

# 중국환경산업 INSIGHT

- 중국 암모니아 혼소 추진현황 -

2023년 9월호



## CONTENTS

---

### I. 암모니아 연료 기본현황

- ① 암모니아 기본현황 ..... 1
- ② 암모니아 연료 활용방안 ..... 3
- ③ 암모니아 혼소 특징 ..... 4

### II. 중국 암모니아 혼소 산업동향

- ① 중국 8대 중점산업 탄소배출 현황 ..... 6
- ② 중국 암모니아 혼소 산업동향 ..... 7
- ③ 중국 암모니아 혼소 기술개발 동향 ..... 9
- ④ 중국 암모니아 혼소 경제성 분석 ..... 12

### III. 그린 암모니아 시장현황

- ① 글로벌 그린 암모니아 시장현황 ..... 13
- ② 한·중·일 그린 암모니아 시장현황 ..... 14

### IV. 시사점 및 결론

- ① 석탄화력발전소 암모니아 혼소 연구방향 ..... 19
  - ② 중국 암모니아 혼소 향후전망 ..... 20
- 

발행일 : 2023.9.27

발행처 : KEITI 중국사무소

발행인 : 기획 및 책임총괄 / 박재현

주저자 / 차목승

공동저자 / 윤영근, 임승택, 성소묘, 김예일

---

## I 암모니아 연료 기본현황

### 1) 암모니아 기본현황<sup>1)</sup>

#### ○ 암모니아 기본개념

- (기본개념) 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 질소(N)와 수소(H)의 화합물로 연소과정에서 온실가스(CO<sub>2</sub>)를 배출하지 않아 기후위기 대응수단으로 활용가치를 지님
- (분류방식) 암모니아는 공기 중의 질소와 별도로 추출한 수소를 결합해 생성하며, 이때 결합하는 수소의 종류에 따라 그레이 암모니아, 블루 암모니아, 그린 암모니아로 분류됨

\* 향후 청정 암모니아(블루·그린)에 대한 활용도가 높아 질것으로 전망

< 암모니아 분류 >

구분	그레이 암모니아	블루 암모니아	그린 암모니아
생산방식	그레이 수소로 제조 (화석에너지를 활용한 수소 생산 방식)	블루 수소로 제조 (그레이수소+CCUS를 결합한 수소생산 방식)	그린 수소로 제조 (재생에너지를 이용한 수소 생산 방식)
온실 가스	발생	수소 생산 시 온실가스(CO <sub>2</sub> ) 발생	
	처리	대기 중 방출	CCUS 등 기술을 통해 탄소포집

자료 : 한국전력공사 홈페이지 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

- (활용용도) 농업용 비료·플라스틱·폭발물·의약품 제조, 선박용 탄소중립 연료, 수소 운반체, 암모니아 발전 등에 활용되고 있음. 특히 선박연료로 활용할 경우, 수소연료보다 기술적 난이도가 낮아 비교적 빠른 시일 내에 상용화될 것으로 예상되고 있음
- (수소운반) 암모니아는 수소보다 액화가 쉽고(액화온도 : 수소 -253°C, 암모니아 -33°C)로 액화수소 대비 약 1.5배의 수소를 저장할 수 있어 장거리로 운송할 경우, 액화 암모니아를 활용하는 것이 유리함

1) 전기저널(2022.5.4.), <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4556>, (검색일 : 2023.9.12.)

## ○ 합성 암모니아 주요특징

- (사용분야) 세계 합성 암모니아 산업은 주로 요소, 질산암모늄 및 각종 질소를 함유한 복합비료 등에서 주로 사용되며, 약 80%가 농업용 비료로 사용되고 있음. 나머지는 화학제품 원료로 사용되며, 에너지원으로 암모니아에 대한 연구는 아직 초기 단계임
- (기술개발) 현재 암모니아는 가장 전통적인 농업 비료분야에서 에너지 분야로 사용이 점차 확대되고 있음. 특히 수소 운반체로 사용될 수 있을 뿐 아니라, 수소에너지의 운송문제(암모니아로 저비용으로 운송가능) 해결 및 무탄소화를 추진할 수 있는 중요한 연료임
- (생산규모) 2021년 중국 암모니아 생산량은 5,758만t이며, 이때 암모니아 생산과정에서 탄소 배출량은 약 1.4억t으로 추정됨. 중국의 암모니아 생산량은 세계 약 30% 수준으로 비교적 높음

## ○ 암모니아를 통한 에너지절약 및 배출감축 추진

- (대체자원) 암모니아의 녹색, 고효율, 저탄소 생산은 에너지절약 및 탄소 배출 감축을 실현할 수 있으며, 특히 그린 암모니아는 탄소중립 목표 달성을 위한 그레이 암모니아를 대체하는 중요한 수단임
- (국제적 수요급증) 일본, 호주, 네덜란드, 영국 등 국가에서 그린 암모니아를 사용하여 재생에너지를 저장·추출하기 위한 계획을 설립하고 있음. 이로 인해 그린 암모니아 수요가 지속적인 증가추세를 보임
- (대체연료) 암모니아는 연료로 직접 연소되어 탄소배출, 기존 보일러 개조가 없어 수소산업의 발전 초기단계인 현재에서 가장 이상적인 대체 연료라 볼 수 있음. 따라서 탄소중립 및 수소에너지 운반체로서 암모니아를 통한 저탄소 사회 구축에 중요한 역할을 할 것으로 예상됨
- (직면한 문제) 그린 암모니아를 저렴하고 대규모로 생산하는 방법과 이를 운송하기 위한 수단이 현시점에서 가장 큰 문제임

## 2] 암모니아 연료 활용방안2)

### ○ 암모니아 연료 연소특징

- (주요특징) 암모니아 연료는 ▲연소과정이 비교적 깨끗하여 탄소배출 제로 실현 가능, ▲발열량이 타 연료대비 낮아 폭발가능성이 낮은 특징이 있음

< 각 연료별 연소특징 >

연료	압력(25°C) (MPa)	에너지밀도 (GJ·m <sup>-3</sup> )	발열량 (MJ·kg <sup>-1</sup> )	공연비*	최소 점화에너지 (MJ)
암모니아(NH3)	1.03	11.8	18.8	6.2	8
수소(H2)	70	3	121	34.8	0.02
메탄(CH4)	25	9	50	14.4	0.3
에탄올(C2H5OH)	0.1	21.2	26.9	6.5	0.14
휘발유	0.1	32.2	43.8	15.4	0.29
경유	0.1	35.4	42.5	15.2	-

