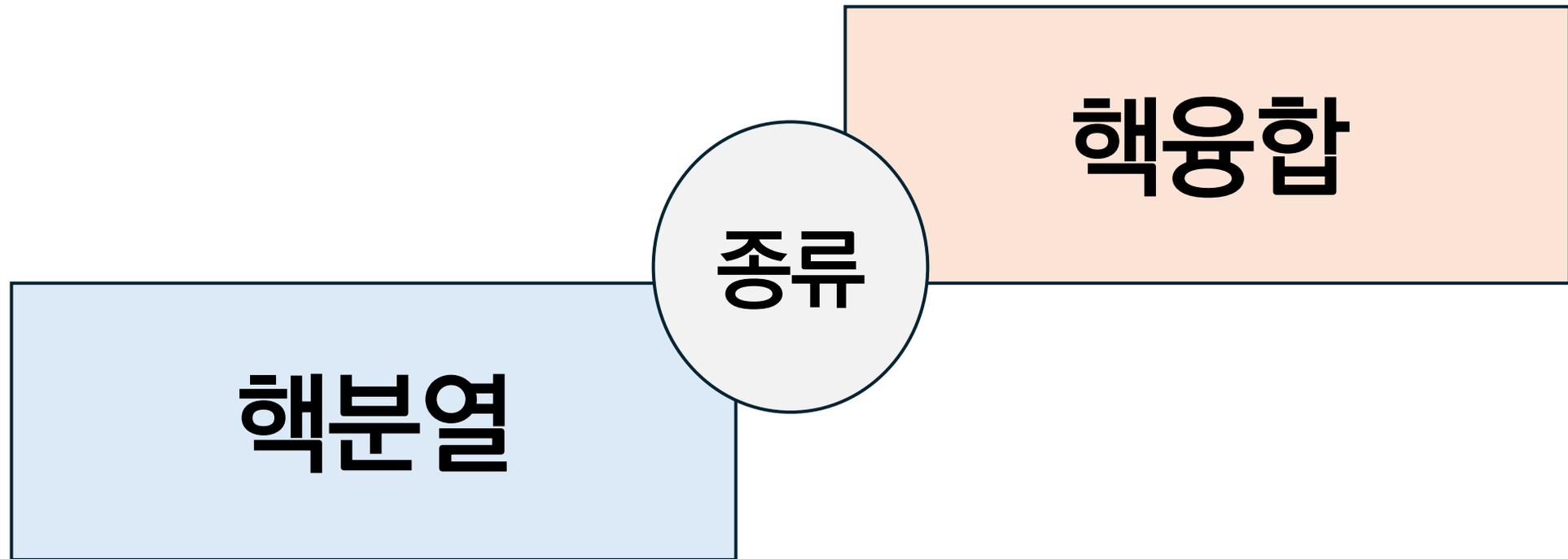


원자력 에너지

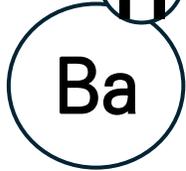
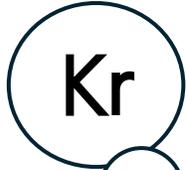
물리 2-a팀
2210 김지환
1603 이채원
1616 윤건하

