

수소경제시대의 액체수소 활용

(주) 헥사

2020.11.5

2020년 제18회 진공기술 실무수련회 교육프로그램
(The 18th Training Class Program for Vacuum Technology Industries)

CONTENTS

SESSION #01 : 액체수소 소개

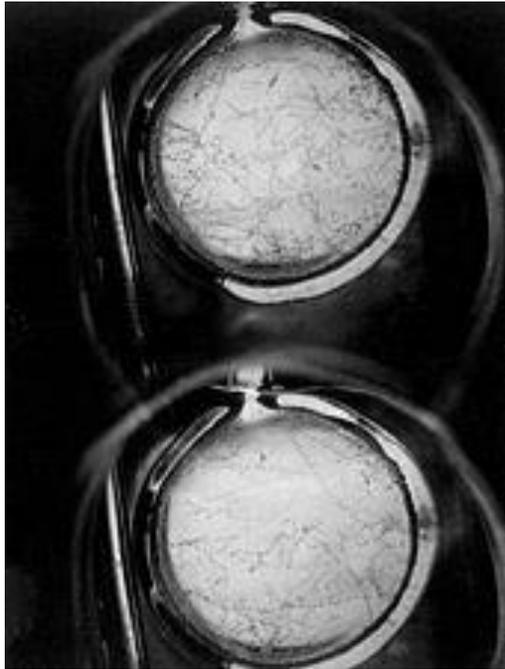
SESSION #02 : (주) 헥사소개

SESSION #03 : 글로벌 액체수소 동향

Q & A

SESSION #01 : 액체수소 소개

액체수소(Liquid Hydrogen)



(Lh2 in bubble chamber)

- Clear transparent liquid
- Boiling point : 20.27K at 1 atm, e-H2
- Melting point : 14K
- Triple point : 13.8K, 7kPa
- Density = 70 g/L at 20K, 1atm
- Gas/liquid volume ratio = 850
- Latent heat of vaporization = 446kJ/kg (e-H2), 454 kJ/kg (n-H2)
- Latent heat of fusion = 58.1 kJ/kg @ triple point



액체수소의 초기 역사

1670 – Boyle produced hydrogen

1898 – Dewar liquefied hydrogen

1909 – Linde process for LH2 production

1943 – Test of LH2 for rocket fuel at Ohio State Univ.

1952 – First non-refrigerated transport tank (Johnston) for thermonuclear research by AEC

1954 – First test of LH2 rocket engine by NACA

1955 – Large scale LH2 production at NBS-Boulder

1956 – First LH2 tanker trailer (U-1)

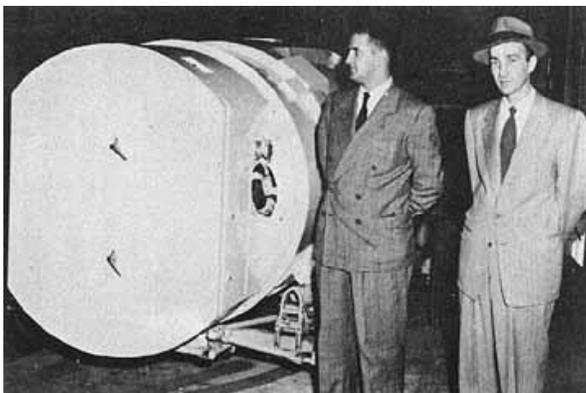
1957 – Extensive cryogenic engineering and materials R&D produced by NBS-Boulder, MIT, and OSU

1957 – Mama Bear on-line at West Palm Beach (4,500 kg/day)

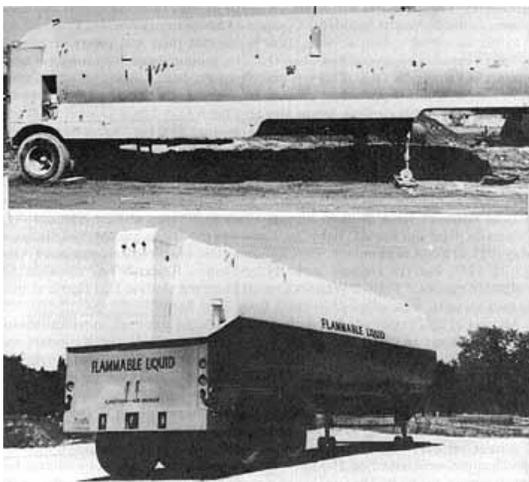
1959 – Papa Bear on-line at West Palm Beach (27,200 kg/day)

1959 – New space program: LH2 work accelerates through the 1960s

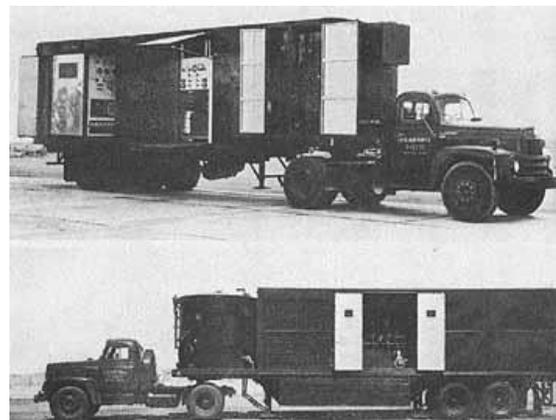
액체수소의 초기 역사



- Air-transportable dewar for 750 liters of liquid hydrogen developed by H.L. Johnston. ca. 1952.
- First LN2 shielded vessel (77 K radiation shield).



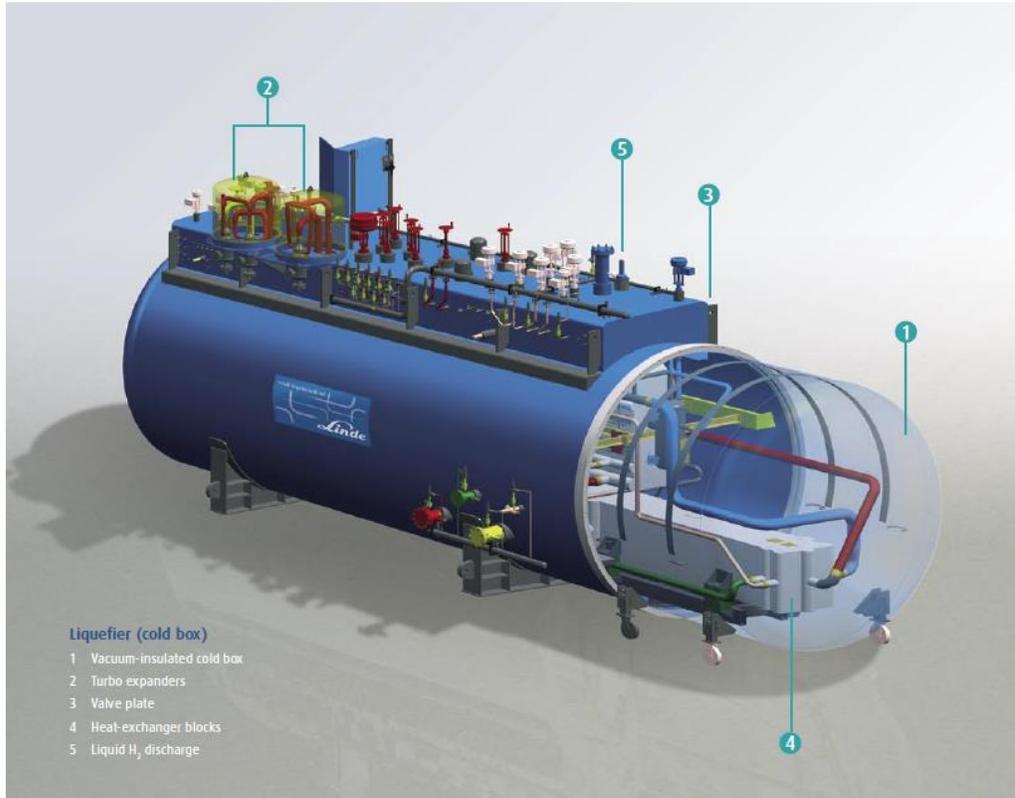
- Mobile hydrogen liquefier developed for the Air Force by H. L. Johnston, Inc. in 1953.
- Mounted on three semi-trailers and capable of producing 100 liters per hour of 45 % liquid parahydrogen.
- Gross weight was 25 metric tons; required 105 kW of electric power for operation.



