



원자력수소 국내외 현황 및 전략

- SOEC 기술 중심 -

Global Status of SOEC/SOFC Technology

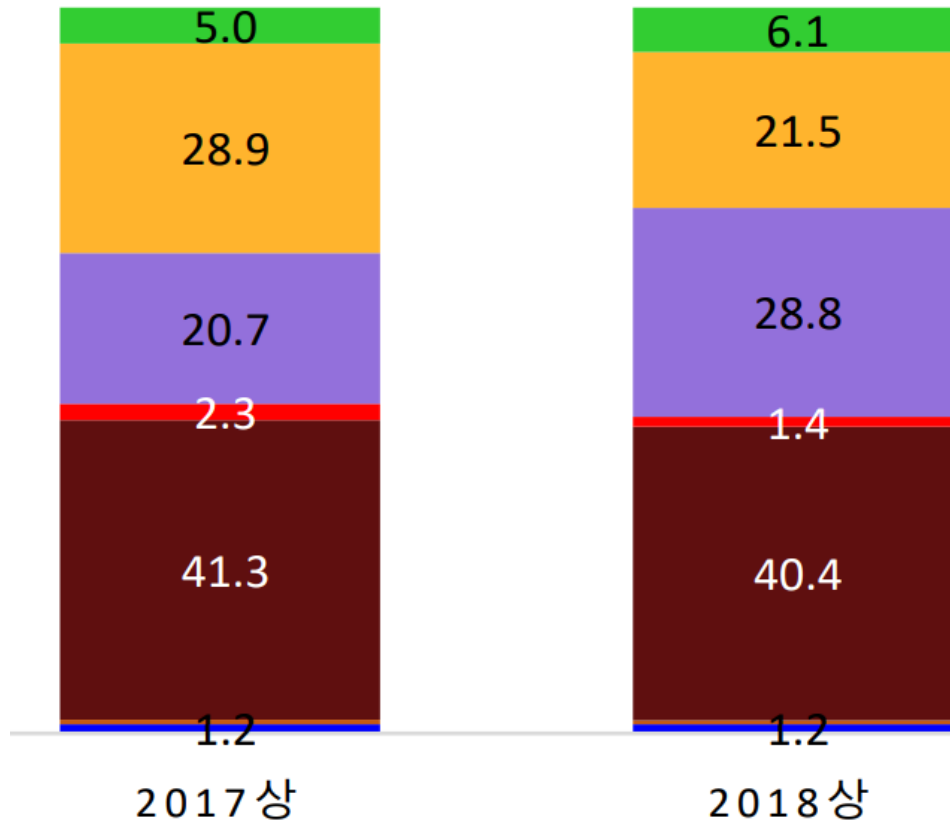
2020. 12. 09.

송 락 현
한국에너지기술연구원
rhsong@kier.re.kr



1. 수소경제 및 수전해 기술
2. SOEC, rSOFC, SOFC기술이란?
3. SOFC 현황 분석
4. SOEC 현황 분석 및 전략

우리나라 에너지 원별 전력 구성비(%)



■ 수력 ■ 무연탄 ■ 유연탄 ■ 유류
■ 가스 ■ 원자력 ■ 신재생

전력 생산량 (GWh)

| | 2017상 | 2018상 | 증감율 |
|-----|---------|---------|-------|
| 수력 | 3,229 | 3,403 | 5.4 |
| 무연탄 | 1,688 | 1,476 | -12.5 |
| 유연탄 | 111,655 | 112,722 | 1.0 |
| 유류 | 6,239 | 3,788 | -39.3 |
| 가스 | 55,966 | 80,244 | 43.4 |
| 원자력 | 78,118 | 59,954 | -23.3 |
| 신재생 | 13,468 | 17,101 | 27.0 |
| 계 | 270,363 | 278,688 | 3.1 |

에경연

Energy Policy in Japan after Fukushima Accident



Energy Best Mix – Outlook of Composition of Electric Power Sources

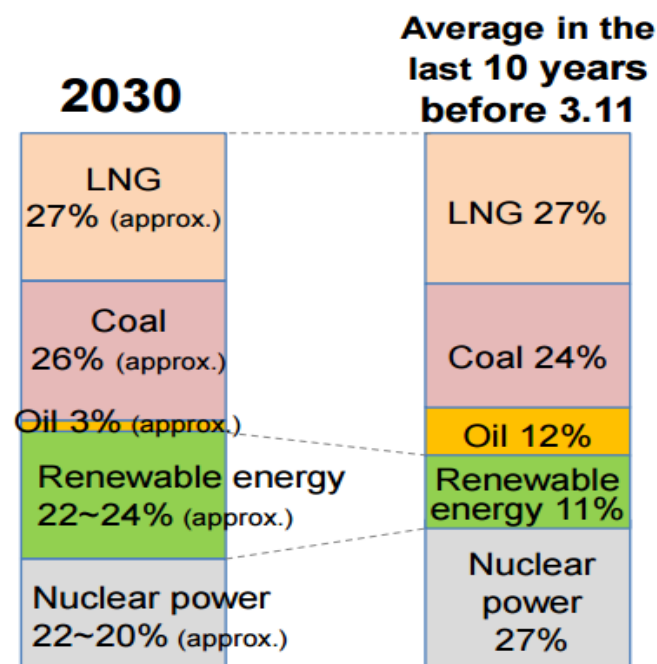
Composition of electricity sources and electricity generation
(billion kWh)

| | 2030 | |
|------------------|-------------|--------|
| Oil | 31.5 | 3% |
| Coal | 281.0 | 26% |
| LNG | 284.5 | 27% |
| Nuclear power | 216.8~231.7 | 22~20% |
| Renewable energy | 236.6~251.5 | 22~24% |
| Total | 1065.0 | 100% |

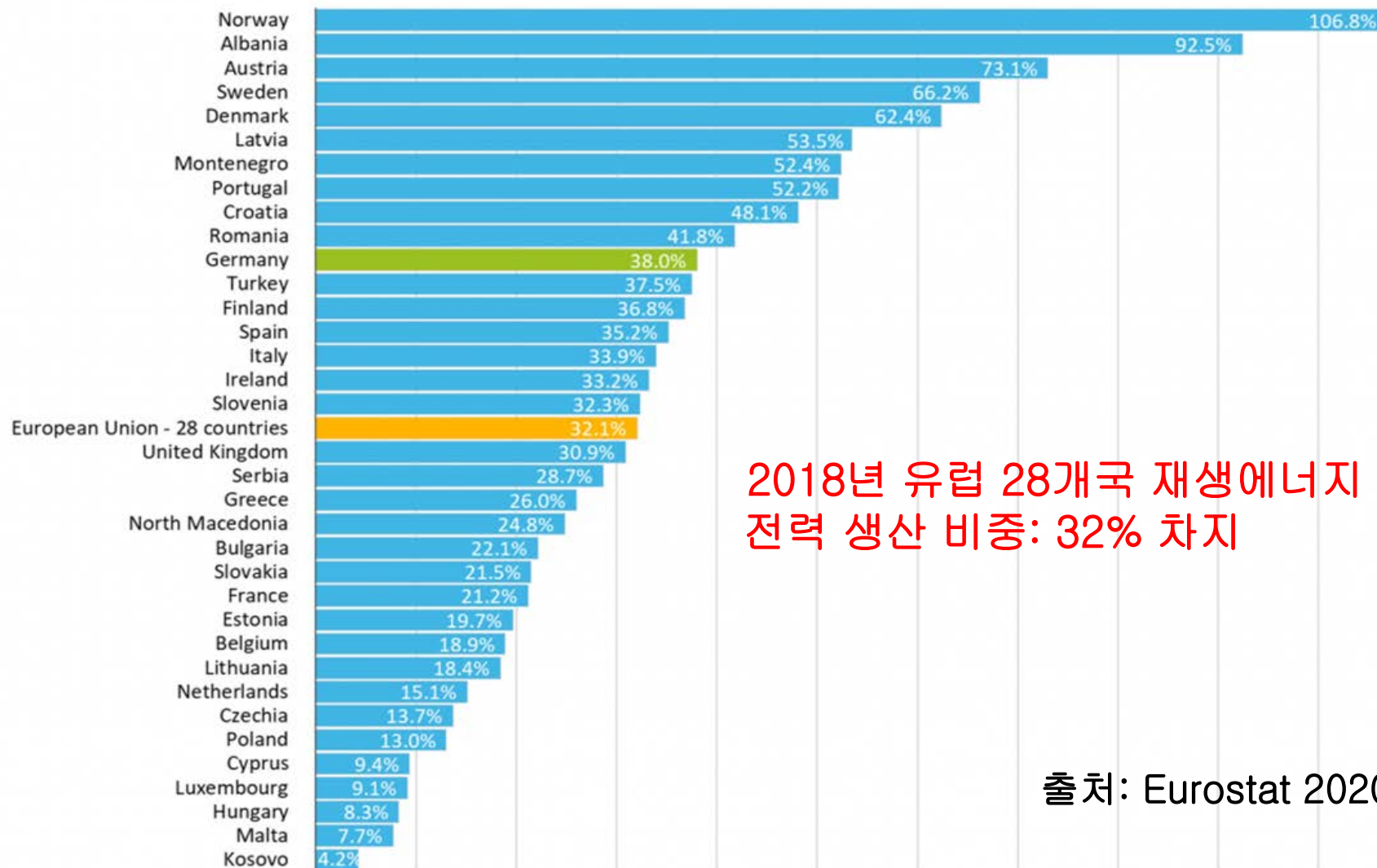
| | 2030 | |
|------------|-----------|----------|
| Solar | 74.9 | 7.0% |
| Wind | 18.2 | 1.7% |
| Geothermal | 10.2~11.3 | 1.0~1.1% |
| Hydropower | 93.9~98.1 | 8.8~9.2% |
| Biomass | 39.4~49.0 | 3.7~4.6% |

※All the numbers are approximately

【Source】 extracted (preliminary translation) from documents released in the 11th Long-term Energy Supply and Demand Outlook Subcommittee, Advisory Committee for Natural Resources and Energy, METI



2018년 유럽 28개국의 재생에너지 전력 생산 비중



2018년 유럽 28개국 재생에너지
전력 생산 비중: 32% 차지

출처: Eurostat 2020 data

정부 3020 재생에너지이행계획

□ Carbon Free Energy City – 건물용 차세대 연료전지 발전

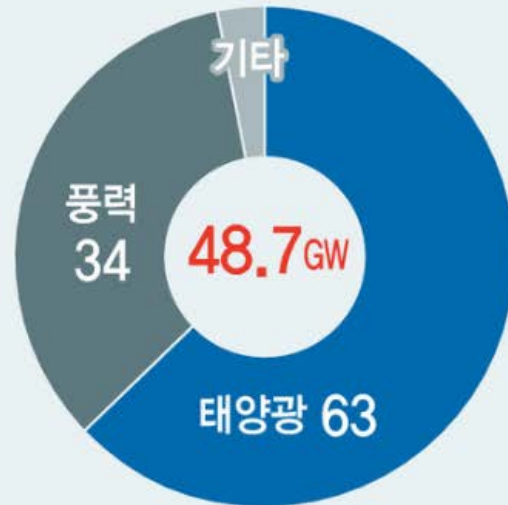
재생에너지 3020 계획 설비 보급 목표

(단위: %) 자료: 산업통상자원부



2017년

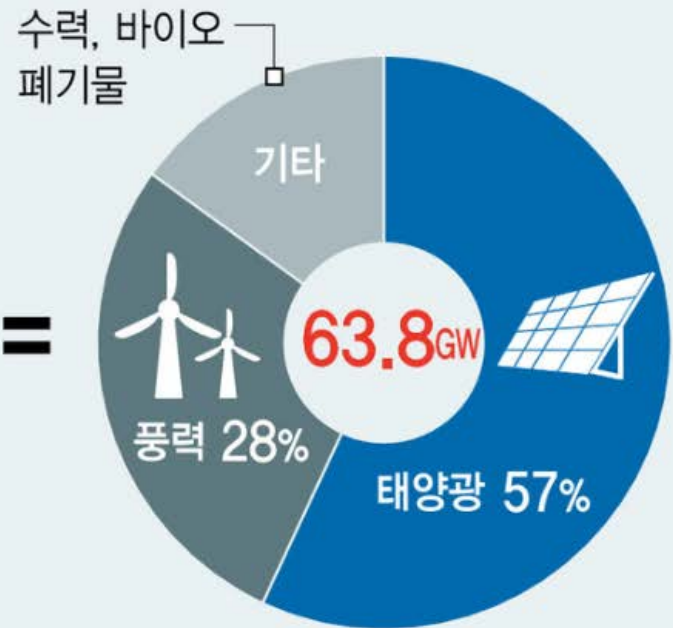
+



신규(2018~2030년)

- 주택·건물 등 자가용
- 농가 태양광
- 협동조합 등 소규모 사업
- 대규모 프로젝트

=



2030년 계획

수소경제 활성화 로드맵

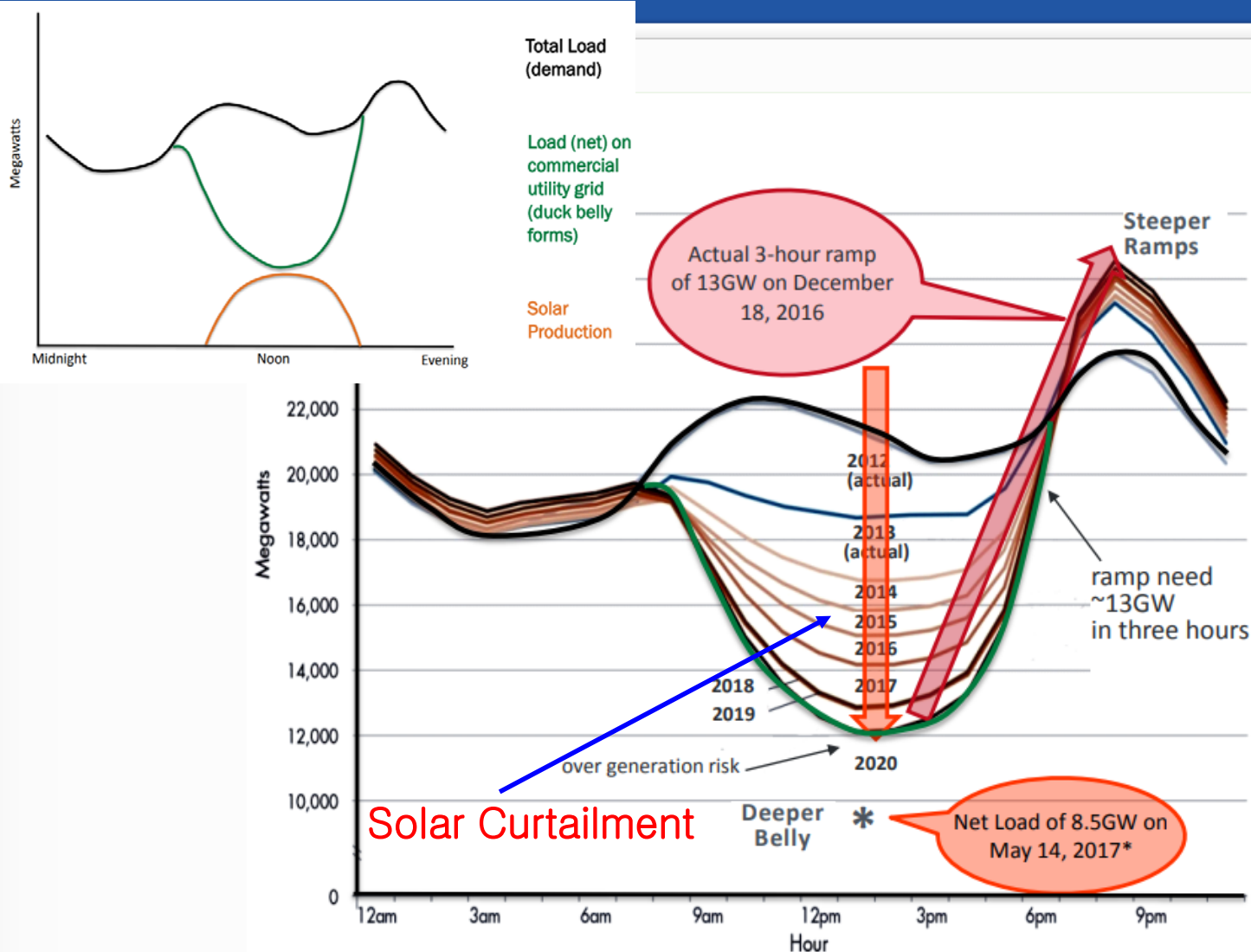


| 구 분 | | 2018년 | | | | 2022년 | | | | 2040년 | |
|--------|---------------------|--------|----------------------|------------------------------|--------------------------|---|------------------|-------------------------|---|-----------------------------------|------------------|
| 활용 | 모빌리티 | 수소차 | 1.8천대 (0.9천대) | | | | 8.1만대 (6.7만대) | | | < 2030 > 全 차종 생산라인 구축 | 620만대 (290만대) |
| | | 승용차 | 1.8천대 (0.9천대) | | | < ~ 2022 > 핵심부품 100% 국산화 年 생산량 3.5만대 | 7.9만대 (6.5만대) | < 2023 > 전기차 가격수준 | < 2025 > 상업적 양산 (年 10만대 생산) 내연차 가격수준 | 590만대 (275만대) | |
| | | 버스 | 2대 | | | | 2천대 | | | 80만km 이상 내구성 확보 | 6만대 (4만대) |
| | | 택시 | - | <2019> 10대 시범사업 | < 2021 > 주요 대도시 적용 | | - | 전국 확대 | | 50만km 이상 내구성 확보 | 12만대 (8만대) |
| | | 트럭 | - | | 5톤 트럭 출시 | | 10톤 트럭 | | | 핵심부품 100% 국산화 | 12만대 (3만대) |
| | | 수소충전소 | 14개소 (1,000만원/kg) | | | | 310개소 | | | 300만원/kg 핵심부품 100% 국산화 | 1,200개소 |
| | 선박, 열차, 드론, 기계 등 | | | R&D 및 실증 | | | | '30년까지 상용화 및 수출 | | | |
| | 에너지 | 연료전지 | | | | | | | | | |
| | | 발전용 | 307MW | < 2019 > 전용 LNG 요금제 신설 | | < 2022 > 설치비 380만원/kW | 1.5GW (1GW) | | < 2025 > 중소형 가스터빈 발전단가 수준 | < ~ 2040 > 설치비 35% 발전단가 50% | 15GW (8GW) |
| | | 가정·건물용 | 7MW | | | 설치비 1,700만원/kW | 50MW | | | 설치비 600만원/kW | 2.1GW |
| 수소가스터빈 | | | R&D | | | | 검증 | | | 30년 이후 상용화 추진 | |

* 로드맵 미비 사항: 효율, 내구성 지표 등 부재, 설치비 목표

* 기술별 상세로드맵 구축 필요

수소저장 필요성: 미국 캘리포니아 Duck Curve



Source U.S. DOE Solar Energy Technologies Office *Real example from California

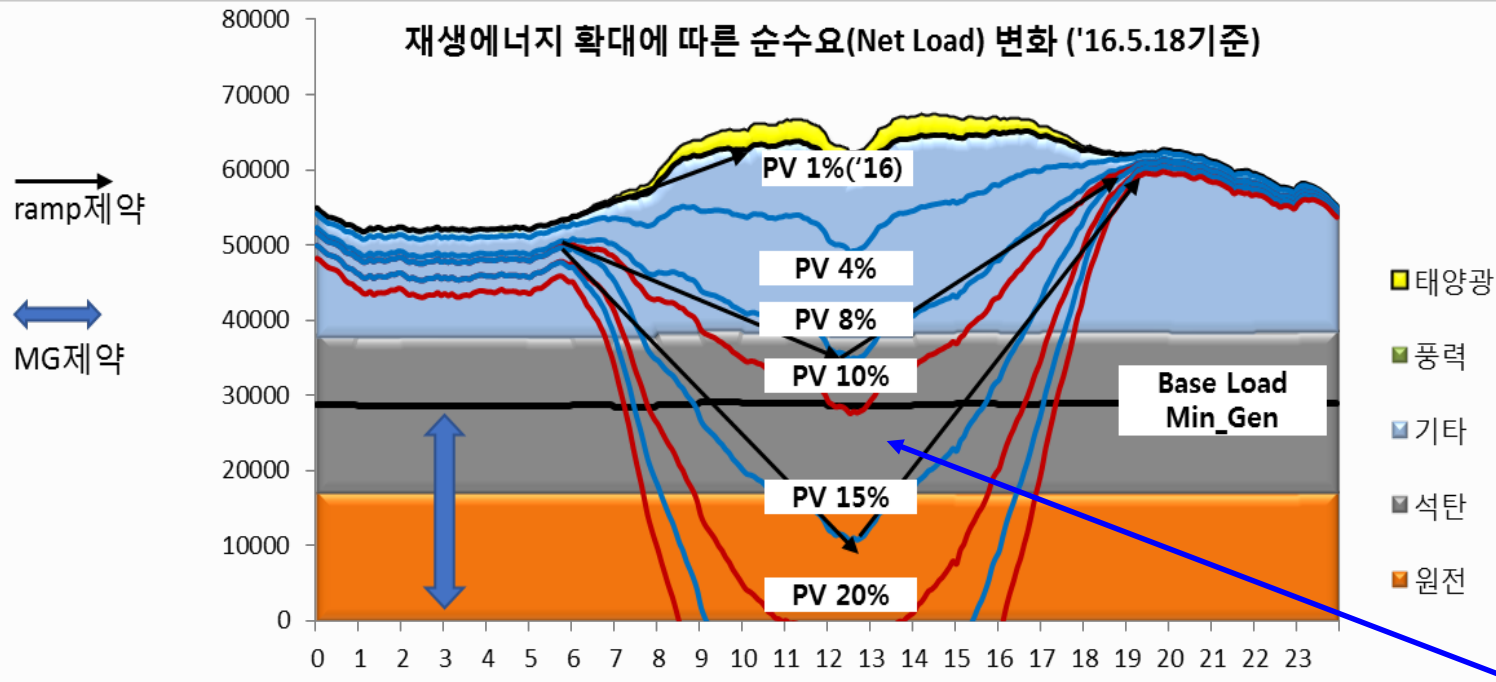
Two Concerns:

- **Low Net Load:** flexibility to reduce baseload generation resources is limited
- **High Ramp Rates in Evening:** flexibility of other generation to ramp up is limited

Can be addressed by



수소 저장 필요성: 한국의 Duck Curve

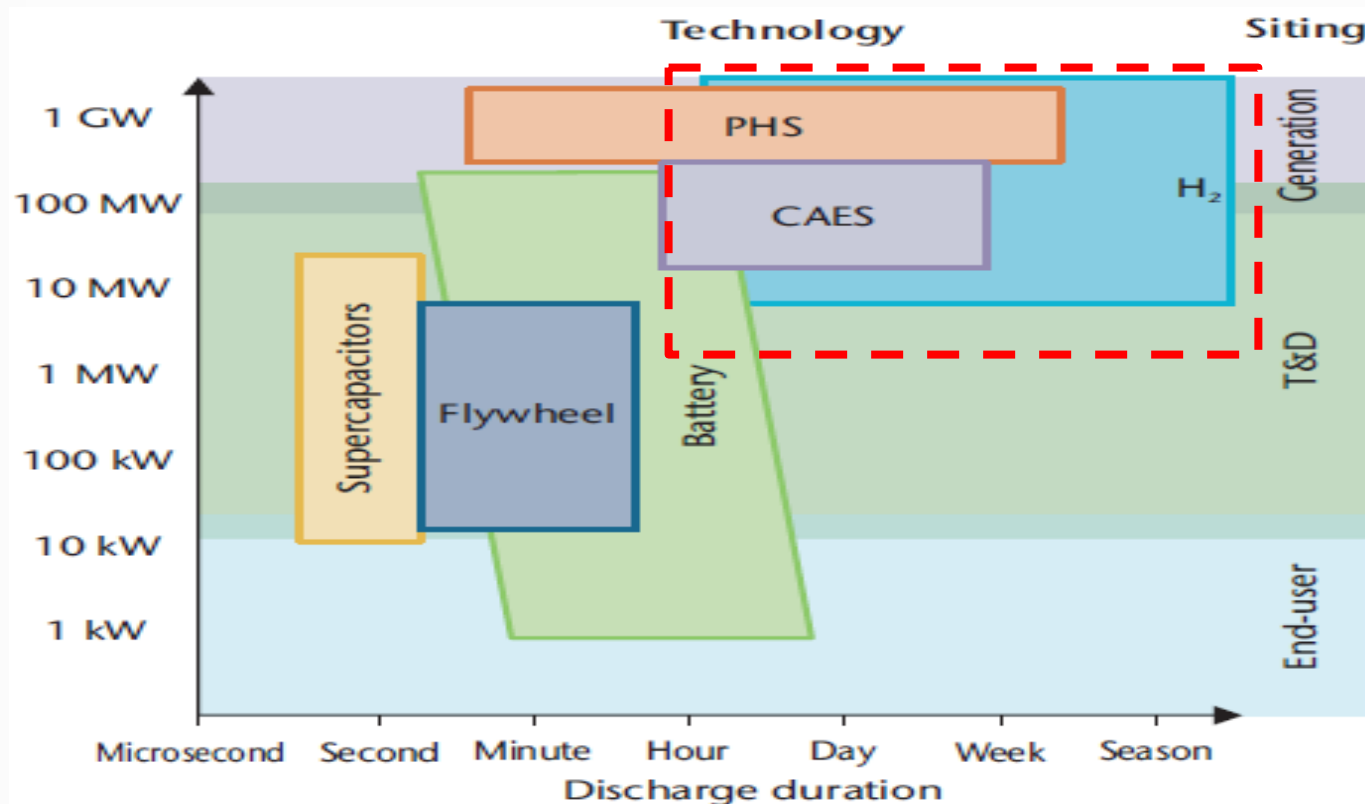


전력 전환기의 기술적 과제 - 유연성 이슈

- 재생에너지의 확대에 따른 Net load의 변화 (duck curve)
- 동기발전기의 최소운전용량 (minimum generation)
- 경직적인 원전의 출력수준 (최대출력 고정운전)
- 발전기의 출력변화율 한계 (ramping capability)



수소: 장단기 에너지 저장에 효율적, 다양한 용량으로 저장 가능

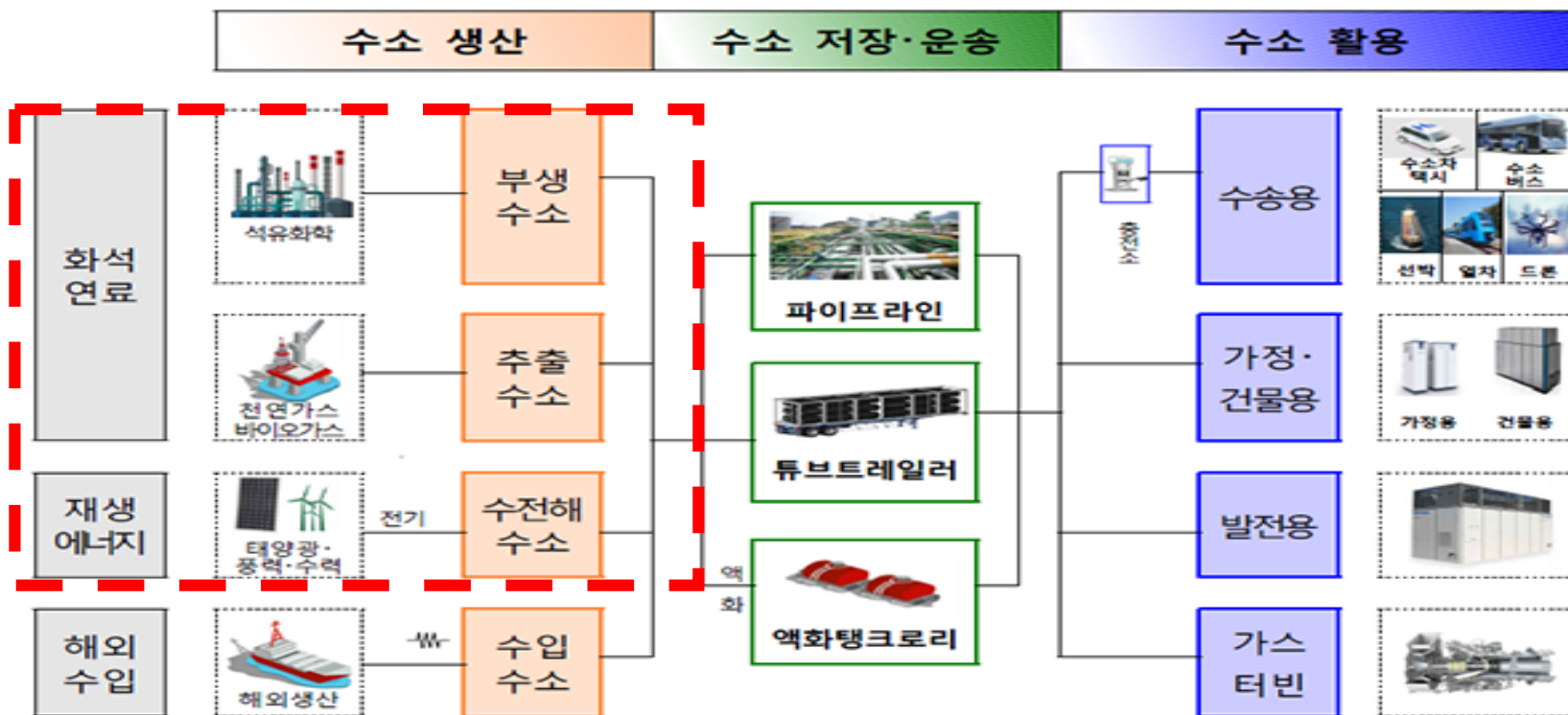


PHS: pumped hydro storage

CAES: compressed air energy storage

T&D: Transmission And distribution

Source: "Technology Roadmap – Hydrogen and Fuel Cells" by IEA (2015)



새로운 성장동력

- 수소생산, 저장·운송 등 인프라 산업 시장 창출
- 소재·부품·시스템 등 기술개발 및 수요 촉진 등

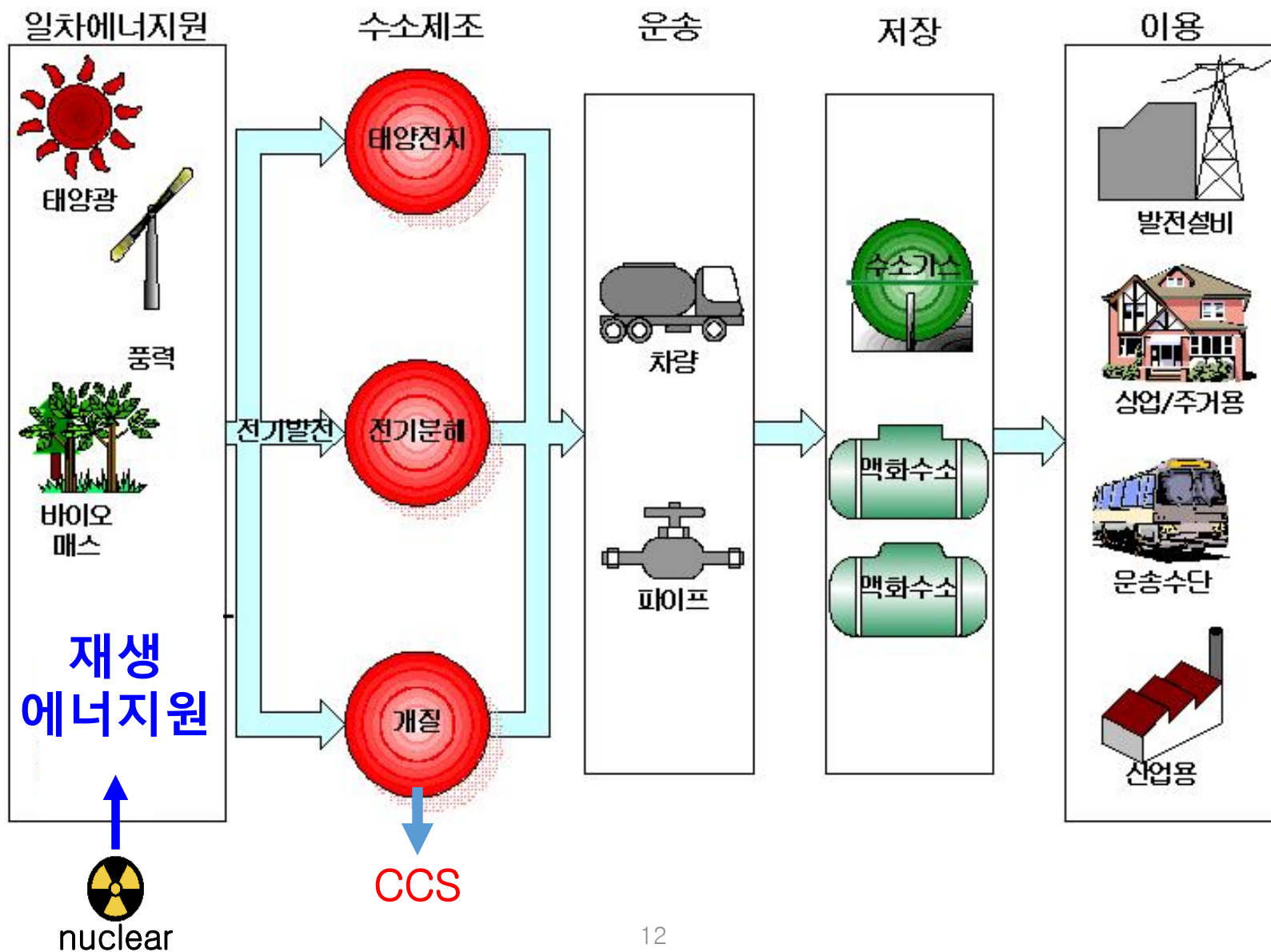
- 수소차, 연료전지를 미래유망 품목으로 육성

에너지 자립

- 에너지원 다각화
- 해외 의존도 감소
- 재생에너지 이용 제고

친환경 에너지

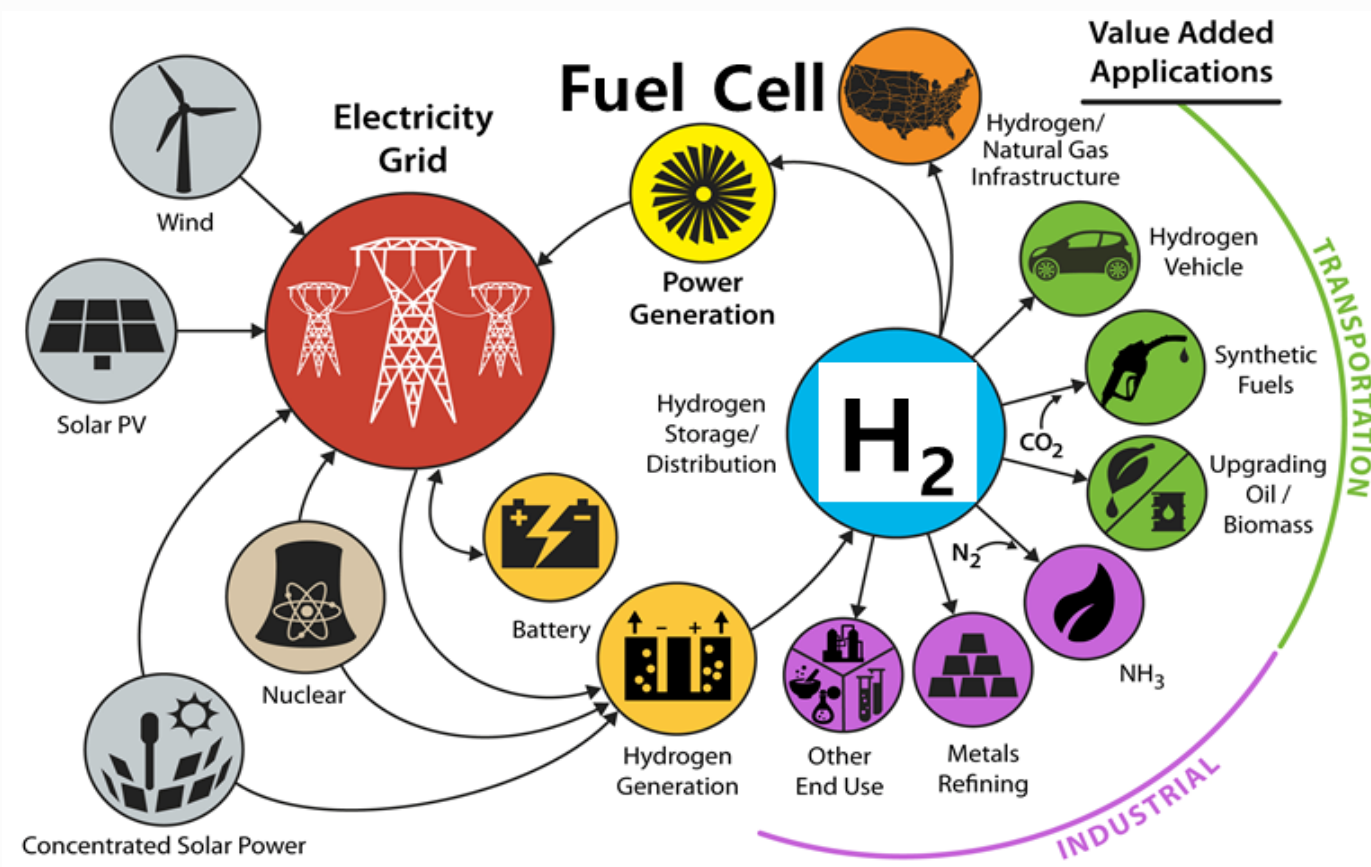
- 높은 에너지효율
- 탈탄소화, 온실가스 감축
- 미세먼지 저감



미래의 수소 사회 (IEA)



미래: 수소가 전력 저장, 생산, 열 공급, 수송산업, 산업 원료 매개체 역할

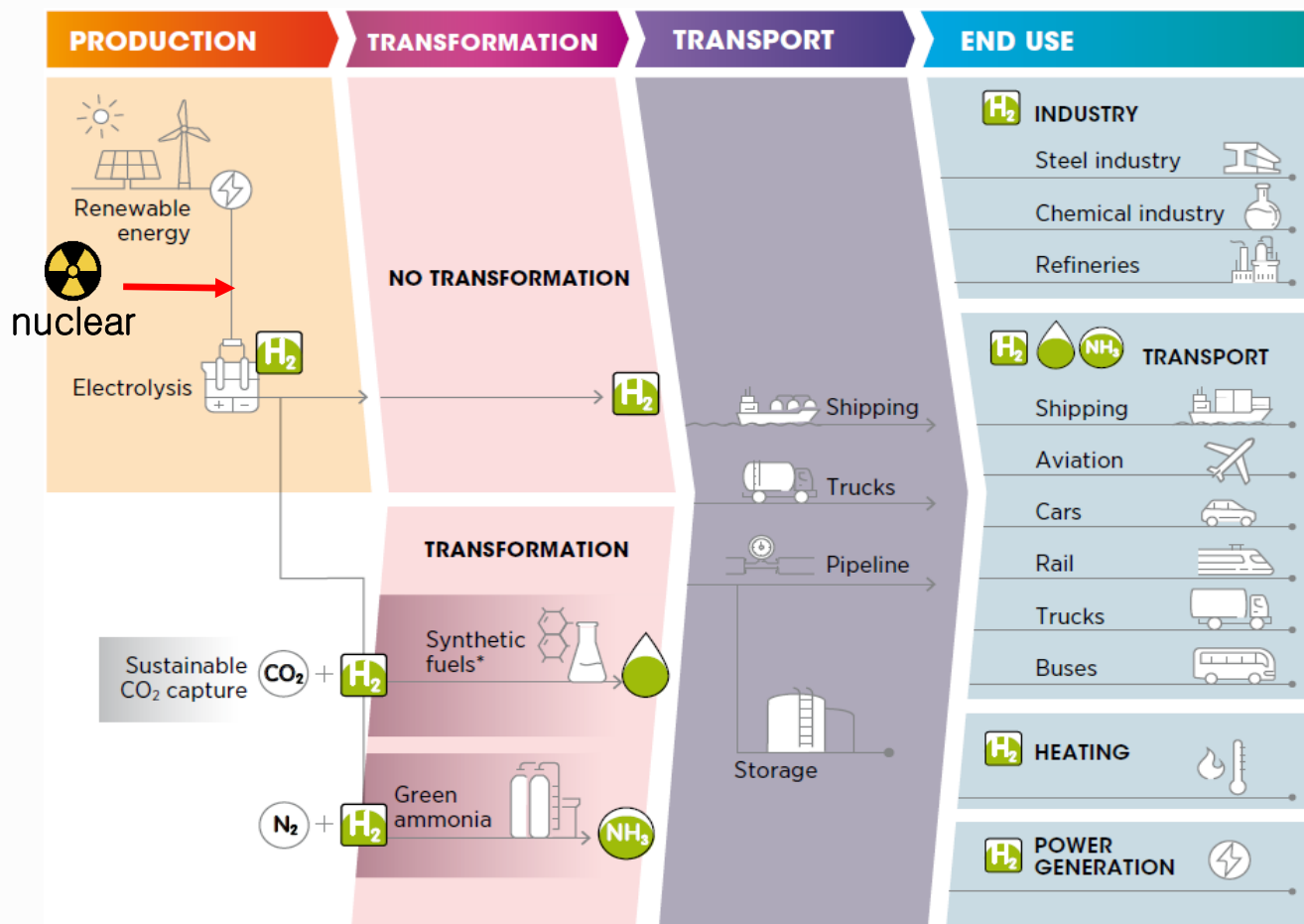


<https://www.ecomena.org/hydrogen-economy-for-arab-countries>

Green Hydrogen: 제조, 수송, 활용



- ◆ 수소: 다양한 용도
 - 산업: 원료, 제강 등
 - 전력생산
 - 수송: 차량, 선박, 항공 등
 - 열 공급
- ◆ 수소+이산화탄소: 합성가스
- ◆ 수소+질소: 암모니아

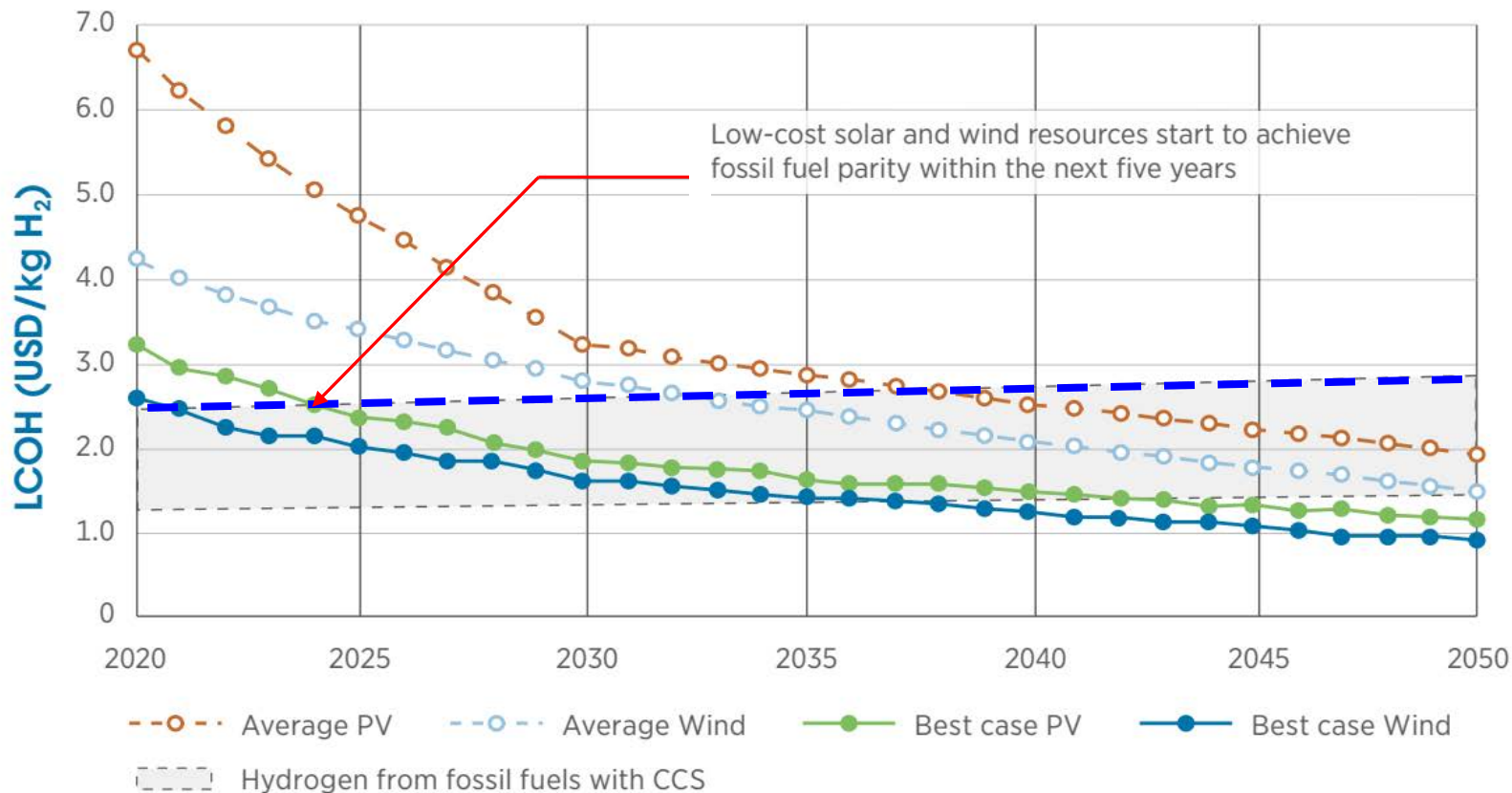


Source: "Green Hydrogen. A guide to policy making" by IRENA (2020)

수소 가격 추이 (2019 IRENA)



수소가격 목표: 3 USD/kg 이하 달성을 위해 수전해 가격 저감 필요
3035년에 Green Hydrogen가격이 Blue hydrogen 가격에 도달



Note: Remaining CO₂ emissions are from fossil fuel hydrogen production with CCS.

Electrolyser costs: 770 USD/kW (2020), 540 USD/kW (2030), 435 USD/kW (2040) and 370 USD/kW (2050).

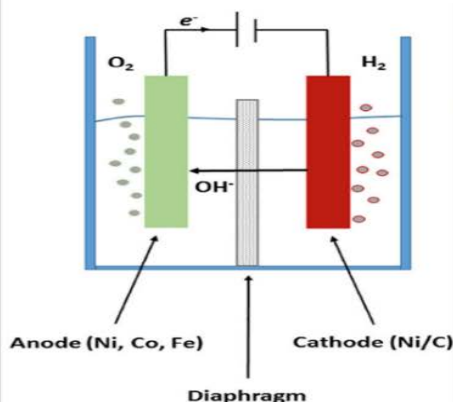
CO₂ prices: USD 50 per tonne (2030), USD 100 per tonne (2040) and USD 200 per tonne (2050).



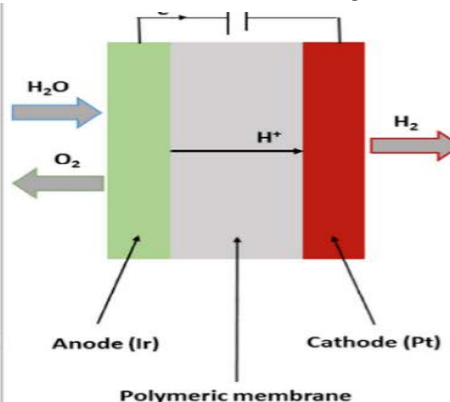
저온 수전해기술

고온 수전해기술

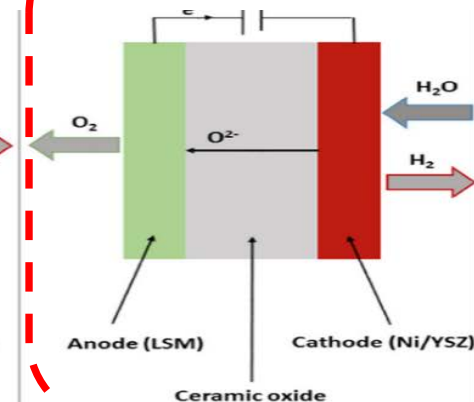
Alkaline Electrolysis



PEM Electrolysis



Solid Oxide Electrolysis



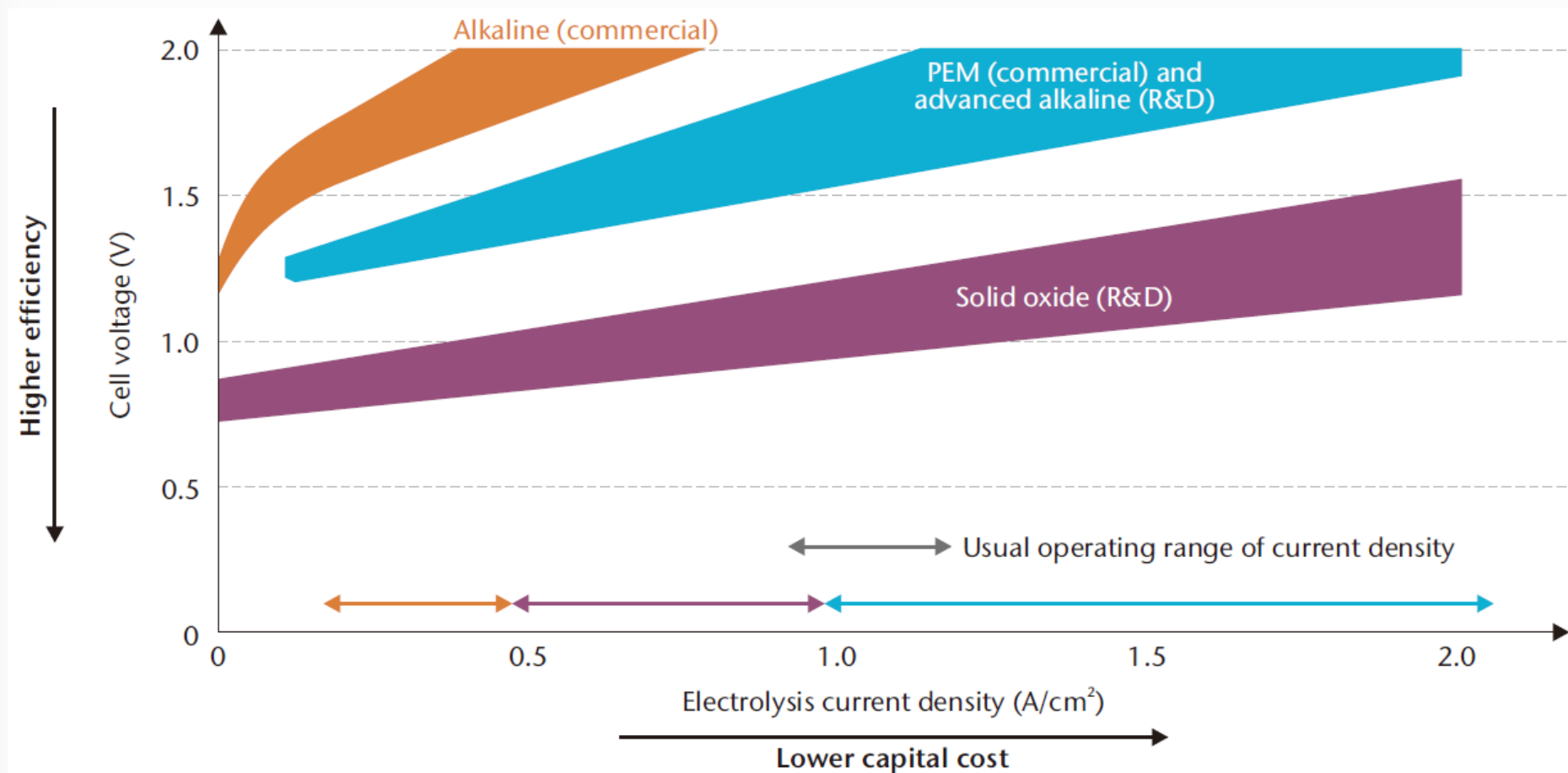
| | | | |
|---------|--|--|---|
| Anode | $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- + \text{O}_2$ | $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$ | $\text{O}^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$ |
| Cathode | $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2$ | $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$ | $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$ |

| | | | |
|----|---|---|--|
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> - 100 °C 이하 작동. 물전기분해 - 검증된 기술 - 비귀금속 촉매 - 장수명, 비교적 싼 가격 - MW급의 스택 크기 - 가격 경쟁력 | <ul style="list-style-type: none"> - 100 °C 이하 작동. 물전기분해 - 고전류밀도 운전 - 알칼리대비 높은 전압효율 - 빠른 시스템 응답 및 동적운전 - 컴팩트, 고순도 수소 | <ul style="list-style-type: none"> - 700 °C 이상 작동. 수증기 전기분해 - 높은 효율: 고열의 수증기를 사용할 경우 100% 이상의 열중립 효율 - 비귀금속 촉매 - 고압 운전 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> - 저전류밀도 운전 - 기체 크로스오버 (수소 순도) - Partial load range 좁음 - 동적 운전 불리, 운전전압 낮음 - 부식성 액체 전해질 | <ul style="list-style-type: none"> - 높은 부품 가격 - 부식성 산성 환경 - 비교적 낮은 내구성 - 상업화 검증 부족 - MW급 이하의 스택 크기 | <ul style="list-style-type: none"> - 기술 개발단계 - 기술 난도 높음: 고온 작동 - 내구성 한계 극복 필요 - 대용량 가능 |

수전해 기술별 에너지 효율 및 비용



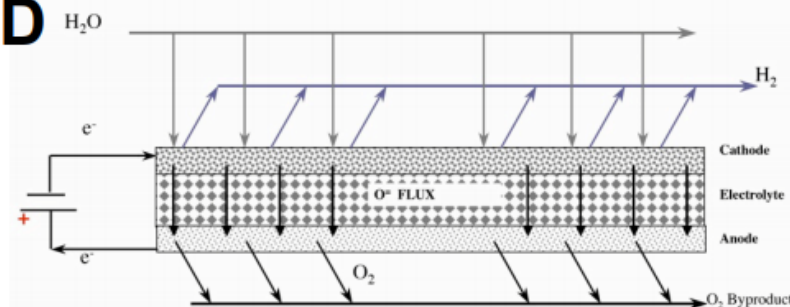
고온 수전해 기술(SOEC)이 가장 높은 효율 및 저비용 가능



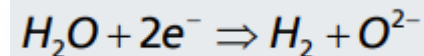
SOEC (Solid Oxide Electrolysis)



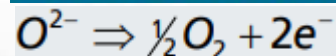
- Leverage decades of SOFC R&D
- Inputs
 - e^- (green electrons)
 - steam \Rightarrow hydrogen
 - co-electrolysis of $H_2O + CO_2 \Rightarrow$ syngas
 - heat input optional, depends on operating point
- Most efficiency means of hydrogen production
 - e^- to hydrogen
 - $\eta=100\%$ at 1.285V (thermal neutral)
 - $\eta=95\%$ at 1.35V (exothermic)
 - $\eta=107\%$ at 1.20V, (heat required)
- Hot O_2 and steam byproduct
 - Valuable for biomass gasification



Cathodic Reaction (HER)



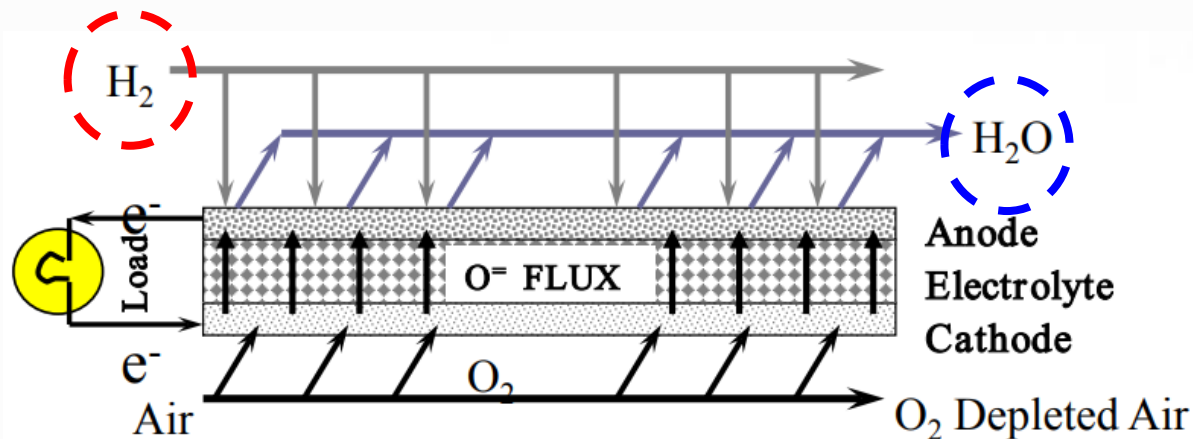
Anodic Reaction (OER)



rSOFC (Reversible SOFC)

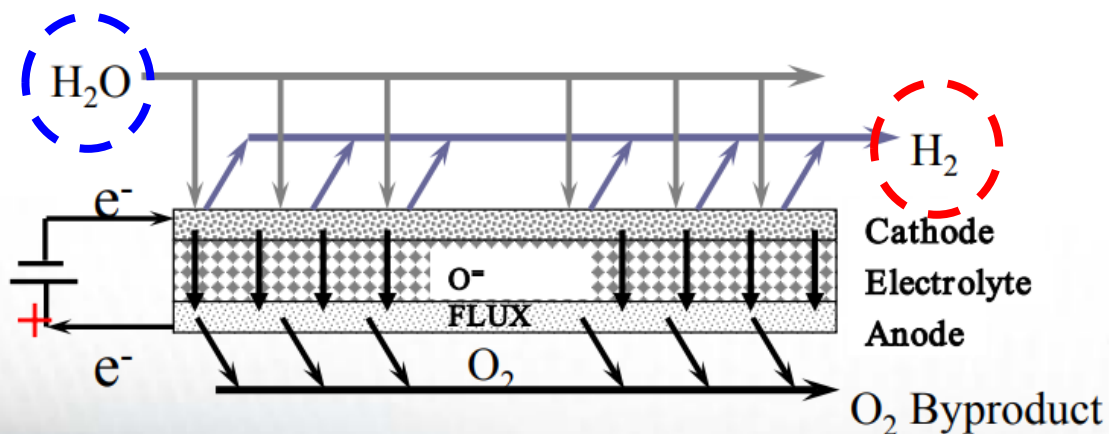


SOEC \leftrightarrow SOFC 작동 모드 전환 가능 시스템



Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) operation

전력생산



Same device in electrolysis operation

전력공급

SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

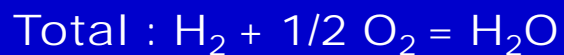
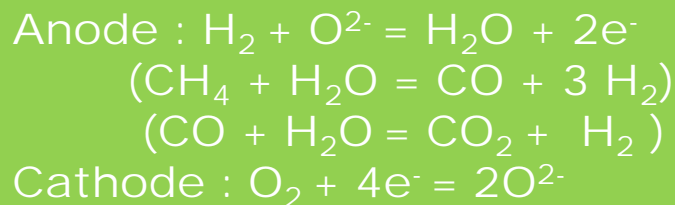
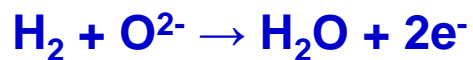


Oxidant
(Air or O₂)

Cathode

Electrolyte

Fuel
(H₂)



Outer
Circuit

DC, Exhaust
Gases, Heat



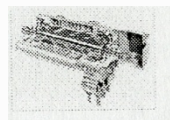
SOFC 특성

- **고효율 발전(45~70%)**
- **가격경쟁력 탁월** : 저가 소재, 시스템 단순
- **연료선택성 우수** : 천연가스, 바이오, 석탄가스 등
- **저 환경오염** : CO₂ 저감효과가 60% 이상, SO_x, NO_x 무배출
- **컴팩트 시스템** : 고전력밀도, 냉각시스템 등 주변기기 간소
- **내구성 우수** : 고체 세라믹 전해질 사용으로 부식 문제 및 관리 문제 해결



기존 발전방식과의 비교

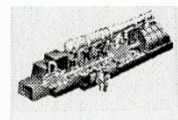
버너



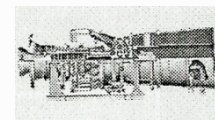
보일러



터빈



발전기



화학에너지

열 에너지

기계에너지

전기에너지

손실

손실

기존 화력발전 방식



화학에너지

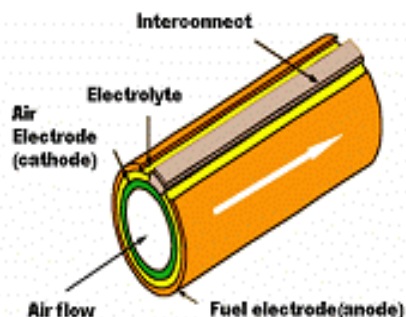
전기에너지

연료전지 발전방식

SOFC 기술 종류 및 특성



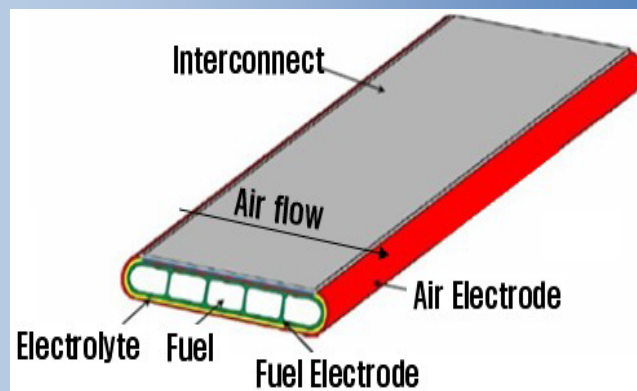
- 원통형 SOFC -



- 가스밀봉 불필요, 고강도
- 대면적 셀 제조 용이
- 높은 열사이클 저항성 우수
- 스택 제조 용이

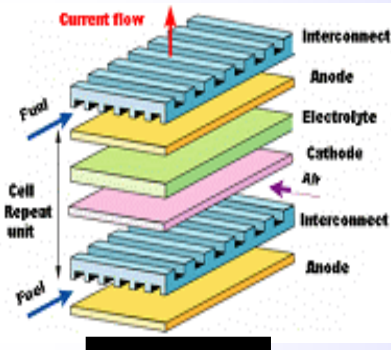
- 낮은 출력 밀도
- 높은 제조 비용

- 평판형 SOFC -



- 원통형과 평판형 SOFC 장점 적용 설계 가능
- 가스 밀봉 문제 최소화
- 열사이클 저항 우수 및 고강도화 가능
- 대면적 제조 용이
- 저가 제조공정 필요
- 저가의 연결재 필요

- 평판형 SOFC -






- 높은 출력 밀도
- 저가 제조공정





- 낮은 열사이클 저항성
- 가스밀봉 필요
- 대면적 셀 제조가 어려움
- 고가의 금속 분리판 사용

SOFC 산업 동향 I (발전용)



| 종류 | 국가 | 업체 | 제품 특성 및 보급 현황 | 제품 사진 |
|---------------------|-------|---------------------------------------|--|---|
| SOFC (1~10 kW) | 일본 | AISIN(Kyocera) | <ul style="list-style-type: none"> 0.7 kW급 가정용 5만대 보급(2019) 발전효율 52% |  |
| | 스위스 | Hexis | <ul style="list-style-type: none"> 1kW급 시스템 (약 1천대) | |
| | 영국 | Ceres Power | <ul style="list-style-type: none"> 섭씨 550 도 작동, 1kW~5kW 수백대 보급 | |
| | 독일 | Soild Power | <ul style="list-style-type: none"> 1~5kW급 시스템, 효율 60% 이상 | |
| | 중국 | China SOFC/ SOFC Man | <ul style="list-style-type: none"> 효율 58% 1~10 kW급 개발 및 판매 | |
| | 일본 | MIURA | <ul style="list-style-type: none"> 5kW급 상업용 5기 실증(효율 48%) | |
| | 미국 | Deiphi | <ul style="list-style-type: none"> 7kW급 스택 개발, 15천시간 운전 | |
| SOFC (20~50 kW) | 일본 | Hitachi Zosen Corp. | <ul style="list-style-type: none"> 20kW 시스템 전기효율 AC(50-55%) 내구성 40,000-90,000 시간 |  |
| | 미국 | Fuel Cell Energy | <ul style="list-style-type: none"> 50kW 시스템 개발 MW급 석탄발전 FC 시스템 개발중 | |
| SOFC (100 kW 이상) | 미국 | Bloom Energy | <ul style="list-style-type: none"> 100~300 kW급 약 200 MW이상 설치, 효율 60% 한국 30MW 운전중, 100 MW이상 설치 예정 |  |
| | 미국/한국 | LG Fuel Cell System | <ul style="list-style-type: none"> 250kW급 시스템 2기 실증 및 2기 추진중 상용화 추진: 가격 저감 기술 개발 | |
| | 일본 | Mitsubishi Hitachi Power System(MHPS) | <ul style="list-style-type: none"> 250 kW급 가압 하이브리드 시스템 6기 실증 및보급. 발전효율 55% | |

SOFC 산업 동향 II (발전용)

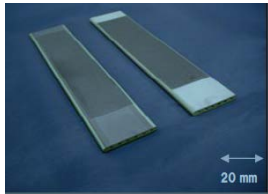
| 종류 | 업체 | 제품용량 및 특성 | 제품 사진 |
|--------------------------|---|---|---|
| SOFC (한국) | MICO | <ul style="list-style-type: none"> 2kW급 시스템 실증(발전효율 50% 이상) 10kW급 개발 중, MW급 공장 준공 |  |
| | 경동 나비엔 | <ul style="list-style-type: none"> 700W 평판형 SOFC 시스템 발전 효율 45%(LHV) | |
| | STX 중공업 /쌍용머티리얼 | <ul style="list-style-type: none"> 1kW급 평판형 SOFC 시스템. 인증완료 발전 효율 47.3%(LHV) | |
| PAFC (미국,일본, 한국) | 두산퓨얼셀 (미국/한국) | <ul style="list-style-type: none"> 400kW 급 시스템, 60MW공장 건설 전기효율 42%, 2017년 1조 수주 20kW, 200 kW급 SOFC 개발중(영국 CERES제휴) |  |
| | 후지전기 (일본) | <ul style="list-style-type: none"> 100 kW급, 효율 48% 해외 포함 총 90여 사이트에 설치됨 | |
| MCFC (미국,한국) | 포스코 에너지 (한국) | <ul style="list-style-type: none"> 1.4 MW, 2.8 MW 급 시스템, 효율 47% 100 MW급 이상 설치 |  |
| | Fuel Energy (미국) | <ul style="list-style-type: none"> 300 kW급, 2.4 MW급, 효율 47% 약 100 MW급 이상 보급 | |
| PEMFC (미국, 일본, 한국) | 파나소닉(일), 도시바 (일), Ballard(미), Hydrogenics(미), S-Fuel Cell(한국) | <ul style="list-style-type: none"> 일본 0.7kW급 가정용 20만대 보급 전기효율 35% 한국 가정용 약 500기 보급 |  |

SOFC 국외 주요기업 현황

- 중대형 분산 발전 약 200 MW 보급: 300 kW급, 250 kW급, 200 kW급 등
- 가정용 kW급 약 4만대 공급

Kyocera

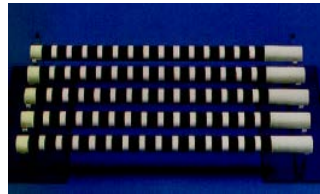
가정용 0.7kW



~50%

MHPS

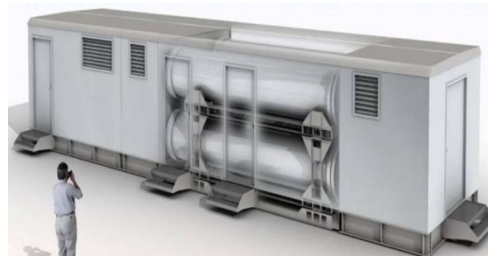
250 kW 분산발전



~60%

LG FCS

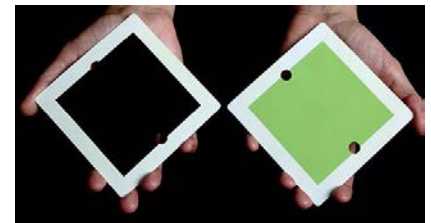
250 kW 분산발전



~65%

Bloom E

300kW, 250kW, 200 kW



~65%

국내 주요기업 연구개발 현황

- 가정용 SOFC 열병합 시스템 상용 제품 개발 및 실증 프로그램 추진 중
- SOFC 기반 0.7~2 kW급 제품 개발 및 상용화 기술 확보 주력 (경동나비엔, STX 중공업, 미코): **실증 진행중**
- 5kW, 10kW급 개발중(미코 등)
- 250 KW급 : LG 퓨얼셀 코리아



경동나비엔 시스템

국내 SOFC 개발 제품



STX 중공업 시스템

Bloom Energy 사



회사연혁

- 아리조나대(Univ. Arizona), Dr. KR Sridhar (현 Bloom Energy 설립자 겸 CEO) 팀이 NASA 화성 프로그램으로 이산화탄소를 고온 전기분해하여 산소와 연료를 생산하는 기술을 활용하여 SOFC 를 개발
- 2001년 10월, Sunnyvale, California에 회사 설립. 초기 Ion America 칭함 2006년 Bloom Energy로 변경
- 2006년 테네시 대학에서 5kW급을 2년간 성공적 현장 시험후, 2008년 100kW급 상용품 Google에 공급
- Concept, Prototype, Product 순으로 공급: 200kW, 250kW, 300kW 제품 판매

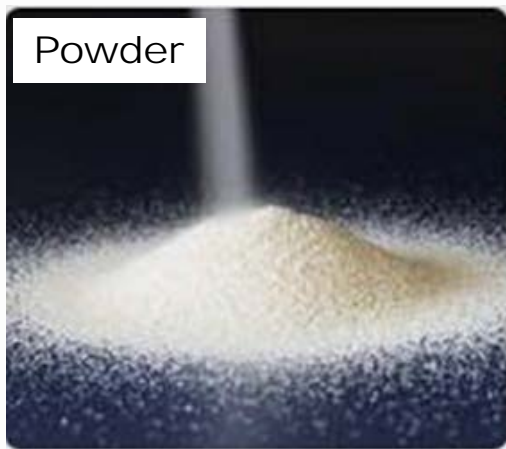
Dr. KR Sridhar was Director of the Space Technologies Laboratory (STL) at the University of Arizona where he was also a professor of Aerospace and Mechanical Engineering. His work for the NASA Mars program to convert Martian atmospheric gases to oxygen for propulsion and life support. KR received his bachelor's degree in Mechanical Engineering with Honors from the University of Madras, India, as well as his master's degree in Nuclear Engineering and Ph.D. in Mechanical Engineering from the University of Illinois, Urbana-Champaign.