1. 원자력이란 무엇인가

- 원자력: 한 원자핵이 다른 원자핵으로 변환되는 과정에서 방출되는 에너지



핵분열



핵융합

H

H

D e
중성
미자

원자력의 원리

- 아인슈타인의 상대성 이론

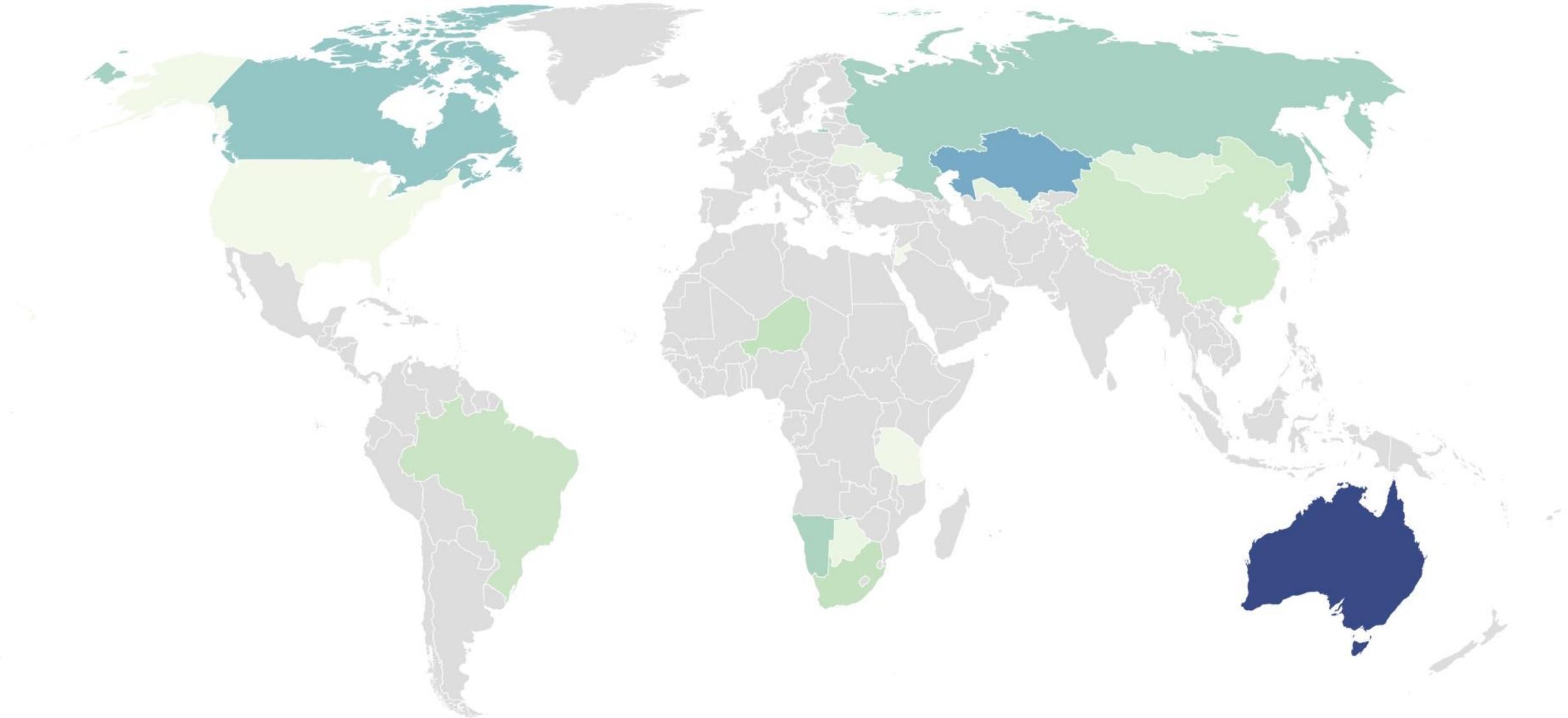
$$\rightarrow E = mc^2$$

