ISSN 2287-8106

Technology Policy
Mechanical Engineering
기계기술정책 No.108 2022.7

무탄소 에너지원으로서 암모니아 기술의 부상 및 시사점

길형배, 김현하, 김철후, 이선엽

❶ 서론
❷ 암모니아 기술 관련 주요국 정책 현황
❸ 암모니아 생산/분해 기술
❹ 암모니아 활용 기술
❺ 결론

KIMM 한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

ISSN 2287-8106

Technology Policy
Mechanical Engineering
기계기술정책 No.108 2022.7

무탄소 에너지원으로서 암모니아 기술의 부상 및 시사점

길형배, 김현하, 김철후, 이선엽

❶ 서론 / 1
❷ 암모니아 기술 관련 주요국 정책 현황 / 5
❸ 암모니아 생산/분해 기술 / 11
❹ 암모니아 활용 기술 / 18
❺ 결론 / 23

※ 본 자료는 김현하(일본 산업기술총합연구소, AIST) 박사의 원고를 기반으로 작성함

KIMM 한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

기계기술정책 원문 찾아보기

□ 한국기계연구원 홈페이지-새소식-기계기술정책

□ 웹페이지 : https://www.kimm.re.kr/pr_policy

※ 웹페이지에서 다운로드 시, 정기구독을 신청하시면 이메일로 받아보실 수 있습니다.

SUMMARY

□ 무탄소 에너지원인 암모니아의 가치가 높게 평가되고 있으며 주요국을 중심으로 관련 정책을 활발히 추진하고 있음

- 수소 산업과 연계된 암모니아 정책이 추진되고 있으며 특히 수소캐리어로 암모니아가 부상하고 있음

- 암모니아의 연료사용에 대한 정책도 국가별로 진행되고 있으며 그린암모니아를 대비한 국가별 협업체계도 구체화되고 있음

  * 국가별 정책 가중치 (○: 낮음, ◑: 보통, ◕: 높음, ●: 매우 높음)*

<표> 주요국의 암모니아 정책 추진 현황

분류 / 국가	암모니아 생산	수소저장	암모니아 활용	주요 정책 내용
한국	◑	◑	◕	▪ 액상 암모니아 추출 및 저장 기술개발 추진 ▪ 석탄·LNG발전에 암모니아/수소 혼소 발전 2035년까지 상용화
일본	◕	●	●	▪ 호주, 중동 등과 협업하여 액상암모니아(수소 저장) 운송 실증 ▪ 100% 암모니아 가스터빈을 개발완료하여 상용화 진행
호주	●	○	○	▪ 풍부한 태양광·지하자원을 활용한 암모니아 생산 정책 추진 ▪ 일본 등과의 협업으로 액상암모니아의 저장/활용 추진
EU	◕	◕	◕	▪ 대용량 암모이나·수소 탑재형 저장/선박 기술 R&D 추진 ▪ 독일을 중심으로 액상 암모니아 기술개발 실증

□ 암모니아 생산/추출/활용의 전주기적인 기술개발이 진행되고 있으며 탄소중립 달성을 위한 그린 암모니아 산업이 미래 유망 아이템으로 평가됨

○ 암모니아 합성/분해 시 필요한 CO_2, 공정에너지를 기존 확보된 기술 대비 줄이려는 연구가 진행되고 있음

- 암모니아 합성/분해 촉매 기술, 신재생에너지와 연계한 그린암모니아 생산 기술이 주목을 받고 있으며 플라즈마 촉매기술도 부상하고 있음

○ 암모니아 활용은 연료전지, 가스터빈 기술이 있으며 선박, 발전 분야에 적용시키기 위한 실증 연구가 진행되고 있음

- 특히, 암모니아를 직접 사용하는 고효율 연료전지와 전소 가스터빈은 미래 유망아이템으로 평가됨

* 각 국가별 정책보고서와 기관별 공개보고서·동향을 분석하여 정책 가중치를 자체적으로 수치화하였음

1. 서론

□ 글로벌 뉴노멀, 탄소중립 시대의 시작

○ 탄소중립(Carbon Neutral 또는 Net-zero) 달성이 글로벌 뉴노멀로 정착되고, 주요선진국은 탄소중립 시대의 국제 질서 변화 주도 노력

- 주요국들은 기후변화에 대응하기 위한 포괄적 정책 방향으로서 탄소중립을 선언하고, 온실가스 감축 정책을 적극적으로 추진

- 특히, 2021년 4월 기후정상회의 이후 G7국가들의 탄소중립 관련 정책수립 더욱 가속화되었으며, 2022년 6월 G7정상회의에서는 지구온난화 문제를 해결하기 위해 적극적으로 행동할 수 있는 '기후클럽'을 만들겠다고 약속

<표 1> 2021년 4월 기후정상회의 이후 주요국의 탄소중립 정책 동향

국가명	탄소중립 목표연도	기후정상회의 이후 주요 탄소중립 정책[1)]
미국	2050	▪ 2021.7. 민주당 탄소국경세 법안 발의
일본	2050	▪ 2021.4. 2030년 온실가스 감축목표 상향계획 발표 ▪ 2021.5. 지구온난화대책법 개정 ▪ 2021.6. 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 수정 ▪ 2021.7. 지구온난화대책계획 수정
독일	2045	▪ 2021.4. 기후보호법 위헌 판결 ▪ 2021.5. 2030년 온실가스 목표 상향 및 2045년 탄소중립 목표연도 수정 ▪ 2021.6. 기후보호법 개정
캐나다	2050	▪ 2021.4. 2030년 온실가스 감축목표 상향 ▪ 2021.6. 넷제로 법안 통과 ▪ 2021.10. 탄소중립 전략 수립
영국	2050	▪ 2021.4. 6차 탄소예산 통과
프랑스	2050	▪ 2021.8. 기후와 회복법 제정 ▪ 2021.10. 프랑스2030 발표

- 2021년 10월 기준으로 우리나라, 독일, 일본, 영국 등 법제화한 14개 국가를 포함하여 140여개 국가가 탄소중립을 선언

- 2021년 11월 COP26에서 '글래스고 기후협의'를 통해 세계 각국은 파리협약의 2 ℃보다 강화된 1.5 ℃로 지구온도 상승을 제한하는 목표에 동참

1) '주요국 탄소중립 기술정책 동향 (II)(GTC)' 자료 인용

○ 우리나라는 2021년 10월, 2050탄소중립시나리오 수립, 2021년 12월, 2030년 온실가스 감축 목표(NDC)를 '18년 배출량 대비 40.0%로 상향 및 관련내용 법제화 추진

- (2050탄소중립시나리오) 2050년 국내 순배출량을 0으로 하는 2개 시나리오(A, B안)로 구성되었으며, 석탄발전을 중단 및 CCUS를 통한 탄소 흡수/제거 강조
  * (A안) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 시나리오
    (B안) 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 신기술을 적극 활용하는 시나리오

- (2030NDC 상향) 2030년 배출량을 291백만 톤(2018년 배출량 대비 40% 수준) 감축에서 436.6백만 톤 감축으로 상향(기존 대비 145.6백만 톤 추가 감축)
  * NDC 상향안의 연평균 감축률(기준연도p → 목표연도)이 4.17%/년으로 주요국 대비 도전적인 목표임((EU)1.98%/년, (美) 2.81%/년, (英) 2.81%/년, (日) 3.56%/년)

- (탄소중립 법제화) 2021년 9월, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립기본법) 제정 및 동 법안을 통해 NDC 최소 기준(2018년 比 35% 이상) 설정

- 우리나라는 앞서 다룬 G7과 비교하여 탄소중립 목표 달성을 위한 정책적 환경은 높게 평가되지만 탄소배출, 산업구조 등은 다소 불리한 것으로 분석[2)]
  * 특히, 주요 선진국 대비 2050탄소중립 목표 실현을 위한 준비기간이 상대적으로 짧은 것으로 분석되며, 2050탄소중립 달성을 위해 각 계의 참여를 활성화할 수 있는 방안 필요

<표 2> 한국 VS G7 주요 환경 지표 평가

구분		탄소집약도	산업구조	환경R&D	에너지효율성 규제
한국		**0.29**	**26.3**	**2.8**	**87.2**
G7평균		**0.19**	**13.6**	**2.5**	**81.2**
G7	캐나다	0.33	9.8	3.8	87.7
	미국	0.25	11.2	0.4	82.0
	일본	0.21	20.8	4.0	68.5
	독일	0.17	19.9	2.8	84.5
	이태리	0.14	14.9	2.6	89.2
	영국	0.12	8.8	2.1	84.2
	프랑스	0.11	9.9	1.7	72.4

2) '탄소중립시대의 국제 질서 변화와 우리의 대응(현대경제연구원, 2021)' 중 G7 환경지표분석 결과 인용

○ 우리나라는 제조업 중심의 산업구조로 무탄소 에너지원의 사용으로 탄소중립을 실현하고자 함

- 석유화학, 철강 등에서 생성되는 부생수소와 신재생에너지를 융합한 그린수소 등의 수소에너지, 암모니아 발전, 원전 등이 그 추진 기술이라고 할 수 있음
- 본고에서는 수소캐리어와 발전 측면에서 활용가치가 높은 암모니아에 대한 기술 동향 및 주요국의 정책 현황을 분석하였음