Board of Directors:

John Doerr; Kleiner Perkins Caufield & Byers
General Colin Powell; Former U.S. Secretary of State
Senator Kelly A. Ayotte

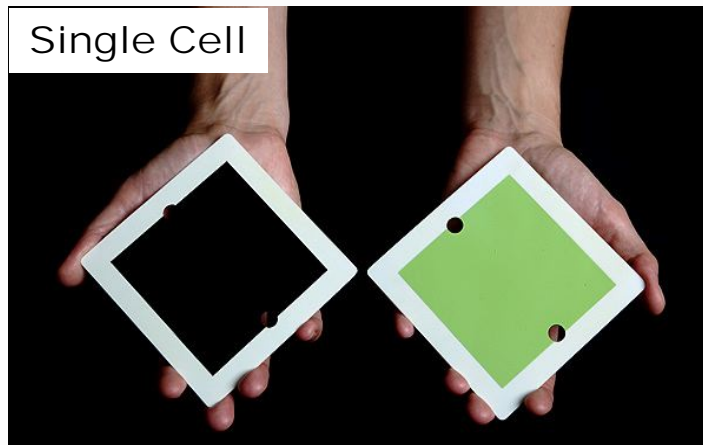
The Honorable Mary K. Bush: former president of Bush International
KR Sridhar; Co Founder and Chief Executive Officer
Eddy Zervigon; Morgan Stanley 외

Bloom Energy 사 셀 및 단위스택



Powder

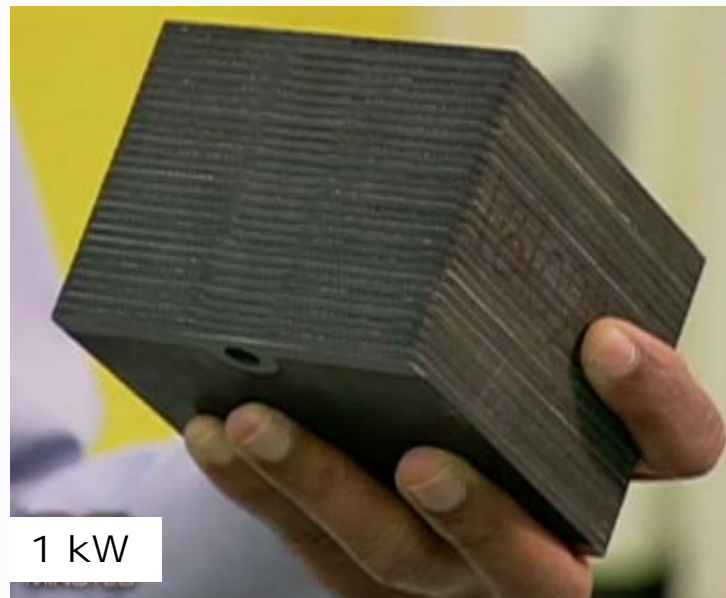
- 분리판: Ducrolloy (Cr합금), 분말야금
- 전해질판 아웃소싱, 전극 스크린 프린팅 자체



Single Cell



Electrolyte plate

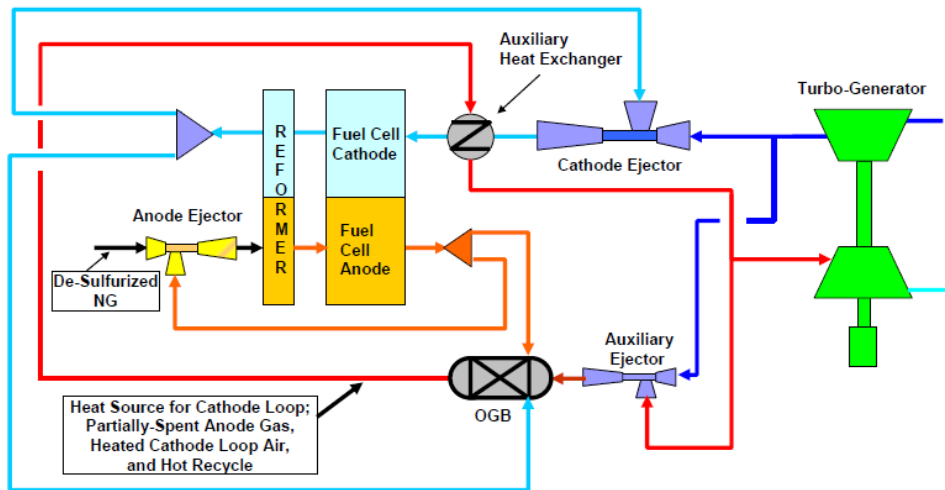


1 kW

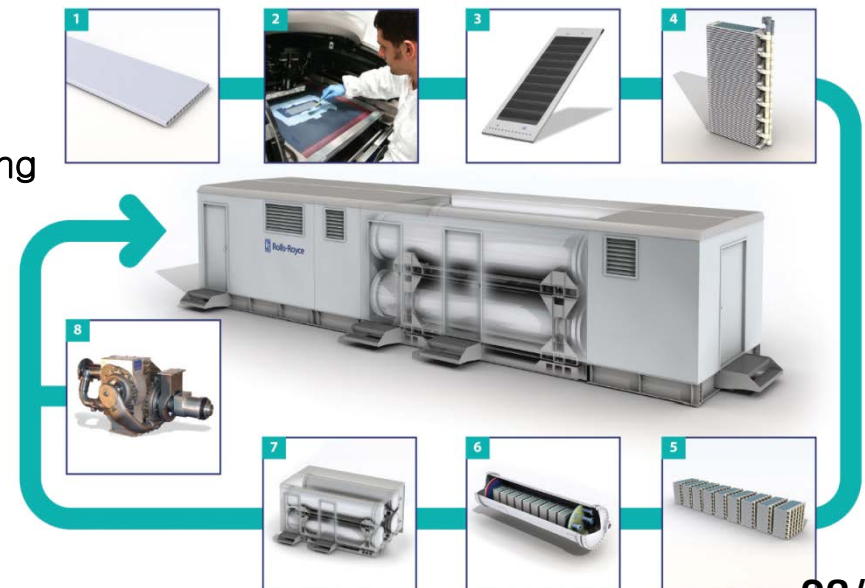
Plant Configurations Similar for NG and IGFC (LG Fuel Cell Systems).

Ref: SECA 2012

LGFCs NG “Dry Cycle” Configuration Same configuration for an IGFC cycle



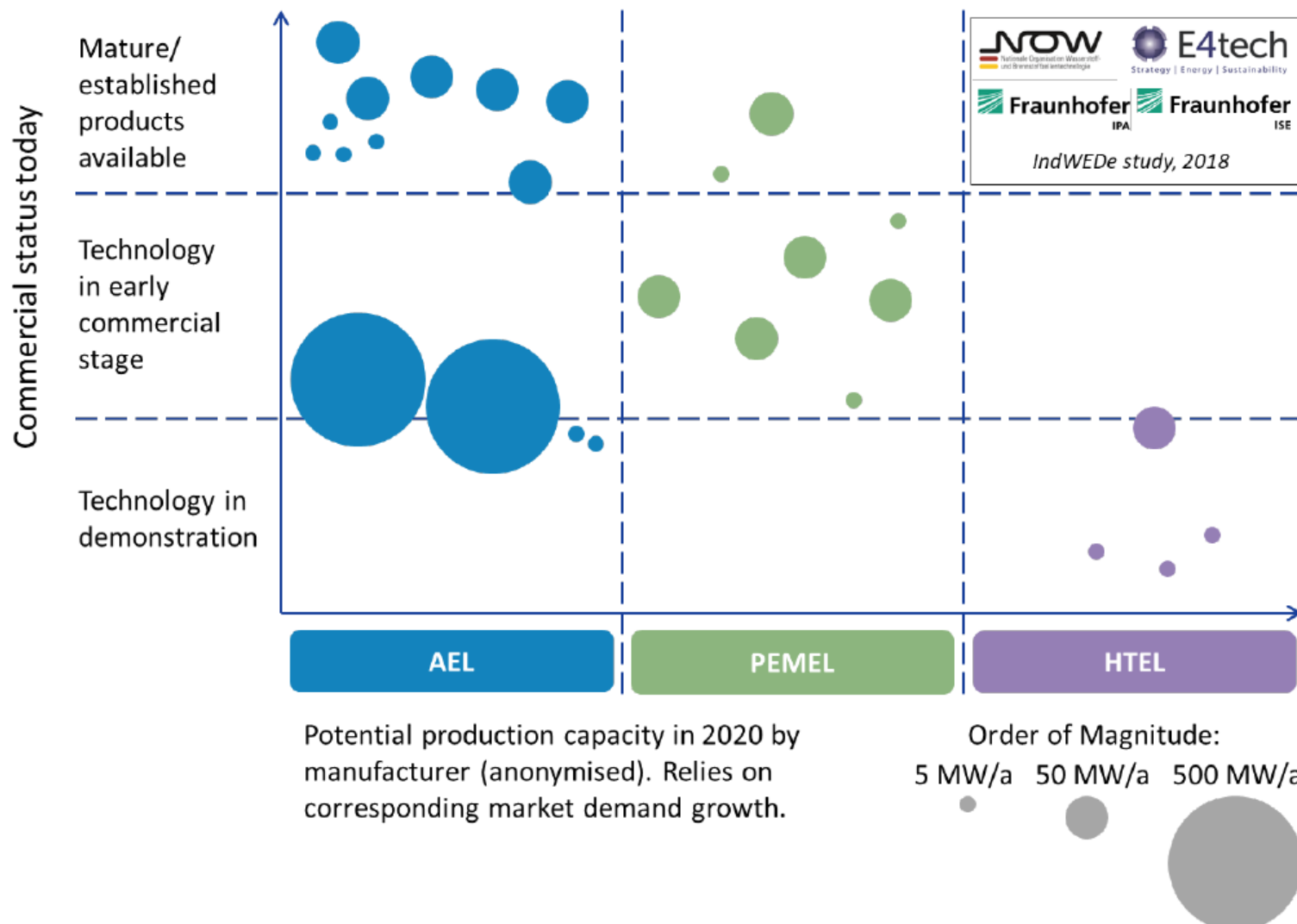
1. Flat ceramic support tube
2. Screen printing: sintering
3. Patterned tube with numerous cells.
4. Bundles and stack.
5. Stack assembly.
6. Generator module.
7. Four generator modules with fuel processing, turbomachinery and power electronics to form a one megawatt power plant.
8. Turbomachinery: heat and pressure.



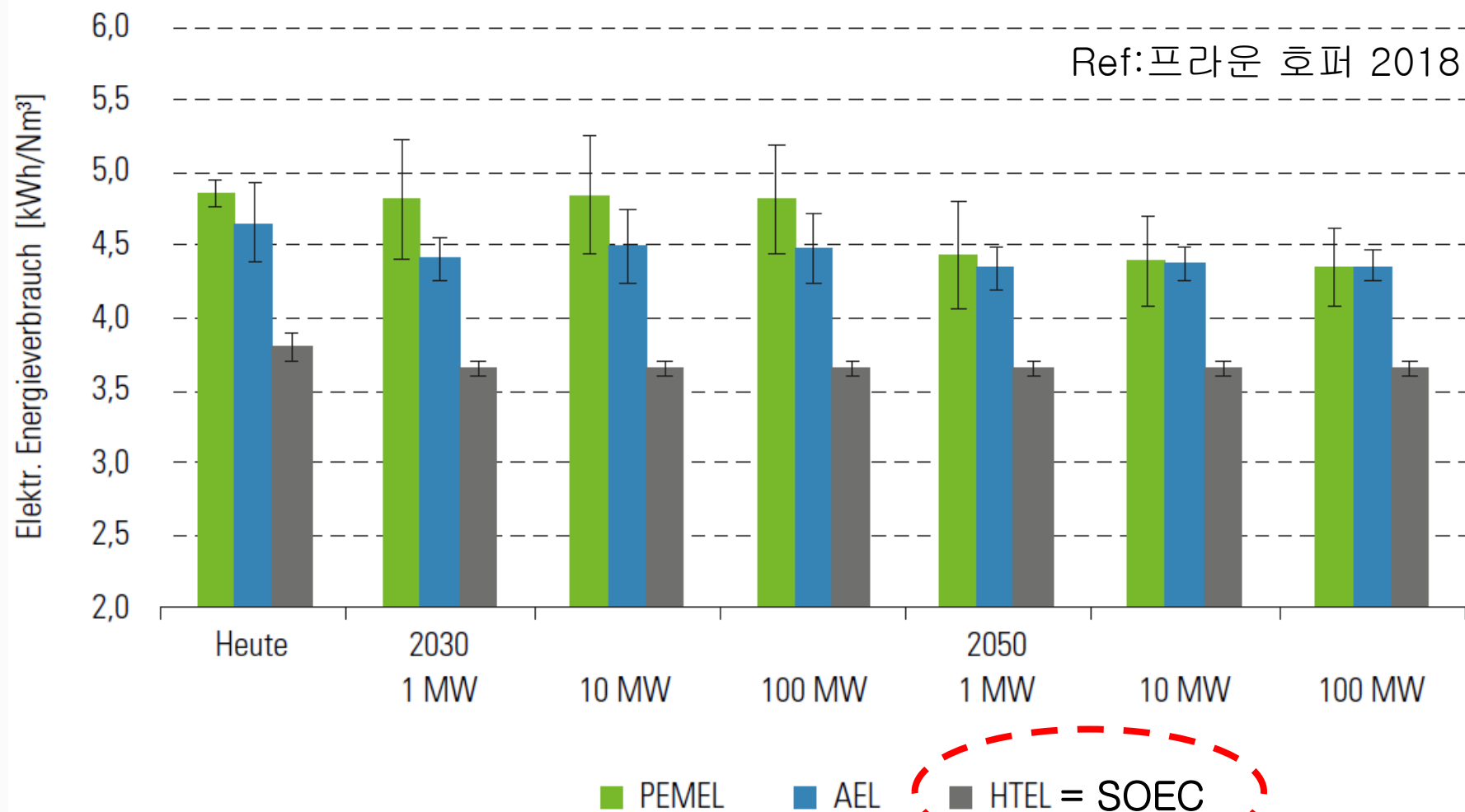


SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell)
HTE (High Temperature Electrolysis)
Steam Electrolysis Cell

수전해기술 현황



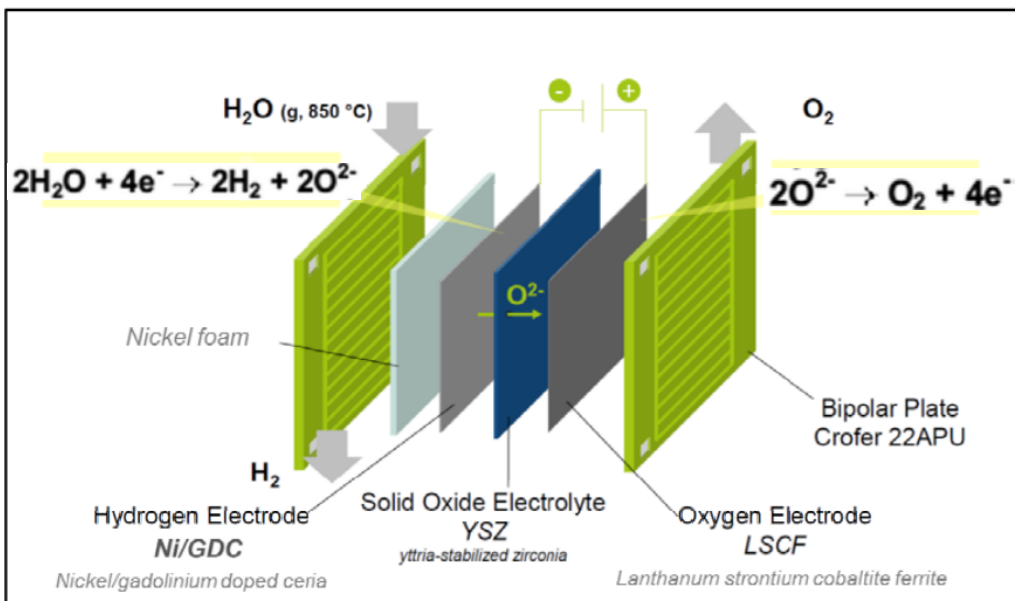
수소생산시 전기소모량 비교





- ◆ 고효율 수소생산, 폐열 활용(수증기 활용), 잉여전력 활용(재생에너지 저장, 원자력발전 저장)

Cell

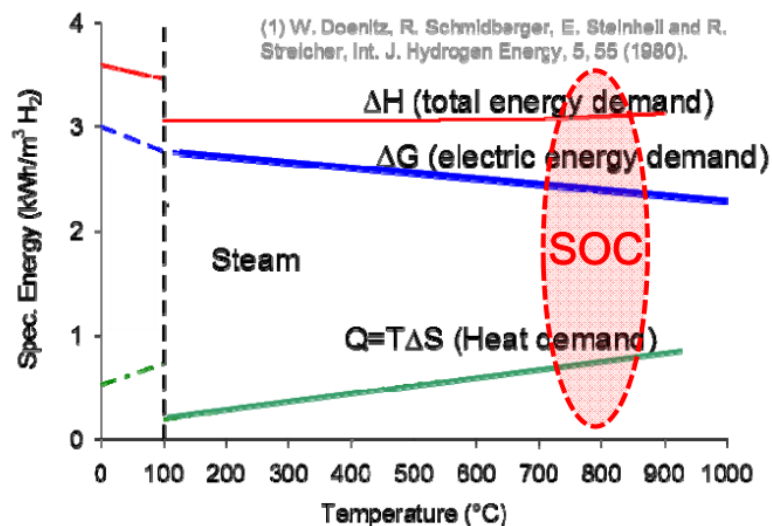


Source: adapted from
GrInHy research project

Ref) EIFER

A

Thermodynamics ⁽¹⁾



B

Electrochemical kinetics :

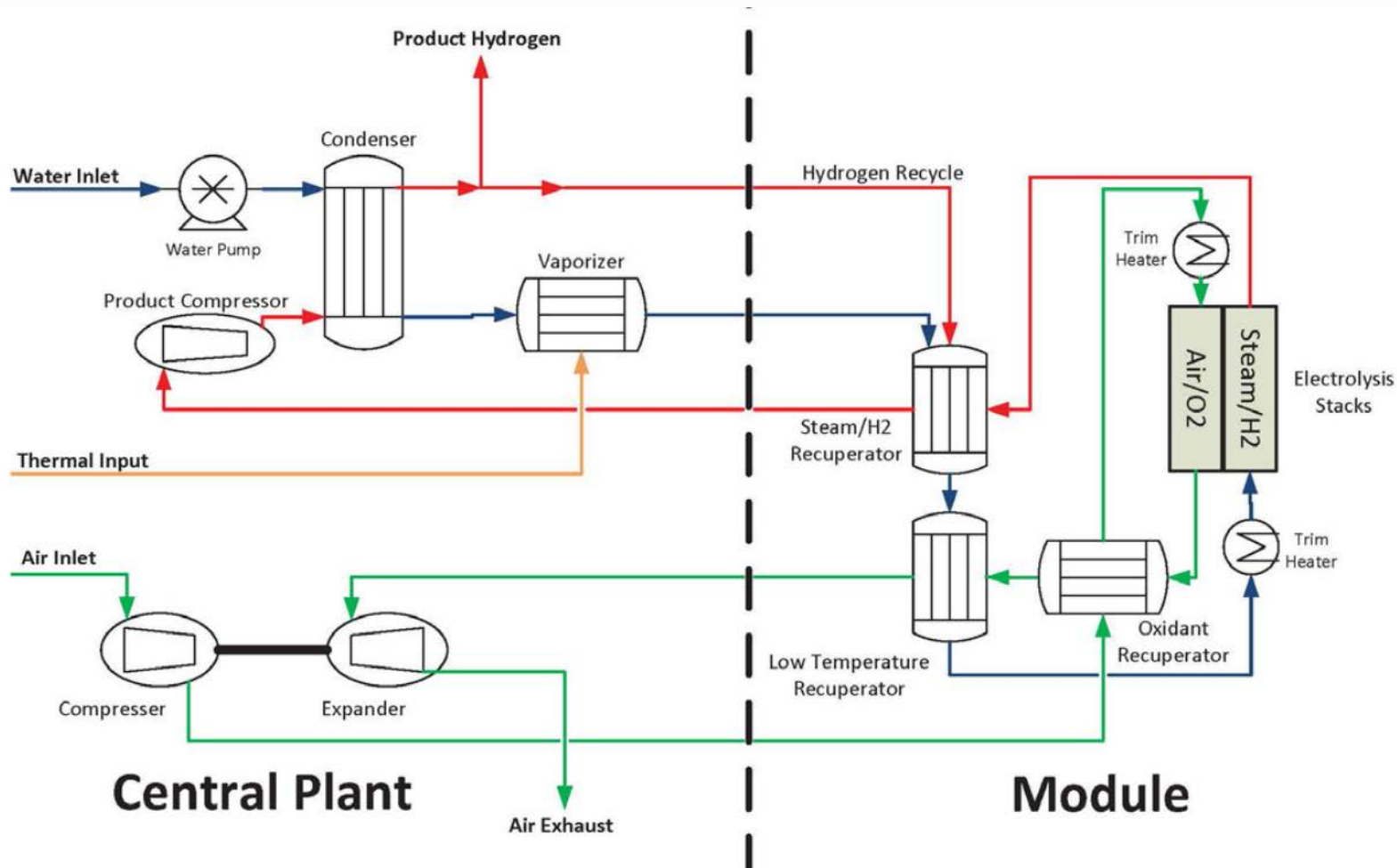
Faster reactions for higher temperature

- Highest efficiency
- No noble metal catalysts
- Co-electrolysis feasible ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$)

General SOEC System(DOE, FCE)



4 Main components: **Steam generator**, heat exchanger, SOEC, Hydrogen separation system



Parametric SOEC Test Results (DOE, FCE)



많은 운전 변수들이 SOEC 수명과 효율에 영향을 미침

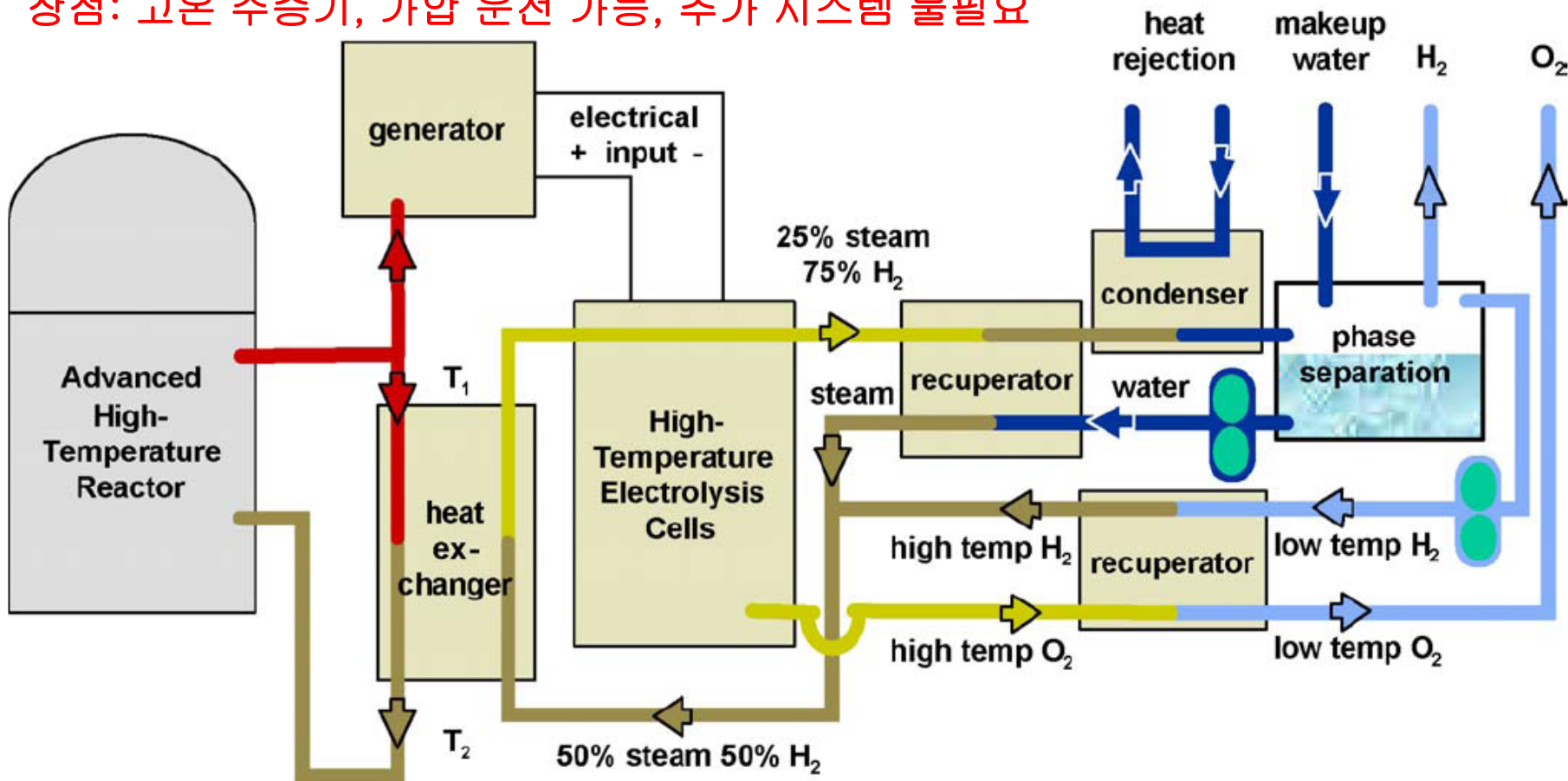
| Operating Parameter | Range | System Impacts at Higher End of Range |
|---|---|---|
| Current | 1–2 A/cm ² (Target 1.1–1.32 V/cell) | 1- Reduced Stack Cost 2- Higher Stack Exit Temperature for Heat Recovery 3- Lower Stack Efficiency 4- Life Impact |
| Steam Utilization (Stack) | 50%–95% | 1- Simpler H ₂ Purification 2- Lower Stack Efficiency |
| Steam Inlet Concentration | 40%–100% | 1- Higher Stack Efficiency 2- Less Recycle (Reduced BOP Cost) 3- Harder H ₂ Purification 4- Potential Life Impact |
| Cell Pressure | 1–10 bara | 1- Higher Stack Efficiency (First ~4 bar) 2- Simpler H ₂ Purification 3- Lower Stack Efficiency (Above ~5 bar) 4- Potential Life Impact |
| Anode O ₂ Concentration (outlet) | 40%–100% | 1- Less Air Flow to Anode (Less BOP Cost) 2- Simpler for Pressurized Operation (Less BOP Cost) 3- Higher Voltage (Less Efficient) |
| Operating Temperature | 650°C to 800°C | 1- Higher Stack Efficiency 2- Potential Life Impact |

차세대 원자로연계 SOEC System (DOE, INL)



4 Main components: Electric supply system, heat exchanger, SOEC, Hydrogen separation system

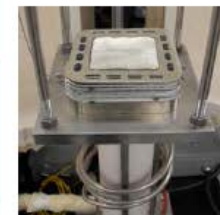
장점: 고온 수증기, 가압 운전 가능, 추가 시스템 불필요





- ◆ 차세대 원자로 연계 SOEC 수소 생산 기술 개발: Ceramtec, Fuel Cell energy 등 참여

| Test configuration | Electrolysis Power at Design Condition (1.2 V, 0.5 A/cm ²) |
|--|--|
| Button cell (2.5 cm ²) | 1.5 W |
| Single cell (16 cm ²) | 9.6 W |
| Small stack (100 cm ² , 10 cells) | 600 W |
| Large Stack (100 cm ² , 50 cells) | 3 kW |
| Multiple-stack module (4 large stacks) | 12 kW |



SOEC Project at Idaho National Laboratory (INL)

(2017년 시작-2020년 현재 진행중)



Reviewer Comments

"The approach of developing a 25 kW test stand followed by a 250 kW unit is logical and reasonable."

"There is a bit of concern as to whether the synthetic fuels portion of the project might distract from the more fundamental electrolyzer operation characterization."

- While potential markets include synthetic fuels, efficient hydrogen production is the primary focus of this project.

"The project appears to be on schedule for the 25 kW test unit. It is not clear about the plan for the 250 kW unit."

- We are in the planning phase to develop the infrastructure for large-scale (250 kW) testing and system integration

If "Support of the advancement of HTE stack technology...." is one of the objectives of this project, no plans and discussion of approaches were given in the presentation.

- The INL collaboration with OxEon supports the advancement of HTE stack technology. The OxEon ruggedized hermetic stack technology addresses thermal cycling issues that may be required for hybrid energy system applications in which intermittent stack operation will be required.

"No major weaknesses are noted for this project."

SOEC 및 SOFC 셀 및 소재 비교



| SOFC | | SOEC |
|---------------------------|--|--------------------------|
| Cathode 산소 환원 | LaSrMnO ₃ (LSM) LaSrCoFeO ₃ (LSCF), etc. | Anode 산소 발생 |
| Electrolyte | Y ₂ O ₃ -stabilized ZrO ₂ (YSZ), LaSrGaMgO ₃ (LSGM) CeGaO ₃ (CGO), etc. | Electrolyte |
| Anode 수증기 생성 | Ni-YSZ, Ni-CeO ₂ /YSZ | Cathode 수증기 전해 |
| Interconnect (산화전위 변동) | Ferritic Steel, Doped LaCrO ₃ | Interconnect (산화전위변동) |
| Cell Structure | Tubular, Planar | Cell Structure |

1. Opposite Terminology in electrode due to opposite electrochemical reaction
2. SOFC & SOEC are very similar in materials and cell & stack
3. Difference: System Technology



GrInHy 프로젝트(2016-2019)

Horizon 2020: 'Green Industrial Hydrogen via reversible high-temperature electrolysis' (GrInHy)

◆ SOEC 120 kW, SOFC 30 kW 가역 운전, 문제는 내구성과 가격

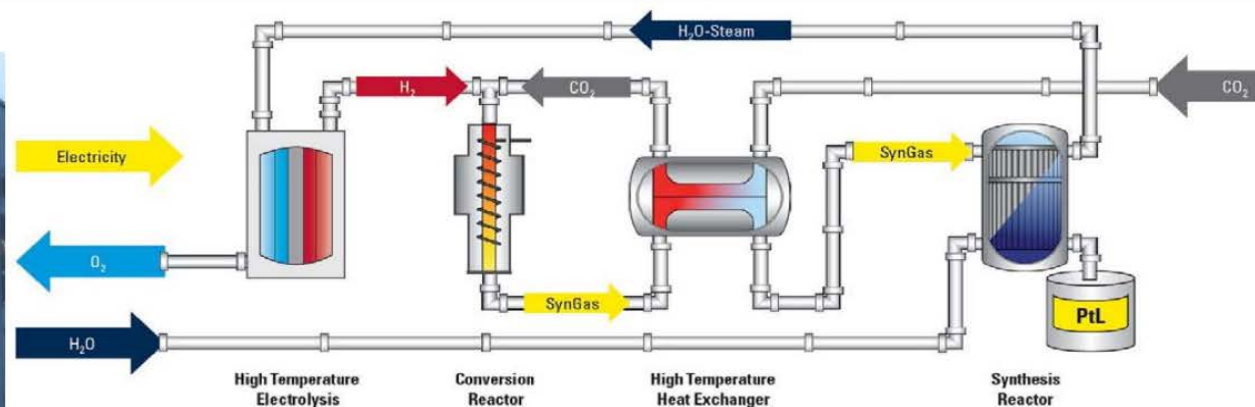
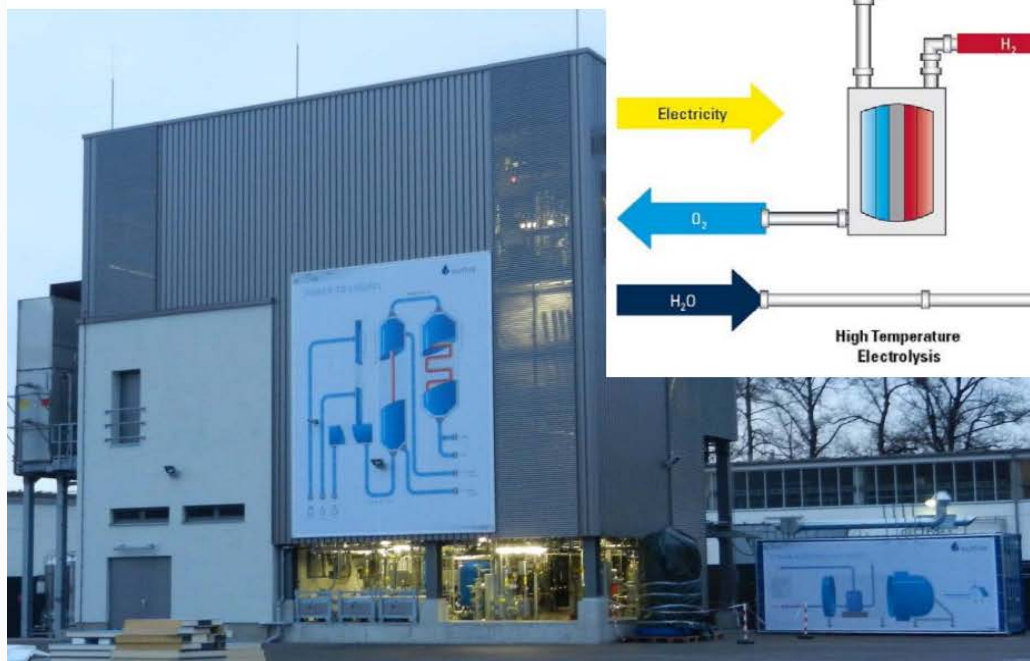
<Target>

| | | |
|--|----------------------|--|
|  | Efficiency | proof of reaching an overall electrical efficiency of at least 80 %LHV |
|  | Upscaling | SOEC unit to a DC power input (stack level) of 120 kW _{el} |
|  | Operation | at least 7,000 h of operating the system |
|  | Lifetime | greater than 10,000 h with a degradation rate below 1 %/1,000 h |
|  | Reversible Operation | higher capacity utilization for stronger business cases |
|  | Costs | development of dependable data on system costs and cost reductions |
|  | Exploitation Roadmap | reversible high-temperature electrolyzer as a marketable product |



GrInHy system in Salzgitter (D)

SUNFIRE 프로젝트 (SOEC 수소생산+합성 액체연료 생산, 2016)



Source: <sunfire.de>

sponsored by the German



Federal Ministry
of Education
and Research

Demonstration project

- production: 1 barrel petrol equivalent/day
- H₂ supply with SOEC (partial)

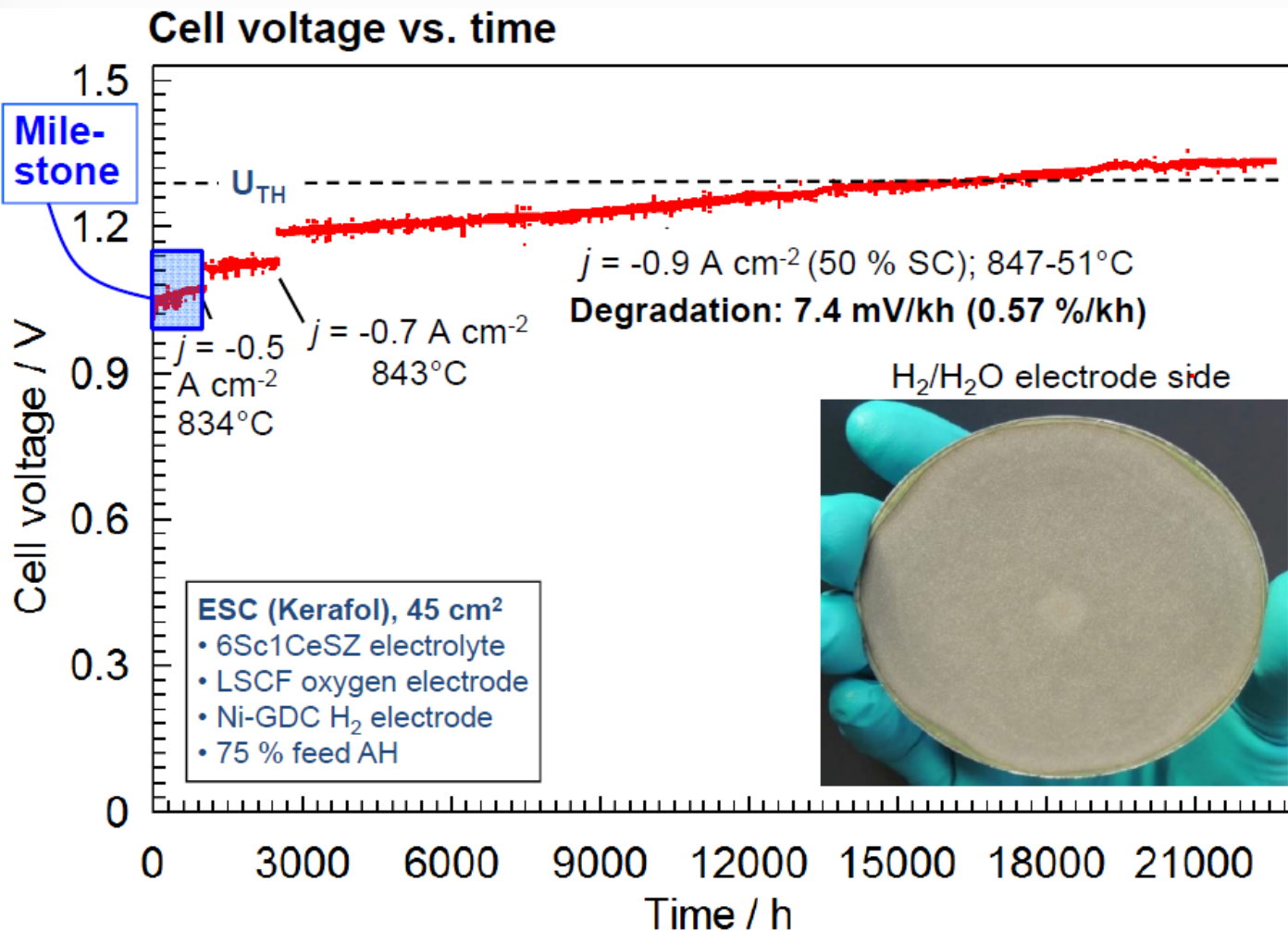
High temperature electrolyser, 10 kWel

EIFER: - cell/short stack testing (milestone 1000 h)
- 'side result': 23,000 h test

SUNFIRE 프로젝트 (SOEC 수소생산+합성 액체연료 생산, 2016)



- ◆ 20,000 h @ -0.9 A cm^2 (SUNFIRE project), Kerafol 전해질지지체 셀(연료극지지체 보다 내구성 우수)



- longest reported test
- highest reported ESC current density

2 years: $U_{cell} < U_{th}$
 U_{th} : thermal neutral voltage → operation at theoretical efficiency

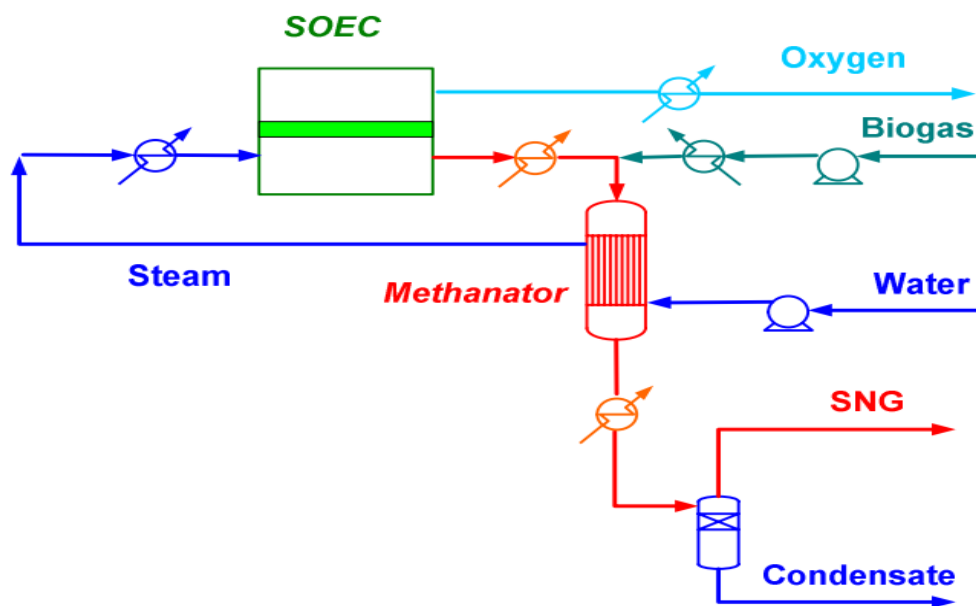
Impedance spectroscopy: mainly ohmic degradation (electrolyte, interlayers)
Post-test: Si pollution from water (Q. Fu (Eifer), M. Lorenzo, ICT))



New EUDP 프로젝트(SOEC)



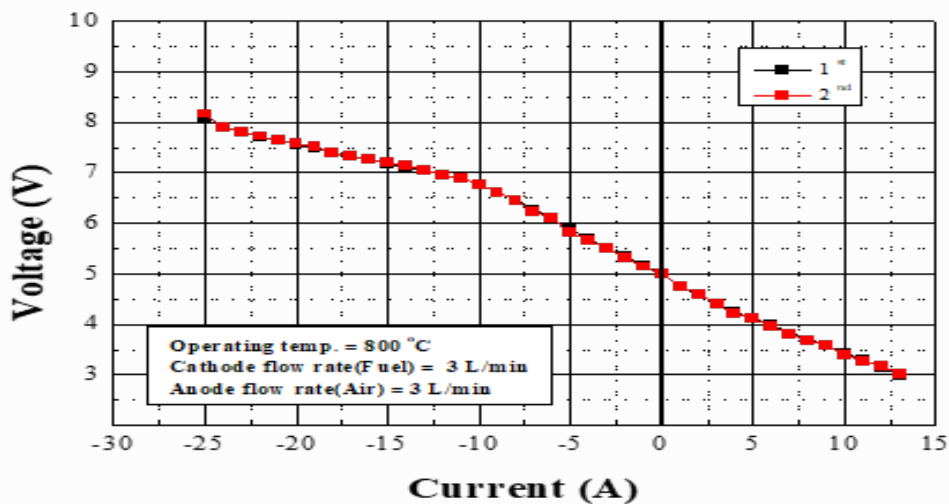
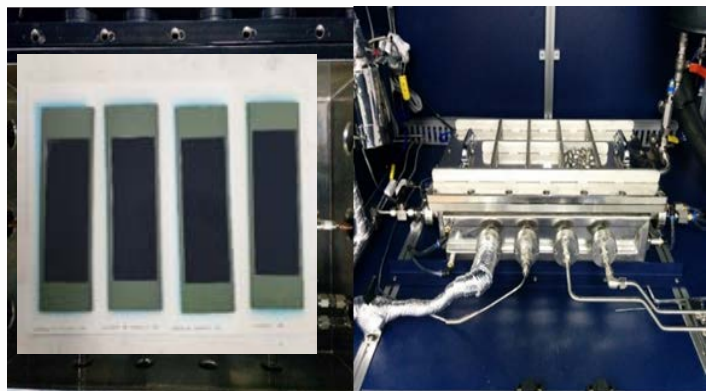
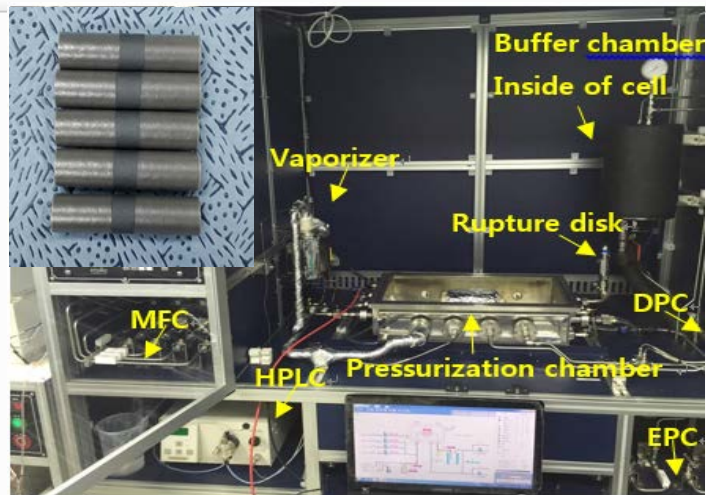
◆ 50kW SOEC and 10 Nm³/h methane, 2013-2017 by Haldor Topsoe 외
 Biogas to SNG via SOEC and methanation
 of the CO₂ in the biogas



Methanation and SOEC at Foulum



KIER 에서 SOEC 기술 현황(0.5 kW급가압 시스템)



KIER의 SOFC 주요 성과

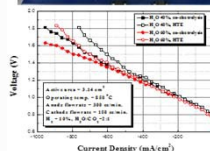
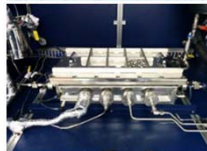
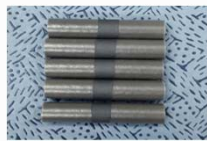


셀 요소 기술 주요성과

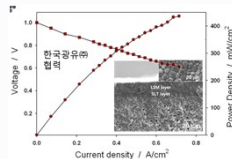
- 군용/휴대용 급속기동 250W 급 SOFC 시스템 개발
 - 세계 최고 수준 기동 시간 20분 달성!
 - 프로판 연료사용, 개질기/스택/연소기 일체형 시스템
- 공전해 공정에 의한 syngas 제조기술 개발
 - 800 °C, 10기압 가압조건 수전해 및 공전해 운전 성공!
- 세라믹 접속자 적용 평판형 SOFC 셀 개발
 - 접속자 면저항 $\sim 30 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$, 셀 성능 $\sim 435 \text{ mW/cm}^2$
- 고압/가압운전용 세그먼트형 SOFC 셀 개발
 - 세계 최고 수준 셀 강도 300MPa 달성!



휴대용 SOFC 스택
및 시스템



가압공전해 셀, 시
스템 및 성능곡선



평판형 SOFC셀 및
성능 곡선

스택, 시스템 연구성과

- 1kW급 관형 SOFC 스택 개발
 - 원통형, 평판형 1kW급 SOFC 스택 개발
- 5kW급 평판형 SOFC 가압운전 시스템 개발
 - Juelich 스택 적용 5kW급 가압 시스템 개발 및 운전
- 대면적 평판형셀 제조기술 개발



1kW급 관형 SOFC
스택



5kW급 SOFC 가압
운전 시스템



| | | |
|--------|--------------|--|
| USA | NASA | (1) Solid oxide electrolysis of CO ₂ for O ₂ regeneration (2) Tubular YSZ cell stack with Pt-ZrO ₂ composite electrodes (3) CO ₂ <i>In situ</i> Resource Utilization (ISRU) technology |
| | INL | (1) The feasibility of HTCE using SOECs |
| Europe | RNL | (1) SOEC and SOFC operation modes under different conditions (2) A synthetic fuel production system with integrated high pressure HTCE (3) The degradation of SOECs during the process of HTCE (4) Large-scale electricity storage utilizing SOECs combined with underground storage of CH ₄ and CO ₂ |
| | EIFER | (1) Technical and economic analysis of HTCE and FT synthesis for syngas and synfuel production |
| | FZJ | (1) Materials development covering cell manufacturing, stack design, characterization, and even the subsequent system design and demonstration (2) A 9000 h operation of a solid oxide cell (3) Tape-casting and sequential tape-casting (4) 1- and 5-layer planar-type steam pre-reformers |
| | SunFire GmbH | (1) A reversible solid oxide cell electrolyzer with high-efficiency and low-cost hydrogen production |
| | CEA | (1) HTSE for large-scale demonstration (2) A low-weight stack, degradation rate below 3%/kh with 3-cell stacks (3) Micro models for HTSE and HTCE |
| China | THU | (1) HTR-PM project, multiple-cell SOEC stacks, design and construction of kilowatt scale HTE facilities (2) Patterned, porous and tubular SOECs on different scales; theoretical modeling of HTCE (3) Electrochemical performance and stability of electrode or electrolyte materials including LSM-YSZ, LSCF-GDC, LCCZ-GDC, BCFN9721, LSFG, and LSCFN for solid oxide cells |
| | USTC | (1) Manufacturing CH ₄ from HTCE in tubular SOECs directly |

일본 미츠비씨사 100 kW급 SOEC 개발 중

日本 ASEC 운영체재 및 산총연 역할



● コンソーシアムは:

- ・産総研と企業との個別共同研究の束: 同じ目的に向かって活動する戦略的集団
- ・運営は、産総研が事務局となり、合議で活動(ラボが主たる業務を担当)



産総研

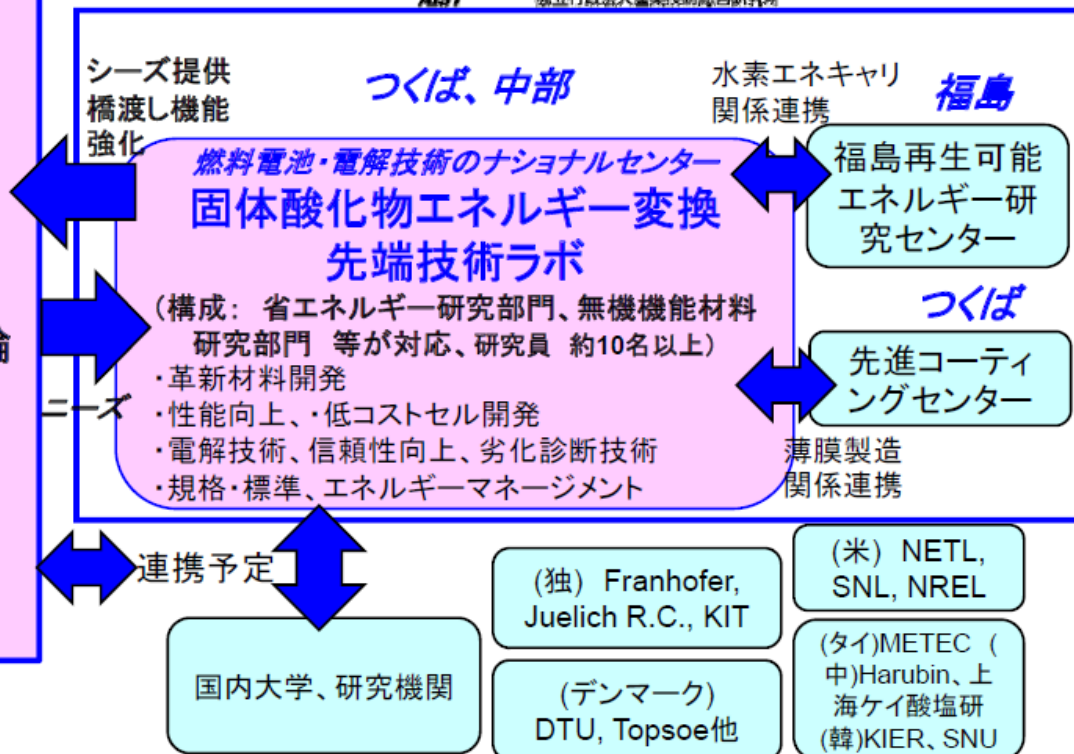
独立行政法人産業技術総合研究所

固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム (ASEC):

企業11社、大学3機関の共同研究で運営。
事務局は産総研

内容:

1. 未来・先端技術開発の方向性議論
2. 次世代技術・評価技術開発
3. 事業化のための直近課題の解決



外国機関とは、産総研研究ラボと連携



□ 장수명화 및 신뢰성 향상 :

- 가스기밀, 열사이클 안정성 확보
- 장수명 기술 개발: 내구성 극복, Cr 휘발, Sr 등 원소 이동, 브로와 등 시스템 부품 열화
- 저온화(?)

□ 저가격화 및 효율 향상

- 저가 소재 사용: 저가 세라믹 분말, 상용 금속소재등
- 저가 제조공정: 습식 소결공정 등
- 고출력 셀 개발
- 저가 BOP 개발: 열교환기, 브로워, 시스템 제어 등

□ 상용화 방향

- SOFC/SOEC 100 kW급 이상 제품: 수명 5년 이상,
효율 60%(SOFC)/80%(SOEC)이상 이상, 가격 1000 \$/kW이하
- 가정용 제품: 수명 5년 이상, 효율 40% 이상, 대당 가격 5000 \$ 이하
- APU 제품 : 동작시간 5천시간 이상, 효율 30% 이상, 열사이클 100 회 이상 (?)
- 휴대용 제품: 동작시간 5천시간 이상, 효율 20%이상, 열사이클 1000 ~2000 회

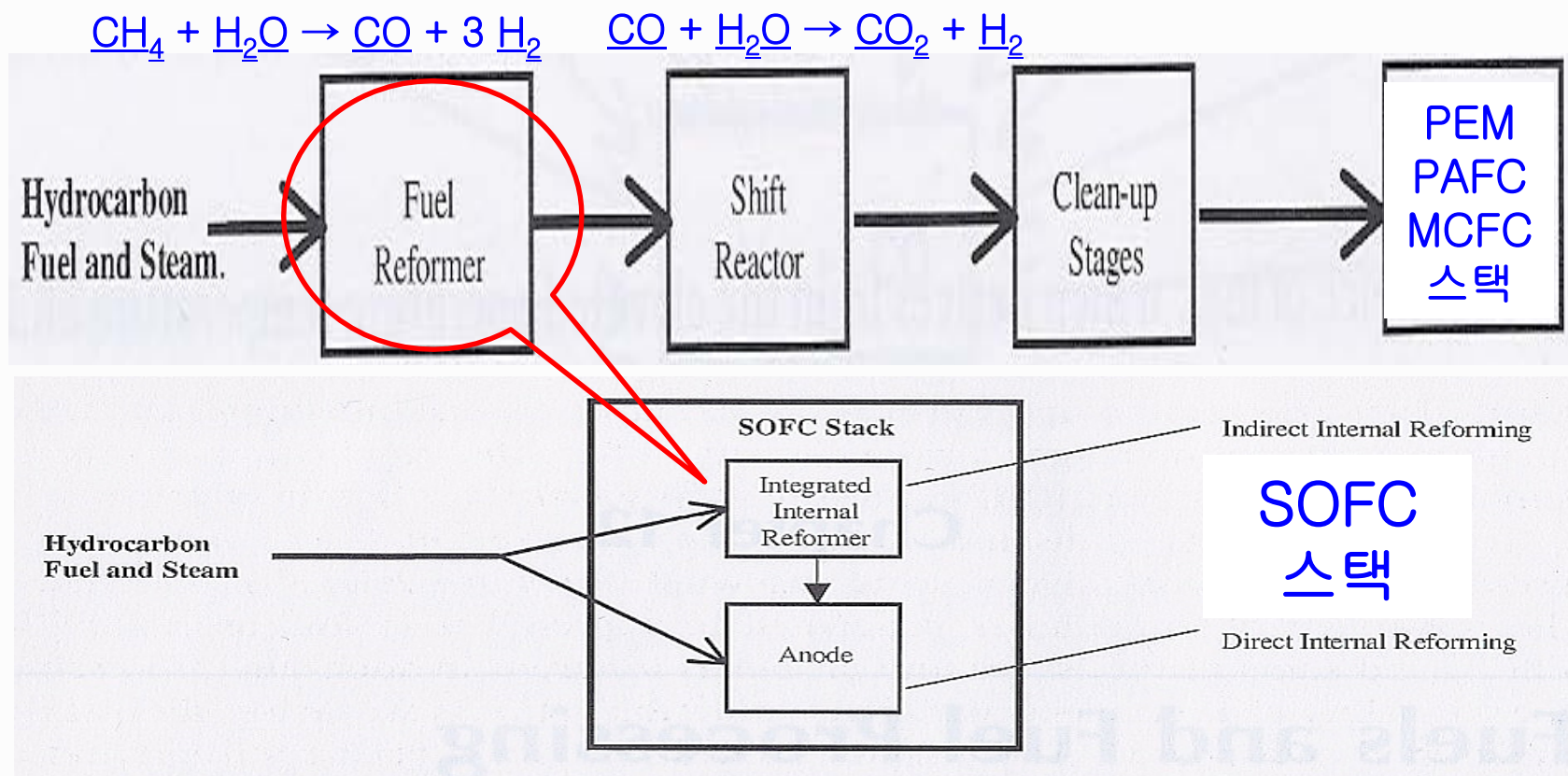
정청해 주셔서 감사합니다.

rhsong@kier.re.kr

SOFC 시스템과 타연료전지 비교



Schematic of fuel processing for a PEM, PAFC, MCFC fuel cell system showing the external Fuel processing and for a SOFC system with the internal reformer

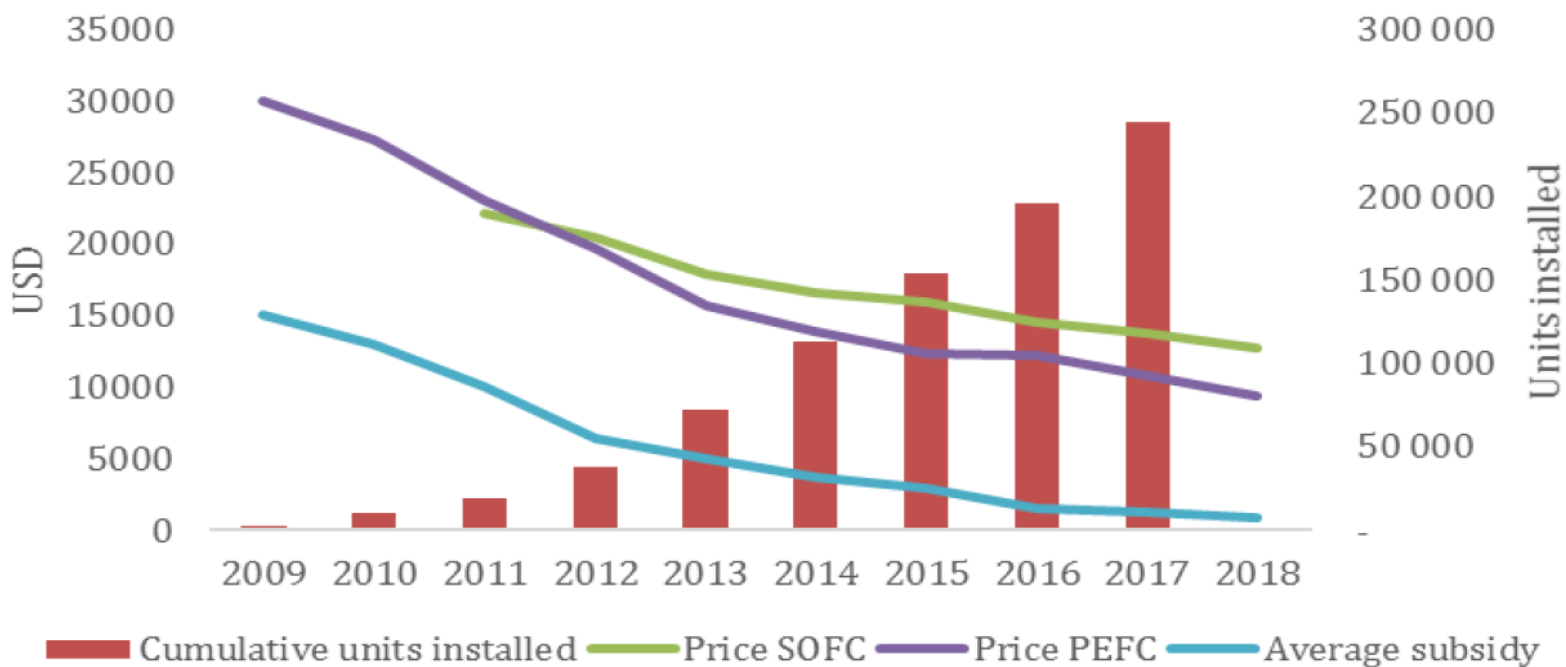


*CO: SOFC의 연료($\text{CO} + 1/2\text{O}^{2-} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{e}^-$), PAFC, PEMFC 전극 촉매 피독

일본 가정용 FC 가격 추이 (METI)



Enefarm fuel cell micro co-generation cumulative installation, prices and subsidies, 2009-2018 (\$)



미래국방 전력화 성공 보장을 위한

新 에너지 활용방안

[원자력 에너지 기술을 중심으로]

2020. 11. 30(월)

목 차

I. 미래 국방전력 변화

II. 미래국방전력(戰力)과 전력(電力)지원체계

III. 新 (원자력) 에너지의 군 적용 방안

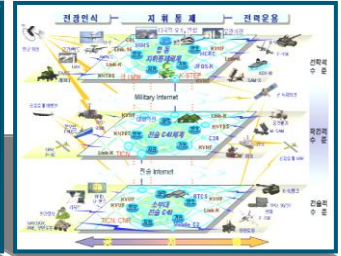


I. 미래 국방전력의 변화



I. 미래 국방 전력 변화

■ 전쟁 패러다임 변화



접적, 선형, 근거리 전투

플랫폼 중심 전쟁

순차·연속적 작전

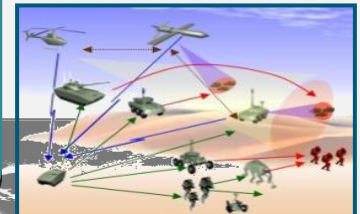
물리적 파괴·소모전

비접적, 비선형, 원거리 전투

네트워크 중심 전쟁

동시·통합·병렬 작전

효과 중심·인명 중시전



I. 미래 국방 전력 변화

■ 전쟁 패러다임 변화(계속)

✓ 5 Game Changer



✓ 한반도 작전지형 분석

-
- | 역전 조종 | 교관/인입 | 소형 |
|-------------|----------|-------------|
| 초소형 드론 등 7종 | 무인포 동 4종 | 스마트 탄약 등 3종 |
- 백터 기공률
- 스마트 탄약
- 3D 야간투시경
- 소소형 드론
- 자위 통제 차량
- 무인 정찰차량
- MAV 집회차 폭발을 줄일 로봇
- (미국·일본·대만·영국·중국)

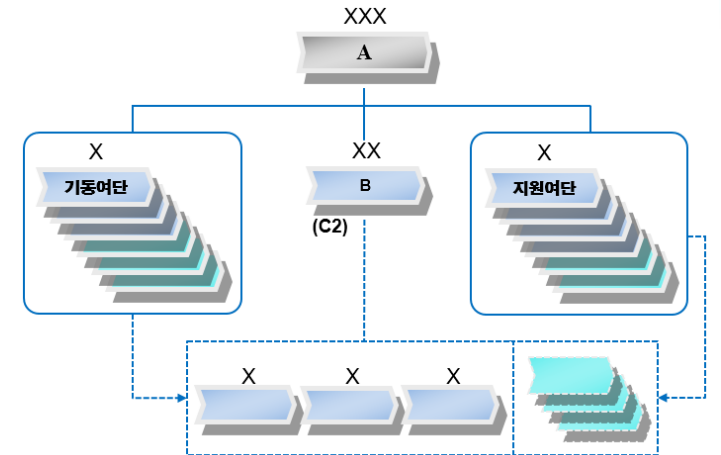


KCTC의 시가지 전투 훈련장

I. 미래 국방 전력 변화

■ 전쟁 패러다임 변화(계속)

✓ 한국군 미래 군단 작전환경 변화



| 병력 감축 내용 단위: 만명 | 육군 | 해군 | 해병대 | 공군 | 총병력 |
|-----------------|------|-----|-----|-----|----------|
| 현재 | 49.8 | 4.1 | 2.9 | 6.5 | 63만3000명 |
| 2022년 | 38.7 | 4.1 | 2.9 | 6.5 | 52만2000명 |

간부 구성 변화 2013년 → 2025년

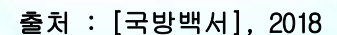
간부 비율: 29.5% → 42.5%

장교: 7만1000명 → 7만명

부사관: 11만6000명 → 15만2000명

출처 : [국방백서], 2018

✓ **한국군 미래 군단 작전환경 변화(계속)**



I. 미래 국방 전력 변화

■ 전쟁 패러다임 변화(계속)

✓ 한국군 미래 군단 작전환경 변화(계속)

미래 전력(電力)지원체계 개념



Ⅱ. 미래국방전력과 전력지원체계



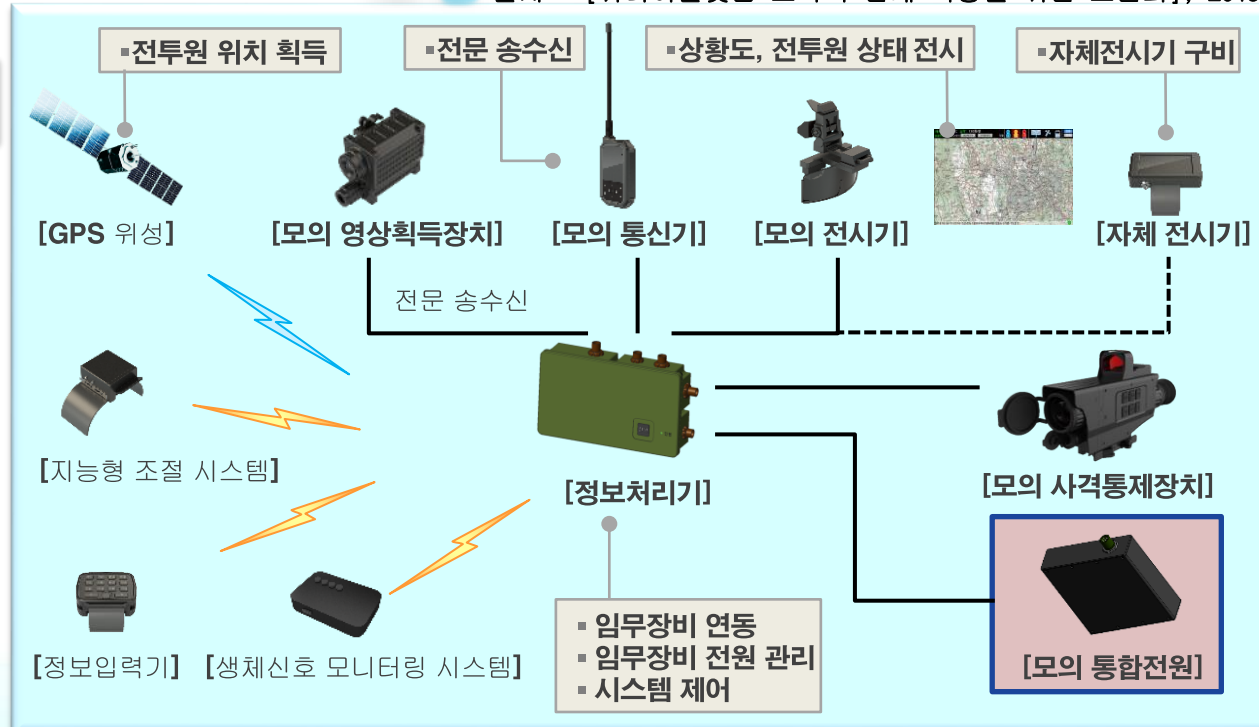
II. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(電力) 지원체계

✓ 개인전투체계(무기체계)



출처 : [위리어플랫폼 도약적 단계 격상을 위한 토론회], 2019



II. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 워리어 플랫폼 에너지 소요 예측

1단계 (모듈형-현재)

- 에너지 사용량 : 10W
- 작전시간 : 72시간
- 요구 에너지량 : 720Wh
- 배터리 중량 : 4.8kg



2단계(모듈평)

- 에너지 사용량 : 100W
- 작전시간 : 72시간
- 요구 에너지량 : 7,200Wh
- 배터리 중량 : 48kg



3단계 (일체형)

- 에너지 사용량 : 1,000W
- 작전시간 : 72시간
- 요구 에너지량 : 72,000Wh
- 배터리 중량 : 480kg

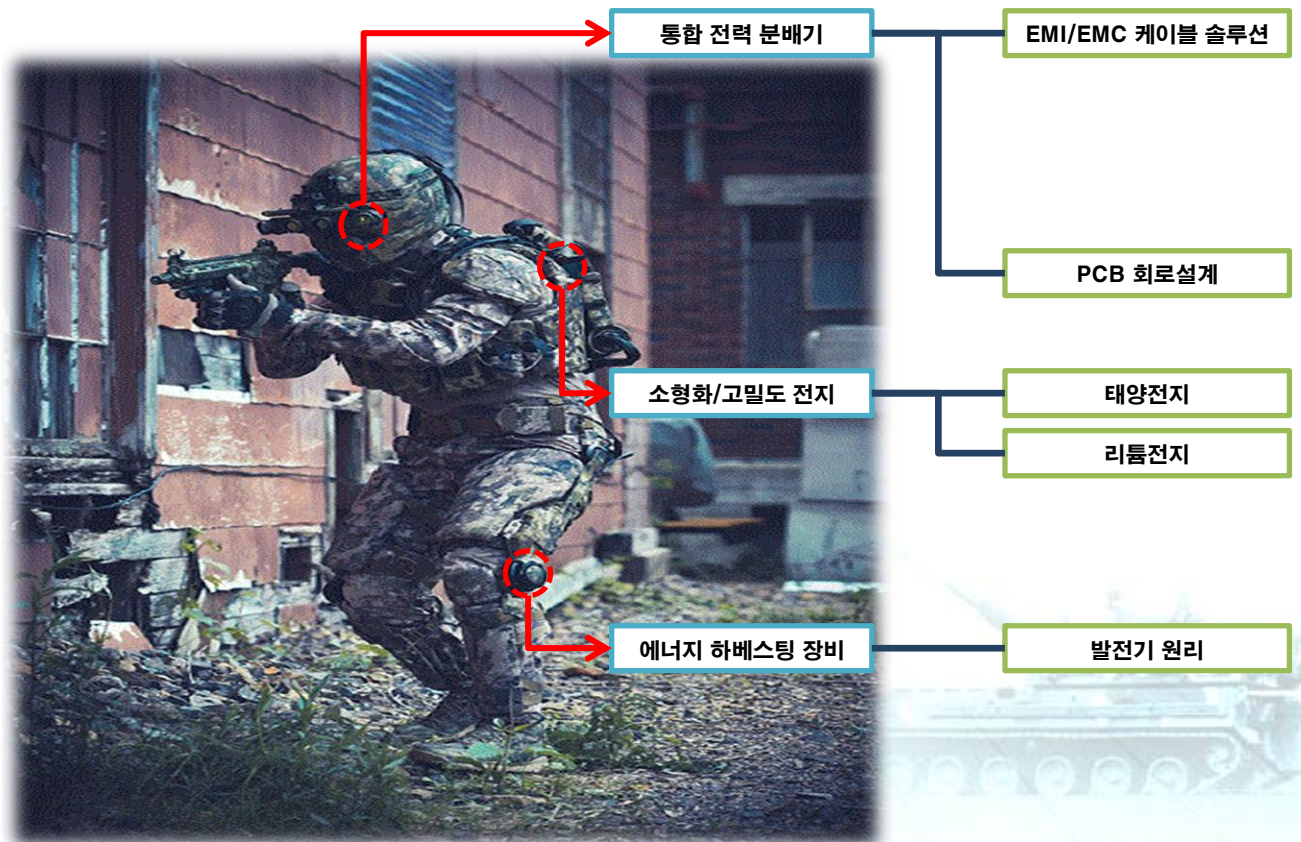
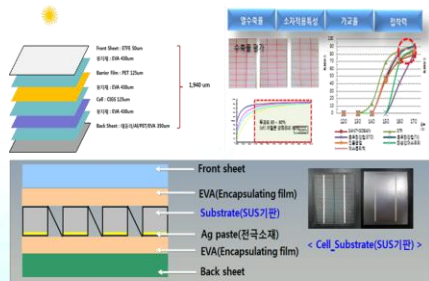
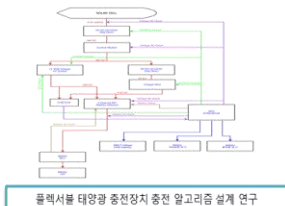


