. ed.). New York: McGraw-hill book, 1962.
9 El-Wakil, M. M. Nuclear Heat Transport. Pennsylvania: Haddon craftsmen, 1971.
10 Glasstone, Samuel. and Sesonske, Alexander. Nuclear Reactor Engineering.New York; Chapman&hall, 1994.
11. Japan International Cooperation Agency, Japan Electric Power Information Center, Inc. , The Japan Atomic Power Company. PWR Nuclear Power Plant. Textbook for the Group Training Course in Nuclear Power Generation, Japan, Jan. 14 to Mar. 21, 1991.
12. International Atomic Energe Agency. Guidebook on the introduction of nuclear power. Vienna: IAEA, 1982.
13. International Atomic Energe Agency. Nuclear Power Plant Instrumentation and Control. Vienna: IAEA,1984.
14. Loftness, L. , Robert. Nuclear Power Plant. New Jersey:. D Van nostrand, 1964.

15. Pickard, K. , James. Nuclear Power Reactors . New Jersey: D.Van nostrand, 1957.

16. Pickard, K. , James, Warren, H. , Frederick, and Lowe,W. , William. Power Reactor Technology. New Jersey: D.Van nostrand, 1961.

17. Katayama, Mitsuo. Development of BWR in Japan. International Seminar on Nuclear Safety, Japan, Nov. 26 to Dec. 15, 1993.

18. Wills, J. ,George. Nuclear Power Plant Technology. New York: Mobil oil, 1967.

19. Japan International Cooperation Agency, Japan Electric Power Information Center, The Japan Atomic Power Company. BWR nuclear power plant. Textbook for the Group Training Course in Nuclear Power Generation, Japan, Jan. 14 to Mar. 21,1991.

20. Pershagen, Bengt. Light Water Reactor Safety. New York: Pergamon press, 1989.

21. Tokyo Electric Power Company. Advanced Boiling Water Reactor. Japan, 1992.

22. International Atomic Energe Agency. Nuclear Power Reactor in the World. Vienna: IAEA, 1994.

23. Atomic Energy of Candana Limited. Technical Summary CANDU Nuclear Generation Station . Candana , 1991.

24. Atomic Energy Control Board, Training Centre. Fundamentals of Power Reactors : Basic Design of the CANDU Nuclear Reactor. Training Programme on Regulations,Licensing and Safety Compliance, Ottawa, Canada, Aug. 22- Sep. 16 , 1994.

25. Atomic Energy of Candana Limited. Understaning Nuclear Power. Candana, 1990.

26. Bruschi, J. ,Howard, and Vijuk, P. ,Ronald. Safety : Evolving technologies for tomorrow's power reactor. Nuclear Safety 91 (July 1990): 95.

27. Gonzalez, J. , Abel. Fundamental principles of protection and safety for nuclear power. IAEA Bullentin 2 (1992):10.

28. International Atomic Energe Agency. IAEA Year Book. Vienna: IAEA, 1994.

29. Kabanov, L. , Kupitz, J. , and Goetzmann, C.A. Advanced reactors, Safety and environmental consideratios. IAEA Bullentin 2 (1992): 32.

30. Meyer, P.-J. , and Gruner, W. Improvements in current light-water reactors. IAEA Bullentin 3 (August 1989): 13.

31. Rosen, Morris. A formal international nuclear safety regime: The first steps. IAEA Bullentin 2 (1992):6.

32. Semenov, B. , Dastidar, P. , Kupitz, J. , and Goodjohn, A.J. Growth projections and development trends for nuclear power. IAEA Bullentin 3 (August 1989): 6.

33. Taylor, J.J. , and Santucci, J. Safety, Technical and Economic Objectives on the Electric pPower rResearch Institute's Advanced Light Water Reactor Programme. A Symposium on Advanced Nuclear Power Systems, pp. 131-144. Seoul, Oct. 18 to 22, 1993. Vienna: IAEA,1994.

34. Goetzmann, C.A. ,Kabanov, L. , and Kupitz , J. The next generation of nuclear power plant and beyond: Raising the level of ammbition. IAEA Bullentin 4 (December 1993): 45.

35. The new reactors. Nuclear News (September 1992): 65.

36. Mitsubishi Heavy Indusries Limited. Advanced Pressurized Water Reactor Power Plant. Japan, 1992.

37. ABB Combustion Engineering Nuclear Power. System 80 + Standard Design the Nuclear Option for the 90s. Windsor , 1991.

38. Ridolfo, F. , Harmon, D. , and Scarola, K. The nuplex 80+ Advanced Control Complex from ABB-Combustion Engineering. Nuclear Safety 1 (January-March 1993): 64.

39. Turk, S. , Richard, and Matzie, A. , Regis. System 80+ : PWR technology takes a major step up the evolutionary ladder. Nuclear Engineering International (November 1992): 15.

40. Jacob, M.C. , Schneider, R.E. , and Finnicum, D.J. System80+ Design Features for Severe Accident Preventation and Mitigation. ASME/JSME Nuclear Engineering Conference, pp. 367-390. 1993.

41. Toshiba. Advanced Boiling Water Reactor: ABWR. Japan, 1993.

42. Hitashi. Advanced Boiling Water Reactor. Japan, 1991.

43. McCandless, R.J. , and Redding, J.R. Simplicity: The key to improved safety, performance and economics. Nuclear Engineering International 424 (November 1989): 20.

44. Ghosh, A.K. , Raj, V.V. ,and Kakodkar, A. A scheme for passive isolation of containment of reactor. Nuclear Safety 1 (January-March 1993):76.

45. Mitsubishi Heavy Indusries Limited. Safety Reliability Economy Mitsubhi Simplified 300/600 MWe PWR Plant. Japan, 1990.

46. T. Matsuoka, K. tabuchi, T. Sugizaki and K. Okabe. Safety featues of the simplified Mitsubishi pressurized water reactor. Nuclear Safety 3 (April-June 1992): 196.

47. The Westinghouse. AP-600. 1992.

48. McDermott, J. , Daniel. AP600 Passive System Design: An Integrated Approach. ASME/JSME Nuclear Engineering Conference, pp. 729-734. 1993

49. GE Nuclear Energy. Light Water Reactors: The Next Generation. USA, 1990.

50. Masoni, Paolo, Botti,Stefano, and Fitzsimmons, G. , William. Confirmatory Tests of Full-scale Condensers for the SBWR. ASME/JSME Nuclear Engineering Conference, pp. 735-744. 1993.

51. Borowsky, Volker. Combining photogrammetry and CAD. Nuclear Engineering International 462 (January 1993): 33.

52. Thomas, Ron, and Doust, Rick. How to build a CANDU without ever going to the construction site. Nuclear Engineering International 465 (April 1993): 52.

53. Lipsett, J.J. ,and Dunn, J.T. Advanced technology and design for heavy-water reactors. IAEA Bullentin 3 (August 1989): 22.

54. McKenzie, A.R. , Yu, W. , S.K. Advanced Reactor Design and Safety Objectives. A Symposium on Advanced Nuclear Power Systems, pp.193-200. Seoul, Oct. 18 to 22, 1993. Vienna: IAEA,1994.

