2024년도 연구보고서
계획지원-02

석탄화력발전의 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축효과

2024. 11.

삼척시탄소중립지원센터

환경부 Ministry of Environment
삼척시 SAMCHEOK CITY
시멘트산업사회공헌재단 Cement Industry Social Contribution Foundation
KNU 강원대학교 KANGWON NATIONAL UNIVERSITY

제 출 문

❍ 과 제 명 : 석탄화력발전의 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축효과

❍ 계약기간 : 2024년 10월 16일 ~ 2024년 11월 15일 (총1개월)
❍ 계 약 일 : 2024년 10월 16일
❍ 착 수 일 : 2024년 10월 16일
❍ 완 료 일 : 2024년 11월 15일

본 보고서를 '석탄화력발전의 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축효과' 용역의 최종 연구보고서로 제출합니다.

2024년 11월 15일

소 속 : 강원대학교 신소재공학과
직 위 : 교수
성 명 : 이 동 규 (인/서명)

삼척시탄소중립지원센터장 귀하

목 차

Ⅰ. 서론
1.1 연구 배경 및 필요성
1.2 연구 목적

Ⅱ. 석탄화력발전 개요
2.1 석탄화력발전의 현황
2.2 석탄화력발전의 온실가스 배출 영향
2.3 기후변화 대응을 위한 전환 필요성

Ⅲ. 암모니아 혼소발전의 개념과 기술
3.1 암모니아의 연료 특성
3.2 암모니아 혼소발전의 원리와 과정
3.3 암모니아 혼소 기술의 현황과 발전 동향

Ⅳ. 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축 효과
4.1 온실가스 배출 저감 메커니즘
4.2 기존 석탄발전 대비 온실가스 감축 효과 분석
4.3 암모니아 혼소 비율에 따른 감축 효과

Ⅴ. 암모니아 혼소발전의 장단점 및 도전 과제

Ⅵ. 주요 국가의 암모니아 혼소 정책 및 적용 사례

Ⅶ. 결론 및 제언

Ⅰ. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

기후변화는 전 지구적으로 심각한 환경 문제로 부각되고 있으며, 이산화탄소(CO_2)를 비롯한 온실가스 배출의 증가가 그 주요 원인으로 지목되고 있음. 온실가스 배출의 상당 부분은 화석연료 기반의 에너지 생산, 특히 석탄화력발전에서 발생함. 석탄화력발전은 비교적 낮은 비용과 안정적인 에너지원으로 산업화 초기부터 세계 각국의 주된 에너지원으로 사용되어왔지만, 이 과정에서 대량의 온실가스가 발생해 기후변화에 미치는 부정적인 영향이 대두되어오고 있음.

이에 따라 전 세계적으로 탄소 배출을 줄이기 위한 노력이 강화되고 있으며, 국제 사회는 파리 협정 등 다양한 협약을 통해 온실가스 감축 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 다양한 방안을 모색하고 있음. 특히 한국, 일본, 미국 등 주요 산업국가들은 화석연료 기반 발전의 단계적 축소와 더불어 탄소 저감 기술의 개발 및 적용을 통해 기후변화 대응에 적극 나서고 있음.

이러한 배경에서, 석탄화력발전소의 암모니아 혼소발전이 주목받고 있는데, 암모니아는 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않는 연료로, 기존 석탄 연료에 일부 혼합하여 사용할 경우 온실가스 배출을 크게 줄일 수 있는 가능성을 보여주었음. 암모니아 혼소 기술은 기존 석탄 발전소의 구조와 설비를 비교적 적은 비용으로 활용하면서도, 탄소 배출을 감소시키는 효과를 기대할 수 있어 실현 가능성이 높음. 따라서 본 연구는 석탄화력발전에서 암모니아 혼소 기술의 적용이 실제로 온실가스 감축에 얼마나 기여할 수 있는지를 분석하고, 암모니아 혼소발전의 경제적, 기술적 효과와 한계를 평가함.

1.2 연구 목적

본 연구는 암모니아 혼소 기술의 활용 가능성을 검토함으로써 지속 가능한 에너지 전환에 기여하는 데 궁극적인 목적이 있으며 다음과 같은 세부목적을 갖고 있음.

1) 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축 효과 정량화

암모니아 혼소발전을 도입할 경우, 온실가스 배출량이 얼마나 줄어드는지를 정량적으로 분석하여 혼소 비율에 따른 감축 효과를 평가함.

2) 암모니아 혼소 기술의 경제성 및 기술적 타당성 평가

암모니아 혼소 기술을 적용했을 때, 석탄화력발전소의 운전 및 유지보수 측면에서 요구되는 경제적 비용과 기술적 요구 사항을 검토하여 실질적인 타당성을 분석함.

3) 주요 국가 및 산업 적용 사례 비교 분석

주요 국가에서 진행 중인 암모니아 혼소발전의 적용 사례를 조사하고 그 성과를 비교 분석하여, 국내 석탄화력발전에 적용할 때 고려해야 할 요소들을 파악함.

4) 정책적 시사점 도출

연구 결과를 바탕으로 암모니아 혼소 기술이 온실가스 감축 목표 달성에 기여할 수 있는 가능성을 제시하고, 이를 지원하기 위한 정책적 방향 제안함.

Ⅱ. 석탄화력발전 개요

2.1 석탄화력발전의 현황

석탄화력발전은 석탄을 연소시켜 발생한 열로 물을 가열하여 고온의 증기를 생성하고, 이 증기로 터빈을 회전시켜 전기를 생산하는 방식임. 석탄은 에너지 밀도가 높고 경제성이 뛰어나며 안정적인 공급이 가능하여 오랫동안 주요 전력 원료로 사용되어 왔음. 현재에도 전 세계적으로 많은 국가들이 석탄화력발전에 의존하고 있으며, 특히 발전용 연료의 가격 안정성과 높은 발전 효율 때문에 주요 전력 공급원으로 자리 잡고 있음.

석탄화력발전은 여전히 전 세계 여러 국가에서 주요 전력 생산 방식으로 사용되고 있으며, 석탄은 상대적으로 경제적이고 안정적인 공급이 가능해 오랫동안 에너지 산업의 기반을 이루어 왔음. 특히 에너지 수요가 높은 개발도상국에서는 전력 수급을 안정적으로 유지하기 위해 석탄화력발전의 비중이 상당히 높은 편임. 이에 따라 전 세계 전력 생산의 약 30%가 석탄을 연료로 사용하는 화력발전에서 나오고 있으며, 중국, 인도, 미국, 독일 등 여러 국가에서 석탄화력발전이 중요한 역할을 담당하고 있음.

1) 주요국의 석탄화력발전 비중

중국: 세계 최대의 석탄 소비국으로, 석탄화력발전이 중국 전체 전력 생산의 약 60%를 차지하고 있음. 중국 정부는 에너지 안보와 경제 성장을 위해 석탄 발전을 유지하면서도 점진적인 감축과 청정에너지로의 전환을 모색 중임.