➡ 기존 에너지원 대비 **고에너지 밀도** 에너지원 개발 필수적으로 요구됨

II. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(電力) 지원체계(계속)

✓ 개인전투체계 통합전원관리체계



출처 : [위리어플랫폼 도약적 단계 격상을 위한 토론회], 2019

II. 미래국방 전력과 전력지원체계

- 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)
 - ✓ 유·무인 복합 전투체계 & 드론봇 전투체계

| 구 분 | 지상정찰 지원 | 공중정찰 지원 | 전투지원 | 수송지원 |
|-----------------|--|---|--|--|
| 유·무인 복합 전투체계 |  |  |  |  |
| 드론 봇 전투체계 |  |  |  |  |

- 보다 멀리, 보다 정확하게, 보다 치명적으로 발전 : 공중기동성 보장이 최우선
- Advanced Drone : 24H 이상 체공, 고도 16,000F 이상 비행, 600kg 적재

II. 미래국방 전력과 전력지원체계

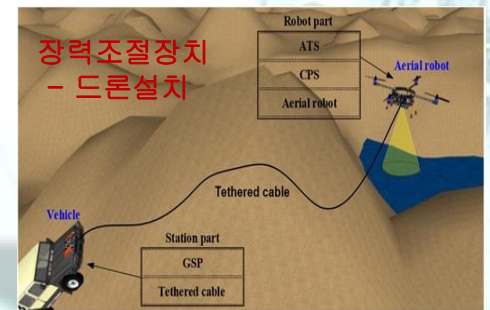
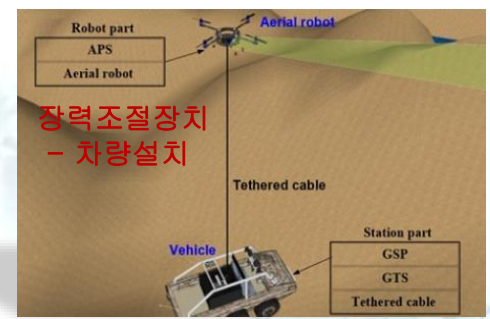
■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 비행시간 한계를 극복할 대안

- 유선드론시스템(Tethered Drone System)



꼬임 방지 장력조절장치



Ⅱ. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 비행시간 한계를 극복할 대안

- 유선드론시스템(Tethered Drone System)



Ⅱ. 미래국방 전력과 전력지원체계

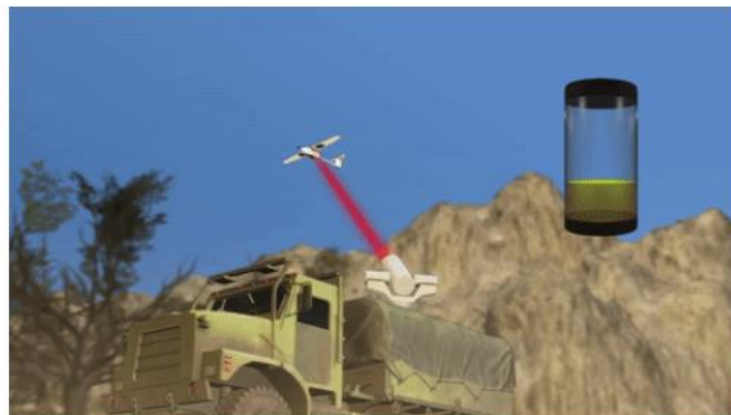
■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 비행시간 한계를 극복할 대안

• 무선충전드론(Wireless Charging Drone)



자기유도전력전송방식 무선충전드론



레이저를 이용한 무선충전드론



Ⅱ. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

- ✓ 드론봇 전투체계 (헬리캐리어) : Airborne Aircraft Carrier, AAC)

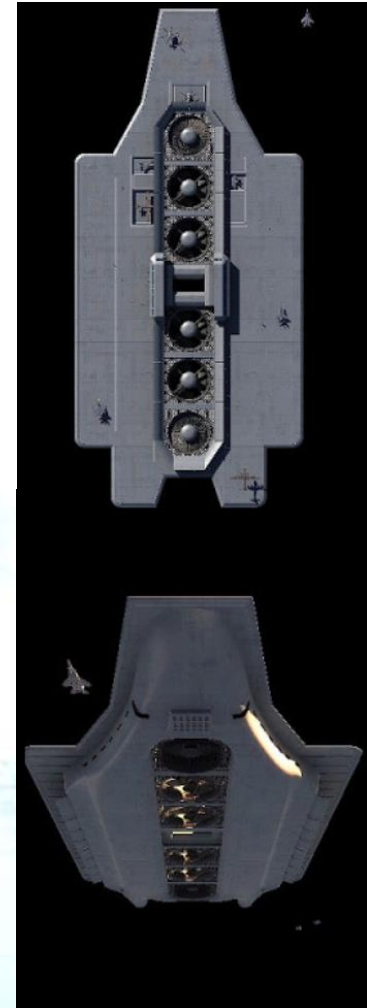


Ⅱ. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 중국의 공중항공모함

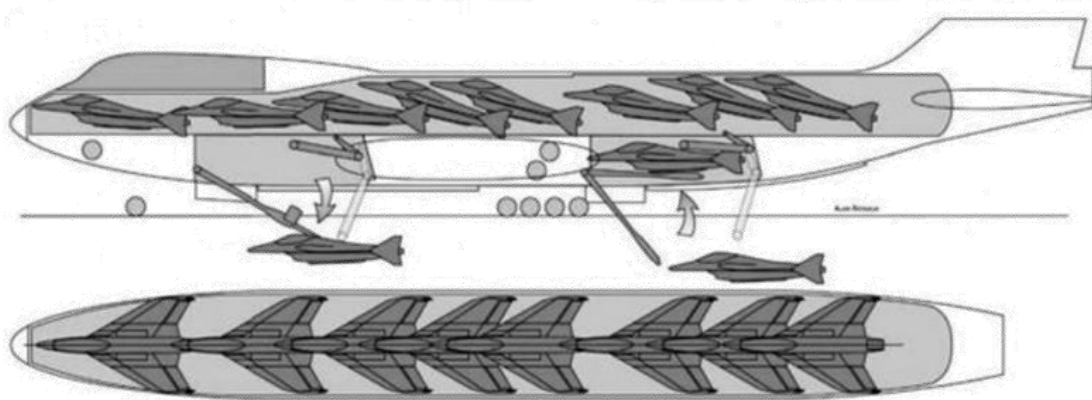
2010년 중국 AAC 컨셉 유출



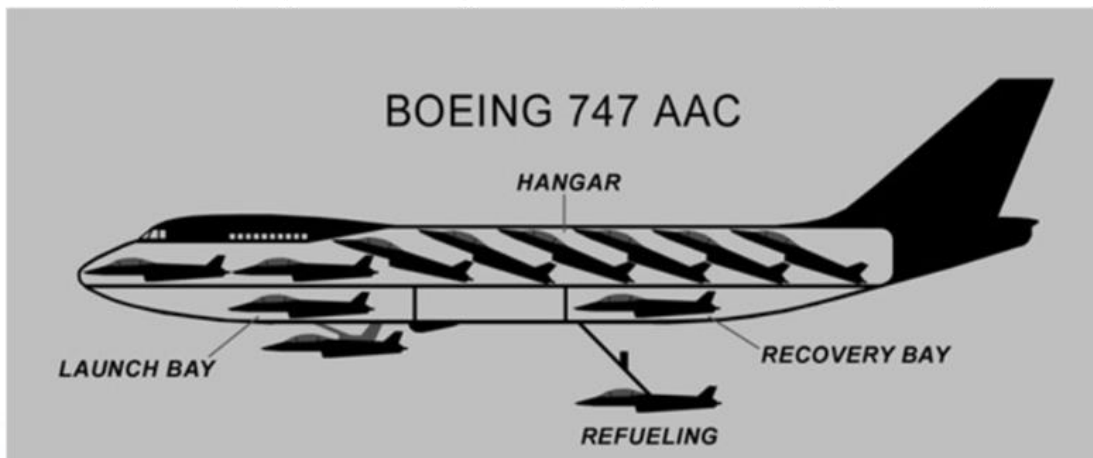
II. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 보잉 747 Airborne Aircraft Carrier, AAC



- 최초의 공중항공모함(AAC)
- 비행기 안에서 연료 공급과 무장보급



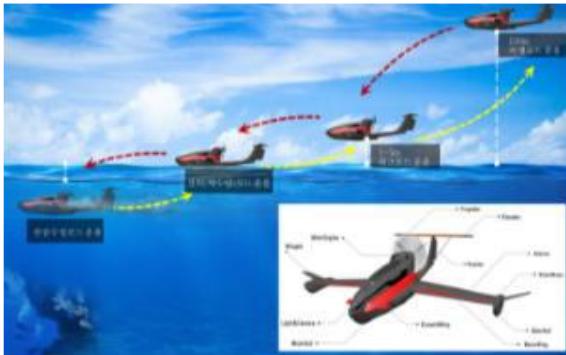
- 총 10대의 소형전투기
- 마이크로파이터(Microfighter)

II. 미래국방 전력과 전력지원체계

■ 국방전력 변화와 고성능 전력(전력) 지원체계(계속)

✓ 미래첨단로봇 – 무인로봇의 진화

수 공 천 이 플랫폼



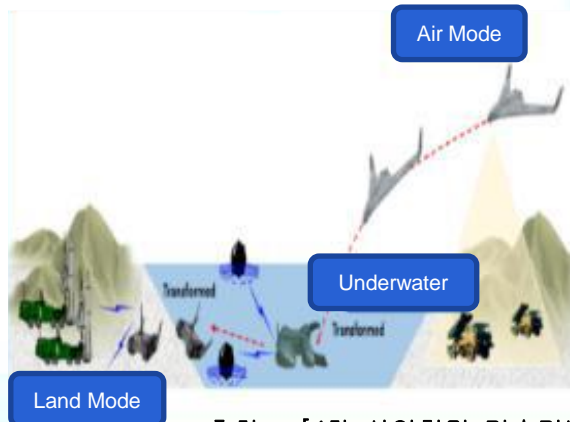
특수지능형 복합 플랫폼



하이브리드 플랫폼



트랜스포머



- 위협의 다양화
- 환경의 광역화
- 전장 다차원화
- 동시 전장화

- ✓ How often?
- ✓ How long?
- ✓ How far?
- ✓ How fast?

- 위협의 빈도수
- 전장지속 능력
- 고기동성 확보
- 다영역 작전 능력

지상

해상

공중

Ⅲ. 新(원자력) 에너지 군 적용 방안



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 국방녹색기술정책

녹색강군 건설을 위한 국방 녹색기술 개발

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| ·국방녹색기술개발을 통한 군사력건설 | ·국방녹색기술로 저탄소 녹색성장을 견인 | ·방산 녹색시장 선점으로 신성장동력확보 |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|

✓친환경 녹색에너지 활용 기술 개발

친환경 에너지 활용 국방녹색기술 개발

수소 에너지

전투차량 연료 전지

태양광

연료 전지

성층권 비행선 태양광 전원

군용 폐기물 친환경 처리

폐탄약 회수 및 친환경 폐기

원자력
???

✓저탄소 미래에너지 기반 체계적용 기술개발

저탄소 · 고효율 무기체계

하이브리드 전기 전투차량

친환경 에너지 추진기관

신에너지원 함정

녹색개념 극대화 신무기체계

고고도 장기체공 무인기

eVinci™ Micro Reactor
Ultimate Energy Solution for the Off-grid Customer

Eliminates fuel supply

Affordable energy

Enables Economic Development

Clean energy

Scalable power

Emergency driver

Control drum driver

Primary heat exchanger

Heat pipes

Monolith

Reactor shutdown

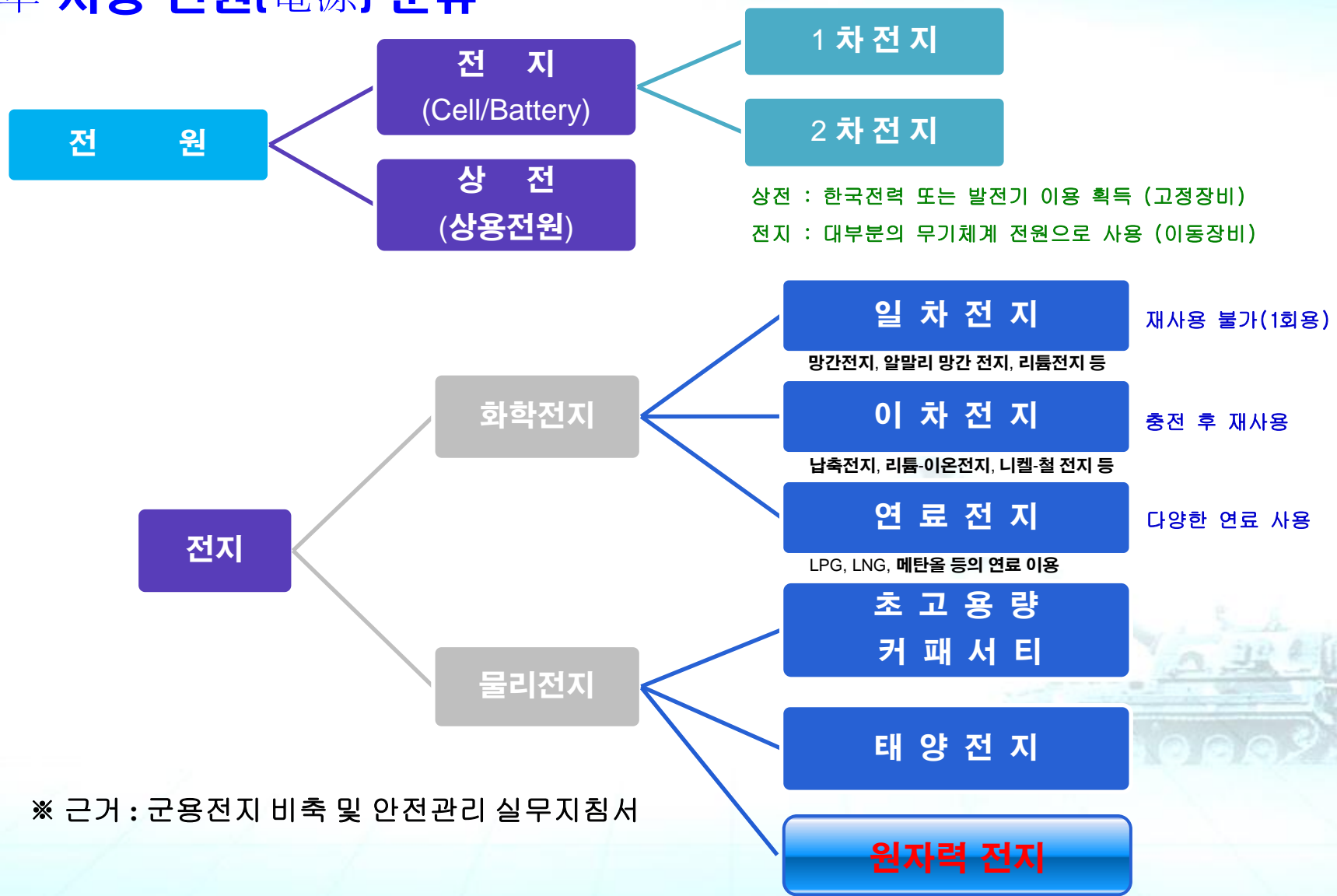
Emergency shutdown

Passive decay heat removal

Decay heat exchanger

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 軍 사용 전원(電源) 분류



※ 근거 : 군용전지 비축 및 안전관리 실무지침서

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

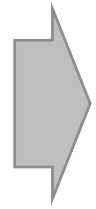
■ 휴대용 특수 전지

현 재

- 통신, 암호장비
- UAV 등



수요의 증가



미 래

- 워리어 플랫폼
- 드론봇 전투체계
- 무인자율로봇 전력지원



■ 야전용 전원 특징 및 요구사항

특 징

- 전투 등 일반적인 충전이 불가능한 사용 환경
- 사용 가능한 전지는 1차 전지에 국한됨
 - * 2차전지 : 충전불가
 - * 연료 재보급 가능 전지



요 구 사 항

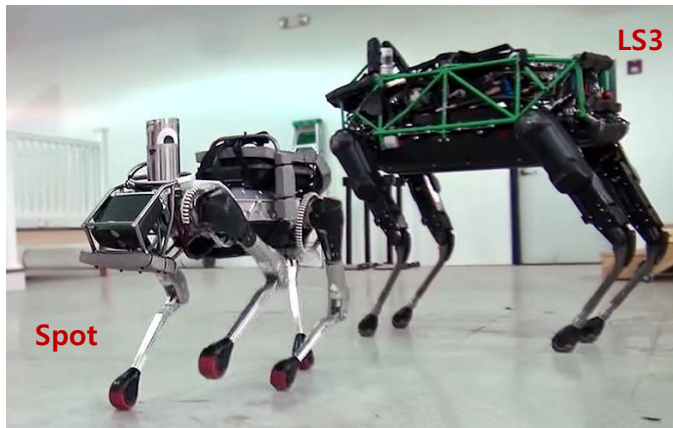
- 단위 체적, 중량 대비 높은 용량(고용량)
- 내충격, 내온도성 등 안전성 확보(고안전성)
- 원료 수급 용이성(원료 무보급화)
- 초소형 기기 적합성(초소형화)
- 우수한 장기 보관성(장수명)
- 낮은 가격 (고경제성??)

수요의 증가와 기존 전원체계 한계 ➡ 안전하고 용량이 큰 차세대 전원 개발 필요

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 미래 무기체계 전력화 성공 : 새로운 에너지원 필요

- 미래 무기체계의 첨단화 및 다양화로 전력 사용량 증대
: 전술적 활용도를 높이기 위한 **장시간 운용능력** 필수
- 내연기관의 경우 **소음**으로 인한 미래무기체계의 능력 제한 : **은밀성** 보장
- 기존 배터리는 **낮은 에너지 밀도(중량증가)**로 군사체계의 작전능력 제한



보스턴 다이내믹스社の 로봇 개 'Spot'

내연기관이 적용된 알파독 'LS3'의 소음문제로
배터리가 적용된 'Spot'개발 ('L3'보다 성능이 낮아짐)



연료전지 탑재 UUV


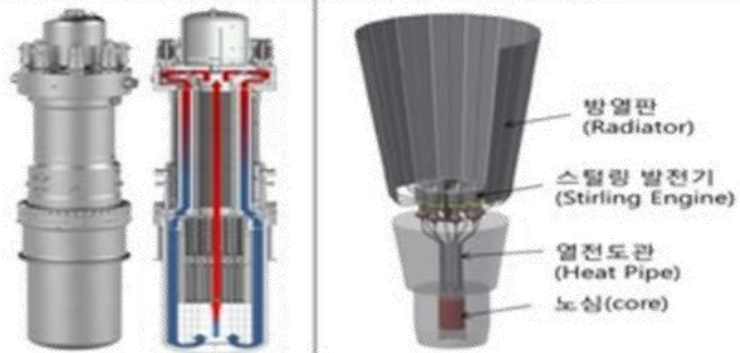



미 육군의 'Exoskeleton'

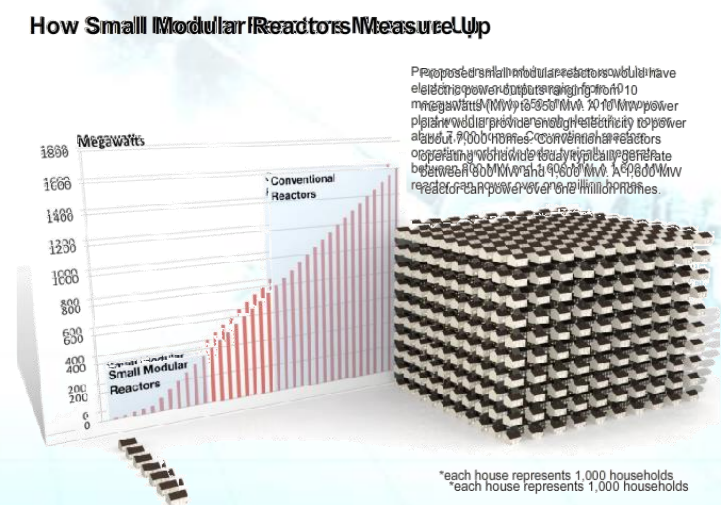
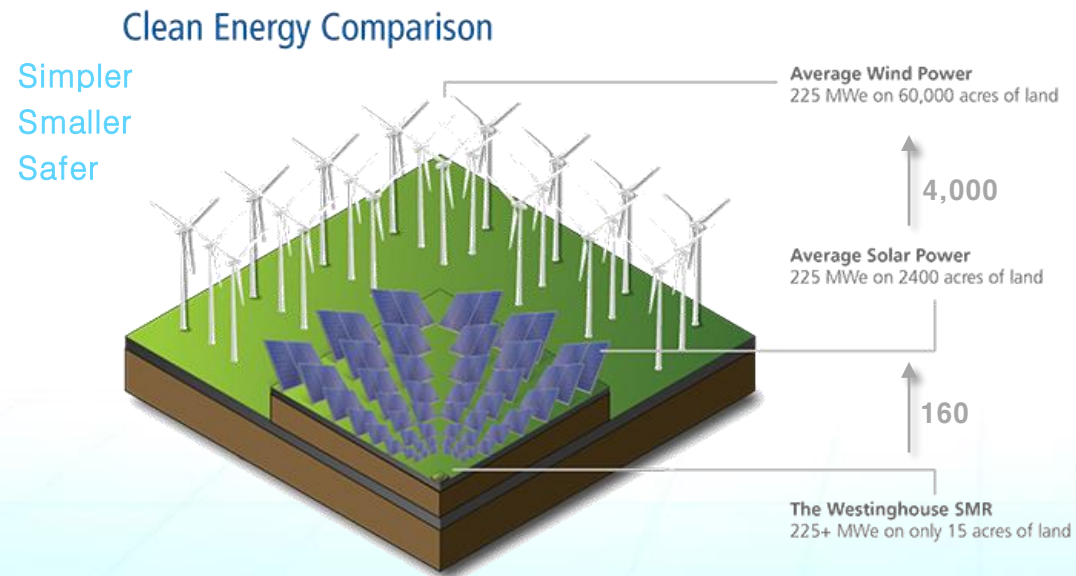
➡ 기존 에너지원 대비 **무소음, 고에너지 밀도** 에너지원 기술개발이 절실함

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 원자력 에너지 장점 – 전략적 이용 가능

| 전력공급용 소형 원자로 (NuScale / mPower) | 우주탐사용 (KiloPower) | 이동형 전력 공급 시스템 |
|---|--|---|
|  |  |  |

※ 미국이 개발 중인 다양한 목적의 원자력 시스템



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 美 육군 이동식 초소형 원자로 개발

✓ vSMRs : very Small Modular nuclear Reactors

- 미래 전장에서 사용할 수 있는 이동식 초소형원자로 개발 발표(2019년9월)
- 지속적인 연료공급 없이도 고품질 전력 생산으로 전장에 공급 가능
- 다양한 지역(산악, 사막, 도심 등)에서 대규모 작전 에너지 공급 가능
- 화석연료에 대한 군수지원 감소
 - 전투원 생존성과 군수측면의 경제성 보장



<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2019/03/12/our-military-wants-small-nukes-to-reduce-convoy-casualties/?sh=60519aa3ba2b>

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 美 육군 이동식 초소형 원자로 개발 : HOLOS 원자로 특징

✓ 기술적 특징

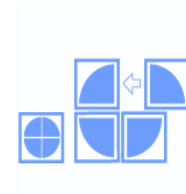
- 화물운송용 컨테이너에 탑재 가능
- 12 ~ 20 년 동안 **13MWe**의 전력 생산
- 최대 **15 %**의 농축연료를 사용
- 기타 구성품 교체 및 재생 가능
- 최대 두번 연료를 교체하여 총 **60**년간 사용 가능



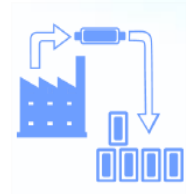
Safer



Mobile



Scalable



Repository-Ready

✓ 경제적 이점

- Safer : 소형화, 안전성 상승
- Mobile : 고정적인 사용부지 불필요
- Scalable : 용량 확장, 축소 용이
- Repository Ready : 저장보관 용이
- 총 제작비 절감
- 운영 및 유지관리 비용 최소화
- 전기사용 비용 절감



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 美 육군 이동식 초소형 원자로 개발 : HOLOS 원자로 특징

✓ 기술적 특징

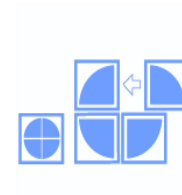
- 화물운송용 컨테이너에 탑재 가능
- 12 ~ 20 년 동안 **13MWe**의 전력 생산
- 최대 **15 %**의 농축연료를 사용
- 기타 구성품 교체 및 재생 가능
- 최대 두번 연료를 교체하여 총 **60**년간 사용 가능



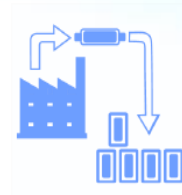
Safer



Mobile



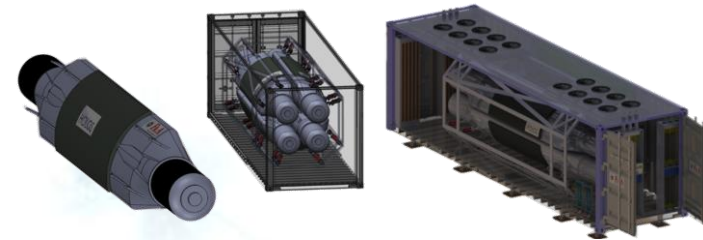
Scalable



Repository-Ready

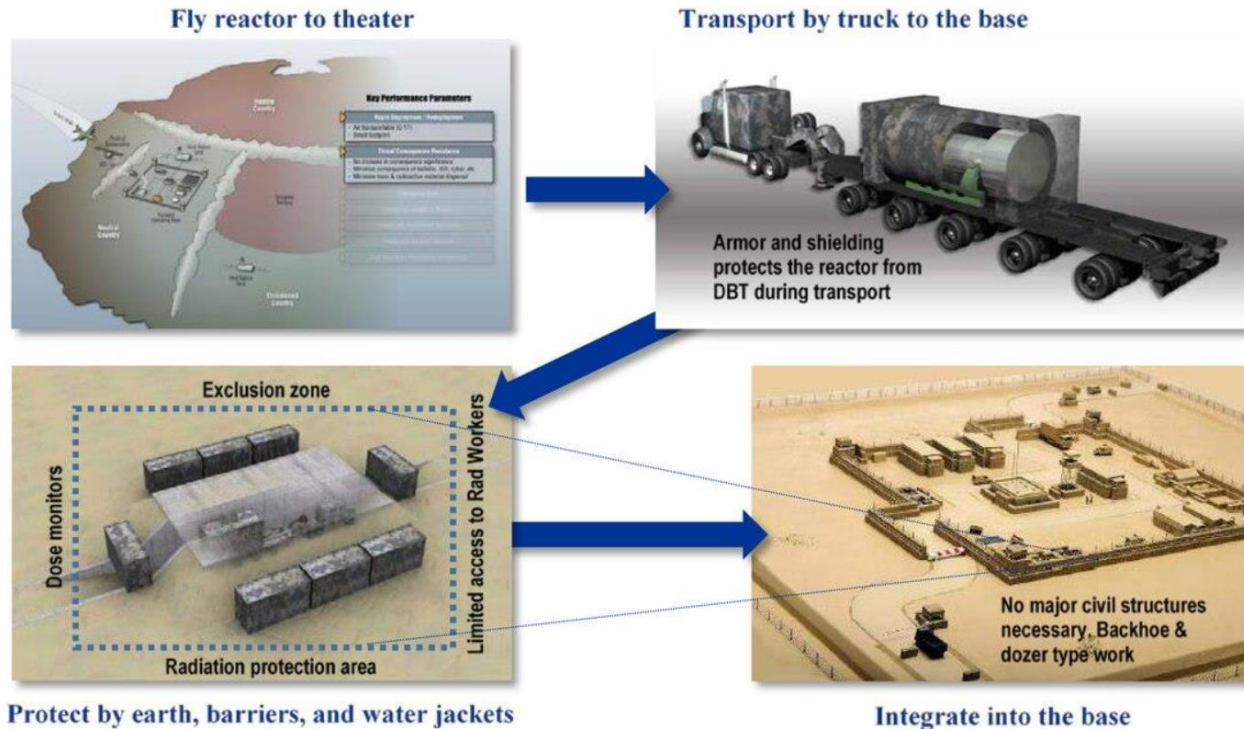
✓ 경제적 이점

- Safer : 소형화, 안전성 상승
- Mobile : 고정적인 사용부지 불필요
- Scalable : 용량 확장, 축소 용이
- Repository Ready : 저장보관 용이
- 총 제작비 절감
- 운영 및 유지관리 비용 최소화
- 전기사용 비용 절감



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 美 육군 이동식 초소형 원자로 운용개념



- 美 국방부 1~5 MWe급 이동형 초소형원자로(MNR) 개발
 - 3개 업체와 '20년 3월 9일 계약 체결,' 23년까지 최종 실증 프로젝트 추진
- 美 육군성
 - 사거리 1,600km 슈퍼건(레일건) 개발
 - 슈퍼건 운용을 위해 이동형 초소형원자로 개발중임을 강조

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 韓 이동식 초소형 원자로 필요성

▪ 고출력 에너지가 필요한 무기체계

- 고출력 레이저무기, 장사정 전자기포, 드론봇전투체계, 레이저 개인소총
- C4ISR 장비와 지휘소 운용을 위해 이동형 고출력 전력시스템 소요 급증

▪ 미국, 러시아, 중국 등 게임 체인저 무기체계

- 고출력 레이저 무기 및 장사정 전자기포 전력화 예정

▪ 한국 게임 체인저 무기체계

- 소형드론 요격할 수 있는 20~30 Kw급 레이저 무기 개발

▪ 고 에너지 무기, 작전지휘소 운용 : 이동형 1~2 MW급 에너지 기술 필수



| 요격대상 | 레이저 출력 (kW) | 전력시스템 요구전력(kW) | 비 고 |
|---------|-------------|-------------------|--|
| 소형 드론 | 60 | 600 | 레이저발전기 전환 효율 23~30% 및 20kW급 레이저 무기 전력소요량 기준 |
| 대전차 미사일 | 100 | 1,000 | |
| 순항미사일 | 300 | 3,000 | |

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 韓 이동식 초소형 원자로 필요성

- 디젤발전기 운용 시 많은 양의 연료 사용으로 인하여 작전지역에서 연료의 수송 및 저장에 어려움이 발생되며, 작전환경에 따라 신속한 이동 곤란
 - * 현재 1MW급 디젤발전기 운용시(1일 12시간 운용기준) 1일평균 32드럼(1드럼=200L), 연간 12,000드럼 소요
 - * 미국 : 테러와의 전쟁 등 약 9년 동안 전체 사상자 약 36,000명 중 52%인 18,700명의 사상자가 연료와 물 등의 수송작전 수행에서 발생
- 태양광 및 풍력과 같은 신재생에너지의 경우 간헐성과 변동성으로 인해 안정적인 고출력 전기에너지가 필요한 에너지무기 운용에는 부적합

미래 전장에서 필요한 에너지 수요를 충족
사단급 단위 이동형 에너지스테이션 개념 운용



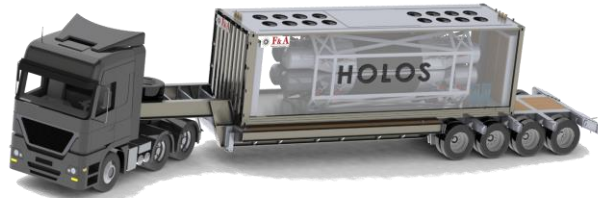
많은 연료의 수송 및 저장 소요 감소
[군수지원소요가 획기적으로 절감]

- 백령도, 연평도, 울릉도 등 도서지역에서 분산 및 독립전원으로 활용이 가능

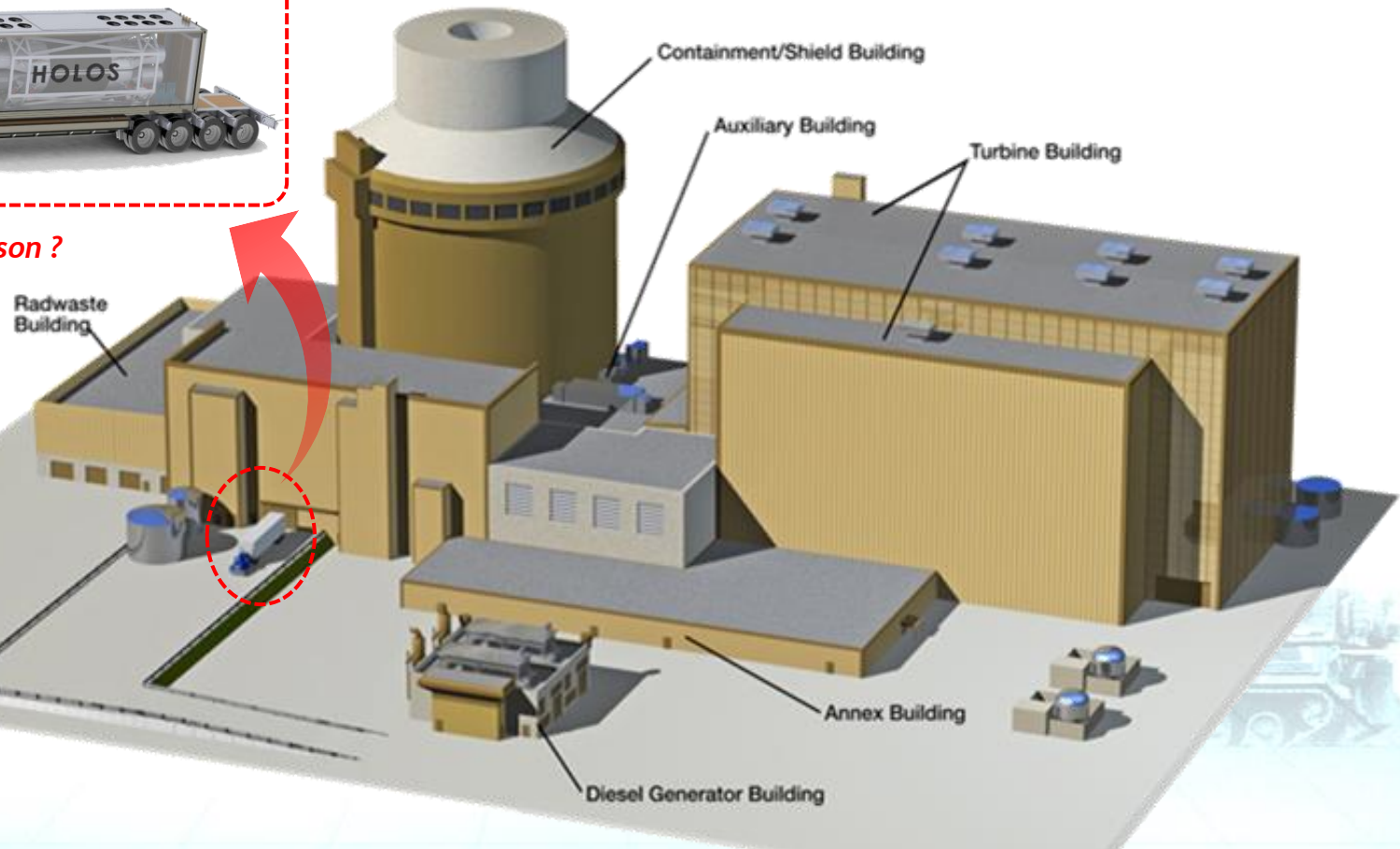
Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

» 상용원전 대비 초소형원자로 크기 비교 (Commercial NPP vs. Micro-reactor)

A micro-reactor (~ MWe)



Footprint comparison ?



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 원자력 에너지 군 활용방안

✓ 미래무기체계(Game Changer) 전력화 성공을 위한 핵심요소

- 개인전투체계, 드론봇전투체계, 무인지상로봇, 고출력 무기(레이저, 마이크로웨이브)

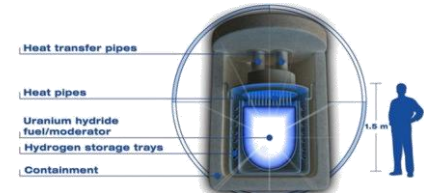


✓ 모듈화 전투여단 편성에 따른 제대별 독립 에너지원 확보

- 작전간 국가 전력망에 독립된 **자립형 전력공급 능력** 확보
- 국방의 특성상 독립부대의 전력 및 열공급 제한사항 극복(**계절, 기후, 환경에 무관**)

✓ 석유 에너지 의존 시설 대체로 작전 효율성 증대

- 지나친 석유 의존성 탈피, 친환경 에너지원 요구 증대
- 야지 전투시 석유의존에너지원 사용 제한사항(**연료공급제한 등**) 극복



✓ 이동형 원자력 기술확보에 따른 전투력 발휘 유연성 확보,

- 이동 용이성(Mobility), 설치 및 운용 신속성(Immediacy)으로 전투력 발휘 용이

✓ 초소형 원전기술 국제경쟁력 확보

및 수출상품으로 산업파급효과 달성 가능



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 군사분야 적용을 위한 정책적 대안 제시

◆ 개발자 : 안전한가? 작은가? 단순한가? (3S)에 대한 명확한 답

→ Safe, Small, Simple

- ❖ 핵에 대한 부정적 시각을 완전히 해소할 수 있는 안전기술인가?
- ❖ 군의 특수성, 즉 전투중 다양한 원인에 의해 파괴시 문제점?
- ❖ 노출방지 및 회피(기동성)를 위해 충분히 작게 만들 수 있는가?
- ❖ 운용에 대한 편의성 제공은 충분한가?

◆ 군 : 新 (원자력)에너지원 필요성에 대한 공감대 형성

- ❖ 원자력 에너지 활용에 대한 필요성과 유용성에 대한 공감대 형성
→ 군사과학기술학회, 지상무기발전세미나, ADEX KOREA 등
- ❖ 국방부 차원에서 필요성 인식 : 리더집단 협의체 구성(법적 규제 해석)

◆ 新 (원자력)에너지원 수요에 대한 분석(육·해·공)

- ❖ 1차 : 육군, 2차 : 해·공군, 3차 : 민간분야 → 해외수출



Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 군사분야 적용을 위한 정책적 대안 제시

◆ 법령 및 규제, 허가(Licensing)

❁ 국내 원자력 안전 법령 체계

- ✓ 원자력 안전법(시행령, 시행규칙)
- ✓ 원자력안전위원회 규칙
 - 원자로시설 등의 기술지군에 관한 규칙
 - 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙
- ✓ 원자력 안전 위원회 고시

군사용 소형 원자로 건설 및 운영(X)

[국내 원자력 안전법령체계 개정 필요]

➔ 군사용 원자로 허가 주체 검토 (美 군사용원자로 : 해군의 경우 NNPP)

Naval Nuclear Propulsion Program

➔ SMR 원자로 군사적 활용에 대한 허가 절차 신설

➔ IAEA 군사시설에 대한 사찰 및 출입 등에 대한 문제

➔ 군사적 위협 및 공격에 대한 물리적 방호 및 방사능 대책 추가 필요

Ⅲ. 원자력 에너지 군 적용 방안

■ 신에너지 군 활용방안(예)

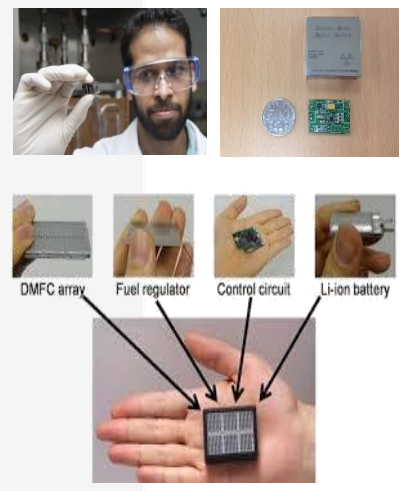
RTG 전 지

- 고성능 고효율 전력지원
- 체계수명=전지수명
- ✓ 수명 10년이상 보장



초소형 원자력 전지

- 초소형 열전대 제작 기술
- 열전대 효율과 내구성



열 전 지

- 요격미사일, 대전차미사일
- 짧은시간 폭발적 출력 필요
- ✓ 자기방전(無), 중량(輕)



고성능 연료전비

- 군사용 직접 메탄을 방식
- 세계 최고 효율
- ✓ 비생시간 : 10시간 이상





질의 및 응답

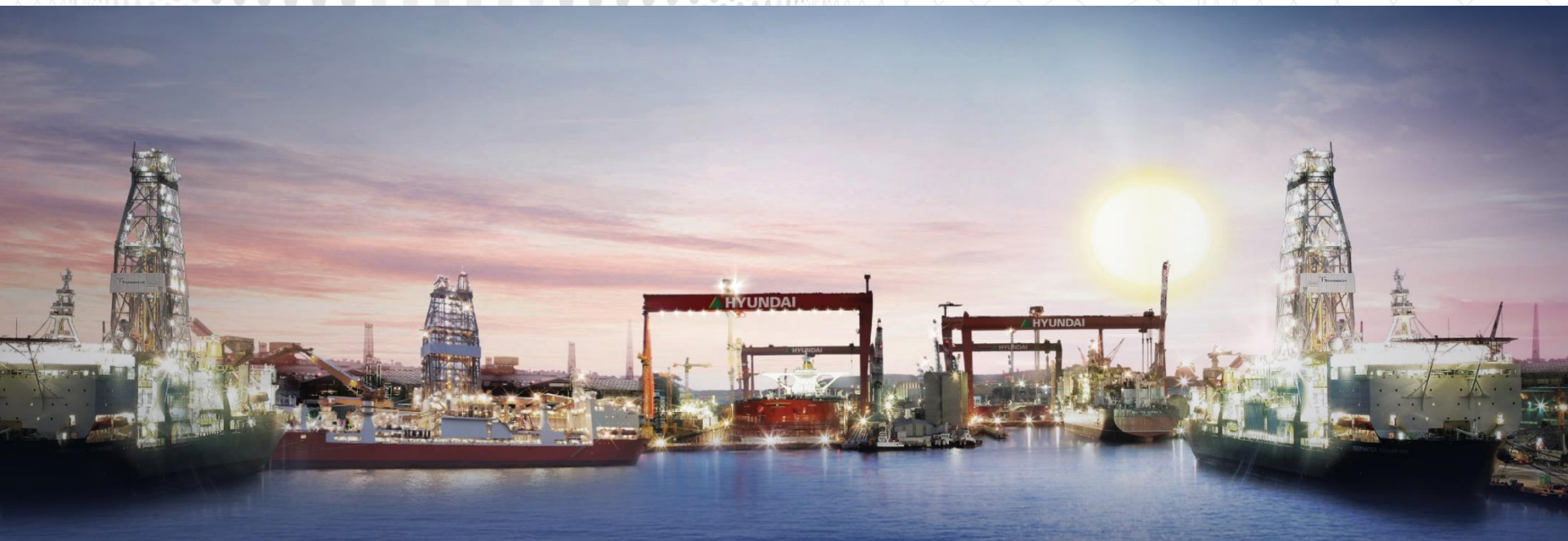
Global Leader

원자력 해양 이용 전망

KSOE

KOREA SHIPBUILDING &
OFFSHORE ENGINEERING

미래기술연구원 미래선박연구실
신현준 책임연구원



Contents

1. 선박 시장 트렌드

- 해운 시장 환경 규제의 강화
- Green Ship Technology

2. 친환경 대체 연료

3. 원자력 해양 이용 전망

- 주요 국가별 해양 원자로 이용 개발 동향
- 원자력 상선실적 소개
- 원자력 해양 이용 방안

4. 결 론

1. 선박 시장 트렌드

KSOE



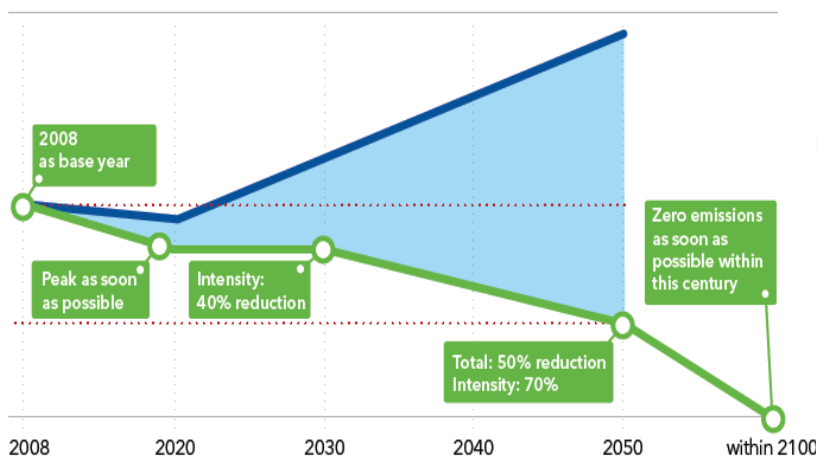
해운시장 환경 규제 강화

바이든 파리기후변화 협약(Paris Agreement) 재가입으로 IMO 규제속도 더욱 높아질 듯.

- IMO(국제해사기구) 온실가스 배출감축(GHG:Green Hous Gases) IMO 2050이 2023년 강화 예측
- 현존선 운항기반 조치 : EEXI, CII(Carbon intensity Index)
- 시장기반조치 (Market Based Measure) : 국제온실가스펀드(GHG Fund), 배출권 거래제도(ETS) 등

IMO strategy for major reductions in GHG emissions from shipping

Units: GHG emissions

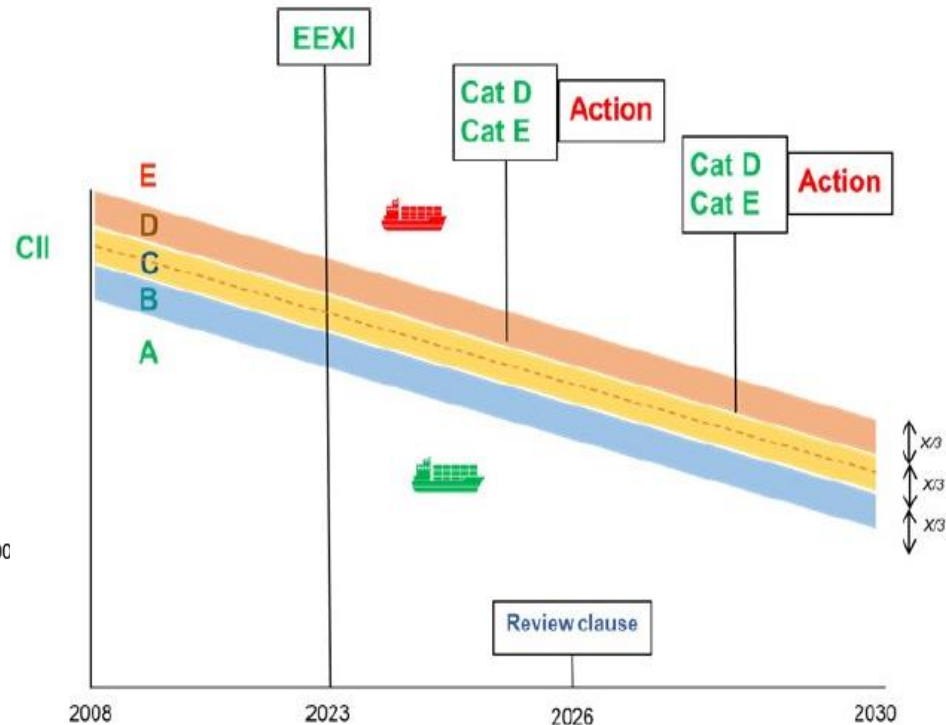


Total: Refers to the absolute amount of GHG emissions from international shipping.

Intensity: Carbon dioxide (CO₂) emitted per tonne-mile.

^{a)}Note that the the bussiness-as-usual emissions are illustrative, and not consistent with the emissions baseline used in our modelling (Chapter 6).

Source: DNV GL (2018a)



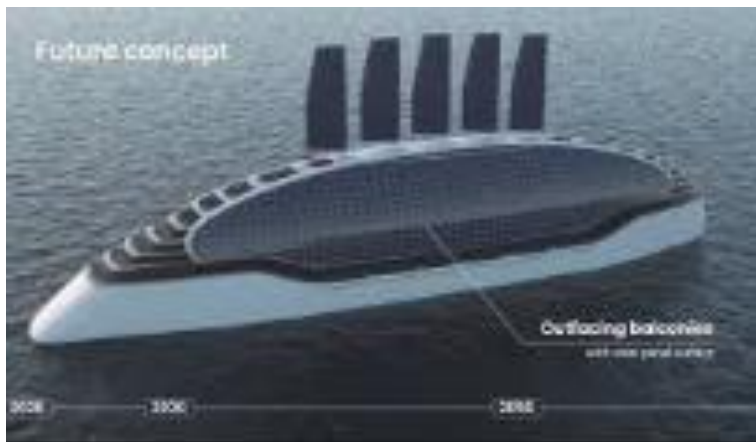
Green Ship Technology - 선박 온실가스 감축

KSOE

| 구 분 | 분 야 | 그린쉽 기술 |
|-----------|-------|----------------------------------|
| 에너지 효율 향상 | 선형 | 조파저항/마찰저항 감소 공기저항 감소 선체경량화 |
| | 추진성능 | 고효율 추진기 개발 |
| | 보조 동력 | 태양광, 풍력 |
| | 기관 | 이중연료, 하이브리드 |
| 온실가스 저감 | 전후처리 | CO2포집, 연소가스 후처리 |
| 대체연료 | 화석연료 | 가스연료(LNG,LPG..) |
| | 비화석연료 | 연료전지, 핵추진 |



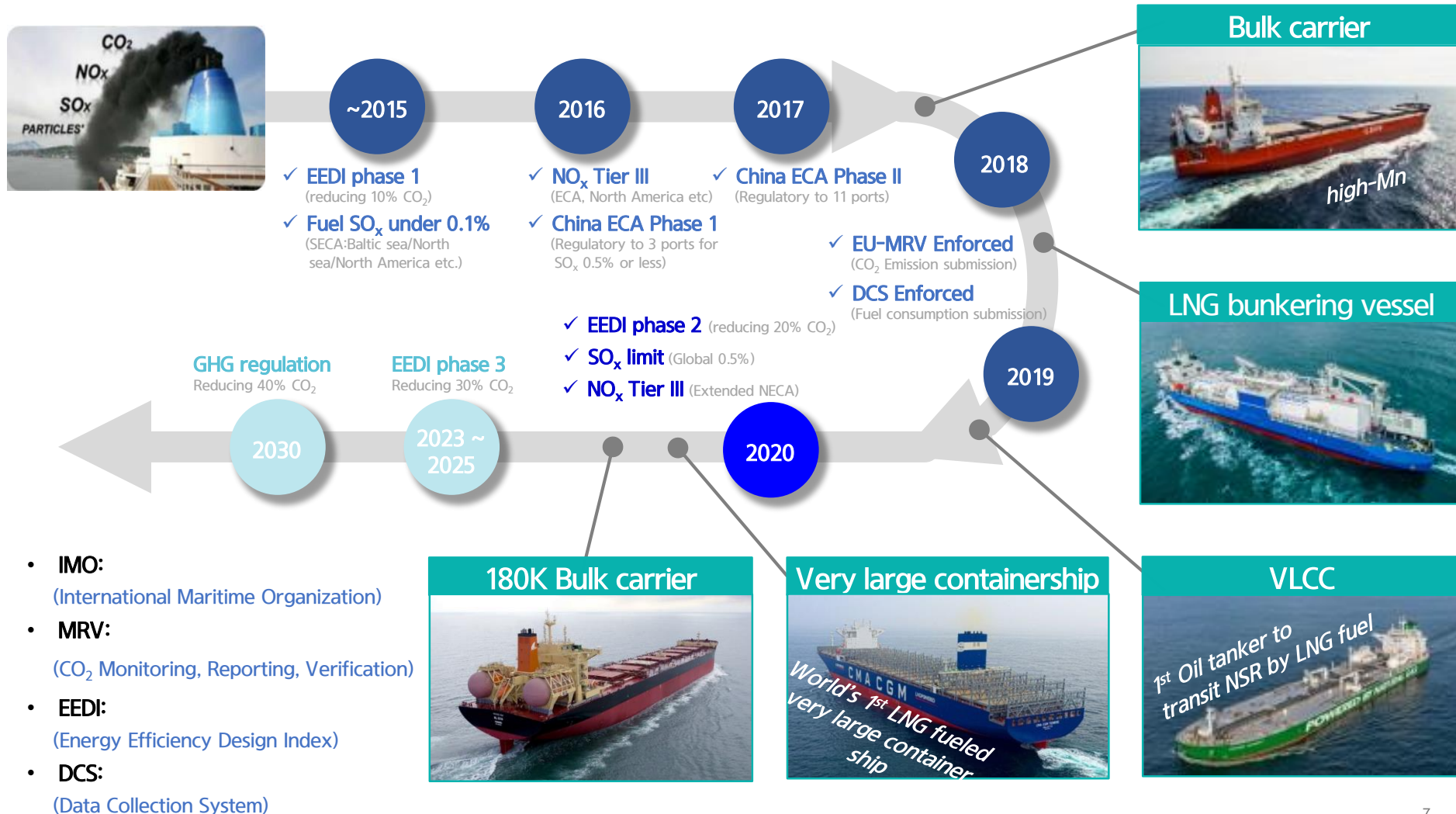
신재생에너지 이용(풍력/태양광) 또는 공기유향 장치



Green Ship Technology - LNG fueled ship

KSOE

• 주요 LNG 연료 추진 선박의 인도 현황 및 IMO regulation



2. 친환경 대체 연료

KSOE



친환경 대체 연료

KSOE

LNG

Liquefied Natural Gas

- HFO 대비 20~25% 가량 CO2 저감이 가능
- 공기 운할 장치, 풍력 보조 추진 등 연료 저감 장치와 함께 환경 규제에 대응할 수 있는 현재 가장 경쟁력 있는 연료임.



Methanol

Methanol (CH_3OH)

- 수소와 CO2를 메탄올 합성을 통해 생산하며 HFO 대비 10% 가량 CO2 저감이 가능.



Ammonia

Ammonia (NH_3)

- 암모니아 생산의 대부분은 천연가스를 개질하여 수소를 생산하고, 이를 질소와 Haber-Bosch 합성을 통해 암모니아를 생산함.
- 내연기관 (암모니아 직접 연소) 그리고 연료전지로 사용 가능함.



Bio-fuel

Bio-fuel

- 액화천연가스와 완전 동일한 합성 연료 (설비나 시설, 장비 등의 변화가 거의 없음).
- 선박에 사용하기 위해서는 엄청난 생산 증가 필요.
- 주로 HFO 또는 MDO와 같은 디젤유와 혼합해 사용되는데, 혼합 비율에 따라 CO2 저감 효과가 달라질 수 있음.



친환경 대체 연료

KSOE

Hydrogen

Hydrogen (H₂)

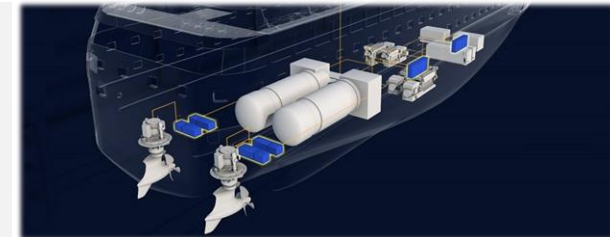
- 수소 생산의 95프로는 천연가스를 개질하여 얻고 있음.
- 내연기관(수소 직접 연소) 그리고 연료전지로 사용 가능함
- 현재 생산이 용이한 화석연료 기반으로 생산하는 경우 발생하는 CO2 처리 방식에 따라 CO2 저감 효과가 좌우됨.



Fuel-cell

Fuel-cell

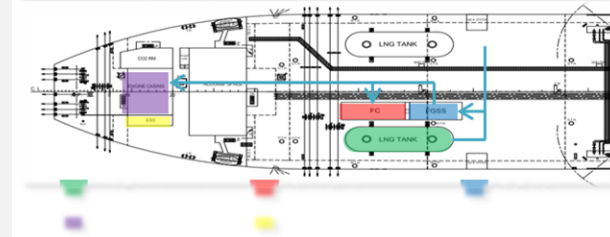
- 화학에너지를 전기를 통하여 연료로 변환
- 2가지 형태의 fuel-cell이 각광받고 있음 (PEMFC, SOFC)



Battery

Battery

- Hybrid 형태를 통해 추진 및 전력용 사용 가능
- 큰 설치 장소가 필요



Renewable energy

Renewable energy

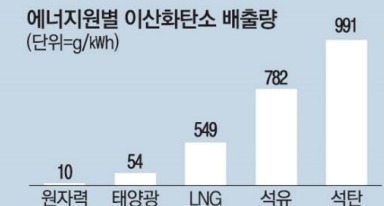
- 풍력 및 태양열 이용 → 다른 대체연료/에너지의 보조 추진 장치로 적용 가능성이 높음

Nuclear reactor

Nuclear reactor

- CO2 배출량 측면에서 우월한 장점이 있기 때문에 미래의 CO2 배출 제로의 제로배출선박 (Zero emission vessel) 달성을 위한 대체 연료로의 가능성이 높아지고 있음.

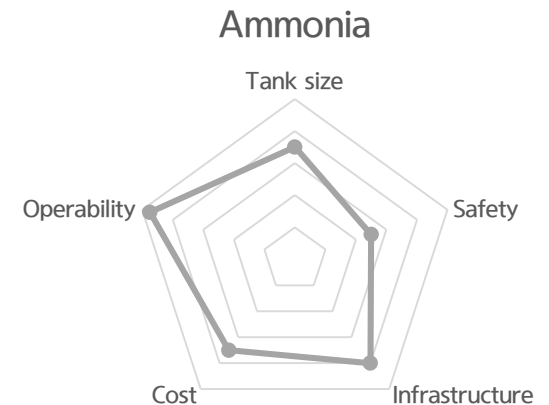
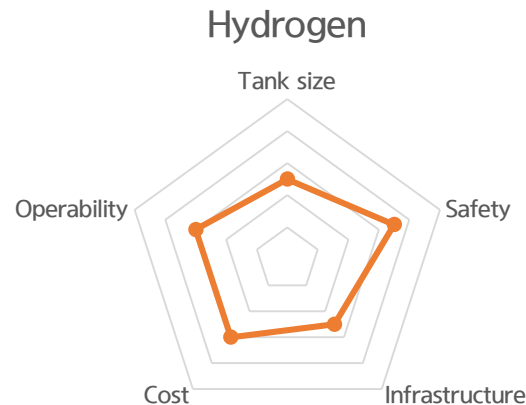
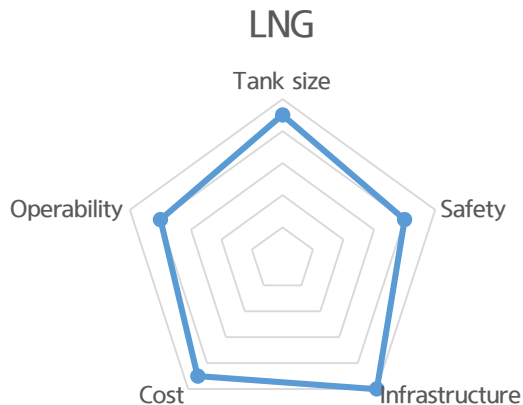
에너지원별 이산화탄소 배출량
(단위=g/kWh)



*1kWh의 전력을 생산하는 데 배출되는 이산화탄소 양,
2006년 기준, 자료=국제원자력기구(IAEA)

무탄소 연료와 LNG연료 비교

- 낮은 에너지 밀도로 암모니아는 1.8배의 연료탱크 크기가 필요하고 수소는 2.4배의 연료탱크 크기가 필요
- 암모니아 연료는 독성으로 인해 안전성 확보 및 관련 규정 확보 필요
- 수소는 매우 낮은 액화 온도 -253°C 특성상 매우 비싼 보온성과 극저온 재액화 과정이 필요
- 원자력은?



[Comparison between LNG and Zero Carbon Fuels]

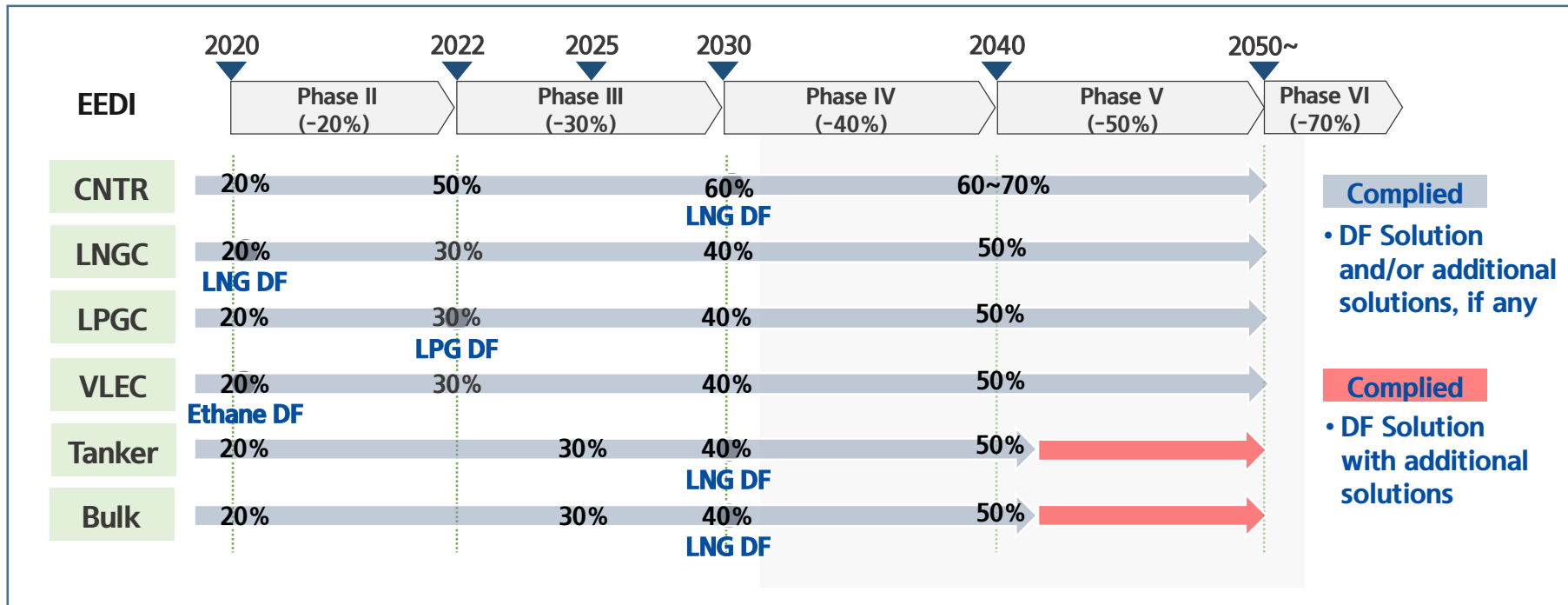
LNG vs. 기타 대체 연료

KSOE

- CO₂ 배출 절감 40% by 2030, 70% by 2050 / 2008기준
- 총 연간 GHG 배출량 감소 최소한 50% by 2050 / 2008기준



- 대양항해 대형선박 기준 LNG DF, LPG DF, Ethane DF EEDI Phase V by 2050 최적 해결방안 으로 인식
- Tanker, Bulk Carrier 는 추가적인 솔루션이 필요(ESD, 연료저감장치)



Note

1) The above result is based on the current EEDI regulation, and it may be updated according to future IMO regulations.

2) The regulation on existing vessel which is under discussion is not considered.

3) The above result can be changed according to project specification.

3. 원자력 해양 이용 전망



KSOE

주요 국가별 해양 원자로 개발 동향

KSOE

| 모델 | KLT-40S | RITM-200 | ACPR50S | OFNP |
|----|--|---|---|---|
| 그림 |  |  |  |  |
| 국가 | 러시아 | 러시아 | 중국 | 미국 |
| 타입 | 경수로 | 경수로 | 경수로 | 경수로 |
| 용량 | 38.5 MWe | 55 MWe | 60 MWe | 300 MWe |
| 적용 | 부유식 해양 원전 'Academik Lomonosov' 호 | 원자력 쇄빙선 'Arktika' 호 | 전기 공급 발전선, 해수 담수화 해양 플랜트 | Offshore Floating Nuclear Plant |
| 특징 | 3~4.5년 주기로 핵연료를 교체해야 하므로 장기간 가동 중지로 인하여 운영 비가 상당히 높을 것으로 예상 높은 건설 단가와 낮은 가 동율로 인해 경제성이 없 을 것으로 추정 | KLT-40S의 단점을 보완 하여 열효율이 높아 전기 출력이 높고 개선된 핵연 료 재료를 개발하여 저농 축 우라늄을 사용하면서 핵연료 교체주기가 약 10 년으로 크게 증가 | 원자력 수송선이나 쇄빙선 으로도 발전할 가능성이 내재. 산둥반도 인근의 보 하이해에서 시범운영을 계 획 중 | 해상 풍력발전, 해상 조력 발전 등 해상 재생에너지 를 포함한 모든 해양 발전 소들 중에서 가장 경제성 이 우수하다고 평가됨 |

원자력 추진 상선

KSOE

1. NS Savannah(미국)
2. Otto Hahn(독일)
3. Mutsu(일본)
4. Sevmorput(러시아)



원자력 추진 상선 - NS Savannah(미국)

KSOE

1. NS Savannah(미국)

- 민간용 건조된 세계 최초 원자력선
- 74MW 가압수형 원자로(Bobcock & Wilcox사)
- 2만마력 최대 24KTS(44km/h)
- 건조비 (4천7백만 USD, 1959)
- 원자로 제작비용(50%)
- 화물선(8500톤) + 여객선 (100여명)
- 대규모 방사능 방호장비 장착(승객보호)
- 같은 규모 선박비교 시 200만USD 추가운영비 소요
- 1972년 스크랩 후 박물관
- 원자력 일반상선 적용 상징성 확보
- 아이젠하워, 피스쉽 별명



원자력 추진 상선 - Otto Hahn(독일)

KSOE

2. Otto Hahn(독일)

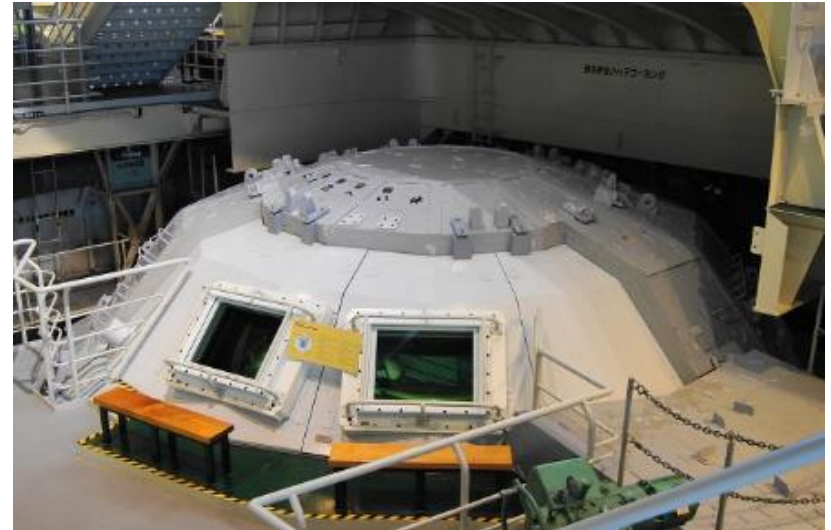
- 세계 두번째 원자력 화물선
- 38MW 가압수형 원자로(Bobcock & Wilcox사, 사바나 동일)
- 최대출력 1만 1천마력
- 최대 17KTS(31km/h)
- 120만 Km항해(1979년까지 10년간)
- 1968년 항해시작 4년뒤
1972연료봉교체 (22kg우라늄
46만Km항해거리 달성)
- 1979년 원자로 해체(운영비 비쌈) 후
일반상선 전환이후 2009년까지 운영
- 원자력 사용기간 : 독일-아프리카,
독일-남미항로 광석운반



원자력 추진 상선 - Mutsu(일본)

3. Mutsu(일본)

- 1968년 진수 4년 후 원자로 탑재
- 36MW 가압수형 원자로(미쓰비시)
- 최대출력 1만마력
- 최대 17KTS(31km/h) 화물선
- 형상만 화물선, 원자력추진 시험위한 시험함에 가까움(미국의 묵인)
- 미쓰비시 반응로는 미국 웨스팅하우스 디자인 채택, 시험운항 직후부터 미세한 감마선 누출사고
- 웨스팅하우스 취역 전 차폐균열 경고로 취항반대 지역주민 저항
- 1992년 해체, 누적거리 8만2천Km.



원자력 추진 상선 - Sevmorput(러시아)

KSOE

4. Sevmorput(러시아)

- 1988sus 세계 최대 원자력 상선 세브로르푸트호
- 135MW KLT-40 가압수형 원자로
- 90% 농축 우라늄 235 연료
- 크기가장 큰 1328 TEU 4만톤급 화물선
- 북극해 아직 운항 중인 유일한 원자력상선
- 장기간 연료없이 항해 가능하나 매 10년 연료봉 교환을 위한 설비 필요
- 주기적 안전 검사로 추가 비용 필요



원자력 추진 선박 및 해양분야 적용

KSOE

■ 원자력 추진 일반상선

- 높은 출력을 이용한 초고속 컨테이너선 / 대형 유조선 등
 - : 컨테이너선 payback(9~12년/원자로관리비 기존대비 130%가정)
 - : Zero-Emission이 가능한 선박
 - : 연료비 염려 없는 30KTS 초고속 선박 (전주기 연료비용 무교체 가정)

■ 원자력 추진 쇄빙선

- 기존 항로 대비 거리 30% 단축으로 북극 항로 물동량 증가
- 러시아 북극 지역의 자원 개발 정책 추진

■ 해상 원자력 발전소 및 대체연료 생산 기지

- 부유식(Floating type), 착저식(GBS type) 해상 원자력 발전소
 - : 본질적 안전성 증대 (쓰나미, 지진) , 이동 가능
- 원자력 에너지를 활용하여 수소나 암모니아 생산 가능(FPSO)



〈FPSO : Floating, Production, Storage, Offloading〉

4. 결론



KSOE

4. 결 론

- 원자력 해양 이용 필요성 증대
 - IMO의 온실가스에 대한 규제 강화
 - 선박의 대형화 / 고속화에 따른 연료 효율성에 대한 필요성 증가
 - 원자력은 대용량 동력, 높은 신뢰성, 장기 운용 가능하여 OPEX 저렴한 장점 이용
 - 원자력 추진 일반 상선 / 북극 쇄빙선 / 원자력 발전소 / 해양 플랜트 등 다양한 분야에 적용 가능
 - 상업용 원전 기술 + 조선기술 결합하여 차세대 해양산업에 적용 필요
- 선박 추진 용으로 원자로를 적용하기 위한 검토 사항
 - 경제성 : 긴 연료 교체 주기로 획기적인 OPEX 절감이 기대되나 원자로 금액 고려 시
초기 설치 비용이 높을 것으로 예상
 - 수용성 및 안전성 : 국제사회의 원자력 추진 합의 및 사회적 수용성 및 안전성 확보(충돌, 침몰 시)
 - 핵비확산성 : 원자로의 핵물질 인출 불능화
 - 원자력과 관련된 해양 및 해사 규정의 극복 또는 규정의 개정 (선원구출 SOLAS 등)



본 자료에 작성에 사용된 이미지나 정보는 저작권침해의 의사가 없음을 밝힙니다.