- The U-1 semi-trailer (top) first used to haul liquid hydrogen (1956).
- Built by the Cambridge Corporation, it had a capacity of 26,500 liters, with a loss rate of ~ 2 % per day.

출처: NASA-KSC

수소 액화 (설비 예시)



Purification and liquefaction of H₂



300 m³ storage tank for LH₂

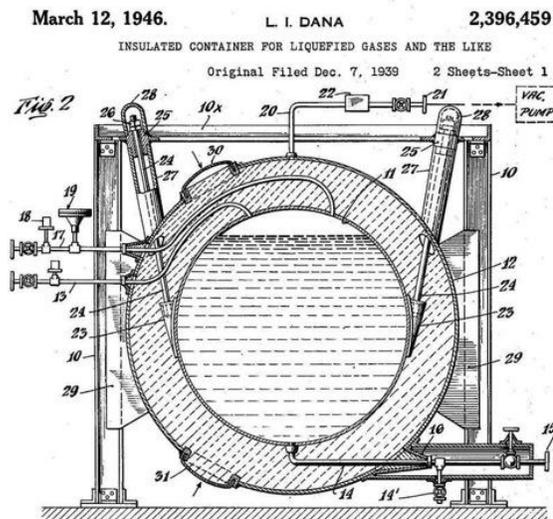


Cold box and turbo expanders



액체수소 저장

Enabling Technology of Insulation



Key Ingredients:

- Welding & metallurgy for high vacuum
- Multilayer Insulation (MLI)
- Getters & adsorbents
- Seals (Teflon)

June 23, 1953 W. D. CORNELL 2,643,022
 RADIATION SHIELD SUPPORTS IN VACUUM INSULATED CONTAINERS
 Filed Aug. 15, 1947 2 Sheets-Sheet 2

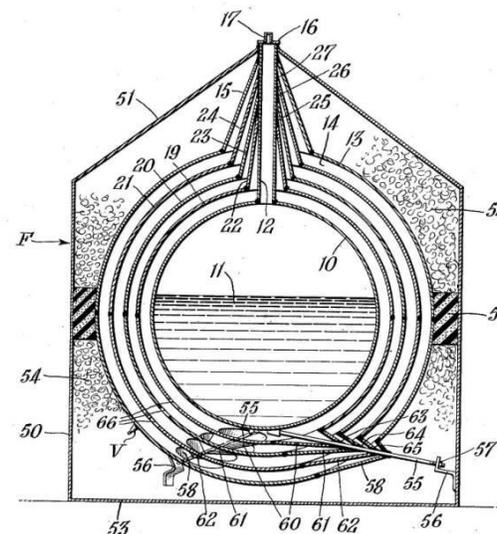
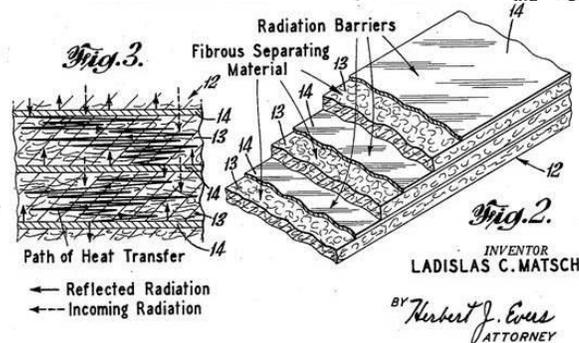


Fig. 3.

INVENTOR
 WILLIAM D. CORNELL
 BY *Herbert J. Coxe*
 ATTORNEY

Nov. 7, 1961 L. C. MATSCH 3,007,596
 THERMAL INSULATION
 Filed July 16, 1956



액체수소 저장

MLI



Pearlite



Aerogel Blanket



Aerogel Beads



액체수소 저장 : 저장용기 예시



(Source : Linde, NASA, Cryofab)

