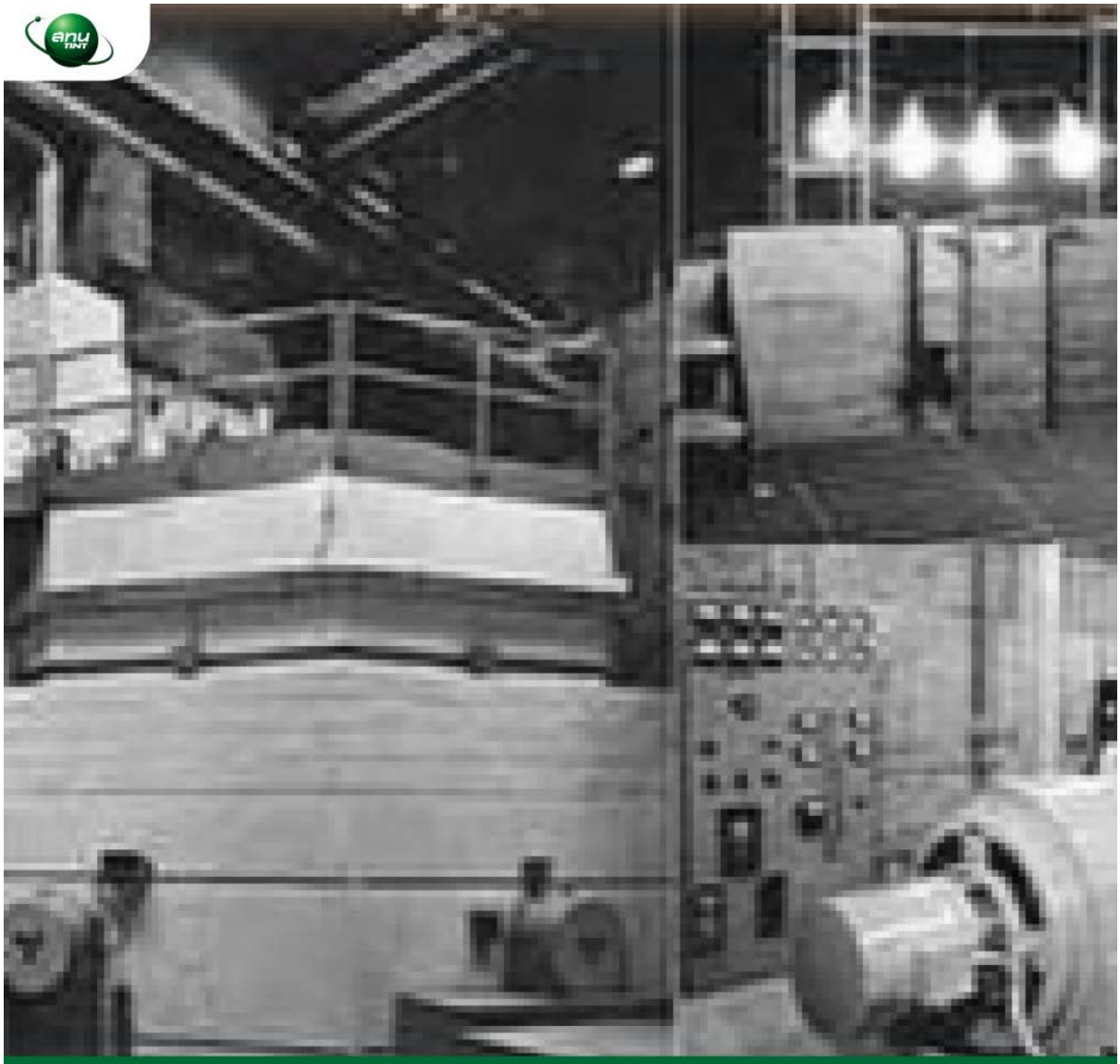
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ 4 ยุค

สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

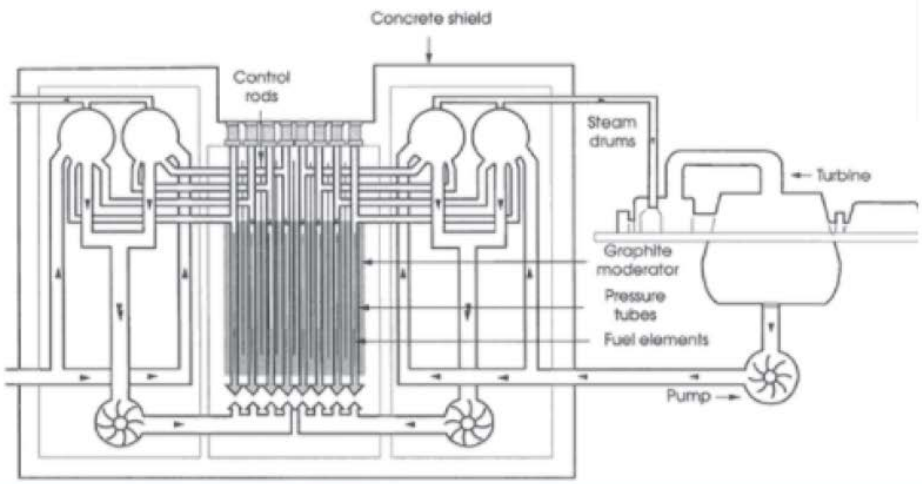
จุดเริ่มต้นของการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ อย่างน้อยที่สุด ก็น่าจะต้องมองย้อนไปถึงการที่ประเทศสหรัฐอเมริกา สร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องแรกของโลก ที่มีชื่อว่าชิคาโกไพล์-1 (Chicago Pile-1) ได้สำเร็จเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม ค.ศ. 1942 จากนั้น ส่วนใหญ่พลังงานนิวเคลียร์ก็ถูกนำไปใช้ในทางทหาร ได้แก่การสร้างลูกระเบิดอะตอม (atomic bomb) ที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ต่อมาจึงคิดนำมาใช้ผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า โดยเมื่อเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 1951 มีการทดลอง เดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ผลิตเชื้อเพลิง (breeder reactor) ขนาดเล็กชื่อว่า EBR-1 (Experimental Breeder Reactor-1) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไอดาโฮ (Idaho Engineering Laboratory) ให้พลังงานไฟฟ้าแก่หลอดไฟฟ้าได้ 4 ดวง



ครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ EBR-1

เรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ USS Nautilus

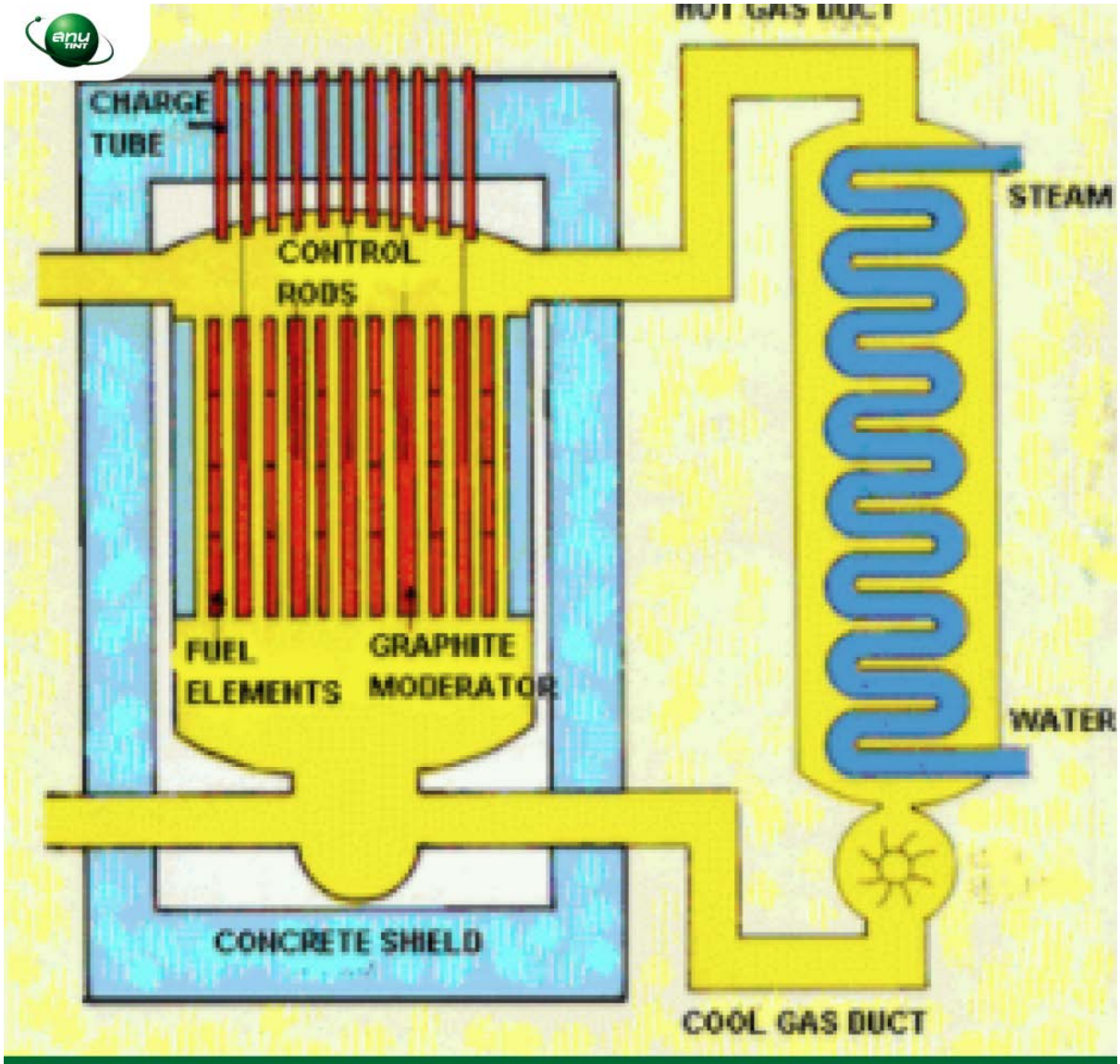
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งแรกของโลก เปิดให้บริการเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน ค.ศ. 1954 ในประเทศรัสเซีย ที่เมือง Obninsk ห่างจากกรุงมอสโคว์ 60 ไมล์ไปทางทิศใต้ มีชื่อว่า AM-1 (Atom Mirniy หรือ Peaceful Atom) มีขนาด 5 เมกะวัตต์ไฟฟ้า (MWe) เป็นแบบหล่อเย็นด้วยน้ำ (water cooled) และหน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์ (graphite-moderated) และเป็นเครื่องต้นแบบของเครื่องปฏิกรณ์ แบบแชนแนลแกรไฟต์ (graphite channel reactor) หรือในภาษารัสเซียใช้ว่า RBMK (reaktor bolshoy moshchnosti kanalniy ตรงกับภาษาอังกฤษว่า reactor (of) large power (of the) channel type) ซึ่งเป็นแบบเดียวกับ ที่ใช้ที่เชอร์โนบิล AM-1 จ่ายไฟฟ้าถึงปี ค.ศ. 1959 เท่านั้น จากนั้นใช้ในงานวิจัย และเพิ่งเลิกใช้งานไปเมื่อปี ค.ศ. 2000 นี้เอง