수소경제 이행 현황과 향후 과제

김재경 연구위원



에너지경제연구원

개요

I

수소경제 활성화 전략과 이행 경과

II

에너지전환과 그린수소

III

수소경제 이행을 위한 향후 추진과제

IV

수소생산 방식의 포트폴리오(권고안)



I



수소경제 활성화 전략과 이행 경과



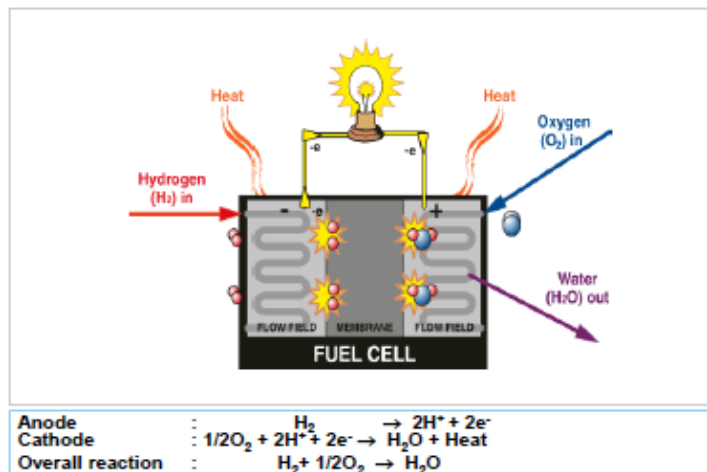
○ 수소경제란?

- ◆ "수소경제"는 수소를 중요한 에너지원으로 사용, 수소가 국가경제·사회전반·국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여, **경제성장과 친환경 에너지원의 원천이 되는 경제**를 의미

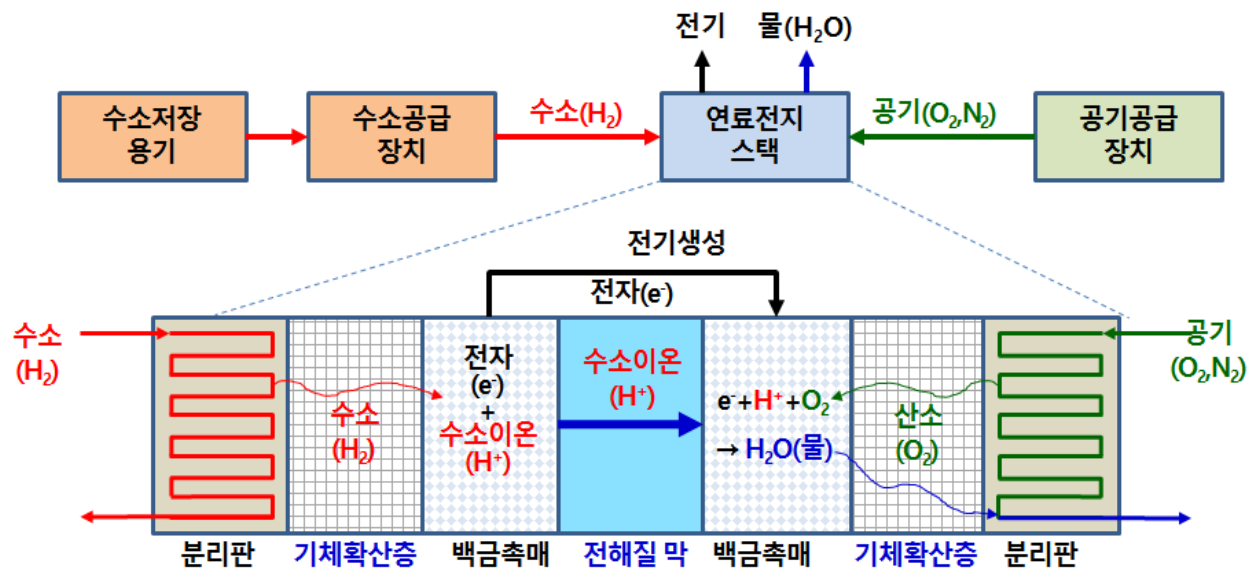
〈수소경제와 탄소경제 비교〉

| | 탄소경제 | 수소경제 |
|-------------|--|---|
| 에너지 패러다임 | 탄소자원(석유, 석탄, 가스 등) 중심 | 탈탄소화 수소 중심 |
| | 수입 의존(99%) | 국내 생산으로 에너지 자립 기여 |
| 에너지 공급 | 대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 공급 | 소규모 투자로 가능한 분산형 에너지 공급 |
| | 입지적 제약이 크고 주민 수용성이 낮음 | 입지적 제약이 적고 주민 수용성이 높음 |
| 경쟁 양상 | 자원개발 및 에너지 확보 경쟁 | 기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁 |
| 환경성 | 온실가스, 대기오염물질 배출 * CO ₂ , NO _x , SO _x 등 | 온실가스 배출이 적어 친환경적 * 부산물 = 물(H ₂ O) |

수소경제란?



출처: 에너지기술연구원, 김민진, 세미나자료 2019.03.21, 고분자 연료전지 전기화학반응

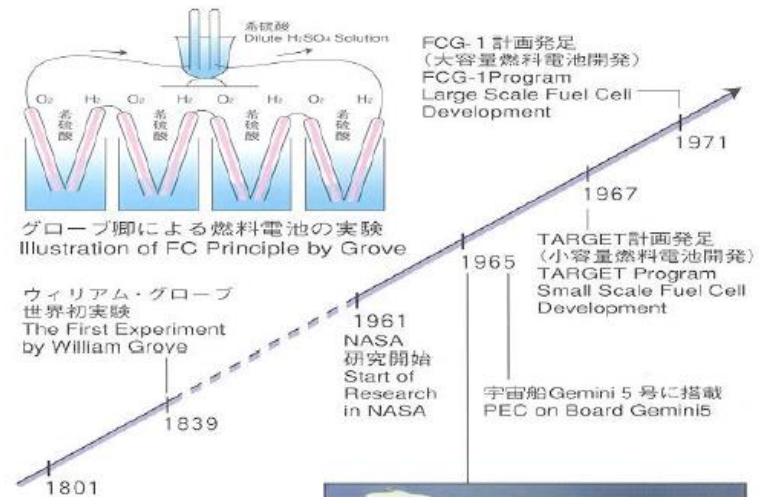


수소경제란?



図 1.8 그로브卿(Sir William Robert Grove)

燃料電池の開発・商業化の歩み Development and Commercialization of Fuel Cells



宇宙船アポロ以降有人宇宙衛星に
燃料電池搭載 (アルカリ型)
AFC on Board Space Ship APOLO



燃料電池搭載のスペースシャトル
FC on Board Space Shuttle

○ 수소경제란?

영화 속 연료전지기술과 미래

007 Quantum Of Solace(2008)

'사막 한복판에서 연료전지로 가동되는 호텔'
→ 건물에 직접 설치되어 사막에서 공급되는
가스에너지만으로 전기, 물, 냉/난방 공급

Terminator (2009)

반영구적 에너지 고밀도 수소
연료전지가 터미네이터의 동력원
→ 휴대용 수소 연료전지

Oblivion(2013)

'지구인 생존자들이 드론(Drone)을
습격해 연료전지를 모으는 장면'
→ 수전해한 수소를 수송용
연료전지에 공급하여 에너지화



수소경제란?

<연료전지의 종류 및 적용 범위>

| 구분 | 인산형 (PAFC) | 융융탄산염형 (MCFC) | 고체산화물형 (SOFC) | 고분자전해질형 (PEMFC) | 직접메탄올형 (DMFC) |
|-----------------|--|--|---|--|--|
| 전해질 | 인산염 | 탄산염 | 세라믹 | 이온교환막 | 이온교환막 |
| 동작온도(°C) | 250 이하 | 700 이하 | 1,200 이하 | 100 이하 | 100 이하 |
| 효율(%) (열 포함) | 43 (90) | 47-60 (67-93) | 60 (80) | 35 (90) | 35-40 |
| 열 활용 | 중온수 | 중온수, 스팀 | 중온수, 스팀 | 저온수 | - |
| 주요 용도 | 발전용 (수십~수백kW) | 발전용 (100kW-MW) | 휴대용, 발전용 (1kW-MW) | 가정·건물용, 차량용 (1~수십kW) | 이동형 (5kW 이하) |
| 주요 제조사 | 두산 | 포스코에너지 FCE(美) | MHPS(日) Bloom(美) | 현대, 두산 에스퓨얼셀 도요타(日) | 프로파워 |
| 적용사례 |  |  |  |  |  |

수소경제의 경제적 중요성과 기대효과

- ◆ 경제적 측면에서 수소 활용산업은 수소전기차를 중심으로 한 수송 분야에서 전기·열 등 에너지 분야까지 다양한 새로운 미래 신산업으로 육성이 가능
- ◆ 수소 활용산업의 육성은 수소 생산-저장·운송-활용 등의 벨류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계, 상당한 부가가치 및 고용유발효과를 거둘 수 있다는 또 다른 장점도 존재
- ◆ 한국의 수소경제가 성장할 경우, 2040년 수소경제로 말미암아 발생하는 부가가치 유발 규모를 2017년 우리나라 GDP의 약 2.5%를 초과하는 43조원, 고용유발인원을 2018년 자동차 산업 고용인원의 75%를 초과하는 42만명으로 추산됨

수소경제의 환경적 중요성과 기대효과

- ◆ 에너지 측면에서 수소 활용은 온실가스 감축 및 미세먼지 저감 등 통해 깨끗하고 안전한 청정사회 진입을 촉진하는데 기여할 수 있음
 - 500MW급 석탄 발전 9기 배출량 해당 약 2,728만톤의 이산화탄소가 감축되고,
 - 2015년 도로에서 발생하는 미세먼지 배출량의 6.1% 해당 2,373톤 감축

Hydrogen ratio of gross energy

5%
2040



Greenhouse gas reduction

27 million tons
2040



수소경제 활성화 로드맵의 배경 : 수소경제의 잠재력과 한계

- ◆ 수소경제 활성화 **국내** 추진
충분한 여건은 이미 조성
- ◆ 수소경제의 물적 기반이 효과적으로
수소경제 활성화 가능
 - 대규모 석유화학단지(울산·여수·대산) 중심 수소 파이프라인/고순도 수소생산 기술이 확보, 약 164만톤 수소가 생산, 유통, 활용
 - 수소 공급에 필요한 석유화학 및 플랜트 산업 기반과 경험이 풍부하여 충분한 수소 수요와 경제성이 확보되면 설비증설, 공정전환 등을 통해 대규모 부생수소 공급이 가능

South Korea has the potential to lead the hydrogen economy



However, this golden time will exist for only **three to four years**



01

World-leading technology including hydrogen vehicles and fuel cells



02

Petrochemical plant infrastructure and rich experience



03

Potential for existing LNG supply network to deliver hydrogen across

○ 수소경제 활성화 로드맵의 배경 : 수소경제의 잠재력과 한계

- ◆ 이러한 물적 기반과 함께 수소 활용산업도 이미 **세계적 수준의 기술력이 확보**된 상태
 - 수소전기차의 경우, 2013년 세계 최초 양산에 성공한데 이어 세계 최장 주행거리를 자랑하는 일반보급형 보급모델이 2018년 출시된 바 있음
 - 연료전지 부문에서도 원천기술을 보유한 국내외 기업과의 제휴 및 M&A 등을 통해 최고 수준의 기술력을 보유하고 있음
- ◆ 그러나 수소차는 가격부담·대중교통 적용의 어려움·충전인프라 부족 등, 연료전지는 설치비 부담·높은 연료비 등으로 인해 아직 **'시장'**이라고 이름붙이기 민망한 수준
- ◆ 이를 타개하기 위해 적극적인 수요창출과 보급 확대를 통해 **경제성 확보와 자생적 확산의 동력 창출이 요구**
- ◆ 결국 **시대적 요구가 반영**되어 구체화된 것이 바로 정부의 **"수소경제 활성화 로드맵"**

수소경제 활성화 로드맵의 비전과 목표

- 수소경제 활성화 로드맵은 "수소전기차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성" 을 목표로 수소 활용산업에서의 시장창출과 육성에 우선적인 방점

< 비 전 >

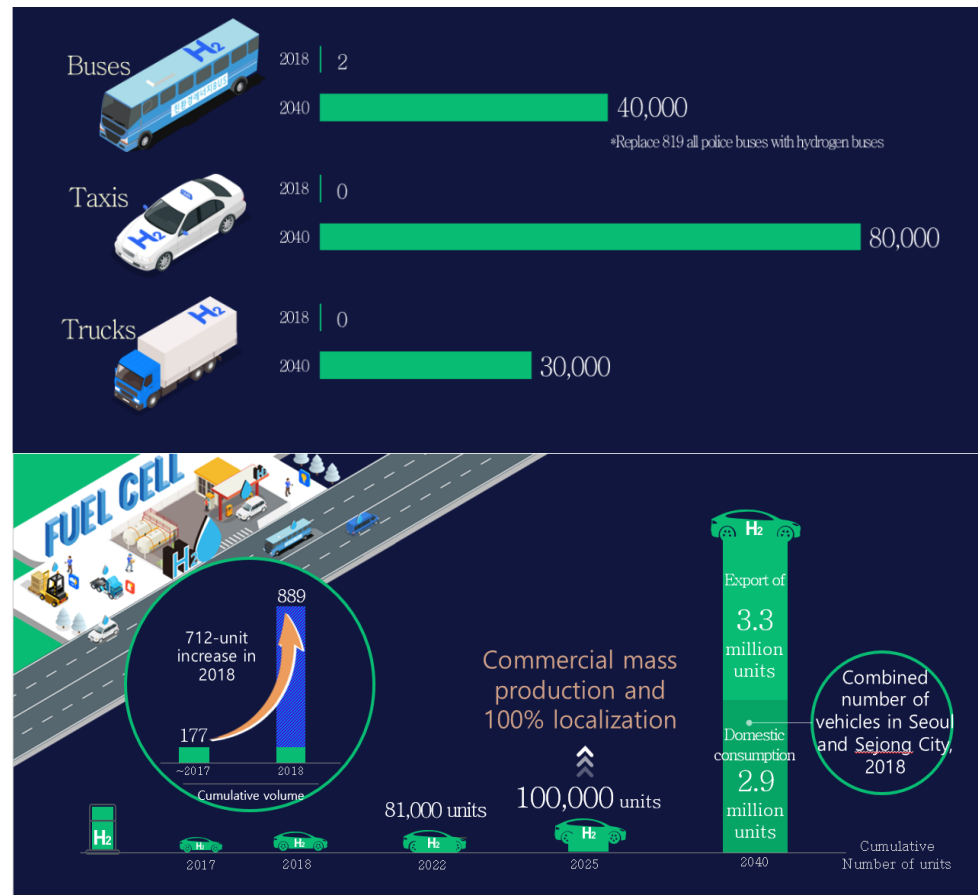
세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

- 수소차 · 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

| | | 2018년 | 2022년 | 2040년 |
|----|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 목표 | 수 소 차 (수출) (내수) | 1.8천대 (0.9천대) (0.9천대) | 8.1만대 (1.4만대) (6.7만대) | 620만대 (330만대) (290만대) |
| | 연 료 전 지 | 307MW (전체) | 1.5GW (1GW) | 15GW (8GW) |
| | | | | |
| | 가정 · 건물용 | 7MW | 50MW | 2.1GW |
| | 수 소 공 급 | 13만톤/年 | 47만톤/年 | 526만톤/年 이상 |
| | 수 소 가 격 | - | 6,000원/kg | 3,000원/kg |

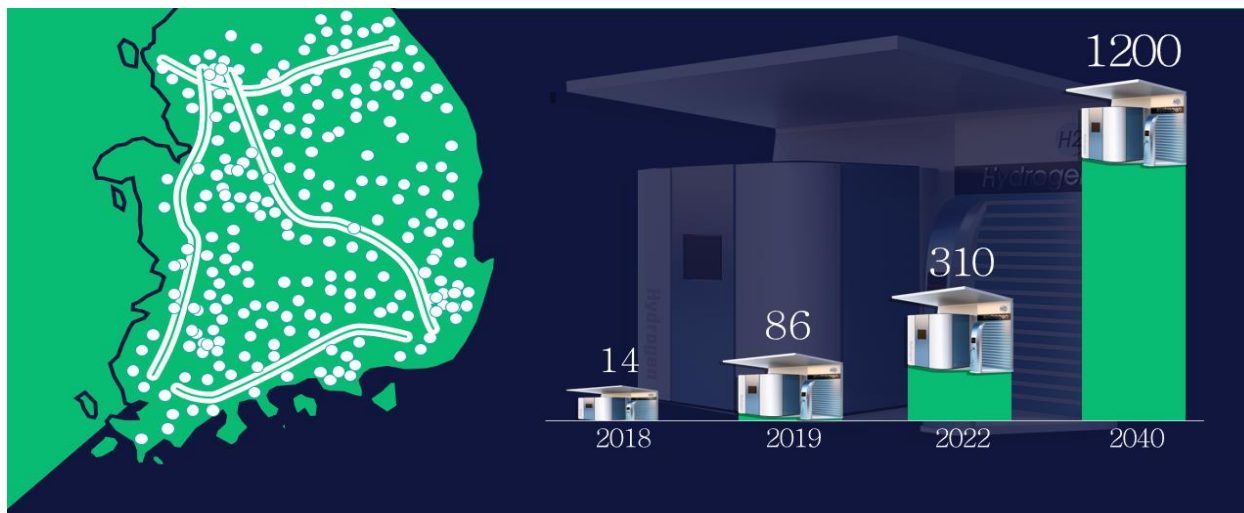
수소경제 활성화 비전과 추진전략: 수소차

- ◆ 수소차의 시장창출을 위해
수소차 양산체계 구축 및 보급 확대,
수소 택시·버스 등 대중교통 전환,
공공부문 수소 트럭 활용 등이
구체적인 방안으로 시행될 예정
- ◆ 내수 및 수출물량 포함
2018년 약 1,800대인 수소전기차
시장의 규모를 2022년 8만천대,
2040년에는 620만대 이상 규모로
확대시킬 계획



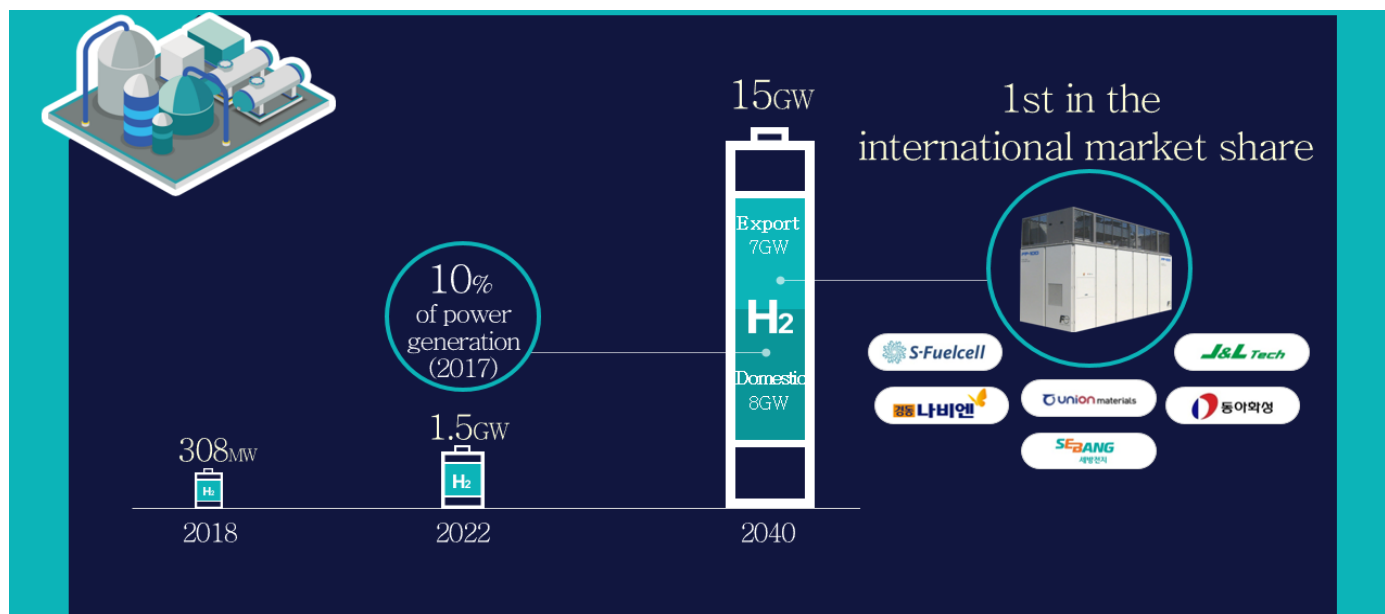
수소경제 활성화 비전과 추진전략: 수소충전소

- ◆ 수소차는 차량만으로 운행이 불가능, 충전용 수소를 공급할 수 있는 인프라, 특히 수소충전소가 함께 확대 구축 필요
- ◆ 2018년 14개소에 불과한 충전소를 **2022년 310개소, 2040년 1,200개소**까지 확대
 - 초기 시·도별 수소차 보급과 연계, 도심지·고속도로 휴게소 등 교통망 거점, 버스, 택시 차고지 등 수소충전소 구축
 - 충전소 유형별 차등화, 설치보조금 + 운영보조금 지급 등 구축 및 운영을 일부 정부가 부담
 - 충분한 수소차 보급이 달성 이후, 정부주도에서 민간주도로 전환 시장 자율형 충전소를 확대, LPG·CNG 충전소를 융복합 수소충전소로 전환, 경제성을 제고



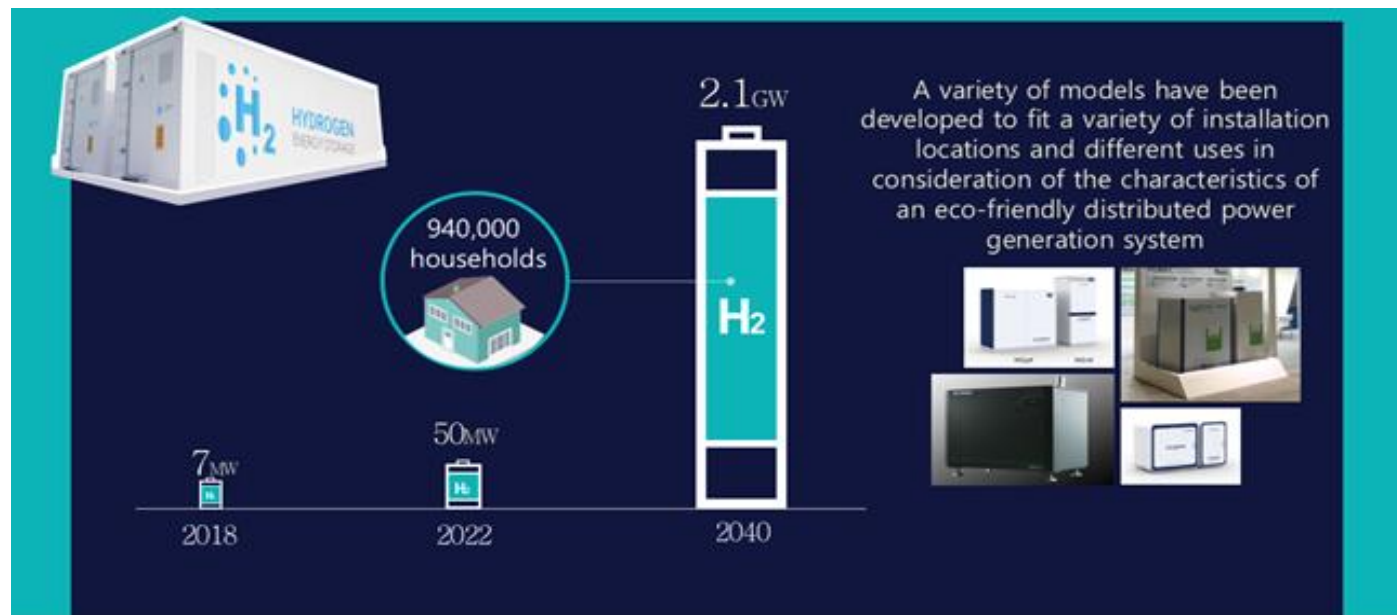
수소경제 활성화 비전과 추진전략: 발전용 연료전지

- ◆ 발전용 연료전지는 연료전지 전용 LNG요금제 신설, 일정기간 신재생공급인증서(REC) 가중치 유지 통해 발전용 연료전지의 설치 확대를 유도
- ◆ 설치 규모 2018년 307.6MW에서 2022년 1.5GW 수준으로 확대
 - 양산을 통한 설치비/발전단가를 대폭 절감, 2025년경에는 중소형 가스터빈 수준까지 인하
 - 2040년 수출 및 내수물량(8GW)을 합산 15GW 이상으로 확대할 계획임



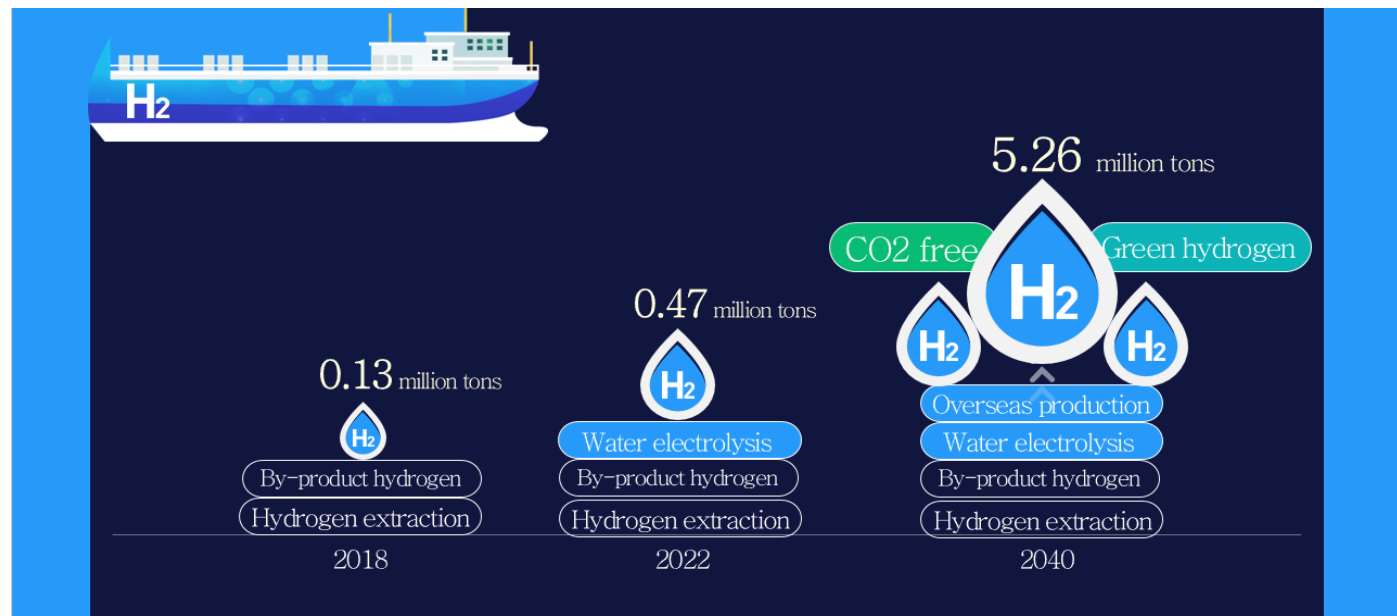
수소경제 활성화 비전과 추진전략: 자가용 연료전지

- ◆ 자가용 연료전지는 2018년 7MW 보급규모 2022년 50MW, 2040년에는 2.1GW 확대
 - 정부 보급사업 예산의 단계적 확대, LNG 전용 요금제 신설, 전력계통 부담 완화에 따른 전기요금 특례제도 연장 등 경제적 인센티브 제공,
 - 공공기관, 민간 신축건물에 연료전지 의무화를 통해 확산을 지원할 예정



수소경제 활성화 비전과 추진전략: 수소공급

- ◆ 수소 활용부문 확대, 수요 파생수요 확대, 에너지 부문 중심 수소시장의 규모도 커짐
- ◆ 수소차와 연료전지 등 수소 활용부문 창출 수소수요 연간 13만톤(2018년 기준)
- ◆ 수소수요 2022년 연간 47만톤, 2030년 194만톤, 2040년 526만톤까지 확대 전망



○ 수소경제 활성화 비전과 추진전략: 수소공급

- ◆ 수소수요 확대, 수소 생산단가 가장 저렴한 생산방식(기술)부터 공급
 - 수소차는 납사분해 공정 부생수소, 연료전지는 주로 천연가스 추출수소가 공급
- ◆ 초기 천연가스 추출수소를 핵심 공급원, LNG 공급망, 수요처 인근 등에 규모별 수소생산 기지를 구축
- ◆ 수소수요 확대, 생산단가가 높아 현재는 경제성이 낮은 재생에너지 미활용전력 활용 그린 수소 생산이 확대
 - 2022년까지 대규모 재생에너지 연계 수전해(P2G) 연구개발 및 실증 추진
 - 해상풍력, 태양광 등 대규모 재생에너지 발전단지와 연계한 수소 생산 추진
- ◆ 제한적 그린수소 생산여력 감안, 2030년부터 해외 재생에너지, 갈탄 등을 활용 그린수소 수입, 부족분을 보충
- ◆ 2040년 전체 수소수요 70%를 이산화탄소가 발생하지 않는 그린수소로 공급 계획

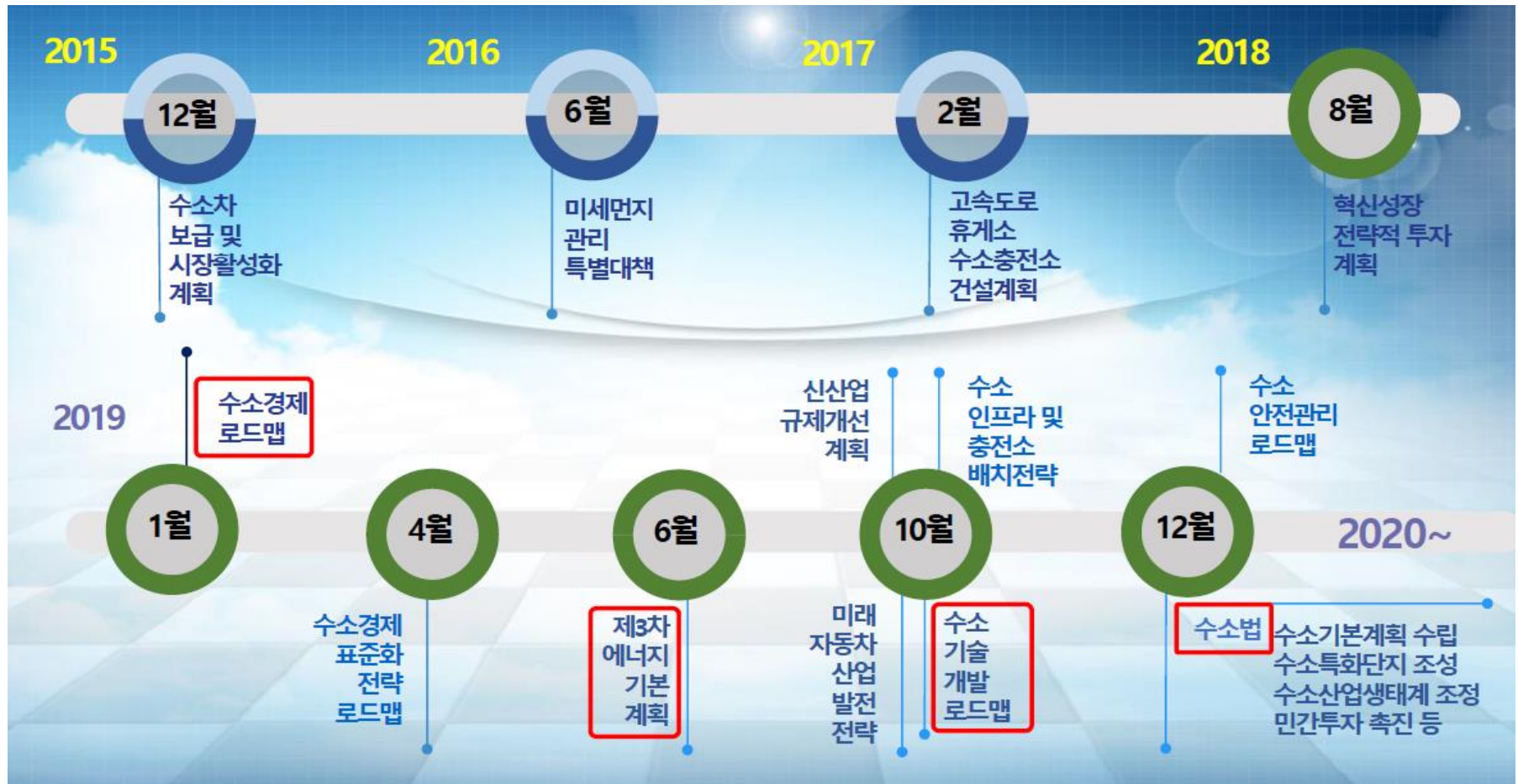
수소경제 활성화 비전과 추진전략: 수소 저장 및 운송 부문

- ◆ 수소 활용부문 육성, 수소생산 확대, 저장 및 운송 부문의 성장 유도
- ◆ 현재 500대 정도 운행 중 중저압기체 튜브트레일러를 대규모 운송 가능 고압(700bar) 용기를 개발 전환,
- ◆ 현재 울산·여수 등 수요처 인근 약 200km 정도 구축된 수소 파이프라인도 **고압용 수소 전국망으로 확대 구축**할 예정
- ◆ 궁극적으로는 대량 저장 및 운송 필요 액화수소/액상기술 개발, 탱크로리로 대체

〈수소 저장 및 운송부문의 주요 목표〉

| 구분 | 현재 | 2022년 | 2030년 이후 |
|---------|-------|------------------------------------|---------------------------|
| 튜브 트레일러 | 500대 | 대규모 기체 저장·운송 | 액화, 액상 및 고체 수소 저장·운송 |
| 파이프라인 | 200km | 부생수소 거점(울산, 여수, 대산) 인근에 수소파이프라인 구축 | 전국 단위의 고압용 수소 파이프라인 구축 검토 |
| 추진방향 | - | 수요처 중심 공급 기반 구축 | 전국 단위 공급 인프라 구축 |

○ 추진경과



수소법 제정

◆ 2020년 2월 '수소경제 육성 및 수소안전관리에 관한 법률안' 제정

- 수소법은 수소경제 이행 촉진을 위한 기반 조성 및 수소산업의 체계적 육성을 도모하고 수소의 안전관리 사항을 정함으로써 국민경제의 발전과 공공의 안전확보에 이바지함이 목적
- 수소 기본계획 수립, 수소전문기업 육성, 저압 수소 제품·시설 안전규정, 수소충전소 설치, 인력양성, 수소경제 추진위원회 등 포함

<수소법 조문제목 요약>

| 제1장 총칙 | |
|---|-----------------------------|
| 제1조(목적) | 제3조(국가·지방자치단체 및 사업자의 책무) |
| 제2조(정의) | 제4조(다른 법률과의 관계) |
| 제2장 수소경제 이행 촉진을 위한 추진 체계 | |
| 제5조(수소경제 이행 기본계획의 수립) | 제7조(수소경제 이행 촉진을 위한 재원의 확충) |
| 제6조(수소경제위원회) | 제8조(수소경제 이행 관계 법령의 개선 권고 등) |
| 제3장 수소전문기업의 육성 등 | |
| 제9조(수소전문기업에 대한 지원) | 제14조(수소전문투자회사의 등록에 관한 협의) |
| 제10조(보조·용자) | 제15조(자산운용의 방법) |
| 제11조(수소전문기업의 확인 등) | 제16조(수소전문기업 등에 대한 기금의 투자) |
| 제12조(수소전문기업 확인의 취소 등) | 제17조(조세 및 부담금의 감면) |
| 제13조(수소전문투자회사) | 제18조(국·공유재산의 대부·사용 등) |
| 제4장 수소연료공급시설 설치 등 | |
| 제19조(수소연료공급시설 설치 등) | 제23조(수소특화단지의 지정 해제) |
| 제20조(수소 공급계획의 제출) | 제24조(시범사업의 실시) |
| 제21조(연료전지 설치 등) | 제25조(연료전지용 천연가스 요금체계 수립) |
| 제22조(수소특화단지의 지정 등) | - |
| 제5장 수소경제 이행을 위한 기반 조성 | |
| 제26조(전문인력의 양성) | 제31조(사회적 공감대 형성) |
| 제27조(수소사업 관련 제품 등의 표준화) | 제32조(중합정보관리시스템의 구축·운영) |
| 제28조(수소산업 관련 통계의 작성) | 제33조(수소산업진흥담당기관의 지정 등) |
| 제29조(국제협력과 해외시장 진출 지원 등) | 제34조(수소유통진흥담당기관의 지정 등) |
| 제30조(수소산업 관련 기술개발의 촉진) | 제35조(수소안전진담기관의 지정 등) |
| 제6장 안전관리 | |
| 제36조(수소용품 제조사업 허가 등) | 제43조(수소용품 제조시설의 완성검사 등) |
| 제37조(결격사유) | 제44조(수소용품의 수입 및 검사) |
| 제38조(외국수소용품의 제조등록 등) | 제45조(수소용품의 안전성 확보) |
| 제39조(사업 개시 등의 신고) | 제46조(안전교육) |
| 제40조(사업자의 지위 승계 등) | 제47조(수소연료사용시설의 검사) |
| 제41조(안전관리규정) | 제48조(상세기준) |
| 제42조(안전관리자) | 제49조(허가 및 등록의 취소 등) |
| 제7장 보칙 | |
| 제50조(수소판매가격의 보고·공개 및 표시) | 제54조(청문) |
| 제51조(보험가입) | 제55조(수수료 등) |
| 제52조(금지행위) | 제56조(권한의 위임·위탁) |
| 제53조(자료제출 및 검사 등) | 제57조(벌칙 적용에서의 공무원 의제) |
| 제8장 벌칙 | |
| 제58조 내지 제60조(벌칙), 제61조(양벌규정), 제62조(과태료) | |
| 부칙 | |
| 제1조(시행일) | 제2조(유효기간) |
| 제3조(경과조치) | |

Nikola Motor to open pre-orders for fuel cell pickup truck to compete with Ford, Tesla



Nikola Motor Company, the Arizona startup that made its debut as a publicly traded company June 4, will open reservations later this month for a hydrogen fuel cell electric pickup truck that was designed to compete with the Ford F-150.

Reservations, or pre-orders, will open June 29 for the hydrogen-electric pickup truck known as the Badger, Nikola Motor founder and chairman Trevor Milton tweeted Tuesday.

The company's initial focus has been to design, develop and eventually produce hydrogen-electric Class 8 trucks and build out hydrogen station infrastructure throughout North America. Since its founding in 2014, the company has expanded its hydrogen-electric vision to powersports and more recently to pickup trucks. The company shared in February the first details about the Badger pickup truck, which will be available as a battery electric or fuel cell vehicle.

MARKETS NOW

Watch out, Tesla. Nikola is the hot new electric truck stock



By Paul R. La Monica, CNN Business
Updated 2006 GMT (0406 HKT) June 9, 2020

New York (CNN Business)—Elon Musk and Tesla may have some new competition -- in the auto market, on Wall Street and on social media.

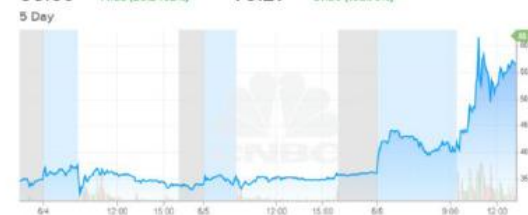
Nikola, a company that makes hydrogen fuel cell and battery-powered electric trucks, just went public. Its stock has more than doubled over the past few days. And Nikola's chairman is bragging about it on Twitter.

Shares of Nikola -- the first name of the famous inventor Tesla -- are up more than 120% since it completed a merger with an already public shell company named VectoIQ on June 3.

The stock jumped 103% on Monday alone, though it plunged 22% early Tuesday morning in volatile trading along with the broader market before bouncing back. Nikola shares finished the day with a 9% gain.

Nikola Corporation (NKLA:NASDAQ)

USD
Extended Hours
Last: 1:09:12 AM EDT
88.89 +14.83 (20.2402%)
5 Day
Close: 1:06:08 PM 2020
73.27 -37.30 (103.70%)



CNBC

이번 급등은 니콜라의 장업자 트레버 밀턴 회장이 제로 에미션(탄소 무배출) 트럭인 '벡터' 예약을 받았다고 밝힌 덕이다. 이에 니콜라에 투자한 한화그룹까지 덩달아 주목받으며 한화 (25,350원 ▼ 1700 -6.3%)가 9일 26% 넘게 급등하기도 했다.

Germany earmarks \$10 billion for hydrogen expansion

FRANKFURT/DUESSELDORF, Germany (Reuters) - Germany's corona recovery stimulus package has earmarked 9 billion euros (\$10 billion) for the expansion of hydrogen capacity at home and abroad in a bid to meet emission targets.

Under the plans, unveiled late on Wednesday as part of a larger 130 billion euro boost to the economy, Germany eyes hydrogen capacity of up to 5 gigawatts (GW) by 2030, with a further 5 GW to be installed by 2040 at the latest.

That will cost about 7 billion euros, while a further 2 billion euros is to be spent on forging partnerships with countries where hydrogen can be efficiently produced.

"The measures are aimed at making Germany the world's supplier of state-of-the-art hydrogen technology," the stimulus paper said, adding the government would explore the creation of a European hydrogen initiative to accelerate expansion.

A fully mapped out strategy will be presented shortly, the government said. Both parties have so far failed to reach an agreement on all issues.

두산퓨얼셀 코로나 저점 比 5배 급등...수소경제 탄력 받았다

10일 장중 상장 후 최고가 기록

한화 니콜라 투자 대박 소식도 상승세에 영향 준 듯



두산퓨얼셀 주가(산한금융투자 김무리) 뉴스1

두산퓨얼셀 주가가 지난 10일 전 거래일보다 18.95% 오른 2만400원으로 마감했다. 신종 코로나바이러스 감염증(코로나19)으로 인해 최저점을 기록했던 지난 3월 19일 종가 4180원보다 5배 가까이 주가가 된 것이다. 최초 상장일이었던 작년 10월 18일(종가 5510원)과 비교해도 약 3.7배 올랐다.

11일 업계에 따르면 이 같은 두산퓨얼셀의 주가 질주는 수소경제에 대한 관심 증폭 때문인 것으로 분석됐다. 일각에서는 두산그룹 자구안과 관련한 두산퓨얼셀 매각 이슈가 주가를 끌어올린 것일 수도 있다고 분석하지만 매각 이슈는 새로운 이벤트가 아니어서 현재 강한 상승세를 설명하기에는 무리가 있다는 평가다.

주요 경제국 현황



그린뉴딜을 통한 재생에너지+수소, 수소차 육성 추진

- 탈탄소를 위한 재생에너지와 수소를 동시 육성
 - * 향후 2년간 재생에너지 15GW 설치 (250억 유로)
 - * 10년간 100억 유로 규모의 그린수소 생산설비 신설 투자
- 수소차·전기차 보급과 충전 시설 확충을 위한 투자
 - * 2년간 200억 유로 투자
 - * 클린차 투자 펀드 400~600억 유로 규모 조성



해외 수소 공급체계 구축, 모빌리티/발전 이용 확대

- 재생에너지 활용한 수소 공급시스템 구축
 - * 수소차 80만대, 수소버스 1,200대, 충전소 900개소
 - * 가정용 연료전지 530만대, 연료전지 Grid Parity 실현('30)
- 해외 공급처 다변화 및 국내 수전해 기술 강화
 - * HySTRA(호주, 갈탄개질), AHEAD(브루나이 NG 개질), FH2R(일본, 수전해) 등 진행중



풍부한 천연자원을 활용한 수소 수출국 위치 선점

- 그린수소 단가 저감, 에너지전환 관련 수소 기술 향상
 - * 아시아 시장 Top3 수소수출국
 - * 수소안전 관련 Track Record 확보
 - * 경제성 확보 및 일자리 창출
 - * 국제적으로 인정받는 인증제도 확보



수소 밸류체인 전반의 기능 확보, 에너지 리더십 강화

- 수소차량 다변화(승용, SUV, 트럭 등), 연료전지 발전 확대, 수소터빈 등 전분야 기술 확보 및 경제성 제고
 - * 수소모빌리티 다변화 및 가격경쟁력 확보('30)
(수소차 120만대, 물류차량 30만대, 충전소 5,800개소)
 - * 수소발전 Grid Parity 달성('30)
 - * 수소 생산비용 1.28~2.16USD/kg, 수소모빌리티 충전 비용 4~7USD/kg 달성('30)

I. 수소경제 활성화 전략과 이행 경과

주요국가별 상세현황 (15개국, 우리나라 제외)

| | |
|----------|---|
| 네덜란드 | <ul style="list-style-type: none"> 수소로드맵 발표 네덜란드 기후협약에 수소에 관한 장을 포함 북서유럽의 수소협력을 위해 벨기에, 네덜란드, 룩셈부르크, 프랑스, 독일 및 오스트리아 간 Pentilateral Energy Forum을 구성 |
| 뉴질랜드 | <ul style="list-style-type: none"> 일본과 공동 수소 프로젝트를 위해 MOU에 서명 수소전략을 준비하고 있으며 수소 상용화를 포함한 사업에 투자하기 위한 녹색 투자 기금을 설립 |
| 독일 | <ul style="list-style-type: none"> 수소충전소, 수소전기차 및 소형분산발전에 대한 보조금을 포함하여 14억 유로의 정부지원과 10년간 수소 및 연료전지 기술에 대한 20억 유로의 국가 혁신 프로그램을 승인 H2mobility를 설립하여 수소전기 열차를 상용운전하고 전국으로 수소충전소를 확대 중 |
| 미국 | <ul style="list-style-type: none"> 미국 내 자원을 활용한 수소 생산량을 확보하면서, 수소 밸류체인 전반의 기술·자원 확보로 에너지 리더십 강화 모색 중 재생에너지 공급이 풍부한 캘리포니아주를 중심으로 수소 인프라 확산 지원 추진 중 <ul style="list-style-type: none"> ‘25년까지 수소 충전소 200개 설치 (‘30년까지 1,000 개, 100만대의 수소전기차 보급 목표) |
| 벨기에 | <ul style="list-style-type: none"> 수소로드맵 발표 (‘18) <ul style="list-style-type: none"> 수소가스 공급을 위한 5 천만 유로의 지역 투자 계획 포함 |
| 사우디 아라비아 | <ul style="list-style-type: none"> Saudi Aramco와 Air Products가 첫 수소충전소 건설(‘19) 일본 및 한국 등에 CCS 연계한 수소 수출을 제안하고 있으며, 미래 수전해기술 (PEC 등) 확보에 노력하고 있음 |
| 영국 | <ul style="list-style-type: none"> 저탄소 수소 공급과 Power-to-X를 포함한 규모의 스토리지 혁신을 위해 2천만 파운드의 기금을 설립 건물의 수소 공급과 장기적으로 열 분야의 탈탄소화 달성이 가능하다는 검토 결과들을 발표 <ul style="list-style-type: none"> 일부 천연가스 네트워크의 최대 20 % 수소의 혼합 테스트 실시하였고 Industrial Strategy Challenge Fund에서 탈탄소 산업클러스터를 위한 1억7천만 파운드의 공공 투자 지원을 발표 |
| 오스트리아 | <ul style="list-style-type: none"> 2030 오스트리아 기후 및 에너지 전략의 일환으로 재생에너지를 기반으로 한 수소전략 발표 (‘19) |

I. 수소경제 활성화 전략과 이행 경과

주요국가별 상세현황 (15개국, 우리나라 제외)

| | |
|------|---|
| 이탈리아 | <ul style="list-style-type: none"> 수소충전소 확대를 위하여 허용되는 수소 압력을 높이고 안전, 경제 및 사회적 측면을 강화하는 규정을 발표 |
| 인도 | <ul style="list-style-type: none"> 대법원은 델리의 대기오염을 해결하기 위해 수소전기버스의 사용을 조사 할 것을 요청 정부는 수소 및 연료전지에 대한 연구 제안에 대한 6000 만 INR 투자를 발표 |
| 일본 | <ul style="list-style-type: none"> 수소기본전략 채택 <ul style="list-style-type: none"> - 2014, 에너지기본계획에 "수소사회 이행 " 명시 / - 2016, 수소사회전략 구축방안 제시 - 2017, 수소기본전략 채택 (~'30, 차 80만대, 버스 1,200대) 국제 수소 서플라이 체인을 구축, 해외로부터의 수소 수입 모색 (HySTRA - 호주, 갈탄개질, AHEAD - 브루나이 NG 개질 등) |
| 중국 | <ul style="list-style-type: none"> 수소굴기 선언 *신에너지·에너지절약형 자동차 기술 로드맵(~'30, 100만대) <ul style="list-style-type: none"> - 2015, '中国制造2025' 신에너지자동차 핵심 선언 / - 2016, '节能与新能源汽车技术路线图*' 발표 - 2017, '차이나 수소 이니셔티브' 선언 / - 2019, 수소 충전소 설치 확대 발표 - 40개 완성차 기업에서 56종 수소전기차 개발 및 연구 중 ('19) - 3조원 규모의 수소도시 시범사업을 검토 중 (재생에너지 → 수소 → 연료전지발전) |
| 프랑스 | <ul style="list-style-type: none"> 산업, 운송 분야의 저탄소화 및 재생 에너지 저장분야에 대한 1억 유로의 수소개발계획과 '23/'28 목표를 발표 |
| 호주 | <ul style="list-style-type: none"> 수소 연구 및 파일럿 프로젝트에 1억 AUD 이상 투자 발표 정부실무그룹인 CSIRO 설립, 호주 수소기술로드맵 발표 ('18) 및 수소의 수출 자원화 도모 중 |
| EU | <ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 달성을 위하여 수소경제 도입을 포함하는 탈탄소화 정기전략을 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 재생 가능한 에너지를 사용하여 수소를 생산 EU 회원국 간의 수소경제 토론을 위한 플랫폼으로 "수소에너지 네트워크" 구축 28개의 유럽국가들이 100개의 기업, 기구 및 기관들과 함께 지속가능한 수소기술개발에 대한 협력을 촉진하기 위한 Linz 선언("수소 이니셔티브")에 서명 |

다자간협의체 현황

국제 수소에너지 파트너십

IPHE, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy

- 설립배경·목적 | 국제에너지기구(IEA)총회의('03~), 연료전지 및 수소 기술 활용한 깨끗하고 효율적인 에너지 전환 가속화 추진
- 참여 | 한국, 미국, 영국, 독일, 일본, 중국, 캐나다 등 총 18개국
- 주요논의 | 수소 및 연료전지 관련 기술 소개 및 정책 공유

수소위원회 Hydrogen Council

- 설립배경·목적 | 수소·연료 전지 분야의 기술 개발 및 상용화 투자 가속화를 위해 설립된 민간 협의체 (17.1월 다보스포럼~)
- 참여 | 총 53개 (의장국 : Air Liquid, 현대차), 도요타, BMW 등 완성차 업체와 셀, 토털 등 에너지 기업
- 주요논의 | 세계 수소에너지 시장분석 보고서 등 보고서 발간에너지 안보

수소 각료 회의

Hydrogen Energy Ministerial Meeting

- 설립배경·목적 | 일본 경제산업성 및 신에너지·산업기술진흥기구 주최, 도쿄성명 채택 및 글로벌 수소 활용 촉진을 위한 국제 협력 증진
- 참여 | 총 15개국 (한국, 미국, 일본, 호주 등), 민간기업(ENGIE, 현대자동차, 도요타 등), 국제기구(IEA, Mission Innovation, Hydrogen Council 등)
- 주요논의 | 도쿄선언문 초안 및 국제 협력 논의, 수소기술협력 및 표준개발, 수소안전 및 공급망 공동연구, 수소의 CO2 감축 잠재력 연구, 수소 관련 교육 및 홍보 등



II 에너지전환과 그린수소



에너지 전환

$$\begin{array}{ccc} \text{화석연료} & + & \text{공기} & \rightarrow & \text{연소가스} \\ (\text{C, H, S, ...}) & & (\text{O}_2, \text{N}_2, ..) & & (\text{CO}_2, \text{CO, HC, NO}_x, \\ & & (\text{연소}) & & \text{SO}_x, \text{PM, Soot, ...}) \end{array}$$

```

graph LR
    A["석탄  
석유 (가솔린, 경유, ..)  
가스 (천연가스, LPG)"] --> B["난방  
발전  
공장가동  
자동차  
선박, 항공  
보일러"]
    B --> C["온실가스  
대기오염가스  
CO2, SOx, NOx 무배출, 저배출"]
  
```



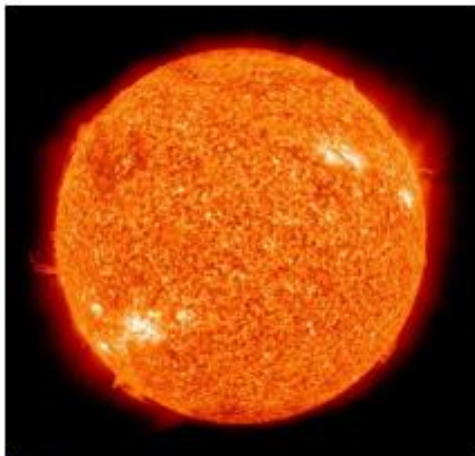
이미지 출처: 연합뉴스



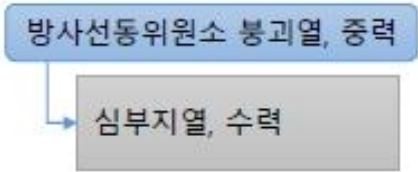
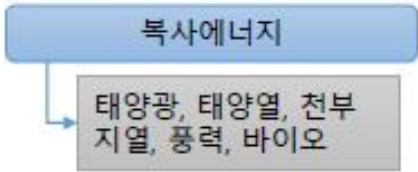
이미지 출처: YTN News

에너지 전환

자연, 재생가능, 지속가능



이미지 출처: WIKIPEDIA



출처: 조상민 발표자료 재인용, 에너지경제연구원

에너지 전환

우리나라 신재생에너지 정의

신재생에너지



신에너지



재생에너지

수소에너지

연료전지

석탄가스화/액화에너지

태양에너지

풍력

수력

해양에너지

지열에너지

바이오에너지

폐기물에너지

신에너지: 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소, 산소 등의 화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 에너지

재생에너지: 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물 유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지

출처: 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 (법률 제14670호, 시행 2017.9.22)

에너지 전환

태양광 발전 (PV)



태양열 냉난방



집광형 태양열 발전 (CSP)



육상풍력



해상풍력

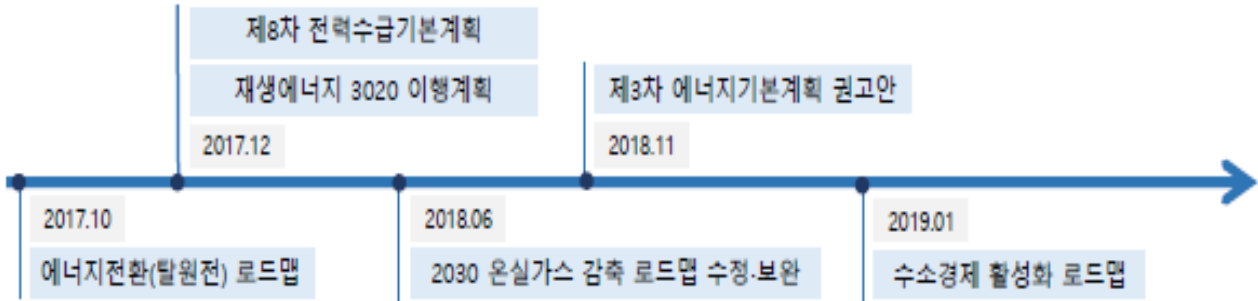


에너지 전환

100대 국정과제

| 방향성 | 국정전략 | 국정과제 |
|------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 친환경 에너지 구현 | 과학기술 발전이 선도 하는 4차 산업혁명 | 37. 친환경 미래에너지 발굴·육성 |
| | 국민안전과 생명을 지키는 안심사회 | 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성 |
| | | 60. 탈원전 정책으로 안전하고 깨끗한 에너지로 전환 |
| | | 61. 신기후체제에 대한 건실한 이행체계 구축 |

출처: 대한민국 정부, 2017



에너지 전환

재생에너지 3020 : 2030년 재생에너지 비중 20%

제8차 전력수급기본계획

- 환경성, 안정성을 대폭 강화하여 수립(기존 계획은 수급안정과 경제성 위주)
 - 원전, 석탄은 단계적으로 줄여나가고, 신재생에너지를 중심으로 친환경에너지를 대폭 확대
 - 경제급전과 환경급전의 조화를 통해 석탄 발전량을 줄이고 LNG 발전량을 늘림

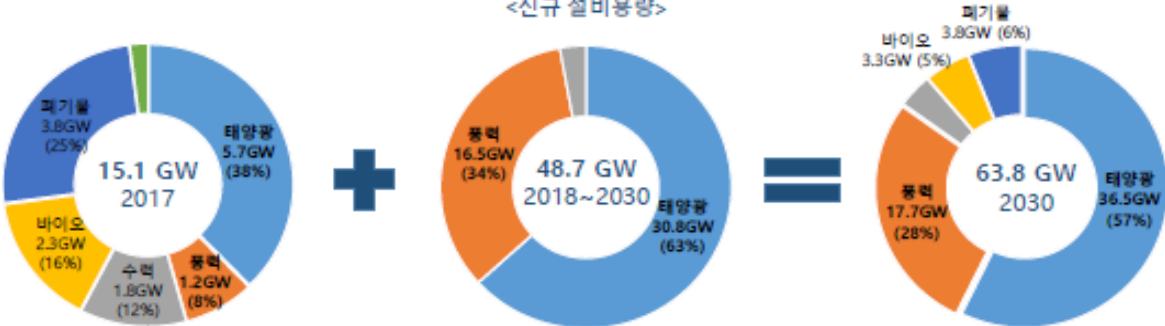
<발전량 구성: 목표시나리오>

| | 원자력 | 석탄 | LNG | 신재생 | 기타 | 합계 | 수요량 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 2017 | 30.3% | 45.4% | 16.9% | 6.2% | 1.3% | 100% | 507TWh |
| 2030 (8차 계획) | 23.9% | 36.1% | 18.8% | 20.0% | 1.1% | 100% | 580TWh |

출처: 제8차 전력수급기본계획, 2017.12

- 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20%를 목표로 설정
 - 신규 설비용량의 95% 이상을 태양광, 풍력으로 공급
 - 단기(2018~2022)에는 12.4GW, 중장기(2023~2030)에는 36.3GW 보급
 - 보급목표 이행방안으로 국민참여 확대, 계획입지 도입, 대규모 프로젝트, 제도 개선, 환경성 고려를 제시
 - 신산업 육성방안으로 산업경쟁력 강화, 분산전원 기반 신산업 육성, IoT 활용 서비스산업 육성, 스마트시티를 통한 신산업 실증 제시

<신규 설비용량>



출처: 재생에너지 3020 이행계획, 2017.12

에너지 전환

제3차 에너지 기본계획 : 2040년 재생에너지 비중 30~35%



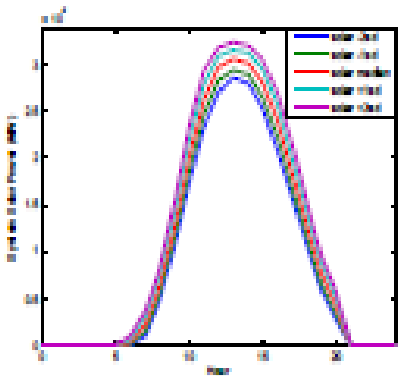
[발전비중 시나리오별 소요 설비용량 및 입지 활용률]

| ‘40년 비중 | 25% | 30% | 35% | 40% |
|--------------|--|--------|--------|--------|
| 소요 설비용량 (누적) | 79 GW | 103 GW | 129 GW | 154 GW |
| 우선공급잠재량 | 태양광 113~193 GW + 풍력 42 GW (해상 22 GW, 육상 20 GW) | | | |
| 우선공급입지 활용률 | 30~45% | 45~60% | 65~77% | 81~93% |

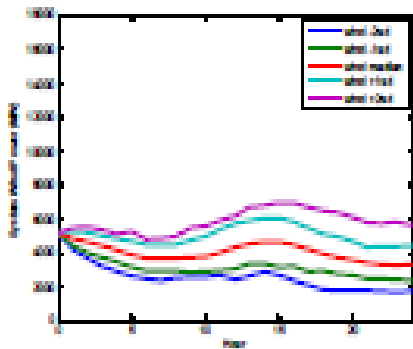
● 재생에너지 확대를 위한 해결과제

[2030년 태양광 풍력 발전 패턴과 전력 순수요 패턴]

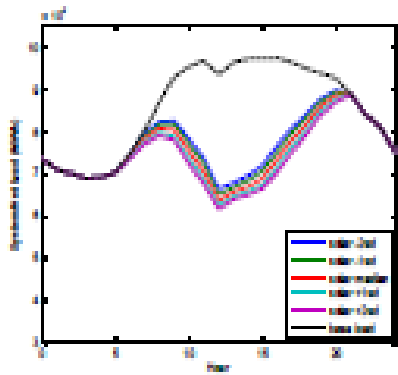
태양광
발전 패턴



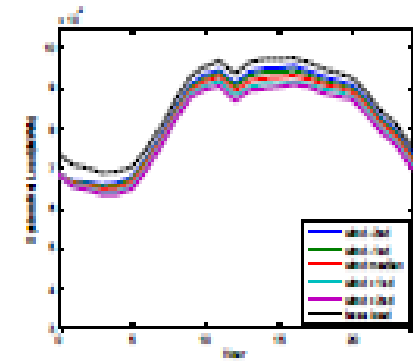
풍력
발전 패턴



태양광
순수요 패턴



풍력
순수요 패턴

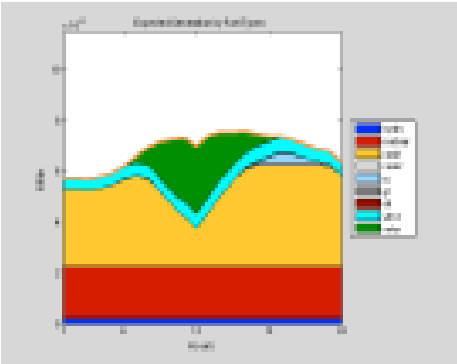


출처 : 조상민-조윤희, 2018, 변동성 재생에너지 확대에 대비한 계통안정화 방안 연구

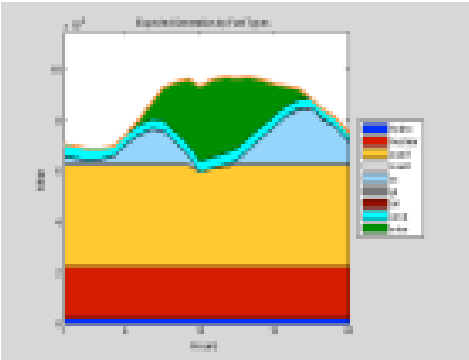
○ 재생에너지 확대를 위한 해결과제

[2030년 1일 발전 패턴 전망]

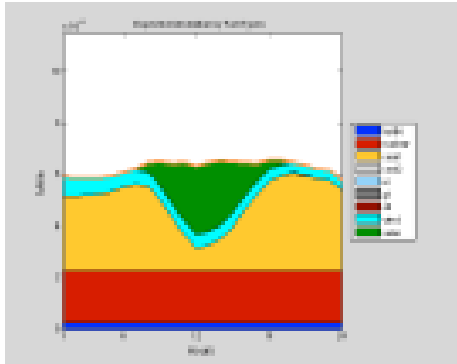
봄



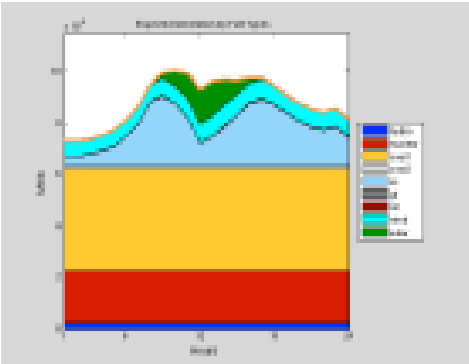
여름



가을



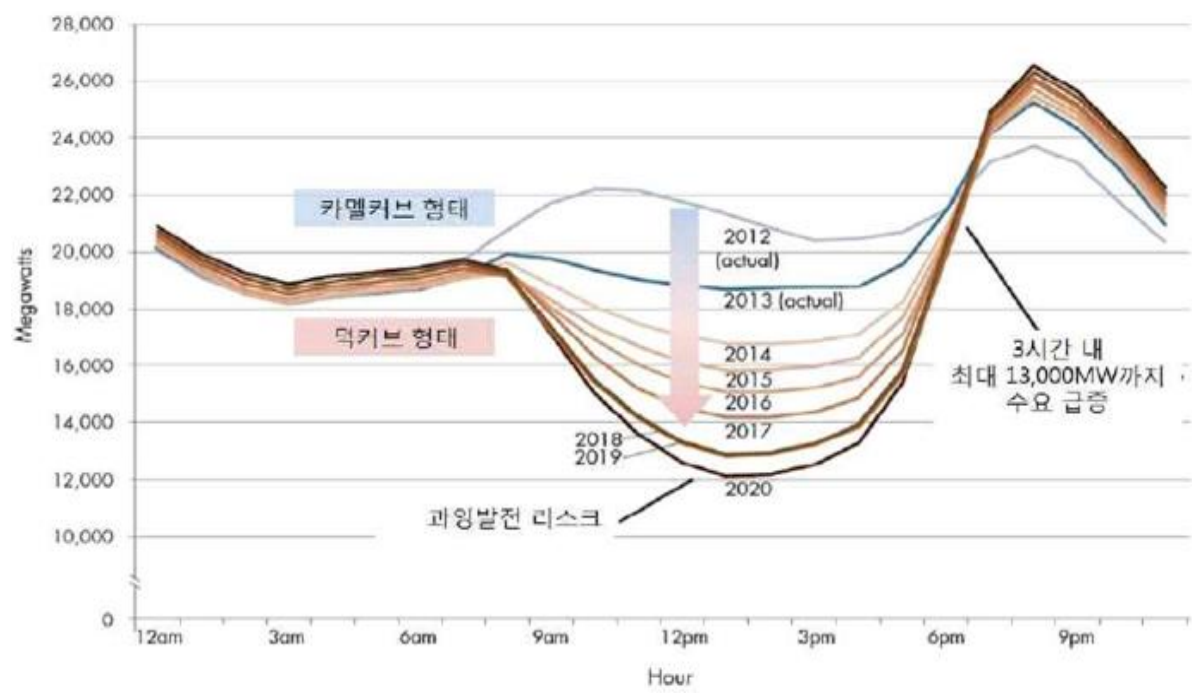
겨울



○ 재생에너지 확대를 위한 해결과제

- ◆ 재생에너지 과잉공급(특히 태양광) 인한 낮 시간 순부하량 급감 현상(Duck Curve 문제)
 - 전력 수급불균형 → 주파수, 전압 등 전기품질 악화 → 계통관성 저하로 **대규모 정전** 가능성
 - 재생에너지 지역 편중에 따른 지역적 혼잡 및 제약 발생 가능

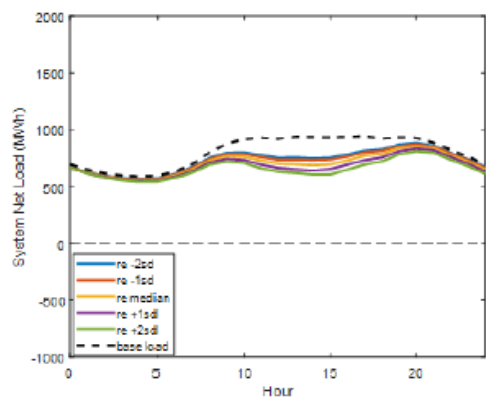
[연도별 캘리포니아 전력 부하 현황과 전망]



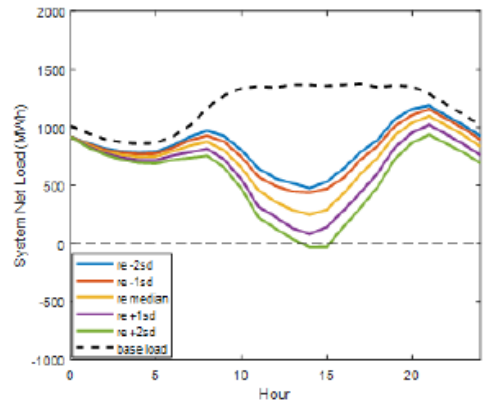
자료: California ISO, 호서대 (2016) 재인용

○ 재생에너지 확대를 위한 해결과제

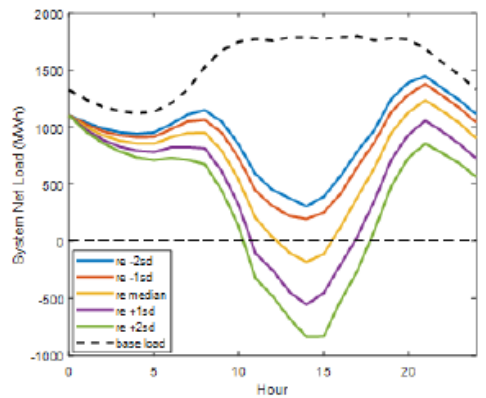
<제주도 전력순수요 패턴>



(a) 2019년



(b) 2025년

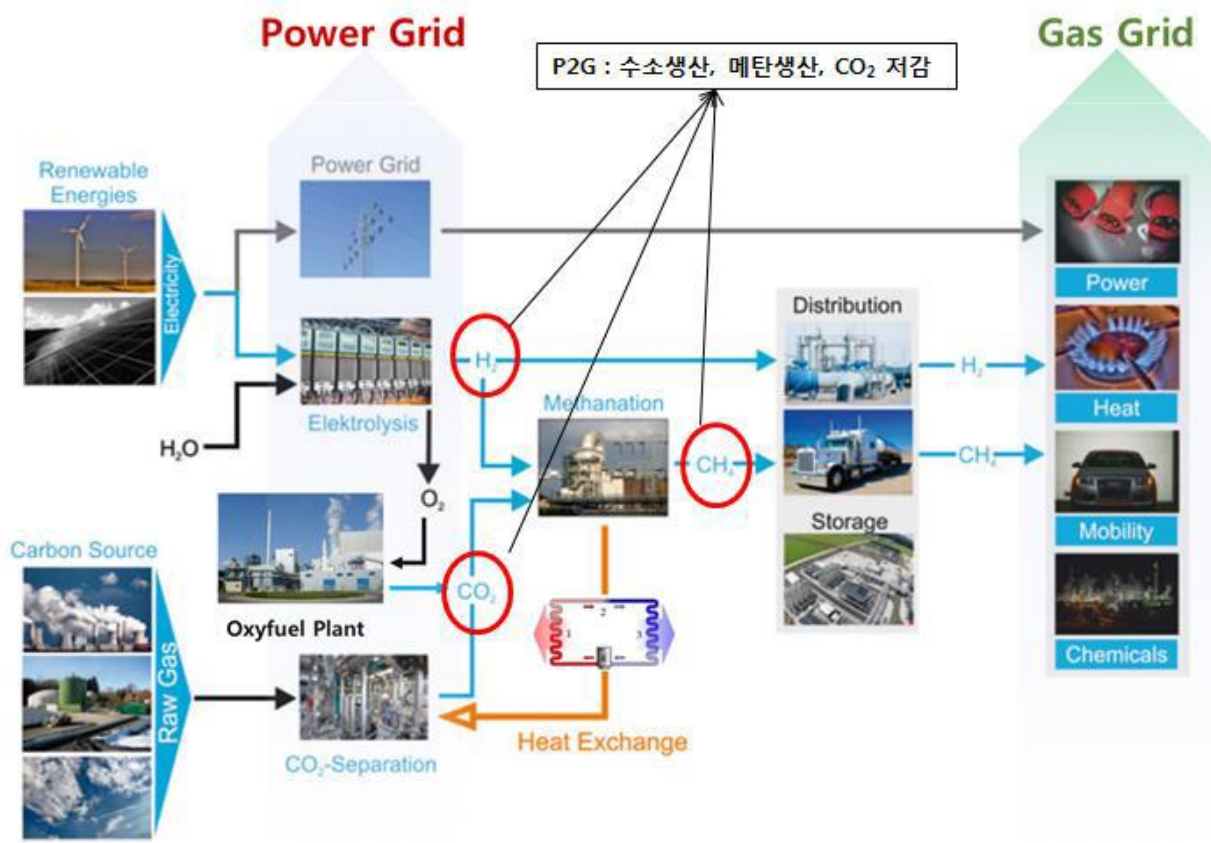


(a) 2030년

자료 : 조상민 외 2019, E-mobility 성장에 따른 신재생에너지 대응전략 연구

○ 해결책: 재생에너지 연계 수소생산

- ◆ P2G : 재생에너지(전기)로 물(H2O)를 분해 수소(H2) 등 Gas 형태로 전환, 저장·활용
 - ☞ 재생에너지 연계 생산 수소 = "그린수소"



○ 한국형 그린뉴딜의 프로토파입



목 차

제1부 왜 전환적 뉴딜인가? / 1

제1장 전환적 뉴딜의 개념과 추진전략 3

제2부 휴먼 뉴딜 / 59

제2장 휴먼 뉴딜의 개념과 추진전략 61

제3장 국민역량 강화를 위한 평생학습 지원 전략 102

제4장 국민행복을 위한 사회복지 의무보호서비스와
문화여가서비스 강화 방안 123

제3부 디지털 뉴딜 / 163

제5장 디지털 뉴딜의 개념과 추진전략 165

제6장 공공구매를 통한 디지털 뉴딜 205

제7장 제조업의 디지털 뉴딜, 스마트공장 230

제4부 그린 뉴딜 / 255

제8장 그린 뉴딜의 개념과 추진전략 257

제9장 그린 뉴딜형 미세먼지 정책 289

제10장 기후변화 대응과 일자리 창출을 위한 그린 리모델링 334

<전환적 뉴딜 TF> / 364

○ 한국형 그린뉴딜의 프로토파입

◆ 전환적 그린뉴딜의 주요 정책과제

- 포용적 녹색전환: 생활 및 지역 밀착형 환경 인프라 확충
 - 지역 에너지 자립도 강화 사업, 환경 인프라 통합형 도시재생 지원, 농어촌 생활여건 개선 등
- 전환적 대기환경 대응: 미세먼지-에너지전환-기후변화 통합형 대응
 - 미세먼지-에너지소비-온실가스 통합 인벤토리 구축, 통합형 전문가 양성 등
- 미래 녹색 경쟁력 강화 : 4차 산업혁명 기술 접목형 단지 및 지구
 - 녹색에너지 전환 지구, 디지털 전환 기반의 에너지 생산 및 소비 빅데이터 플랫폼 구축
- 지속가능금융 강화: 중앙정부, 지자체 재정 및 민간 금융의 녹색화
 - 녹색예산 도입, 녹색채권(Green Bonds) 가이드 라인 개발 등



수소경제와 구별된 RE-EP-EV 산업육성을 위한 투자 전략

○ 한국형 그린뉴딜

기후·경제 위기극복을 위한
한국형 그린뉴딜 추진방안

2020. 6. 8.