- 한 개의 우라늄 원자 \rightarrow 2억eV

\rightarrow 1g의 우라늄으로 석탄 3000톤

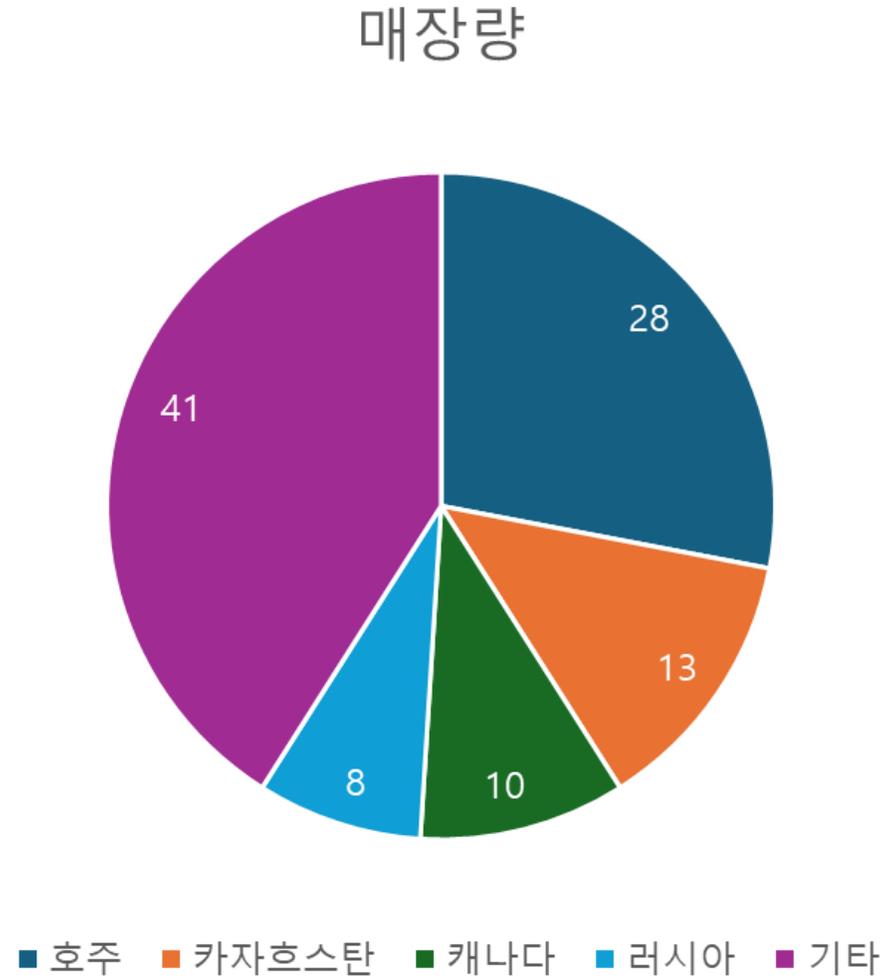
- 핵분열, 핵융합을 하면 중성자가 나오게 되고, 이 중성자는 다시 핵반응을 일으킨다. \rightarrow 연쇄반응