□ CO_2 감축을 위한 재생에너지 도입의 확대로 에너지 체계 기본 방향의 전환

○ 화석연료 에너지 체계와 유사하게 필요시 에너지를 저장하고 사용할 수 있는 출력변동성 제어 기술이 필요함

- Power-to-X의 개념으로 잉여전력을 저장하고 필요시에 에너지로 변환하여 쓸 수 있는 기술이 주목받고 있음
- X로 사용가능한 화학물질로는 수소, 포름산, 알콜, 일산화탄소, 암모니아, 탄화수소(C3 이상)가 있음
- 기존의 인프라를 활용하고 에너지로의 저장/전환이 비교적 쉬운 수소와 암모니아 기술에 대한 관심도가 높음
- 일본은 태양열 발전을 통해 생산된 수소를 암모니아로 저장하여 액화 암모니아 형태로 수급하는 시나리오를 검토하고 있음[3)]
  * 미쓰이물산: 호주에서 블루 암모니아 제조 후 국내에 연간 100만 톤 이상을 수출하는 사업 추진 중, 향후 전력회사에도 공급할 계획(2029년)
  * J-Power: Origin Energy(호주 에너지社)와 그린 암모니아 제조사업 수행 중

○ 수소는 물, 천연가스, 석탄 등의 다양한 물질에서 생산되고 있음

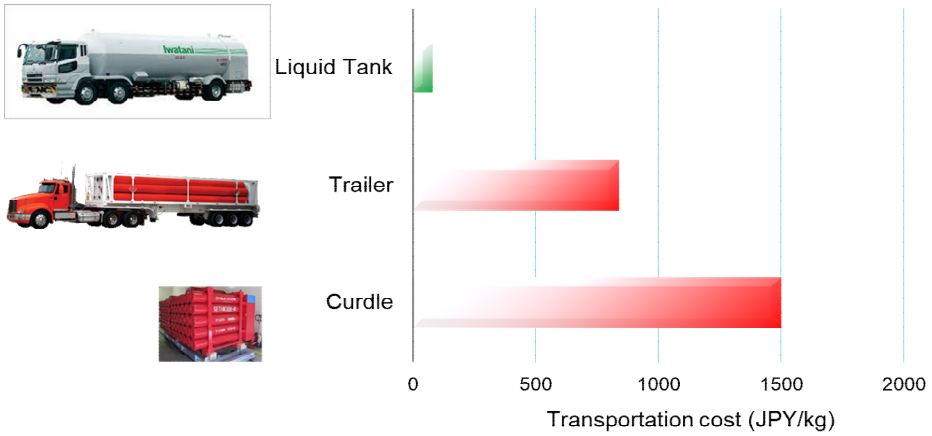
- 수소 에너지의 활용 측면에서 오염물질을 배출하지 않는 환경친화적인 에너지원으로 CO_2 감축에 있어 매우 효과적인 재생에너지임
- 부생수소 활용이 주를 이루는 현재 상황에서는 CO_2 배출이 수반되고 있어 수소의 생산/저장 방법에 대한 획기적인 전환이 필요함
  * 부생수소(회색수소): 수소 1 kg을 생성하는데 9.3 kg의 CO_2를 배출하고 있음

3) '일본의 수소·암모니아 확대 전략과 관련 기업 동향(에너지경제연구원, 2021.12.)' 자료 인용 및 재구성

Coal gassfication	CH_4 reforming	Grey H_2 with CCUS	Electrolysis with renewable energy
18 kg-CO_2/kg-H_2	9.3 kg-CO_2/kg-H_2	Less CO_2 than grey	CO_2 free H_2
1.8 USD/Nm^3	2.0 USD/Nm^3	2.5 USD/Nm^3	10 USD/Nm^3 (Current) 2 USD/Nm^3 (by 2050)

<그림 1> 제조방법과 탄소배출량에 따른 수소의 분류

- 수소 저장방법에는 고압기체수소 저장, 액화수소, 암모니아 전환 저장, 수소 저장합금 등의 기술이 있음



<그림 2> 수소의 육상 운송방식에 따른 수송비용

- 액화수소를 사용한 탱크저장/운송 방식이 가장 저렴하지만 운송과정에서의 수소손실, 액화과정에서의 에너지 소비 등의 문제점이 있음
  * 육상의 장거리 수송에서는 액화수소 방식이 유리하지만 해상 간 이동 등의 원거리 수송에서는 액상암모니아, 액화수소 기술이 주목받고 있음
- 수소저장합금은 금속 격자내부에 가역적으로 수소를 저장하는 방법으로 중량체적 당 저장용량이 다른 수소저장 방법에 비해 높지 않음

○ 본고에서는 수소캐리어로서 최적인 암모니아 저장/활용 기술 및 무탄소 에너지원으로서 수소 대비 상대적으로 관심이 적었던 암모니아의 기술 동향을 소개하고 각국의 정책적 방향에 대해 분석하고자 함

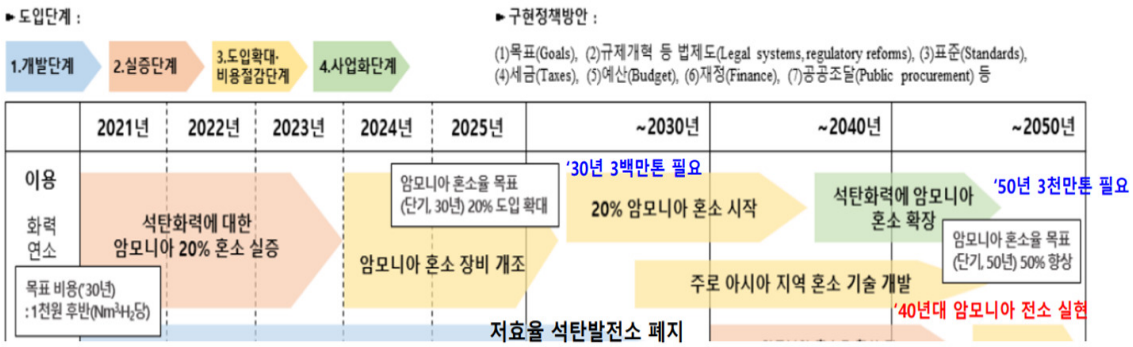
2. 암모니아 기술 관련 주요국 정책 현황

□ 일본

○ 일본은 탈석탄(암모니아) 로드맵을 확정하고 암모니아 연료 도입 민관협의회가 출범하였음[4)]

- 경제산업성과 해외수출신용을 지원하는 국제협력은행(JBIC)과 일본무역보험 주도로 진행되고 있음

  * IHI·JERA, JPOWER, 닛키홀딩스, 마루베니, 미쓰비시 중공업 등의 민간기업도 참여



<그림 3> 2050년 카본뉴트럴에 동반한 그린성장전략

- 2050년 Net-Zero를 달성하기 위해서는 CCUS 및 수소를 위한 인프라 개발이 필요한 상황

- 기업은 컨소시엄을 구성하여 정부와 협력하고 수소/암모니아 생산을 위해 해외 지역과의 자원 투자가 진행되고 있음

  * 가와사키중공업, 호주 갈탄 원료 액화수소 일본 고베항까지 수송하는 프로젝트 실증
  * 이토추상사: 호주미래에너지와 청색/그린수소 활용 암모니아 저장 및 이용 프로젝트 체결

○ 암모니아를 발전연료로 활용하는 정책이 추진되고 있음

- 소형 가스터빈 중심으로 실증을 진행하고 점차적으로 확대 적용하는 대형 프로젝트가 진행되고 있음

- IHI는 소형 가스터빈(2 MW급)에 암모니아 70% 혼소기술개발을 완료하여 2025년까지 암모니아 전소 가스터빈 개발 및 상용화를 목표

4) '화력발전의 무탄소 연료전환기술' 발표자료(한국에너지기술평가원, 장중철)를 재구성

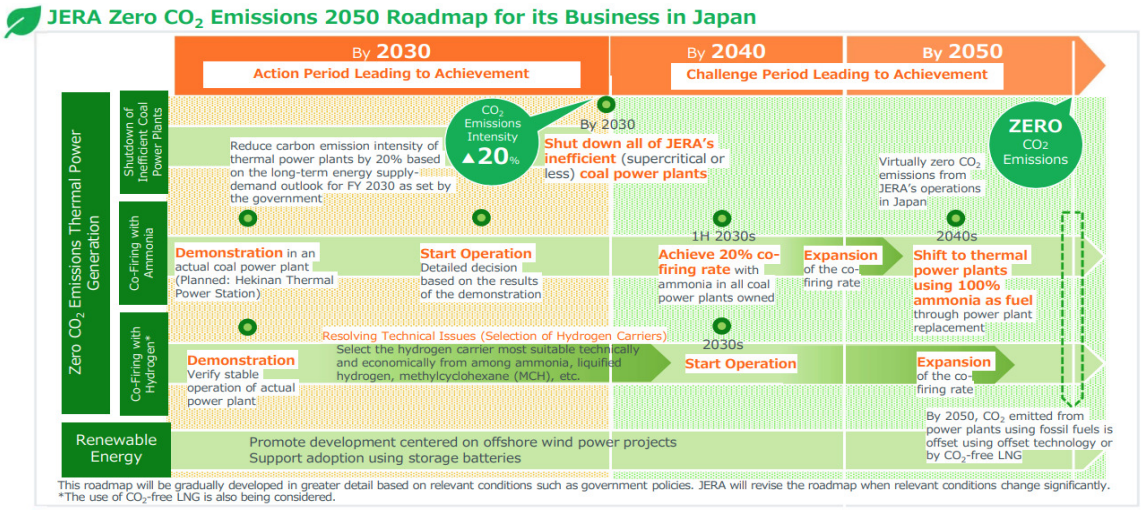
- TES(Toyota Energy Solution)은 50 kW, 300 kW급 100% 암모니아 연소 가스터빈을 개발하였음

