

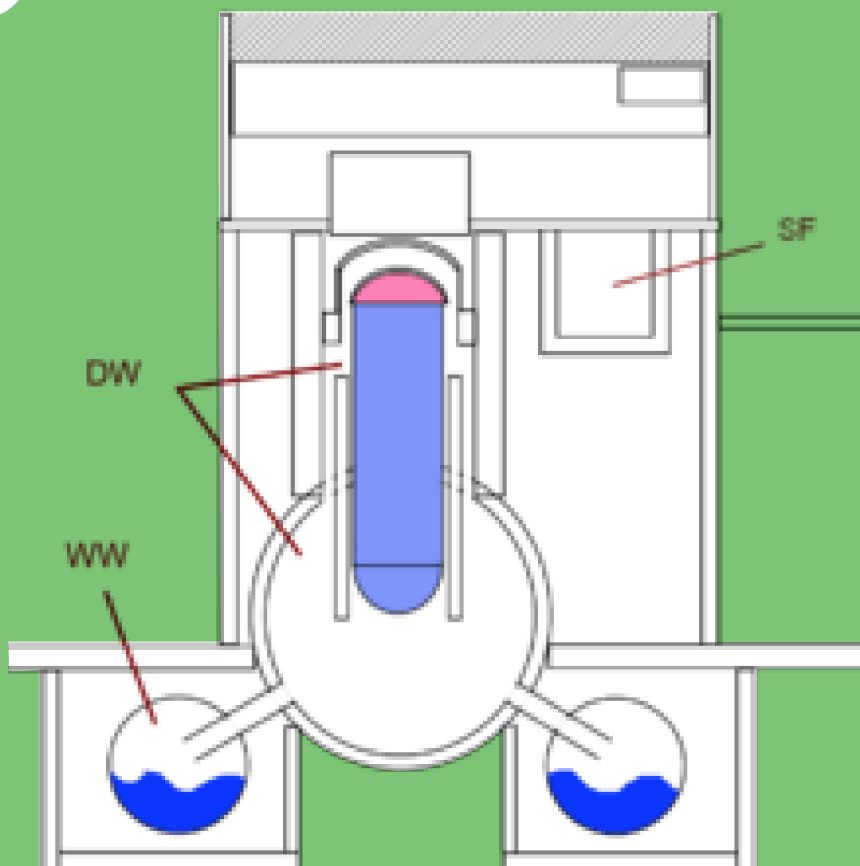
วิวัฒนาการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และ โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

สรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข

กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.9 (ต่อมาประกาศเป็นขนาด 9.0) และคลื่นสึนามิที่ประเทศญี่ปุ่นเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2554 และส่งผลกระทบต่อเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ฟุกุชิมะ ซึ่งเป็น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (boiling water reactor หรือ BWR) และจัดเป็น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่นที่ 2 บทความนี้ขอเสนอวิวัฒนาการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่นต่าง ๆ



ภาคตัดขวางตัวคลุม (Containment) เครื่องปฏิกรณ์ BWR Mark I

ความเป็นมาของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ว่ามีวิวัฒนาการมาอย่างไรที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเน้นให้เห็นปรัชญาความคิดในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีวิวัฒนาการด้านความปลอดภัย ที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเสนอตามลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อน-หลัง นับตั้งแต่มีการสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องแรก ของโลกเป็นต้นมา

2 ธันวาคม ค.ศ. 1942 สหรัฐอเมริกาสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องแรกของโลก ชื่อว่า ชิคาโกไพล์-1 (Chicago Pile-1)

1945 พลังงานนิวเคลียร์ก็ถูกนำไปใช้ในทางทหาร ได้แก่การสร้างลูกระเบิดอะตอม (atomic bomb) ที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ 2

ธันวาคม 1951 เติมนิวเคลียร์ผลิตเชื้อเพลิง (breeder reactor) ขนาดเล็กชื่อว่า EBR-1 (Experimental Breeder Reactor-1) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไอดาโฮ (Idaho Engineering Laboratory) ให้พลังงานไฟฟ้าแก่หลอดไฟฟ้าได้ 4 ดวง

