www.kimm.re.kr/forum

2021 글로벌 기계기술 포럼

LIVE

탄소중립의 기반,
수소 기계기술

● 2021. 9. 8.(수) 13:20~ ● 온라인 생중계

| 주최 | KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS 더불어민주당 이상민 국회의원, 조승래 국회의원 국민의힘 김영식 국회의원

| 후원 | 과학기술정보통신부 Ministry of Science and ICT nst 국가과학기술연구회 National Research Council of Science & Technology

2021 글로벌 기계기술 포럼

탄소중립의 기반,
수소 기계기술

탄소중립과 수소 경제라는 거대한 두 시대의 흐름 앞에서 우리가 과학적으로 어떤 준비를 해야 하는지,
또 우리 정부가 정책적으로 어떤 지원을 할 수 있는지
도모하는 의미 있는 자리가 될 수 있도록 많은 관심 부탁드립니다.

GREETINGS

안녕하십니까.
기계기술의 미래를 심도 있게 논의해 온
'글로벌 기계기술 포럼'이 올해로
8회를 맞았습니다.

지금까지 글로벌 기계기술 포럼은
국방기술부터 로봇기술,
미세먼지 해결까지 시대의 변화 속에
기계기술이 어떤 방향으로 나아가야 할지
모색하는 자리를 마련해왔습니다.

올해 글로벌 기계기술 포럼의 주제는 '탄소중립의 기반, 수소 기계기술'입니다.

최근 EU를 시작으로 미국과 중국 등 세계 주요 국가들이 2050년까지 탄소 배출 제로 달성을 선언하고,
앞 다투어 다양한 정책도 발표하고 있습니다. 글로벌 기업도 이런 대열에 동참하여 기술개발에 박차를 가하고 있습니다.
치열한 경쟁 속에서도 '탄소중립'이라는 목표 달성을 위해 뜻을 모으는 것은 탄소중립 달성이 한 국가나 특정 산업에 그치는 것이 아닌,
인류 생존의 문제로 받아들여지고 있음을 보여줍니다.

올해 포럼에서는 탄소중립 시대를 위한 다양한 준비 가운데 특별히 수소 에너지 관련 기계기술에 초점을 맞춥니다.
독일과 노르웨이, 오스트리아 등 유럽의 글로벌 전문가는 물론 산업계와 연구계의 국내 전문가를 모시고, 탄소중립 달성을 위한 수소 활용기술부터
수소 에너지 활용을 위한 대용량 액체수소 인프라 구축까지 우리 기술의 현 주소와 미래를 짚어보는 깊이 있는 논의가 이뤄질 것입니다.

탄소중립과 수소 경제라는 거대한 두 시대의 흐름 앞에서 우리가 과학적으로 어떤 준비를 해야 하는지,
또 우리 정부가 정책적으로 어떤 지원을 할 수 있는지 도모하는 의미 있는 자리가 될 수 있도록 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.
감사합니다.

한국기계연구원
원장 박상진

더불어민주당
국회의원 이상민

더불어민주당
국회의원 조승래

국민의힘
국회의원 김영식

PROGRAM

13:00 ~ 13:20 ('20)		**등록 및 접수**
13:20 ~ 13:50 ('30)	**개회식**	• **개회사** - 박상진(한국기계연구원장) • **환영사** - 이상민(더불어민주당 국회의원), 조승래(더불어민주당 국회의원), 김영식(국민의힘 국회의원) • **축 사** - 김복철(국가과학기술연구회 이사장), 용홍택(과학기술정보통신부 제1차관)
13:50 ~ 14:20 ('30)	**기조연설**	• **수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환** - Detlef Stolten (Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3), Juelich Research Center(Germany))
14:20 ~ 15:00 ('40)	**Session 1** **수소 활용 기술**	• **수소 사회 도래와 미래 비전 2030** - 김세훈 (현대자동차 부사장) • **액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발** - Steinar Madsen (CEO, Topeka Holding, Wilhelmsen Group(Norway))
15:10 ~ 15:50 ('40)	**Session 2** **대용량 수소 액화, 저장, 운송**	• **린데가 구축하는 "수소의 세계(World of Hydrogen)"** - Markus Bachmeier (Director, Linde Hydrogen FuelTech(Austria)) • **대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략** - 최병일 (한국기계연구원 플랜트융합연구실장, 국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장)
15:50 ~ 16:30 ('40)	**패널토론**	• 김성복 (수소융합얼라이언스 단장) • 문 일 (연세대학교 교수) • 최동규 (대우조선해양 중앙연구원장) • 최병일 (한국기계연구원 플랜트융합연구실장, 국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장)
16:30 ~ 16:50 ('20)		**폐회**

CONTENTS

06

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3), Juelich Research Center(Germany)

37

수소 사회 도래와 미래 비전 2030

김세훈
현대자동차 부사장

39

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding, Wilhelmsen Group (Norway)

52

린데가 구축하는 “수소의 세계” (World of Hydrogen)

Markus Bachmeier
Director, Linde Hydrogen FuelTech (Austria)

54

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실장,
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장

92

김성복
수소융합얼라이언스 단장

문 일
연세대학교 교수

최동규
대우조선해양 중앙연구원장

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실장,
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장

기조연설

수소 기술:
탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center(Germany)

Detlef Stolten

독일 율리히 연구소 산하 기술경제시스템분과(IEK-3) 소장,
RWTH 아헨대 교수

● Biographical Information

- 2000~현재 RWTH 아헨 대학교 교수(연료전지 학장)
- 1998~현재 율리히 연구소 산하 기술경제시스템분과 (IEK-3) 소장
- 1997~1998 독일 도르니에 위성시스템부문 마케팅 차장
- 1989~1997 독일 도르니에사 고체산화물연료전지(SOFC) 프로젝트 총괄 및 세라믹 연료전지 그룹장
- 1986~1989 독일 로버트 보쉬사 중앙연구원
- 1989 독일 클라우스탈 공업대 박사(금속 재료공학)
- 1986 독일 클라우스탈 공업대 석사(금속 재료공학)

● Abstract

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

기후 변화는 더 이상 이론적인 것이 아닌 실감할 수 있는 현실이 되었고, 전 세계에서 홍수와 산불 등으로 생명을 앗아가기 시작했다. 최근 발표된 IPCC 보고서는 “인간의 영향이 대기, 바다, 육지를 덥히고 있다는 것은 명백하며, 또 이로 인해 대기, 해양, 빙권 및 생물권에서 광범위하고 빠른 변화가 발생하고 있다”고 결론지었다. 또한 기후 변화의 주요 원인으로 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4)을 꼽았으며, 지금까지 이산화황(SO_2)에 의한 대기오염 효과에 비해 경시되어 왔던 이들 온실가스에 의한 지구 온난화가 현재 우리가 느끼는 것보다 더 심각하다고 말하고 있다.

이는 단순한 기술개발로 그치는 것이 아닌, 재생에너지 기술의 실질적인 적용이 필요하다는 것을 의미한다. 재생에너지는 매일, 매시, 매분, 혹은 매 계절마다 변동이 심하기에 에너지 저장이 필요하다. 일반적으로 배터리를 통해 최대 몇 시간 동안 에너지 저장이 가능하지만, 그 이상은 가스 형태로만 저장이 가능한 상황이다. 수소는 전기분해를 통해 효과적으로 생성될 수 있는 가장 단순한 가스이며, 메탄과 달리 기후에 영향을 미치지 않는다. 향후 수소 운송에 기존 천연가스 인프라를 상당 부분 사용할 수 있어 더욱 유용할 것이다.

산업기술이 탄소중립 공정으로 전환되면 산업분야에서 많은 양의 수소가 필요해질 것이기에, 기존의 에너지 분야 외에도 산업분야에 대한 고려도 필요하다. 지난 10년간 독일의 율리히 연구센터 에너지기후연구소는 발전, 교통, 건물, 산업 등 각 에너지 수요 섹터를 하나의 연결된 에너지 시스템으로 모델링하고 이 시스템에서의 경제성을 갖춘 이산화탄소 감축 방법론을 연구해왔다. 이번 포럼에서는 2050년까지 1990년 대비 이산화탄소 배출량을 80%, 95% 감축하기 위한 감축 방법론과 올 6월에 결정된 독일 2045 기후중립 시나리오에 따른 예측 전망 등을 발표할 예정이다.

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

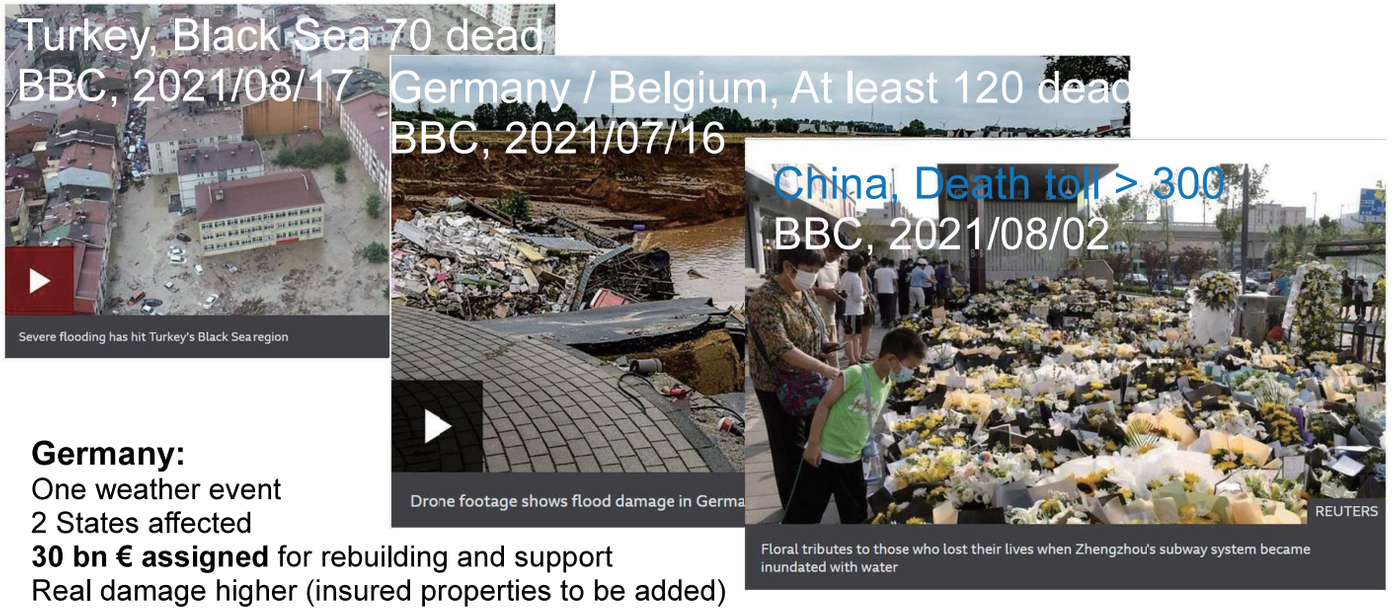
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

Torrential Rain Causes Severe Losses and Damage all over the World



Germany:
One weather event
2 States affected
30 bn € assigned for rebuilding and support
Real damage higher (insured properties to be added)
German federal budget 2019 : 343 bn € (www.bmwi.de)
Overall public budget DE2019: 1103 bn € (cp. www.destatis.de, Press relase #005, 21/06/01)

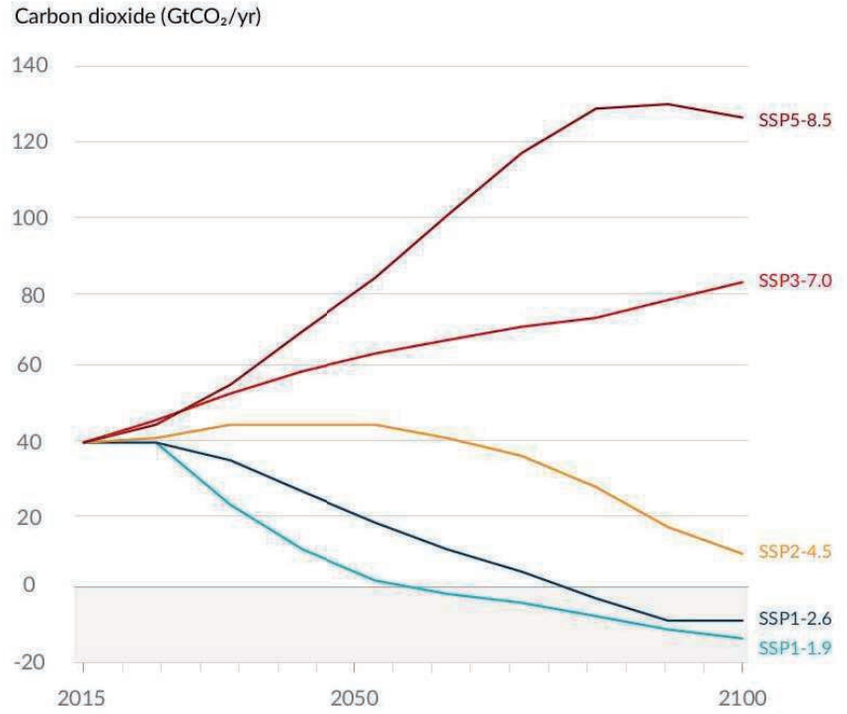
… so do Wildfires all over the World.

The increase is proven and undisputed,
Is it anthropogenic or natural, is there any science on it?

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

Five Scenarios of the IPCC and the Resulting Global Warming



2021-2040	2041-2060	2081-2100
1.6	2.4	4.4
1.5	2.1	3.6
1.5	2.0	2.7
1.5	1.7	1.8
1.5	1.6	1.4

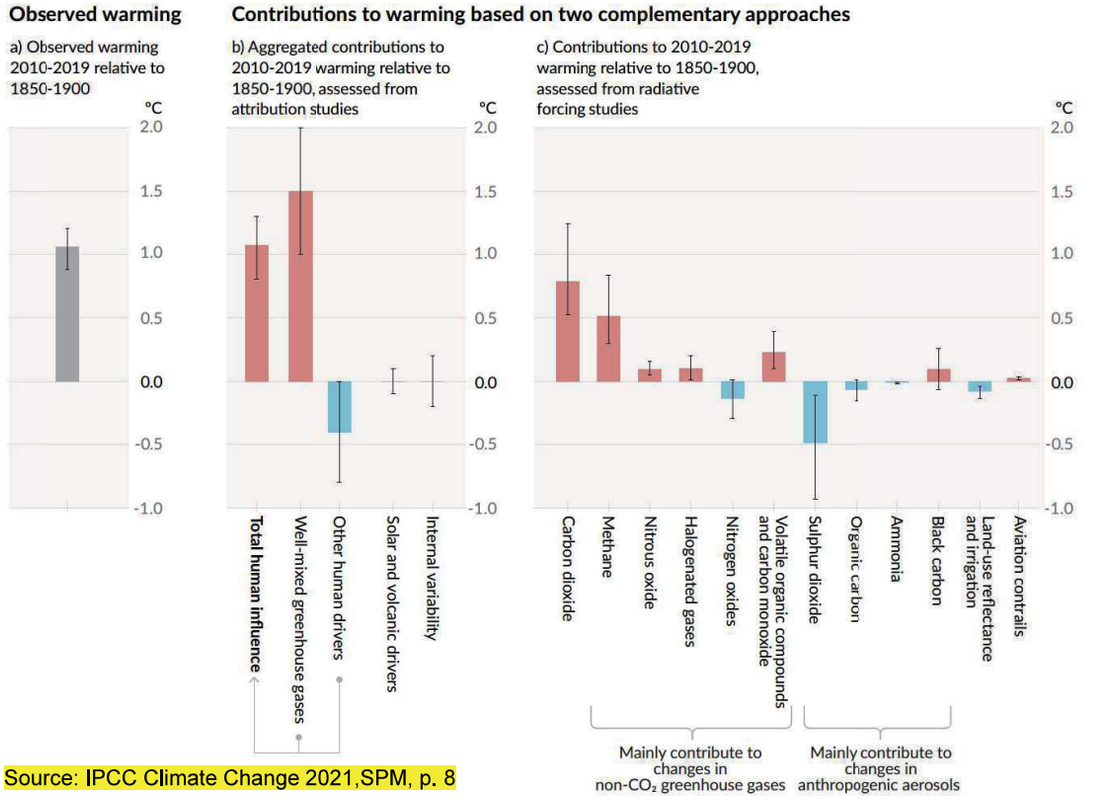
Global warming / best estimates taken from table SPM.1 for the scenarios on the left side
(cf. much more differentiated presentation in the IPCC 2021, SPM)

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

"Observed warming is driven by emissions from human activities, with greenhouse gas warming partly masked by aerosol cooling"



Source: IPCC Climate Change 2021,SPM, p. 8

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

"D. Limiting Future Climate Change" Major statements of the IPCC 2021 Climate Change

D.1 From a physical science perspective, limiting human-induced global warming to a specific level requires limiting cumulative CO_2 emissions, reaching at least net zero CO_2 emissions, along with strong reductions in other greenhouse gas emissions. Strong, rapid and sustained reductions in CH_4 emissions would also limit the warming effect resulting from declining aerosol pollution and would improve air quality.

D.2 Scenarios with very low or low GHG emissions (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) lead within years to discernible effects on greenhouse gas and aerosol concentrations, and air quality, relative to high and very high GHG emissions scenarios (SSP3-7.0 or SSP5-8.5). Under these contrasting scenarios, discernible differences in trends of global surface temperature would begin to emerge from natural variability within around 20 years, and over longer time periods for many other climatic impact-drivers (high confidence).

Source: IPCC Climate Change 2021,SPM, pp. 36-41

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

Consequences for Energy Systems

To stay within the COP21 goal of **1.5 degrees negative emissions are needed** from 2050 on.
Even the **2.0 degree goal requires negative emissions** in the long run.
Assuming that some countries are not in a position to follow that pathway that quickly, others need to get there even faster than the average.

⇒ Carbon-air-capture CAC will gain impetus

Methane contributes notably to global warming
Sources are fossil fuel extraction, pipeline leakage, agriculture and landfills

⇒ Natural gas use and potential SNG use are to evaluated for their methane slip

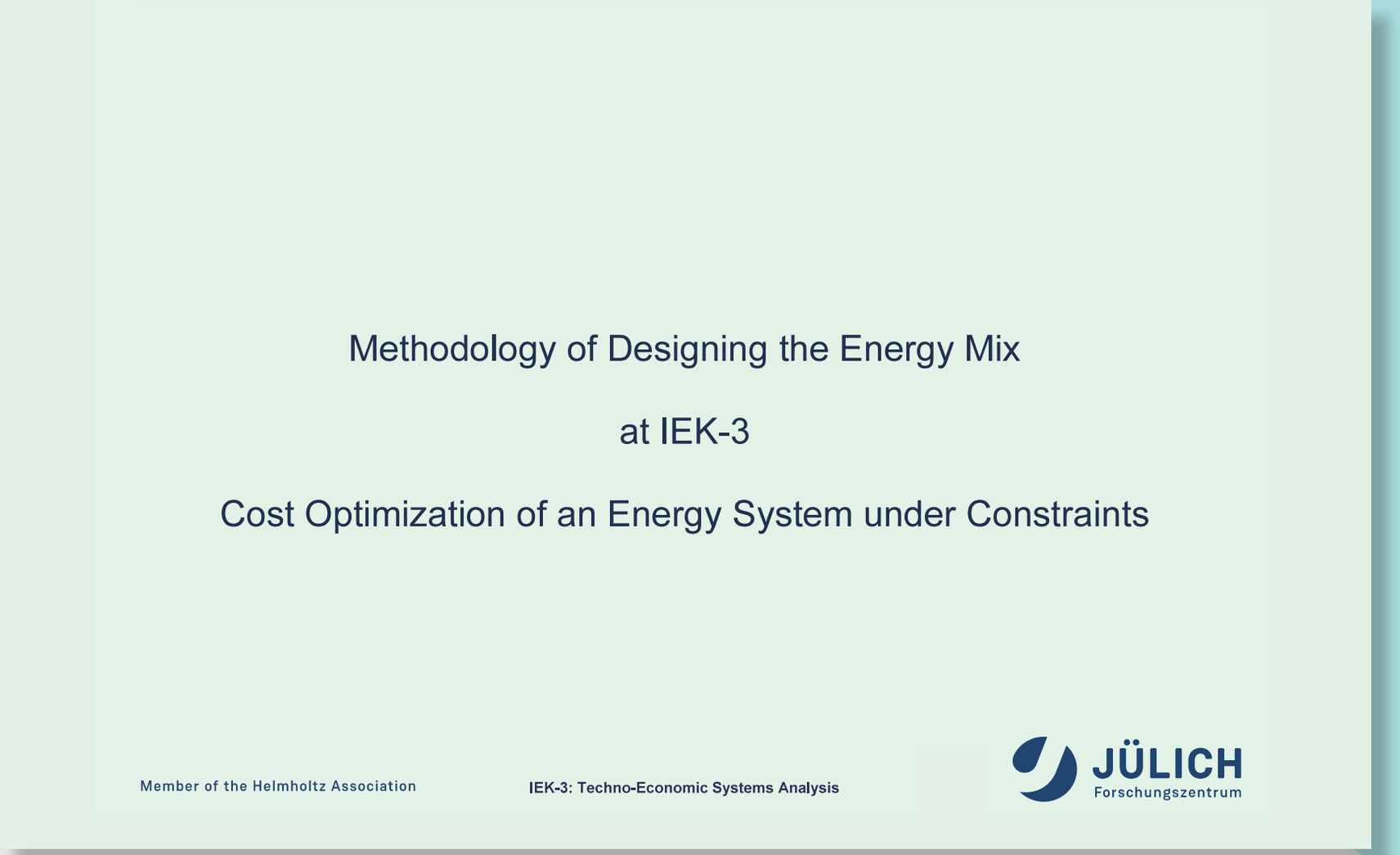
Keeping the 1.5°C goal requires a swift and strong change in the energy system of the world

Hypotheses for this presentation:

- **Hydrogen** in its molecular form **is suitable to substituting NG** and **fossil fuels** in many areas
- **Hydrogen is a precursor** for NH_3, methanol, syn-naphta for the chemical industry & for syn-fuels
- Unavoidable **process related CO_2** point emitters can be tapped **as CO_2 source**s
- **Bridging technologies are to be questioned** for their CO_2 efficacy and cost efficiency
- If the switch of the energy carrier is done appropriately, **limited emissions** will be strongly **reduced by default**

