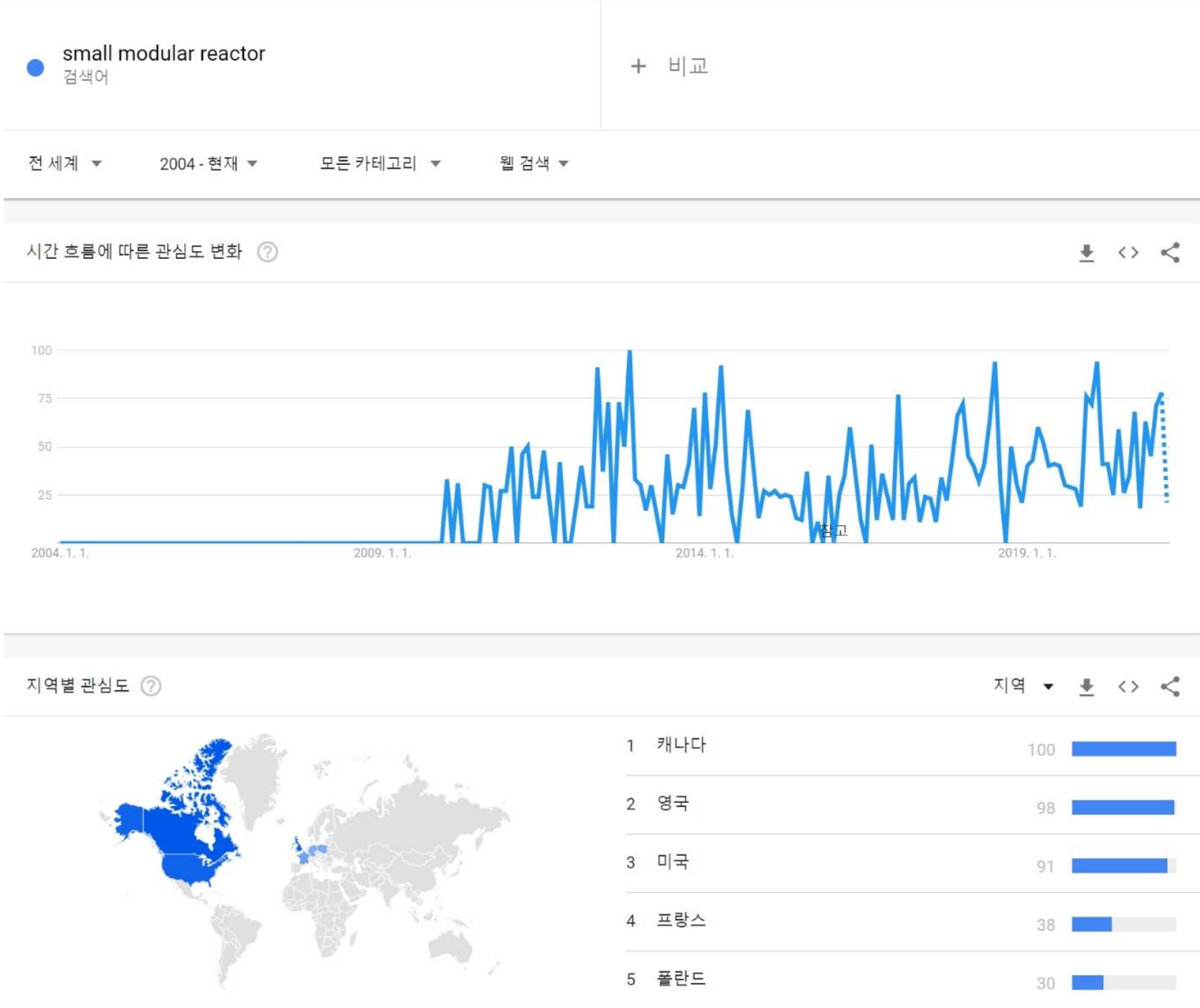


i-SMR 전망과 과제

중앙대 에너지시스템공학부 정동욱 교수

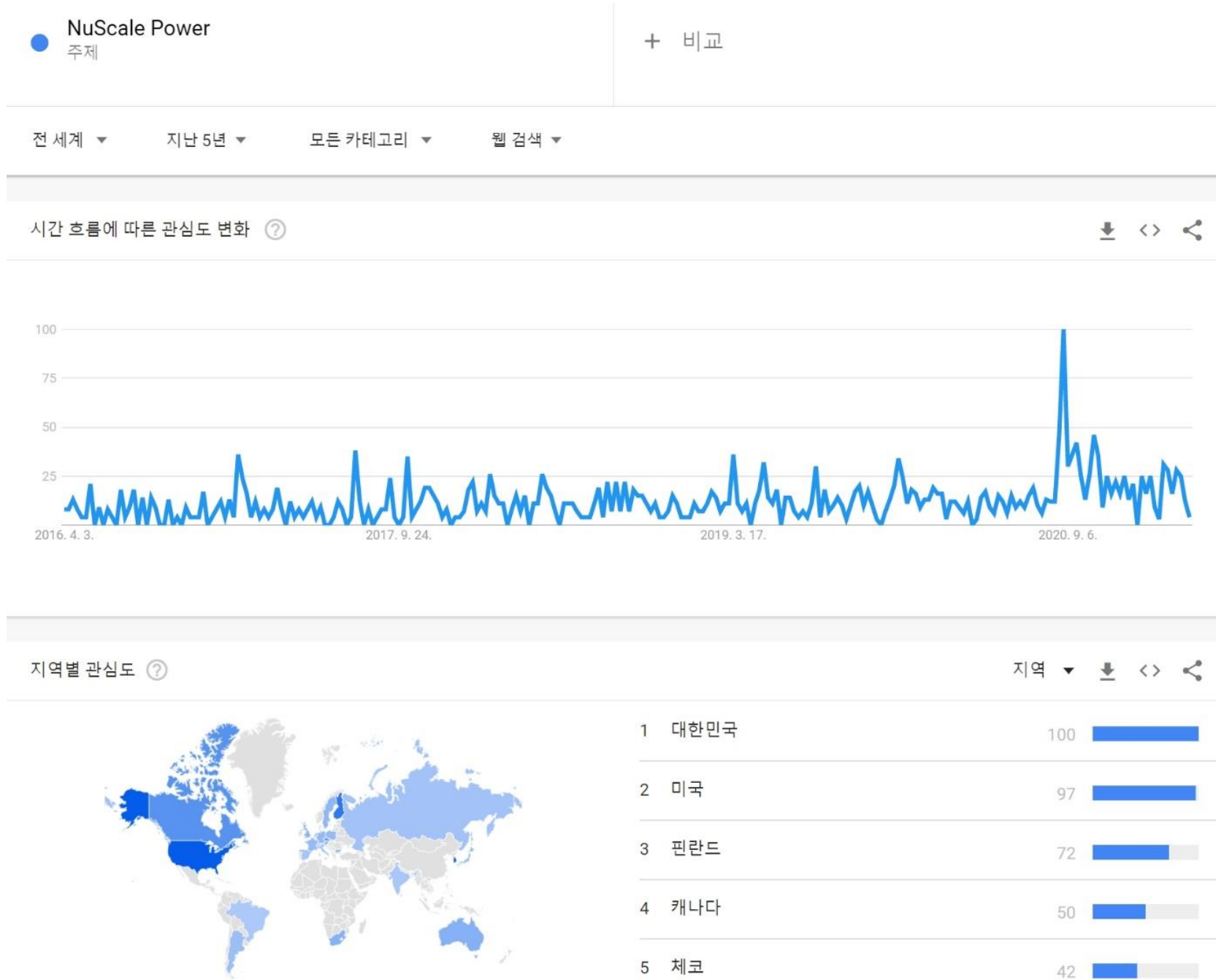
Google Trend

SMR



Google Trend

NuScale



[일문일답] 한정에 "소형원자로, 현 원전과 구분...재생에너지 확대 먼저"

[경제] 파워인터뷰

게재 일자 : 2021년 01월 20일(수)

“原電 폐기하면 안돼... 그린수소 만드는 소형원자로 형태로 업그레이드를”



MINI NUCLEAR REACTORS OFFER PROMISE OF CHEAPER, CLEAN POWER

Reactor makers are pitching smaller, modular systems that produce limitless emissions-free energy—but they may not be an easy sell

