



독성물질의 위협

암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가와 건강피해



기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다.
리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭 넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고,
근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.

- 발간월** 2024년 5월
- 저자** Jamie Kelly (CREA)
정석환 (SFOC)
오동재 (SFOC)
- 도움주신분** 김서윤 (SFOC)
- 문의** 정석환 / seokhwan.jeong@fourclimate.org
- 디자인** Nature Rhythm

독성물질의 위협

암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가와 건강피해

요약문

일본과 한국 정부가 주도적으로 추진하고 있는 석탄화력발전기의 암모니아 혼소 발전 방식은 “무탄소 발전”이라는 구호와는 다르게 석탄발전을 지속하기 위한 수단으로 활용되고 있다. 한국 정부의 계획에 따르면 2030년까지 기존 석탄화력발전기를 대상으로 암모니아 20% 혼소(발열량 기준)를 적용할 예정인데, 나머지 80%는 여전히 석탄연료로 활용하기 때문에 온실가스 감축 효과가 20%에 불과하다는 것을 의미한다. 석탄화력발전기의 암모니아 혼소는 최대 20%에 불과한 온실가스 감축효과에도 불구하고 석탄발전의 수명연장을 정당화하고 있을 뿐만 아니라, 대기오염에도 막대한 악영향을 미칠 것으로 예상된다.

암모니아는 독성 가스로 흡입 시 호흡곤란과 폐질환, 유전적 기능 이상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 석탄발전소에 암모니아를 연료로 혼소할 경우 투입된 암모니아의 일부가 연소되지 않고 대기중으로 배출될 수 있는데, 연간 1,100만톤의 암모니아를 연료로 활용하겠다는 정부의 계획을 고려하면 암모니아가 0.1%만 배출되더라도 1만 1천톤이 대기 중에 배출되는 것이기 때문에 그 영향은 막대하다.

또한 암모니아는 대기중에서 미세먼지를 형성하는 미세먼지 전구물질이다. 암모니아 혼소 계획이 발표된 발전소를 대상으로 미세먼지 배출량을 계산한 결과 암모니아 혼소에 의해 기존 대비 85%까지 미세먼지가 증가할 수 있다는 결과를 확인하였다. **특히 발전소가 밀집된 충남지역의 경우, 현재 계획대로 암모니아 혼소가 진행된다면 기존에 배출하던 미세먼지가 5,512톤에서 8,430톤으로 대폭 증가할 것으로 예상되며, 이는 충남지역에 석탄화력발전기 4기가 새롭게 들어서서 효과와 동일하다.**

암모니아 혼소의 온실가스 악영향, 미세먼지로 인한 건강 위협에도 불구하고 한국 정부는 각종 인센티브와 보조금을 통해 암모니아 혼소를 장려하고 있으며, 올해 열리는 청정수소발전 입찰시장에 암모니아 혼소 대상 발전기들이 입찰될 경우 이러한 리스크는 더욱 확실시될 것으로 예상된다.

정부는 지금이라도 석탄화력발전의 암모니아 혼소 계획을 백지화하고 2030년까지 석탄발전을 종료하기 위한 노력을 조속히 추진해야 한다. 석탄화력발전 연장이 아닌 재생에너지 중심의 전력 시스템 전환을 가속화하는 동시에, 재생에너지를 통해 생산한 그린 수소 및 그린 암모니아를 난감축 분야인 대규모 수송 부문과 산업 부문에 활용할 수 있도록 정책적 지원을 전환해야 한다.

목차

1. 암모니아 혼소 관련 국내의 현황	4
-----------------------------	----------

2. 석탄화력발전소 가동에 의해 배출되는 미세먼지 종류	6
---------------------------------------	----------

3. 암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가 영향	7
1) 미세먼지 증가의 원인: 미연소된 암모니아의 대기 누출	7
2) 분석 방법	8
3) 발전기 및 지역별 미세먼지 배출량 변화	8

4. 암모니아 혼소의 다른 문제점들	12
1) 석탄발전 유지에 따른 재생에너지 전환 지연	12
2) 숨겨진 온실가스 배출량	12
3) 비싸고 비효율적인 방식	13

5. 결론	15
--------------	-----------

참고자료	16
-------------	-----------

1. 암모니아 혼소 관련 국내외 현황

운영 중인 석탄발전소에 연료인 석탄의 대체 연료로 암모니아를 섞어서 연소하는 암모니아 혼소 기술은 전 세계적으로 일본이 주도해 온 기술이다. 현재 일본의 암모니아 혼소 정책은 일본 최대 발전회사인 제라(JERA)¹와 발전설비 제작사인 이시카와지마 하리마 중공업(IHI)이 주도하고 있는 것으로 알려져있다. 현재 일본 정부는 2024년부터 헤키난 화력발전소 4호기(1GW 규모)를 대상으로 암모니아 20% 혼소 실증을 진행하고 있으며, 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)의 지원 정책에 따라 2030년까지 50% 혼소를 실증하는 것을 목표로 삼고 있다.

