

2022. 6. 8

Overweight

산업분석  
유틸리티

# Small Modular Reactor

크기가 전부는  
아니잖아요

Part I NPP (Nuclear Power Plant)  
Part II SMR (Small Modular Reactor)  
Part III BTB (Back to the Basic)

eBEST<sup>o</sup>  
이베스트투자증권

운송/유틸리티

Analyst **나민식**

02 3779 8754

minsik@ebestsec.co.kr



이베스트투자증권 **나민식**입니다.

2022년 5월 한미 정상회담에서 해외 원전 시장에서 양 국가간 협력 강화를 약속했습니다. 또한 회복력 있는 원자력 공급 망 구축과 SMR 개발을 가속화하기로 발표했습니다. 자연스럽게 주식시장에서도 원전과 관련된 다양한 종목들이 언급되고 있습니다.

이번 리포트에서는 대형 원자력 발전소의 설계도를 중심으로 내용을 알아했습니다. 원전 구조를 해부하면 어떤 부품이 사용되며, 어디가 진입장벽이 높은지 판단이 가능하기 때문입니다. 또한 대형 원자력 발전소의 구조에서 파생되는 한계점을 이해하면 차세대 원전으로 떠오르는 SMR(Small Modular Reactor)의 기술개발 방향성을 읽어 볼 수 있습니다.

자료는 크게 3가지 부분으로 구성했습니다. [Part1] 대형 원자력 발전소에 대해서 반드시 알아야 하는 내용을 담았습니다. 핵분열의 원리, 원자로 종류, 발전소 구조, Supply-chain 등 원자력 관련 종목에 투자에 필요한 지식을 정리했습니다. [Part2] 대형원전의 한계점을 극복한 SMR이 각광을 받고 있습니다. 그렇다면 SMR이란 무엇인지, 어떤 장점이 있는지, 현재 개발단계는 어디까지 진행이 되었는지를 담았습니다. [Part3] 원전 산업을 한눈에 볼 수 있는 다양한 데이터를 넣었습니다. 원전 시장에서는 어떤 주체가 활동을 하는지, 원전 비용구조는 어떻게 형성이 되어있는지를 확인하실 수 있습니다.

관련종목으로는 **두산에너지빌리티(034020)**를 제시합니다.

감사합니다.

# Contents



## Small Modular Reactor 크기가 전부는 아니잖아요

- Part I  
**04** NPP (Nuclear Power Plant)  
원자력 발전소 해부
- Part II  
**38** SMR (Small Modular Reactor)  
Why SMR?
- Part III  
**58** BTB (Back to the Basic)  
원전 산업 한눈에 보기

Part I

# NPP (Nuclear Power Plant)

## 원자력 발전소 해부

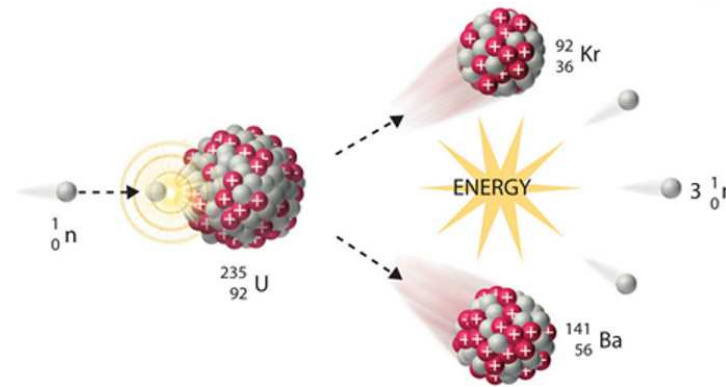
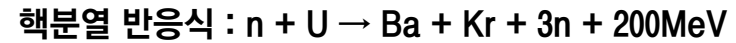
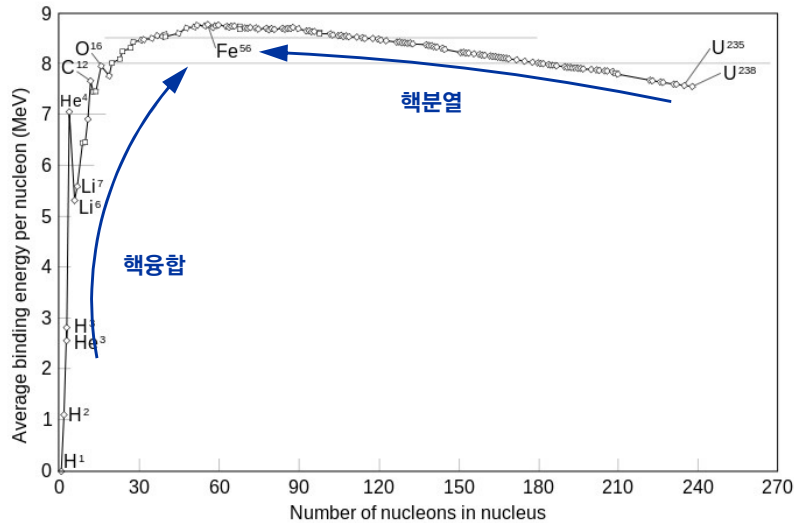
- 핵분열 원리
- 원자로 종류
- 원자력 발전소 구조 & Supply Chain
- 핵연료 주기

# 핵분열 원리

## ● E=mc<sup>2</sup>, 질량-에너지 등가법칙

- 핵분열은 '무거운 원자핵이 가벼운 원자핵으로 분열되는 현상'
- 중성자가 우라늄과 충돌 → 우라늄은 바륨과 크립톤으로 붕괴되면서 중성자 3개와 에너지가 발생한다
- 핵분열 과정에서 질량결손이 나타난다. 질량-에너지등가 법칙에 따라서 감소한 질량만큼 에너지가 발생
- 연쇄반응이 빠르게 일어나면 핵폭탄, 안정적으로 운영하면 원자력발전으로 사용

핵 결합 에너지



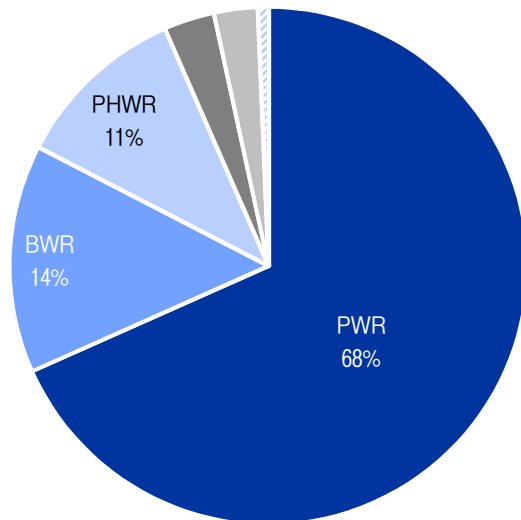
양성자수	$0 + 92 = 56 + 36 + 0$	→	양성자수 보존
질량수	$1 + 235 = 141 + 92 + 3$	→	질량수 보존
질량	반응전 질량 > 반응후 질량	→	감소한 질량만큼 에너지 발생

# 원자로 종류

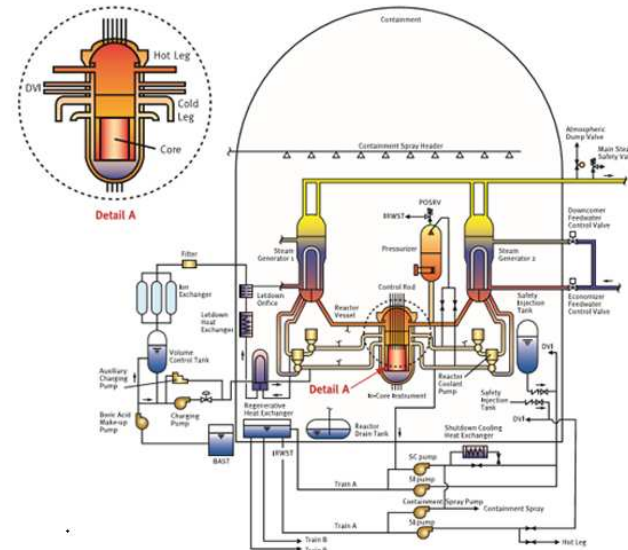
## ● 글로벌 원자로(Nuclear Reactor) 종류 및 현황

- 원자로는 냉각제, 감속제, 연료, 내부구조에 따라서 다양한 종류로 나뉜다
- 전 세계에서 442기 원자로가 가동 중. 현재 주력으로 사용하고 있는 있는 PWR, BWR, PHWR의 구조와 특징을 이해할 필요가 있다
  - ① 원전 관련한 다양한 종목이 언급되고 있음. 원전의 구조를 이해하면 어떤 부품이 사용되며, 진입장벽이 어디가 높은지 판단이 가능해짐
  - ② 또한 현재 사용하는 대형원전의 한계점을 이해하면 향후 SMR 기술개발 방향성을 읽어 볼 수 있음

글로벌 원자로 비중 (2020)



APR1400 계통도



# 원자로 종류

## ● 글로벌 원자로(Nuclear Reactor) 종류 및 현황

- 원자로는 냉각제, 감속제, 연료, 내부구조에 따라서 다양한 종류로 나뉜다
- 전 세계에서 442기 원자로가 가동 중. 현재 주력으로 사용하고 있는 있는 PWR, BWR, PHWR의 구조와 특징을 이해할 필요가 있다
  - ① 원전 관련한 다양한 종목이 언급되고 있음. 원전의 구조를 이해하면 어떤 부품이 사용되며, 진입장벽이 어디가 높은지 판단이 가능해짐
  - ② 또한 현재 사용하는 대형원전의 한계점을 이해하면 향후 SMR 기술개발 방향성을 읽어 볼 수 있음

## 원자로 종류 한번에 정리하기

구분	가압 경수로	비등수형 원자로	가압 중수로	개량 가스냉각로	흑연 감속로	고속 증식로
	Pressurized Water Reactor	Boiling Water Reactor	Pressurized Heavy Water Reactor	Advanced Gas Reactor	Light Water Graphite Reactor	Fast Breeder Reactor
노심 높이 (m)	4.2	3.7	5.9	8.3	7.0	1.0
노심 지름 (m)	3.4	4.7	6.0	9.3	11.8	3.7
용기 형태	Cylindar	Cylindar	Tubes	Cylindar	Tubes	Cylinder
연료	이산화 우라늄 (UO <sub>2</sub> )	이산화 우라늄 (UO <sub>2</sub> )	이산화 우라늄 (UO <sub>2</sub> )	이산화 우라늄 (UO <sub>2</sub> )	이산화 우라늄 (UO <sub>2</sub> )	플루토늄, 우라늄 (PuO <sub>2</sub> /UO <sub>2</sub> )
농축도	농축 우라늄 (3~5%)	농축 우라늄 (3~5%)	천연 우라늄 (3~5%)	농축 우라늄 (3~5%)	농축 우라늄 (3~5%)	농축 우라늄 (15~20%)
냉각제	경수 (H <sub>2</sub> O)	경수 (H <sub>2</sub> O)	중수 (D <sub>2</sub> O)	이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	경수 (H <sub>2</sub> O)	나트륨 (Sodium)
감속제	경수 (H <sub>2</sub> O)	경수 (H <sub>2</sub> O)	중수 (D <sub>2</sub> O)	흑연 (Graphite)	흑연 (Graphite)	-
증기 발생기 구조	간접형	직접형	간접형	간접형	직접형	간접형
냉각제 온도 (°C)	330	285	310	650	285	600
열효율(%)	31-36	30-35	29-32	38-43	~32	40-45

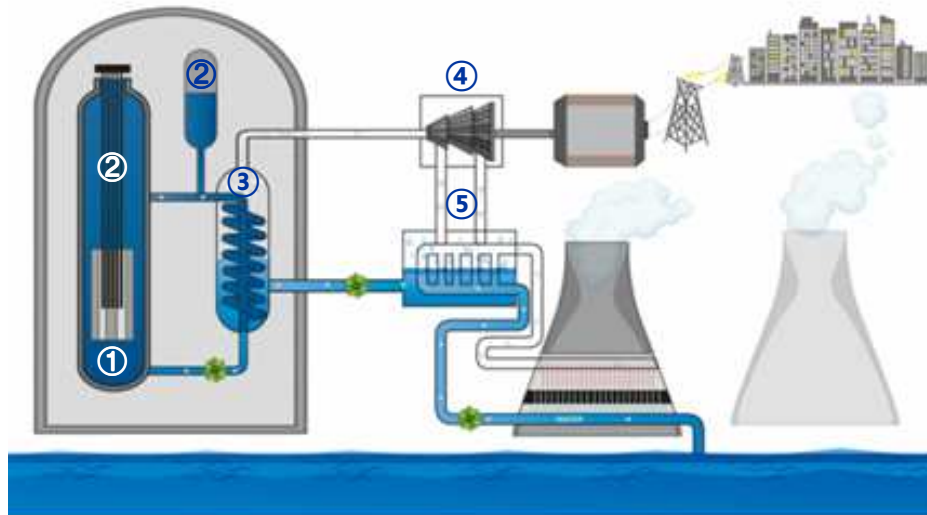
자료: IAEA, 한전기술, 이베스트투자증권 리서치센터

# 원자로 종류

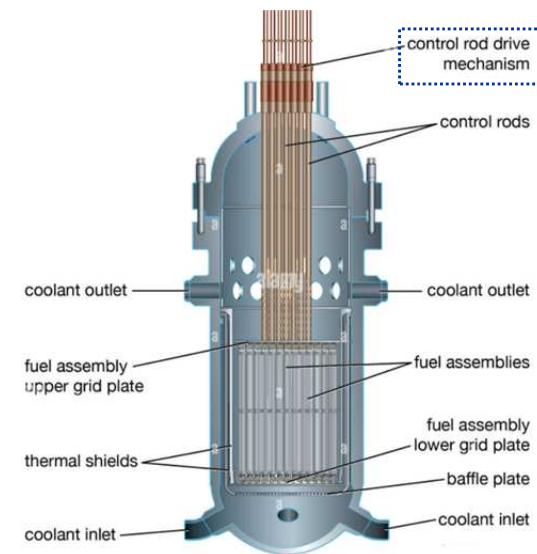
## ● 가압경수로 (PWR, Pressurized Water Reactor) : 작동방식

- ① 원자로 노심에서 핵분열과 함께 열이 발생한다 (330℃)
- ② 원자로에서 발생한 열을 흡수하며 1차 계통 냉각수 온도가 상승한다. 가압기 때문에 1차 계통 냉각수는 325℃ 에서도 비등(boiling) 하지 않음
- ③ 증기 발생기에서 1차 계통, 2차 계통 냉각수 간 열 교환이 발생한다. 열을 흡수한 2차 계통 냉각수는 끓기 시작하면 증기를 생산한다.
- ④ 생산된 증기는 증기 관(Steam line)을 따라서 발전기 터빈을 회전시킨다.
- ⑤ 전기 생산에 사용된 증기는 응축기(condenser)를 거치면서 다시 냉각수로 변환된다

가압경수로 작동방식 및 구조



PWR 원자로 구조



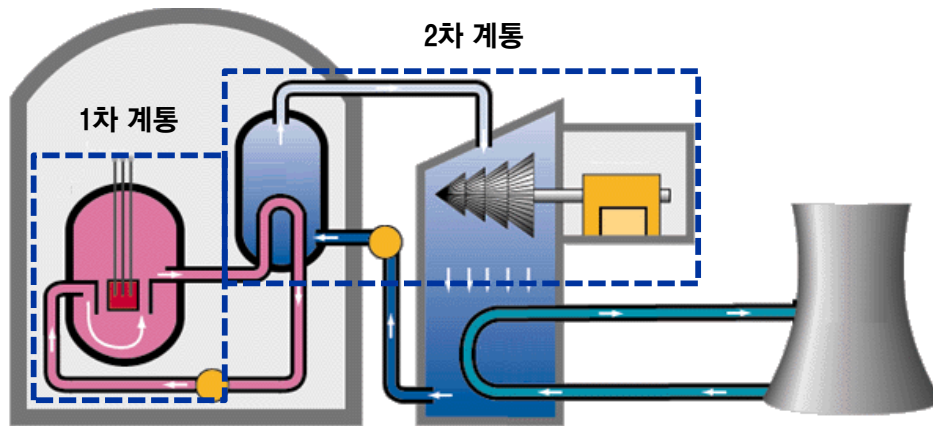


# 원자로 종류

## ● 가압경수로 (PWR, Pressurized Water Reactor) : 특징

- 내부 냉각수에 압력을 가해서 물이 끓지 않도록 하는 구조 → 압력을 가하기 때문에 PWR(Pressurized Water Reactor)이라 한다
- 설계 구조상 원자로와 직접 연결된 1차 계통(Primary System), 그리고 증기 발생기와 연결된 2차 계통(Secondary System)으로 나뉜다
- 높은 안정성 덕분에 전세계 원자로에서 68% 비중을 차지하고 있음.
- 누적 가동시간 역시 가장 많기 때문에 기술 성숙도가 높다

PWR 구조



PWR 장단점

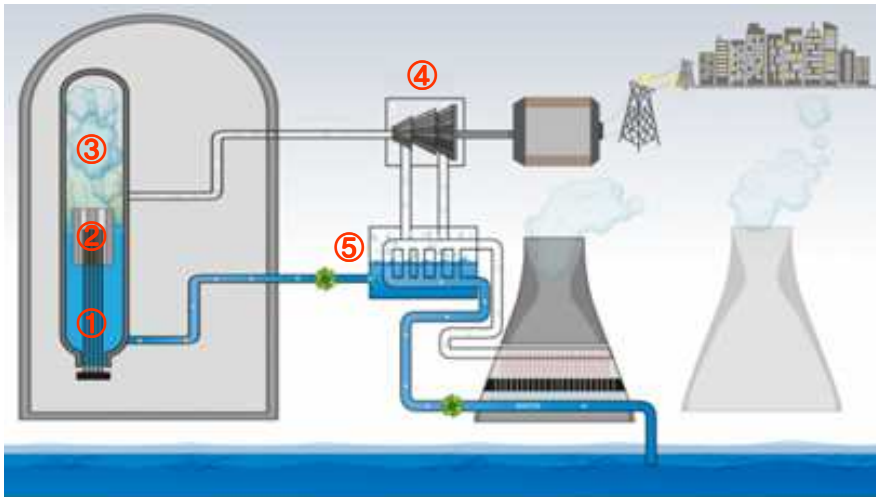
장점	단점
기술 성숙도 높음 원전 안전규제 경험치 높음	높은 부품 안정성 필요 (고압에서 작동)
냉각수 누출사고가 발생시 오염 발생 확률이 적음	원자로, 증기발생기 생산업체가 제한적
외부전력 차단된 상황에서 핵분열 반응 억제 가능	원자로 설계가 복잡해 진다

# 원자로 종류

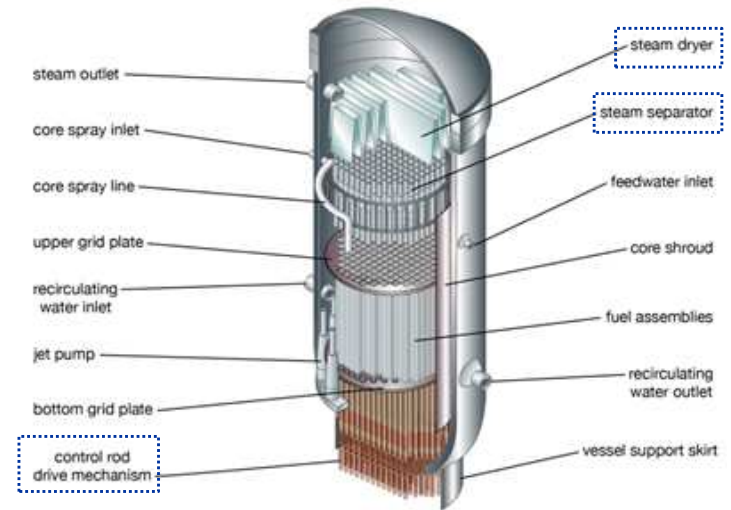
## ● 비등경수로 (BWR, Boiling Water Reactor) : 작동방식

- ① 원자로 노심에서 핵분열과 함께 열이 발생한다 (285℃) → 주전자
- ② 대류현상으로 원자로 위에 올라간 물과 증기 혼합물은 수분제거 과정을 거친다
- ③ 먼저, 증기분리기(Steam separator)를 통과하면서 물방울이 분리된다. 이후 건조기(Steam dryer)를 지나면서 남아있는 수분이 제거됨
- ④ 원자로를 빠져나간 증기는 발전기 터빈을 돌리면서 전기를 생산한다
- ⑤ 전기 생산에 사용된 증기는 응축기(condenser)를 거치면서 다시 냉각수로 변환된다.