정책기획위원회 그린뉴딜기획단

| | | |
|-----------|------------|--------------|
| 김현철 (서울대) | 유종일 (KDI) | 윤재용 (환경연) |
| 정승일 (새사연) | 윤순진 (서울대) | 이성호(에너지전환포럼) |
| 이창훈 (환경연) | 임춘택 (에너지평) | |

○ 한국형 그린뉴딜의 추진목적

◆ 내수·수출 증진

- 에너지자립을 통해 에너지 수입대체*와 뉴딜투자 확대로 내수진작, 급속히 팽창하는 **에너지산업 수출로 외화 획득 → 재정 창출**
 - 우리나라는 에너지수입 의존율이 94%에 육박하나, 재생에너지 등으로 자립율을 높이면 매년 180조 원의 에너지 수입 중 40조 원 이상 절감 가능
 - 세계 에너지산업 시장 규모는 매년 1.8조 달러(2,200조 원) 수준으로, 급성장하는 **재생에너지, 에너지효율, 전기차(RE-EP-EV) 분야 등을 수출산업으로 육성 필요**
 - EU 탄소세 도입 등 글로벌 저탄소 경제를 대비한 기존 주력산업의 경쟁력 제고 추진 → RE100*, 에너지비용절감**, 에너지 저소비 산업구조로 전환 등
- * 235개 글로벌 기업이 100% 재생에너지 사용 선언(삼성 등 국내기업은 해외사업장만 참여)

❖ 수소경제 활성화 로드맵은 **"수소전기차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성 "** 목표로 수소 활용산업에서의 시장창출과 육성에 우선적인 방점

Ⅲ. 수소경제 활성화 국가비전

< 비 전 >

세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

- 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

○ 한국형 그린뉴딜의 비전·전략

| 비전 · 목표 | | | | |
|---|--|--------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 비전 | 2030년 이후 기후대응 선도국가로 전환 | | | |
| 목표 | 일자리·재정 창출형 뉴딜로 기후경제 위기극복 | | | |
| 기후위기대응 | 일자리·산업창출 | 내수·수출 증진 | 시민참여·균형발전 | |
| '30년 국가 온실가스 감축 목표 조기 달성 →'50년 Net-zero 목표 | 100만개 일자리창출 5대 신산업육성 | 추가 GDP증가율 +1% 160조원 수입대체/수출 | 지방재정 17조원/년 확충 협동조합 1,000개 조성 | |
| 단계 | 단기(~'22) | 중기('23~'25) | 장기('26~'30) | 초장기('31~) |
| 추진방향 | 경기회복·부양 → 성장경로 점진적 전환(에너지환경,산업) ————→ 성장경로 탈동조화(기후·경제), 경제사회구조 전환 가속 | | | |
| | 글로벌 저탄소경제, 에너지전환 선도 | | | |
| 재정운영 방향 | 정부 先투자 (경기부양, 선도효과) | 공공투자 활성화 (공공·민간 선순환) | 민간투자 확대 (재정투자 회수) | 기후·재정 리스크 최소화 |

| 10대 중점 추진사업 | |
|---------------------|-----------------------------|
| 기후·경제 위기대응 사업 | ❶ (환경) 친환경·생태계·자원순환 확대 |
| | ❷ (발전) 재생에너지 조기 확대 |
| | ❸ (효율) 디지털 융합으로 에너지효율 제고 |
| | ❹ (건축) 그린건축·그린도시로 전환 |
| | ❺ (수송) 친환경차·전철·고속철·그린물류 확대 |
| | ❻ (산업) 친환경 에너지산업 육성 |
| 사회·제도 여건개선 사업 | ❼ (지역) 지자체 에너지전환과 지역균형발전 촉진 |
| | ❽ (시민) 시민참여와 사회안전 강화 |
| | ❾ (금융) 그린뉴딜 투자환경 조성 |
| | ❿ (제도) 법·제도·R&D·거버넌스 개선 |

10대 중점 추진사업 속 수소경제 현황

2. (발전) 재생에너지 조기 확대

◆ True-RE3020 달성, 중장기 도전적 보급·확산 목표 이행

- 새만금 재생에너지 클러스터, 재생에너지 제조기술혁신 등을 통해 보급·확산 가속화와 규모의 경제에 기반한 **대폭적 단가하락 추진**

* 대규모 계획입지, 해상에너지공원 사업 등 **제2의 새만금사업** 추진, 서남해 등 수GW급 대규모 실증사업 (**태양광-풍력-수소생산 연계** 등) 확대

◆ 재생에너지-그린수소 연계 산업 동반성장

- 대용량 수전해 기술혁신 등을 통해 **그린수소생산 경제성 조기 확보와 수소충전소 인프라 구축 확대**
- 제주 RE300 프로젝트 추진 → 모범적 그린수소경제 권역으로 육성

* 미활용 재생에너지 전력을 이용한 그린수소 생산·저장, P2G(전력의 가스화), 수소운송선박 개발·실증, 그린수소 시범도시 사업 등

한국판 뉴딜 종합계획

한국판 뉴딜 국민보고대회
(제7차 비상경제회의)

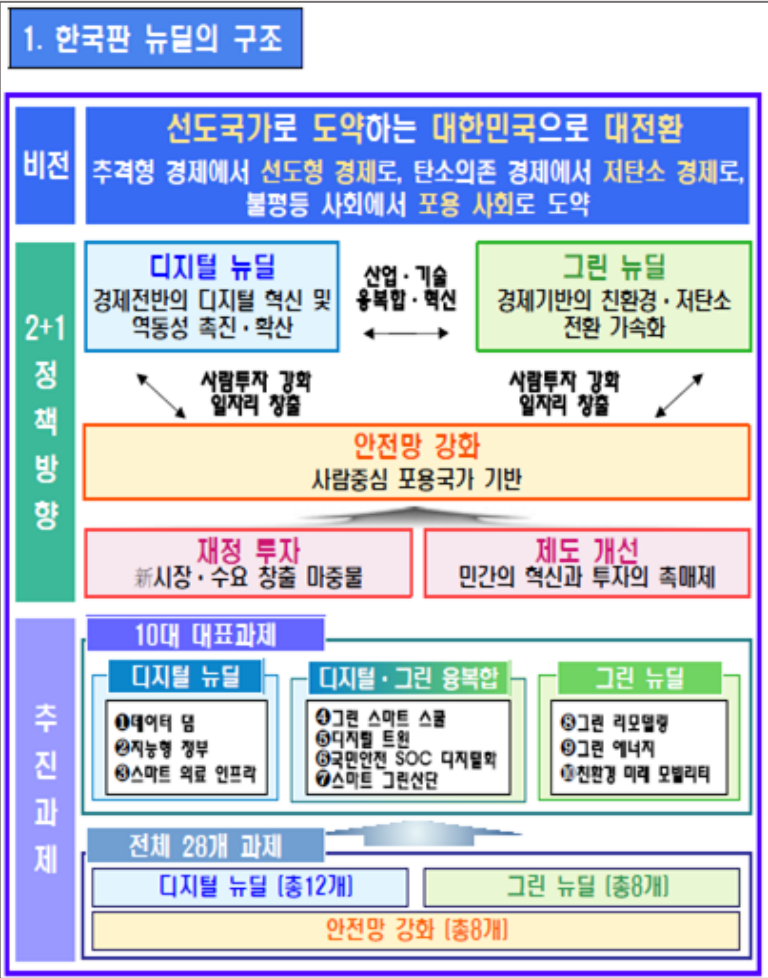
※ 7.14일 16시 이후 보도하여 주시기 바랍니다.

「한국판 뉴딜」 종합계획

- 선도국가로 도약하는 대한민국으로 대전환 -

2020. 7. 14.

관계부처 합동



○ 그린 에너지

1. 과제 개요

- 태양광·풍력(육상, 해상) 등 신재생에너지 산업 생태계 육성을 위해 대규모 R&D·실증사업 및 설비 보급 확대

2. 주요 투자사업 및 제도개선

- '22년까지 총 사업비 4.5조 원(국비 3.7조 원) 투자, 일자리 1.6만 개 창출
'25년까지 총 사업비 11.3조 원(국비 9.2조 원) 투자, 일자리 3.8만 개 창출
- ① **(풍력)** 대규모 해상풍력단지(고정식·부유식) 입지발굴을 위해 최대 13개 권역의 풍향 계측·타당성 조사 지원 및 배후·실증단지 단계적 구축
 - * 해상풍력터빈 테스트베드(경남 창원) 및 실증단지(전남 영광) 구축
- ② **(태양광)** 주민참여형 이익공유사업 도입, 농촌·산단 용자지원 확대, 주택·상가 등 자가용 신재생설비 설치비 지원(20만 가구)
- ③ **(수소) 생산부터 활용까지 쉼주기 원천기술 개발 및 수소도시 조성**
 - * ('20~'22) 3개 수소도시 조성(울산, 전주·완주, 안산), (~'25) 3개 도시 추가조성
- ④ **(공정전환)** 석탄발전 등 사업축소가 예상되는 위기지역 대상 신재생에너지 업종전환 지원

○ 친환경 미래 모빌리티

1. 과제 개요

- 온실가스 · 미세먼지 감축 및 글로벌 미래차 시장 선점을 위해 전기 · 수소차 보급 및 노후경유차 · 선박의 친환경 전환 가속화

2. 주요 투자사업 및 제도개선

- '22년까지 총 사업비 8.6조 원(국비 5.6조 원) 투자, 일자리 5.2만 개 창출
'25년까지 총 사업비 20.3조 원(국비 13.1조 원) 투자, 일자리 15.1만 개 창출

② (수소차) 승용 · 버스 · 화물 등 수소차 20만 대(누적) 보급,
충전인프라 450대(누적) 설치 및 생산기지 등 수소 유통기반 구축

* 수요처 인근에서 수소를 생산하여 충전소 등에 안정적으로 수소 공급

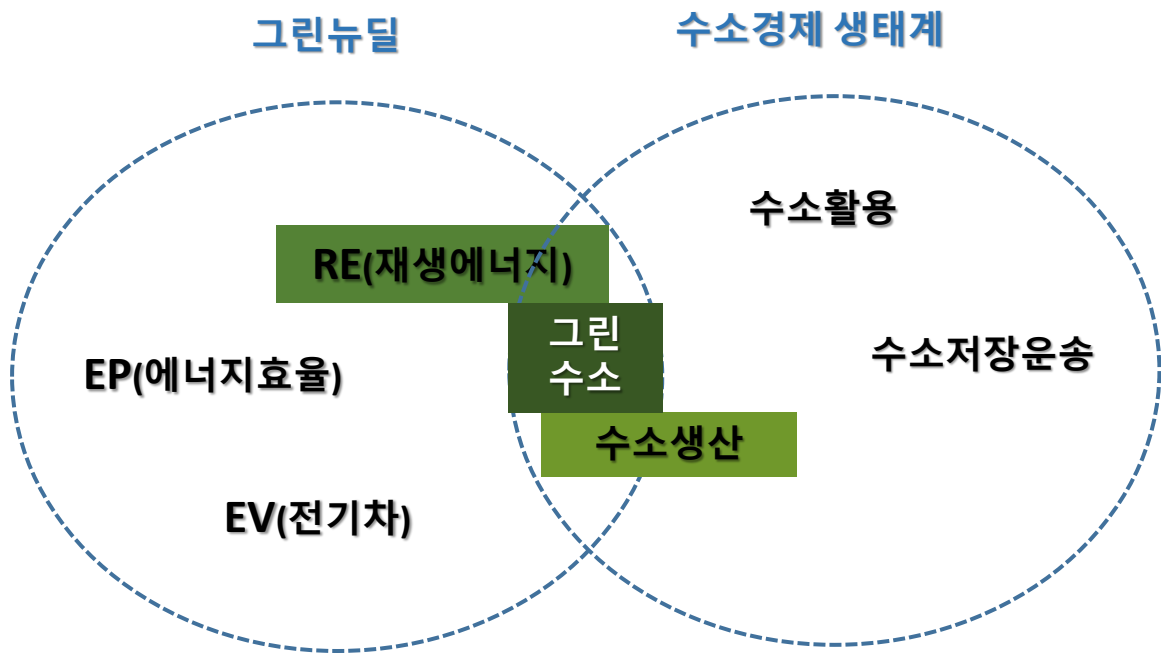
⑤ (미래차 핵심 R&D) 미래형 전기차 부품 · 수소차용 연료전지 시스템 ·
친환경 선박 혼합연료 등 기술개발 추진

- 기술개발, 규모의 경제 등으로 전기 · 수소차의 생산비용 하락 전망에 따라
'중장기 재정 운용전략' 수립('20. 下)
- 수소자동차 보급 확대를 위한 사업용 수소차 연료보조금*제도 단계적 도입
(「여객자동차 운수사업법」, 「화물자동차 운수사업법」 개정, '20. 下)
- * 자동차세 주행분(지방세) 중 기존 유가 보조금 활용

○ **그린뉴딜과 수소경제의 관계**

1. 그린뉴딜 위한 중점분야의 수소경제 가치 인식 제고 필요

그린뉴딜과 수소경제의 접점 : “그린수소” 확대 전략 필요





Ⅲ 수소경제 이행을 위한 향후 추진과제



○ 수소경제 활성화 로드맵의 향후과제: 개관

- ◆ '수소'가 어떠한 방식으로 얼마나 생산·공급되느냐가 에너지 정책적 측면에서는 중요함
- ◆ [수소경제 활성화 로드맵]의 수소 생산 및 공급전략은 다음 추가적인 보완작업이 필요

(1) 수소활용 부문별 수소 조달계획(생산방식 믹스(포트폴리오))의 구체화

(2) 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 목표의 구체화

(3) 친환경 CO₂-free 수소 생산·공급 확대

- 첫 번째와 세 번째 과제는 두 번째 과제와 종속관계임
- Top-down 방식으로 "전체 수소 생산 방식의 믹스(포트폴리오) 목표의 구체화"를 위한 작업을 선행하고 이를 바탕으로 나머지 과제를 진행

○ 수소 활용 부문별 수소 조달계획(생산방식 믹스(포트폴리오))의 구체화

- ◆ 수소 활용 산업인 수소차 및 발전용·자가용 연료전지 각 부문별 수소 조달계획이 부재
 - 특히 수송용 수소와 발전용 수소는 조달하는 방식이 다름
 - 이에 따라 수소 조달방식의 믹스(포트폴리오)도 차이가 있을 수 있음
- ◆ [수소경제 활성화 로드맵]에는 부문별 특성을 반영한 조달계획이 포함되지 않음
- ◆ 발전용 연료전지에 대한 수소 조달계획이 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오)결정
 - 2018년 기준 수소 수요는 연간 13만 톤, 이 중 97%가 발전용 수요(특히 천연가스)
 - 발전용 수소의 비중 2022년 89%, 2030년 65%, 2040년 63%까지 축소 전망
- ◆ 결국 부문별 수소 조달계획, 특히 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 목표를 설정하는 작업이 추가적으로 필요

● 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 목표의 구체화

◆ 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 목표가 구체화 필요

- [수소경제 활성화 로드맵]에는 주요 수소 생산방식을 부생수소, 추출수소, 수전해, 해외생산 등 4가지 방식 구분,
- 추출수소 목표 비중만 2030년 50%, 2040년 30%로 규정
- 나머지는 그린수소로 뭉뚱그려서 2030년 50%, 2040년 70%로 설정

◆ 심지어 2022년은 추출수소 비중 마저도 설정 안됨

- 2022년 42만 톤의 수소가 어떤 방식으로 공급될지 현재로서는 추정하기 어려움

◆ '그린수소'로 분류된 수전해 방식과 해외수입 간의 공급 비중 배분 설정 안됨

- 2040년 그린수소 약 368만톤 공급 의지가 표명되었지만 구체적인 목표나 계획이 불분명

◆ 결국 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 목표 구체화가 필요

○ 친환경 CO2-free 수소 생산·공급 확대

- ◆ 천연가스 추출방식 수소생산 확대 위해 온실가스 배출이 해결 과제임
 - [수소경제 활성화 로드맵]은 천연가스 추출방식을 단기적으로 확대 정책을 추진
 - 천연가스 추출방식은 초기단계에서 한시적으로 활용되는 것이 바람직함
- ◆ 환경적 측면에서 수소경제 이행 추진의 정당성은 중장기적으로 친환경 CO2-free 수소 공급 확대를 추진, 달성하겠다는 [수소경제 활성화 로드맵]의 약속이 전제됨
- ◆ 결국 친환경 CO2-free 수소 생산 공급 확대를 위한 전략 마련 필요



IV

| 수소생산 방식의 포트폴리오(권고안)



○ 정책목표의 식별과 선정

- ◆ 전체 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오) 결정 위해. 사회적 가치 반영 정책 목표를 식별, 구체화, 정량화가 필요
- ◆ 정책 목표로 수소 생산 전과정에서 온실가스 배출을 최소화하는 "수소생산의 탈탄소화"와 수소충전소 기준으로 수소 공급 가격을 최소화하는 "경쟁 가능한 수소가격"을 선정

(1) 수소생산의 탈탄소화

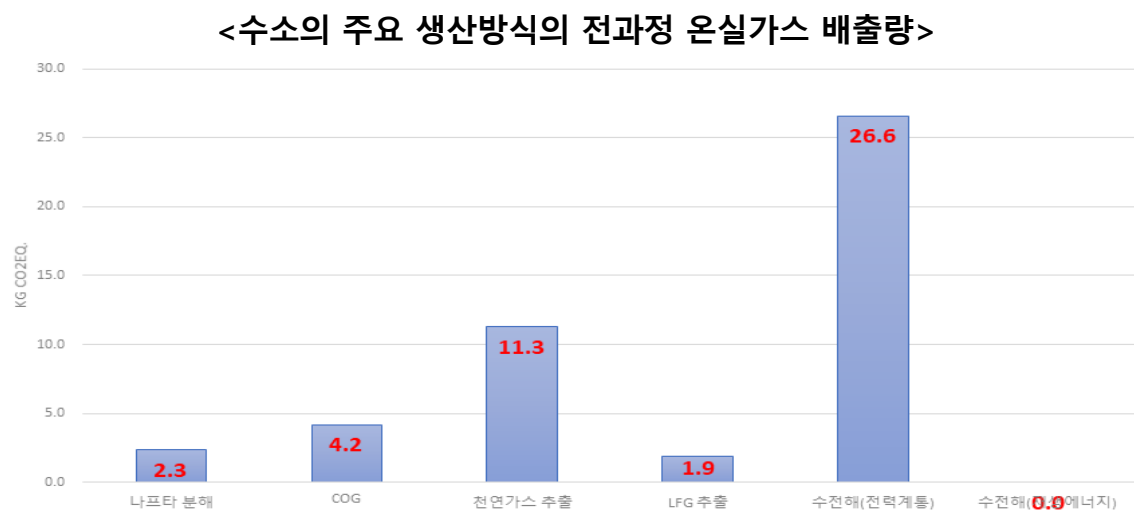
- 정책 목표로서 수소 생산 전과정에서 온실가스 배출을 최소화하는 "수소생산의 탈탄소화" 선정

(2) 경쟁 가능한 수소가격

- 정책목표로서 수소충전소 기준으로 수소 공급가격을 최소화하는 "경쟁 가능한 수소가격" 선정

수소생산의 탈탄소화

- ◆ 수소 생산방식별 전과정적인 온실가스 배출량을 기준으로 환경성을 검토함
 - 수소 생산 원료 채굴 단계 이후 전과정에서 온실가스 배출량을 추산
- ◆ 국내 주요 생산방식별 전과정 온실가스 배출량 분석 결과:
 - 수소 1kg 생산 시 **납사 분해공정 부생수소 2.3kg**, 석탄오븐가스(COG) 추출수소 4.2kg 등(저탄소 수소)
 - **천연가스 추출수소 11.3kg**, 전력 계통 전기를 활용한 수전해 수소 26.6kg
 - 재생에너지 연계 수전해 수소는 배출량이 **0kg** (→그린수소)



자료 : Yoo et al., 2018; 저자 일부수정

● 경쟁 가능한 수소가격

- ◆ 수소차 보급 위해 대체 관계에 있는 유사내지 동급 차종, 특히 경유차의 연료비용보다는 충분히 낮은 수준이 되도록 수소 충전요금(수소 판매단가) 설정 필요
 - 휘발유·경유·수송용 전기 등 다른 수송연료와 경쟁 가능한 수소 충전요금이 [수소경제 활성화 로드맵]의 이행에 필수 조건

<수송연료간 경제성 비교의 현황 및 전망>

| 구분 | | Diesel | LNG | EV | | FCEV |
|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 급속충전 | 완속충전 | |
| 현재 (2018) | 연료 단가 | 1,324원/ℓ | 711.5원/m3 | 174원/kWh | 71.3원/kWh | 8,000원/kg |
| | 연비 | 13.4km/ℓ | 11.0km/m3 | 5.3km/kWh | 5.3km/kWh | 96.2km/kg |
| | 연료비 | 99원/km | 65원/km | 33원/km | 14원/km | 83원/km |

| 구분 | | Diesel | LNG | EV | | FCEV |
|--------------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | | | 급속충전 | 완속충전 | |
| 전망 (2030) | 연료 단가 | 1,324원/ℓ | 711.5원/m3 | 376원/kWh | 173원/kWh | 6,000원/kg |
| | 연료비 | 99원/km | 65원/km | 71원/km | 33원/km | 62원/km |

자료 : 한국가스공사, 수소 사업 추진 전략(안), 2019

○ 경쟁 가능한 수소가격

- ◆ 수소차 충전소 민간 운영사업자 수익성 감안, 수소 충전요금(수소 판매단가)의 인하는 충전소 공급가격(=수소 생산단가+이송단가) 인하 수반
- ◆ [수소경제 활성화 로드맵] 충전소 공급가격 목표 : 2022년 시장 초기 가격 6,000원/kg, 2030년에는 4,000원/kg, 2040년에는 3,000원/kg

<수송방식별 생산비용 전망>

(단위: 원)

| 생산방식 | 2018년 | 2022년 | 2030년 | 2050년 |
|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 부생수소 | 1,500 ~ 2,000 | 1,500 ~ 2,000 | 1,500 ~ 2,000 | 1,500 ~ 2,000 |
| 천연가스 추출 | 2,700 ~ 5,100 | 2,600 ~ 4,800 | 2,500 ~ 4,300 | 2,400 ~ 3,900 |
| 수전해 | 9,000 ~ 10,000 | 7,000 ~ 8,000 | 3,000 | 2,000 |
| 수입 | - | - | 3,000 | 2,000 |

자료 : 김재경, 2019

○ **적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안**

- ◆ 현재까지 계획된 수소 조달계획 들을 토대로 추정된 수소 생산방식 포트폴리오
 - 천연가스 추출방식 비중 2018년 99.9%, 2022년 96%, 2030년 83%, 심지어 2040년 78%로 절대적인 비중 차지

<수소 생산방식의 포트폴리오(BAU)>

| 구 분 | 부생수소 | 추출수소 | 수전해 | | 수입 수소 | 합계 |
|------|---------|------|------|-----------|----------|------|
| | 납사 분해공정 | 천연가스 | 전력계통 | 재생 에너지 | | |
| 2018 | 0.1% | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| 2022 | 10% | 96% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| 2030 | 3% | 83% | 0% | 2% | 10% | 100% |
| 2040 | 2% | 78% | 0% | 2% | 9% | 100% |

○ 적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안

- ◆ 심지어 2040년까지 수소 공급의 절대량은 여전히 천연가스 추출방식에 의존
- ◆ 발전용 연료전지가 아직 천연가스 추출방식에 의존적이며, 현재까지는 전환할 구체적인 계획이 부재
 - 다만, 2020년 8월 납사분해공정 부생수소 활용 50MW급 대산그린에너지(주)의 연료전지 발전소 건립, 운영 중

<대산그린에너지(주)의 연료전지 발전소 조감도>

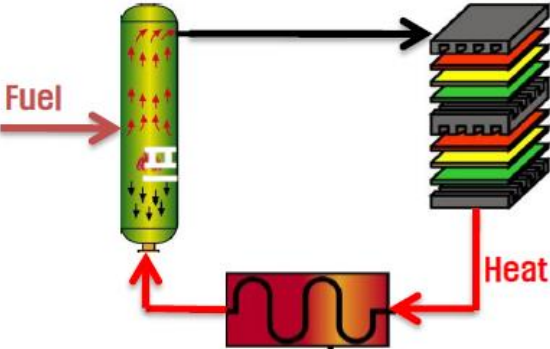


자료 : 월간수소경제, 2019

● **적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안**

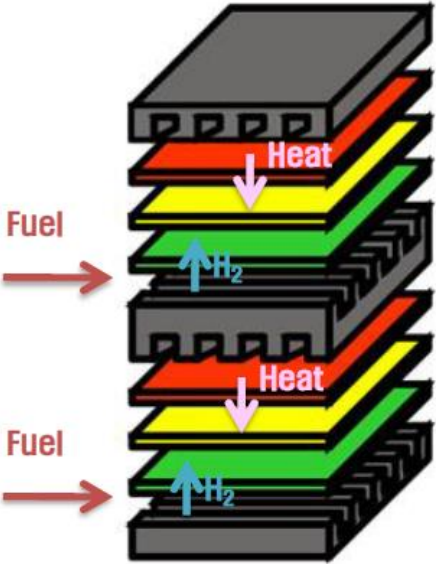
외부 개질형 (PEMFC & PAFC)

- 독립된 연료프로세서
- 연료의 다양성



내부 개질형 (MCFC & SOFC)

- 연료전지 내부에 연료개질기 위치
- 고효율
- 고온형 연료전지



○ **적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안**

◆ 수소 생산방식별 공급 가용량 제약조건 고려, "수소생산의 탈탄소화"와 "경쟁 가능한 수소가격" 달성 가능한 포트폴리오 제안

<적정 수소 생산방식의 포트폴리오(권고안)>

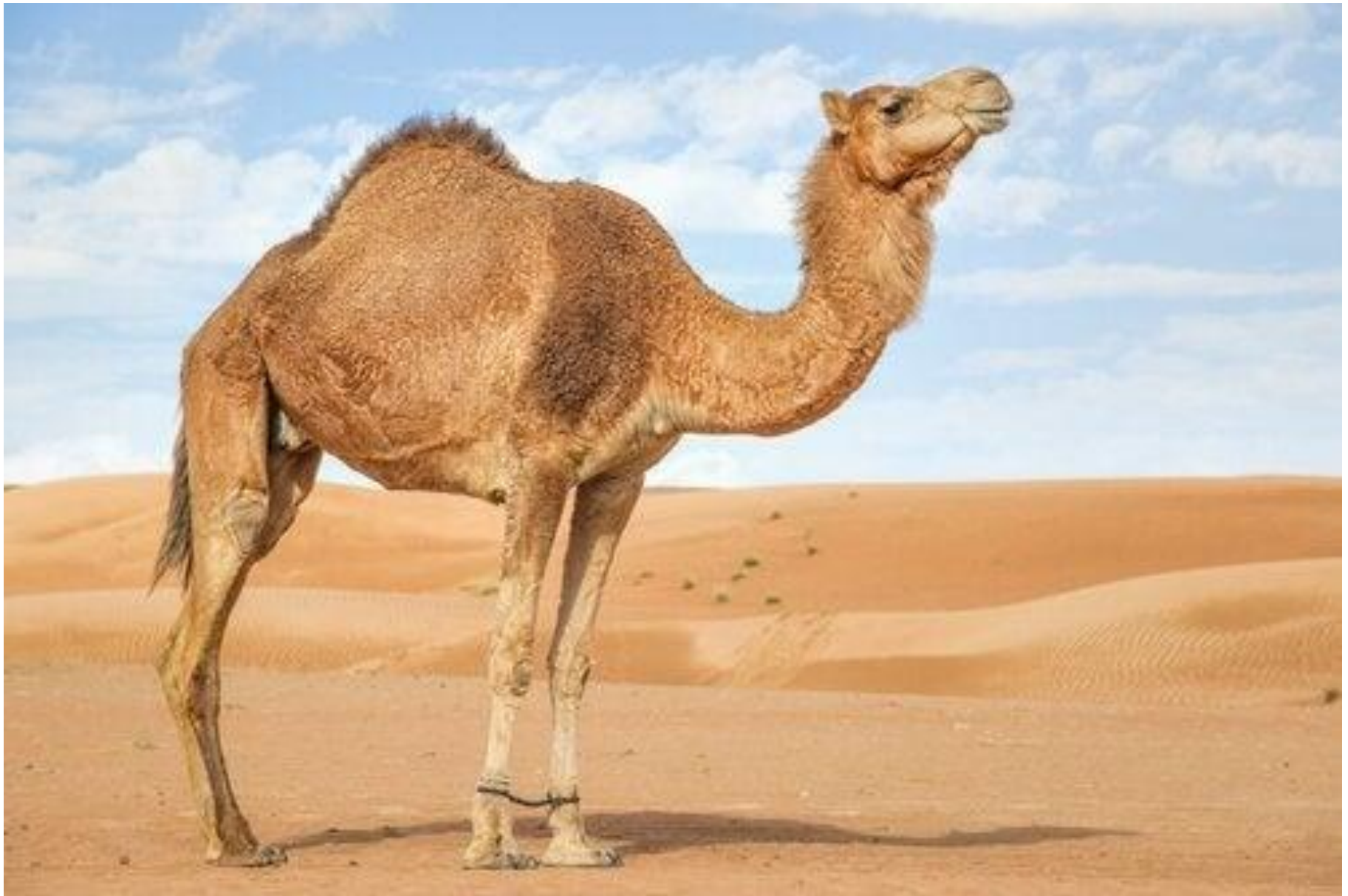
| 구 분 | 부생수소 | 추출수소 | 수전해 | | 수입 수소 | 합계 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| | 납사 분해공정 | 천연가스 | 전력계통 | 재생 에너지 | | |
| 2018 | 0.1% | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| 2022 | 10% | 90% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| 2030 | <u>16%</u> | <u>50%</u> | <u>14%</u> | <u>10%</u> | <u>10%</u> | 100% |
| 2040 | <u>5%</u> | <u>30%</u> | <u>1%</u> | <u>7%</u> | <u>57%</u> | 100% |

● 적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안

- ◆ 2022년까지는 부생수소 약 10%와 천연가스 추출수소 90%로 구성
- ◆ 2030년까지 천연가스 추출수소 비중 50%, **생산방식의 다각화** 필요
 - 특히 저탄소 납사분해 공정 부생수소 15.5%로 확대, 생에너지 연계 수소 9.6%까지 확대
 - 다만, 부생수소와 재생에너지 연계 수소의 공급 제약 감안, 부족한 수소 공급 물량은 전력 계통 연계 수소가 13.7%를 담당
- ◆ 2040년까지 천연가스 추출수소 30%로 축소, 공급 물량의 56.6% 해외 수입수소가 담당, **천연가스 추출수소가 해외 수입수소로 대체 필요**
 - 재생에너지 연계 수소 6.7%로 축소, 그러나 시장규모 확대로 공급물량은 2030년 거의 2배 확대
- ◆ 결국 "수소생산의 탈탄소화"와 "경쟁 가능한 수소가격"이라는 정책 목표를 달성 위해 발전용 연료전지의 수소 생산방식의 믹스(포트폴리오)를 적정한 수준으로 전환 필요
→ 2040년까지 해외 수입수소 전용 발전용 연료전지 설비 6.6GW까지 확대 필요

● 적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언

- ◆ EU 추진 중인 그린수소 인증제도(CertifHy Guarantee of Origin(GO)), 벤치마킹한 '친환경 CO2-free 수소 인증제도'의 국내 도입이 필요
- ◆ '친환경 CO2-free 수소 인증제도' 연계 발전용 연료전지 REC 가중치 조정 등 친환경 CO2-free 수소 생산 및 공급 확대를 지원할 경제적 인센티브 체계를 수립 필요
- ◆ 투입 원료를 천연가스, 일반수소, 저탄소 인증 수소, 그린 인증 수소로 구분 각 원료별 가중치 차등 적용
(예시) 천연가스 '1', 일반수소 '2', 저탄소 인증 수소 '3', 그린 인증 수소 '5'
 - 그린 인증 수소의 높은 REC 가중치 적용시 그린 인증 수소 활용 부가수익을 재생에너지 사업자에게 배분 → 재생에너지 연계 수전해 수소 대상 REC 상당액 보상



● 걱정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언

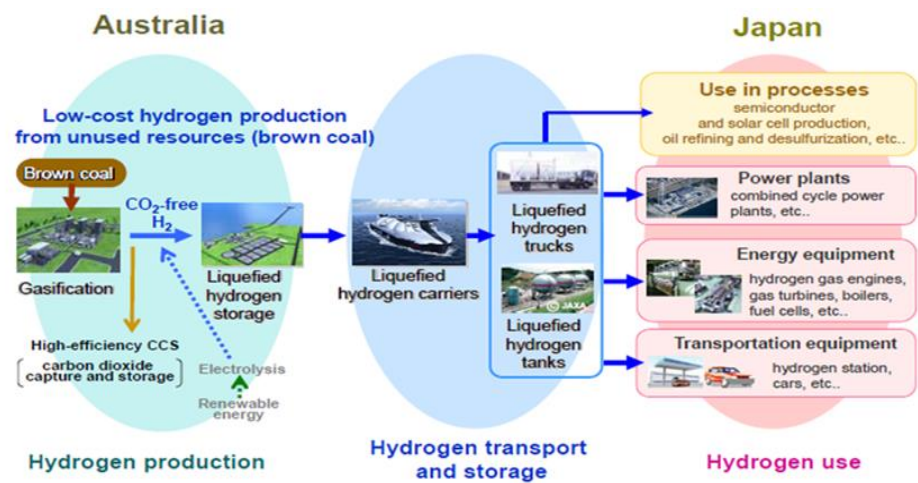
- ◆ 사실 수소는 에너지(원)이 아닌 “에너지 운반체(energy carrier)”
 - 수소는 에너지 전달 매개체(유사기능 : 구리전선, 배터리 등)
 - 특히 전기나 열 등을 대규모로 저장, 장거리로 운송할 수 있는 기능이 내장
- ◆ 국제 수소경제 활성화로 수소의 “대규모 저장과 장거리 운송” 능력 진가 발휘, 궁극적으로 에너지 교역 패러다임의 변화를 주도 가능
 - 수소의 대규모 저장과 장거리 운송 능력은 해운을 통해 바다 건너로 재생에너지 전기를 수소로 체화시켜 이송 가능
 - 석유나 천연가스 주산지인 중동을 중심으로 한 교역 태양광/풍력 등 재생에너지 주산지 (예: 호주나 사하라 내륙 사막 등) 중심으로 전환도 가능
- ◆ 국제 수소경제 활성화로 에너지 교역 패러다임 변화에 대비 위한 중장기적인 준비 요구

☞ 수소를 통해 재생에너지(태양광, 풍력 등) 수입 길열림

○ **적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언**

- ◆ 일본 – 호주 갈탄 추출수소의 액화방식 운송 프로젝트(**HySTRA 프로젝트**)
 - 호주 빅토리아 **갈탄** 기반 액화 수소 공급망 구축 위한 일본(NEDO) 시범 프로젝트
 - 일본 가와사키 중공업, J파워, 이와타니 산업, 쉘 재팬 공동 HySTRA를 설립, 각 기업의 특화 기술 중심으로 협업을 추진 중
 - 갈탄의 가스화, 액화수소의 장거리 대량운송, 액화수소 하역 등 기술을 개발 진행 중
 - 2030년 일본 본격 도입 목표(**2021년 동경 올림픽 시범사업** 예정)

<HySTRA 프로젝트 개념도>



○ 적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언

- ◆ 일본 - 호주 갈탄 추출수소의 액화방식 운송 프로젝트(**HySTRA 프로젝트**)
 - 2019년 11월 4일 수소 액화운반선 "수소 프론티어" (8000톤급) 진수 : 수소 16만제곱미터 이송

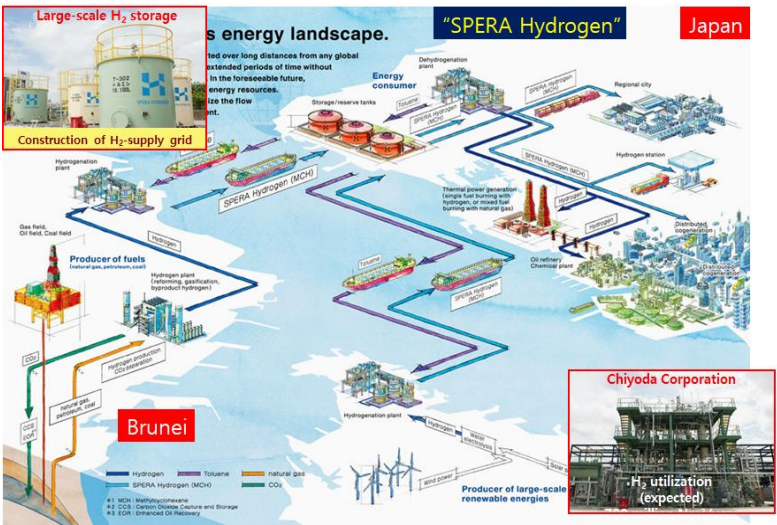
<수소 프론티어 진수식>



○ **적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언**

- ◆ **일본 – 브루나이 천연가스 추출수소의 액상(MCH) 방식 운송 프로젝트 (SPERA 프로젝트)**
 - 미쓰비시의 브루나이 LNG액화기지, 치요다 화공건설이 수소화 플랜트시설 건설·니폰유센이 선박을 이용 일본으로 2020년부터 수소 수송을 개시할 계획으로 진행 중
 - 실증단계에서는 4만대 분(210톤/년)의 수소가 공급될 예정임
 - 치요다 화공건설 등 일본계 4사가 **AHEAD(Advance Hydrogen Energy Chain Association for TechDevelop)** 수소에너지 체인 기술 연구조합을 결성하여 프로젝트를 수행 중
 - 특히 치요다 화공건설이 현지에 건설 중인 수소화 플랜트에서는 천연가스 추출수에 톨루엔을 첨가, 액상 **MCH(Methylcyclohexane)**로 변환하여 일본으로 수송, 일본에 하역 후 가와사키에 탈수소 플랜트를 건설하고 다시 수소로 전환하여 가스터빈 발전의 연료로 사용할 예정

<일본의 SPERA 프로젝트>



● **적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언**

- ◆ 2030년 해외수소 도입 위해 **수소 운송상 벨류체인별 특화 기술 개발과 병행 종합적인 수소 해운이송 프로젝트**가 필요
 - 현재 수소운반선박, 특히 액화수소 운반 기술개발과 병행 수소 운송 상 벨류체인별로 특화기술을 개발 위한 추가적인 기술개발 로드맵 마련 필요
 - 수소 수출의향이 있는 국가(호주, 캐나다 등 10개국) 직접 연계하여 프로젝트 기획이 요구
- ◆ 해외 도입 수소의 소비처로 **전용 대규모 발전용 연료전지 설비** 구축 및 운영으로 규모의 경제실현도 추진 필요
 - 장거리 이송 경제성을 감안하면 대규모 수요처가 마련되어야 해외 수도 도입이 실효성 발생
 - 2030년 이후 시범사업으로 해외도입 수소 전용 500MW급 발전용 연료전지나 수소 가스터빈 발전설비 구축, 운영 제언
 - 2040년까지 GW급으로 확대, 경제성 확보가 가능할 수 있도록 지원 제언

적정 수소생산 방식 포트폴리오 달성을 위한 제언

해외 청정수소 공급망 구축을 위한 해외수소 사업

해외의 자가 수소자원을 선점하여 수소 산업생태계 육성 및 경제적인 수소의 안정적 공급 체계 구축

산업부 및 유관기관 30개로 구성된 '그린수소 해외 사업단'을 출범하여 사업 추진

1단계(1년 이내) 초기전략 수립
Y 정부 주도로 본 사업 추진의 타당성 조사를 先 진행하며, 기획 초기부터 참여기업의 전략을 반영 하여 추진

2단계(4~5년) 공동실증
Y 타당성 조사 결과 분석을 통한 기업과 정부 공동으로 우선적인 사업 실증 추진
Y 철저한 단계 평가를 통한 진도 관리와, 투자 유치를 위한 심도깊은 검증을 동시 진행

3단계(3~4년) 사업화
Y 대규모 실증 및 사업화는 기업 주도로 진행

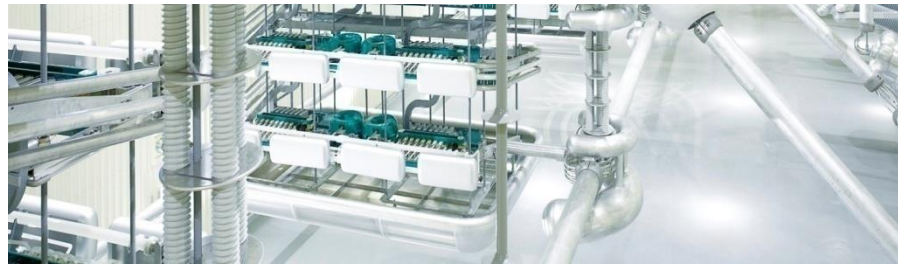
| 수소생산 | | 수소운송 | | 국내공급 | |
|------------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| 수소원 + 국가 | 변환 + 이송 | 인수기지 + 공급인프라 | | | |
| 태양광 풍력 수력 | 미국/캐나다 | 고압가스배관 액상(물수증기) 이송 | 고압가스배관 액상(물수증기) 이송 | 고압가스배관 액상(물수증기) 이송 | 류브텍에너지 |
| 가스 (LNG, LPG, 유전가스) + CCS + EOR | 호주/뉴질랜드 | 액상(물수증기) 이송 | 액상(물수증기) 이송 | 액상(물수증기) 이송 및 저장 | 파이프라인 |
| 석유 | 인도네시아/브루나이 | 액상(물수증기) 이송 | 액상(물수증기) 이송 | 액상(물수증기) 이송 및 저장 | 액상(물수증기) 이송 |
| | 사우디/UAE 등 | 액화 | 액화 이송 | 액화 이송 및 저장 | 액화 이송 및 저장 |
| | 노르웨이 | | | | 액화 이송 및 저장 |



감사합니다

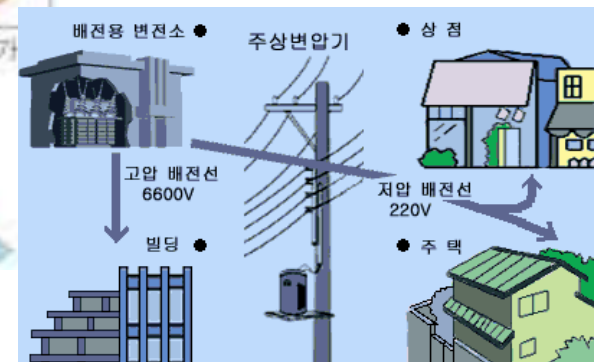
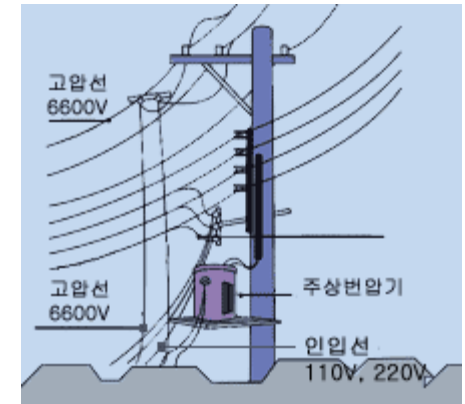
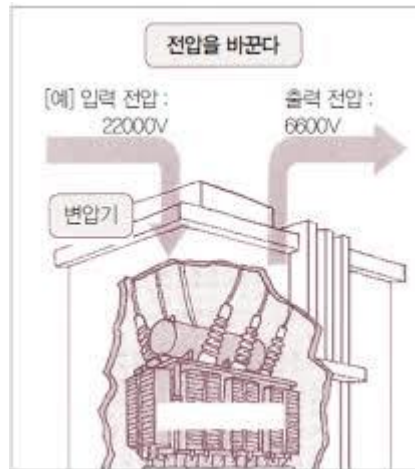


원전과 신재생에너지



2020.10.22

I. 기존의 전력계통



● 송배전망의 공칭전압 선정 기준

□ 송배전 공칭전압 결정방법



일반적으로 발전기 단자전압을 기준으로 결정

□ 지역별 결선 방식 별 결정 방법

| 지 역 | 결선방식 | | 송배전전압 |
|-----|------|------|--|
| | 발전단 | 송배전단 | |
| 유 럽 | △ | △ | 발전전압×일정배수 (66, 154kV) |
| 미 국 | △ | Y | 발전전압×1.732× 일정배수 (22.9, 345, 765kV) |

□ 발전기 단자전압

○ 수력 : 3.3, 6.6, 11, 13.2, 15.4, 16, 18kV

○ 화력/원자력 : 20, 22, 24kV

☞ 격상에 따른 기기 개발 시 기존 기기의 단순 배수만큼 절연강도를
상승시킴으로써 개발의 이점이 있음

○ 345kV 송전전압 (1976년 최초 가압, 미국방식)

→ $20\text{kV} \times 10\text{배} \times 1.732 = 346.4\text{kV} \approx 345\text{kV}$

○ 765kV 송전전압 (2002년 최초 가압, 미국방식)

→ $22\text{kV} \times 20\text{배} \times 1.732 = 762.1\text{kV} \approx 765\text{kV}$

○ 22.9kV 배전전압 (1965년 최초 가압, 미국방식)

→ $13.2\text{kV} \times 1.732 = 22.86\text{kV} \approx 22.9\text{kV}$

□ 우리나라 송전전압 격상

○ 해방 이후 기술도입선에 따라 송전전압이 정해짐

- 유럽(IEC 규격) : 66/154kV(Δ - Δ)

- 미국(ANSI 규격) : 22.9/345/765kV(Δ -Y)

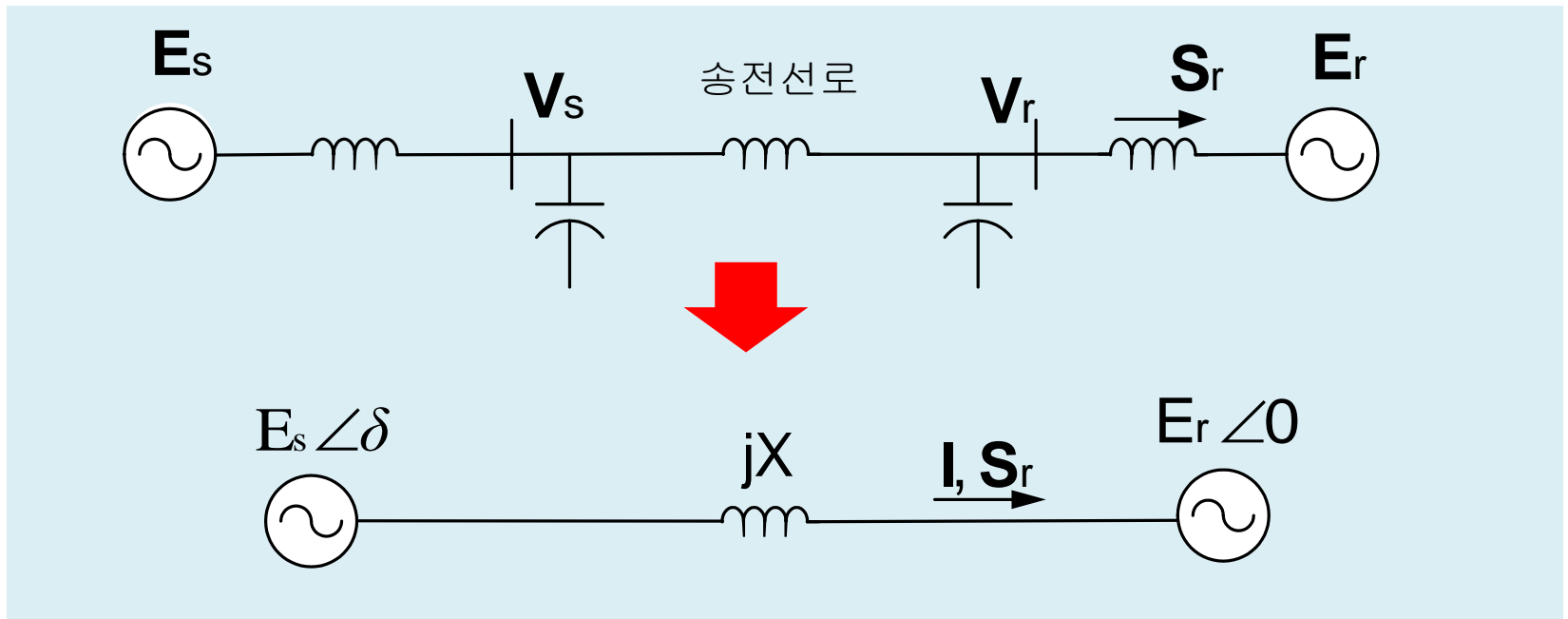
○ $13.2\text{kV} \times 1.732 = 22.86\text{kV} \approx 22.9\text{kV}$ (13.2kV : Δ , 22.9kV : Y)

○ $11\text{kV} \times 14 = 22\text{kV} \times 7 = 77\text{kV} \times 2 = 154\text{kV}$

(11, 22, 77kV : Δ , 154kV : Δ)

○ $20\text{kV} \times 10 \times 1.732 = 346.4\text{kV} \approx 345\text{kV}$ (20kV : Δ , 345kV : Y)

○ $22\text{kV} \times 20 \times 1.732 = 762.1\text{kV} \approx 765\text{kV}$ (22kV : Δ , 345kV : Y)



$$P_s = \frac{E_s \cdot E_r}{X} \sin \delta$$

Impedance \leftarrow X \rightarrow Angle

$$Q_s = \frac{E_s^2 - E_s E_r \cos \delta}{X}$$

\rightarrow Voltage \leftarrow X Impedance

- 주파수
- 전압
- 송전선로
- 부하위치
- 발전단
- 송전선로



I. 신재생 확대

재생에너지 : 태양광, 풍력, 지열

장점 : 자연에서 무궁무진!!!

단점 : 1. 간헐성(밤과 낮의 차이에서 오는 에너지의 불균형)

2. 변동성(갑작스럽게 발전이 안되는 현상)

3. 제어가 어렵다 X

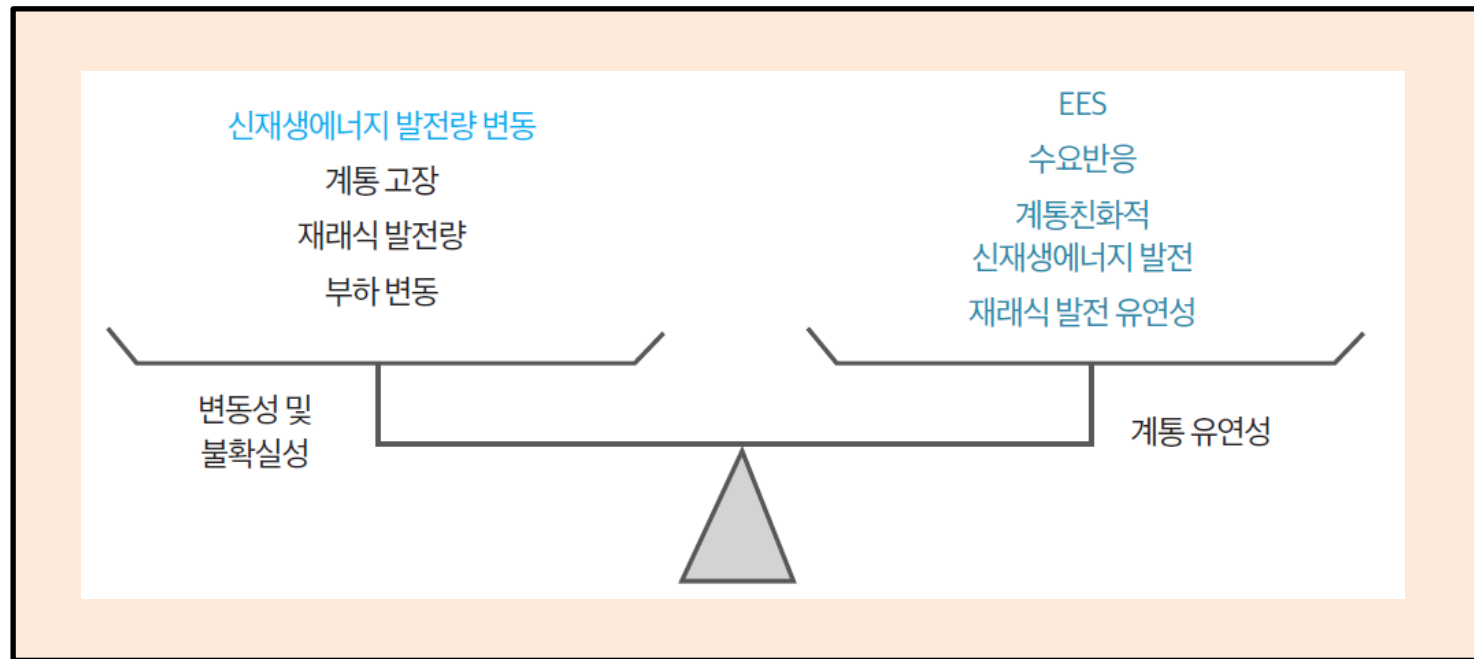
4. 무효전력제어가 X

5. 효율이 낮다

6. 지역의 의존성

1. 송전선로 증설
2. ESS
3. 재생에너지 x 10
4. 수소저장

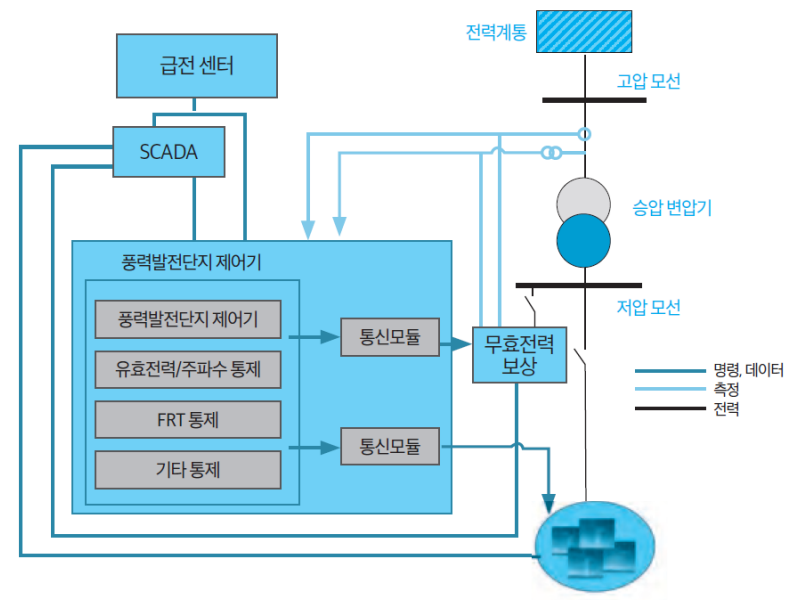
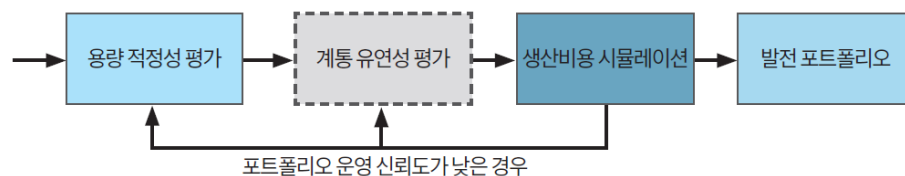




<재래식 발전 유연성>

* Cycling, Ramping*

- LNG > 화력 > 원자력
- 신재생 + LNG

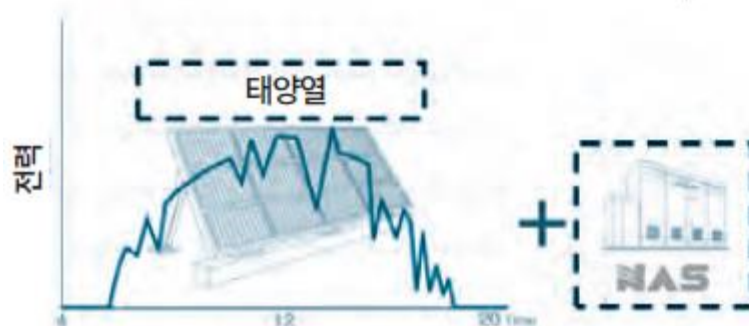


간헐적 신재생에너지에 대한 보상

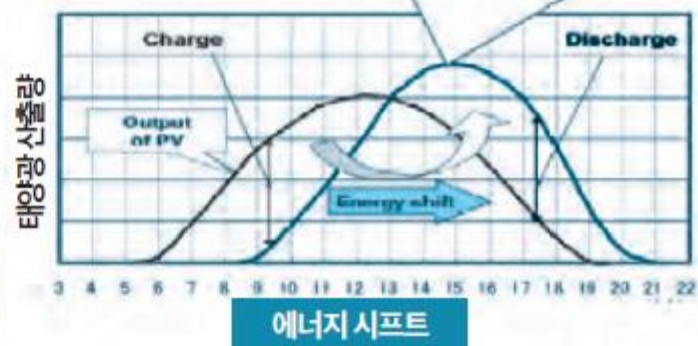


평탄 운영

NAS에 의한 스무딩 및 전력시프팅



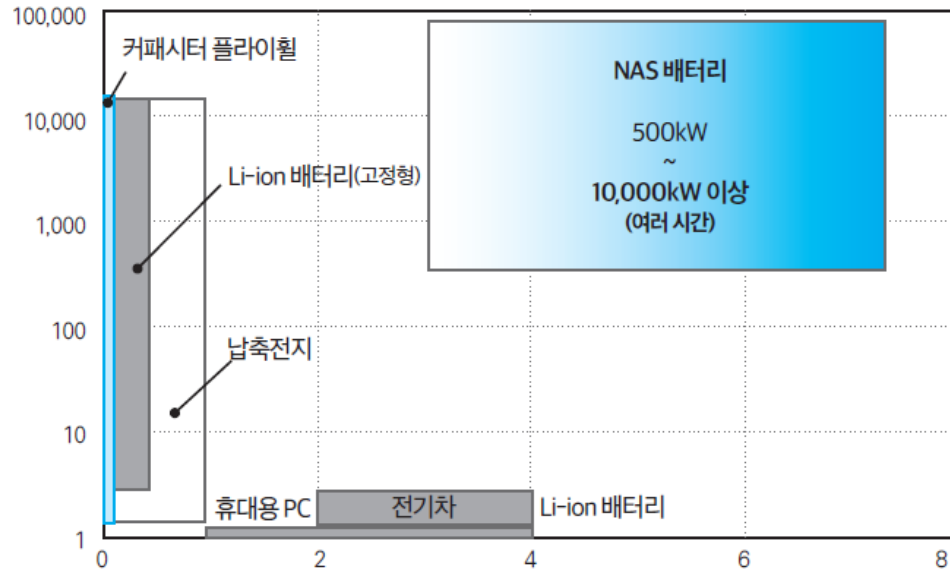
이용이 많은 시간대로 충분한 용량을 이동시킴



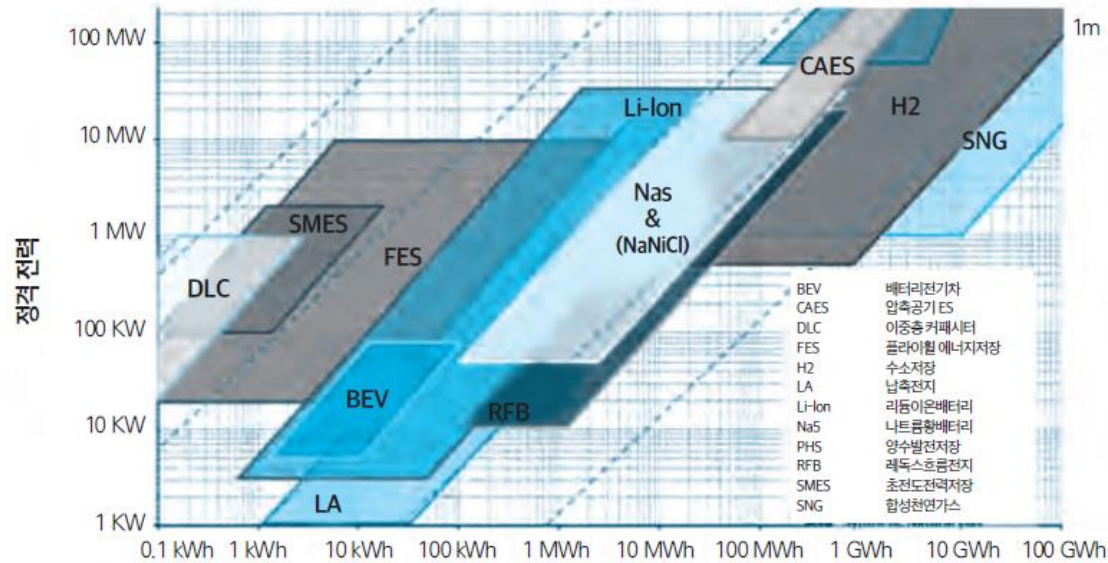
에너지 시프트

시스템 출력[kW]

대용량 · 장시간



시간[시]