WORLD

Canada Embraces Nuclear Energy Expansion to Lower Carbon Emissions

Government is encouraging the deployment of small modular reactors, making the country an exception in the developed world

후쿠시마 공포 날릴 친환경 소형원전이 희망

최준영 법무법인 올촌 전문위원 (realsong@sisajournal.com) | 승인 2021.03.18 11:00 | 조회수 1639



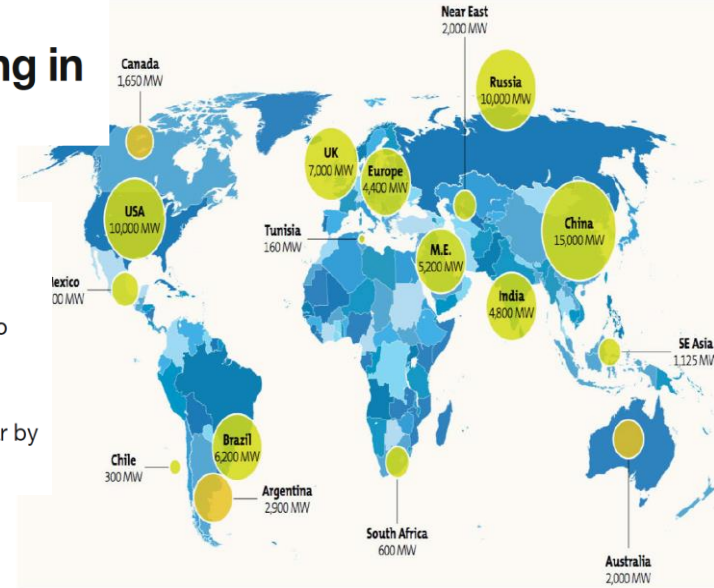
늘어나는 전력 수요 충족 위해 미국·영국도 속속 개발



탄소중립, 원자력 없이 어려워.....