액체수소 이송



트레일러



선박



파이프

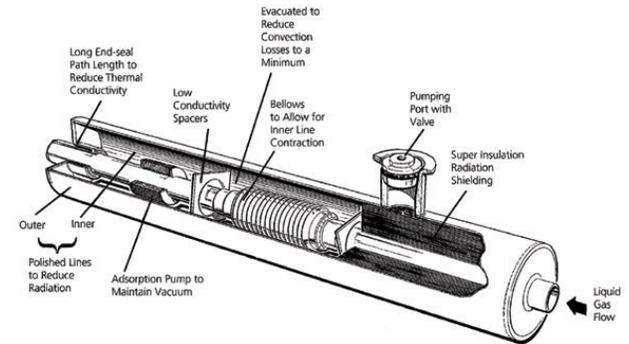


극저온 펌프



图 5 3. 液体水素用ローディングアーム

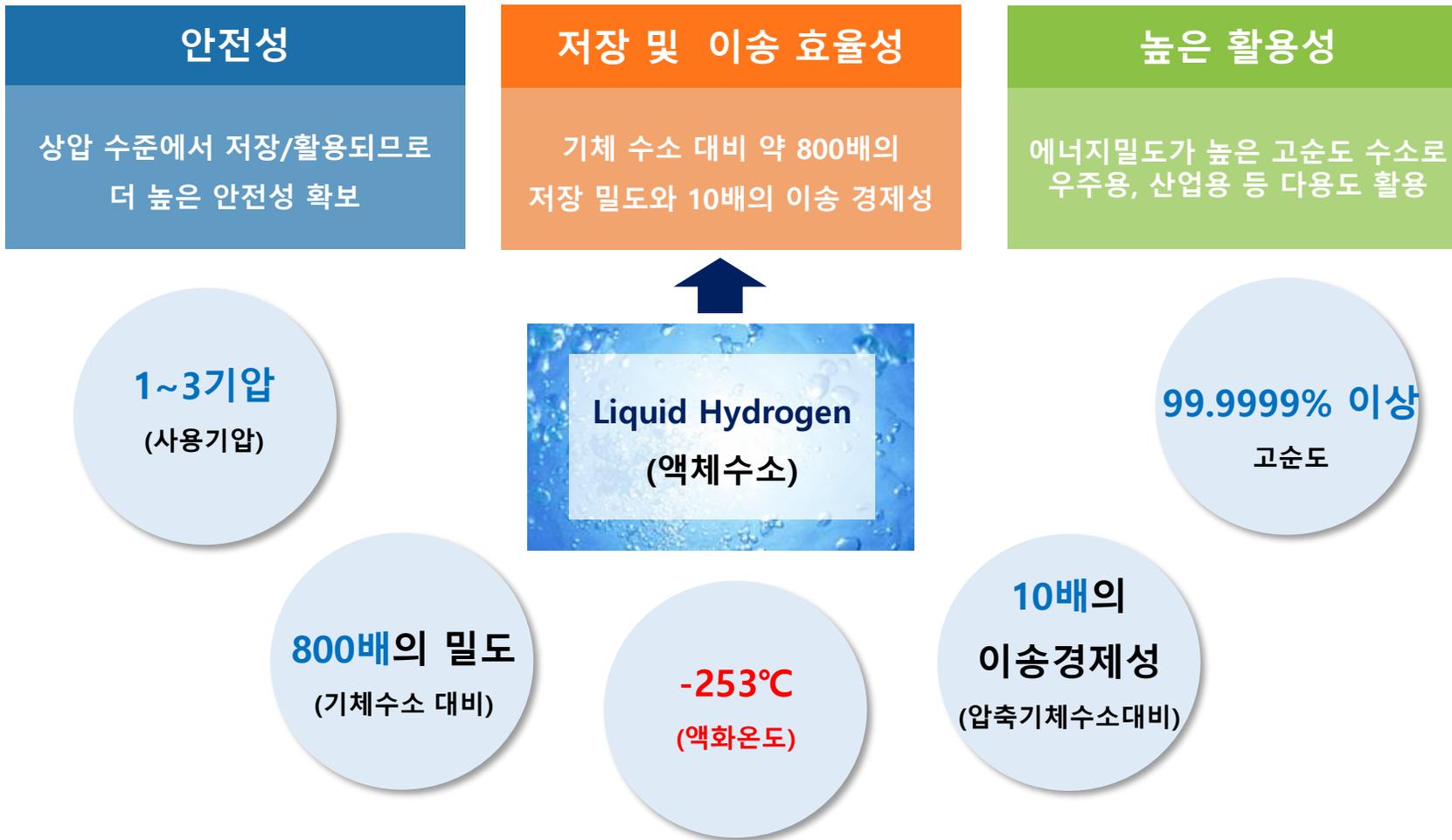
로딩암



극저온 이송관

왜 액체수소인가?

Lightest liquid with great energy density



왜 액체수소인가?

■ LH2 vs. GH2 : 최대용량 압축가스트레일러와 최소용량 액체수소탱크로리를 비교해도 이송 효율의 차이가 확연함

Source: BMW



수소가스 트레일러 이용시

3회 / 1일
수소 이송 필요

하루 1,500Kg H₂ 사용시

VS

액체수소 트레일러 이용시

3회 / 1주일
수소 이송 필요



통상기압에서 수소이송 및 저장을 하므로 고압기체수소 이송 및 저장보다 안전함



액체수소는 효과적인 수소 인프라 구축이 가능하게 함

Source: BMW

왜 액체수소인가?

■ 액체수소는 기체수소에 비해 에너지 밀도가 매우 높으므로 장치의 장시간 고출력 운용에 적합

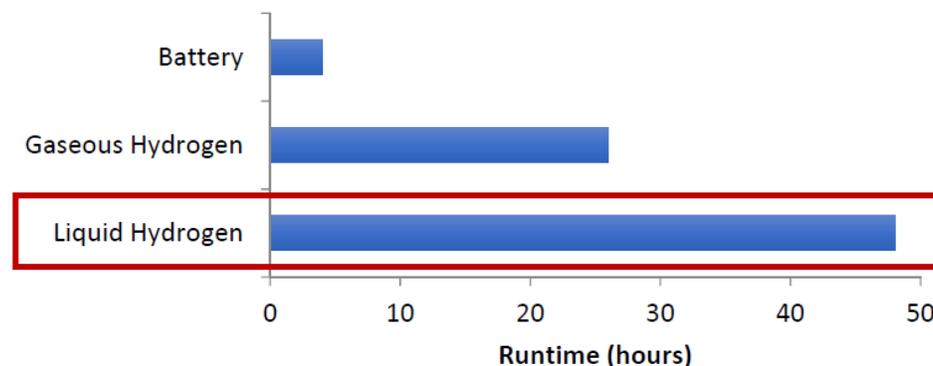
※ 美 해군연구소 개발 '이온타이거' 파워시스템 별 실제 운용 결과

회전익 드론 연료를 액체수소로 바꾼다면?

(1KWH 출력, 기본 페이로드 기준)

배터리	압축 기체수소	액체수소
		
운용시간 : 20~30분	운용시간 : 3~4시간	운용시간 : 8~10시간

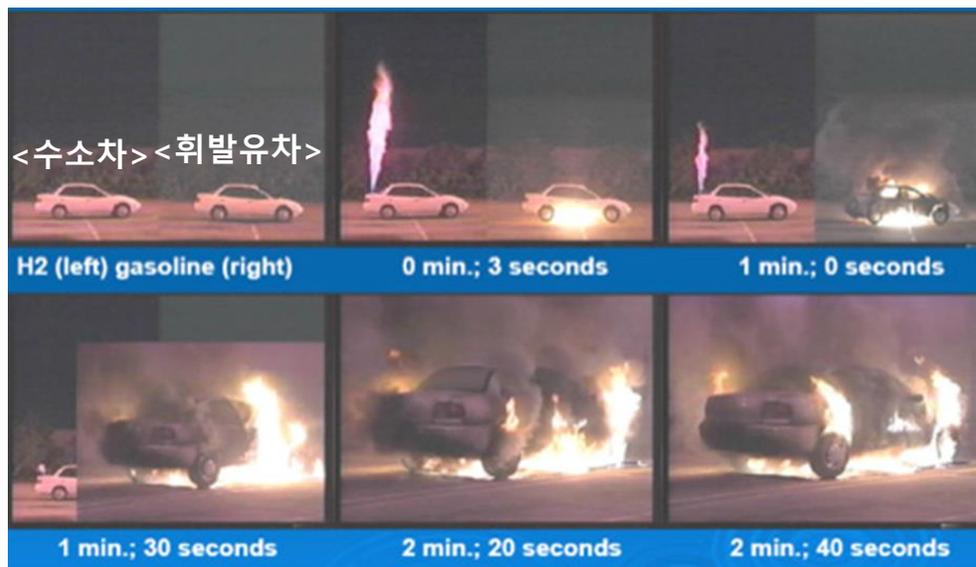
Ion Tiger UAV:
Endurance of 16kg System With Varying Power Systems



고정익의 경우 액체수소를 사용할 경우
2일 이상의 초장기 운용이 가능

왜 액체수소인가?

■ 수 십년 간 검증된 높은 안전성



수소차는 불길의 수직으로 곧게 올라가기 때문에 화재가 나더라도 승객이 위험하지 않음.

- H2 flames have low radiant heat
 - No carbon + water vapor
- Very light, high diffusivity (2x of helium, 6 x of NG) :
 - 20m/s, 72 km/hr in air
- Difficult combustibile situation
 - High buoyancy and diffusivity

○ 수소는 위험한가요?

- 수소의 위험성은 일반적인 가솔린, NG 프로판, 부탄과 동일합니다.

○ 수소는 빠르게 하늘로 올라가 사라집니다.

- 수소는 빠르게 하늘로 올라가면서 사라지는 반면 가솔린이나 프로판은 밑에 깔려 더 큰 화재 및 위험을 초래합니다.

○ 액체수소는 너무 저온이지 않나요?

- MRI에 들어가는 액체 헬륨이 더 저온이고, MRI 검사시 액체헬륨 50Cm내에 있습니다.