인도: 인도 역시 전력 수급을 위해 석탄에 크게 의존하고 있으며, 석탄화력발전이 전체 전력의 70% 이상을 차지하고 있음. 인도는 빠른 경제 성장과 산업화로 에너지 수요가 증가하면서 석탄화력발전소의 추가 건설이 이어지고 있음.

미국: 미국은 천연가스와 재생에너지 비중을 점차 확대하고 있지만, 석탄화력발전은 여전히 약 20%의 비중을 차지하고 있음. 기존 발전소의 점진적 폐쇄와 탈탄소화 정책을 통해 석탄 사용을 줄이는 중임.

한국: 한국은 전력의 약 40%를 석탄화력발전에서 얻고 있으며, 기후변화 대응

과 탄소 중립 목표에 따라 석탄 발전 비중을 줄이고 재생에너지를 확대하려는 계획을 추진 중임.

2) 석탄화력발전의 환경적 문제

석탄화력발전은 전력 공급의 안정성 측면에서는 장점이 있지만, 온실가스 배출 문제로 인해 환경에 큰 부담을 주고 있음. 석탄 연소 과정에서 발생하는 이산화탄소(CO_2)는 기후변화의 주요 원인 중 하나로, 석탄화력발전은 전 세계 탄소 배출의 주요 원천으로 꼽힘. 또한, 석탄 연소 시 생성되는 미세먼지와 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx) 등의 유해 물질이 대기 오염을 일으켜 인체 건강에도 부정적인 영향을 미침. 이러한 환경적 문제로 인해 여러 국가에서는 석탄화력발전소의 신설을 억제하거나, 노후 시설을 점진적으로 폐쇄하는 정책을 시행하고 있음.

3) 석탄화력발전의 미래 전망

기후변화 문제 해결과 탄소 중립 목표 달성을 위해 석탄화력발전의 비중은 점차 줄어들고 있음. 상위 제시한 내용처럼 많은 국가들이 재생에너지 및 친환경 에너지로의 전환을 목표로 정책적 지원을 강화하고 있으며, 석탄화력발전을 청정에너지로 전환하기 위한 다양한 기술이 연구되고 있음. 특히 암모니아 혼소발전과 같은 기술은 기존 석탄화력발전소의 구조적 변화를 최소화하면서도 온실가스 배출을 줄일 수 있는 대안으로 주목받고 있음.

결과적으로 석탄화력발전은 여전히 중요한 전력 공급원으로 존재하고 있지만, 환경적 부담과 국제적 탄소 감축 목표로 인해 재편이 불가피한 상황임. 이를 해결하기 위한 전환 기술과 정책적 지원이 필요하며, 그 중 하나가 암모니아 혼소와 같은 탄소 저감형 발전 기술임.

2.2 석탄화력발전의 온실가스 배출 영향

1) 석탄화력발전과 이산화탄소 배출

석탄화력발전소에서 전기를 생산하는 과정에서는 대규모의 이산화탄소가 방출됨. 석탄 연소 시 배출되는 이산화탄소의 양은 천연가스보다 약 2배 가량 높아, 화력발전 중에서도 특히 높은 배출량을 기록합니다. 전 세계 탄소 배출량의 약

30%가 석탄화력발전에서 발생하며, 이는 산업화 이후 기후변화를 가속화 하는 주된 요인임.

2) 기타 유해물질 배출

석탄화력발전은 이산화탄소 외에도 여러 유해물질을 배출합니다. 이들 중 대표적인 유해물질은 다음과 같음.

황산화물(SOx): 석탄 연소 시 다량의 황산화물이 배출되며, 이는 대기 중에서 산성비를 유발하여 토양과 수질 오염을 초래할 수 있음.

질소산화물(NOx): 질소산화물은 대기 중에서 오존을 형성하고, 미세먼지(PM2.5)의 주요 원인 중 하나임. 이는 호흡기 질환을 악화시키고, 대기질 저하에 영향을 미침.

미세먼지(PM): 석탄 연소 과정에서 발생하는 미세먼지는 크기가 작아 호흡기를 통해 쉽게 인체에 흡수되며, 특히 초미세먼지(PM2.5)는 폐와 혈관에 영향을 미쳐 각종 질환을 유발할 수 있음.

중금속(수은, 납 등): 석탄에는 미량의 중금속이 포함되어 있어 연소과정에서 배출될 수 있으며, 이는 인체와 생태계에 장기적으로 유해한 영향을 미칠 수 있음.

3) 기후변화에 미치는 영향

석탄화력발전소에서 대량 배출되는 이산화탄소는 대기 중에 축적되어 지구 온난화의 주원인이 되고 있으며, 해수면 상승, 극한 기상 현상 증가, 생태계 변화 등 다양한 기후변화 현상을 초래함. 석탄화력발전이 주요 전력원으로 사용되는 국가에서는 이러한 기후변화로 인한 경제적·사회적 피해가 발생하고 있어, 석탄화력발전의 지속 가능한 대안이 절실히 요구됨.

4) 탄소 중립 목표와 석탄화력발전의 한계

전 세계가 탄소 중립 목표를 달성하기 위해 온실가스 배출을 줄여야 하는 상황

에서, 석탄화력발전은 근본적으로 이산화탄소를 다량 배출하는 특성상 큰 한계를 지님. 탄소 포집 및 저장(CCS)과 같은 기술이 개발되고 있지만, 높은 비용과 기술적 제약으로 인해 모든 발전소에 즉시 적용하기 어려운 실정임. 이러한 한계를 보완하기 위해 최근 주목받고 있는 대안이 바로 암모니아 혼소발전임. 암모니아는 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않기 때문에 석탄과 혼소할 경우 전체 온실가스 배출량을 줄일 수 있어 석탄화력발전의 대안으로 부상하고 있음.

따라서 석탄화력발전의 온실가스 배출 영향을 줄이고, 기후변화에 대응하기 위한 혁신적인 기술 도입이 필요하며, 암모니아 혼소와 같은 대체 기술이 중요한 역할을 할 수 있음.

2.3 기후변화 대응을 위한 전환 필요성

기후변화가 심각한 문제로 대두되면서, 전 세계적으로 탄소 배출을 줄이기 위한 에너지 전환 노력이 요구되고 있음. 석탄화력발전의 비중을 줄이거나 탈석탄화 정책을 추진하는 국가가 증가하고 있으며, 이에 따라 탄소 배출을 획기적으로 줄일 수 있는 대체 기술들이 모색되고 있는 가운데, 암모니아 혼소발전은 기존 석탄화력발전소를 개조하여 사용할 수 있는 기술로, 석탄과 암모니아를 혼합 연료로 사용하여 온실가스 배출을 줄이는 방안으로 주목받고 있음.

