

# โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล

## Small Modular Reactor (SMR)

ฐกฤต ปานขลิบ\*

Thakrit Panklib

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

\*Corresponding author, E-mail: drthakrit@gmail.com

Received: February 19, 2025

Revise: February 20, 2025

Accepted: February 21, 2025

### บทคัดย่อ

ในว่ันนี้านานาประเทศทั่วโลกล้วนมีเป้าหมายในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการผลิตพลังงานแบบเดิมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็น แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน หรือน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ มาสู่การผลิตพลังงานรูปแบบใหม่ ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือที่นิยมเรียกกันว่าพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม น้ำ และนิวเคลียร์ ซึ่งการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานสะอาดเหล่านี้มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่น้อยมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ทว่าแหล่งพลังงานสะอาดต่างๆ ก็ไม่ได้มีแต่ข้อดีไปเสียหมด บางแหล่งพลังงานยังไม่มีควมเสถียรภาพเพียงพอต่อการใช้งาน อีกทั้งอาจจะต้องใช้ทรัพยากรและการลงทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นพลังงานนิวเคลียร์จึงเป็นอีกทางเลือกของนานาประเทศที่มีเป้าหมายในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศหรือการปลดปล่อยคาร์บอนเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาสภาวะโลกร้อนที่เรากำลังเผชิญกันอยู่ในวันนี้ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (Small Modular Reactor หรือ SMR) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบอิสระ สามารถผลิตไฟฟ้าได้แบบสมบูรณ์แบบในตัวเองและมีข้อดีหลายประการ เช่น การผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้พื้นที่การก่อสร้างน้อย นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันความปลอดภัยที่สูงสามารถหยุดการทำงานได้เองเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ในอนาคตคาดว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (SMR) จะมีบทบาทสำคัญเพิ่มมากขึ้นในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด

คำสำคัญ: โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล พลังงานทดแทน พลังงานสะอาด

### Abstract

Today, countries around the world are aiming to change the traditional model of energy production that mainly uses fossil fuels. Whether it is natural gas, coal, or oil, which is the main cause of greenhouse gas emissions into the atmosphere, to the production of new forms of energy that do not cause environmental impacts, or commonly known as clean energy such as solar, wind, water, and nuclear. Greenhouse gases are released into the atmosphere in very small amounts. Especially compared to energy production using fossil fuels, clean energy sources do not have all the advantages. Some energy sources are not stable enough to be used, and they may require relatively high resources and investments. So nuclear energy is therefore another option for countries that aim to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere or to zero carbon emissions. This is because it is the main cause of the global warming problem that we are facing today. Small Modular Reactor (SMR) It is an independent small-scale nuclear power generation system that can generate electricity completely on its own, and

has many advantages, such as continuous power generation. It has no carbon dioxide emissions and uses little construction space. It also has a high security protection system. In the future, it is expected that small modular nuclear power plants (SMR) will play an increasingly important role in generating electricity from clean energy.

**Keywords:** small modular reactor; alternative energy; renewable energy; SMR

## 1. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์

หลักการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นก็ไม่ต่างกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบทั่วไปเท่าไรนัก จะต่างกันที่แหล่งพลังงานความร้อนสำหรับทำให้น้ำร้อนขึ้นและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำเพื่อไปขับเคลื่อนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนของโรงไฟฟ้าทั่วไป อาจได้จาก น้ำมันถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ในขณะที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน (nuclear fission) ทำให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่สามารถแตกตัวได้ (โดยมากที่นิยมใช้คือยูเรเนียม-235 หรือพลูโทเนียม-239) เกิดการแตกตัว แล้วคายพลังงานความร้อนออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของยูเรเนียม-235 ปริมาณเพียง 1 กรัม เทียบเท่ากับพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินปริมาณมากถึง 3,000 กิโลกรัม



รูปที่ 1 แบบจำลองสามมิติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ [8]

