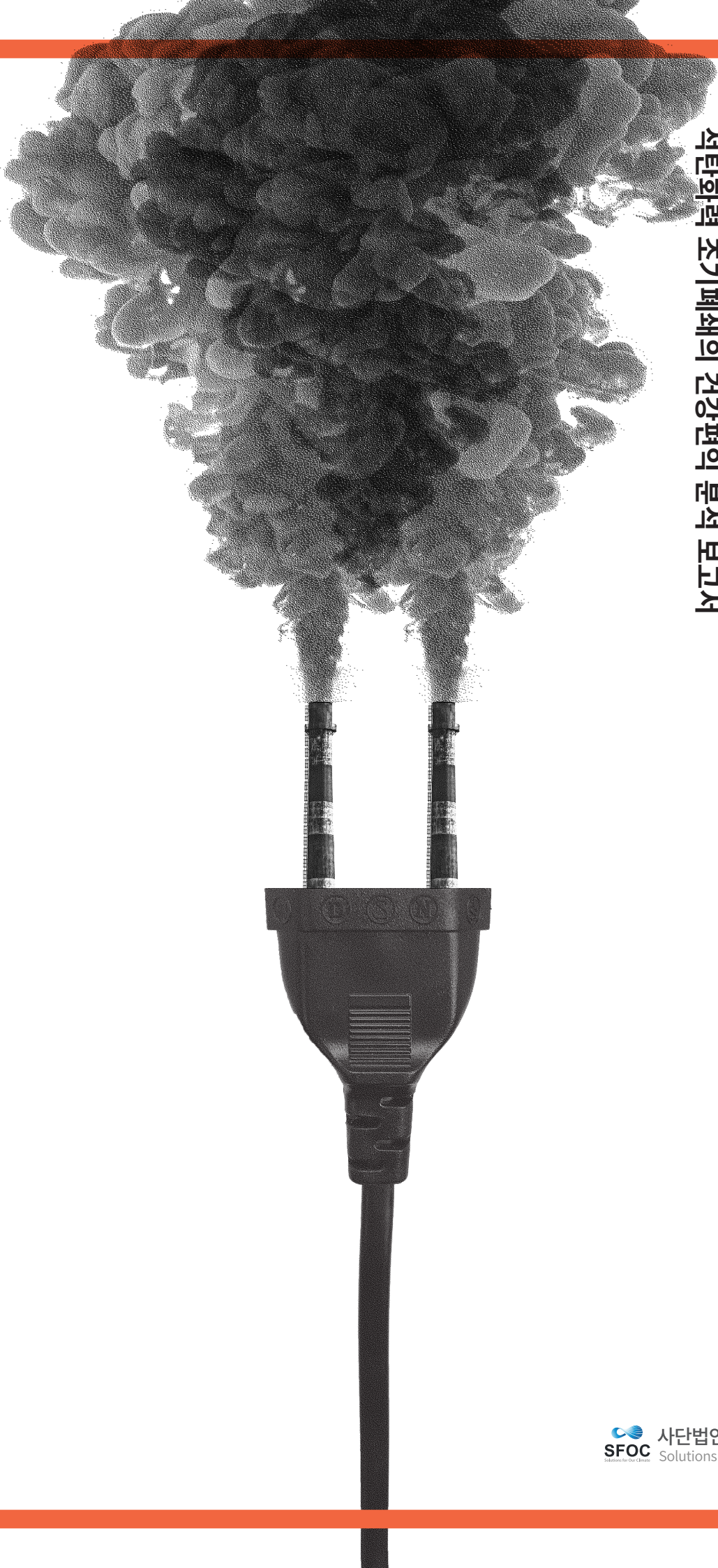


생명을 앗아가는 나쁜 전기, 석탄화력

석탄화력 조기폐쇄의 건강편익 분석 보고서



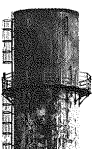
생명을 앗아가는 나쁜 전기, 석탄화력

석탄화력 조기폐쇄의 건강편익 분석 보고서



목차

요약	4
I. 서론	6
II. 우리나라 석탄화력발전소의 현황	7
1. 석탄발전의 현황 및 전망	7
2. 석탄발전으로 인한 대기오염	8
III. 분석의 방법	9
1. 분석방법의 개요	9
2. 세부 분석방법	9
A. 대기 확산 모델링 시스템	9
B. 건강영향분석	11
IV. 분석 결과	14
1. 결과 요약	14
2. 세부 분석 결과	15
A. 대기오염 영향	15
B. 건강영향	20
3. 지역별 건강피해 분석	24
4. 주요결론	32
V. 제언	35
부록 1	36
부록 2	38



우리나라에는 60기의 석탄화력발전 설비가 가동 중이며, 이들 발전소가 전체 온실가스의 27%¹, 미세먼지의 11%²를 배출한다. 석탄화력발전은 우리나라 발전량의 42%를 차지하며³ 현재 7기의 석탄화력발전소가 추가로 건설 중이다. 노후화된 석탄화력발전소의 폐쇄·전환에도 불구하고, 2030년 우리나라 석탄 설비용량은 39.9GW에 달하고, 발전량 비중은 36.1%에 달할 전망이다.⁴

이는 온실가스 감축과 대기오염 개선을 위해 석탄화력 발전을 이미 퇴출했거나, 2030년 경까지 퇴출하겠다는 계획을 수립하고 감축해 나가고 있는 세계적 흐름과 크게 상반된다.

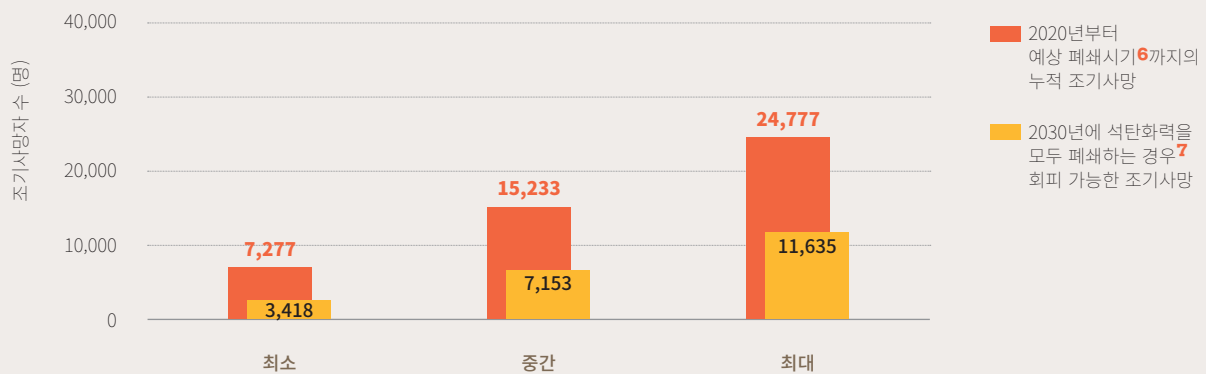
사단법인 기후솔루션(이하 ‘기후솔루션’)은 전 세계적인 석탄퇴출의 움직임에 역행하는 우리나라의 상황에서 석탄화력발전소의 조기폐쇄가 제공할 건강 편익을 분석하고, 석탄

화력발전소의 대기오염 피해를 최소화하기 위한 장기적인 정책 방안을 제시하기 위해 본 보고서를 작성하였다.

위와 같은 분석을 수행하기 위해 가동 중이거나 건설 중인 석탄화력발전소들이 배출하는 대기오염물질의 확산에 관한 모델을 구축하여, 우리나라의 석탄화력발전소가 대기질과 인체 건강에 미치는 영향을 정량화해 평가했다.

분석 결과, 수년간의 미세먼지 감축 노력에도 불구하고 석탄화력발전소가 배출하는 대기오염물질로 인해 연간 995명(최소 475명 - 최대 1,619명)이 조기사망하고 7,039명(최소 1,621명 - 최대 12,574명)이 우울증과 같은 정신피해를 입을 것으로 확인되었다. 반면, 2030년까지 국내 석탄발전소를 전면 폐쇄한다면 7,153명(최소 3,418명 - 최대 11,635명) 조기사망과 4,387명(최소 1,011명 - 최대 7,837명)의 우울증을 예방할 수 있다.⁵

[그림 1] 우리나라에서 운전/건설 중인 석탄화력발전소로 인한 시나리오별 누적 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간



1. 2017년 기준 발전부문은 온실가스 총 배출량의 35%를 차지하며, 석탄발전은 발전부문 온실가스 배출량의 77%를 차지한다. (출처: 온실가스종합정보센터, '2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서', 2019. 온실가스종합정보센터, 2017년도 명세서 배출량통계, <http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=37>. 환경부가 제공한 2017년 석탄발전소 호기별 온실가스 배출량 자료 참조)

2. 국가기후환경회의, “국가기후환경회의 국민정책제안”, 2019. 10, 31면

3. 한국전력공사, “2019년도판 한국전력통계(제88호)”, 2019.

4. 산업통상자원부, “제8차 전력수급기본계획(2017~2031) 공고”. 2017. 12, 41면

5. 우리나라에서 운전/건설 중인 모든 석탄화력발전소의 가동을 전제한 결과이다(2020년 기준으로는 이보다 약 10~15% 낮은 피해가 예상됨).

6. ‘수명관리지침’에 따라 설비별 가동개시 후 30년(설계수명)이 되는 시점

7. 2030년 이전에 설계수명(30년)에 도달하는 발전소의 경우, 설계수명 도달 시점에 즉시 폐쇄하는 것을 전제함.

이와 같은 건강 피해와 기후변화의 위기를 최소화할 수 있는 궁극적인 해결책은 석탄발전의 영구적인 퇴출뿐이다. 다음과 같은 석탄화력 퇴출 정책을 정부에 권고하고자 한다.

첫째, 우리나라 정부는 석탄화력의 2030년 이전 퇴출을 선언해야 한다. 2030년 이전에 석탄화력발전소를 모두 폐쇄할 경우 7,153명의 조기사망 발생을 막을 수 있다. 우리나라 석탄화력의 성능개선 및 환경설비 개선 사업은 발전소의 수명연장을 전제하는데 이는 조기사망 피해를 가중시킬 뿐만 아니라 석탄화력이 좌초되고 있는 세계적 흐름에 반하여 우리나라의 좌초자산 리스크를 증가시킬 뿐이다. 석탄발전에 대한 의존에서 벗어나는 것이 석탄발전의 대기오염 피해로 인한 국민 건강피해를 최소화하고, 기후변화로 인한 전 지구적 위기를 막는 유일한 방법이다.

둘째, 우리나라 정부는 석탄발전 퇴출을 위한 구체적인 로드맵 수립을 통해 사회 및 경제 전반에 예측가능성을 제공하고, 탈석탄으로 인한 사회·경제적 비용을 최소화할 수 있도록 종합계획을 강구해야 한다.

I. 서론

전세계적으로 기후위기에 대한 우려가 고조되고 있는 가운데 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 2018년 지구온난화 1.5도씨 특별보고서를 채택하고 전지구적 대재앙을 막기 위해서는 지구 평균기온 상승 폭을 1.5도씨 이내로 제한해야 하며 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 45% 감축해야 한다⁸고 권고했다.

이러한 목표 달성을 위해 전 세계는 우선 석탄 퇴출에 나서고 있다. 지금까지 33개의 국가, 27개의 지자체, 37개의 기업이 탈석탄동맹(PPCA)에 가입하여 석탄퇴출을 선언했다. 특히 전체 발전량의 39%를 석탄에 의존하고 있는 독일의 2038년 석탄 퇴출 선언은 산업국가에서도 탈석탄이 충분히 ‘가능한’ 선택지임을 보여주었다.

그러나 이와 같은 변화의 속도는 기후위기를 막기에 충분하지 않다.⁹ 2019년 9월 기후변화 연구 기관인 클라이밋 애널리틱스(Climate Analytics)는 1.5도씨 목표를 달성하기 위해서는 OECD 국가들이 2031년까지, 전 세계적으로 2037년까지 모든 석탄화력발전소를 퇴출해야 한다는 분석을 내놓았다.¹⁰

2018년 전세계 온실가스 배출량은 사상 최고치를 경신하였다. 석탄화력발전은 이러한 온실가스 배출량 증가에 기여하고 있는 주요 배출원이다. 석탄화력발전에서 발생한 온실가스 배출량은 2018년 1백억톤을 초과하며 전 세계 온실가스 배출량의 30%를 기록했다.¹¹ 대부분의 OECD 국가에서 석탄화력이 감소하고 있지만, 아시아 지역의 배출량은 석탄사용량과 함께 늘어나고 있기 때문이다.

우리나라의 석탄화력 비중은 지난 2013년 이후 꾸준히 증가하는 추세이다.¹² 최근 미세먼지 고농도시기 일부 석탄화력을 가동중단하거나 가동을 상한제약을 실시하는 등 석탄발전 감축 노력이 이루어지고 있는데, 이는 최근 몇 년 새 미세먼지 문제에 대한 국민적 우려가 확산되었

기 때문이다.

그린피스의 2015년 보고서에 의하면, 우리나라에서 운영 중인 석탄화력발전소의 초미세먼지로 인해 매년 1,100명의 조기사망자가 발생한다. 한국환경정책평가연구원(KEI)도 비슷한 시기에 석탄화력발전소로 인해 매년 1,144명의 조기사망자가 발생하게 될 것이라는 연구결과를 발표했다.

본 보고서는 2015년 하버드대학교와 그린피스가 공동으로 개발한 방법론을 바탕으로 ①석탄화력발전소의 조기폐쇄가 이루어질 경우 기대할 수 있는 건강 편익에 대해 분석하고, ②석탄화력발전소의 대기오염 피해를 최소화하기 위한 근본적인 정책대안으로써 장기적인 석탄화력발전 퇴출 정책 마련의 필요성에 대해 검토하였다.

본 보고서에서 분석하는 석탄발전소의 대기오염 건강피해로 인한 조기사망은 대기오염의 영향이 없다면 발생하지 않을 것으로 예상되는 질병으로 인한 사망이다.

8. IPCC, “Global Warming of 1.5°C”, 2018. 14면

9. 유엔환경계획(UNEP)은 ‘온실가스 격차 보고서’를 통해 전세계 온실가스 배출량은 2018년 사상 최고치를 경신하였고, 이 추세라면 금세기 지구 평균온도가 3.2 °C 가량 치솟아 광범위하고 파괴적인 기후위기에 직면하게 될 것이라고 경고한 바 있다(UNEP, “Emissions Gap Report 2019”, 2019. 11.)