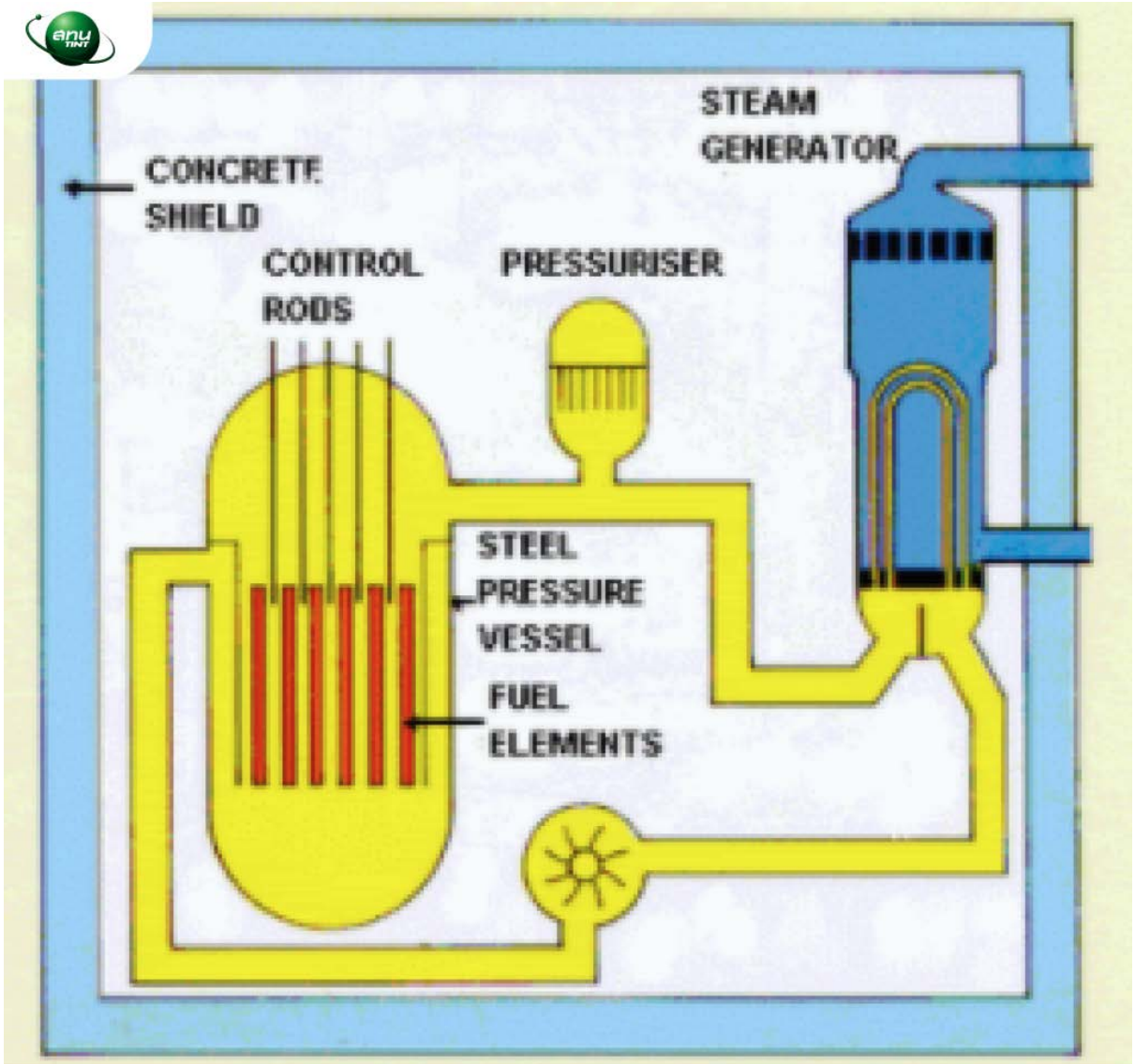
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ RBMK

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศอังกฤษ ไม่ได้พัฒนา เรื่องการเสริมสมรรถนะยูเรเนียมขนานใหญ่อย่างในสหรัฐอเมริกา ดังนั้นพอหลังสงคราม เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของประเทศอังกฤษ จึงใช้เชื้อเพลิงเป็นโลหะยูเรเนียมธรรมชาติ หน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์ และหล่อเย็นด้วยแก๊ส เรียกว่าแบบ Magnox (Magnesium non-oxidising)

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในยุคแรก ๆ ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องต้นแบบ (prototype) โดยเฉพาะ EBR-1 ของสหรัฐอเมริกา AM-1 ของรัสเซีย และ Magnox ของอังกฤษ จัดเป็นเครื่องปฏิกรณ์ผลิตเชื้อเพลิง ซึ่งใช้เชื้อเพลิงเป็นยูเรเนียมธรรมชาติ หรือยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำนั้น มีประโยชน์ในทางทหารด้วย กล่าวคือ ในการเดินเครื่องจะมีพลูโทเนียม-239 เกิดขึ้น ซึ่งนอกจาก จัดเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แล้ว ยังนำไปใช้ผลิตลูกระเบิดพลูโทเนียมได้ด้วย



เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ Magnox



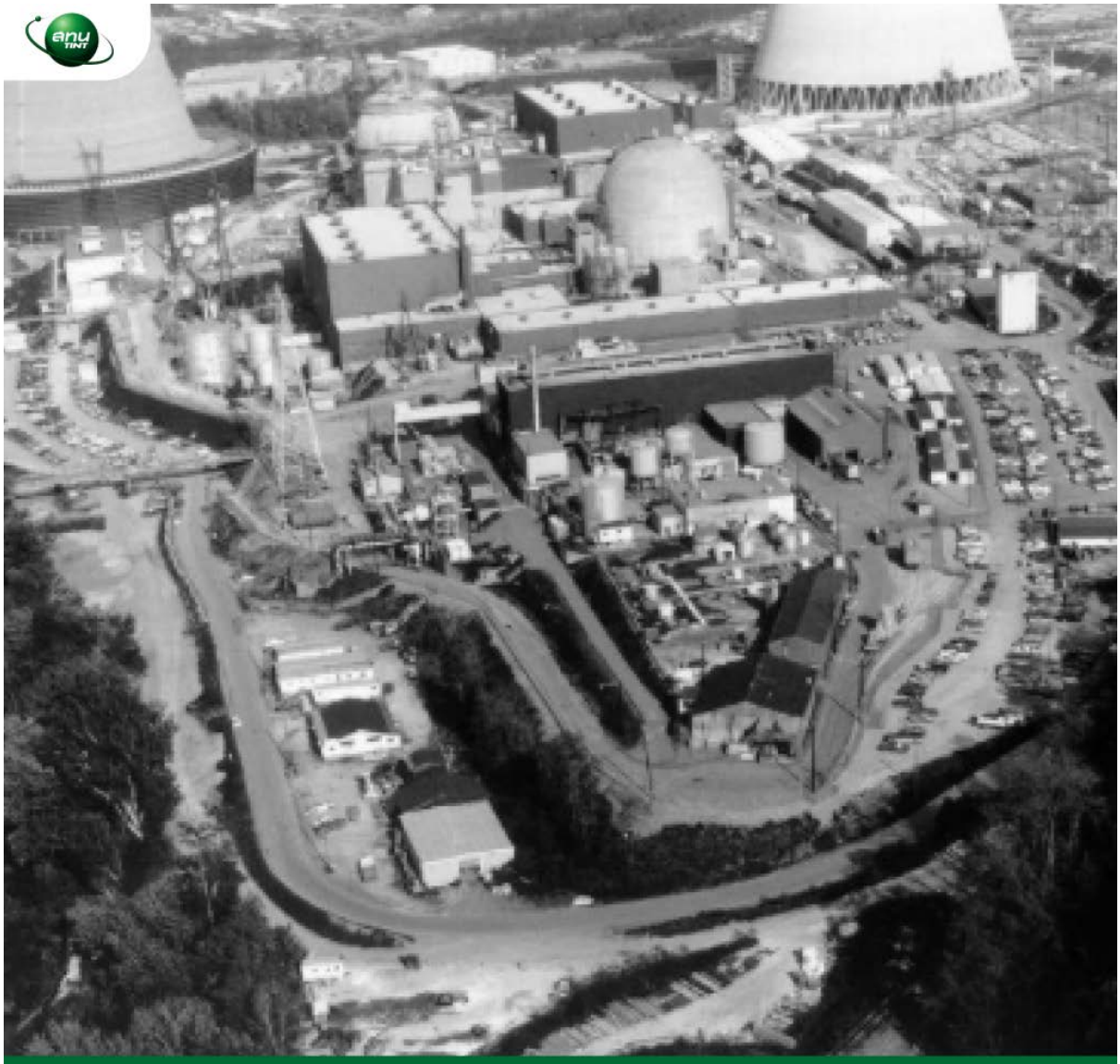
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ PWR

จนถึงปัจจุบัน จึงนับได้ว่า อุตสาหกรรมด้านพลังงานนิวเคลียร์ของโลก มีอายุมาได้ 5 ทศวรรษแล้ว โดยมีการพัฒนาและปรับปรุง ด้านเทคโนโลยีของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มาเป็นลำดับ ถึงตอนนี้ ก็ยังต้องพัฒนาและปรับปรุงต่อไป เพื่อรองรับสถานการณ์ด้านพลังงานของโลก โดยเฉพาะในอีก 5-20 ปีข้างหน้า ที่เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuels) กำลังมีราคาสูงขึ้นและเริ่มจะขาดแคลน โดยพลังงานนิวเคลียร์จะต้องมีราคาลงถูก และในขณะเดียวกันก็ต้องมีความปลอดภัยสูงขึ้น สามารถตอบปัญหาเรื่องกากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้ดีขึ้น รวมทั้งต้องมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดอีกด้วย คำตอบจึงอยู่ที่พัฒนาการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่สามารถตอบสนองกับปัญหาเหล่านี้ได้

พัฒนาการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้น สามารถแบ่งได้ ตามที่กระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy) และอุตสาหกรรมพลังงานนิวเคลียร์ ภายในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จำแนกประเภทการออกแบบ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ออกเป็นชั่วรุ่น หรือ ยุค (generations) ซึ่งแต่ละยุค ได้รวมเอา

วิวัฒนาการ ของการปรับปรุง ที่มีแนวคิดเชิงปฏิวัติ ที่ทำให้เทคโนโลยีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เจริญก้าวหน้าต่อไปข้างหน้าได้

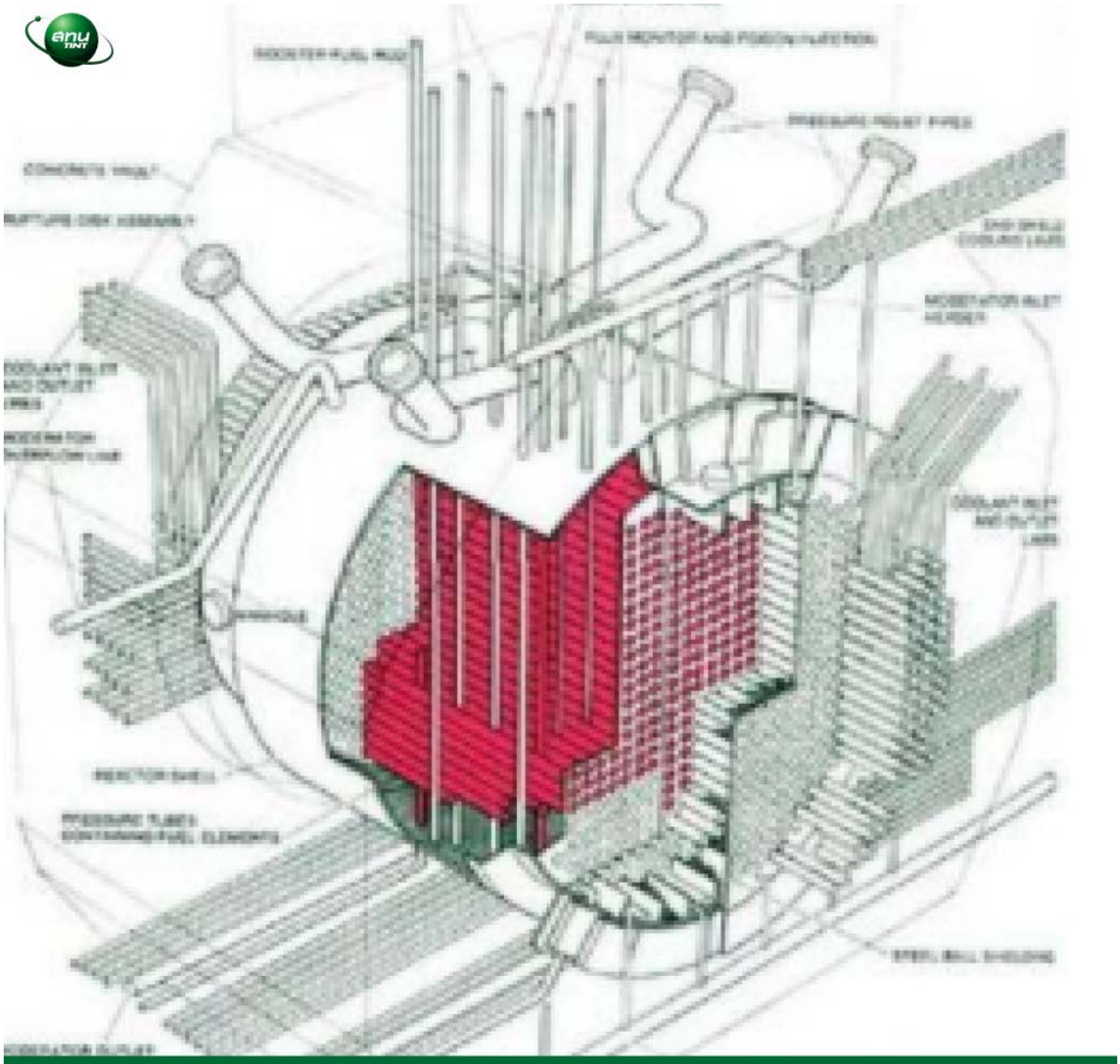
ยุคที่ 1 (Generation I)
เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เชิงพาณิชย์ต้นแบบที่ทยอยออกมาใช้ในช่วงทศวรรษ ค.ศ. 1950 และ 1960 ในประเทศรัสเซียและประเทศอังกฤษส่วนใหญ่เป็นแบบหน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์ แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งในขณะนั้นแทบจะผูกขาดยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ (enriched uranium) แต่ผู้เดียว ฝ่ายทหารโดยเฉพาะกองทัพเรือได้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำอัดความดัน (pressurized water reactor หรือ PWR) สำหรับใช้กับเรือดำน้ำ เครื่องแบบนี้หน่วงความเร็วนิวตรอนได้ด้วยน้ำธรรมดา หรือทางวิชาการเรียกว่าน้ำมวลเบา (light water หรือ H2O) จึงมีชื่อเรียกว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลเบา (light-water reactor หรือ LWR) มีเครื่องต้นแบบชื่อว่า Mark-1 ซึ่งนำแบบไปสร้างเป็นเครื่องสาธิตเครื่องแรกที่เมือง ชิปปิงพอร์ต (Shippingport) มลรัฐเพนซิลเวเนีย มีกำลังผลิต 90 เมกะวัตต์ไฟฟ้า และใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1957 ถึง 1982 ส่วนเครื่องแรกที่เป็นเชิงพาณิชย์สร้างโดยบริษัทเวสติงเฮาส์ มีชื่อว่า Yankee Rowe มีขนาด 250 เมกะวัตต์ไฟฟ้า เริ่มเดินเครื่องเมื่อปี ค.ศ. 1960 และใช้มาจนถึงปี ค.ศ. 1992 ในขณะเดียวกันห้องปฏิบัติการแห่งชาติอาร์กอนน์ (Argonne National Laboratory) ก็ได้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (boiling water reactor หรือ BWR) ขึ้นมา เครื่องต้นแบบมีชื่อว่า Vellecitos เดินเครื่องระหว่างปี ค.ศ. 1957-1963 และ เจเนอรัลอิเล็กทริก ได้นำไปออกแบบสร้างในเชิงพาณิชย์เป็นเครื่องแรก ชื่อว่า Dresden-1 มีขนาด 250 เมกะวัตต์ไฟฟ้า เริ่มเดินเครื่องตอนต้นทศวรรษ ค.ศ. 1960 ซึ่งทั้ง PWR และ BWR นี้เองที่แพร่ขยายไปทั่วโลกและจัดเป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของยุคที่ 2