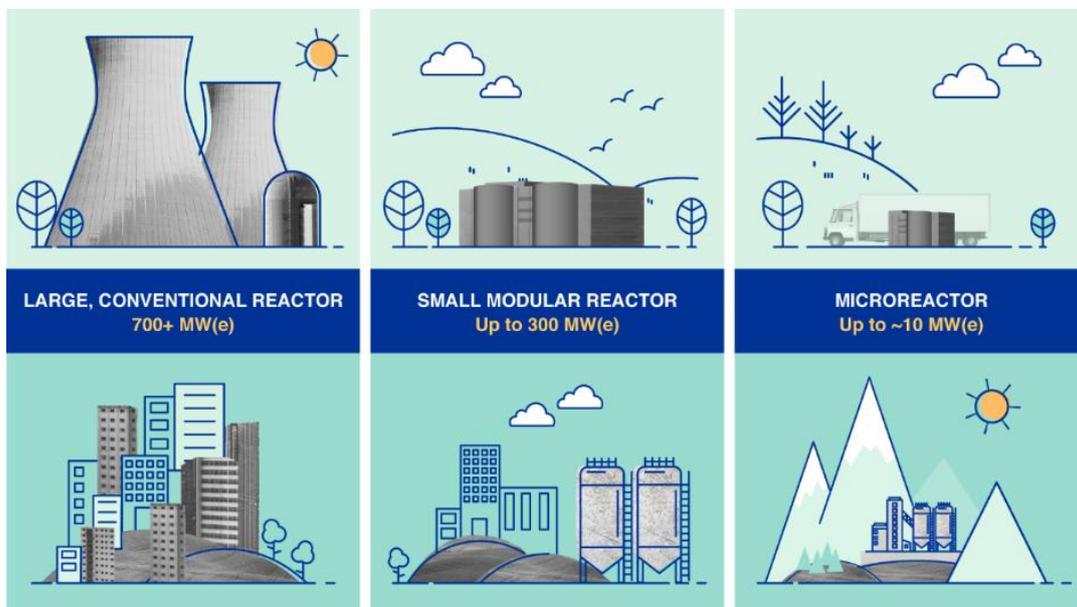
จากรูปที่ 1 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญ 5 ส่วน ได้แก่ (1) กังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (2) ระบบความปลอดภัย (safety features) ซึ่งควบคุมให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์หยุดการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน (3) เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (reactor) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและถ่ายเทความร้อนหรือระบายความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของน้ำหล่อเย็นกลายเป็นไอน้ำร้อน (4) หอคอยระบายความร้อน (cooling tower) เปลี่ยนสถานะของไอน้ำให้กลับมาเป็นของเหลว และหมุนเวียนกลับไปรับพลังงานความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ใหม่อีกครั้ง และ (5) ห้องควบคุมการทำงาน

ซึ่งตั้งแต่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งแรกของโลกได้ถือกำเนิดขึ้นในช่วงทศวรรษ 1950 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็ได้มีพัฒนาการต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของเทคโนโลยีนี้ก็คือ กากกัมมันตรังสี (radioactive waste) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวิธีการจัดการเฉพาะเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดการรั่วไหลของกากกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 11 ปี (2012-2022) ของทั้ง 30 ประเทศทั่วโลก โดย World Nuclear Association พบว่าแต่ละประเทศมีการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์เป็นสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าในประเทศ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝรั่งเศส มาเป็นอันดับ 1 อยู่ที่ 71% กลุ่มที่ 2 สโลวาเกีย ยูเครน ฮังการี และเบลเยียม อยู่ที่ 46-54% กลุ่มที่ 3 สโลวาเนีย สวีเดน เซค บังกาเรีย สวิตเซอร์แลนด์ ฟินแลนด์ อาร์เมเนีย และเกาหลี อยู่ที่ 28-37% กลุ่มที่ 4 สเปน สหรัฐอเมริกา รัสเซีย โรมาเนีย จีน อังกฤษ แคนาดา และเยอรมันนี อยู่ที่ 12-20% กลุ่มที่ 5 ปากีสถาน แอฟริกาใต้ อาร์เจนตินา เม็กซิโก ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ อินเดีย บราซิล เบลารุส อิหร่าน และอาหรับเอมิเรตส์ อยู่ที่ 1-7%

## 2. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (Small Modular Reactor หรือ SMR) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบอิสระ สามารถผลิตไฟฟ้าได้แบบสมบูรณ์แบบในตัวเองโดยไม่ต้องพึ่งพาทรัพยากรและองค์ประกอบอื่นๆ จากภายนอก หากพิจารณาแล้วก็จะคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเพียงแต่เติมเชื้อเพลิงเข้าไปก็สามารถทำงานและผลิตไฟฟ้าออกมาใช้ได้เลย