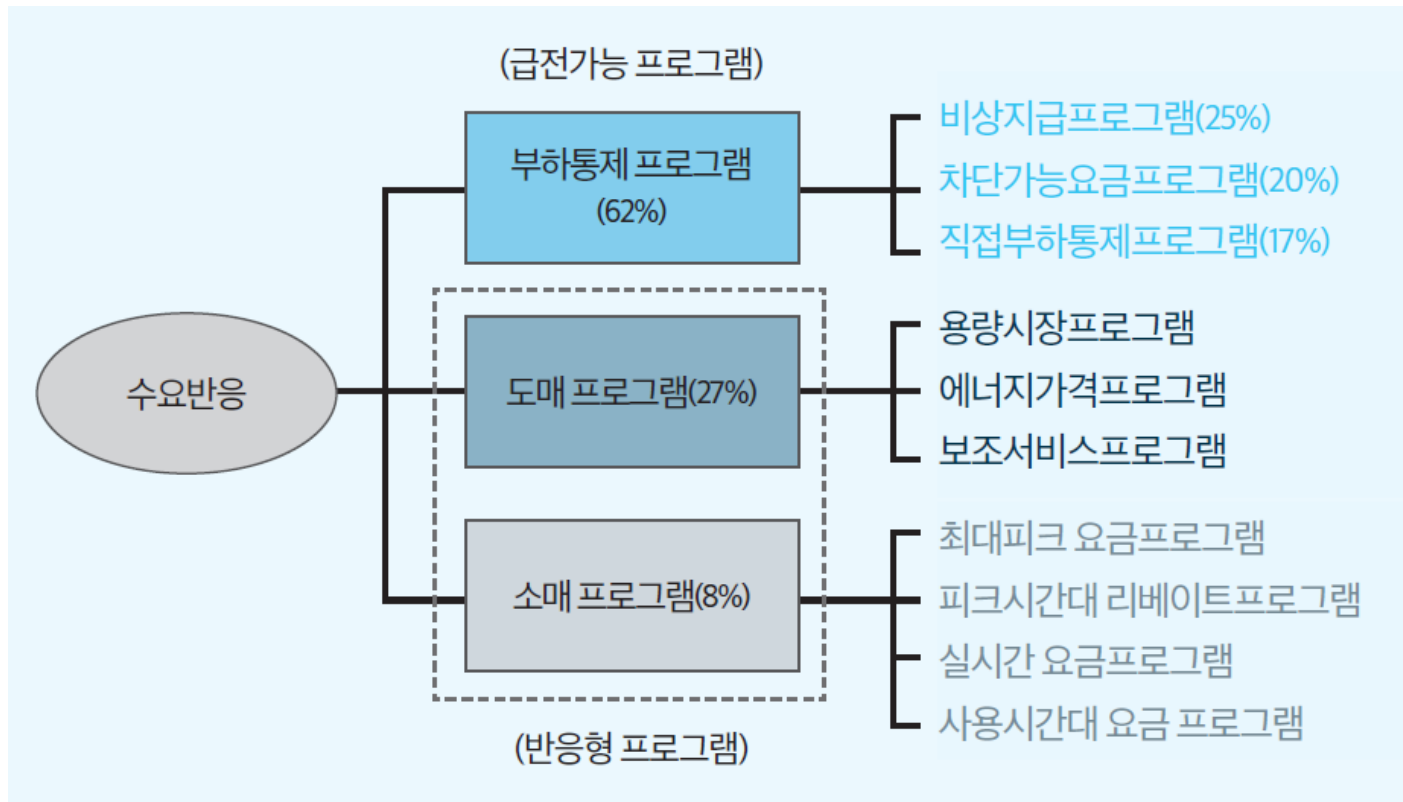


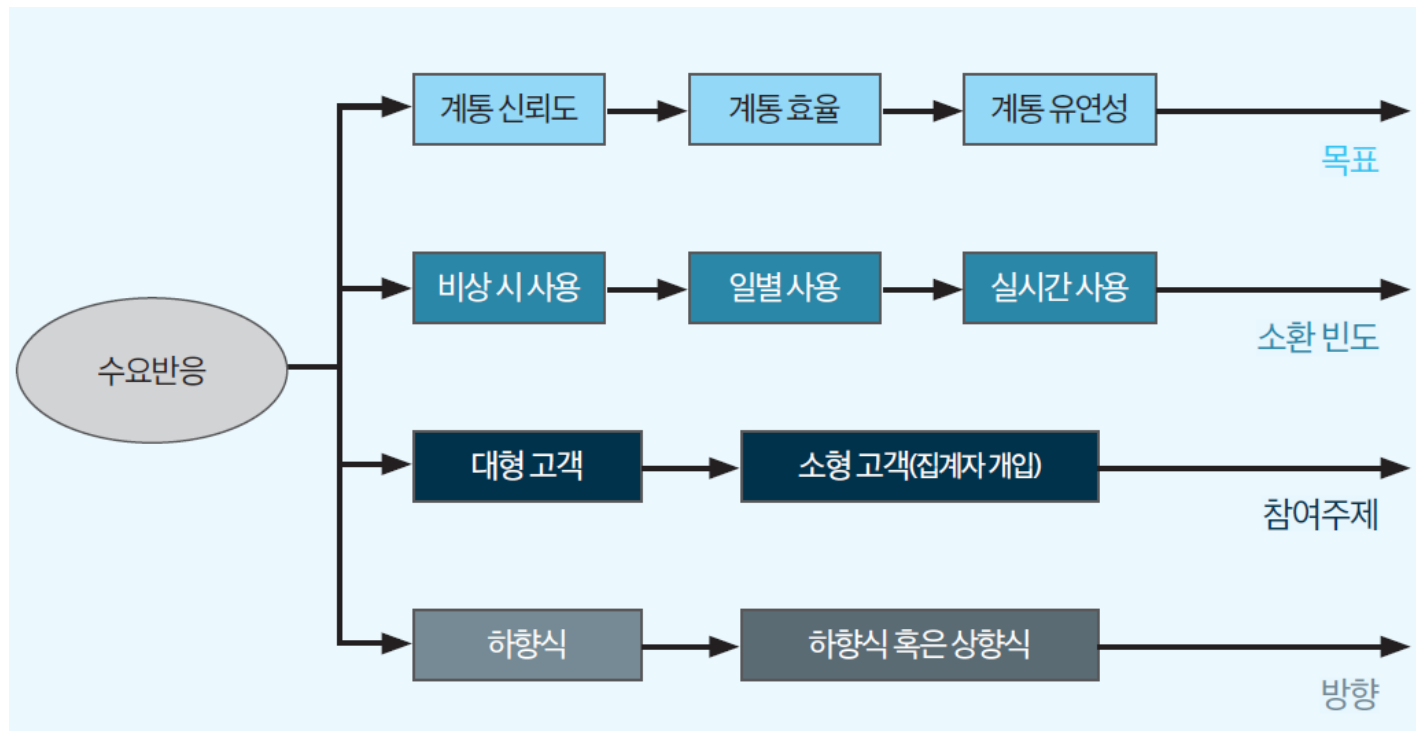
| 역할 | 시간 단위 | 설명 | 신재생에너지 연계에 미치는 효과 | EES 기술의 예 |
|--|----------|--|--|--------------------------------|
| 부하이동/ 차익거래 (arbitrage)/ 부하평준화 | 몇 시간~며칠 | EES로 오프피크 에너지 저장 후, 피크 수요시 방전 | 실시간 부하사이클과 일치하지 않는 일별 발전사이클에 대한 솔루션 | NaS 배터리, CAES, PHS, RFB |
| 계절별 부하이동 | 몇 달 | EES가 한번에 수 개월 간 에너지 저장하고, 이것을 연중 신재생에너지 발전량이 낮아지는 시기에 방출 | 신재생발전 에너지 연중 사용으로, 태양광이 적거나 한 계절의 화력발전 의존도를 낮춤 | 수소, SNG |
| 부하추적/램핑 | 몇 분~몇 시간 | EES가 일일 시간대별 수요 변동 추적 | 부하가 높은 시점에 신재생에너지 발전량 부분적 예측불가능성 완화 | 배터리, 플라이휠, PHS, CAES, RFB |
| 전력품질 및 안정성 | <1초 | 전압 상승, 하강, 고조파처리를 위해 계통에 무효전력 제공 | 신재생에너지 발전의 통제불가능한 변동성으로 야기/악화된 전압불안정 및 고조파 완화 | LA배터리(납축전지), NaS배터리, 플라이휠, RFB |

| | | | | |
|-------------------|----------|--|--|---|
| 주파수조정 | 몇 초~몇 분 | 주파수 안정을 위한 에너지공급량의 신속감응 식 증가/감소 | 신재생에너지 발전 공급량의 통제불가능한 순간 변동성 완화 | Li-ion배터리, NaS 바토라, 플라이휠, PHS(첨단 가변속도 제어 장치) |
| 순동예비력 | -10분 | 비상상황(예: 발전기 탈락) 대응을 위한 에너지공급량의 신속감응식 증가/감소 | 신재생에너지 자원 성능이 예상과 다를 경우 에너지를 제공(제거)하는 등 신재생에 너지 발전 공급량의 부분적 예측불가능성 완화 | PHS, 플라이휠, 배터리 |
| 보조예비력 | 몇 분~몇 시간 | 순동예비력을 대체하기 위해 등장하는 저속감응식 자원 | 신재생에너지 공급량이 매우 심각하고 장기적으로 줄어드는 경우에 안정적 전원 공급. 신재생에너지 연계를 위한 용도 관점에서 는 적절하지 않음 | Li-ion |
| 독립 계통 지원 | 몇 초~몇 시간 | EES는 도서지역의 경우 등 소규모 전력계통에서의 신재생에너지 연계에 도움이 될 수 있음 | 신재생에너지 발전의 변동성/예측불가능성 완화를위한 부하이동 및 전력품질 애플리케이션 | LA배터리 (납축전지) |
| 비상 전력공급/ 블랙스타트 | 몇 분~몇 시간 | EES가 재난형 정전 시 전력계통 재가동에 이용될 수도 있음 | 신재생에너지 연계에 구체적인 이익은 없으나 저장자원이 계통에 블랙스타트 역량을 제공할 수는 있음 | LA배터리 (납축전지) |

수요반응(부하이동 / Balancing)

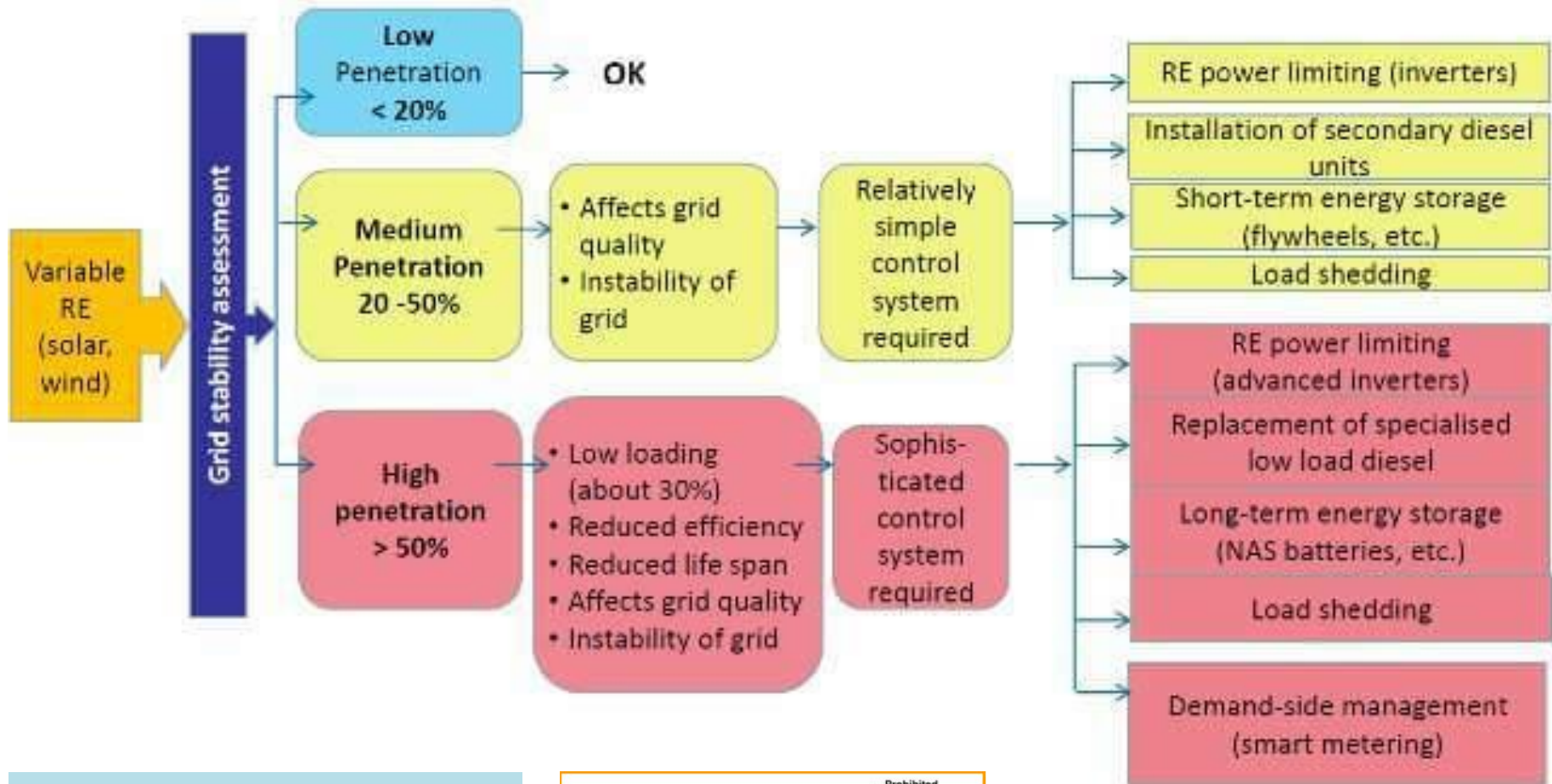
- Dispatchable Program/Reactive Program
- Dispatchable Program : **부하관리 /Control**
- Reactive Program



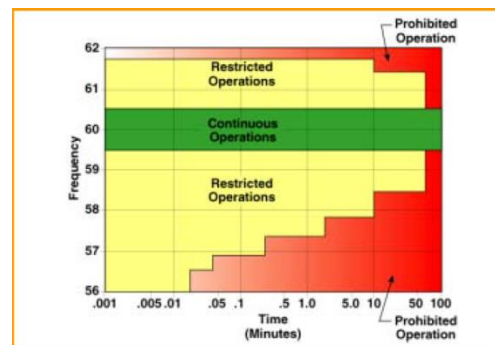


- 계통 신뢰도 DR : 비상시
- 계통의 효율성 DR : 위기 피크부하 저감
(Peak Shaving)
- 계통의 유연성 향상 DR
재래식 발전의 보조 서비스
전기자동차 등

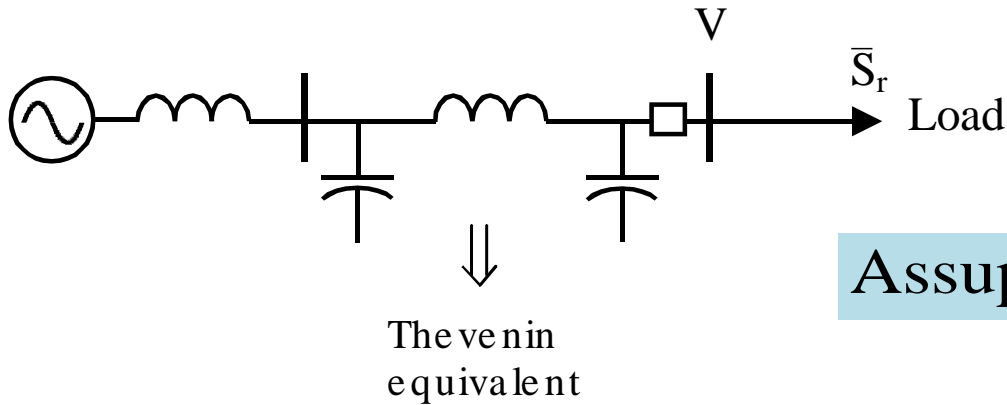
VRE 20% Estimation



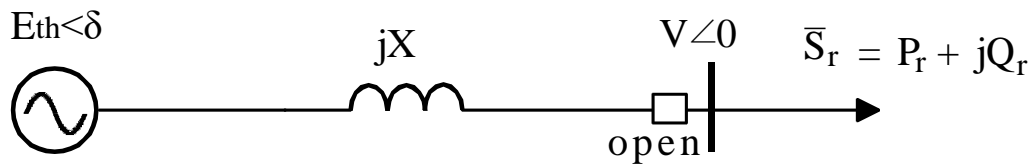
1. Voltage Stability
2. Overvoltage
3. Inertia Ratio
4. Spinning Reserve
5. Power Quality



VRE 20% Estimation



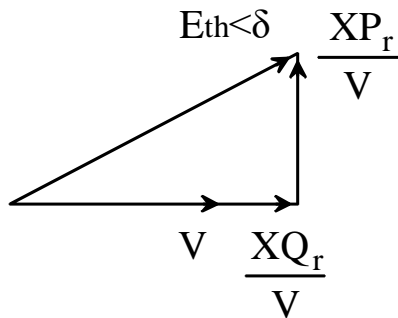
Assumption $\rightarrow X = 0.2, V = 1$



Receiving End

Transient reactance is 4~5 times of reactance

Actual $\rightarrow X = 0.05, V = 1$



Case 1: $\cos \phi = 1, Q = 0$

$$E_{th} \angle \delta = V - j \frac{XP_r}{V} = 1 - j \frac{0.2 \cdot 1}{1} = 1.02 \angle 11.316^\circ$$

VRE 20% Estimation

**VRE : Variable Renewable Energy
20% Injected to AC network**

$$H_{\text{Equivalent}} = \frac{P_{\text{AC1}} \cdot H_1 + P_{\text{AC2}} \cdot H_2 + P_{\text{AC3}} \cdot H_3}{P_{\text{AC1}} + P_{\text{AC2}} + P_{\text{AC3}} + P_{\text{VRE}}}$$

$$H_{\text{Equivalent}} = \frac{200 \cdot 4 + 50 \cdot 2 + 150 \cdot 3}{200 + 50 + 150 + 80} = 2.8$$

Inertia 3.375 → 2.8로 감소

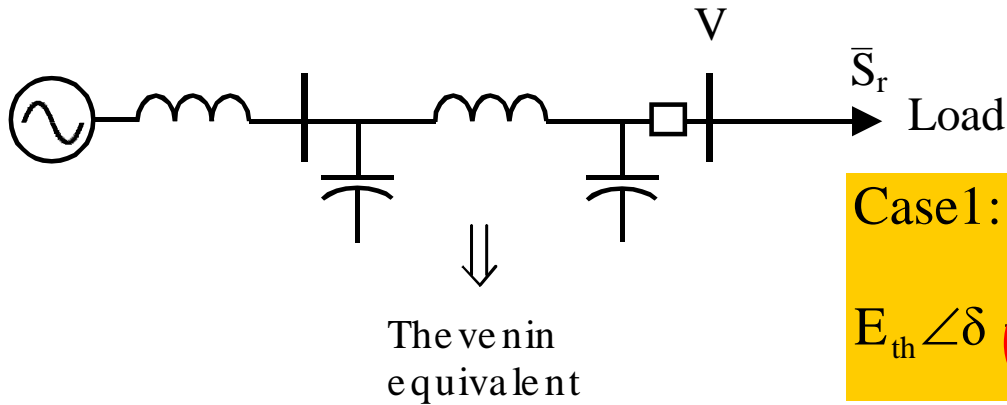
$$\frac{H_{\text{Equivalent}}}{0.9} = \frac{3.375}{0.9} = 3.75$$

**Generator operates
at 0.9 power factor**

$$df = \frac{(P_m - P_e) \cdot f_o \cdot dt}{2 \cdot H} = \frac{0.2 \cdot 1 \cdot 0.2}{2 \cdot 2.8} = 0.00714$$

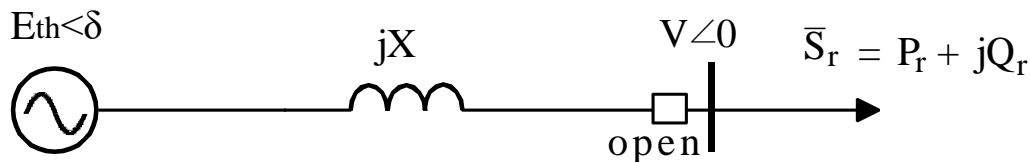
VRE 50% Estimation

Assumption $\rightarrow X = 0.5, V = 1$



Case 1: $\cos\phi = 1, Q = 0$

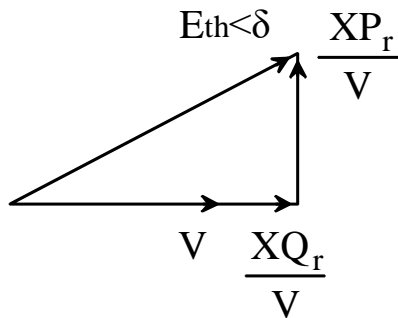
$$E_{th}\angle\delta = V - j\frac{XP_r}{V} = 1 - j\frac{0.5 \cdot 1}{1} = 1.12\angle 48^\circ$$



Receiving End

Transient reactance is 4~5 times of reactance

Actual $\rightarrow X = 0.05, V = 1$



Case 2 : $\cos\phi = 0.85,$

$P_{VRE} = 0.85\text{p.u.}, Q_{VRE} = 0.527\text{p.u.},$

$$E_{th}\angle\delta = 1 - (0.5 \cdot 0.527) - j(0.5 \cdot 0.85) = 0.85\angle 40.3^\circ$$

VRE 50% Estimation

VRE : Variable Renewable Energy
20% Injected to AC network

$$H_{\text{Equivalent}} = \frac{P_{\text{AC1}} \cdot H_1 + P_{\text{AC2}} \cdot H_2 + P_{\text{AC3}} \cdot H_3}{P_{\text{AC1}} + P_{\text{AC2}} + P_{\text{AC3}} + P_{\text{VRE}}}$$

$$H_{\text{Equivalent}} = \frac{200 \cdot 4 + 50 \cdot 2 + 150 \cdot 3}{200 + 50 + 150 + 400} = 1.69$$

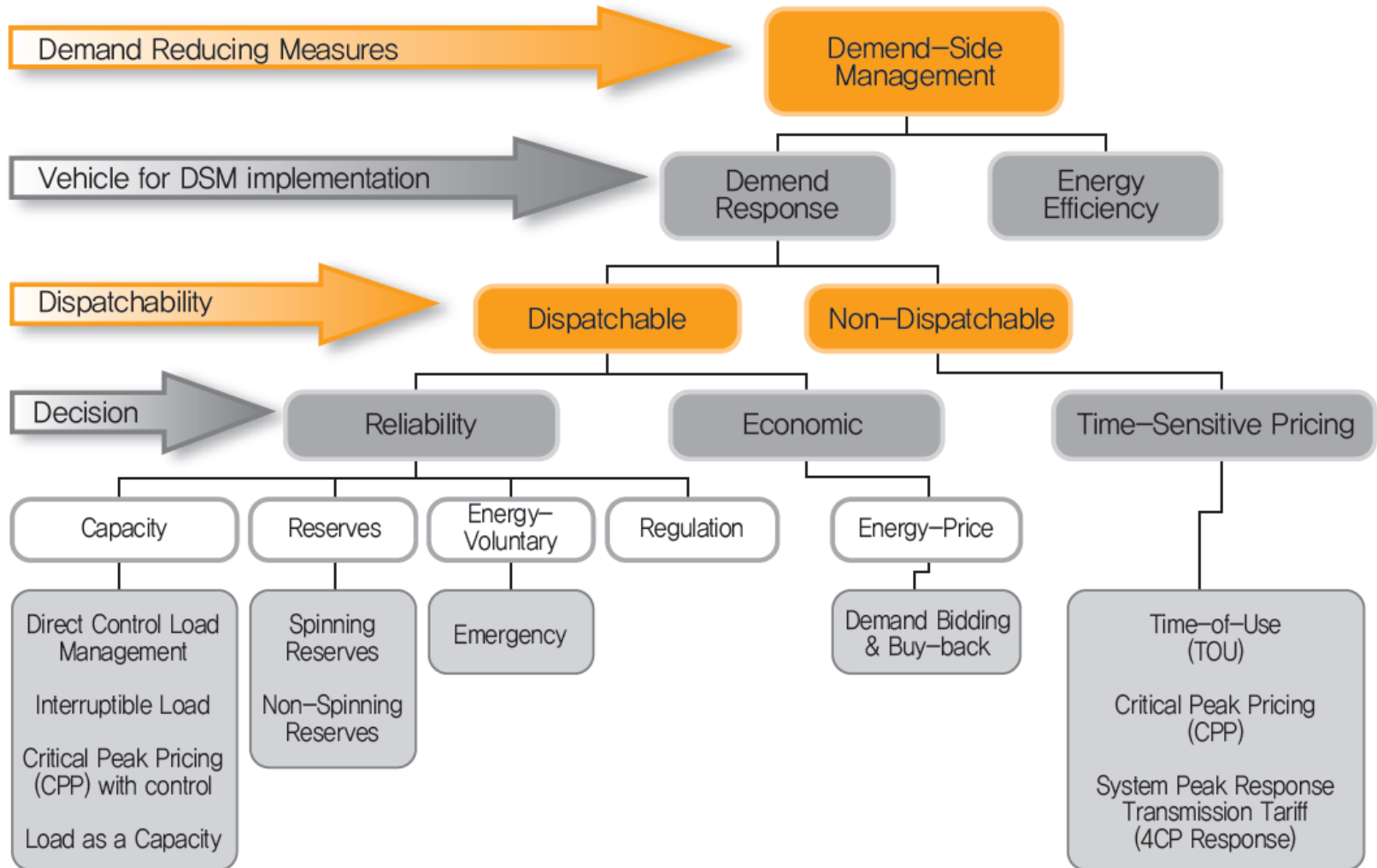
Inertia 3.375 → 1.69로 감소

$$\frac{H_{\text{Equivalent}}}{0.9} = \frac{1.69}{0.9} = 1.87$$

**Generator operates
at 0.9 power factor**

$$df = \frac{(P_m - P_e) \cdot f_o \cdot dt}{2 \cdot H} = \frac{0.2 \cdot 1 \cdot 0.2}{2 \cdot 1.87} = 0.1$$

VRE 20% Estimation



〈기존의 전력망〉



원자력, 화력발전 등을 이용해 한 곳에서 생산한 전력을 모든 소비처에 전송하는 방식

〈마이크로그리드〉



각 지역마다 소규모의 발전소를 설립해 직접 전력을 생산하고 소비하는 방식.

※(산재생에너지+ESS) 발전방식에 들어나고 있음

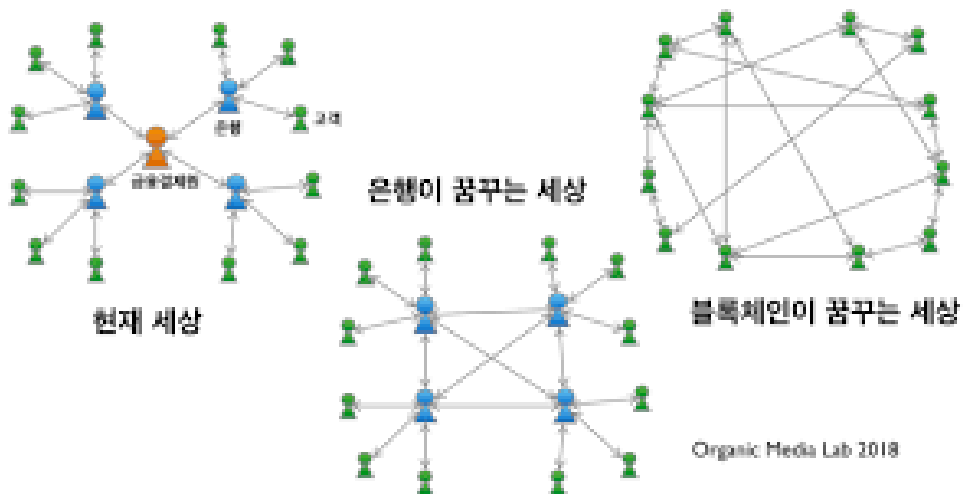
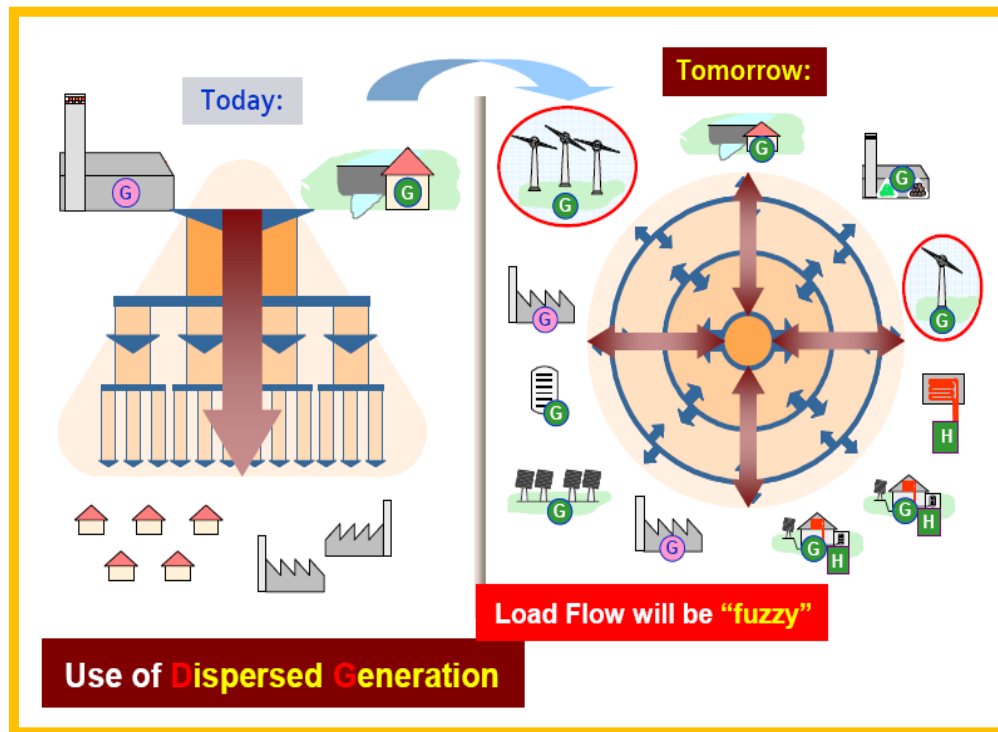
가상발전소 개념도 자료:한국전기연구원



[그림 1. 가상발전소 개념도]

출처: 중앙일보





블록체인

"Password12345"



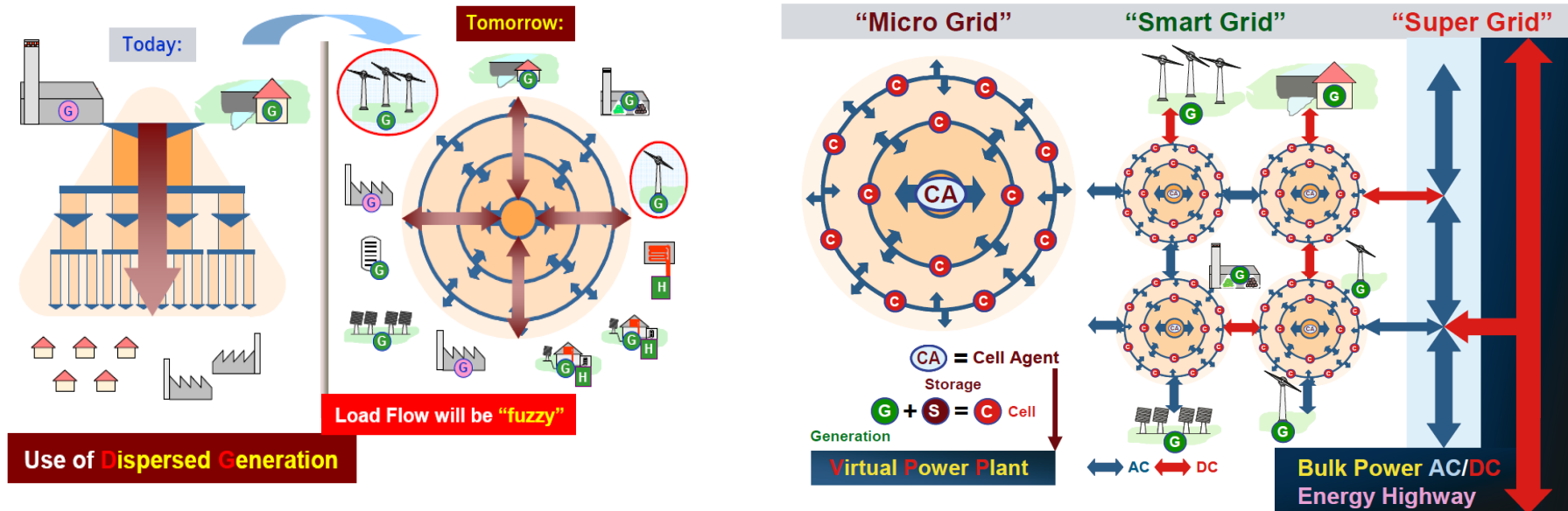
SHA256



63k#k4u23l@4k

비트코인

1. Energy Transit

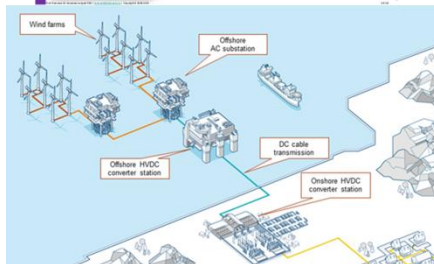
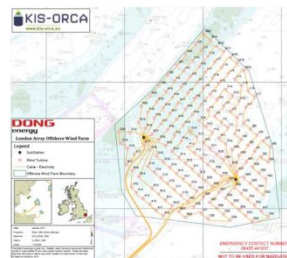
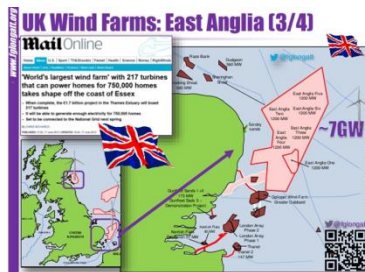
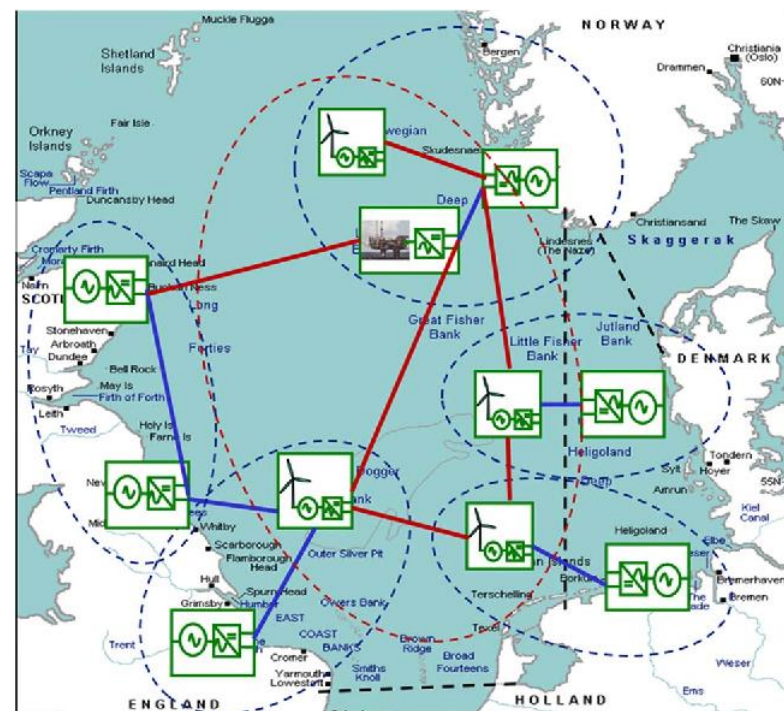
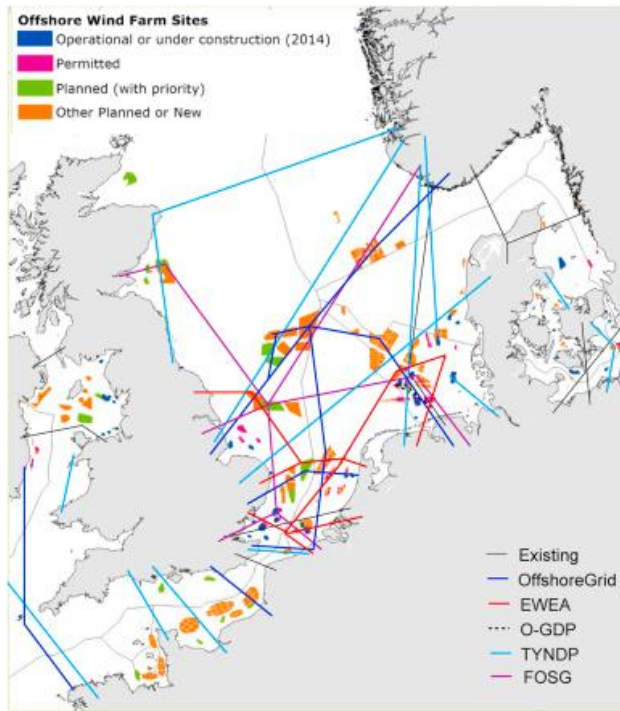


AC system's analysis is completed!! DC? → NO!

2. Integrating of Analysis Between AC System and DC system

* DC/AC analysis Using symmetry coordinate method

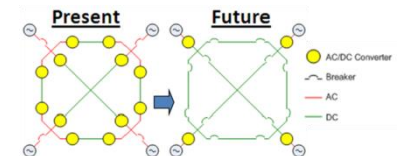
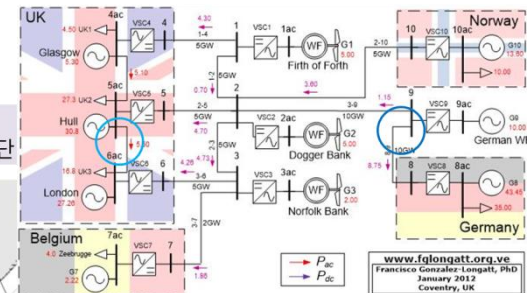
II. 서해안 DC 고속도로



*Multi-Infeed HVDC
*Multi-terminal HVDC

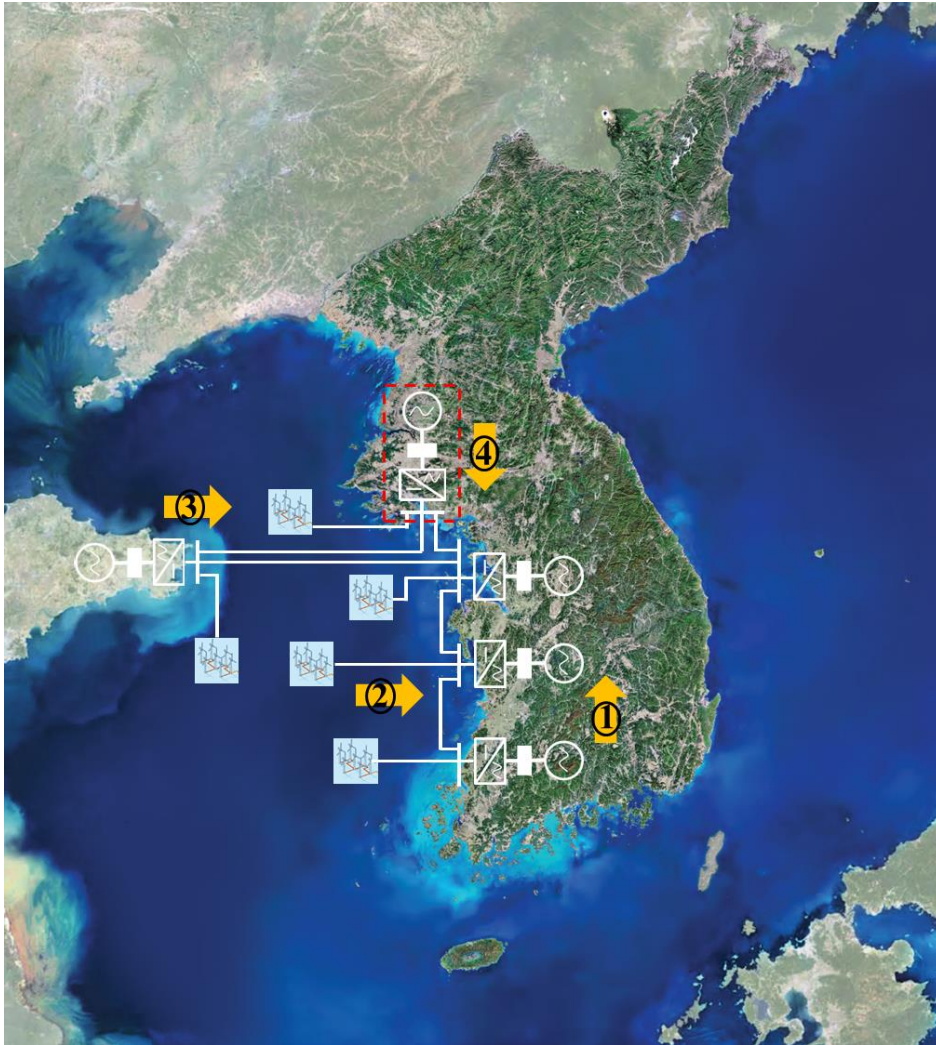
DC 차단기

*CSC : Multi-terminal HVDC
*VSC : Multi-terminal, 고장차단



- DC Circuit Breaker
- FTF HVDC

II. 서해안 DC 고속도로



1. 전남 신재생 보강
2. 해상풍력
3. 중국과 국가간 전력연계
4. 북한과 전력연계

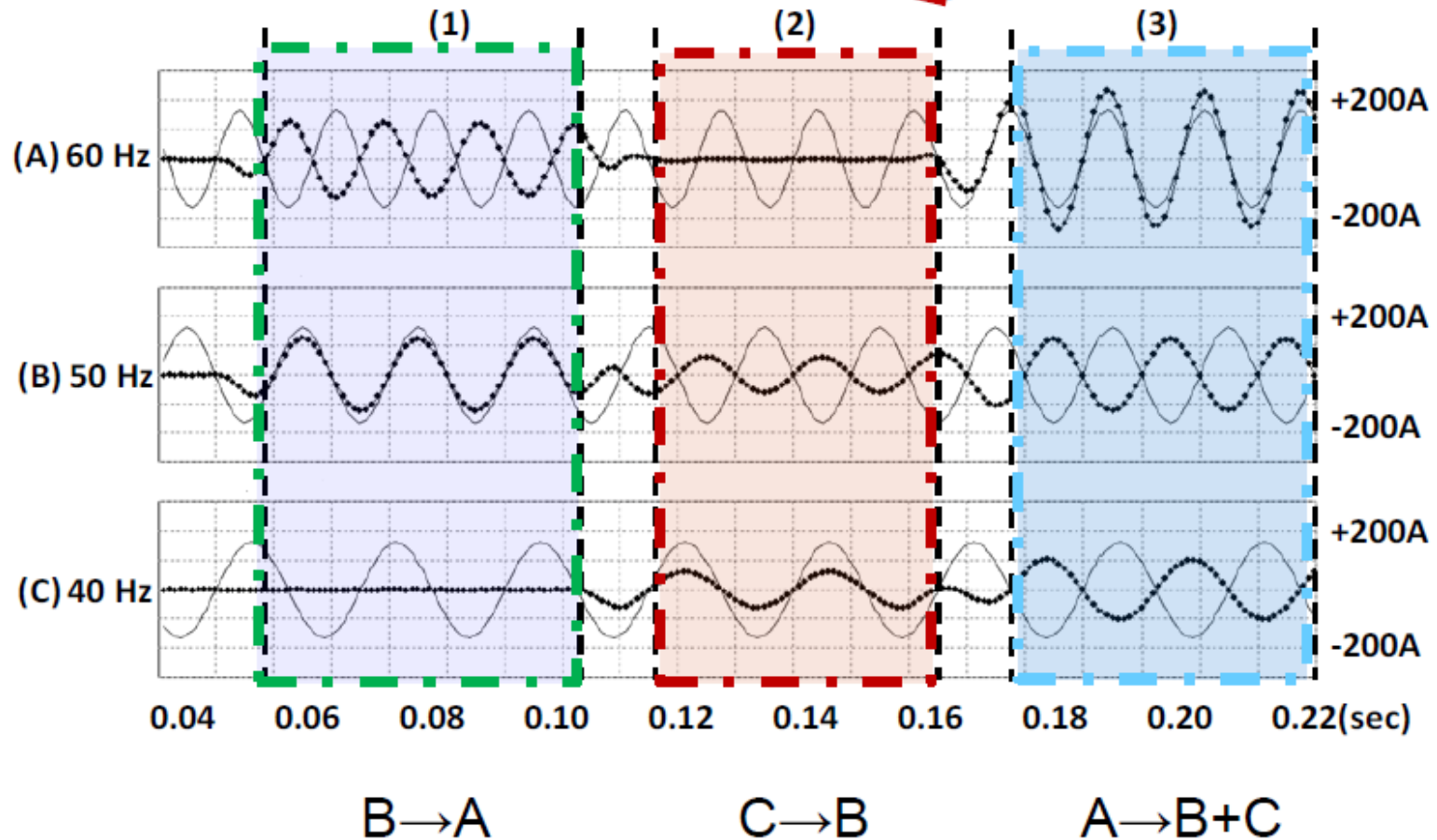
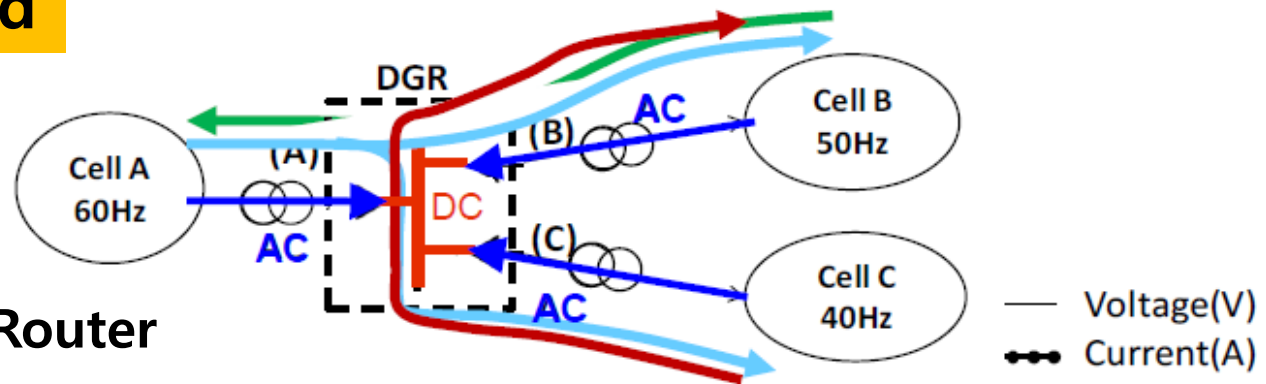
1. WTO 회피 → R&D로 추진
2. 기업이 책임
(대학과 연구소는 Supporting)
3. 장기간
4. 현재는 Mile stone이 없음

A decorative yellow scroll graphic with a white outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a small circular detail at the top right of the horizontal strip.

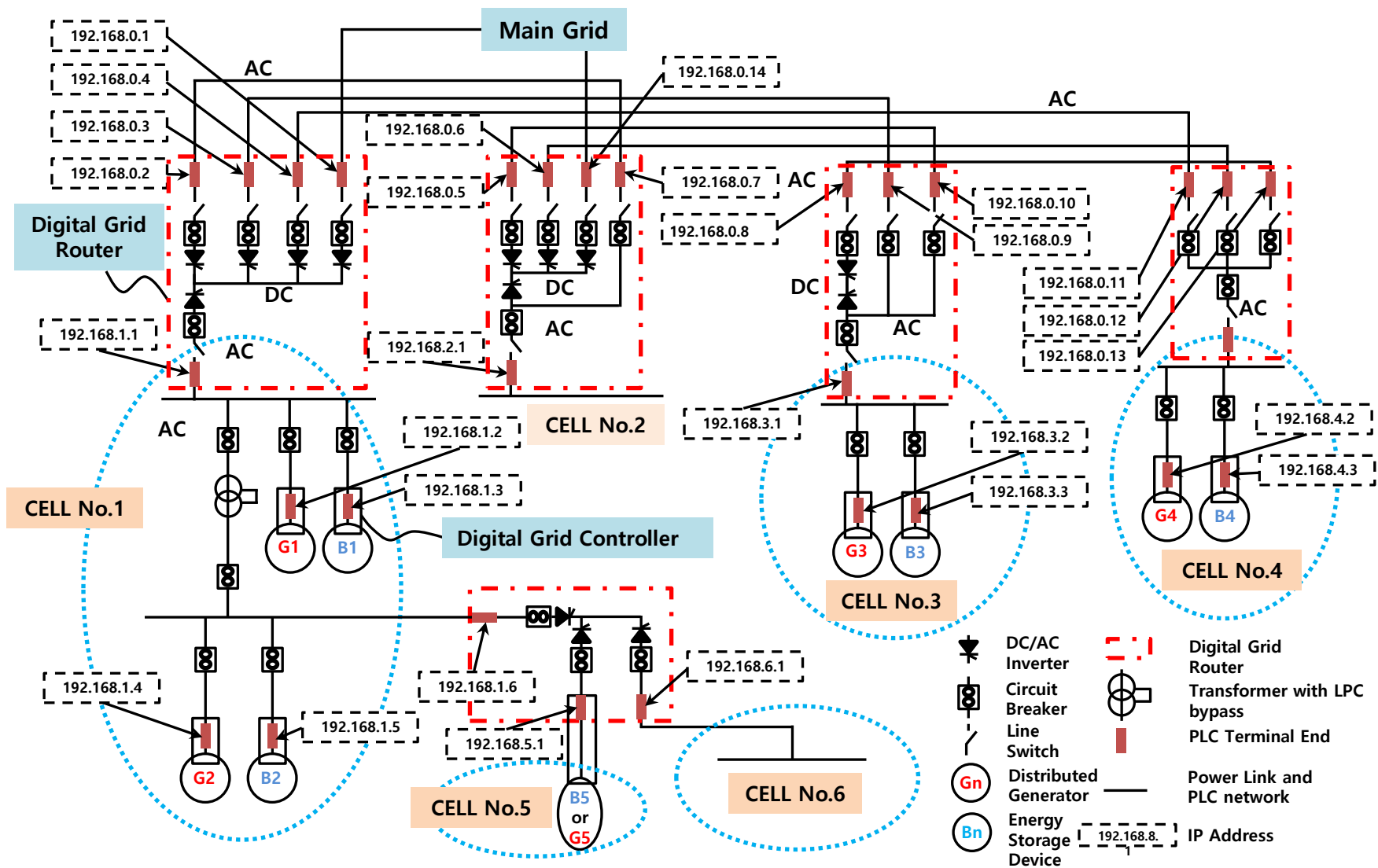
II. DIGITAL GRID

Digital Grid

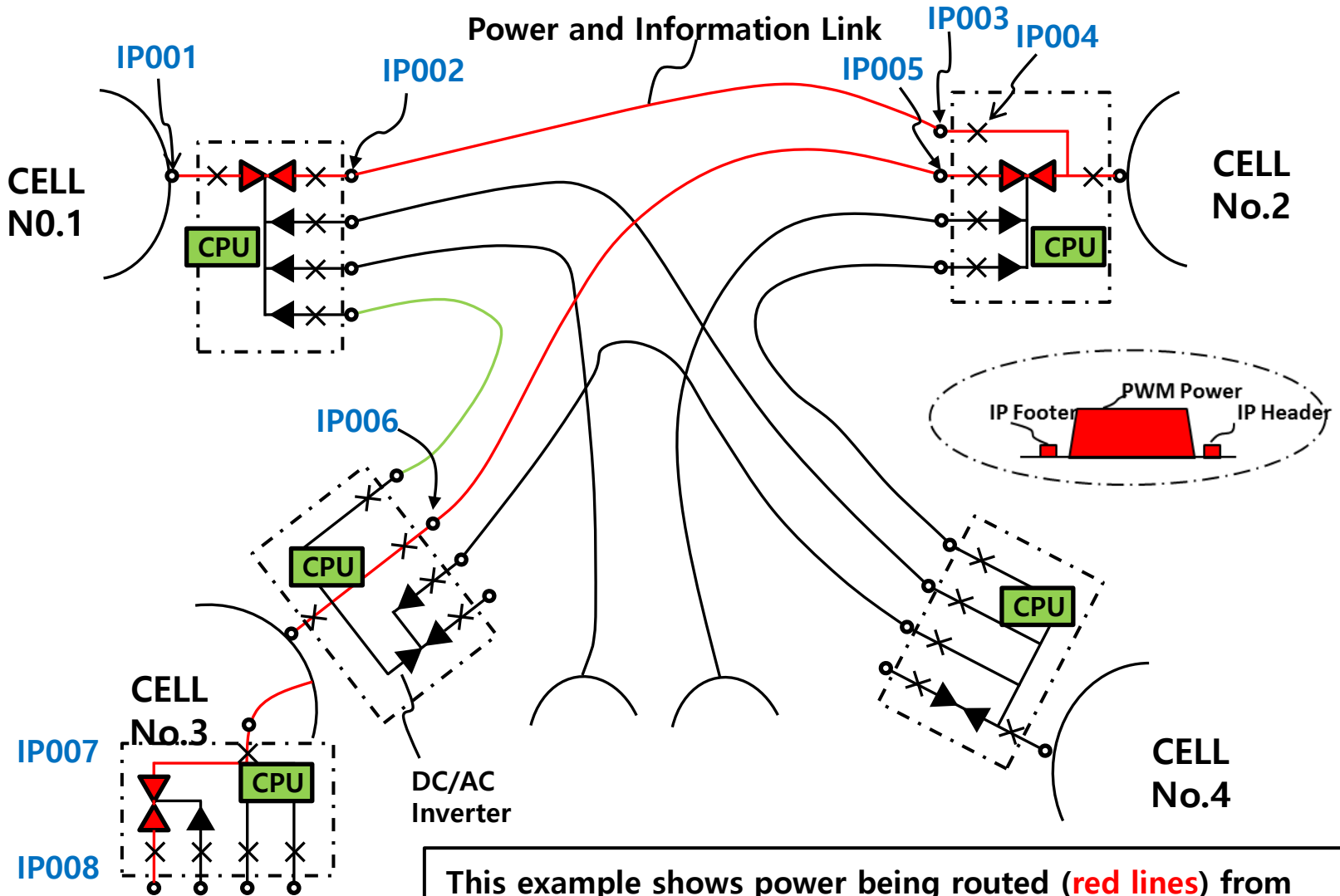
Digital Grid Router



Digital Grid

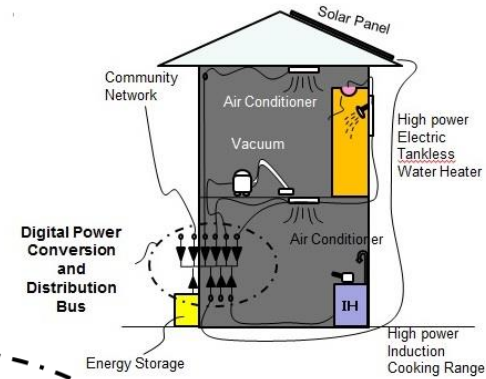
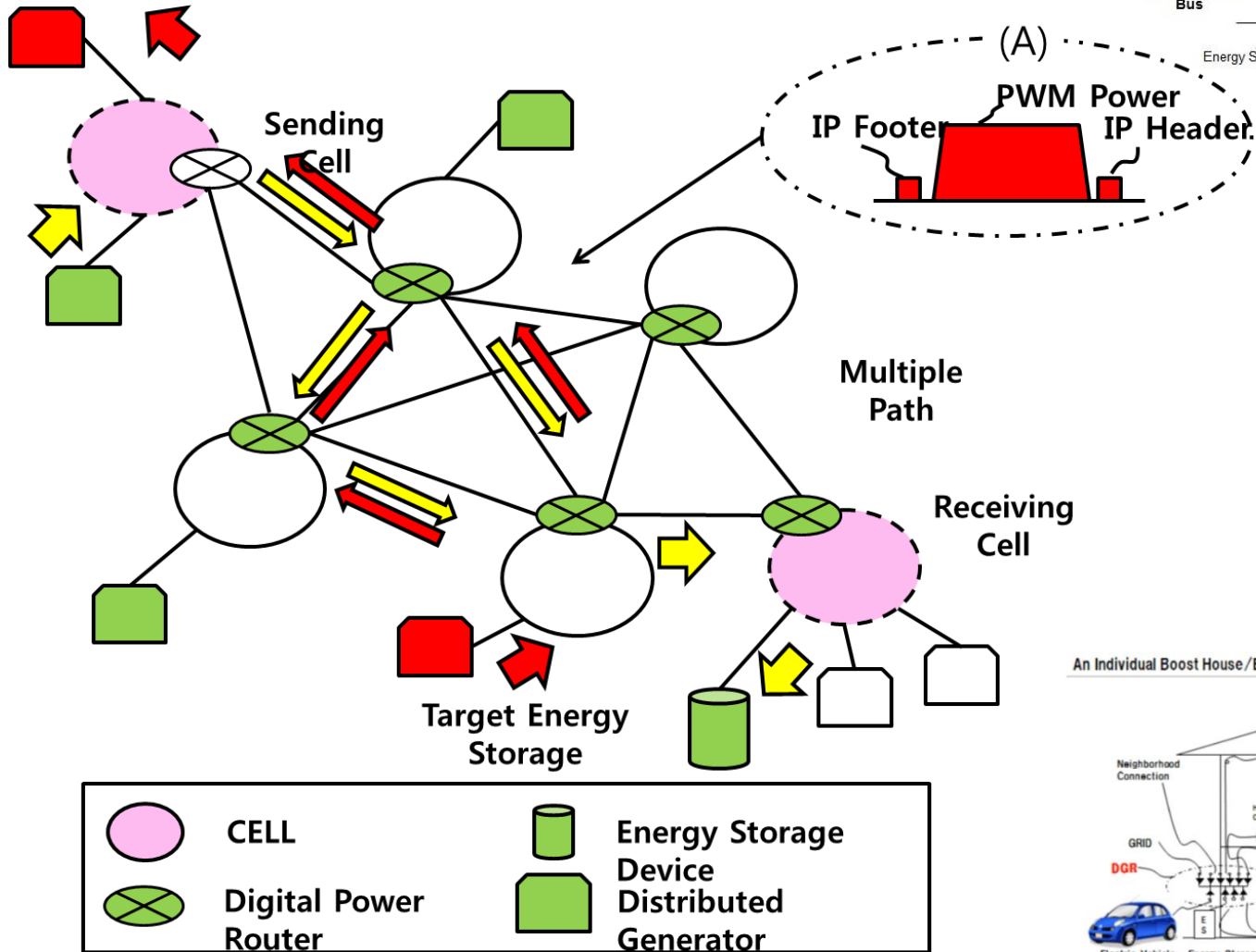


Digital Grid

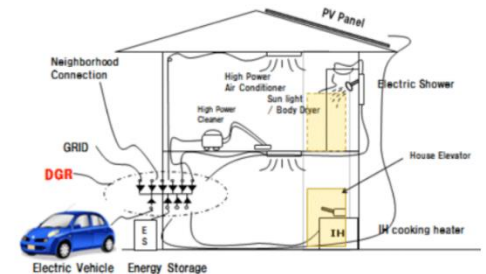


This example shows power being routed (red lines) from Cell No.1 to Cell No.3 via the digital grid router at Cell No.2

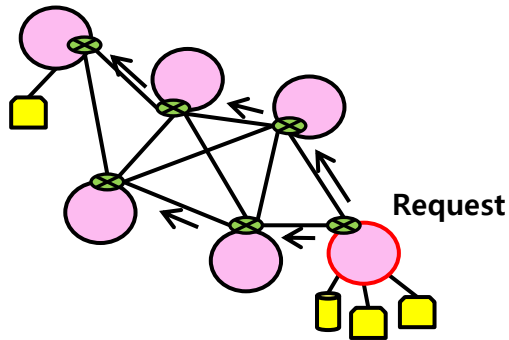
Digital Grid



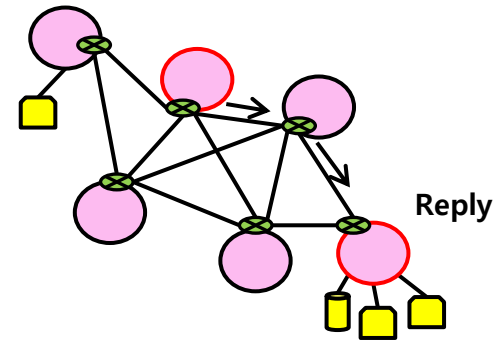
An Individual Boost House/Buildings with a DGR digital grid



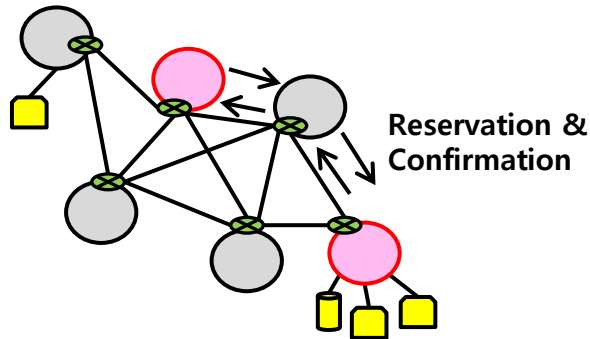
1. Power request is broadcast



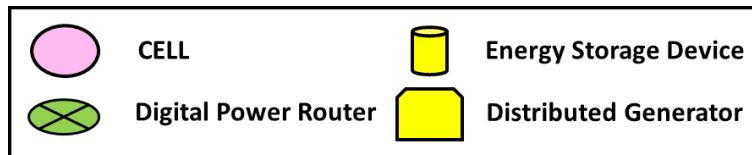
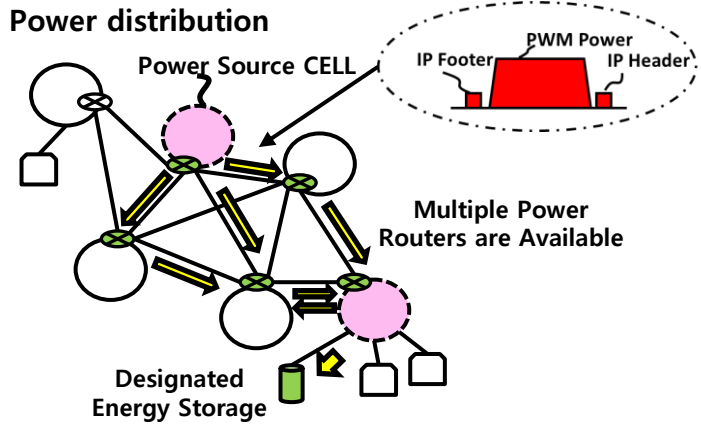
2. Bid response



3. Bid acceptance and confirmation

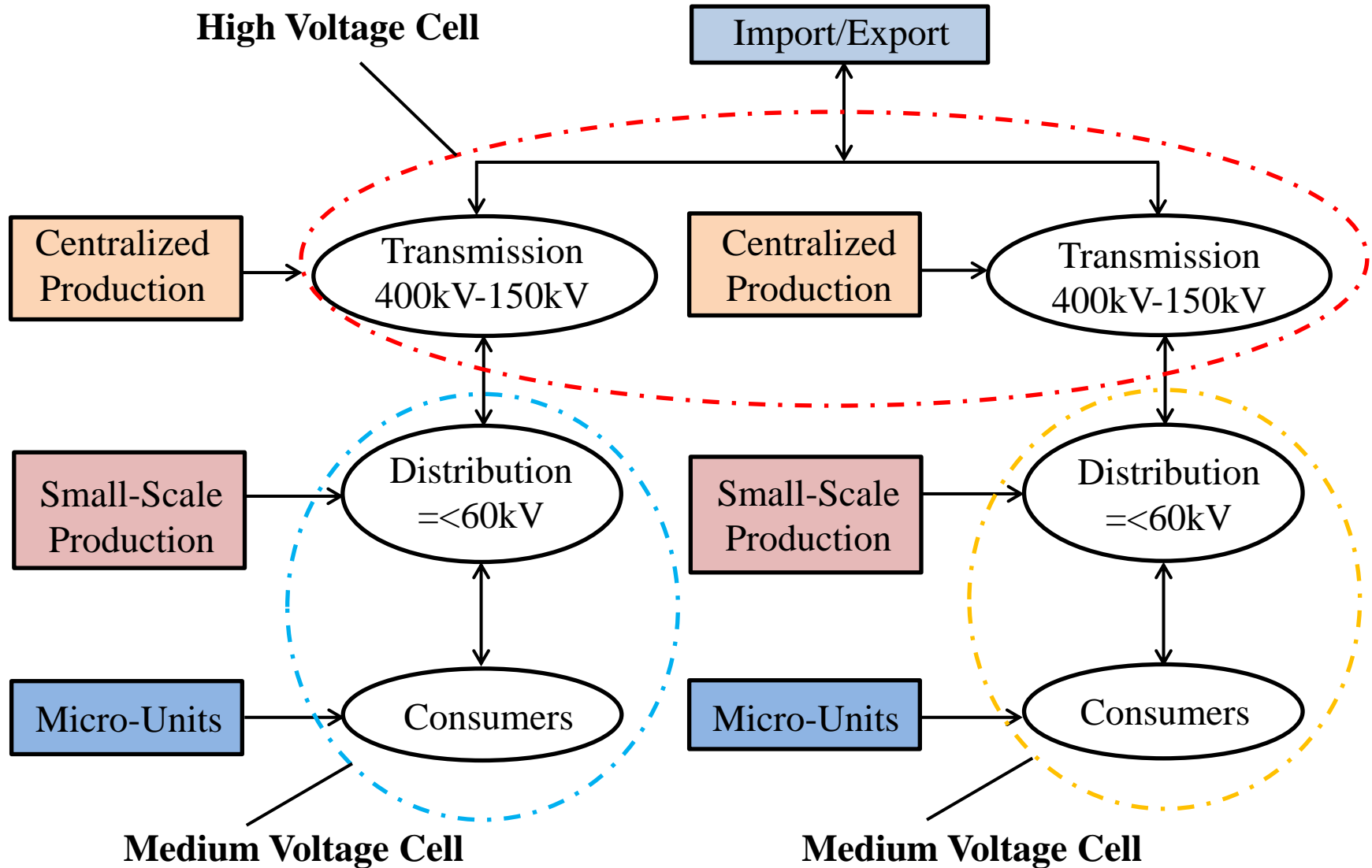


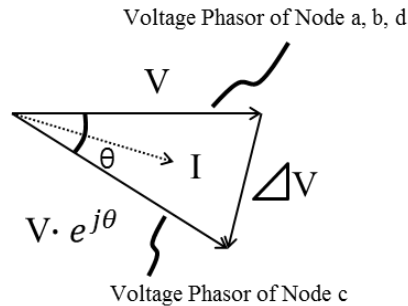
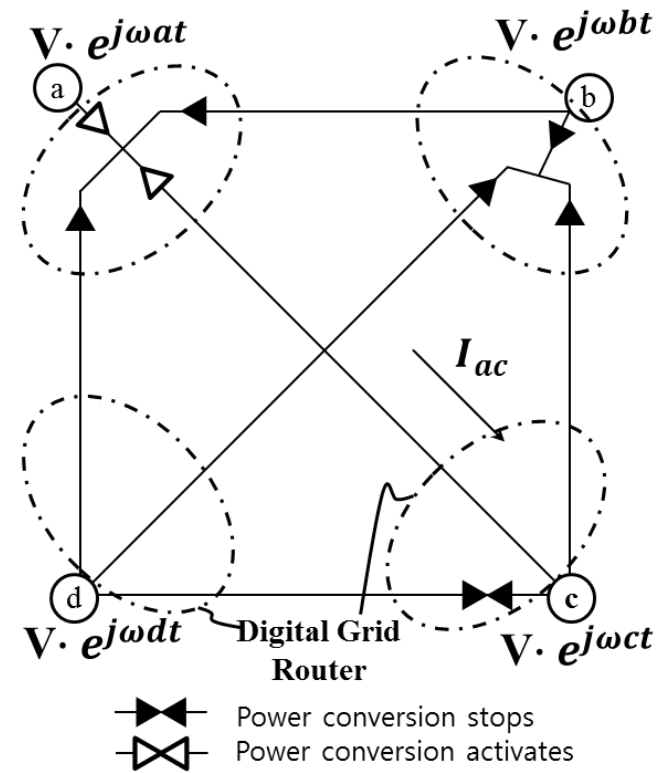
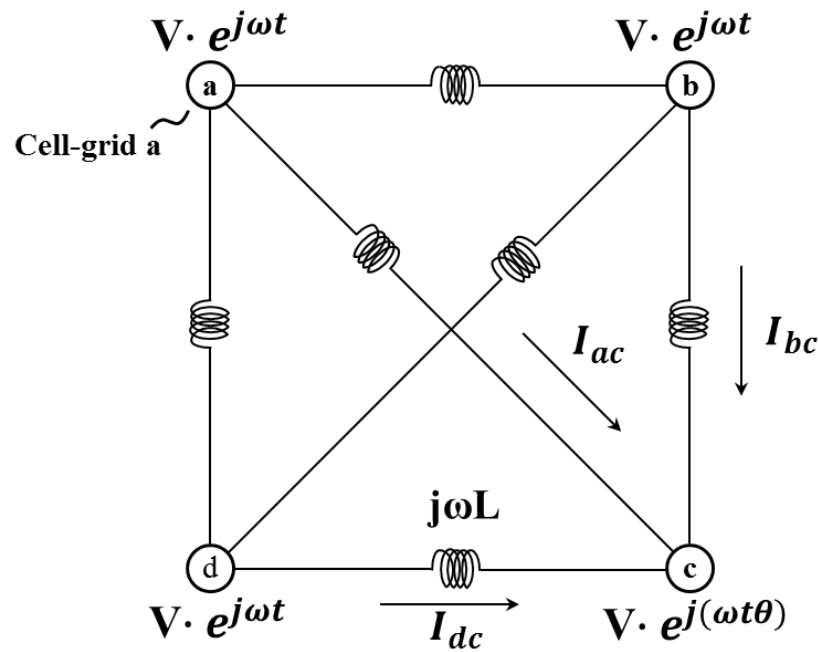
4. Power distribution



| Date | Starting Time | Finishing Time | Source Cell | Sending Cell | Receiving Energy | Sending Energy | Loss | Balance | Tariff (c/kWh) | Money Balance |
|-----------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------|----------------|-------|---------|----------------|---------------|
| 2016.6.25 | 10:29 | 11:50 | Cell A | | 200kWh | | 10kWh | 190kWh | 30.4 | xxx |
| 2016.6.26 | 12:50 | 15:40 | | Cell X | | 120kWh | 7kWh | 63kWh | 19.5 | xxx |
| 2016.6.27 | 16:40 | 18:30 | Cell B | | 420kWh | | 20kWh | 463kWh | 20.2 | xxx |
| 2016.6.28 | 22:15 | 00:40 | | Cell Y | | 230kWh | 16kWh | 217kWh | 38.5 | xxx |

Digital Grid





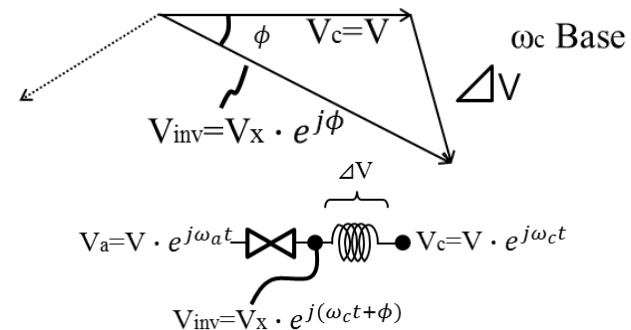
$$I = I_{ac} = I_{bc} = I_{dc}$$

$$= \Delta V / j\omega L = V(1 - e^{j\theta}) / j\omega L$$

$$P + jQ = V \cdot 3I^*$$

$$= 3 \cdot V(1 - e^{-j\theta}) / -j\omega L = 3(V^2 / \omega L) \cdot j(e^{-j\theta} - 1)$$

$$= 3(V^2 / \omega L) \cdot \sin\theta + j \cdot 3(V^2 / \omega L) \cdot (\cos\theta - 1)$$



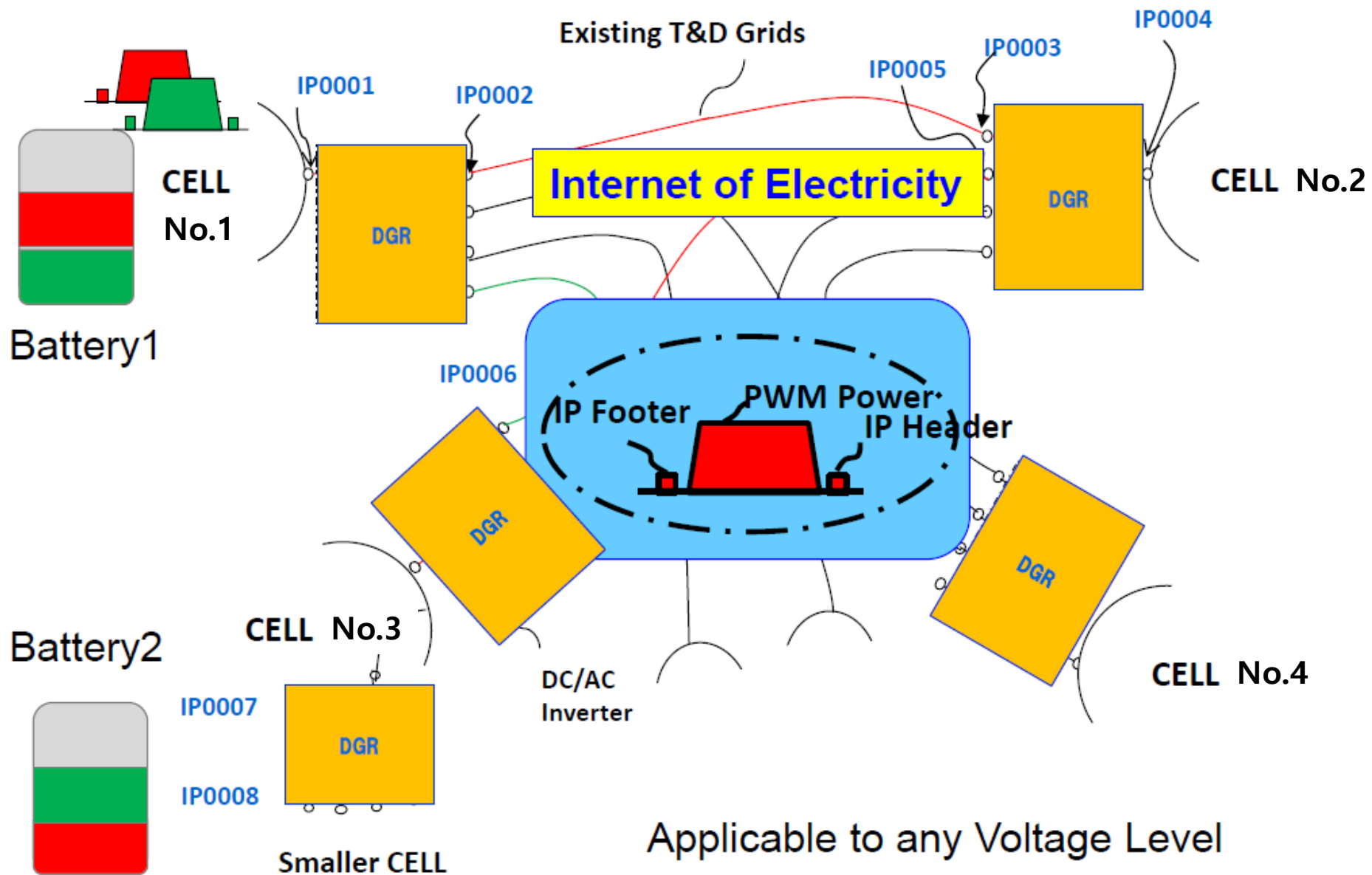
$$I = \Delta V / j\omega L = (V - V_X \cdot e^{j\phi}) / j\omega L$$

$$P + jQ = V \cdot I^*$$

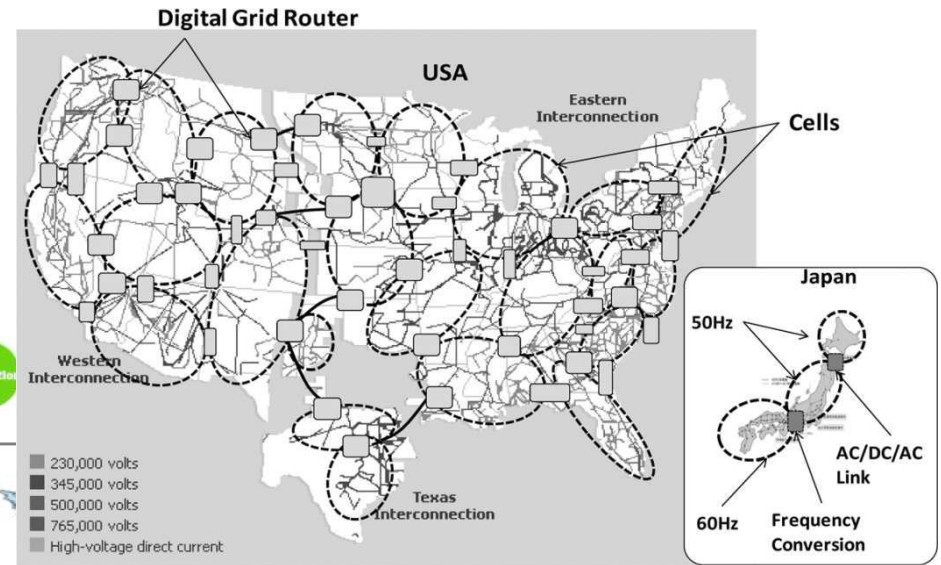
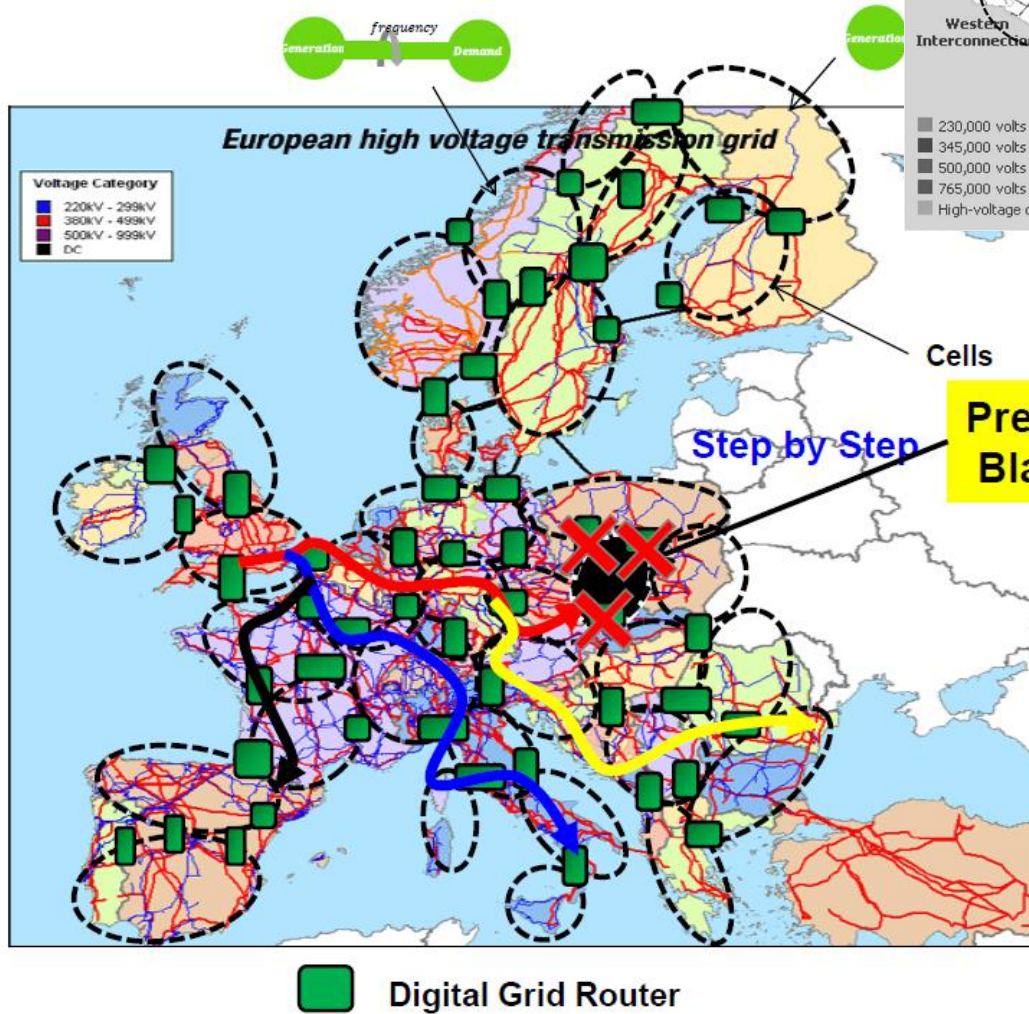
$$= V \cdot (V - V_X \cdot e^{j\phi}) / -j\omega L$$

$$= V \cdot V_X \cdot \sin\phi / \omega L + j \cdot (V^2 - V \cdot V_X \cdot \cos\phi) / \omega L$$

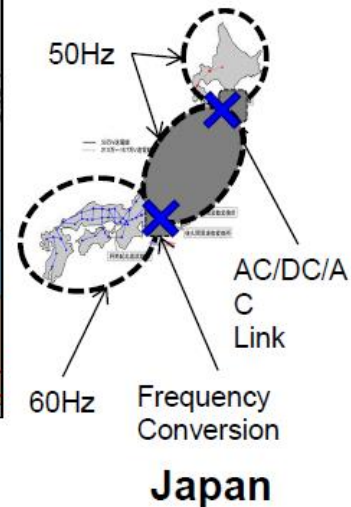
Digital Grid



Digital Grid



Prevent Cascading Blackout







독일과 일본의 신재생



II. 일본의 신재생 정책

일본의 신재생 정책

1. 2011년도 후쿠시마 원전사고

- 본격적인 신재생의 추진
- 태양광 효율 13.5%, 2015년 60GW

1. 왜! 태양광 버블이 나타나는 가?