핵연료의 분포와 매장량 - 핵분열



핵연료의 분포와 매장량 - 핵분열

	비율
호주	28%
카자흐스탄	13%
캐나다	10%
러시아	8%
기타	41%



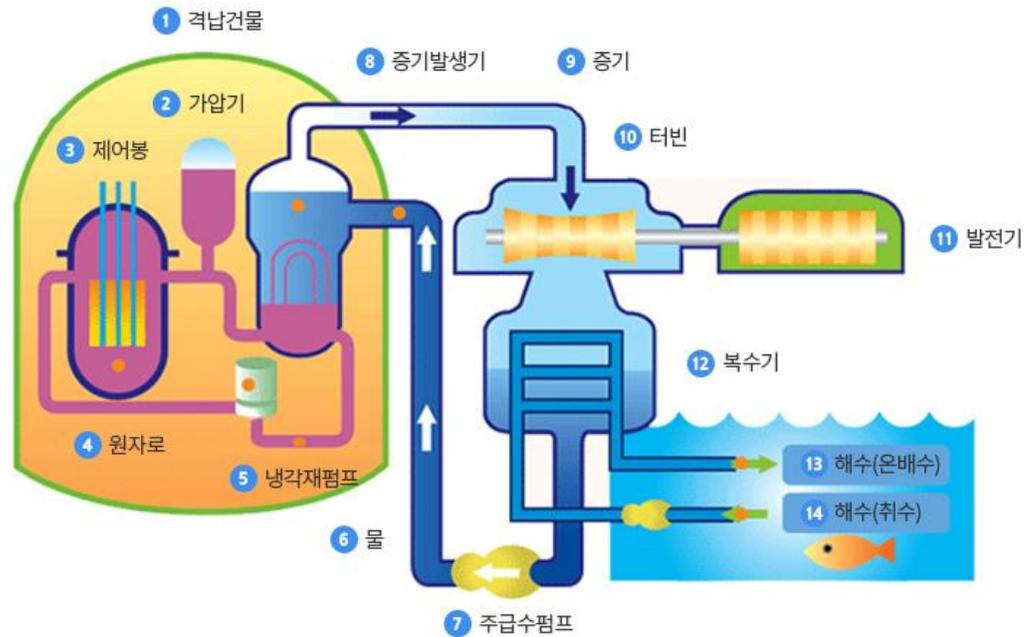
우리나라 원자력발전의 현황 - 핵분열

- 발전량: 원자력 발전량 143,947.00GWh(2019)로 전체(536,951)의 약 27% 차지
- 원전 건설 현황: 가동 25, 건설중 3, 영구정지 2, 건설계획 0
- 1956 미국과 협력을 시작으로 현재 21개국과 협력 기반 마련
- 슬로베니아, 중국, 루마니아 등 국가에 기자재 공급, 설비공급, 기술지원 과 중국에 추가적으로 교육훈련 진행

한국의 우라늄광 - 핵분열

- 총 매장량: 1억 1천 600만톤, 0.035%개발
- 매장지역: 충북(괴산, 보은, 음성, 청원), 충남(금산, 대전), 경기도(양평, 가평), 강원도(화천, 철원)
- 충북 괴산, 음성에 존재하나 낮은 품질

