

제10회 국제전기자동차엑스포

## 청정 제주를 위한 그린수소 활성화 전략 세미나 토론

---

오시덕 대표이사/원장/겸임교수\*

(주)블루이코노미전략연구원

\* 기후변화에너지융합기술협동과정/연세대학교

## 목 차 CONTENTS

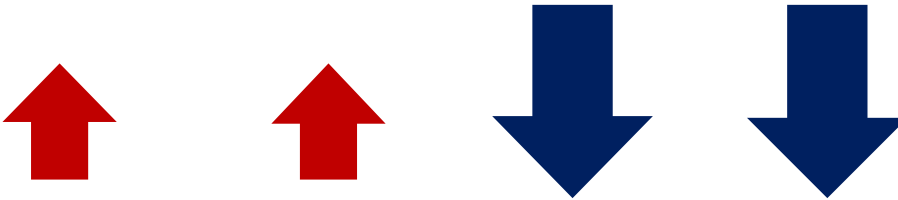
I. 탄소중립 이슈, 환경변화 및 대안

II. 그린수소 산업 활성화의 속성과 대안

## 탄소중립(탈 탄소)의 이슈

✓ 현재 인류가 직면한 문제, 기후변화 문제(탈 탄소/탄소중립)은 **에너지효율성 제고와 청정에너지 사용 확대!!!**

### 탄소중립의 이슈와 대안

$$CO_2 = P \times S \times E \times C$$


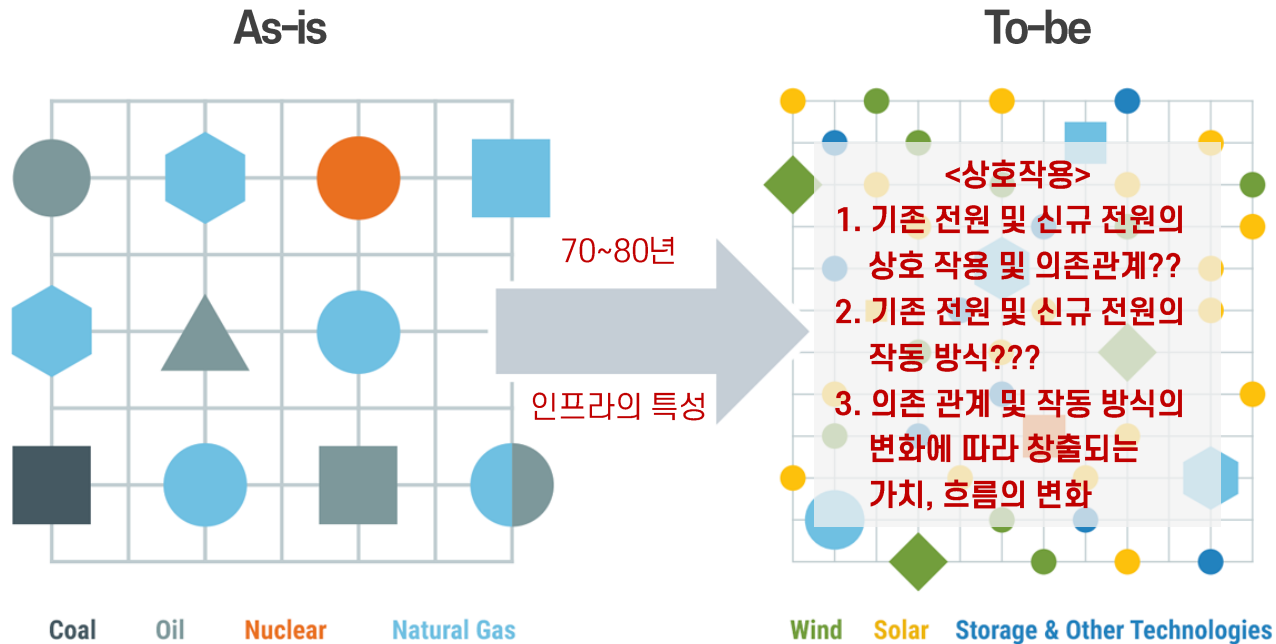
❖ 탄소 중립은 획기적으로 탄소배출량을 줄여 **남는 탄소 량**과 **흡수되는 탄소** 량을 같게 하여,  
**탄소 순 배출량을 순 Zero화** 하는 것!!!

“에너지 효율 향상”+“저탄소 or 탄소 제로 에너지”를 동시에~~~>> **지역단위로** >> **Community !!!**

## 탄소중립 환경변화 : 에너지체계의 변화

- ✓ 에너지 전환은 1)Decarbonisation, 2) Decentralisation, 3) Digitalisation, 4) Demand Disruption (Democaratzation of energy)이라는 다 차원에서 동시 다발적으로 일어나고 있음