55. Ellia-Hervy, Aline, and Lange, Dominique. How PSA can benefit future reactor design. Nuclear Engineering International 444 (July 1991): 36.

56. Hollway, N.J. , and Gibson, I.K. PSA : everybody's doing it. Nuclear Engineering International 450 (January 1992): 44.

57. Mosey, David. Reactor Accidents. London: Westow press, 1990.

58. Kemeny, G. , John, and others. The Accident at TMI. New York: Pergamon press, 1979.

59. International Atomic Energe Agency. SafetySeries no.75-INSAG: Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobly Accident. Vienna: IAEA, 1986.

60. International Atomic Energe Agency. Safety series no.75-INSAG-7: The Chernobly Accident: Updating of INSAG-1. Vienna: IAEA,1992.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คำอธิบายศัพท์

การกระจายกำลัง	Power distribution
การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง	Reactor control system
การควบคุมโดยใช้สารเคมี	Chemical shim control
การตรวจสอบการออกแบบเบื้องต้น	Preliminary design approval ,PDA
การประเมินความปลอดภัย	Probabilistic Safety Assessment,PSA
การออกแบบขั้นสุดท้าย	Final design approval
คาแลนเดรีย	Calandria
เครื่องควบคุมความดัน	Pressurizer
เครื่องทำให้ไอน้ำแห้ง	Steam dryer
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR	Boiling light water reactor,BWR
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU	Canadian deuterium uranium,CANDU
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PHWR	Pressuried heavy water reactor,PHWR
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR	Pressurized light water reactor,PWR
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังรุ่นใหม่	Advanced nuclear power reactor
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดกำลังต่ำ	Simplified nuclear power reactor
เครื่องปฏิกิรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ ABWR	Advanced Boiling water reactor,ABWR
เครื่องปฏิกิรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ APWR	Advanced Pressurized water reactor,APWR
เครื่องปฏิกิรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ SBWR	Simplied boiling water reactor,SBWR
เครื่องปฏิกิรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ SPWR	Simplied pressurized water reactor,SPWR
เครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง	Refueling machine
เครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำ	Steam separator
เจทปั๊ม	Jet pump
ซีนอน	Xenon
ถังน้ำบ่อเก็บเชื้อเพลิง	Refueling water storage tank
ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ	International Atomic Energy Agency,IAEA

ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ	International Atomic Energy Agency,IAEA
ท่อความดัน	Pressure tube
แท่งเชื้อเพลิง	Fuel rod
น้ำธรรมดา	Light water
น้ำมวลหนัก	Heavy water
นิวตรอนช้า	Thermal neutron
นิวตรอนเร็ว	Fast neutron
โบรอนคาร์ไบด์	Boron carbide ,B_4C
มัดแท่งเชื้อเพลิง	Fuel bundel หรือ fuel assembly
เม็ดเชื้อเพลิง	Fuel pellet
ยูเรเนียมไดออกไซด์	Uranium dioxide, UO_2
ระบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง	Reactivity control
ระบบความปลอดภัยทางวิศวกรรม	Engineering safety feature system
ระบบความปลอดภัยธรรมชาติ	Passive safety system
ระบบผลิตไอน้ำโดยตรง	Direct Cycle
ระบบผลิตไอน้ำทางอ้อม	Indirect Cycle
ระบบผลิตไอน้ำวงจรคู่	Dual Cycle
ระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน	Emergency core cooling system,ECCS
ระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	Containment spray cooling system
ระบบระบายความร้อนสำรองในขณะหยุดเครื่อง	Residual heat removal system,RHP
ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน	Emergency shutdown
ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน	Reactor emergency shutdown system
ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิง	Fuel Cycle
รายงานการวิเคราะห์ความปลอดภัย	Standardized safety analysis report,SAR
โลหะผสมเซอร์โคเนียม	Zirconium alloy
วงแหวน	Annulus
สารละลายกาโดลิเนีย	Gadolinia solution
ห้องควบคุม	Control room
เหล็กกล้าปลอดสนิม	Stainless steel
อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	Containment
อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นใน	Primary containment vessel

ภาคผนวก ข

ข้อมูลเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

General data	**PWR**	**BWR**	**CANDU**
Thermal output (Mwt)	3411	3579	1621
Electrical output (Mwt)	1150	1200	500
Efficiency (%)	33.7	33.5	31
Fuel type	UO_2	UO_2	UO_2
Coolant	H_2O	H_2O	D_2O
Structural material	Zircaloy	Zircaloy-2	Zircaloy-4
Moderator	H_2O	H_2O	D_2O
Core data			
Active heigh (cm)	366	376	410
Equivalent active diameter (cm)	337	366	680
Heigh/diameter	1.09	1.03	0.60
Active core volum (l)	32,800	63,910	130,000
Average core power density (kW/l)	104	56.0	12.4
Fuel weight (kg)	90,200	138,000	80,000
Specific power (kW/kgU)	37.8	25.9	20.4
Burnup (MWD/MTU)	33,000	27,500	10,000
C.R.	0.5	0.5	0.45

General data	PWR	BWR	CANDU
Fuel assemblies			
Type	Square bundles	Canned square bundles	Pressure tube bundles
Number of assemblies	193	732	473
Fuel element array	17x17	8x8	Pressure tube
Assembly dimension (cm)	21.4x21.4	14x14	8x50
Assembly pitch (cm)	21.5	30.5	27.9
Number of fuel element/assembly	264	63	28
Total number of fuel locations	50,952	46,116	13,244
Fuel element data			
Type	Clad rod	Clad rod	Clad rod
Fuel element pitch (cm)	1.25	1.62	1.65
Fuel element O.D. (cm)	0.94	1.25	1.52
Pitch/diameter	1.32	1.30	1.08
Clad thickness (cm)	0.0572	0.0864	0.038
Fuel pellet diameter (cm)	0.819	1.056	1.44
Pellet-clad gap (cm)	0.0082	0.008	-
Fuel enrichment	2.1/2.6/3.1	2.2-2.7	nat U

General data	PWR	BWR	CANDU
Thermal hydraulic data			
Sytem pressure (bar)	155	72	89
Coolant flow ($10^{\bullet}$ Kg/hr)	62	47	23.9
Average linear power density (W/cm)	178	206	200
Maximun linear power density (W/cm)	426	440	528
Average heat flux (W/cm^2)	68.5	50.3	50
Maximun heat flux (W/cm^2)	183	111.5	115
Inlet temperature ($^{\bullet}C$)	300	269	249
Outlet temperature ($^{\bullet}C$)	332	286	293
Maximun fuel temperature ($^{\bullet}C$)	1788	1829	1500

Source: Duderstadt, J.J. and Hamilton, L.J. Nuclear Reactor Analysis. pp644-645, Wiley, New York, 1976.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์

อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์ ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR ขนาดกำลัง 954 เมกกะวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์ มี 2 หน่วย หน่วยที่เกิดอุบัติเหตุคือหน่วยที่ 2 ซึ่งเริ่มเดินเครื่องเข้าสู่สภาวะวิกฤตเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2521 และได้เกิดอุบัติเหตุแกนปฏิกรณ์หลอมละลายเนื่องจากขาดน้ำระบายความร้อน เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2522 ความเสียหายจากอุบัติเหตุมีทั้งผลทางรังสี และผลทางเศรษฐกิจ ผลทางรังสี คือ มีเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้าได้รับรังสีสูงสุดประมาณ 40 มิลลิซีเวิร์ท จำนวน 2 คนและมีสารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมทำให้ประชาชนได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น 0.00416-0.0125 เท่า จากรังสีที่ได้รับในธรรมชาติ ส่วนผลทางเศรษฐกิจ คือ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 ต้องหยุดดำเนินการ และจ่ายค่าไฟฟ้าทดแทนวันละประมาณ 12 ล้านบาท ถูกฟ้องร้องเรียกค่าเสียหายประมาณ 500 ล้านบาท และค่าซ่อมแซมโรงไฟฟ้าที่เชื้อเพลิงหลอมละลายประมาณ 2 หมื่นล้าน

อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 นับได้ว่าเป็นอุบัติเหตุที่รุนแรงที่สุดของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในโลกตะวันตก (สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส เยอรมัน) ดังนั้น หลังจากอุบัติเหตุดังกล่าวจึงเกิดการพัฒนาทั้งด้านเทคโนโลยีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และด้านการควบคุมความปลอดภัย

1. ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ	PWR
ระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ	น้ำธรรมดา
ระบบระบายความร้อนทุติยภูมิ	น้ำธรรมดา
สารหน่วงนิวตรอน	น้ำธรรมดา
ขนาดกำลัง	959 เมกกะวัตต์ไฟฟ้า
<u>แกนปฏิกรณ์</u>	
เส้นผ่าศูนย์กลาง	3.27 เมตร
ความสูง	3.65 เมตร
ลักษณะ	ทรงกระบอก
เชื้อเพลิง	ยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2), U-235 เสริมสมรรถนะต่ำ2.57 %
จำนวนแท่งเชื้อเพลิง	36816 แท่ง
การจัดเรียงมัดแท่งเชื้อเพลิง	15x15
จำนวนมัดแท่งเชื้อเพลิง	177
แท่งควบคุม	Ag-In-Cd (80%-15%-5%)
จำนวนแท่งควบคุม	69 มัดแท่งควบคุม
<u>ถังปฏิกรณ์</u>	
เส้นผ่าศูนย์กลาง	4.35 เมตร
ความสูง	12.4 เมตร
ความดันขณะเดินเครื่องปกติ	2150 ปอนด์/ตารางนิ้ว
วัสดุ	high carbon steel
<u>อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์</u>	
ความสูง	58.8 เมตร
ความหนา	1.2 เมตร
วัสดุ	คอนกรีตเสริมเหล็ก

2. ลำดับเหตุการณ์อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

เมื่อเวลา 4.00 น. ของวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2522 มีสัญญาณแจ้งเหตุจากกังหันไอน้ำให้ลดกำลังเครื่องปฏิกรณ์ (ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน) เนื่องจากปริมาณไอน้ำที่ไปหมุนกังหันมีน้อยผิดปกติ ซึ่งมีสาเหตุมาจากปั๊มของ Feed water ในวงจรระบายความร้อนทุติยภูมิเกิดการขัดข้องไม่สามารถปั๊มน้ำจากเครื่องควบแน่นไปยังเครื่องผลิตไอน้ำได้ทำให้ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำลดน้อยลง การที่ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำลดลงทำให้ปริมาณการถ่ายโอนความร้อนของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิกับน้ำระบายความร้อนทุติยภูมิมีประสิทธิภาพต่ำลง หลังจากเกิดอุบัติเหตุไป 3 นาที ปริมาณความร้อนภายในเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้น้ำระบายความร้อนปฐมภูมิขยายตัวทำให้ความความดันสูงขึ้นเป็น 2255 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ปกติถังปฏิกรณ์ควบคุมความดันที่ 2150 ปอนด์/ตารางนิ้ว) และในขณะเดียวกันไอน้ำในส่วนบนของเครื่องควบคุมความดันถูกอัดตัวเนื่องจากการขยายตัวของน้ำ จนกระทั่งความดันภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มเป็น 2355 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงมีสัญญาณส่งไปเปิดวาล์ว Pilot Operated Relief Valve (PORV) ของเครื่องควบคุมความดัน โดยวาล์ว PORV ต่อกับท่อที่นำน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิที่ถ่ายโอนความร้อนในเครื่องผลิตไอน้ำแล้วซึ่งเรียกว่า น้ำเย็น (cold leg) กลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เมื่อวาล์วเปิดน้ำเย็นจะไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดันแทน น้ำเย็นที่ไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดันจะไปควบแน่นไอน้ำที่ถูกอัดตัวให้กลายเป็นหยดน้ำทำให้ความดันภายในเครื่องควบคุมความดันลดลง เมื่อความดันในเครื่องควบคุมความดันลดลงความดันในถังปฏิกรณ์จะลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากความดันในถังปฏิกรณ์และเครื่องควบคุมความดันมีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน

เวลา 04.02 น. ความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเหลือ 2255 ปอนด์/ตารางนิ้ว-กรัม High pressure injection pump (HPI) เริ่มทำงานโดยการปล่อยน้ำระบายความร้อนเข้าสู่แกนปฏิกรณ์แบบอัตโนมัติ ด้วยอัตราการไหล 1,000 แกลลอน/นาที แต่เจ้าหน้าที่ดูที่แผงวงจรพบว่าระดับน้ำภายในเครื่องควบคุมความดันสูงเพียงพอ (เจ้าหน้าที่ได้รับการฝึกอบรมว่า ถ้าระดับน้ำในเครื่องควบคุมความดันสูงเพียงพอ แสดงว่า ภายในเตาปฏิกรณ์มีน้ำระบายความร้อนสูงเกินกว่าแกนปฏิกรณ์ เนื่องจาก ตำแหน่งของเครื่องควบคุมความดันอยู่สูงกว่าเตาปฏิกรณ์ ดังนั้น หากเครื่องควบคุมความดันมีปริมาณน้ำมากภายในแกนปฏิกรณ์ย่อมมีน้ำมากเช่นกัน) เจ้าหน้าที่จึงลดอัตราการไหลของน้ำจาก HPI เหลือ 100 แกลลอน/นาที หลังจาก HPI ทำงานได้เพียง 30 วินาที ในกรณีนี้หากเจ้าหน้าที่ปล่อยให้ HPI ทำงานโดยอัตโนมัติแล้วจะมีปริมาณน้ำมากพอที่จะระบายความร้อนในแกนปฏิกรณ์ได้ ซึ่งคงจะไม่เกิดการหลอมละลายแกนปฏิกรณ์