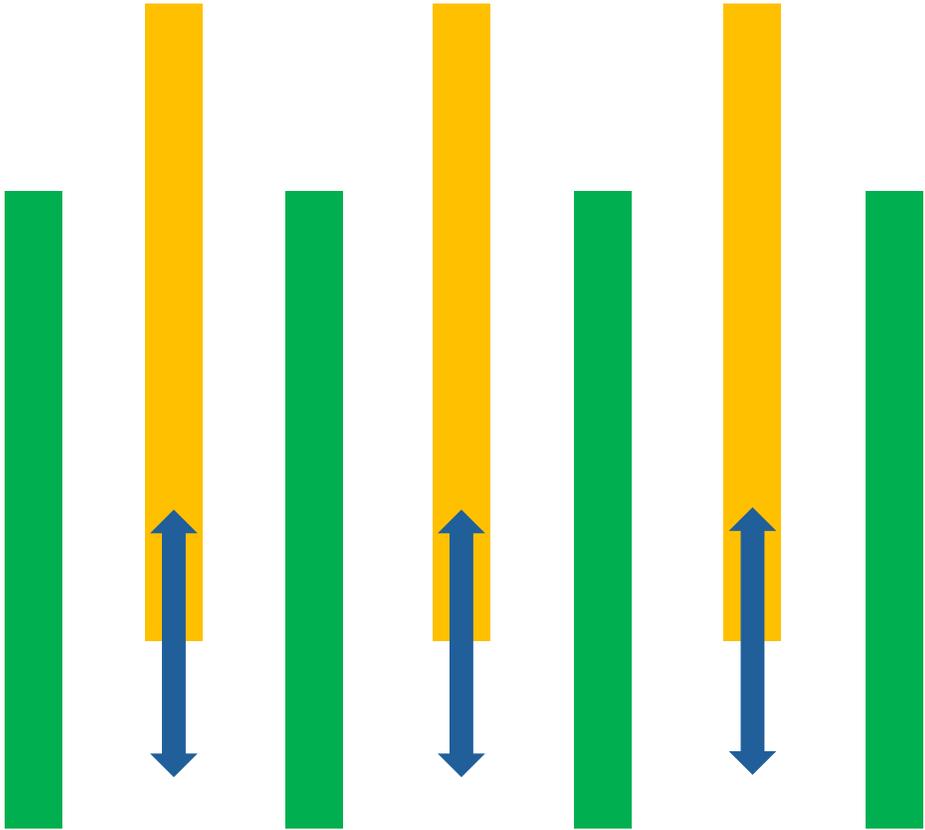
원자로란 - 핵분열



- | | | | |
|--------|---------|--------|------------|
| 1 격납건물 | 5 냉각재펌프 | 9 증기 | 13 해수(온배수) |
| 2 가압기 | 6 물 | 10 터빈 | 14 해수(취수) |
| 3 제어봉 | 7 주급수펌프 | 11 발전기 | |
| 4 원자로 | 8 증기발생기 | 12 복수기 | |

- 기본적인 발전 원리는 타 발전기와 동일
- 열 발생 방식에서 핵분열 사용
- 안전장치: 제어봉, 가압기

원자로란 - 제어봉



원자로의 반응은 핵폭탄과 유사 -> 폭발을 막기 위해 제어봉 사용

1. Safety rod: 위험 시 반응 차단. 기계적 오류 발생 시에도 작동하도록 설계

Regulating rod: 반응 조절. 중성자를 흡수해 반응을 조절함. 반응성을 조절하는 것을 목표로 함. 빠른 중성자 흡수.

shim rod: 에너지 생산에서 미세하게 발생하는 반응성의 손실을 보상함. 느리지만 많은 중성자 흡수

원자로란 - 가압기

원자로 냉각을 위해 155기압(끓는점 약 섭씨 340도)의 물 사용.

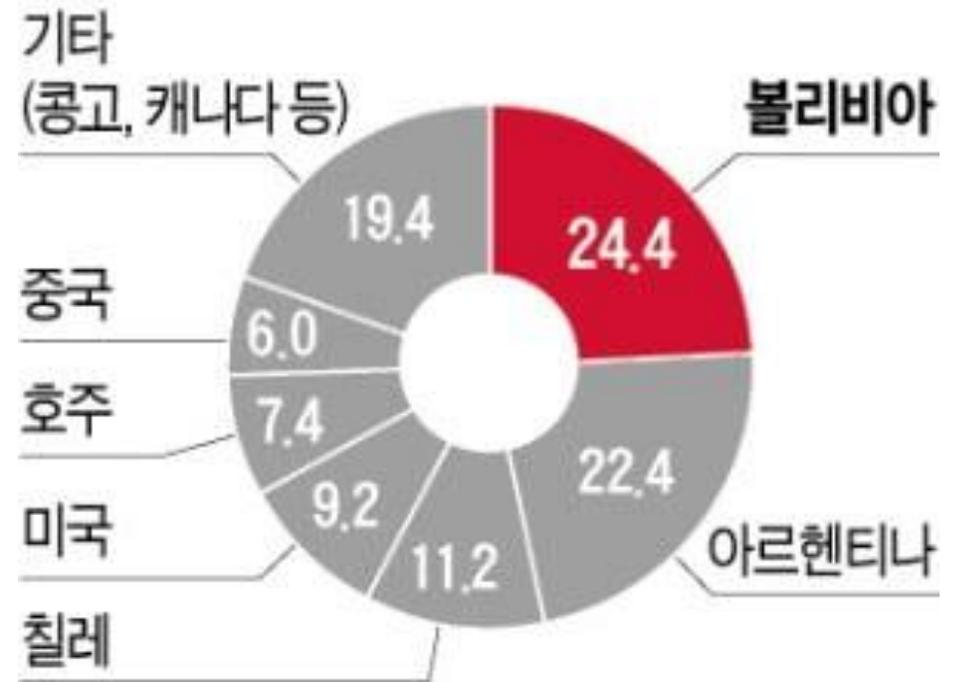
압력 저하 시 히터로 압력 증가

압력 감소 시 추가적인 냉각수로 압력 감소시켜 냉각관의 압력 유지.