Nuclear: These countries are investing in small modular reactors

- The U.S., U.K. and Canada, three major nuclear markets, have all signaled growing support for small modular reactors (SMRs).
- Canada, for example, launched a 27-point SMR national action plan to demo and deploy the technology, update regulations and create employment.
- The global market for SMRs is expected to be worth up to \$300 billion a year by 2040.



The potential global SMR market (in megawatts), according to an analysis by a British consortium. NATIONAL NUCLEAR LABORATORY / ROLLS-ROYCE

[뉴스의 맥] 탄소배출 늘리는 脫탄소정책...해법은 소형 원전뿐

입력 2020.12.29 17:30 | 수정 2020.12.30 00:29 | 지면 A33

탄소중립 선언 제대로 실현하려면

광풍력 늘린 獨, 겨울엔 오히려 탄소배출 증가
다가 더 친환경?...실제론 감축효과 크지 않아
소형 원자로 집중...비용 낮고 도심건설도 가능

백광열 < 연세대 경제대학원 기후금융학 겸임교수 >

[기고] 탈석탄시대 게임체인저로 떠오르는 소형원전

입력 : 2020.11.06 00:07:01

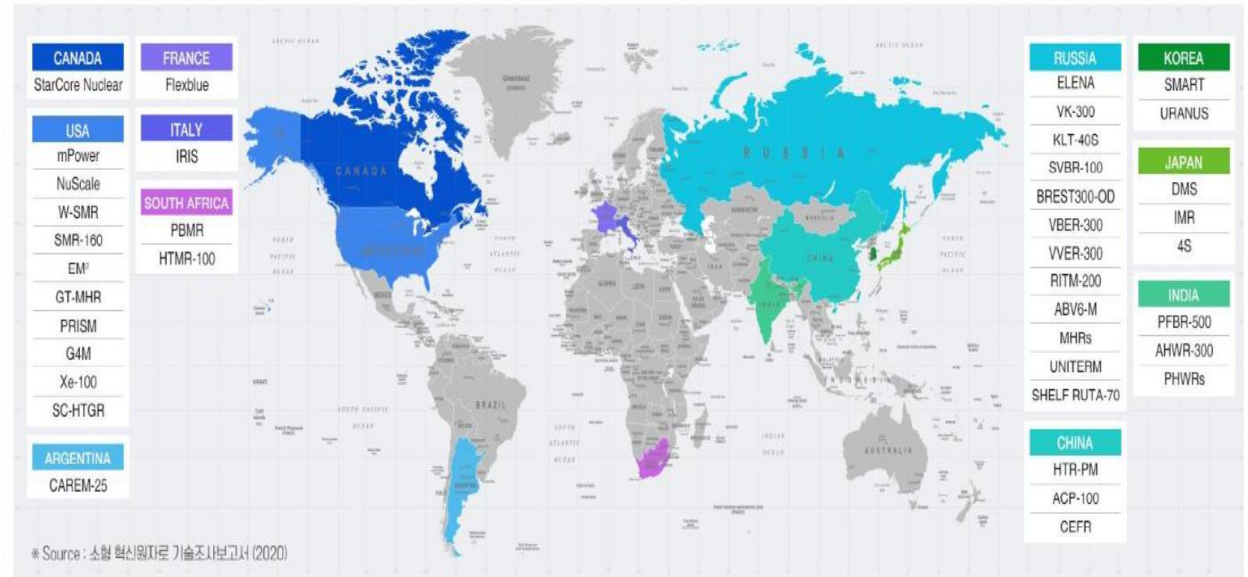
얼마 전 미국 벤처기업 뉴스케일이 개발한 소형 원전이 미국 원자력규제위원회 마지막 심사 단계를 통과했다. 이 원전은 원자로 하나가 60MW다. 12개 원자로를 모듈 방식으로 묶어 720MW 규모 원전을 짓고자 한다. 필요한 전력이 300MW면 원자로 모듈 5개를 묶으면 된다. 전력수요 대응에도 좋고 소형 원전의 장점인 안전성에도 대형 원전에 버금가는 경제성을 확보할 수 있다. 이 원전이 성공할지는 경제성에 달렸다. 미국 원전이 경쟁력을 가지려면 kW당 건설비가 4000달러 이하여야 한다고 한다. 뉴스케일은 kW당 5000달러 수준으로 평가된다.



한국, 미국, 러시아, 중국 등에서 50종 이상의 SMR 개발 중

Why SMR ?