암모니아는 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않기 때문에 기존 석탄 연료와 혼합할 경우 연료내 탄소 비중을 줄일수 있기 때문에, 이유로 석탄화력발전의 탄소 중립화를 목표로 한 암모니아 혼소 기술의 도입과 발전이 활발히 연구되고 있으며, 기후변화 대응을 위한 현실적인 대안으로 여겨지고 있음.

기후변화에 의해 현재 기상이변, 해수면 상승, 생태계 변화 등의 문제가 가속화되고 있음. 이러한 상황에서 온실가스 배출이 많은 석탄화력발전의 의존도를 줄이고, 지속 가능한 에너지원으로의 전환이 필수적임. 특히 2050년 탄소 중립 목표를 달성하기 위해서는 온실가스 배출 감축을 위한 구체적이고 실질적인 대책이 요구됨.

1) 탄소 배출 저감의 필요성

석탄화력발전은 전력 생산 과정에서 대규모의 이산화탄소(CO_2)를 배출하는 대표적인 화석 연료 기반 발전 방식임. 이산화탄소는 대기 중에 장기간 남아 기후변화를 일으키는 주요 원인이며, 온실가스 중에서도 가장 큰 비중을 차지함. 석탄화력

발전의 높은 탄소 배출량을 줄이지 않으면 기후변화 목표를 달성하는 데 상당한 어려움이 따를 수밖에 없음. 이에 따라 석탄화력발전을 친환경적이고 탄소 배출을 줄이는 방식으로 전환하는 노력이 필요합니다.

2) 석탄화력발전의 단계적 축소와 대체 에너지 필요성

많은 국가들은 탄소 중립을 목표로 석탄화력발전을 단계적으로 축소하거나 폐지하는 정책을 추진하고 있으며, 이를 대체할 신재생에너지, 천연가스, 수소, 암모니아 혼소 발전과 같은 기술을 도입을 시작하였음. 그러나 풍력, 태양광 등 재생에너지는 날씨와 시간에 따라 발전량이 변동되므로 안정적인 전력 공급을 보장하기 어려운 측면이 있음. 따라서, 석탄화력발전을 완전히 대체할 수 있는 기술적·경제적 대안이 필요하며, 그중 하나가 암모니아 혼소발전임.

3) 암모니아 혼소발전의 역할과 가능성

암모니아는 연소 과정에서 이산화탄소를 배출하지 않기 때문에, 석탄과 혼합하여 발전에 사용할 경우 기존 석탄화력발전의 구조를 일부 유지하면서도 온실가스 배출을 줄일 수 있는 대안임. 암모니아 혼소 기술은 기존 발전소의 개조 비용이 비교적 적고, 고정적인 재생에너지의 보완 역할을 수행할 수 있어 에너지 전환의 과도기적 단계에서 중요한 역할을 할 수 있음.

4) 국제적 기후 협약과 탄소 중립 달성을 위한 압력

파리협정과 같은 국제 기후 협약에서는 각국이 온실가스를 줄이고 지구 온난화를 억제하기 위한 목표를 설정하도록 하고 있으며, 탄소 중립을 위한 다양한 대책을 요구하고 있음. 이러한 글로벌 목표를 충족하기 위해 석탄화력발전의 대체 기술 개발과 적용이 필요하며, 암모니아 혼소발전은 기존 발전 방식을 개량하여 온실가스 감축을 지원할 수 있는 유망한 대안으로 간주됨.

Ⅲ. 암모니아 혼소발전의 개념과 기술

1) 암모니아 혼소발전의 개념

암모니아 혼소발전은 석탄을 전량 사용하지 않고, 석탄과 암모니아를 일정 비율로 혼합하여 연소시키는 방식임. 암모니아는 수소와 질소로 구성되어 있어 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않으며, 대신 질소와 물이 생성됨. 이를 통해 기존의 석탄화력발전에서 발생하는 온실가스 배출량을 효과적으로 줄일 수 있음. 석탄 대비 연소 효율이 낮은 암모니아를 혼합함으로써 발전 효율을 유지하면서도 온실가스 배출을 감소시키는 것이 목표임.

2) 암모니아 혼소발전의 기술적 요소

암모니아 혼소발전을 구현하기 위해서는 암모니아와 석탄을 안정적으로 혼합하고 연소하는 기술적 장치와 연소 시스템의 최적화가 필요하며, 주요 기술적 요소는 다음과 같음.

혼합 연료 공급 시스템: 석탄과 암모니아를 일정 비율로 안정적으로 혼합하여 연소기로 공급하기 위해 기존의 연료 공급 시스템을 개조하거나 새로운 혼합 공급 장치를 필요. 암모니아는 액체 상태로 저장 및 운송되며, 혼소 발전의 경우 이를 기체로 변환해 연료로 사용할 수 있는 시스템이 필요함.

연소 제어 기술: 암모니아는 석탄보다 자발적인 연소 온도가 높고, 연소 시 질소산화물(NOx)이 발생할 가능성이 있기 때문에 연소 제어가 중요함. 이를 위해 연소 온도를 조절하거나 저온 연소 방식을 적용하여 질소산화물 발생을 억제하는 기술이 필요함. 또한, 고효율의 연소를 위해 산소 농도를 조절하고 연소 환경을 최적화하는 기술도 요구됨.

배출 제어 시스템: 암모니아 혼소발전에서 발생할 수 있는 질소산화물 배출을 최소화하기 위해 SCR(Selective Catalytic Reduction)과 같은 배출제어장치를 설치하여 NOx를 효과적으로 제거하는 기술이 필요함. 이 과정에서 촉매기술을 활용해 질소산화물을 질소(N_2)와 물(H_2O)로 변환하여 대기 중에 무해한 형태로 배출함.

안전 관리: 암모니아는 독성과 폭발 위험이 있는 물질이기 때문에 혼소발전 과정에서 안전 관리가 중요함. 암모니아의 저장, 운송, 혼합, 연소 과정에서 안전성을 확보하기 위해 고압 저장탱크, 누출 감지 시스템, 자동화된 모니터링 시스템 등의 안전 관리 장치가 요구됨.

3) 암모니아 혼소 기술의 장점과 한계

암모니아 혼소발전은 기존 석탄화력발전을 개조하여 사용할 수 있어 초기 투자 비용이 낮고, 기존의 발전 인프라를 최대한 활용할 수 있다는 장점이 있음. 특히, 이산화탄소 배출을 줄이면서도 안정적인 전력 생산이 가능해 기후변화 대응과 에너지 안보를 동시에 고려할 수 있는 현실적인 대안임.