รูปที่ 2 แสดงโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ขนาดใหญ่ เล็ก และเล็กมาก [6]

ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกต่างก็ให้ความสนใจและพัฒนาโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็ก หรือ SMR เพราะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบดั้งเดิม ซึ่งได้แก่

2.1 มีขนาดเล็ก ขนาดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SRM เล็กกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบดั้งเดิมมาก ทำให้การก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR สามารถทำได้ในหลากหลายพื้นที่มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งตั้งอยู่ห่างไกลและทุรกันการ

2.2 ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ ด้วยโครงสร้างและอาคารต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR มีขนาดเล็กกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบเดิม จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่ต่ำกว่า

2.3 การทำงานแบบโมดูล ด้วยลักษณะการทำงานเป็นโมดูล (หน่วยย่อยอิสระ) ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR ทำให้สามารถแยกผลิตเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จากสถานที่อื่น แล้วทำการขนย้ายมาติดตั้งที่โรงไฟฟ้าในภายหลังได้ (ด้วยเครื่อง

ปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบดั้งเดิมมีขนาดใหญ่ จึงทำให้เกิดข้อจำกัดด้านการขนย้าย) ซึ่งการดำเนินการเช่นนี้ช่วยร่นระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR ให้สั้นลงได้นั่นเอง

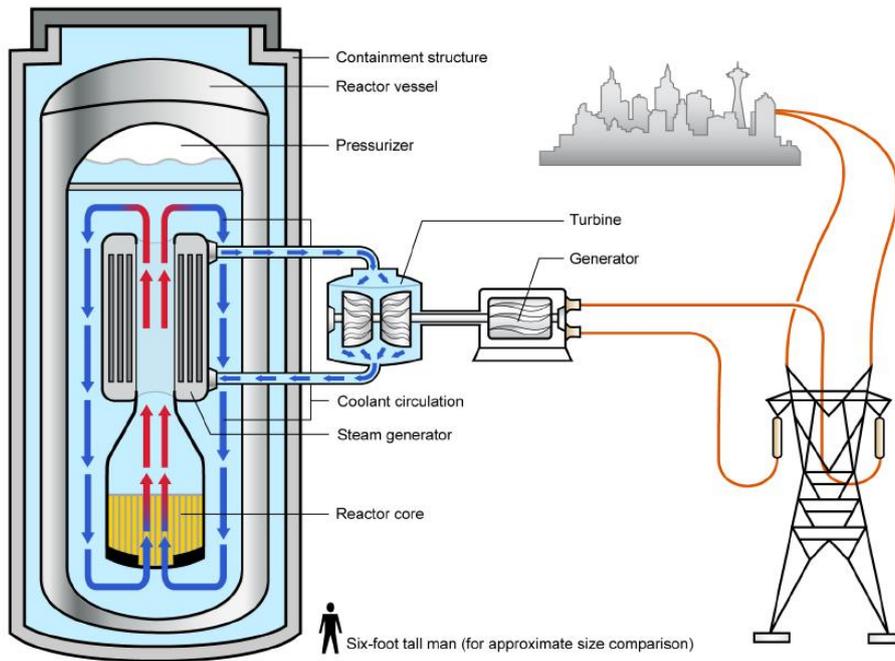
2.4 ลดปริมาณการเกิดกากกัมมันตรังสี ด้วยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR มีขนาดเล็ก แห่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจึงมีขนาดเล็กตามไปด้วย ส่งผลทำให้กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้แท่งเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบดั้งเดิม นอกจากนี้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR บางรุ่น ยังได้ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบเกลือหลอมเหลว (molten salt reactor) ด้วยการใช้ระบบสารหล่อเย็นหรือการผสมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เป็นเกลือคลอไรด์หรือฟลูออไรด์หลอมเหลวแทน โดยสถานะของเกลือหลอมเหลวนี้สามารถดูดซับกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันได้ดี ซึ่งเป็นประโยชน์ด้านความปลอดภัยด้วยการลดโอกาสการปนเปื้อนของกากกัมมันตรังสีได้อีกทางหนึ่งด้วย

2.5 ระบบความปลอดภัย การออกแบบก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR หลายแห่งได้มีการออกแบบและวางระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติเชิงรับ (passive safety features) ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยลดระดับความรุนแรงของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติเหตุ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR หลายรุ่นถูกออกแบบให้สามารถปิดระบบตัวเองได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน อีกทั้งยังสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เย็นลง (cool down) ได้เองอีกด้วย