### 비등경수로 작동방식 및 구조



### BWR 원자로 구조

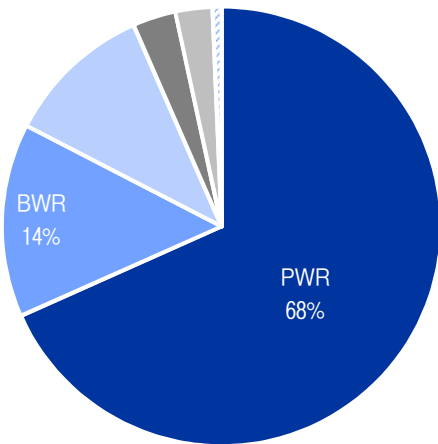


# 원자로 종류

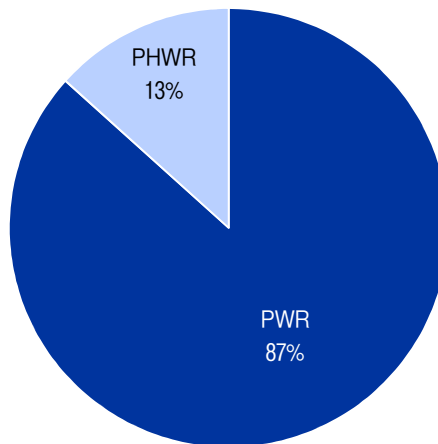
## ● 비등경수로 (BWR, Boiling Water Reactor) 특징

- 원자로 안에서 직접 증기를 생산하는 구조. 원자로 내부에서 냉각제가 비등(boiling) 해서 BWR이라 한다
- 전체 원자로 비중 중에서 14% 차지하고 있음. 안정성이 더 높은 가압경수로가 3세대 원전의 대표주자
- 제어봉 집합체가 노심하부에서 삽입됨 → 외부전원 상실할 경우 원자로 제어 불가능
- 2011년 후쿠시마 원자력 발전소 사고 당시 원전은 BWR형

글로벌 원자로 비중



국내 원자로 비중



BWR 장단점

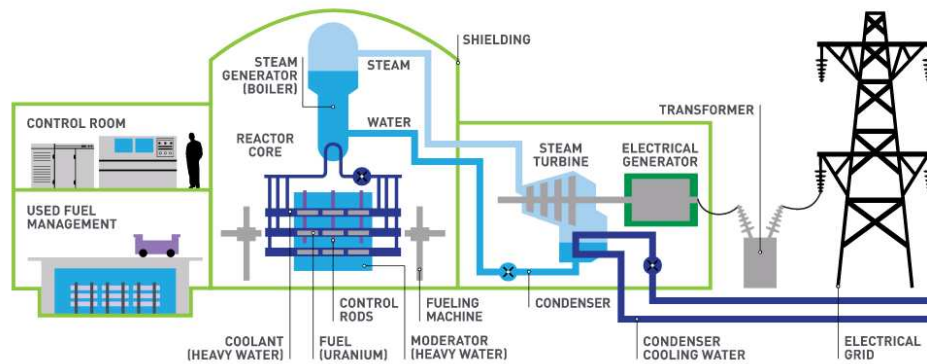
장점	단점
단순한 설계 구조 (증기 발생기, 가압기 ×)	냉각제 누출 시 방사선 유출 가능성 높음
원자로 내부 압력 낮게 유지 가능	유지보수 비용 추가 (발전기 터빈 차폐)
가압 경수로 대비 열 효율이 높다	후쿠시마 원자력 발전소 사고 원자로

# 원자로 종류

## ● 가압중수로 (PHWR) : 특징

- 냉각재와 감속재로 중수(D<sub>2</sub>O)를 사용 → 중수는 경수 대비 중성자 흡수 비율이 낮음 → 농축 우라늄이 아닌 천연 우라늄 사용가능
- 원자로를 수평으로 설치. 원자로를 정상 운영하면서 소량의 핵연료집합체를 교체 할 수 있음 → 높은 가동률 유지 가능
- 캐나다에서 개발, CANDU(CANada Deuterium Uranium) 형이라고도 한다

가압중수로 구조



PHWR 장단점

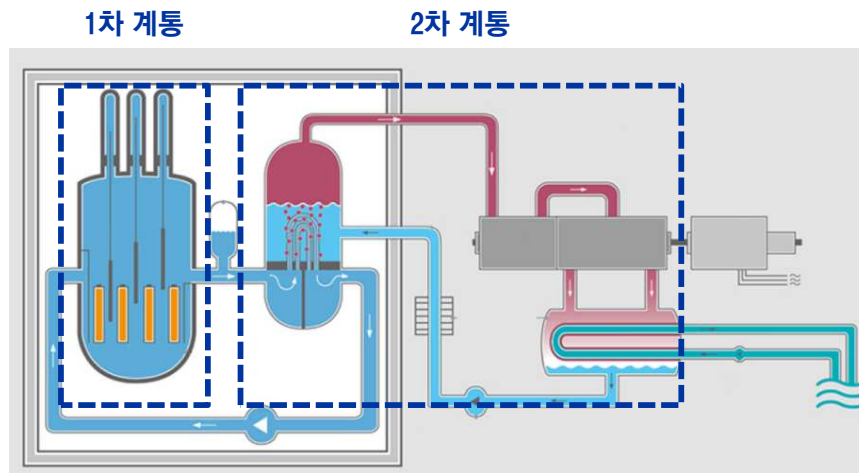
장점	단점
천연 우라늄 사용 (연료비가 저렴)	전체 운용 비용이 높다 (값비싼 중수 사용)
우라늄 농축시설 필요 없음	고준위 핵폐기물 양이 많음
가동률이 높다 (원전 가동 중에 연료 교체)	

# 원자력 발전소 구조\* & Supply Chain

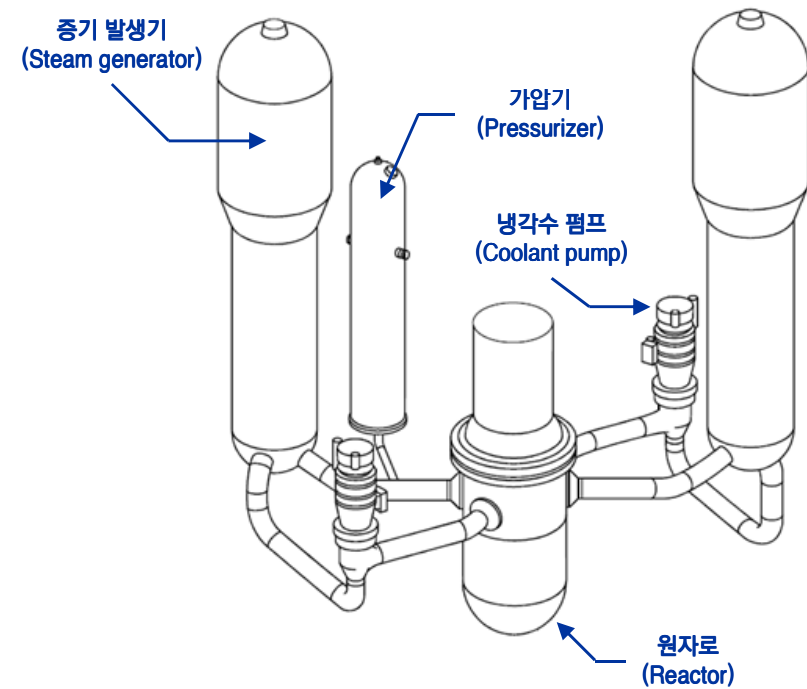
## ● 원자력 발전소 구조

- 1차 계통은 원자로 노심에서 생성된 열을 증기 발생기까지 연결 시켜준다. 2차 계통은 나머지 발전소 터빈과 연결된 시스템.
- 1차 계통은 원전에서 중요한 부품들로 구성됨. 전체 시스템은 압력용기, 증기발생기, 냉각펌프, 가압기 그리고 이를 연결하는 배관으로 구성
- 부품 구성은 동일하나, 설계 디자인에 따라서 증기발생기, 냉각수 펌프의 배치가 달라진다. 설계가 복잡해질 수록 발전용량이 커진다
- Two-loop(0.5GW) → Three-loop(0.7~0.9GW) → Four-loop(0.9~1.2GW). 국내 APR1400은 증기발생기 2개, 냉각수펌프 4개 구조

PWR 구조



Two-loop Westinghouse plant

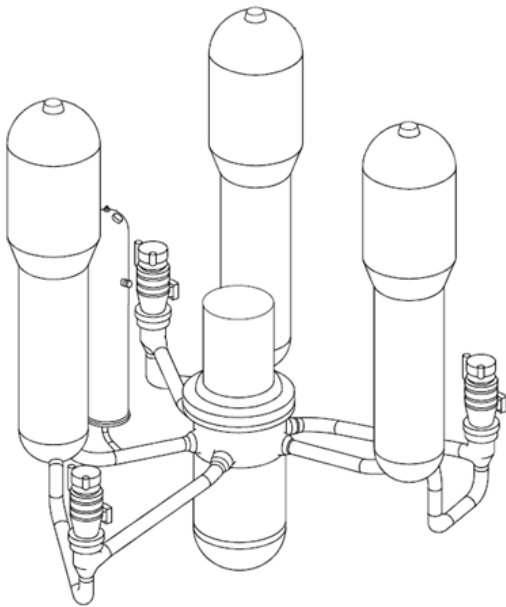


# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

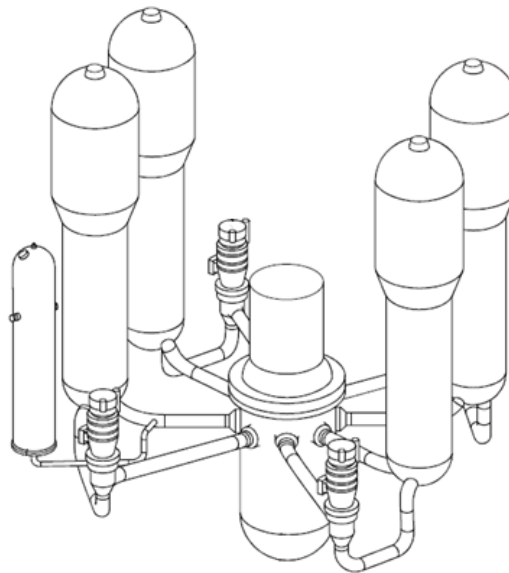
## ● 원자력 발전소 구조

- 1차 계통은 원자로 노심에서 생성된 열을 증기 발생기까지 연결 시켜준다. 2차 계통은 나머지 발전소 터빈과 연결된 시스템.
- 1차 계통은 원전에서 중요한 부품들로 구성됨. 전체 시스템은 압력용기, 증기발생기, 냉각펌프, 가압기 그리고 이를 연결하는 배관으로 구성
- 부품 구성은 동일하나, 설계 디자인에 따라서 증기발생기, 냉각수 펌프의 배치가 달라진다. 설계가 복잡해질 수록 발전용량이 커진다
- Two-loop(0.5GW) → Three-loop(0.7~0.9GW) → Four-loop(0.9~1.2GW). 국내 APR1400은 증기발생기 2개, 냉각수펌프 4개 구조

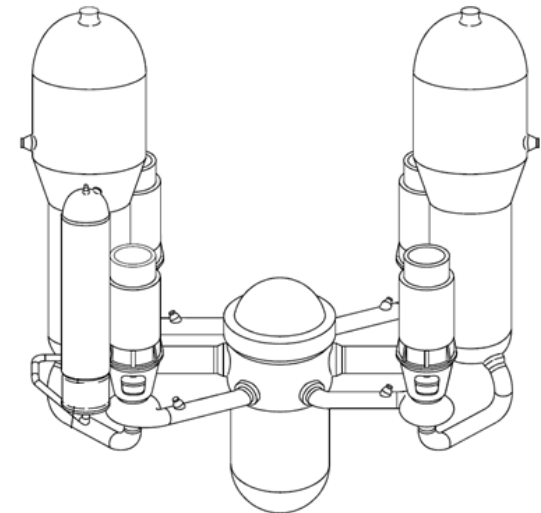
Three-loop Westinghouse plant



Four-loop Westinghouse plant



Combustion Engineering plant

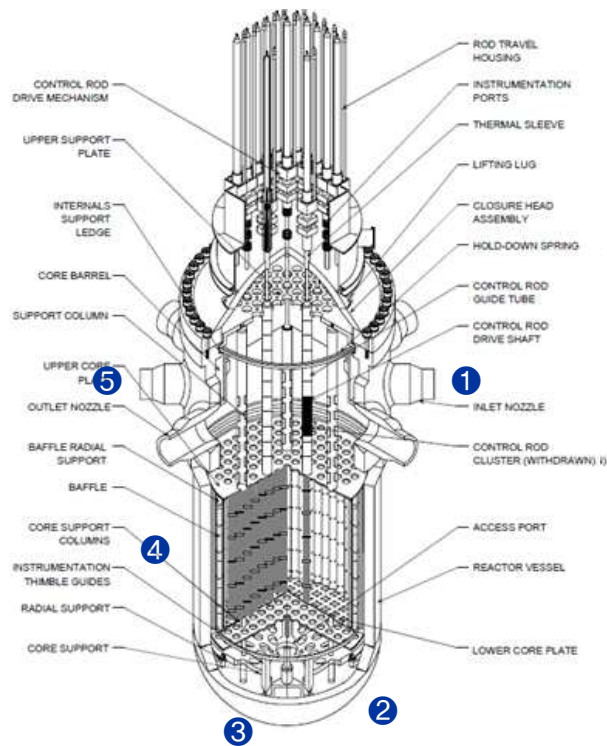


# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 원자로 압력용기(Reactor Pressure Vessel)

- 원자로 압력용기는 갈비뼈 역할을 한다. 심장인 원자로 노심을 보호하고, 냉각수 흐름을 만드는 구조로 설계됨
- 고압에서 안정적으로 버틸 수 있게 두께 20~30cm, 높이 15m에 달하는 구조물 → 생산업체가 제한적
- 압력용기 자체는 몰리브덴 강(manganese molybdenum steel)로 만든다
- 냉각수와 접촉하는 면은 부식을 막기 위해 스테인리스 강(Stainless steel) 사용

원자로 압력용기 단면도



원자로 냉각수 흐름

- 1 Inlet Nozzle을 통해서 냉각수가 압력용기 내부로 공급된다
- 2 압력용기 하부에 도착한 냉각수는 연료 집합체(Fuel assemblies)를 통과
- 3 이 과정에서 핵융합을 통해 생산된 열을 냉각수가 흡수한다
- 4 뜨거워진 냉각수는 압력용기 위로 이동한다
- 5 Outlet Nozzle을 통해서 원자로에서 나온 냉각수는 증기발생기로 향한다

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 원자로 압력용기(Reactor Pressure Vessel)

- 원자로 가압 용기(Reactor pressure vessel)는 소수 업체에서 생산
- 3세대 원전의 원자로 가압용기는 15,000톤 규모의 단조 프레스(forging press)가 필요하다. 이 단조 프레스는 7개 국가에서만 보유하고 있음
- 생산설비 확보에 대규모 자금이 필요하고 원전 프로젝트 불확실성 때문에 원자로 압력용기 생산에 진입장벽이 있음

### ① Forging



### ② Manufacturing



### ③ Assembly



### ④ Assembly



### ⑤ Shipping



### ⑥ Installation



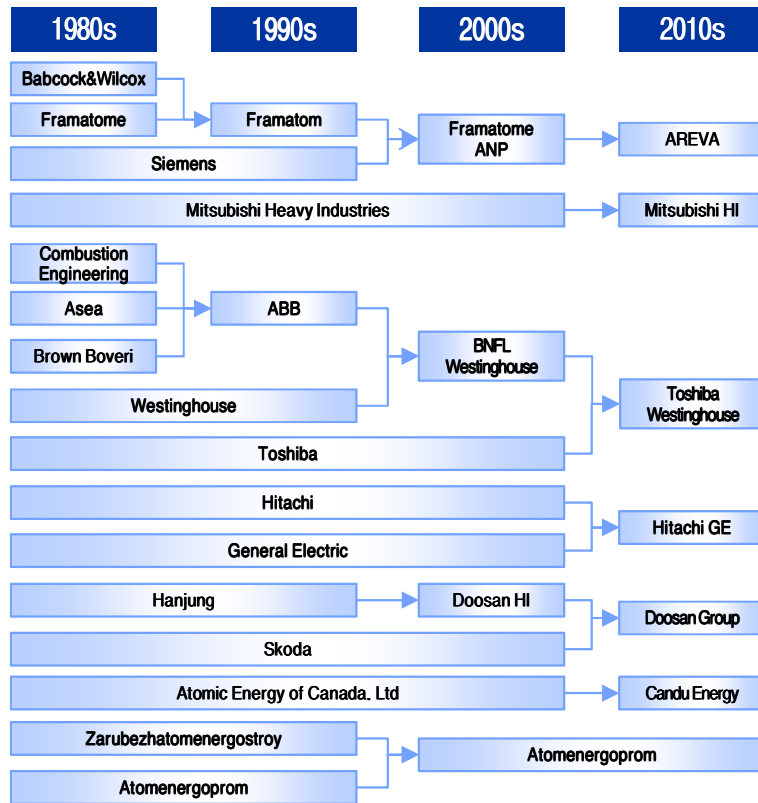


# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

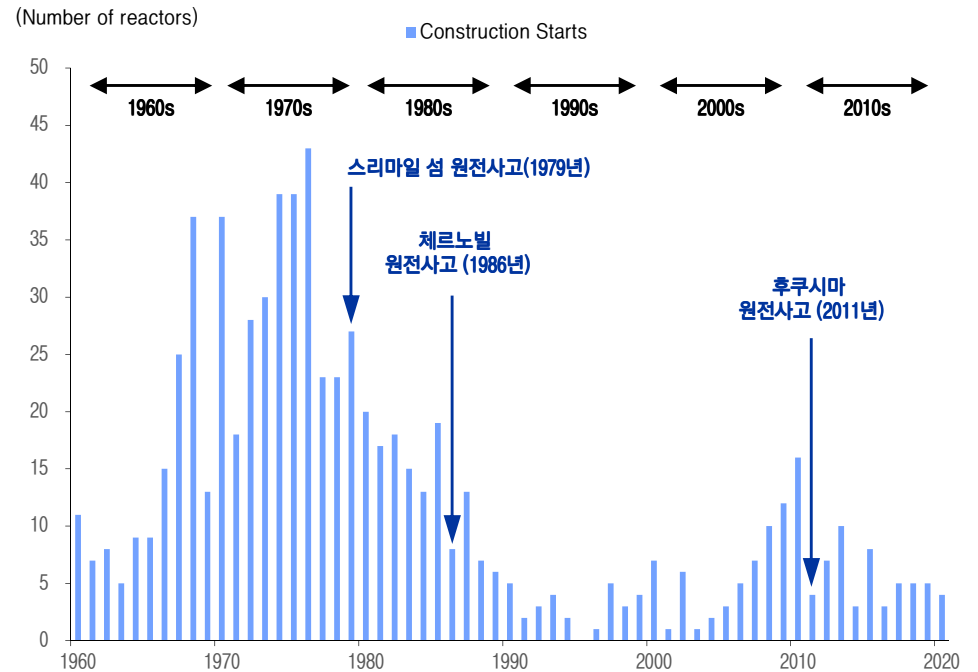
## ● 원자로 압력용기(Reactor Pressure Vessel)

- 원자로 가압 용기(Reactor pressure vessel)는 소수 업체에서 생산
- 3세대 원전의 원자로 가압용기는 15,000톤 규모의 단조 프레스(forging press)가 필요하다. 이 단조 프레스는 7개 국가에서만 보유하고 있음
- 생산설비 확보에 대규모 자금이 필요하고 원전 프로젝트 불확실성 때문에 원자로 압력용기 생산에 진입장벽이 있음

### 원자로 가압용기 생산 업체



### 글로벌 원자력 발전소 건설 추이



# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

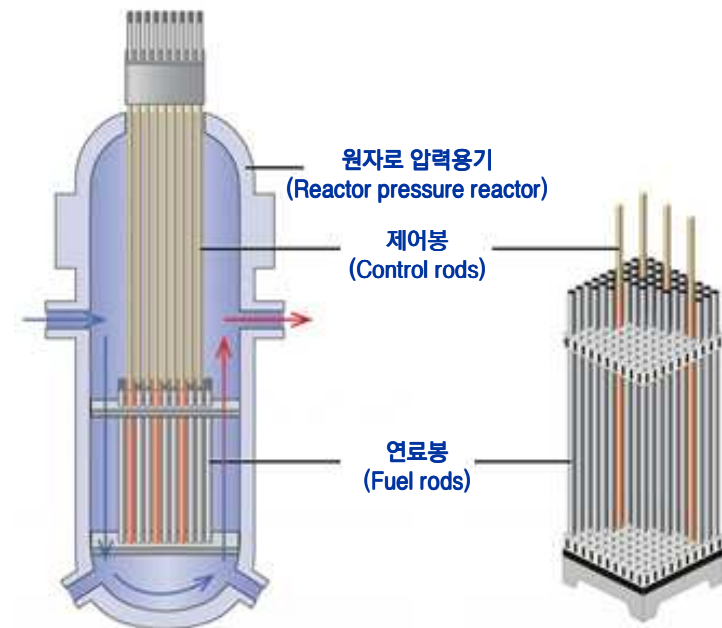
## ● 제어봉(Control Rod)

- 제어봉은 핵분열로 생성된 중성자 3개 중에서 일부 중성자를 흡수하는 역할을 한다
- 핵분열 연쇄반응(Chain reaction)을 일정한 비율로 유지하는 현상을 임계(criticality)라 한다. 임계 상태를 유지하기 위해 중성자 수를 조절
- 연료 펠릿에 삽입해서 연쇄반응 속도를 줄이거나, 제어봉을 제거하면서 연쇄 반응을 촉진하는 방식이다
- 제어봉 생산은 국내외 다양한 업체들이 생산한다

## 핵 연쇄 반응

$k = \frac{\text{total \# of fission events in a given generation}}{\text{total \# of fission event in the previous generation}}$		
$k < 1$	아임계 질량	핵 연쇄 반응은 사라진다
$k = 1$	임계질량	연쇄반응이 일정하게 유지
$k > 1$	초임계 질량	기하급수적으로 연쇄반응 증가

## 제어봉 작동 구조

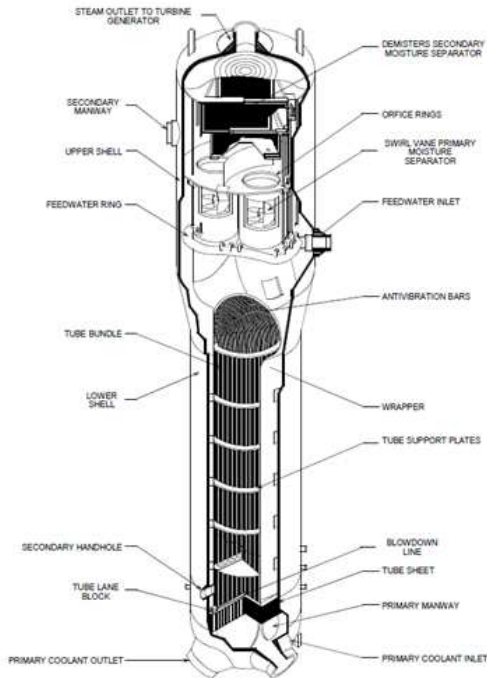


# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 증기 발생기(Steam generator)

- 증기 발생기는 열 교환기 역할을 하는 부품. 원자로에서 발생한 열을 2차 계통으로 옮겨주는 징검다리 역할
- 수직의 U자 모양 관 내부에는 1차 계통 냉각수가 흐른다. 관(Tube) 외부에는 2차 계통 냉각수가 1차 계통 냉각수의 열을 흡수한다
- 2차 계통 냉각수가 충분히 열을 흡수하면 비등(boiling) 하기 시작하며 증기를 생산한다
- RPV와 마찬가지로 크기와 설계 복잡성 때문에 증기발생기 생산업체는 특정 업체로 제한된다

증기 발생기 단면도



증기 발생기 생산업체 (2015)