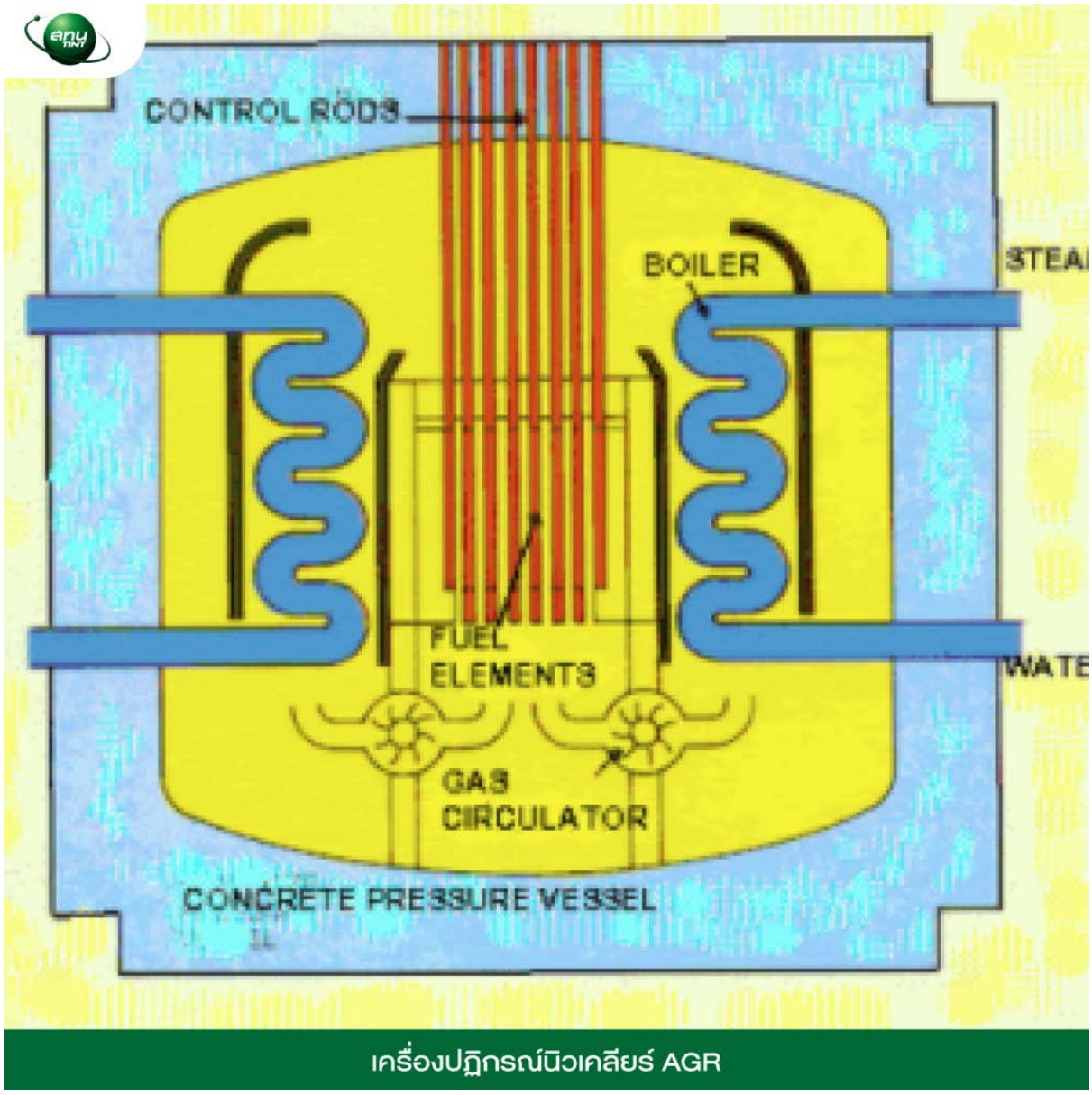
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต้นแบบที่ Shipping Port

นิวเคลียร์ประเภทนี้ 26 เครื่อง และเลิกสร้างขึ้นใหม่ไปตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 โดยหันมาพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ขั้นสูงแบบระบายความร้อนด้วยแก๊ส (Advanced Gas-cooled Reactor หรือ AGR) ซึ่งใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมออกไซด์เสริมสมรรถนะ ก่อนที่จะมายอมรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลเบาคือ PWR และ BWR ของสหรัฐอเมริกา เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของยุคที่ 1 นี้ ปัจจุบันทั่วโลกยังคงมีเหลือใช้งานอยู่ 8 เครื่องในประเทศอังกฤษเพียงประเทศเดียวเท่านั้น

ประเทศฝรั่งเศสเริ่มต้นแบบเดียวกับในประเทศอังกฤษ กล่าวคือ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้การหล่อเย็น ด้วยแก๊สและหน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยแกรไฟต์คล้ายกับ Magnox ก่อนจะเปลี่ยนไปพัฒนา PWR จนมีเทคโนโลยีจัดอยู่ในแนวหน้า และเป็นผู้ผลิตเชื้อเพลิงยูเรเนียมเสริมสมรรถนะรายใหญ่ของโลก



เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ CANDU



เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ AGR

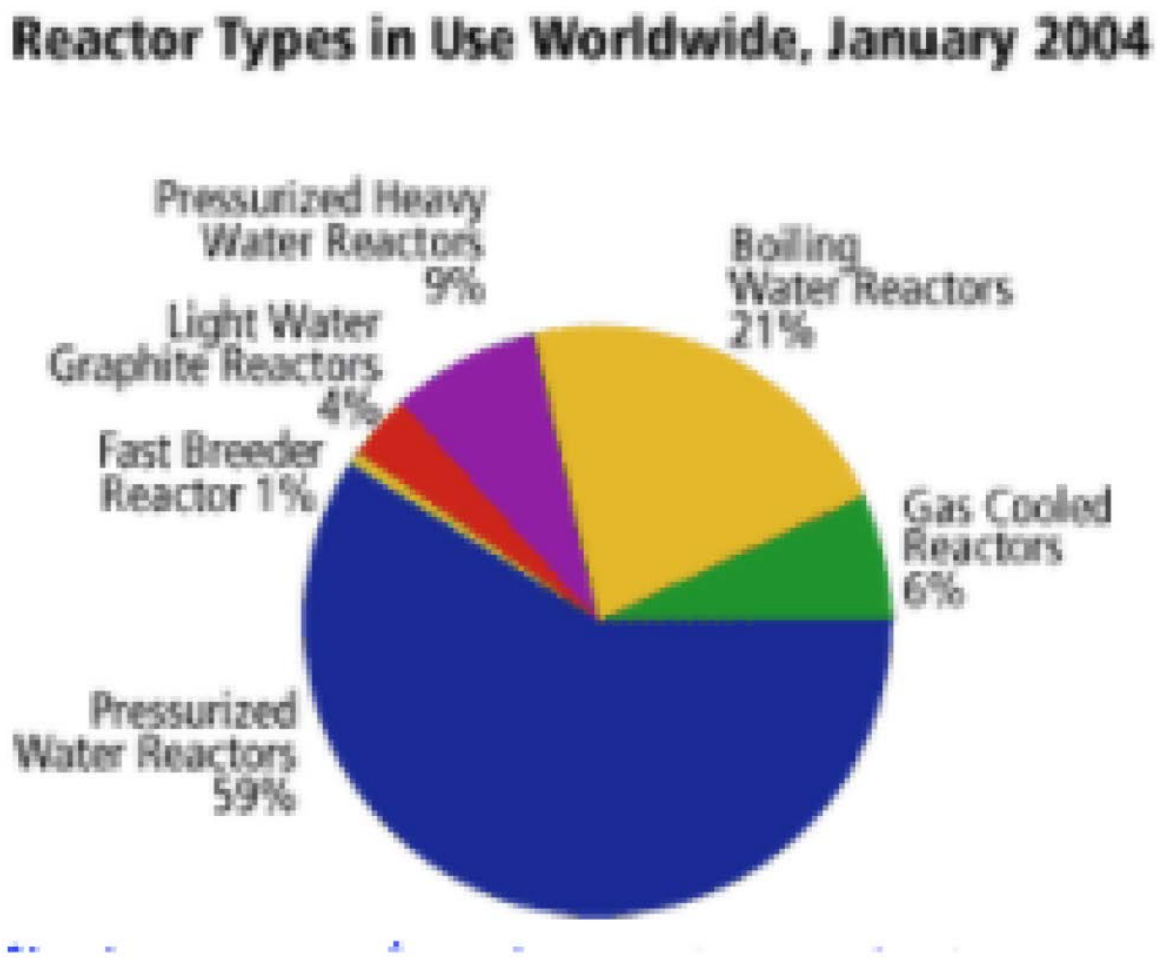
ยุคที่ 2 (Generation II)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในเชิงพาณิชย์ที่เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ในยุคที่ 1 และทยอยออกมาใช้ในช่วงทศวรรษ ค.ศ. 1970 และ 1980 และยังมีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ ในยุคที่ 2 นี้ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ไม่ได้มีจำกัดอยู่ในประเทศผู้บุกเบิกด้านนิวเคลียร์ แต่มีกระจายทั่วไปในยุโรปเช่น ฝรั่งเศส เยอรมัน และอิตาลี ในยุโรปตะวันออกซึ่งได้เทคโนโลยีมาจากรัสซีย รวมทั้งในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น ไต้หวัน เกาหลี และอินเดีย เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในยุคที่ 2 ถ้าเป็นในยุโรปตะวันออกที่ได้อิทธิพลจากรัสเซีย ส่วนใหญ่จึงเป็นแบบ RBMK นอกนั้นส่วนใหญ่จะเป็น LWR ซึ่งมี 2 แบบ คือ PWR (ร้อยละ 65 ทั่วโลก) และ BWR (ร้อยละ 23 ทั่วโลก) และอีกแบบหนึ่งก็คือ HWR หรือ CANDU ของแคนาดา

ยุคที่ 3 (Generation III)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ปรับปรุงจากยุคที่ 2 นำมาออกแบบใน 2 แนวทาง โดยแนวทางแรก เป็นการ

ออกแบบ ที่เน้นด้านความปลอดภัยเชิงแพสซิฟ เรียกว่า การออกแบบเชิงแพสซิฟ (passive-design) ซึ่งหากเกิดความผิดปกติระหว่างเดินเครื่องแล้ว ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือ ไปสั่งหรือควบคุมแก้ไขเหตุการณ์ แต่จะใช้หลักธรรมชาติ เช่น ความโน้มถ่วง (gravity) การพาแบบธรรมชาติ (natural convection) หรือความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง (resistance to high temperature) มาทำให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์หยุดการทำงานได้เอง เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ชนิดนี้ก็เช่น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่น AP-600 (AP คือ advanced passive) ที่เวสติงเฮาส์พัฒนาขึ้น และได้รับอนุญาตให้ใช้งานได้แล้วในสหรัฐอเมริกา



สัดส่วนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แต่ละชนิด ที่มีการใช้ทั่วโลก

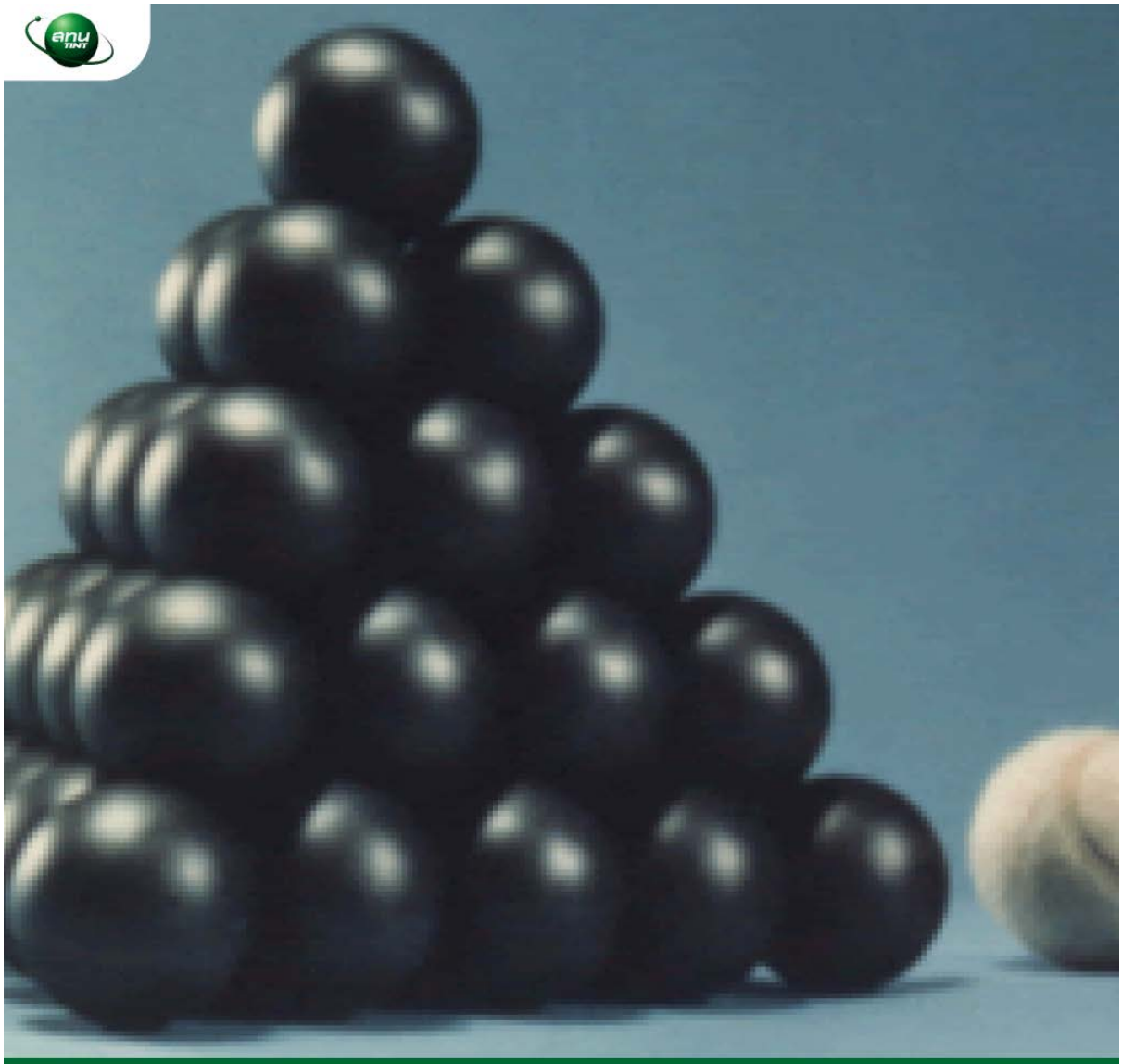
ในอีกแนวทางหนึ่ง เป็นการออกแบบเชิงก้าวหน้าหรือขั้นสูง (advanced design) เน้นการพัฒนาศักยภาพของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ที่มีใช้อยู่ให้สูงขึ้นมากที่สุด ซึ่งบางทีก็ผนวกเอาการออก แบบเชิงแพสซิฟเข้าไว้ด้วย การออกแบบเชิงก้าวหน้าหรือขั้นสูงนั้นก็เช่น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขั้นสูงแบบน้ำเดือด (advanced

boiling water reactor หรือ ABWR) และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขั้นสูง แบบน้ำอัดความดัน (advanced pressurized water reactor หรือ APWR)