- 미쓰비시 중공업은 2025년 까지 100% 암모니아 가스터빈 상용화를 추진하며 NOx 저감 연소기와 SCR을 결합한 시스템을 개발하고자 함

- Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion (SIP) 프로젝트를 통해 액체 수소, 유기수소화합물, 암모니아 등 수소 캐리어 연구 수행 중
  * AIST, 쇼와전공 등을 중심으로 암모니아 분해 및 수소 생산 기술 개발 진행

- SIP 프로젝트에서는 연료전지에 관한 연구도 집중적으로 진행하고 있으며 2050 탄소중립 시대에 맞춰 차세대 에너지원으로 수소/암모니아 기술을 육성하고자 함
  * 교토대, IHI 및 Noritake는 암모니아를 이용한 1 kW급 고온형 연료전지 (SOFC) 시스템 개발

- 발전회사인 JERA는 2040년까지 기존 연료와 암모니아를 20% 혼소하는 로드맵을 발표[5)]



<그림 4> JERA의 탄소중립 2050 로드맵 비즈니스

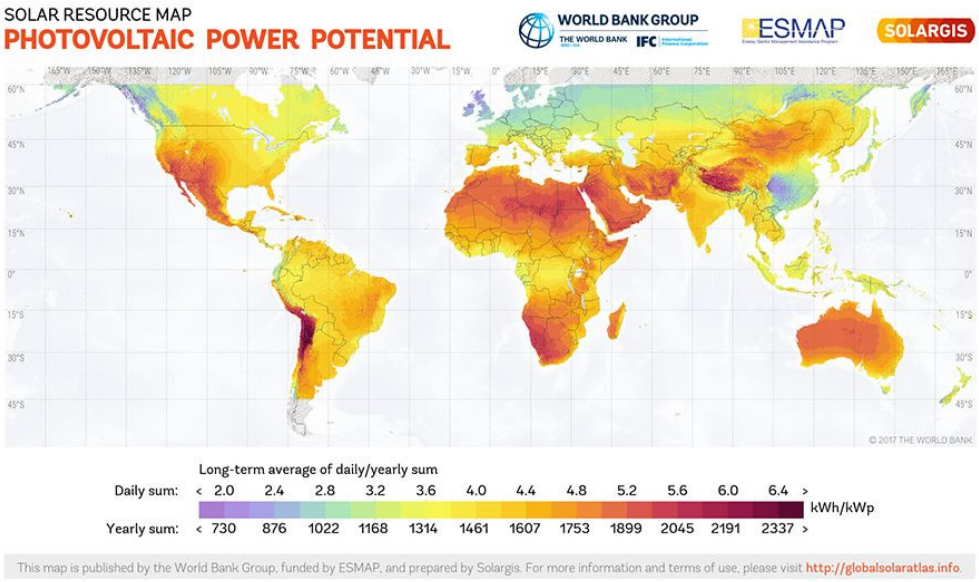
□ 호주

○ 풍부한 지하자원과 태양광 밀도를 활용한 수소/암모니아 정책이 활발히 추진되고 있음

- 2018년 국가 수소 로드맵을 발표하고 호주에 적합한 수소 생산·저장·활용의 밸류체인을 확인

5) JERA Zero CO_2 Emission 2050 Roadmap을 인용

- 풍부한 석탄, 천연가스 등을 활용한 수증기 개질 방식의 수소 생산으로 가장 저렴한 수소 생산이 가능
  * 일본 가와사키 중공업과의 협업을 통한 액화수소 운송 실증 진행
- 글로벌 선밸트 지역으로 우수한 태양광 자원을 활용하여 그린수소 생산 및 저장 프로젝트도 진행되고 있음[6)]



<그림 5> 전세계 태양광 자원 밀도 현황

- 호주 기관 및 국외 기업의 수소 협력 프로젝트가 진행 중이며 15 MW급의 수소-암모니아 생산 및 수소 발전소가 건설될 예정임
- 암모니아 저장/활용은 일본 기업과의 실증을 추진하고 있으며 일본의 암모니아 액상 저장 기술과 호주의 우수한 수소 자원이 전략적으로 운용될 것으로 분석됨

○ 호주 국가 수소 전략(2019) 발표[7)]

- 남호주의 재생 수소 및 그린 암모니아 공급망 실증 프로젝트(Hydrogen Utility社) 및 호주 북부 그린 암모니아 생산 프로젝트 추진
- 독일-호주 간 그린 수소 거래를 위한 MOU 체결(2021.4.)
- 호주 생산 액상 그린 암모니아를 독일 북해 연안의 LNG 터미널 활용하여 암모니아 수출 프로젝트 예정

6) Global Solar Atlas 홈페이지의 태양광 밀도 지도를 인용
7) '탄소중립 연료: 암모니아 정책 및 산업 동향(한국에너지기술연구원)' 자료를 재구성

□ 유럽

○ EU 수소전략(2020) 발표

- 2030년까지 40 GW의 재생수소 전해조 설치, 1,000만 톤의 재생수소 생산 계획
- 산업부문의 암모니아(수소) 활용 및 해상 운송용 저탄소 연료(암모니아) 생산을 위한 재생 수소 활용 촉진
- 비료 생산, 기초화학제품, 선박용 수소 및 암모니아 등의 분야에 수소 가격 경쟁력 지원 제도 적용 검토
  * 배출권 거래제 강화, 탄소차액결제 거래 입찰 시스템 구축, 탄소국경조정메커니즘 도입 등

○ Horizon Europe Work Programme 2021-2022 공개

- 민·관 파트너십 출범을 통하여 대용량 암모니아·수소 탑재형 저장 및 선박 연계기술, 암모니아 해상 엔진 가능성 등의 R&D 추진
  * 대표적인 선밸트 지역인 MENA[8], 호주 등과의 MOU로 그린 암모니아 유럽 도입을 위한 활동이 진행 중
- 저온/저압 암모니아의 합성, 암모니아 합성을 위한 고체 흡수제, 암모니아 분해 촉매 및 반응기 개발 연구

○ 독일 연방정부 '국가수소전략' 수립(2020)

- 수소 수입 및 그린수소 생산과 연계하여 효율적인 저장·운송을 위한 지원 및 기술개발이 추진되고 있음[9]
- 액체수소, LOHC(액상유기수소운반체), 액상 암모니아 등 액화 기반의 수소 저장 기술개발 실증 연구를 추진
- 재생에너지를 생산된 전력을 수소/암모니아로 변환·저장 후 필요 시 전기로 재전환하여 사용하는 P2G(Power-to-Gas) 사업 추진
- '수소 및 연료전지 기술 국가 혁신 프로그램(NIP)'을 중심으로 2007년부터 기술 활용 분야 연구개발 관련 포괄적 정책이 이행
  * 2차 NIP(2016~2026): 수소 기술 시장 활성화와 인프라 구축을 목표로 수소 및 연료전지 산업의 시장성 개선 및 연구개발 진행

8) MENA: Middle East & North Africa, 중동 및 북아프리카 지역
9) '수소산업의 글로벌 기술동향 및 정책전망(한국기계연구원)' 자료를 인용

□ 대한민국

○ ‘수소경제 활성화 로드맵’, ‘수소 기술개발 로드맵’(2019) 발표

- 그린수소·해외 수소 도입 비중 확대 및 액상 암모니아 추출 및 저장 기술개발 추진

- 해외 도입 그린수소의 저장/운송에서 암모니아 전환 수송과 액화수소 저장을 유력 기술로 선정

  * 수소공급 목표: 2030년 194만 톤, 2050년 526만 톤

<그림 6> 탄소배출이 없는 암모니아의 생산 및 활용

○ ‘2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략’ (2020) 발표[10)]

- 수소·암모니아 등 무탄소 선박기술의 조기 확보를 통한 시장선점, LNG·전기 등의 기존 상용화 기술의 국산화 및 고도화 추진

- 암모니아 연료 추진선박 기자재 기술개발 및 실증 과제가 추진되며 암모니아 연료전지 시스템, 대형 암모니아 엔진·공급 시스템 개발이 세부과제로 추진됨

○ ‘그린 암모니아 협의체’ 출범(2021)