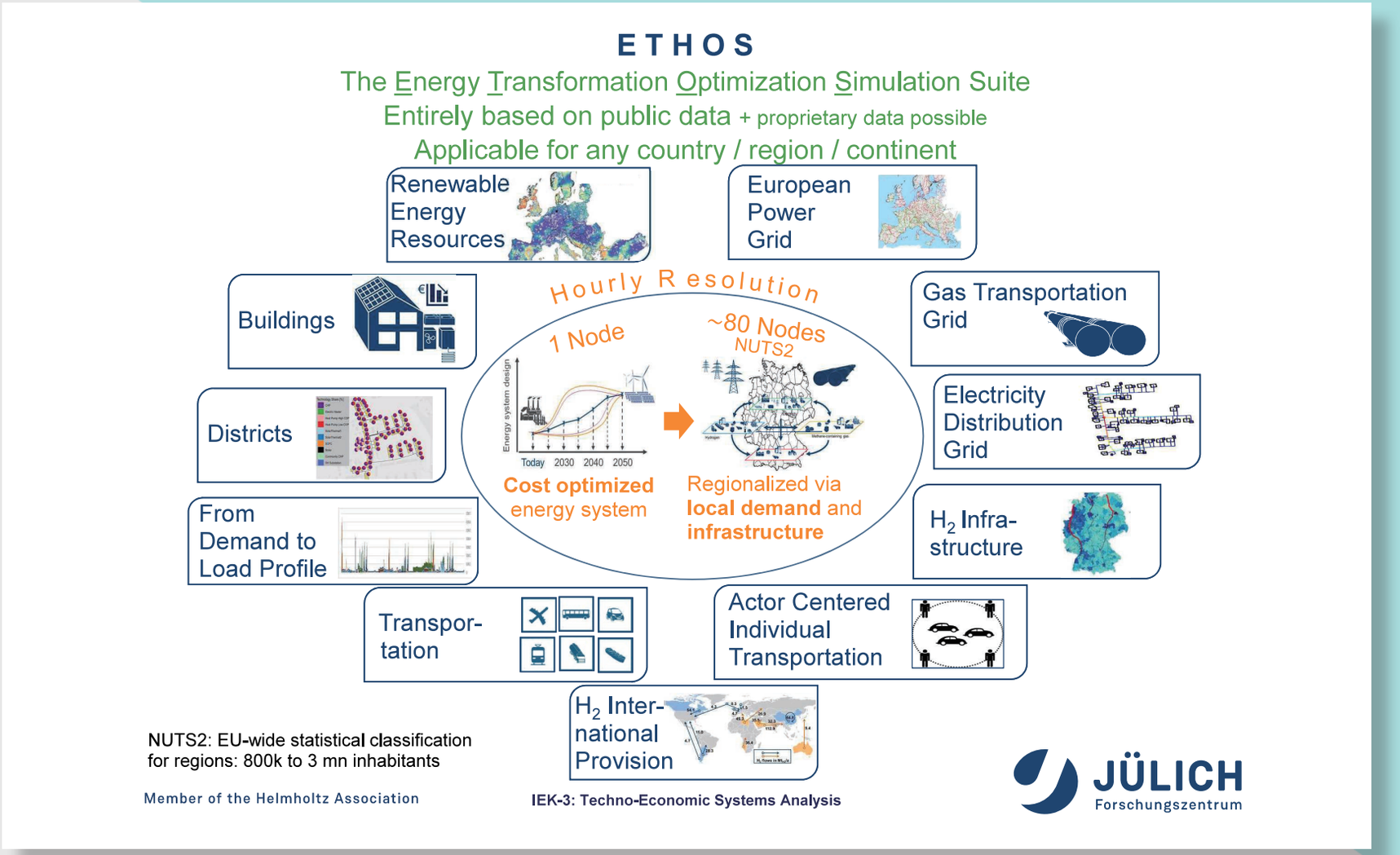
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



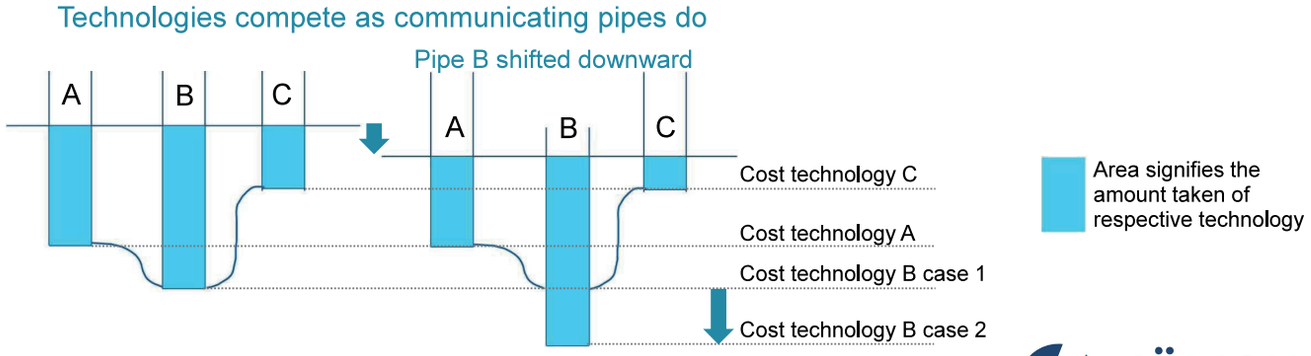
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

We approach the Energy Technologies as Communicating Pipes Minimizing the Systems Cost under Constraints

- Which energy technology is to be chosen is determined by technical properties and cost
- The cheapest way to cut out CO_2 is chosen.
- Since cost can be dependent on penetration of a technology (e.g. good wind-sites get successively taken) this needs an iterative process
- All 1300 technologies considered compete during simulation on > 2000 pathways
- Hourly resolution

- We do not arbitrarily set quantities of certain technologies, unless it is requested
- Constraints guarantee a realistic view: e.g. only < 5% of the existing capacity of a technology added p.a.
- Demand drives the “market”, technologies furnish the demand
- Regionalization via GIS* data of demand and infrastructure

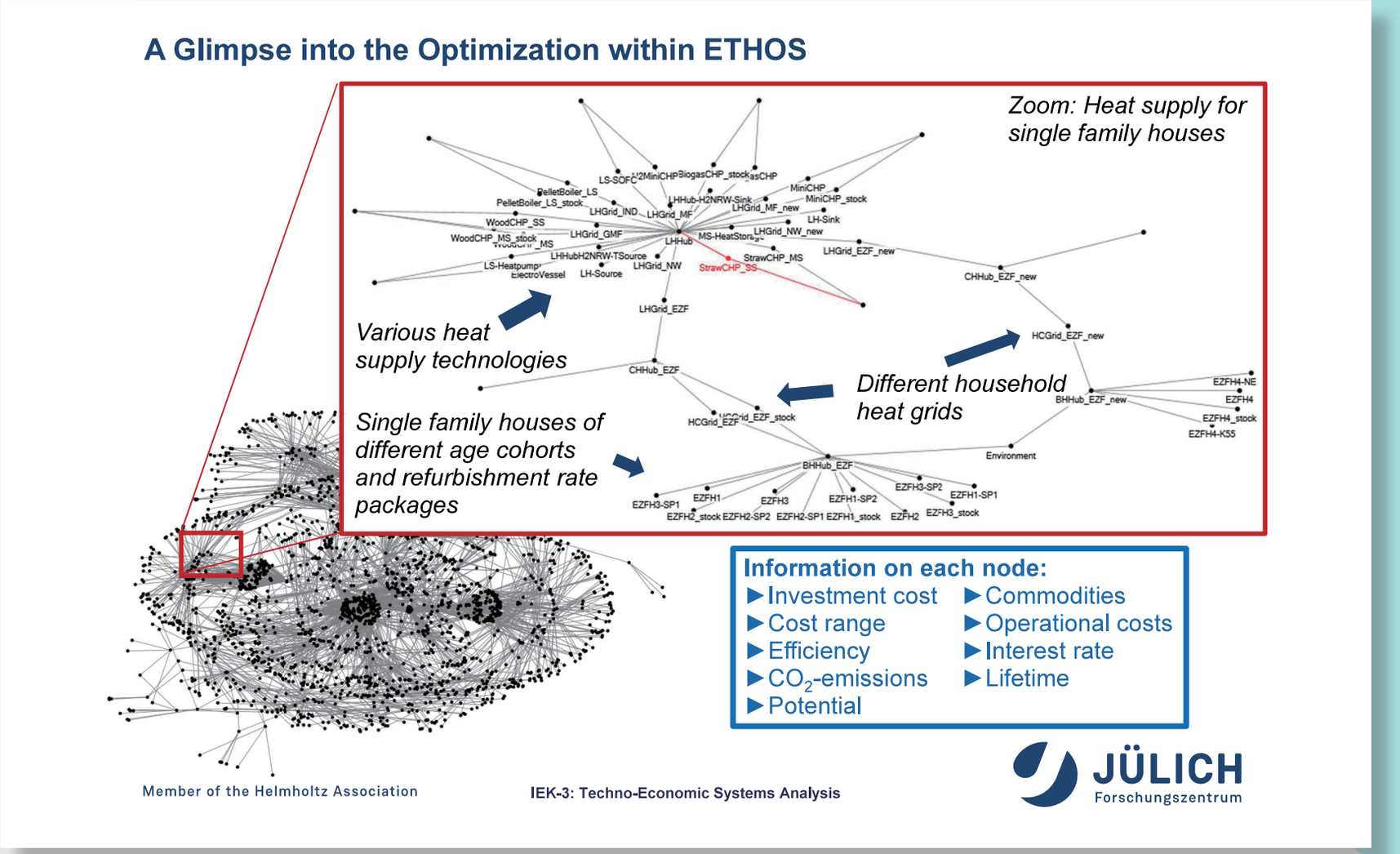


*GIS: Geographic Information System

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten

Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

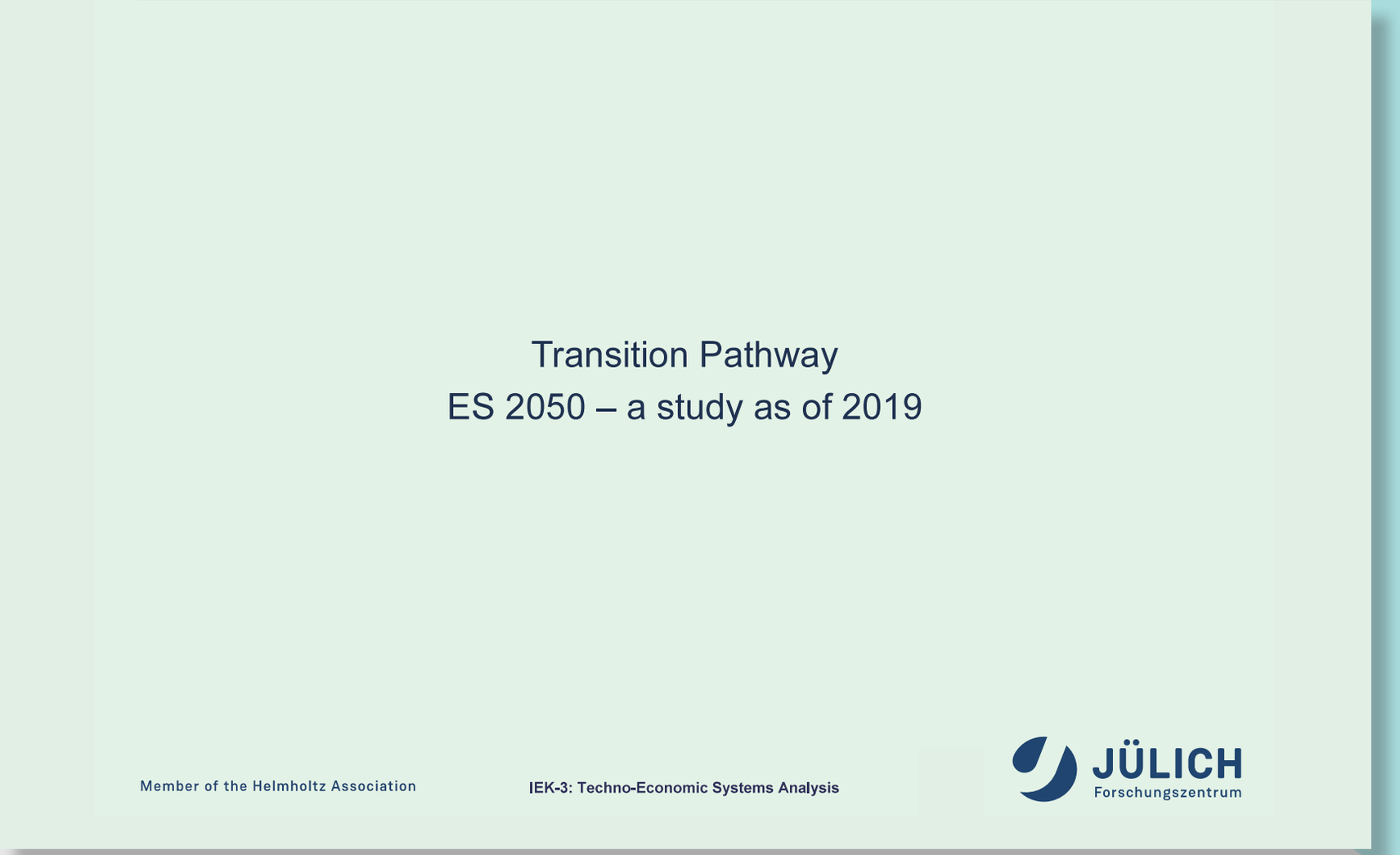
Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

Basic Requirements for a Future Energy System

- In 2050 **CO_2 emissions** based on 1990 to **be reduced** to about zero (climate targets 1.5-2.0°C)
- **Germany: climate neutrality 2045 (cast in law 21/06/24)**
- After the transition period energy should be **no more expensive** than today
- **Limited emissions** shall be reduced
- Electricity, fuels and heat must be available with **high reliability w/ renewables**
- **All energy sectors** need **to be addressed**
- Teratogenic, carcinogenic and poisonous substances to be avoided in public handling
- Nucear hazards to be considered
- Radiative forcing to be considered (e.g. methane 30) for new energy pathways

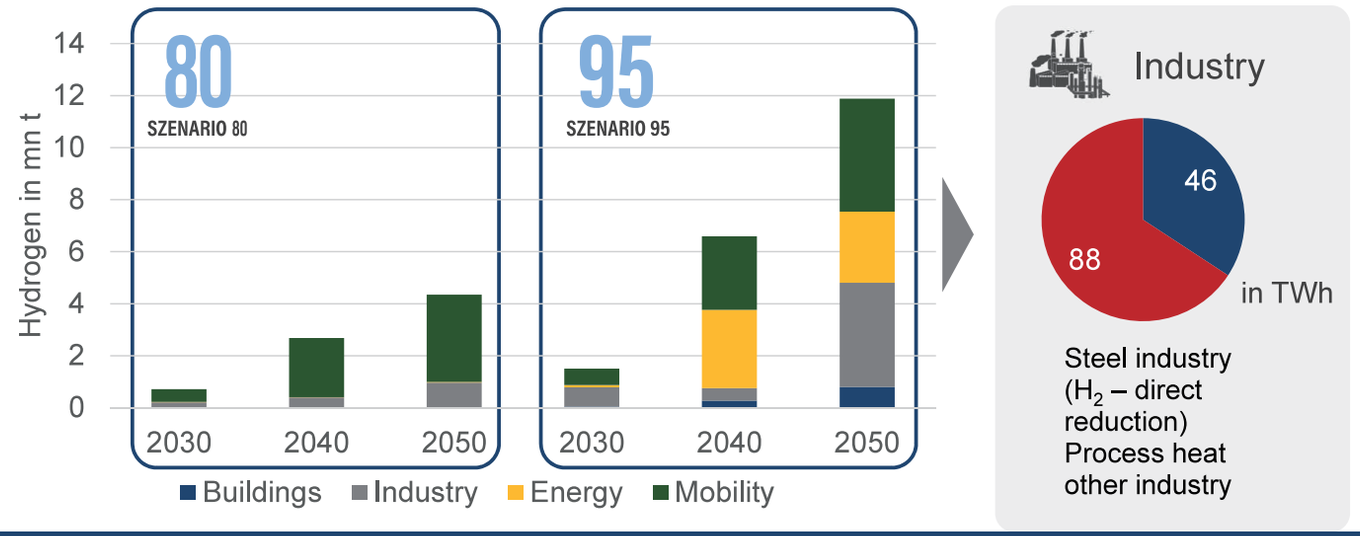
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3), Juelich Research Center (Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



- Scenario 80: Hydrogen demand of 4 mn t p.a. (mostly transport and industry)
- Scenario 95: Hydrogen demand of 12 mn t across all sectors (incl. process heat)
- Preliminary result: a climate neutral scenario adds no further H2 demand owing to cheaper renewable energy w/ direct use of power

Wege für die Energiewende – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt/Energy & Environment, Band/Volume 499; Robinius M., Markewitz P., Lopion P., Kullmann F., Heuser P.-M., Syranidis K., Cerniauskas S., Schöb T., Reuß M., Ryberg S., Kotzur L., Caglayan D., Welder L., Linßen J., Grube T., Heinrichs H., Stenzel P., Stolten D.: https://juser.fz-juelich.de/record/877960/files/Energie_Umwelt_499.pdf

Member of the Helmholtz Association

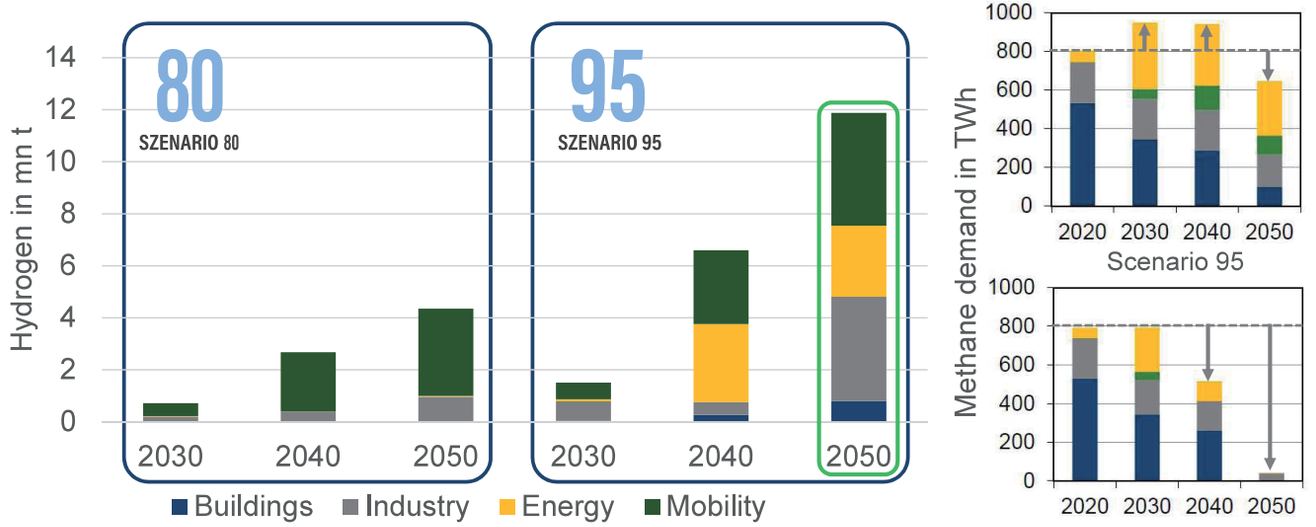
IEK-3: Techno-Economic Systems Analysis

JÜLICH Forschungszentrum

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

Hydrogen and Methane Demand



- Scenario 80: Hydrogen occurs in mobility and industry only, NG demand rises in between before dropping in 2050
- Scenario 95: H_2 in all sectors ➔ infrastructure development & supply chain analysis needed

Wege für die Energiewende – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt/Energy & Environment, Band/Volume 499; Robinius M., Markewitz P., Lopion P., Kullmann F., Heuser P.-M., Syranidis K., Cerniauskas S., Schöb T., Reuß M., Ryberg S., Kotzur L., Caglayan D., Welder L., Linßen J., Grube T., Heinrichs H., Stenzel P., Stolten D.: https://juser.fz-juelich.de/record/877960/files/Energie_Umwelt_499.pdf

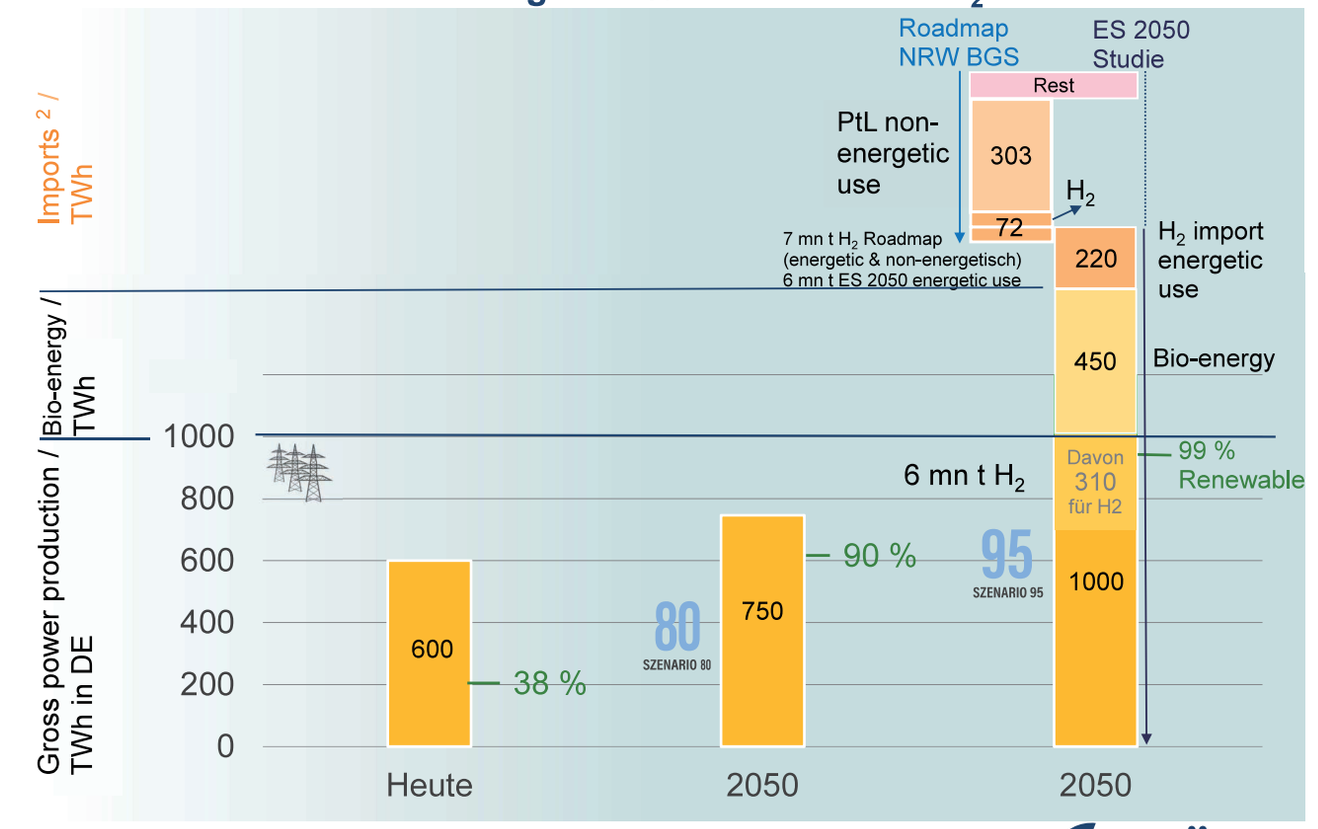
Member of the Helmholtz Association

IEK-3: Techno-Economic Systems Analysis

JÜLICH Forschungszentrum

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

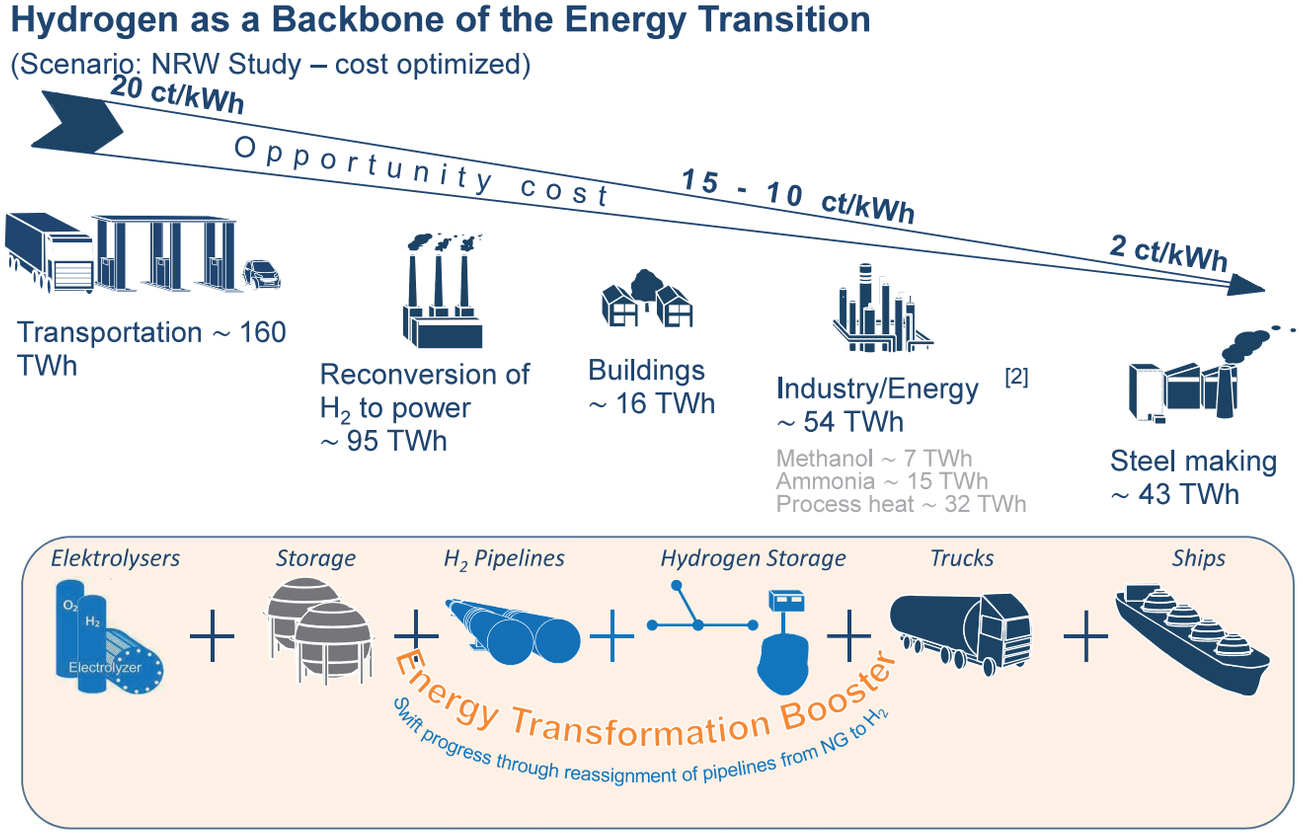
Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