핵연료의 분포와 매장량 - 핵융합

- 삼중수소: 발전 과정에서 발생
- 중수소: 바닷물에서 추출 가능
- 리튬: 광물 통해 채취

국가별 리튬 매장량(단위: %)



자료: 미국 지질조사국(2021년 1월)

우리나라 원자력발전의 현황 - 핵융합

- 2007: KSTAR완공
-
- 2016: 세계 최초 고성능 플라즈마(H-모드) 운전 70초 지속(세계 최고기록)
-
- 2018: 이온온도 1억도 초고온 플라즈마 운전 최초 달성
-
- 2021: 20초 1억도 운전 달성(세계 최고기록)
-
- 2022: 30초 1억도 운전 달성(세계 최고기록)
-
- 새로운 운전모드 FIRE모드 발견 - 초고온 플라즈마 운전 시간 48초, H-모드 운전시간 102초로 증가



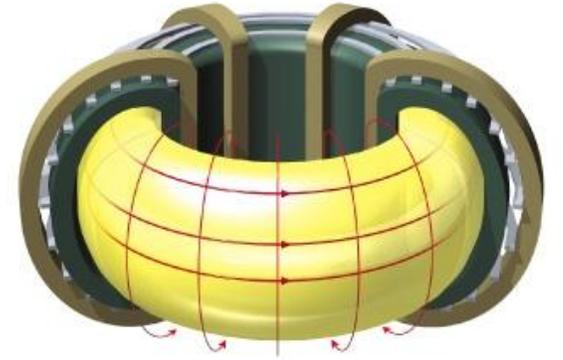
우리나라 원자력발전의 현황 - 핵융합

- 슈퍼컴퓨터 크라켄(KRAKEN): 플라즈마의 미세난류와 불안정성 분석 및 고성능 플라즈마 운전조건 탐색
- 슈퍼컴퓨터 카이로스(KAIROS): 핵융합 최대 난제인 플라즈마 경계면 불안정성(ELM)문제 해결 연구



원자로란 - 핵융합

- 토카막 (toroidalnaya kamera(chamber) magnitnykh(magnet) katushkah(coil)) :
도넛모양의 진공용기로, D자형의 초전도자석을
통해 플라즈마를 가둠



- Kstar는 초전도 자석을 사용해 타 원자로보다 긴 운전 가능
- 그 외 발전방식은 타 발전기와 동일

원자로란 - 블랑켓



에너지 생산 및 삼중수소 재생산

1. 리튬 화합물 층: 중성자와 반응해 삼중수소를 생성. 핵융합의 가장 큰 경제적 문제 해결
2. 냉각재 층: 발전에 사용할 열을 흡수

원자로의 분류

원자로	경수로(LWR)	<u>가압수형로(PWR, Pressurized Water Reactor)</u>
		<u>비등수형로(BWR, Boiling Water Reactor)</u>
	중수로(PHWR)	<u>CANDU(캐나다)</u>
	가스냉각로(GCR)	
	<u>고속중식로(FBR)</u>	