자료 : 중국석탄잡지 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

\* 공연비(Air-fuel ratio) : 연소에 사용된 공기와 연료의 중량 혼합비율

### ○ 암모니아 연료 활용방안

- (혼합연소) 암모니아를 전통적인 연료(석탄·천연가스 등)와 직접 혼합 연소하여 석탄발전소의 에너지절약 및 탄소배출 제로를 실현할 수 있음
- (탄소저감) 발전 분야에서 암모니아가 가장 많이 사용되고 있는 부분은 혼소임. 특히 암모니아를 화력발전소에 많이 사용할 수 있다면, CO2 배출량 역시 감소시킬 수 있어, 향후 발전 잠재력이 높은 것으로 파악됨
- (연료전지) 암모니아는 발전소에서 혼소 뿐 아니라 이를 연료로 하는 연료전지의 실용화도 기대하고 있음. 일반적으로 연료전지는 수소와 산소의 화학반응 과정에서 발생하는 에너지를 전기에너지로 전환함
- (수소대체) 현재 단계에서 수소는 운송·보관이 어려움. 특히 안정적으로 공급하기 쉽지 않아 이를 암모니아로 대체한 연료전지 연구개발이 활발히 추진되고 있음

2) 중국석탄잡지(中国煤炭杂志, 2023.5.20.), [http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878\\_1081491912.shtml](http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878_1081491912.shtml), (검색일 : 2023.9.12.)

### ③ 암모니아 혼소 특징<sup>3)</sup>

#### ○ 석탄보일러의 혼소방식

- (혼소방식) 일정비율의 석탄분말을 가연성 청정에너지로 혼합하여 보일러에서 연소하는 방식으로 보일러에서 화염의 축방향 온도와 공연비 (Air-fuel ratio, 연소에 사용된 공기와 연료의 중량 혼합비율)를 제어하여 화염 내 오염물질 생성을 억제함
- (암모니아 혼소) 암모니아 혼소발전은 석탄과 암모니아를 혼합해 연소하는 방식이며, 암모니아는 무탄소 연료로 활용 가능함. 또한 보관·수송에 편리하며, 수소와 호환성이 높은 특징이 있음

#### ○ 암모니아 혼소 주요특징

- (기본원리) 석탄 연소과정에서 암모니아와 혼합연소하는 방법으로 주로 석탄 화력발전 및 열병합발전에 사용됨. 고온에서 분해되어 아미닐 라디칼(氨基自由基, aminyl radical)을 생성하고 NO<sub>x</sub>와 반응하여 N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O를 생성함
- (암모니아 생성방법) 암모니아 합성법은 대부분 하버-보슈법\*이며, 이는 철-알루미늄 촉매를 사용하여 200~350기압의 압력과 500°C의 온도에서 질소와 수소를 반응시켜 암모니아를 생성함
- \* 하버-보슈법(Haber-Bosch法) : 질소와 수소의 혼합물에 적당한 온도·압력을 가하고 촉매를 써서 암모니아를 합성하는 방식
- (발전효율) 암모니아는 역청탄 및 아역청탄\* 대비 발열량은 낮음. 따라서 석탄 사용량을 줄이면, 입열량(heat input, 연료 발열량 x 연료 투입량)이 감소하며, 이때 감소한 입열량만큼 암모니아를 주입해 발전효율을 맞출 수 있음

3) 거우생활망(巨宇生活网, 2023.6.4), <http://www.iocll.com/woai/395979.html>, (검색일 : 2023.9.12.)

중국석탄잡지(中国煤炭杂志, 2023.5.20.), [http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878\\_1081491912.shtml](http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878_1081491912.shtml), (검색일 : 2023.9.12.)

※ 역청탄 및 아역청탄 설명

- (역청탄, 烟煤, bituminous coal) 흑색 또는 암흑색으로 유리광택이나 수지광택이 있는 석탄임. 석탄을 휘발성 물질의 함유량으로 분류할 경우, 휘발성 물질이 14% 이상으로 탄화도는 갈탄보다 높고 무연탄보다 낮은 석탄의 한 종류임. 유연탄 또는 흑탄이라고도 함
- (아역청탄, 次烟煤, Subbituminous coal) 석탄화도를 분류함에 있어 갈탄보다 높고 역청탄보다 낮은 석탄으로 주로 연료용 및 발전용에 주로 사용됨. 역청탄 중 석탄화도가 낮은 것으로 점결성 유무에 따라 약점결탄과 비점결탄으로 분류됨

\* 출처 : 화학대사전 발췌

- (설비개조 최소화) 암모니아 혼소발전은 시설개조를 최소화하고 이를 바탕으로 기존설비의 운영효율 및 경제적 효익을 향상시킬 수 있음. 특히 암모니아 혼소발전은 탄소배출이 없어, 장기적으로 화석에너지의 단점을 보완하는 연소방식이 될 것으로 전망됨

○ 2014년 일본에서 최초 개발

- (최초개발) 2014년 일본에서 세계최초로 암모니아를 연료로 하는 가스 터빈 발전을 개발함. 가스터빈 발전은 연료가 연소될 때, 발생하는 가스 터빈을 가동시켜 전기를 생산함. 이때, 암모니아를 30% 섞어 전기를 생산하는데 성공함
- (정책제정) 2021.10월 일본정부 내각회의에서 결의된 ‘제6차 에너지 기본계획’에 수소발전과 암모니아 발전이 처음으로 전원구성(电源构成, 에너지별로 분류된 발전비율)에 포함되면서 석탄발전소의 암모니아 혼소 계획을 명확하게 제시함
- (개발사례) 일본이시카와섬공사(IHI) 10MW 규모의 석탄분말 및 암모니아 혼소 시범공정 추진, 일본에너지공사(JERA)는 석탄을 암모니아·수소로 혼합하기 위한 기술로드맵 수립, 2021.10월 1,000MW 열병합발전소에서 20% 비율의 암모니아 혼소 시범공정 등을 추진함

## II 중국 암모니아 혼소 산업동향

### 1 중국 8대 중점산업 탄소배출 현황<sup>4)</sup>

#### ○ 중국 8대 중점산업 탄소배출 비중 약 90% 차지

- (중점산업) 중국의 8대 중점산업인 전력, 철강, 시멘트, 야금, 석유화학·화학공업·석탄화학, 교통, 건설이며, 동 산업은 전국 탄소배출량의 약 90%를 차지하고 있음
- (공업분야) 그중, 가장 많은 비중을 차지하는 산업은 전력·열생산으로 약 51.4%를 차지하며, 다음으로 공업생산 약 27.9%로 나타남. 이를 통해 공업 분야의 탄소감축이 시급한 것을 확인할 수 있음
- (전력공급) 중국의 자원 보유조건 특성으로 인해 전력공급은 오랫동안 高탄소 배출인 화석에너지에 크게 의존하고 있음. 특히 석탄화력발전은 2020년 기준 전체 발전량 약 63.2%로 여전히 높은 비중을 차지하고 있음
- (석탄발전) 중국은 석탄화력발전 산업의 규모가 매우 크며, 이로 인해 2021년 석탄발전 설비용량은 10.4억kW에 달해 세계 화력발전 설비의 약 50%를 차지하고 있음