10. Climate Analytics, “Global and regional coal phase-out requirements of the Paris Agreement: Insights from the IPCC Special Report on 1.5°C”, 2019. 9.

11. IEA, ‘Emissions-Global Energy & CO2 Status Report’, 2019

12. 한국전력통계, 앞의 보고서

II. 우리나라 석탄화력발전소의 현황

1. 석탄발전의 현황 및 전망

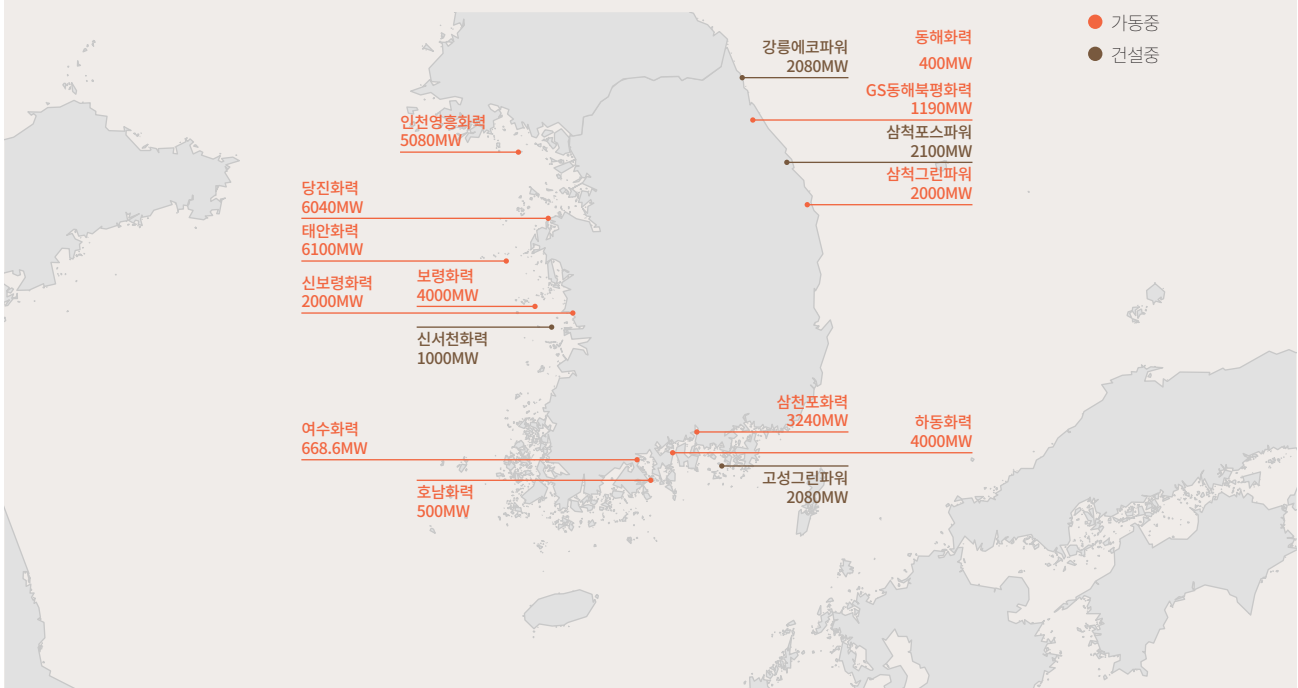
저탄소녹색성장기본법에 의하면, 우리나라는 2030년 국가 온실가스 총배출량을 2017년 온실가스 총배출량 대비 24.4% 감축해야 한다. 이러한 목표 달성을 위해서는 국가 온실가스 배출량의 35%를 차지하며 가장 압도적인 비중을 차지하는 발전 부문¹³에서의 감축이 무엇보다 중요하며, 이를 위해 발전부문 온실가스 배출량의 77%를 차지하는 석탄발전^{14, 15}의 감축이 필수적이다.

그러나 여전히 우리나라에서는 60기의 석탄화력발전소가 운영되고 있으며, 이 중 7기의 석탄화력발전소는 2017년에 가동을 개시하였다. 이는 2017년에 우리나라 온실가스 배출량이 7억톤(전년 대비 2.4% 증가)을 넘어선 주요 원인이다.¹⁶

2017년 신규 가동개시한 7기의 석탄화력발전소 외에 현재 가동 중인 석탄발전 용량의 20% 정도에 해당하는 7기(7GW)의 석탄화력발전소가 건설 중이다. 현재 논의되고 있는 석탄화력발전소의 노후화에 따른 폐쇄 전환 계획을 감안하더라도 2030년 우리나라 석탄발전 설비 용량은 현재보다 4.7GW 증가한 39.9GW(전체 발전 설비의 40.5%)에 이를 것으로 예상된다.¹⁷

제8차 전력수급기본계획은 2030년 석탄화력발전의 비중을 전체 발전량 대비 36.1%로 전망하였다. 이는 온실가스 감축과 대기오염 개선을 위해 석탄화력발전을 이미 퇴출했거나, 2030년 경까지 퇴출하겠다는 다수 OECD 국가들의 흐름과 배치된다.

[그림 2] 우리나라 석탄화력발전소 현황 지도



13. 온실가스종합정보센터, “2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서”, 2019. 국가 인벤토리상 전환 부문 배출량 데이터에 전환 중 발전 부문이 차지하는 비중을 97%(2015년 기준 비중 97.7%, 2014년 기준 비중 97%)로 적용하여 계산함. (총배출량: 709.139 백만톤, 전환부문 배출량: 252.321 백만톤)

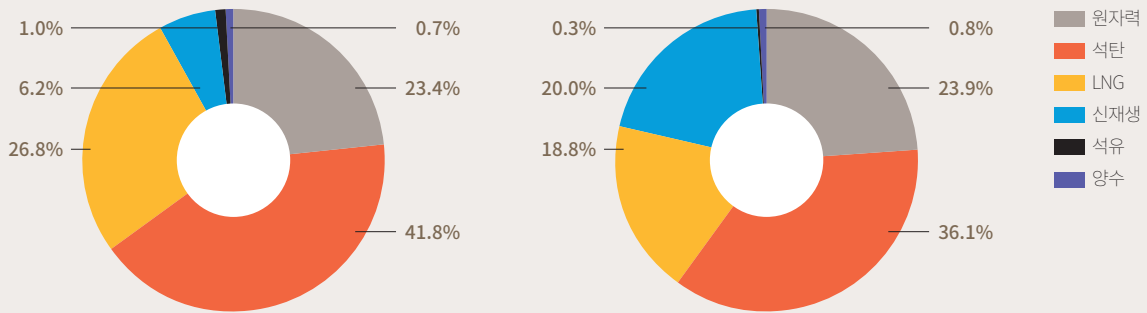
14. 환경부가 제공한 2017년 석탄발전소 호기별 온실가스 배출량 자료 참조.

15. 온실가스종합정보센터, 2017년도 명세서 배출량통계, <http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=37>

16. 온실가스종합정보센터, “2017년 온실가스 배출량 7억 9백만톤, 전년 대비 2.4% 증가” (보도자료), 2019. 10.

17. 산업통상자원부, “제 8 차 전력수급기본계획(2017 ~2031) 공고”. 20017. 12. 41 면

[그림 3] 2018년도 및 2030년도 발전량 믹스 비교 (출처: 한국전력 전력통계속보, 제8차 전력수급기본계획)



2. 석탄발전으로 인한 대기오염

석탄발전은 기후변화의 주요 원인물질인 이산화탄소뿐만 아니라 미세먼지와 초미세먼지, 그리고 이를 생성하는 전구물질인 질소산화물과 황산화물 등 다양한 대기오염물질을 배출한다. 2018년 기준, 석탄발전은 국내 초미세먼지의 11%를 배출하고 있다. 특히 석탄화력발전으로 인한 초미세먼지 배출량은 경유차 900만대가 배출하는 양과 흡사¹⁸한데, 이는 60기에 불과한 석탄화력발전소의 오염 기여도가 얼마나 높은지 보여준다.

그간 석탄화력발전소가 초미세먼지의 주요 원인으로 지목되면서, 대기오염 배출규제가 지속적으로 강화되었다. 최근 정부는 봄철 일부 석탄발전소 가동을 중지하거나 가동률에 상한을 제약하는 등 비상저감조치를 시행했는데, 그 결과 2018년 석탄발전소로 인한 초미세먼지 배출량은 2016년 대비 약 25% 줄어들었다.¹⁹

그러나 여전히 석탄화력발전은 국내 초미세먼지 배출량의 11%를 차지하는 주요 배출원이다. 특히 석탄화력발전

소는 발전소가 소재한 지역에 상당한 대기오염을 초래하고 있다. 예를 들어 우리나라 전체 석탄화력발전소의 절반이 위치한 충남도에서 석탄화력발전은 해당 지역 대기오염물질 배출량의 66.2%를 차지한다.²⁰

게다가 최근에는 기후변화로 인한 대기정체 현상이 심화되면서, 연평균 초미세먼지 농도의 감소 추세에도 불구하고 미세먼지 고농도 현상이 장기화되고 있다.²¹ 이는 석탄화력발전소의 대기오염 영향이 온실가스 배출로 인한 기후변화 영향과 중첩되면서 발생하는 또 다른 환경 재앙이다. 이러한 사실은 석탄화력발전소를 완전히 퇴출하는 장기적이고도 효과적인 계획이 시급하다는 점을 시사한다.

18. 국가기후환경회의, 앞의 보고서, 40 면

19. 석탄화력발전소의 초미세먼지 배출량은 2016년 3.07만톤, 2018년 2.29만톤으로 집계되었다(미세먼지특별대책위원회, “미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)”, 2019. 11. 1. 14 면).

20. 경향신문, “석탄화력 배출 기준 강화했더니..충남 대기오염물질 20% 감소” 충남 대기오염물질 20% 감소, 2018. 7. 17.

21. 미세먼지특별대책위원회, “미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)”, 11 면

III. 분석의 방법

1. 분석방법의 개요

본 보고서는 가동 중이거나 건설 중인 석탄화력발전소들이 배출하는 대기오염물질의 확산에 관한 모델을 구축하여, 우리나라의 석탄화력발전소가 대기질과 인체 건강에 미치는 영향을 정량화해 평가했다.

먼저 석탄화력발전소의 대기오염물질 배출로 인한 지표 부근 대기오염 농도 영향을 대기 확산 모델링 시스템을 사용하여 도출했다. 이 결과를 바탕으로, 인구 데이터를 산입하고 널리 통용되는 건강영향 평가 방법^{22, 23, 24}을 적용하여 이 대기오염 농도에 노출된 인구의 건강피해를 추정했다.

분석에 사용한 대기오염물질 배출량 데이터는 정부기관이나 석탄발전회사들이 제공한 자료를 수집하였다. 신규 발전소의 경우 환경영향평가 자료의 데이터를 기반으로 하여 배출량 데이터를 산정했다. 석탄발전소의 가동기간을 현재 통용되는 수명관리지침²⁵에 따라 설계수명인 30년으로 전제했다.

본 모델은 해당 석탄화력발전소 외에 다른 오염원- 석탄 수송, 저장, 정제, 석탄재의 처리 등에서 발생하는 대기오염물질은 고려하지 않았다. 교통과 산업 등 다른 주요 오염원의 대기오염물질이 발전소로부터 발생한 대기오염을 더욱 악화시킬 것이므로, 유해한 대기오염 수준에 노출되는 실제 인구수와 그로 인한 조기 사망자 수는 더욱 늘어날 것으로 추정된다.

2. 세부 분석방법

A. 대기 확산 모델링 시스템

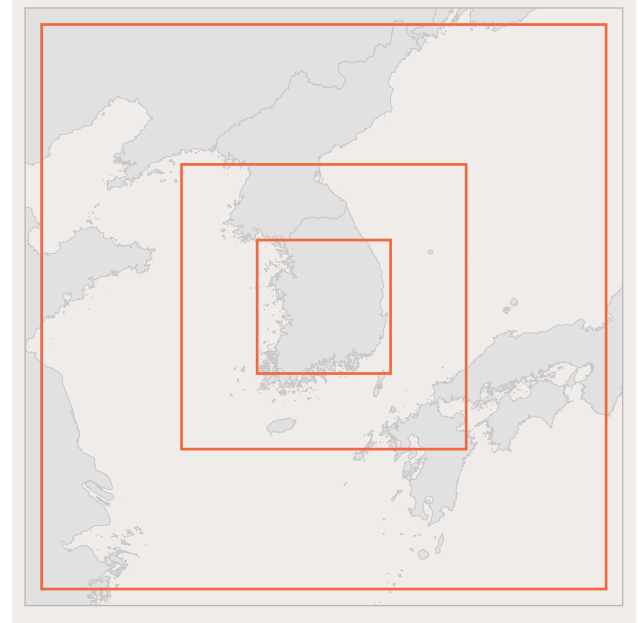
대기확산모델은 크게 두 가지 요소로 구성된다. 석탄화

력발전소 주변 지역의 기상 조건을 시뮬레이션하기 위한 (A-1)기상모델과, 석탄화력발전소에서 배출된 대기오염물질이 주변 환경으로 전파되는 양상을 시뮬레이션하기 위해 (A-2)화학수송 모델 (chemistry-transport model)을 결합한다.

A-1. 기상모델

- **모델.** 석탄화력발전소 주변의 기상은 The Air Pollution Model (TAPM) 버전3을 적용하여 모델링을 실시했다.²⁶ TAPM에는 대기오염물질 확산 모델링 기능도 포함되어 있지만 본 시뮬레이션에서는 TAPM의 기상 요소만을 이용한다.
- **도메인.** 기상모델은 한반도를 중심으로 3개 동지격자

[그림 4] 우리나라의 석탄화력발전소에 대해 3개 격자(오렌지색 박스)의 범위에서 수치 날씨모델이 적용되었다.



22. Anenberg, S.C., Horowitz, L.W., Tong, D.Q. and West, J.J. (2010) An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. Environmental health perspectives. 2010. 9.1.

23. Koplitz, S.N. et al. (2017) Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. Environ. Sci. Technol. 51(3)

24. Krewski, D. et al. (2009) Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. HEI Research Report 140. Health Effects Institute, Boston, MA.