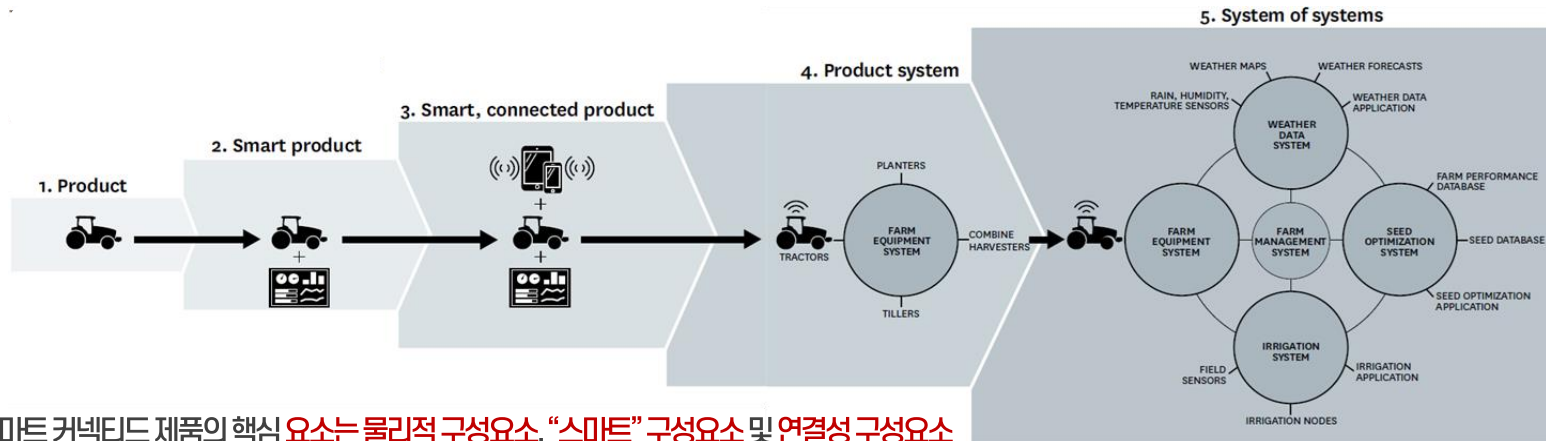
### 에너지 체계의 변화 & R&D 대상의 이슈



## 탄소중립 환경변화 : 초연결사회로 확장

- ✓ Smart한 제품(based on ICT)간의 연결과 상호작용으로 **향상된 기능**은 산업 내에서 **경쟁 관계를 재편**할 뿐만 아니라 **산업의 경계를 확장** 시키고 있어 **산업의 경계를 재정**의할 수 밖에 없는 상황이 되고 있음
- ✓ 산업의 경계 확장으로 **경쟁관계는 개별 제품에서 밀접한 관련 제품으로 구성되는 제품 시스템(Product system), 제품 시스템을 통합한 시스템의 시스템(system of system)**으로 전환되고 있음
- ✓ 예를 들어 **트랙터 회사**는 다른 트랙터 회사와 경쟁하는 것이 아니라 **광범위한 농업 자동화 업계와 협력관계에 있는 트랙터 회사**와 경쟁하여야 하는 상황에 직면할 수 있음

### 에너지 산업 경계의 재정의 및 확장 추이



※ 스마트 커넥티드 제품의 핵심 **요소는 물리적 구성요소, “스마트” 구성요소 및 연결성 구성요소**

→ 물리적 구성요소: 제품을 구성하는 기계 및 전기 부품

→ 스마트 구성 요소: 센서, 마이크로프로세서, 데이터 스토리지, 컨트롤러, 소프트웨어, 임베디드 운영체제 및 사용자 인터페이스

→ 연결 구성 요소: 포트, 안테나 및 제품과의 유선 또는 무선 연결을 가능하게 하는 프로토콜

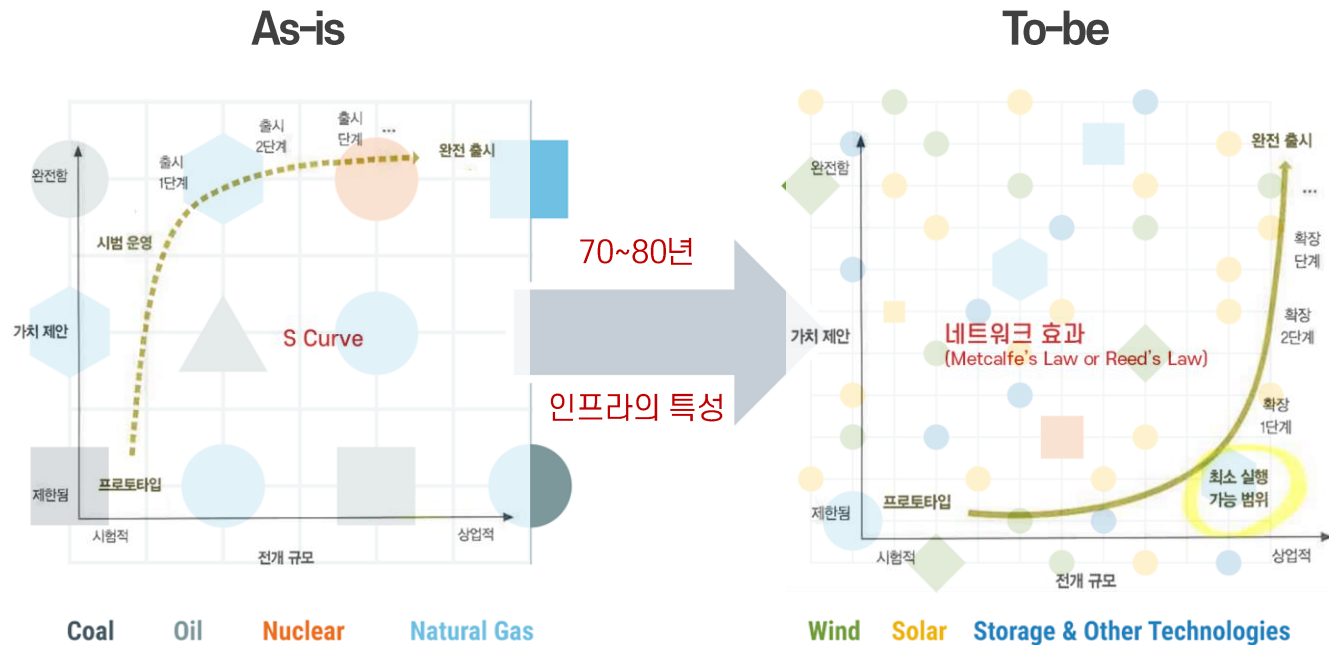
Source : Michael E. Porter and James E. Heppelmann,

SPOTLIGHT ON MANAGING THE INTERNET OF THINGS, How Smart, Connected Products Are Transforming Competition, November 2014, Harvard Business Review