#### ○ 저탄소 연료 혼소기술 수요 확대

- (수요확대) 전통적인 석탄발전설비의 고효율, 청정 등으로 전환을 위해 기존 연료와 유기적인 기술결합으로 저탄소로 발전을 촉진시키고 있어, 전력산업의 혼소기술 수요가 확대되고 있음
- (최소개조) 직접적인 저탄소 연료의 혼소는 탄소배출 감축 뿐 아니라 석탄 화력발전소의 기존 설비를 최대한 활용할 수 있는 특징이 있음. 따라서 저탄소 및 탄소중립을 빠르고 안정적으로 전환하는 매우 중요한 기술임

4) 과학기술논문(科学技术论文, 2022.3.29.), <http://www.qikanzj.com/lfw/kjlw/39303.html>, (검색일 : 2023.9.14.)

## 2 중국 암모니아 혼소 산업동향<sup>5)</sup>

### ○ 기존 석탄보일러 탄소저감 기술현황

- (기술현황) CCUS는 현재 중국 내외에서 매우 중요한 탄소배출 저감 관련 대표적인 기술로 알려져 있음. CCUS는 석탄보일러의 석탄 연소과정에서 생성된 CO<sub>2</sub>를 분리·포집하고 이를 활용하거나 밀봉하여 적절한 장소로 운송하는 것을 목표로 많이 적용하고 있음
- (주요기술) CCUS 효율 향상 및 석탄 연소 가스의 CO<sub>2</sub> 농도를 증가시키기 위해 일반적으로 ‘산소 부화 연소기술\*’이 사용되며, 기존 연소에서 발생하는 연기의 경우, CO<sub>2</sub> 농도가 높지 않아 화학적 흡수법을 주로 사용됨

※ 산소 부화 연소기술(oxygen enrichment, 富氧燃烧技术)

- (기술정의) 물리적 또는 화학적 방법을 사용하여 공기 중의 산소를 수집함. 이때 가스의 산소함량은 21% 이상이 되도록 함. 또한 기존 발전소 보일러 시스템을 기반으로 연소 공기를 고순도(高纯度) 산소로 대체하는 동시에 연소가스 순환을 보조하는 연소기술은 상대적으로 비용이 저렴하고 규모화가 용이한 등 장점이 있음

\* 출처 : 바이두백과 번역·발췌

- (원천적 탄소봉쇄) 석탄화력발전소의 CO<sub>2</sub> 생성을 원천적으로 줄이기 위해서는 바이오매스 또는 재생에너지로 생산된 수소를 혼합하는 것이 가장 좋은 방법으로 알려져 있음
- (장기적 개발필요) 하지만, 중국의 현지상황에 따라 완전한 바이오매스 연료공급 및 소비 산업체인은 여전히 장기적인 개발과정이 필요한 상태임. 또한 수소 저장·운송에서 발생하는 단점(비용·기술난이도 등)으로 석탄화력발전소의 혼소 산업에서 적용이 제한되고 있음

5) 길정매기술(洁净煤技术, 2022.8.28.), <https://wap.jjmjs.com.cn/artdetail-1105.html>, (검색일 : 2023.9.14.)  
 입정산업연구망(立鼎产业研究网, 2023.6.1.), <http://www.leadingir.com/trend/view/7614.html>, (검색일 : 2023.9.14.)

## ○ 중국 청정에너지 기술발전 대대적 추진

- (청정에너지 기술발전) 중국은 전력공급을 늘리는 동시에 CO2 배출량 감축 강화를 요구하고 있음. 특히 암모니아 혼소 분야 기술수준은 이미 선진국 수준까지 도달한 것으로 파악됨
- (기술선도) 암모니아 비율 35% 혼소기술을 세계최초로 개발한 것으로 보이며, 향후 동 기술을 통해 중국 내 화석연료를 이용하는 화력발전의 CO2 배출량을 대폭 감축시킬 것으로 전망됨
- (CO2 최대 배출산업) 중국은 최근 몇 년 동안 그린에너지 산업 분야가 많은 발전을 이뤘지만, 여전히 대부분 화력발전소를 통해 전력을 공급함. 하지만 중국 발전산업의 CO2 배출량은 전체 약 30%를 차지하는 만큼 많은 비중을 차지하고 있음
- (혼소기술) 화력발전은 중국의 전력공급에서 대부분은 차지하는 만큼 단기적으로 완전히 대체하는 것은 쉽지 않음. 따라서 화력발전의 CO2 배출량을 감축을 위해 암모니아 혼소 등을 적용하여 탄소감축을 추진하는 것이 현 단계에서 가장 효과적인 방법으로 전망됨

## ○ 안정적인 암모니아 연소를 위한 연소조건

- (연소특징) 다른 가스연료 대비 발열량이 낮고 발화온도가 높아 발화 지연 시간이 오래 걸림. 또한 화염 전파 속도가 낮으며, 상온조건에서 안정적인 화염을 유지하기 쉬지 않음
- (고온연소) 가스 연료에 비해 석탄 분말의 발화 등 연소특징은 좋지 않기 때문에 효율적인 연소를 보장하기 위해서 보일러 내부를 고온에서 연소 하도록 유지해야 함
- (안정적 연소보장) 보일러 내 온도는 일반적으로 1,000°C 이상이며, 이를 연소기의 벽면에 가까이 설치할 경우, 보일러 내 여열에너지로 내부를 고온으로 변화시켜 암모니아의 효율적인 연소를 보장해야 함