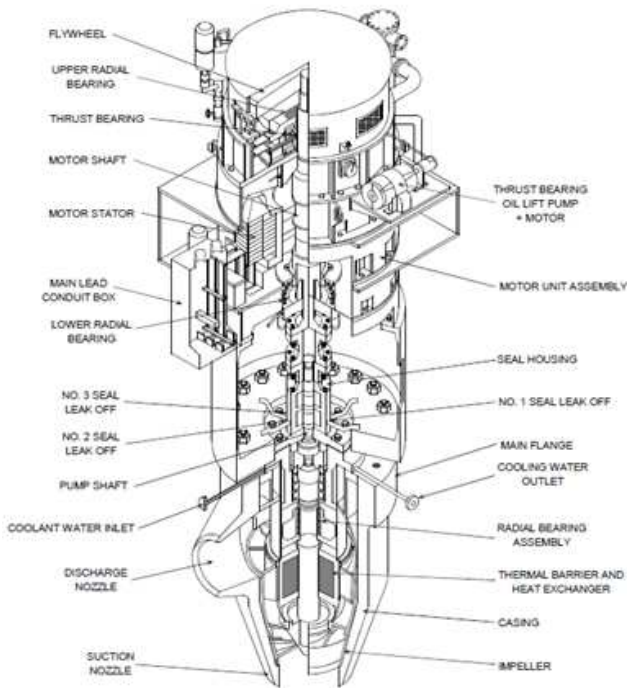
AREVA	France
AtomEnrgoMash	Russia
Babcock and wilcox	U.S
Doosan	Korea
ENSA	Spain
Larsen and toubro	India
Mangiarotti	Italy
Mitsubishi HI	Japan
Shanghai Boiler works	China

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 냉각수 펌프(Coolant pump)

- 냉각수 펌프는 냉각수 순환을 만들어 주는 장치. 안전 측면에서 냉각수 펌프가 항상 작동해야 원자로를 적정 온도로 유지할 수 있음
- 냉각수 펌프가 없더라도 원자로 내부의 온도 차이에서 발생하는 대류현상에 의해 냉각수는 순환한다
- 하지만 원자로에서 발생된 열을 충분히 제거해줄 만큼 유속이 빠르지 않기 때문에 냉각수 펌프가 필요하다
- 클래스1 밸브는 NSSS에 들어간다. 높은 압력에서 버텨야 하기 때문에 생산업체는 제한적, 반면 클래스2 밸브는 많은 기업에서 생산하고 있다

펌프 단면도



펌프 생산업체 (2015)

Curtiss-Wright Flow Control	U.S
Flowserve	U.S
Hayward Tyler	U.S
SPX Flow Technology	U.S
Weir Group	U.K
HMS Pumps	Russia
AtomEnergMash	Russia
EBARA	Japan
Mitsubishi Heavy Industries	Japan
Teikoku Electric Manufacturing	Japan
Shanghai Electric	China
AREVA JSPM	France
KSB AG	Germany

밸브 생산업체 (2015)

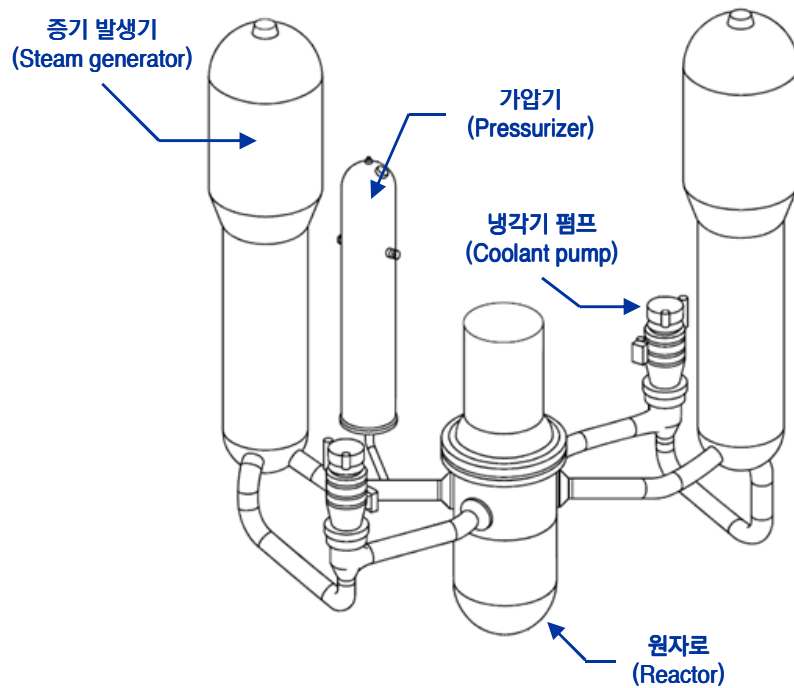
Dresser	U.S
Emerson Process Management	U.S
Flowserve Corp.	U.S
SPX Flow Technology	U.S
Tyco Flow Control	U.S
Westinghouse	U.S
Weir Group	U.K
AtomEnergMash	Russia
TyazhPromArmatura	Russia
PK Valve	Korea
Samshin Ltd	Korea
Oka Ltd	Japan
Okano Valve Manufacturing	Japan
Toa Valve Engineering	Japan
Toshiba	Japan
Larsen & Toubro	India
Velan Inc.	Canada
KSB AG	Germany
AUMA	Germany
Armatury Group	Czech

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

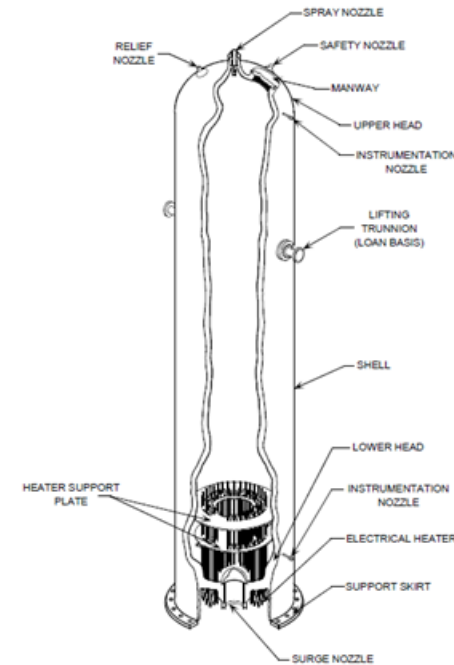
## ● 가압기(Pressurizer)

- 가압기는 원자로 내부압력을 높게 유지시켜주는 역할을 한다.
- 가압기 내부에서는 물과 증기의 균형을 유지시켜서 일정 압력을 유지시킨다
- 상단의 물 분무 시스템(water spray system)은 높아진 압력을 정상 압력으로 낮춘다
- 하단부에 위치한 전기 히터(electrical heater)는 압력을 높이는 역할을 한다.
- 가압기는 전세계적으로 많은 기업에서 생산한다. 신규로 원전을 도입하는 국가는 부품 국산화를 추진하기 때문

## Two-loop Westinghouse plant



## 가압기 단면도



# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 원전 제어장비 (Control and instrumentation)

- 온도, 압력, 수소포화도 등 원자로에서 발생하는 다양한 물리적인 지표를 측정한다
- 측정한 지표를 기준으로 핵분열 반응 속도를 조절하면서 안정적으로 원전을 운영한다
- 원자로마다 환경이 다르기 때문에 원전 제어장비 설계를 위해서는 원자로 운영 경험이 필요하다 → 국산화 하기 어렵고 진입장벽 높음
- 때문에 제어장비 업체는 주기기 생산업체와 전략적인 파트너 관계를 유지

### 원전 제어설비



### 원전 제어장비 업체 (2015)

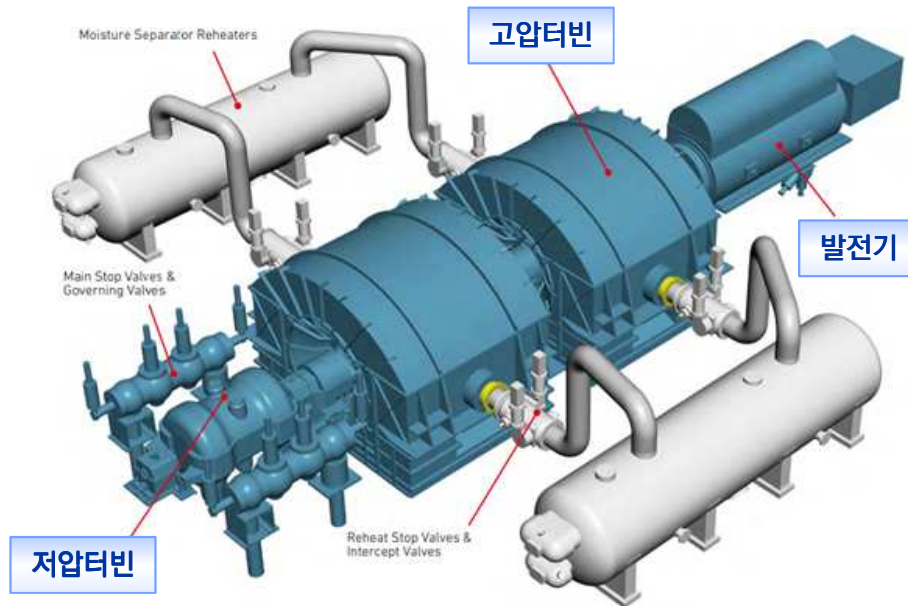
GE Hitachi	US/Japan
Lockheed Martin	U.S
Westinghouse	U.S
Invensys	U.K
Rolls Royce	U.K.
Doosan	Korea
Mitsubishi Electric Corp.	Japan
Toshiba	Japan
AREVA	France
AtomEnergMash	Russia
Skoda JS	Czech

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 터빈(Turbine)

- 터빈 발전기는 열 에너지(원자로) → 운동 에너지(터빈) → 전기 에너지(발전기) 순서로 에너지를 변환시켜준다
- 일반적으로 1개의 고압터빈, 2~3개의 저압터빈을 직렬구조로 배열한다.
- 발전소 출력차이 때문에 대형원전에서 사용하는 터빈은 화력발전소보다 더 크다 → 제한된 생산업체
- 화력발전대비 원전발전 터빈 회전 수는 절반이다. APR1400 기준 터빈 회전 수는 1,800rpm(vs. 화력발전 3,600rpm)

### 원전 발전기 구조



### 터빈 생산업체 (2015)

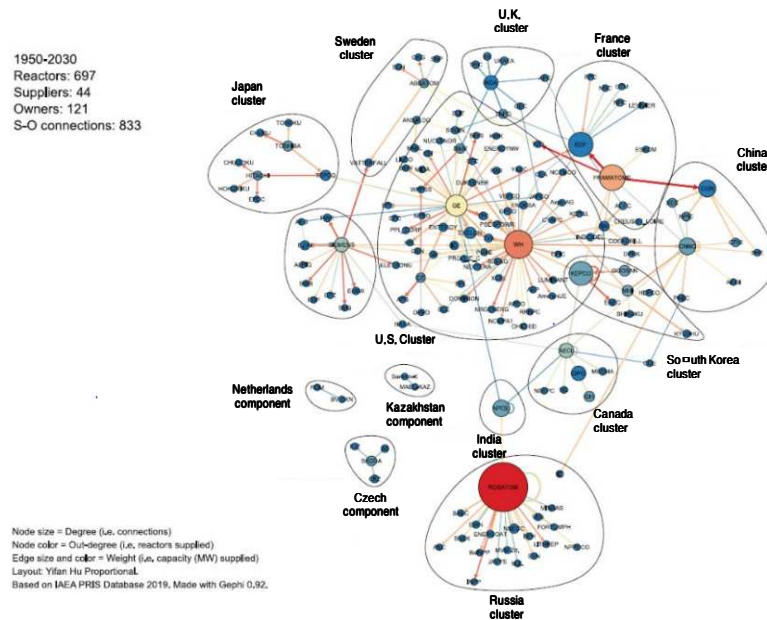
Doosan/Skoda Powre	Korea
Hitachi	Japan
Mitsubishi HI	Japan
Toshiba	Japan
China First Heavy Industries	China
China Dongfang Electric	China
OMZ	Russia
Silmash	Russia
GE	U.S
Bharat Heavy Electricals	India
Siemens	Germany
Alstom	France

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

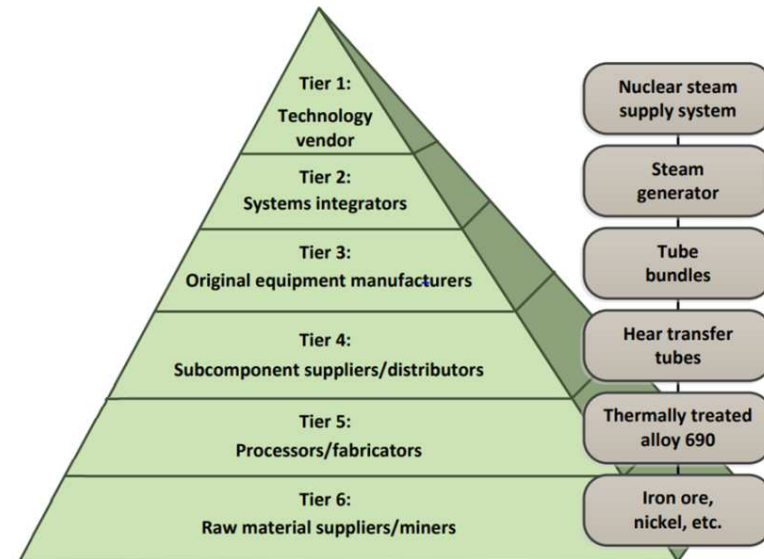
## ● 원전 Supply chain 특징

- 미국 GE, Westinghouse가 PWR 원자로 설계기술을 수출하면서 다양한 국가들과 협력(패권)관계를 유지하고 있음
- 원전 수출/수입은 국가간 외교적인 동맹 관계를 맺는다는 것을 의미한다 (유지보수 및 기술이전 등)
- 미국의 원전 기술을 수입한 일본, 독일, 프랑스, 한국, 중국은 Tier2 단계까지 내재화에 성공함
- Tier1(설계업체)는 원전 공급 망을 설정하고 관리한다. Supply chain 아래로 내려갈수록 경쟁강도는 높아지고, 진입장벽은 내려간다

### 국가별 Supply-chain 관계도



### Nuclear Supply Chain Tiers





# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

## ● 원전 Supply chain 특징

- 미국 GE, Westinghouse가 PWR 원자로 설계기술을 수출하면서 다양한 국가들과 협력(패권)관계를 유지하고 있음
- 원전 수출/수입은 국가간 외교적인 동맹 관계를 맺는다는 것을 의미한다 (유지보수 및 기술이전 등)
- 미국의 원전 기술을 수입한 일본, 독일, 프랑스, 한국, 중국은 Tier2 단계까지 내재화에 성공함
- Tier1(설계업체)는 원전 공급 망을 설정하고 관리한다. Supply chain 아래로 내려갈수록 경쟁강도는 높아지고, 진입장벽은 내려간다

## 국가별 경쟁력 비교

국가	공급회사	주력 원자로	주력 시장	강점	약점
한국	KEPCO (주사업자)	APR1400	국내	빠른 건설기간	높은 금융비용
	Doosan				
일본	Toshiba- Westinghouse		미국 일본	원천 기술력 보유	비싼 건설비용
	Hitachi-GE				
	Mitsubishi HI				
프랑스	AREVA	EPR	선진국	국가주도 원전 정책	원전 건설지연
	EDF			토탈 솔루션	-
캐나다	Candu Energy	ACR 1000	선진국	-	원자로 노형 제한
러시아	Roasatom	VVER	구사회주의 국가	토탈 솔루션	서구권 시장 진출 어려움

## 한/미 정상 공동성명 중요부분 발췌 (22. 05. 21)

- ① 글로벌 에너지 안보 증진을 위한 필수적인 부분으로 원자력의 중요성을 인식하고 있다
- ② 원자력 협력을 더욱 확대하는 한편 ...(중략)...  
회복력 있는 공급망을 구축함으로써 선진 원자로와 SMR의 개발과 전 세계적 배치를 가속화하기로 공약하였다
- ③ 양 정상은 미국, 한국, 해외 원전 시장에서의 협력 강화를 위한 굳건한 토대를 제공할 목적으로 ... 협력을 심화하기 위하여 원자력 고위급위원회와 같은 수단을 활용하기로 약속한다

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

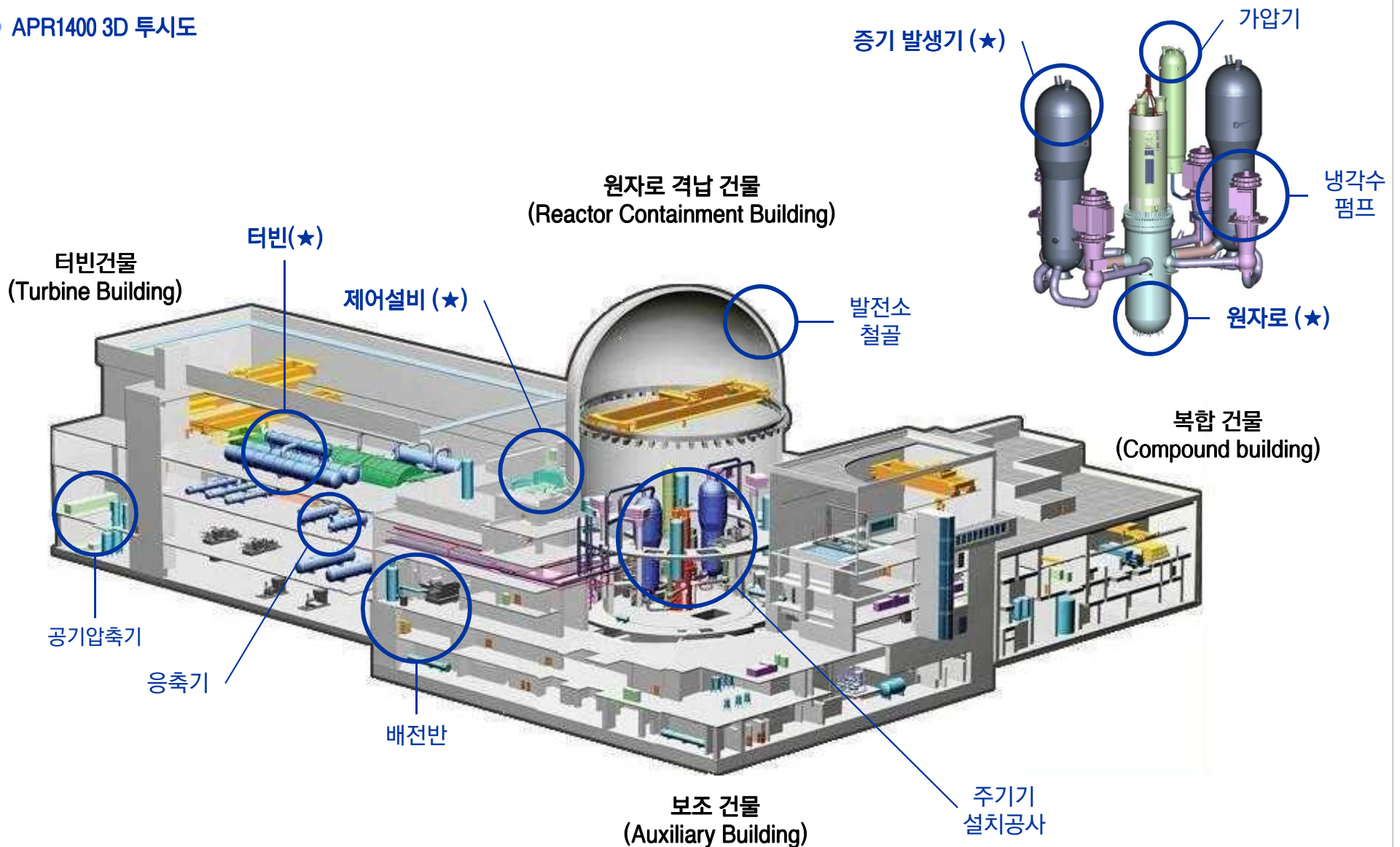
## ● 원전 Small Cap List

	우진	일진파워	BHI	우리기술	오르비텍	보성 파워텍	한신기계	서전기전	비엠티	금화 피에스시
Supply Chain	원자로 계측기	발전소 정비	응축기	제어설비	관리용역 검사용역 기술용역	발전소 철골	공기 압축기	배전반	밸브/피팅	주기기 설치공사
원전 매출액 비중	24%	7%	?	42%	63%	?	?	?	?	?
SMR 연관성	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
비고	SMART 제어봉 위치 지시기 연구	원자력 연구소 운영	SMART 연료계통, 압력용기 개발	-	-	-	-	-	-	-
CB/BW	○	×	×	○	○	×	×	×	○	○

자료: 이베스트투자증권 리서치센터

# 원자력 발전소 구조 & Supply Chain

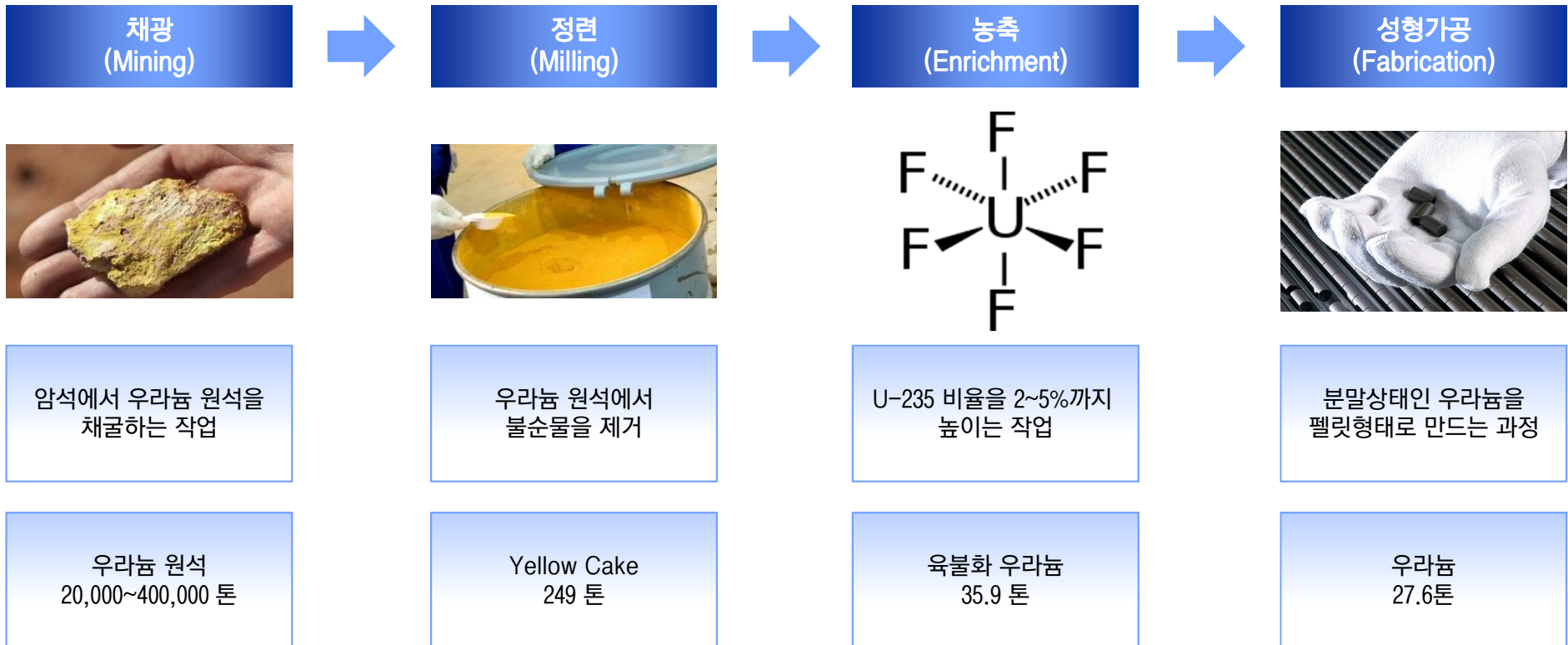
● APR1400 3D 투시도



# 핵연료 주기

## ● 선행 핵주기

- 채광(Mining) → 정련(Milling) → 농축(Enrichment) → 성형가공(Fabrication)
- 우라늄 동위원소는 원자량에 따라서 U-235, U-238이 있다. 이 중에서 직접 핵분열을 일으키는 우라늄은 U-235
- 하지만 자연상태에서 U-235 비중은 0.7%, 나머지 99%는 U-238이 차지한다
- 선행 핵주기는 원전 발전에 사용 할 수 있을 정도인 U-235 비중을 2~5%까지 올리는 작업