일본의 혼소 계획에 따라 암모니아 수요는 2050년 기준 연간 3,000만톤 정도가 필요할 것으로 전망되고 있으며², 대부분은 수입을 통해 조달할 것으로 예상된다. 일본 최대의 암모니아 수입 업체는 미쓰이 물산(Mitsui & Co.)이며, 미쓰이 화학, IHI, 간사이 전력과 함께 오사카 인근 지역에 걸쳐 암모니아 수입 시설을 도입하는 것을 계획하고 있다.

일본은 단순히 자국 내 암모니아 혼소 발전 추진을 넘어 말레이시아, 태국, 필리핀, 인도네시아 등 동남아시아 국가들에도 암모니아 혼소 적용 확대를 추진하고 있다. 이는 일본 석탄을 넘어서(Japan Beyond Coal), 키코네트워크(Kiko Network) 등 일본 내 시민사회 단체 뿐만 아니라 블룸버그 뉴 에너지 파이낸스(BNEF), 트랜지션 제로(Transition Zero), E3G 등 글로벌 전문기관들의 우려의 목소리가 이어지고 있다.

석탄발전소의 조기폐쇄 대신 암모니아를 혼소해 수명을 연장하는 것은 환경적으로 여러 우려점들을 노정하고 있다. 첫째는 막대한 온실가스 배출 우려다. 파리협정의 1.5°C 목표에 도달하기 위해 한국은 2030년까지 석탄발전소의 조기 폐쇄 및 재생에너지 전환 노력이 필요하지만, 암모니아 혼소는 결국 석탄발전소의 수명 연장으로 이어질 수 있기 때문이다. 현재 기술적으로 실증단계에 불과한 20% 연료 혼소를 한다 하더라도 석탄발전소는 여전히 80%의 온실가스를 배출하기 때문이다.

둘째로, 암모니아는 독성물질로 분류되는 유해 물질로, 석탄발전소 밀집 지역과 인근 주민들의 피해가 더욱 높아질 것으로 우려되기 때문이다. 석탄발전소는 석탄의 연소 과정에서의 질소산화물·황산화물과 같은 유해물질 배출로 인해 지역 주민들의 건강을 심각하게 위협한다. 암모니아 혼소는 이에 더해 독성물질인 암모니아의 누출에 따른 추가적인 건강 피해를 발생시킬 것이라는 우려가 지배적이다.

한국은 2021년 10월에 발표한 2030 국가온실가스감축목표(NDC) 상향안에서 2030년 기준 암모니아

1 제라(JERA): 도쿄전력 자회사인 도쿄전력 연료&발전(TEPCO Fuel&Power)과 주부전력(Chubu Electronics)이 각 50%씩 자본금을 출자해 만든 합작 회사이다.

2 일본 경제산업성 발표내용(2021)

발전량을 총 발전량의 3.6%(22.1TWh)로 계획하여 반영하고, 한국전력공사(KEPCO)와 발전공기업 5개사를 포함한 『수소·암모니아 실증 추진단』을 발족하는 등 암모니아 혼소 추진에 대한 정부 및 공기업 차원의 강한 의지를 보여왔다. 특히 암모니아 혼소의 경우 2027년까지 석탄화력발전소 대상 암모니아 20% 혼소에 대한 실증테스트를 완료하고, 2030년까지 석탄화력발전기 총 43기의 절반을 상회하는 24기에 대해 암모니아 20% 혼소를 적용할 계획이라고 밝혔다.



* 산업부 자료 기후솔루션 재구성

한국은 수소와 수소화합물인 암모니아의 활용을 가속화하기 위해 “청정수소 인증제”를 도입하였으며, 수소 1kg당 4kg 이하의 온실가스(CO₂eq)를 배출하는 수소(암모니아)에 대해서는 6월부터 시행될 “청정수소발전 입찰시장” 참여 자격을 부여할 예정이다. 청정수소발전 입찰시장은 3년 이후에 이행될 수소/암모니아 혼소 발전량에 대한 사전 입찰을 하는 방식으로 진행되며 혼소에 소요되는 고정비와 변동비가 입찰 가격으로 반영되어 발전비용을 보상받는 구조로 진행될 예정이다.

기후솔루션에서는 지난 해 12월 발간한 “청정수소 인증제 핵심이슈 분석” 이슈 브리프를 통해 정부에서 도입한 청정수소 인증제와 암모니아 혼소의 문제점들을 언급한 바가 있다. 과학적 데이터 기반의 대기오염 연구를 전문으로 하는 독립연구기관인 핀란드 에너지·청정대기연구센터(CREA)에서 일본의 헤키난 발전소를 대상으로 진행한 연구(Air Quality Implications of Coal-Ammonia Co-Firing, 2023) 내용을 바탕으로, 동 보고서는 한국 내 석탄발전기의 암모니아 혼소에 의한 미세먼지·독성물질 증가 영향을 집중적으로 분석한 결과를 제시하고자 한다.