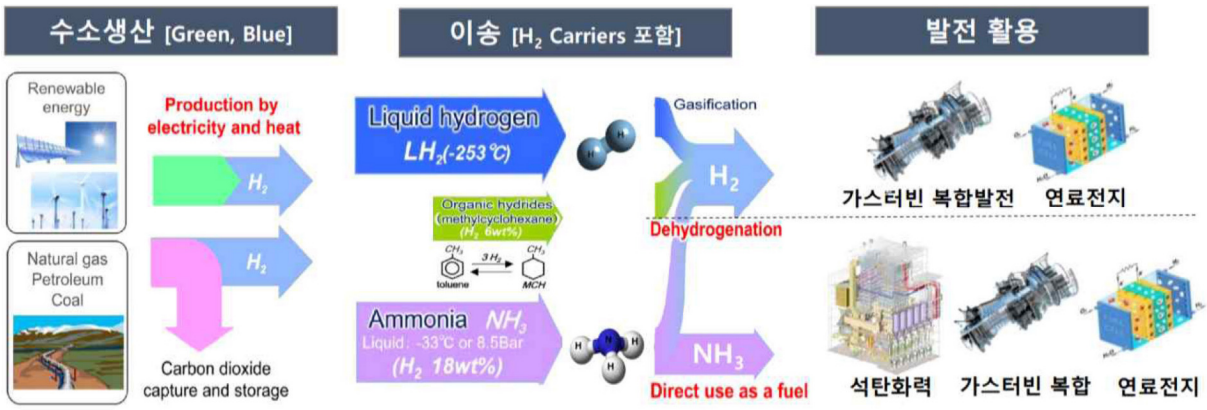
- 그린암모니아의 전주기(생산-운송-추출-활용) 기술개발을 위한 산학연 18개 기관의 협의체 결성[11)]

10) ‘탄소중립 연료: 암모니아 정책 및 산업 동향(한국에너지기술연구원)’ 자료를 재구성
11) 산업통상자원부 보도자료(2021.7.14.)를 인용 및 재구성

- 저가 그린 암모니아 생산, 운송 및 선박 연료 활용, 그린 암모니아 수소 공급, 가스터빈, 보일러 등 무탄소 연료 활용이 협력 기술로 선정

○ 민관합동 '수소·암모니아 발전 실증 추진단' 발족 (2021)

- 암모니아 혼소(20%) 발전을 2030년까지 수소 혼소(30% 이상) 발전을 2035년까지 상용화하여 석탄·LNG발전을 대체할 계획[12)]
- 석탄발전에 암모니아 혼소 발전을 실질적으로 적용하기 위한 암모니아 저장시설을 2022년에 구축
- 친환경 인증 제도를 통한 인센티브 부여 등 수소·암모니아 발전 관련 법·제도 개선사항을 발굴 및 지원
- 에너지 안보 제고를 위해 국제적 공급망 구축을 선도할 계획



<그림 7> 수소·암모니아 발전 실증 추진단의 활용 전략

○ 10대 국가 필수전략기술 수소 기술 선정(2021)

- 수소 생산·저장·운송·활용 등의 수소 R&D에 집중적으로 투자하며 특히 수소 저장분야에 액상 암모니아 전기분해 저장·추출이 추가되었음
- 윤석열 정부 출범에 맞춰 원전 기술도 국가 필수전략기술에 포함
- 수소, 암모니아, 원전의 무탄소 에너지원의 국가 주도의 집중적 투자가 예상됨

12) 산업통상자원부 보도자료(2021.11.15.)를 인용 및 재구성

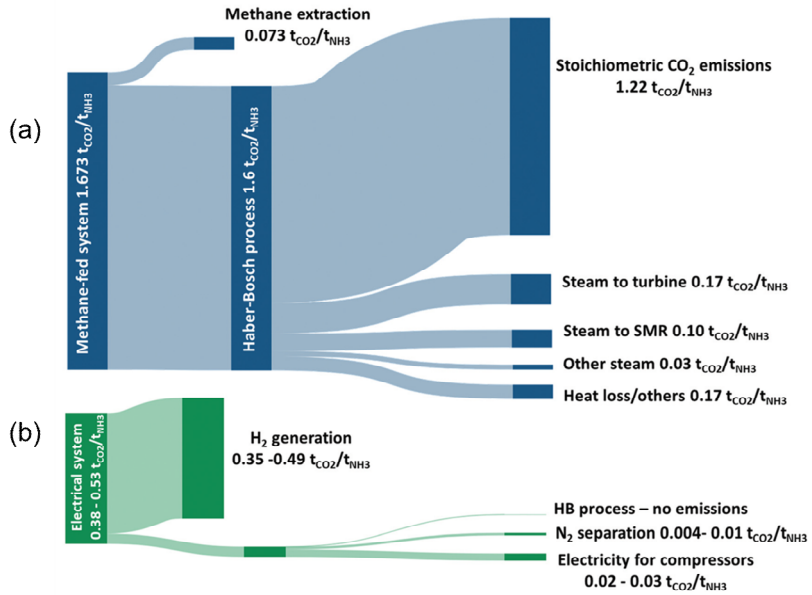
3. 암모니아 생산/분해 기술

□ 탄소중립 사회를 대비한 암모니아의 역할

○ 암모니아의 원료가 되는 수소의 생산방식에 따른 탄소배출량 차이가 있음

- 암모니아 생산 시 그린수소를 사용했을 경우 그레이 수소 대비 약 76%의 이산화탄소 배출량 저감이 가능함

* 그레이수소(a): 1.5 ton-CO_2/ton-NH_3, 그린수소(b): 0.38 ton-CO_2/ton-NH_3[13)]



<그림 8> 암모니아 합성에서 수소원에 따른 CO_2 배출량 비교

○ 암모니아 생산 방법에 따라 그레이/블루/그린 암모니아로 분류[14)]

<표 3> 암모니아의 분류

구분		그레이 암모니아	청정 암모니아	
			블루 암모니아	그린 암모니아
생산방식		그레이수소로 제조	블루수소로 제조	그린수소로 제조
		화석연료에서 수소 생산 후 질소와 합성		
온실 가스	발생	수소 생산 시 발생		발생하지 않음
	처리	대기 중 방출	CCS 활용 CO_2 포집	

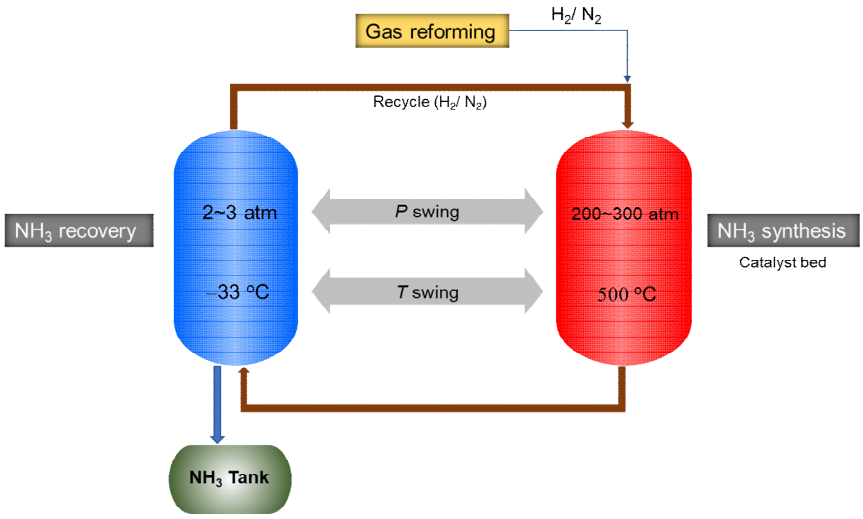
13) 'Current and future role of Haber-Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape' 논문 내용 중 Haber-Bosch 공정 자료 인용 및 재구성

14) 전기저널 암모니아 기획 기사 중 암모니아 생산 방법 분류 인용

□ Haber-Bosch 공정과 최신 연구개발 동향

○ 암모니아 합성에는 고압/고온 조건이 필요하며 공정에너지 감소를 위한 촉매 개발이 활발하게 이루어져 왔음

- 최초 합성방법 발견 후 100년간의 촉매 개발이 이루어져왔고 Fe_3O_4-K_2O-Alumina 촉매가 주로 사용되어 왔음
  * 1992년 일본 동경공업대의 Aika 교수 등이 (Ru)-MgO-Alumina 촉매를 개발하여 기존 촉매의 성능을 뛰어넘어 상용화까지 성공
- 현재 Haber-Bosch 공정의 가장 큰 문제는 촉매반응기와 회수과정에서 온도/압력의 폭이 크다는 점임



<그림 9> Haber-Bosch 공정의 암모니아 합성 운전 조건

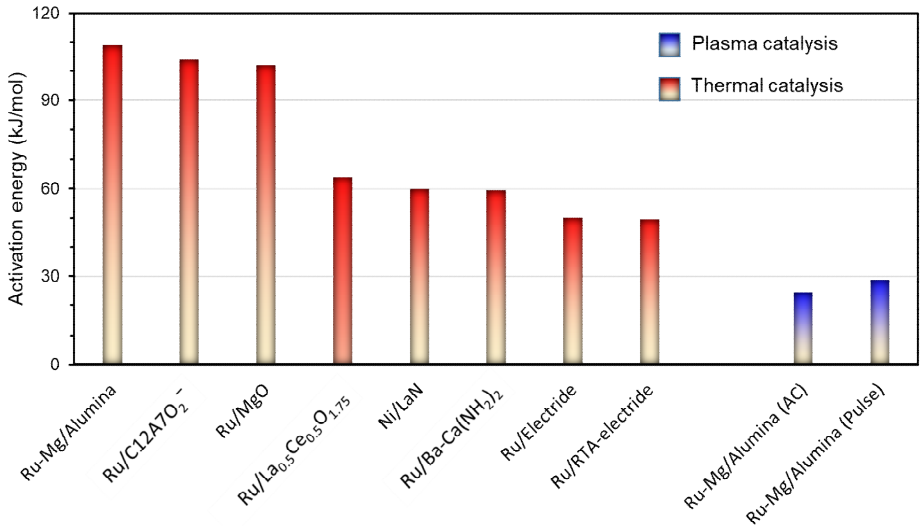
- 촉매 활성을 위해 반응기의 온도를 300~500 ℃ 정도로 가열하고 생성된 암모니아를 액체로 회수하기 위해서 -33 ℃까지 냉각이 필요함
- 암모니아 평형농도는 온도가 높아질수록 낮아지기 때문에 200~300 기압 수준의 고압 운전이 필요함
- 평균 30 GJ/tNH_3이상의 에너지가 필요, 평균 2.5 tCO_2/tNH_3를 배출
  * 탄소배출량의 약 90%는 수소 생산단계로부터 기인하고 있어 그린 수소와 연계한 그린 암모니아 생산의 경우 탄소 배출량을 획기적으로 절감할 수 있음
- Scale-Up, 효율적 열교환 등의 공정에너지 절감을 위한 노력이 필요하지만 낮은 온도에서도 암모니아 합성이 가능한 촉매 개발이 에너지 감소에 결정적 역할을 함