[1] ohne Strom Im- und Export, da vernachlässigbar; [2] Importe als Primärenergie an dt. Grenze

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

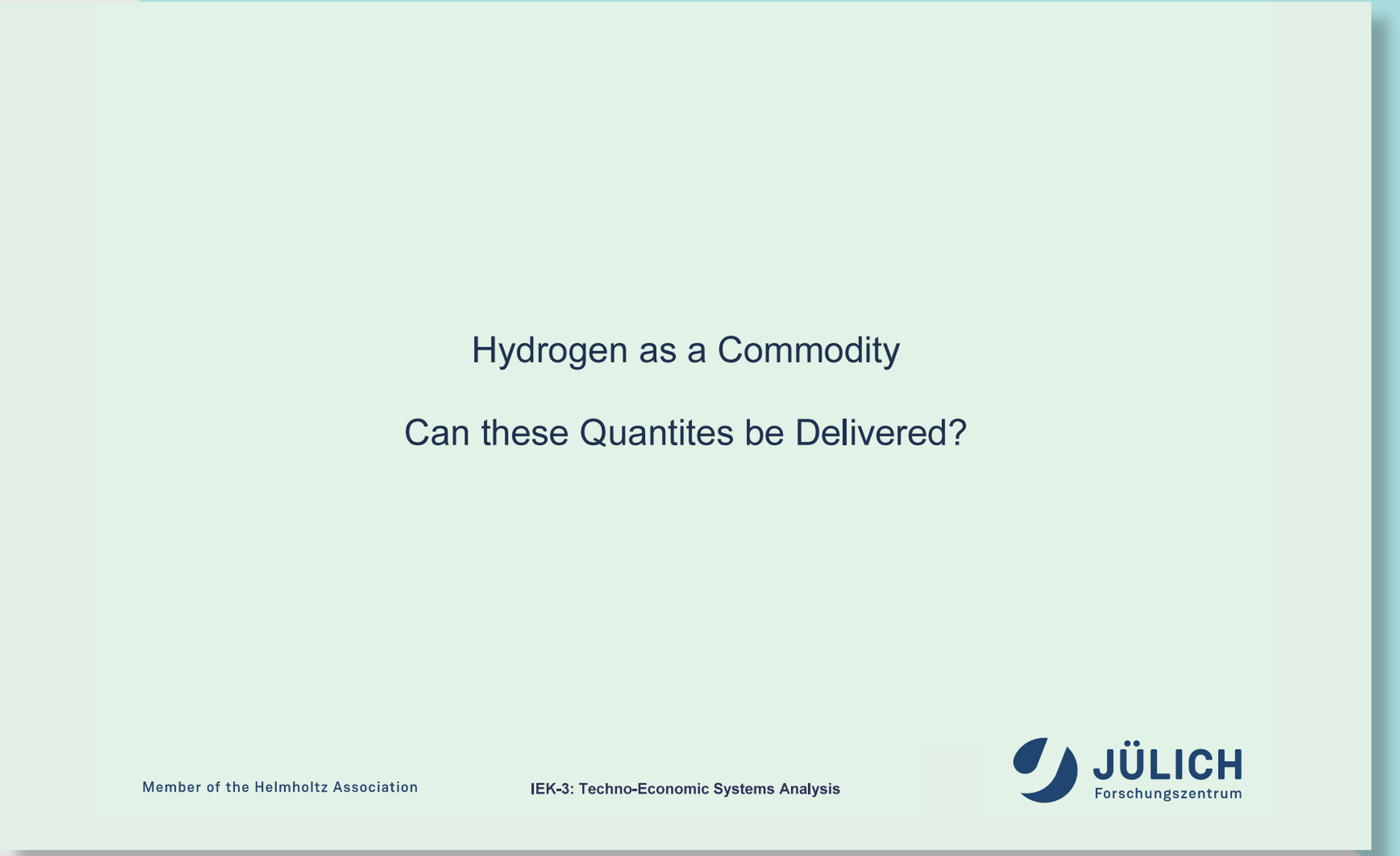
Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



[1] S. Cerniauskas et al. (2021) Wissenschaftliche Begleitstudie für die Wasserstoff-Roadmap NRW (erscheint demnächst).
[2] Ohne Rohstoffbedarf der chemischen Industrie
[3] Equity Research / Goldman Sachs; Green Hydrogen, September 22, 2020

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

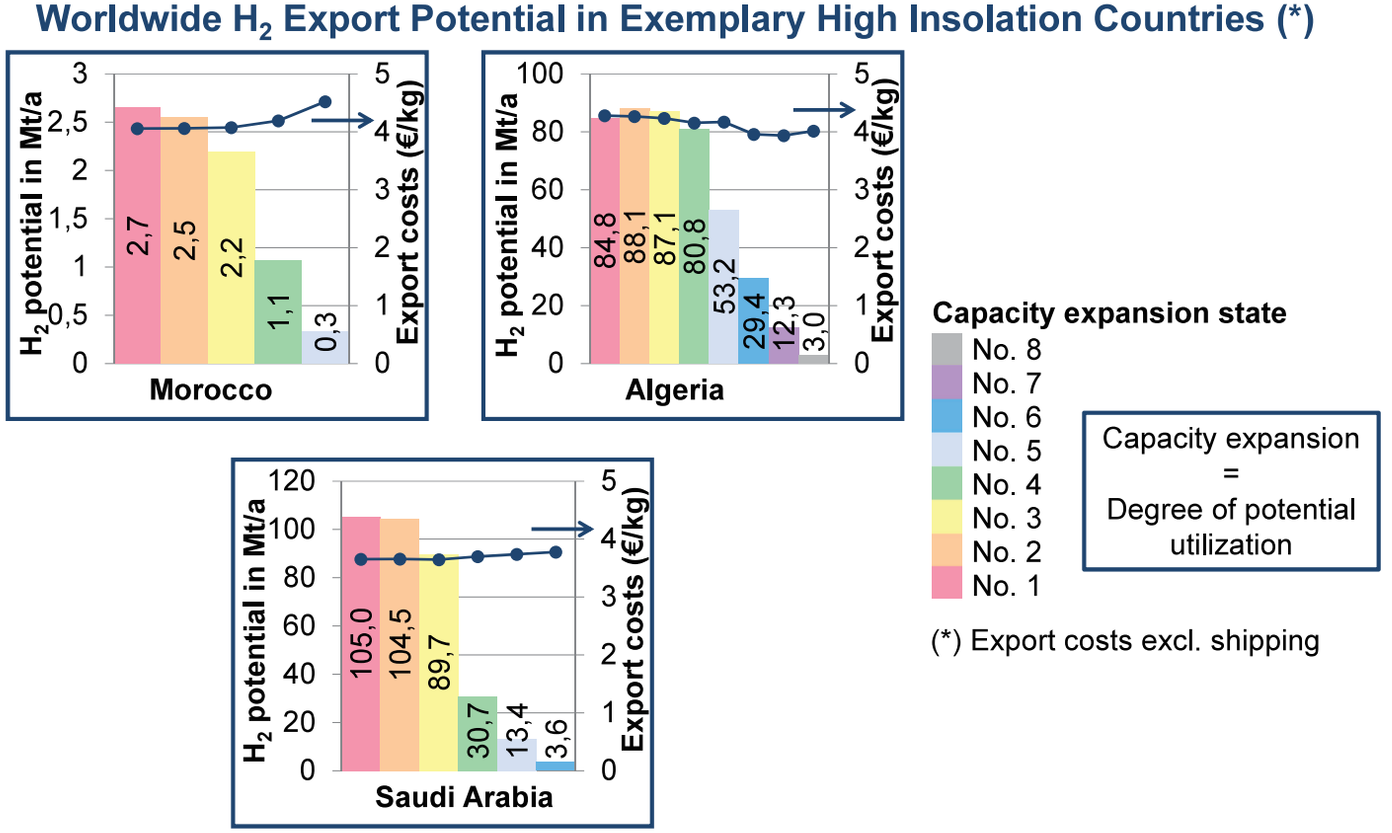
Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

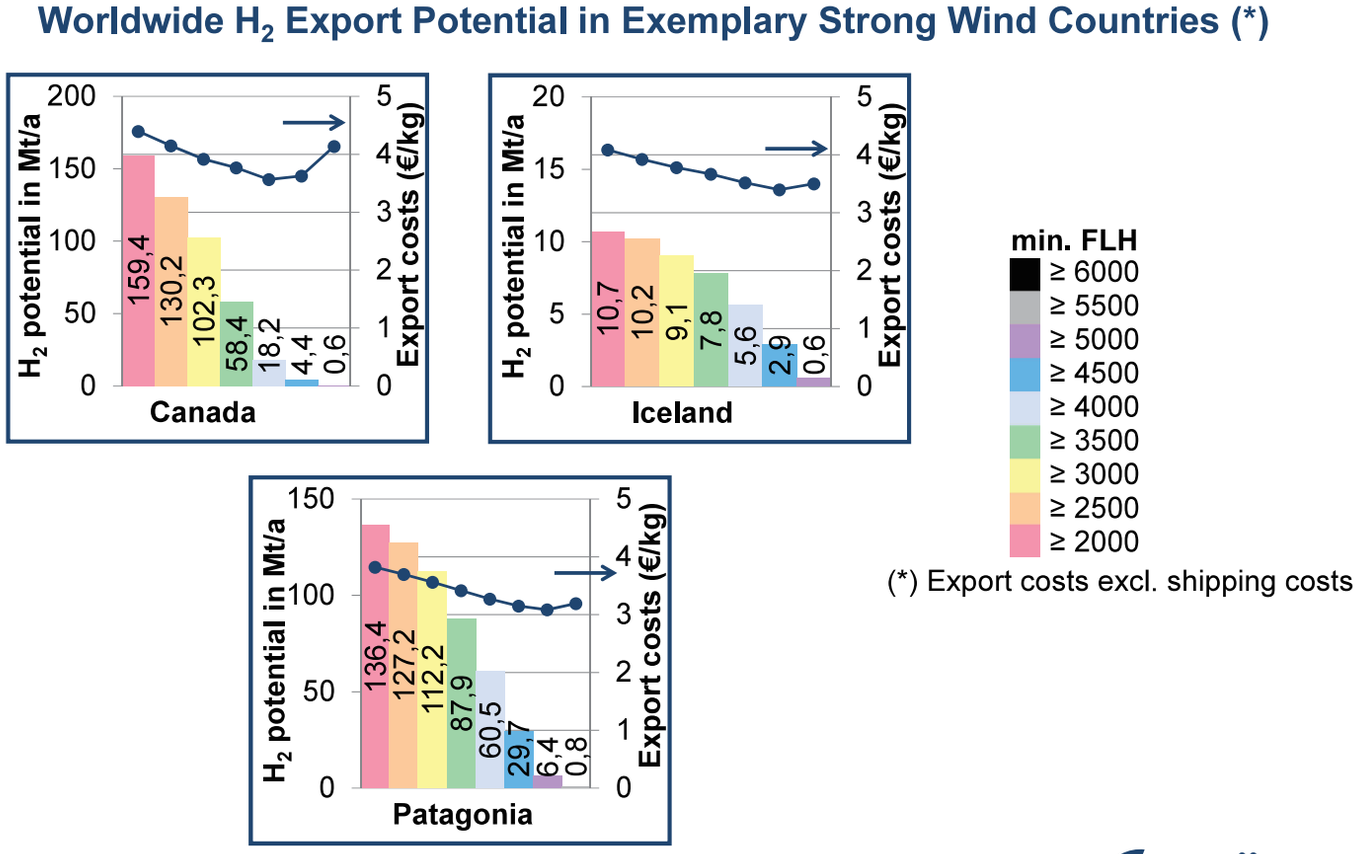
Detlef Stolten

Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

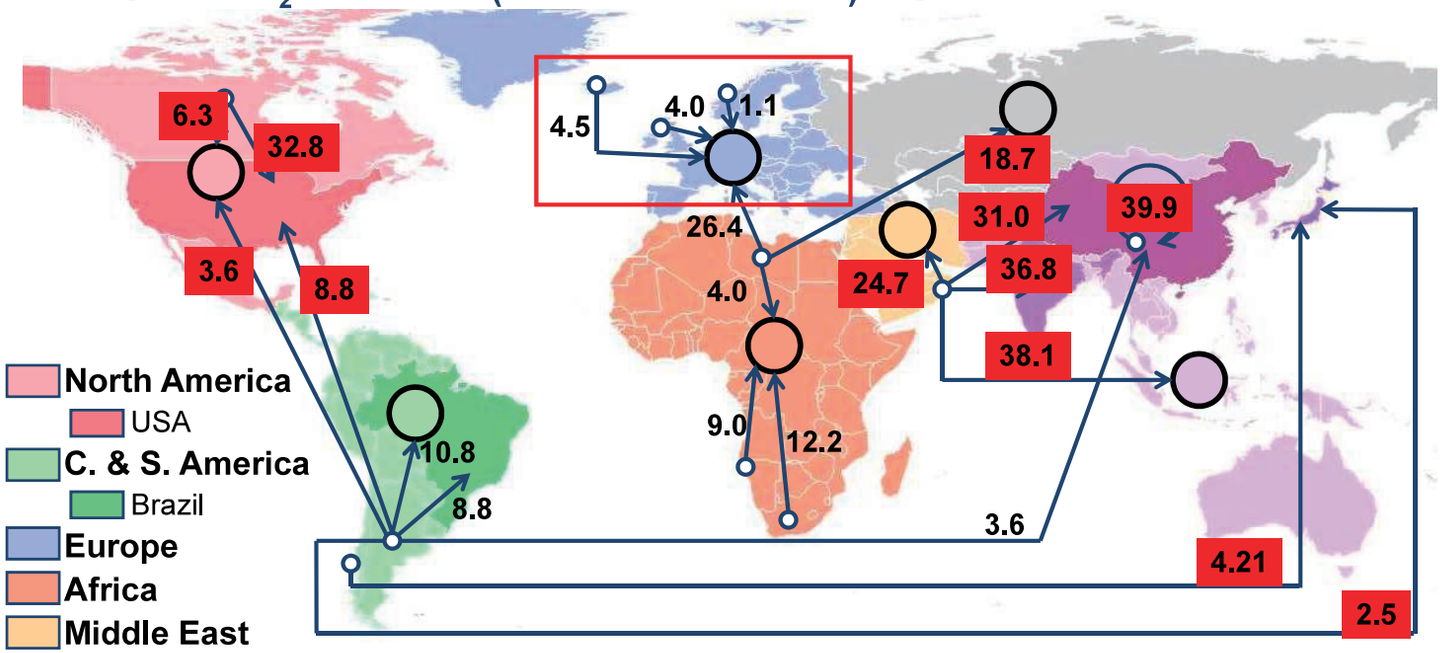
Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten

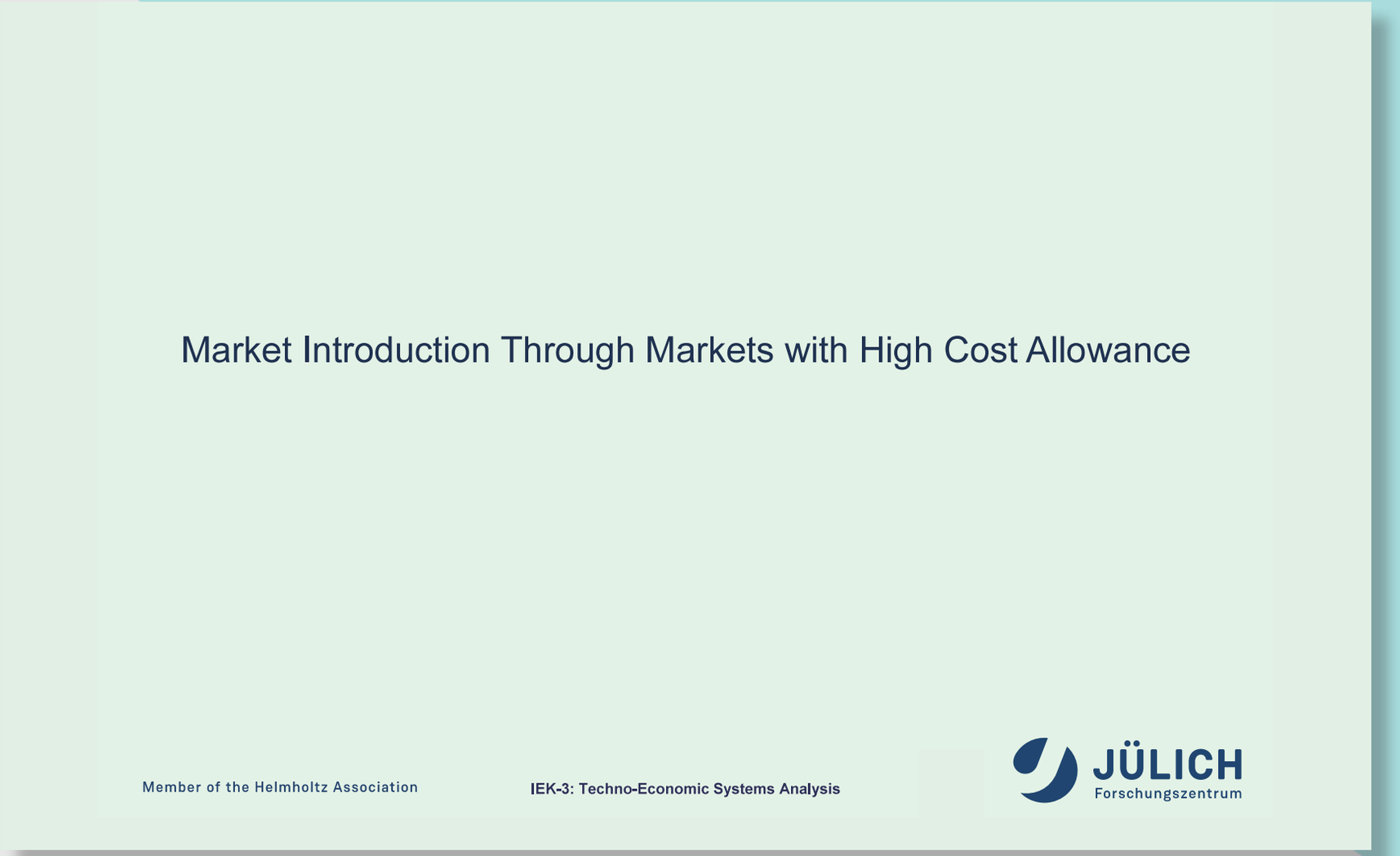
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)



	Germany	Japan	Europe	USA	China	India	Southeast Asia
Demand in Mt/a	4.57	6.7	31.4	41.7	70.9	36.8	38.1
Import cost in €/kg	3.61	3.83	3.86	3.68	4.05	3.84	3.99

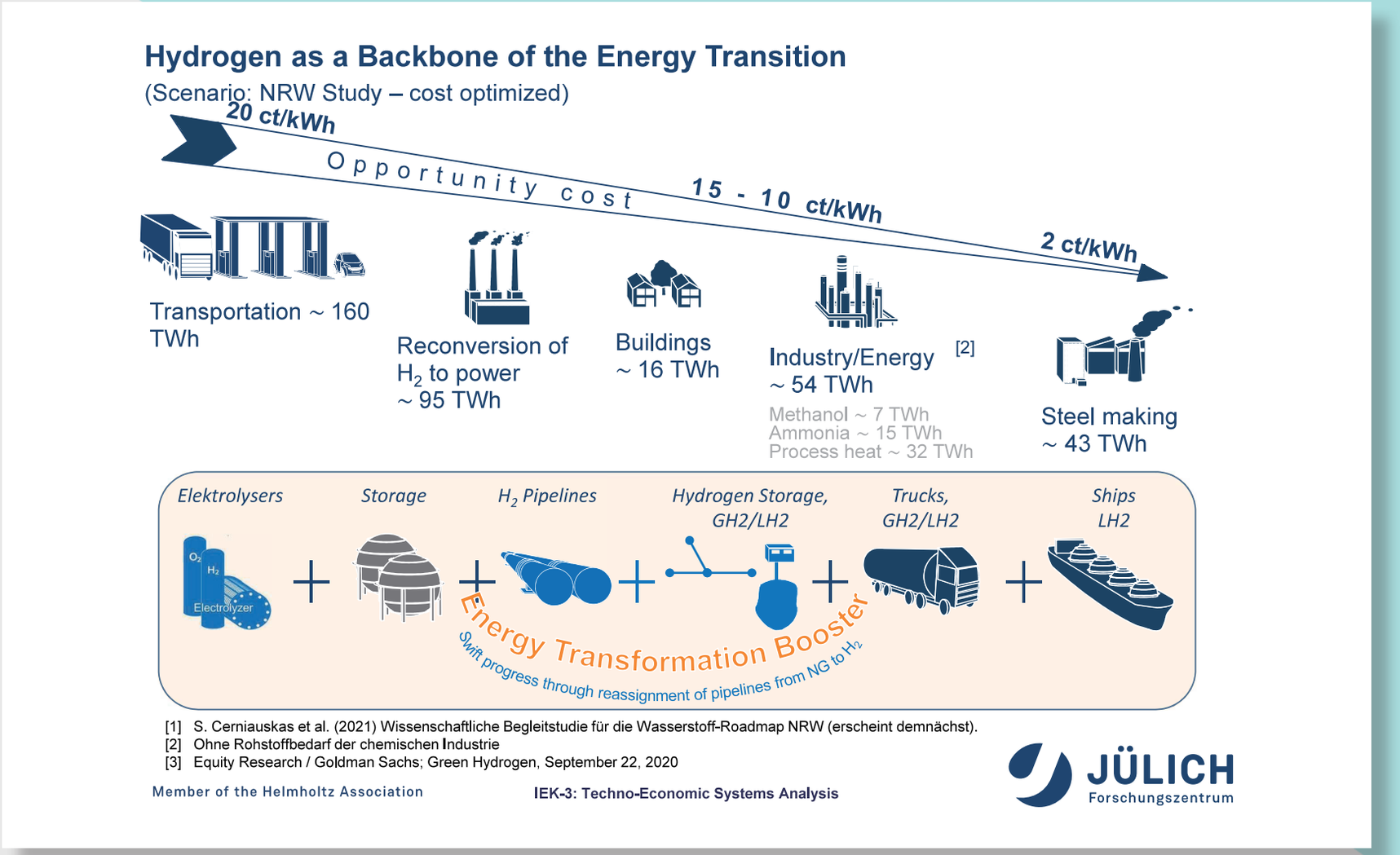
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)



[1] S. Cerniauskas et al. (2021) Wissenschaftliche Begleitstudie für die Wasserstoff-Roadmap NRW (erscheint demnächst).
[2] Ohne Rohstoffbedarf der chemischen Industrie
[3] Equity Research / Goldman Sachs; Green Hydrogen, September 22, 2020

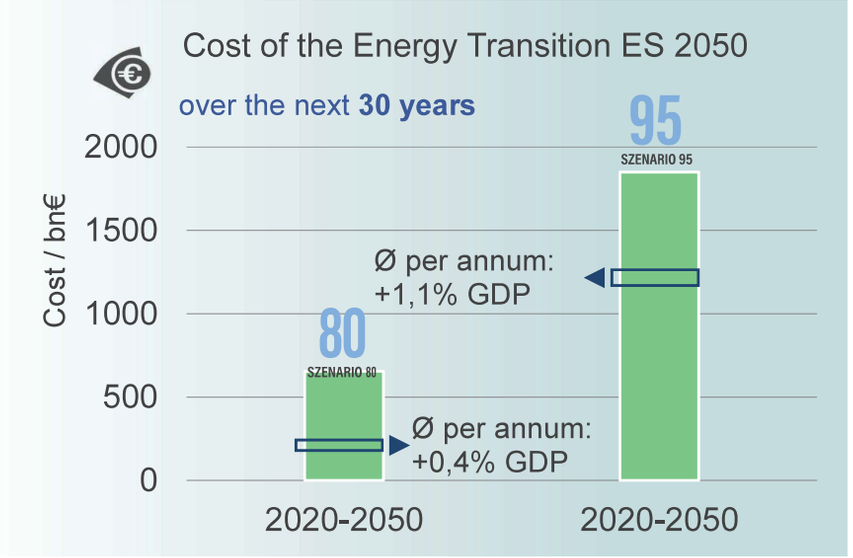
수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

Cost of Setting up a Renewable Energy Infrastructure for Germany



❶About 1800 bn € over 30 years
⇒ 60 bn p.a
(ES2050 scenario)
@ cost 2019, 95% CO_2 reduction;

❷@ cost 2021; 95% CO_2 reduction
(BAU95 scenario)
- 20% cost compared to ❶

❸Climate neutral scenario 2045
+ 32% cost compared to ❶
+ 52% cost compared to ❷

First rough estimate:
A climate neutral scenario costs about 90 bn € for DE p.a.
(~ 1.7% GDP p.a) => affordable)
(detailed verification process ongoing, final results to be published 11/2021)

Cost comparison of CO_2 Reduction Scenarios:
- 80% CO_2 2050: defined as 100% base line
- 95% CO_2 2050: adds 180% to the cost of 80%
- Climate neutral at 2019 cost level: adds 52% to the cost of 95% 2050
- Climate neutral at 2021 cost level: adds 32% -"-
- Full decarbonization of industry comes on top (substitution of raw materials)

Member of the Helmholtz Association

IEK-3: Techno-Economic Systems Analysis

JÜLICH Forschungszentrum

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of Techno-economical Systems Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center (Germany)

Lessons Learnt

On hydrogen amount:

- With cheaper renewables less hydrogen is needed for higher direct use of electricity
- With more ambitious climate goals more hydrogen is needed
- Reassignment of NG-pipelines to H2 is very cost effective
- Both effects level off in our scenarios at about 400 TWh, corresponding to 12 mn tons of H_2

On hydrogen market:

- Substantial amounts go to industry
- The opportunity cost od the industry are lower than market introduction prices
- Transportation provides high opportunity cost for hydrogen
- Hence, hydrogen in transportation is important for establishing a hydrogen market
- Addressing all markets distributes the infrastructure cost to a larger extent
- Whether households need hydrogen depends very much on the local situation
  - Can renewables, e.g. PV, geothermal, be installed?
  - Can houses be refurbished - insulated, etc?
  - Are refurbishments of houses restricted under monument protection?