เวลา 04.08 น. เจ้าหน้าที่ได้ตรวจสอบปริมาณน้ำที่จะเข้าเครื่องผลิตไอน้ำ ปรากฏว่าไม่มีน้ำไหลเข้าเครื่องผลิตไอน้ำ เนื่องจาก Emergency feed water pump ของระบบระบายความร้อนทุติยภูมิที่สำรองไว้ 2 เครื่อง ไม่ได้ทำงาน เนื่องจากปั๊มสำรองทั้ง 2 ถูกปิด ซึ่งปกติปั๊มทั้งสองจะต้องเปิดตลอดเวลา จะปิดต่อเมื่อในระหว่างการทดสอบ Emergency feed water pump และจะต้องเปิดปั๊มไว้ตามเดิมเมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น หลังจากเจ้าหน้าที่ตรวจสอบพบว่า มีตารางการทดสอบ Emergency feed water pump เมื่อวันที่ 26 มีนาคม และหลังจากการทดสอบไม่ได้เปิดปั๊มไว้ตามเดิม ปั๊มดังกล่าวถูกปิดมาเป็นเวลา 2 วันแล้ว ดังนั้น เมื่อ feed water pump ไม่ทำงานจึงไม่มีปั๊มสำรองทำงานต่อเนื่องซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำลดลง เจ้าหน้าที่จึงทำการเปิด Emergency feed water pump ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้น้ำระบายความร้อนทุติยภูมิสามารถไหลเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำได้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เจ้าหน้าที่คิดว่าสามารถค้นพบสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุและสามารถควบคุมสถานการณ์ดังกล่าวไว้ได้เรียบร้อย

เวลา 04.11 น. มีสัญญาณเตือนว่ามีน้ำภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ (เป็นน้ำซึ่งล้นมาจากถังเก็บที่รับน้ำที่มากเกินพอของเครื่องควบคุมความดัน) น้ำดังกล่าวมีส่วนของไอน้ำอยู่ด้วยทำให้ความร้อนและความดันภายในอาคารคลุมเครื่องบ่ฏิกรณ์สูงขึ้น

เวลา 04.12 น. สามารถลดความดันในเตาปฏิกรณ์ลงมาเป็น 2205 ปอนด์/ตารางนิ้ว วาล์ว PORV จึงปิดลงและมีสัญญาณไฟขึ้นที่หน้าจอห้องควบคุมแสดงว่าวาล์วปิดแล้ว แต่ในสภาพความจริงวาล์ว PORV เกิดการขัดข้องไม่สามารถปิดได้ ทำให้น้ำเย็นในระบบปฐมภูมิจากเครื่องผลิตไอน้ำแทนที่จะไหลเข้าสู่เตาปฏิกรณ์กลับไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดันแทนเป็นเวลา 100 นาที คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดัน 32,000 แกลลอน หรือ 1/3 ของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ

เวลา 04.15 น. เจ้าหน้าที่เปิดปั๊มภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อปั๊มน้ำที่ล้นออกมาไปเก็บในถังเก็บนอกอาคาร ฯ แต่ความร้อนและความดันภายในอาคารยังคงสูงขึ้นเรื่อย ๆ ต่อมาเวลา 04.39 น. เจ้าหน้าที่ทำการปิดปั๊มดังกล่าว เนื่องจากไม่ทราบแหล่งที่มาของน้ำดังกล่าว และเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ปนเปื้อนสารรังสีออกนอกอาคาร ฯ

เวลา 05.00 น. ปั๊มน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ 4 ตัว เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการปั๊มไอน้ำแทนน้ำ แต่เจ้าหน้าที่คิดว่าเนื่องจากแรงดันของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิที่หมุนเวียนภายในระบบ ซึ่งการสั่นสะเทือนของปั๊มอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มหรือท่อน้ำได้ ดังนั้น จึงตัดสินใจปิดปั๊มน้ำเมื่อเวลา 05.14 น. เพื่อลดความรุนแรงของแรงดันของน้ำภายในเตาปฏิกรณ์

เวลา 06.00 น. อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นมากประมาณ 3500-4000 องศาฟาเรนไฮต์ และที่แกนปฏิกรณ์ประมาณ 5600 องศาฟาเรนไฮต์ ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้แท่งหุ้มเชื้อเพลิง (สารผสมเซอร์โคเนียม) ทำปฏิกิริยาละลายกับน้ำและเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์หลอมละลายได้ (จุดหลอมเหลวของเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์ 5200 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ภัณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันหลุดออกมาปนเปื้อนกับน้ำและไอน้ำภายในถังปฏิกรณ์ หลังจากอุบัติเหตุเจ้าหน้าที่ได้ประเมินความเสียหายของแกนปฏิกรณ์สูงถึง 90 เปอร์เซนต์ ในขณะที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น เครื่องวัดปริมาณรังสีภายในอาคารได้ส่งสัญญาณเตือนภัยแจ้งปริมาณรังสีที่สูงผิดปกติ เจ้าหน้าที่ป้องกันอันตรายจากรังสีได้ทำการสำรวจปริมาณรังสีภายในโรงไฟฟ้าพบว่ามีปริมาณสูงผิดปกติจริง เวลา 07.00 น. เจ้าหน้าที่แจ้งเหตุฉุกเฉินแก่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการอพยพประชาชนออกห่างจากโรงไฟฟ้า

3. <u>ผลของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2</u>

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 มีผลเสียหายทั้งทางรังสีและทางเศรษฐกิจ กล่าวโดย

ผลทางรังสี ได้มีการสำรวจปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2และเจ้าหน้าที่ได้รับ ดังนี้

1. ประชาชนภายในรัศมี 50 ไมล์ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสีคิดเป็นร้อยละ 0.8 ของสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนได้รับในธรรมชาติ

2. ประชาชนภายในรัศมี 5 ไมล์ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสี คิดเป็นร้อยละ 10 ของสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนได้รับในธรรมชาติ

3. ประชาชนที่อยู่บริเวณโรงไฟฟ้าในขณะเกิดอุบัติเหตุ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสี 0.7 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติในร่างกาย

4. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในระหว่างการเกิดอุบัติเหตุ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสี 30-40 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งมากกว่าปริมาณรังสีที่ US-NRC ยอมให้เจ้าหน้าที่ได้รับ (ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้รับได้ 30 มิลลิซีเวิร์ท)

5. มีสารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมเล็กน้อยต่ำกว่ามาตรฐานนานาชาติ และในปริมาณดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและต่อสุขภาพของประชาชน

6. เกิดผลกระทบต่อสภาพจิตใจในระยะสั้นกับประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ โรงไฟฟ้า

ผลทางเศรษฐกิจ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 ต้องหยุดดำเนินการ และเสียค่าใช้จ่ายในการ

1. ค่าไฟฟ้าทดแทนวันละประมาณ 12 ล้านบาท
2. ค่าเสียหายจากการฟ้องร้องประมาณ 500 ล้านบาท
3. ค่าซ่อมแซมโรงไฟฟ้าที่เชื้อเพลิงหลอมละลายประมาณ 2 พันล้านบาท

4. <u>บทสรุปจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2</u>

ได้มีการสรุปสาเหตุของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 แยกออกเป็น 2 ประเด็น คือ ความผิดพลาดจากเครื่องจักรและความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ จากบทสรุปดังกล่าวทำให้มีการหาแนวทางป้องกันมิให้เกิดอุบัติเหตุรุนแรงของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ จึงทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และด้านการควบคุมความปลอดภัยแก่โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์รุ่นใหม่ในอนาคต ซึ่งสามารถกล่าวสรุปแนวคิดได้ดังนี้

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้มีการเสนอแนวคิดให้มีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์รุ่นใหม่โดยมีแนวโน้ม ดังนี้

1. ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้มีมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดความซับซ้อนของอุปกรณ์
2. ลดความซับซ้อนในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าใจการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ได้ง่ายขึ้น เพื่อลดความผิดพลาด
3. เครื่องปฏิกรณ์สามารถทำงานตอบสนองต่อเหตุผิดปกติได้โดยอัตโนมัติ เพื่อลดความรุนแรงของเหตุผิดปกติและให้เจ้าหน้าที่มีเวลาประเมินแก้ไขสถานะการณ์และตัดสินใจได้
4. ใช้ระบบความปลอดภัยธรรมชาติ เช่น ระบบระบายความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติหรืออาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อป้องกันการผิดพลาดของเจ้าหน้าที่และเครื่องจักร

การพัฒนาด้านการควบคุมความปลอดภัย

1. เพิ่มความสำคัญแก่การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่เดินเครื่อง และมีการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรม
2. เพิ่มเอกสารการวิเคราะห์ความปลอดภัย

อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล ตั้งอยู่ที่ประเทศยูเครน ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK (Reactor Bolshoy Moschnosti Kipyashiy: large power boiling reactor) ออกแบบโดยวิศวกรชาวรัสเซีย การก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์แบบนี้มักจะสร้างเป็นคู่ เนื่องจากมีการออกแบบให้ระบบบางระบบใช้ร่วมกัน สำหรับโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั้งหมด 4 หน่วย หน่วยที่เกิดอุบัติเหตุคือ หน่วยที่ 4 ซึ่งใช้ระบบบางส่วนร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังหน่วยที่ 3 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังหน่วยที่ 4 เปิดเดินเครื่องเมื่อปี พ.ศ. 2526 และเกิดอุบัติเหตุเมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2529

1. ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล หน่วยที่ 4

ตารางที่ 2 รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลหน่วยที่ 4

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง	RBMK
ขนาดกำลัง	1000 เมกกะวัตต์ไฟฟ้า
สารระบายความร้อน	น้ำธรรมดา
สารหน่วงนิวตรอน	กราไฟต์
แกนปฏิกรณ์ ขนาดท่อความดัน เชื้อเพลิง แท่งหุ้มเชื้อเพลิง การจัดเรียงมัดแท่งเชื้อเพลิง จำนวนมัดแท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม ลักษณะของสารหน่วงนิวตรอน	 หนา 40 เซนติเมตร ,เส้นผ่าศูนย์กลาง 88 เซนติเมตร ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ 2 % โลหะผสมเซอร์โคเนียม อยู่ภายในท่อความดันซึ่งบรรจุในแท่งกราไฟต์ 1661 โบรอนคาร์ไบด์ แท่งกราไฟต์รูปทรงกระบอก ตรงกลางเจาะรูเพื่อบรรจุท่อความดันหรือแท่งควบคุม, แท่งกราไฟต์มีทั้งหมด 2488 แท่ง
ถังปฏิกรณ์ ความสูง/เส้นผ่าศูนย์กลาง	 7/12.2 เมตร
อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	ไม่มี หลังคาเป็นแบบอาคารธรรมดาไม่ได้ออกแบบสำหรับคลุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

2. การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR โดยน้ำระบายความร้อนจะวิ่งผ่านช่องกราไฟต์แต่ละช่องจากล่างสู่บนและเดือดกลายเป็นไอ โดยมีส่วนผสมของน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 14 ส่วนผสมดังกล่าวจะผ่านเข้าสู่เครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำซึ่งอยู่ภายนอกถังปฏิกรณ์ เพื่อแยกไอน้ำกับน้ำ ต่อจากนั้น ไอน้ำจะไปหมุนกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ส่วนที่แตกต่างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK กับ BWR คือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK ใช้น้ำทำหน้าที่เป็นสารระบายความร้อน และใช้กราไฟต์เป็นสารหน่วงนิวตรอน แต่สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบ BWR ใช้น้ำเป็นทั้งสารหน่วงนิวตรอนและสารระบายความร้อน

ภายในแกนปฏิกรณ์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK ประกอบด้วยแท่งกราไฟต์รูปทรงกระบอกตรงกลางเจาะรูให้ท่อความดันที่ภายในบรรจุมัดแท่งเชื้อเพลิงหรือบางท่อบรรจุแท่งควบคุม ระหว่างแท่งกราไฟต์และท่อความดันหรือแท่งควบคุม จะมีส่วนผสมของก๊าซฮีเลียมและก๊าซไนโตรเจน เพื่อระบายความร้อนให้แท่งกราไฟต์และเป็นฉนวนกั้นไม่ให้แท่งกราไฟต์รับความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิง และเป็นการป้องกันไม่ให้แท่งกราไฟต์สัมผัสกับอากาศซึ่งในที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้แท่งกราไฟต์เกิดการลุกไหม้ได้ (อุณหภูมิของแท่งกราไฟต์ในขณะเดินเครื่องประมาณ 600-700 $^{\circ}$ C) การควบคุมปฏิกิริยาฟิชชันของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK ใช้แท่งควบคุมซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มี 4 ส่วน ใช้ควบคุมการกระจายกำลัง การหยุดปฏิกิริยาฟิชชันเมื่อเกิดเหตุขัดข้องหรือเหตุฉุกเฉิน ซึ่งแท่งควบคุมจะเคลื่อนที่จากด้านบนถังปฏิกรณสู่ด้านล่าง และกลุ่มที่ 2 ใช้ควบคุมการกระจายกำลังในแกนปฏิกรณ์แท่งควบคุมของกลุ่มที่ 2 นี้จะมีขนาดสั้นและเคลื่อนที่ขึ้นจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK นี้ในขณะเดินเครื่องเต็มกำลัง สัมประสิทธิ์ void ของสารระบายความร้อนจะมีค่าเป็นบวก และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีค่าเป็นลบ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังมีค่าเป็นลบ จะทำให้ภายในแกนปฏิกรณ์อยู่ในสภาวะ negative reactivity หมายถึง ถ้าอุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น) จะต้องเพิ่มปริมาณน้ำระบายความร้อนที่ไหลเข้าแกนปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเดือดอย่างรุนแรงและไม่ให้เกิด void ภายในแกนปฏิกรณ์ขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์ void ของสารระบายความร้อนลดลง) เนื่องจากมีการออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองมีคุณสมบัติแปรผกผันกัน ทั้งนี้ เพื่อคงสภาวะ negative reactivity หากเมื่อ

ค่าสัมประสิทธิ์ของ void มีค่าเป็นบวกและสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีค่าเป็นบวก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังมีค่าเป็นบวก และแกนปฏิกรณ์ไม่สามารถคงสภาวะ negative reactivity ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมปฏิกิริยาฟิชชัน และเป็นการยากที่จะควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นและค่าตัวแปรไฮโดรลิกต่างๆ แต่หากเดินเครื่องที่กำลังต่ำกว่าร้อยละ 20 ของการเดินเครื่องเต็มกำลัง หรือประมาณ 700 เมกกะวัตต์ความร้อนแล้วค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังจะมีค่าเป็นบวก ดังนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังประเภทนี้จึงห้ามเด็ดขาดไม่ให้ทำการเดินเครื่องที่กำลังต่ำกว่าร้อยละ 20 ของการเดินเครื่องเต็มกำลัง และมีข้อบังคับในการเดินเครื่องว่า ต้องให้มีแท่งควบคุมภายในแกนปฏิกรณ์ไม่น้อยกว่า 30 แห่ง