수소는 오랫동안 사용되어온 물질로 위험도는 기존 화석연료와 크게 차이가 없으며, 특히 액체수소의 경우 상압 저장이므로 고압 기체수소보다 더 높은 안전성이 확보됨

SESSION #02 : (주) 헥사 소개

개요

회사명	주식회사 헥사
대표이사	강대임
연구소장	백종훈
본사주소	대전광역시 유성구 테크노2로 240 F동
설립일	2020. 01. 21
사업내용	액화수소 및 극저온 기술 기반 수소에너지 토탈솔루션
직원 수	16명
웹사이트	www.hexar.com

주요 연혁

2017

04 (주)메타비스타 설립

2018

02 드론용 탱크(12 ℓ, 24 ℓ) 개발 완료

05 시연용 수소액화기 개발 완료
(세계최초 액화수소와 기체·액체·고체 수소 3단계 가시화)

10 소형 수소액화기(Mark 5, 3 kg/day) 개발

2019

04 액화수소드론 12시간 7분 비행 (세계 기네스 공식 기록 수립)

05 액화수소 연료탱크 2 ℓ (액화수소 140 g 사용) 장착
정찰/촬영용 드론 3시간 10분 비행 시연

2020

01 수소에너지 R&D 및 제조 전문회사 "㈜헥사" 분할 설립

03 (주)헥사 본사 및 공장 이전

04 기업부설연구소 등록

07 Mark 5-1 (8 kg/day) 개발완료

Liquid Hydrogen footprints

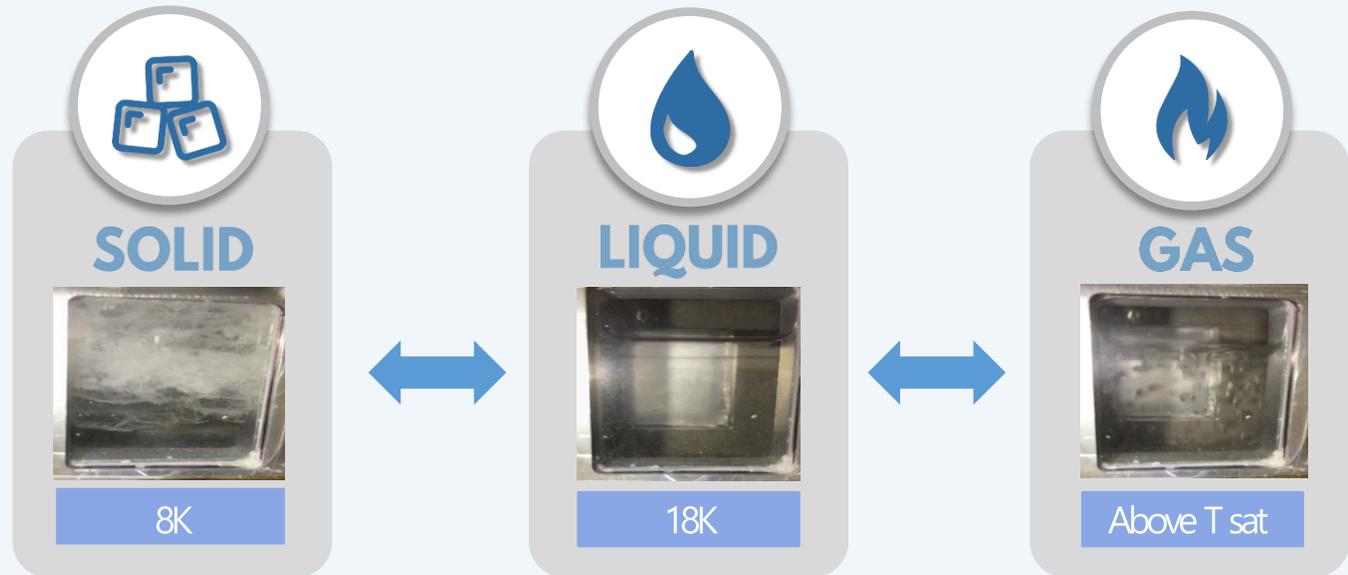
실시간 관찰 가능한 수소액화기 제작 및 시연 (2018.05)

유튜브 동영상 보기 <https://youtu.be/savNYJXJnN8>



세계 최초! 수소 상변화 현상 가시화!

세계 최고 수준의 수소액화 및 극저온 제어 기술력을 통해 상온에서 수소의 상변화 (고체·액체·기체)의 실시간 영상 촬영에 성공



Liquid Hydrogen footprints

6L 액체수소 탱크+800W fuel cell 액체수소 드론 :

리모트 콘트롤 멀티콥터 장기체공 분야 기존 기네스 세계 기록인 2시간 7분 5초를 10시간 이상 초과한 12시간 7분 기네스 신기록 달성/인증



Share

Apply Now >

Who
METAVISTA INC.

What
12:07:05
HOUR(S):MINUTE(S):SECOND(S)

Where
KOREA, REPUBLIC OF (DAEJEON)

When
03 APRIL 2019

The longest duration RC multicopter flight is 12 hr 7 min 5 sec and was achieved by Metavista Inc. (South Korea) in Yuseong-gu, Daejeon, South Korea, on 3 April 2019.

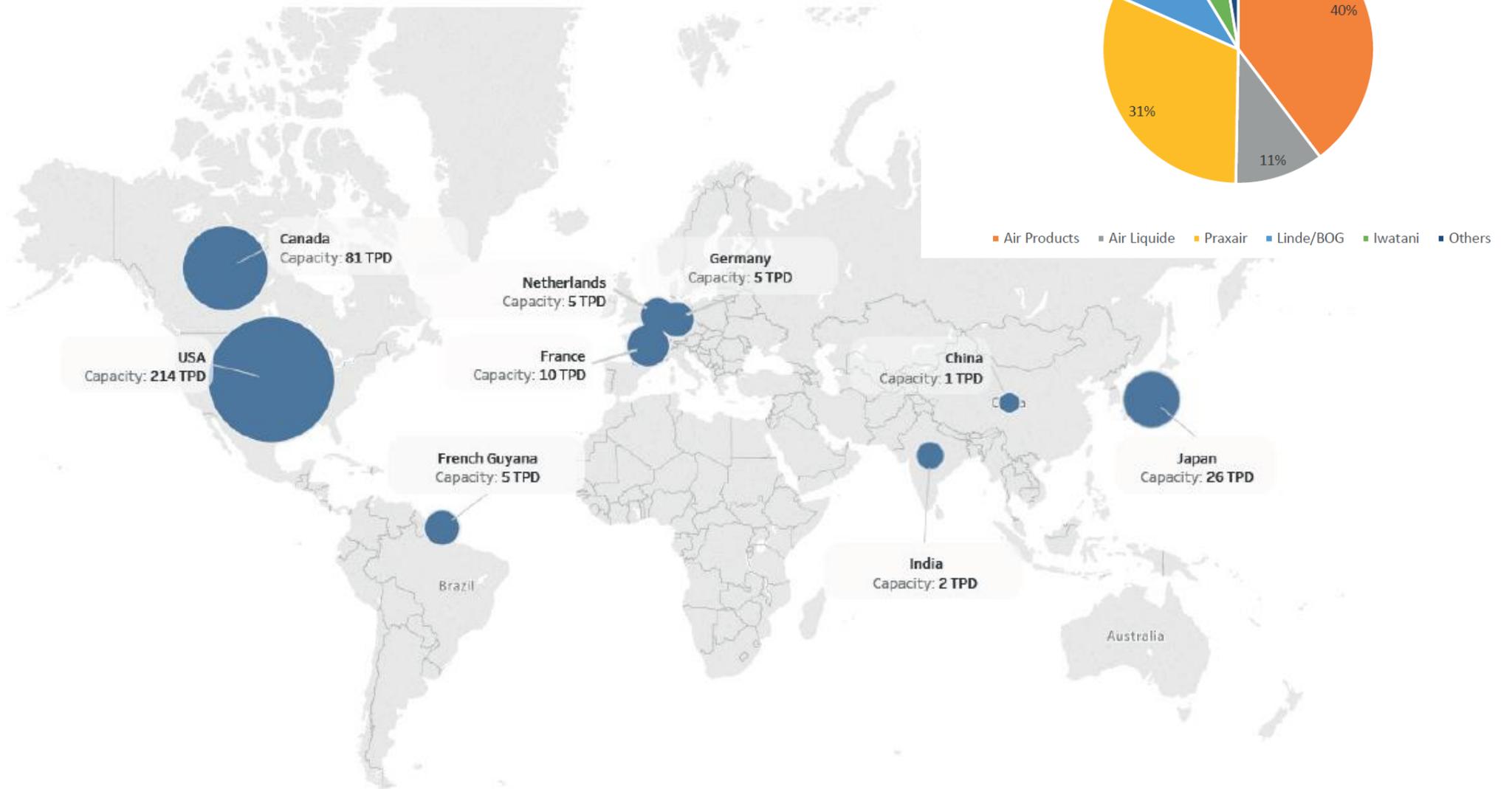
Metavista Inc. (South Korea) is a liquid hydrogen specialist.