수소 기술: 탄소 중립 사회로의 전환

Detlef Stolten
Director, Institute of
Techno-economical Systems
Analysis(IEK-3),
Juelich Research Center
(Germany)

Thank You Very Much for the Attention!

Member of the Helmholtz Association

IEK-3: Techno-Economic Systems Analysis

JÜLICH
Forschungszentrum

Session 1

수소 활용 기술

01

수소 사회 도래와 미래 비전 2030

김세훈
현대자동차 부사장

02

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

김세훈

현대자동차 부사장(연료전지사업부장)

● Biographical Information

- 2020~현재 현대자동차 연구개발본부 연료전지사업부 사업부장/부사장
- 2018~2020 현대자동차 연료전지사업부장/전무
- 2016~2018 현대자동차 연료전지개발실장/상무
- 1993~1997 독일 아헨공대 박사(기계공학)
- 1990~1992 서울대 석사(기계공학)
- 1985~1990 서울대 학사(기계공학)

● Abstract

수소 사회 도래와 미래 비전 2030

최근 전 세계적으로 지속가능성에 대한 고민이 깊어지는 가운데, 각국에서는 신재생에너지의 활용을 확대하기 위한 움직임과 함께 신재생에너지의 간헐성과 지역적 편차를 보완할 수 있는 솔루션으로 수소에너지를 주목하고 있다.

이에, 수소 사회로 가기 위한 국가 차원의 전략과 정책들이 세계 곳곳에서 발의되고 있다.

수소의 가능성에 착안한 이러한 변화는 산업 전반으로도 확산되고 있다.
자동차산업 뿐 아니라, 정유/에너지/제철/발전/IT 등 산업 전반에서도 수소경제를 선도하기 위한 움직임이 확산되고 있어 그야말로 에너지 패러다임의 변화가 산업을 이끌고 있는 것이다.

본 발표에서는 우리 삶과 밀접한 수소의 활용 사례를 보여준 자동차산업을 중심으로 이러한 수소사회로의 움직임을 살펴본다.

수소 사회 도래와 미래 비전 2030

김세훈
현대자동차 부사장
(연료전지사업부장)

포럼 당일 영상 참고

Steinar Madsen
노르웨이 빌헬름센 해운그룹 토피카 유한회사 CEO

● Biographical Information

- 2021~현재 노르웨이 빌헬름센 해운그룹 토피카 유한회사 최고경영자
- 2018~2021 노르웨이 Mast Finans사 소유주
- 2015~2018 노르웨이 리사비카항구 최고경영자
- 2014~2015 노르웨이 Reliable Offshore Energy사 소유주
- 2006~2014 노르웨이 Det Stavangerske Dampskibsselskab(DSD)사 최고경영자
- 1998~2006 노르웨이 Det Stavangerske Dampskibsselskab(DSD)사 최고재무관리자
- 1991~1998 미국 앵커 드릴링 플루이즈사 그룹장

● Abstract

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

이 혁신적인 HySHIP 사업에는 총 14개 유럽 파트너업체가 협력하여 액체수소로 구동되는 새로운 로로선(RO-RO vessel)의 설계 및 건조 작업을 비롯, 현실적인 액체수소 공급체인 및 벙커링 플랫폼 구축을 진행하고 있다. 새로운 선박은 노르웨이 해운그룹 빌헬름센(Wilhelmsen)에 의해 운용되어 노르웨이 해안을 따라 각지의 수소허브에 액체수소를 공급할 예정이며, 2024년 운용 개시를 목표로 하고 있다.

"토피카(Topeka)"란 이름으로 개발중인 이 선박은 상업용으로 운용되는 세계 최초의 액체수소 활용 로로선이 될 것이며, 정해진 일정에 따라 연안 고객 화물 및 컨테이너화된 액체수소를 수소 허브로 운송할 예정이다. 노르웨이 서해안은 기지간 운송 대형 액화수소 운송에 적합한 운송로가 산재하여 있으며, 곳곳에 연안산업을 위한 기지들이 위치해있다. HySHIP 사업은 선박을 비롯한 혁신적인 동력 시스템 및 공급네트워크 모두에 대한 대규모 실증사업이 될 것이며, 미래엔 벙커링 허브들을 통해 페리선을 비롯한 액체수소 대형 해양선박에 수소를 공급할 것이다.

빌헬름센 토피카 유한회사 슈타이너 매드센 사장은 "수소연료는 저공해 혹은 무공해 해운산업을 가능케 하며, "토피카"는 액체수소 연료를 사용하는 해상운송 시대의 첫 단추가 될 것이다. 빌헬름센 그룹은 통합 액체수소 인프라 및 산업생태계를 구축함으로써 이를 통해 동시에 매년 약 25,000대 가량의 트럭을 도로에서 줄일 수 있을 것"이라고 밝혔다.

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Topeka

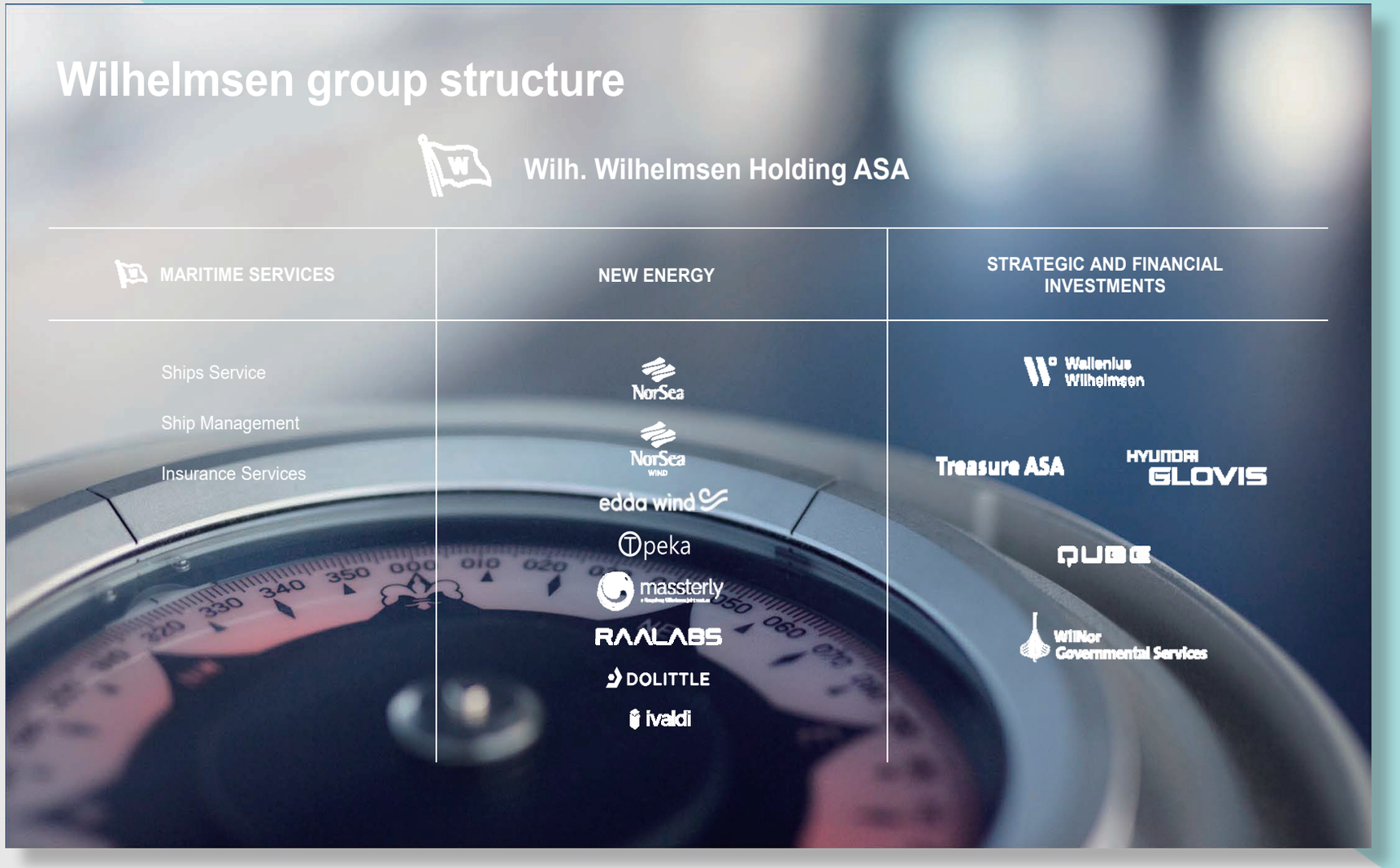
A zero-emission shipping company

2021 Global Forum on Mechanical Engineering
Steinar Madsen CEO, Topeka AS

Wilhelmsen Group company

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

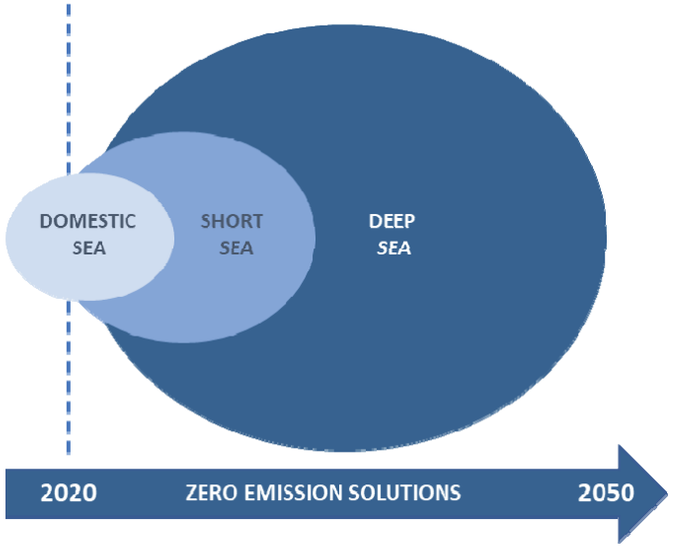


액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Background

Call for action → huge market



Topeka

31 August 2021

Wilhelmsen

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Energy transitions

Starts with smaller vessels – shorter distance

- From rowing to sail to coal to oil
- Ongoing energy transition from oil to LNG

LNG

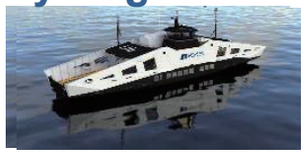
2000

2004

2014

2020

Hydrogen/Ammonia/LOHC



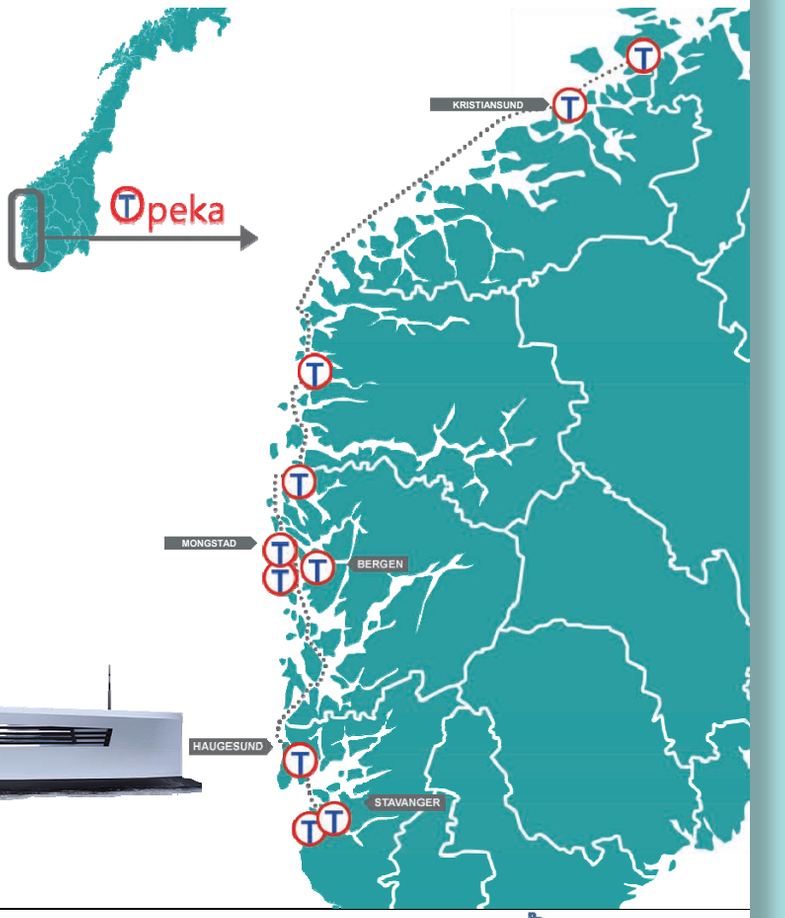
2021

2024?

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Topeka base-to-base vessel:
The zero emission seaborn alternative



Topeka 31 August 2021 Wilhelmsen

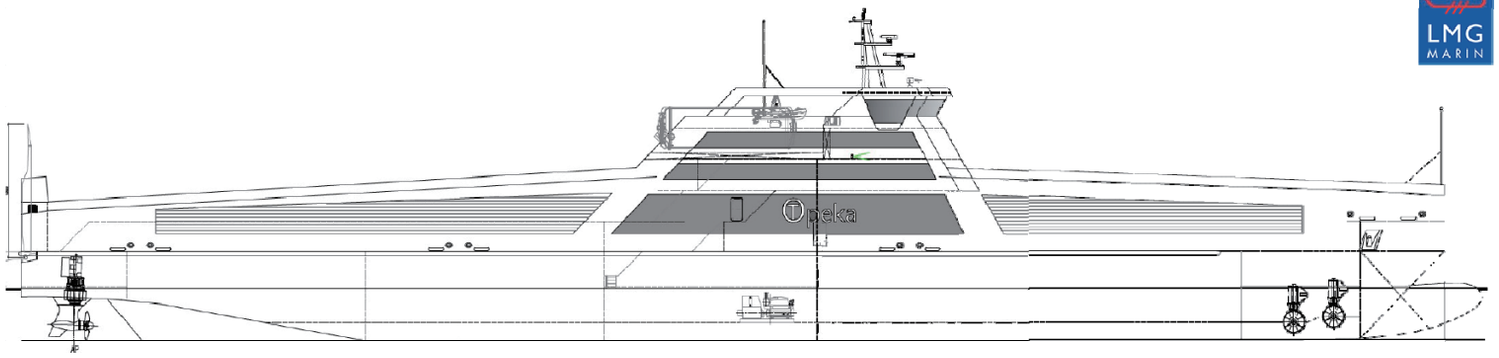
액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Topeka Nattruten

2,500 m2 open deck RoRo vessel running on LH2

DESIGN: LMG MARIN

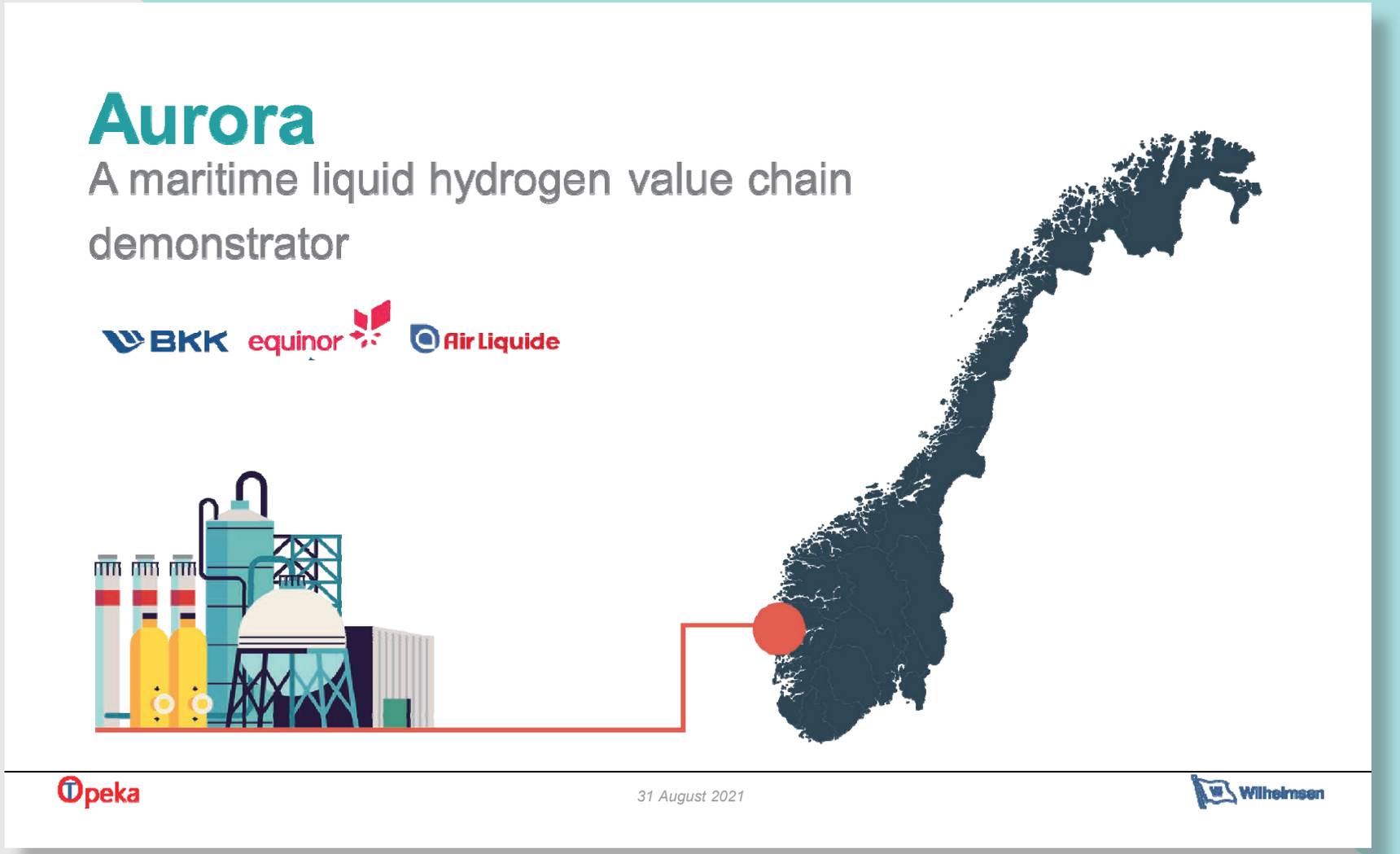


- MAIN DIMENSIONS: 125 M LONG, 24 M WIDE
- CARGO CAPACITY: 56 SEMI TRAILERS
- SPEED IN SERVICE: 12 KNOTS
- LH2 TANK CAPACITY: 65-100 CBM
- POWER DEMAND: APP. 2 MW
- INSTALLED FUEL CELL CAPACITY: APP. 3MW
- DAILY LH2 CONSUMPTION: 1,2-1,4 T/D
- RANGE/ENDURANCE: APP. 400 NM

Topeka 31 August 2021 Wilhelmsen

액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

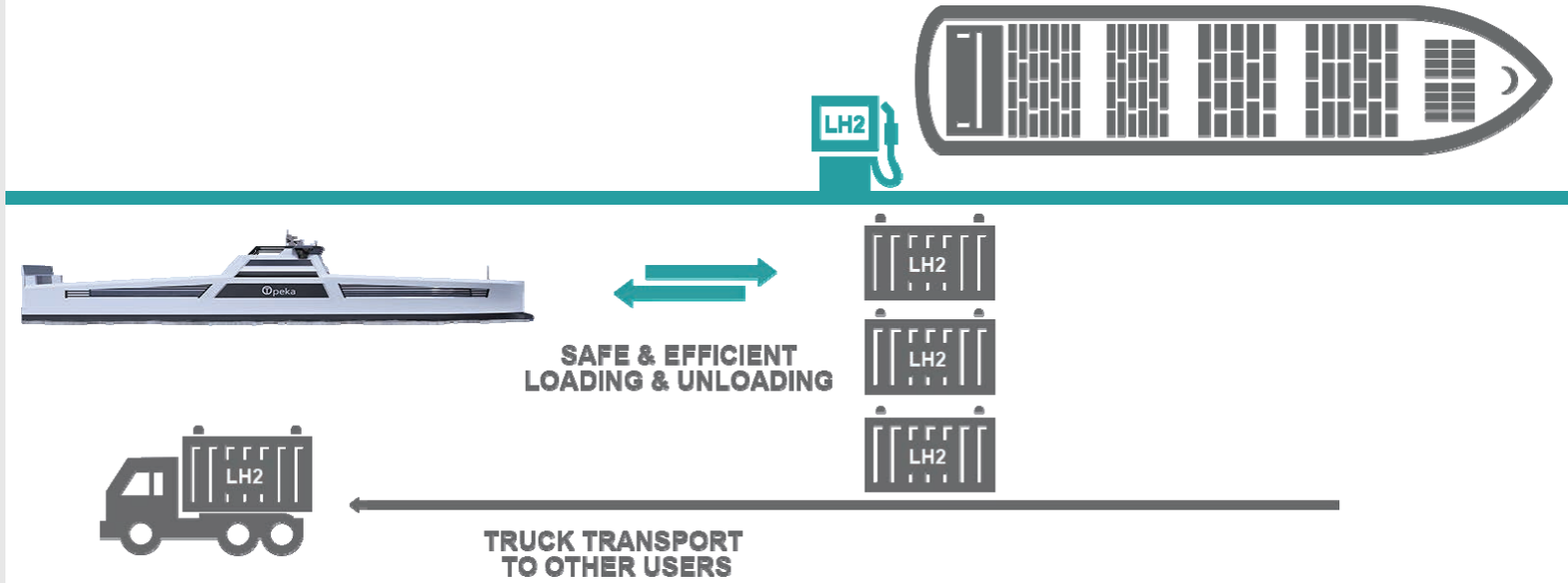
Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)