3. ลำดับเหตุการณ์การเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล

อุบัติเหตุนี้เกิดขึ้นระหว่างการทำการทดลองในระหว่างการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์เพื่อซ่อมบำรุงตามกำหนดระยะเวลา การทดลองดังกล่าวเป็นการทดลองเกี่ยวกับ Tubogenerator คือเพื่อดูความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ปั๊มน้ำในระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน ในระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ป้อนโรงไฟฟ้าดับและรอการติดเครื่องดีเซลเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อผลิตกระแสไฟสำรอง โดยกระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายให้แก่ปั๊มน้ำดังกล่าวจะอาศัยแรงเฉื่อยของกังหันที่ยังหมุนอยู่ไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟ ในการทดลองจะต้องเดินเครื่องที่ขนาดกำลัง 700-1000 เมกกะวัตต์ความร้อน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถเดินเครื่องได้ในสถานะที่มีระบบควบคุมความปลอดภัยอัตโนมัติ ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดลองจึงฝ่าฝืนกฎระเบียบการเดินเครื่องโดย

1. ลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วงที่สามารถทำการทดลองได้
2. ปิดระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน เพื่อป้องกันมิให้เกิดการขัดข้องในระหว่างทำการทดลอง
3. ทำการปิดวงจรการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉินแบบอัตโนมัติให้เป็นการทำงานโดยบังคับโดยเจ้าหน้าที่
4. ยกแท่งควบคุมเกือบทั้งหมดให้อยู่ในระดับสูงสุด

ซึ่งการกระทำดังกล่าวข้างต้นทำให้เจ้าหน้าที่สามารถเดินเครื่องที่กำลัง 700 เมกกะวัตต์ความร้อนได้ ลำดับเหตุการณ์การเกิดอุบัติเหตุสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

เมื่อเวลา 01.00 น. ของวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2529 ได้มีการลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังเชอร์โนบิลหน่วยที่ 4 ที่เดินเครื่องเต็มกำลังอยู่ เพื่อทำการปิดซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด

เวลา 13.05 น. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงมาที่ 1600 เมกกะวัตต์ความร้อน และเดินเครื่องต่อไปอีก 9 ชั่วโมง จนกระทั่งเวลา 23.10 น.จึงทำการลดกำลังลงอีก

เวลา 00.28 น. ของวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2529 กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเหลือ 30 เมกกะวัตต์ความร้อน สาเหตุเนื่องมาจากเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดลองไม่ได้ปลดระบบแท่งควบคุม ซึ่งกำลังขนาด 30 เมกกะวัตต์ความร้อน ไม่สามารถทำการทดลองได้ ดังนั้น เจ้าหน้าที่จึงเริ่มเดินเครื่องใหม่ จนกระทั่งเวลา 01.20 น. สามารถเดินเครื่องที่กำลัง 200 เมกกะวัตต์ความร้อนได้ โดยเจ้าหน้าที่ได้ทำการควบคุมระบบต่างๆ ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ของอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนและอุณหภูมิ การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ RBMK นี้ หากค่าทั้งสองมีการเปลี่ยนสูงจะทำให้กำลังของเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น เจ้าหน้าที่จึงทำการปลดระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถเดินเครื่องต่อไปได้

เวลา 01.23 น. มีสัญญาณจากกังหันว่ายังคงอยู่ในการทดลอง

เวลา 01.23.40 น. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว เจ้าหน้าที่พยายามใช้ระบบบังคับด้วยมือเพื่อหยุดเดินเครื่อง ซึ่งขีดความสามารถในการหยุดเดินเครื่องกระทันหันในขณะนั้นมีจำกัด เพราะแท่งควบคุมถูกดึงอยู่ในระดับสูงสุดเกือบทุกแท่ง

เวลา 01.23.44 น. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์พุ่งขึ้นสูงเกือบ 100 เท่าของการเดินเครื่องเต็มกำลัง ทำให้เกิดความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์สูงมาก แท่งเชื้อเพลิงแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยบางส่วนอยู่ในสภาพของไอทำให้เกิดการระเบิด ส่วนท่อของระบบระบายความร้อนถูกตัดขาด ความร้อนที่เพิ่มขึ้นมหาศาลทำให้น้ำระบายความร้อนเดือดอย่างรุนแรง ความดันภายในเครื่องปฏิรณ์สูงขึ้นมาก อีก 2-3 นาทีหลังจากการระเบิดครั้งแรกก็มีการระเบิดของไอน้ำแรงระเบิดได้ทำลายท่อความดันและฝาครอบถังปฏิกรณ์แตกกระจาย ส่วนแท่งกราไฟต์เกิดติดไฟลุกไหม้และชิ้นส่วนในแกนปฏิกรณ์พุ่งกระเด็นออกจากตึกปฏิกรณ์ผ่านช่องทางที่พังพินาศฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม

การเกิดอุบัติเหตุนี้ทำให้กราไฟต์และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์พุ่งกระเด็นไปติดยังหลังคาตึกข้างเคียงเกิดเพลิงลุกไหม้ขึ้น เจ้าหน้าที่ดับเพลิงทำการดับเพลิงจนกระทั่งเพลิงดับลงเมื่อเวลา 5.00 น. ของวันที่ 26 เมษายน ภายหลังที่ไหม้อยู่ 3.5 ชั่วโมง ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันฟุ้งกระจายออกมาตลอดเวลาพร้อมการเผาไหม้ของกราไฟต์จนกระทั่งเมื่อวันที่ 28 เมษายน เจ้าหน้าที่พยายามหยุดการฟุ้งกระจายโดยการทิ้ง

1. สารประกอบโบรอนคาไบด์ (Boroncarbide, B_4C) จำนวน 40 ตัน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน

2. สารประกอบโดโลไมท์ (Domolite, $(MgCa)(CO_3)_2$)) จำนวน 800 ตัน เพื่อหยุดการลุกไหม้ของแท่งกราไฟต์

3. ทราย ดิน จำนวน 1800 ตัน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสี

4. ตะกั่ว จำนวน 2400 ตัน เพื่อเป็นตัวกำบังรังสี

ลงทับส่วนของแกนปฏิกรณ์

วันที่ 4 พฤษภาคม มีการปล่อยไนโตรเจนเหลวเพื่อระบายความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์

วันที่ 6 พฤษภาคม อุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์ลดลง และสามารถหยุดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีได้

3. <u>ผลของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล</u>

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลไม่มีอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ ดังนั้น แรงระเบิดภายในแกนปฏิกรณ์จึงทำให้หลังคาอาคารปฏิกรณ์แตกหักสารกัมมันตรังสีภายในฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นบริเวณกว้าง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม ผลกระทบดังกล่าวสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1. การฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสี

ประมาณการว่า สารกัมมันตรังสีที่อยู่ภายในแกนปฏิกรณ์มีความแรงรังสีทั้งสิ้น $4x10^{19}$ เบคเคอเรล ฟุ้งกระจายออกมาประมาณ $1x10^{18}$-$2x10^{18}$ เบคเคอเรล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 3-4 ของสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในแกนปฏิกรณ์ ส่วนก๊าซเฉื่อยรังสีภายในแกนปฏิกรณ์ได้ฟุ้งกระจายออกไปทั้งหมด

ไอโซโทปรังสี ได้ฟุ้งกระจายออกมาอย่างต่อเนื่องกันตั้งแต่วันที่ 26 เมษายน ถึง วันที่ 5 พฤษภาคม เป็นเวลา 10 วัน โดยมีอัตราการฟุ้งกระจายและทิศทางที่ไม่แน่นอน คือ ช่วงวันที่ 26-29 เมษายน กลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีมีความสูง 0.7-1.5 กิโลเมตร พุ่งออกมาและแพร่กระจายไปตามทิศทางลมในทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังจากนั้นกระแสลมได้เปลี่ยนแปลงไปโดยพัดไปทางทิศใต้และตะวันออก พร้อมกันนี้อัตราการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีก็ลดลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในระหว่างวันที่ 4-5 พฤษภาคม ซึ่งเป็นการฟุ้งกระจายช่วงสุดท้ายก่อนที่จะสิ้นสุดลงเนื่องจากเจ้าหน้าที่สามารถควบคุมสถานการณ์ไว้ได้

หลังจากอุบัติเหตุได้มีการสำรวจความเปรอะเปื้อนของซีเซียม-137* (Cs-137) ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ พบว่า มีปริมาณมากกว่า 1480 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร 555-1480 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร ในบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนสูง และ 185-555 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร 37-185 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร และต่ำกว่า 37 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร ในบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนต่ำตามลำดับ

2. ปริมาณรังสีที่ประชาชนได้รับ

การฟุ้งกระจายและการตกค้างของสารกัมมันตรังสีมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน โดยสามารถแบ่งพิจารณาได้ 2 ระยะ ดังนี้

2.1 ผลกระทบระยะแรก เมื่อกลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีลอยไปตามทิศทางลมประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ จะได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (Direct External Radiation) จากกลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีที่ปกคลุมหรือตกค้างบนดิน และได้รับรังสีเข้าสู่ภายในร่างกาย (Internal Radiation) โดยการหายใจอากาศที่ปนเปื้อนไอโอดีนรังสี (I-131) เข้าไป หรือการดื่มน้ำและรับประทานพืช ผัก ผลไม้ที่ปนเปื้อนซีเซียมรังสี (Cs-137) เข้าไป ดังนั้น ในระยะแรกของการเกิดอุบัติเหตุทางรัฐบาลจึงได้มีการสั่งห้ามดื่มน้ำและรับประทานอาหารบางประเภท โดยรัฐจะเป็นผู้จัดหาอาหารและน้ำดื่มเตรียมไว้ให้

ในระยะแรกได้มีการตรวจวัดการรับรังสีภายนอกร่างกายของประชาชน 135,000 คน** ปริมาณรังสีที่บุคคลได้รับอยู่ในช่วง 0.03-10 มิลลิซีเวิร์ท และบางพื้นที่ได้รับอยู่ในช่วง 300-400 มิลลิซีเวิร์ท และปริมาณรังสีภายในร่างกายที่ได้รับจากการหายใจ

---

* ผลกระทบของสารกัมมันตรังสีจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ สารกัมมันตรังสีที่มีความสำคัญในการเปรอะเปื้อนคือ ไอโอดีน-131 เนื่องจากเมื่อร่างกายรับเข้าไปจะสะสมที่ต่อมไทรอยด์ และ ซีเซียม-137 จะสามารถเข้าสู่วงจรอาหารซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายต่อไปได้ ค่าครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 และซีเซียม-137 มีค่า 8 วันและ 30ปี ซึ่งจะมีการสลายตัวจนสิ้นสภาพความเป็นสารกัมมันตรังสีภายใน 80 วัน และ 300 ปี ตามลำดับ สำหรับสตรอนเทียม-90 และไอโซโทปของพลูโทเนียม ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 28 ปี และ 2500 ปีนั้น สตรอนเซียม-90 จะไม่พบการตกค้างในพื้นดิน ส่วนไอโซโทปของพลูโทเนียมมีการตกค้าในปริมาณน้อยและไม่เข้าสู่ในวงจรอาหาร เนื่องจากเป็นธาตุที่มีความเสถียร

** จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลในระยะ 30 กิโลเมตร

อากาศที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี มีค่าต่ำกว่า 300 มิลลิซีเวิร์ท บางพื้นที่ได้รับ 2500 มิลลิซีเวิร์ท สำหรับการป้องกันในระยะแรกนี้คือ การอพยพประชาชนออกจากบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสีสูง เพื่อลดปริมาณการได้รับรังสีของประชาชน และให้รับประทานไอโอดีนเสถียรเพื่อป้องกันมิให้มีการสะสมไอโอดีนรังสีภายในร่างกาย

2.2 ผลกระทบระยะยาว ระยะต่อมาเมื่อสารกัมมันตรังสีตกค้างในพื้นดิน ซีเซียม-137 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สำคัญที่สามารถเข้าสู่วงจรอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดการเปรอะเปื้อนภายในอาหาร นม และน้ำดื่มได้ จากการตรวจวัดรังสีส่วนบุคคลพบปริมาณรังสีภายในร่างกายต่ำกว่า 50 มิลลิซีเวิร์ท ในปีแรก นอกจากนี้มีการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนรังสีภายในต่อไทรอยด์ของเด็กพบว่ามีปริมาณต่ำกว่า 300 มิลลิซีเวิร์ท ในปีแรก ส่วนบริเวณทวีปยุโรปประชาชนได้รับปริมาณรังสีภายนอกร่างกายอยู่ในช่วง 0.03-10 มิลลิซีเวิร์ท และปริมาณรังสีภายในร่างกายปรมาณ 30 มิลลิซีเวิร์ท (สำหรับรังสีสะสมของซีเซียม-137 ภายในระยะเวลา 50 ปี เป็นปริมาณ $3x10^5$ คน-ซีเวิร์ท และไอโอดี-131 ภายในระยะเวลา 70 ปี เป็นปริมาณ $2x10^6$ คน-ซีเวิร์ท

3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

ปริมาณรังสีที่ได้รับมีผลกระทบต่อสุขภาพได้ 2 ระยะ คือ ระยะแบบเฉียบพลัน (Acute Effect) คือปริมาณรังสีที่ได้รับอยู่ในช่วง 1000-6000 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งจะแสดงอาการภายหลังจากได้รับรังสีประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือ 2-3 วัน ตามปริมาณรังสีที่ได้รับ ระยะยาว (Late Effect) คือปริมาณรังสีที่ได้รับอยู่ในช่วงต่ำกว่า 250 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งจะต้องมีการติดตามผลที่จะเกิดขึ้นได้แก่ การเกิดโรคมะเร็ง