[http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/longest-rc-model-multicopter-flight-\(duration\)](http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/longest-rc-model-multicopter-flight-(duration))



SESSION #03 : 글로벌 액체수소 동향

세계 액체수소 생산 현황



수소액화플랜트 동향 : 미국을 중심으로 수소차 등 신규 수소 수요 확대에 맞춰 빠른 증설이 이루어지고 있음

Air Products plans to build liquid hydrogen plant in Texas, US

By NS Energy staff writer 13 Sep 2018

OIL & GAS DOWNSTREAM REFINING & PROCESSING

Air Products has announced plans to construct a new liquid hydrogen plant at its La Porte, Texas industrial gas facility.



Image: Air Products' La Porte facility in Texas. Photo: courtesy of Air Products and Chemicals, Inc.

With capacity to produce approximately 30 tons per day, the new liquid hydrogen plant of Air Products is intended to meet increasing product demand from customer markets.

**Air Products : 미국 Texas La Porte에
30ton/day 규모의 액화플랜트 건설,
2021년부터 운용**

Air Products to Build Second Liquid Hydrogen Production Facility in California

Additional Liquid Hydrogen Capacity Needed to Meet Increasing Market Demand

January 07, 2019 Lehigh Valley, Pa.

Air Products (NYSE: APD), the leading global hydrogen provider, today announced plans to build a second liquid hydrogen production facility in California to meet increasing product demand from several customer markets, including the growing fleet of [hydrogen fuel cell vehicles](#) (FCV) in the state. Project development work is already underway with an anticipated facility onstream during the first quarter of 2021.

"Current customer demand for liquid hydrogen is driving the need for this new investment as we are experiencing growth from many traditional market segments, for which a reliable source of this product is vitally important. Additionally, this new capacity will be available for the steadily increasing demand from hydrogen fuel cell vehicles," said [Marie Folkles](#), president, Americas at Air Products.

**Air Products : 수소차 등 신규수요에 대응, 미국
캘리포니아에 2번째 액화플랜트 건설,
2021년부터 운용**

수소액화플랜트 동향 : 미국을 중심으로 수소차 등 신규 수소 수요 확대에 맞춰 빠른 증설이 이루어지고 있음

Praxair to build new liquid hydrogen plant in La Porte Texas

By [Jemima Owen-Jones](#) | 7 November 2018

Praxair, Inc., a wholly-owned subsidiary of Linde plc, the leading global producer of liquid hydrogen (H₂), has commenced construction of its fifth liquid H₂ plant in the US, adding geographic and source diversification.

The new investment in La Porte, Texas, is in response to growing demand from customers in sectors such as material handling, aerospace, manufacturing, metals, energy and electronics.

Praxair's new plant, scheduled to start up in 2021, will produce over 30 tonnes per day of high purity liquid H₂. It will be integrated with the recently constructed air separation plant in La Porte, resulting in energy and capital cost savings.

The new plant will complement Praxair's existing liquid H₂ plants in California, Alabama, Indiana and New York and will enhance supply reliability.

Praxair operates over 50 H₂ generation plants and six pipeline networks globally. The La Porte H₂ liquefier will be integrated with Praxair's 350-mile gulf coast H₂ pipeline network and storage cavern.

Praxair(Linde 100% 자회사): 미국 Texas La Porte에 30ton/day 규모의 신규 액화플랜트 건설, 2021년부터 운용

Air Liquide to build \$150m liquid hydrogen production plant in western US

By [Nick Parkinson](#) | 26 November 2018

Air Liquide will begin building a \$150m liquid hydrogen production plant in the western US early in 2019.

It will be the first world scale liquid hydrogen production unit dedicated to the hydrogen energy markets and have a capacity to produce nearly 30 tonnes of hydrogen per day, which can fuel 35,000 Fuel Cell Electric Vehicles (FCEVs).

Air Liquide has signed a long-term agreement with FirstElement Fuel Inc (FEF), a leader in retail hydrogen infrastructure in the US, to supply hydrogen to FEF's retail liquid hydrogen fuelling stations in California.

There are 35 hydrogen fuelling stations operating in California, with 29 others to follow, according to the California Fuel Cell Partnership.

Air Liquide will be able to provide a reliable supply solution to fuel the 40,000 FCEVs expected to be deployed in the state of California by 2022 with this investment.

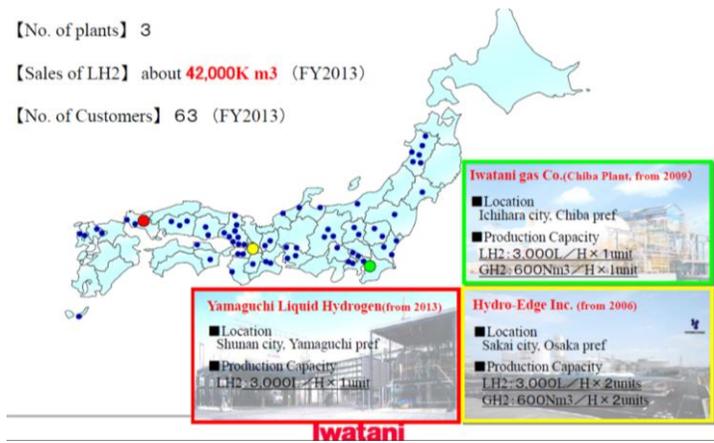
Air Liquide : 캘리포니아 최대 수소충전소 사업자인 'First Element Fuel'에 공급하기 위한 30ton/day규모 액화플랜트 건설, 2022년 운용