액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

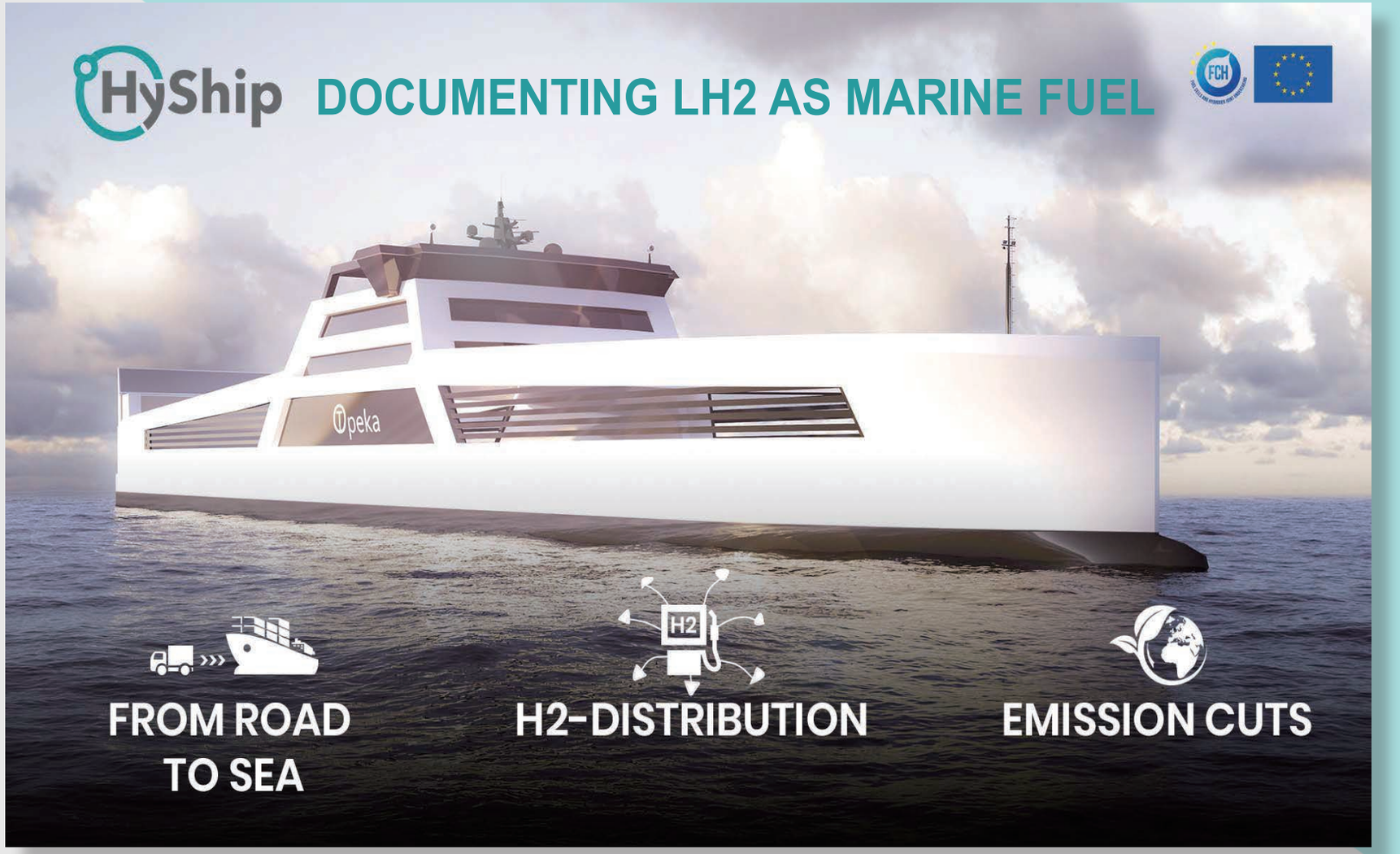
Distribute hydrogen to bunkering hubs between Stavanger and Kristiansund



Topeka 31 August 2021 Wilhelmsen

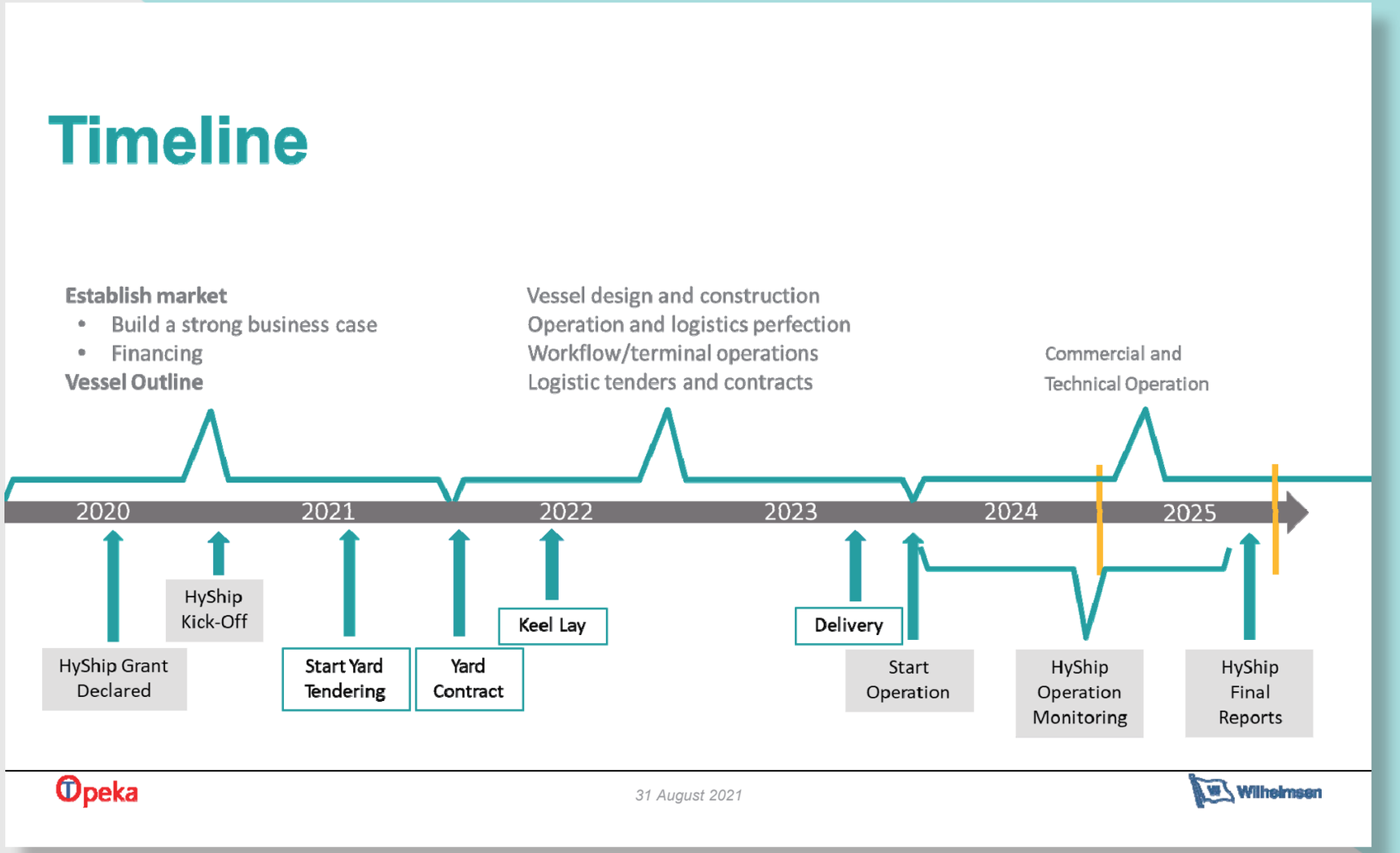
액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)



액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)



액화수소 활용 수소연료전지 추진 선박 개발

Steinar Madsen
CEO, Topeka Holding,
Wilhelmsen Group(Norway)

Thank you !

Topeka

Steinar Madsen

steinar.madsen@topeka.no
steinar.madsen@wilhelmsen.com
+47 977 34 720

Wilhelmsen Group company

Session 2

대용량 수소 액화, 저장, 운송

01

린데가 구축하는 “수소의 세계(World of Hydrogen)”

Markus Bachmeier
Director, Linde Hydrogen FuelTech
(Austria)

02

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실장,
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장

SESSION 2.

Markus Bachmeier

린데 수소연료기술 유한회사 국장

● Biographical Information

- 2019~2021 린데 수소연료기술 Sales&Products 국장
- 2008~2019 린데그룹 수소솔루션글로벌부문장
- 1998~2008 독일 BMW 그룹 마케팅 부장
- 1991~1998 독일 보스톤 컨설팅 그룹(BCG) 컨설턴트
- 1993~1994 프랑스 INSEAD MBA
- 1984~1990 독일 뮌헨 공과대학교 Diploma(기계공학)

● Abstract

린데가 구축하는 “수소의 세계”

독일의 린데(Linde)는 수소분야에서 100년 이상의 경험을 토대로, 수소 생산, 가공, 저장 및 유통 분야의 글로벌 리더로 성장하였다. 린데만의 특별한 기술을 통해 수소 밸류체인의 모든 단계에서 활동 중이며, 세계에서 가장 뛰어난 액화수소 제조역량 및 유통 시스템을 통해 청정 수소에너지 전환을 이끌고 있다. 또한 약 1,000km에 이르는 파이프라인 네트워크와 결합된 세계 최초의 고순도 수소저장 동굴을 운영하여 고객들에게 안정적으로 수소를 공급하고 있다. 이와 더불어 전 세계 약 200여개의 수소충전소 및 80여개 수전해 플랜트를 설치·운영하고 있으며, 영국의 ITM Power와 합작하여 ILE (ITM Linde Electrolysis)를 설립, 최신 수전해 기술을 운용중이다.

전 세계 대다수의 수소액화플랜트는 린데를 통해 건설되었으며, 소형 및 대형 수소액화기의 원천 기술을 보유하고 있다. 하루 50톤 이상의 액화수소를 생산할 수 있는 대규모 플랜트에 대한 개념설계안을 가지고 있다. 시장이 성장하면서, 수소액화기술의 대형화 및 맞춤형 설계로 총소유비용(TCO)을 낮출 것으로 기대한다.

린데의 수소충전소(HRS) 네트워크는 전세계에서 승용차, 택시, 버스, 대형 상용차량 및 페리선에 이르는 다양한 수소 모빌리티의 수소공급 인프라를 제공하고 있다. 린데 수소충전소는 다양한 필요조건에 맞추어 압축 시스템을 제공하며, 원천특허기술인 아이오닉 컴프레서 및 크라이오펌프는 뛰어난 신뢰성과 고에너지 효율, 낮은 관리비용으로 새로운 혁신을 보여주었다. 수소전지 및 수소기술은 세계가 청정에너지로 전환함에 따라 모빌리티를 비롯한 여러 분야에서 큰 역할을 할 것이다. 세계적인 청정에너지 사회로의 변환에 따라 수소전지 및 수소기술은 모빌리티를 비롯한 여러 분야에서 주요한 역할을 할 것으로 기대된다.

린데가 구축하는 “수소의 세계”

포럼 당일 영상 참고

Markus Bachmeier
린데 수소연료기술 유한회사
국장

최병일

한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장,
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

● Biographical Information

- 2019~현재 국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장
- 2001~현재 한국기계연구원 책임연구원
- 1992~2000 한국과학기술원 박사(기계공학)
- 1990~1992 한국과학기술원 석사(기계공학)
- 1986~1990 한국과학기술원 학사(기계공학)

● Abstract

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

세계적으로 탄소중립 실현을 위한 재생에너지의 사용이 확대되고 있으며, 이러한 재생에너지의 저장. 활용을 위해 수소사회로의 전환이 진행 중이다. 수소사회로의 전환을 위해 수소의 생산, 이송, 저장, 활용 부분에서의 대용량 인프라 구축의 필요성이 늘어나고 있다.

액화수소는 대기압에서 저장이 가능하며, 기존 고압기체수소 대비 우수한 체적에너지 밀도를 가지고 있어, 수소의 대용량 이송, 저장 및 활용 측면에서 장점을 가진다. 본 발표에서는 이러한 액화수소를 생산, 저장하고 활용하기 위해 필요한 핵심 기술과 현재 대한민국에서 추진되고 있는 액화수소 기술 개발 및 정책 현황을 살펴본다.

최종적으로 대한민국에 가장 적합한 중장기적인 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 방안을 검토한다.

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

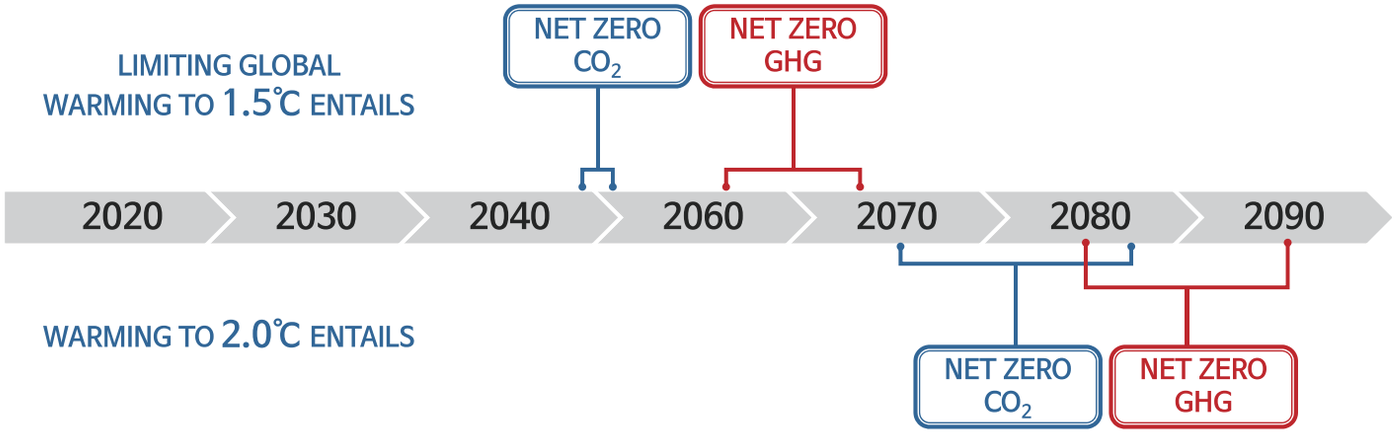
최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

탄소중립 글로벌 타임라인

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략



*Source: Global warming of 1.5℃ (IPCC Special Report, 2019)

- 재생에너지 3020 이행계획 (2017, 산업부) : 2030년까지 발전량 기준 비중 20% 달성
- 수소경제 활성화 로드맵 (2018. 1, 범부처)
- 수소경제육성 및 수소안전관리에 대한 법률 (2020)
- 2050 탄소중립 목표 노력 (2021. 1. 20, 대통령 국회 시정연설)

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●
최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

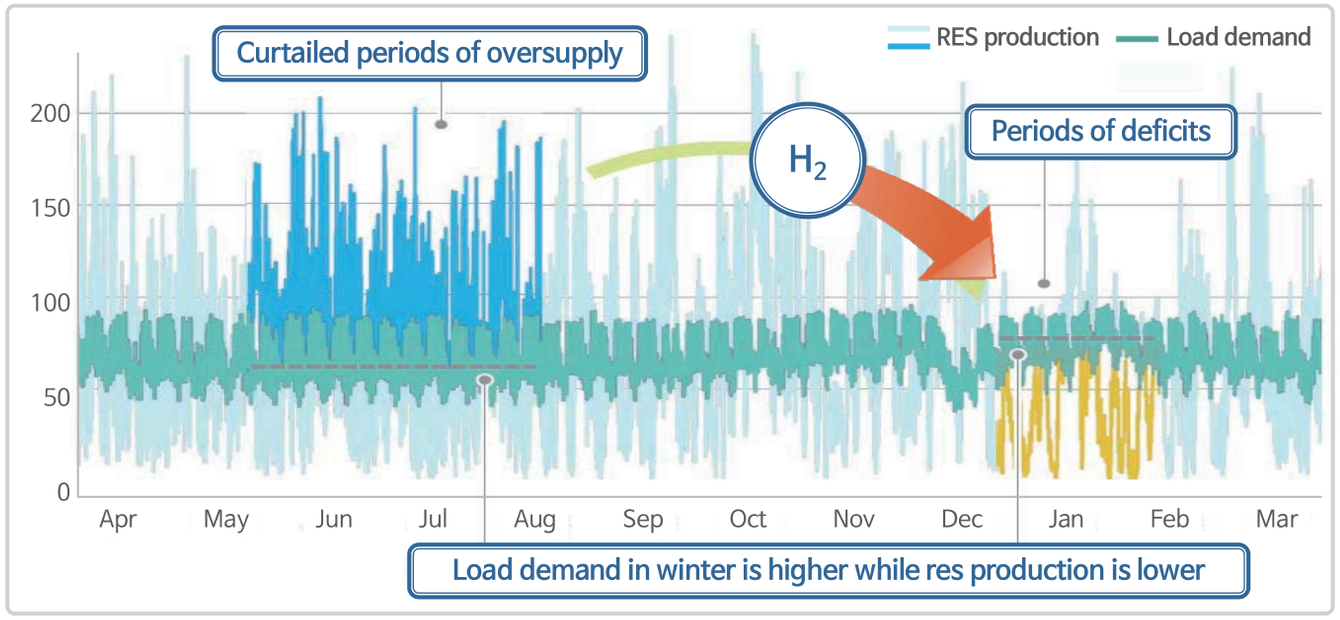
탄소중립을 위한 재생에너지 사용 수소사회

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

유엔기후변화협약 지구온도 2℃ 내 상승억제, 온실가스 감축과 기후변화 적응 의무

전세계
2050년 재생에너지 비중 45%

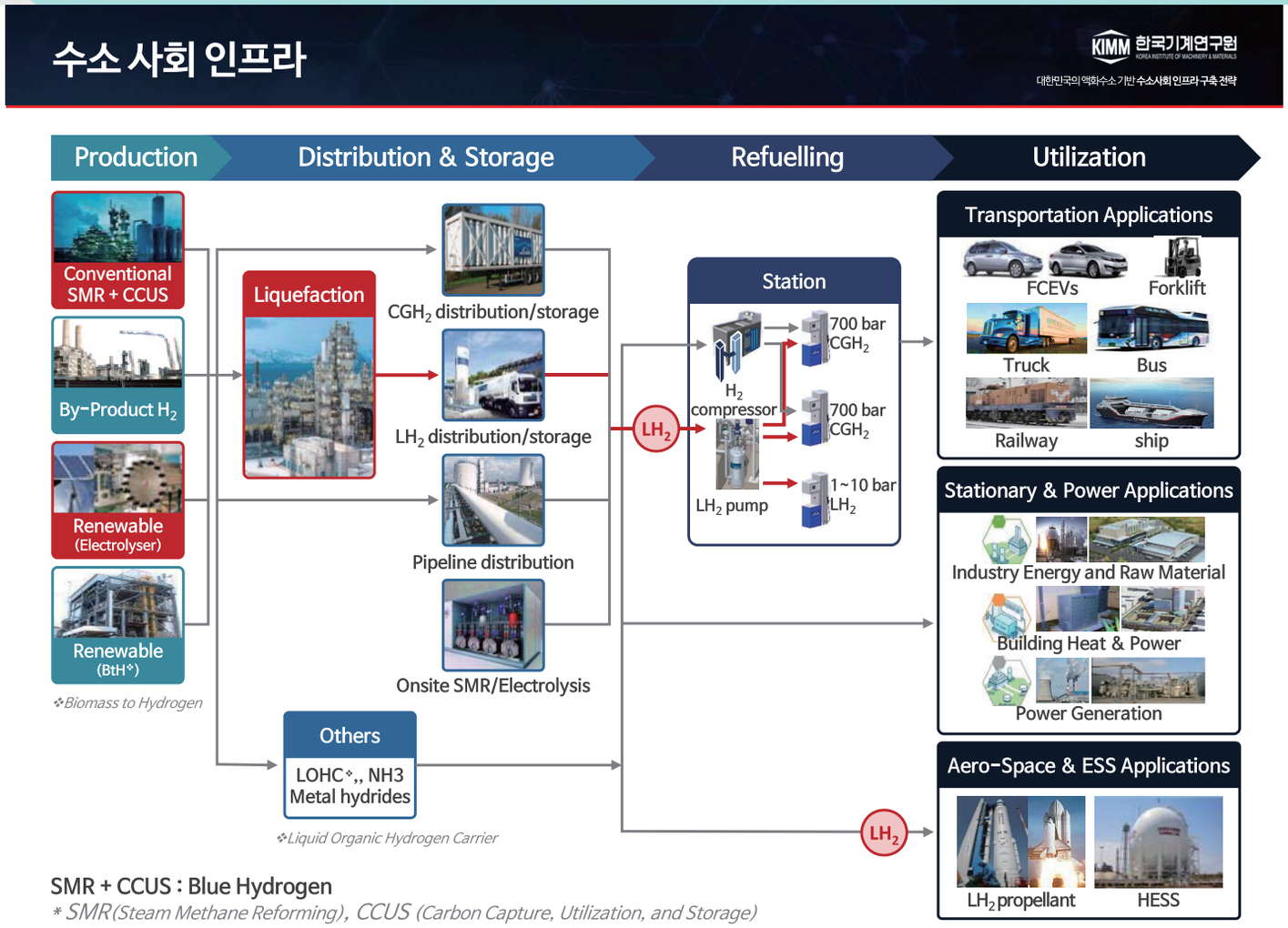
국 내
2030년 재생에너지 총발전량 비중 20%



Renewable Energy Simulation for Germany 2050, in GW, Hydrogen Council, 2017

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

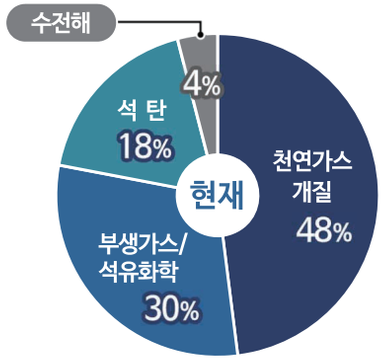


대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

수소 생산

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략



- 현존하는 기체수소 제조기술 중에서 비용측면에서 가장 저렴하게 수소를 생산하는 방법은 LNG 개질 (SMR, Steam Methane Reforming) 기술
- 지구 온난화 대응을 위한 최선의 대안은 신재생에너지로부터 수전해를 통하여 수소를 얻는 것. 재생에너지에 의한 전력 비용, 초기 투자비용 등 개선 필요

Production Method	Capacity (MW)	Capacity (ton/day)	Efficiency (%)	Initial investment Cost ($/kW)	Life time (year)	Maturity
SMR Large scale	150~300	108 ~306	70~85	400~600	30	Mature
SMR Small Scale	0.15~15	0.1 ~ 10.8	~ 51	3,000~5,000	15	Demon-stration
Alkaline electolyser	~150	~ 108	65~82	850~1,500	5~8	Mature
PEM electolyser	~1	~ 0.7	65~72	1,500~3,800	2~5	Early market