2.6 ความยืดหยุ่นในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรูปแบบอื่นๆ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบโมดูลนอกจากมีขนาดเล็กแล้ว ระบบการทำงานต่างๆ ยังได้รับการออกแบบให้มีความสลับซับซ้อนน้อยกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบดั้งเดิม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความยืดหยุ่นสูงด้านการใช้งานร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) รูปแบบอื่น ๆ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ลม และน้ำ เป็นต้น

2.7 ลดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศ (decarbonization) การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR ยังคงปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิออกสู่ชั้นบรรยากาศเป็นศูนย์ดังเช่นโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดใหญ่แบบเดิม แต่เนื่องด้วยข้อได้เปรียบหลายประการข้างต้น จึงทำให้การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ SMR มีความยืดหยุ่นสูง ทั้งด้านการก่อสร้างและการใช้งาน

และที่สำคัญยังสามารถนำไปประยุกต์ได้มากมาย เช่น ในระบบพลังงานไฮบริดระหว่างพลังงานหมุนเวียนร่วมกับนิวเคลียร์เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพและความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้า ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ การผลิตน้ำจืด การผลิตก๊าซไฮโดรเจน ฯลฯ



รูปที่ 3 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็ก [8]

### 3. สถานการณ์โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (SMR) ในปัจจุบัน

ปัจจุบันมีโรงไฟฟ้า SMR ที่เปิดดำเนินการแล้วอยู่จำนวน 2 แห่ง คือ โรงไฟฟ้า Akademik Lomonosov เป็นโรงไฟฟ้า SMR แบบลอยน้ำ ขนาด 70 เมกะวัตต์ ตั้งอยู่ที่เมืองซुकอตกา ทางตอนเหนือของประเทศรัสเซีย สามารถผลิตไฟฟ้าให้กับประชาชนกว่า 1 แสนคน และโรงไฟฟ้า HTR-PM ของสาธารณรัฐประชาชนจีน ขนาด 210 MWe เริ่มเดินเครื่องเมื่อปี 2565 สามารถผลิตไฟฟ้าให้กับประชาชนกว่า 3 แสนครัวเรือน นอกจากนี้จีนยังอยู่ระหว่างก่อสร้างโรงไฟฟ้า Hainan Changjiang SMR ขนาด 125 เมกะวัตต์ คาดว่าจะเริ่มจ่ายไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ภายในปี 2569

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล หรือ SMR มีข้อดีหลายประการ เช่น การผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้พื้นที่การก่อสร้างน้อยกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบทั่วไปถึง 10 เท่า นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันความปลอดภัยที่สูงขึ้น สามารถหยุดการทำงานได้เองเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน จึงคาดการณ์ว่าในอนาคตโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (SMR) จะมีบทบาทสำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดมากขึ้น ซึ่งทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) คาดว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ของโลกจะขยายตัวถึง 2.5 เท่าภายในปี 2050 โดยโรงไฟฟ้า SMR จะมีส่วนช่วยในการสนับสนุนให้ประเทศต่างๆ ก้าวสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี 2050 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero GHG Emission) ในปี 2065

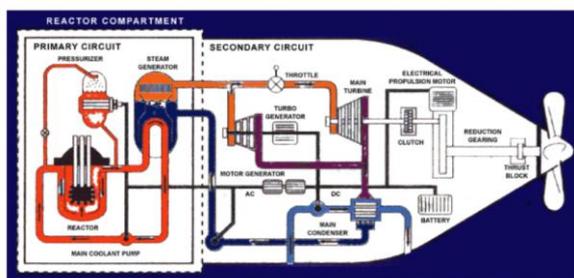
หลายประเทศกำลังวางแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้า SMR เพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากยานยนต์ไฟฟ้า การสร้างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และเทคโนโลยี AI ตัวอย่างเช่น นอร์เวย์วางแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้า SMR เพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อนให้กับนิคมอุตสาหกรรมหรือธุรกิจ Data Center แคนาดาตั้งเป้าก่อสร้างโรงไฟฟ้า SMR แห่งแรกภายในปี 2577 เกาหลีใต้ได้ประกาศวางแผนพัฒนาพลังงานแห่งชาติชุดใหม่ โดยมีแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้า SMR ให้พร้อมใช้งานประกอบอยู่ด้วย