# 탄소중립의 환경변화 : S-Curve와 네트워크 효과 속성이 공존하는 사회

- ✓ 에너지 전환이 다차원에서 동시 다발적으로 일어나면서 S-Curve 속성의 제품과 네트워크 효과 속성의 Platform 이 공존하게 되었음

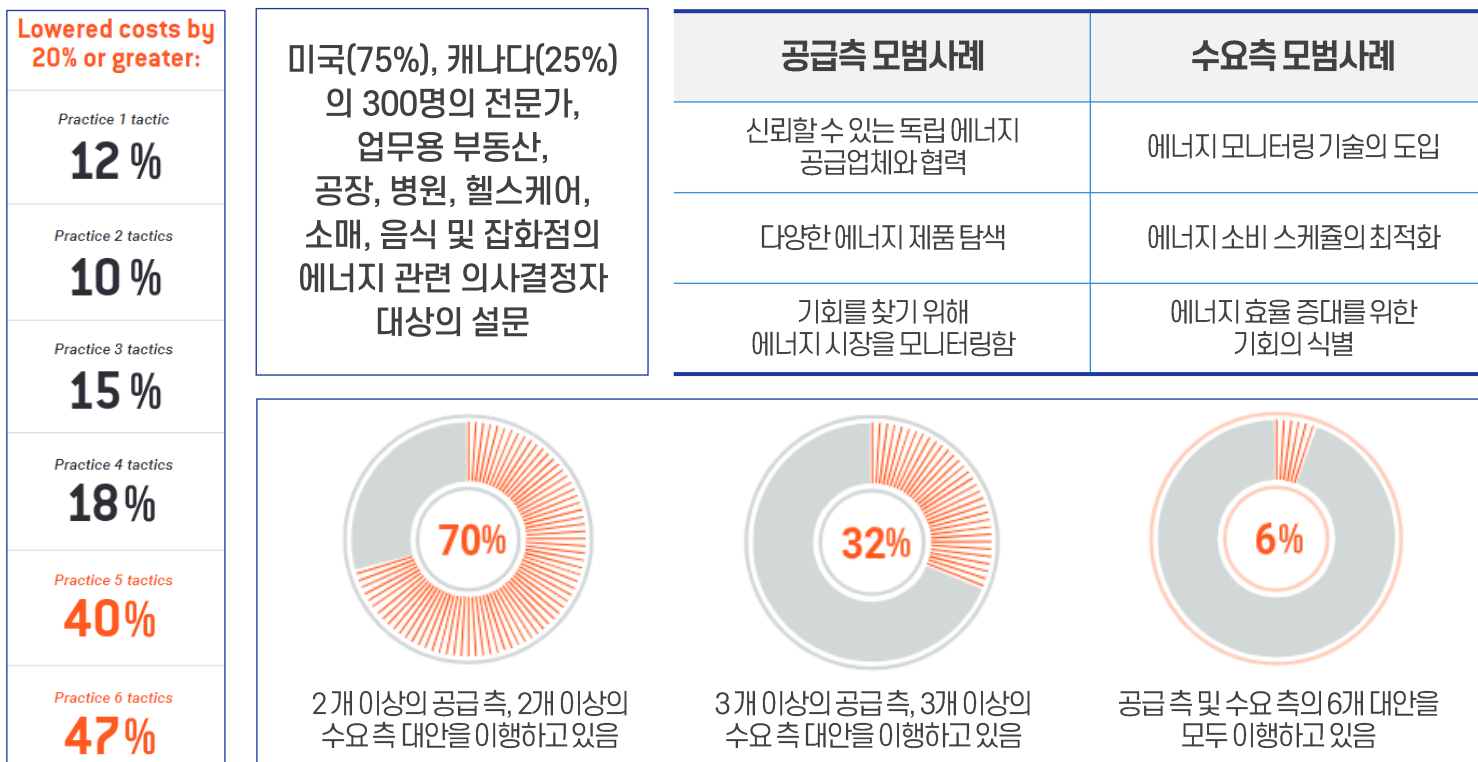
## S-Curve vs 네트워크 효과의 공존



## 탄소중립을 위한 대안의 속성 변화

- ✓ 응답자 300명중 273명(91%)가 에너지관리 프로그램을 “매우 효과적” 또는 “효과적”으로 평가하고 있음
- ✓ 통합 최적 에너지관리 전략(Smart Energy System)이 제공하는 에너지비용 절감 잠재량에 인식의 제고가 필요

## 에너지관리 프로그램에 대한 평가 결과



## 탄소중립을 위한 대안의 속성 변화

- 수단과 공간이 확대되고, 정책 수단이 다양화되어야 가치 창출량이 급격하게 증가하는 것으로 추정 → System of system
- 단위 에너지 시스템보다는 스마트 홈, 스마트 빌딩, 스마트 시티, 스마트 그리드 등 System of system의 수준의 통합이 필요

## 통합수준과 범위의 향상에 따른 가치창출의 추이

시장 구조와 제도·정책 수단과 관계

통합범위	통합내용	가치	초기투자비 절약	에너지 요금절약	DR	전력회복	GHG 배출감축
		가치	초기투자비 절약	에너지 요금절약	DR	전력회복	GHG 배출감축
기술수단 · 공간의 범위와 관계 ↓ 낮음 ↑ 높음	에너지효율(EE) (빌딩 by 빌딩)		○	◐	○	◐	◐
	에너지효율(EE)+ 재생에너지(RE) (빌딩 by 빌딩)		○	◐	◐	◐	◐
	EE+RE+ESS (빌딩 by 빌딩)		○	◐	◐	◐	◐
	GEB*: EE+RE+ESS (DR, Flexible 빌딩) (빌딩 by 빌딩)		○	◐	◐	◐	◐
	GEB: EE+RE+ESS (DR, Flexible 빌딩) (멀티 빌딩)		◐	●	●	●	●
<ul style="list-style-type: none"> <li>GEB: Grid-interactive efficient building</li> <li>범례: ○ = Low, ● = High</li> </ul>							