25. 산업통상자원부 전력산업과, "발전설비 수명관리 지침", 2013. 11, 7면

26. Peter J. Hurley, Mary Edwards, William L. Physick and Ashok K. Luhar: TAPM V3 – Model Description and Verification, Clean Air, 39, 32-36, 2005.

에 대해 모델을 적용한다. 모델 격자는 75x75 격자 셀로 구성되며 공간 해상도는 각각 20km, 10km, 5km로 중심에 가까워질수록 세밀해진다(그림 4).

- **경계조건** 경계 조건은 호주 기상청의 GASP 모델로부터 도출했다.²⁷
- **스핀업과 분석기간** 이 연구에서는 1년의 기간을 모델로 잡고, 기상모듈을 가동하였다. 다년간의 건강 영향을 분석한 결과 최근의 대표년도를 선택하는 것이 가장 적절하다고 판단했다. 2005년 부터 2018년 사이에 일어났던 지표면 기상현상에 대한 대략적인 통계적 분석을 바탕으로, 우리는 2016년의 기상현상을 대표모델로 선택하였다. 매 시뮬레이션 마다, 2015년의 마지막 7일부터 2016년 한 해의 기간동안 모델링이 실행된다. 첫번째 7일은 모델링의 스핀업을 위해서 사용되며, 2016년의 데이터만이 분석을 위해 사용된다.

A-2. 대기 화학수송 모델

석탄화력발전소로 인한 영향에만 초점을 맞추기 위해 다른 배출원에 의한 영향은 모델에서 배제했다. 다만 O₃, NH₃, H₂O₂ 배경농도는 화학모듈에 이용하기 위해 포함시켰다. 이를 바탕으로 ①발전소별 배출 설계기준과 ②대기환경보전법상 배출 허용기준에 대해 모델링을 실시했다. 모델링을 통해 모델 격자 전역의 격자 수용점에 대한 지표 부근 오염물질 농도 시계열을 산출했다.

- **모델** 대기확산, 화학적 변성, 석탄화력발전소의 배출과 침적에 대한 모델링은 CALPUFF 모델 버전7이 사용되었다.²⁸
- **수용점 배열** 대기 화학수송 모듈은 각 발전소를 중심으로 불규칙하게 배열된 11,224개 수용점에 가동된다. 수용점의 공간해상도는 발전소의 바로 주변 700m에서 기상모듈 도메인의 가장 바깥쪽 영역 20km까지다.

- **외부 대기오염 배출원** 모델링에서는 석탄화력발전소에서 배출된 대기오염물질의 피해만을 집중하고 있기 때문에, 석탄발전소 이외의 다른 배출원의 대기오염물질은 모델링에 포함하지 않았다.
- **대기오염물질** 석탄화력발전소에서 배출된 수은(원소, 2가 및 입자결합), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂)과 직접배출 초미세먼지(PM_{2.5}) 만을 모델링 하였다.
- **배경농도** 화학모듈을 사용하여 O₃, NH₃, H₂O₂의 배경농도만을 모델링에 사용하였다.²⁹
- **결과** 모델을 통해 모델격자 전역의 격자 수용점에 대한 지표 부근 대기오염물질 농도 시계열이 산출되었다.
- **운전시간의 계산** 모델은 한 해의 기간동안, 최대가동의 배출율로 운영된다. 결과인 지표면 대기오염물질 농도 필드는 단기간 최대 대기질영향을 평가하기 위해 사용된다. 건강영향을 분석하기 해서는, 평균농도가 석탄발전소의 부하율에 따라 축소되어 연간 배출량에 따라 한해의 기간동안 균등하게 분산된다.

석탄화력발전소의 재원 및 배출데이터 출처

모델링에 사용된 대기오염물질의 배출율과 연도가스 배출 특성은 최대한 발전소 사업자가 직접 공개한 자료 혹은 정부를 통해 공개된 자료를 사용하였다. 또한 다른 형태로 공개된 정보 또한 분석을 위해 사용되었다. 모델링을 위한 90%이상의 자료는 환경영향평가 정보공개시스템³⁰과, 국회를 통해 발전소 사업자가 제출한 자료들을 출처로 한다.

- 발전사업자와 정부의 통계로부터 보고된 연간 배출량자료
- 배출설계 기준값, 배출허용 기준값, 평균 연동 배출농도
- 실제, 혹은 예상된 대기오염물질(PM_{2.5}, NO₂, SO₂) 배출량
- 발전소 호기별 가동기간, 설비용량, 보일러 효율
- 연간 가동시간

27. Hurley, P.J. Edwards, M., Physick, W.L. and Luhar, A.K. (2005) TAPM V3 – Model description and verification. search.informit.com.au/documentSummary;dn=377523612276411;res=IELNZC

28. S. Scire, J. & G. Strimaitis, D & Yamartino, Robert. (2000). A user's guide for the CALPUFF dispersion model (version 5). <http://www.src.com/>

29. CALPUFF 내에서 ISORROPIA/RIVAD 화학모듈을 적용하여 황과 질소 종의 화학적 변성에 대한 모델링을 실시했다. 화학 반응 세트에는 Geos-Chem 글로벌 벤치마크 시뮬레이션을 통해 입수한 배경 오염물질 농도 기준(O₃, NH₃, H₂O₂ 농도)이 요구된다. (http://wiki.seas.harvard.edu/geos-chem/index.php/GEOSChem_v8-01-04#1-year_benchmarks)

30. <http://www.eiass.go.kr>

- 석탄 열량
- 배출가스 부피 (FGV)
- 배출가스 속도 및 온도
- 굴뚝 높이
- 굴뚝 내부직경

석탄발전소의 위치는 구글맵을 통한 시각적 조사와, 발전 사업자가 작성한 환경영향평가 문서에서 추출하였다. 연 동태원에 대한 자료가 부재할 경우, 같은 자원의 석탄발전소 자료로부터 중간값을 추출하여 사용하였다. 연도가스 배출속도가 주어지지 않은 경우에는 연동직경과 연도가스유량을 통해 계산되었다. 계산식은 아래와 같다.

$$\text{SFGV} * \text{CAP} / \text{EFF} * \text{CF} * \text{FGC}$$

SFGV는 특정 연도가스부피 (Nm³/GJ)이며 연도가스유량, 용량 및 열효율이 알려진 플랜트의 중앙값으로 추정된다; CAP는 전기용량, EFF는 열 효율, CF는 연간 평균 용량 계수, FGC는 연도 가스의 오염 물질 농도이다 (SO₂ 및 NO_x의 경우 ppm, 먼지의 경우 mg/Nm³). 수은 배출량이 발전사에 의해 보고되어 있지 않은 관계로, AMAP/UNEP의 Global Mercury Assessment³¹를 통해 석탄 연소 톤당 평균 수은 배출량을 계산했다.

부록 1의 석탄발전소 자원과 배출자료는 석탄화력발전소의 대기질 영향을 분석하기 위한 CALMET-CALPUFF 모델링 시스템에 사용된 기본 입력자료이다.

B. 건강영향분석

대기확산모델링 시스템을 통해 도출된 석탄화력발전소 대기오염물질의 영향으로 인한 지표 부근 대기오염물질 농도결과는 주변지역 인구에 대한 대기오염노출과 공중보건에 대한 피해를 분석하는데 사용된다.

B-1. 가이드라인 한도초과에 대한 노출

공간 인구 데이터를 사용하여 세계보건기구(WHO) 가이드라인을 초과하는 지역에 사는 사람들의 수를 평가했다. 가이드라인에는 특정 시간내에 연평균농도에 관한 지침과 최대농도에 관한 지침이 존재한다. 연평균농도에 관한 지침의 경우 분석 기간인 1년 전체에 대한 시간평균을 적용했다. 최대농도의 경우 각각의 개별 화학 모델 수용점에 대해 적절한 일시적 운전평균의 최대값을 계산했다.

B-2. 건강영향 결과

대기오염으로 인한 건강피해를 받는 사람들의 수는 대기오염농도의 증가에 따른 부정적인 건강 결과 (천식, 저체중 출산, 사망)와 연관된 관련위험의 경험적 값을 적용하여 분석되었다.

상대위험 r은 특정한 대기오염에 과도하게 노출된 사람이 조기사망할 가능성이 노출이 배제된 경우와 비교하여 얼마나 높은지를 표시한다.

$$\textcircled{1} \quad m_x / m_0 = r,$$

m_x는 대기오염이 증가한 Δx 조건 하에서의 발병률을 의미하며 m₀은 과도한 대기오염이 없었을 경우의 발병률을 의미한다. 발병률은 관련 인구그룹의 대비 개인의 경험적인 사례를 기반으로 한 건강결과다 (천식어린이, 신생아, 총인구). 최신 역학모델 하에서 r은 m_x<<1인 경우 x에 기하급수적으로 의존한다.^{32,33}

$$\textcircled{2} \quad r = \exp(c \Delta x),$$

위 공식에서 c는 상수로서 농도 반응 계수라 한다. ①등식

31. AMAP/UNEP (2013). Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/ UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.

32. Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, Turner MC, Pope CA III, Thurston G, Calle EE, Thun MJ. 2009. Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. HEI Research Report 140. Health Effects Institute, Boston, MA. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b03731>

33. Anenberg SC, Horowitz LW, Tong DQ, West JJ. An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using

과 ②등식을 결합하면 아래의 공식을 얻을 수 있다.

$$m_x = m_0 \exp(c \Delta x).$$

사례의 수는 인구 P에 발병률을 곱해서 나온 결과이므로 대기오염물질 농도가 상승한 조건에서 발생하는 사례의 수는 아래와 같다.

$$d_x = P m_0 \exp(c \Delta x).$$

과도한 대기오염으로 인한 건강피해 사례의 수는 아래와 같다.

$$\Delta d = d_x - d_0 = P m_0 [\exp(c \Delta x) - 1].$$

공간적인 모델 영역에 Δd 를 통합하면 모델 영역 내의 과도한 대기오염으로 인한 총 사례 수가 도출된다.

건강모델링 분석을 위한 자료 출처

- **인구.** 사회경제데이터응용센터 (Socioeconomic Data and Applications Center, SEDAC)에서 발표한 2010년 1km 해상도 글로벌 인구 데이터를 적용했다.³⁴ 2010년 이후로 남한, 중국, 북한의 인구는 일본의 인구가 낮은 폭으로 줄어들 동안 급격하게 증가했다. 그렇기 때문에 이 보고서에서 계산된 건강피해결과는 낮게 평가되었을 가능성이 높다.
- **배경발병률.**
 - **배경사망률**은 2017년 세계질병부담연구(IHME Global Burden of Disease Study 2017)을 기반으로 한다.³⁵ 자료는 각 국가의 사망원인 별 값을 제공한다.
 - **우울증 유병률** 또한 2017년 세계질병부담연구(IHME

Global Burden of Disease Study 2017)을 기반으로 한다.³⁶ 자료는 각국의 우울증 유병률을 제공한다.

- **행정구역별 도메인 경계**는 GADM project의 버전 3.6 (2018년 5월)에서 규정된 경계를 기반으로 사용한다.³⁷
- **농도반응계수 (CRFs).** CRFs는 표1에 주어진 값을 기반으로 계산되었다.
 - **이중집계의 배제:** NO₂로 인한 사망자의 최대 33%는 PM_{2.5}노출로 인한 사망과 중복될 가능성이 있다.³⁸ 다수의 사인들로 인한 사망자 수를 합산할 때 이중집계의 가능성을 반영하기 위해 CRF를 적용한 후에 NO₂로 인한 원 사망자 수를 조정했다.
 - 최저 추정치를 33%로 낮추고
 - 중간 추정치를 16.5%로 낮추고
 - 최대 추정치는 변함없이 유지하였다.

(저자들이 중복하한을 적용하지 않음).

34. Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2018. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4F47M65>, 2019. 5. 15.

35. GBD 2017 Mortality Collaborators (2018) Global, regional, and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The Lancet. 8 Nov 2018;392:1684–735. doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31891-9

36. Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2018. Available from <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

37. <https://gadm.org>

38. World Health Organization (2013), 앞의 보고서.

[표 1] 대기오염물질 증가에 따른 관련 건강피해 위험 및 통계의 출처

피해결과	물질	오염물질 통계	출처	10 μ g/m ³ 증가에 따른 관련 위험 (95%-신뢰구간I)		
				중간 추정값(명)	최저 추정값(명)	최대 추정값(명)
우울증	PM _{2.5}	연평균	Braithwaite et al. (2019) ³⁹	1.102	1.023	1.189
사망 (모든 사인)	NO ₂	연평균	HRAPIE (2013)	1.055	1.031	1.080
사망 (급성하부호흡기감염)	PM _{2.5}	연평균	Mehta et al. (2011) ⁴⁰	1.12	1.03	1.30
사망 (폐암)	PM _{2.5}	연평균	Krewski et al. (2009) ⁴¹	1.142	1.057	1.234
사망 (뇌혈관질환)	PM _{2.5}	연평균	Pope et al. (2015) ⁴²	1.11	1.05	1.171
사망 (당뇨병)	PM _{2.5}	연평균	Pope et al. (2015)	1.13	1.02	1.26
사망 (허혈성심장질환)	PM _{2.5}	연평균	Pope et al. (2015)	1.287	1.177	1.407

39. Isobel Braithwaite, Shuo Zhang, James B. Kirkbride, David P. J. Osborn, and Joseph F. Hayes, 2019 Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis, Environmental Health Perspectives 127:12 CID: 126002 <https://doi.org/10.1289/EHP4595>

40. Mehta, S. H.Shin, et al., Ambient particulate air pollution and acute lower respiratory infections: a systematic review and implications for estimating the global burden of disease, Air Qual Atmos Health (2013) 6:69. DOI:10.1007/s11869-011-0146-3

41. Table 11 in: Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, Turner MC, Pope CA III, Thurston G, Calle EE, Thun MJ. 2009. Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. HEI Research Report 140. Health Effects Institute, Boston, MA. DOI:10.1021/acs.est.6b03731

42. C. Arden Pope, III, Michelle C. Turner, Richard T. Burnett, Michael Jerrett, Susan M. Gapstur, W. Ryan Diver, Daniel Krewski, and Robert D. Brook, Relationships Between Fine Particulate Air Pollution, Cardiometabolic Disorders, and Cardiovascular Mortality, Circulation Research. 2015; 116:08–115. DOI:10.1161/circresaha.116.305060

IV. 분석 결과

1. 결과 요약

우리나라의 석탄발전소로 인한 대기오염물질은 석탄발전소가 소재한 지역뿐만 아니라 주변지역과 주변국가에까지 영향을 미치는 것으로 분석됐는데, 이는 바람을 타고 수백에서 수천 킬로미터까지 퍼져 나가며 주변 지역에 영향을 주는 대기오염 피해의 특징 때문이다.