### ③ 중국 암모니아 혼소 기술개발 동향<sup>6)</sup>

#### ○ CO2 배출감축을 위한 최적의 방안

- (초기단계) 암모니아 개발사례는 일본에서 먼저 개발되었지만, 35% 비율 암모니아 혼소는 중국이 최초로 개발함. 또한 400MW 대형 보일러에서도 암모니아(비율 35%) 혼소 기술을 개발공식 발표했지만, 아직 상용화까지는 시간이 더 필요할 것으로 보임
- (기술개발) 2022.1월, 국가에너지그룹은 북경시에서 진행된 기술발표회에서 세계최초로 40MW 석탄보일러에 암모니아(비율 35%) 혼소기술 적용사례를 공식 발표함. (p.10 참고) 현재 암모니아 혼소기술은 대부분 20% 비율의 암모니아를 사용하는 것으로 파악됨
- (최적방안) 하지만, 현재 암모니아 생산능력 한계 등의 이유로 단기간에 석탄을 완전히 대체하기는 쉽지 않은 상황임. 따라서 암모니아 혼소를 통해 석탄보일러에서 배출되는 CO2 배출 감축을 추진할 것으로 보임
- (탄소감축) 암모니아 혼소는 설비 작동에 거의 영향을 미치지 않고, 연료 연소 및 NOx 배출이 기존 석탄 보일러 대비 우수함. 따라서 탄소감축을 위한 중단기적 개조기술이 될 것으로 추정됨
- (적용확대) 암모니아 혼소는 중국의 ‘더블탄소’ 목표달성을 위한 중요한 역할을 할 것으로 기대됨. 특히 향후 대용량 석탄보일러의 시범공정을 적극 추진하여, 산업 전체로 확대를 촉진시킬 것으로 전망됨
- (적용확대) 중국은 최근 35% 비율의 암모니아 혼소 개발성공을 바탕으로 다양한 석탄발전소에 도입하여, 암모니아 혼소 상용화를 앞당길 것으로 보임. 또한 1,000MW 이상 대용량 석탄보일러 역시 시범 공정을 적극 추진할 것으로 전망됨

6) 길정매기술(洁净煤技术, 2022.8.28.), <https://wap.jjmjs.com.cn/artdetail-1105.html>, (검색일 : 2023.9.14.)  
 입정산업연구망(立鼎产业研究网, 2023.6.1.), <http://www.leadingir.com/trend/view/7614.html>, (검색일 : 2023.9.14.)

## 참고1 중국 석탄보일러 암모니아 혼소 개발사례

< 국가에너지그룹 연태용원전력기술주식유한공사 사례7) >

### ○ 2022.1월 중국 암모니아 35% 비율의 혼소 세계 최초로 공식발표

- (세계최초) 2022.1월, 국가에너지그룹(国家能源集团)의 연태용원전력기술주식유한공사(烟台龙源电力技术股份有限公司)에서 40MW 석탄보일러에서 암모니아 비율 35%의 혼소 방식을 세계 최초로 공식발표함. 이는 중국 석탄 연소설비의 CO2 배출감축을 위한 발전방향으로 추진됨
- (탄소중립) 중국에서 CO2 배출량이 가장 많은 산업은 석탄화력발전(약 34%)임. 따라서 석탄화력발전의 CO2 배출량 감축은 중국의 탄소중립 목표실현을 위한 가장 중요한 분야임
- (저탄소 연료) 암모니아는 청정에너지라 불리는 수소에 비해 부피, 에너지 밀도가 높고 단위 에너지당 저장비용이 낮음. 또한 특히 대규모 저장과 운송 인프라와 기술수준이 성숙단계로 발전 잠재력이 많은 청정에너지 운반체이자 저탄소 연료임
- (기술성과) 처음으로 40MW 석탄보일러에 암모니아 비율 35%를 혼소한 방식의 시범공정이며, 암모니아 비율을 조절 가능한 저질소 석탄 분말 연소기를 개발함. 또한 현재 혼소발전에 대한 전반적인 기술연구를 완료한 것으로 보이며, 이를 대규모 상용화를 위한 실증이 필요한 단계임
- (개조간단) 암모니아 혼소는 석탄보일러의 연소과정에 영향을 거의 미치지 않기 때문에 기존 석탄보일러 본체 구조, 연소설비 등을 크게 개조하지 않고, 암모니아 혼소 설비로 적용하여 CO2 배출을 크게 감축시킬 수 있음

7) 과기일보(科技日报, 2022.1.25.), <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588119/c22901010/content.html>, (검색일 : 2023.9.16.)

## &lt; 안휘에너지전력그룹 안휘에너지동능발전유한공사 사례8 &gt;

## ○ 2023.4월, 세계 최초 300MW 석탄화력발전소 암모니아 혼소 시범공정

- (세계최초) 2023.4월 안휘에너지전력(皖能电力) 산하의 안휘에너지동능발전유한공사(皖能铜陵发电有限公司)는 세계 최초로 300MW 대규모의 석탄화력발전소 암모니아(비율 35%) 혼소 시범공정을 추진함
- (운영현황) 암모니아 투입량 21t, 암모니아 연소율 99.99%에 달하고 암모니아 배출량은 2mg 미만으로 배출됨. NOx 배출농도는 기존에 설치된 탈질설비로 제어 가능한 수준이며, 보일러 효율은 석탄 연소 조건과 동일하게 나타남
- (실증방법) 1년간 100~300MW 석탄발전설비에 9번 이상 반복적으로 실증을 추진함. 또한 암모니아 비율 역시 10~35%까지 다양한 조건에서 혼합하면서 안정적으로 작동되도록 하는 핵심기술을 개발함
- (국제선도) 중국은 이러한 대규모 석탄화력발전소의 高비율의 암모니아 혼소방식을 통해 청정에너지 및 고효율 연소기술 분야, 특히 석탄화력발전소의 에너지절약, 탄소배출 감축, 녹색발전을 이끌 것으로 전망됨
- (향후계획) 암모니아 비율을 50%까지 높인 기술을 연구개발 및 테스트할 예정임. 특히 1,000MW 이상 규모에서 안정적인 운영이 가능하도록 지속적인 시범공정을 추진할 예정임
- (발전기대) 대규모 석탄화력발전소에 암모니아 혼소가 시범 운행되면서 중국의 암모니아 혼소는 고효율 연소기술의 응용단계로 진입된 것으로 보이며, 이를 통해 다양한 기술발전이 촉진될 것으로 보임
- (전국확대) 이번 시범공정을 통해 대규모 석탄화력발전소의 암모니아 혼소가 전국적으로 광범위하게 확대되는 촉매제 역할을 할 것으로 기대됨

8) 신화사(新华社, 2023.4.8.), <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762618816112400999&wfr=spider&for=pc>, (검색일 : 2023.9.16.)