- 수소의 저장, 암모니아 에너지의 활용 등의 이유로 암모니아 합성 공정에너지 감소에 필요한 촉매 개발이 활발하게 진행되고 있음[15)]

- 특히 수소에너지 케리어로서의 암모니아가 주목받으면서 지난 10년간 암모니아 합성 촉매의 큰 발전이 있었음

  * 동경공업대학(日): 시멘트의 일종($12CaO \cdot 7Al_2O_3$)의 골격 내의 음미온을 전자로 대체한 Electride 담체의 활성 금속으로 Ru(루테늄)을 사용하여 암모니아 합성효율 크게 향상

  ** Ru계 촉매 사용시 기존 상압조건 대비 100배 이상의 암모니아 수율 달성 가능



<그림 10> 촉매별 암모니아 합성반응의 활성화에너지 비교

- 기존의 열촉매 공정의 경우 100-110 kJ/mol 정도의 활성화에너지를 보이고 있으나 최근 개발된 Electride계열 촉매들은 절반 수준인 50 kJ/mol로 낮아지고 있음

  * 활성화에너지가 낮을수록 암모니아 합성반응에 필요한 공정에너지를 낮출 수 있기 때문에 플라즈마 촉매에 대한 관심도 높아지고 있음

- 특히 플라즈마 공정 촉매들은 Electride 촉매 대비 활성화에너지가 절반 수준으로 향후 암모니아 합성 에너지의 절감이 가능할 것으로 보임

○ Haber-Bosch 공정의 단점을 보완할 수 있는 플라즈마방식의 암모니아 생산 방법도 연구 개발되고 있음

- 질소 플라즈마에 물을 공급하고 분해하여 수소와 질소산화물을 생산하고 이를 촉매로 공급하여 암모니아 생산

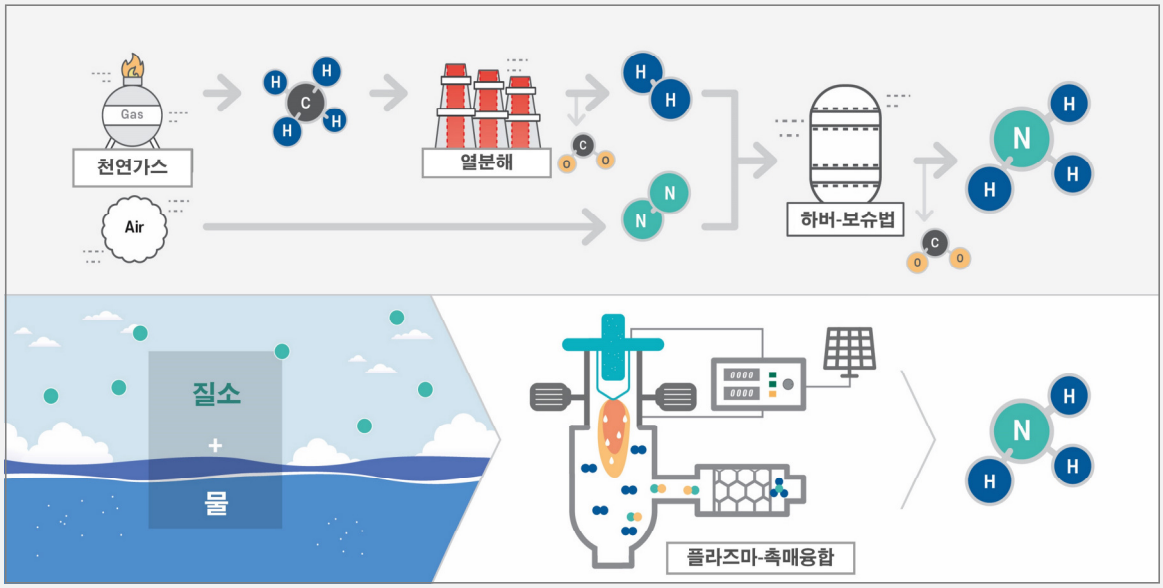
15) 'Interim report of plasma catalysis: Footprints in the past and blueprints for the future' 중 플라즈마 촉매 부분 인용 및 재구성

(참고 개발 사례) 플라즈마 암모니아 생산 공정

○ 재생에너지를 이용한 상온/상압 조건의 암모니아 생산 공정 개발

- 한국기계연구원 플라즈마연구실에서는 탄소가 배출되지 않는 암모니아 혁신 공정 개발에 성공
- 질소 플라즈마에 물을 공급하고 분해하면서 생성된 수소, 질소산화물의 촉매 융합 연속적 화학반응으로 암모니아 생산이 가능함
- 95% 이상의 높은 선택도로 암모니아를 합성하며 반응에 필요한 열은 플라즈마 분해 과정에서 발생한 열을 이용

○ 한국기계연구원의 암모니아 생산 공정[16)]



<그림 11> 플라즈마 방식의 암모니아 생산공정 모식도
(위: 기존 Haber-Bosch 공정, 아래: 플라즈마 촉매 융합 공정)

- 200 기압 이상, 400 ℃ 이상의 고온/고압공정인 Haber-Bosch 공정 대비 저에너지형 암모니아 생산 공정이며 전기적 에너지만 필요하기 때문에 공정 구성이 쉬움
- 원료로 사용되는 수소도 질소 플라즈마에 의한 물분해를 통하여 제공되기 때문에 암모니아 생산 시 필요한 탄소배출량을 최소로 줄일 수 있는 장점이 있음

○ 그린 암모니아 시대에 대응할 수 있는 새로운 공정

- 스케일업 및 제품화 기술 개발을 통해 암모니아 생산 비용과 효율 개선 후 플랜트 진출 계획
- 재생에너지 기반의 전기를 이용한 플라즈마 방식이면 탄소배출량 감축에 큰 영향을 끼칠 것으로 전망

16) 'Plasma Catalyst-Integrated System for Ammonia Production from H2O and N2 at Atmospheric Pressure' 논문 내용 중 생산 공정 부분 인용 및 재구성

□ 수소 에너지 캐리어로서의 암모니아

○ 액화수소 대비 액화 조건이 유리한 액화 암모니아 기술이 주목받고 있음

- 액화수소는 -253 ℃로 냉각하고 수소에너지의 30~40%가 손실되는 단점을 가지고 있음
- 액화암모니아는 -33 ℃수준의 조건이 필요하며 손실되는 에너지도 수소 대비 적다는 장점을 가지고 있음

<표 4> 수소와 암모니아 기본 물성 비교

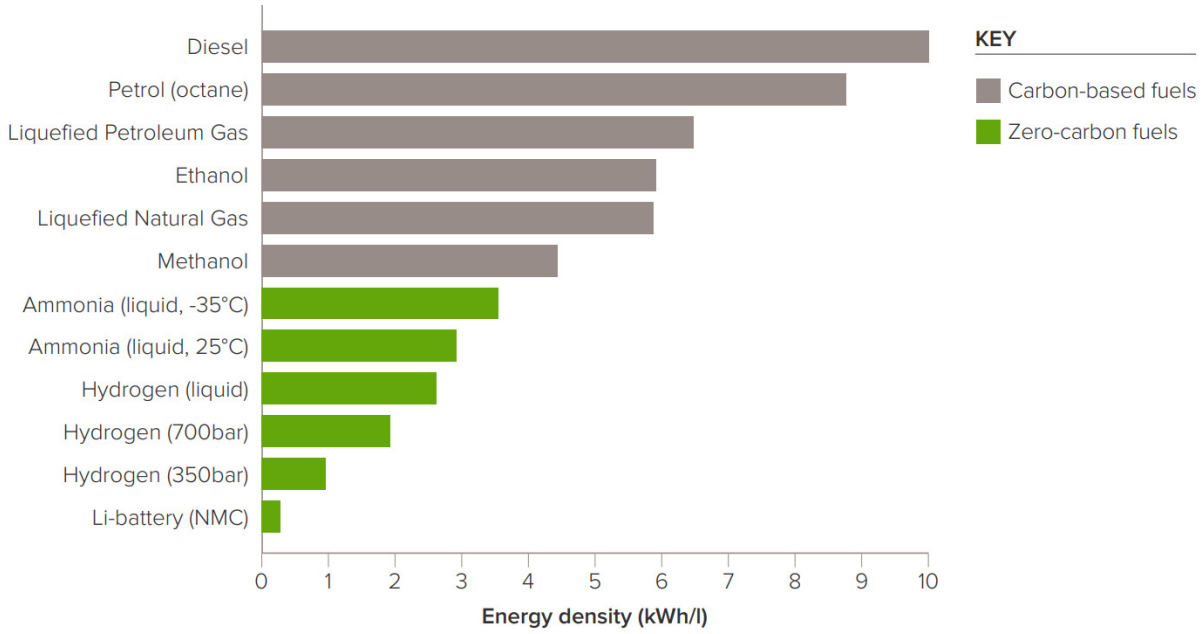
비교 물성	수소	암모니아	LNG[17]
밀도	0.09 kg/m^3	0.73 kg/m^3	0.80 kg/m^3
체적당 수소 밀도	70.8 kg-H_2/m^3	120.3 kg-H_2/m^3	-
액화온도	-253 ℃	-33 ℃	-162 ℃
에너지밀도	120 MJ/kg (액상)	13 MJ/kg (액상)	45~55 MJ/kg
착화범위	4.1~74.2%	15~28%	5~15%
착화에너지	16 μJ	680 mJ	0.29 mJ
착화온도	585 ℃	651 ℃	595 ℃