분석 결과, 우리나라에서 가동 중이거나 건설 중인 석탄발전소에서 배출된 대기오염물질은 지표 부근의 대기질에 연평균 최대 $0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$), $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 이산화질소(NO_2), $1.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 이산화황(SO_2), $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 황산(SO_4) 농도를 가중시키는 것으로 나타났다. 특히 이 영향은 이산화질소(NO_2), 이산화황(SO_2), 황산(SO_4)의 1시간 평균 농도를 치명적으로 증가시킬 수 있는데, 각각 최대 $306 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $582 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 가중되는 것으로 나타났다. 24시간 평균 대기질의 초미세먼지 농도는 최대 $9.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 가중될 것으로 추정되었다.

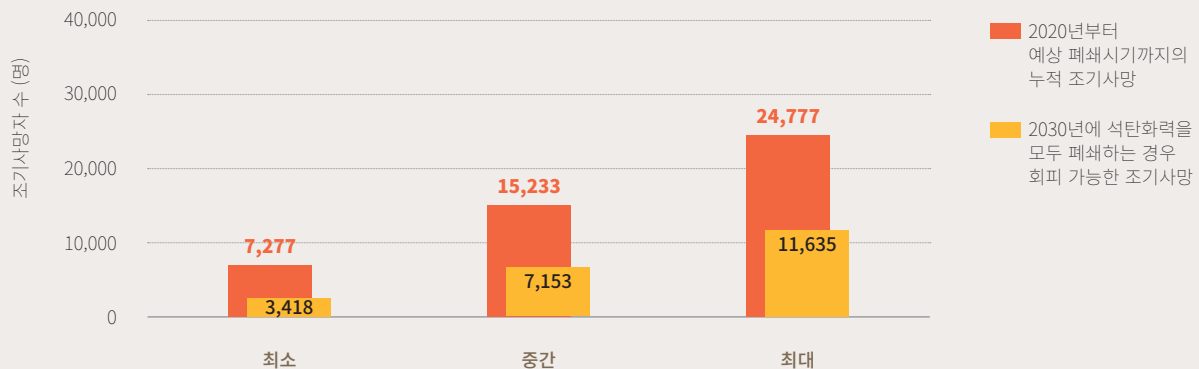
우리나라의 석탄화력발전소에서 발생하는 대기오염물질은 매년 995명(최소 475명 - 최대 1,619명)의 조기사망자를 발생시키는 것으로 분석되었다. 즉, 우리나라의 석탄발전소로 인해 매일 2.7명(최소 1.3명 - 최대 4.4명)

의 조기사망자가 발생할 것으로 추정된다. 대기오염물질은 정신건강에도 영향을 미치는 것으로 분석되는데, 우리나라 석탄발전소로 인해 7,039명(최소 1,621명 - 최대 12,574명)의 우울증 환자가 발생할 것으로 추정되었다.

국내 석탄발전소가 모두 폐쇄될 때까지 총 15,233명(최소 7,277명 - 최대 24,777명)의 조기사망이 발생할 것으로 추정된다. 이는 현재 운영 중이거나 건설 중인 석탄발전소의 가동수명을 30년으로 보았을 때, 우리나라에서 마지막 석탄발전소가 가동을 중단하는 시기가 2054년이 될 것으로 전제한 결과이다.

정부가 대기오염과 건강영향 문제를 해결하기 위해 모든 석탄발전소를 2030년까지 조기폐쇄 한다고 가정한다면 총 7,153명(최소 3,418명 - 최대 11,635명) 조기사망자를 살릴 수 있을 것으로 추정된다.

[그림 5] 우리나라에서 운전/건설 중인 석탄화력발전소로 인한 시나리오별 누적 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

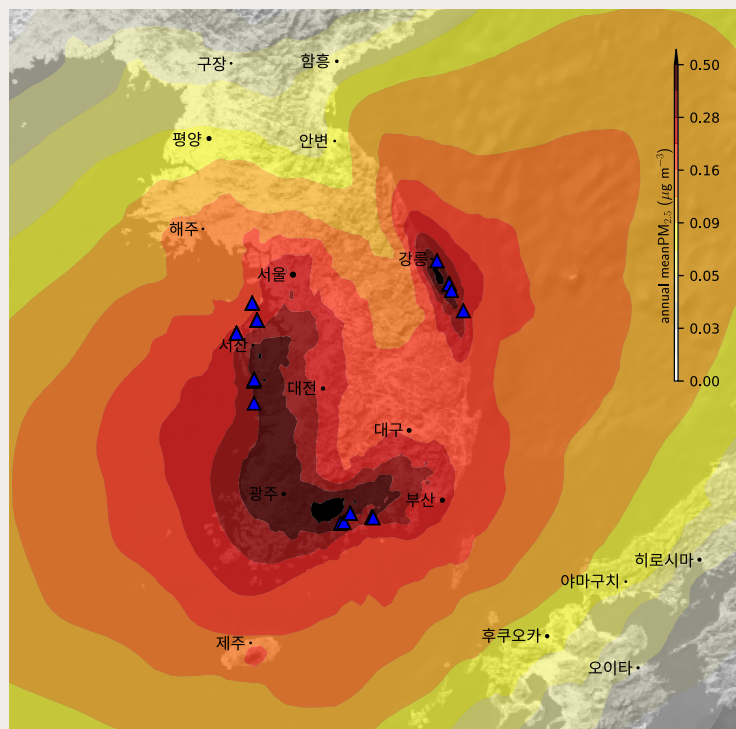


2. 세부 분석 결과

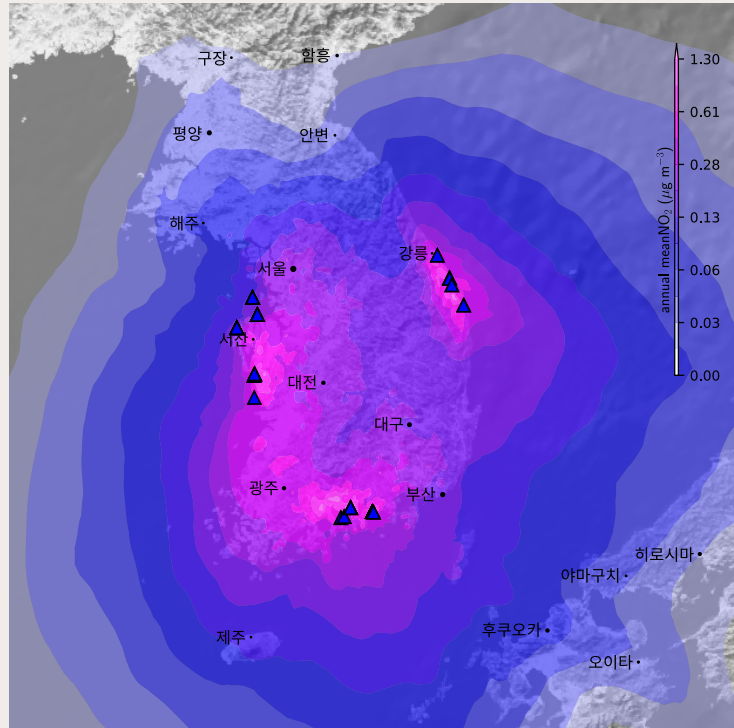
A. 세부오염 영향

우리나라에서 가동 중이거나 건설 중인 석탄화력발전소에서 배출된 대기오염물질은 지표 부근에서 연평균 대기 질에 최대 $0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$), $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 이산화질소 (NO_2), $1.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 이산화황(SO_2), $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 황산(SO_4) 농도를 가중시키는 것으로 나타났다(그림 6, 그림 7, 그림8). 그 중에서도 하동 석탄화력발전소가 대기질에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

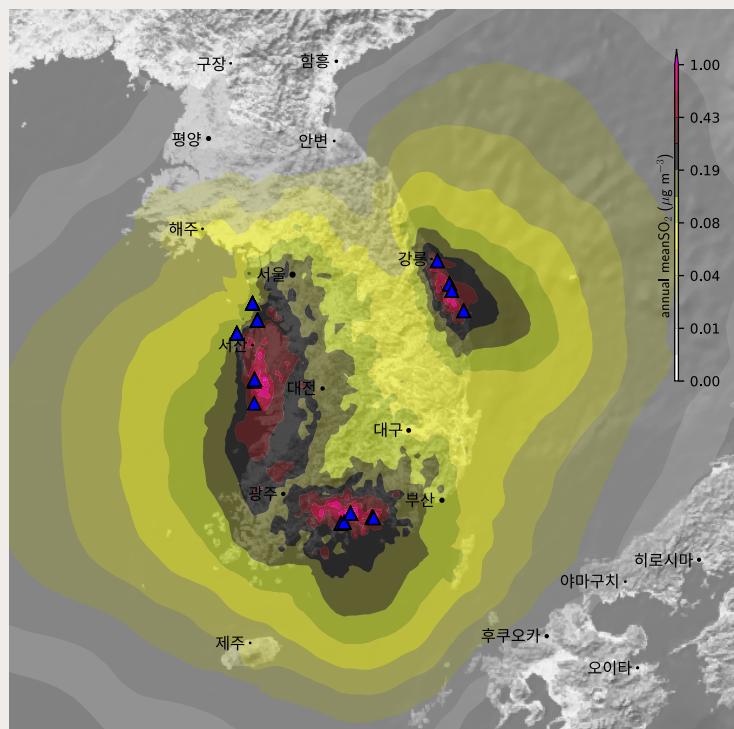
[그림 6] 우리나라에서 운전/건설 중인 석탄발전소의 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 배출 및 2차 초미세먼지 생성으로 인한 지표 부근 연평균 초미세먼지 농도 영향



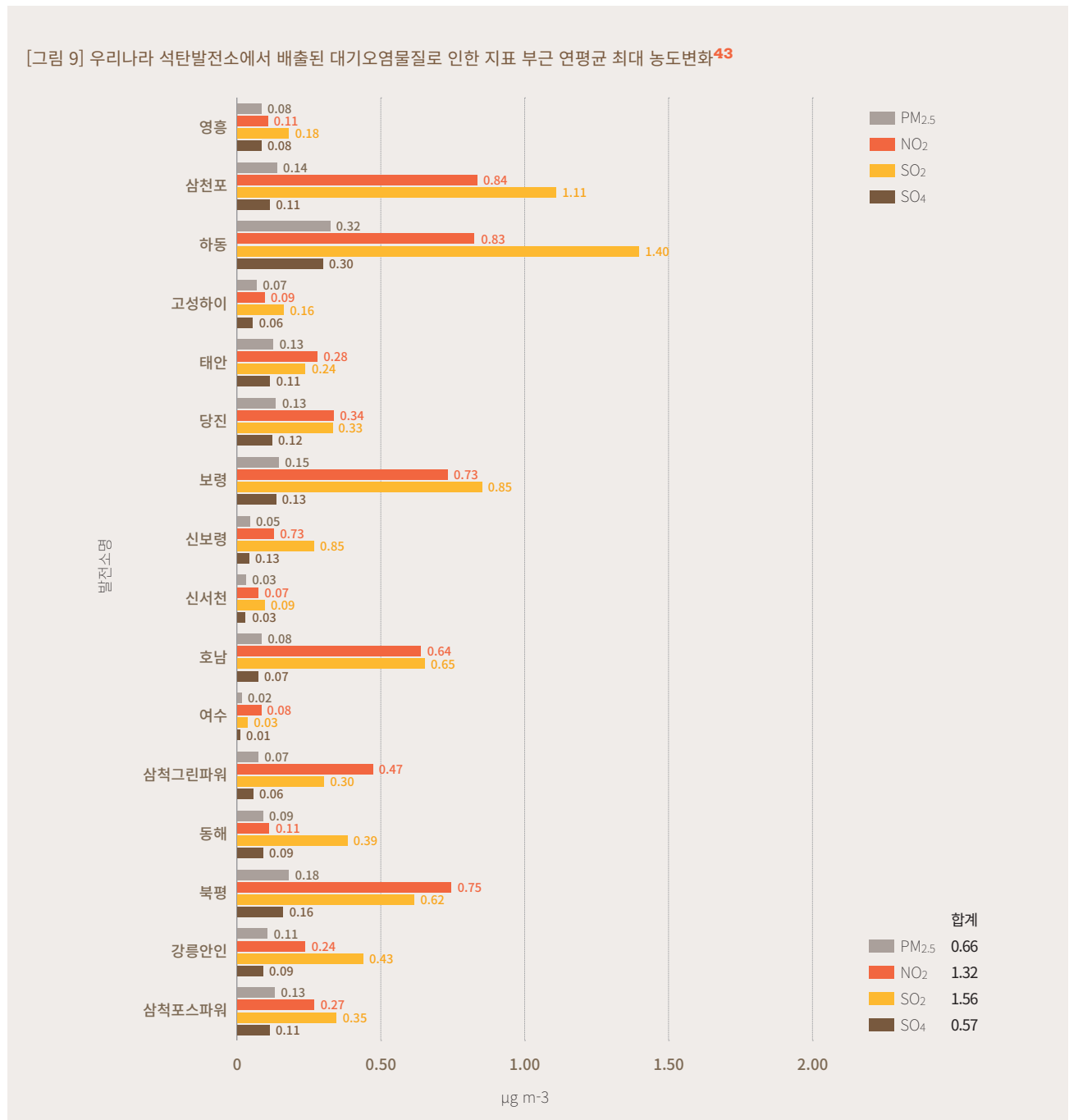
[그림 7] 우리나라에서 운전/건설 중인 석탄화력발전소의 이산화질소(NO_2) 배출로 인한 지표 부근 대기중 연평균 이산화질소 농도 영향



[그림 8] 우리나라에서 운전/건설 중인 석탄화력발전소(파란색 삼각형)의 이산화황(SO_2) 배출로 인한 지표 부근 대기중 연평균 이산화황 농도 영향



[그림 9]는 석탄화력발전소에서 배출된 대기오염물질 (PM_{2.5}, NO₂, SO₂)로 인한 지표 부근의 연평균 최대 대기 오염물질 농도변화를 보여준다.