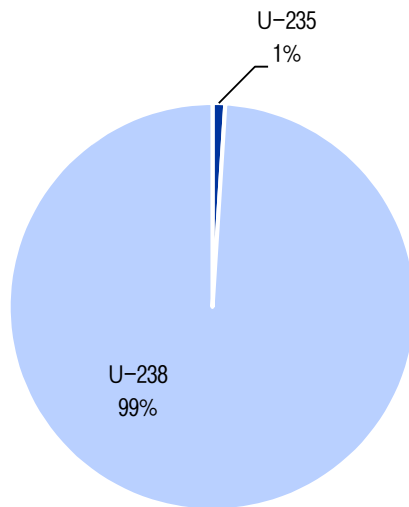


# 핵연료 주기

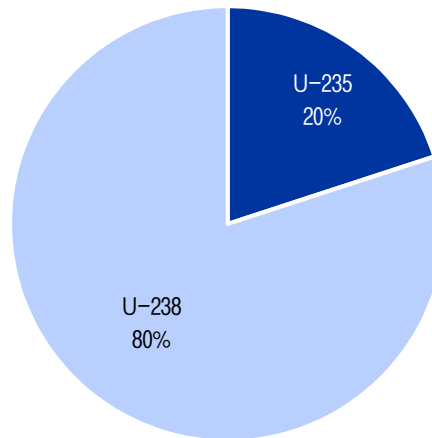
## ● 선행 핵주기

- 채광(Mining) → 정련(Milling) → 농축(Enrichment) → 성형가공(Fabrication)
- 우라늄 동위원소는 원자량에 따라서 U-235, U-238이 있다. 이 중에서 직접 핵분열을 일으키는 우라늄은 U-235
- 하지만 자연상태에서 U-235 비중은 0.7%, 나머지 99%는 U-238이 차지한다
- 선행 핵주기는 원전 발전에 사용 할 수 있을 정도인 U-235 비중을 2~5%까지 올리는 작업

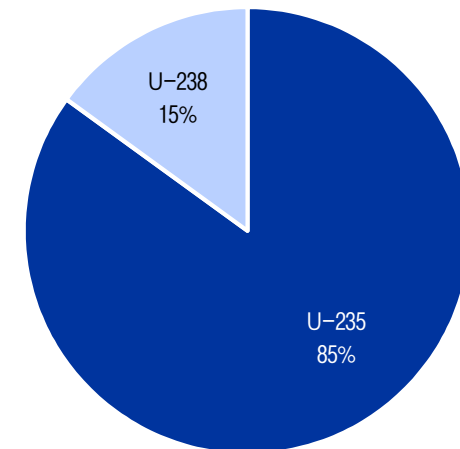
천연 우라늄(0.72%)



저 농축 우라늄(5~20%)  
(reactor grade)



고 농축 우라늄(~85%)  
(Weapons grade)



# 핵연료 주기

## ● 채광 (Mining)

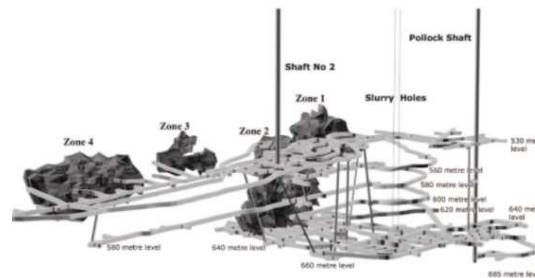
- 우라늄 원석 채굴 방식은 3가지로 나뉜다.

- ① 노천광(open pit) : 지표면에 우라늄 원석이 매장되어 있음
- ② 갱내채굴(underground mining) : 심도 120m 이상 갱도를 뚫어서 채굴
- ③ ISL(in situ leach) : 산성용액을 사용해서 우라늄을 용해시킨 다음 지표면까지 추출. 우라늄 채광방식 중에서 비중이 높아지고 있다.

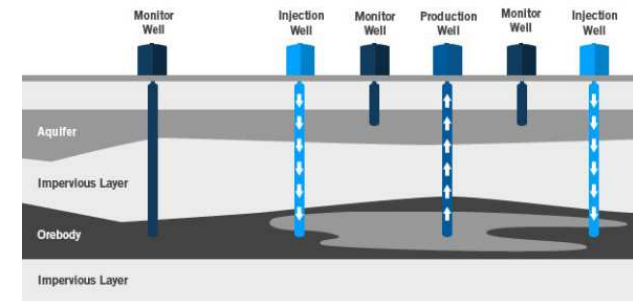
노천광  
(Canada, Rabbit Lake)



갱내채굴  
(Canada, McArthur River)



ISL

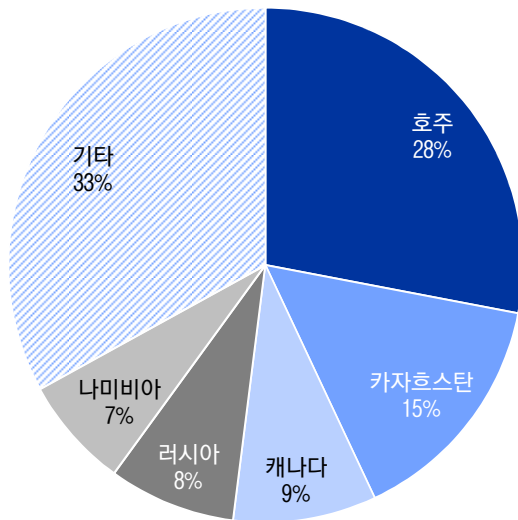


## ● 채광 (Mining)

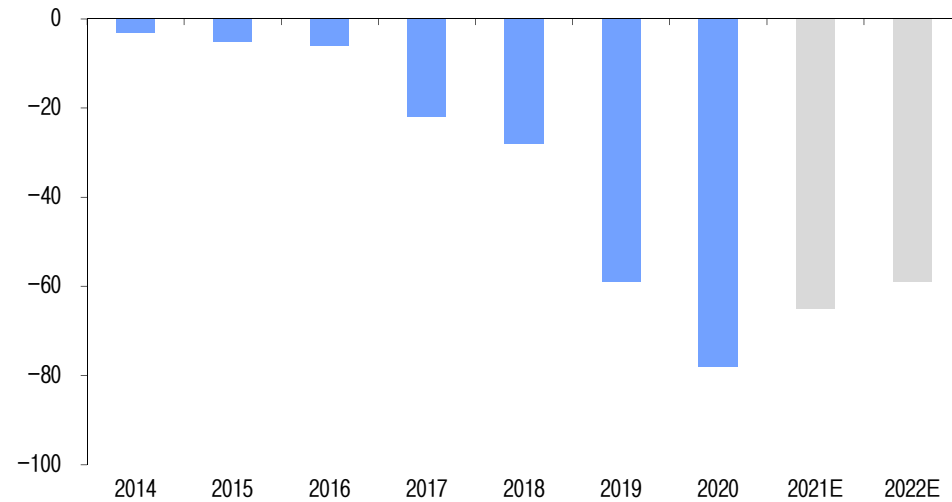
- 우라늄 원석 채굴 방식은 3가지로 나뉜다.

- ① 노천광(open pit) : 지표면에 우라늄 원석이 매장되어 있음
- ② 갱내채굴(underground mining) : 심도 120m 이상 갱도를 뚫어서 채굴
- ③ ISL(in situ leach) : 산성용액을 사용해서 우라늄을 용해시킨 다음 지표면까지 추출. 우라늄 채광방식 중에서 비중이 높아지고 있다.

국가별 우라늄 매장량 비중



Idled uranium mine capacity (cumulative)



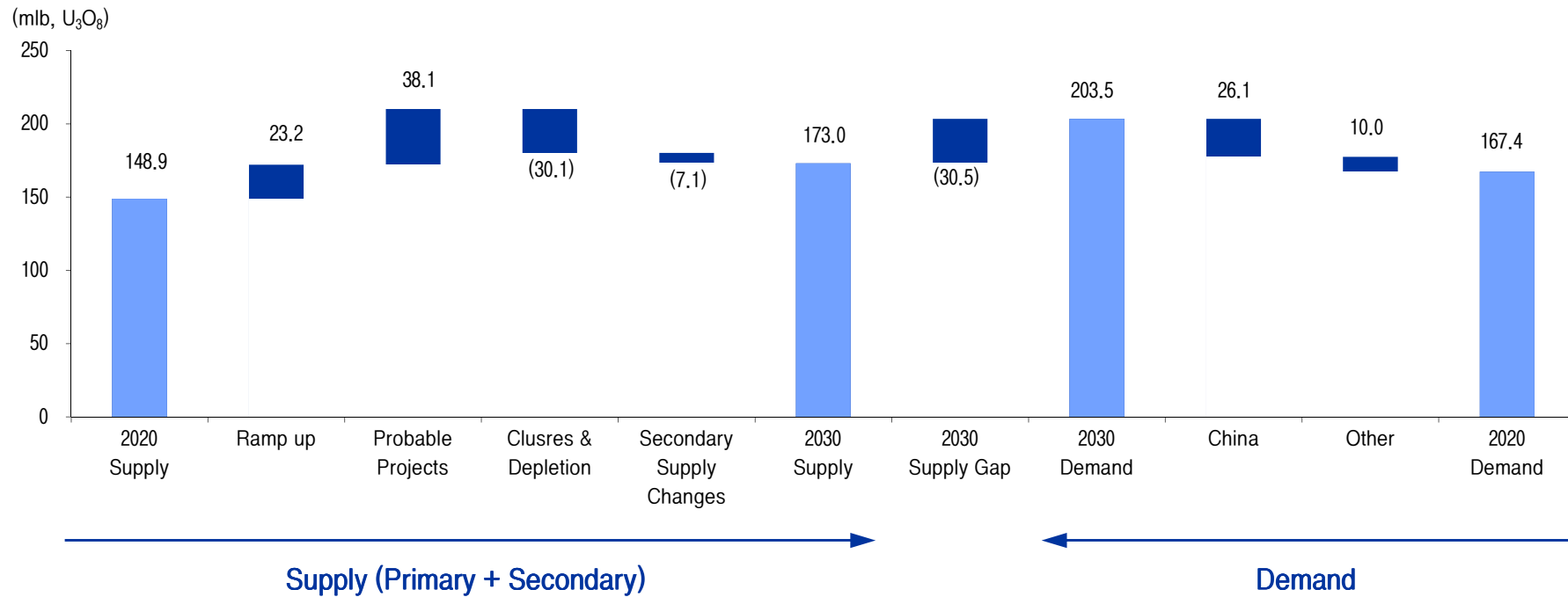
자료: MineSpans(September 2021), 이베스트투자증권 리서치센터

# 핵연료 주기

## 정련 (Milling)

- 우라늄 원석에서 불순물을 제거해서 노란 분말 형태의 우라늄 정광을 만드는 작업
- 이 우라늄 정광을 Yellow Cake 라고도 부른다
- 대형 원전(발전용량 1.0GW) 기준으로 1년 운영에 약 200톤 우라늄 정광이 필요하다

### 2030년까지 우라늄은 초과수요



자료: MineSpans(December 2021), 이베스트투자증권 리서치센터



# 핵연료 주기

## ● 농축(Enrichment)

- 정련을 거친 우라늄은 U-235 0.7%, U-238 99.3% 비율로 구성되어있다
- 핵분열을 하는 U-235 비율을 2~5% 까지 높이는 작업을 '농축' 이라고 한다. 참고로 핵폭탄에 사용되는 우라늄은 U-235 비율은 90% 이상
- 핵 확산을 막기 위해 농축시설은 특정 국가에만 위치해 있다

### 글로벌 농축시설 리스트(2020)

국가	Company and plant	2013	2015	2020
프랑스	Areva, Georges Besse I & II	5,500	7,000	7,500
독일-네덜란드-영국	Urenco:Gronau, Germany; Almelo, Netherlands;Capenhurst, UK	14,200	14,400	14,900
일본	JNFL, Rokkaasho	75	75	75
미국	USEC, Piketon	0	0	0
미국	Urenco, New Mexico	3,500	4,700	4,700
미국	Global Laser Enrichment, Paducah	0	0	0
러시아	Tenex:Angarask, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	26,000	26,578	28,663
중국	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	2,200	5,760	10,700
기타	Various : Argentina, Brazil, India, Pakistan, Iran	75	100	170
<b>Total SWU/yr approx</b>		<b>51,550</b>	<b>58,600</b>	<b>66,700</b>

# 핵연료 주기

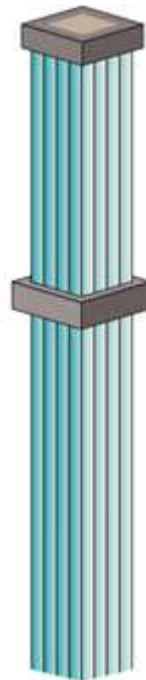
## ● 성형가공(Fabrication)

- 분말 상태인 우라늄에 압력을 가해서 펠릿(pellet) 형태로 만드는 과정
- 우라늄 펠릿은 원자로 연료 봉(fuel rods)에 동봉된 이후 원자력 발전에 사용된다
- PWR 연료집합체는 200개 연료봉 다발로 구성되어 있음. BWR은 80-100개 연료봉 구성
- 대형 원전(발전용량 1.0GW)을 1년 작동시키기 위해서는 약 27톤의 우라늄 펠릿이 필요

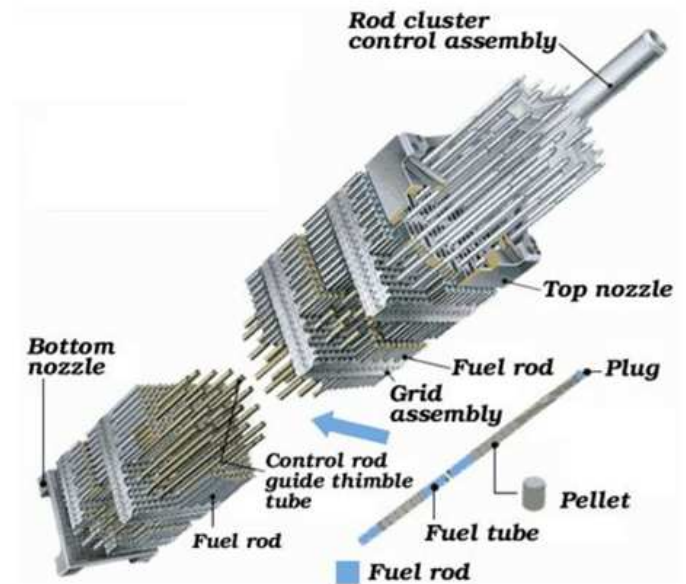
연료봉



연료봉 집합체



연료봉 집합체  
(Mitsubishi)



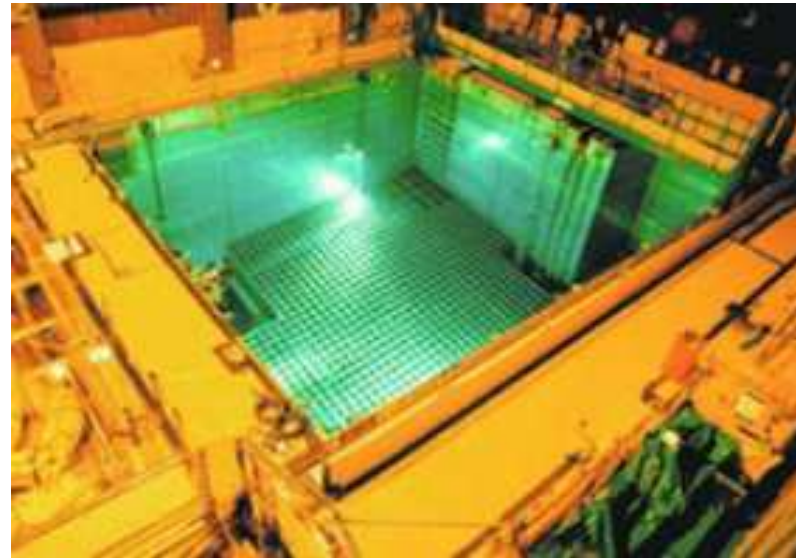
## ● 발전(Power generation)

- 장정된 연료는 원자로에서 약 3~5년 동안 핵분열을 일으키면 열을 생산한다. 사용 후 핵 연료는 플루토늄 등 다양한 핵분열 생성물을 만든다
- 사용 후 핵 연료는 여전히 미량의 열과 방사선을 방출하는 고준위 방사선 폐기물
- 잔열과 방사선을 줄이기 위해서 원자로에서 꺼낸 사용 후 핵연료는 습식 저장조(spent fuel pool)에 보관한다.
- 수개월 ~ 수년간 수조에서 보관하면서 잔열 제거. 이후 재처리 과정을 거치거나 장기보관시설에 보관한다

### 건식 연료 저장



### 습식 연료 저장조



# 핵연료 주기

## ● 재처리(Reprocessing)

- 사용 후 핵 연료는 U-238(94.6%), U-235(1%), 플루토늄(0.9%), 기타 핵분열 생성물(3.5%) 구성된다
- 여기서 재처리 과정은 재활용이 가능한 우라늄과 플루토늄을 추출하는 작업이다
- 약 30%의 사용 후 핵 연료가 재처리 과정을 거친다(2020년)

사용 전 핵 연료



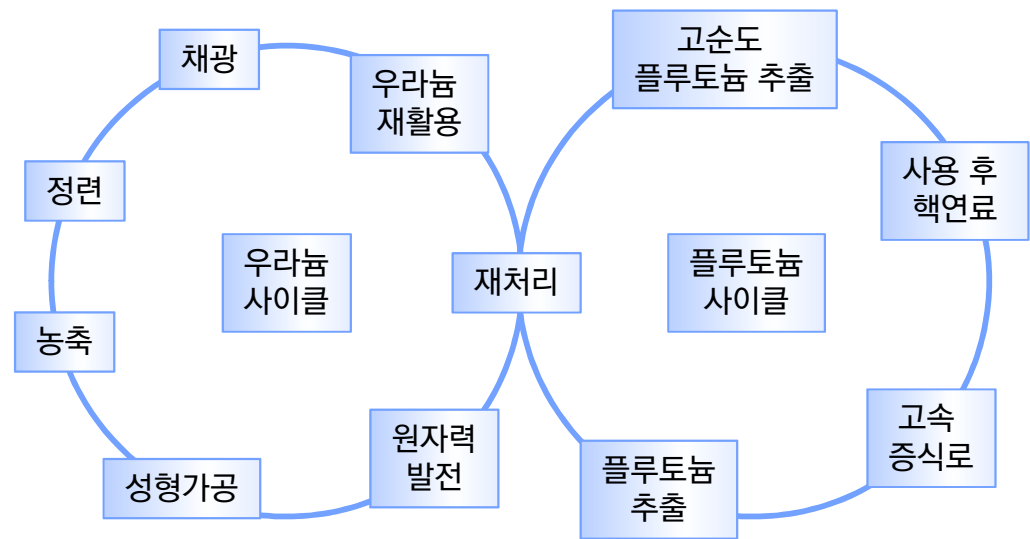
U-235 : 4%  
U-238 : 96%

사용 후 핵 연료



U-235 : 1%  
U-238 : 94.6%  
핵분열생성물 : 3.4%  
플루토늄 : 0.9%  
네투늄, 아메리슘, 퀴륨 : 0.1%

재처리 과정에서 플루토늄 추출

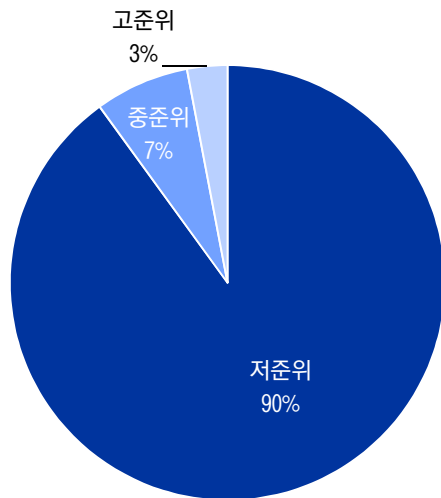


# 핵연료 주기

## ● 처분(Disposal)

- 방사선 폐기물은 방사선 정도에 따라서 저준위, 중준위, 고준위 폐기물로 나뉜다
- 저준위 방폐물은 원전에서 사용한 작업복, 부품 덧신 등이 있다. 고준위 방폐물은 핵 연료 또는 재처리 과정에서 생긴 폐기물로 구분됨
- 다양한 고준위 방폐물 처분방법 중에서 가장 보편적으로 심지층 처분(Deep geological disposal)이 유력한 선택지로 거론된다
- 세계 최초로 사용후 핵연료 영구처분시설인 핀란드 온칼로(onkalo)는 2023년에 운영될 계획