- 대형 원전에 비해 작은 투자 리스크: kW 당 투자비는 높아도 전체 투자비는 작아
- 낮은 전력 수요 증가에 대응, 석탄/가스 발전 교체에 적당한 규모 가능
- 안전 문제에 대해 국민 수용성 향상 가능
- 분산 전원에는 유리, 재생에너지와 협력 유리
- 다양한 원자로 개념 가능



- 각국의 개발 전략 특성

- 미국: 기술 혁신 – NuScale, 비경수로형 SMR, 마이크로 원자로
- 영국: 기존 기술 최대 활용 (미국:BWRX-300), 빠른 시장 전개
- 캐나다: 해외 기술 적극 수용

* 민간 기업 중심 개발 전략 (벤처기업에 투자)

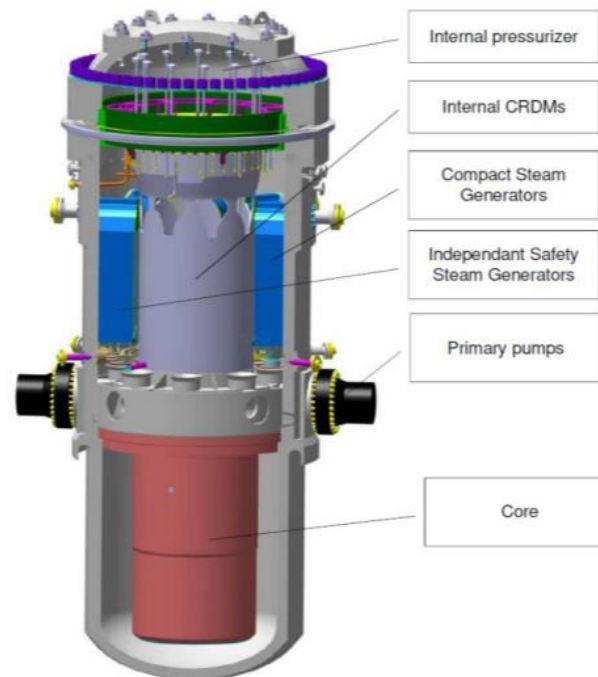
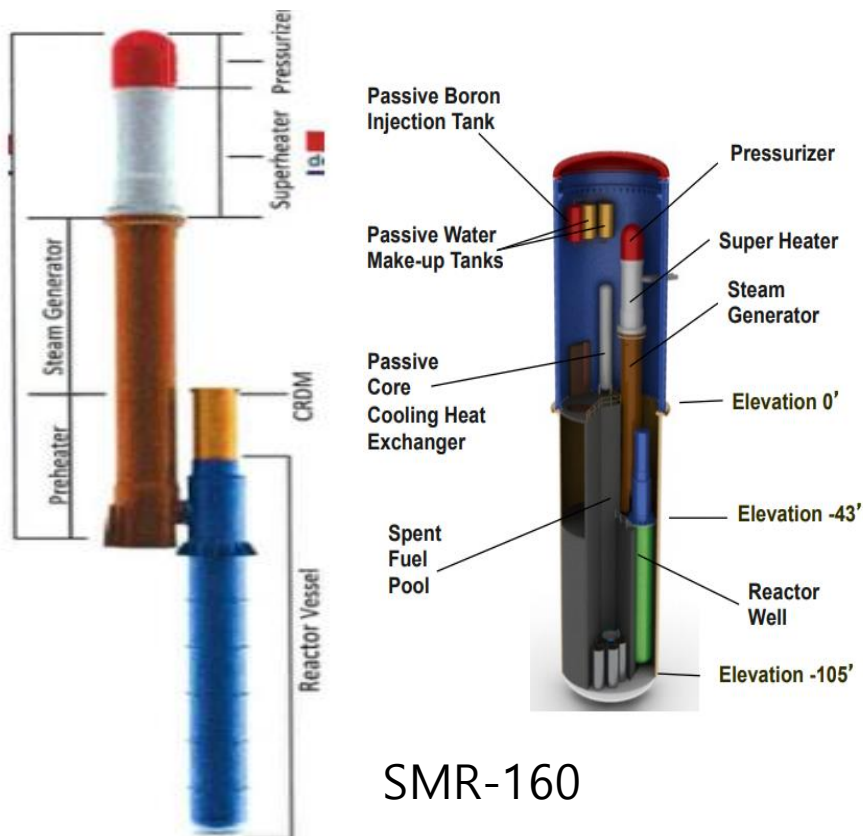
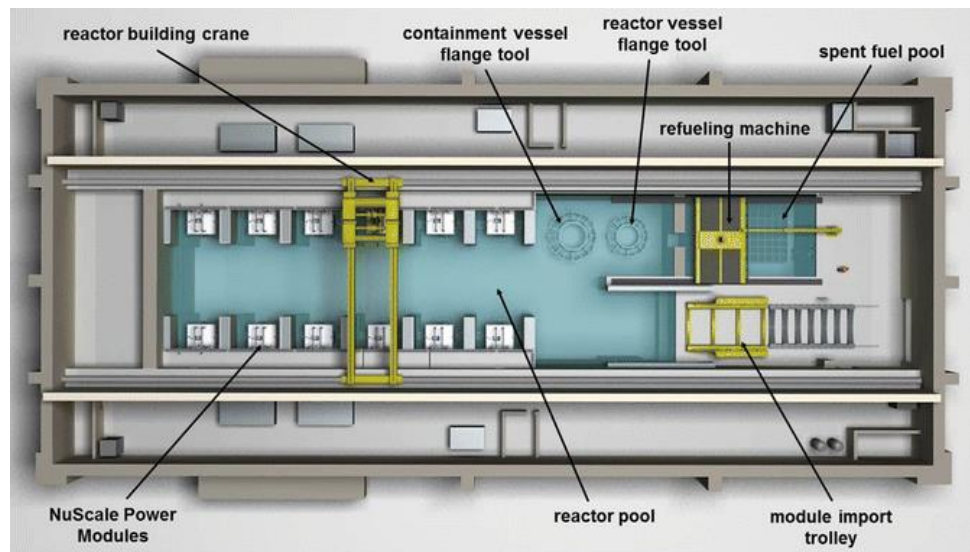