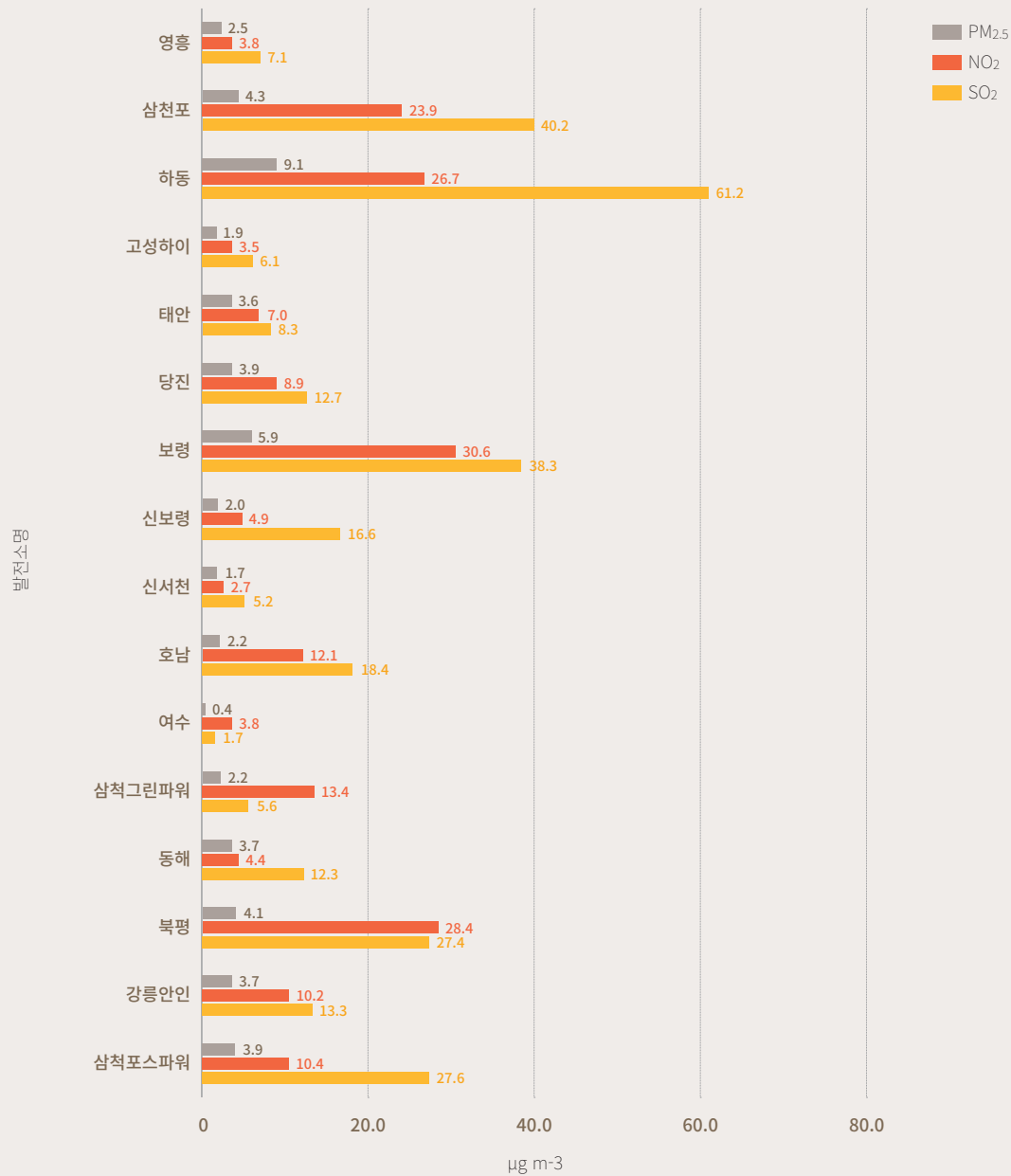


43. 각 발전소가 위치한 지리적 상황에 따라 최대 농도영향이 결정되므로 두 개 이상 발전소에 의한 최대 농도영향은 각각의 발전소로 인한 최대 농도영향의 합보다 낮다.
The values for the combined pollution are lower than the sums of the values of the individual because the maxima occur at different geographical locations for each plant.

특히 단기간 최대 대기오염 농도 영향은 매우 심각해 질 수 있는 것으로 나타났다. 최악의 기상상황에서, 하동 석탄화력발전소는 초미세먼지(PM_{2.5}), 이산화질소(NO₂),

이산화황(SO₂)의 24시간 평균 대기오염 농도에 각각 9.1 μg/m³, 26.7 μg/m³, 61.2 μg/m³까지 영향을 미치는 것으로 나타났다(그림 10).

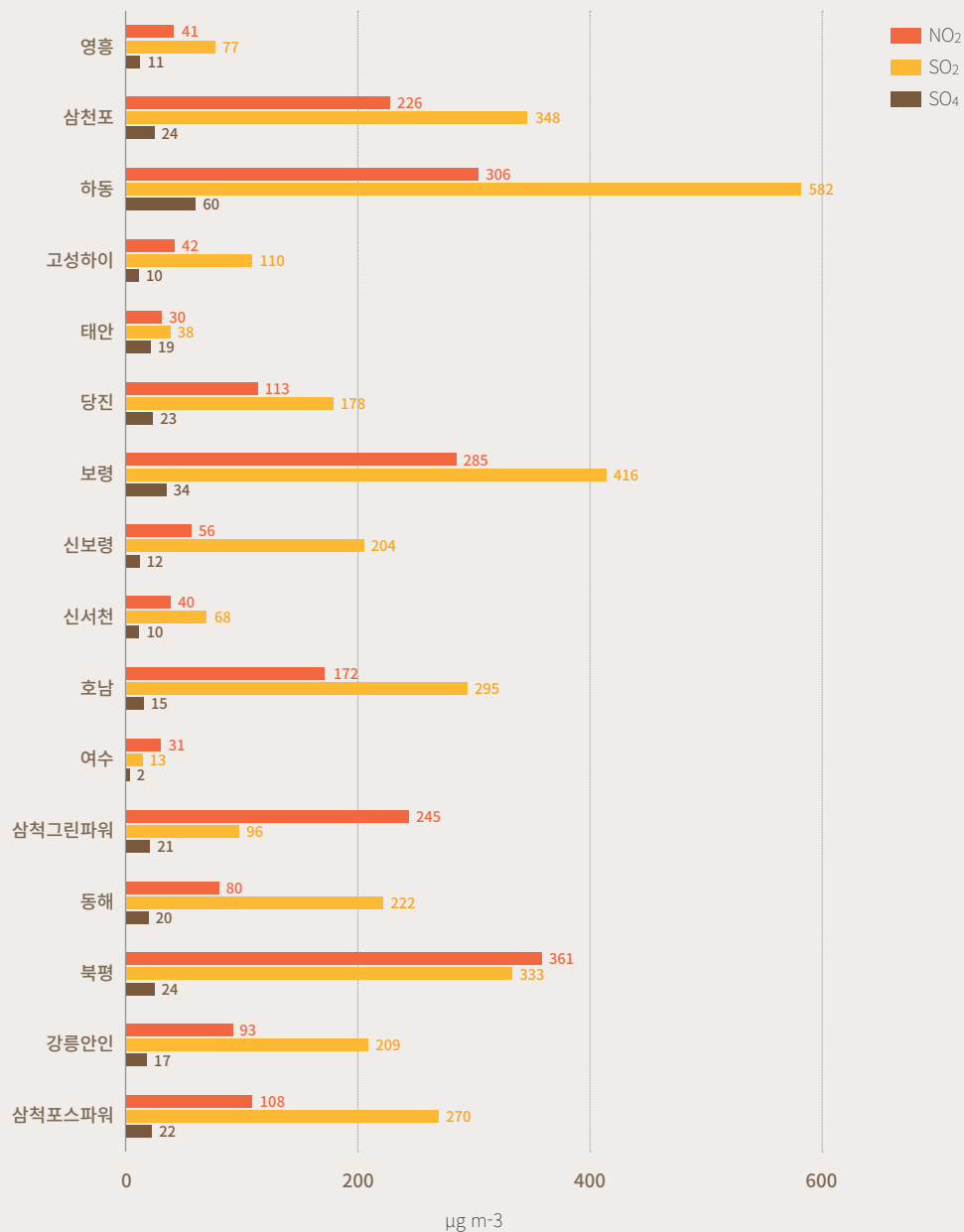
[그림 10] 우리나라 석탄발전소에서 배출된 대기오염물질의 24시간 평균 최대 농도영향⁴⁴



44. 이러한 현상은 동시에 같은 장소에서 발생하지 않으므로 각 농도 영향을 합산할 수 없다.

1시간 평균 농도영향에서는 그 영향이 더욱 치명적으로 g/m^3 가중시키는 것으로 나타났다(표 4). 증가할 수 있는데, 이산화질소(NO_2), 이산화황(SO_2), 황산(SO_4) 농도를 각각 최대 $306 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $582 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 60μ

[그림 11] 우리나라 석탄발전소에서 배출된 대기오염물질의 1시간 평균 최대 농도영향⁴⁵



45. 이러한 현상은 동시에 같은 장소에서 발생하지 않으므로 각 농도 영향을 합산할 수 없다.

이 농도 영향 중 일부는 세계보건기구(WHO)가 권고하는 대기질 기준(Air Quality Guideline, AQG) 보다 높은 농도를 보였다. 우리나라 전역에서 세계보건기구(WHO)가 권고하는 1시간 평균 이산화질소 농도 기준(200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 영향권에 약 5,200명의 사람들이 거주하고 있으며, 이산화황의 24시간 농도기준(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 지역에서는 약 8,800명이 거주하고 있다. 이는 발전소 이외의 다른 대기오염 발생원은 고려하지 않은 피해로, 실제 다른 대기오염 영향이 중첩될 때의 대기오염피해는 더욱 심각할 것으로 예상된다.

B. 건강영향

대기오염에 노출될 경우 어린이, 노인, 호흡기 질환자 등 취약 집단을 중심으로 호흡기 질환 등 갖가지 질병에 걸릴 위험이 크게 증가한다. 오염물질 농도가 세계보건기구(WHO) 대기질 가이드라인 보다 낮은 경우에도 여전히 유해할 수 있다.⁴⁶ 본 보고서에서는 널리 통용되는 건강영향 평가 방법^{47, 48, 49}을 적용하여, 두 시나리오 하에서 우리나라의 석탄화력발전소들이 얼마나 많은 대기오염물질을 배출하는지, 또 그로 인해 조기 사망자 수가 얼마나 많이

[표 2] 우리나라 개별 석탄화력발전소의 대기오염물질로 인한 건강피해(명) *95% 신뢰구간

발전소명	건강영향(발전소별)					
	연간 조기사망자 수			우울증 환자 수		
	중간	최소	최대	중간	최소	최대
합계 (모든 발전소 가동시)	995	475	1,619	7,039	1,621	12,574
영흥	136	64	222	960	221	1,715
삼천포	83	40	135	557	128	994
하동	112	53	182	827	191	1,477
고성하이	39	19	63	314	72	560
태안	134	65	216	953	219	1,703
당진	187	89	307	1,242	286	2,219
보령	113	54	184	791	182	1,413
신보령	35	17	56	304	70	543
신서천	20	10	31	158	36	282
호남	32	16	51	228	52	407
여수	7	4	12	33	8	59
삼척그린파워	15	7	26	81	19	144
동해	10	5	16	95	22	170
북평	28	13	46	168	39	300
강릉안인	21	10	35	157	36	281
삼척포스파워	22	11	36	172	40	308

46. Knibbs LD, et al. The Australian Child Health and Air Pollution Study (ACHAPS): A national population-based cross-sectional study of long-term exposure to outdoor air pollution, asthma, and lung function. Environ Int. Nov 2018; 120:394-403. doi: 10.1016/j.envint.2018.08.025.

47. Anenberg, S.C., Horowitz, L.W., Tong, D.Q. and West, J.J. (2010) An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. Environmental health perspectives. 1 September 2010. DOI:10.1289/ehp.0901220

48. Kopplitz, S.N. et al. (2017) Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. Environ. Sci. Technol. 51(3): 1467-1476 DOI: 10.1021/acs.est.6b03731

49. Krewski, D. et al. (2009) Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air

발생하는지를 분석했다.

각각의 16개 석탄화력발전소에 대한 모델링 결과는 표 2에 제시되어 있다. 이 석탄화력발전소에서 배출되는 대기오염물질로 연간 995명(최소 475명 - 1,619명)의 조기사망자가 발생할 것으로 예상되며 7,039명(최소 1,621명 - 최대 12,574명)에게 우울증을 유발할 것으로 추정되었다.

이는 현재 우리나라에서 운전/건설 중인 모든 석탄화력발전소의 가동을 가정한 결과이다. 그러나 현재 폐쇄가 계획된 노후 석탄화력발전소는 현재 건설중인 신규 석탄화력발전소 가동 전에 폐쇄될 것이다. 현재 건설중인 석탄화력발전소와 폐쇄를 계획중인 노후 석탄화력발전소가

함께 가동하는 상황은 발생하지 않을 것으로 보인다. 따라서 2020년 현재 가동중인 석탄발전소의 대기오염으로 인한 조기사망자 수는 연간 892명(최소 420명 - 최대 1,450명)으로 추정되며, 우울증 유발은 6,129명(최소 1,400명 - 최대 11,000명)으로 추정된다.

연간 조기사망 피해 중 약 60%가 국내에서 발생하는 것으로 추정되는 반면, 나머지 40%는 우리나라 이외의 지역에서 발생하는 것으로 추정됐다(표 3): 중국(19%): 최소 99명 - 최대 277명, 일본(11%): 최소 54명 - 최대 188명, 북한(10%): 최소 49명 - 159명. 석탄발전소의 대기오염물질 배출로 인한 우울증 유병률은 이들 국가에 유사한 비율로 분포되어 있다(표 4).