1954 สหรัฐอเมริกาได้เข้าประจำการเรือดำน้ำนิวเคลียร์ลำแรกของโลกชื่อว่า U. S. S. Nautilus

บริษัทผลิตไฟฟ้าของเอกชน เช่น เวสติงเฮาส์ (Westinghouse) และเจเนอรัลอิเล็กทริก (General Electric หรือ GE) ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในเชิงพาณิชย์

27 มิถุนายน 1954 โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แห่งแรกของโลกชื่อว่า AM-1 เปิดให้บริการในประเทศรัสเซีย ที่เมือง Obninsk เป็นแบบทำให้เย็นด้วยน้ำ (water cooled) และหน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์ (graphite-moderated) และเป็นเครื่องต้นแบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบแชนแนลแกรไฟต์ (graphite channel reactor) หรือในภาษารัสเซียชื่อว่า RBMK (reaktor bolshoy moshchnosti kanalniy) ซึ่งเป็นแบบเดียวกับที่ใช้ที่เชอร์โนบีล

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศอังกฤษพัฒนาเชื้อเพลิงเป็นโลหะยูเรเนียมธรรมชาติ หน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์ และทำให้เย็นด้วยแก๊ส เรียกว่าแบบ Magnox (Magnesium non-oxidising) และจัดเป็นเครื่องปฏิกรณ์ผลิตเชื้อเพลิง

จนถึงปัจจุบันจึงนับได้ว่าอุตสาหกรรมด้านพลังงานนิวเคลียร์ของโลกมีอายุมาได้ 5 ทศวรรษแล้ว โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงด้านเทคโนโลยีของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มาเป็นลำดับ กระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy) และอุตสาหกรรมพลังงานนิวเคลียร์ ภายในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จำแนกประเภทการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ออกเป็น 4 ช่วง หรือ ยุค (generations)

รุ่นที่ 1 (Generation I)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เชิงพาณิชย์ต้นแบบที่ใช้ในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1950 และ 1960

สหรัฐอเมริกาซึ่งผูกขาดยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ (enriched uranium) กองทัพเรือได้พัฒนา เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำอัดความดัน (pressurized water reactor หรือ PWR) สำหรับใช้กับเรือดำน้ำ เป็นแบบหน่วงความเร็วนิวตรอนได้ด้วยน้ำธรรมดา (น้ำมวลเบา light water หรือ H₂O) จึงมีชื่อเรียกว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลเบา (light-water reactor หรือ LWR) เครื่องต้นแบบชื่อ Mark-1 นำแบบไปสร้าง เครื่องสาธิตเครื่องแรก ที่เมือง ชิปปิงพอร์ต (Shippingport) มลรัฐเพนซิลเวเนีย

1957-1963 ห้องปฏิบัติการแห่งชาติอาร์กอนน์ (Argonne National Laboratory) พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (boiling water reactor หรือ BWR) เจเนอรัลอิเล็กทริกได้นำไปออกแบบสร้างในเชิงพาณิชย์เป็นเครื่องแรกชื่อว่า Dresden-1

1956 อังกฤษพัฒนา Magnox เครื่องแรกมีชื่อว่า Calder Hall-1 อังกฤษมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ประเภทนี้ 26 เครื่อง และเลิกสร้างขึ้นใหม่ไปตั้งแต่ ค.ศ. 1963 โดยหันมาพัฒนา เครื่องปฏิกรณ์ขั้นสูงแบบระบายความร้อน

ด้วยแก๊ส (Advanced Gas-cooled Reactor หรือ AGR) ซึ่งใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมออกไซด์เสริมสมรรถนะ ก่อนที่จะมายอมรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลเบา คือ PWR และ BWR ของสหรัฐอเมริกา