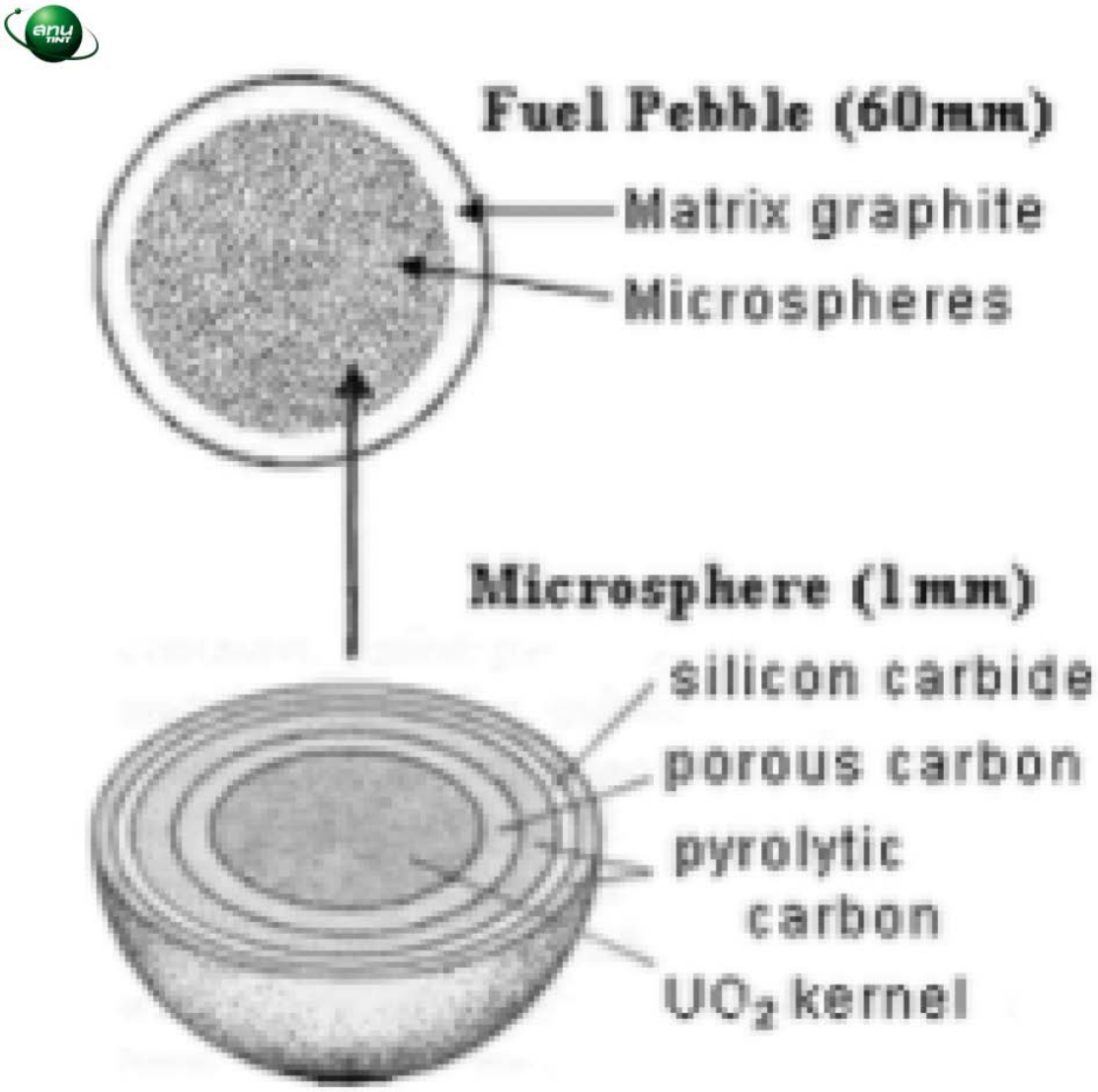
ประเทศญี่ปุ่นสร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของยุคที่ 3 เครื่องแรกออกมาใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 1996 เป็นแบบ ABWR มีชื่อว่า Kashiwazaki-Kariwa 6 และมีขนาด 1,350 เมกะวัตต์ไฟฟ้า เครื่องที่ 2 เปิดใช้ในปีเดียวกัน เครื่องที่ 3 เพิ่งเปิดใช้เมื่อปี ค.ศ. 2004 นี้เอง และขณะนี้ กำลังอยู่ระหว่างก่อสร้างอีกหลายเครื่อง ทั้งในประเทศญี่ปุ่นเองและในประเทศไต้หวัน

รัสเซียโดยรัฐวิสาหกิจที่มีชื่อว่า Gidropress ได้พัฒนา APWR ผสมผสานกับ การออกแบบความปลอดภัยเชิงแพสซิฟเรียกว่ารุ่น V-392 (advanced VVER-1000) มีขนาด 1,000 เมกะวัตต์ไฟฟ้า จะสร้างไว้ที่เมือง Novovoronezh และอีกเครื่องหนึ่งกำลังสร้างอยู่ในประเทศอินเดีย อีกรุ่นคือ VVER-91 รุ่นนี้ใช้ระบบควบคุมของทางโลกตะวันตก และกำลังก่อสร้างในประเทศจีนจำนวน 2 เครื่องที่เมืองเจียงซูและเทียนวาน และกำลังแข่งประมูลที่ประเทศฟินแลนด์ ล่าสุด Gidropress กำลังพัฒนารุ่น V-448 หรือ VVER-1500 สำหรับทดแทนเครื่องที่เมือง Leningrad และ Kurst คาดว่าจะออกแบบเสร็จในปี ค.ศ. 2007 และเครื่องแรกจะเริ่มดำเนินการได้ในปี ค.ศ. 2012 หรือ 2013

ในยุโรปมีมาตรฐานยูโรร่วมกัน ซึ่งเน้นให้มีความปลอดภัยสูงมาก โดยมีฝรั่งเศสกับเยอรมนีเป็นหัวเรือใหญ่ และมีการออกแบบอยู่ 4 แบบ ๆ แรก บริษัท Framatome ของฝรั่งเศสได้พัฒนาเครื่องขนาดใหญ่ (1,600-1750 MWe) มีชื่อเรียกว่า European pressurized water reactor (EPR) ปรับปรุงจากรุ่น N4 ของฝรั่งเศสและ Konvoi ของเยอรมนี ให้ผลิตไฟฟ้าได้ถูกลงกว่า N4 ถึง ร้อยละ 10 และมีประสิทธิภาพอุณหภาพ (thermal efficiency คือความสามารถที่จะแปลงพลังงานความร้อน ไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานกล ได้มากน้อยเพียงใด) สูงสุดถึงร้อยละ 36 ซึ่งสูงกว่า LWR ใด ๆ ที่เคยมีมา โดยเครื่องแรกจะสร้างที่เมือง Olkiluoto ประเทศฟินแลนด์ และเครื่องที่ 2 ที่เมือง Flamanville ในฝรั่งเศสเอง



ขนาดของก้อนเชื้อเพลิง PBMR



ลักษณะภายในก้อนเชื้อเพลิง PBMR

แบบที่ 2 ของยุโรปนั้น Framatome ร่วมกับเยอรมนี มีชื่อว่า SWR 1000 เป็น advanced BWR ขนาด 1,000 ถึง 1,290 เมกะวัตต์ไฟฟ้า เป็นแบบที่ผนวกเอาการออกแบบเชิงแพสซิฟไว้ด้วย และพร้อมออกสู่ตลาดแล้ว

ในแบบที่ 3 เจเนอรัลอิเล็กทริกได้นำ ABWR มาพัฒนาเป็น European Simplified Boiling Water Reactor ขนาด 1,390 เมกะวัตต์ไฟฟ้าซึ่งเพิ่มเติมความปลอดภัยเชิงแพสซิฟไว้เช่นกัน เครื่องรุ่นนี้รู้จักกันในชื่อว่า Economic & Simplified BWR (ESBWR)