2. 석탄화력발전소 가동에 의해 배출되는 미세먼지 종류

석탄화력발전기는 석탄 연료를 태워서 보일러에 들어오는 물을 고온고압의 증기 상태로 만들고, 이 증기의 압력에 의해 터빈을 회전시키는 방식으로 전기를 생산한다. 연료인 석탄은 급탄기를 통해 보일러 내부로 이송되어 버너에 의해 연소되는데, 연소 과정에서 발생하는 미세먼지(PM2.5), PM2.5 전구물질³인 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx) 등은 전기집진기, 탈질 및 탈황설비 등의 환경설비를 거쳐 일부 저감된 후 굴뚝을 통해 배출된다. 이 입자들 중 큰 먼지들은 전기 집진기에서 대부분 제거되지만 비교적 입자가 작은 초미세먼지(PM2.5)⁴와 미세먼지(PM10)⁵ 일부는 제거되지 못한 상태로 굴뚝을 통해 배출되게 된다.

특히 초미세먼지인 PM2.5는 주로 미세먼지 전구물질(NOx, SOx, NH₃)의 광화학적 반응을 통해 2차적으로 생성되기 때문에 큰 피해를 일으킨다. 석탄화력발전소에서 석탄의 연소 과정에서 나오는 미세먼지, 특히 입자가 작은 PM2.5의 경우 만성 폐렴, 허혈성 심장 질환, 하부 호흡기 감염, 당뇨병 등 다양한 호흡기 및 심혈관 질환을 유발할 수 있다^{6,7}. 전 세계적으로 PM2.5는 매년 4~8백만 명의 조기사망에 기여하는 것으로 알려져 있으며^{8,9}, 이러한 조기 사망과 함께 미세먼지로 인한 다른 건강 질환들은 세계 경제에 8조 달러(세계 국내 총생산의 6.1%에 해당) 규모의 손실을 초래한다¹⁰. 또한 The State of Global Air 2020 보고서에 따르면, 2019년 한국에서 발생한 전체 사망 인원의 무려 7%에 달하는 2만 3천여명이 대기오염의 영향에 의한 사망과 유관한 것으로 확인된다.

한국의 석탄화력발전소에서 발생하는 미세먼지도 막대한 조기사망 우려가 제시되기도 했다. 기후솔루션은 지난 2020년 발간한 보고서에서, 한국의 대기오염물질로 인해 석탄발전소가 모두 폐지될 때까지 최대 24,777명의 조기사망이 유발될 것이라는 분석을 내놓기도 했다.

3 대기 중에서 다른 물질과의 광화학적 반응에 의해 미세먼지를 생성하는 원인물질을 의미한다.

4 PM2.5: 입자의 직경이 2.5 μ m 이하인 먼지를 의미한다.

5 PM10: 입자의 직경이 10 μ m 이하인 먼지를 의미한다.

6 Burnett et al.(2014), An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure, Environmental Health Perspectives

7 Di et al.(2017), Air pollution and mortality in the medicare population, The New England Journal of Medicine

8 Lelieveld et al.(2015), The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale, Nature

9 Burnett et al.(2018), Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter, Proceedings of the National Academy of Sciences

10 세계은행(World Bank) 발표자료 (2022)

3. 암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가 영향

1) 미세먼지 증가의 원인: 미연소된 암모니아의 대기 누출

앞서 설명한 바와 같이 초미세먼지(PM2.5)는 SOx, NOx, NH3와 같은 미세먼지 전구물질에 의해 생성되며, 암모니아(NH3)를 연료로 사용하여 혼소하게 되면 보일러 내에서 연소되지 않은 상태로 배출되는 미연소 암모니아가 발생하게 되는데 이러한 현상을 암모니아 슬립(Ammonia Slip)이라 한다. 특히 대기 중의 암모니아(NH3)는 황산염 및 질산염과 반응하여 황산암모늄 및 질산암모늄의 형태로 미세먼지(PM2.5)를 형성하게 된다. 선행연구에 의하면 암모니아가 슬립되는 양은 총 암모니아 사용량의 0.1~25%에 달할 수 있다^{11,12}.

석탄발전소에 연료 일부(20%)를 암모니아로 혼소한다 하더라도, 필요 암모니아 연료 규모는 상당히 클 것으로 예상된다. 기존의 석탄 발열량을 암모니아가 대체해야 하는데 암모니아의 질량당 발열량은 석탄 보다 작기 때문이다. 예를 들어, 한국남동발전이 보유하고 있는 영흥화력 #3~6호기를 대상으로 20% 암모니아 혼소를 적용한다고 가정하면, 연간 필요로 하는 암모니아의 양은 무려 245만톤에 달한다¹³. 따라서 암모니아가 연소되지 않고 대기 중에 배출되는 비율이 불과 0.1%에 불과하더라도 그 양은 2,450톤이나 되기 때문에 결코 무시할 수 없는 수준의 암모니아가 대기중에 배출된다는 것을 쉽게 알 수 있다.

영흥화력 #3~6호기의 2022년 기준 미세먼지 물질(SOx, NOx, PM2.5) 총 배출량이 4,315톤이었다는 점을 고려하면, 암모니아 혼소에 의한 2,450톤의 암모니아 배출량은 미세먼지 기여도가 상당하다고 볼 수 있다.