1962 แคนาดาพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก (heavy-water reactor หรือ HWR) มีชื่อว่า แคนดู (CANDU ย่อมาจาก Canada Deuterium Uranium) ใช้ยูเรเนียมธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิง และใช้น้ำมวลหนัก (heavy-water หรือ D2O) เป็นทั้งตัวทำให้เย็น และตัวนำความร้อน

1964 รัสเซียพัฒนาจากเครื่องต้นแบบ AM-1 มาเป็นเครื่องแรก เริ่มใช้งานที่แคว้น Ural

1964 รัสเซียพัฒนา PWR (ในรัสเซียเรียกว่า VVER) เริ่มใช้งานในแคว้น Volga

ฝรั่งเศสเริ่มต้นแบบเดียวกับอังกฤษ กล่าวคือ เป็นเทคโนโลยีคล้ายกับ Magnox ก่อนจะเปลี่ยนไปพัฒนา PWR จนเป็นผู้ผลิตเชื้อเพลิงยูเรเนียมเสริมสมรรถนะรายใหญ่ของโลก

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของรุ่นที่ 1 นี้ ปัจจุบันทั่วโลกยังคงมีเหลือใช้งานอยู่ 8 เครื่อง ในประเทศอังกฤษเพียงประเทศเดียวเท่านั้น

รุ่นที่ 2 (Generation II)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในเชิงพาณิชย์ที่เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ในรุ่นที่ 1 และทยอยออกมาใช้ในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1970 และ 1980 และยังมีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้

1973 รัสเซียพัฒนาจากเครื่องต้นแบบ AM-1 มาเป็นเครื่องขนาดใหญ่คือ RBMK ขนาด 1,000 เมกะวัตต์ นับแต่นั้น RBMK มีใช้แพร่หลายในยุโรปตะวันออก

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในรุ่นที่ 2 ในยุโรปตะวันออกส่วนใหญ่เป็นแบบ RBMK นอกนั้นส่วนใหญ่จะเป็น LWR ซึ่งมี 2 แบบ คือ PWR (ร้อยละ 65 ทั่วโลก) และ BWR (ร้อยละ 23 ทั่วโลก) และอีกแบบหนึ่งก็คือ HWR หรือ CANDU ของแคนาดา โดย CANDU-6 เป็นรุ่นล่าสุดและปัจจุบันมีใช้ในประเทศจีน รุ่นนี้เป็นรุ่นต้นแบบที่ใช้พัฒนาไปสู่รุ่นที่ 3

รุ่นที่ 3 (Generation III)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ปรับปรุงจากรุ่นที่ 2 นำมาออกแบบใน 2 แนวทาง

เป็นการออกแบบที่เน้นด้านความปลอดภัยเชิงแพสซีฟ เรียกว่า การออกแบบเชิง แพสซีฟ (passive-design) ซึ่งหากเกิดความผิดปกติระหว่างเดินเครื่องแล้ว ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือ ไปสั่งหรือควบคุมแก้ไขเหตุการณ์ แต่จะใช้หลักธรรมชาติ เช่น ความโน้มถ่วง (gravity) การพาแบบธรรมชาติ (natural convection) หรือความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง (resistance to high temperature) มาทำให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์หยุดการทำงานได้เอง

เป็นการออกแบบเชิงก้าวหน้าหรือขั้นสูง (advanced design) เน้นการพัฒนาศักยภาพ ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีให้อยู่ให้สูงขึ้นมากที่สุด ซึ่งบางทีก็ผนวกเอาการออกแบบเชิงแพสซีฟ เข้าไว้ด้วย การออกแบบเชิงก้าวหน้าหรือขั้นสูงนั้นก็เช่น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขั้นสูงแบบน้ำเดือด (advanced boiling water reactor หรือ ABWR) และ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขั้นสูงแบบน้ำอัดความดัน (advanced pressurized water reactor หรือ APWR)