그러나, 암모니아는 연소 효율이 낮고 연소 과정에서 질소산화물이 발생할 수 있다는 단점이 있음. 이는 환경문제를 고려한 대안에서 또다른 유해물질이 나온다는 아이러니한 상황을 연출함. 또한, 암모니아의 독성과 폭발 위험성으로 인해 안전한 취급과 보관이 필요하며, 대규모 암모니아 생산 및 공급 체계 구축이 필수적임. 이러한 기술적·경제적 과제를 해결하기 위한 연구와 기술 개발이 현재 활발히 진행 중임.

3.1 암모니아의 연료적 특성

1) 탄소 배출이 없는 연소 특성

암모니아는 탄소를 포함하지 않기 때문에 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않습니다. 대신 연소 과정에서 질소(N_2)와 물(H_2O)가 생성되어, 기후변화의 주요 원인인 탄소 배출을 완전히 억제할 수 있음. 이러한 특성으로 인해 암모니아는 석탄 및 기타 화석 연료를 대체할 수 있는 탄소 중립 연료로 평가되어 왔음.

암모니아 연소 반응식: $NH_3 + 0.75O_2 \rightarrow 0.5N_2 + 1.5H_2O$

2) 낮은 자발적 연소 온도

암모니아는 자발적으로 연소되기 위한 온도가 약 651℃로 높아, 다른 화석 연료와 비교했을 때 점화가 어렵고 연소 속도가 느림. 이로 인해, 암모니아를 주 연료

로 사용할 경우 연소 장치의 설계 및 연소 보조 시스템이 필요함. 이를 보완하기 위해 암모니아를 석탄과 혼합하여 연소하거나, 산소 농도를 높이는 등의 기술적 조치가 필요하게 되고 이것이 혼소발전의 기원이라 할수 있음..

3) 낮은 연소 열량

암모니아는 다른 화석 연료에 비해 연소 열량이 낮음. 암모니아의 발열량은 약 18.6 MJ/kg으로, 석탄(약 24 MJ/kg)이나 천연가스(약 50 MJ/kg)에 비해 현저히 낮음. 이는 암모니아가 단독 연료로 사용될 때 에너지 밀도가 낮아 효율적인 전력 생산이 어려울 수 있음을 의미함. 따라서 석탄과의 혼소 기술이 개발되어 암모니아 사용 비율을 조절하며 발전 효율을 높이는 방향으로 연구되고 있음.

4) 질소산화물(NOx) 배출 가능성

암모니아는 연소 과정에서 질소산화물(NOx)이 발생할 수 있어 환경적 문제를 일으킬 수 있음. 질소산화물은 대기오염 물질 중 하나로, 호흡기 질환을 악화시키고 지표면 오존을 형성하는 데 영향을 미침. NOx 배출을 최소화하기 위해 연소 온도를 조절하거나, 선택적 촉매 환원(SCR) 기술 등을 통해 배출 가스를 정화하는 배출 제어 장치가 필요함.

5) 안전성과 독성 문제

암모니아는 고농도에서 독성이 강한 물질이며, 고압 액체 상태로 저장할 때 폭발 위험이 존재함. 암모니아는 인체에 유해할 수 있으며, 흡입하거나 피부와 접촉할 경우 건강에 해로울 수 있음. 이에 따라 암모니아를 연료로 사용할 때에는 안전한 저장·운송·취급 기술이 요구되며, 누출 감지 장치 및 보호 시스템의 설치가 필수적임.

6) 액화 및 저장 용이성

암모니아는 섭씨 약 -33°C, 1기압에서 액화할 수 있어, 저장과 운송이 비교적 용이함. 수소와 비교했을 때 저온 및 고압 조건이 덜 필요하기 때문에 대규모 저장이 가능하며, 기존 인프라를 활용할 수 있는 장점이 있음. 암모니아는 기존의

가스 저장 기술을 활용할 수 있기 때문에 경제적 측면에서도 수소보다 절대적으로 유리함.

7) 재생 가능 자원에서 생산 가능

암모니아는 물(H_2O)과 공기 중의 질소(N_2)를 원료로 하여 생산할 수 있음. 특히, 재생에너지를 활용하여 암모니아를 생산하면 이산화탄소 배출 없는 청정 연료를 공급할 수 있음. 이러한 방식은 화석 연료 의존도를 줄이고, 탄소 중립 목표 달성에 기여할 수 있는 잠재력을 지님.

암모니아는 이산화탄소 배출을 줄이면서도 청정 연료로 사용할 수 있는 잠재력이 높으며. 다만 낮은 연소 열량, 연소 제어 문제, 질소산화물 배출, 안전성 등의 기술적 과제가 남아 있어, 이를 해결하기 위한 연구와 기술 개발이 필요함.

3.2 암모니아 혼소발전의 원리와 과정

1) 암모니아 혼소발전의 원리

일반적으로 암모니아는 석탄과 일정 비율로 혼합되어 연소실에 공급되며, 석탄 혼소율을 높일수록 이산화탄소 배출 저감 효과가 더욱 커짐. 암모니아는 자발적인 연소 온도가 석탄보다 높고 연소 열량이 낮기 때문에 혼소 시 연소 제어 기술이 필요하며, 이를 위해 발전소에서는 암모니아가 충분히 연소될 수 있도록 산소 농도를 조절하고, 연소 환경을 최적화하는 제어 기술이 적용됨.

2) 암모니아 혼소발전의 과정

2-1) 연료 혼합 및 공급

암모니아는 액체 상태로 저장된 후, 연료 공급 장치에서 기체 상태로 변환되어 석탄과 함께 연소실로 주입됨. 암모니아의 혼합 비율은 발전소의 설비와 환경에 따라 조절될 수 있으며, 혼소 비율이 높을수록 온실가스 감축 효과가 증가하지만 연소 특성 제어가 더욱 중요해짐.

2-2) 연소 및 열 에너지 생성

혼합된 석탄과 암모니아는 연소실에서 산소와 반응하여 연소가 이루어짐. 이때 암모니아는 이산화탄소를 배출하지 않고, 연소 결과물로 질소(N_2)와 물(H_2O)가 생성됨. 암모니아는 자발적 연소 온도가 높기 때문에 석탄과 혼합된 상태에서 높은 온도의 연소가 이루어지며, 이를 통해 발전에 필요한 열 에너지가 생성됨. 연소 온도와 산소 농도를 조절하여 연소 효율을 최적화하고, 안정적인 에너지 생산을 보장하는 것이 중요함.

2-3) 질소산화물(NOx) 제어

암모니아 혼소발전에서는 NOx 배출을 최소화하기 위해 선택적 촉매 환원(selective catalytic reduction; SCR) 장치를 활용하여 질소산화물을 무해한 질소(N_2)와 물(H_2O)로 변환시킵니다. 이러한 NOx 제어 기술은 암모니아 혼소발전의 필수적인 공정으로, 환경 영향을 줄이는 데 중요한 역할을 함.