원자로의 분류

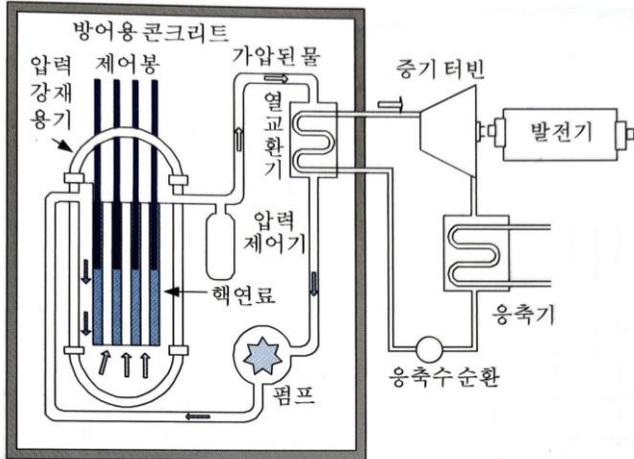


그림 7.4 | 가압경수로의 개략도

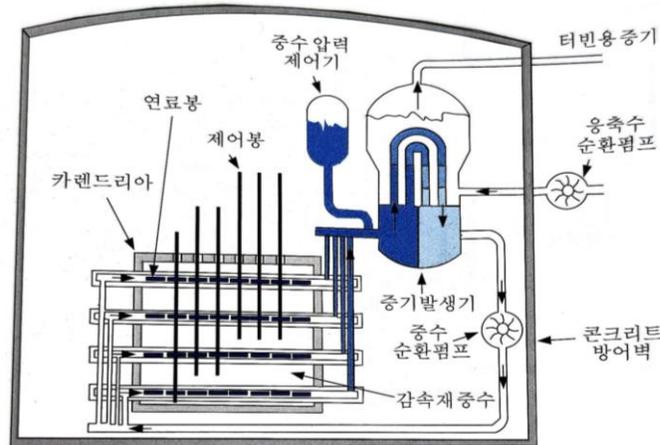


그림 7.6 | 중수로의 개략도 (CANDU형)