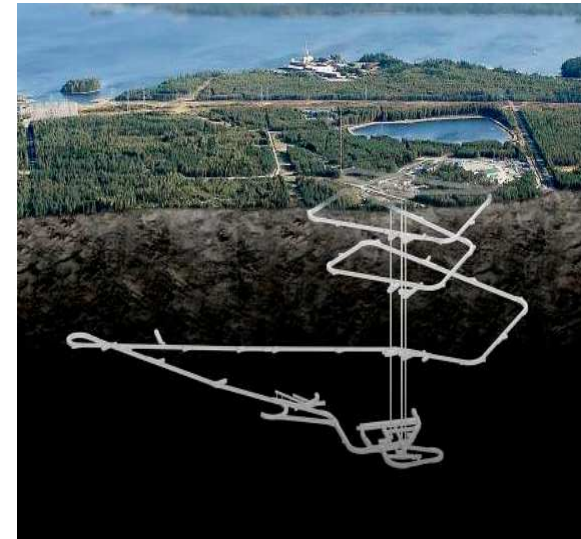
방사선 폐기물 비율(부피)



처리 방법

구분	보관 중인 방폐물 (m <sup>3</sup> )	폐기된 방폐물 (m <sup>3</sup> )	폐기 비율 (%)
극 저준위 폐기물 (VLLW)	2,918,000	11,842,000	80
저준위 폐기물 (LLW)	1,471,000	18,499,000	92
중준위 폐기물 (ILW)	2,740,000	133,000	5
고준위 폐기물 (HLW)	29,000	0	0

Onkalo



## Part II

# SMR (Small Modular Reactor)

### Why SMR?

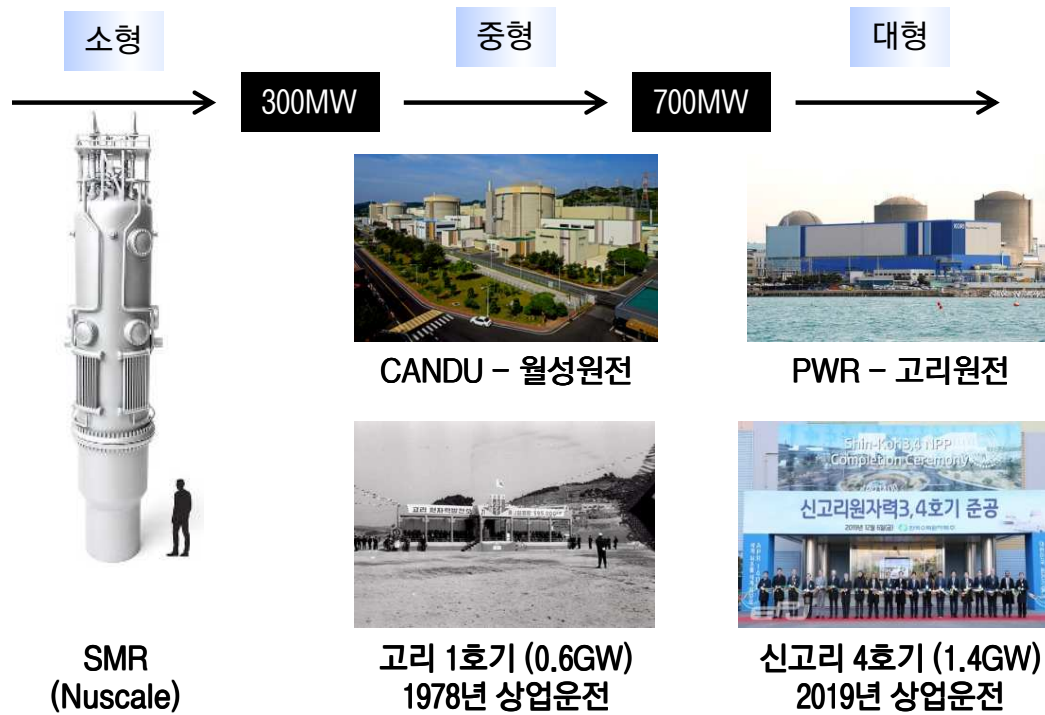
- Small. Modular. Reactor
- 장단점
- 경제성
- SMR 종류
- Tech Load Map

# Small, Modular, Reactor

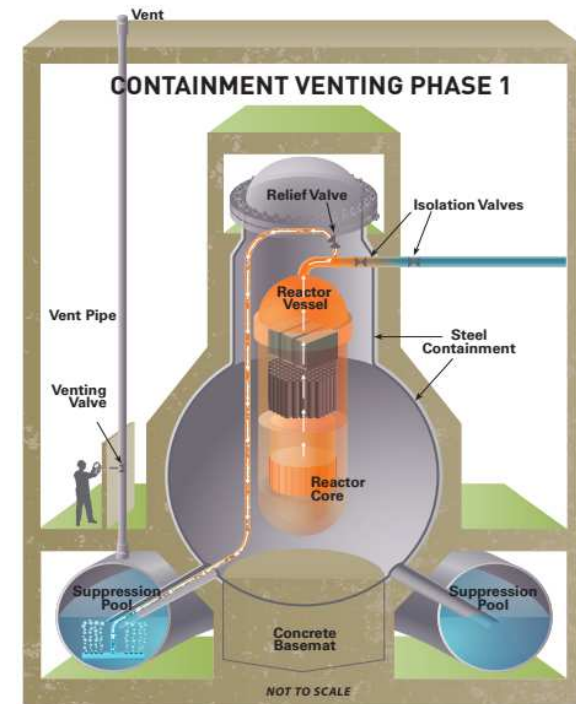
## • Small

- 출력용량에 따른 원자력 발전소 구분 : 소형(~300MW), 중형(300~700MW), 대형(700MW 이상)
- 규모의 경제를 달성하기 위해 원전은 대형화 추세에 있음.
- 후쿠시마 원전사고 이후 원전 트렌드 변화 ① 강화된 안전규제 ② 태양광, 풍력 등 친환경 전원 중요도 상승
- 전력시장 변화에 맞춰서 대형원전에서 SMR 중요성이 부각되고 있음

### 원자로 구분



### 후쿠시마 이후 안전규제 강화



# Small, Modular, Reactor

- Modular

- 모듈형 생산 방식 : 공장에서 사전에 생산한 모듈을 공사현장에서 조립하는 형태의 생산방식(ex : 조립식 주택)
- 항공기 제조업, 조선업에서 비용절감 효과가 검증된 방법
- 원전 건설기간 예측이 가능해짐 → 원전건설 프로젝트 Risk 하락 → 자본조달비용 하락 → 발전단가 하락



현장 건설



조립식 주택



Baraka 원전 건설



Small 'Modular' Reactor

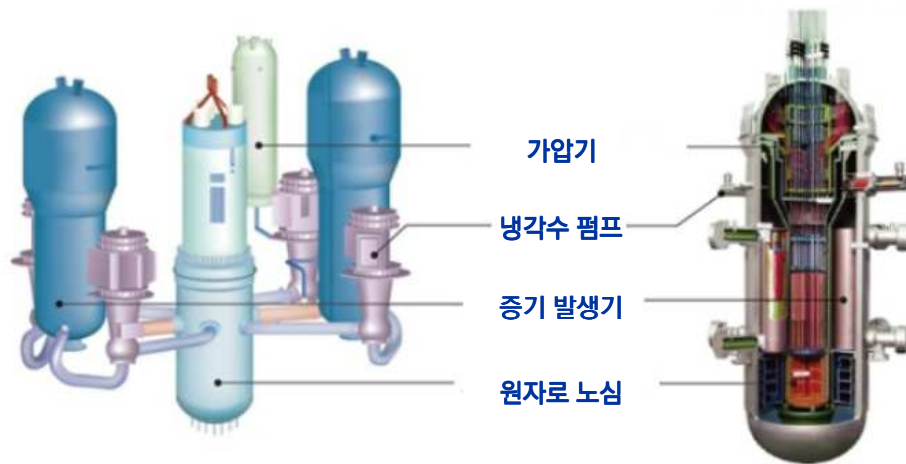


# Small, Modular, Reactor

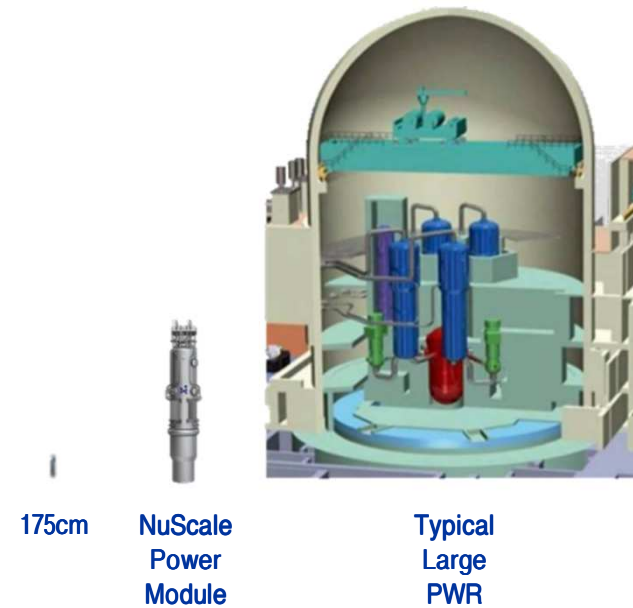
## ● Reactor

- 일체형 원자로는 핵 증기 공급계통(Nuclear steam supply system, NSSS) 구성물을 단일 용기에 넣은 방식 → 건설기간 단축 가능
- 원자로 냉각 펌프 같은 부품을 사용하는 대신에 공기를 사용한 수동냉각방식(Passive mechanism)을 사용 → 안전성, 경제성 확보

### APR1400 vs SMART 구조비교



### 크기 비교



# SMR 장단점

● SMR vs. 대형원전 한눈에 정리하기 (1)

구분	안전 설계	운영 유연성	지리적 유연성	자본조달
대형원전 한계점	능동형 안전설계 개념 (디젤발전기, 비상 배터리 등)	대형원전은 부하추종 발전이 어려움	하천, 바다 근처에서 건설 (대규모 냉각수 공급)	대규모 자본조달 리스크 → 민간자본 투입이 어려움
전력시장 변화	비상상황에서 원전 안전계통이 온전하게 작동할 것이라는 보장이 없음	태양광, 풍력이 증가하면서 부하추종 능력이 필요해짐	분산형 전원 중요성 증가함 (VPP, RE100 등)	빠른 원전 보급을 위해서는 민간자본 투입이 필요
SMR 특징	피동형 안전설계 개념은 인간의 개입 없이 중력, 대류현상으로 작동	SMR은 부하추종 운전 가능함	SMR 냉각계통은 자연대류현상을 사용	모듈형 설계를 도입해서 3년 안에 건설이 가능함
SMR 장점	인적 실수 가능성을 원천적으로 배제	신재생 발전과 공존 가능	격오지, 사막에도 설치 가능	민간자본 투입 가능

# SMR 장단점

- SMR vs. 대형원전 한눈에 정리하기 (2)

구분	대형원전	SMR
부지 면적	573m <sup>2</sup> /MW (APR1400 기준)	대형원전 대비 1/2
Emergency Planning Zone	반경 16km	반경 2km
사업비*	\$9.0+bn for 2.2GWe	\$3.3bn for 0.9GWe
건설기간*	6년 이상	~3년
건설 Risk	현장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↑)	공장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↓)
운영 탄력성	대용량 출력이 고정됨 (기저부하)	Scalable & Load Following (분산전원 및 신재생에너지 백업 가능)
응용분야	발전용	담수, 수소생산, 선박 추진 가능
경제성 확보 방법	규모의 경제	대량생산
Financing	국가 주도	민간 주도
안전성	체르노빌, 후쿠시마 등 대형사고 발생 이력이 있음	소형화, 피동형으로 사고 발생위험을 낮춤

자료: IAEA, Nuscale, 이베스트투자증권 리서치센터

# SMR 장단점

## ● 피동형 안전 설계(Passive Safety Features)

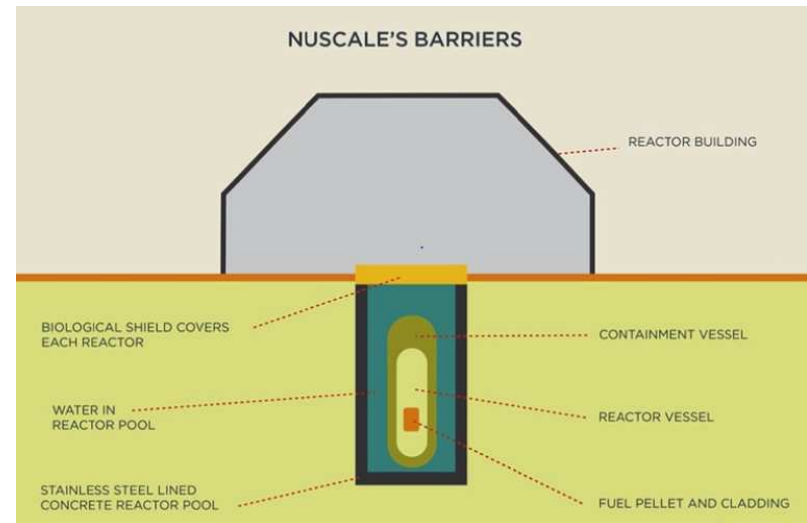
- 피동형 안전설계 개념은 인간의 개입 없이 중력, 대류현상으로 작동하는 원자력 발전소 안전장치를 의미한다
- 대형 원전 사고는 자연재해 뿐만 아니라 인간의 조작실수, 미흡한 대처능력 때문에 발생했음 (ex : 도쿄전력은 비상시 해수투입을 주저)
- Nuscale은 사고가 발생할 경우에도 추가 운영지시, 외부전력, 추가 냉각수 공급 없이 자동으로 냉각되는 피동형 설계 개념 채택
- 원전사고 발생할 확률 낮음 × 사고가 발생하더라도 피해규모를 제한할 수 있음 → 안전거리 :대형원전 16km vs. NuScale Module 230m



No Operator action

No AC/DC Power

No Additional Water



# SMR 장단점

- 기술선택의 문제점(The Problem of Technology Choice)

- 전 세계적으로 72기 SMR이 기술개발 단계에 있다(2020년). 기술표준이 없기 때문에 다양한 분산투자 관점에서 다양한 SMR이 개발되고 있음
- 한국에서 개발하는 SMR만 하더라도 SMART, BANDI, KAIST-MMR, URANUS, REX-10이 있다
- 현재 연구되는 다양한 SMR 중에서 생존한 소수의 SMR이 높은 시장점유율을 차지해야 대량생산 체제를 갖출 수 있음
- 가장 경제적이고 안정적인 SMR을 선택하는 과정에서 어려움이 발생함

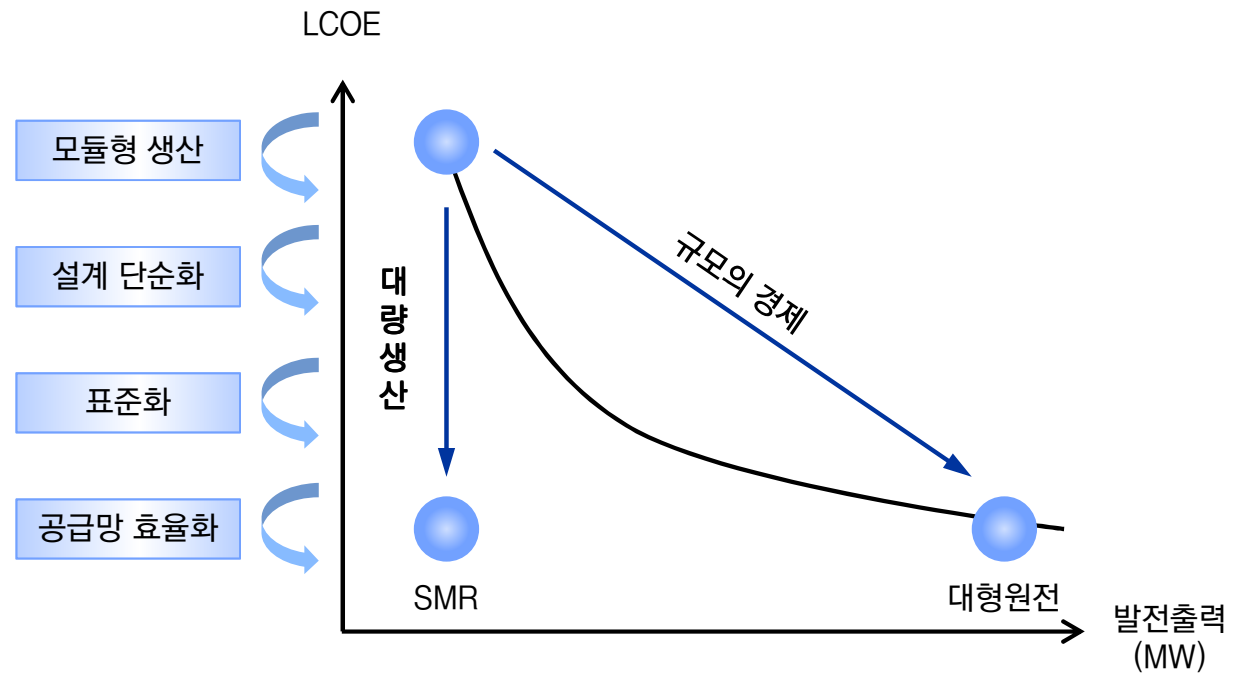
## 글로벌 SMR 개발 현황



## ● 대량 생산 vs. 규모의 경제

- 시간이 지나면서 대형 원전의 기준은 700MW → 1,000MW → 1,400MW으로 점차 규모가 커짐
- 원자력 발전소가 커진 이유는 발전원가에서 연료비가 차지하는 비중이 낮기 때문
- 대형 발전소를 건설하고 높은 가동률을 유지하는 방식이 발전원가를 낮추는 효율적인 방법
- SMR은 규모의 경제가 아닌 대량생산을 통해서 발전원가를 낮추는 방향을 제시

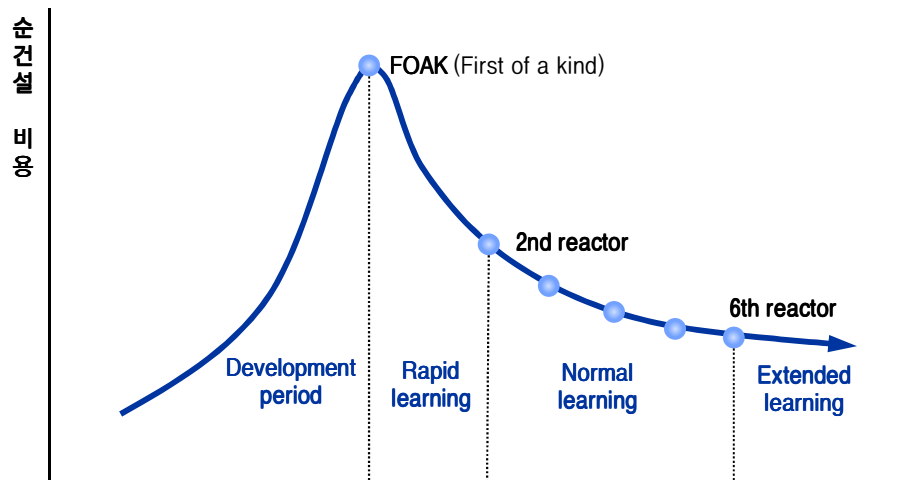
SMR은 대량생산을 통해 vs. 대형원전은 규모의 경제를 통해 경제성 확보



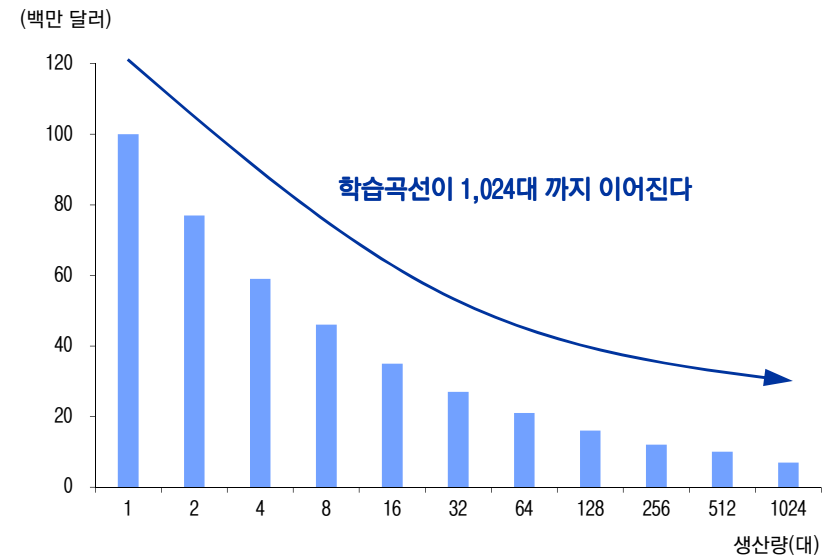
## ● 대량 생산 vs. 규모의 경제

- 대형 원전의 학습곡선은 6번째 발전소를 지을 때 까지 급격하게 낮아진다.
- 대량생산된 SMR이 없는 상황에서 몇 기를 만들어야 경제성을 확보할 수 있을지 데이터는 부족
- SMR 설계업체는 약 5~15기 발전소를 만들면 충분히 대량생산 체제에 접어들 수 있다고 주장(NEA, 2016)
- 소수의 항공기 모델이 전체 항공기 시장을 차지하고 있는 것 처럼, 빠르게 경제성을 입증한 SMR 설계가 전체 원전 시장을 점유할 것으로 전망

대형 원전 학습곡선 : 6번째 발전소 건설에서 끝남



록히드 트라이스타 학습곡선 → SMR 산업 방향성



자료: NEA, Lockheed Martin, 이베스트투자증권 리서치센터

## ● 모듈형 생산

- 대형원전은 현장에서 발전소를 건설한다. 공장에서 주기를 제작하고, 진행률에 따라서 현장에서 주기를 설치하는 방식
- 이 방법은 전체 공정에서 약 30%까지만 공장에서 진행이 가능하다
- SMR 모듈형 생산 방식으로 약 60~80% 단계까지 미리 공장에서 제작을 끝낼 수 있다
- 원자로, 증기발생기 등 주요 부품을 하나의 용기에 일체화 해서 공장에서 제작하기 때문