[표 3] 우리나라 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 국가별 연간 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간⁵⁰

물질	발병명	대한민국			중국			일본			북한			합계		
		중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대
PM _{2.5}	하부호흡기감염	38	10	88	6	1	13	13	3	31	4	1	9	61	15	141
PM _{2.5}	폐암	65	27	103	25	11	40	11	5	18	6	2	10	107	44	171
PM _{2.5}	뇌혈관 질환	80	37	121	61	28	91	16	7	23	32	14	49	188	87	284
PM _{2.5}	허혈성 심장 질환	81	58	103	63	46	80	21	15	27	25	17	33	190	136	243
PM _{2.5}	당뇨	32	5	60	4	1	7	1	0	1	1	0	2	37	6	71
NO ₂	합계	301	137	519	27	12	46	51	23	88	32	14	56	411	187	709
연간 합계		597	273	995	185	99	277	113	54	188	101	49	159	995	475	1,619
일간 합계		1.6	0.7	2.7	0.5	0.3	0.8	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.4	2.7	1.3	4.4

[표 4] 우리나라 석탄화력발전소의 초미세먼지로 인한 국가별 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간⁵¹

우리나라			중국			일본			북한			합계		
중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대
4,513	1,041	8,059	1,508	346	2,695	472	109	843	546	125	977	7,039	1,621	12,574

50. 이 결과는 우리나라에서 가동/건설중인 석탄발전소가 모두 동시에 가동하여 대기오염물질을 배출할 상황을 가정하여 산정한 값이며, 2020년 기준으로는 약 10% 낮은 피해가 예상된다.

51. 이 결과는 우리나라에서 가동/건설중인 석탄발전소가 모두 동시에 가동하여 대기오염물질을 배출할 상황을 가정하여 산정한 값이며, 2020년 기준으로는 약 15 % 낮은 우울증 피해가 예상된다.

[표 5] 2020년부터 기존 예상 폐쇄시기까지의 대기오염피해로 인한 누적 조기사망자 수 및 2030 조기폐쇄 시나리오에서의 조기사망 수(명) *95% 신뢰구간

누적 조기사망자 수										
발전소	호기	2020년부터 예상 폐쇄시기 ⁵² 까지의 누적 조기사망자 수			2020년부터 2030년까지의 누적 조기사망자 수			2030년에 폐쇄하는 경우 회피 가능한 조기사망자 수 ⁵³		
		중간	최소	최대	중간	최소	최대	중간	최소	최대
합계 (모든 발전소 가동시)		15,233	7,277	24,777	8,080	3,859	13,142	7,153	3,418	11,635
영흥	1	529	251	860	378	179	614	151	72	246
영흥	2	494	234	806	353	167	576	141	67	230
영흥	3	261	122	433	145	68	240	116	54	192
영흥	4	317	150	520	176	83	289	141	67	231
영흥	5	372	176	609	155	73	254	217	102	355
영흥	6	358	169	588	149	70	245	209	98	343
삼천포	1	2	1	4	2	1	4	0	0	0
삼천포	2	3	1	5	3	1	5	0	0	0
삼천포	3	72	34	119	72	34	119	0	0	0
삼천포	4	55	26	90	55	26	90	0	0	0
삼천포	5	99	48	158	99	48	158	0	0	0
삼천포	6	127	62	203	127	62	203	0	0	0
하동	1	118	56	193	118	56	193	0	0	0
하동	2	97	47	157	97	47	157	0	0	0
하동	3	114	55	184	114	55	184	0	0	0
하동	4	102	49	168	102	49	168	0	0	0
하동	5	125	60	204	125	60	204	0	0	0
하동	6	166	79	272	151	72	247	15	7	25
하동	7	225	107	366	125	60	203	100	48	163
하동	8	289	139	468	152	73	246	137	66	222
고성하이	1	579	280	935	170	82	275	409	197	660
고성하이	2	570	275	919	161	78	259	409	197	660
태안	1	55	27	88	55	27	88	0	0	0
태안	2	33	16	53	33	16	53	0	0	0
태안	3	128	63	206	128	63	206	0	0	0
태안	4	127	62	202	127	62	202	0	0	0
태안	5	183	89	295	166	81	268	17	8	27
태안	6	237	115	382	198	96	318	39	19	64
태안	7	115	55	191	68	32	112	48	23	79

52. 예상 폐쇄시기는 현재 통용되는 수명관리지침에 따라 설비별 가동개시 후 30년 되는 시점으로 전제한다.

53. 2030년 이전에 설계수명(30년)에 도달하는 발전소는 설계수명 도달 시점에 폐쇄되는 것을 전제한다.

태안	8	139	66	230	82	39	135	57	27	95
태안	9	413	200	663	159	77	255	254	123	408
태안	10	349	168	567	129	62	210	220	106	357
당진	1	179	85	291	179	85	291	0	0	0
당진	2	193	92	316	193	92	316	0	0	0
당진	3	179	85	293	179	85	293	0	0	0
당진	4	185	88	302	168	80	275	17	8	27
당진	5	319	151	520	212	101	347	106	50	173
당진	6	339	161	553	212	101	346	127	60	207
당진	7	268	127	435	157	75	256	110	52	179
당진	8	279	133	452	164	78	266	115	55	186
당진	9	420	195	703	161	75	270	258	120	432
당진	10	529	246	887	204	95	341	326	151	546
보령	1	16	8	27	16	8	27	0	0	0
보령	2	17	8	29	17	8	29	0	0	0
보령	3	462	225	732	201	98	318	261	127	414
보령	4	199	95	326	87	41	142	113	54	184
보령	5	43	21	70	43	21	70	0	0	0
보령	6	48	23	79	48	23	79	0	0	0
보령	7	184	89	295	102	50	164	82	40	131
보령	8	197	94	323	110	52	179	88	42	144
신보령	1	373	180	599	138	67	222	235	114	377
신보령	2	574	278	920	213	103	341	361	175	579
신서천	1	589	289	937	174	86	278	414	204	660
호남	1	11	5	18	11	5	18	0	0	0
호남	2	21	10	33	21	10	33	0	0	0
여수	1	99	47	163	38	18	63	61	29	100
여수	2	77	36	128	36	17	61	40	19	67
삼척그린파워	1	245	116	405	94	45	156	151	71	249
삼척그린파워	2	163	76	270	60	28	100	102	48	170
동해	1	33	16	54	33	16	54	0	0	0
동해	2	53	25	84	53	25	84	0	0	0
북평	1	381	180	626	141	67	232	240	113	394
북평	2	381	180	626	141	67	232	240	113	394
강릉안인	1	328	157	532	81	39	132	247	118	400
강릉안인	2	328	157	532	81	39	132	247	118	400
삼척포스파워	1	336	160	545	69	33	113	267	127	432
삼척포스파워	2	331	158	536	64	31	104	267	127	432

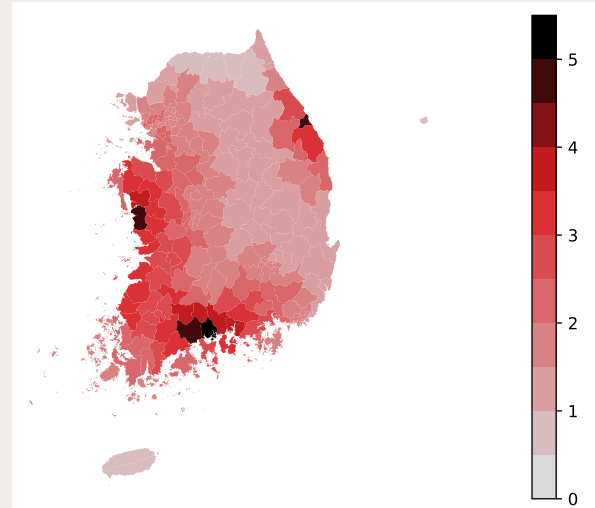
3. 지역별 건강피해 분석

석탄화력발전소의 대기오염으로 인해 발생하는 건강영향은 지역에 따라 다르게 나타난다. 일반적으로 인구 밀도가 높은 지역에서 많은 조기사망 피해가 발생한다.(그림 12).

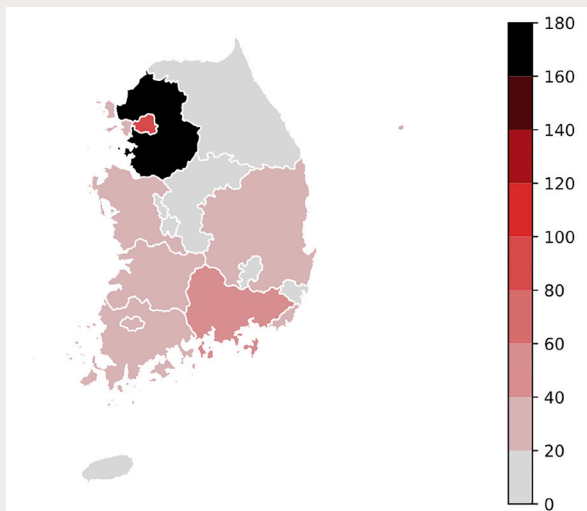
또한, 석탄발전소 근처에 거주하는 사람들은 발전소에서 멀리 떨어져 있거나 지형으로 보호되는 지역에 사는 사람들보다 건강피해에 노출될 확률이 높다. 조기사망의 위험은 3 개의 발전소 클러스터의 위험이 중첩되는 지역에서 매년 백만명 당 5명 이상으로 늘어날 수 있다(그림 13).

발전소의 대기오염물질이 기여하는 우울증 유병률은 한반도 남쪽 지역인 순천시와 보령군 지역에서 백만명 당 200명까지 높아질 수 있다 (5,000명 당 1명) (그림 14).

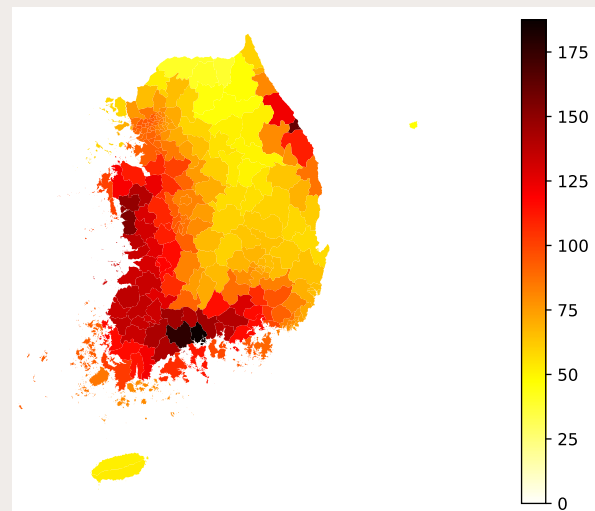
[그림 13] 시/군 행정구역별 우리나라 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 주민 100만명 당 연간 조기사망자 수 (중간 추정치).



[그림 12] 광역시/도 행정구역별 우리나라 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 연간 조기사망자 분포 (중간 추정치).



[그림 14] 시/군 행정구역별 우리나라 석탄화력발전소에서 배출된 초미세먼지 오염에 의한 우울증 유병률 (중간 추정치).



지역별 연간 건강피해 분석

우리나라에서 운전/건설 중인 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 건강 및 정신건강 피해는 소재지역에 국한되지 않고, 수백-수천 킬로미터를 퍼져 나가며 주변지역에 광범위하게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이러한 건강피해의 특성은 선행된 연구에서도 증명된 바 있다.⁵⁴ 분석 결과, 국내에서 발생하는 피해의 일부는 인구가 많을수록, 발전소로부터의 거리가 가까울수록 그 피해가 증가하는 경향을 보였으나 지리적 특성과 대기오염물질 확산의 기후/계절적 영향으로 인해 그 경향성이 모든 경우에

등하게 적용되는 것은 아닌 것으로 분석되었다.

특히 석탄발전소 소재지역이 석탄발전소에서 배출되는 대기오염물질로 인한 건강피해가 주변 인구 밀집지역보다 낮게 나오는 경향을 찾아볼 수 있었다. 이는 석탄발전소 소재지역이 ①주로 인구가 적은 외곽지역에 위치하고 있어 거주 인구가 도시대비 적고, ②발전소에서 배출되는 대기오염물질이 약 150미터에서 200미터 높이의 연돌에서 배출되기 때문에 상공에서 바람을 타고 대기중으로 퍼져 나가며 주변지역에 주로 영향을 미치고, ③이로 인해 석탄화력발전소에서 배출된 대기오염물질이 석탄발전소

[표 6] 광역 행정구역별 연간 건강피해(명) *95% 신뢰구간

광역행정구역	연간 조기사망자 수			우울증 환자 수		
	신뢰구간			신뢰구간		
	최소	중간	최대	최소	중간	최대
경기도	80	174	290	302	1,311	2,342
서울특별시	44	96	161	169	734	1,310
경상남도	21	45	76	80	348	621
인천광역시	15	34	56	59	255	456
충청남도	16	33	56	54	233	416
전라남도	15	33	55	55	239	426
부산광역시	12	27	45	52	225	401
전라북도	12	26	44	47	201	360
경상북도	12	26	44	45	196	350
광주광역시	10	21	35	39	169	302
충청북도	9	19	31	31	135	240
대전광역시	8	18	29	30	129	230
대구광역시	8	18	29	30	131	235
강원도	7	15	25	24	105	187
울산광역시	4	8	13	15	65	116
제주특별자치도	2	3	5	7	29	52
세종특별자치시	1	1	2	2	8	14
총계	274	597	995	1,041	4,513	8,059

54. 그린피스 동아시아 서울사무소, "침묵의 살인자, 미세먼지", 2015. 3.

소재지역에서만 체류하지 않기 때문인 것으로 보인다.

그렇다고 석탄발전소 소재지역에서 그 피해규모가 적게 나타나는 것은 아니다. 석탄발전소 주변지역에서는 석탄과 석탄회를 운송하는 과정, 석탄과 석탄재를 처리하는 과정, 석탄야적장과 석탄회처리장에서 발생하는 비산먼지로 인한 피해뿐만 아니라 각종 소음공해 및 토양, 수질 오염, 중금속노출 등으로 인한 건강피해가 지속적으로 발생하고 있다. 본 보고서에서는 이러한 영향들을 분석에 포함시키지 않았기 때문에, 실제로 발생하는 석탄발전소 주변지역의 환경/건강피해는 보고서에 서술된 것 보다 심각할 것이다.

석탄발전소의 대기오염으로 인한 연간 최대 조기사망 피해는 경기도(290명), 서울특별시(161명), 경상남도(76명), 인천광역시(56명), 충청남도(56명) 지역 순으로 크

게 나타났다. 그 중 경기도와 서울특별시는 석탄발전소의 소재지가 아님에도 불구하고 그 피해규모가 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 인구밀집도가 높고, 인천, 충남 지역에서 가동중인 석탄발전소의 대기오염피해가 중첩되면서 발생하는 현상으로 해석된다.