#### 4] 중국 암모니아 혼소 경제성 분석<sup>9)</sup>

##### ○ 암모니아 혼소를 통한 개조 원가절감 기대

- (원가절감) 암모니아 혼소는 개조원가 등 다방면에서 기타 연소방식 대비 장점이 많은 것으로 나타남. 특히 개조원가가 순수산소 연소방식에 비해 낮고, 운영복잡성 등 대부분 분야에서 기술적으로 많은 장점이 있음

< 암모니아 혼소 및 기타 연소방식 비교 >

구분	암모니아 혼소	순수산소 연소	연소 후 CO2 흡수
개조원가	낮음	높음	높음
운영원가	중간	높음	높음
운영복잡성	낮음	매우 높음	높음
원료유형	재생에너지+석탄	재생에너지+석탄	높음
연료가격	중간	높음	높음
설비부피	작음	큼	큼

자료 : 입정산업연구망(立鼎产业研究网) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

- (탄소배출) 600MW 석탄화력발전 설비를 예를 들면, 평균적으로 1kWh의 전력을 생산하기 위한 화석연료(표준석탄)는 약 300g이 필요함. 이를 발전설비의 연간 평균 운행시간인 4,000h로 계산할 경우, CO2 배출량은 약 190만t에 달함
- (탄소감축) 암모니아 혼소비율을 25%, 30%, 35%로 적용할 경우, 탄소 배출량은 각각 143.3만t, 133.8만t, 124.2만t으로 감축된 것으로 파악됨
- (경제효익) 각각의 탄소감축량을 2022년 지방탄소시장 평균가(50위안, 약 9,100원)로 거래할 경우, 암모니아 혼소를 통해 2,385만 위안(약 43.7억 원), 2,862만 위안(약 52.4억 원), 3,339만 위안(약 61.2억 원)의 경제적 효익이 발생함

< 암모니아 혼소 비율에 따른 탄소감축량 비교(만t) >

구분	연간 현황		
	탄소배출량	탄소감축량	경제효익(만 위안)
화석연료	190	-	-
혼소 비율	25%	47.7	2,385
	30%	57.2	2,862
	35%	66.8	3,339

자료 : 입정산업연구망(立鼎产业研究网) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

9) 중국석탄잡지(中国煤炭杂志, 2023.5.20.), [http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878\\_1081491912.shtml](http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878_1081491912.shtml), (검색일 : 2023.9.12.)

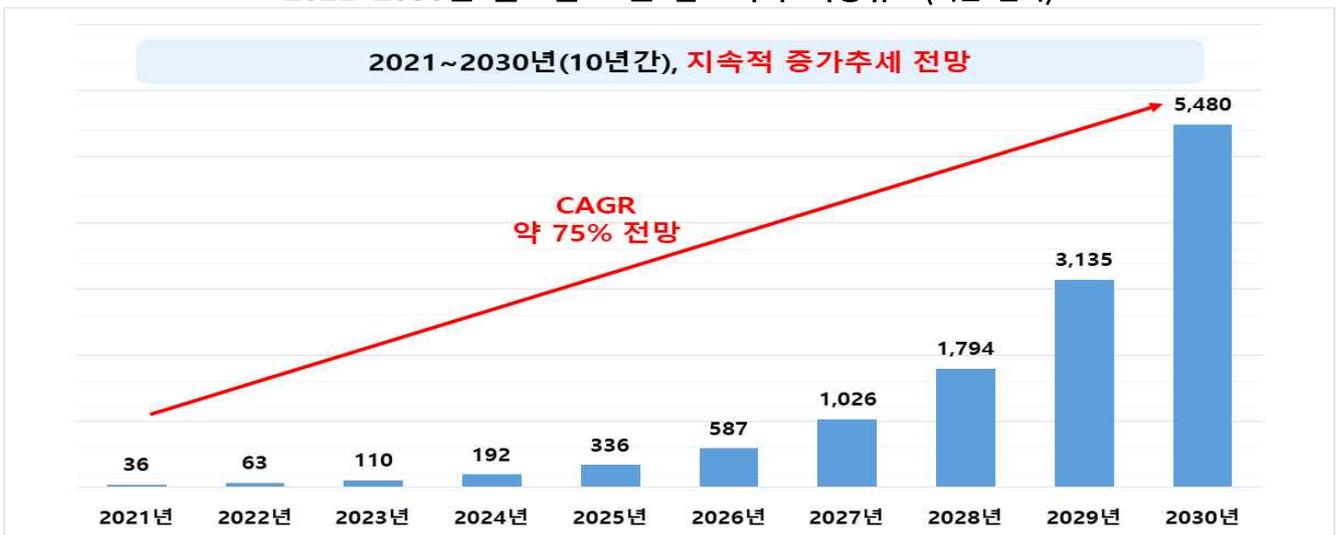
## III 그린 암모니아 시장현황

### 1 글로벌 그린 암모니아 시장현황<sup>10)</sup>

#### ○ 글로벌 시장현황

- (초기단계) 현재 그린 암모니아 산업은 아직 초기 단계이며, 상업화 및 규모화는 시간이 더 필요할 것으로 보임
- (발전촉진 기대) 전 세계가 탄소감축에 대한 인식 향상 및 탄소배출 및 대기오염방지에 관한 법률 개선이 강화됨에 따라 그린 암모니아의 산업 발전이 촉진될 것으로 전망됨
- (시장규모) 소후재경(搜狐财经)에 따르면, 2022년 글로벌 그린 암모니아 시장규모는 약 63백만 달러(약 842억 원)로 나타남. 특히 2030년 5,480백만 달러(약 7.3조 원)로 2021~2030년(10년)간 CAGR은 약 75%를 기록하며, 지속적인 증가추세를 보일 것으로 전망됨

< 2021~2030년 글로벌 그린 암모니아 시장규모(백만 달러) >



자료 : 소후재경(搜狐财经) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

10) 대합시에너지(大合新能源, 2023.9.17.), [https://www.sohu.com/a/721323075\\_121687748](https://www.sohu.com/a/721323075_121687748), (검색일 : 2023.9.21.)  
소후재경(搜狐财经, 2023.8.8.), <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773630395334402965&wfr=spider&for=pc>, (검색일 : 2023.9.21.)  
화경정보망(华经情报网, 2022.9.26.), <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744998612663840121&wfr=spider&for=pc>, (검색일 : 2023.9.21.)