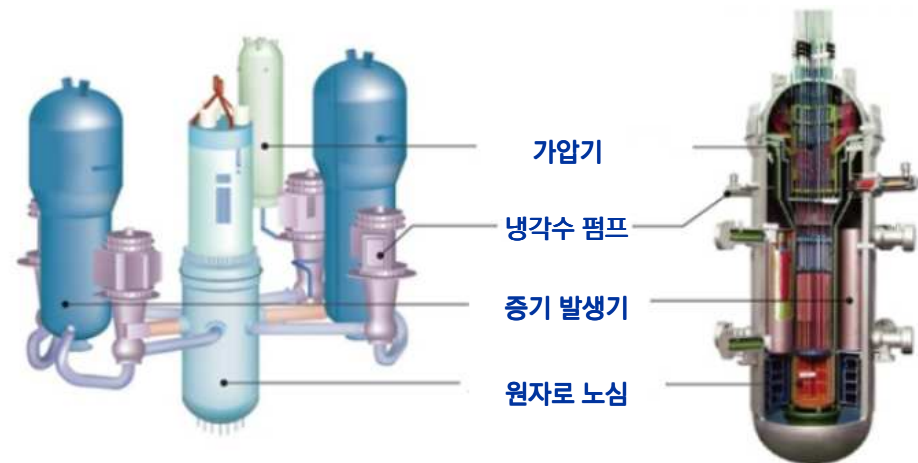
## ● 설계 단순화

- SMR은 피동형 안전 설계방식을 채택했다. 냉각수 펌프를 사용하는 대신에 중력, 자연대류 현상을 사용하는 방식
- 대형원전에는 필수적인 냉각수 펌프, 배관이 없기 때문에 설계가 단순하다

SMR : 전체 공정의 60~80% 공장에서 제작가능



설계 단순화





## ● 표준화

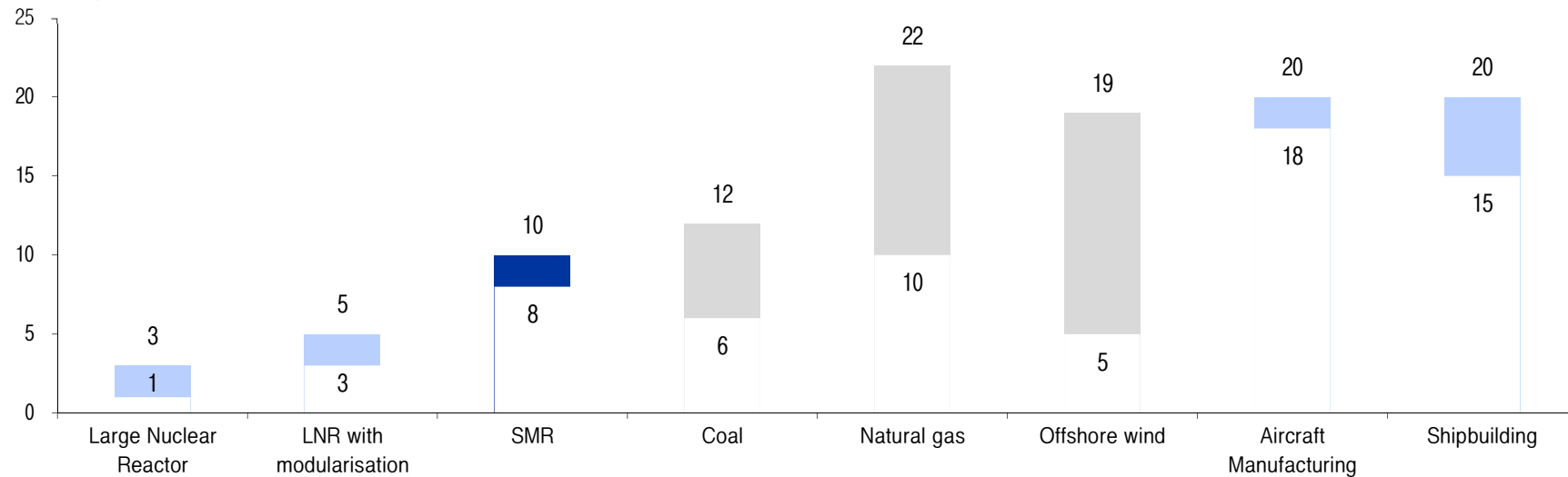
- SMR의 발전용량은 300MW(vs. 대형원전 1,000MW)으로 낮아서 설치 장소에 따라서 설계를 변경할 필요가 없다
- 대형원전은 건설부지 지반(ground condition), 냉각수 공급방법 등에 따라서 설계변경이 필요

## ● 공급망 효율화

- 지역단위 경쟁이 아닌, 글로벌 단위에서 경쟁함으로써 생산 효율화를 달성할 수 있다
- 대형원전은 현장에서 건설 → 2차, 3차 공급업체는 국내 단위에서 공급망 형성(vs. 자동차, 항공기는 글로벌 단위에서 공급업체 경쟁)
- SMR은 공장에서 생산하는 모듈형 방식을 채택했기 때문에 타 산업처럼 글로벌 공급망 확보가 가능하다

### 산업별 학습효과

(Learning rate, %)



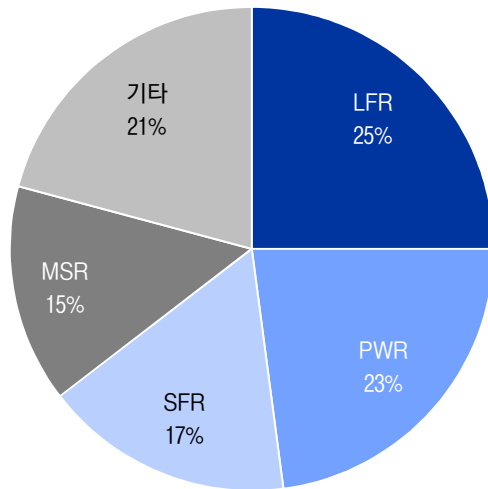
자료: EY(2016), 이베스트투자증권 리서치센터

# SMR 종류

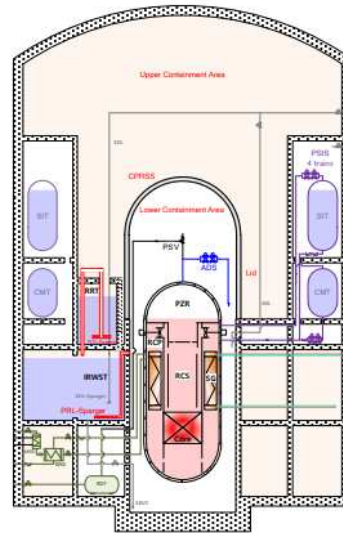
## ● 개요

- 2020년 기준 약 72기 SMR이 개발 중에 있음. SMR 개념에 대해서는 정립되어 있으나 기술표준은 없는 상황
- 설계단계에 있는 SMR은 단순히 대형원전을 축소시킨 것에서 부터 4세대 원자로까지 다양한 형태가 있음
- SMR을 원자로 종류로 나누면 LFR 12기(비중 25%), PWR 11기(23%), SFR 8기(17%), MSR 7기(15%) 나뉨
- 현재 주력으로 개발되고 있는 4개 원자로 특징을 이해할 필요가 있음

개발중인 SMR 종류



SMART100



Nuscale

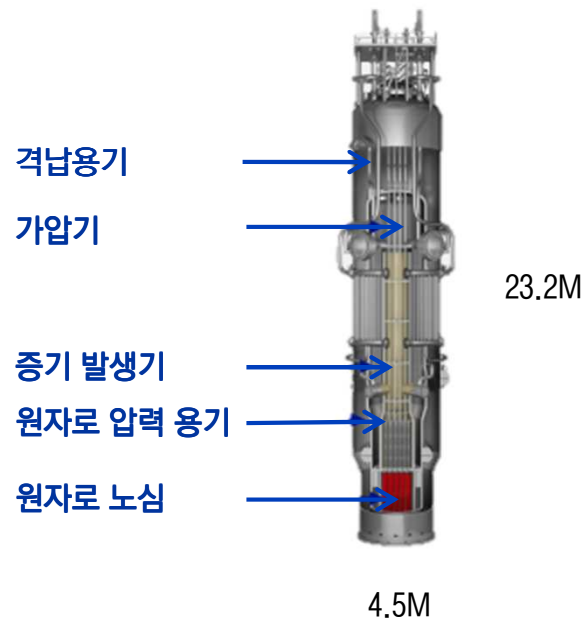


# SMR 종류

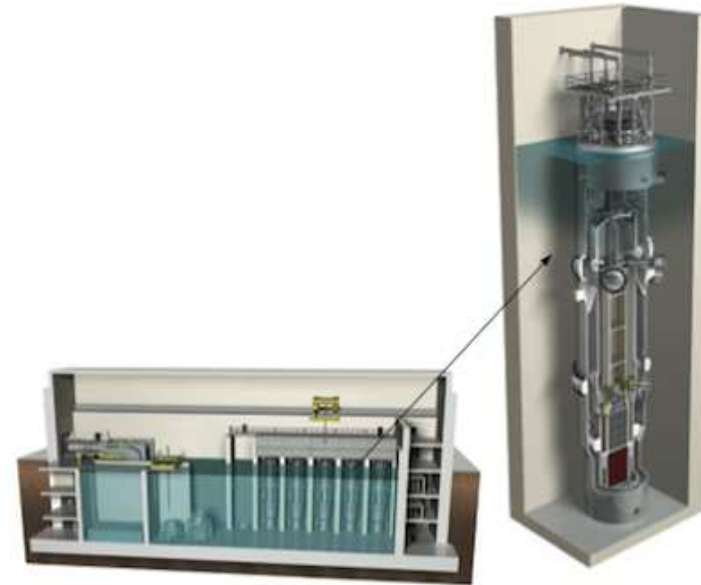
## ● PWR

- 기존 PWR 원전을 응용한 SMR. 기술적인 관점에서 미 검증 기술을 사용하기 보다는 기존 상용원전 기술을 응용한 형태
- 원전 규제기관 인허가 절차를 바르게 통과할 수 있음. 인허가 절차 대부분이 PWR에 초점을 맞춰서 진행하기 때문임
- 개발 진척도가 빠른 SMR은 모두 PWR 기반 : SMART100, Nuscale, KLT-40S, CAREM, ACP100
- NuScale Power Module은 격납용기 내부에 원전 주기를 통합한 형태

Nuscale Module (60MW)



총 12개 모듈까지 확장 가능(60MW×12=0.72GW)

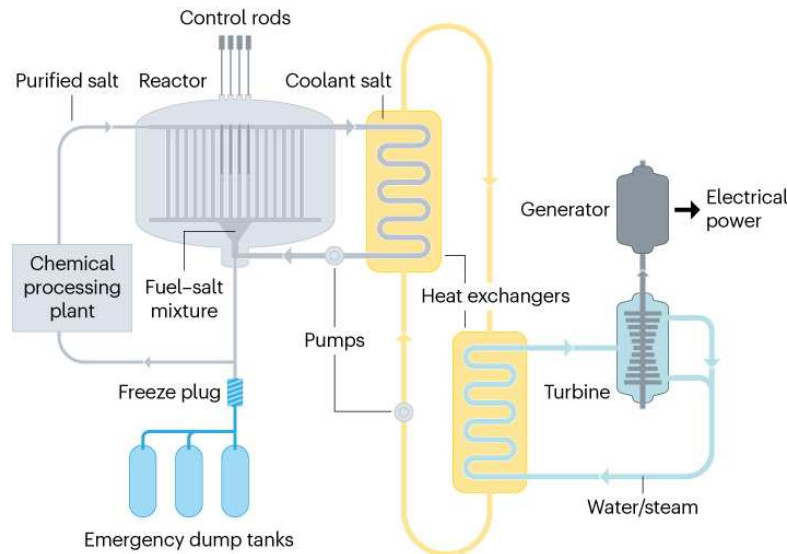


# SMR 종류

## ● MSR(Molten Salt Reactor, 용융 염 원자로)

- 고체핵연료 대신에 염화물에 핵연료를 녹여서 원자로 연료로 활용하는 형태의 원자로. 냉각제는 용융염, 감속재는 흑연을 사용한다
- 가압기 없이 냉각제는 500~1400℃를 유지 할 수 있어서 낮은 압력에서도 높은 열 효율(vs. PWR 315℃, 150기압)
- 핵연료가 용융된 상태라 노심용융사고를 원천적으로 배제시킬 수 있음
- 삼성중공업-한국원자력연구원은 해양 MSR(Molten Salt Reactor) 공동연구 협약 체결 (2021년)

MSR 구조도



MSR (Molten Salt Reactor) 특징 및 장점

### 액체상태 핵연료 사용

- ① 노심 용융사고를 원천 배제
- ② 원전 가동 중에도 핵연료 보충
- ③ 핵분열 생성물질 분리 추출 가능
- ④ (이론적으로) 제어봉 없이 임계 조절 가능

### 용융염 냉각제 사용

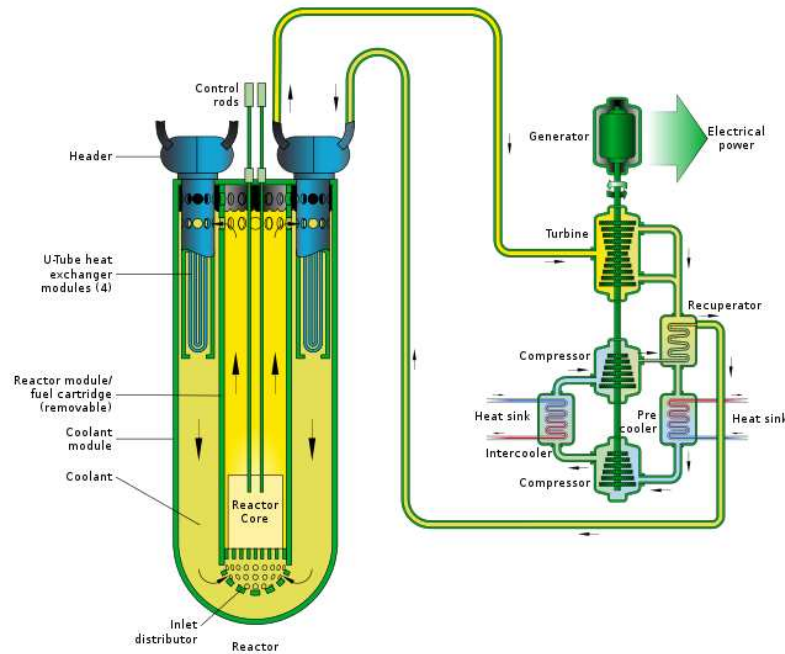
- ① 낮은 압력에서 운영가능 → 가압기 ×, 얇은 두께로 건설
- ② 경수(H<sub>2</sub>O)를 사용하지 않아 수소폭발 위험 없음

# SMR 종류

## ● LFR (Lead-Cooled Fast Reactor, 납 냉각 고속로)

- 기존 원전과 작동구조가 판이한 4세대 원전. 냉각재로 납(Pb) 사용, 감속재 없이 원자로를 운영한다
- 고속증식로(Fast Breeder Reactor)는 말 그대로 고속 중성자를 사용해서 원자로에서 더 많은 핵연료를 생산하는 원자로
- 고속중성자에 쉽게 분열 반응을 일으키는 U-238, 플루토늄을 핵연료로 사용한다.
- 플루토늄은 핵분열을 통해서 열을 생산하고, U-238은 플루토늄으로 전환하면서 연료를 생산(증식) 하는 구조

LFR 구조도



LFR 장단점

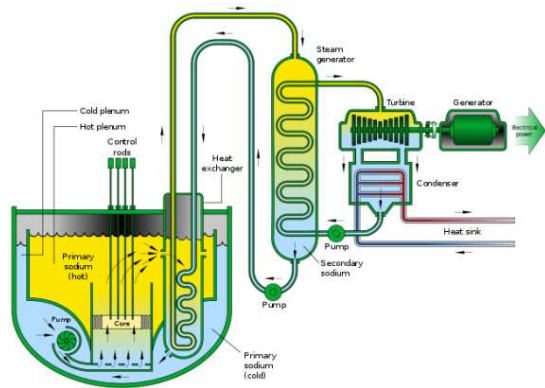
장점	단점
핵분열 과정에서 소비된 것 이상으로 새로운 핵종이 증가	원전은 연료비 비중이 낮음
납은 감마선 차폐능력이 뛰어남	배관이 불투명한 구조 (유지보수가 어렵다)
납의 비등점은 1,749°C 원자로의 급격한 온도 상승에도 안정적인 운영 가능	납은 밀도나 높아서 원자로에 운영에 무게 부담

# SMR 종류

- SFR (Sodium-cooled fast reactor, 소듐 냉각 고속로)

- 4세대 원전의 하나로 개발 중. 냉각재로 액체 소듐(Na) 사용, 고속중성자를 이용해서 핵분열 반응을 일으킨다.
- 원자로가 풀 타입(Pool Type) 설계 구조를 가지고 있음. 배관이 원자로용기 내부 풀안에 설치되어 냉각재 상실 가능성을 배재함
- SFR의 열전달계통은 일차열전달계통(원자로 열을 일차소듐 냉각재로 전달), 중간열전달계통(증기생산) 그리고 동력변환계통으로 구성
- 중간계통을 2단계로 나눈 이유는 물과 소듐을 분리시키기 위함

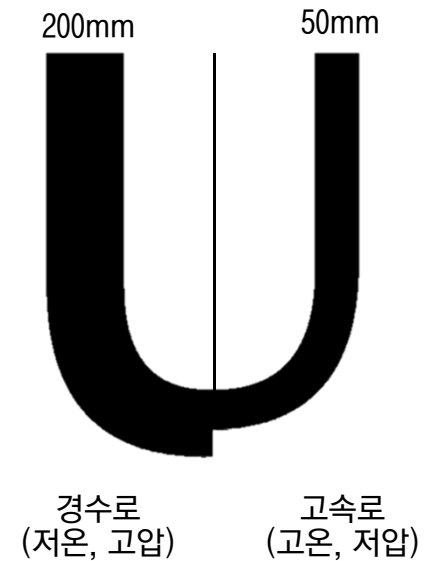
SFR 구조도



소듐은 물과 접촉하면 폭발



경수로 vs. 고속로 구조차이

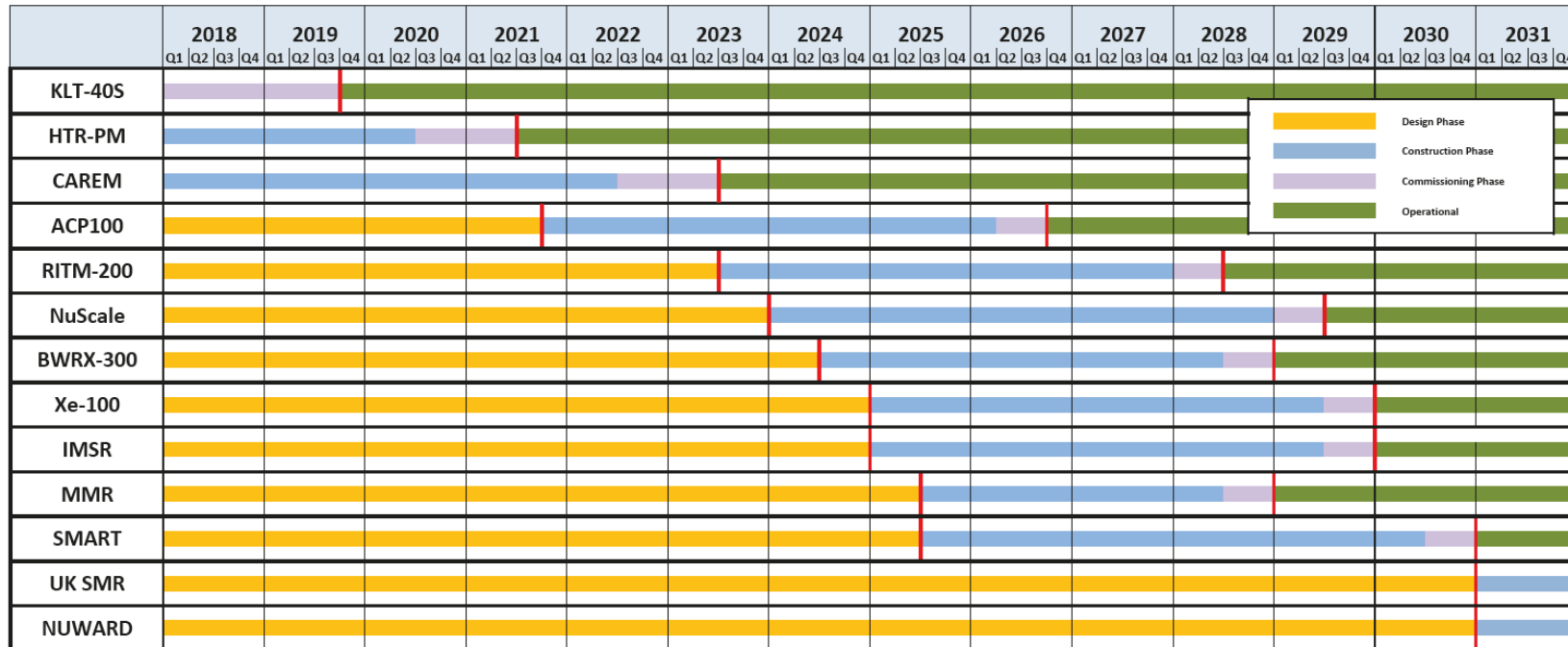


# Tech load map

## SMR Reactors

- SMR 개발단계는 크게 설계(Design) → 건설(Construction) → 예비(Commissioning) → 상업운전(Operational) 단계로 나뉜다
- 72개 SMR 중에서 가장 선두에 있는 원자로는 6개로 압축 할 수 있음. 러시아는 세계 최초 SMR 상업운전에 성공함.
- 2012년 한국의 SMART-100은 2012년 설계인증 완료를 받았음. 하지만 이후 후발 SMR에 추월 당하여 개량형인 i-SMR 사업 추진 중에 있음
- 향후 가장 빠르게 경제성을 입증한 SMR이 시장점유율을 빠르게 확보해 나갈 것으로 보임