Table 1: Representative sample of SMR designs under development globally

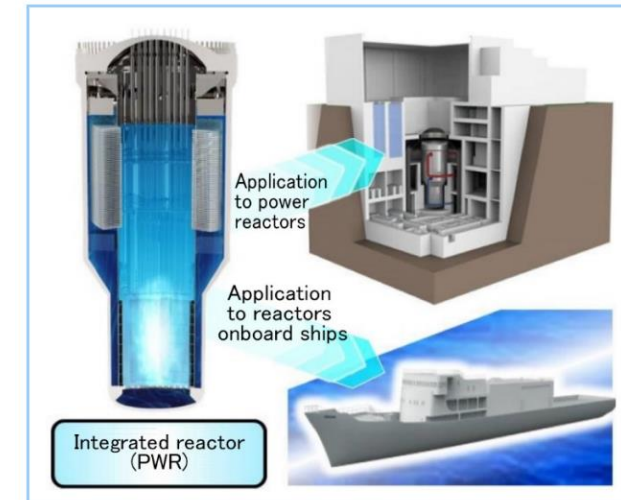
Design	Net output per module (MWe)	Number of modules (if applicable)	Type	Designer	Country	Status
Single unit LWR-SMRs						
CAREM	30	1	PWR	CNEA	Argentina	Under construction
SMART	100	1	PWR	KAERI	Korea	Certified design
ACP100	125	1	PWR	CNNC	China	Construction began in 2019
SMR-160	160	1	PWR	Holtec International	United States	Conceptual design
BWRX-300	300	1	BWR	GE Hitachi	United States-Japan	First topical reports submitted to the US NRC and to the CNSC as part of the licensing process
CANDU SMR	300	1	PHWR	SNC-Lavalin	Canada	Conceptual design
UK SMR	450	1	PWR	Rolls Royce	United Kingdom	Conceptual design
Multi-module LWR-SMRs						
NuScale	50	12	PWR	NuScale Power	United States	Certified design. US NRC design approval received in August 2020
RITM-200	50	2	PWR	OKBM Afrikantov	Russia	Land-based nuclear power plant – conceptual design
Nuward	170	2 to 4	PWR	CEA/EDF/Naval Group/TechnicAtome	France	Conceptual design
Mobile SMRs						
ACPR50S	60	1	Floating PWR	CGN	China	Under construction
KLT-40S	35	2	Floating PWR	OKBM Afrikantov	Russia	Commercial operation

Gen IV SMRs						
Xe-100	80	1 to 4	HTGR	X-energy LLC	United States	Conceptual design
ARC-100	100	1	LMFR	Advanced Reactor Concepts LLC	Canada	Conceptual design
KP-FHR	140	1	MSR	Kairos Power	United States	Pre-conceptual design
IMSR	190	1	MSR	Terrestrial Energy	Canada	Basic design
HTR-PM	210	2	HTGR	China Huaneng/CNEC/Tsinghua University	China	Under construction
EM2	265	1	GMFR	General Atomics	United States	Conceptual design
Stable Salt Reactor	300	1	MSR	Moltex Energy	United Kingdom	Pre-conceptual design
Sodium	345	1	SFR	Terrapower/GE Hitachi	United States	Conceptual design
Westinghouse Lead Fast Reactor	450	1	LMFR	Westinghouse	United States	Conceptual design
MMRs						
eVinci	0.2-5	1	Heat pipe reactor	Westinghouse	United States	Basic design
Aurora	2	1	LMFR	Oklo	United States	Licence application submitted to the US NRC
U-Battery	4	1	HTGR	Urenco and partners	United Kingdom	Basic design
MMR	5-10	1	HTGR	USNC	United States	Basic design

Source: NEA, IAEA (2020).