Technology Roadmap (Hydrogen and Fuel Cells), 2015, IEA

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

수소 저장

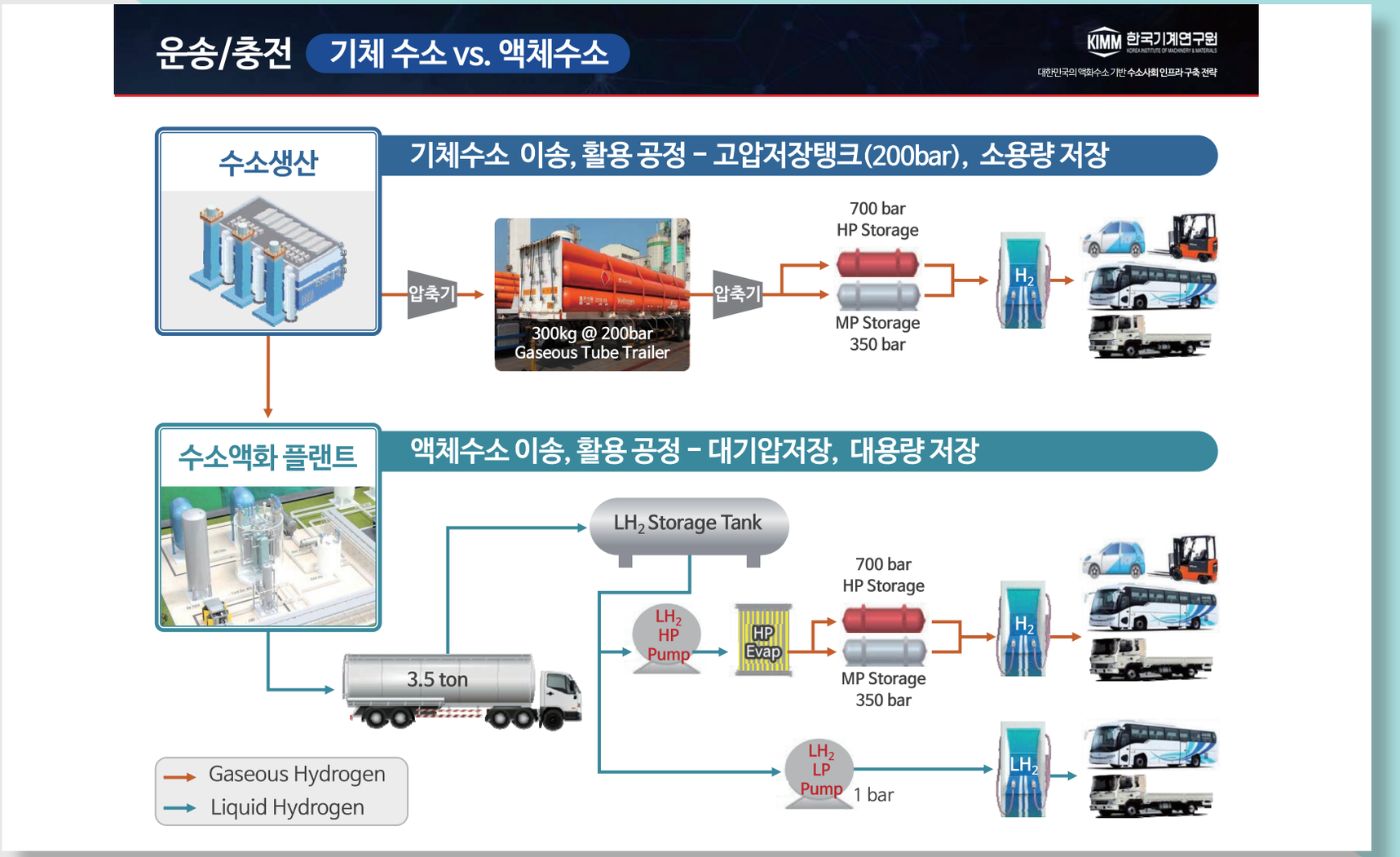
KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

	액화수소 (LH_2)	암모니아 (NH_3)	LOHC (MCH, C_7H_{14})
분자량	2.016	17.03	98.19
끓는점	20.3	240	374
밀도 (g/cm^3)	0.0706	0.682	0.769
수소 무게 비중 (mass%)	100	17.8	6.16
수소 부피 밀도 (kg/100L)	7.06	12.1	4.73
생산에 필요한 기술	수소 액화	암모니아 합성	수소화 (톨루엔 + 수소 ⇒ MCH)
활용에 필요한 기술	증발	수소 추출, 암모니아 연소, 암모니아 연료전지	탈수소화 (MCH ⇒ 톨루엔 + 수소)

* *LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)*

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●
최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

전 세계 수소액화플랜트 현황

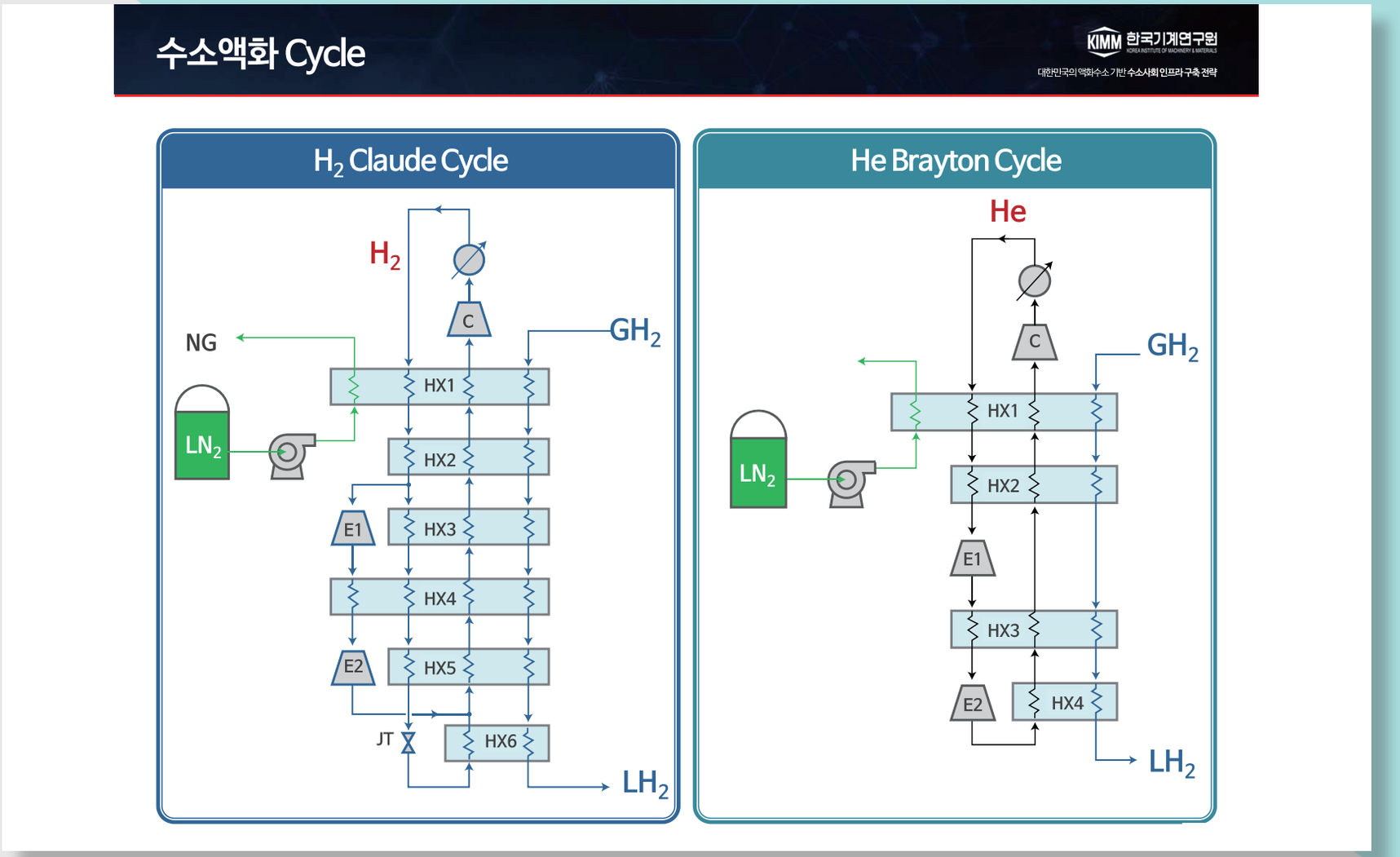
- 전 세계 40여개 (395 ton/day)의 상용급 수소액화 플랜트 건설
  - 3대 Major 회사(Linde(Praxair), Air Liquide, Air Products)만 상용화 기술 확보

Continent	Location	Operated by	Capacity	Commissioned in
America	Canada/USA	Air Products, Praxair Linde, Air Liquide	16 Site 300 TPD	1982~1997
Europe	France, Germany, Netherlands	Air Products, Linde, Air Liquide	4 site 25 TPD	1987~2008
Asia	India, China, Japan	Linde, Iwatani	11 site, 25 TPD	1985 ~ 2008
	Japan	Iwatani(Linde), KHI	5 site 25 TPD	2013 ~2019
Korea (Plan)	창원	두산중공업 (Air Liquide)	5 TPD	2023
	울산	효성 (Linde)	35 TPD	2023
	울산	SK 가스 (미정)	30 TPD	2025
	평택	지역난방공사, 가스공사 (미정)	30 TPD	2024
	인천	SK (Air Liquide)	90 TPD	2023
	보령	SK (미정)	130 TPD	2025

* TPD (ton/day)

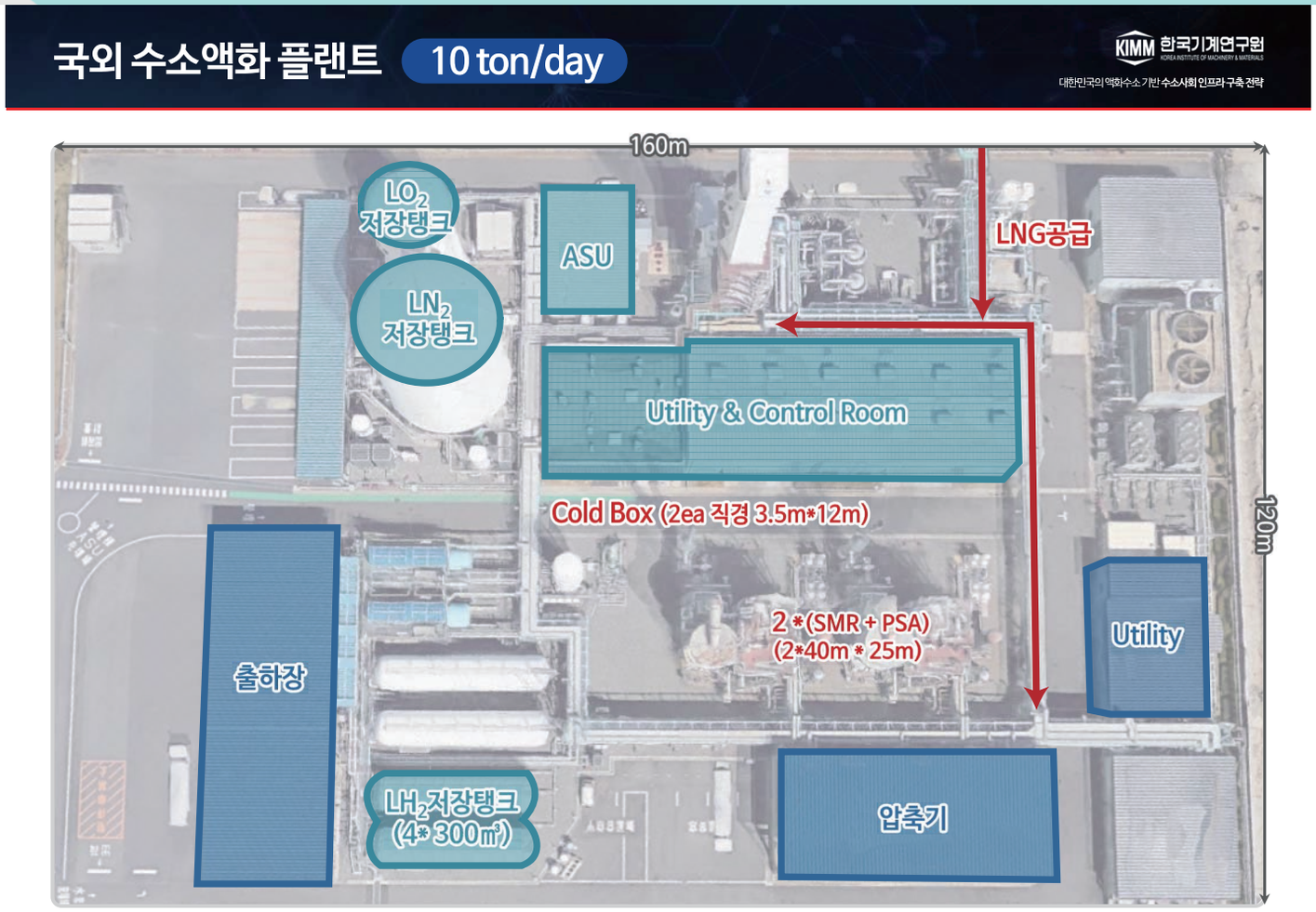
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

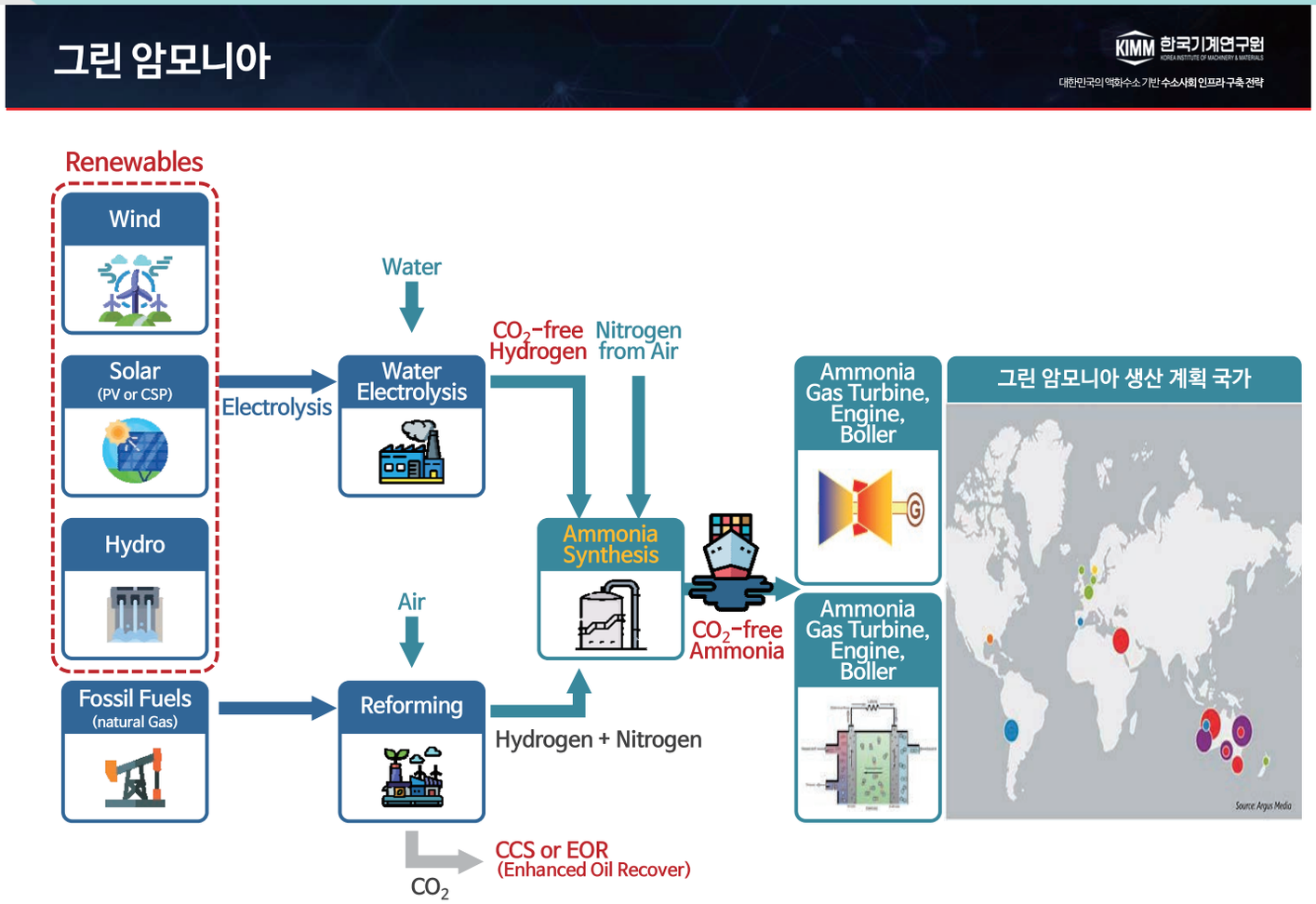
최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



HydroEdge (Joint venture with Kansai Electric Power Company and Iwatani Co.) Capture from Google Earth

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



Courtesy of JGC Corporation

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

국내 수소경제 활성화 정책

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

'19년 1월 수소경제 활성화 로드맵 ▶▶▶ **'20년 2월** 수소법 제정 ▶▶▶ **'20년 7월, 10월, '21년 3월** 수소경제위원회

- 1월 2019: 수소경제 활성화 로드맵
- 4월: 표준화전략 로드맵
- 6월: 제3차 에너지 기본계획
- 10월: 신산업 규제혁신계획 / 미래자동차 산업발전 전략 / 수소 인프라 및 수소충전소 구축방안 / 수소 기술개발 로드맵
- 12월: 수소안전 로드맵
- 2월 2020: 수소경제법 제정 (수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률)
- 7월: 수소경제위원회 (1차) / 한국판 뉴딜 종합계획
- 10월: 미래자동차 확산 및 시장선점 전략 / 수소경제위원회 (2차)
- 12월: 2050 탄소중립 추진전략
- 2월 2021: 수소경제법 시행 (하위법령 제정)
- 3월: 수소경제위원회 (3차)

Courtesy of H2KOREA

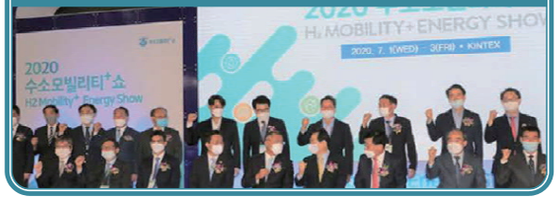
제1차 회의 '20년.7월 개최

"수소경제로의 전환 촉진"을 위해 범정부 수소경제 컨트롤타워 역할을 수행할 수소경제위원회 조기 구성

※「수소경제 육성 및 수소 안전관리법('20.2월 제정)」시행('21.2월) 전 위원회 구성 및 법 시행 준비 추진

위 상
국무총리 및 관계 장관이 참여하는 "수소경제 컨트롤 타워"

역 할
"수소경제 선도국가 도약을 위한 주요 정책 심의·의결"



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

국내 수소경제 활성화 로드맵

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

수소경제 활성화 로드맵 ('19.1)

비 전: 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

목 표	2018	2022	2030	2040
수소 모빌리티	1.8천대(내수 0.9만대)	8.1만대(내수 6.7만대)	내수 85만대	620만대(내수 290만대)
수소충전소	14개소	310개소	660개소	1,200개소
연료전지	307MW	1.5GW (내수 1GW)	내수 2.0GW	15GW (내수 8GW)
공급량(=수요량)	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년
수소가격	8,000원/kg(정책가격)	6,000원/kg	4,000원/kg	3,000원/kg
공급방식	부생수소	부생수소, LNG개질수소	부생수소, LNG개질수소, 수전해, 해외수입	부생수소, LNG개질수소, 수전해, 해외수입