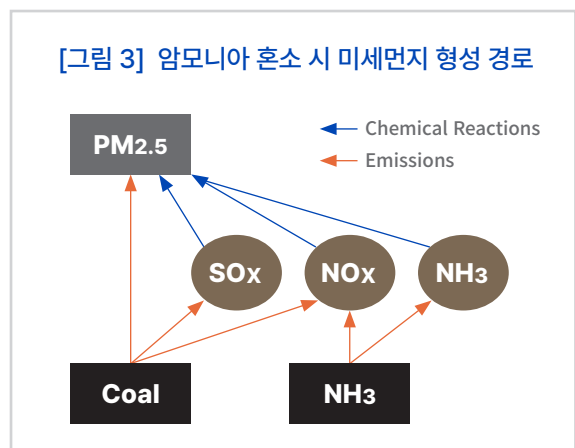
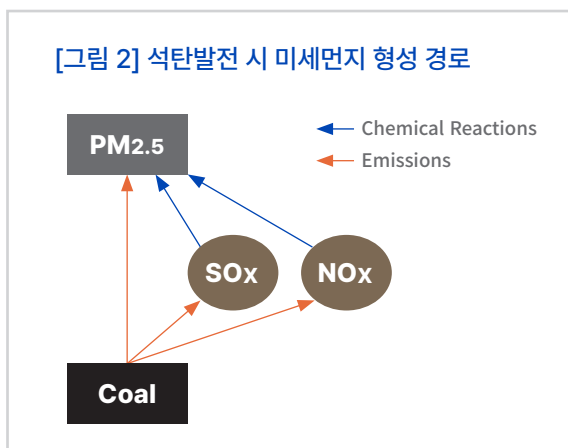


그림: OREA 제공자료 기후솔루션 재구성

11 Balcome et al.(2022), Total Methane and CO2 Emissions from Liquefied Natural Gas Carrier Ships: The First Primary Measurements, Environmental Science & Technology
 12 DieselNet(2023), Selective Catalytic Reduction
 13 2022년 기준 연간 석탄사용량 970만톤에 의한 발열량 20%를 암모니아로 대체할 경우 가정

2) 분석 방법

국내 석탄화력발전기의 암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가 규모를 산정하기 위해 기존 석탄화력발전기의 연간 미세먼지 배출량, 연료사용량 데이터를 확보하였다¹⁴. 각 발전기별 연간 석탄 사용량에 의한 발열량의 20%를 암모니아로 총당하는 것을 가정하여 발전기별 연간 암모니아 예상 사용량을 산정했다¹⁵. 암모니아 사용량 대비 슬립되어 대기로 배출되는 비율은 선행연구 중 가장 보수적인 기준(0.1%)으로 설정했다. 그 외 기존 석탄연료에 의해 생성되는 SOx, NOx, PM2.5는 암모니아 20% 혼소에 따라 기존 대비 80% 수준으로 줄어드는 것으로 설정하였다.

실제로는 암모니아에 의한 Fuel NOx 생성 등에 의해 NOx 배출량이 증가할 수도 있으나, 암모니아의 영향을 집중적으로 분석하기 위해 이번 연구에서는 해당 영향을 제외하였다. 기존 설비에서 Fuel NOx의 제거가 제대로 이뤄지지 않을 경우 실제 배출량은 동 보고서에서 분석한 배출량 보다 더 많아질 수 있다. 또한 암모니아 슬립 비율도 가장 적은 기준(0.1%)으로 설정했기 때문에 암모니아 배출량 또한 실제로는 더 높을 수 있다.

분석 대상은 정부의 혼소 계획에 포함된 24기의 석탄화력발전소 중 언론을 통해 암모니아 혼소 계획이 공식적으로 발표된 국내 석탄화력발전기 14기를 대상으로만 진행하였다. 영흥(#3~6호기)·삼척(#1~2호기)·여수(#1~2호기)·당진(#9~10호기)·태안(#9~10호기)·신보령(#1~2호기) 등 14개 발전기에 대해 암모니아 20% 혼소에 의한 미세먼지 배출량 변화를 분석하였다.

3) 발전기 및 지역별 미세먼지 배출량 변화

아래에 제시된 [표 1]은 2030년까지 암모니아 20% 혼소 적용이 예정된 14개 석탄화력발전기의 각 발전기별 20% 암모니아 혼소 적용 전과 후의 미세먼지 물질(SOx, NOx, PM2.5, NH3)의 연간 배출량 및 증가율을 나타낸다.