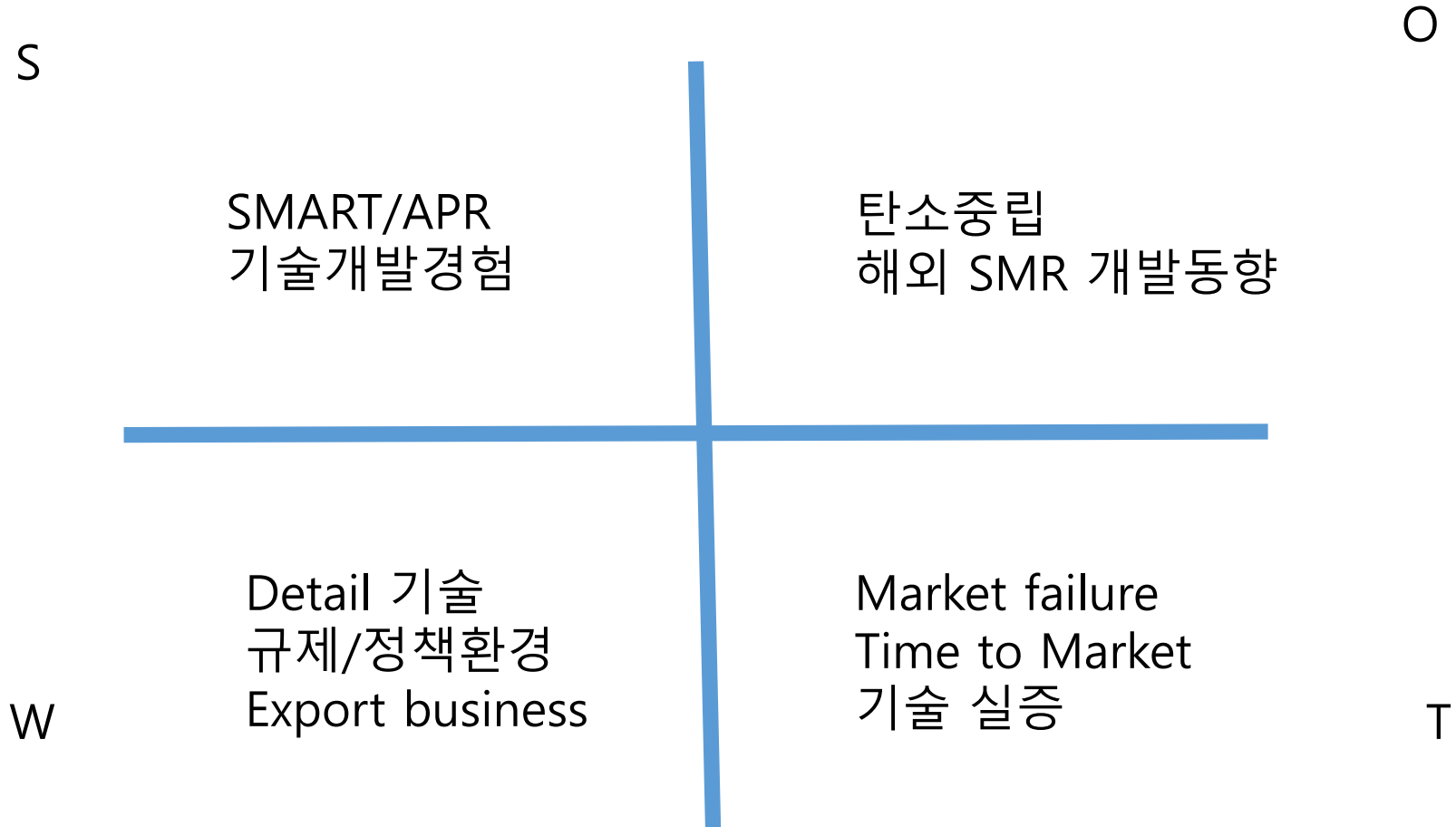


NUWARD RPV



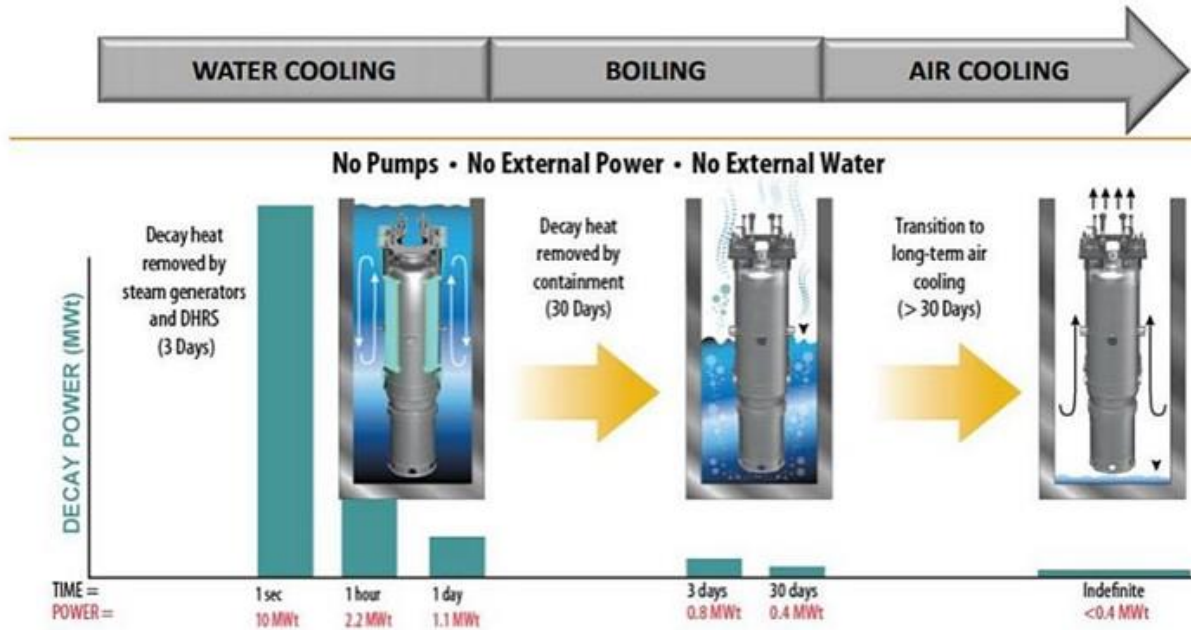
IMR

i-SMR 개발 여건 분석



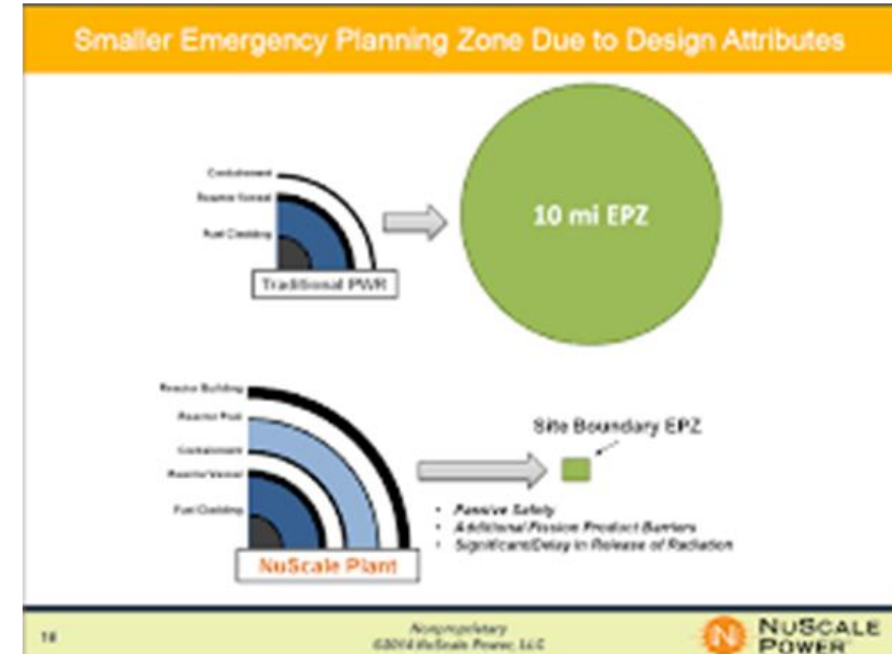
i-SMR 개발방향 - 안전성

- 무조치 안전 확보



- 낮은 열출력 -> 낮은 잔열 -> 출력대비 냉각재 재고량 최대화 -> 100% 자연냉각,->무조치 안전 및 방사선 누출 가능성 최소화