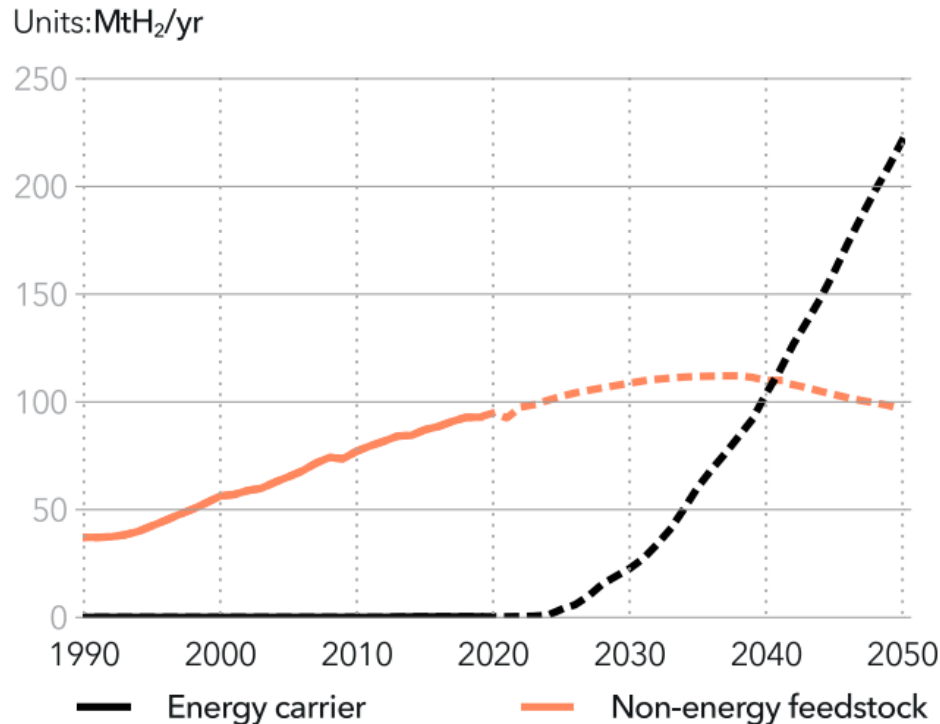
Source : Victor Olgay, Seth Coan, Brett Webster and William Livingood, Connected Communities :  
A Multi-Building Energy Management Approach, NREL, May 2020



## 글로벌 수소 에너지 현황과 전망

- ✓ 산업 원료(비 에너지 수소)로서의 수소 및 그 파생물질에 대한 전 세계 수요는 9천만 톤/년(2020)에 달함
- ✓ 에너지로 환산하면 약 12EJ로 전 세계 에너지 수요의 약 2%에 해당되는 양임

### 사용 목적에 따른 수소 및 파생 물질의 세계 수요

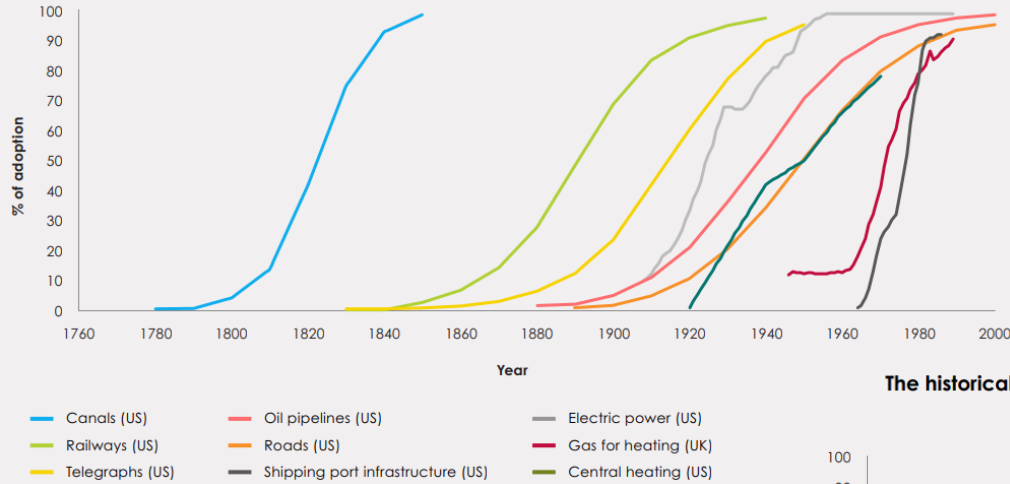


Historical data source: IEA Future of Hydrogen (2019)

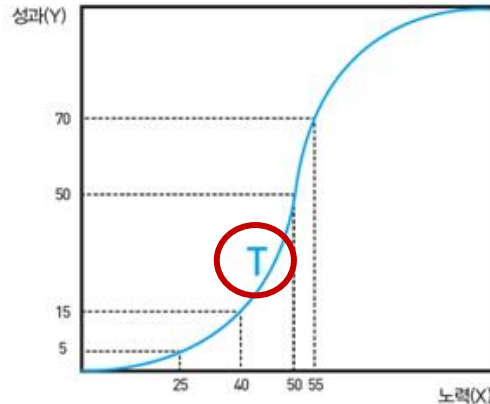
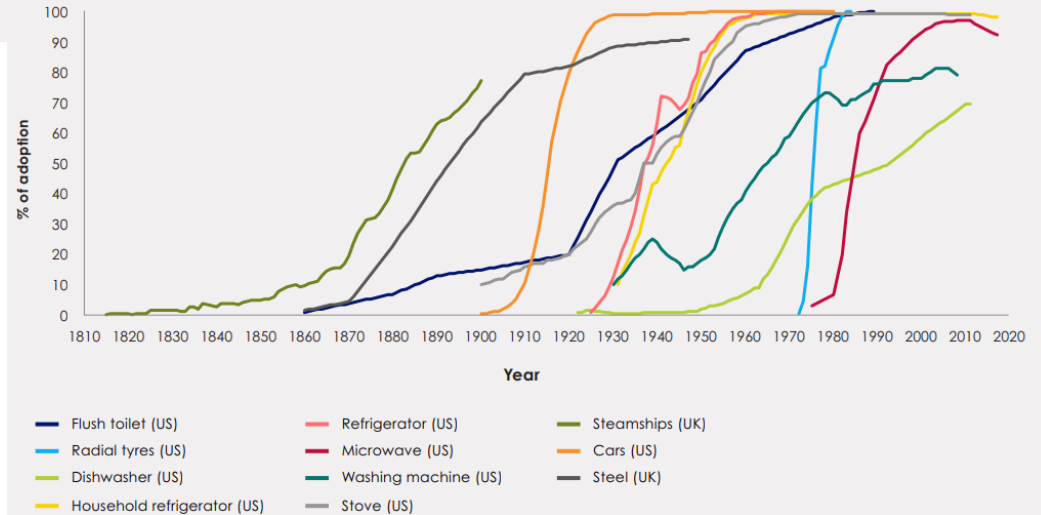
Source : DNV 2022 에너지 전환 전망-2050 수소 에너지 전망 예측, p.12