- 개발기간이 1년
- FIT – Paper Company
- 단기 순이익
- 허가기간이 3개월

일본의 신재생 정책

1. 기술의 갈라파고스화

잘못된 정보 → 잘못된 정책 → 오류

2. 대표적인 국가로 스페인

→ 태양광 버블 → 정권교체 (좌파 → 우파)

→ 스페인에 대한 연구가 필요!!

3. 독일의 예를 심도 있게 분석 → 정책결정

4. 신재생정책에 반영

5. 신재생정책은 정권과 아무 관계가 없는 에너지 문제

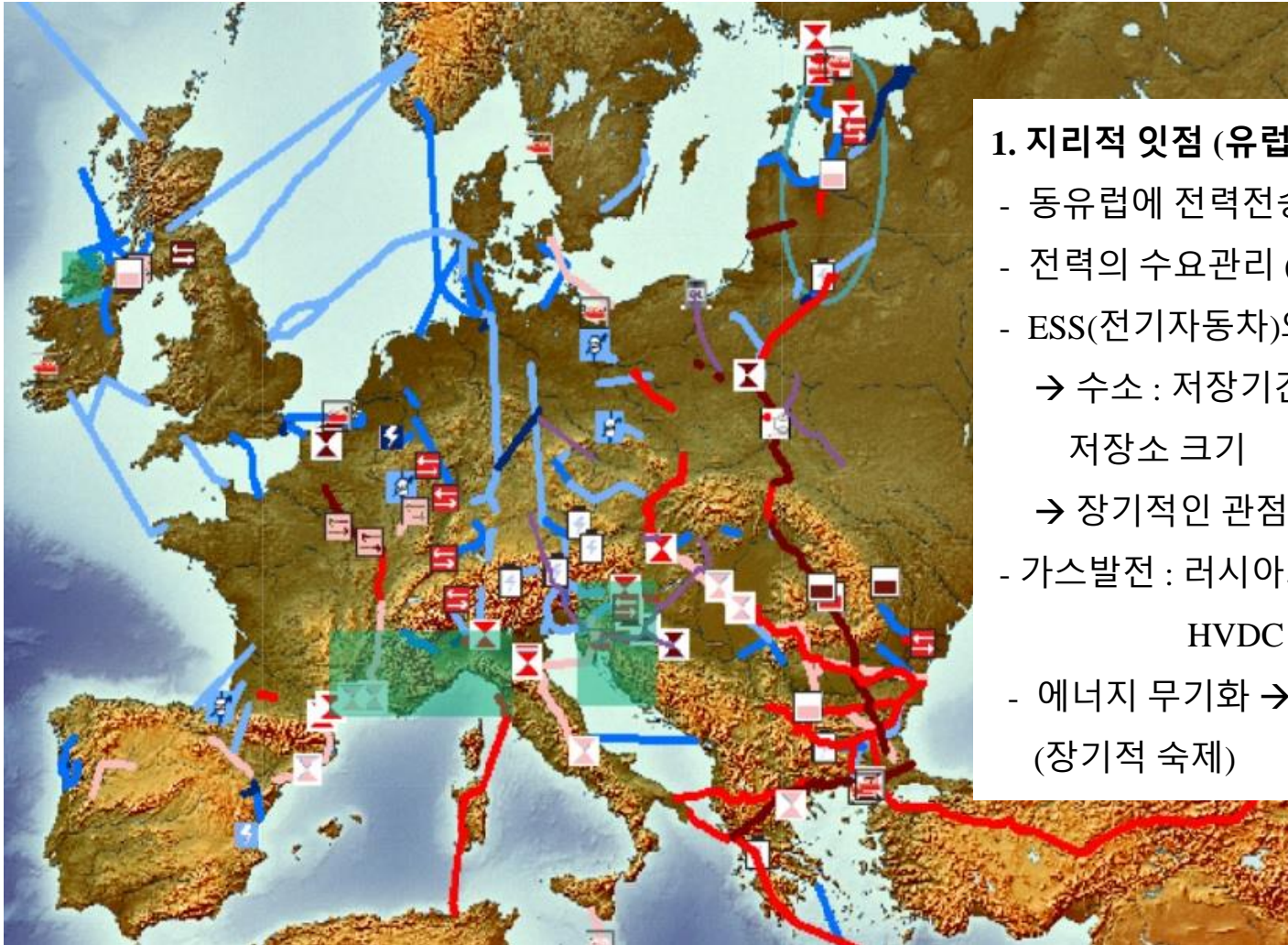
6. 정책의 연속성

II. 독일의 신재생 정책

독일의 신재생 정책

1. 지리적 잇점.
2. REA(Renewable Energy Act)
3. FIT (Feed In Tariff) → 변동율
4. 전력시장 자유화와 전력산업 구조개편
5. Bottom Up
6. 신성장 동력으로 신재생
 - 신재생 이익 30%이상이 R&D비용
 - 신재생 확대 → 기업의 이익창출 → R&D 투자
 - Positive Feedback!

독일의 신재생은 성공적!!



1. 지리적 잇점 (유럽의 중심)

- 동유럽에 전력전송 (수요관리)
- 전력의 수요관리 (단기간)
- ESS(전기자동차)와 PTG(Power To Gas)
 - 수소 : 저장기간이 길고, 밀도가 높아 저장소 크기
 - 장기적인 관점
- 가스발전 : 러시아의 천연가스 파이프라인
 - HVDC – 3000km
- 에너지 무기화 → 갈탄으로 대체 (장기적 숙제)

독일의 신재생 정책

4. 전력시장 자유화와 전력산업 구조개편

- 현재의 한국 : 발전만 경쟁.. 실효적이지 않음
- 최소한 도매시장 정도 만이라도
- 발전자회사 + 배전회사 + 서비스회사
- 신재생의 용량이 중요한 것이 아니라 경제성!!
- 일본 : 발전자회사 + 소매회사
- 독일 : 민간 발전자회사
- 항상 경제성!!
- 독일의 전력회사 900개, 일본 500개 → 2019기준

독일의 신재생 정책

5. Bottom Up

- 신재생은 또 다른 환경 문제!
- 지역주민 + 조합 + 은행(금융) + 기술자(10명 이내)
- 전력계통 + 통신 + 전력전자 + 전력경제
- 지역주민에게 실질적인 이익
- 예) 전민동 – 소수력
- 예) 부안 – 해상풍력 – 이익의 10%
- 예) 전남 - 태양광

독일의 신재생 정책

6. 신성장 동력으로 신재생

- 신재생 가격 30% 이상이 R&D비용
- 신재생 확대 → 기업의 이익창출 → R&D 투자
- Positive Feedback!
- 해상풍력 – 기계와 조선(영국, 독일)
- HVDC – 전기
- 전력거래 – 통신과 금융과 전력경제
- **신재생 용량이 중요한 것이 아니라 경제성!!**

일본의 신재생 정책

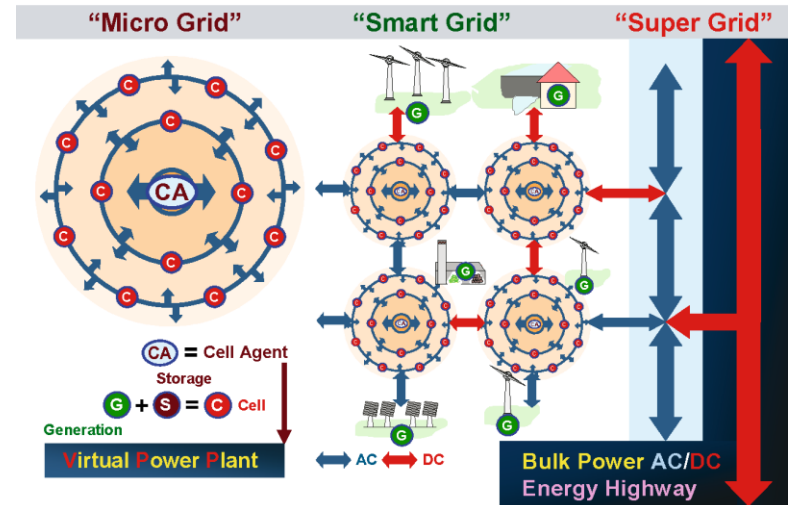
7. 원자력 발전 (일본)

- 수출 주도 국가 (에너지와 경제가 Coupling)
- 탈원전 후 에너지비용이 40%증가 → 경제에 충격
- 아베 → 원자력 회귀
- 추가적인 원전건설계획은 없다.
- 수명연장을 통한 원전수명 장기화
- → 최대 100년(미국. 40년 → 60년 → 80년 → 100년)
- 잠재적 핵 보유국 -- > 안보비용 절감



센카쿠열도 위기(일본과 중국) : 러시아의 가스파이프 무기화

1. 에너지 안보 (LNG : 3개월, 석유 : 6개월, 원자력 3년)
2. 핵기술의 확보 : 잠재적인 핵강국 → 국방비용의 절감



1. 조언

→ 기존 계통

신재생 + ESS(수소, ESS) + LNG

신재생의 비중이 커지면 기학급수적 비용!

: 송전선로 보강 + ESS 그리드, VPP(With 통신)

→ 스마트 그리드로 정책의 기본 방향

분산화 + 자체소비 + 전력시장자유화

: 소규모 기업, 전력신기술

2. 문제점 해결

→ 지역 특색에 맞는 신재생

→ 홋카이도 → 풍력

→ 식료품 공장 → 바이어메스

→ 소수력 : 제어력. 지열

2. 문제점 해결

→ 신재생의 특성 규합

예) 태양광 30% + 풍력 40% + 소수력 30%

예) 기저전원 70% + 바이오 20% + 태양광 10%

→ 지역의 특징

바람. 태양광. 공장. 주민. 전원의 구성을 고려

→ 최적의 에너지 믹스

→ 에너지 정책은 장기적인 관점.

→ 전기자동차/수소차 → 원자력/석탄차 (X)

: 신재생 자동차

일본의 신재생 정책

1. 조언

→ 신재생 전문가의 육성

전력계통+전력전자+전력경제+통신

→ 계통을 보강

HVDC나 스마트 그리드, VPP(With 통신)

→ 신재생의 비즈니스화 → 에너지

전력품질 모니터링 → 절전 (2030: 140% 절감목표)

전기자동차 원격 → 주식투자과 같이~

일본의 신재생 정책

2. 조언

→ 관련 산업의 확대

예) 전력품질 : 소프트웨어, 하드웨어

예) 블록체인, 비트코인

→ 에너지의 화폐화 → 전력량으로 세금. 공과금

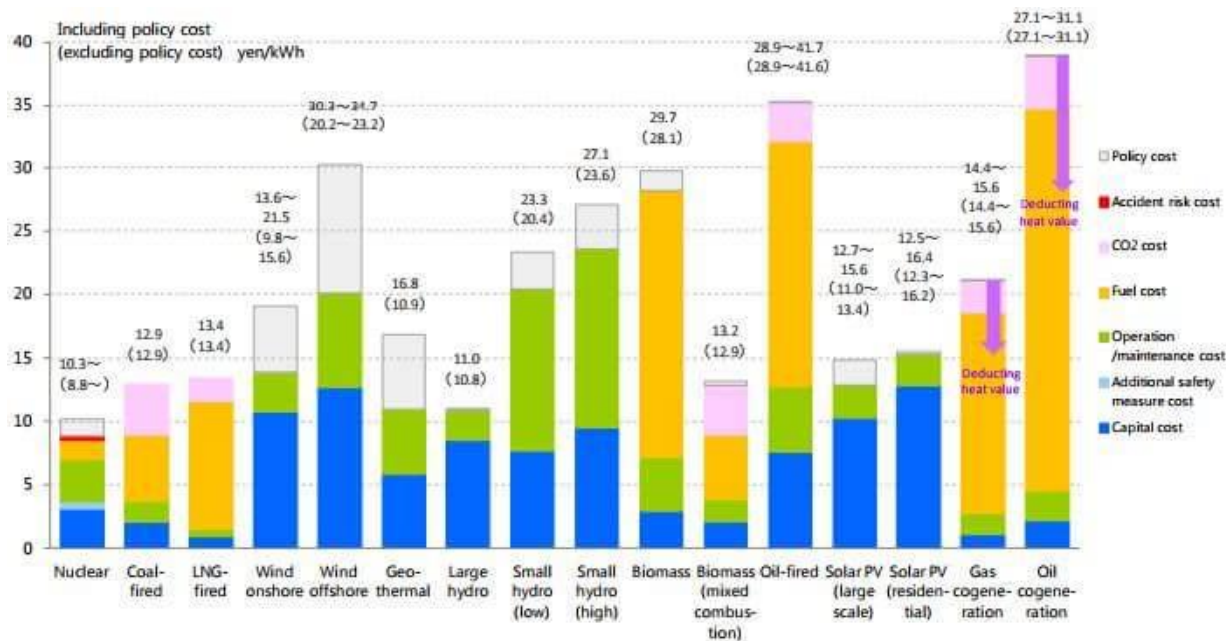
→ 계통의 분리 (Section화)

→ 전력 Router : 디지털 그리드

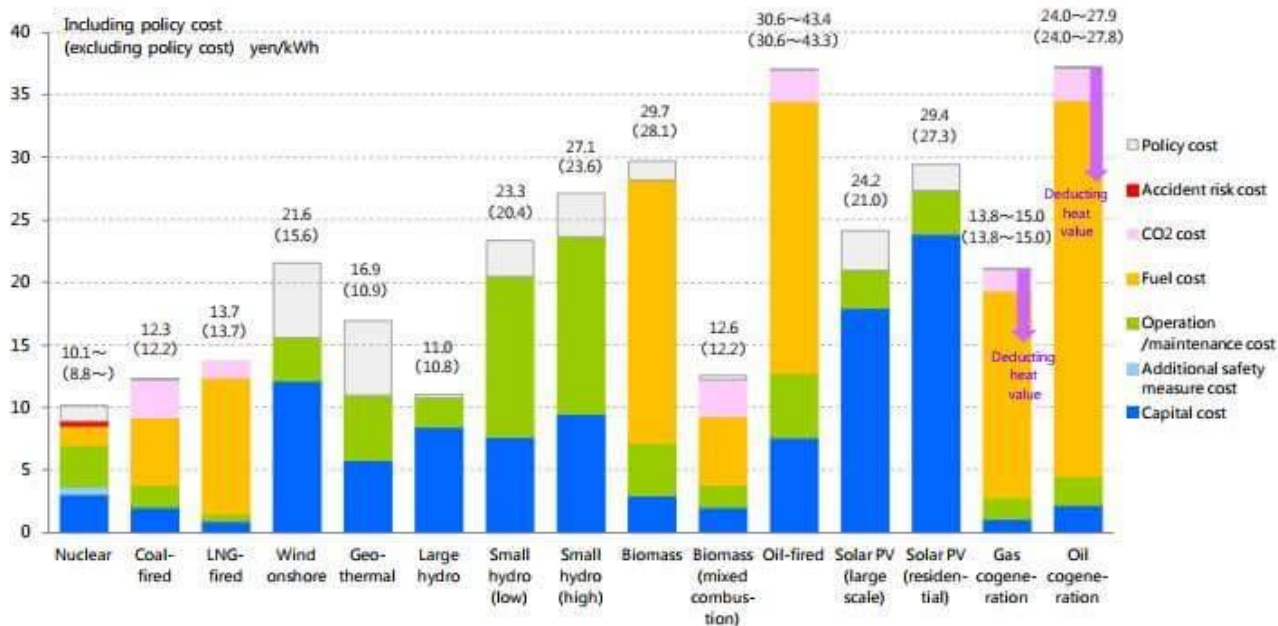
→ 에너지와 경제의 Decoupling

표 3 일본의 2014년/2030년 발전전력량 : 출처 IEEJ November 2015

| | 원자 력 | 석탄 화력 | LNG | 증유 화력 | 일반 수력 | 열병 합 | 소수 력 | 지열 | 태양 광 | 풍력(육상) | 풍력 (해상) | 바이오매스 | 연료전지 | 총계 |
|------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| 2014발전 량[TWh] | 257.8 | 284. 5 | 405.7 | 139.8 | 38.8 | 51.4 | 52.5 | 10.4 | 93.3 | 13.5 | 0 | 28.9 | 4.3 | 1380. 9 |
| 2030발전 량[TWh] | 224.2 5 | 281 | 284.5 | 31.5 | 43.4 | 103 | 44.15 | 10.7 5 | 74.9 | 16.1 | 2.2 | 44.2 | 16 | 1175. 95 |
| 증가율[%] | -13.0 % | -1.2 % | -29.9 % | -77.5 % | 11.9 % | 100.4 % | -15.9 % | 3.4 % | -19. 7% | 19.3 % | #DI V/O! | 52.9 % | 272. 1% | -14.8 % |



Source: Power Generation Cost Verification Working Group (2015)



Source: Power Generation Cost Verification Working Group (2015)

II. 신재생 수용성

VRE 20% Estimation

【 목표수요 전력소비량 및 최대전력 예측결과 】

| 연도 | 6차 계획 | | 7차 계획 | |
|-------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | 전력소비량 (GWh) | 최대전력 (MW) | 전력소비량 (GWh) | 최대전력 (MW) |
| '15 | 516,156 | 82,677 | 489,595 | 82,478 |
| '16 | 532,694 | 84,576 | 509,754 | 84,612 |
| '17 | 548,241 | 88,218 | 532,622 | 88,206 |
| '18 | 564,256 | 91,509 | 555,280 | 91,795 |
| '19 | 578,623 | 93,683 | 574,506 | 94,840 |
| '20 | 590,565 | 95,316 | 588,352 | 97,261 |
| '21 | 597,064 | 97,510 | 600,063 | 99,792 |
| '22 | 602,049 | 99,363 | 609,822 | 101,849 |
| '23 | 605,724 | 100,807 | 617,956 | 103,694 |
| '24 | 611,734 | 102,839 | 625,095 | 105,200 |
| '25 | 624,950 | 105,056 | 631,653 | 106,644 |
| '26 | 640,133 | 108,037 | 637,953 | 107,974 |
| '27 | 655,305 (100) | 110,886 (100) | 644,021 (98.3) | 109,284 (98.6) |
| '28 | | | 650,159 | 110,605 |
| '29 | | | 656,883 | 111,929 |
| 계획 기간평균* | 2.2 | 2.4 | 2.1 | 2.2 |

* 연평균 증가율

$$P_{VRE} = \frac{656.883 \times 1.021 \times 0.2}{8760 \times 0.25} = 61.2\text{GW}$$

$$P_{VRE}[\%] = \frac{61.2[\text{GW}] \times 100}{112[\text{GW}] \times 1.022} = 53.5[\%]$$

신재생 효율 : **0.25**

: 태양광 효율 \rightarrow 13.3%(일본), 15%(Max)

: 풍력 효율 \rightarrow 25%

: 태양광 60% + 풍력 40% = 19%

전력 소비량 : **656,833[GWh]**

: 산업용 70% + 가정용 30%

: 효율 Upgrade : 30%

: 경제 에너지 Coupling \rightarrow 공업국가 (일본, 한국)

: 전력수요의 포화

풍력 40% : 24.48[GW]

: 풍력 1MW Pole → 이격거리 : 1km

: 1MW x 24480km² → 157km x 157km

: 풍력 효율 → 25%

: 태양광 60% + 풍력 40% = 19%

태양광 60% : 36.72[GW]

: FIT

: 도로변, 철길, 논밭의 고랑, 체육관 지붕

: 가정 → 전기차 + 전력거래 + Home Automation

: Prosumer → Production + Consumer

→ 전력시장 자유화 → 한전의 판매분할

→ 전력시장구조개편 : 발전 + 판매

* Base 전력 : 신재생!

: 신재생 + Duck Curve (간헐성) + 변동성

→ 신재생 + ESS(간헐성 + 변동성) + LNG (간헐성)

→ ESS + LNG : 설비용량 → 예비율 (12%)

→ 예비율 : O/H and 고장 시 순동예비력

Ex) 신재생 용량 (Duck Curve) = (LNG + ESS) + 예비력

신재생 가격 = 태양광 가격 + LNG가격 + ESS가격 + 예비력

* 계통 보강비용 : 신재생 → 지역적 특성

→ 태양광(호남) : 부하 → 수도권

→ 북상조류 : 송전선로 보강

* 호남계통 : 신재생 + ESS + LNG or

: 신재생 + ESS + HVDC 송전선로 + 수도권(LNG)

* 전력망과 전력시장에 따른 신재생 주입

- ① 기존의 전력망 + 기존의 한전체제
- ② 멀티 마이크로그리드 + 전력시장 자유화
- ③ 기존의 전력망 + 멀티 마이크로그리드 + 기존의 한전체제
- ④ 기존의 전력망 + 멀티 마이크로그리드 + 전력시장 자유화

* 산업의 파급효과

① 신성장동력 관점

- 멀티 마이크로그리드 + **전력시장 자유화**
- 멀티 마이크로그리드 : Concept Design [초기단계]
- 기존의 기술 + 통신 + 전력거래 + **전력 선택!**
 - : 원자력은 가장 싼 에너지로 “국가관리 전원”
- 민간 발전자회사(판매포함) + 한전(원자력 + 송변전)



I. Wind Power

풍력발전 Vision 달성전략 [해상풍력개발 필수]

육상풍력발전



대형화/대수심화

- 자원고갈
- 민원 발생 : 소음 및 진동 등
- 장비의 운송 어려움
- : 총 중량 43.2 ton 이상 불가
- 전력계통연계의 어려움

해상풍력발전



- 개발에 따라 풍부한 자원
- 민원 발생 작음
- 풍력에너지 밀도 양호
- 부지자원 풍부
- 대형 해상풍력발전시스템 적용

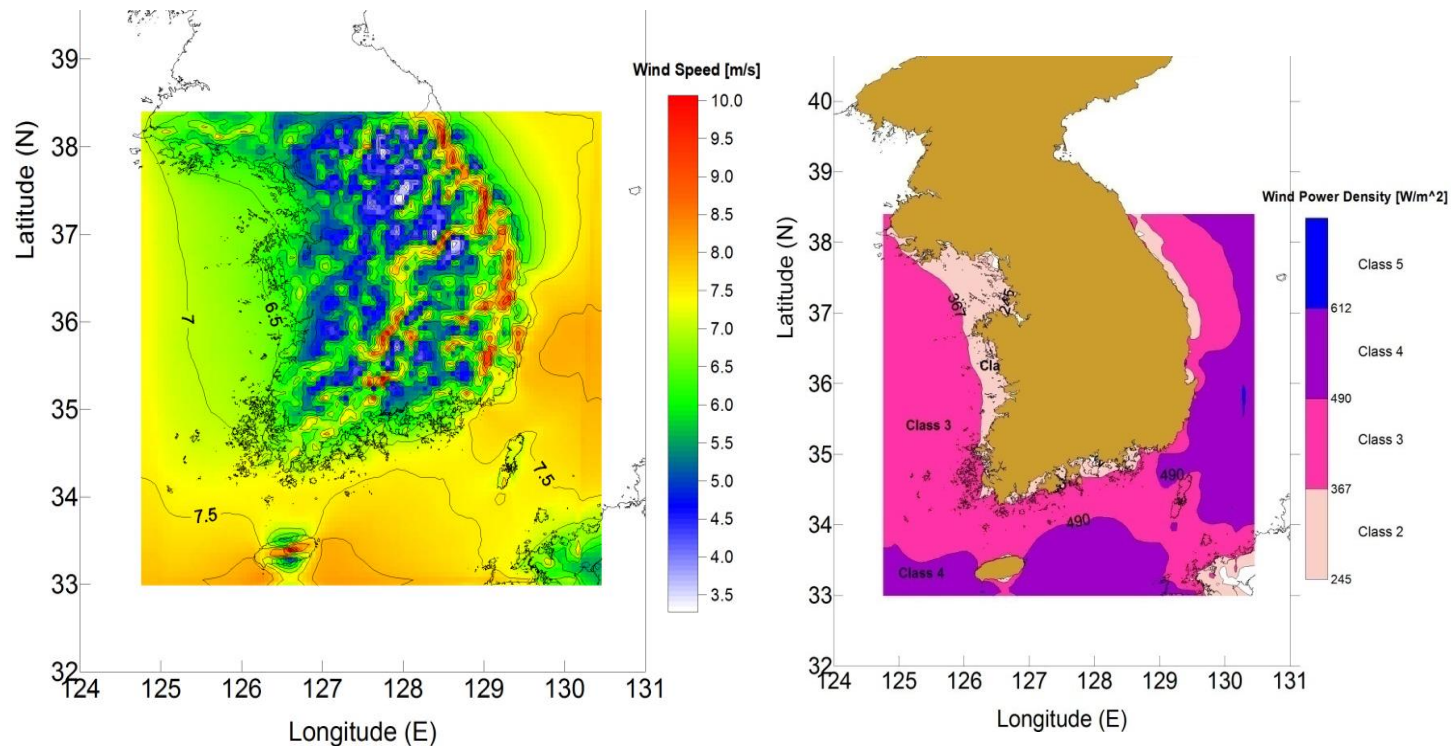
입지특성 : 풍황

❖ 예기연 작성 (3X3) km 한반도 풍력자원지도

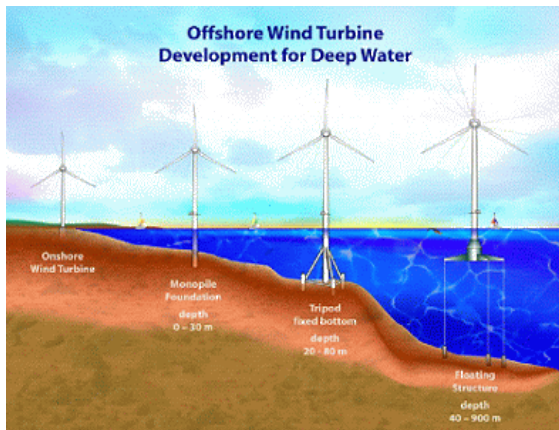
- 기상 분석 수치모형 이용, 고도 80m 기준, 2005-2007 3년 평균자료
- 기본 입력자료는 3시간 단위 KMA/RDAPS 자료

❖ 바람등급 (풍력밀도 기준)

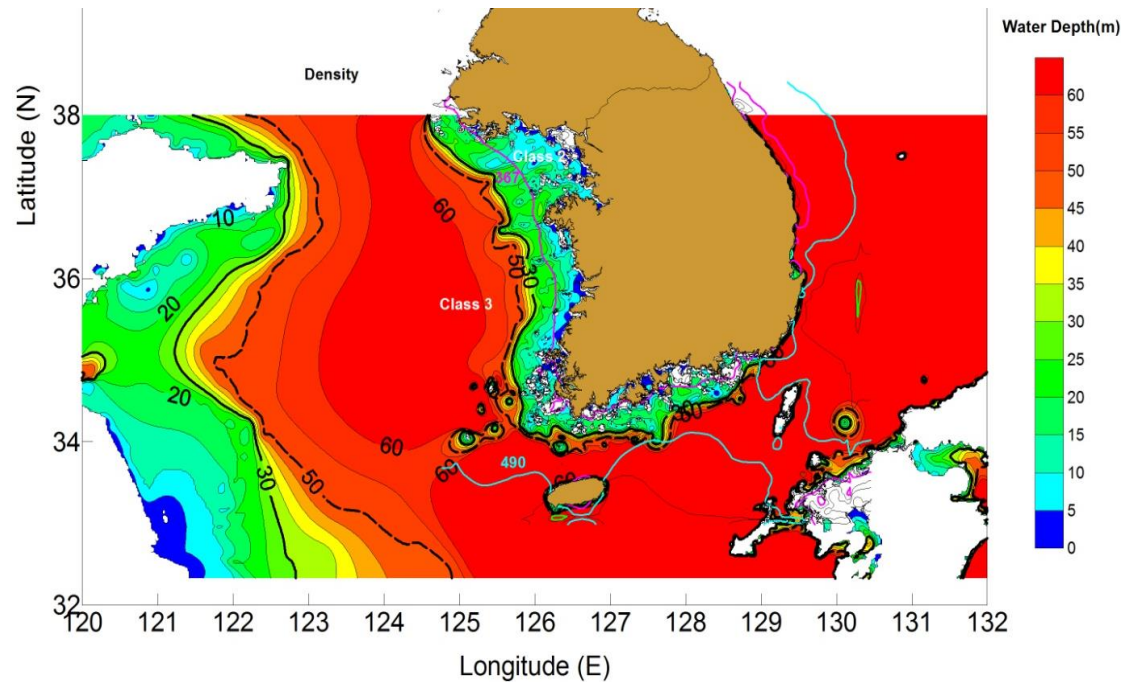
- 국내연안은 Class 4 이하 (풍황 조건이 절대적으로 우수하지는 않음)



입지특성 : 해황 (수심)



수심별 적용 기초구조물 양식



한반도 주변 해양의 수심별 면적

| 수심(m) | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | total |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|
| 면적(km ²) (면적비, %) | 1,655 (3.6) | 6,484 (13.9) | 15,767 (33.8) | 9,530 (20.5) | 5,423 (11.6) | 7,728 (16.6) | 46,587 |
| 누적면적(km ²) (누적면적비, %) | 1,655 (3.6) | 8,139 (17.5) | 23,906 (51.3) | 33,436 (71.8) | 38,859 (83.4) | 46,587 (100.0) | 46,587 |

입지특성 : 해황 (지질/지반)

❖ 영광원전 앞바다 시추조사 결과

방류제 및 돌제지역의 지반 지지력이 약 $40 \sim 50 \text{ t/m}^2$

풍화암층의 두께 약 15 m 내외로 지반조건이 상당히 양호함

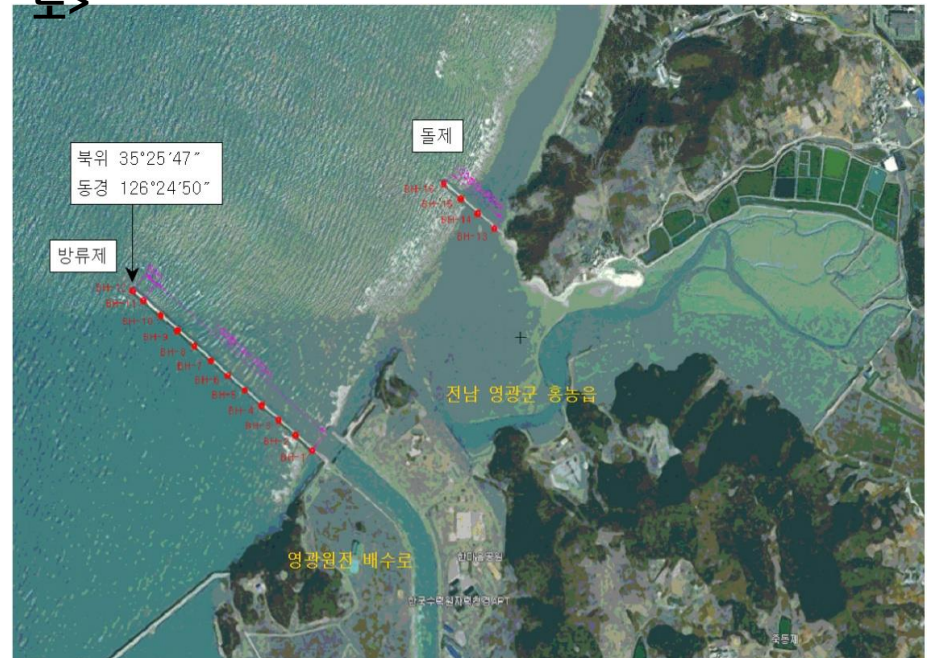
해상풍력단지 예정부지로서 지반 조건 양호할 것으로 예상

❖ 지진조사 결과 : 서남해안의 경우, 지진발생 빈도 및 강도 약함

<영광원전 앞바다 시추조사 결과>

| Boring No. | 풍화암층 | 풍화암 두께 | N 치 |
|------------|---------------|--------|-----|
| BH - 2 | DL(-) 16~40 m | 14 m | 50 |
| BH - 12 | DL(-) 22~37 m | 15 m | 50 |

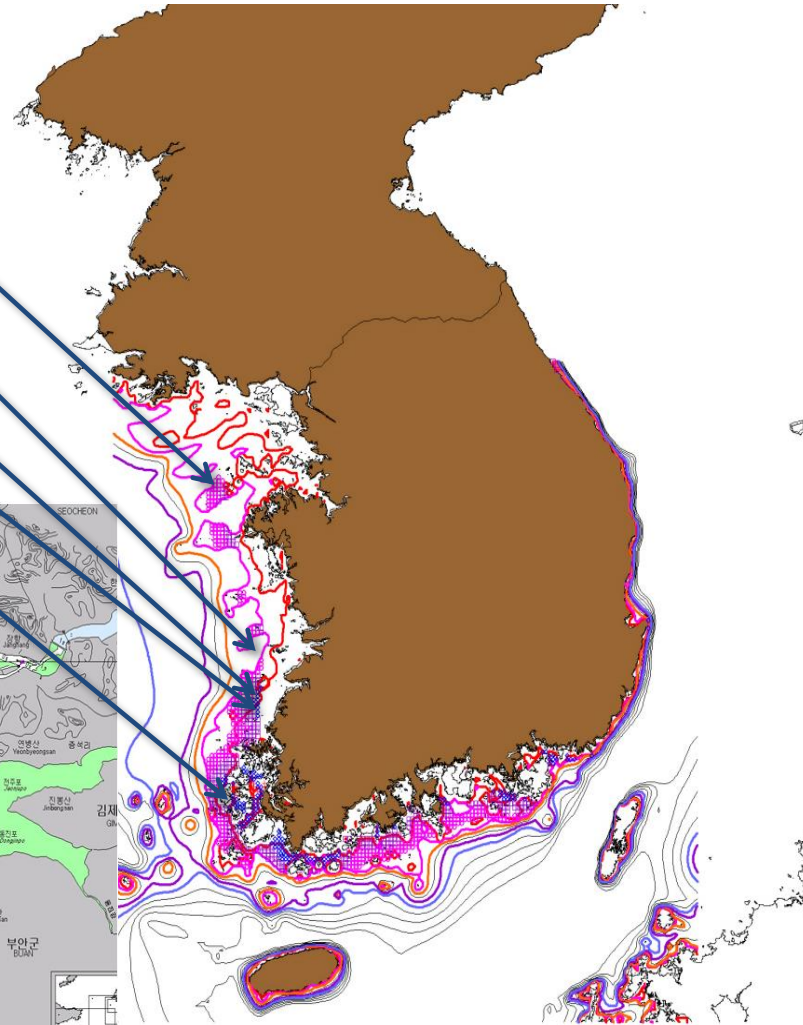
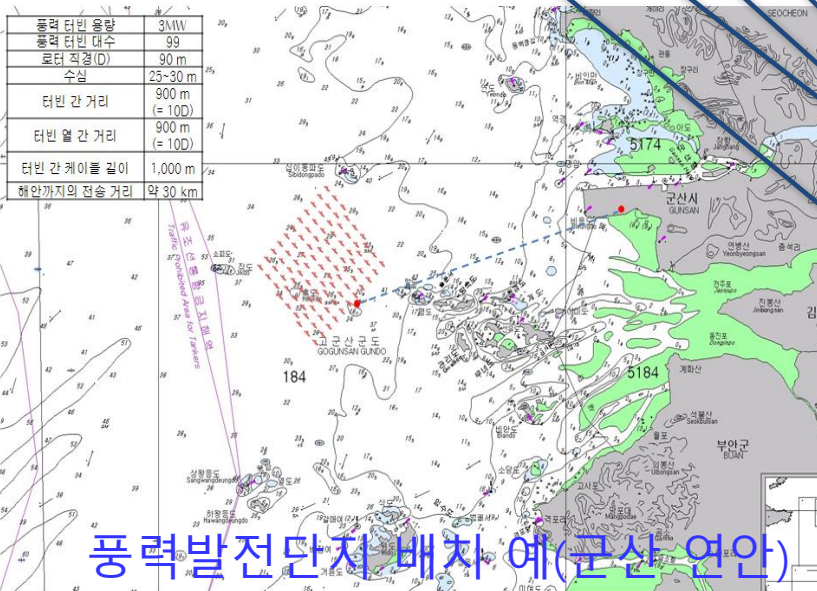
<영광원전 앞바다 시추조사 위치도>



4. 최우선 적용부지

- 태안 해역
- 군산 해역
- 고창 해역
- 영광 해역
- 신안 해역

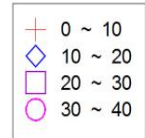
| | |
|-------------|------------------|
| 풍력 터빈 용량 | 3MW |
| 풍력 터빈 대수 | 99 |
| 로터 직경(D) | 90 m |
| 수심 | 25~30 m |
| 터빈 간 거리 | 900 m (= 10D) |
| 터빈 열 간 거리 | 900 m (= 10D) |
| 터빈 간 케이블 길이 | 1,000 m |
| 해안까지의 전송 거리 | 약 30 km |



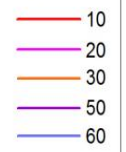
※ Wind Class 3 이상
(WPD 367 W/m² 이상)

※ 수심 5~20 m

※ 변전소와의 최소 이격거리(km)

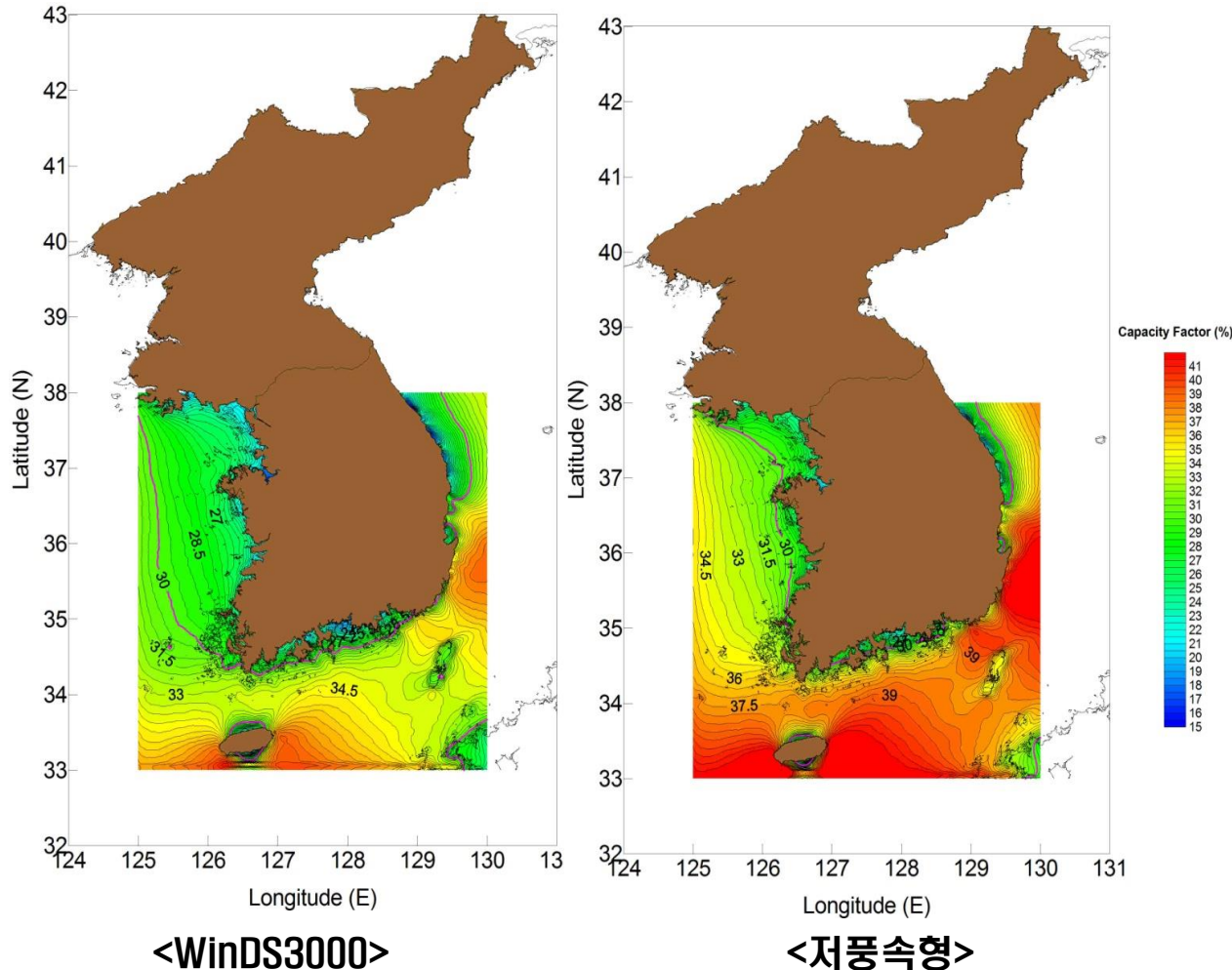


Depth (m)



경제성평가: 저풍속 터빈의 도입 필요성

저 풍속형 도입으로 Capacity Factor [%] 증가 가능



고창지역의 경우 WinDS3000 적용시 이용률(Capacity Factor, C.F.)은 평균 27.5%

풍황자원이 상대적으로 빈약한 우리나라는 경제성과 직결되는 이용률 향상을 위해 저풍속 풍력발전기 개발이 필수적

저풍속형 풍력발전기 개발 시 연간생산량(Annual Energy Production, AEP) 13%이상 향상, 이용률은 4% 증가

국내 해역은 유럽과 같이 풍황이 우수하지 않기 때문에 추후 저풍속형 풍력발전기 개발하여 경제성을 향상시킬 경우 풍력발전단지 보급이 활성화된 전망

VRE 20% Estimation

★ Commercially active, standardised arrangements between BRP and aggregator in place

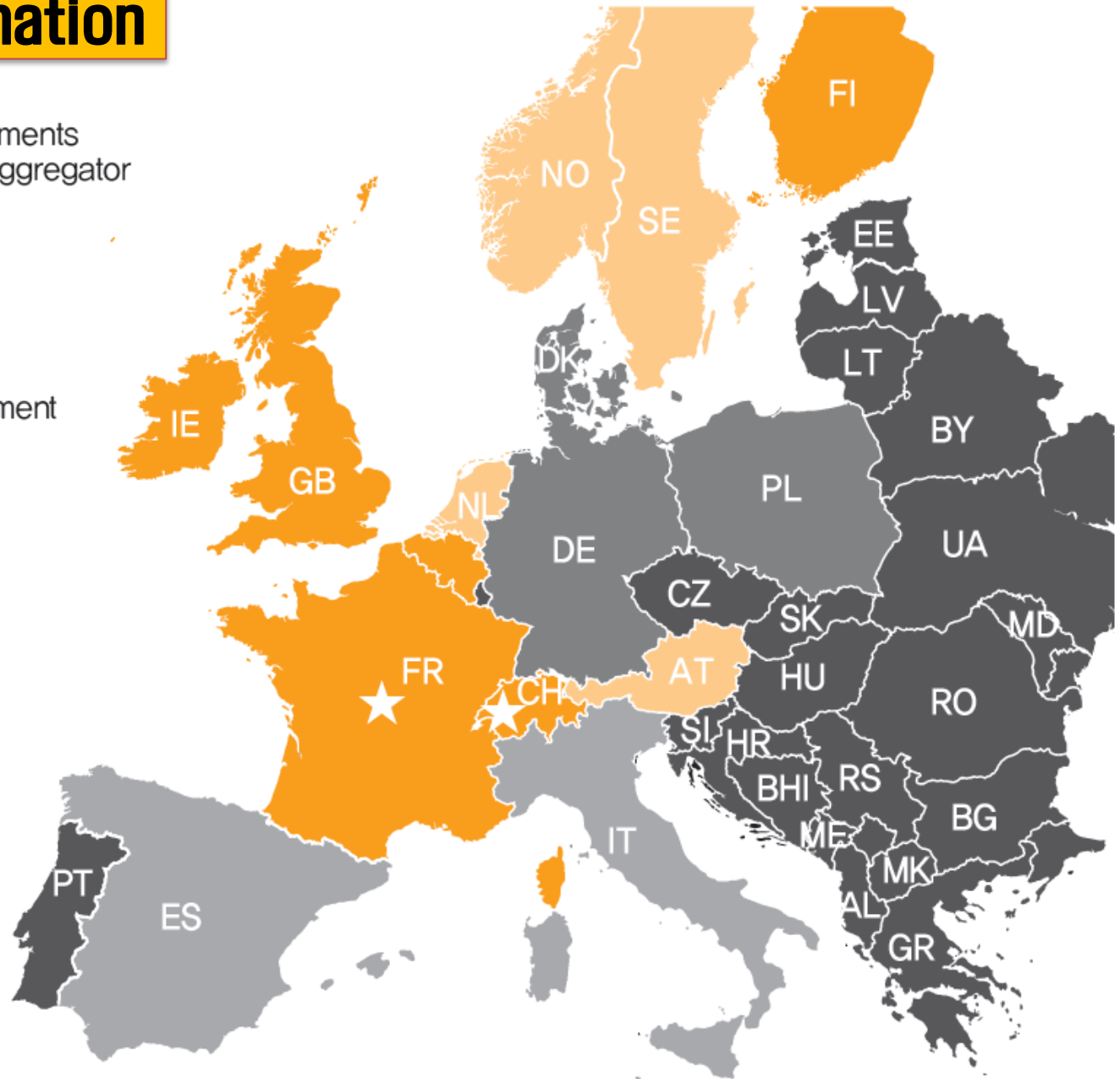
● Commercially active

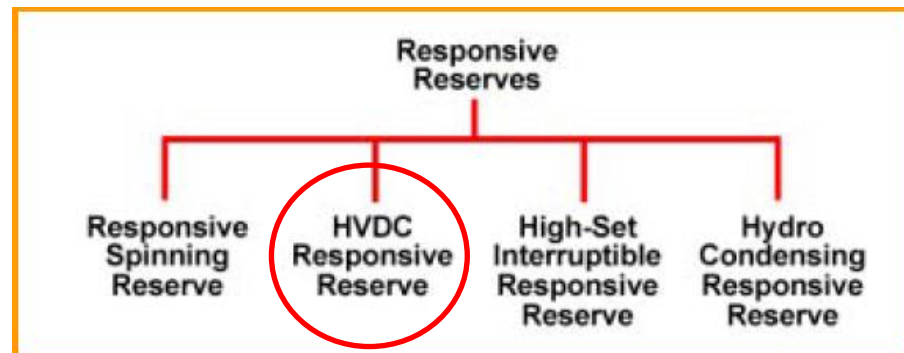
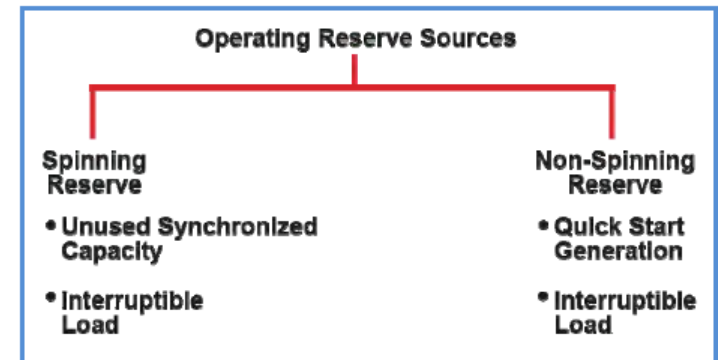
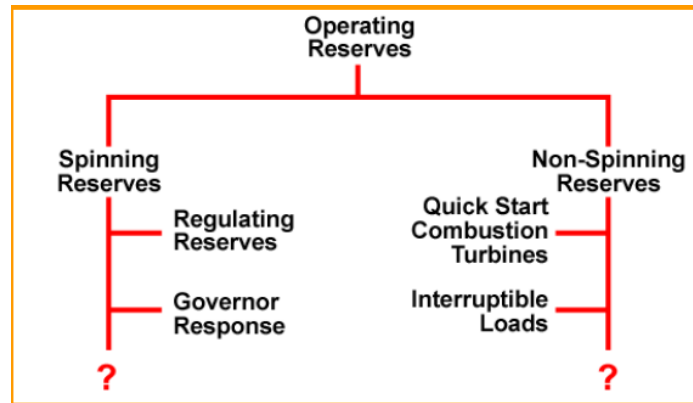
● Partial opening

● Preliminary development

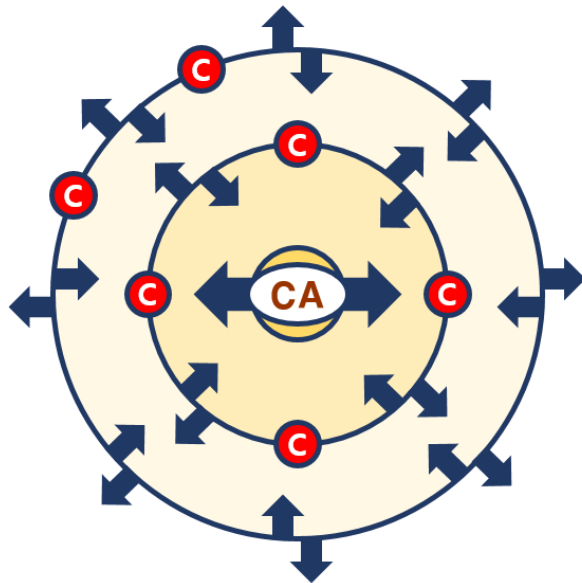
● Closed

● Not assessed





“Micro Grid”



CA = Cell Agent

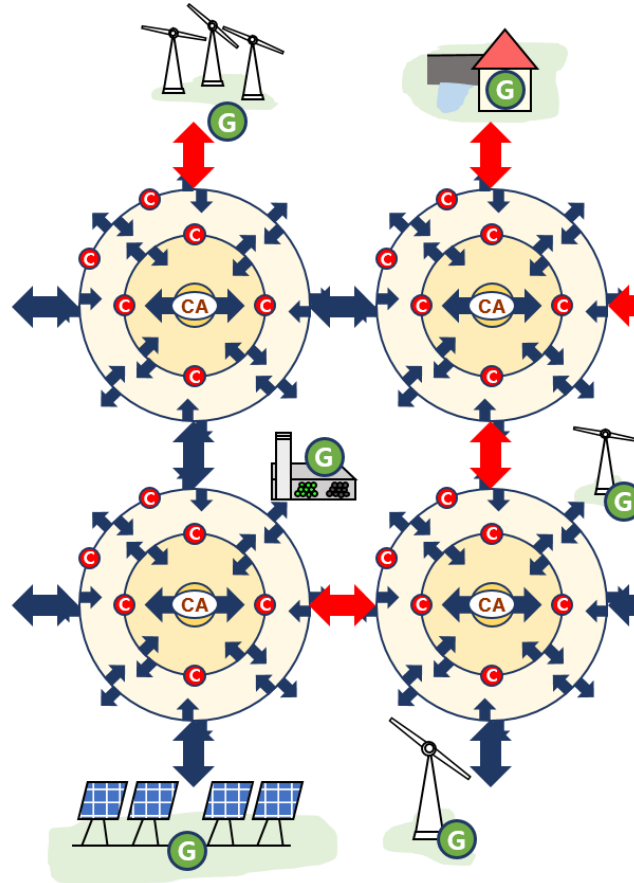
Storage

G + **S** = **C** Cell

Generation

Virtual Power Plant

“Smart Grid”



“Super Grid”

Bulk Power AC/DC
Energy Highway

분산화된 전력망

통합된 전력망

전력자유화

한전체제

Self-Healing

30년 ~ 50년

불가능

고장 자기복구

불가능

고가의 전력망

저가의 전력망

* 에너지의 이념화!

-필리핀 → 월 30만원~100만원 : 전기요금

-신재생 → 부자들의 에너지 : 원자력 → 가난한 자의 에너지

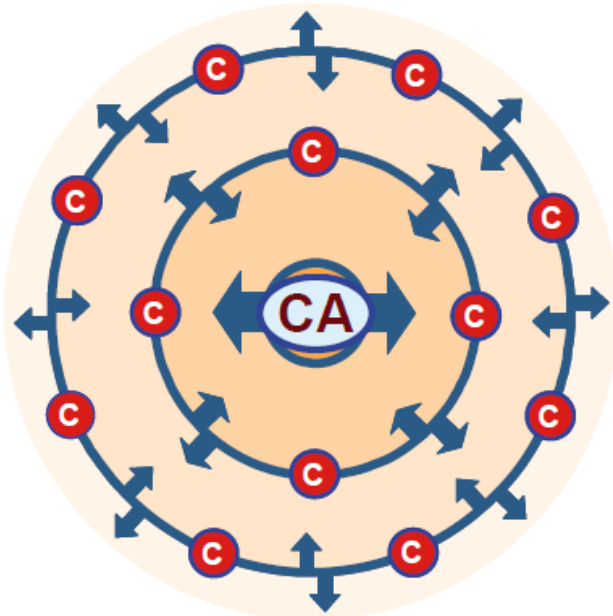
-원자력 발전을 부활

- 80년대 전기요금 80원/kWh → 노동임금↑ + 에너지 가격 → 에너지가격
- 공기, 식량, 안보, 전기(겨울 난방, 여름 에어컨) → 국가의 의무



I. Connectivity

“Micro Grid”



CA = Cell Agent

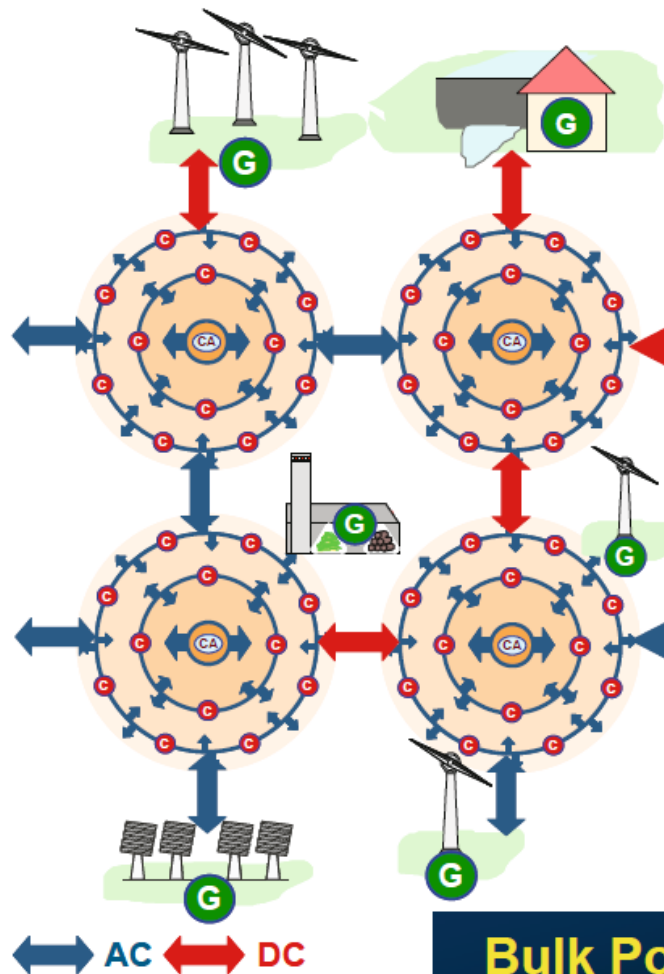
Storage

G + S = C Cell

Generation

Virtual Power Plant

“Smart Grid”



AC DC

“Super Grid”

Bulk Power AC/DC
Energy Highway

Electric Power System Connectivity

Connectivity of the electric power system refers to the increasingly widespread deployment of communicating equipment that provides access to data streams and functionality to help inform decisions and behaviors all along the value chain, from the power plant to the end consumer.

| | |
|--------------|--------------------------------------|
| Application | HTTP, FTP, SMTP |
| Presentation | JPEG, GIF, MPEG |
| Session | AppleTalk, WinSock |
| ----- | |
| Transport | TCP, UDP, SPX |
| Network | IP, ICMP, IPX router |
| Data Link | Ethernet, ATM switch, bridge |
| Physical | Ethernet, Token Ring hub repeater |

Figure 1. OSI Model—or “Stack”—and Example Protocols [5]

Connectivity Challenges

Connectivity in the electric power industry poses several challenges, including the large volume of data; proprietary legacy systems and the need for enhanced security; and inconsistent lifecycle timescales of utility assets and rapidly-evolving connectivity technologies.

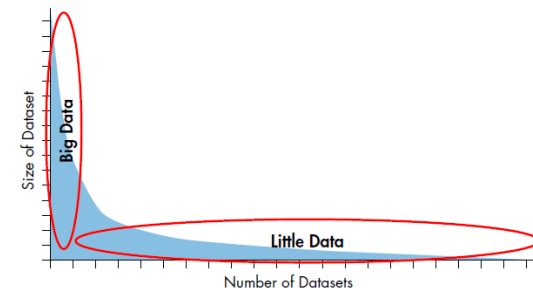


Figure 2. Little Data versus Big Data [21]

```
graph TD; subgraph IT_Events [IT Events]; IT_NDL[Network Device Logs]; IT_ISL[IT System Logs]; IT_BS[Business Systems]; end; subgraph Behavioral_Learning [Behavioral Learning Appliances]; end; subgraph Industrial_Security [Industrial Security Appliances]; end; subgraph OT_Events [OT Events]; OT_CCS[Control Center Systems]; OT_SSG[Substation Gateways]; OT_FD[Field Devices]; end; PS[Physical Security Systems]; PSE[Power System Events]; TVIS[Threat and Vulnerability Information Sources]; FNOC[Field Network Operations Center]; LEA[Log and Event Aggregation]; CE[Correlation Engine]; R[Reporting]; IT_Events --> LEA; Behavioral_Learning --> LEA; Industrial_Security --> LEA; OT_Events --> LEA; PS --> LEA; PSE --> LEA; TVIS --> CE; FNOC --> CE; LEA --> CE; CE --> R;
```



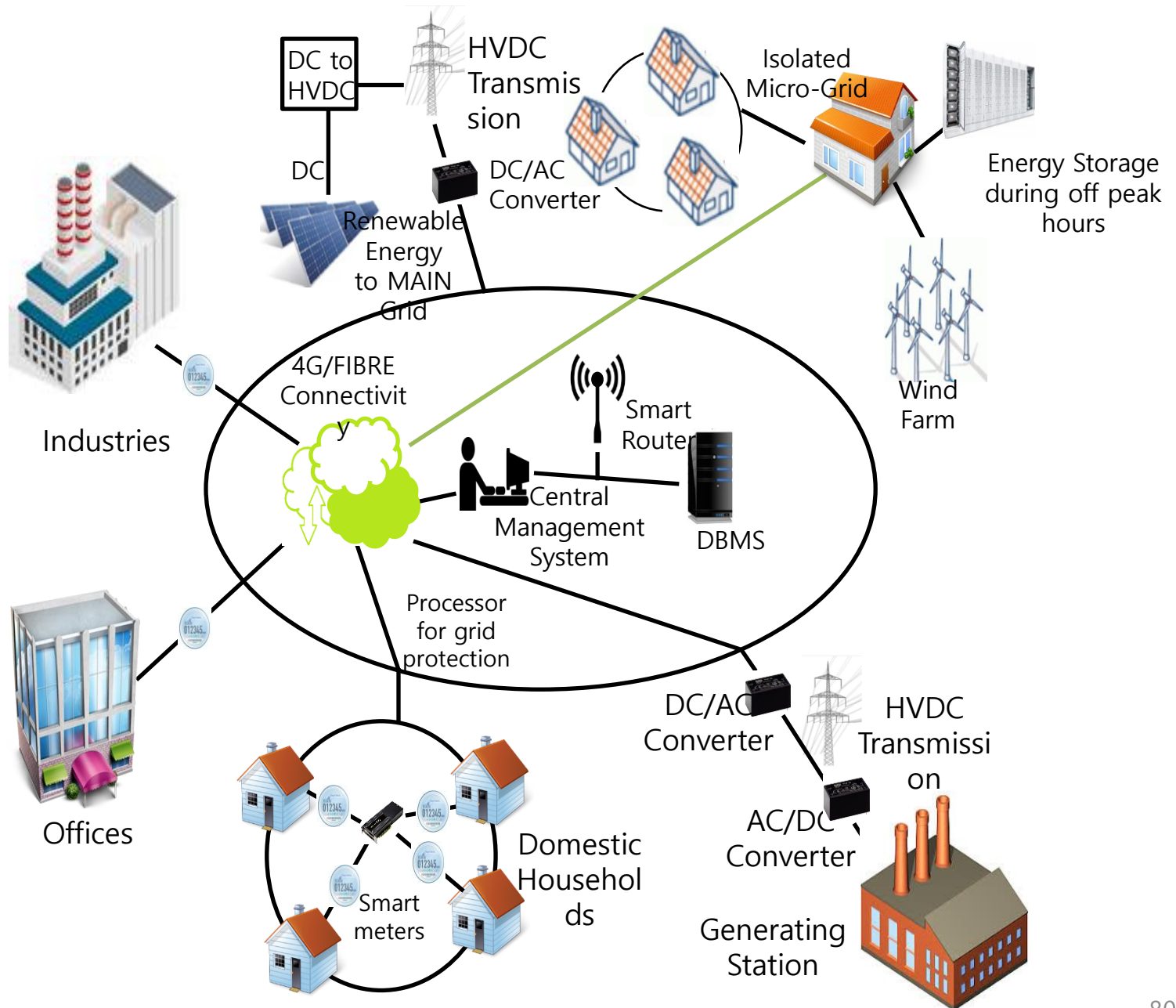
The diagram illustrates a Smart Grid Architecture. At the top, a horizontal blue bar labeled "Enterprise Integration" connects several systems: MDMS, OMS, GIS, etc., and Wholesale DR and Energy Markets. Below this bar, a central cloud labeled "SCADA and Field Networks" is connected to DMS, DERMS, and DRAS. To the right of the cloud, there are two orange boxes labeled "Third-Party DERMS" and "Third-Party DRAS". Below the cloud, there are several icons representing different energy sources and components: Sensors, Switches, Capacitors, Regulators; Solar; Battery; PEV; and a building icon. The entire architecture is shown in a hierarchical and interconnected manner.