- 암모니아의 수송/저장은 LNG(액화천연가스)의 인프라를 그대로 이용이 가능하고 체적당 수소 밀도도 액화수소 대비 높음
- 암모니아의 착화에너지는 LNG 대비 높아 안전성 측면에서는 유리하지만 연료로서의 이용이 어려운 문제점은 존재함
- 암모니아의 연료로서의 이용은 기존 연소범위를 넘어서는 연구가 필요한 상황임

○ 에너지 캐리어로서의 암모니아의 역할이 주목받고 있음

- 암모니아는 옥탄(가솔린)의 1/3수준의 에너지밀도를 가지고 있지만 액화 수소대비 단위 부피당 더 높은 에너지 밀도를 가지고 있음[18]
- 비 CO_2 배출 에너지원의 측면에서는 중요한 대체 에너지원으로 암모니아가 주목받고 있음

17) LNG: Liquefied Natural Gas의 약자로 주로 CH_4(메테인)으로 이루어진 액체 연료 물질
18) 'The Royal Society, 'Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store' 내용 중 암모니아 에너지밀도 자료 인용 및 재구성



<그림 12> 에너지 캐리어 별 에너지 밀도 비교

- 상용화된 Haber-Bosch공정을 이용하여 대용량 암모니아 생산 및 운송이 용이하다는 점에서 암모니아가 수소 에너지 캐리어로서 주목받고 있음
- 태양광 등의 신재생에너지를 활용한 그린 암모니아 생산 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있음

□ 암모니아에서의 수소 추출 기술

○ 열화학적 암모니아 분해 기술

- 400 ℃이상의 고온을 이용하여 암모니아를 질소와 수소로 분해하여 수소를 이용하는 기술
- 암모니아 분해 반응이 흡열 반응으로 반응 온도 증가에 따라 분해 반응이 활성화되지만, 활성화 에너지가 높은 이유로 촉매제가 필요한 상황임
- 에너지효율 증대를 위해 전이금속류(루테늄, 니켈 등) 촉매가 많이 쓰이고 있고 연구개발이 진행되고 있음[19)]

  * Ni/SiO_2 촉매 사용 시 70%의 분해능, Ni/HZSM-5 촉매 사용 시 40% 정도의 분해능을 보임

19) '미래 수소 에너지 공급 산업에서 암모니아의 활용성' 논문 내용 중 촉매부분 인용 및 재구성

○ 알칼리 금속 아미드 분해 기술

- 알칼리 금속(리튬, 나트륨 등) 하이드라이드[20]와의 발열반응을 통하여 상온에서 암모니아 분해가 가능
- 알칼리 금속 아미드를 촉매로 사용하면 높은 분해능을 보임
  * $NaNH_2$의 경우 85%의 효율, KNH_2의 경우 80%의 효율
- 경제성 확보가 어렵고 높은 전압 효율 유지를 위해 전해질이 필요한 단점을 보유하고 있음

○ 알칼리 수전해 기술

- 저농도의 암모니아를 용해시킨 알칼라인 수용액을 활용하고 저온에서 분해 반응이 진행된다는 측면에서 안정성이 좋음
- 암모니아의 농도가 증가하면 화학평형 상태에서의 반응이 효율적으로 진행되지 않아 수소 생산효율성이 떨어짐
- 암모니아를 전해질로 사용되기 때문에 암모니아가 수소 생산의 소스로 보기는 어려움

○ 고순도의 수소생산을 위한 기술

- 암모니아 분해 기술로 얻어진 수소의 고순도화를 위해 잔류암모니아 제거 및 상온 PSA(압력변동흡착)의 공정 등이 필요함
- 최근에는 멤브레인을 이용하여 고순도의 수소를 추출하는 기술이 활발하게 개발 중임
- 한국에너지기술연구원은 Ru기반 촉매를 활용하여 99.97%의 고순도의 수소를 암모니아로부터 추출하였음
- 한국과학기술연구원은 Ru 촉매와 금속 멤브레인을 통해 고순도의 수소를 추출하는 분리막 법도 개발하였음

20) 하이드라이드: 알칼리 금속에 수소가 붙은 형태로 암모니아와 반응하기 위한 중간체 물질로 사용됨

4. 암모니아 활용 기술

□ 암모니아 연료전지

○ 고체산화물 연료전지(SOFC)의 연료로 암모니아를 사용

- SOFC의 연료로 기존의 수소나 천연가스를 대신 암모니아를 사용하더라도 동등 수준의 성능을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있음
- 암모니아 SOFC는 암모니아를 연료전지에 직접 공급하는 방식과 암모니아 개질장치로 암모니아를 수소와 질소로 촉매 분해한 후 연료전지에 공급하는 방식으로 나눌 수 있음
- 암모니아 직접 활용 연료전지는 연료전지 내부로 공급된 암모니아가 700 ℃ 이상의 높은 온도에서 수소와 질소로 열분해된 후 전기화학 반응을 통해 전기를 생산함
  * 교토대, IHI 및 Noritake는 암모니아를 직접 이용한 1 kW급 SOFC 시스템 개발
- SOFC에 암모니아 직접 활용 시 전극과 분리판 등이 고온 조건에서 암모니아로 인해 질화(Nitriding)되어 연료전지의 성능 및 내구성에 영향을 미치므로 이를 해결하기 위한 기술 개발이 진행 중임
  * 한국기계연구원에서는 기본사업 연구과제로 질화현상 억제를 위한 SOFC 스택 및 분리판 설계기술을 개발하고 있음

○ 음이온 교환막 연료전지(AEMFC)의 연료로 암모니아를 활용

- 1965년 미국의 아폴로 우주계획에서 제미니 3호의 전원으로 채택되어 최초로 실용화된 알칼라인 연료전지는 액상 전해질인 수산화칼륨 용액을 사용하였음
- 최근 음이온 교환 전해질막 기술의 발전으로 수산화칼륨 용액을 대체하면서 양이온 교환막 연료전지(PEMFC)와 알칼라인 연료전지의 장점을 모두 갖는 음이온 교환막 연료전지가 주목받고 있음
- 현재 상용화된 양이온 교환막 연료전지(PEMFC)는 순수 수소만을 연료로 사용할 수 있는 반면 AEMFC는 강한 알칼리 조건에서 작동하기 때문에 수소뿐만 아니라 암모니아도 사용 가능함

- 암모니아 촉매 분해 후 수소 고순도화 장치 없이 암모니아/수소/질소로 이루어진 암모니아 개질가스를 AEMFC의 연료로 직접 적용하는 연구가 진행되고 있음
  * 한국기계연구원에서는 드론 등 소형 모빌리티의 동력원으로 활용하기 위한 암모니아 AEMFC 기술 개발을 목표로 기본사업 연구과제로 진행하고 있음
- SOFC는 발전과 선박 분야에 적합한 고효율 전력원으로 기술 개발이 진행되고 있는 반면, AEMFC는 빠른 시동과 정지를 필요로 하는 소형 모빌리티(드론 등)에 적합한 동력원으로 연구개발 진행 중
  * 현대자동차의 넥쏘(수소연료전지차)는 PEMFC 타입임

○ 독일의 경우 '수소 및 연료전지 기술 국가 혁신 프로그램(NIP)'를 정책적으로 추진하고 있음

- 2007년부터 수소/암모니아 기술 활용 분야의 연구개발 관련 포괄적 정책이 이행되고 있음
- 2차 NIP(2016~2026)은 수소 기술 시장 활성화와 인프라 구축을 목표로 수소 및 연료전지 사업의 시장성 개선 및 연구개발 프로그램임
  * 독일 프라운호퍼IMM에서 세계 최초 선박용 암모니아 연료전지 개발 착수(2021)

○ 미국은 DOE에서 AEMFC 기술 개발에 대해 2030년까지의 마일스톤을 제시하였으며, ARPA-E 프로젝트의 일환으로 암모니아를 활용한 재생 에너지 개발을 목표로 REFUEL 프로그램을 추진하고 있음

- Chemtronergy사는 암모니아 SOFC 시스템을 개발하고 있으며, FuelCell Energy사는 양성자 세라믹 전도 SOFC를 개발하고 있음