ตัวอย่างเครื่องปฏิกรณ์ในรุ่นที่ 3 เช่น

สหรัฐอเมริกา มีรุ่น AP-600 (AP คือ advanced passive) ของเวสติงเฮาส์

ญี่ปุ่น สร้าง ABWR ในญี่ปุ่นและไต้หวัน และบริษัทฮิโตดาขี้ออกแบบ ABWR-600 เป็นแบบที่มี standardized features:ซึ่งค่าก่อสร้างถูกลงและใช้เวลาก่อสร้างเพียง 34 เดือน

เกาหลีใต้ สร้าง APWR เรียกว่ารุ่น APR-1400

รัสเซียโดยรัฐวิสาหกิจที่มีชื่อว่า Gidropress ได้พัฒนา APWR รุ่น V-392 (advanced VVER-1000) และกำลังสร้างอยู่ในประเทศอินเดีย อีกรุ่นคือ VVER-91 กำลังก่อสร้างในประเทศจีนจำนวน 2 เครื่อง และเข้าแข่ง

ประเทศฟินแลนด์ ล่าสุด Gidropress กำลังพัฒนารุ่น V-448 หรือ VVER-1500 คาดว่าจะเริ่มดำเนินการได้ใน ค.ศ. 2012

ฝรั่งเศสกับเยอรมนีใช้มาตรฐานยุโรปมีความปลอดภัยสูงมาก มีการออกแบบอยู่ 4 แบบ คือ (1) European Pressurized Water Reactor (EPR) มีประสิทธิภาพพลวัต (thermal efficiency) สูงสุดถึงร้อยละ 36 ซึ่งสูงกว่า LWR ใด ๆ ที่เคยมีมา โดยเครื่องแรกจะสร้างที่เมือง Olkiluoto ประเทศฟินแลนด์ และเครื่องที่ 2 ที่เมือง Flamanville ในฝรั่งเศสเอง (2) SWR 1000 เป็น advanced BWR พร้อมออกสู่ตลาดแล้ว (3) เจเนอรัลอิเล็กทริกได้นำ ABWR มาพัฒนาเป็น European Simplified Boiling Water Reactor รู้จักกันในชื่อว่า Economic & Simplified BWR (ESBWR) และ (4) เวสติง-เฮาส์ร่วมกับกลุ่มสแกนดิเนเวียกำลังพัฒนา BWR

แคนาดา มี CANDU รุ่นที่ 3 ออกแบบไว้ 2 แบบคือ (1) CANDU-9 สามารถใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ หรือใช้เชื้อเพลิงออกไซด์ผสม (mixed oxide fuel หรือ MOX ซึ่งมียูเรเนียมผสมกับพลูโทเนียม) (2) Advanced CANDU Reactor (ACR) เพิ่มคุณลักษณะบางอย่างของ PWR เข้าไป เช่น รุ่น ACR-700 ใช้การประกอบเป็นชิ้นส่วนไว้วงหน้า เรียกว่า มอดูล (module) ช่วยลดเวลาก่อสร้างลงได้ 3 ปี อีกรุ่น ACR-1000 จะเริ่มใช้งานได้ใน ค.ศ. 1914 รุ่น CANDU X จะพร้อมในเชิงพาณิชย์ใน ค.ศ. 2020

อินเดียกำลังพัฒนา AHWR และพัฒนาทอเรียมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

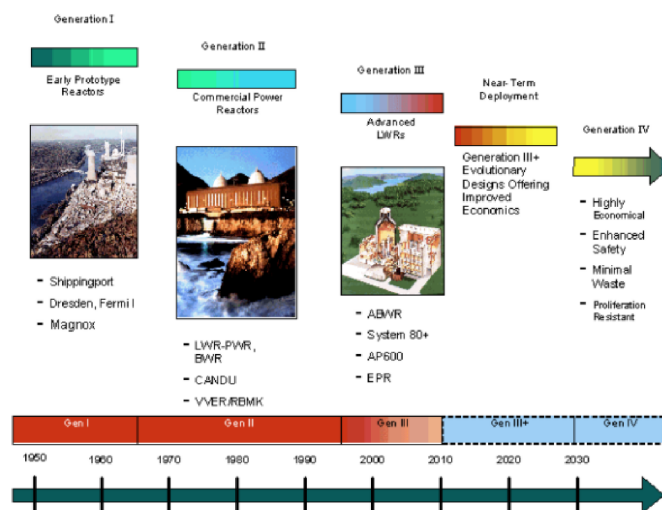
รุ่นที่ 3+ (Generation III+)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะมีใช้ในอนาคตตั้งแต่ประมาณ ค.ศ. 2010