## SMR 개발 타임라인



자료: 이베스트투자증권 리서치센터

# SMR 종류

## ● SMR Reactors vs. 대형원전

	APR1400	Smart-100	Nuscale	KLT-40S	CAREM	ACP100
국가	한국	한국	미국	러시아	아르헨티나	중국
Tech developer	한전기술	한국원자력연구원	NuScale Power	OKBM Afrikantov	CNEA	CNNC
Milestone	Commercial Operation	Licensed	Licensing	Commercial Operation	Under Construction	Under Construction
특징	3세대 원전	2015년 사우디와 설계 협약 체결	12개 모듈까지 확장 2029년 준공을 목표	최초로 상업운전에 성공한 SMR	아르헨티나 부품 국산화 70%	-
Reactor Type	PWR	Integral PWR	Integral PWR	PWR	Integral PWR	Integral PWR
냉각수	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water
감속재	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water
연료 (Enrichment)	UO <sub>2</sub> pallet (<5%)	UO <sub>2</sub> pallet (<5%)	UO <sub>2</sub> pallet (4.95%)	UO <sub>2</sub> pallet (18.6%)	UO <sub>2</sub> pallet (3.1%)	UO <sub>2</sub> pallet (<4.95%)
Height / Diameter (m)	79.4 <sup>A</sup>	18.5 / 6.5 <sup>B</sup>	17.7 / 2.7 <sup>B</sup>	4.8 / 2.0 <sup>B</sup>	11 / 3.2 <sup>B</sup>	10 / 3.35 <sup>B</sup>
Fuel Cycle (month)	18	30	24	40	14	24
Output power (MW)	1,400	107	60 × 12	35	30	125
inlet/outlet temp (°C)	291 / 324	296 / 322	265 / 321	280 / 316	284 / 326	287 / 320
Operating pressure (MPa)	15.5	15	13.8	12.7	12.3	15
Design Life	60	60	60	40	40	60

자료: 이베스트투자증권 리서치센터

A : Containment Vessel / B : Reactor Pressure Vessel



# Tech load map

## ● Tech Load map

- IAEA는 SMR 도입 과정에 어떤 절차가 있는지 “Tech-load map” 을 제공한다
- 프로젝트 시작부터 운영까지 총 8단계를 거치며 각 단계별로 어떤 Milestone이 있는지 제시했다

Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8
Project creation	Planning, Financing, Contracting and siting	Site specification & engineering support	Licensing & regulatory oversight	Procurement, supplier Development & Qualification	Construction	Training & Initial start up	Operation, spent fuel & waste management, decommissioning
SMR 도입에 필요한 예산/시간을 계획	EPC 업체 선정, 건설부지 선정	SMR은 원자로까지는 표준화 가능	채택된 원자로를 수입국가 규제기관이 검토하는 단계	부품의 설계 사양 준비	최초 콘크리트 타설 이후 연료장전	원전 운영인력 교육	발전믹스에 맞춰서 최적 운영방식 탐색
어떤 원자로가 적합한지 기술평가	자연재해 가능성을 평가한다	부지에 맞게 세부 설계변경	안정성, 규제 적합성 등을 평가	부품이 자격에 맞는지 검수			SMR은 기저부하, 부하추종 모두 다 가능
수출-수입 국가간 정부차원 협정		원자력 수입 국가의 부품 국산화에 맞게 설계변경					부하추종 운전시 전력생산 효율성 ↓
Bilateral agreement Technology assessment Letters of intent with Technology Providers Signed	EPC contract signed Site application submitted Early site Preps completed	Submit application for construction license	Site Permit Approved Construction License Issued Operator Licenses Issued	Award Reactor Module Contract Reactor Modules Ready for shipment Reactor Fuel Ready for shipment	First Concrete Fuel Loading	Commercial Operation Date (COD)	Spent Fuel Storage Site approved

## Part III

# BTB (Back to the Basic)

### 원전 산업 한눈에 보기

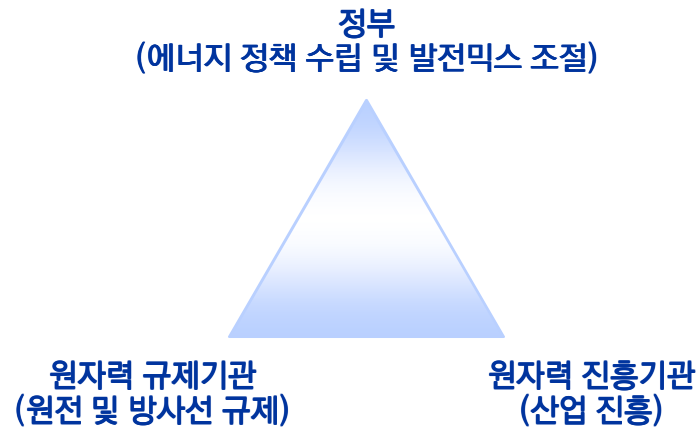
- 원전 시장 참가자
- 원자력 발전소 비용 구조

# 원전 시장 참가자

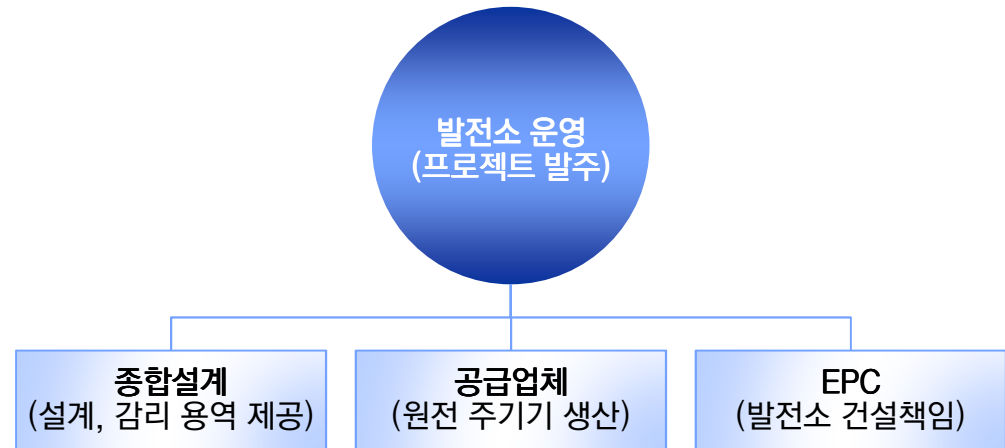
## ● 구분

- 정부 (Government) : 경제성과 안정성을 만족시키는 발전믹스를 선택한다. 발전믹스 조절하며 원전 비중을 조정한다
- 규제기관 (Regulator) : IAEA는 규제기관과 산업 진흥 기관을 분리해서 운영하도록 권고
- 원전 운영기관 (Owner/operator) : 원전 프로젝트 발주 및 운영의 주체
- 종합설계(Architect Engineering) : 생산설비 없이 순수한 종합설계 회사는 대규모 자본투자가 필요 없다
- 공급업체(Vendor) : 원자로, 증기발생기, 가압기 등 원전 주기기를 생산.
- EPC (EPC contractor) : 리스크 분담을 위해서 3~4개의 EPC업체가 컨소시엄을 이뤄서 프로젝트에 참여

### Major Player – 공공기관



### Major Player – 민간기관

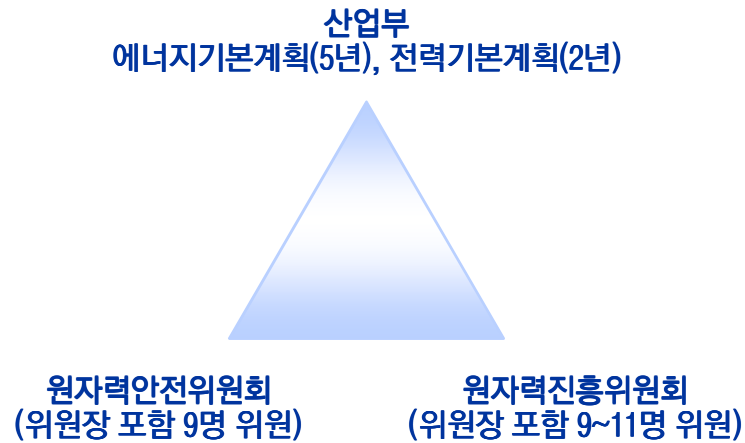


# 원전 시장 참가자

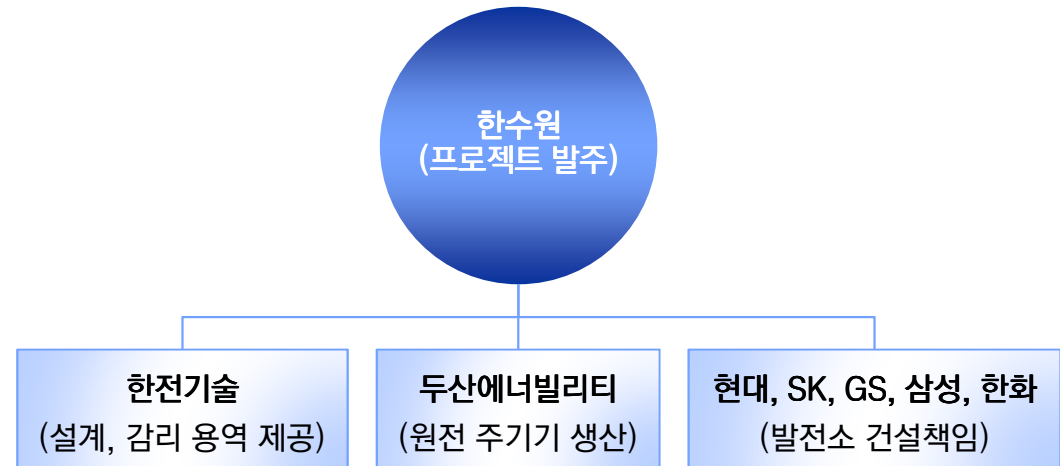
## ● 한국

- 산업부 : 에너지기본계획, 전력수급기본계획을 통해서 국가 에너지정책을 수립한다 (4차 에기본 24년 예정, 10차 전기본 22년 12월 예정)
- 원자력안전위원회 : 원전 안정성 확인 주체. 원자로 가동 정지 및 가동여부 의사결정
- 원자력진흥위원회 : 6차 원자력진흥종합계획안 발표(2022~2026년). 국무총리 소속 위원회.
- 한국수력원자력 : 국내원전 프로젝트 발주 및 운영 주체. 한국전력 100% 자회사.
- 한전기술 / 두산에너빌리티 / 건설사 : 각각 원전 종합설계, 주기기 생산, 원전 시공

### Major Players – 공공기관



### Major Players – 민간기관

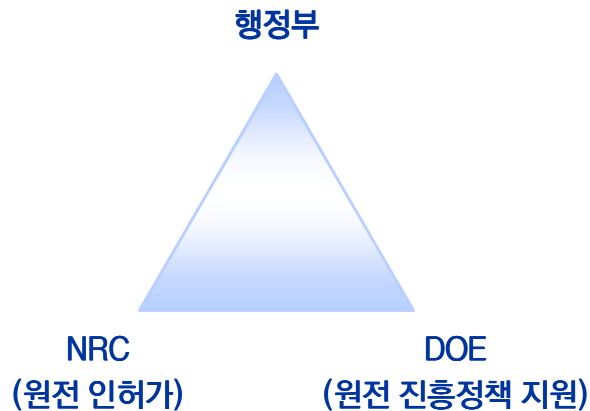


# 원전 시장 참가자

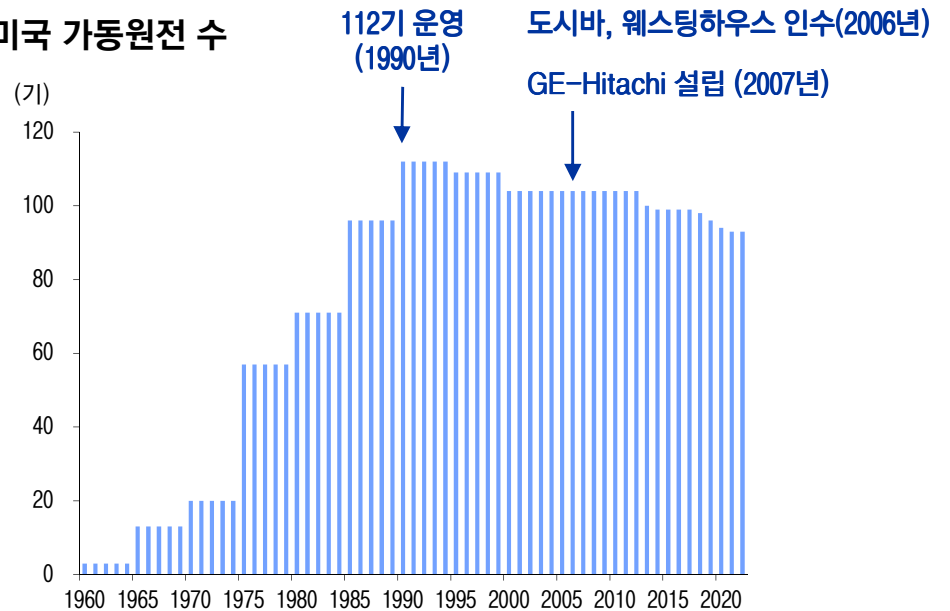
## ● 미국

- NRC(Nuclear Regulatory Commission) : 미국에서 원전을 건설하기 위해서는 원자로 설계인증(Design Certification) 취득 필요
- DOE(Department of Energy) : 에너지 정책 수립 및 원자력 산업 진흥정책 지원
- 미국은 1990년 이후로 가동원전 수는 지속적으로 감소 → 그 결과 원전 공급 망 붕괴
- 미국 원자로 현황(22년 4월) : 운영 중 93기/ 건설 중 2기 / 폐쇄 40기

Major Players - 공공기관



미국 가동원전 수



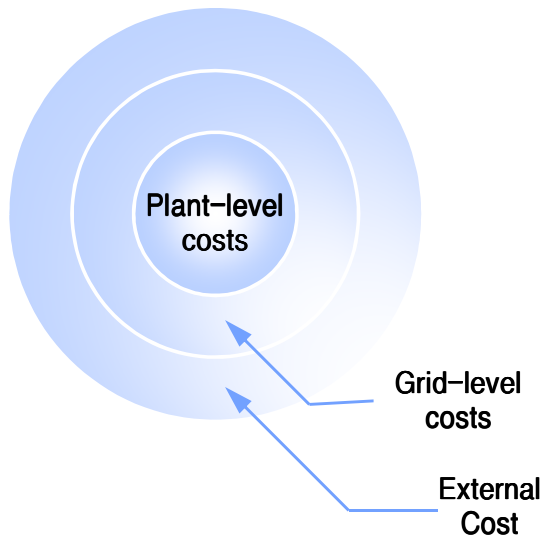
# 원자력 발전소 비용 구조

## ● 개요

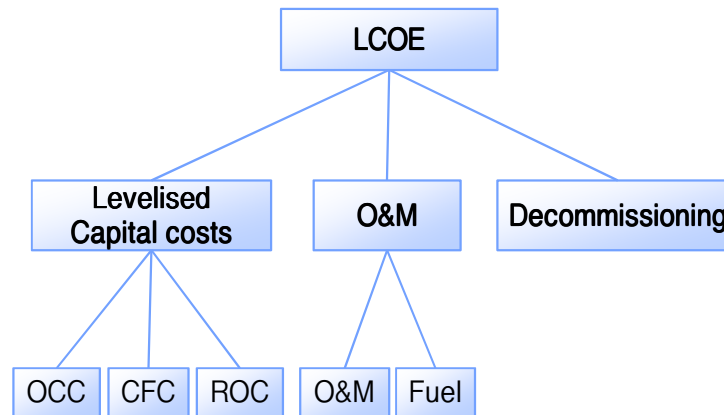
- 발전소 경제성 분석은 3가지 범주로 나뉘어 볼 수 있음. 본 리포트에서는 1단계만 놓고서 경제성을 판단한다

- ① 발전소 단계 비용(Plant-level costs) : 발전소 운영에 필요한 모든 금융, 건설, 운영, 해체 비용을 포함한다
- ② 송배전망 단계 비용(Grid-level costs) : 송배전 거리가 길어질수록, 출력 변동성이 높아질수록 인프라 확보에 따르는 비용은 상승한다
- ③ 외부비용(External costs) : 계량화하기 힘든 주민 수용성, 환경비용 등이 포함된다

단계별 발전소 경제 분석



균등화 발전원가 분해

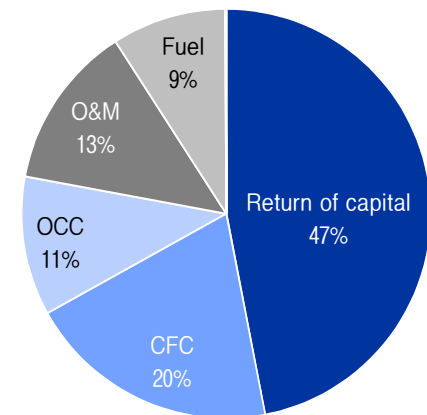


\* OCC (Overnight construction costs)

\* CFC (Capitalized financial costs)

\* ROC (Return of capital)

원자력 발전 LCOE 분해

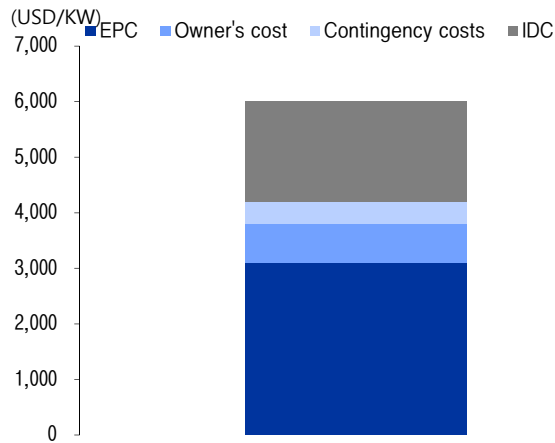


# 원자력 발전소 비용 구조

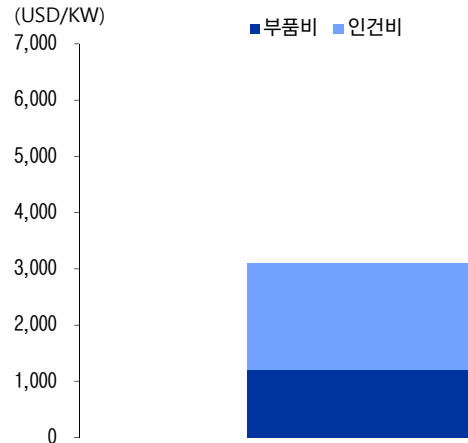
## ● 순 공사비(Overnight Construction Costs)

- OCC는 발전소를 하룻밤 만에 건설한다고 가정하고 발전소 건설에 필요한 비용을 산정함
- 이자비용을 제외했기 때문에 실제 발전소 건설에 필요한 순수한 비용이 집계됨
- OCC는 예비비(contingency costs), Owner's cost, EPC 3가지로 나뉨
- EPC 비용 중에서 약 61%가 인건비, 나머지 39%는 부품 비용을 차지한다
- 인건비에서는 토목 구조 작업이 대부분 차지하며 부품 비용에서는 원전 주기와 터빈 비용이 차지한다

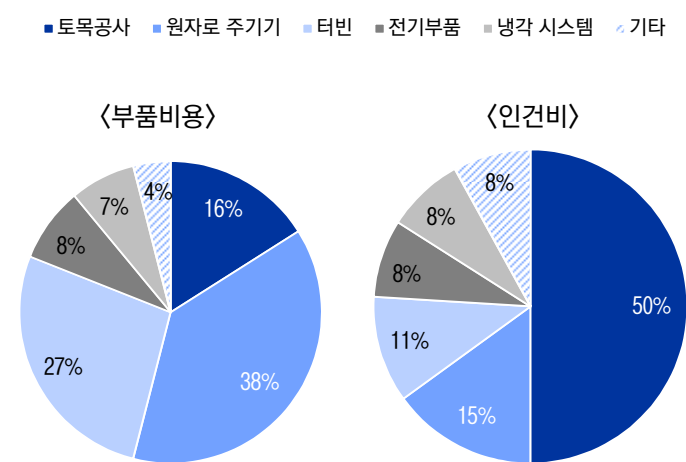
원전 발전소 투자비 분해



EPC 중에서 61% 인건비, 39% 부품비



부품비용, 인건비 분해

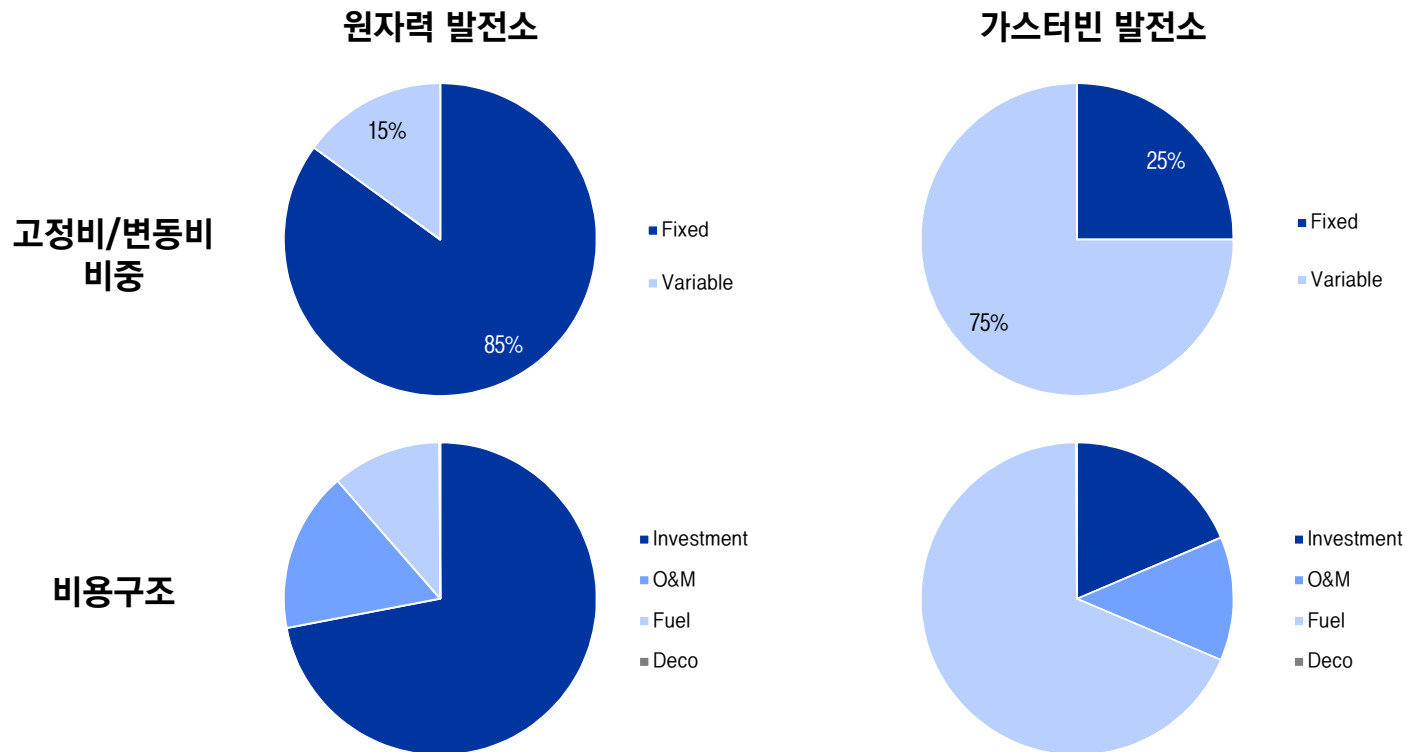


자료: IEA/NEA(2020), 이베스트투자증권 리서치센터

# 원자력 발전소 비용 구조

## ● 대형원전 vs. 가스터빈(Combined-Cycle Gas Turbines, CCGT)

- 원전은 기저발전으로 활용(높은 고정비, 낮은 변동비) vs. 가스터빈은 첨두발전 활용(높은 변동비, 낮은 고정비)
- 전력 도매가격이 하락하면, 변동비 비중이 높은 가스터빈 발전은 추가손실을 피하기 위해 가동률은 낮출 수 있음
- 하지만 원전은 높은 고정비를 감당하기 위해서 항상 가동률을 높게 유지해야 경제적인 발전이 가능하다
- 현금흐름 구조상 원자력 발전소 프로젝트는 리스크가 높음(=Duration)