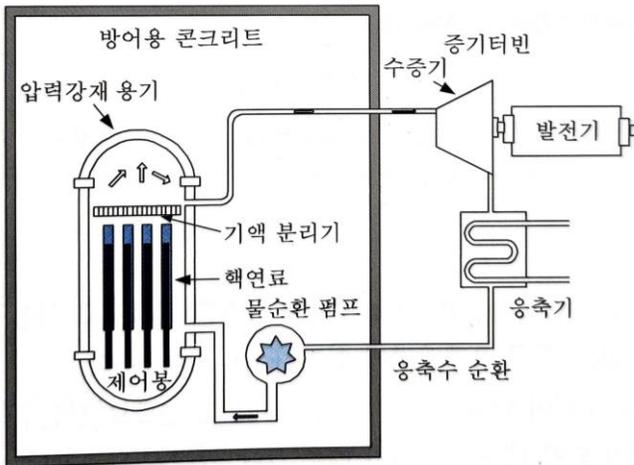


그림 7.5 | 비등경수로의 개략도



연료봉

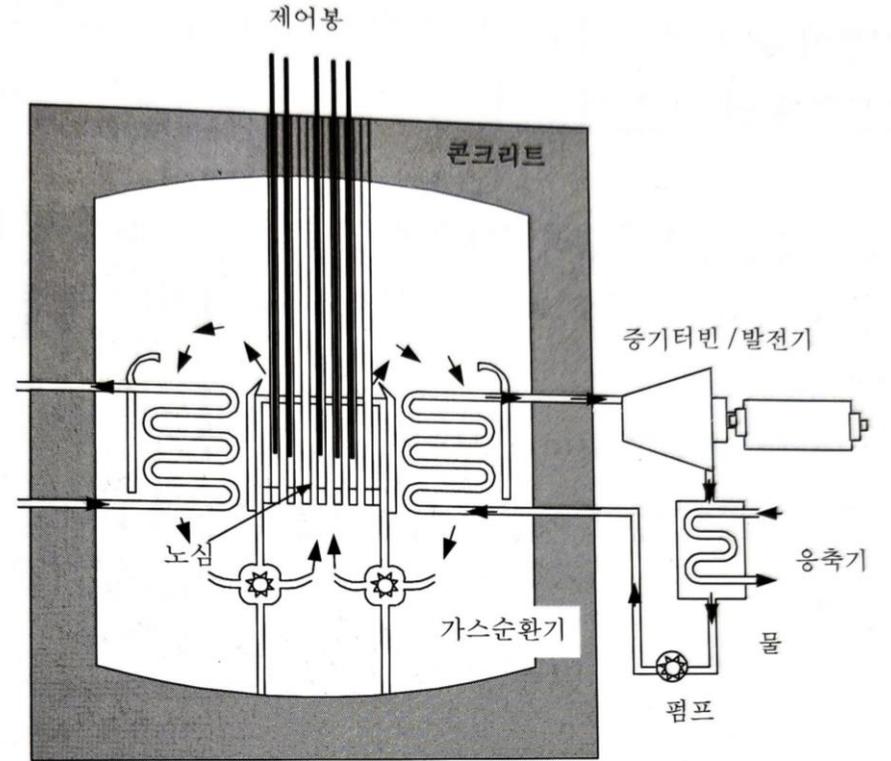


그림 7.7 | 가스냉각로 (Gas Cooled Reactor)

현재 가동 중인 상업용원자로의 형식

-상업용원자로란?

전기생산을 목적으로 하는 원자로

대부분이 가압형 경수로이고, 비등형 원자로는 우리나라에는 도입하고 있지않다.
다만 미국과 일본에서 사용하고 있다.

CANDU 형의 중수로는 종주국인 캐나다가 주로 설치하였고, 가스냉각로는 영국이 개발하여 18기를 보유하고 있다.

원자로의 세대별 발전

1세대 원자로(GEN-I):

(1950년대~1960년대) 원형 원자로(prototype)

미국의 PWR의 서핑포트, BWR의 드레스덴, 영국의 흑연감속 탄산가스 냉각의 매그녹스

2세대 원자로(GEN-II):

(1960년대~1990년대)현재의 상업용 원자로

PWR, BWR, CANDU 및 러시아의 VVER, RBMK

3세대 원자로(GEN-III):

(1990년대~2010년대)2세대 원자로 개량

우리나라 표준 원자로 OPR-1000

4세대 원자로(GEN-IV):

(2010년대~) 2001년 7월, 여러 나라가 원자로와 고속증식로의 공동 개발을 위해 제4세대 국제포럼(GIF)을 결성하고, 2030년까지 도입 가능한 차세대 원자로와 단기도입원자로를 선정

단기도입 5개 원자로 개념

1. 개량형 BWR

ABWR-2, HC-BWR

2. 개량형 압력 관형로(ACR-700, Advanced CANDU Reactor)

캐나다에서 차세대CANDU로 개발 중인 중수감속 경수냉각 압력관형로

3. 개량형 PWR(Advanced Pressurized Water Reactor)

기존 PWR개량, 3세대 원자로의 개념을 그대로 가지고 있음

4. 일차계통 일체형로(Integral Primary System Reactor)

순환펌프, 증기 발생기 등의 1차 냉각계통을 원자로 용기 내에 설치, 대형냉각재 상실 사고의 가능성을 없앤 노형

5. 모듈러형 고온 가스 냉각로(Modular High Temperature Gas-cooled Reactor)

제 4세대 원자로에서 개념이 도입되고 있는 초고온가스로의 기초적인 역할을 할 것으로 기대됨

핵융합의 원리

- 초고온, 고압에서 가벼운 원자들이 충돌해 무거운 원자가 된다. (ex: 태양)
- 그러나 우리는 H를 핵융합 시킬만큼의 '초고온'은 생성 불가.
→ 중수소, 삼중수소 이용

핵융합의 종류

- 플라즈마 방식: 토카막, 우리나라가 연구 중. (KSTAR)
→ 3000도 이상의 초고온을 유지할 용기? 없다.
- 레이저 방식: 어려워요.
- 융합-분열 하이브리드: 핵분열로 나온 핵 폐기물에 중수소를 쏘아주면 크게 반응하며 빠르게 연소
- 상온 핵융합