14 2022년 한국전력통계 및 TMS 측정데이터 기준

15 선행연구 기준 가장 보수적인(가장 적게 배출되는) 암모니아 슬립 비율 가정

[표 1] 발전기별 암모니아 20% 혼소 적용 전/후 미세먼지 배출량

대상 발전기	기존 배출량 (2022년 기준, 톤)					20% 혼소 후 배출량 (예상 값, 톤)					증가율
	SOx	NOx	PM2.5	NH3	합계	SOx	NOx	PM2.5	NH3	합계	
영흥#3	830	532	17	-	1,379	664	425	14	598	1,701	23%
영흥#4	643	408	16	-	1,066	514	326	12	513	1,366	28%
영흥#5	493	438	18	-	949	394	350	14	674	1,433	51%
영흥#6	50	401	19	-	921	401	321	15	660	1,397	52%
삼척#1	235	450	29	-	714	188	360	23	652	1,223	71%
삼척#2	254	407	34	-	696	203	326	28	730	1,287	85%
여수#1	18	254	4	-	276	14	203	4	237	458	66%
여수#2	38	256	5	-	299	30	205	4	204	443	48%
당진#9	616	469	11	-	1,096	493	375	9	854	1,731	58%
당진#10	702	591	31	-	1,324	562	473	25	854	1,914	44%
태안#9	249	429	9	-	688	199	343	7	429	979	42%
태안#10	512	586	13	-	1,111	409	469	11	678	1,567	41%
신보령#1	524	271	12	-	807	419	217	10	744	1,390	72%
신보령#2	267	208	10	-	486	214	167	8	460	849	75%
합계	5,881	5,702	230	-	11,813	4,705	4,561	184	8,289	17,739	50%

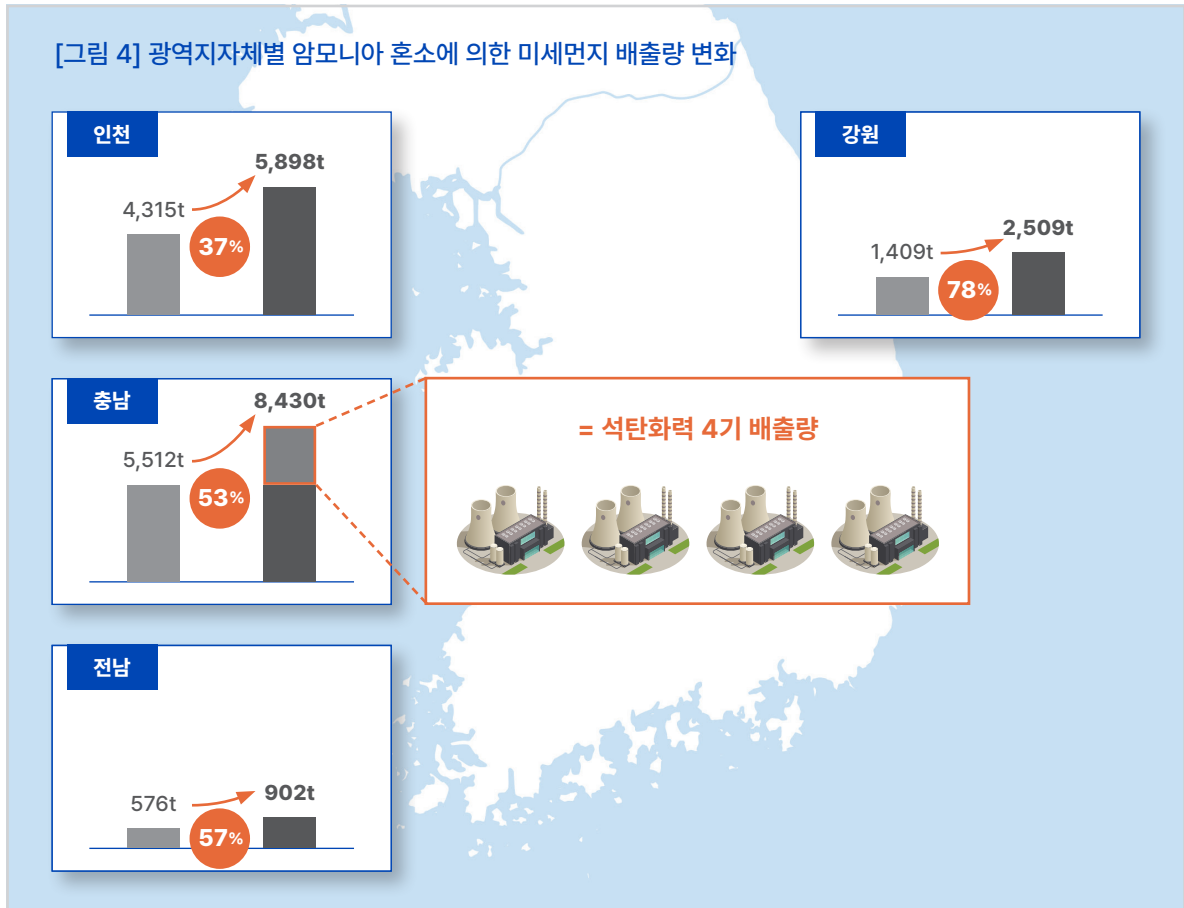
석탄원료에 주로 기인하는 SOx, NOx, PM2.5는 암모니아 원료 대체에 의해 소폭 감소한 반면, 암모니아의 슬립(Slip)에 의한 NH3 배출량이 발생하면서 미세먼지 배출량 합계는 모든 경우에서 대폭 증가한 것을 확인할 수 있었다. 미세먼지 물질의 총 배출량은 기존 대비 23%에서 많게는 85%까지 증가했으며, 평균적으로는 50%(약 1.5배) 정도로 증가했다.