수소액화플랜트 동향: 아시아 지역은 일본이 선도하고, 중국/한국 등도 액화플랜트를 준비 중

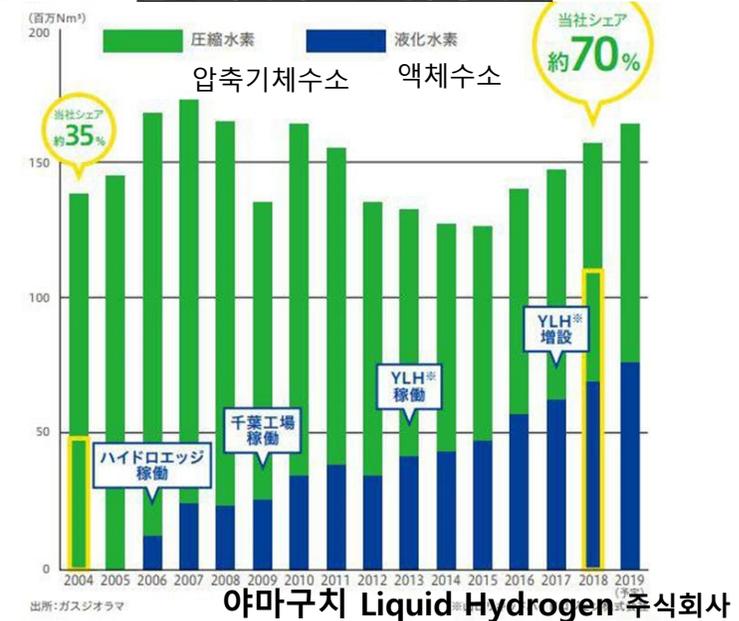
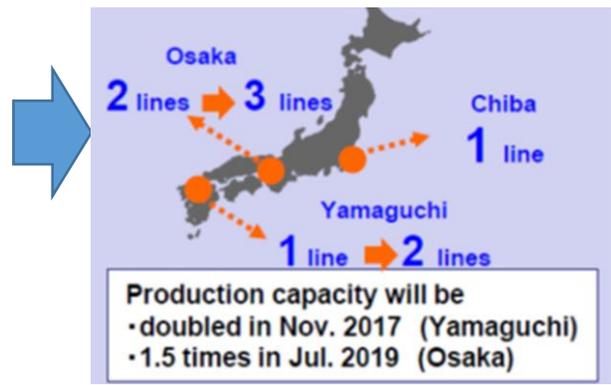
일본 국내 수소판매수량 추이

일본 IWATANI社 액화플랜트 현황 및 증설 계획

【No. of plants】 3
 【Sales of LH2】 about 42,000K m3 (FY2013)
 【No. of Customers】 63 (FY2013)



출처: IWATANI



야마구치 Liquid Hydrogen 주식회사

IWATANI: 수소 액화 설비를 지속적으로 증설하고 있고, 일본 수소 이송에서 액체수소가 차지하는 비율이 50% 수준으로 급속히 올라가고 있는 상황

First commercial liquid hydrogen plant in China

By Victor Leung | 19 July 2019

Zhejiang Jiahua Energy Chemical Industry Co Ltd announced it has recently signed two agreements with Zhejiang Energy Group Co Ltd for a hydrogen pilot liquefaction plant.

중국 저장 에너지 그룹: 2019년 말을 목표로 최초의 상용급 액화플랜트 건설 중

액체수소 플랜트 핵심기술 국책개발 착수

하루 0.5톤 생산 가능한 상용급 플랜트 기술기반 마련
 기계연 주관, 2023년까지 290억원의 정부출연금 투입

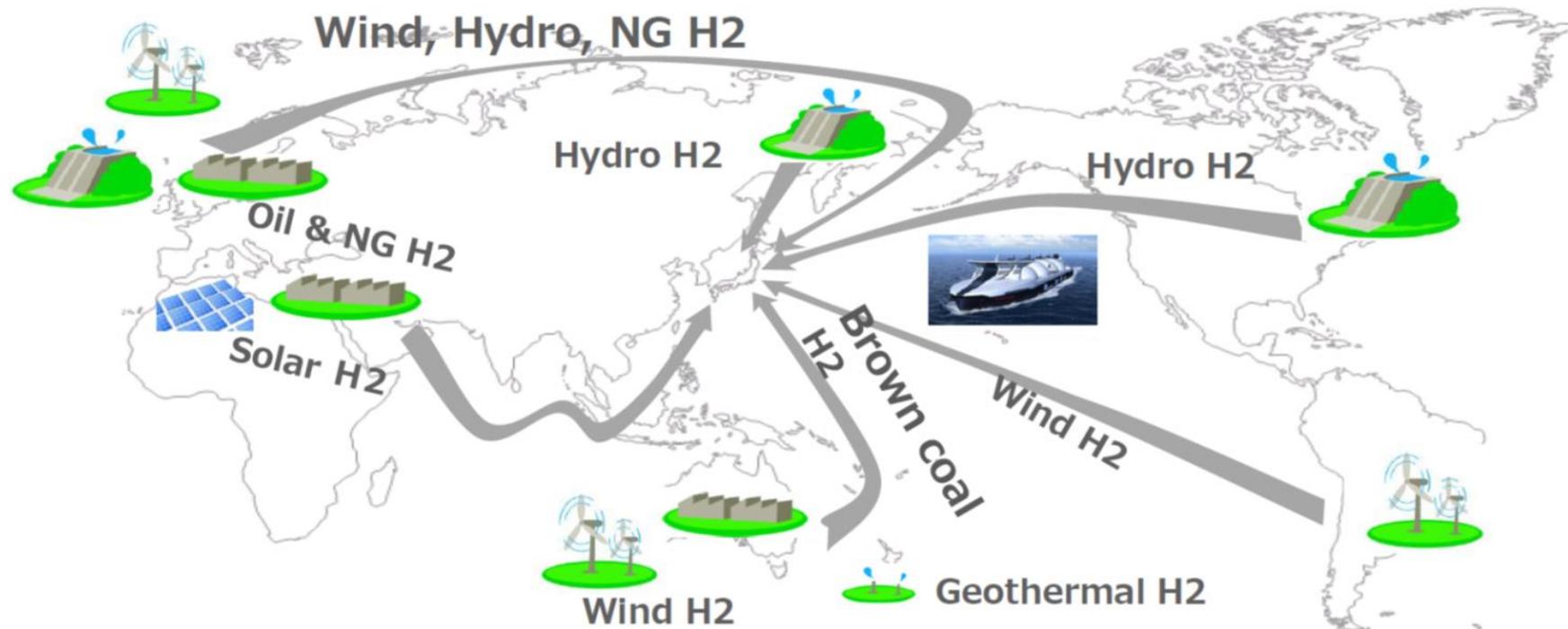
남영태 기자 | nam@gasnews.com

한국의 경우 현재 기술 개발 단계

액체수소 관련 주요 프로젝트 : Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) pilot project

파일럿 프로젝트 검증 후 계획 : 세계 수소 무역망 선점

Expected CO₂-free H₂ Supply chain



액체수소 관련 주요 프로젝트 : 에어 모빌리티

상당수의 에어모빌리티 개발업체들은 초기에는 배터리나 기체수소, 향후 액체수소로 대체하는 방안으로 개발 중



이스라엘 Urban Aeronautics CityHawk

배터리 활용 프로토타입 시연, 장기적으로 액체수소를 연료로 개발 중



미국 Alaka'1 flying car, Skai

FLIGHT DURATION : Up to 4 hours
FUEL SYSTEM : 200 or 400-liter liquid hydrogen onboard tank. Refueling takes less than 10 minutes.
PAYLOAD 4 passengers with an onboard pilot, and 5 passengers with autonomous control or using a ground-based pilot.

