

# 탄소 중립을 위한 무탄소 발전의 활용

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터  
남 우 준 (wjnam@kdb.co.kr)

- ◆ 탄소 중립 이행을 위해 수소, 암모니아 등 무탄소 연료를 활용한 발전 기술 개발 및 상용화 노력이 증가하고 있으며 몇 가지 극복해야 할 과제도 존재
- ◆ 무탄소 발전은 일본, 미국 등을 중심으로 실증 및 상용화 준비 중이며, 국내는 발전 공기업 및 대기업을 중심으로 기술 개발 및 실증 추진 중

## □ 발전 부문 탄소 발생량 감축을 위해 석탄, LNG에 무탄소 연료\*를 혼·전소\*\*하는 무탄소 발전이 주요 정책으로 추진될 예정

\* 연료 구성 성분 중 탄소(C)를 포함하지 않는 것으로 수소(H<sub>2</sub>)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 대표적  
 \*\* 혼소는 화석연료에 무탄소 연료를 혼합하여 연소, 전소는 화석연료 없이 무탄소 연료로만 연소

- 발전 부문 탄소 감축은 신재생에너지 비중 확대와 더불어 기존 석탄화력 및 LNG발전의 화석연료 사용 감축\*이 주요 이슈
  - \* 국제원자력기구(IAEA)에 따르면 탄소 배출량은 석탄화력 발전 992g/kwh, LNG 발전 549g/kwh 수준이며 현재 국내 발전 부문 탄소 배출량의 90% 이상 차지
- 석탄화력발전은 조기 폐쇄 및 LNG발전으로 전환\*하거나 암모니아와 혼·전소하는 방향으로 개선
  - \* '2050 탄소중립 시나리오'상 '34년까지 노후 석탄발전소 30기 중 6기를 폐지하고 24기를 LNG발전소로 전환할 계획
  - 암모니아는 수소 대비 폭발력이 작아 고속 회전이 필요한 가스터빈 연료로는 비교 열위하며 석탄화력의 증기보일러 대체 연료로 주로 활용될 전망
- LNG발전은 부하 응답성이 우수하여 신재생에너지의 변동성을 보완하는 역할로 계속 활용되며, 장기적으로 수소와 혼·전소하는 방향으로 전환

LNG발전에서 수소 혼소율에 따른 탄소배출 저감 효과

수소혼소율	15%	30%	50%	75%	100%
CO <sub>2</sub> 저감률	5%	11%	23%	48%	100%

자료 : 에너지경제연구원(21.11), "무탄소 신전원 해외사례 및 정책방향 연구"

- 중단기적(~30년)으로는 암모니아, 장기적(~50년)으로는 수소가 무탄소 연료로 주로 활용될 전망
  - 암모니아는 수소 대비 생산, 저장 및 운송\*에 유리하고 현재 비료 등 산업적으로 이용하고 있어 관련 인프라 활용 가능한 장점
  - \* 수소 대비 동일 부피에서 수소 저장밀도가 1.7배 높고 액화온도가 비교적 높아 액화를 통한 저장, 운송 유리

- 수소는 연소속도가 높아 고속 회전이 필요한 가스터빈의 대체 연료로 적합하나 높은 폭발성과 저장 관리 어려움으로 기술 개발 및 상용화에 시일이 소요될 전망
- 중단기 목표인 '2030년 NDC 상향안'에 암모니아 발전이 총발전량의 3.6% (22.1TWh)로 반영, 장기 목표인 '2050 탄소중립 시나리오'에 무탄소 가스터빈 발전\*이 총발전량의 13.8%(166.5TWh) 내지 21.5%(270.0TWh)로 반영
- \* 주로 기존 LNG 가스터빈을 수소 혼소로 개조하거나 수소 전소 터빈을 개발하는 방식