경기도

경기도는 석탄발전소 소재지역이 아님에도 불구하고, 주변지역 석탄발전소의 대기오염으로 인한 건강피해가 전국에서 가장 큰 곳으로 나타났다.(국내 연간 조기사망 피해의 약 29%가 경기도에서 발생). 그 중에서도 화성시, 용인시, 안양시에서 각각 최대 35명, 27명, 20명의 연간 조기사망이 추정되며 경기도 내에 있는 시/군 중에서 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 인구밀도 때문이기도 하지만 지형적 영향과 주변에 위치한 영흥화력, 당진

[표 7-1] 경기도 내 행정구역별 연간 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역			연간 조기사망자 수			행정구역			연간 조기사망자 수		
시/도	시/군		신뢰구간			시/도	시/군		신뢰구간		
			최소	중간	최대				최소	중간	최대
경기도	화성	시	10	21	35	경기도	의정부	시	2	5	8
경기도	용인	시	7	16	27	경기도	광주	시	2	4	6
경기도	안양	시	6	12	20	경기도	군포	시	2	4	6
경기도	고양	시	5	11	17	경기도	안산	시	1	3	4
경기도	성남	시	5	10	17	경기도	포천	시	1	3	4
경기도	수원	시	5	10	17	경기도	광명	시	1	2	3
경기도	평택	시	4	8	14	경기도	이천	시	1	2	4
경기도	양주	시	4	8	13	경기도	하남	시	1	2	3
경기도	남양주	시	3	7	11	경기도	오산	시	1	2	3
경기도	김포	시	3	7	11	경기도	과천	시	1	1	2
경기도	부천	시	3	6	10	경기도	양평	군	1	1	2
경기도	파주	시	3	6	10	경기도	여주	시	1	1	2
경기도	의왕	시	3	6	10	경기도	가평	군	0	1	2
경기도	시흥	시	3	6	10	경기도	동두천	시	0	1	1
경기도	안성	시	2	5	9	경기도	연천	군	0	1	1
경기도	구리	시	2	5	8	합계			80	174	290

화력, 태안화력에서 배출되는 대기오염물질의 확산에 따른 영향으로 분석된다. 경기도 지역에서는 사업장과 복합발전소, 비도로/도로교통오염원 등 대기오염물질 배출원이 많기 때문에, 다른 대기오염물질 배출원에서 배출된 대기오염물질의 건강피해를 함께 고려한다면 실제로 발생할 피해는 더욱 심각할 것으로 추정된다.

경상남도

경상남도는 현재 운전 중인 석탄화력발전소 14기(7.24GW)와 건설 중인 석탄발전소 2기(2.08GW)가 소재한 지역이다. 국내에서는 석탄발전소의 대기오염으로 인한 건강피해가 세 번째로 큰 곳으로 나타났다. 경상남도 와 주변지역 소재의 석탄발전소가 모두 가동될 시, 국내 연간 조기사망 피해의 약 8%가 경상남도에서 발생할 것으로 예상되며 그 피해는 매년 최대 76명(최소 21명 - 최

대 76명)에 이를 것으로 분석된다. 그 중에서도 김해시, 진주시와 마산시, 창원시, 양산시가 경상남도 내에 있는 시/군 중에서 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 인구밀도 때문이기도 하지만, 지형적 영향과 주변에 위치한 삼천포화력, 하동화력, 고성하이화력에서 배출되는 대기오염물질의 확산 특징에 따른 것으로 분석된다. 경상남도의 타 사업장과 복합발전소, 비도로/도로교통오염원 등 다른 대기오염물질 배출원에서 배출된 대기오염물질의 건강피해를 함께 고려한다면 실제로 발생할 피해는 더욱 심각할 수 있다.

충청남도

충청남도는 현재 운전 중인 석탄화력발전소 30기(18.085GW)와 건설 중인 석탄발전소 1기(1GW)가 소재한 지역이다. 국내에서는 다섯 번째로 석탄발전소의 대

[표 7-2] 경기도 내 행정구역별 연간 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		우울증 환자 수			행정구역		우울증 환자 수		
시/도	시/군	신뢰구간			시/도	시/군	신뢰구간		
		최소	중간	최대			최소	중간	최대
경기도	화성 시	37	159	284	경기도	의정부 시	8	34	61
경기도	용인 시	28	119	213	경기도	광주 시	6	26	46
경기도	안양 시	21	90	160	경기도	군포 시	6	27	48
경기도	고양 시	18	80	142	경기도	안산 시	5	20	35
경기도	성남 시	18	77	138	경기도	포천 시	4	18	33
경기도	수원 시	18	76	136	경기도	광명 시	4	16	28
경기도	평택 시	14	62	111	경기도	이천 시	4	16	28
경기도	양주 시	14	59	106	경기도	하남 시	3	14	25
경기도	남양주 시	11	50	88	경기도	오산 시	3	13	23
경기도	김포 시	12	54	96	경기도	과천 시	2	9	17
경기도	부천 시	11	48	86	경기도	양평 군	2	8	14
경기도	파주 시	12	51	90	경기도	여주 시	2	8	14
경기도	의왕 시	10	43	77	경기도	가평 군	2	7	13
경기도	시흥 시	10	44	79	경기도	동두천 시	1	5	9
경기도	안성 시	9	38	69	경기도	연천 군	1	5	8
경기도	구리 시	8	36	65	합계		302	1,311	2,342

기오염으로 인한 건강피해가 큰 곳으로 나타났다. 충청남도
와 주변지역의 석탄발전소가 모두 가동될 시, 국내 연
간 조기사망 피해의 약 5.7%, 우울증 유발의 5.2%가 충
청남도에서 발생할 것으로 예상된다. 그 피해는 조기사

망 매년 최대 56명(최소 16명 - 최대 56명), 우울증 발병
최대 416명(최소 54명 - 최대 416명) 에 이를 것으로 분
석된다. 그 중에서도 천안시, 아산시, 서산시, 당진시, 보
령시가 충청남도 내에 있는 시/군 중에서 피해가 가장 큰

[표 8-1] 경상남도 내 행정구역별 연간 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역			연간 조기사망자 수			행정구역			연간 조기사망자 수		
시/도	시/군		최소	중간	최대	시/도	시/군		최소	중간	최대
경상남도	김해	시	3	7	12	경상남도	고성	군	1	1	2
경상남도	진주	시	3	6	9	경상남도	하동	군	1	1	2
경상남도	창원	시	2	5	8	경상남도	창녕	군	0.4	1	2
경상남도	마산	시	2	5	8	경상남도	산청	군	0.4	1	1
경상남도	양산	시	2	4	6	경상남도	의령	군	0.3	1	1
경상남도	거제	시	2	3	5	경상남도	남해	군	0.3	1	1
경상남도	함안	군	1	2	4	경상남도	고창	군	0.2	0.4	1
경상남도	진해	시	1	2	4	경상남도	합천	군	0.2	0.4	1
경상남도	밀양	시	1	2	3	경상남도	함양	군	0.2	0.3	1
경상남도	사천	시	1	2	3	합계			21	45	76

[표 8-2] 경상남도 내 행정구역별 연간 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역			우울증 환자 수			행정구역			우울증 환자 수		
시/도	시/군		최소	중간	최대	시/도	시/군		최소	중간	최대
경상남도	김해	시	14	60	108	경상남도	고성	군	2	7	12
경상남도	진주	시	10	41	74	경상남도	하동	군	2	7	12
경상남도	창원	시	9	37	67	경상남도	창녕	군	2	7	13
경상남도	마산	시	8	36	64	경상남도	산청	군	1	6	10
경상남도	양산	시	7	31	55	경상남도	의령	군	1	6	10
경상남도	거제	시	6	25	45	경상남도	남해	군	1	3	6
경상남도	함안	군	4	18	33	경상남도	고창	군	1	3	5
경상남도	진해	시	4	18	32	경상남도	합천	군	1	3	6
경상남도	밀양	시	4	16	28	경상남도	함양	군	1	2	4
경상남도	사천	시	3	13	24	합계			80	348	621
경상남도	통영	시	2	9	16						

것으로 나타났다. 이 분포는 인구밀도와 지형, 기후로 인한 석탄화력발전소에서 배출되는 대기오염물질의 확산 특징에 따른 것으로 분석된다. 충청남도지역의 석유화학 공장, 제철소 등 타 사업장과 복합발전소, 비도로/도로교통오염원 등에서 배출된 대기오염물질이 석탄발전소에서 배출된 대기오염물질과 중첩될 시 그 피해는 더욱 심각해질 것으로 예상된다.

전라남도

전라남도는 현재 운전 중인 석탄화력발전소 4기 (1.169GW)가 소재한 지역이다. 국내에서는 여섯 번째로 석탄발전소의 대기오염으로 인한 건강피해가 큰 곳으로 나타났다. 현재 전라남도과 주변지역에서 운전중인 석탄발전소의 대기오염 피해로 국내 연간 조기사망 피해의 약 5.53%, 우울증 유발의 5.3%가 충청남도에서 발생할 것으로 예상되며 그 피해는 조기사망 매년 최대 55명(최소 15명 - 최

[표 9-1] 석탄화력으로 인한 충청남도 내 행정구역별 연간 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		연간 조기사망자 수			행정구역		연간 조기사망자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
충청남도	천안 시	4	8	13	충청남도	논산 시	1	2	3
충청남도	아산 시	3	6	11	충청남도	예산 군	1	1	2
충청남도	서산 시	1	3	5	충청남도	부여 군	0.4	1	2
충청남도	당진 시	1	3	4	충청남도	서천 군	0.4	1	2
충청남도	보령 시	1	2	3	충청남도	계룡 시	0.3	1	1
충청남도	공주 시	1	2	3	충청남도	태안 군	0.3	1	1
충청남도	홍성 군	1	2	3	충청남도	청양 군	0.2	0.4	1
충청남도	금산 군	1	2	3	합계		16	34	56

[표 9-2] 석탄화력으로 인한 충청남도 내 행정구역별 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		우울증 환자 수			행정구역		우울증 환자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
충청남도	천안 시	13	57	101	충청남도	논산 시	3	12	21
충청남도	아산 시	11	46	83	충청남도	예산 군	2	9	15
충청남도	서산 시	5	20	35	충청남도	부여 군	2	7	12
충청남도	당진 시	4	17	31	충청남도	서천 군	1	6	11
충청남도	보령 시	3	11	20	충청남도	계룡 시	1	4	8
충청남도	공주 시	3	13	23	충청남도	태안 군	1	5	8
충청남도	홍성 군	3	12	22	충청남도	청양 군	1	3	5
충청남도	금산 군	3	12	22	합계		54	233	416

대 55명), 우울증 발병 최대 426명(최소 55명 - 최대 426명)에 이를 것으로 분석된다. 그 중에서도 순천시, 장성군, 광양시, 무안군, 여수시가 전라남도 내에 있는 시/군 중에

서 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이 분포는 인구밀도와 지형, 기후로 인한 석탄화력발전소에서 배출되는 대기 오염물질의 확산 특징에 따른 것으로 분석된다. 전라남도

[표 10-1] 석탄화력으로 인한 전라남도 내 행정구역별 연간 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		연간 조기사망자 수			행정구역		연간 조기사망자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
전라남도	순천 시	3	6	10	전라남도	고흥 군	0.3	1	1
전라남도	장성 군	2	5	7	전라남도	구례 군	0.3	1	1
전라남도	광양 시	2	4	6	전라남도	해남 군	0.3	1	1
전라남도	무안 군	2	4	6	전라남도	영광 군	0.3	1	1
전라남도	여수 시	2	3	6	전라남도	강진 군	0.2	0.4	1
전라남도	담양 군	1	2	3	전라남도	장흥 군	0.2	0.4	1
전라남도	나주 시	1	1	2	전라남도	완도 군	0.2	0.4	1
전라남도	영암 군	1	1	2	전라남도	진도 군	0.1	0.2	0.3
전라남도	화순 군	1	1	2	전라남도	목포 시	0.1	0.2	0.3
전라남도	함평 군	1	1	2	전라남도	신안 군	0.1	0.2	0.3
전라남도	보성 군	0.3	1	1	합계		15	33	55
전라남도	곡성 군	0.3	1	1					

[표 10-2] 석탄화력으로 인한 전라남도 내 행정구역별 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		우울증 환자 수			행정구역		우울증 환자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
전라남도	순천 시	9	39	70	전라남도	고흥 군	1	4	7
전라남도	장성 군	8	34	61	전라남도	구례 군	1	4	7
전라남도	광양 시	5	23	41	전라남도	해남 군	1	5	8
전라남도	무안 군	7	29	53	전라남도	영광 군	1	5	8
전라남도	여수 시	5	22	40	전라남도	강진 군	1	3	5
전라남도	담양 군	3	14	25	전라남도	장흥 군	1	3	6
전라남도	나주 시	2	11	19	전라남도	완도 군	1	3	6
전라남도	영암 군	2	9	17	전라남도	진도 군	0.4	2	3
전라남도	화순 군	2	8	14	전라남도	목포 시	0.3	2	3
전라남도	함평 군	2	8	14	전라남도	신안 군	0.4	2	3
전라남도	보성 군	1	5	9	합계		55	239	426
전라남도	곡성 군	1	5	9					

지역의 산업단지 등 타 사업장과 복합발전소, 비도로/도로교통오염원 등 대기오염물질 배출원에서 배출된 대기오염물질이 석탄발전소에서 배출된 대기오염물질과 중첩될 시 그 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다.