3.1 ผลแบบเฉียบพลัน อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลทำให้เจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานต้องเข้ารับการรักษาพยาบาลจากอาการบาดเจ็บทางรังสีและการไหม้ของผิวหนังเป็นจำนวน 203 คน จากเจ้าหน้าที่ทั้งหมด 300 คน ซึ่งในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 31 คน สำหรับประชาชนในบริเวณรอบๆ โรงไฟฟ้ารัศมี 30 กิโลเมตร มีประชาชนทั้งสิ้น 135,000 คน ต้องอพยพออกจากบริเวณประสบภัย แต่ไม่พบการเข้ารักษาพยาบาลจากอาการบาดเจ็บทางรังสีแต่อย่างใด

3.2 ผลระยะยาว ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศโดยการนำของกลุ่มแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านรังสีมีโครงการติดตามผลกระทบทางรังสีหลังจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล ซึ่งในโครงการดังกล่าวได้มีการจัดระบบการเก็บข้อมูลปริมาณการได้รับรังสีของประชาชน และพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยการติดตามผลจากหมู่บ้านที่ได้รับผลกระทบทางรังสีจากอุบัติเหตุครั้งนี้ 7 หมู่บ้าน และได้คัดเลือกหมู่บ้าน 6 หมู่บ้าน ที่ไม่ได้รับผลกระทบทางรังสีเป็นตัวเปรียบเทียบ การติดตามและ

เปรียบเทียบผลเริ่มตั้งแต่การเกิดอุบัติเหตุจนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2530 รวมระยะเวลา 5 ปี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ด้านการบริโภค มีการพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของเด็กทั้งสองกลุ่ม พบว่าอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับการรับและการขับไอโอดีนของร่างกายมีปริมาณต่ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนปริมาณการรับสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม หรือปรอทอยู่ในปริมาณที่ต่ำ

2. ความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ ไม่พบความผิดปกติในต่อมไทรอยด์ของเด็กทั้งสองกลุ่ม แต่สามารถพบก้อนเนื้อในต่อมไทรอยด์ในผู้ใหญ่คิดเป็นร้อยละ 15 ของทั้งสองกลุ่ม

3. การตรวจสอบเม็ดเลือด พบเด็กบางคนมีปริมาณเม็ดเลือดแดงต่ำกว่าระดับปกติ แต่ค่าที่ได้มีจำนวนน้อยมากจนไม่สามารถเป็นค่าทางสถิติในกลุ่มประชากรได้ สำหรับในผู้ใหญ่มีการตวรวจสอบปริมาณเม็ดเลือดขาวและระบบต้านทานโรคไม่ปรากฏความผิดปกติใดๆ

4. การตรวจสอบโรคมะเร็ง ทางรัฐบาลรัสเซียมีรายงานว่า ช่วง 10 ปี ก่อนการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลจำนวนประชากรที่เป็นโรคมะเร็งสูงขึ้น และหลังจากอุบัติเหตุจำนวนประชากรที่เป็นโรคมะเร็งก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กลุ่มแพทย์ที่ทำการวิจัยวิเคราะห์ว่า ไม่สามารถประเมินได้ว่าปริมาณของโรคมะเร็งที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้นมีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล เนื่องจาก ข้อมูลทางด้านสุขภาพในอดีตเป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ และนอกจากนี้หลังจากอุบัติเหตุไม่สามารถพบมะเร็งในเม็ดเลือดขาวและมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ (มะเร็งทั้งสองมีสาเหตุมาจากการรับรังสี เนื่องจากบริเวณไขกระดูก (Bone Marrow) จะมีความไวต่อรังสี และสำหรับที่ต่อมไทรอยด์สามารถเก็บสะสมไอโอดีนรังสี)

5. การตรวจสอบต้อกระจก ไม่พบหลักฐานที่ก่อให้เกิดต้อกระจกเนื่องมาจากการได้รับรังสี

6. การตรวจสอบด้านพันธุกรรม มีการตรวจสอบโครโมโซมและเซลสืบพันธุ์ในผู้ใหญ่ของประชากรทั้งสองกลุ่ม ผลปรากฏว่าไม่พบความผิดปกติใดๆ

7. ผลทางด้านจิตวิทยา พบปัญหาทางด้านจิตวิทยาของทั้งสองกลุ่ม คือ มีความวิตกกังวลและความเครียดสูงต่ออุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และนอกจากนี้ ประชาชนทั้งสองกลุ่มมีความคิดว่าตนเองจะต้องป่วยด้วยโรคทางรังสี

4. บทสรุปจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังที่ได้รับการออกแบบโดยวิศวกรชาวรัสเซีย ซึ่งแบบดังกล่าวมิได้ใช้กันแพร่หลายและไม่ใช่เครื่องปฏิกรณ์กำลังในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น ในการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลจึงไม่ได้ทำให้เกิดการตื่นตัวในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีเพียงใด แต่ทำให้เกิดแนวคิดด้านการควบคุมการดำเนินการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นโดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ เสนอให้มีการเพิ่มการประเมินความปลอดภัยในรายการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ ทั้งนี้ การประเมินความปลอดภัยจะทำให้สามารถทราบถึงจุดอ่อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

2. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ เสนอให้มีการจัดหัวข้อในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุรุนแรงในโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ ในการจัดฝึกอบรมเจ้าหน้าที่เดินเครื่อง และในการอบรมดังกล่าวให้มีการศึกษาและเสริมสร้างให้เจ้าหน้าที่มีวัฒนธรรมด้านความปลอดภัย

3. จัดให้มีการประชุมระดับชาติในกิจกรรมประกันคุณภาพการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์

4. ให้เพิ่มเนื้อหาการฝึกอบรมในมาตรฐาน NUSS ในเรื่องการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ การป้องกันเพลิงไหม้และการดับเพลิง

5. ให้ปรับปรุงรายงานการเกิดเหตุขัดข้อง โดยให้มีการรายงานถึงสาเหตุที่เกิดเหตุขัดข้อง และมีการวิเคราะห์ส่งให้แก่ประเทศสมาชิก เพื่อให้ใช้เป็นกรณีศึกษาได้

6. จัดให้มีการประชุมในเรื่อง การปฏิบัติงานร่วมระหว่างผู้ออกแบบและผู้เดินเครื่องของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง โดยเน้นให้การออกแบบระบบความปลอดภัยที่เสริมการทำงานของเจ้าหน้าที่ และมีระบบความปลอดภัยอัตโนมัติเพื่อป้องกันไม่ให้เจ้าหน้าที่สามารถเดินเครื่องในสภาวะที่ไม่ปลอดภัย

7. เสนอให้ประเทศสมาชิกจัดกิจกรรมในการทบทวนกฎข้อบังคับด้านความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่เดินเครื่อง โดยกิจกรรมดังกล่าวมีเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากที่ทำประจำและให้มีการบันทึกวิธีการดำเนินการในมาตรฐาน NUSS ด้วย

8. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ จัดให้มีการพัฒนาอุปกรณ์และปรับปรุงวิธีการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้และเทคนิคในการดับเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ในสภาวะฉุกเฉิน

ประวัติผู้เขียน

นางสาววราภรณ์ ลามศรีจันทร์ เกิดวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2506 ที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ในปีการศึกษา 2528 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2534