암모니아 20% 혼소가 예정된 14개의 개별 발전기의 미세먼지 배출량을 바탕으로 광역 지자체별 미세먼지 배출량이 어떻게 변화하는지도 분석하였다 [그림 4].

영흥화력 #3~6호기가 위치한 인천 지역의 경우 기존 배출량인 4,315톤에서 5,898톤으로 37% 증가하였고, 삼척화력 #1~2호기가 위치한 강원 지역은 1,409톤에서 2,509톤으로 78% 증가하였다. 여수화력 #1~2호기가 위치한 전남 지역은 576톤에서 902톤으로 57% 증가했으며, 당진 #9~10호기와 태안 #9~10호기 및 신보령 #1~2호기가 위치한 충남지역의 경우 5,512톤에서 53% 증가한 8,430톤으로 광역 지자체 중에서 가장 높은 미세먼지 배출량을 나타냈다.

특히, 혼소계획 추진에 따른 충남지역의 미세먼지 증가가 돋보이는 것을 확인할 수 있다. 충남은 내년에 태

안화력 #1~2호기의 폐쇄를 앞두고 있는데 태안 #1~2호기의 연간 미세먼지 배출량이 1,161톤(2022년 기준)이라는 점을 고려하면, 내년에 태안화력 2개 발전기가 폐쇄되더라도 남아있는 석탄화력발전소의 암모니아 혼소에 의해 태안화력발전소 4개가 새로 들어서는 효과에 버금가는 미세먼지가 추가로 배출되기 때문에 석탄화력발전기의 폐쇄 노력이 무색해진다고 할 수 있다.



미세먼지 물질 증가의 원인인 암모니아(NH₃) 슬립(Slip)은 연료로 투입된 암모니아가 연소되지 않고 대기중에 배출되는 현상이기 때문에, 앞서 설명한 바와 같이 발전기에 투입되는 암모니아의 양이 많을수록 슬립되는 암모니아의 양 또한 많아지게 된다. 동 연구에서 분석한 석탄화력발전기 14기의 2022년 기준 석탄 사용량은 3,288만톤이며 석탄 발열량의 20%를 암모니아로 감당할 경우 무려 829만톤의 암모니아가 연료로서 투입되게 된다. 향후 "청정수소발전 입찰시장" 개설 등 정부의 무탄소 발전 확대 정책 기조를 고려하면 암모니아 혼소를 적용하는 석탄발전기의 이용률과 혼소율은 증가할 것으로 예상되며, 이는 결국 암모니아 연료 사용량의 증가와 함께 발전소 인근 지역의 미세먼지 발생량 증가로 이어질 수 있다는 점을 시사한다.

미세먼지는 대기 중에 장기간 체류하며 길게는 수십 km까지 멀리 이동할 수 있기 때문에 지역에서 발생하

는 미세먼지가 국내 전 지역에 영향을 미칠 수도 있다. 또한, 대기 중의 농도가 미량 증가하더라도 그 영향은 막대한데 PM2.5의 대기 중 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 경우 폐암 발생 위험은 9% 높아진다는 연구결과가 있다¹⁶.

독성물질인 암모니아의 취급과 대기중 누출이 초래하는 위험도 결코 무시할 수 없다. 암모니아는 독성 가스로 피부 접촉만으로도 신체에 흡수될 수 있으며 호흡곤란, 폐 기능 이상, 유전적 결함을 일으킬 수 있다¹⁷. 정부의 계획에 의하면 연간 1,100만톤의 암모니아를 발전소에서 취급해야 하는데 다량의 암모니아 취급 과정에서 발전소 노동자의 안전 위협 가능성을 배제할 수 없다. 또한 위의 분석 결과에서 보여주듯이 암모니아 혼소에 의해 대기 중에 배출되는 암모니아의 양이 막대하기 때문에 작업자의 안전과 지역사회의 건강 위협을 피하기 위해서는 현행 암모니아 혼소 정책을 재검토할 필요가 있다.

16 인하대학교병원 연구결과(2018)

17 산업안전보건연구원 물질안전보건자료(MSDS)

4. 암모니아 혼소의 다른 문제점들

1) 석탄발전 유지에 따른 재생에너지 전환 지연

암모니아 혼소의 가장 큰 문제점은 석탄화력발전기에 20%의 암모니아를 혼소하더라도 나머지 80%는 석탄을 활용하여 발전해야 한다는 점이다. 한국이 벤치마킹 대상으로 하는 일본의 경우에도 현재 20%에 불과한 혼소율로 실증을 진행하고 있으며, 한국도 2030년까지 20%의 암모니아 혼소율 적용 이후 2050년까지는 석탄 연료의 사용을 수반한 발전을 지속할 예정이다. 결국 정부의 암모니아 혼소 정책이 무탄소 발전이라는 구호적인 측면의 의미만 있을 뿐 실질적으로는 석탄연료를 주 연료로 활용하기 때문에 사실상 석탄발전의 수명연장을 위한 수단이라고 볼 수밖에 없다.