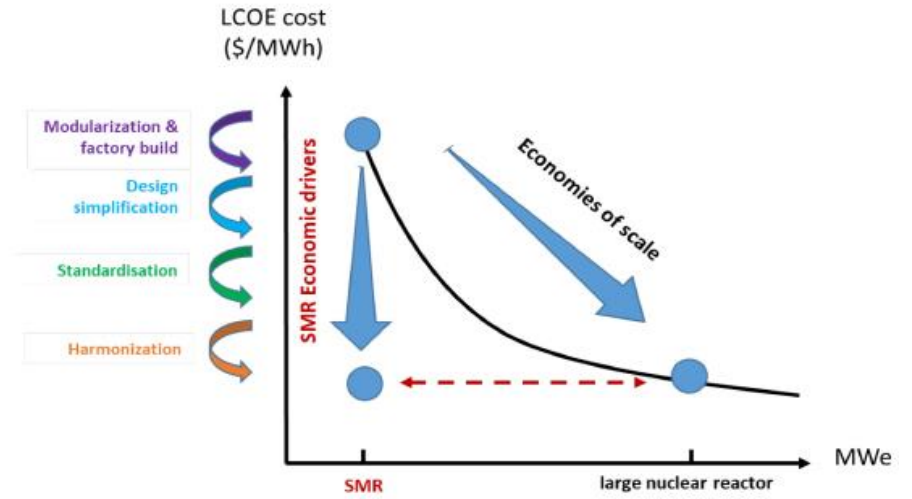
- 부지외 비상계획의 배제



- 작은 방사선원항, 현실적 방사선원항, 무조치 안전, 극도로 낮은 CDF

i-SMR 개발방향 - 경제성

- 대형 원전: 안전성 향상 -> 경제성 저하 -> 용량 증가 -> 경제성 회복



Source: NEA (2020).

Note: kW_e = kilowatt electric.