○ 대표적인 선박용 암모니아 연료전지 실증 사업으로는 유럽의 ShipFC 프로젝트가 있음

- 노르웨이 NCE Maritime CleanTech을 총괄주관으로 하여 14개 유럽회사의 컨소시움으로 2024년 암모니아 연료전지의 선박 탑재 및 3,000시간 실증을 목표로 수행 중임
- 암모니아 기반 2 MW급 연료전지가 적용될 예정으로 100 kW급 연료전지를 2 MW로 스케일업 하는 기술개발이 주요 연구내용임

□ 차량용 암모니아 연료

○ 석유를 대체할 수송용 연료로 암모니아를 적용하려는 하려는 연구가 20세기 중반부터 진행되었음

- 2차 세계대전 중 석유의 보급이 원활하지 못하자 버스의 연료로 암모니아를 사용하였음
- 버스 8대를 이용하여 1년간 실증하였고 디젤을 대체할 수 있는 연료로 검증되었음
- 암모니아의 옥탄가는 약 130 정도로 가솔린 대비 높은 수준임
  * 옥탄가: 가솔린 엔진의 노크저항성을 정량적으로 판단하기 위한 연료의 성능 값, 일반 휘발유의 옥탄가는 91~94 수준, 고급 휘발유 98~100↑이며 옥탄가가 높은 연료의 경우 초기 점화가 어려울 수 있어 설계된 엔진에 맞는 적정 수준이 필요
- 기존 가솔린 엔진에 암모니아를 적용시키려는 연구가 진행되고 있으며 가솔린과의 혼합연료로 연료 대체 가능성을 확인하고 있음

○ 암모니아 연소 시 질소산화물이 생성되어 환경적인 문제가 있음

$$4NH_3 + 3\ (O_2+3.73N_2) \rightarrow 15.28N_2 + 6H_2O \quad (R1)$$
$$4NH_3 + 5\ (O_2+3.73N_2) \rightarrow 4NO + 18.8N_2 + 6H_2O \quad (R2)$$

- 암모니아 연소 시 부반응으로 일산화질소가 생성되나 기존 엔진을 그대로 사용하기 때문에 SCR[21] 공정 연계가 가능

○ 국제해사기구(IMO)의 온실가스 규제 도입 선언에 따라 국내외 대형 조선사를 중심으로 대형 선박의 암모니아 연료 사용 연구가 진행 중임

- 암모니아를 연료로 구동하는 선박 파워트레인 시스템에 대한 연구는 내연기관과 연료전지를 중심으로 진행 중임

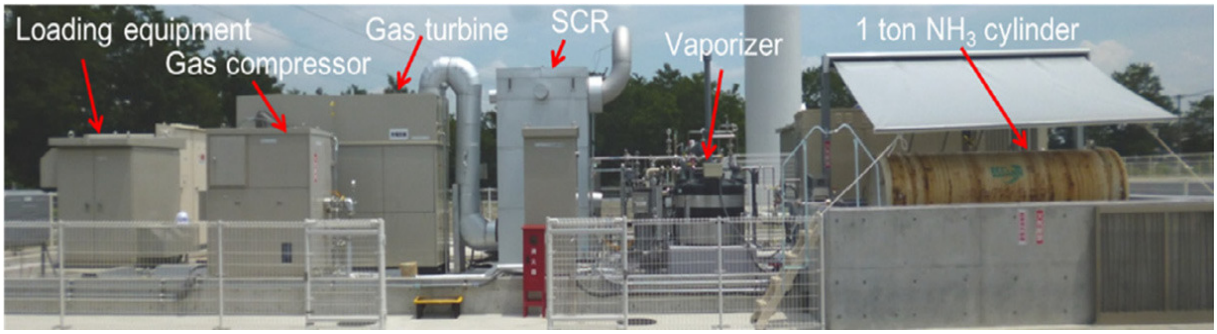
21) SCR 공정: 연소 배기가스에 환원제를 분사하여 질소산화물(NOx)을 무해한 질소 및 물로 전환시키는 기술

- 대형 선박의 경우 암모니아 내연기관 엔진과 SOFC를 연계한 하이브리드 시스템으로 발전해 나갈 것으로 예상됨
  * 한국기계연구원에서는 대형선박용 암모니아 엔진을 개발하는 과제를 해양수산부 지원으로 진행하고 있음

□ 암모니아 발전 기술

○ 암모니아의 수송/저장은 수소보다 용이한 장점이 있어 암모니아 전소, 다른 연료와의 혼소 발전의 연구가 진행되고 있음[22)]

- 日 AIST 산하 후쿠시마 재생에너지 연구소에서는 출력 50 kW의 마이크로 가스터빈을 운용하고 있으며 안정적인 연소가 가능함
  * 암모니아 단독, 등유·메탄 등과의 혼소(30 wt% 혼합)을 통하여 질소산화물 발생을 억제가능



<그림 13> 日 AIST에서 운용하고 있는 암모니아 가스터빈 발전 설비

- 두산에너빌리티, IHI중공업(일) 등에서 LNG, 메탄 등을 활용한 암모니아 혼소 발전에 대한 연구·실증이 진행되고 있음
- 암모니아는 500 ℃ 이상의 고온에서 99.7% 이상 질소와 수소로 분해되기 때문에 1,000 ℃ 이상 유지되는 연소로 통과 시 설비 내 잔류 암모니아는 존재하지 않음
- 암모니아로 인한 가스터빈 내 부식 문제도 발생시키지 않아 석탄화력을 대체할 수 있는 무탄소 화력발전으로 암모니아가 주목받고 있음

22) '탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성' 논문 내용 중 암모니아 연소부분 인용 및 재구성

○ 일본의 경우 호주, 사우디, 인도네시아 등에서 생산된 그린 암모니아 운송과 연계한 암모니아 가스터빈 연구개발이 정책적으로 추진되고 있음

- 경제산업성과 해외수출신용을 지원하는 국제협력은행(JBIC)과 일본무역보험의 주도로 현지로부터의 액상 암모니아 운송을 정책적으로 지원하고 있음

- 기업 주도의 컨소시엄을 구성하여 정부가 지원하고 수소/암모니아 생산을 위하여 해외 각지에 MOU 및 투자가 진행되고 있음

  * NEDO Ammonia Study Project: (일) NEDO, JERA, Marubeni, IHI, (호주) Woodside가 참여하는 세계적 규모의 암모니아 공급망 구축 프로젝트로 일본 석탄화력 탈탄소에 이용

  ** Saudi Blue Ammonia Shipment: (일) IEEJ, (사우디) 아람코, Sabic이 참여하는 프로젝트로 사우디 현지에서 블루 암모니아를 생산·운송하여 일본에서 가스터빈, 보일러의 원료로 이용

- 특히 가스터빈은 일본 대기업(중공업 계열) 중심으로 암모니아 혼소/전소 실증 연구가 진행되고 있음

  * 미쓰비시 중공업, Toyo Engineering, IHI 등에서 암모니아 가스터빈 개발이 진행되고 있음

- 암모니아 연료전지의 경우 국가 주도로 연구개발이 진행되고 있으며 AIST를 중심으로 차세대 에너지원으로 육성하고 있음

5. 결론

□ 탄소중립 시대에 대비한 CO_2 감축, 에너지 체계의 전환이 필요

○ 태양광, 풍력 등 신재생에너지의 확대에 맞춰 필요 시 에너지를 저장하고 사용할 수 있는 기술이 주목받고 있음

- 잉여전력의 저장/전환이 비교적 쉬운 수소와 암모니아 기술에 대한 관심도가 높아짐
- 특히 수소는 물, 화석연료 등에서 생산될 수 있고 활용 측면에서 친환경적인 자원임
- 저장/운송과정에서의 낮은 에너지 밀도 문제를 극복하고자 액화수소, 액상 암모니아 등의 기술이 등장하고 있음

□ (암모니아 정책) 수소 산업과 연계된 암모니아 정책 추진이 진행되고 있으며 국가별 특징에 맞는 정책이 설계되어 추진 중에 있음

○ (일본) 탈석탄 로드맵을 확정하고 암모니아를 연료로 도입하는 민관협의회가 출범

- 민간기업 중심의 암모니아 발전 실증이 이루어지고 있고 우수한 해외자원을 일본으로 도입하는 프로젝트도 추진
- 호주 등과 협력하여 그린수소의 암모니아 전환 수송 등의 프로젝트 추진

○ (호주) 풍부한 지하자원과 태양광을 활용한 수소/암모니아 정책이 추진

- 우수한 수소 기술을 확보하고 있는 일본·독일 등과의 협업으로 수소/암모니아 경제에서 다양한 프로젝트가 진행 중임

○ (유럽) EU 수소전략을 중심으로 수소/암모니아 정책이 추진되고 있음

- 민·관 파트너십을 출범하여 수소/암모니아의 활용·저장 관련 연구가 활발하게 진행 중임
- 독일의 경우 액화 기반의 수소 저장 기술개발 실증 연구가 추진되고 있음

○ (대한민국) 수소 중심의 밸류체인에 암모니아 관련 연구가 진행되고 있음

- 가스터빈의 암모니아 혼소발전, 암모니아 연료 보일러 등 활용 중심의 정책이 추진되고 있음
- 그린수소의 저장 매개체로 암모니아도 국가 주도의 집중적 투자가 예상됨