후속 정책 발표

'19.4 수소경제 표준화 전략 로드맵 → '19.10 미래자동차산업 발전 전략 → '19.10 수소 인프라 및 충전소 구축방안

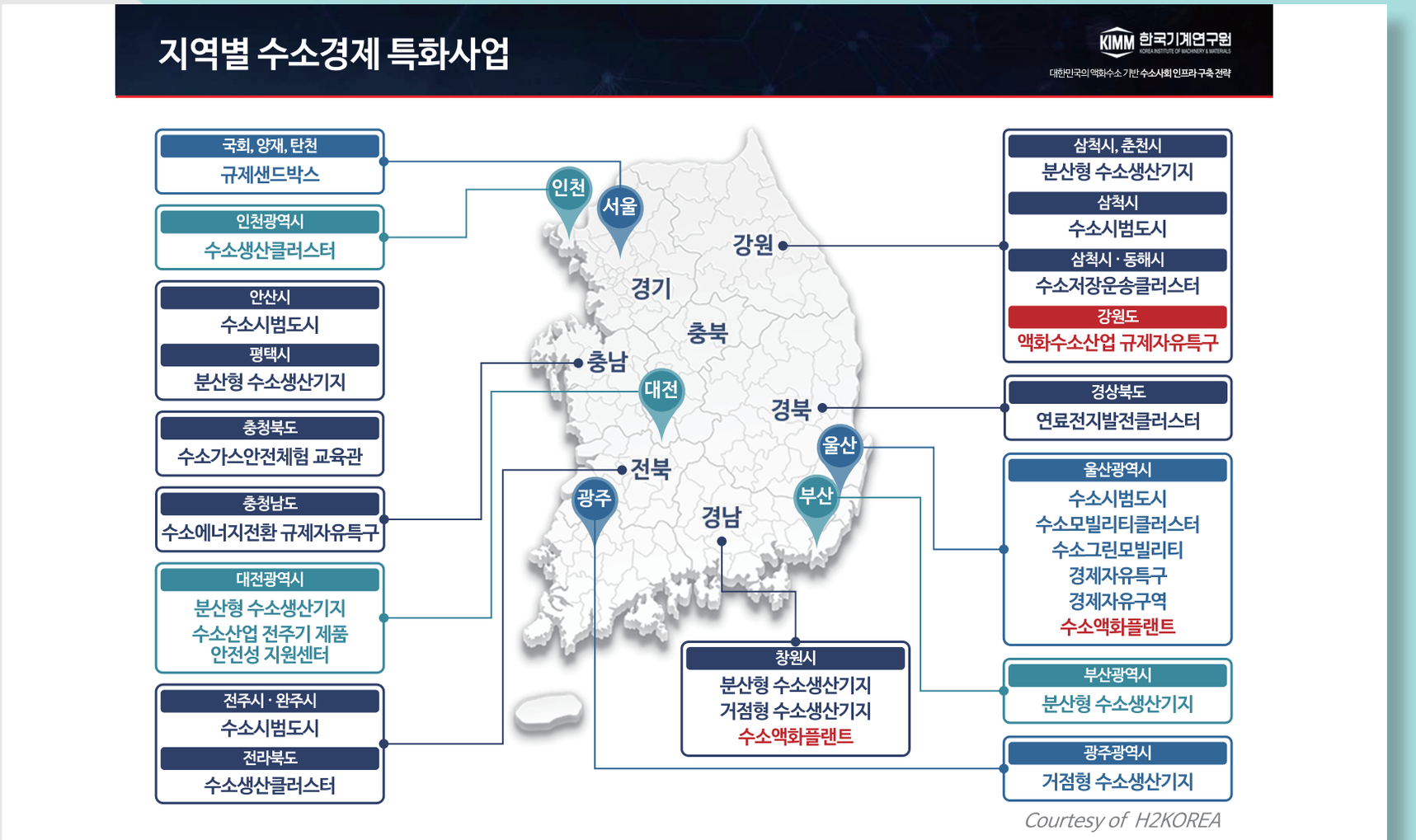
'21 하반기 중, 수소경제이행계획 (수소경제로드맵 2.0) 발표 예정

그린수소 생산 및 보급 (그린수소 인증제), 액화수소 충전소 보급, 해외수소 도입방안 등을 포함하여 수소경제로의 방향성 공고화

Courtesy of H2KOREA

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

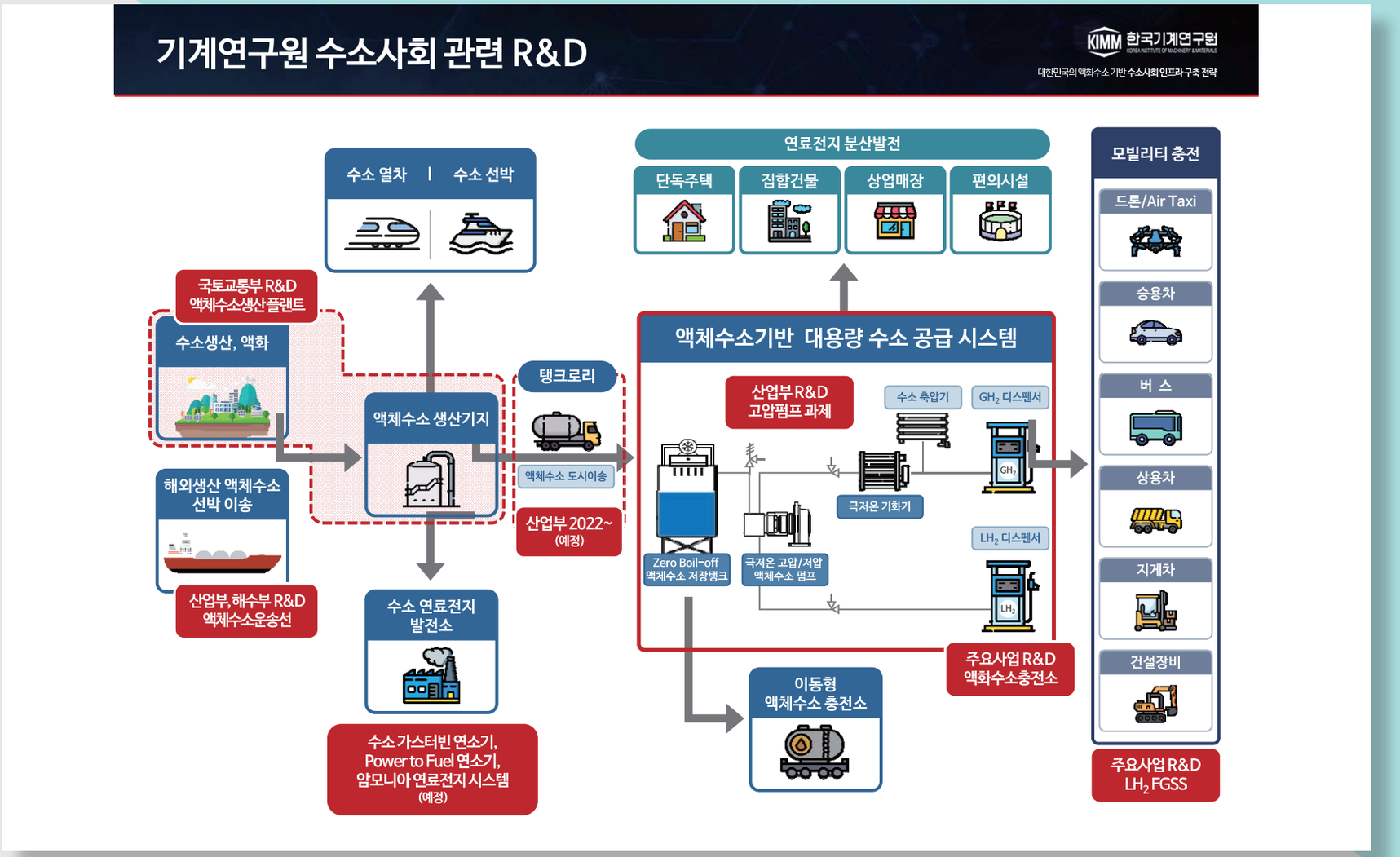


대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

기계연구원 수소사회 관련 R&D

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

과제명	연구 범위	연구기간 (연구비)	주관부처
상용급 액체수소 플랜트 연구단	• 5 ton/day 수소액화플랜트 공정설계 • 0.5 ton/day 수소액화 파일럿 플랜트 구축 운영 • 핵심기자재 개발(콜드박스, 열교환기, 팽창기, 밸브, 저장탱크)	'19.4~'23.12 (278억원)	국토교통부
액체수소 공급시스템 핵심기자재 개발	• 액체수소 기반 수소충전소 설계 • 액체수소 모빌리티 연료공급시스템 설계 • 핵심기자재 개발 (저장탱크, 가압시스템, 기화기) • 성능평가 설비 구축 및 통합 성능평가	'21.1~'25.12 (140억원)	주요사업
고압 액화수소 펌프 개발	• 세계최고수준 (900bar, 100kg/hr) 액체수소 펌프 개발	'20. 11 ~'24. 12 (50억원)	산업부
기타	• 액체수소 운송선박 안전 기술 개발 • 액체수소 운송선박 설계기술 개발		해양수산부, 산업부

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

기계연구원 수소사회 관련 R&D

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

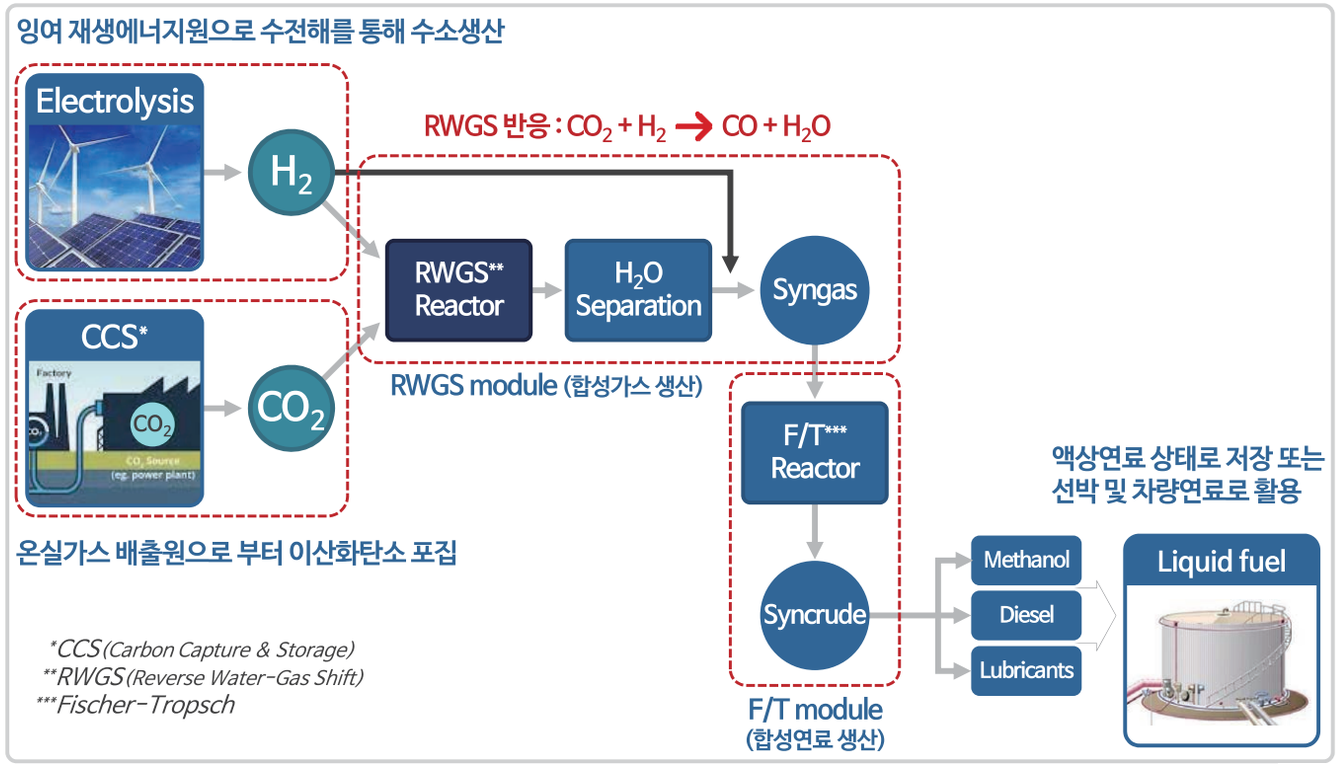
과제명	연구 범위	연구기간 (연구비)	주관부처
Power to Fuel 마이크로채널 반응기	• P2F 공정 설계 • 마이크로 채널 반응기 개발 • 마이크로 채널 반응기 실증 (10 kW급)	'18~'23 (30억원)	주요사업
수소 엔진개발	• 비출력 0.5 kW/kg, 최대출력 5kW급 수소엔진 개발 • 드론 및 로봇 구동용 소형 액체수소 엔진 Power Pack 개발	'19~'21 (40억원)	주요사업
수소 가스터빈 개발	• 50% 수소 혼소 가스터빈 연소기 개발 • 100% 수소 전소 가스터빈 연소기 개발	'20 ~'25 (60억원)	산업부
암모니아 연료전지 개발	• 암모니아 연료전지 스택 개발 • 암모니아 연료전지 BOP 개발 • 암모니아 연료전지 시스템 실증 (1kW)	'22~'27	주요사업 (예정)

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

Power to Fuel 마이크로 반응기 개발 1

☑ H_2를 이용하여 CO_2를 활용 가능한 자원(클린디젤 등의 액상연료)으로 변환시키는 공정



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

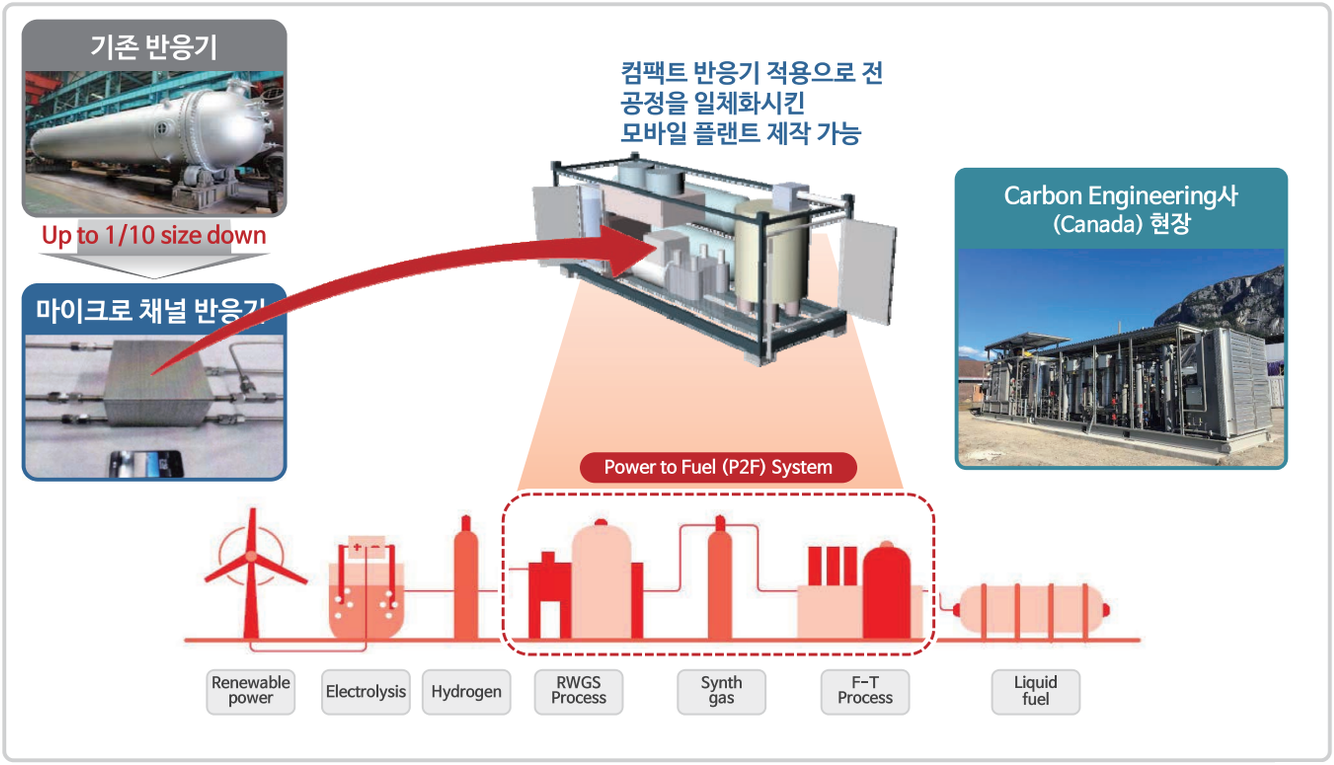
●

최병일

한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

Power to Fuel 마이크로 반응기 개발 2

☑ 마이크로 채널 구조를 이용하여 열전달 효율과 촉매접촉면적을 증진, 반응기 컴팩트화



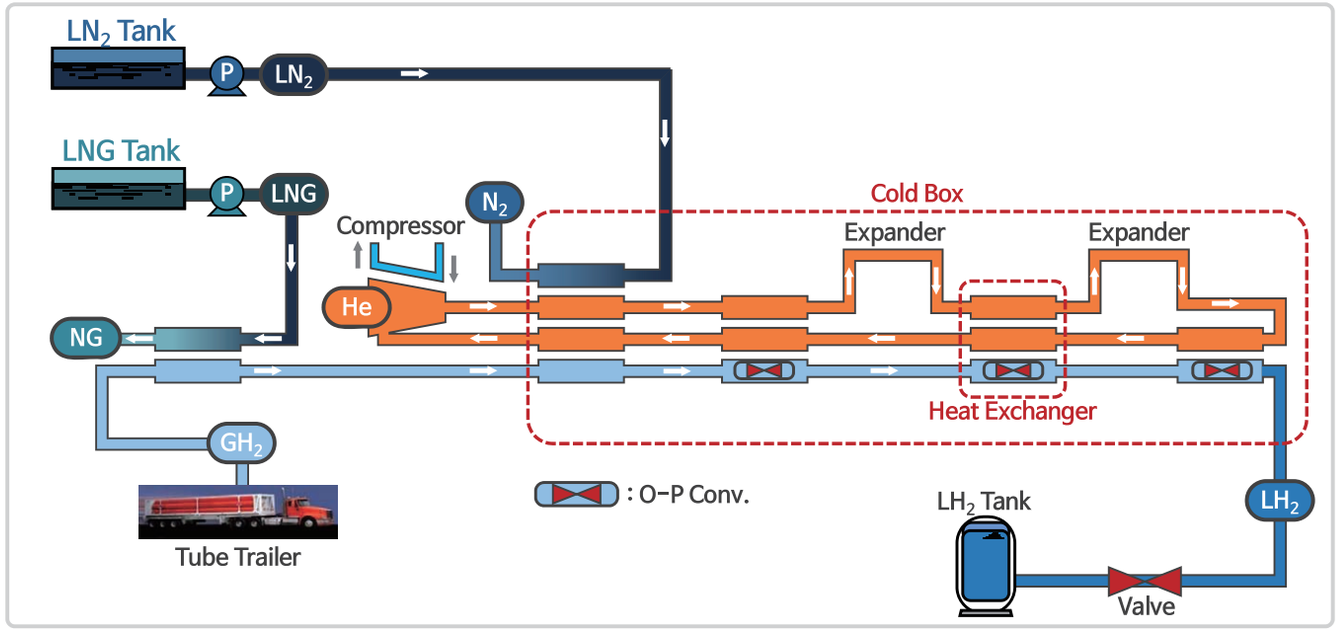
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 1

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

사 업 목 적	수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술개발을 통한 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반 마련
사업기간 / 예산	2019년~2023년(5년) / 381억원(R&D 사업, 정부예산 278억원)
사 업 추 진 주 체	국토교통부/국토교통과학기술진흥원



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●

최병일

한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●

최병일

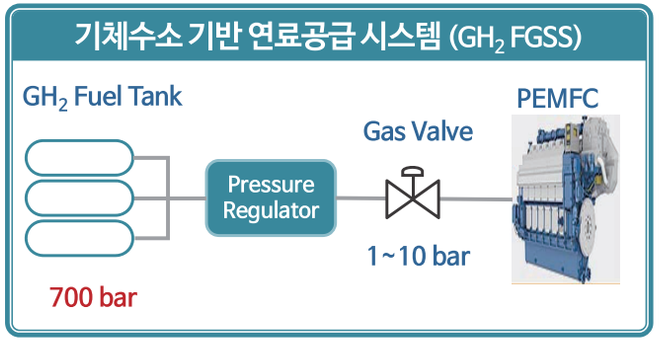
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

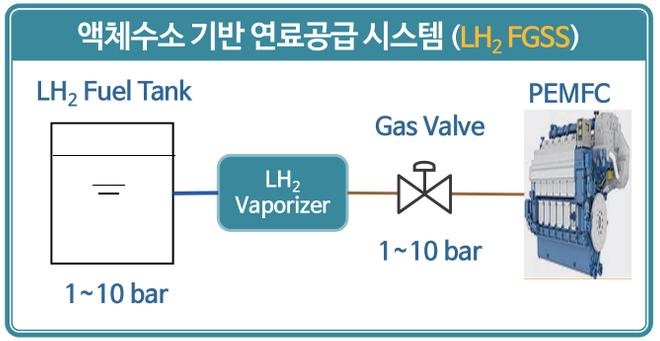
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발 1

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략





	장 점	단 점	활 용 처
GH_2 FGSS	• 장기간 저장 (고압 기체수소)	• 저용량 • 고압저장에 따른 안전성	사용시간이 정해지지 않은 **소형 모빌리티** (승용차)
LH_2 FGSS	• 대용량 저장 (액체수소)	• 액체수소 증발에 따른 안전성	사용시간이 정해진 **대형 모빌리티** (버스, 트럭, 열차, 항공기, 선박 등)

** FGSS, Fuel Gas Supply System*

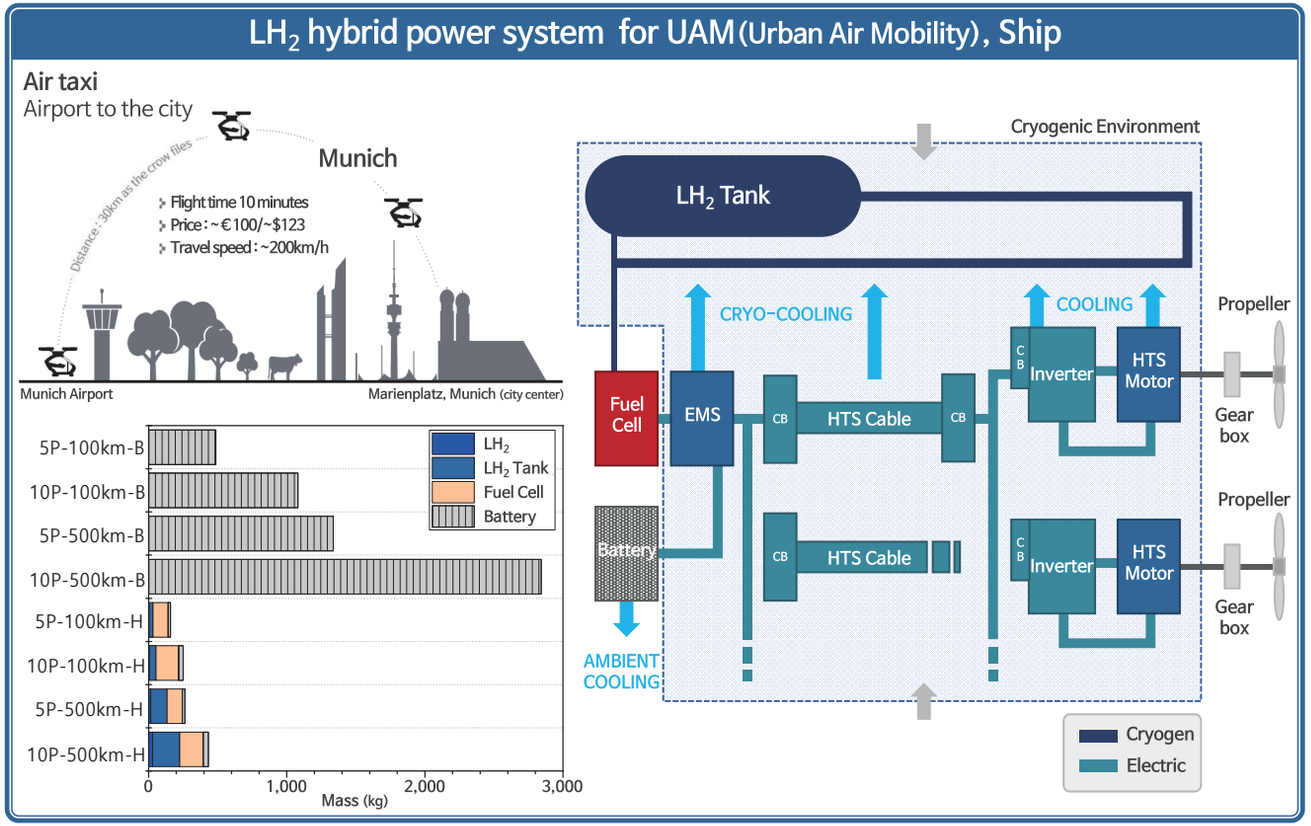
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●

최병일

한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발 2



HTS : High Temperature Super Conductor

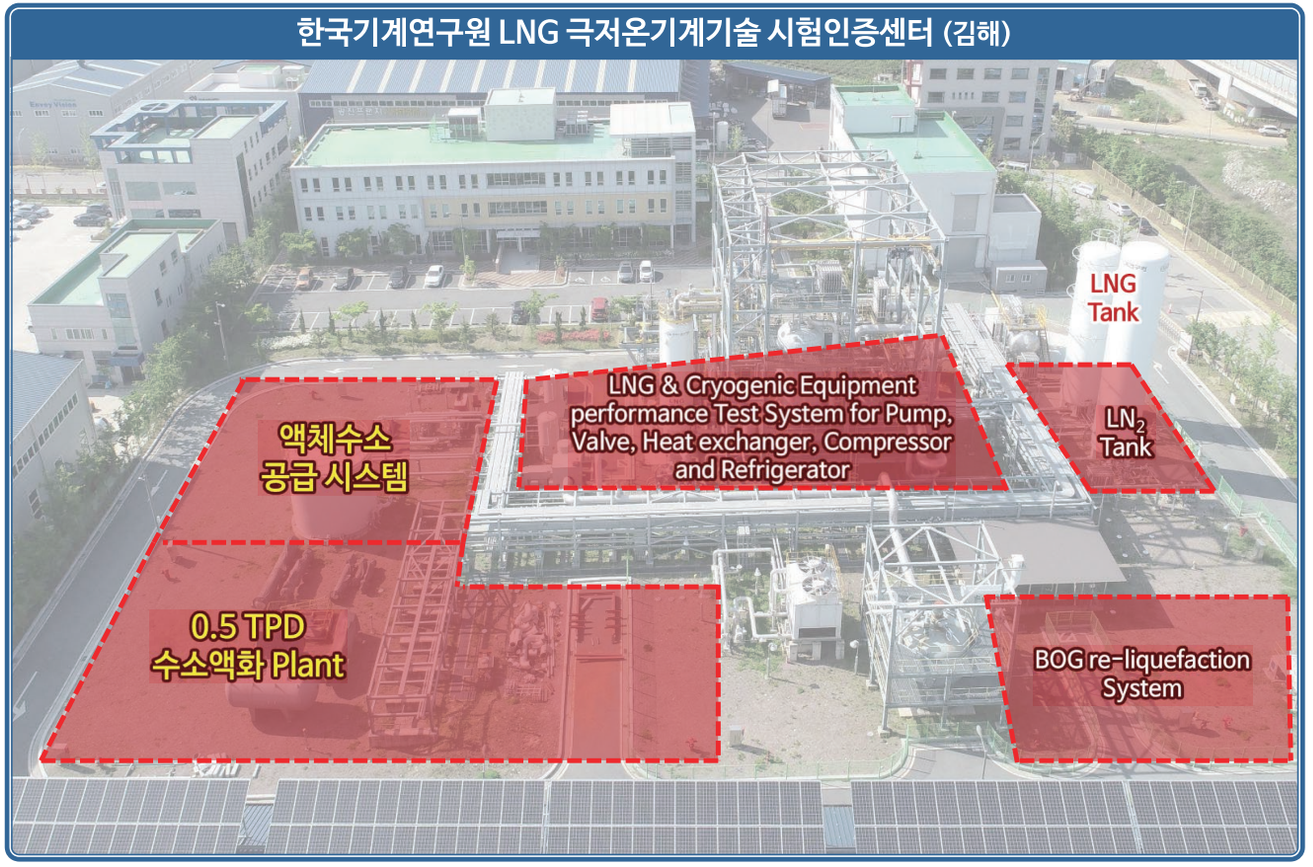
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