Zero Net Energy

1. Minimize energy consumption by using efficient end-devices
2. Shift energy consumption to low-demand OR high-supply periods
3. Store generated energy surplus for future use
4. Use weather and consumer behavior data to predictively manage energy flow
5. Provide consumer the ability to prioritize energy use for each appliance and "comfort range" for each
6. Provide consumer the composite view of entire connected devices

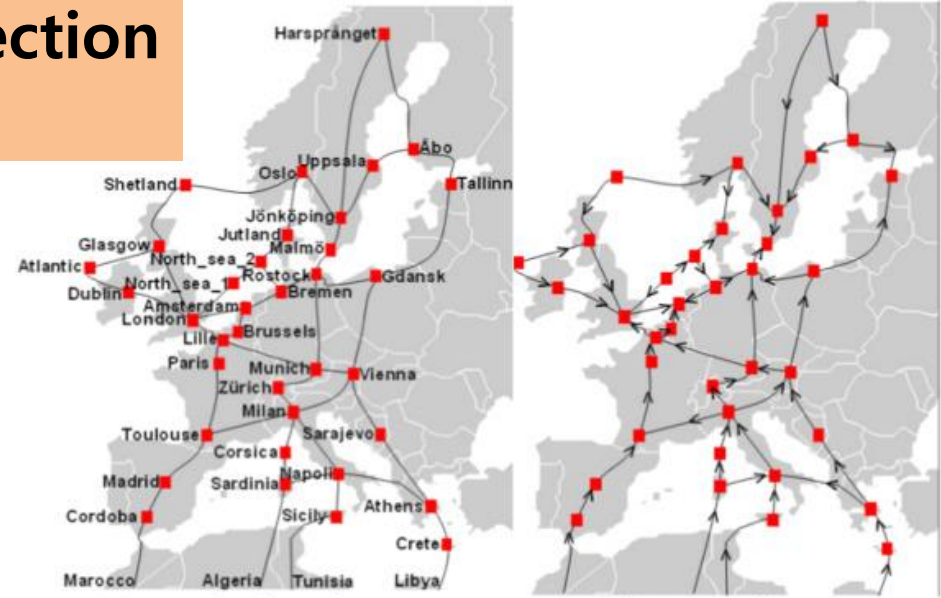
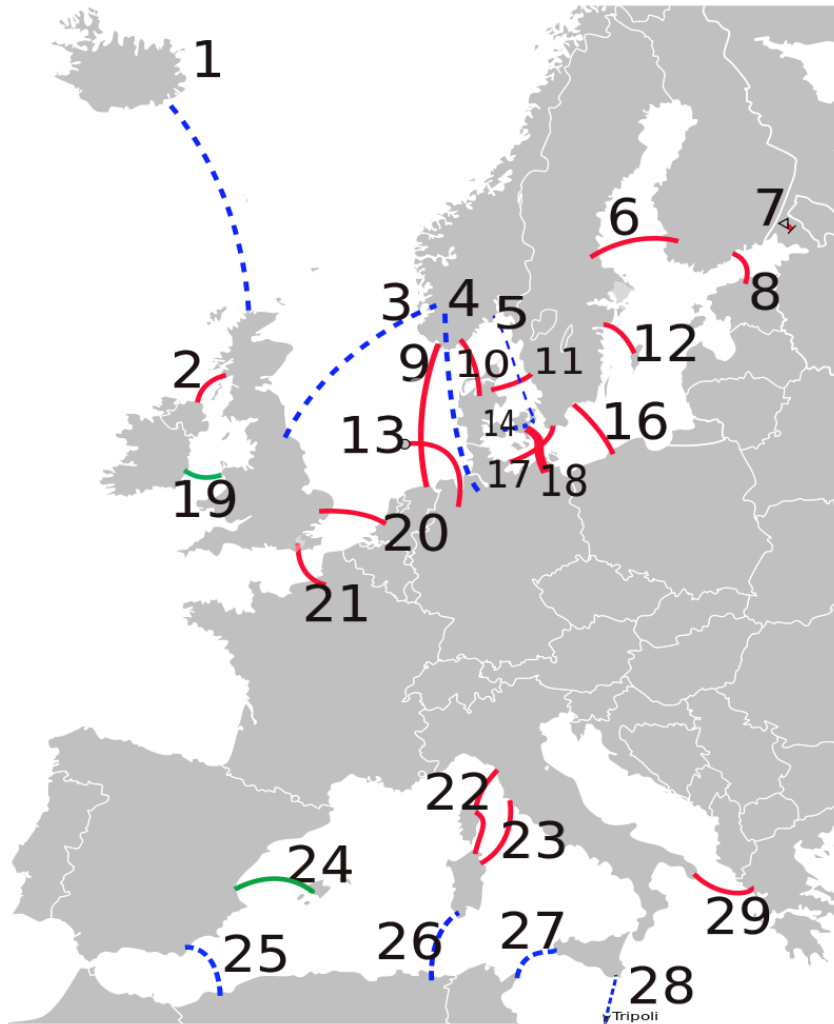
The diagram illustrates the Power Generation Monitoring and Control Architecture, centered around the Enterprise Service Bus. The architecture is organized into several layers and components:

- Top Layer (External Systems and Applications):**
 - SOA Enabled Existing PJM Applications:** Connected to the Enterprise Service Bus via the Business Service Components/Legacy Interface.
 - Generation Control New Application:** Connected to the Enterprise Service Bus via the GCA Interface.
 - Intelligent Event Processing New Application:** Connected to the Enterprise Service Bus via the IEP Interface.
 - User Interface:** Connected to the Enterprise Service Bus via the UI Interface.
 - Simulator:** Connected to the Enterprise Service Bus via the OTS Interface.
 - PJM Corporate Systems:** Connected to the Enterprise Service Bus via the Data Warehouse Interface.
- Enterprise Service Bus:** The central hub for data exchange, represented by a thick grey cylinder.
- Bottom Layer (Internal Systems and Data Stores):**
 - TNA:** Connected to the Enterprise Service Bus via the TNA Interface.
 - Information Model Manager:** Connected to the Enterprise Service Bus via the IMM Interface.
 - Shared Architecture Components:** Connected to the Enterprise Service Bus via the SA Interface.
 - Identity Management:** Connected to the Enterprise Service Bus via the Security Interface.
 - SCADA & RT APPS:** Connected to the Enterprise Service Bus via the SCADA Interface.
 - Information Storage and Retrieval:** Connected to the Enterprise Service Bus via the IS&R Interface.
 - DW ODS SAS Mart:** Connected to the Enterprise Service Bus via the Data Warehouse Interface.
- High Speed Bus:** A blue cylinder at the bottom, connected to the SCADA & RT APPS and Information Storage and Retrieval components.



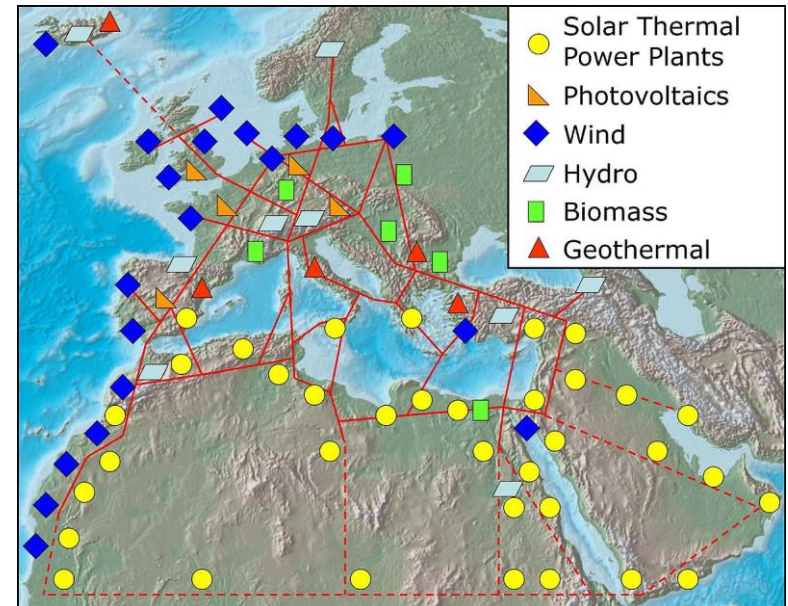
I. 해상 풍력용 HVDC시스템

European Power Interconnection Super-Grid



(a) Terminal locations

(b) Power flows



UK Wind Farms: East Anglia (3/4)

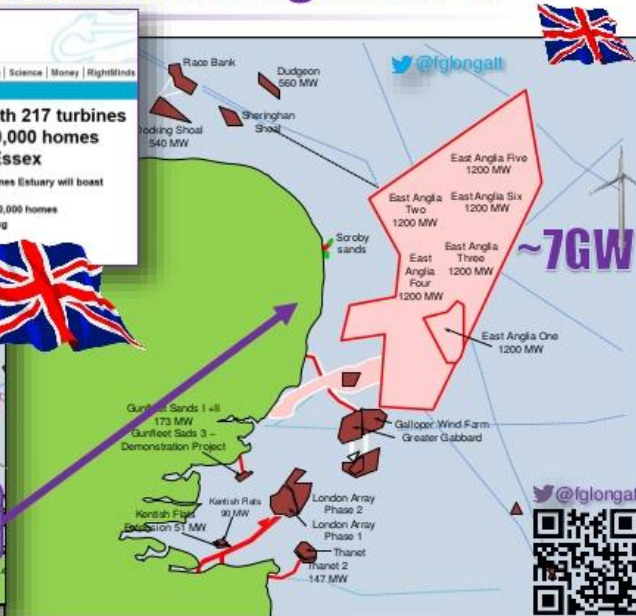
MailOnline

Home News U.S. Sport TV & Shows Film Health Science Money RightWings

'World's largest wind farm' with 217 turbines that can power homes for 750,000 homes takes shape off the coast of Essex

- When complete, the £1.7 billion project in the Thames Estuary will boast 217 turbines
- It will be able to generate enough electricity for 750,000 homes
- Set to be connected to the National Grid next spring

By CHRIS BUCHANAN
PUBLISHED 11:03, 17 June 2012 | UPDATED 10:42, 17 June 2012



KIS-ORCA
www.kis-orca.eu

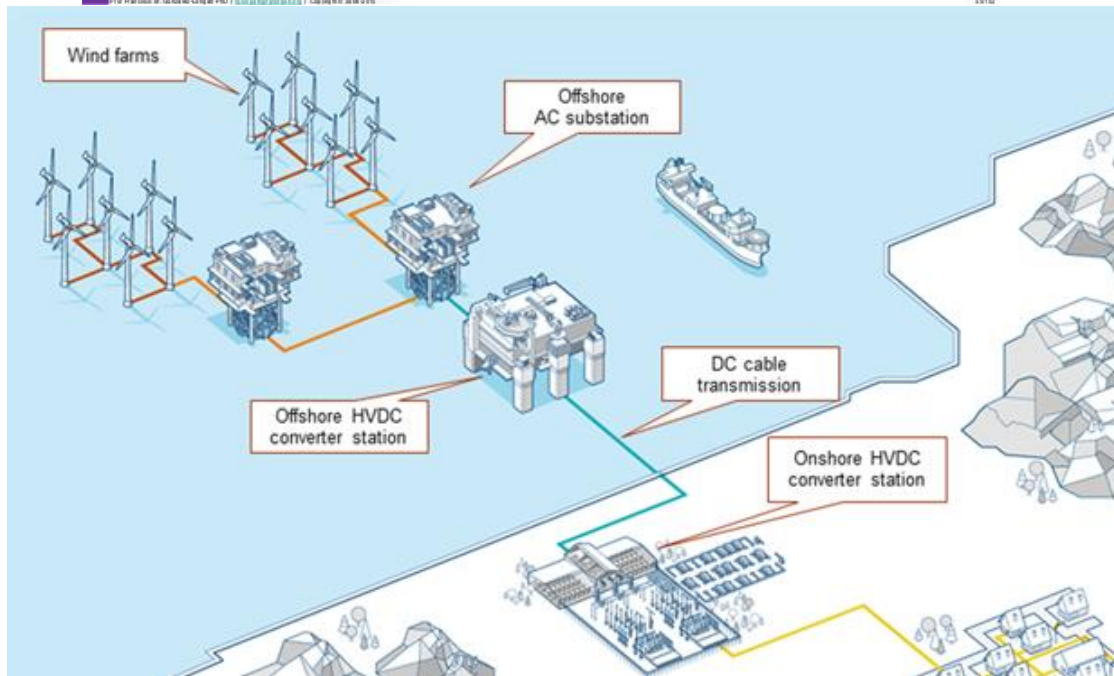
DONG energy

London Array Offshore Wind Farm

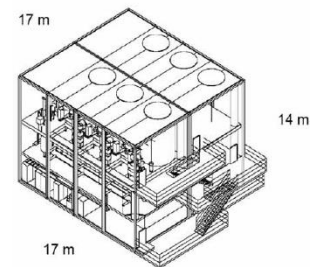
- Legend
- Substation
 - Wind Turbine
 - Cable - Electricity
 - Offshore Wind Farm Boundary



EMERGENCY CONTACT NUMBER:
08455 441037
NOT TO BE USED FOR NAVIGATION

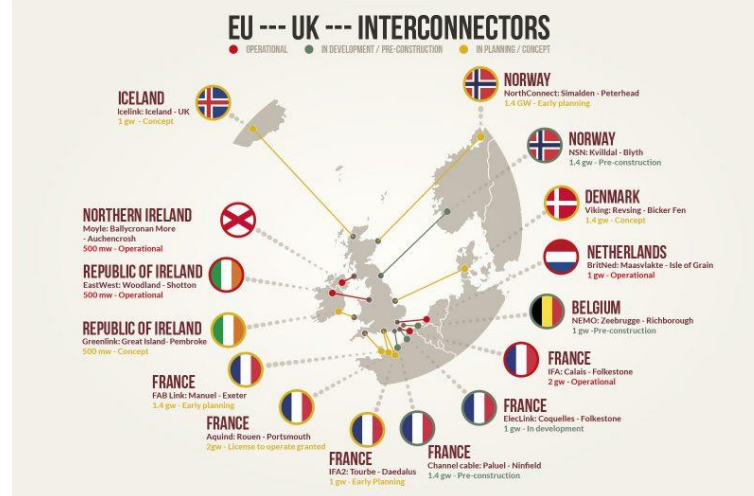
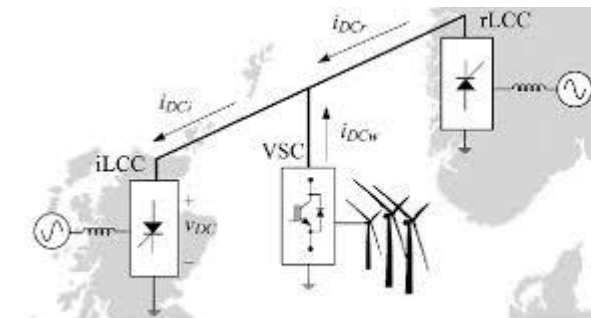


Offshore Platform Supplies



- 2 x 40 MW converter stations excluding transformer
- Equipment on three levels
- Weight: ~ 750 tons
- Footprint: ~ 350 m²

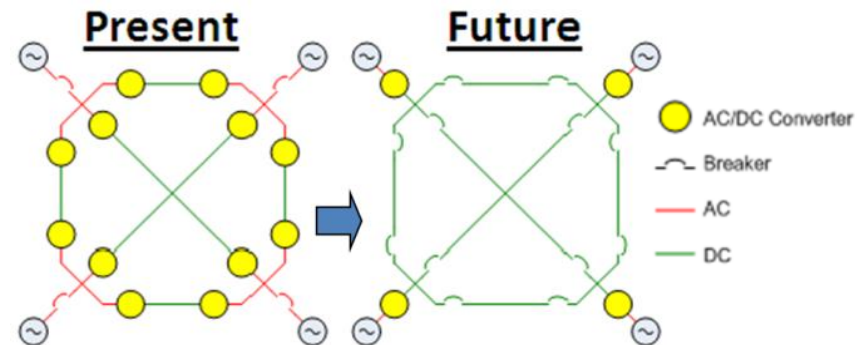
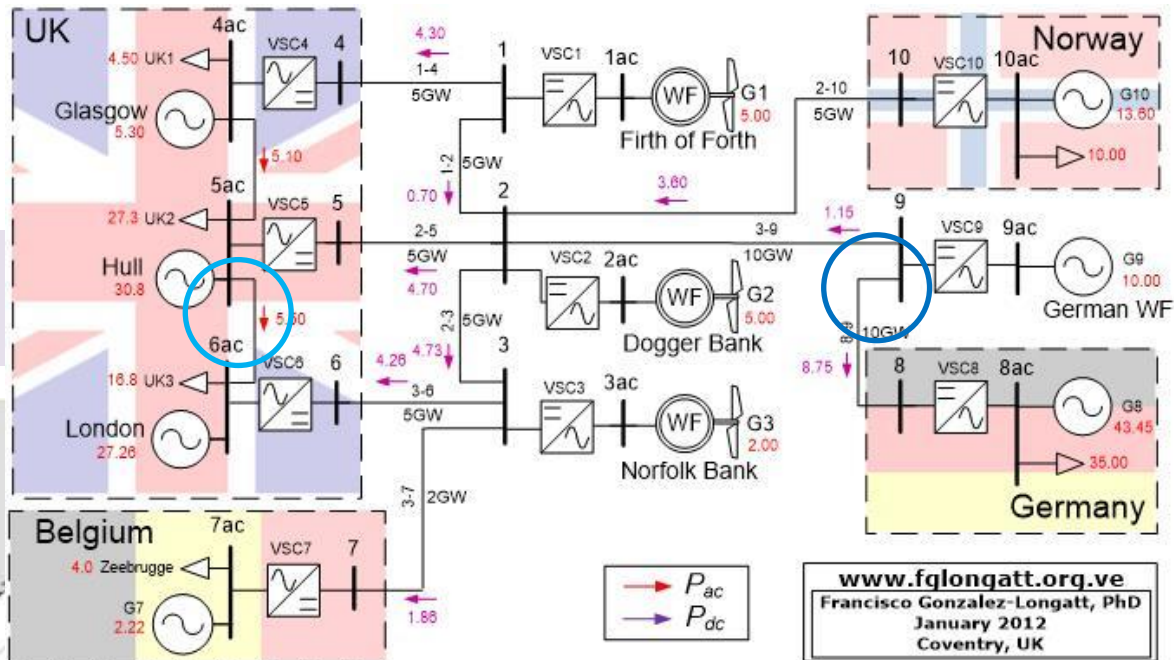
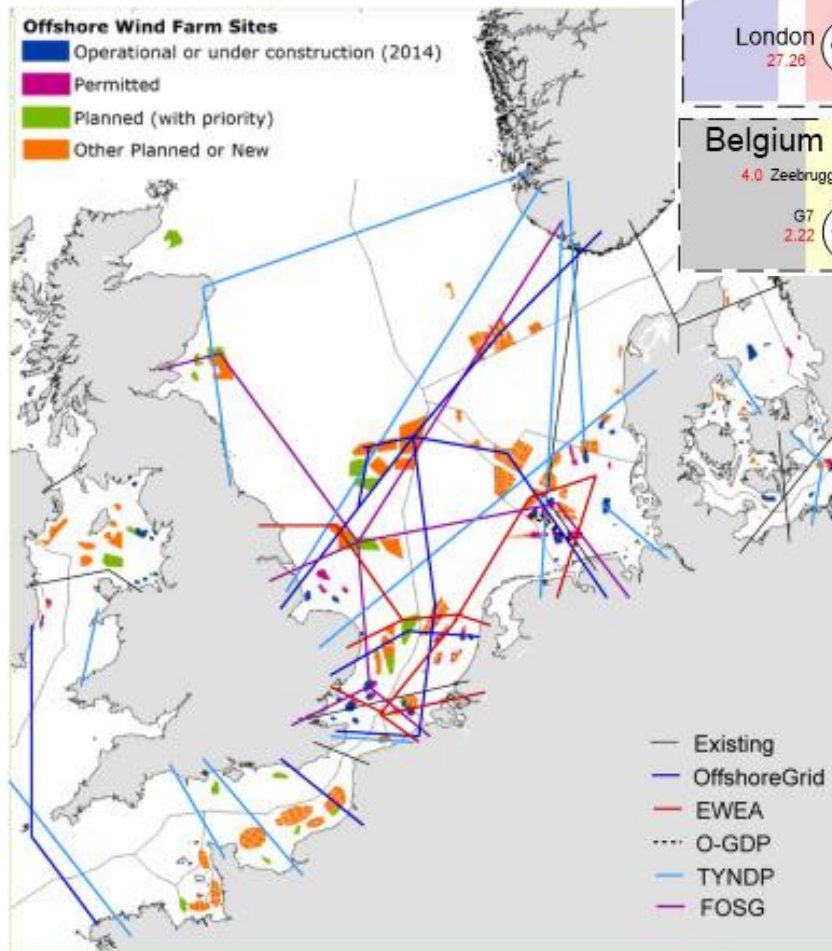




- *Multi-Infeed HVDC
- *Multi-terminal HVDC

DC 차단기

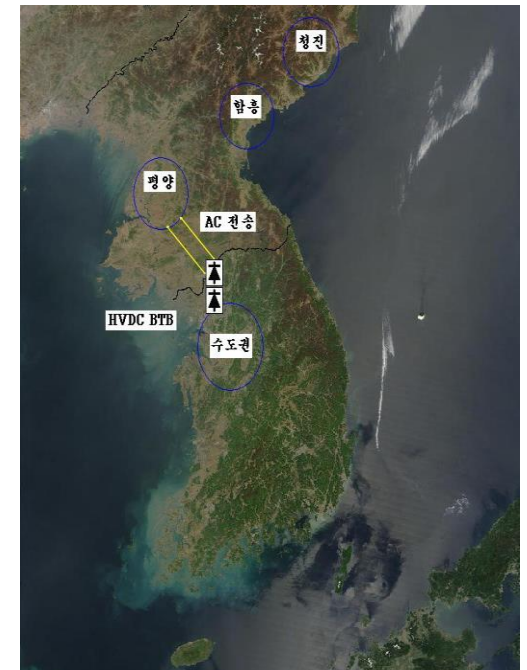
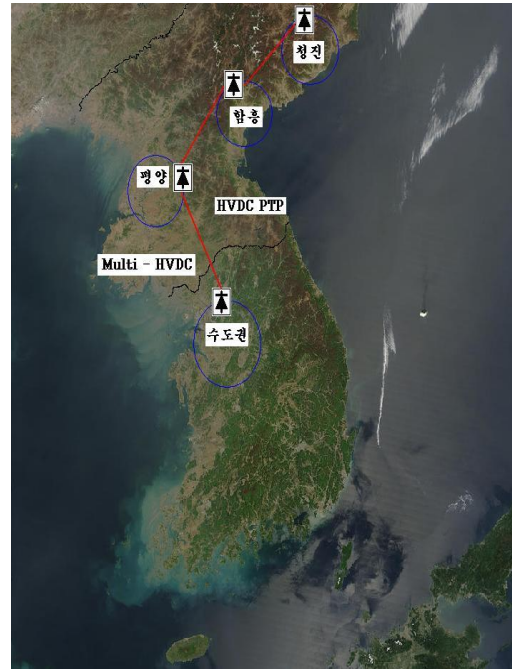
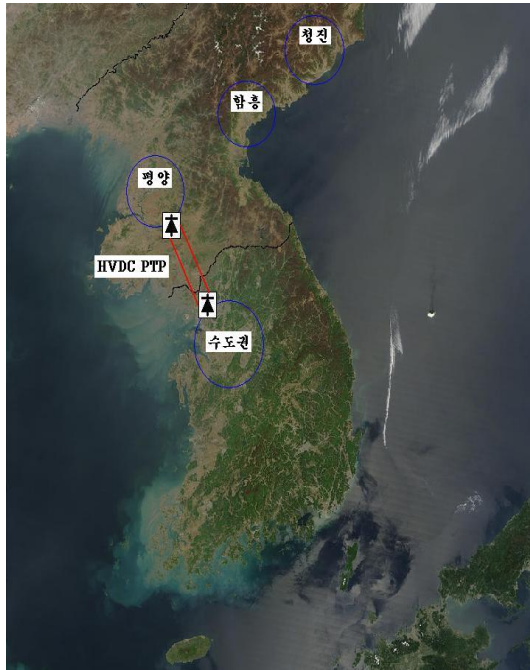
- *CSC : Multi-terminal HVDC
- *VSC : Multi-terminal, 고장차단



- DC Circuit Breaker
- FTF HVDC

남북한 전력연계 시 고려사항

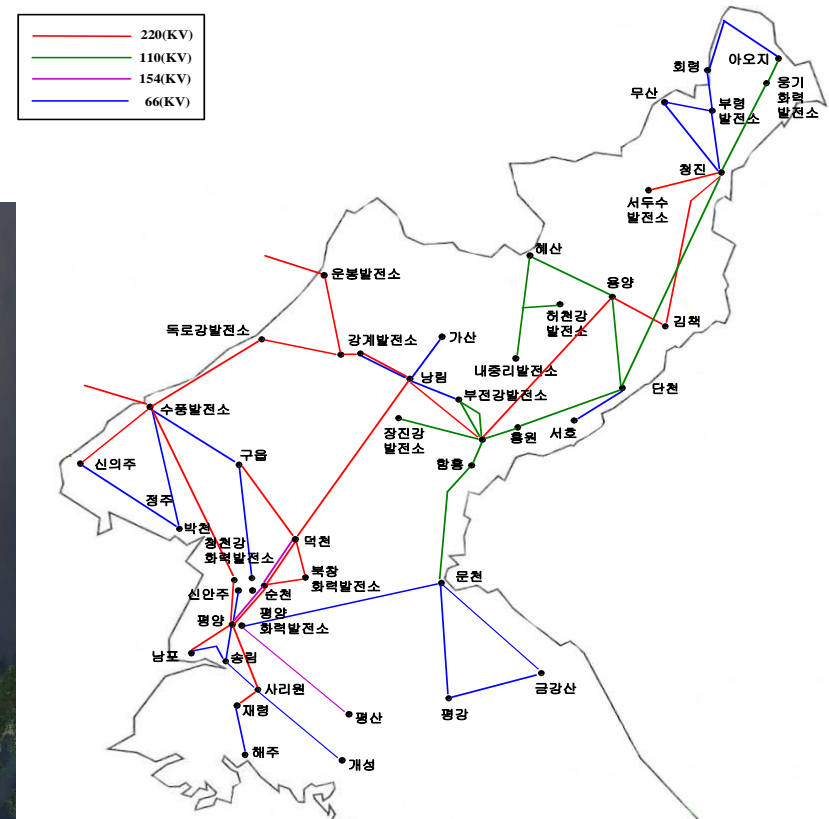
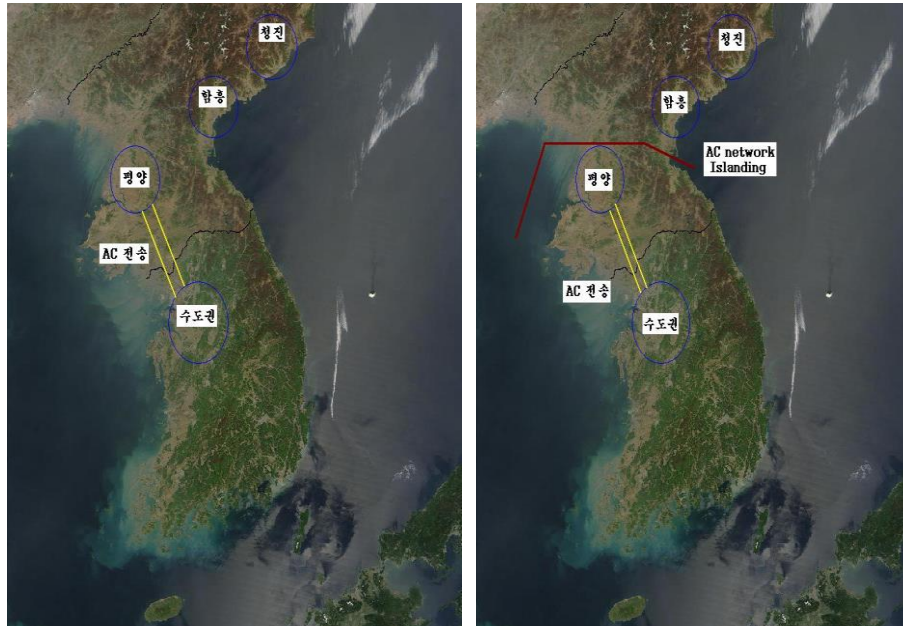
러시아에 가스 발전
Multi-Terminal HVDC
시베리아 - 평양 - 서울



HVDC연계 경제성 검토

1. AC 철탑 + BTB HVDC : < 200km : 경제성
2. PTP HVDC + DC 철탑 : > 200km : 경제성
3. Multiterminal HVDC :

남북한 전력연계 시 고려사항



- 전력 허브 : 평양, 신의주, 청진
- Radial 구조/ 분산 구조
- 수력 70%, 주파수 60Hz
- 발전용량 : 7.3GW
- 전력품질에 문제

- 서해안 해상풍력 - 백령도 (개발 가능 자원 - 10GW)
- Multi-Infeed + VSC HVDC
- Multi-terminal HVDC
- 경기 - 해상풍력 - 평양

Thank You !!



II. Blockchain

비잔틴 장군 문제(1)

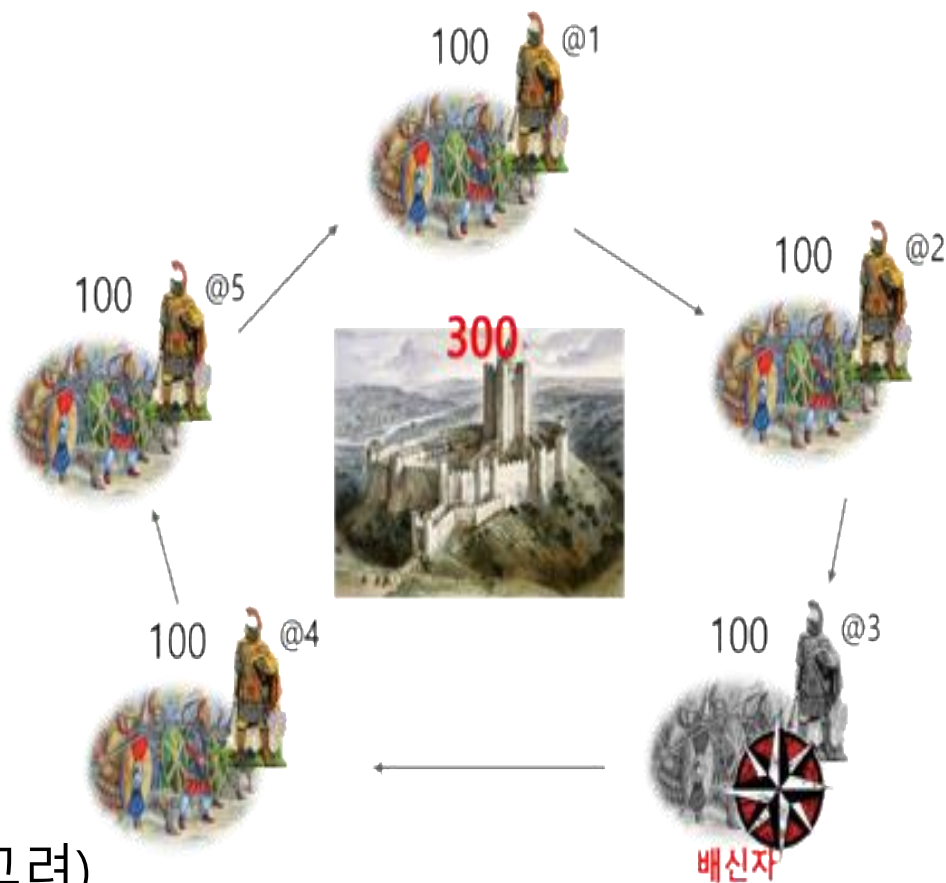
- 수비군 : 300명 (성안에서 수비)
- 공격군 : 5 x 100명
- 승리조건 : 500명으로 동시 공격

<현 황>

- 장군들은 연락병으로 소통
- 장군들 중에 배신자 존재

<문 제>

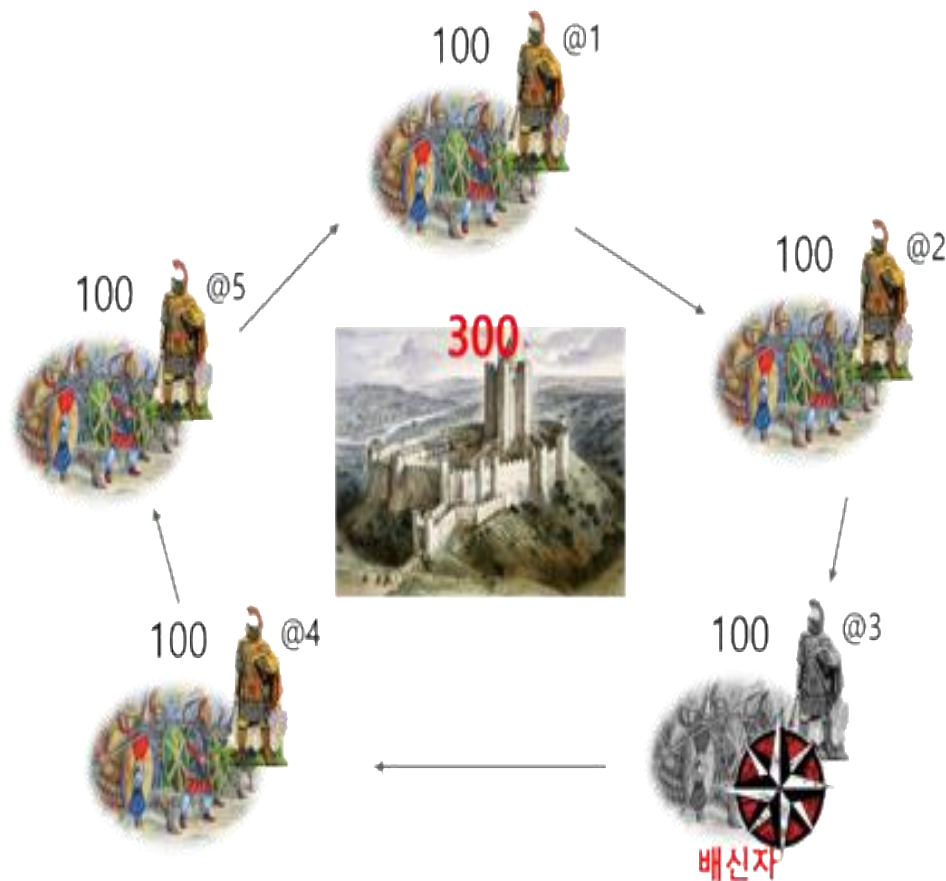
- 공격시각을 어떻게 합의(배신자 고려)
- 가정 1 - 공격시각은 상관 없음. 정해진 공격시간에 동시에 공격만 하면 됨
- 가정 2 - 배신자는 이전 장군의 메시지와 다른 시각을 전달함
- 가정 3 - 각 장군은 자신의 바로 다음 장군에게만 연락할 수 있음
- 가정 4 - 배신자도 지정한 시간에 공격에 가담



비잔틴 장군 문제 (2)

<문제 생기는 상황>

- 장군 1 : "9 AM" 공격시각 전달
→ 장군 2 + 서명
- 장군 2 : "9 AM" 공격시각을 전달
→ 장군 3 + 서명
- 장군 3 : **"8 AM"** 공격시간 전달
→ 장군 4 + 서명
- 장군 4 : "8AM" 공격시간 전달
→ 장군 5 + 서명
- 장군 5 : "8AM" 공격시간 기억



<결 과>

- "8AM" : 장군 3 + 장군 4 + 장군5 → 공격
- 300명의 공격군은 300명의 수비군에 밀려 **"패배"**

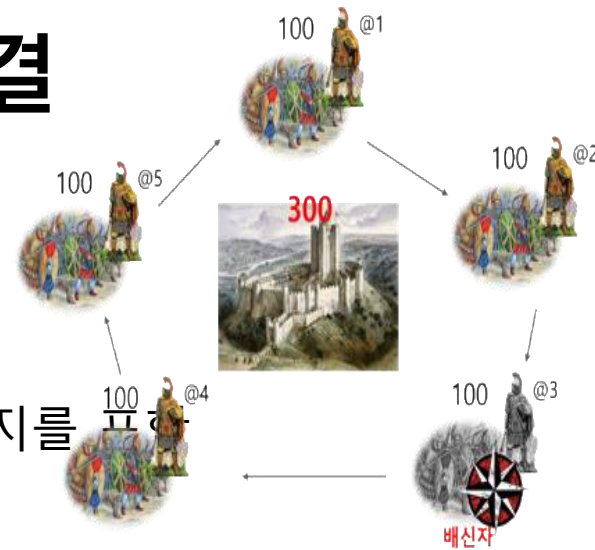
PoW을 이용한 블록체인으로 해결

[새로운 규칙]

A. 장군은 메시지를 보내기 위해 반드시 10분의 시간

(ex : 아주 복잡한 실링 과정)

B. 메시지는 이전 모든 장군이 10분을 소비한 증거 + 메시지를



<해 결>

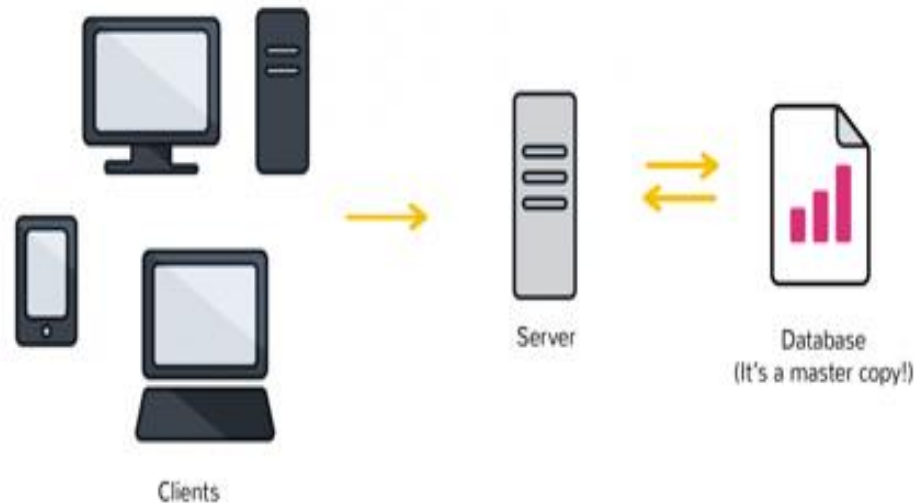
- 장군 1 : "9 AM" 공격시각 + 암호를 해독하기 위해 10분을 소비한 증거
→ 장군 2 + 서명
- 장군 2 : "9 AM" 공격시각 + 암호를 해독하기 위해 10분을 소비한 증거
→ 장군 3 + 서명
- 장군 3 : 다음 3가지 중 하나 선택
 - 장군 3은 10분보다 빠르게 작업을 하여 "8 AM" 메시지 작성
 - 장군1 + 장군 2의 20분 작업 분량의 서명을 남은 시간 내에 조작
 - 그냥 "9 AM"으로 전송

Blockchain 기본 원리

- Internet 백과사전이 Wikipedia와 비교하여 설명
- Wikipedia의 특징
 - 사용자들이 많은 사람들이 정보를 기록
 - 사용자들이 정보들을 수정하고 Update
 - Wikipedia entry는 한 출판사의 Product가 아님
 - 어떤 한 사람에 의해서 정보가 Control되지 않음
- **Blockchain과 Wikipedia**는 Distributed Networks (the internet) 상에서 동작하지만, Wikipedia는 웹사이트 형태로 Client-Server Network Model을 이용

Blockchain 기본 원리

- 사용자들이 Wikipedia Page에 접속할 때마다, Updated Version of the 'Master Copy' of the Wikipedia Entry를 확인
- Database의 제어 권한은 Wikipedia Administrator들이 갖고 있어서, Database Access Permission은 Central Authority에 의해서 관리

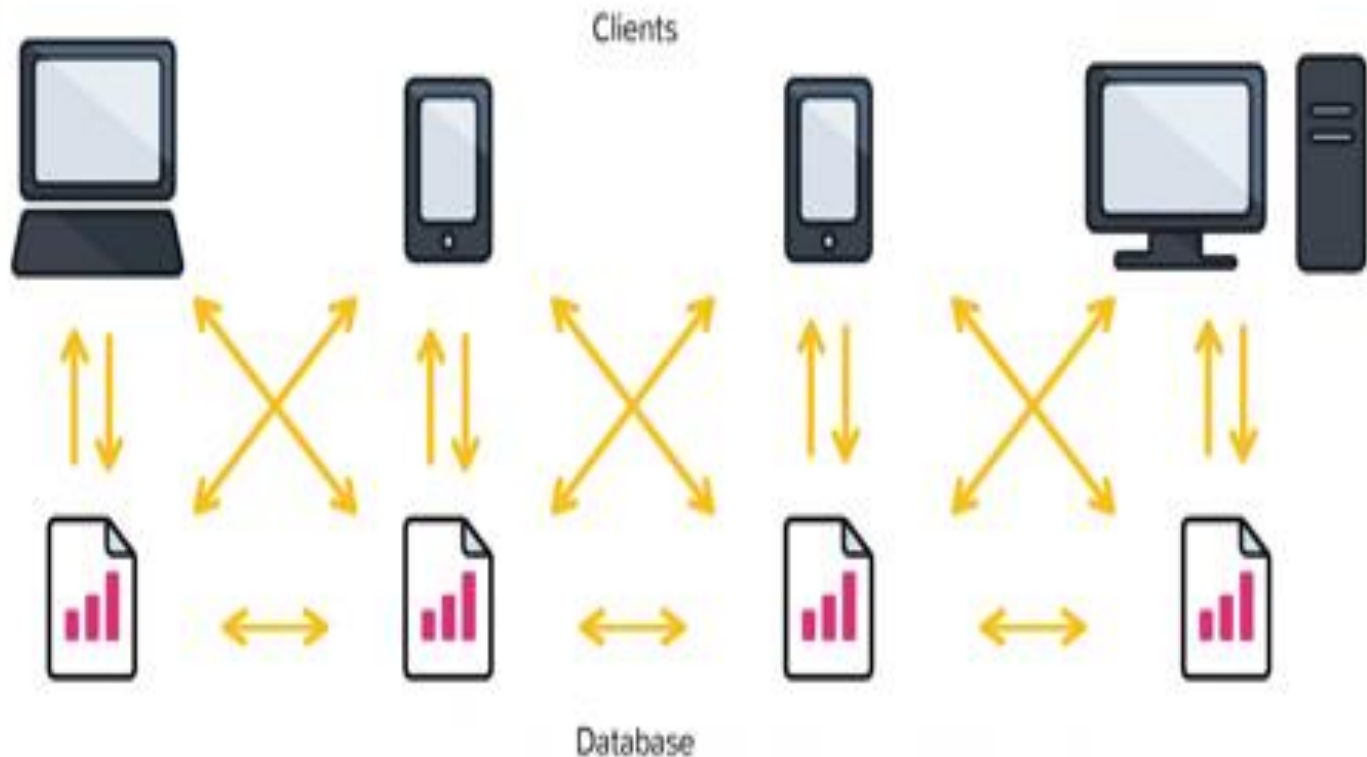


Blockchain 기본 원리

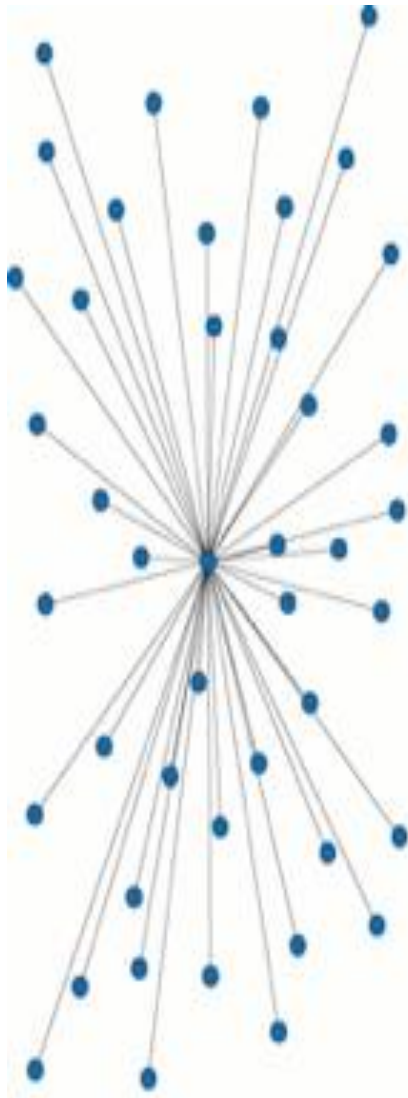
- 이와 같은 구조를 "Wikipedia's Digital Backbone" 방식.
 - 정부, 은행, 보험사들이 현재하고 있는 형태 : Highly protected and Centralized databases
 - DB의 소유자가 Centralized DB의 제어권을 갖는다.
 - (Management of updates, Access and protecting against Cyber-threats)
- Blockchain기술에 의해 만들어진 Distributed DB은 Wikipedia의 Digital Backbone과 완전히 상이
- Blockchain :
 - 모든 사용자(Node)가 독립적으로 Record를 Update.
 - 가장 Popular한 Record가 공식 Record가 되고, 이 Record를 모든 사용자가 공유.

Blockchain 기본 원리

- Transactions are broadcast, and every node is creating their own updated version of events.



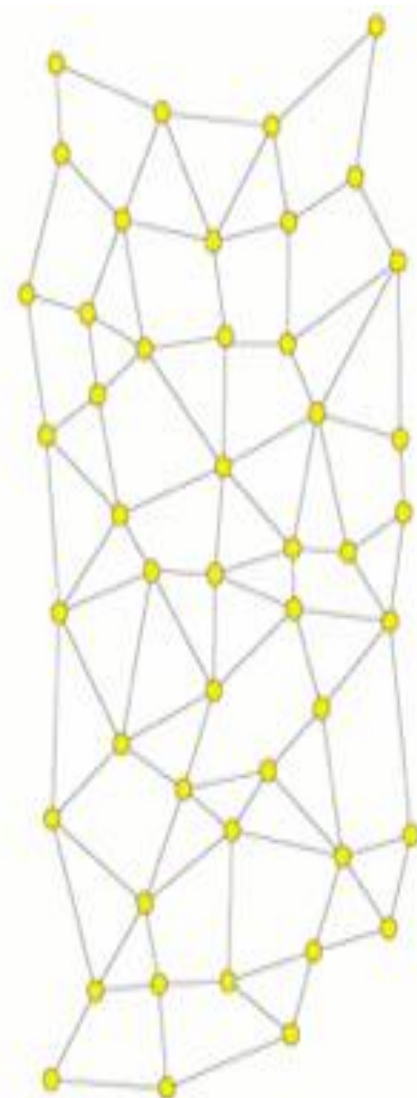
P2P networks



Centralized network



Decentralized network



Distributed network



Blockchain 기본 원리

Blockchain은 거대한 분산 장부(Ledger)

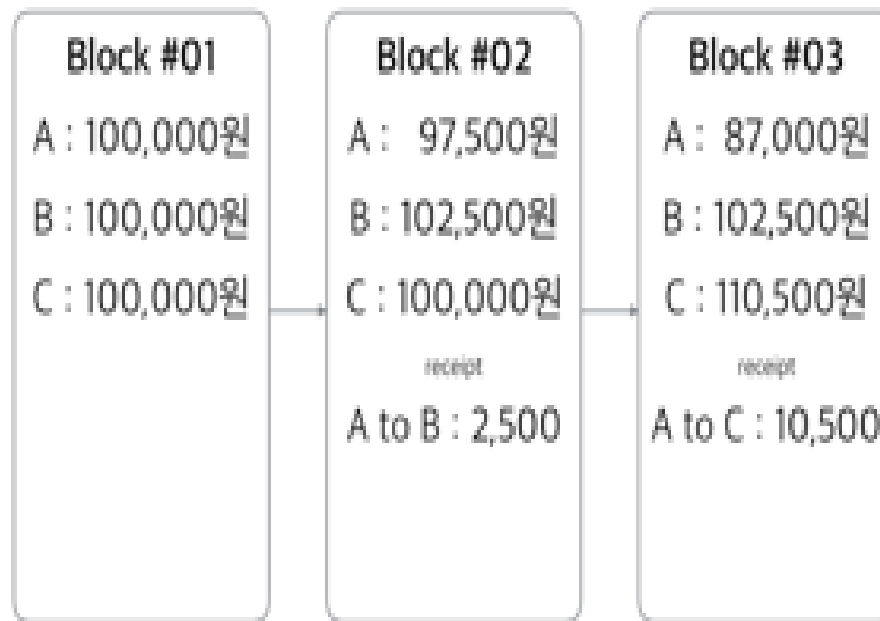
(모든 거래내역은 네트워크에 참여한 Node들이 보증, 필요하다면 나에게, 또는 주변 Node에 전송 → 아무나 확인)

예) A, B, C 3명이 있고, 세 사람의 모임의 구성원은 각각 10만원씩 가지고 있으며 서로가 하는 거래를 보장하기 위해서 Blockchain을 사용.

- 각각 10만원씩 모아 30만원을 만든 다음, 은행에 공동명의 통장 개설.
- 금액을 보장하는 주체는 은행, 모든 거래는 Blockchain을 통할 예정.
- 세 사람의 금액은 은행이 아닌, Blockchain에 의해 보장.
- Blockchain에 참여한 세 사람은 서로 간의 거래를 할 때 모임의 과반수 이상이 참여했을 때 거래를 할 수 있도록 합의

Blockchain 기본 원리

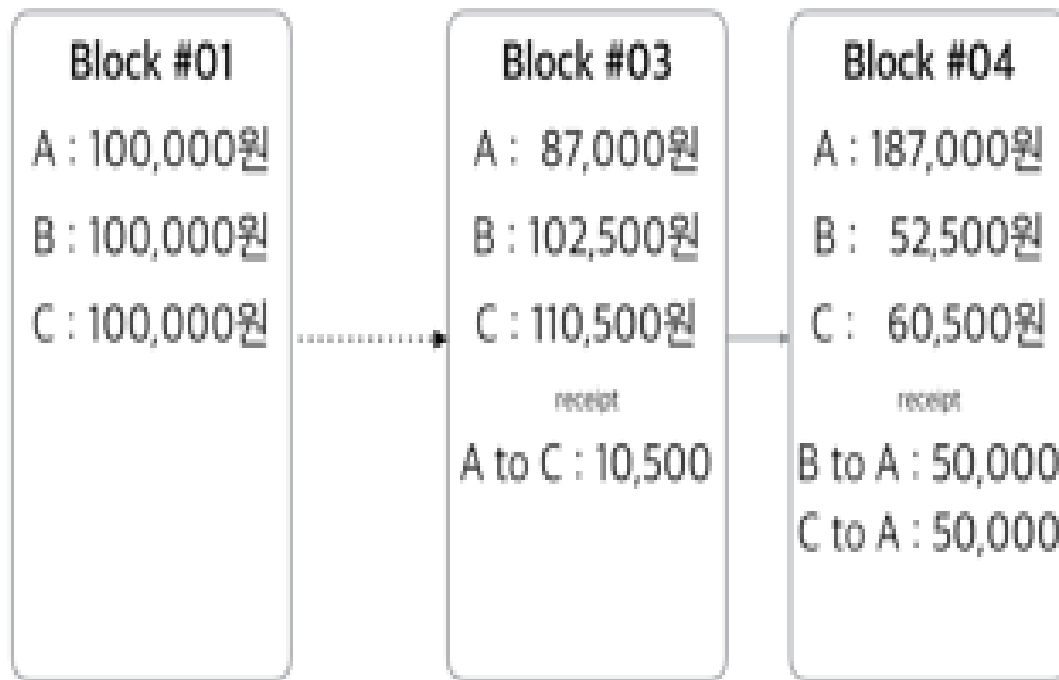
- 점심 : A는 B가 대신 지불한 식사비 2,500을 준 것으로, 장부 작성
- 저녁: A는 C와 함께 저녁과 커피를 먹고, A는 C가 대신 지불한 비용의 반인 10,500원을 준 것으로, 장부를 작성



- 이 모든 장부 내역은 세 사람이 가지고 있으며, 서로가 얼마를 가지고 있는지 확인가능. 각자 돈을 어떻게 얻게 되었는지, 어떻게 잃게 되었는지 복기가 가능.

Blockchain 기본 원리

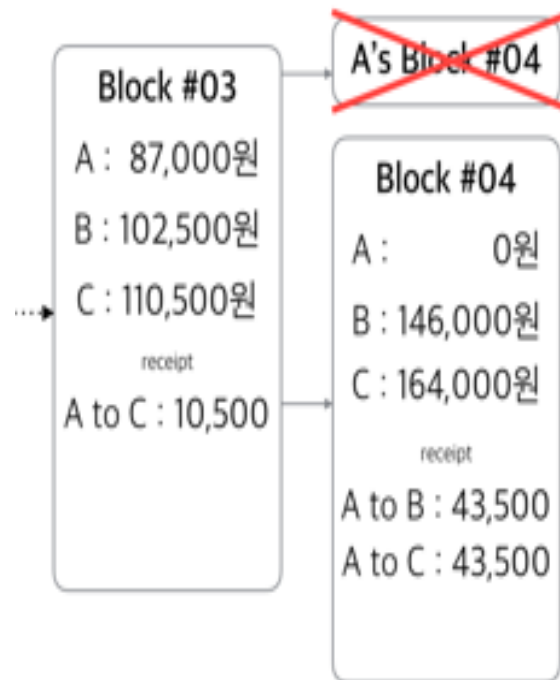
- 돈이 점점 없어지는 A는 돈을 훔치기 위해, 새로운 장부를 하나 작성, B와 C가 A에게 돈을 5만원씩 준 것으로 장부를 작성.



- 하지만 이 장부는 B와 C에게 거절. 과반수가 인정하지 않으면 작성한 장부는 불인정.

Blockchain 기본 원리

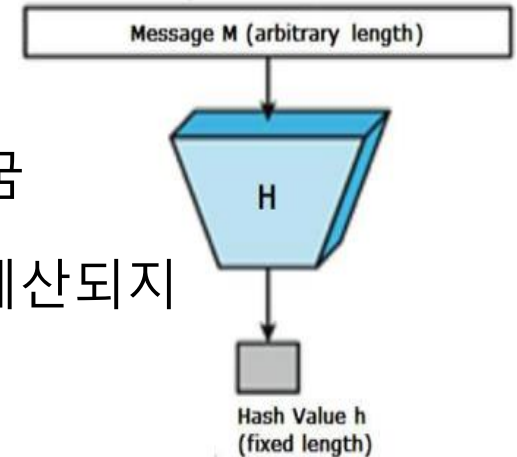
- A가 만들어온 장부는 받아들여지지 않았고, B와 C는 A가 너무 괴심하다는 생각. 그래서 A의 잔고를 각각 나누어 가지기로 하고, 새로운 장부를 합의하에 작성



- 여기서는 모든 장부는 Block으로 표현되었고, 거래내역을 포함하고, 이전의 거래내역을 기반으로 새로운 Block을 생성하기 때문에 Chaining이 기본.

Hash function

- “문자”를 암호화된 값 (cryptographic hash)로 바꿈
- 주어진 x 에 대하여 y 값을 구하는 $y=H(x)$ 는 쉽게 계산되지만 특정 y 값을 만족하는 x 를 찾는 것은 어려움.
- 특정 y 값을 만족하는 x 값을 찾기 위하여 다양한 x 값을 계속 대입하여 계산해 보아야 하는데 이를 찾는 소요 시간은 $O(2^{256})$
- y 값이 256bits (64 hex code 또는 32bytes) 에서 앞 20개가 모두 0을 만족하는 x 값을 찾으려면 최대 2^{256} 번의 x 값 대입이 요구된다.



Hash function

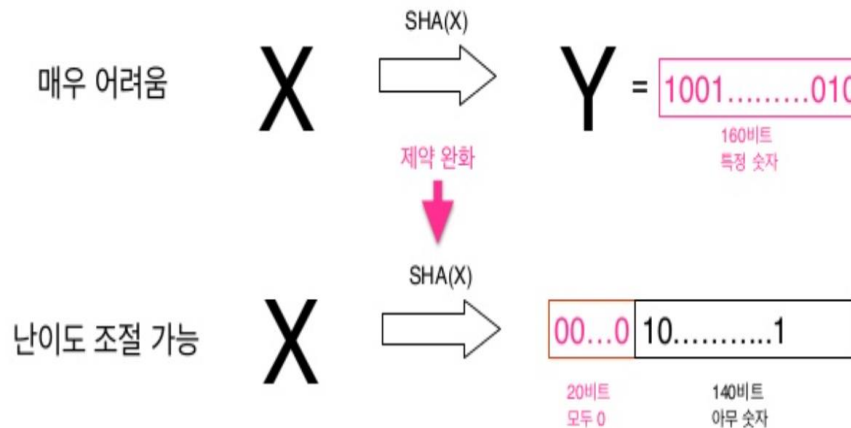
- 예) SHA-256
- `> digest("", algo="sha256", serialize=FALSE)`
- `"e3b0c44298fc1c149afbf4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855"`
- `> digest("This is test", algo="sha256", serialize=FALSE)`
- `"5c00dd7bd7b2f948b7867f987bf194487cc0dd7963e1d71e0cd1fcd956324baf"`
- `> digest("This is test.", algo="sha256", serialize=FALSE)`
- `"465f09657f95d9fe4d66dda0f8abf6f2a7e4ede82fb91fdca9f46bcc6637cc15"`

Hash function

- 역방향 계산, 즉 Hash value를 갖고 Message를 복원하는 작업은 최대 2^{256} 번의 Try.
- 하지만, y를 특정 하나의 Value가 아닌 특정 조건 (예, 앞에 4개는 "0" 이고, 나머지는 아무 숫자가 가능.)만 만족하면 된다면, Message를 찾는 복잡도가 낮아짐

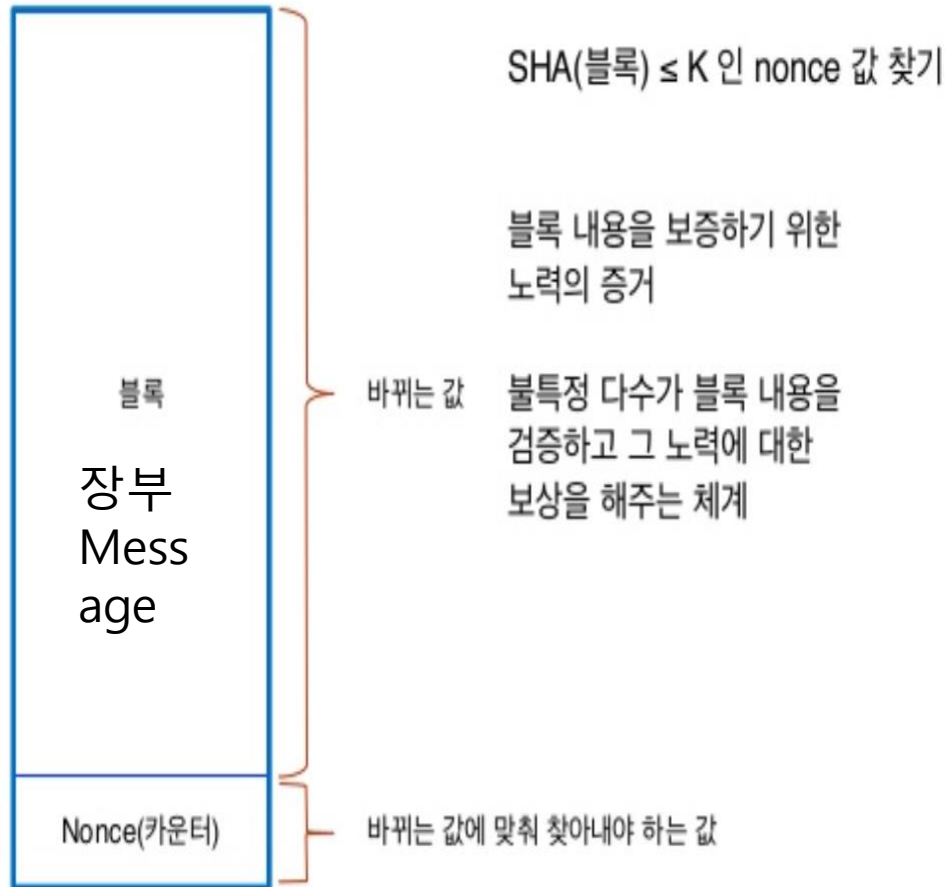
Y에서 X를 구하려면
X=0부터 차례로 대입해 봐야 함

Y가 160비트일 때

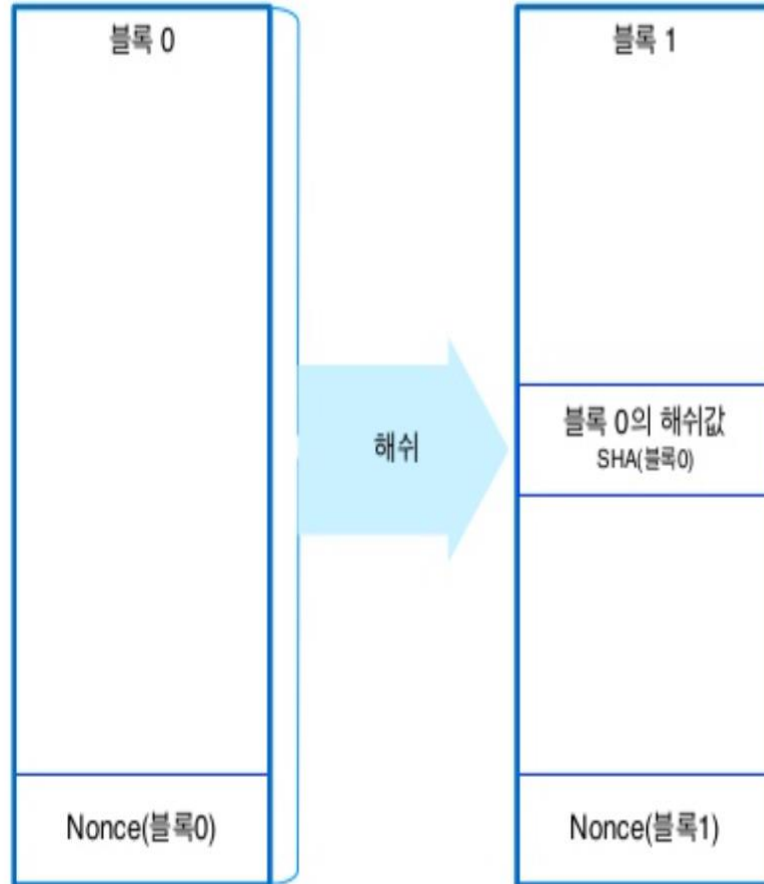


2^{160} 중 하나에서 2^{20} 중 하나로!

Hash를 이용한 블록 구성 예



블록의 연결 (블록체인)



블록의 연결은 현재 블록에 이전
블록의 해쉬값을 포함

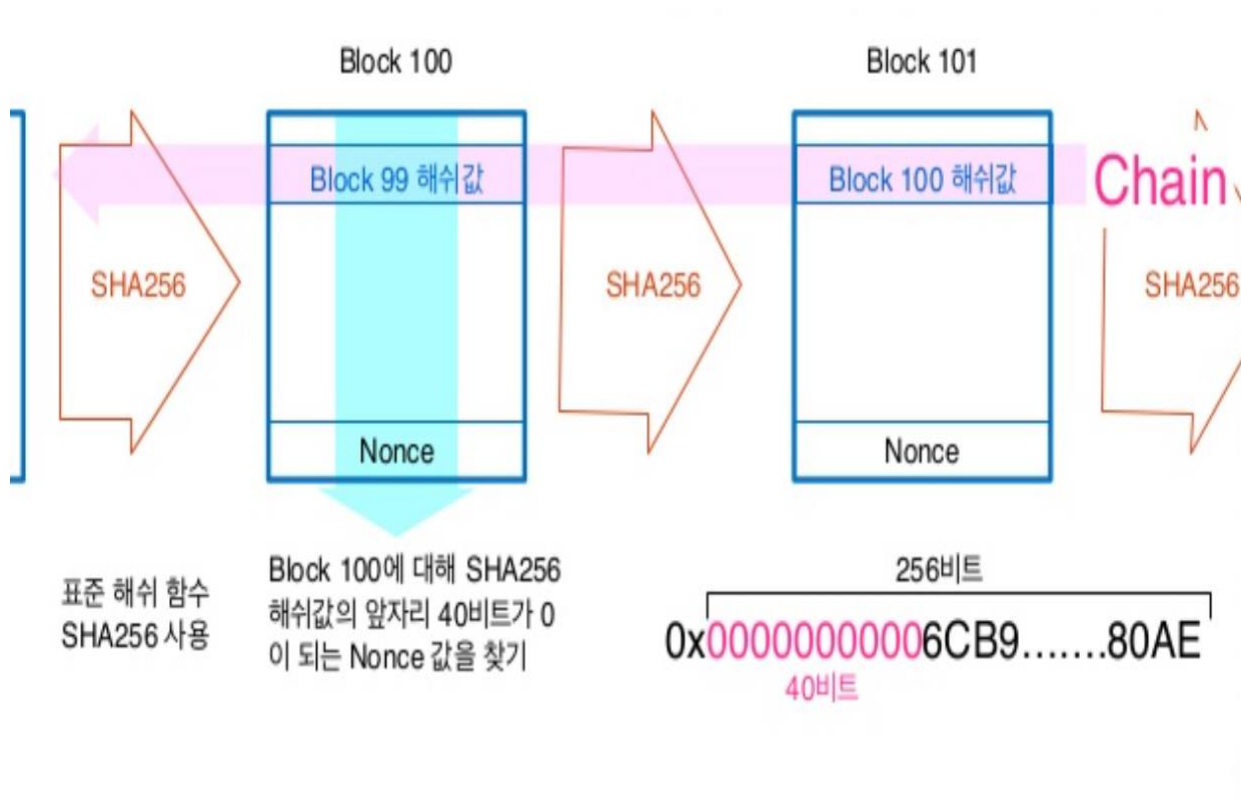
→

블록0을 알 때
새 블록1을 만들기는 어렵다.

블록0을 알 때
새 블록1을 받은 후 검증하기는
쉽다

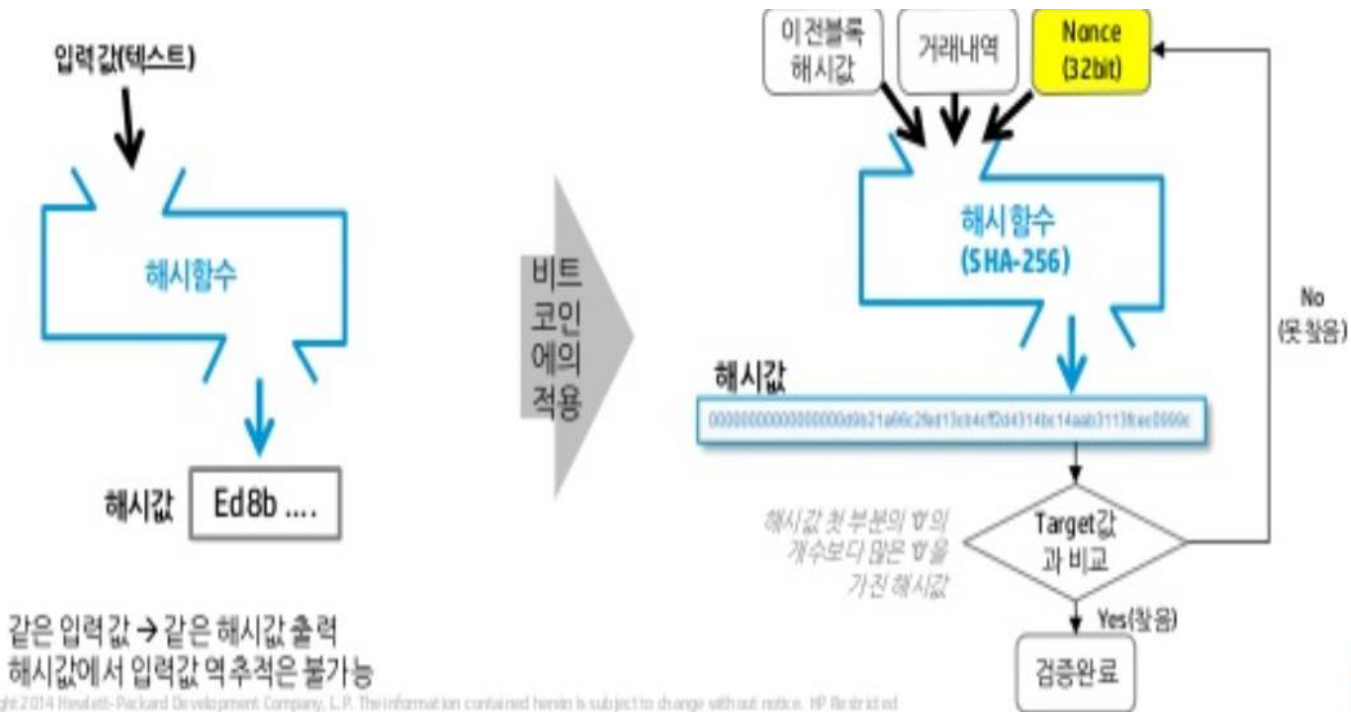
블록1은 블록0의 신뢰도를 강화
→ 노력이 신뢰를 높인다!

비트 코인에서의 블록체인



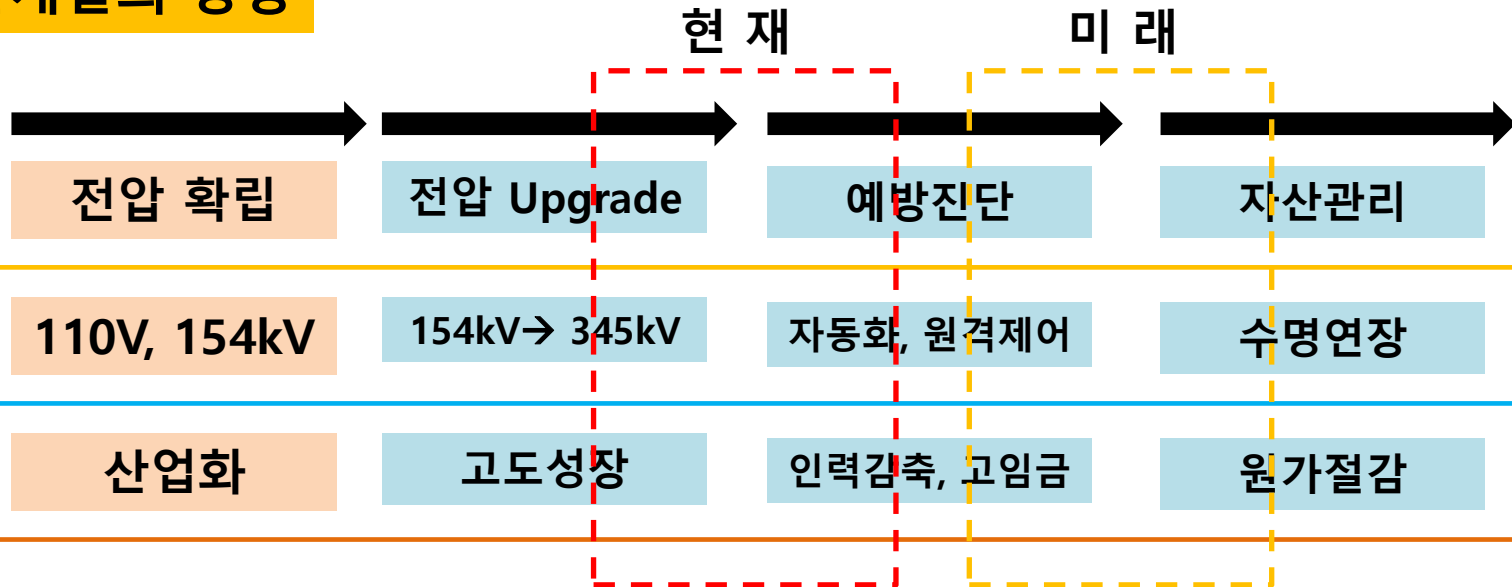
Mining

- Mining이란 비트코인 거래를 verification하기 위해 네트워크에 있는 노드들이 자발적으로 참여하여 "특정 조건의 만족하는 hash value를 찾는 것."
 - 즉, hash value가 주어진 숫자보다 작아지도록 nonce 값을 찾는 과정
 - 조건을 만족하는 nonce를 찾기 위해서는 모든 경우의 수를 대입해야 한다.



I. 예방진단. 무인화. 자산관리

기술개발의 방향



Sources of Management Information