เป็นแบบที่พัฒนากันมาตั้งแต่ช่วงคริสต์ทศวรรษ 1990 และในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นออกแบบ และทดลองใช้งานอยู่ มีคุณลักษณะเป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ระบายความร้อนด้วยแก๊สอุณหภูมิสูง (High-Temperature Gas-Cooled) ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีทอเรียมเป็นพื้นฐานได้ เช่น ยูเรเนียมสมรรถนะสูง (high-enriched uranium หรือ HEU) กับทอเรียม ยูเรเนียม-233 กับทอเรียม และพลูโทเนียมกับทอเรียมก็ได้

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่น 3+ ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มอดูลาร์แบบถังกรวด (pebble-bed modular reactor หรือ PBMR) และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฮีเลียมมอดูลาร์แบบกังหันแก๊ส (Gas Turbine-Modular Helium Reactor; GT-MHR)

คุณลักษณะที่สำคัญในเครื่องปฏิกรณ์รุ่น 3+ ก็คือ การออกแบบเป็นมอดูล ที่ทำให้ต้นทุนต่ำลง และลดเวลาก่อสร้าง



ผังสรุปเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั้ง 4 รุ่น

รุ่นที่ 4 (Generation IV)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะมีใช้กันได้ในอนาคตน่าจะตั้งแต่ประมาณ ค.ศ. 2030

โดยเป็นที่คาดหวังกันว่าจะมีความประหยัดสูง รวมไปถึงด้วยสมรรถนะด้านความปลอดภัย มีกากเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และปลอดจากการนำไปใช้ในการแพร่ขยายอาวุธนิวเคลียร์

เครื่องที่กำลังพัฒนามีความก้าวหน้าที่สุดได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในโครงการไอริส (International Reactor Innovative & Secure หรือ IRIS) ซึ่งเป็น LWR

อีกโครงการหนึ่งเป็นของทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ร่วมกับรัสเซีย มีชื่อว่า อินโปร (INPRO หรือ International Project) ซึ่งมีเป้าหมายช่วยเหลือประเทศกำลังพัฒนา

อีกแบบหนึ่ง ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฮีเลียมมอดูลาร์แบบกังหันแก๊ส (gas turbine modular helium reactor หรือ GT-MHR) ซึ่งมีคุณลักษณะด้านความปลอดภัยเชิงแพสซีฟและหล่อเย็นด้วยแก๊ส General Atomics (GA) ร่วมกับ Minatom ของรัสเซีย และ Fuji ของญี่ปุ่น ได้ออกแบบ GT-MHR ขนาดใหญ่ โดยจะสร้างเป็นมอดูลขนาด 285 เมกะวัตต์ไฟฟ้าซึ่งใช้ขับเคลื่อนกังหันแก๊ส โดยจะมีประสิทธิภาพอุณหภูมิสูงมากถึงร้อยละ 48 ในระยะแรก เชื้อเพลิงจะใช้พลูโทเนียมบริสุทธิ์ จากอาวุธนิวเคลียร์เดิมของรัสเซีย

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่กำลังติดตั้งและที่เริ่มเดินเครื่องในระหว่างนี้และในอีกสองสามปีข้างหน้า ได้ก้าวมาถึงรุ่นที่ 3 แล้ว

โพสต์เมื่อ : 16 มีนาคม 2554