## ② 한·중·일 그린 암모니아 시장현황<sup>11)</sup>

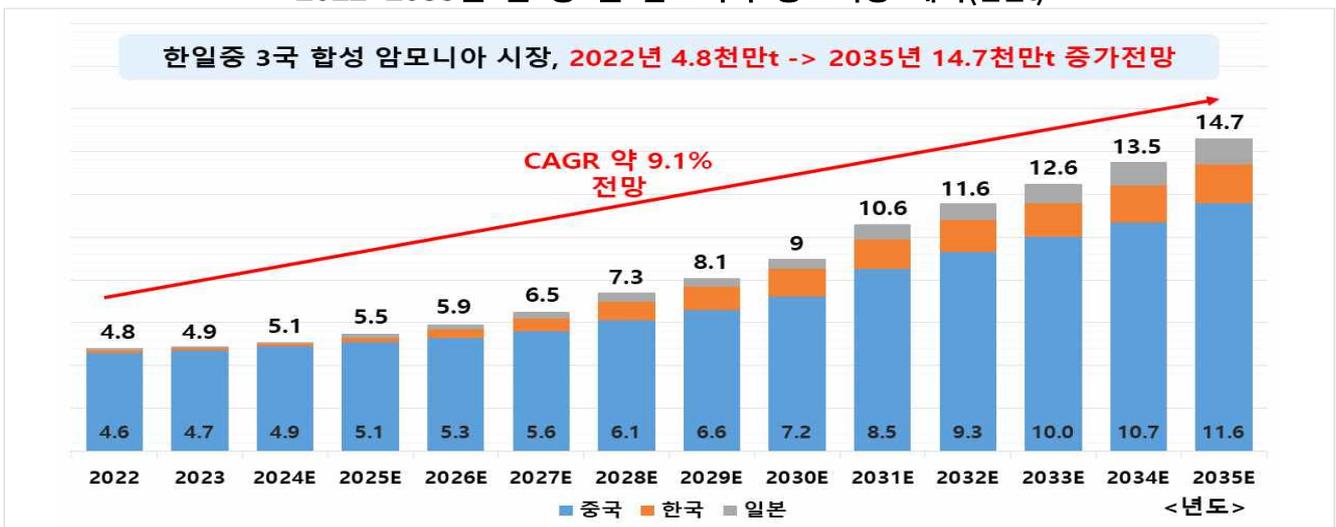
### ○ 한·일 암모니아 연료 응용분야 수요확대 기대

- (암모니아 연료 수요급증 전망) 현 단계에서 한국과 일본의 경우, 합성 암모니아 시장규모는 비록 작지만, 암모니아 연료 응용분야에 대한 선진 기술 개발 및 정책지원으로 2035년까지 한·일 양국은 그린 암모니아 수요가 10배 이상 증가할 것으로 전망됨
- (수입확대) 한·일 양국이 자체 생산하는 암모니아 규모는 매우 제한적이기 때문에, 대부분을 수입에 의존하고 있음. 이러한 상황으로 볼 때, 향후 양국의 그린 암모니아 수입 역시 수요가 늘어날 것으로 보임

### ○ 한·중·일 암모니아 소비량 전망

- (지속적 증가전망) 한·중·일 3국의 합성 암모니아 시장은 비교적 빠르게 성장해 2022년 4.8천만에서 2035년 14.7천만까지 확대될 것으로 보임. 특히 동 기간(14년간) CAGR 약 9.1%로 지속적인 증가추세를 보일 것으로 전망됨

< 2022~2035년 한·중·일 암모니아 총소비량 예측(천만t) >

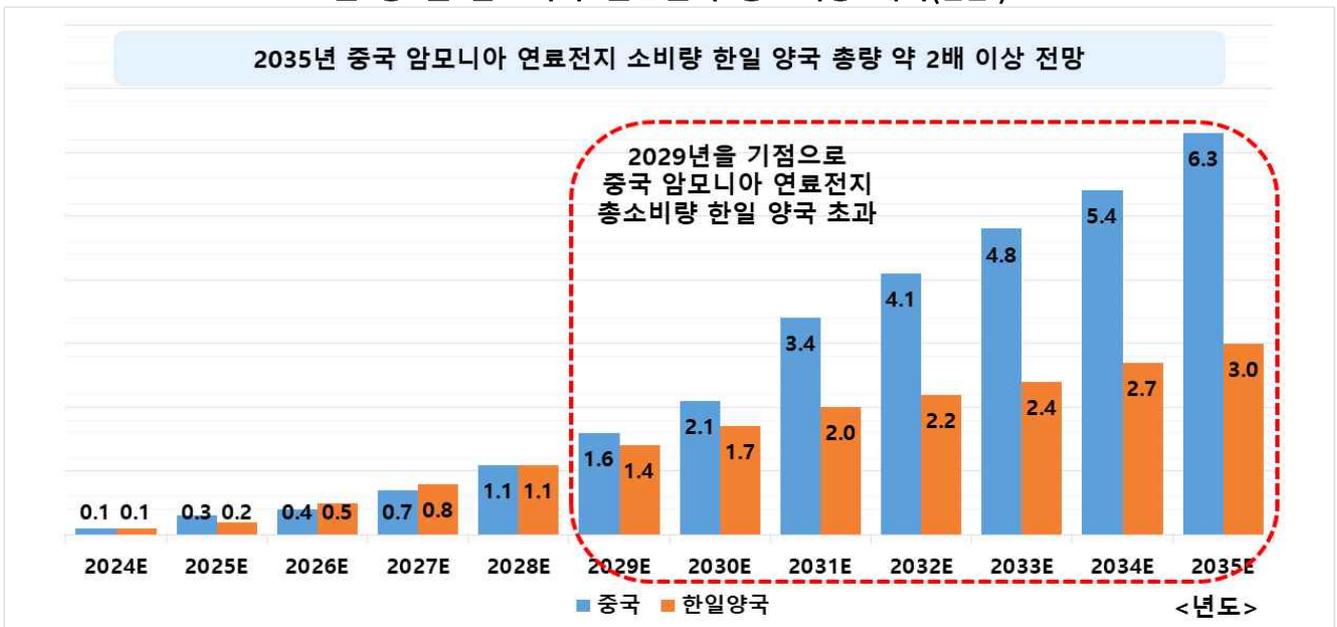


자료 : 소후재경(搜狐财经) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

11) 대합시에너지(大合新能源, 2023.9.17.), [https://www.sohu.com/a/721323075\\_121687748](https://www.sohu.com/a/721323075_121687748), (검색일 : 2023.9.21.)  
 소후재경(搜狐财经, 2023.8.8.), <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773630395334402965&wfr=spider&for=pc>, (검색일 : 2023.9.21.)  
 화경정보망(华经情报网, 2022.9.26.), <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744998612663840121&wfr=spider&for=pc>, (검색일 : 2023.9.21.)

- (연료전지) 2035년 한·중·일 3국의 암모니아 소비량(약 14.7천만t) 중 연료로 사용되는 암모니아는 약 9.3천만t으로 시장점유율 약 63%로 추정됨
  - (중국현황) 현 단계에서는 한·일 양국의 암모니아 동력전지 산업규모가 중국보다 앞서 있기 때문에 단기적으로는 한·일 양국의 동력 암모니아 소비총량이 더 많을 것으로 보임
  - (향후전망) 하지만 중국의 급격한 산업발전으로 인해 암모니아 동력 연료전지 소비량은 2035년 약 6.3천만t으로 한·일 양국 소비량(약 3천만t)의 2배 이상을 기록할 것으로 추정됨
- \* 2029년을 기점으로 중국의 총소비량이 한·일 양국의 총소비량을 초과할 것으로 보임