한국에서 재생에너지 발전이 활성화되지 않는 주된 이유 중에 하나는 대용량 기저발전 중심의 시스템이 오랜 기간 유지되어 오면서 재생에너지 중심의 전력시스템에 대한 제도적 뒷받침이 충분히 이뤄지지 않았기 때문이다. 이러한 상황에서 석탄화력발전기를 통한 암모니아 혼소 발전량이 보장받게 되면 결국 80%의 석탄발전을 포함한 채로 지속적인 가동을 유지하게 되고, 기존의 발전시스템에서 벗어나지 못하게 되면서 재생에너지 중심의 전력시스템 전환은 더욱 어려워지는 것이다.

미국의 메릴랜드 대학교 글로벌 지속가능성 센터의 연구결과에 따르면, 한국은 2035년까지 모든 석탄발전이 종료되어야만 파리협정에 부합하는 1.5°C 이내의 온도상승 억제를 달성할 수 있다¹⁸. 따라서, 2050년까지 석탄 사용을 수반한 암모니아 혼소 발전을 지속하겠다는 정부의 암모니아 혼소 계획은 재생에너지 전환을 지연시킬 뿐만 아니라 1.5°C 파리협정에도 부합하지 않는다.

2) 숨겨진 온실가스 배출량

암모니아 혼소는 석탄 연소에 의한 온실가스 배출 이외에 연료인 암모니아의 생산 및 조달 과정에서도 온실가스를 배출할 수 있다. 한국 정부는 2030년까지 호주, 사우디, 오만, UAE 등 주요국가로부터 그린암모니아와 블루암모니아를 927만톤을 도입할 예정인데¹⁹, 특히 블루암모니아의 경우 원료인 LNG의 채굴 과정에서 발생하는 온실가스 영향까지 포함하면 막대한 양의 온실가스가 배출된다. 미국의 에너지경제·재무분석연구소(IEEFA: Institute for Energy Economics and Financial Analysis)에서는 블루수소의 탄소 집약도(Carbon Intensity, kgCO₂e/kgH₂)가 온실가스 생애주기와 상류 부문(Upstream) 메탄 배출률에 따라 3.4 kgCO₂e/kgH₂에서 최대 15.4 kgCO₂e/kgH₂에 달한다고 분석하였다. 암모니아는 원

18 UMD-CGS(2023), Korea energy plan assessment for cgs release

19 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021)

료인 수소를 합성하여 생산하기 때문에 블루수소의 생산 과정에서 발생하는 온실가스가 많을 경우 암모니아 혼소에 의한 실질적인 탄소 저감 효과는 없을 수 있다.

또한, 암모니아를 해외에서 도입하는 과정에서도 온실가스가 발생한다. 해외에서 생산한 암모니아는 운반선(Ammonia Carrier)을 통해 액화된 상태로 도입하게 되는데, 아직까지 대형선박의 연료는 화석연료를 사용하고 있기 때문에 암모니아의 해상 운송 과정에서도 온실가스가 배출될 수 있다. 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에 따르면 해운 부문의 온실가스 배출량은 전 세계 온실가스 배출량의 3%를 차지하는 등 결코 무시할 수 없는 배출원으로, 무탄소 선박이 상용화되기 전까지는 암모니아의 해상 운반 시 온실가스 배출을 수반할 수밖에 없다.

암모니아 혼소와 관련해서 알려지지 않은 온실가스 배출 위험 요소가 한 가지 더 있다. 아산화질소(N₂O)는 이산화탄소 보다 온실효과가 273배나 큰 온실가스이다. 일반적으로 연소 온도 1,400°C 이상의 환경에서는 거의 생성되지 않는다고 알려져 있으나, 일단 생성이 되면 기존의 환경설비에서 제거되지 않기 때문에²⁰ 미량의 배출로도 암모니아 혼소에 의한 온실가스 저감 효과를 상쇄시킬 수 있다. 따라서 아산화질소가 조금이라도 배출되지 않게 하기 위해서는 추가적인 설비 개선과 관리비용 지출이 예상된다.

3) 비싸고 비효율적인 방식

암모니아 혼소는 기존의 석탄연료를 대체하는 목적으로 추진되고 있지만, 정부 계획상 2050년이도래해야 암모니아 100% 연소 방식이 가능하기 때문에 실질적으로는 석탄연료 사용을 지속하는데 활용되고 있다. 또한, 암모니아 100% 연소가 가능해지더라도 높은 비용과 낮은 효율로 인해 솔루션으로 자리잡기는 어려울 것으로 예상된다.

블룸버그 뉴 에너지 파이낸스(BNEF)가 일본의 암모니아 혼소 및 다른 발전형식에 대해 균등화발전원가(LCOE)를 비교 분석한 결과에 따르면²¹, 2050년이 되더라도 암모니아를 사용한 발전방식은 재생에너지와 배터리를 결합한 발전방식 보다 발전원가가 높을 것으로 전망된다. 이러한 전망은 높은 연료비를 포함한 운영비용(Opex) 증가와 연소기 개조, 연료공급설비 구축 등 암모니아 혼소에 필요한 자본적 지출(Capex)에 기인한다.