# 수소산업활성화의 속성 이해 : Tipping Point

The historical adoption of a sample of infrastructure and energy systems



The historical adoption of a sample of manufactured goods

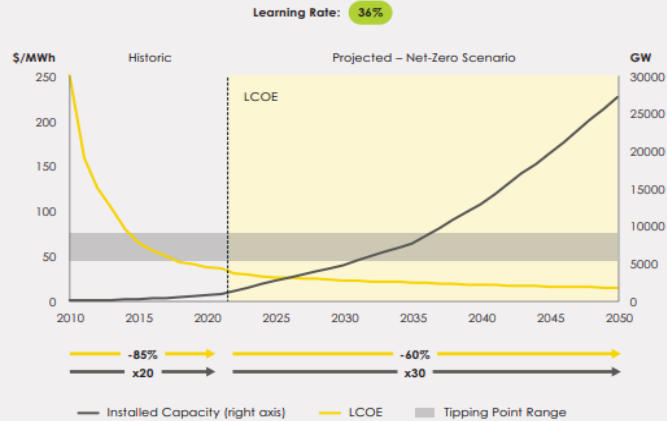


Source : 백승진, 융합기술의 사회, '티핑포인트'를 예측하라, 매경프리미엄/스페셜리포트, 2019.07.04

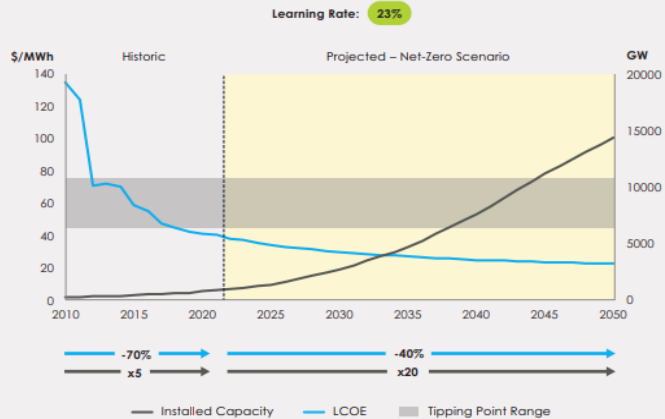
## 태양광, 풍력, 배터리 및 전해조의 학습곡선

## Solar and wind – learning curves

Historical and projected LCOE vs. installed capacity for solar

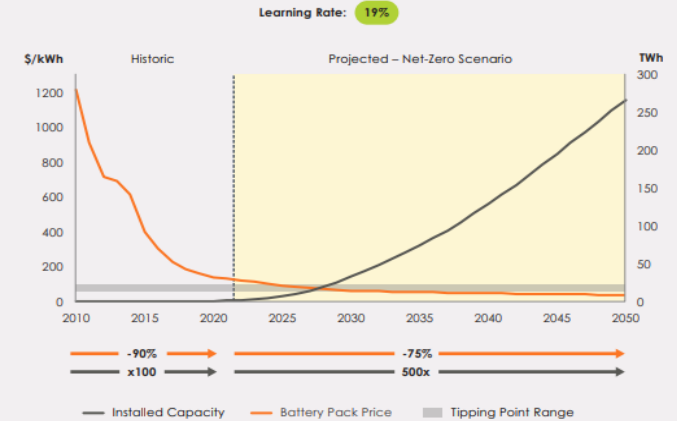


Historical and projected LCOE vs. installed capacity for power from wind

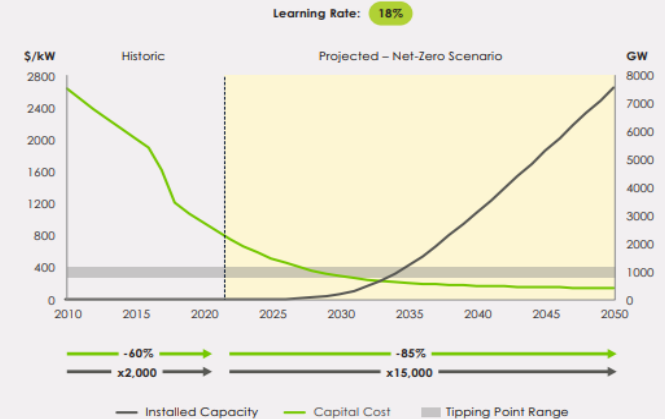


## Batteries and electrolyzers – learning curves

Historical and projected battery pack cost vs. installed capacity for li-ion batteries



Historical and projected capital cost vs. installed capacity for P2X electrolyzers