แบบที่ 4 เป็นของเวสติงเฮาส์ร่วมกับกลุ่มสแกนดิเนเวียกำลังพัฒนา BWR อยู่ในขณะนี้

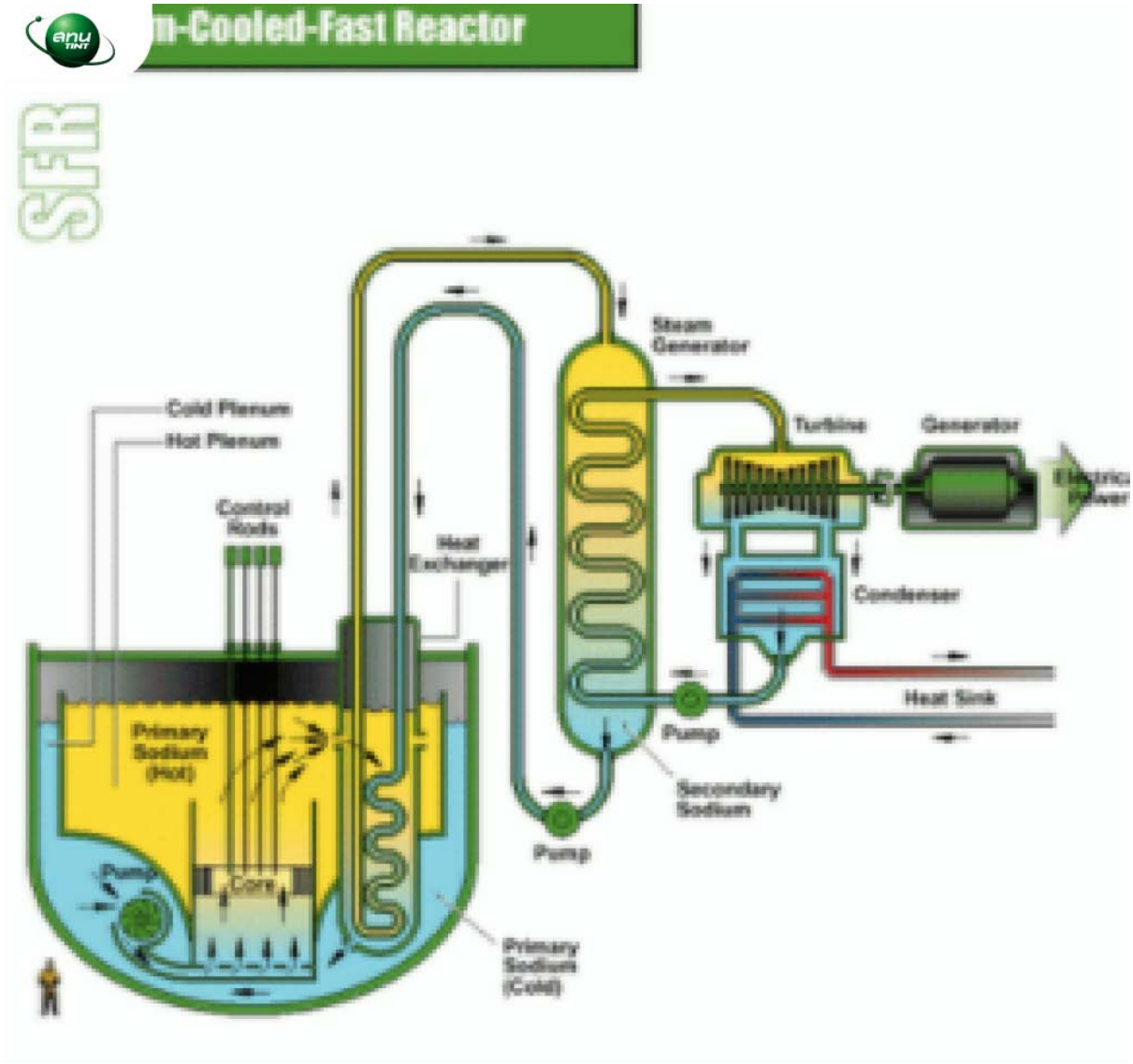
สำหรับที่ประเทศแคนาดาก็ยังคงยึดมั่นกับแนวทางแคนดูโดยมีการปรับปรุงมาโดยตลอด CANDU-6 เป็นรุ่น

ล่าสุดและปัจจุบันมีใช้ในประเทศจีน รุ่นนี้เป็นรุ่นต้นแบบที่ใช้พัฒนาไปสู่ยุคที่ 3 ซึ่งออกแบบไว้ 2 แบบคือ CANDU-9 และ Advanced Candu Reactor (ACR)

CANDU-9 จะมีขนาด 925-1,300 เมกะวัตต์ไฟฟ้า สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายตั้งแต่ยูเรเนียมธรรมชาติ ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำที่สกัดจากเชื้อเพลิงใช้แล้วของ PWR หรือใช้เชื้อเพลิงออกไซด์ผสม (mixed oxide fuel หรือ MOX ซึ่งมียูเรเนียมผสมกับพลูโทเนียม) หรือแม้แต่ใช้เชื้อเพลิงใช้แล้วของ PWR โดยตรงก็ยังได้ นอกจากนี้ยังอาจปรับให้ใช้พลูโทเนียมที่ใช้ทางทหารหรือธาตุแอกทิไนด์ที่สกัดจากกากของ PWR หรือ BWR ก็ได้ด้วย

ACR จัดเป็นแคนดูในรุ่นที่ 3 ที่มีแนวคิดเชิงนวัตกรรมสูง คือยังคงใช้น้ำมวลหนักที่ความดันต่ำเป็นตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน แต่เพิ่มคุณลักษณะบางอย่างของ PWR เข้าไป เช่น การหล่อเย็นด้วยน้ำธรรมดา แกนแท่งเชื้อเพลิงที่เล็กลงทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ และการเดินเครื่องที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและความดันของตัวหล่อเย็นที่สูงขึ้นก็ทำให้ประสิทธิภาพอุณหภาพสูงขึ้นด้วย เช่น โครงการเครื่องรุ่น ACR-700 ซึ่งมีขนาด 750 เมกะวัตต์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อเทียบกับ CANDU-6 แล้ว มีขนาดเล็กกว่ากันมาก ใช้งานง่ายกว่า ประสิทธิภาพสูงกว่า และราคาค่าก่อสร้างยังถูกกว่าถึงร้อยละ 40 คือประมาณ 1,000 ดอลลาร์อเมริกันต่อกิโลวัตต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพ่วงด้วยการออกแบบด้านความปลอดภัยเชิงแพสซิฟ และยังใช้การประกอบเป็นชิ้นส่วนไว้ล่วงหน้า เรียกว่า มอดูล (module) สำหรับนำไปประกอบภายหลัง วิธีนี้ช่วยลดเวลาก่อสร้างลงได้ 3 ปี โครงการนี้คาดว่าจะเสร็จสิ้นได้ภายในปี ค.ศ. 2005 ขณะเดียวกันก็กำลังพัฒนารุ่น ACR-1000 ซึ่งมีขนาด 1,100-1,200 เมกะวัตต์ไฟฟ้า ซึ่งแต่ละมอดูลจะมีขนาด 2.5 เมกะวัตต์ไฟฟ้า คาดว่าจะเริ่มใช้งานได้ในปี ค.ศ. 1914 ที่เมืองออนแทรีโอ นอกจากนี้ก็ยังมีรุ่น CANDU X ที่จะประสิทธิภาพอุณหภาพสูงถึงร้อยละ 40 และคาดว่าจะพร้อมในเชิงพาณิชย์ในปี ค.ศ. 2020

อินเดียกำลังพัฒนา AHWR ขนาด 300 เมกะวัตต์ไฟฟ้า หน่วงความเร็วนิวตรอนด้วยน้ำมวลหนักที่ความดันต่ำหล่อเย็นด้วยน้ำธรรมดา และที่แตกต่างจากประเทศอื่นๆ ก็คือ อินเดียพัฒนาทอเรียมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง



เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ FBR

สัญลักษณ์ของโครงการ IRIS

ยุคที่ 3+ (Generation III+)

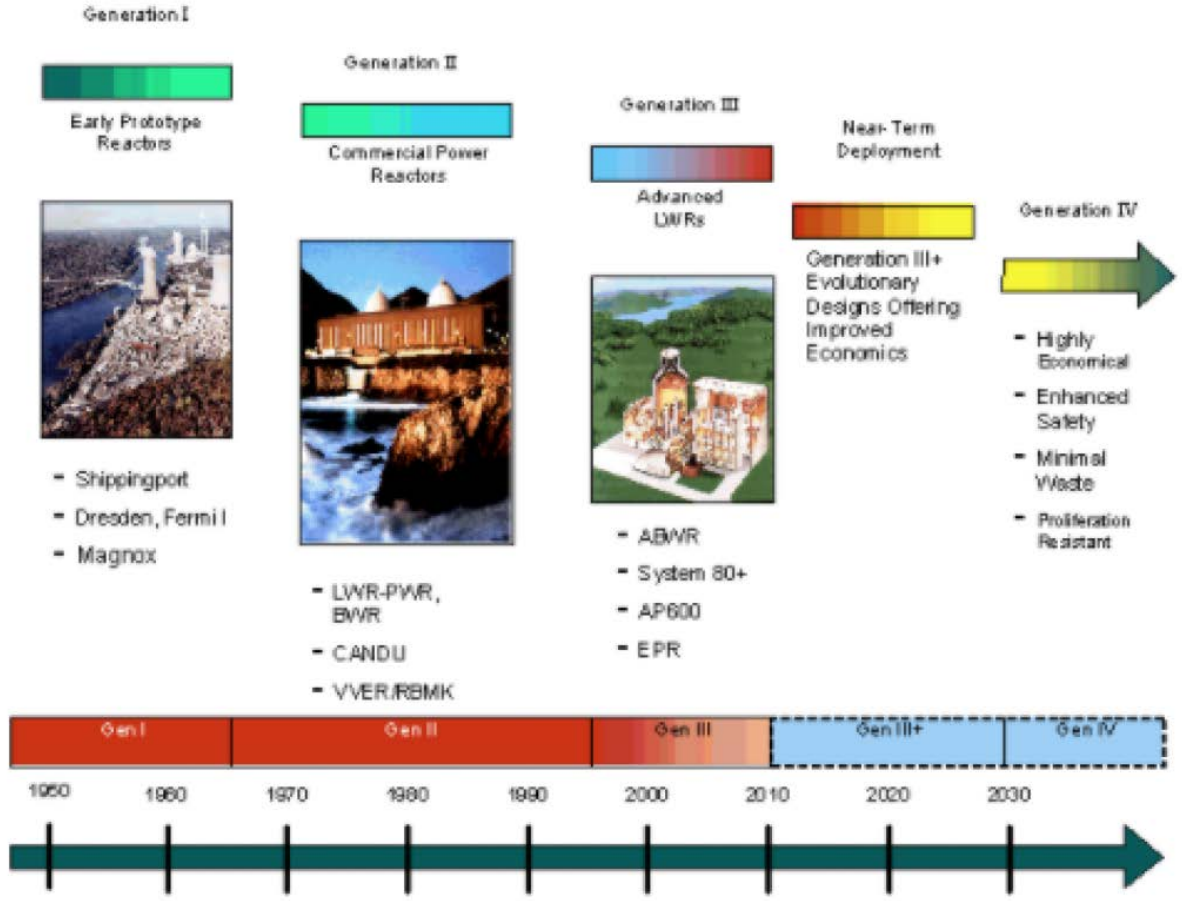
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะมีใช้ในอนาคตตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 2010 เป็นแบบที่พัฒนากันมาตั้งแต่ช่วงทศวรรษปี ค.ศ. 1990 และในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นออกแบบและทดลองใช้งานอยู่ มีคุณลักษณะเป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ระบายความร้อนด้วยแก๊สอุณหภูมิสูง (High-Temperature Gas-Cooled) ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีทอเรียมเป็นพื้นฐานได้ เช่น ยูเรเนียมสมรรถนะสูง (high-enriched uranium หรือ HEU) กับทอเรียม ยูเรเนียม-233 กับทอเรียม และพลูโทเนียมกับทอเรียมก็ได้