또한 암모니아를 발전에 활용하는 것은 효율 측면에서도 손실이 크다. 암모니아의 생산-액화-저장-선적-운송-하역-저장-재기화-연료주입-발전이 이르는 전 과정에서 에너지 손실이 발생하며, 특히 발전 과정에

20 일본 전력중앙연구소(2019), 既設火力発電所におけるアンモニア利用に関する検討

21 BNEF(2022), Japan's Costly Ammonia Coal Co-Firing Strategy

서 약 60%의 손실이 발생하기 때문에 발전 용도로 암모니아를 활용하는 것은 효율적이지 않다.

BNEF는 암모니아의 활용을 고려할 때 탈탄소화를 위한 다른 접근법 대비 경쟁력이 있는지 판단하는 것이 중요하다고 강조한다. 비료 생산 등 암모니아 사용을 대체하기 어려운 적용처와는 달리 발전 분야는 재생에너지라는 명확한 대체 발전원이 존재하기 때문에 발전 분야에 암모니아를 적용하는 것은 바람직하지 않다.

5. 결론

본 보고서는 현행 한국 석탄화력발전소의 암모니아 혼소 정책과 관련해 아래와 같은 정책 제언을 제시한다.

석탄화력발전의 암모니아 혼소계획 백지화: 암모니아의 대기누출 및 미세먼지 형성에 따른 지역주민의 건강 위험 또한 커질 수 있다. 암모니아는 독성 물질로 분류되어 있으며 흡입 시 호흡곤란과 폐질환, 유전적 기능 이상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 정부의 계획에 따라 연간 1,100만톤의 암모니아를 도입하여 발전소에서 취급할 경우 다량의 독성 물질 취급에 따른 작업자의 안전 위험이 존재하는 것은 물론, 암모니아의 대기누출 및 미세먼지 형성에 따른 지역주민의 건강 위험 또한 커질 수 있다. 이에 더해 나날이 심화되는 기후위기 해결을 위해 조속히 달성해야 하는 탈석탄의 시점을 미뤄, 막대한 석탄발전의 온실가스 배출을 수십년간 '무탄소 전원'이라는 미명 하에 정당화할 것으로 우려된다.

석탄화력발전 2030년 조기폐쇄 추진: 독일 소재 기후 싱크탱크인 클라이밋 애널리틱스(Climatic Analytics)는 한국이 파리협정의 1.5°C 목표 달성을 위해선 2030년까지 석탄화력발전소의 조기 폐쇄가 이뤄져야 한다고 권고한 바 있다. 석탄화력발전의 온실가스 배출 집약도가 가장 높기도 할뿐더러, 재생에너지라는 대체재의 존재로 가장 빠르게 전환될 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 암모니아 혼소를 이유로 한 석탄발전의 수명 연장은 재생에너지 확대가 계획된 한국의 전력 시장의 경직성을 더욱 강화할 것으로 우려된다. 정부와 정책결정권자들은 혼소 계획을 통한 석탄화력발전소의 수명 연장이 아닌, 조속한 탈석탄을 위해 필요한 과제를 선별하고 해결해 나가는 과정에 더욱 집중해야 한다.

암모니아 혼소 관련 보조금·지원 정책 중단: 현재 암모니아 혼소와 관련한 실증사업, R&D 예산 등에 막대한 정부 보조금이 '2050년 탄소중립' 실현의 명목으로 지원되고 있다. 뿐만 아니라 '청정수소 인증제'와 '청정수소발전의무화제도(CHPS)'에 화석연료 기반 암모니아의 생산과 암모니아 혼소 발전을 보조하는 방안들이 담기게 되면서, 사실상 화석연료 산업의 연장에 제도적인 틀이 왜곡되고 있는 상황이다. 제한적인 재정 여건을 탄소중립 달성에 가장 효과적으로 활용하기 위해선, 재생에너지 중심의 정부 지원과 투자가 절실한 상황이다. 화석연료의 수명을 사실상 연장시키고 있는 보조금 및 보조 정책들을 교정해, 재생에너지 기반의 그린 수소 및 그린 암모니아의 수요가 필요한 난감축 분야인 대규모 수송 부문과 산업 부문 쪽으로 활용되기 위한 노력이 필요하다.

참고자료

- 세계은행(World Bank) 발표자료(2022)
- 일본 경제산업성 발표자료(2021)
- 인하대학교병원 연구결과(2018)
- 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021)
- BNEF, Japan's Costly Ammonia Coal Co-Firing Strategy (2022)
- Burnett et al., An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure (2014), Environ Health Perspect
- CREA, Air Quality Implications of Coal-Ammonia Co-Firing (2023)
- Di et al., Air Pollution and Mortality in the Medicare Population (2017), New England Journal of Medicine
- IEA, Ammonia Technology Roadmap(2021)
- Lelieveld et al., The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale (2015), Nature
- UMD-CGS Korea Energy Plan Assessment for CGS release (2023)

독성물질의 위협

암모니아 혼소에 의한 미세먼지 증가와 건강피해