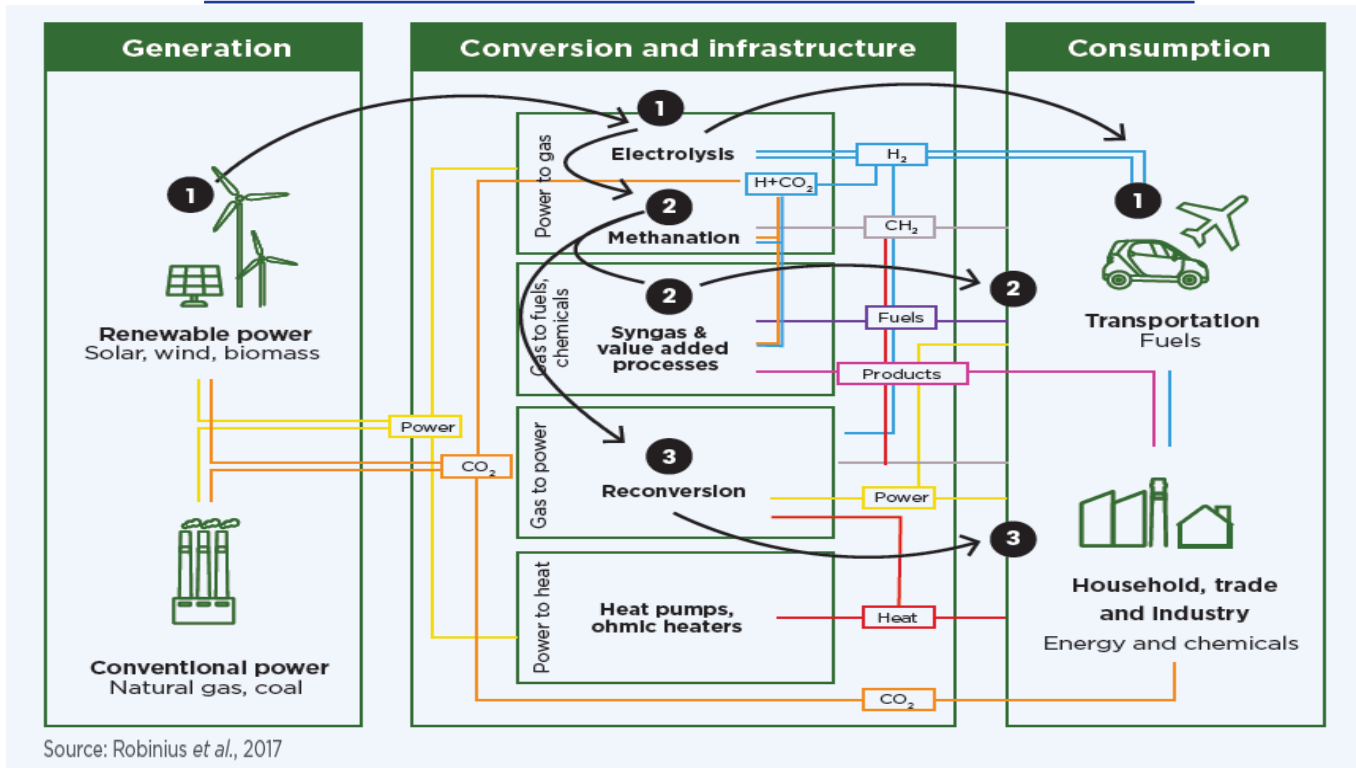


Source : THE BREAKTHROUGH EFFECT: HOW TO TRIGGER A CASCADE OF TIPPING POINTS TO ACCELERATE THE NET ZERO TRANSITION, January 2023

## 수소산업활성화를 위한 Cascading Conversion and Infrastructure 예시

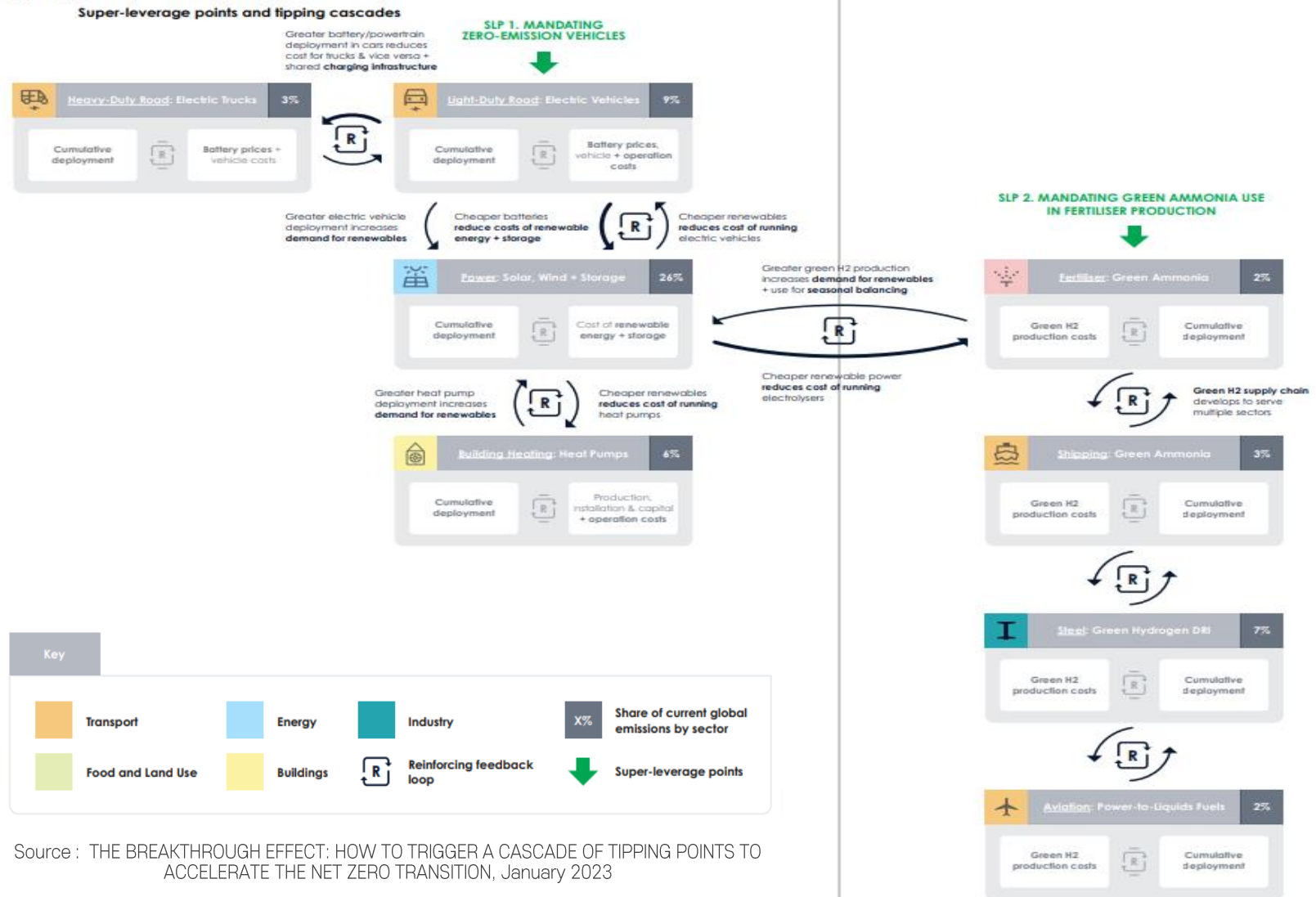
- ✓ 유연성을 제공할 수 있는 가장 큰 잠재력은 건물, 교통 및 산업과 같은 최종 수요 부문에 존재함
- ✓ 섹터 커플링은 미래 에너지 시스템을 통합적이고 유연하게 만드는 데 중요한 역할을 하는 수단임

### 에너지시스템의 유연성 향상을 위한 섹터 커플링의 구조



Source : IRENA, SECTOR COUPLING IN FACILITATING INTEGRATION OF VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN CITIES, 2021