2-4) 증기 발생 및 전기 생산

연소 과정에서 발생한 열 에너지는 물을 가열하여 고온의 증기를 생성하는 데 사용됨. 생성된 증기는 터빈을 회전시켜 전력을 생산하는데, 이 과정은 기존 석탄화력발전의 증기 터빈 발전 방식과 동일하다 할 수 있음. 혼소발전에서는 석탄과 암모니아의 혼합 연소를 통해 필요한 열 에너지를 생성함으로써 기존 발전소 설비를 최대한 활용할 수 있음.

2-5) 배출 가스 처리 및 배출

연소 과정에서 발생한 배출 가스는 배출 제어 장치를 통해 처리된 후 대기 중으로 배출됨. 암모니아 혼소발전에서 발생할 수 있는 주요 배출물은 질소산화물(NOx)이므로, NOx 제어 장치를 통해 질소와 물로 변환하여 배출하며, 대기 오염을 최소화합니다. 이를 통해 암모니아 혼소발전의 환경적 영향을 줄이고, 온실가스 감축 목표에 기여할 수 있음.

3.3 암모니아 혼소 기술의 현황과 발전 동향

1) 주요 국가의 암모니아 혼소 기술 현황

일본: 일본은 암모니아 혼소발전의 개발과 적용에서 선도적인 역할을 하고 있음. 일본 정부는 2050년 탄소 중립 목표를 위해 "녹색 성장 전략"을 발표하고, 암모니아를 포함한 저탄소 연료의 상용화에 정책적 지원을 아끼지 않고 있음. 일본의 대표적인 전력 회사인 JERA는 2021년부터 대규모 암모니아 혼소 실증 프로젝트를 시작하여 2040년까지 100% 암모니아 연소를 목표로 하고 있으며, 2030년까지 암모니아 혼소 비율을 20%로 높이는 계획을 세우고 있음. 일본은 또한 뉴에너지산업기술종합개발기구(NEDO)를 통해 암모니아 혼소 연구와 파일럿 프로젝트에 자금을 지원하고 있으며, 이를 통해 상용화 가능성을 높이고 있음.

유럽: 유럽연합(EU)은 2050년 탄소 중립 달성을 목표로 다양한 저탄소 에너지 전환 정책을 시행하고 있으며, 암모니아 혼소 기술도 연구 개발 과제로 포함되어 있음. 유럽의 Horizon 2020 및 Horizon Europe 프로그램에서는 청정 에너지 연구 지원에 암모니아 혼소 기술을 포함하고 있으며, 암모니아와 같은 저탄소 연료 사용을 확대하기 위한 연구 자금을 지원하고 있음. 독일, 네덜란드, 덴마크 등의 유럽 국가들은 암모니아 혼소를 통한 탄소 배출 저감 가능성을 평가하기 위한 파일럿 프로젝트와 실증 실험을 시행하고 있으며, 유럽 전역에서 암모니아 혼소 기술의 상용화 가능성을 검토하고 있음.

미국: 미국은 탄소 배출 감축 목표와 재생에너지 확대를 위해 암모니아 혼소 기술에 대한 연구와 실증을 진행 중임. **에너지부(DOE)**는 암모니아 혼소를 포함한 다양한 청정 연료 기술 개발을 지원하고 있으며, 특히 석탄화력발전의 탄소 배출을 줄이기 위한 혼소 기술 연구를 장려하고 있음. 미국의 일부 주에서는 암모니아와 같은 저탄소 연료를 사용한 발전소에 인센티브를 제공하며, 암모니아 혼소발전의 실증 및 경제적 타당성 연구를 위한 예산을 지원하고 있음. 또한, 미국 내 여러 연구 기관이 암모니아 혼소 기술의 안전성과 연소 효율을 개선하는 연구를 진행하고 있음.

한국: 한국은 2050 탄소 중립을 목표로 석탄화력발전을 줄이기 위한 다양한 기술적 대안을 모색하고 있으며, 암모니아 혼소 기술도 그중 하나로 주목받고 있음.

한국전력공사(KEPCO)와 한국에너지기술연구원(KIER) 등이 주도하여 암모니아 혼소 관련 연구와 실증 사업을 진행 중이며, 암모니아 혼소 기술의 경제성과 환경적 영향을 분석하고 있음. 한국은 암모니아 혼소 기술을 통해 석탄화력발전의 온실가스 배출을 줄이고, 향후 완전한 탈석탄화로의 전환에 기여할 계획을 가지고 있음.

Ⅳ. 암모니아 혼소발전의 온실가스 감축 효과

암모니아의 혼소 비율에 따라 발전 효율과 온실가스 감축 효과가 달라짐. 일반적으로 암모니아 비율을 높일수록 이산화탄소 감축 효과가 커지지만, 암모니아의 연소 특성으로 인해 연소 효율이 다소 낮아질 수 있음. 최적의 혼소 비율을 찾기 위해 발전소마다 연소 제어 시스템을 조정하고, 효율적인 에너지 생산과 온실가스 감축의 균형을 유지하는 것이 중요하며 국내에서는 현재 20%의 암모니아 혼소 비중을 목표치로 설정하고 있음.

4.1 온실가스 배출 저감 메커니즘

1) 이산화탄소(CO_2) 배출 감소

암모니아는 탄소를 포함하지 않는 연료로, 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않기 때문에, 석탄과 암모니아를 혼합하여 연소할 경우, 암모니아가 차지하는 비율만큼 이산화탄소 배출이 줄어드는 효과를 얻을 수 있음. 예를 들어, 암모니아를 석탄 연료의 20%로 혼합할 경우, 석탄만을 사용하는 발전에 비해 이론적으로 약 20%의 이산화탄소 배출을 감소시킬 수 있음. 이러한 비율은 암모니아의 혼소 비율이 높아질수록 증가하며, 이로 인해 석탄화력발전의 탄소 배출을 실질적으로 줄일 수 있음.

2) 산소 농도 조절을 통한 연소 최적화

암모니아는 석탄에 비해 자발적인 연소 온도가 높기 때문에, 혼소발전 시 산소 농도를 조절하여 연소를 최적화하는 방법이 적용됨. 산소 농도를 조절하면 연소 과정에서 암모니아의 완전 연소가 촉진되어 NOx의 생성이 억제되고, 연소 효율도 높아지게 됨. 이를 통해 암모니아의 연소 효율을 개선하고, 필요한 에너지량을 줄여 추가적인 온실가스 배출 감소를 이룰 수 있음.