수소액화 플랜트, 액체수소 공급시스템 test bed

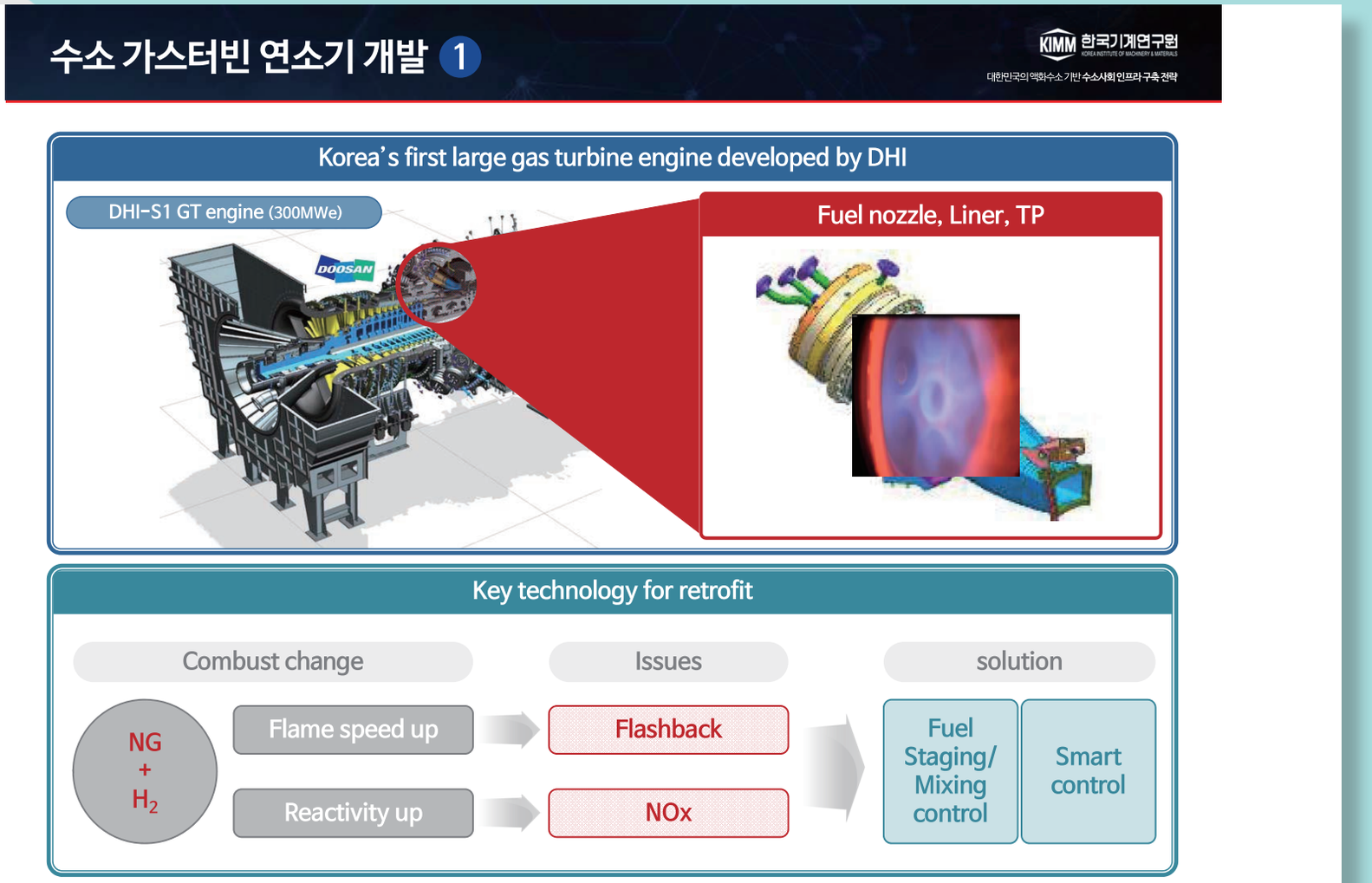
KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

한국기계연구원 LNG 극저온기계기술 시험인증센터 (김해)



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

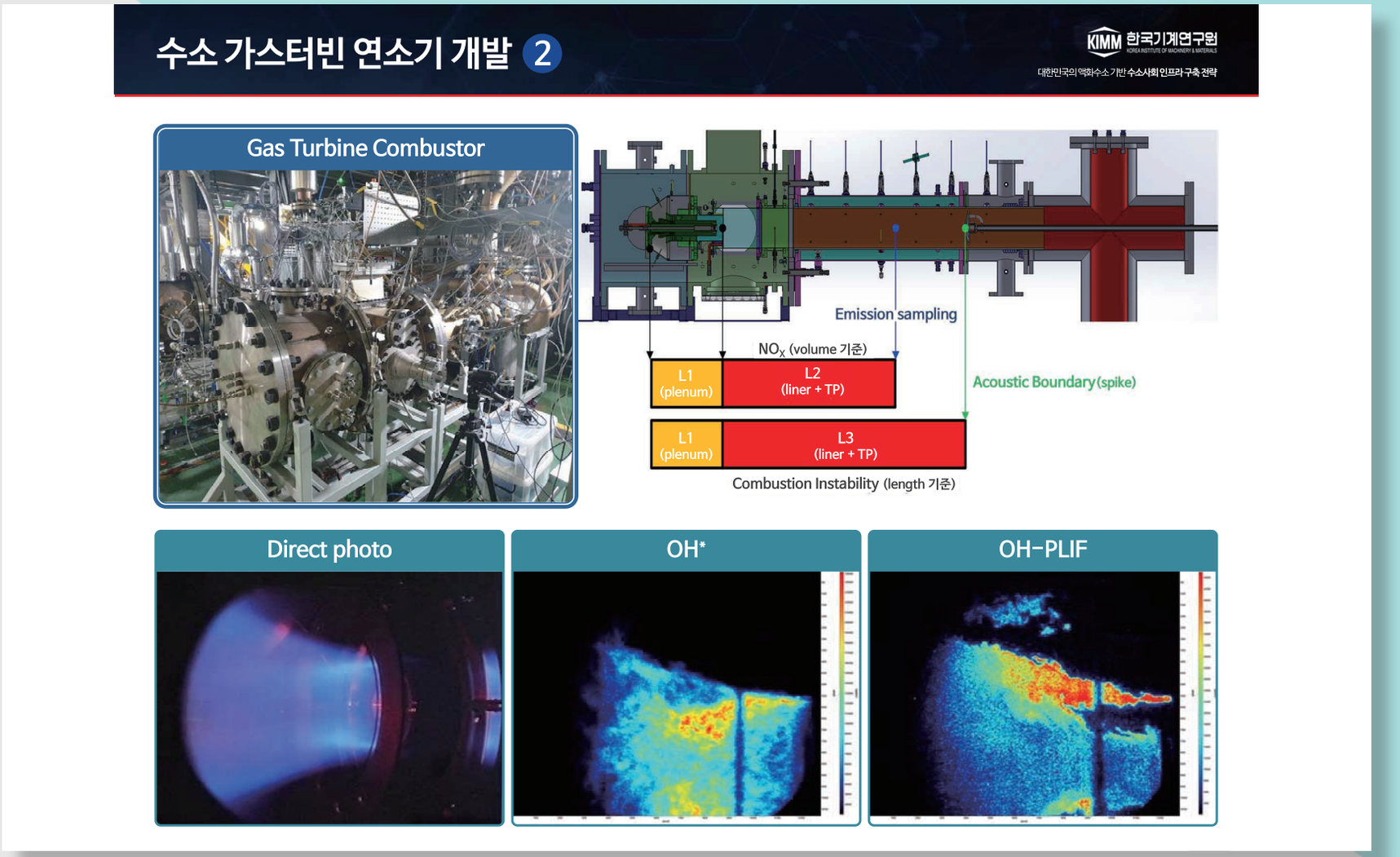


대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

●

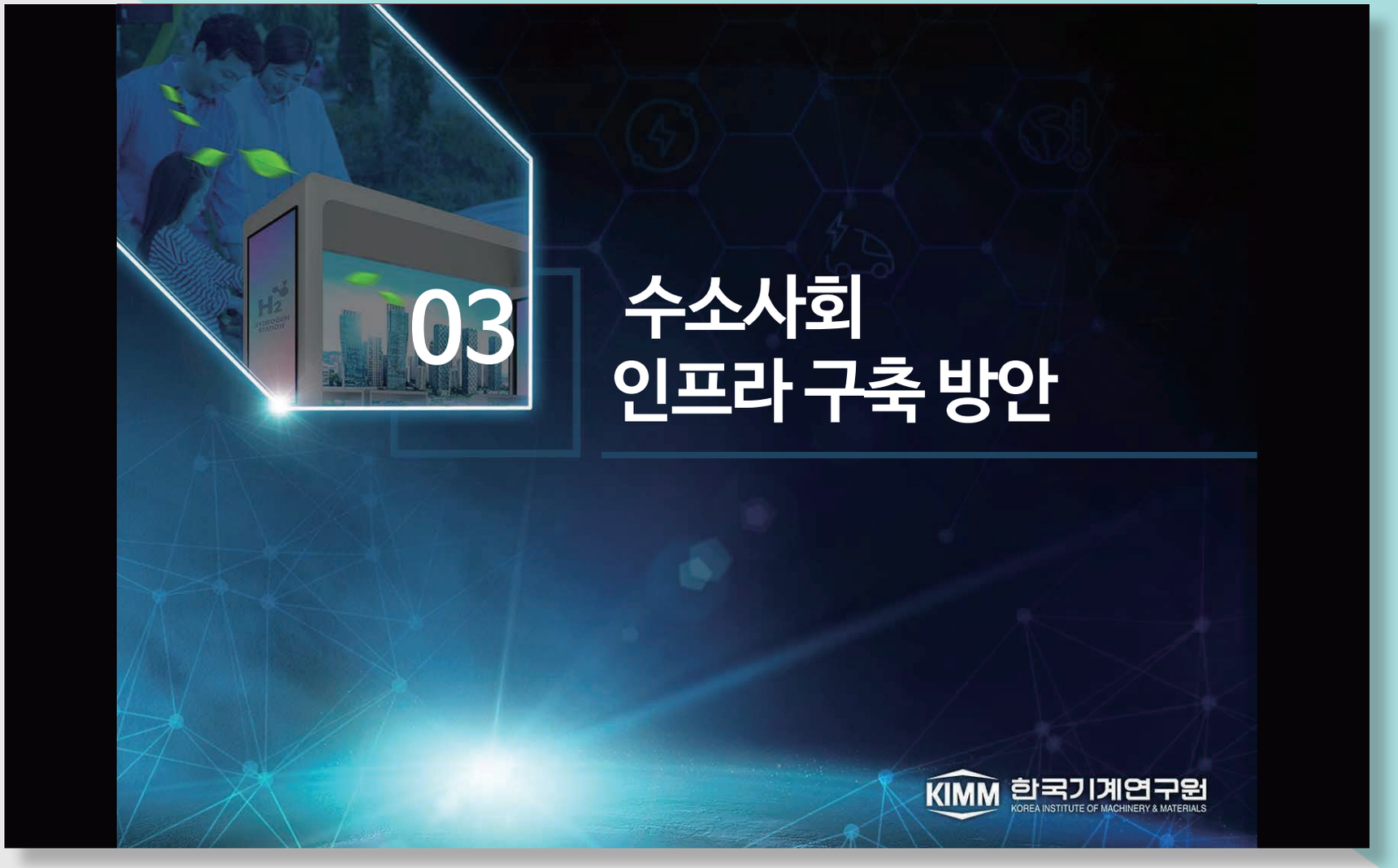
최병일

한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



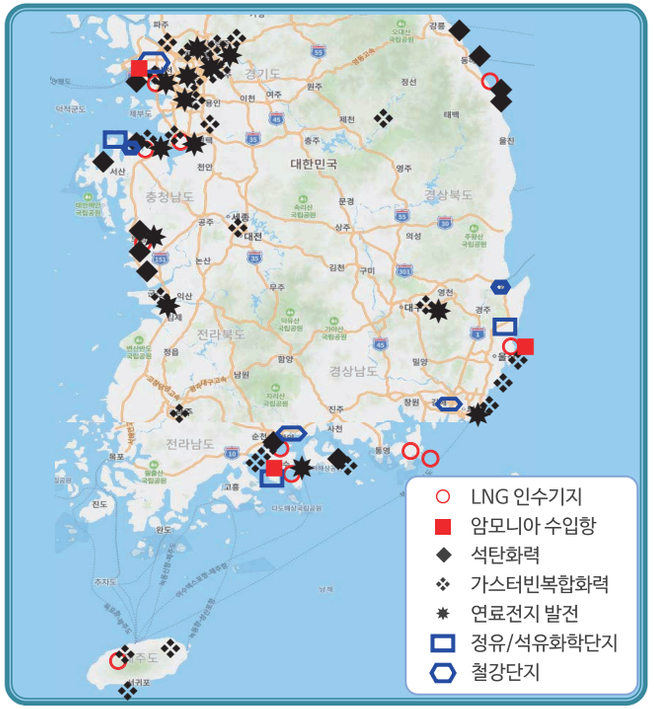
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

대용량 수소 공급/ 저장 인프라 구축

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

☑ LNG 인수기지 주변 수소생산기지(블루수소), 액화수소/그린암모니아 인수기지 건설, 인수기지와 발전/산업단지 배관망 구성



** LNG Import Countries (2017) : 1. Japan (84M ton), 2. China (39M ton), 3. Korea (38M ton)*

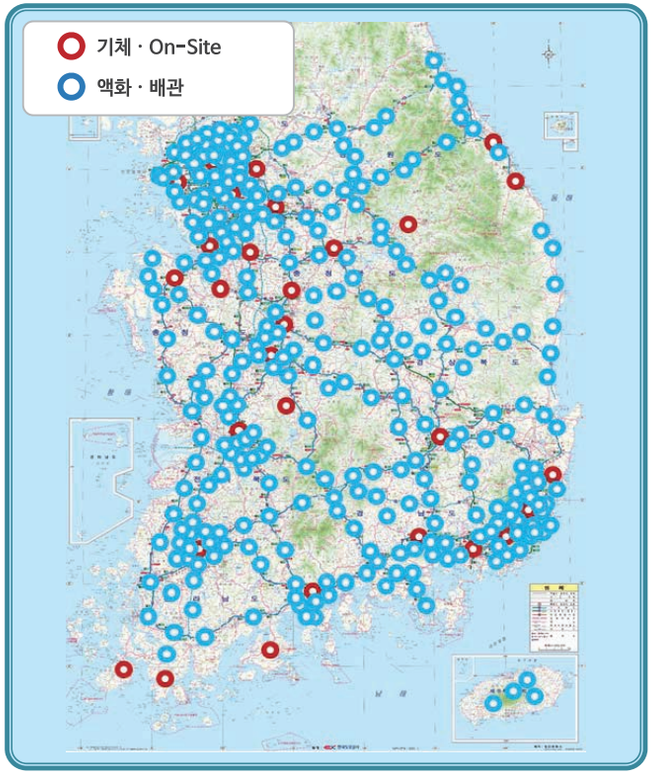
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

배관 망 확충 및 액화수소 기반 수소 충전소 건설

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

☑ 대용량 수소 생산/인수기지를 기반으로 한 수소배관망 구축 및 액화수소/배관망 기반 수소충전소 건설



대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

그린수소의 국제 Trading 인프라 구축

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

☑ 국내 조선, 석유화학, 플랜트 산업의 미래 성장 동력 창출

- 대용량 수전해/암모니아/수소액화 플랜트, 운송 선박, 암모니아/수소 터미널

Renewable Energy
Hydrogen Production (Water Electrolyzer)
Carrier Production NH_3, LH_2
Export Terminal
Tanker
Import Terminal
Distribution & Usage NH_3, H_2

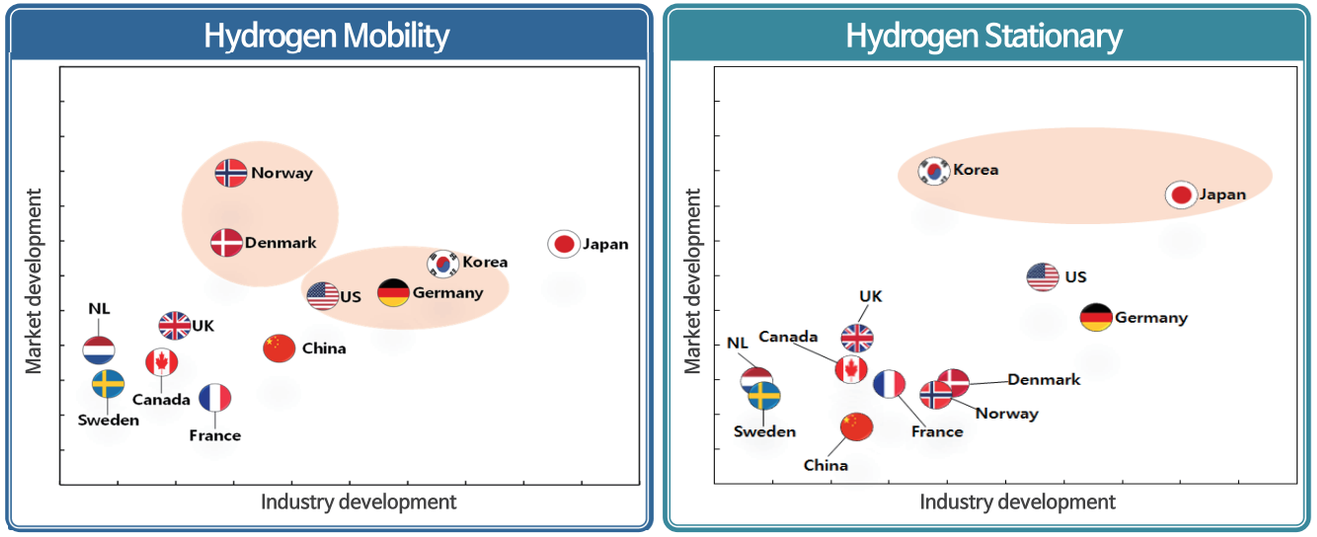
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

신 성장동력 창출

KIMM 한국기계연구원 KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

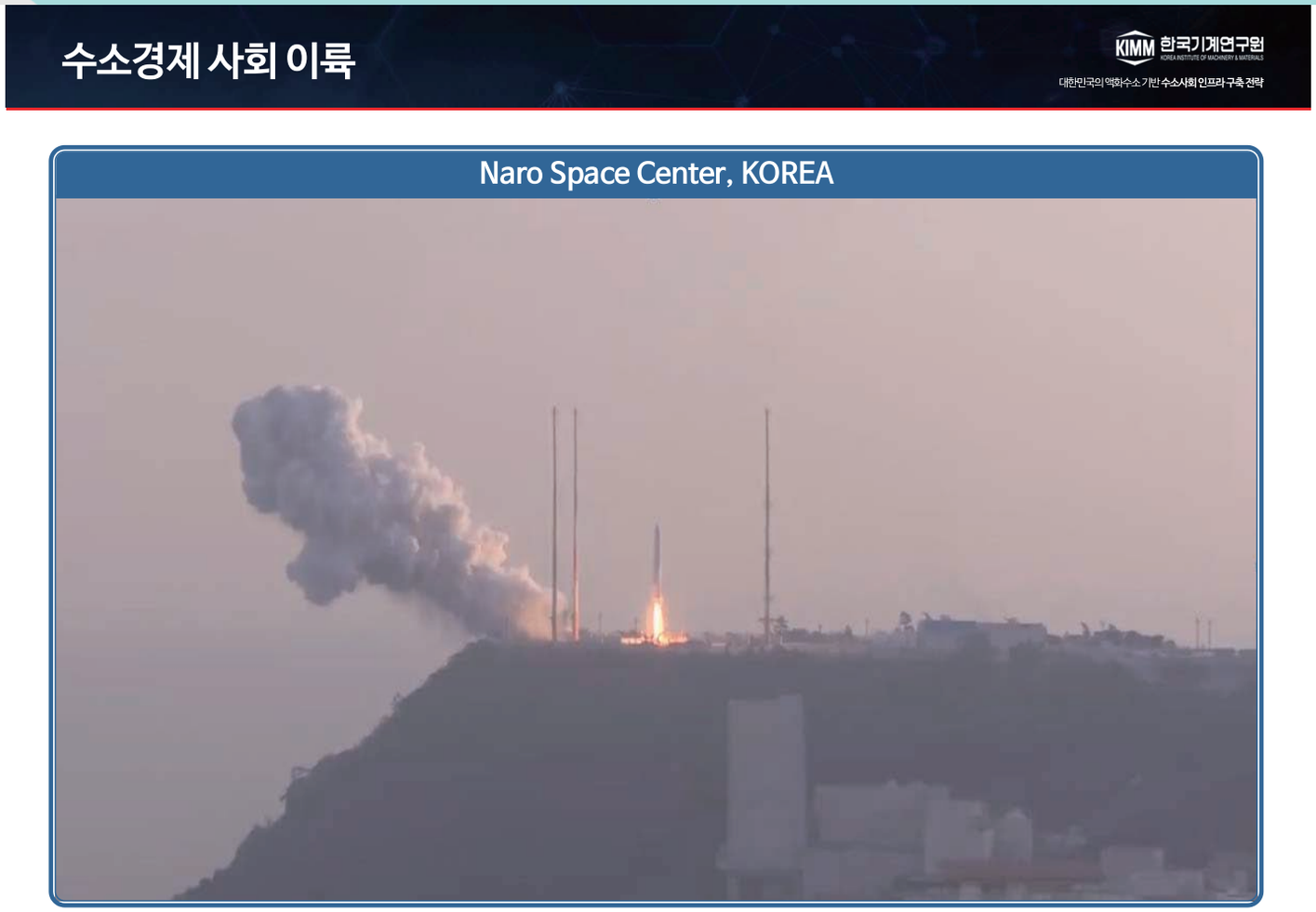
- **산업주도권 상실** 중국의 부상에 따라 조선해양, 휴대폰, 통신장비 등 주력산업의 주도권 상실시기 임박으로 친환경차등 혁신성장 산업분야 정책대안 마련에 안간힘
- **정 책 적 대 안** 수소차, 연료전지 분산발전 : 산업 육성을 주도할 수 있는 대안
- **수소경제, 빅데이터, 인공지능 3대 전략투자 분야** 확정, 수소경제를 위한 플랫폼(인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정('18.8, 제5차 혁신성장 관계장관회의)



** Policies of countries leading hydrogen development and implications for Korea, International Energy Forum-Korea National Assembly, Seoul, 6 Feb. 2018, Bernd Heid, Mckinsey&Company*

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장



Courtesy of KARI (Korea Aerospace Research Institute)

대한민국의 액화수소 기반 수소사회 인프라 구축 전략

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실 실장
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단장

2021 글로벌 기계기술 포럼

탄소중립의 기반, 수소 기계기술

패널 토론

- **김성복** 수소융합얼라이언스 단장
- **최동규** 대우조선해양 중앙연구원장
- **문 일** 연세대학교 교수
- **최병일** 한국기계연구원 플랜트융합연구실장, 국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장

김성복
수소융합얼라이언스 단장

문 일
연세대학교 교수

최동규
대우조선해양 중앙연구원장

최병일
한국기계연구원 플랜트융합연구실장,
국토교통부 상용급 액체수소 플랜트 연구단 단장

2021 글로벌 기계기술 포럼

탄소중립의 기반,
수소 기계기술

탄소중립과 수소 경제라는 거대한 두 시대의 흐름 앞에서 우리가 과학적으로 어떤 준비를 해야 하는지,
또 우리 정부가 정책적으로 어떤 지원을 할 수 있는지
도모하는 의미 있는 자리가 될 수 있도록 많은 관심 부탁드립니다.

www.kimm.re.kr/forum

2021 GLOBAL FORUM
ON MECHANICAL ENGINEERING

LIVE

HYDROGEN BASED MECHANICAL TECHNOLOGY FOR CONVERTING TO CARBON NEUTRAL SOCIETY

| Organized by | KIMM KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

더불어민주당 National Assembly Member SANGMIN LEE, SEOUNGLAE JO
국민의힘 National Assembly Member YEUNGSHIK KIM

| Supported by | Ministry of Science and ICT

nst National Research Council of Science & Technology