# 수소산업활성화를 위한 대안(중·장기) : Tipping Point Cascades

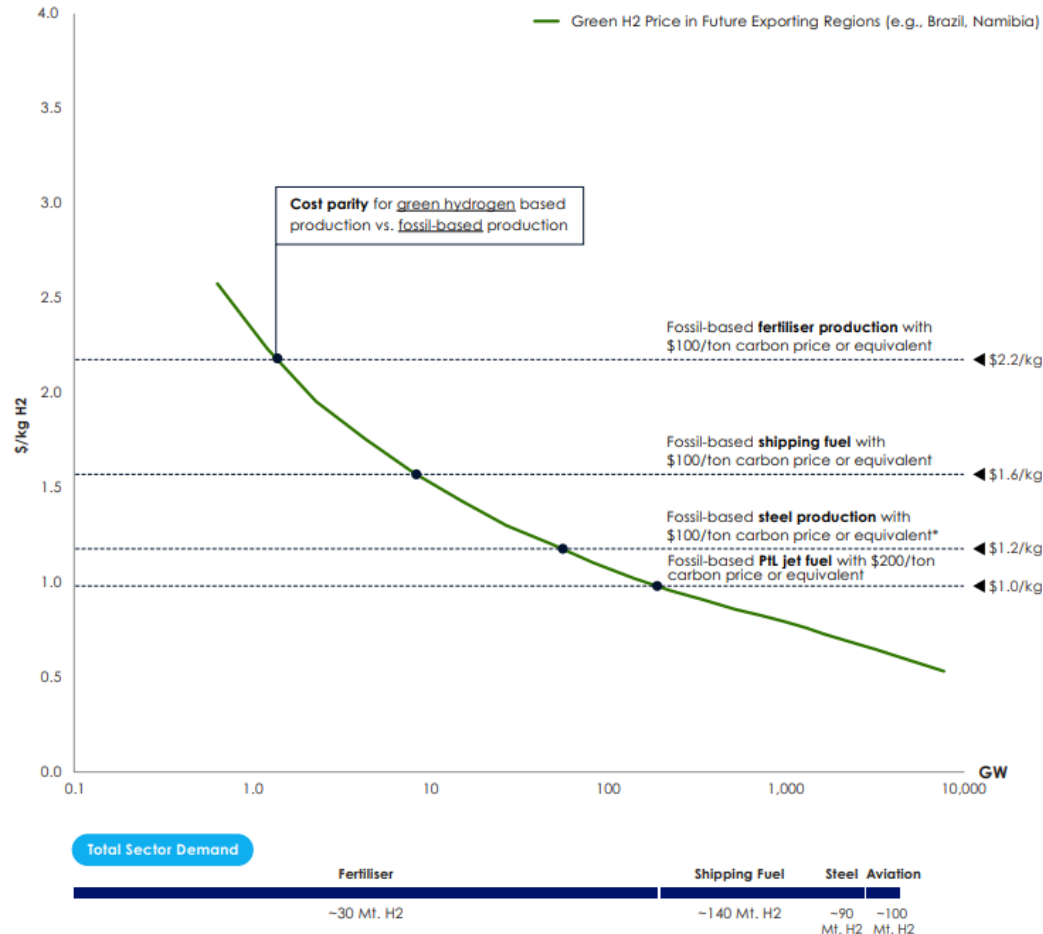


Source : THE BREAKTHROUGH EFFECT: HOW TO TRIGGER A CASCADE OF TIPPING POINTS TO ACCELERATE THE NET ZERO TRANSITION, January 2023

# 수소산업의 Tipping Point Cascades와 Cost 변화

Impact of scaling green hydrogen production by sector on production costs

Cumulative installed electrolyser capacity vs. green hydrogen production cost

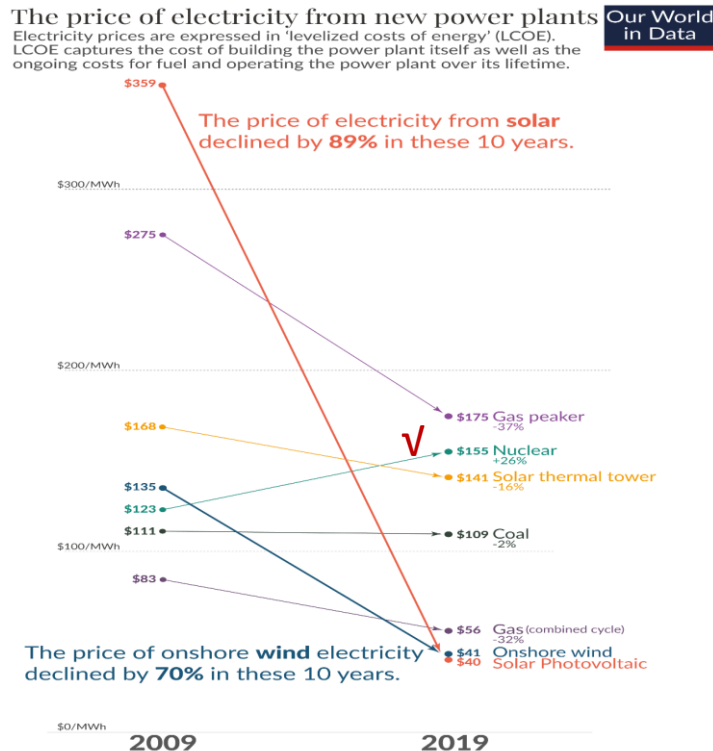


Source : THE BREAKTHROUGH EFFECT: HOW TO TRIGGER A CASCADE OF TIPPING POINTS TO ACCELERATE THE NET ZERO TRANSITION, January 2023