3) 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술과의 연계

암모니아 혼소발전은 이산화탄소 배출 저감 효과를 극대화하기 위해 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술과 연계할 수 있음. 혼소 과정에서 배출되는 이산화탄소를

CCS 기술로 포집하여 저장하면, 온실가스 배출을 더욱 줄일 수 있음. 암모니아 혼소 자체로도 이산화탄소 배출이 감소하지만, CCS 기술을 추가적으로 적용하면 탄소 배출 저감 목표에 더욱 가까워질 수 있음. 일부 발전소에서는 CCS를 함께 도입하여 암모니아 혼소 기술의 탄소 저감 효과를 극대화하는 방향으로 실증을 진행하고 있음.

4) 재생 가능한 에너지와의 결합 가능성

암모니아는 재생에너지를 이용해 생산할 수 있는 그린 암모니아의 형태로 공급될 수 있음. 태양광이나 풍력 같은 재생에너지 기반으로 생산된 그린 암모니아를 석탄과 혼소하여 사용할 경우, 발전소 운영 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 더욱 줄일 수 있음. 재생에너지를 활용한 암모니아 생산과 석탄화력발전소에서의 혼소 적용은 화석연료의 사용을 줄이고 탄소 중립을 실현하는 데 기여할 수 있는 실질적인 대안임.

5) 발전 효율 개선을 통한 간접적인 온실가스 저감

혼소 기술은 기존 석탄화력발전의 연소 효율을 개선할 가능성이 있습니다. 암모니아와 석탄을 혼합하여 사용하는 혼소발전에서는 최적화된 연소 제어 기술이 적용되어 발전 효율을 높이고, 이에 따라 연료 소비량과 온실가스 배출량이 줄어들 수 있음. 혼소발전은 기존 발전소 설비를 활용하면서도 연소 효율 개선을 통해 연료 사용을 최적화하고, 간접적으로 온실가스 배출 저감에 기여할 수 있음.

4.2 기존 석탄발전 대비 온실가스 감축 효과 분석

1) 암모니아 혼소율에 따른 이산화탄소 배출 저감 효과

석탄과 암모니아를 혼합하여 연소할 경우 혼소율에 비례해 이산화탄소 배출이 감소하면, 다음과 같은 혼소 비율에서 이산화탄소 감축 효과가 기대됨.

20% 암모니아 혼소 시: 석탄화력발전에서 암모니아가 차지하는 비율이 20%일 경우, 기존 석탄 발전에 비해 약 20%의 이산화탄소 배출 저감 효과가 있음. 이는 기존 석탄을 100% 사용하는 방식과 비교하여 상당한 온실가스 감축을 달성할 수

있음.

50% 암모니아 혼소 시: 암모니아의 비율이 50%로 증가하면 이산화탄소 배출량은 약 절반으로 줄어들게 됨. 이 비율에서 이산화탄소 감축 효과는 약 50%에 달하며, 탄소 배출을 절반으로 줄일 수 있는 획기적인 효과를 기대할 수 있겠으나 20% 혼소와 같은 연소조건에 진행시, 발화점 변화가 크기 때문에 실제 에너지 전환효율은 크게 감소할 것으로 예상 됨.

100% 암모니아 연소 시: 만약 암모니아를 100% 연료로 사용하는 경우, 이산화탄소 배출이 전혀 발생하지 않으므로 완전한 탄소 중립을 실현할 수 있음. 다만, 100% 암모니아 연소는 기술적·경제적 도전이 있으므로 실현 가능성을 평가 중임.

2) 질소산화물(NOx) 배출 저감 효과

암모니아 혼소발전은 기존 석탄화력발전에서 발생하는 질소산화물(NOx) 배출도 저감할 수 있음. 석탄 연소 과정에서는 NOx가 다량 발생하지만, 암모니아 혼소 시 선택적 촉매 환원(SCR)과 같은 NOx 저감 기술을 적용하여 배출량을 억제할 수 있음. 혼소발전은 NOx 배출을 기존 석탄발전에 비해 약 30~50%까지 줄일 수 있으며, 이는 대기 오염을 줄이고 환경 부담을 경감시키는 데 기여함.

3) 간접적 온실가스 감축 효과

암모니아 혼소발전은 기존 석탄화력발전의 연소 효율을 높임으로써 간접적인 온실가스 감축 효과도 기대할 수 있음. 혼소발전에서 연소 제어 기술이 적용됨으로써 연료 소모량을 최적화할 수 있으며, 이는 연료 소비와 배출량을 동시에 줄이는 결과로 이어집니다. 특히 혼소율이 높아질수록 연소 온도가 낮아져 NOx 배출이 줄어들고, 연소 안정성이 향상됨. 이러한 간접적인 효과는 장기적으로 연료 비용을 절감하고 발전소의 경제적 효율성을 높이면서도 탄소 배출을 줄이는 긍정적 영향을 미침.

4) 혼소발전과 CCS(이산화탄소 포집 및 저장) 기술의 시너지 효과

암모니아 혼소발전은 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술과 결합될 경우, 온실

가스 감축 효과를 극대화할 수 있습니다. 혼소발전에서 배출되는 잔여 이산화탄소를 CCS 기술을 통해 포집하여 저장하면, 암모니아 혼소발전의 탄소 배출 저감 효과는 기존 석탄 발전에 비해 최대 90% 이상에 달할 수 있음. 이를 통해 발전소의 전체 탄소 배출량을 최소화하고, 탄소 중립 목표에 한층 더 가까워질 수 있음. 현재 일부 국가에서는 암모니아 혼소 기술과 CCS 기술을 동시에 도입하는 방안을 실증 연구하고 있음.

5) 기존 석탄화력발전 대비 온실가스 배출 감축 사례

일본 JERA 등 여러 발전소가 암모니아 혼소발전 실증 연구를 통해 기존 석탄화력발전 대비 온실가스 감축 효과를 평가하고 있음. 일본의 사례에서는 20% 암모니아 혼소 비율에서 약 20%의 이산화탄소 배출 감소를 확인하였으며, 50% 이상 비율로 실증 확대를 계획하고 있음. 이러한 실증 사례는 암모니아 혼소가 기존 발전소 인프라를 활용하면서도 온실가스를 효과적으로 감축할 수 있음을 보여줌.

Ⅴ. 암모니아 혼소발전의 단점 및 도전 과제

1) 암모니아 혼소발전의 단점

1-1) 낮은 연소 열량과 연소 효율

암모니아는 석탄에 비해 연소 열량이 낮아, 혼소할 경우 발전 효율이 다소 떨어질 수 있습니다. 암모니아의 발열량은 약 18.6 MJ/kg으로, 석탄(약 24 MJ/kg)보다 낮기 때문에 석탄 대비 효율적인 열 에너지 생산이 어려울 수 있음. 이로 인해 암모니아 혼소비율이 높아질수록 발전 효율에 부정적인 영향을 미칠 수 있음.