액체수소 관련 주요 프로젝트 현황: 에어 모빌리티



ZeroAvia

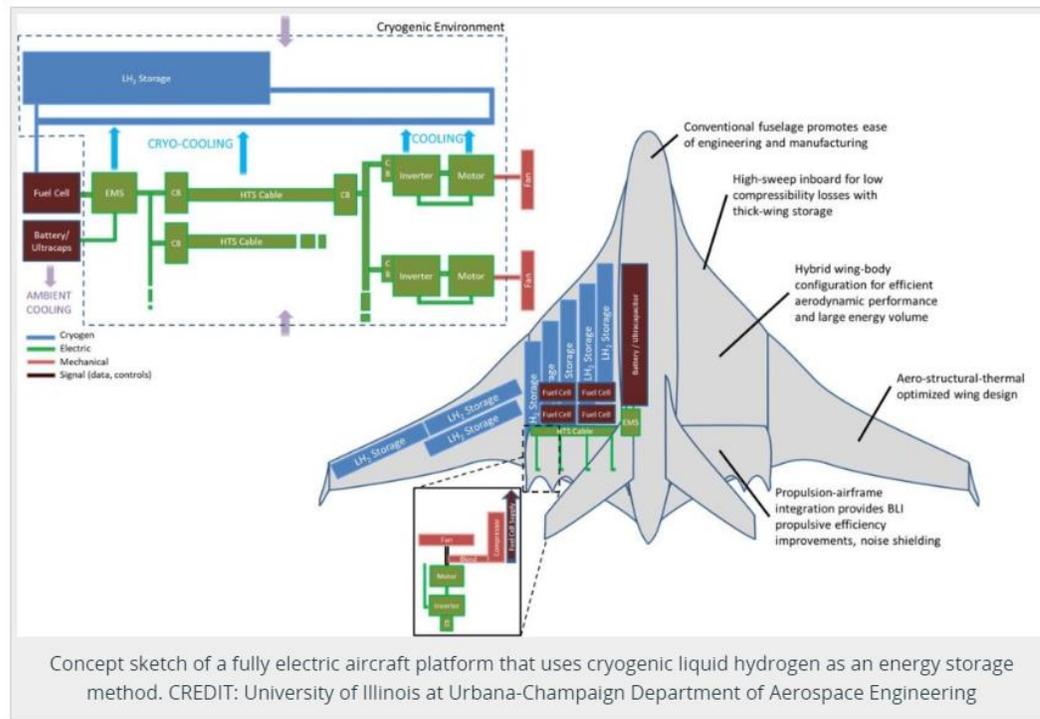
ZeroAvia plans to start supplying its platform to commercial operators and aircraft manufacturers in 2022, initially targeting up to 500-mile regional flights in 10 to 20-seat fixed-wing aircraft

Farther in the future, hydrogen tech could be used for long-haul flights. From a technical standpoint, it would be feasible now with liquid hydrogen storage

액체수소 관련 주요 프로젝트: 에어 모빌리티

CHEETA—the Center for Cryogenic High-Efficiency Electrical Technologies for Aircraft

the development of a fully electric aircraft platform that uses cryogenic liquid hydrogen as an energy storage method



NASA가 초기 3년간 6백만 달러 펀드 제공

University of Illinois, the Air Force Research Laboratory, Boeing Research and Technology, General Electric Global Research, The Ohio State University, Massachusetts Institute of Technology, the University of Arkansas, the University of Dayton Research Institute, Rensselaer Polytechnic Institute 등 참여

액체수소 관련 주요 프로젝트 : 에어 모빌리티

EU ENABLEH2 H2020 프로젝트

LH2-based propulsion technologies for zero mission-level CO2 and ultra-low NOx emissions for safe and sustainable civil aviation



초기 프로젝트 기간: 2018년 9월~2021 8월

예산: 400만 유로

참여기관 : Cranfield University, Chalmers University (Chalmers), London South Bank University (LSBU), Heathrow Airport, GKN Aerospace Safran, the European Hydrogen Association (EHA), Arttic 등

목표 : 1차목표는 TRL2~4단계의 기본 연구 완료, 2040년 경 상용화 목표

U.S. Army grant supports development of hydrogen-powered Unmanned Aerial Vehicle



Jacob Leachman, associate professor in Washington State University's School of Mechanical and Materials Engineering, has received a \$1.8 million grant from the U.S. Army to demonstrate a liquid hydrogen-powered UAV and refueling system.

Phantom Eye's Next Generation

Liquid hydrogen-powered high altitude long endurance unmanned aircraft



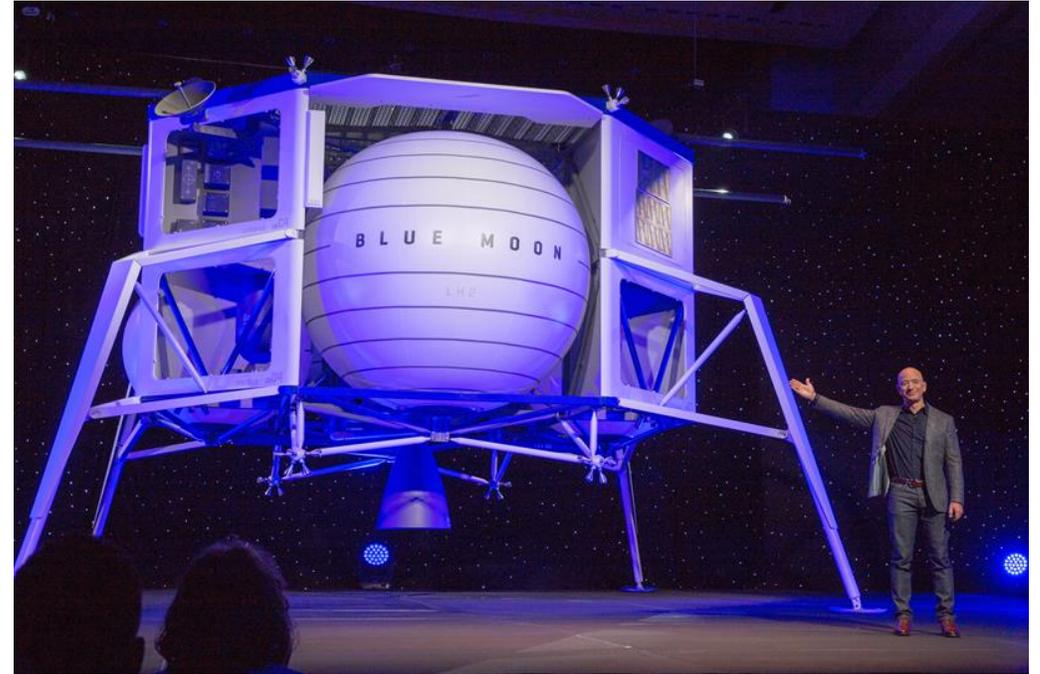
2015년 실증모델 6번째 비행 후 보잉의 공식적인 정보공개는 없는 상황이나, 실제 운영 모델 개발 중인 것으로 추정