**□ 발전연료로 활용되기 위해 암모니아는 연소 안정성, 수소는 화염역화 및 폭발 안정성 등이 개선해야 할 주요 과제**

- 암모니아는 타 연료 대비하여 연소 안정성 저하, 질소산화물(NOx) 다량 배출\* 등이 해결해야 할 과제
  - \* 암모니아(NH<sub>3</sub>)에 포함된 질소(N) 원자로 인해 고온의 연소환경에서 질소산화물 배출 증가
  - 연소 안정성 저하는 주로 낮은 발열량 및 연소속도\*에 기인하며 결국 화염이 유지되기 어렵거나 화염 안정화 영역이 좁아지게 되는 문제점 발생
  - \* 낮은 연소속도는 연소 화학반응에 필요한 시간이 크다는 것을 의미하며, 암모니아 연소속도는 메탄(LNG의 주요 성분)의 약 19%, 수소의 약 2.4% 수준
  - 연소속도를 높이기 위해 수소, 메탄 등의 연료와 적절한 비율로 혼합, 화염 안정성 유지를 위한 연소 노즐 설계 고도화, 질소산화물 배출 저감을 위한 공기다단연소\* 등의 연구가 진행 중
  - \* 산화제인 공기를 여러 단계로 나누어 분사, 연소반응 조절을 통해 화염 고온부의 온도를 낮춰 NOx 억제
- 수소는 발전연료로서 화염역화(flash back), 폭발 안정성 등의 해결이 필요
  - 수소는 메탄에 비해 화염속도가 약 10배가량 높아 가스터빈 내에서 수소 연소시 순간적으로 커지는 화염이 연료 주입 노즐까지 역행하는 화염역화 발생
  - 또한 희박폭발한계\*가 타 연료 대비 매우 낮으며 이는 수소 저장 및 연료 사용시 폭발 위험이 크다는 것으로 안전한 관리가 중요한 과제
  - \* 수소의 희박폭발한계는 0.1로 공기 중 수소 농도가 10% 이상 되면 폭발할 위험 존재
  - 결국 안정적인 수소 혼소를 위해서는 높은 화염속도 및 폭발성 등 연소 특성에 대응하는 연소기 및 고내열성 부품 등의 개발이 필요

발전연료 간 연소 특성

특 성	메탄(LNG의 주성분)	수소	암모니아
발열량(MJ/kg)	50	120	18.6
액화온도(°C, 1기압 기준)	-161	-253	-33.4
화염 연소속도(cm/s)	37	291	7
화염 온도(°C)	1,950	2,110	1,800
희박폭발한계	0.5	0.1	0.63

자료 : 한국에너지기술연구원(21), "탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성"

## □ 수소, 암모니아 혼소 발전은 일본, 미국 등 중심으로 실증 및 상용화 준비 중, 국내는 기술 개발 및 실증 추진 중

- 암모니아 혼소 발전은 일본이 가장 적극적, 수소 혼소 발전은 GE, 지멘스 등 글로벌 가스터빈 기업 중심으로 실증 및 상용화 준비 중
  - 일본은 '24년까지 1GW급 석탄발전소에서 혼소를 상용화\*하고 '30년까지 전체 석탄발전에 암모니아 20%를 혼소할 계획
    - \* '17년 10MW 시험설비에서 암모니아 20% 혼소 성공, '23년까지 20% 혼소 실증 예정
  - GE는 '21년 50% 수소 혼소 가능한 가스터빈을 설치하여 실증 운전 중이며, 지멘스, 미쓰비시 등도 15~30% 수준의 수소 혼소 실증시험 진행 중
- 국내는 '22년을 본격적인 수소·암모니아 발전의 원년으로 삼고 1분기중 '수소·암모니아 발전 로드맵'을 마련할 계획
  - '제1차 수소경제 이행 기본계획'등에 따르면 석탄발전은 '30년까지 암모니아 20% 혼소발전, LNG발전은 '35년까지 수소 30% 이상 혼소발전 상용화\* 목표
    - \* 석탄발전기 43기중 24기 대상 및 LNG가스터빈 96기중 9기 대상
  - 대표적으로 암모니아 혼소는 남부발전이 '26년까지 암모니아 혼소 기술 개발 및 '27년까지 상용 운전을 목표하고 있으며, 수소 혼소는 한화임팩트가 서부발전과 공동으로 국내 최초로 '23년까지 수소 50% 혼소 실증\* 예정
    - \* 한화임팩트는 수소 혼소 원천기술 보유기업 PSM(美)과 토마센(네덜란드)을 '21.7월 인수하였으며, 서부발전 평택복합화력의 노후 가스터빈(80MW급 중형 1기)을 대상으로 터빈 개조 및 시험평가 예정