1-2) 질소산화물(NOx) 발생 가능성

위에서 제시했듯, 암모니아는 연소 과정에서 질소산화물(NOx)이 발생할 가능성이 있기 때문에 이를 제어하지 않으면 환경문제의 대안이 또다른 환경문제를 야기하는 아이러니한 상황이 발생함. 암모니아 혼소발전에서는 NOx 배출을 억제하기 위해 선택적 촉매 환원(SCR) 기술이 필요하며, NOx 제어 기술이 필수적임.

1-3) 암모니아의 독성 및 폭발 위험

암모니아는 독성이 강하고 폭발 위험이 있는 물질로, 이로 인해 암모니아를 대량으로 저장, 운송, 취급할 때 안전 문제가 중요하게 고려되어야 함. 발전소에서는 암모니아 누출을 방지할 수 있는 안전 관리 체계를 구축해야 하며, 암모니아 저장과 운송 시에는 엄격한 규제와 안전 관리가 필요함.

2) 암모니아 혼소발전의 도전 과제

2-1) 연소 제어 기술의 개발

암모니아 혼소발전을 안정적으로 구현하려면 혼소비율에 따른 연소 제어 기술이 필요함. 암모니아는 자발적 연소 온도가 높기 때문에, 석탄과 혼합하여 연소할 때 최적의 연소 온도를 유지하는 기술적 제어가 필수적입니다. 이를 위해 산소 농도

조절, 저온 연소 기술 등 다양한 연소 제어 기술이 개발되어야 하며, 연소 과정에서 발생하는 NOx를 억제하기 위한 고효율 배출 제어 장치도 필요함.

2-2) 암모니아 공급망 구축

암모니아 혼소발전이 상용화되려면 안정적인 암모니아 공급망 구축이 필수적임. 암모니아는 현재 주로 화학 산업에서 사용되며 발전 연료로의 대량 수급이 이루어지기 위해서는 저장, 운송, 공급 시스템이 확립되어야 함. 또한, 재생에너지를 활용한 그린 암모니아 생산을 통해 장기적으로 탄소 중립 목표를 달성할 수 있는 공급망 구축이 필요하며, 따라서 해상운송저장망을 적극적으로 이용해야함.

2-3) 경제성 확보와 초기 투자 비용

암모니아 혼소 기술은 기존 발전 설비를 최대한 활용할 수 있지만, 초기 투자와 운용 비용이 증가할 수 있음. 특히 혼소율이 높아질수록 연소 제어, 배출 저감, 안전 관리 등 추가 장비와 기술이 필요하여 비용 부담이 증가함. 경제성을 확보하기 위해서는 기술 개발과 운용 효율화를 통한 비용 절감이 필요하며, 정부의 정책적 지원이나 인센티브도 요구됨.

2-4) 안전 관리 체계 구축

암모니아는 폭발성 및 독성을 가진 물질이므로 안전 관리 체계가 필수적임. 암모니아 혼소발전에서는 암모니아 누출을 감지하는 센서, 자동화된 모니터링 시스템, 고압 저장탱크 등의 안전 장치를 마련해야 함. 발전소와 공급망 전반에 걸친 안전 체계를 구축하여 암모니아 취급과 보관 과정에서의 안전성을 확보해야 함.

Ⅵ. 주요 국가의 암모니아 혼소 정책 및 적용 사례

일본 - JERA의 암모니아 혼소 실증 프로젝트

일본의 JERA는 세계 최초로 대규모 암모니아 혼소발전 실증 프로젝트를 수행하고 있음. 이 프로젝트는 2021년부터 진행되고 있으며, 암모니아를 석탄화력발전의 혼소 연료로 사용하여 이산화탄소 배출을 줄이는 것을 목표로 하고 있음. 2023년에는 암모니아 혼소 비율을 20%까지 높이는 실증에 성공했으며, 이로 인해 약 20%의 탄소 배출 감소 효과가 확인되었음. JERA는 이러한 실증 성과를 바탕으로 암모니아 혼소 비율을 점진적으로 늘려 2040년까지 100% 암모니아 연소로 전환할 계획을 세우고 있으며, 이를 통해 탄소 중립 달성에 기여할 것으로 기대됨. 또한, JERA는 암모니아 저장 및 공급망 구축에도 투자를 확대하고 있음.

미국 - Xcel Energy의 혼소 실증 연구

미국의 Xcel Energy는 암모니아와 석탄의 혼소 실증 연구를 통해 기술적·경제적 타당성을 검토하고 있음. Xcel Energy는 미국 내 석탄화력발전소에서 암모니아를 일정 비율 혼합해 연소하는 실증 연구를 수행하여, NOx 발생 억제와 이산화탄소 배출 저감 효과를 검토했음. 연구 결과, 암모니아 혼소 비율이 30%에 도달했을 때 약 30%의 이산화탄소 감축 효과가 나타났으며, 발전소의 경제성에도 긍정적인 영향을 미친 것으로 평가되었음. Xcel Energy는 향후 암모니아 혼소 비율을 50%까지 늘리는 추가 연구를 계획 중이며, 혼소발전을 위한 연소 제어 및 안전 관리 기술을 개발하고 있음.

유럽 - RWE의 암모니아 혼소 파일럿 프로젝트 (독일)

독일의 에너지 기업 RWE는 암모니아 혼소발전의 가능성을 평가하기 위한 파일럿 프로젝트를 운영하고 있음. 이 프로젝트에서는 암모니아와 석탄을 10% 혼합하여 연소한 결과, 기존 석탄화력발전 대비 약 10%의 탄소 배출 감축 효과가 확인되었음. 또한, RWE는 암모니아 혼소 시 발생할 수 있는 NOx 배출을 효과적으로 제어하기 위해 선택적 촉매 환원(SCR) 장비를 설치하여, NOx 발생 억제 성능을 확인했습니다. RWE는 암모니아 혼소 비율을 20%로 높이는 추가 실증 연구를 진

행 중이며, 이를 통해 향후 상업용 혼소발전 적용 가능성을 검토하고 있음.

네덜란드 - 포르투나 암모니아 혼소 프로젝트

네덜란드에서는 포르투나(Fortuna) 프로젝트를 통해 암모니아 혼소발전을 실증하고 있음. 이 프로젝트에서는 기존 석탄화력발전에 암모니아 혼소 기술을 적용하여 탄소 배출을 줄이고, 실증 단계에서 15% 혼소 비율로 약 15%의 탄소 배출 감축 효과를 달성했음. 네덜란드는 재생에너지 기반 그린 암모니아를 사용하여 혼소발전의 경제성과 환경적 지속 가능성을 검토하고 있으며, 이 프로젝트를 통해 그린 암모니아 기반 혼소발전의 상용화 가능성을 탐색하고 있음.

성과 분석 및 시사점

탄소 배출 감축 효과: 암모니아 혼소 비율에 비례하여 탄소 배출이 효과적으로 감소하는 결과가 나타났으며, 혼소 비율 20~30%에서 실질적인 이산화탄소 감축 효과가 확인되었음.