< 한·중·일 암모니아 연료전지 총소비량 예측(천만t) >



자료 : 소후재경(搜狐财经) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

- (산업전환 촉진) 아직 초기 단계의 그린 암모니아 생산 공정은 여전히 전통적인 합성 암모니아 시장이 대부분이지만, 향후 기술개발 등으로 그린 암모니아 연료를 활용한 녹색 저탄소로 산업전환을 촉진시킬 것으로 전망됨

## ○ 한·중·일 그린 암모니아 시장발전 현황

### < 한국현황 >

- (로드맵 발표) 2021.12월 산자부 주관으로 열린 ‘제2차 수소·암모니아 발전 추진회’에서 2022년 수소·암모니아 발전의 시작해로 발전계획과 로드맵을 수립하여, 세계 1위 수소·암모니아 발전국을 지향함
- (발표내용) 정부 관계자는 2022년 총 400억 원을 관련 설비 인프라 구축에 투입하여, 2023년까지 ‘수소·암모니아 발전 가이드라인’을 제정해 LNG 발전소에서 해당 기술사용을 추진하겠다고 밝힘
- (협력강화) 한국정부는 공기업 및 민간기업의 협력을 확대하도록 장려하며, 특히 2022.1월부터 두산중공업·현대중공업·롯데정밀화학 등 민간기업과 친환경 암모니아 혼소발전 기술개발을 공동으로 추진함
- \* 한국남부발전 2024년 이후부터 수소·암모니아 혼소 상용화 추진 계획임
- (향후목표) 2030년까지 암모니아 혼소발전 상용화 실현, 암모니아 혼소발전 비율 3.6%까지 확대 및 2035년까지 지역별 천연가스 화력발전소를 액화 천연가스 및 암모니아 연료 사용 비중 30% 이상 적용하도록 함

### < 한국 그린 암모니아 발전규획 >



자료 : 소후재경(搜狐财经) 등 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 정리

## < 중국현황 >

- (정책동향) 2021년부터 에너지 구조전환과 소비감축을 촉진시키기 위해 그린 수소·암모니아 등과 같은 다양한 정책이 집중적으로 발표됨
- (에너지절약) 2022.2월, 「에너지 소비량이 많은 중점산업의 에너지절약 및 탄소감소 전환 개조를 위한 실시지침(高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022年版))」(국가 발개위 등 4개 부처)에 따르면, 에너지 고소비 산업에서 전통적인 암모니아의 원료구조 전환, 기술 최적화 추진, 낙후된 저효율 생산설비 도태 및 그린 암모니아로 산업전환을 제안함
  - \* (그린 암모니아 생산능력) 2022년 350만t → 2023년 800만t 확대 계획
- (수소산업 확대) 2022.3월, 「2021~2035년 수소산업 발전 중장기 계획(氢能产业发展中长期规划(2021-2035年))」(국가 발개위·에너지국)에 따르면, 합성 암모니아 및 기타 산업의 저탄소 공정으로 전환을 적극적으로 추진함. 또한 화석에너지를 대체하기 위해 재생에너지 원료인 수소 시범산업 발전촉진을 요구함
- (연료산업) 2022.8월, 「공업분야 탄소피크 실시방안(工业领域碳达峰实施方案)」(공업정보화부·발개위·생태환경부)에 따르면, 그린·스마트 선박 개발을 위해 선박용 하이브리드 LNG 동력, 배터리, 암모니아·수소연료 등 저탄소 청정 에너지 설비의 연구개발을 강화함
- (향후목표) 중국은 ‘더블탄소(2030 탄소피크 및 2060 탄소중립)’ 목표와 공급측 개혁의 영향으로 전통적인 합성 암모니아에서 그린 암모니아 산업으로 전환은 더욱 가속화될 것으로 보임
  - (발전촉진) 전국적으로 통일된 ‘그린전력-그린수소-그린암모니아’의 시장 체제 및 표준·시스템 구축을 가속화하여, 해당 분야의 기술개발을 적극 지원할 것으로 보임. 특히 그린 암모니아 관련 정책지원으로 산업발전을 가속화 시킬 것으로 전망됨

**< 일본현황 >**

- (에너지 구조전환) 2021.10월, 일본정부가 발표한 ‘제6회 에너지 기본계획’은 2030년까지 전력구조를 재생에너지(약 37%), 원자력(약 20%), LNG(약 20%), 석탄(약 20%), 석유(약 2%) 및 수소·암모니아(약 1%)로 규정되어 있음
- (높은 석탄화력 비중) 일본은 G7국가와 비교했을 때, 석탄화력 비중이 비교적 높은 편임. 특히 독일과 마찬가지로 석탄발전에 대한 의존도가 높지만, 2021년 재생에너지 비율은 독일 42%에 반해 일본은 22%에 불과함
  - (암모니아 혼소 개발강화) 일본은 재생에너지가 부족하기 때문에 전력 산업의 탈탄소화를 암모니아 혼소를 추진하기 위해 해당분야 기술개발을 강화하고 있음 \* 현재 일본이 암모니아 혼소 분야 국제적으로 선도 중
  - (수요확대) 앞서 언급된 바와 같이, 2030년까지 전력구조 중 석탄 연료에서 암모니아 혼소를 활용하도록 적극 추진하고 있어, 이에 대한 대량의 그린 암모니아 수요가 발생할 것으로 보임
- (향후목표) 2050년까지 각 산업별 그린 암모니아 산업발전 계획을 발표함. 대부분 2021년부터 각 산업별 시범사업을 추진하여, 2030년부터 상용화를 목표로 하고 있음
  - (혼소발전) 2021년 석탄-암모니아(비율 20%) 혼소발전 시범추진, 2024년 암모니아 혼소로 발전소 개조추진, 2030년 석탄-암모니아 혼소 비중 확대 추진 등을 발표함
  - \* 2040년부터 암모니아 비율 확대 및 순수 암모니아 연료를 이용한 시범공정 추진 예정
  - (선박운항) 2021년 선박 연료를 암모니아로 대체하는 기술을 개발하여, 시범운행 하였으며, 2030년부터 상용화를 목표로 지속적인 개발을 적극 지원하고 있음