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ยุค 3+ ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มอดุลาร์แบบถังกรวด (pebble-bed modular reactor หรือ PBMR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบหล่อเย็นด้วยแก๊ส ซึ่งจะมีประสิทธิภาพอุณหภาพสูงมากถึงร้อยละ 42 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์รุ่น AP-1000 ของเวสติงเฮาส์ซึ่งเน้นการออกแบบด้านความปลอดภัยเชิงแพสซิฟ (เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั้ง 2 แบบนี้ยังไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานได้ในสหรัฐอเมริกา) และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฮีเลียมมอดุลาร์แบบกังหันแก๊ส (Gas Turbine-Modular Helium Reactor GT-

MHR) อนึ่ง คุณลักษณะที่สำคัญในเครื่องปฏิกรณ์ยุค 3+ ก็คือ การออกแบบเป็นมอดูล ที่ทำให้ต้นทุนต่ำลงและใช้เวลาก่อสร้างสั้นลงมาก ซึ่งคุณลักษณะประการนี้ กับการออกแบบเชิงแพสซิฟน่าจะเป็นแนวทางสำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในยุคที่ 4 ต่อไป

การพัฒนา PBMR ก้าวหน้าที่สุดในประเทศแอฟริกาใต้โดยการร่วมทุนของกลุ่มรวมธุรกิจที่มี ESKOM กับ South African Industrial Development Corporation และ British Nuclear fuels (BNFL)โดยดึงความเชี่ยวชาญมาจากประเทศเยอรมนีด้วย การออกแบบ PBMR มีการก้าวกระโดดในด้านความปลอดภัย เศรษฐศาสตร์ และการต่อต้านการแพร่ขยายอาวุธนิวเคลียร์ PBMR มีจะขนาดเพียง 1 ใน 6 ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ค่าก่อสร้างสำหรับคลัสเตอร์ที่มี 8 หน่วย (แต่ละหน่วยมีขนาด 165 เมกะวัตต์ไฟฟ้า) คาดว่าอยู่ที่ 1,000 ดอลลาร์อเมริกันต่อกิโลวัตต์ และค่าผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่ำกว่า 3 เซนต์อเมริกันต่อหน่วย (1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เครื่องสาธิตจะลงมือสร้างในปี ค.ศ. 2006 และจะพร้อมในเชิงพาณิชย์ในปี ค.ศ. 2010 นอกจากประเทศแอฟริกาใต้แล้ว เยอรมนีกับจีน และมหาวิทยาลัยของสหรัฐอเมริกาและจีนก็กำลังวิจัยและพัฒนา PBMR อยู่เช่นกัน โดยจะออกแบบให้มีขนาดเล็ก และใช้งานง่ายชนิดที่เรียกว่า แทบจะใช้ได้ทันทีเพียงแค่เสียบปลั๊กเท่านั้น

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์อีกแบบหนึ่งที่พัฒนามาตั้งแต่ในยุคที่ 1 ก็คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบผลิตเชื้อเพลิงหรือ FBR มีทดลองใช้พอสมควรอยู่ในประทศต่างๆ เช่น Superphenix ของฝรั่งเศส Monju ของญี่ปุ่น BN-600 ของรัสเซีย ในปัจจุบันไม่ค่อยเป็นที่สนใจนักในประเทศต่าง ๆ เนื่องจากมีค่าก่อสร้างสูงมาก จึงไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์สำหรับราคาเชื้อเพลิงยูเรเนียมในปัจจุบันที่มีราคาถูก และคาดว่าราคาจะไม่สูงขึ้นมากแม้ในอนาคตอันไกลข้างหน้า ยกเว้นก็แต่ในประเทศอินเดียที่ยังคงสนใจอยู่ เพราะเกี่ยวข้องกับโครงการใช้เชื้อเพลิงจากทอเรียมที่มีอุดมสมบูรณ์มากในอินเดีย



เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ 4 ยุค

ยุคที่ 4 (Generation IV)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่จะมีใช้กันได้ในอนาคตน่าจะตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 2030 โดยเป็นที่คาดหวังกันว่าจะมีความประหยัดสูง รวมไว้ด้วยสมรรถนะด้านความปลอดภัย มีกากเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และปลอดจากการนำไปใช้ในการแพร่ขยายอาวุธนิวเคลียร์ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ยุคที่ 4 ที่กำลังพัฒนามีความก้าวหน้าที่สุด ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในโครงการไอริส (International Reactor Innovative & Secure หรือ IRIS) ซึ่งเป็น LWR แบบที่รวมความก้าวหน้าทางวิศวกรรมที่จะเพิ่มสมรรถนะด้านความปลอดภัยและลดค่าใช้จ่ายด้านการเดินเครื่องเอาไว้ อีกโครงการหนึ่งเป็นของทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) มีชื่อว่า อินโปร (INPRO หรือ International Project) ซึ่งมีเป้าหมายให้ความช่วยเหลือแก่ประเทศกำลังพัฒนา โดยมีความร่วมมือหลักกับประเทศรัสเซีย

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ยุคที่ 4 อีกแบบหนึ่ง ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฮีเลียมมอดุลาร์แบบกังหันแก๊ส (gas turbine modular helium reactor หรือ GT-MHR) ซึ่งมีคุณลักษณะด้านความปลอดภัยเชิงแพสซิฟ และหล่อเย็นด้วยแก๊ส สหรัฐอเมริกาโดยบริษัท General Atomics (GA) ร่วมกับ Minatom ของรัสเซีย และ Fuji ของญี่ปุ่น ได้ออกแบบ GT-MHR ขนาดใหญ่ โดยจะสร้างเป็นมอดูล และแต่ละมอดูลมีขนาด 285 เมกะวัตต์ไฟฟ้าซึ่งใช้ขับกังหันแก๊ส โดยจะมีประสิทธิภาพอุณหภาพสูงมากถึงร้อยละ 48 ในระยะแรกเชื้อเพลิงจะใช้พลูโทเนียมบริสุทธิ์จากอาวุธนิวเคลียร์เดิมของรัสเซีย คาดว่าจะมีค่าก่อสร้างต่ำกว่า 1,000 ดอลลาร์อเมริกันต่อกิโลวัตต์ และค่าผลิตกระแสไฟฟ้า 2.9 เซนต์อเมริกันต่อหน่วย

เรียบเรียงจาก
Minatom Shuts Down World's First Nuclear Reactor โดย Charles Digges
(http://www.bellona.no/en/international/russia/npps/24072.htm)
Four Generations of Reactors จากเว็บไซต์ของ Nuclear Energy Institute (NEI)
(http://www.nei.org)
Advanced Nuclear Power Reactors และ Outline History of Nuclear Energy จากเว็บไซต์ของ Uranium Information Centre (ดูใน Briefing Paper)
(http://www.uic.com.au/)
South Africa’s Nuclear Model โดย Tom Ferreira
(http:www.pbmr.com)