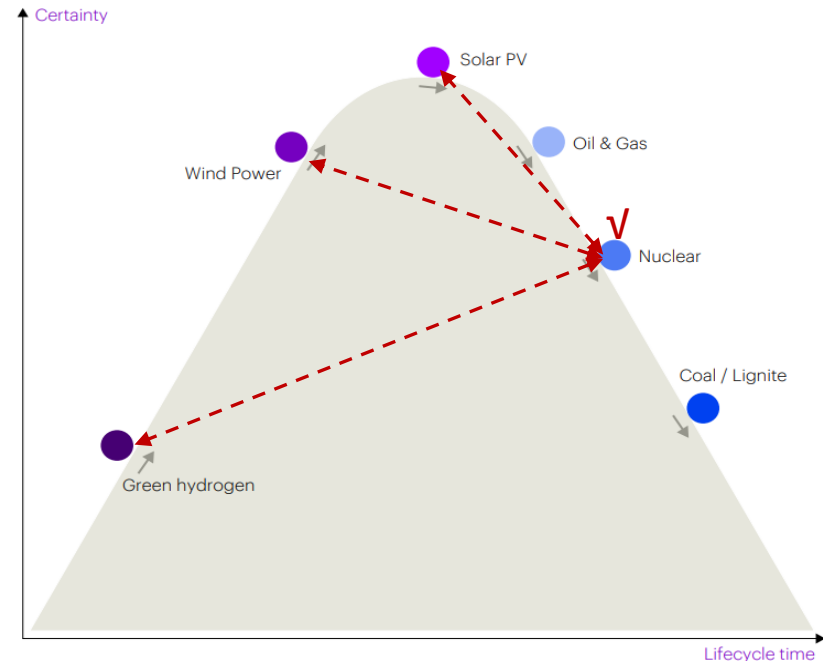
## 수소산업활성화를 위한 대안(중·장기) : Tipping Point Cascades 예시

- ✓ '09년 이후 10년간 유틸리티 규모의 발전원별 LCOE 변화에서 원자력은 유일하게 증가하는 것으로 나타남
- ✓ 원자력 수명주기 동안의 불확실성 정도는 석탄보다는 낮지만 그 외의 주요 에너지원보다는 높을 것임

### 유틸리티 규모의 발전원별 LCOE 변화 및 주요 에너지원의 수명주기 동안의 불확실성



Data: Lazard Levelized Cost of Energy Analysis, Version 13.0.  
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Max Roser.

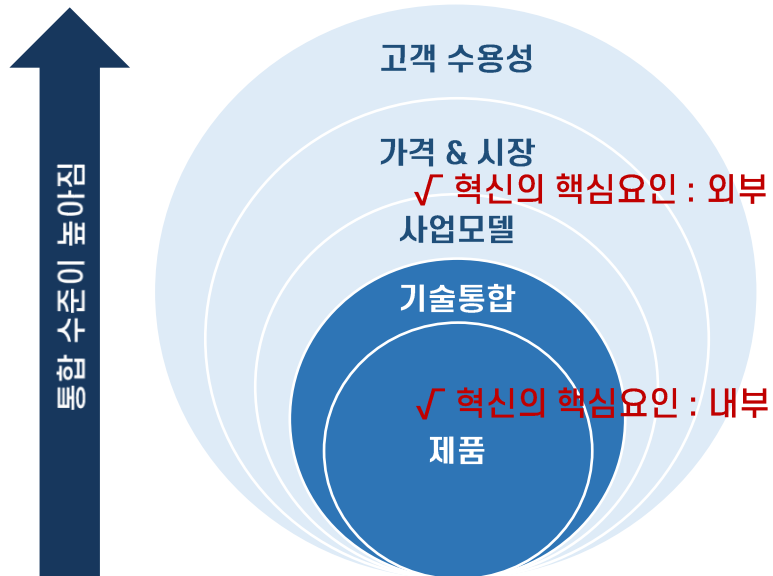


Source : 오시덕, 탄소중립을 위한 원자력 역할 - "혁신자에서 혁신 생태계의 행위자로~", (사)한국에너지학회 2021 춘계학술발표회 특별세션, 2021.4.30, 대구 엑스코 서관 3F

## 수소산업활성화를 위한 대안(단기) : 사업모델 실증

- ✓ 기술개발의 성과로 기술 자체의 성숙도는 높아지고 있으나 기술을 수용할 시장의 성숙도와는 별개로 기술 실증과 사업모델(기술+시장) 실증이 혼재되어 진행되는 경향이 있음

### 기술실증과 사업모델 실증의 유형 및 특징



#### ▶ 사업모델실증사업 ✓ 수소산업활성화의 충분조건

- 소규모 테스트에서 탈피하여 완전하게 시장과 통합된 보급이 가능한 사업가능규모를 검증함
- 기술과 시장의 상호작용에서 비롯되는 모든 이슈에 대한 통합적인 관점에서 검증함

#### ▶ 기술실증사업 ✓ 수소산업활성화의 필요조건

- 사업모델실증 이전에 해당 제품 또는 기술의 성숙도 향상과 관련하여 제기되는 기술적인 문제에 대한 해결책을 찾고, 검증함



## 수소산업활성화를 위한 대안(단기) : 공동혁신 및 지속 가능성

- ✓ 에너지 인프라는 속성 상 전환에 70년 이상이 소요될 수밖에 없고, 수소의 경우 급부상하고 있는 산업으로 장기적인 관점에서 R&D의 범위와 방향이 설정되고, 필요에 따라 유연하게 운영되어야 함
- ✓ 수소 산업 생태계의 속성을 고려할 때 R&D 범위와 방향을 설정함에 있어 고려되어야 할 사항을 제언하면 아래와 같음

### 수소산업 활성화를 위한 R&D 범위 및 방향 설정을 위한 제언

#### 에너지 네트워크 및 시스템의 관점(공동혁신)

1. 기존 에너지 네트워크의 가치를 극대화하는 데 기여하여야 함.
2. 에너지 비즈니스의 성장은 물론 제품의 다양성을 수용하기 위해 에너지 네트워크를 확장하는 데 기여해야 함.
3. 미래에 시장에 출시되는 기술혁신을 채택하고, 수용할 수 있을 만큼 에너지 네트워크를 유연하게 하는 데 기여해야 함.
4. 에너지 네트워크를 구성하는 에너지 시스템의 설계는 단위 최적화는 물론 네트워크와 통합적으로도 최적화되는 데 기여해야 함.

#### 에너지 데이터의 관점

1. 신뢰성 있고, 광범위하게 접근이 가능한 에너지 데이터를 축적하는 데 기여해야 함.
2. 상호운영성을 제고하는 데 기여하여야 함.
3. AI 역량을 활용할 수 있는 데이터 및 거버넌스 구조를 강화하는 데 기여하여야 함.

#### 실증연구의 지속 가능성 및 유연성 확보의 관점

1. 통합기술 및 사업모델 실증의 경우 사업 종료 후에도 운영비를 스스로 조달하여 지속 가능 운영이 가능하도록 계획되고, 설계되어야 함.
2. 실증 후에 새로운 기술혁신 및 사업모델 확장성을 유지될 수 있도록 계획되고, 설계되어야 함.