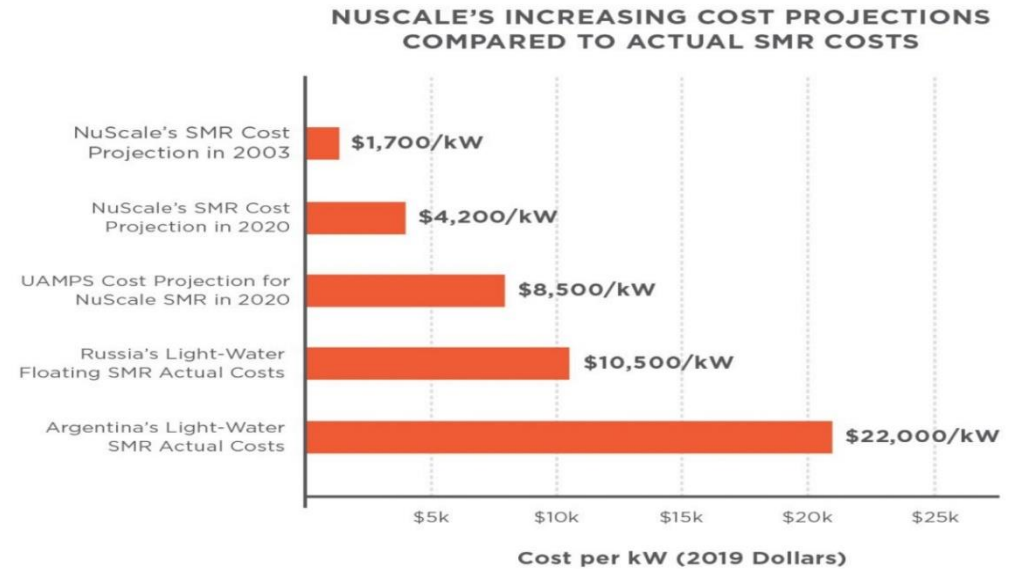
- 소형 원전

NuScale : 50 -> 60 -> 72 MW

- 모듈화, 단순화로 경제성 최대화

- 경제성의 기준은 상대적

- 목표 시장, 경쟁 전원



i-SMR 개발방향

- 단순화

- 안전성 -> 저출력, 단순화
- 경제성 -> 단순화, 모듈화

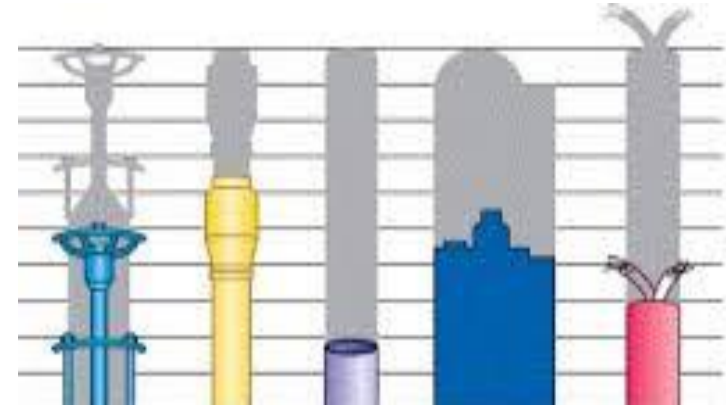
(Component, System, Construction)

- 단순화 지표: 기기/계통 수, 건설물량, 케이블길이, 주제어실 알람 수/ 조작기기 수 등

- 모듈화/표준화 : 시스템 모듈화 + 컴포넌트 모듈화

- 기술혁신

- 적층제조법, 전자빔 용접, 스마트센싱 등 (영국은 SMR 개발에 제조기술혁신)
- 4차산업 혁신기술과 접목: AI, Big Data, Clouding
- Integrated Hybrid System: 재생에너지와 결합(자동부하추종). Plugged extention to non-electric application (용이한 다목적 활용성)
- 혁신적 설계



Reduced Number of Components:

	1000 MW Reference	AP1000	Reduction
- Safety Valves	2844	1400	51%
- Pumps	280	184	34%
- Safety Piping	11.0 x 10 ⁶ feet	1.9 x 10 ⁶ feet	83%
- Cable	9.1 mil. feet	1.2 mil. feet	87%
- Seismic Building Volume	12.7 mil. ft ³	5.6 mil. ft ³	56%

i-SMR 제안 개념

- 160 MWe(~450 MWth) x 4 modules
- 무붕산 시스템
- 자율운전
- 장주기 or 단주기
- NuScale-like Containment/Safety
- SMART-like Reactor/SG
- 0.5 g
- 건설공기 24개월
- 60년

부지외 비상계획 불필요

\$ 4000 / kW 이하

Development Risk

- 설계 옵션 선택 실패, 기술 검증 실패, 건설성/제작성/경제성 평가 실패
 - 개념설계 단계 리스크 : 다양한 설계 옵션에 대해 집중 검토 (인허가성, 기술실현성)
 - 기본설계 단계 리스크: 조기 기술검증 방안 강구
 - 상세설계 단계 리스크: 제작성/건설성/건설공기/경제성 변수 관리

발표를 마치며.....

- SMR 개발 쉽지 않아.
- SMR을 지지하는 분위기에서도 SMR Criticism 역시 상당히 있어.
- 그럼에도, 개발 성공 시켜야.
- 안전성과 경제성을 동시에 확보 해야 하는 SMR, 혁신성과 현실성의 사이에 어떻게 타협하고 선택할 지.

감사합니다.

Secure the carbon neutrality

Make the public confidence

Regain the nuclear value and energy