액체수소 관련 주요 프로젝트 : Space



Lift the SLS Liquid Hydrogen Tank Test Article in Test Stand

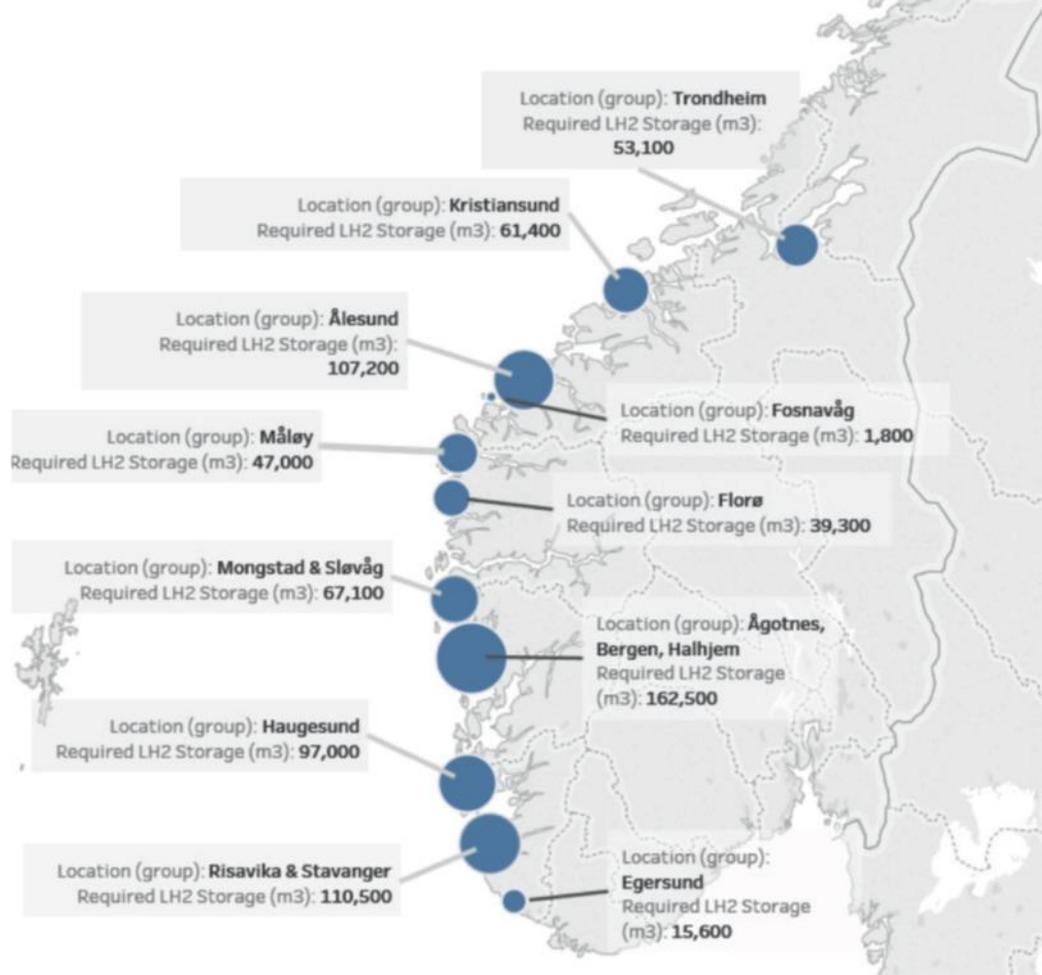
NASA는 SLS 프로젝트를 위하여 신형 액체수소탱크 테스트 및 신규 액체수소저장탱크 건설 중



Once the Amazon space station opens, Bezos expects that the first deliveries will be of **liquid hydrogen and liquid oxygen**. "It's going to be a small selection but a very important one," he joked.

액체수소 관련 주요 프로젝트 : Norway 수소 여객선 프로젝트

노르웨이는 선박을 액체수소 선박으로 대체하고, 장기적으로 액체수소를 해외에 수출하는 계획을 수립 중



Regional storage needs for LH2



Hydrogen ferry



Liquefied Hydrogen Bunker Ship

액체수소 관련 주요 프로젝트 : 미국 SANDIA LAB 액체수소 선박



SF-BREEZE

Top Speed: 35 knots

Power Plant: PEM fuel cells

Fuel: Liquid Hydrogen

Passenger Capacity: 150



ZERO V : a coastal research vessel

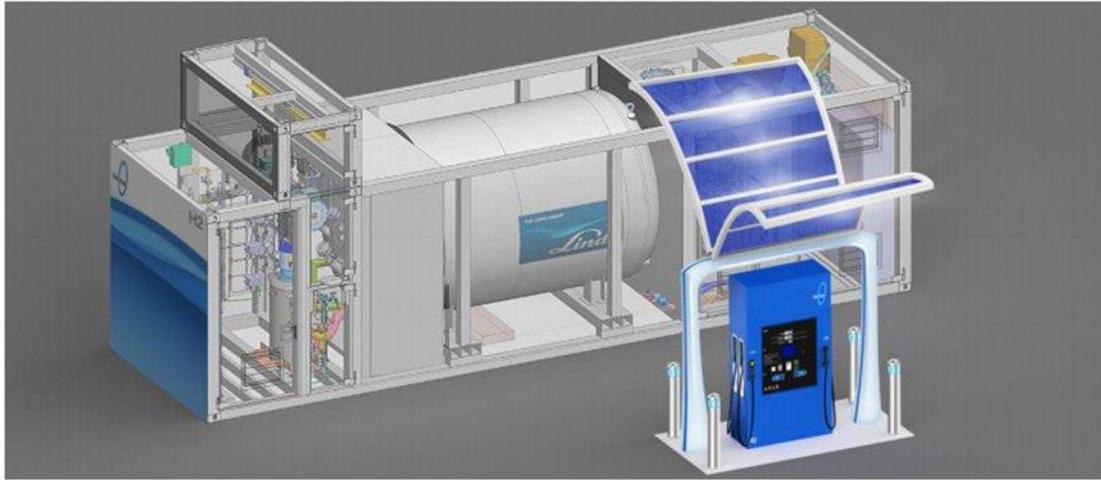
LH₂ Tanks: 2 Type C tanks, ~5500 kg of LH₂ each

Power: 10 x 180 kW PEM fuel cell racks (Hydrogenics)

Propulsion: 2 x 500 kW PM motors

Endurance: 15 days

액체수소 관련 주요 프로젝트 : 미국 First Element fuel 액체수소 기반 차세대 수소충전소



충전소 사업자 : 미국 최대 수소충전소 사업자인 First Element Fuel (현재 캘리포니아에서 20기 정도 충전소 운영, 향후 100기 확장 계획)

액체수소 생산 및 공급 : Air Liquide (캘리포니아에 2022년 운영 목표로 자체 자금 1억5천만달러 투자 30ton/day 액화 플랜트 계획, First Element Fuel 독점공급 계약 및 투자)

안전 기준 등 : Sandia National Lab 공동 연구

Previous Model: Gaseous-Based	Current & Future Model: Liquid Pump-Based
Limited Capacity Stations of 400 kg / day or Less	Higher Capacity of 800 kg / day +
Compression and Refrigeration Required – More components / Lower Reliability	Stations use Liquid Pump Technology – Fewer Components / Fewer Points of Failure
High Energy Consumption - Greater OpEx Costs	75% Reduction in Energy Use - Lower OpEx Costs
Higher Capex for Station Equipment	Lower Capex & Smaller Footprint for Station Equipment
More Frequent Deliveries and Larger Footprint for Storage	Less Frequent Deliveries and Smaller Footprint for Storage
Inefficiencies of Distribution and Delivery Drive up Cost	Superior Delivery and Distribution Provides Lower Cost of Delivered Product

Hydrogen in Your Life

“수소사회로 가는 길, 최첨단 액화수소 전문기업 핵사가 열어갑니다.”