## IV 결론 및 시사점

### 1 석탄화력발전소 암모니아 혼소 향후 연구방향<sup>12)</sup>

#### ○ 암모니아 혼소 향후 연구방향

- (NOx 제어필요) 암모니아 혼소는 석탄화력발전소의 탄소감축을 크게 줄일 수 있지만, 보일러 내 온도 특성이 변화가 없고, 연료의 질소함량에 따라 NOx가 배출될 수 있음. 하지만 이는 탈질설비 등을 통한 효과적인 제어가 필요함
  - (심층연구 필요) 암모니아를 재생에너지 운반체로 사용하여 열, 전력, 기타 응용분야에서 탄소배출 감축 및 제한된 화석에너지에 대한 의존도를 완화할 수 있음. 하지만 암모니아 혼소발전은 아직 초기 단계로 기술적 측면에서 다양한 응용방식에 대한 심층연구가 필요함
    - (중점분야) 현재 암모니아-탄화수소 연료의 혼소는 대부분 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>-CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>-합성가스 및 기타 연료 시스템과 같은 암모니아와 저분자 가스연료의 혼소에 중점을 두고 있음
    - (고분자 연료에 대한 연구부족) 반면에, 암모니아-석탄·바이오매스 같은 고체 고분자 탄화수소 연료의 혼소 관련 연구는 아직은 제한적임
  - (그린수소 개발확대) 중국은 2030년까지 그린 수소 비중을 3%에서 15% 까지 확대를 목표로 하고 있음. 그린 수소 생산량이 늘어나면, 그린 암모니아 사용 역시 가능하기 때문에 그린 수소의 안정적인 공급이 중요할 것으로 보임
    - (직면문제) 현재 여러 요인(세계 경제성장 둔화, 우크라이나-러시아 전쟁 장기화 등)으로 인해 유럽의 에너지 가격이 급등하여, 석탄과 같은 화석에너지 사용을 재개하면서 재생에너지 발전 추진이 늦어질 수도 있는 우려가 있음
- \* 이로 인해, 2025년 이후 그린 암모니아 생산능력 확대를 기대하고 있는 상황임

12) 대합신에너지(大合新能源, 2023.9.17.), [https://www.sohu.com/a/721323075\\_121687748](https://www.sohu.com/a/721323075_121687748), (검색일 : 2023.9.25.)

## ② 중국 암모니아 혼소 향후전망<sup>13)</sup>

### ○ 화석에너지 대체를 점진적으로 실현할 수 있는 연소기술

- (발전촉진) 전통적인 고탄소 석탄 연소 발전방식을 변화시키고, 특히 화석 에너지 대체를 실현할 수 있는 저탄소 기술발전을 촉진시키고 있음
- (기술보급 촉진) 중국공정원(中国工程院)은 20년 전 독자적으로 개발한 ‘플라즈마 점화 및 연소 안정화 기술(等离子体点火及稳燃技术)’이 전국적으로 빠르게 보급된 사례를 언급하면서, 동 기술 역시 고비율 암모니아 혼소 발전 기술보급을 촉진시킬 것이라 기대함
- (중단기 발전방향) 세계적으로 암모니아 생산능력이 제한적이고 단기간에 석탄을 완전히 대체할 수 있는 점을 감안했을 때, 현재 암모니아 혼소발전은 석탄화력발전에서 CO2 배출을 감축시킬 수 있는 가장 이상적인 방식임
- (실증한계) 하지만, 아직 전 세계적으로 암모니아를 저탄소 연료로 사용하는 연구는 초기단계로 소규모 실험실 연구에 집중되어 있고, 대규모의 산업조건에서 실증하는 검증이 필요함

### ○ 중국 암모니아 혼소로 탄소배출 감축목표 실현

- (우수한 운반체) 암모니아는 재생에너지의 우수한 운반체이며, 특히 그린 수소(재생에너지를 통해 생성)로 만들어진 그린 암모니아는 탄소가 전혀 배출하지 않는 탄소제로 연료임
  - (탄소감축) 중국은 석탄화력발전의 비율이 높아, 설비교체의 영향이 적은 암모니아 혼소를 중단기적 목표로 탄소배출 감축을 달성하고자 함
- \* 현재 단계에서 모든 석탄화력발전소를 암모니아 혼소방식으로 교체는 기술·비용 등의 제한이 있지만 점차 확대될 것으로 전망

13) 중국석탄잡지(中国煤炭杂志, 2023.5.20.), [http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878\\_1081491912.shtml](http://www.360doc.com/content/23/0520/22/75818878_1081491912.shtml), (검색일 : 2023.9.25.)

※ 참고자료

- 1) 전기저널(2022.5.4.), ‘글로벌 암모니 시장동향 및 암모니아 발전 관련 이슈’
- 2) 거우생활망(2023.6.4.), ‘석탄발전소 암모니아 혼합연소 원리(燃煤电厂掺氨燃烧原理)’
- 3) 과학기술논문(2022.3.29.), ‘석탄발전소 보일러 암모니아 혼합연소 연구현황 및 발전전망(燃煤电站锅炉氨燃烧研究进展及展望)’
- 4) 길정매기술(2022.8.28.) ‘석탄발전소 암모니아 혼합연소 및 배출특성(燃煤电站锅炉掺氨燃烧与排放特性综述)’
- 5) 입정산업연구망(2023.6.1.), ‘암모니아 혼소, 화력발전의 탄소감축 신기술, 원가절감이 핵심(混氨燃烧是火电降碳的新型路线, 成本是制约产业化的核心)’
- 6) 과기일보(2022.1.25.), ‘중국 석탄보일러 암모니아 혼소기술 개발성공(我国成功研发燃煤锅炉混氨燃烧技术)’
- 7) 신화사(2023.4.8.), ‘안휘, 암모니아 에너지, 청정연소 발전 획득, 화력발전설비 암모니아 혼소로 탄소배출감축 실현(安徽：氨能清洁燃烧发电取得突破 煤电机组将实现掺氨降碳)’
- 8) 중국석탄잡지(2023.5.20.), ‘암모니 연료 속성 및 암모니아 혼소기술 발전분석(氨的燃料属性及混氨燃烧技术发展路线分析)’
- 9) 대합신에너지(2023.9.17.), ‘그린 수소 산업 발전현황 및 추세분석(绿氢行业的发展现状与趋势概览)’
- 10) 시나경제(2023.8.8.), ‘글로벌 그린 수소 및 한중일 현황(全球绿氢市场看中日韩)’
- 11) 환경정보망(2022.9.26.), ‘2022년 중국 합성 암모니아 생산능력, 생산량, 수요량 및 수출입현황 분석(2022年中国合成氨产能、产量、表观需求量及进出口情况分析)’
- 12) 수소에너지학당(2023.4.12.), ‘300MW 석탄발전설비 암모니아 비율 35% 혼소기술 안정적 운영실현 (300兆瓦燃煤机组实现掺氨35%平稳运行)’
- 13) EVINCHINA(2022.1.6.) ‘세계최초 석탄보일러 암모니아 비중 35% 혼소기술, 산동성 연태에서 시범운영 성공(世界首个“燃煤锅炉混氨燃烧技术”应用项目在山东烟台成功投运)’
- 14) 매죽일(2022.2.1.), ‘전통 화력발전 방식 개조, 중국 석탄보일러 기술개발, 여러 국가에서 협력기대 (改变传统火电厂模式, 我国燃煤锅炉技术大突破, 多国想合作)’