สำหรับประเทศไทย ได้เตรียมการจัดตั้งโครงสร้างพื้นฐานพลังงานนิวเคลียร์และประเมินความพร้อมโครงสร้างพื้นฐาน 19 ด้าน มาอย่างต่อเนื่อง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ติดตามศึกษาเทคโนโลยีนิวเคลียร์และ SMR จากหลายประเทศทั่วโลก เพื่อศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเทศไทย

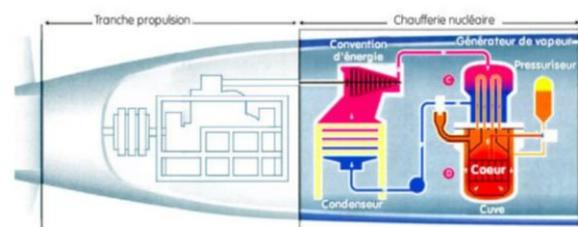
#### 4. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี SMR

อย่างที่ทราบกันว่า SMR (Small Modular Reactor) ก็คือ เต้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบโมดูลขนาดเล็ก ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ของเทคโนโลยีด้านพลังงานนิวเคลียร์ มีขนาดเล็กกะทัดรัดเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในอดีต หากในวันข้างหน้ามีความจำเป็นต้องลดสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและก๊าซธรรมชาติ SMR ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเข้ามาช่วยเสริมเพื่อรองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคต อีกทั้งสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพของพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น ลม แสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการผลิตในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอย่างฉับพลัน

SMR เป็นเต้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดถึง 300 MW ต่อเครื่อง ซึ่งเทียบเท่าประมาณ 1 ใน 3 ของขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าของเต้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบดั้งเดิม โดย SMR จะถูกผลิตจากโรงงานและขนส่งไปติดตั้งยังสถานที่ปลายทางตามที่ต้องการ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จึงทำให้ในอนาคตอาจมีการนำเอาเทคโนโลยี SMR ไปประยุกต์ใช้งานเกิดขึ้นมากมาย ที่ผ่านมามีการนำเอาไปใช้ในเรือดำน้ำและยานอวกาศ เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัดและมีความสามารถในการผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กทำหน้าที่ผลิตไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันเพื่อขับเคลื่อนเรือดำน้ำและผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบบนเรือ ซึ่งเทคโนโลยีนี้ช่วยให้เรือดำน้ำสามารถอยู่ใต้น้ำได้นานขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภารกิจทางการทหารและการวิจัยต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ในส่วนของการติดตั้งบนยานอวกาศ สามารถช่วยลดการพึ่งพาแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ที่ติดตั้งเอาไว้บนยานอวกาศได้เป็นจำนวนมาก ช่วยให้มีความหนาแน่นและขนาดที่เล็กลงและสามารถปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ



UK nuclear submarine layout



French integral PWR system for submarine (steam generator within reactor pressure vessel)

รูปที่ 4 แสดงการใช้งาน SMR ในเรือดำน้ำและในยานอวกาศ [2]

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Panklib T. Energy storage technologies for renewable energy. J Energy Environ Technol Grad Sch Siam Technol Coll. 2022;9(1):103–117.
- [2] Energy Regulatory Commission (ERC). Energy articles [Internet]. Bangkok: Energy Regulatory Commission; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://www.erc.or.th/th/energy-articles/2924>
- [3] Green Network Thailand. SMR nuclear power plant [Internet]. Bangkok: Green Network Thailand; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://www.greennetworkthailand.com/smr-nuclear-power-plant>
- [4] Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). Power generation information [Internet]. Nonthaburi: EGAT; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://ned.egat.co.th/index.php/component/spagebuilder/?view=page&id=50>
- [5] Kader A. Small modular reactors [Internet]. Stanford (CA): Stanford University; 2022 [cited 2025 Aug 27]. Available from: <http://large.stanford.edu/courses/2022/ph241/kader1/>

- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). What are small modular reactors (SMRs)? [Internet]. Vienna: IAEA; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>
- [7] ScienceDirect Topics. Small nuclear reactors [Internet]. Amsterdam: Elsevier; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/small-nuclear-reactors>
- [8] Nuclear Power. Nuclear power plant [Internet]. [place unknown]: Nuclear Power; [cited 2025 Aug 27]. Available from: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/>