□ (암모니아 합성/추출) 수소의 암모니아 합성/분해에 관한 촉매 개발연구가 활발이 진행되고 있음

○ 암모니아 합성은 기존 Haber-Bosch 공정을 이용하며 고온/고압 조건을 극복하고자 금속 촉매의 개발이 활발함

- 합성 공정 시 발생하는 CO_2, 열에너지 저감을 위해 플라즈마/열 촉매 개발이 진행되고 있음

- 특히, 플라즈마 촉매는 Electride 계 촉매 대비 활성화에너지가 절반 수준으로 공정에너지 절감에 큰 역할을 할 것으로 전망됨

○ 수소 에너지 캐리어로서의 액상 암모니아가 주목받고 있음

- 기체 상태의 수소는 낮은 에너지밀도를 가지고 있어 저장/운송 효율성 측면에서 액상으로 전환하는 연구가 진행되고 있음

- 액화수소, 액상암모니아 저장이 대응 기술이며 액상암모니아는 액화수소 대비 낮은 냉각 조건과 손실 에너지도 낮은 장점이 있음

- 하지만 연료로 이용하기 위해서는 암모니아 분해과정이 필요하기 때문에, 암모니아 추출·직접 이용 등의 활용 연구도 진행되고 있음

○ 수소 이용을 위한 암모니아 분해 기술

- 열화학적 암모니아 분해, 알칼리 금속 아미드 분해, 알칼리 수전해 등의 기술이 개발 중이며 열화학적 암모니아 분해 기술이 가장 많이 사용되고 있음
  * SOFC(고체산화물 연료전지), 가스터빈 등에서 열화학적 암모니아 기술이 적용되어 연료로써 활용하고 있음

- 추출된 수소의 고순도화를 위해 멤브레인, PSA 등의 정제기술도 연계하여 수소를 추출하고 있음

□ (암모니아 활용) 암모니아의 직접 이용, 암모니아 분해 수소 이용 등의 기술을 활용하여 에너지원으로 사용

○ 연료전지의 연료로 암모니아를 사용하려는 연구개발 활동이 진행되고 있음

- 고온에서 작동하는 SOFC는 암모니아를 연료로 직접 사용할 수 있기 때문에 선박, 발전 분야에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있음

- AEMFC는 같은 저온형 연료전지인 PEMFC 대비 가격과 연료사용 유연성 측면에서 장점이 있으나 아직까지 연구개발 초기 단계임

○ 선박용 엔진, 발전용 가스터빈에 암모니아를 직접 이용하는 연구가 진행 중임

- 기존 인프라를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있으나 기존 화석연료 대비 낮은 연소특성, 잔류 암모니아, 질소산화물 등의 이유로 기존 연료 또는 수소와 혼소하는 연구가 먼저 진행되고 있음

□ 암모니아 기술의 발전 방향

○ 암모니아 합성에 필요한 에너지를 낮출 수 있는 촉매에 관한 연구가 유망할 것으로 보임

- 저온/저압에서도 암모니아 합성이 가능하고 압력/온도 변환 차가 크지 않은 공정 기술 개발이 필요

- 암모니아에서 수소를 추출하는 기술도 유망할 것으로 보이며 추출공정의 간소화, 저에너지화가 핵심임

○ 암모니아 연료 전환 촉진을 위한 법·제도 연계 추진

- 법·제도상으로 암모니아가 독성물질로 분류되어 있어 연료 활용 시 걸림돌이 될 가능성이 높음

- 다양한 실증평가와 안전성 평가를 통하여 법·제도의 현실화가 필요

○ 암모니아를 직접 사용하는 고효율 연료전지는 탄소중립 실현을 위한 미래 유망 아이템으로 평가됨

- 고가의 수소 PEMFC의 단점을 보완한 암모니아 AEMFC 기술 개발을 적극적으로 추진할 필요가 있음

- 질화 문제 해결을 통한 암모니아 SOFC 시스템 성능 및 내구성 확보가 필요한 상황임

- 내연기관 엔진, 가스터빈 등 다른 전원시스템과의 연계를 통해 고효율 하이브리드 에너지시스템으로 발전 필요

참고문헌

녹색기술센터(GTC), '주요국 탄소중립 기술정책 동향(II)', 2021.12.
산업통상자원부, '탄소중립을 위한 녹색(그린) 암모니아 협의체 출범 보도자료', 2021.7.
산업통상자원부, '수소·암모니아 발전 본격 추진 보도자료', 2021.12.
에너지경제연구원, '일본의 수소·암모니아 확대 전략과 관련기업 동향', 2021.12.
이수영, 이혜진 , '미래 수소 에너지 공급 산업에서 암모니아의 활용성', 공업화학, 2019(30), 667-672.
이후경, 우영민, 이민정 , '탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성', 한국연소학회지, 2021(26), 59-83.
장중철, '화력발전의 무탄소 연료전환 기술', 2022.5.
한국기계연구원, '수소 산업의 글로벌 기술동향 및 정책 전망', 「기계기술정책」, 2021.5.
한국에너지기술연구원, '탄소중립 연료: 암모니아 정책 및 산업 동향', 2021.7.
현대경제연구원, '탄소중립시대의 국제 질서 변화와 우리의 대응', 2021.4.
The Royal Society , 'Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store, 2020.2.
Iqbal et al. , 'Plasma Catalyst-Integrated System for Ammonia Production from H_2O and N_2 at Atmospheric Pressure', ACS Energy Letters, 2021(6), 3004-3010.
Kim HH et al. , 'Interim report of plasma catalysis: Footprints in the past and blueprints for the future', Int. J. Plasma Environ. Sci. Technology, 2021(15), 1-39.
Smith et al, 'Current and future role of Haber-Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape', Energy Environ. Sci. 2020(13), 331-344.

[URL]
전기저널 (http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4556)
Global Solar Atlas (https://globalsolaratlas.info/map)
JERA(https://www.jera.co.jp/)

기계기술정책 발간 목록

제 목	작성 연월
72. 독일 기계산업 경쟁력 분석과 시사점	2013.11.
73. 기계산업 2013년 성과 및 2014년 전망	2013.12.
74. 2014년 기계산업이 주목해야 할 트렌드 분석과 시사점	2014.02.
75. 우리나라 기계산업 품목별 수출 시장 점유율 분석과 시사점	2014.04.
76. 우리나라의 TPP 참여에 대비한 기계산업 품목별 관세 전략 수립	2014.09.
77. 2014 미래기계기술포럼코리아 주요 내용과 시사점	2014.11.
78. 기계산업 2014년 성과 및 2015년 전망	2014.12.
79. 최근 기계산업 대일무역역조 개선의 원인과 시사점	2015.06.
80. 기계산업의 빅데이터 활용 동향 분석과 시사점	2015.10.
81. 우리나라 해양플랜트 산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안	2015.12.
82. 기계산업 2015년 성과와 2016년 전망	2016.01.
83. 건설기계산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안	2016.05.
84. 4차 산업혁명과 기계산업의 미래	2016.11.
85. 기계산업 2016년 성과와 2017년 전망	2017.02.
86. 신기후체제에 대응한 농촌 바이오가스플랜트 사업의 기회	2017.07.
87. 해외 선도 기관과의 기계기술 연구 분야 비교 분석	2017.11.
88. 산업용 로봇 시장 동향과 대응	2017.12.
89. 기계산업 2017년 성과와 2018년 전망	2018.01.
90. 새로운 시대 소통 역량: 4차 산업혁명 연계기술	2018.07.
91. 국방분야 생존성 향상 기술 동향	2018.08.
92. 차세대 디스플레이 마이크로 LED 기술의 부상과 시사점	2018.09.
93. 기계산업 2018년 성과와 2019년 전망	2019.02.
94. 중국제조 2025 주요 제조장비 개발 계획과 대응 전략	2019.06.
95. 한·중·일 공작기계 및 기계요소 수출경쟁력 분석 및 제언	2019.07.
96. 미국 반도체 장비 기업의 성장과 시사점	2019.12.
97. 기계산업 2019년 성과와 2020년 전망	2020.01.
98. 글로벌 농기계산업 동향 분석	2020.02.
99. 포스트 코로나(Post COVID-19), 유망 기계기술 및 제언	2020.06.
100. 우리나라 제조장비기업의 성장·혁신·수익 패턴 분석과 시사점	2020.08.
100(특집호). 기계산업 데이터 활용 및 분석 방법 제언	2020.08.
101. 탄소중립 글로벌 동향과 기계기술 제언	2021.01.
102. 기계산업 2020년 성과와 2021년 전망	2021.01.
103. 수소 산업의 글로벌 기술동향 및 정책 전망	2021.05.
104. 인체 증강 기계의 동향과 전망	2021.08.
105. 미국 바이든 정부의 기후변화 정책과 기계산업 시사점	2021.12.
106. 기계산업 2021년 성과와 2022년 전망	2022.02.
107. 일본 제조기업의 디지털전환 특징과 시사점	2022.04.
108. 무탄소 에너지원으로서 암모니아 기술의 부상 및 시사점	2022.07.

Technology Policy
Mechanical Engineering Mε

기계기술정책

Technology Policy for Mechanical Engineering

:: No. 108 무탄소 에너지원으로서 암모니아 기술의 부상 및 시사점

| 발행인 | 박상진
| 발행처 | 한국기계연구원
| 발행일 | 2022.07.
| 기획·편집 | 기계기술정책센터
| 주소 | 대전광역시 유성구 가정북로 156
| 전화 | (042) 868-7539