기술적 타당성: 연소 제어, NOx 배출 관리 등의 기술적 도전이 있으나, 선택적 촉매 환원(SCR) 등의 배출 제어 장치를 통해 안정적인 혼소발전이 가능하다는 결과가 도출되었음.

경제성: 기존 석탄화력발전 인프라를 최대한 활용하면서 초기 투자 비용을 줄일 수 있어, 암모니아 혼소발전의 상용화 가능성이 높은 것으로 평가됨. 또한, 암모니아 공급망 구축을 통해 비용 절감 효과가 기대됨.

안전성 관리 필요성: 암모니아의 독성과 폭발 위험으로 인해 안전 관리가 필수적이라는 점이 강조되며, 암모니아 저장, 운송, 혼소에 대한 안전 규정과 장비 도입이 필요함.

Ⅷ. 결론 및 제언

7.1 연구 요약 및 결론

본 연구는 암모니아 혼소발전이 석탄화력발전의 이산화탄소 배출을 줄일 수 있는 효과적인 대안임을 확인하고, 이를 통해 온실가스 감축 효과와 기술적·경제적 타당성을 분석하였음. 암모니아는 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않으며, 석탄과 혼합하여 사용하면 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있음. 특히, 혼소 비율을 높일수록 이산화탄소 감축 효과는 비례적으로 증가하며, 이를 통해 기후변화 대응 및 탄소 중립 목표 달성에 기여할 수 있음.

주요 국가인 일본, 미국, 유럽에서는 암모니아 혼소 기술을 상용화하기 위한 연구와 실증 프로젝트가 활발히 진행되고 있습니다. JERA, Xcel Energy, RWE 등은 암모니아 혼소 비율을 높이며 이산화탄소 감축 효과와 경제성을 평가하고 있으며, 이러한 실증 사례들은 암모니아 혼소발전이 기존 발전 인프라를 활용하면서도 온실가스 배출을 줄일 수 있음을 보여주고 있음.

암모니아 혼소발전은 온실가스 감축, 기존 인프라의 활용 가능성, 탄소 중립 목표 달성에 기여할 수 있는 중요한 기술임. 다만, 암모니아의 낮은 연소 열량과 NOx 배출 문제, 안전성 문제 등 기술적 과제가 존재하며, 경제적 부담을 줄이기 위한 정책적 지원도 필요함. 이러한 도전 과제를 해결한다면 암모니아 혼소 기술은 석탄화력발전의 친환경적 전환에 실질적으로 기여 할 수 있을 것임.

그러나, 최근 암모니아 혼소에 대한 부정적인 시선이 증가하고 있음. 국내 한 보고에 의하면, 암모니아는 미세먼지 전구체로서 미세먼지양을 증가시킬수 있으며 분석 결과에 의하면 기존 대비 85%까지 미세먼지가 증가할 수 있다고 보고 했음. 암모니아의 독성과 같은 이러한 부가적인 악영향을 해소할 수 있는 다양한 기술들이 동반되어야 할 것임.

7.2 향후 연구 방향 및 정책적 제언

암모니아 혼소발전이 상용화되고, 안정적인 발전 방식으로 자리잡기 위해서는 다음과 같은 추가 연구와 정책적 지원이 필요함.

1) 혼소 기술 최적화 연구

암모니아 혼소발전의 상용화 가능성을 높이기 위해서는 연소 제어와 NOx 배출 억제에 대한 기술적 개선이 필요함. 혼소 비율이 높아질수록 NOx 배출이 증가할 수 있으므로, SCR(선택적 촉매 환원)과 같은 고효율 배출 제어 기술 개발이 필수적임. 또한, 연소 효율과 안정성을 유지하기 위한 최적의 혼소 비율과 연소 조건을 설정하는 연구도 필요함.

2) 암모니아 공급망 구축과 그린 암모니아 생산 지원

암모니아 혼소 기술이 상용화되기 위해서는 안정적이고 경제적인 암모니아 공급망 구축이 필수적입니다. 암모니아는 현재 주로 화학 산업에서 사용되며, 발전 연료로 대량 공급되려면 저장·운송·공급 체계를 확립해야 합니다. 또한, 재생에너지를 활용한 그린 암모니아 생산을 통해 탄소 중립 목표 달성에 기여할 수 있으며, 정부와 민간의 협력을 통한 그린 암모니아 공급망 구축을 지원할 필요가 있습니다.

3) 경제적 인센티브와 정책 지원

우리나라에서는 정부차원에서 이미 남부, 동부발전 등 항구도시 소재 화력발전소가 지원을 받고 있음. 암모니아 혼소발전의 초기 도입 단계에서는 경제적 부담이 존재하므로, 이와 같은 정부 차원의 적극적인 재정 지원과 인센티브가 필요함. 탄소 배출량을 감축하는 발전소에 대해 세금 감면, 보조금 지급, 탄소 배출권 제공 등의 정책적 지원이 이루어진다면 암모니아 혼소 기술의 경제성이 향상될 것임. 또한, 암모니아 혼소 기술 개발과 관련된 R&D 예산 지원도 필요함.

4) 안전 관리 체계 강화

암모니아는 독성과 폭발 위험이 있으므로, 혼소발전을 도입할 때는 엄격한 안전 관리 체계가 필수적임. 암모니아의 저장, 운송, 혼소 과정에서의 안전성 확보를 위해 누출 감지 시스템과 자동화된 모니터링 시스템, 고압 저장탱크 등의 안전 관리 장비를 도입해야 함. 또한, 암모니아 취급에 대한 명확한 규정과 기준을 마련하여 안전성을 강화하는 법적·정책적 지원이 필요함.

5) 국제 협력 및 기술 공유

암모니아 혼소발전 기술은 전 세계적으로 연구 및 실증이 이루어지고 있으므로, 국제적인 협력과 기술 공유가 중요함. 주요국 간 기술 협력과 실증 데이터 공유를 통해 혼소발전의 경제성과 안정성을 더욱 높일 수 있으며, 국제적 기후 목표 달성에 기여할 수 있음. 이를 위해 암모니아 혼소 기술과 관련된 국제 연구 프로그램을 확장하고, 협력 네트워크를 구축하는 방안을 고려해야 함.

<참고문헌>

1. 세계 1등 수소산업 육성 전략 (산업통상자원부, 2022)
2. 수소 기술 미래전략 (과학통신기술자원부, 2022)
3. 제1차 수소경제 이행 기본계획 (2021)
4. 독성물질의 위협: 암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가와 건강피해 (CREA- CFOC, 2021)
5. 일본 경제산업성 (2021)
6. BNEF, Japan's Costly Ammonia Coal Co-Firing Strategy (2022)
7. IEA, Ammonia Technology Roadmap(2021)