자료: IEA/NEA(2020), 이베스트투자증권 리서치센터



# 원자력 발전소 비용 구조

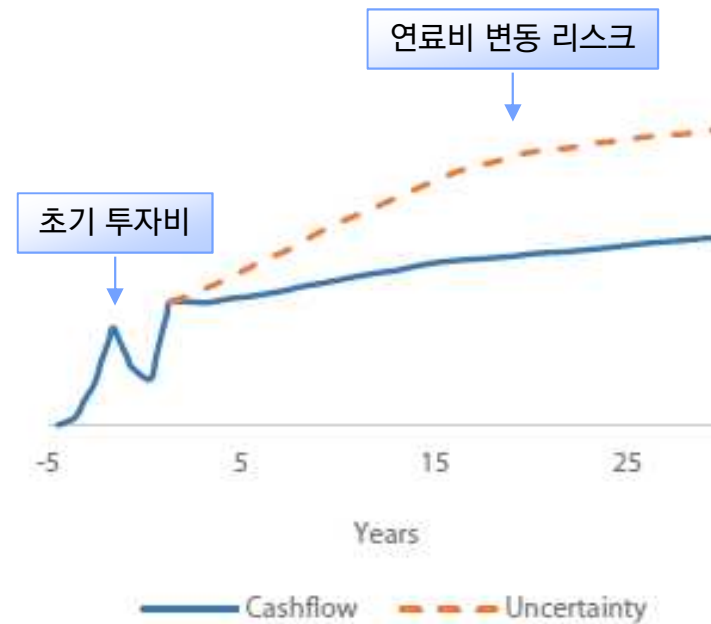
## ● 대형원전 vs. 가스터빈(Combined-Cycle Gas Turbines, CCGT)

- 원전은 기저발전으로 활용(높은 고정비, 낮은 변동비) vs. 가스터빈은 첨두발전 활용(높은 변동비, 낮은 고정비)
- 전력 도매가격이 하락하면, 변동비 비중이 높은 가스터빈 발전은 추가손실을 피하기 위해 가동률은 낮출 수 있음
- 하지만 원전은 높은 고정비를 감당하기 위해서 항상 가동률을 높게 유지해야 경제적인 발전이 가능하다
- 현금흐름 구조상 원자력 발전소 프로젝트는 리스크가 높음(=Duration)

원자력 발전소



가스터빈 발전소



# 원자력 발전소 비용 구조

## ● SMR : 경제성

- 자본조달 비용 : 다양한 자료에서 SMR은 대형원전대비 금융조달 비용이 낮을 것이라 의견 일치 (짧은 건설기간, 낮은 초기 투자비용 등)
- 고정비 : 발전용량 차이 때문에 발전 단위당 고정비(Fixed cost/MW)는 SMR이 대형원전 대비해서 높을 수 밖에 없음  
SMR 설계업체는 단일 제어실 운영 등 다양한 솔루션을 제시하고 있음(고정비 성격인 인건비를 낮추기 위함)
- 연료비 : 연료비에 대해서는 의견이 갈린다 (작은 노심 크기 때문에 핵연료 보관주기가 짧아서 교체비용 높음 vs. 고농축 우라늄 사용 극복)

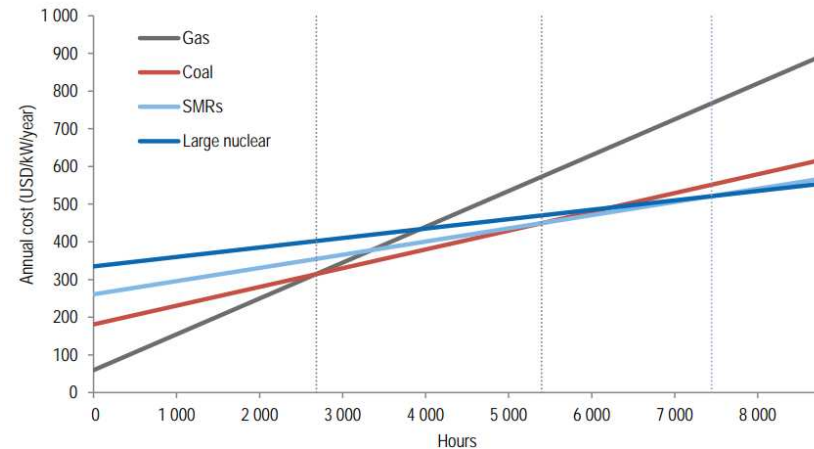
## ● SMR : 타 발전소 대비 비교

- SMR이 부하추종(load following)이 가능하고 유연성이 높지만, 가스터빈 발전보다 우위에 있진 않음
- 이미 가스터빈 발전은 높은 기술성숙도, 글로벌 공급망을 갖춘 상황
- 가스터빈 발전과 경합하기 위해서는 연료비(우라늄 vs. 천연가스)가 중요한 변수가 될 것으로 보임.

### 연료전지 산업 : 유지비용 낮추는 솔루션 제시

<p>Remote Monitoring and Diagnostics</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24/7 remote monitoring</li> <li>• Fleet performance optimization (power, efficiency, reliability)</li> <li>• Analytics and field service dispatch</li> </ul>	<p>~10% of Service Cost</p>
<p>Parts and Labor (Level 1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive maintenance (filters and adsorbents)</li> <li>• Minor repair and replacements (fans, blowers and electronics)</li> </ul>	<p>~25% of Service Cost</p>
<p>Power Modules (Level 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Removal and replacement</li> <li>• Repair and overhaul</li> <li>• Refurbishment</li> </ul>	<p>~65% of Service Cost</p>

### 비용 구조



자료: Bloomenergy, NEA, 이베스트투자증권 리서치센터

# 두산에너지빌리티 (034020) : SMR Foundary



## N/R

목표주가 N/R  
현재주가(6/7) 19,550원

KOSPI(6/7)	2,626.34 pt
시가총액	123,598 억원
발행주식수	632,215 천주
52주 최고가 / 최저가	30,886 / 15,450 원
90일 일평균거래대금	1,410.65 억원
외국인 지분율	9.7%
배당수익률(22.12E)	0.0%
BPS(22.12E)	12,015원
KOSPI대비 상대수익률	1개월 -5.5%
	6개월 9.8%
	12개월 -17.5%
주주구성	두산 (외 27인) 35.6%
	우리사주 (외 1인) 2.9%



### 기업개요

- 두산의 중간지주회사. 연결대상 종속회사는 두산퓨얼셀, 두산밥캣 등을 두고 있음. 매출액 비중은 두산중공업 35%, 두산인프라코어 17%, 두산밥캣 37%, 두산건설 9%, 두산퓨얼셀 2% 나뉨. 전통적인 중공업에서 해상풍력, SMR, 가스터빈 등 에너지신사업으로 Pivoting을 나서고 있음.

### 중장기 수주목표 10.1조

- 중장기(23~26년) 10.1조원을 목표하고 있음. 세부적으로 기존사업은 축소(3.9조→2.4조), 성장사업은 확대(3.2조→5.3조). 성장사업 Breakdown : 가스터빈 1.8조, 수소 0.6조, 신재생 2.1조, SMR 0.8조
- SMR은 NuScale社 초도기 및 후속 호기 제작을 목표로 하고 있음. 생산설비가 없는 순수한 발전소 설계업체 Foundary 역할을 할 것으로 기대됨. NuScale 뿐 아니라 X-energy 설계 및 주기기 제작사업까지 협력 중

### 원전 사업에 긍정적인 분위기

- 22년 5월 한미정상회담에서 양국간 원자력 협력을 약속함. 발전소 설계에 강점이 있는 미국, 원전 주기기 생산에 강점이 있는 한국간 협력으로 해석이 가능
- 국내 유일의 주기기 생산업체인 두산에너지빌리티에 긍정적인 분위기

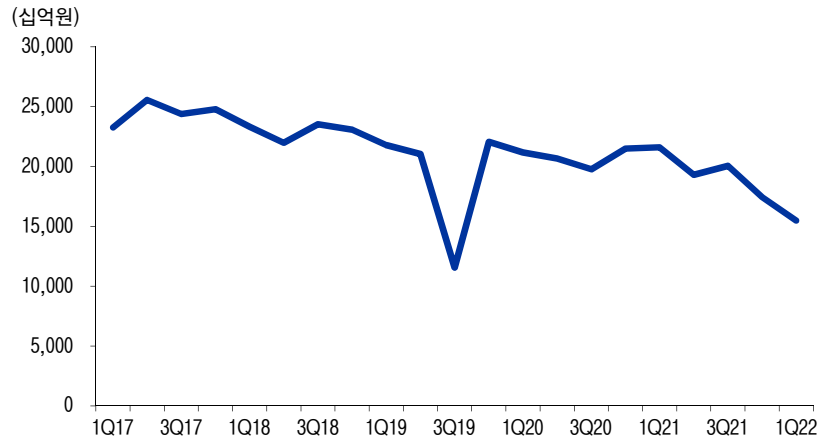
### Financial Data

(십억원)	매출액	영업이익	세전이익	순이익	EPS (원)	증감률 (%)	EBITDA	PER (배)	EV/EBITDA (배)	PBR (배)	ROE (%)
2017	13,841	913	131	-110	-2,210	적지	1,427	-5.3	7.4	0.4	-8.5
2018	14,761	1,004	-103	-422	-3,513	적지	1,503	-2.1	6.2	0.3	-16.9
2019	15,660	1,077	95	-104	-1,723	적지	1,628	-11.5	13.1	1.6	-14.7
2020	9,172	-135	-783	-838	-2,715	적지	434	-7.3	46.5	2.3	-37.2
2021	11,284	878	570	646	902	흑전	1,415	22.1	12.6	1.7	10.7

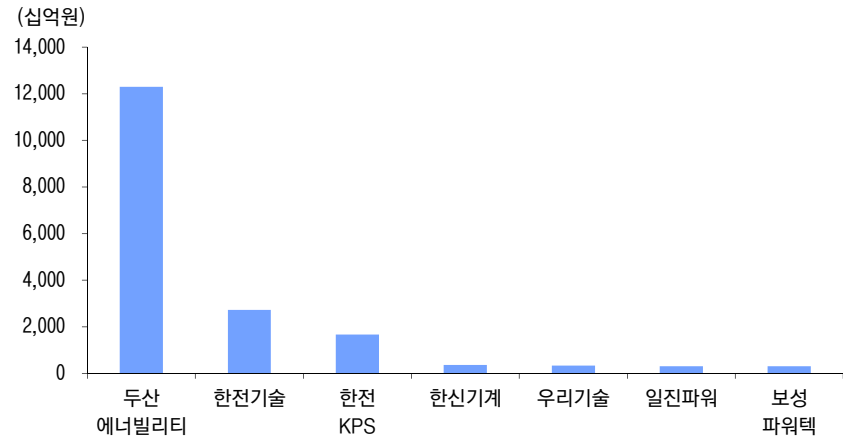
자료: 이베스트투자증권 리서치센터

# 두산에너지빌리티 (034020) : SMR Foundary

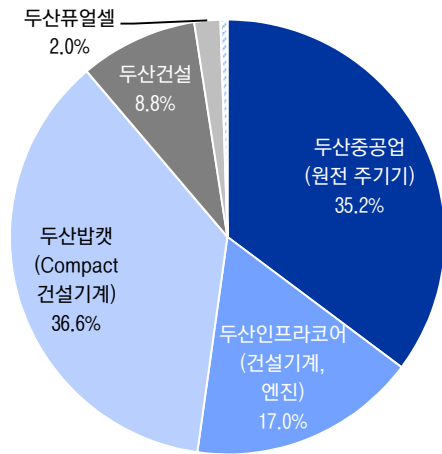
### 분기 말 수주잔액



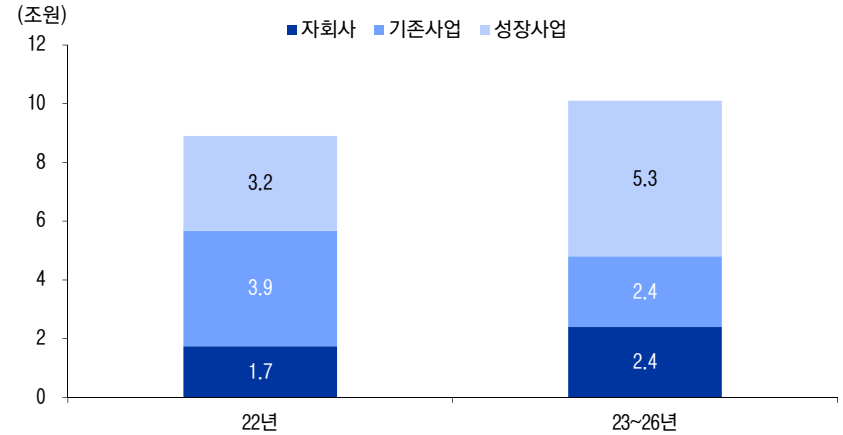
### 원자력 관련종목 시가총액



### 매출액 비중



### 중장기 수주계획



자료: 두산에너지빌리티, 이베스트투자증권 리서치센터

# 두산에너지빌리티 (034020) : SMR Foundary



## 재무상태표

(십억원)	2017	2018	2019	2020	2021
<b>유동/비유동자산</b>	<b>12,628</b>	<b>11,174</b>	<b>10,812</b>	<b>10,724</b>	<b>9,028</b>
현금및현금성자산	1,827	943	1,298	1,893	1,373
매출채권 및 기타채권	5,452	5,653	5,046	4,920	4,472
재고자산	2,457	2,206	2,332	2,196	1,739
기타유동자산	2,891	2,372	2,137	1,715	1,444
<b>비유동자산</b>	<b>15,287</b>	<b>16,551</b>	<b>16,740</b>	<b>16,536</b>	<b>15,804</b>
관계기업투자 등	583	513	415	253	367
유형자산	6,156	7,232	7,190	7,207	6,388
무형자산	6,874	6,925	6,863	6,658	6,646
<b>자산총계</b>	<b>27,914</b>	<b>27,725</b>	<b>27,552</b>	<b>27,260</b>	<b>24,833</b>
<b>유동부채</b>	<b>12,318</b>	<b>10,572</b>	<b>11,132</b>	<b>12,455</b>	<b>11,580</b>
매입채무 및 기타채무	5,771	5,152	5,138	4,923	4,781
단기금융부채	6,386	5,426	7,579	7,164	5,134
기타유동부채	161	-6	-1,585	368	1,665
<b>비유동부채</b>	<b>9,609</b>	<b>9,241</b>	<b>8,743</b>	<b>7,779</b>	<b>6,429</b>
장기금융부채	7,611	7,338	6,805	6,157	4,684
기타유동부채	1,998	1,903	1,937	1,621	1,746
<b>부채총계</b>	<b>21,928</b>	<b>19,814</b>	<b>19,875</b>	<b>20,234</b>	<b>18,010</b>
<b>자본총계</b>	<b>3,819</b>	<b>4,727</b>	<b>4,659</b>	<b>3,581</b>	<b>3,476</b>

## 손익계산서

(십억원)	2017	2018	2019	2020	2021
<b>매출액</b>	<b>13,841</b>	<b>14,761</b>	<b>15,660</b>	<b>9,172</b>	<b>11,284</b>
<b>영업이익</b>	<b>913</b>	<b>1,004</b>	<b>1,077</b>	<b>-135</b>	<b>878</b>
<b>EBITDA</b>	<b>1,427</b>	<b>1,503</b>	<b>1,628</b>	<b>434</b>	<b>1,415</b>
<b>세전이익</b>	<b>131</b>	<b>-103</b>	<b>95</b>	<b>-783</b>	<b>570</b>
<b>지배주주순이익</b>	<b>-292</b>	<b>-524</b>	<b>-395</b>	<b>-1,070</b>	<b>495</b>
<b>Profitability(%)</b>					
영업이익률	6.6	6.8	6.9	-1.5	7.8
EBITDA Margin	10.3	10.2	10.4	4.7	12.5
당기순이익률	-0.8	-2.9	-0.7	-9.1	5.7
ROA	-1.2	-2.1	-1.6	-4.2	2.0
ROE	-8.5	-16.9	-14.7	-37.2	10.7
ROIC	-1.9	5.0	-9.0	-0.7	5.4

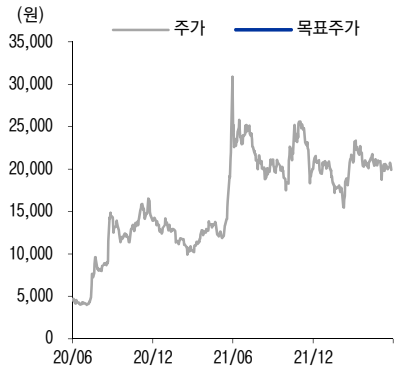
## 현금흐름표

(십억원)	2017	2018	2019	2020	2021
<b>영업활동 현금흐름</b>	<b>-327</b>	<b>150</b>	<b>604</b>	<b>-74</b>	<b>968</b>
당기순이익(손실)	97	19	-85	-1,751	-216
비현금수익비용가감	1,836	1,778	1,831	2,797	1,668
영업활동 자산부채변동	-859	-924	-346	-480	40
<b>투자활동 현금</b>	<b>-1,091</b>	<b>-1,048</b>	<b>-545</b>	<b>-380</b>	<b>805</b>
유형자산처분(취득)	-587	-292	-359	-358	-222
무형자산 감소(증가)	-251	-258	-257	-251	-247
투자자산 감소(증가)	-36	-28	91	-309	-406
기타투자활동	-218	-471	-20	538	1,680
<b>재무활동 현금</b>	<b>1,012</b>	<b>4</b>	<b>326</b>	<b>1,059</b>	<b>-2,252</b>
차입금의 증가(감소)	605	-1,043	-56	230	-2,191
자본의 증가(감소)	-65	215	270	-170	0
배당금의 지급	-67	-85	-103	-170	-148
기타재무활동	472	832	112	999	-61
<b>현금의 증가</b>	<b>-410</b>	<b>-884</b>	<b>355</b>	<b>595</b>	<b>-520</b>
기초현금	-2,237	-1,827	-943	-1,298	-1,893
기말현금	1,827	943	1,298	1,893	1,373

## 주요 투자지표

	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Valuation (배)</b>					
P/E	99.4	51.8	-27.8	-2.5	-15.2
P/B	1.0	0.6	0.5	0.7	0.7
EV/EBITDA	13.3	8.8	15.2	41.0	16.0
<b>Per Share Data (원)</b>					
EPS	348	523	-715	-7,942	-1,311
BPS	36,075	44,524	39,036	29,998	29,119
CPS	13,885	12,864	11,417	6,843	9,500
<b>Growth (%)</b>					
매출액	35.9	-9.7	-6.4	-19.5	-3.6
영업이익	-45.6	63.5	-8.3	적전	흑전
EPS	흑전	50.4	적전	적지	적지
<b>Stability (%배, 억원)</b>					
부채비율	366.3	250.4	258.9	288.0	264.0
유동비율	102.5	105.7	97.1	86.1	78.0

자료: 두산에너지빌리티, 이베스트투자증권 리서치센터

**두산에너지빌리티 목표주가 추이**

**투자 의견 변동내역**

일시	투자 의견	목표가격	과리율(%)			일시	투자 의견	목표가격	과리율(%)		
			최고대비	최저대비	평균대비				최고대비	최저대비	평균대비
2022.06.08	NR	나만식									

### Compliance Notice

본 자료에 기재된 내용들은 작성자 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다(작성자: 나민석).

본 자료는 고객의 증권투자를 돕기 위한 정보제공을 목적으로 제작되었습니다. 본 자료에 수록된 내용은 당사 리서치본부가 신뢰할 만한 자료 및 정보를 바탕으로 작성한 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 참고자료로만 활용하시기 바라며 유가증권 투자 시 투자자 자신의 판단과 책임하에 최종결정을 하시기를 바랍니다. 따라서 본 자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다.

본 자료는 당사의 저작물로서 모든 저작권은 당사에게 있으며 어떠한 경우에도 당사의 동의 없이 복제, 배포, 전송, 변형될 수 없습니다.

- \_ 동 자료는 제공시점 현재 기관투자가 또는 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- \_ 동 자료의 추천종목은 전일 기준 현재당사에서 1% 이상 보유하고 있지 않습니다.
- \_ 동 자료의 추천종목은 전일 기준 현재 당사의 조사분석 담당자 및 그 배우자 등 관련자가 보유하고 있지 않습니다.
- \_ 동 자료의 추천종목에 해당하는 회사는 당사와 계열회사 관계에 있지 않습니다.

### 투자등급 및 적용 기준

구분	투자등급 guide line (투자기간 6~12개월)	투자등급	적용기준 (향후12개월)	투자의견 비율	비고
Sector (업종)	시가총액 대비	Overweight (비중확대)			
	업종 비중 기준	Neutral (중립)			
	투자등급 3단계	Underweight (비중축소)			
Company (기업)	절대수익률 기준	Buy (매수)	+15% 이상 기대	90.8%	2018년 10월 25일부터 당사 투자등급 적용기준이 기준 ±20%에서 ±15%로 변경
	투자등급 3단계	Hold (보유)	-15% ~ +15% 기대	9.2%	
		Sell (매도)	-15% 이하 기대		
		합계		100.0%	투자의견 비율은 2021. 04. 1 ~ 2022. 3. 31 당사 리서치센터의 의견공표 종목들의 맨마지막 공표의견을 기준으로 한 투자등급별 비중임 (최근 1년간 누적 기준, 분기별 갱신)