강원도

강원도는 현재 운전중인 석탄화력발전소 6기(3.6GW)와 건설중인 석탄발전소 4기(4.1GW)가 소재한 지역으로 신규 건설중인 석탄발전소가 가장 많은 지역이다. 모든 석탄발전소가 운전을 시작하면 전국에서 열 네번째로 석탄발전소의 대기오염으로 인한 건강피해가 큰 곳으로 나타

[표 11-1] 석탄화력으로 인한 강원도 내 행정구역별 조기사망자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		연간 조기사망자 수			행정구역		연간 조기사망자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
강원도	강릉 시	2	3	6	강원도	정선 군	0.2	0.4	1
강원도	원주 시	1	2	4	강원도	영월 군	0.2	0.4	1
강원도	동해 시	1	2	3	강원도	화천 군	0.1	0.3	1
강원도	춘천 시	1	2	3	강원도	평창 군	0.1	0.3	0.4
강원도	삼척 시	1	1	2	강원도	고성 군	0.1	0.2	0.3
강원도	홍성 군	0.3	1	1	강원도	인제 군	0.1	0.2	0.3
강원도	태백 시	0.3	1	1	강원도	양양 군	0.1	0.2	0.4
강원도	속초 시	0.2	1	1	강원도	양구 군	0	0.1	0.2
강원도	철원 군	0.2	0.4	1	합계		7	15	25
강원도	홍천 군	0.2	0.4	1					

[표 11-2] 석탄화력으로 인한 강원도 내 행정구역별 우울증 환자 수(명) *95% 신뢰구간

행정구역		우울증 환자 수			행정구역		우울증 환자 수		
시/도	시/군	최소	중간	최대	시/도	시/군	최소	중간	최대
강원도	강릉 시	6	25	44	강원도	정선 군	1	3	5
강원도	원주 시	4	15	27	강원도	영월 군	1	3	5
강원도	동해 시	3	12	21	강원도	화천 군	1	2	4
강원도	춘천 시	3	11	20	강원도	평창 군	1	2	4
강원도	삼척 시	2	7	13	강원도	고성 군	0.4	2	3
강원도	홍성 군	1	5	8	강원도	인제 군	0.4	2	3
강원도	태백 시	1	3	6	강원도	양양 군	1	2	4
강원도	속초 시	1	4	8	강원도	양구 군	0.2	1	2
강원도	철원 군	1	3	5	합계		24	105	187
강원도	홍천 군	1	3	6					

났다. 현재 강원도와 주변지역에서 운전중인 석탄발전소의 대기오염 피해로 국내 연간 조기사망 피해의 약 2.5%가, 우울증 유발의 2.3%가 강원도에서 발생할 것으로 예상되며 그 피해는 조기사망 매년 최대 25명(최소 7명 - 최대 25명), 우울증 발병 최대 187명(최소 24명 - 최대 187명)에 이를 것으로 분석된다. 그 중에서도 강릉시, 원주시, 동해시, 춘천시, 삼척시가 강원도 내에 있는 시/군 중에서 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이 분포는 인구밀도와 지형, 기후로 인한 석탄화력발전소에서 배출되는 대기오염물질의 확산 특징에 따른 것으로 분석된다. 강원도 지역의 시멘트공장 등 타 사업장과 복합발전소, 비도로/도로교통오염원 등 다른 배출원에서 배출된 대기오염물질이 강원도내 석탄발전소의 대기오염물질과 중첩될 시 그 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다.

4. 주요결론

수명관리지침에 따라 석탄화력발전소가 설계수명(30년)까지만 가동될 것을 가정할 때, 우리나라에서 마지막 석탄화력발전소가 폐쇄되는 시점은 2054년이다(부록 2).

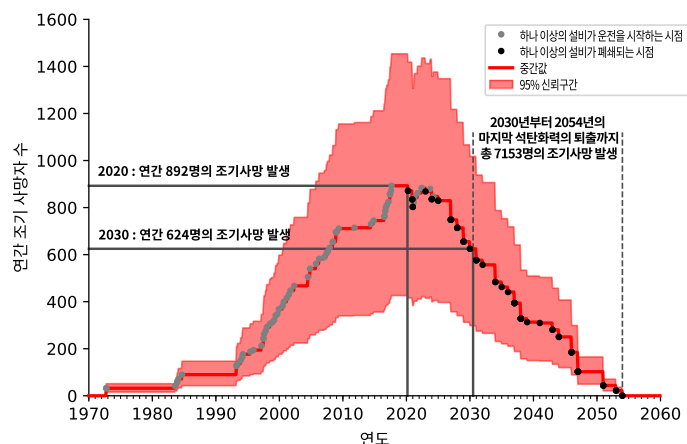
현재 가동/건설중인 석탄화력발전소가 언제 가동이 개시되고 언제 폐쇄되느냐에 따라 우리나라 석탄발전소의 대기오염으로 인한 조기사망자 수도 매년 변화한다(그림 15). 연간 조기사망자 수는 2020년 기준 892명에서 2030년 기준 624명으로 감소한다.

2020년부터 예상 폐쇄시기까지 각 석탄화력발전소의 대기오염피해로 인한 조기사망자 수를 누적하면 2054년까지 15,233명(최소 7,277명 - 최대 24,777명)이 조기사망할 것으로 추정된다(그림 16).

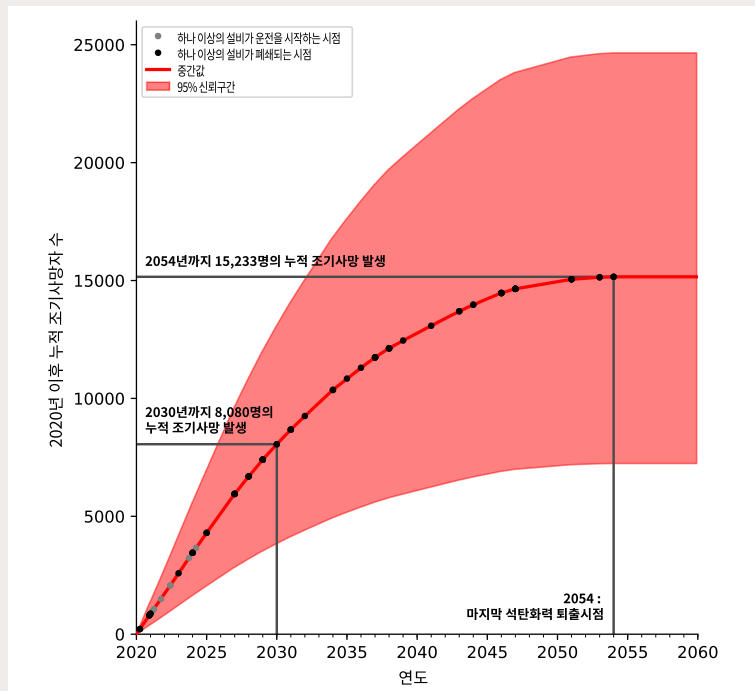
만약 우리나라가 2030년 이전에 모든 석탄화력발전소를 폐쇄한다면 7,153명(최소 3,418명 - 최대 11,635명)의 조기사망 피해를 줄일 수 있다.

석탄화력발전소가 운전을 하면서 대기오염을 배출하는 한, 영향권 내 인구의 우울증 환자 수는 일정하게 유지된다. <그림 17>은 석탄발전소에서 배출되는 대기오염 피해가 사라지면 대기오염으로 인한 우울증이 사라진다고 가정할 때, 각 호기의 예상 폐쇄시기에 따른 우울증 환자

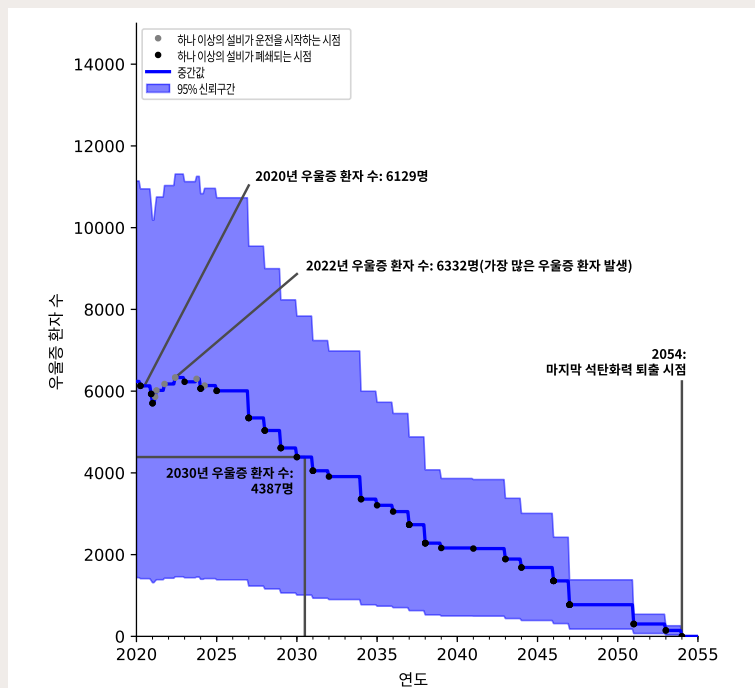
[그림 15] 우리나라 석탄화력발전소의 가동개시부터 폐쇄까지의 대기 오염으로 인한 연간 조기사망자 수 추이
(회색 점 : 하나 이상의 설비가 운전을 시작하는 시점,
검은 점 : 하나 이상의 설비가 폐쇄되는 시점,
붉은색 음영구간 : 95 % 신뢰구간)



[그림 16] 2020년 이후 우리나라 석탄화력발전소의 대기오염피해로 인한 누적 조기사망자 수
(회색 점 : 하나 이상의 설비가 운전을 시작하는 시점, 검은 점 : 하나 이상의 설비가 폐쇄되는 시점, 붉은색 음영구간 : 95 % 신뢰구간)



[그림 17] 현재 우리나라에서 운전/건설중인 석탄화력발전소 개별호기의 예상 폐쇄년도를 기준으로 추정한, 석탄화력발전소 대기오염으로 인한 우울증 환자 수 추이.
(회색 점 : 하나 이상의 설비가 운전을 시작하는 시점, 검은 점 : 하나 이상의 설비가 폐쇄되는 시점, 푸른색 음영구간 : 95 % 신뢰구간)



수 추이를 보여준다. 비교적 편차가 큰 신뢰구간에도 불구하고, 이 수치는 최소 수천명의 인구가 우리나라의 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 정신건강 피해로 고통받을 수 있음을 시사한다. 분석 결과에 의하면 7,039명(최소 1,621명 - 최대 12,574명) 인구가 우울증으로 고통받을 수 있다.

만약 우리나라가 2030년 이전에 모든 석탄화력발전소를 폐쇄한다면 4,387명(최소 1,011명 - 최대 7,837명)의 우울증 발병을 막을 수 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 석탄화력으로 인한 대기오염을 줄이기 위한 노력에도 불구하고 석탄화력발전소의 대기오염물질 배출로 인해 연간 995명이 조기사망하고, 7,039명이 우울증을 겪을 것으로 추정된다. 이러한 피해는 석탄화력발전소가 폐쇄되는 시점까지 지속되는데, 현재 통용되는 수명관리지침에 따라 석탄화력발전소가 설계수명(30년)까지만 가동될 것을 전제하더라도 대기오염 피해로 인해 15,233명의 조기사망자가 발생할 것으로 보인다.

이와 같은 건강 피해에서 벗어날 수 있는 유일하고 궁극적인 해결책은 석탄발전의 영구적인 퇴출이다. 2030년까지 국내 석탄발전소를 전면 폐쇄한다면 7,153명의 조기사망과 4,387명의 우울증을 예방할 수 있다. 본 보고서는 이와 같은 조기폐쇄 정책의 건강 편익에 대한 분석결과를 토대로 다음과 같은 석탄화력 퇴출 정책을 정부에 권고하고자 한다.

1. 석탄화력 2030년 폐쇄 선언

석탄화력발전소의 건강 영향에 대응하기 위해 환경설비 개선을 하면 된다는 주장이 있다. 그러나 석탄화력발전소에 대하여 환경설비 투자를 해 대기오염물질 배출이 줄어들어도 여전히 석탄화력발전소는 상당한 양의 대기오염물질을 배출한다. 게다가 이러한 설비개선 투자로 인한 온실가스 감축 효과는 많지 않으며, 설비투자 비용을 회수 위해 발전소의 수명이 연장되어야 하는 결과가 초래될 수 있다. 이러한 대기오염 피해와 기후변화에 대한 영향을 고려할 때 석탄화력발전소를 고수하는 것은 결코 지속가능한 정책 대안이 될 수 없다.

클라이밋 애널리틱스(CA)는 우리나라가 현재의 정책대로 석탄화력발전소를 운영한다면 발전부문 탄소 예산의 315%를 배출하게 될 것으로 전망하면서, 1.5도씨 목표 달성을 위해 우리나라가 2029년까지 석탄화력발전소를 모

두 퇴출해야 한다고 권고한 바 있다⁵⁵. 석탄발전에 대한 의존에서 벗어나는 것을 주저하는 동안 석탄발전의 대기오염 피해로 인한 조기사망이 늘어나고, 기후위기로 인한 전 지구적 대재앙이 우리의 삶을 위협할 것이다.

2. 석탄발전 감축을 위한 로드맵과 종합계획 수립

대기오염으로 인해 전세계적으로 연간 420만 명에 육박하는 조기 사망자가 발생하고⁵⁶ 기후위기가 인류를 위협하고 있는 가운데, 주요 선진국들은 파리협정에 따른 온실가스 감축의무 이행을 위해 석탄화력발전소를 급격하게 줄이고 있다⁵⁷.

석탄화력발전은 수급이 용이하고 가격이 저렴하다는 점 때문에 그간 소위 ‘기저발전’의 역할을 수행했다. 그러나 석탄화력발전소의 환경비용이 증가하고 재생에너지가 점차 가격경쟁력을 확보하고 있는 상황에서 석탄발전은 더 이상 저렴한 발전원이 아니다.

정부는 석탄발전 감축을 위한 로드맵과 종합계획을 수립해야 한다. 석탄발전 퇴출 계획을 위한 사회적 합의안 마련을 조속히 추진하고, 구체적인 석탄발전 퇴출 로드맵을 수립하여 우리나라의 좌초자산 리스크를 최소화해야 한다. 또한, 사회 전반에 에너지전환 정책 시그널을 확실히 보내어 에너지전환에 수반되는 사회·경제적 비용을 줄일 수 있도록 종합계획을 강구해야 한다.

55. Climate Analytics, 탈석탄 사회로의 전환: 파리협정에 따른 한국의 과학 기반 탈석탄 경로, 2020. 2. 2면

56. WHO, Global Health Observatory(GHO) data – Ambient air pollution, 2016. https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/

57. 영국, 유럽연합, 캐나다 등의 국가에서 석탄발전을 중단했거나, 2030년 또는 그보다 앞서 중단할 것을 선언했다.

모델링 대상 석탄화력발전소의 연돌, 배연가스, 오염물질 배출량

발전소	호기	연돌				배연가스		배출량		
		위도 deg	경도 deg	높이 m	직경 m	온도 ℃	속도 m/s	SO ₂ 톤/년	NO _x 톤/년	TSP 톤/년
여수	1	34.840	127.692	150	4.8	91	27.2	128	392	14
여수	2	34.840	127.692	150	4.8	91	21.6	76	427	11
영흥	1	37.242	126.438	200	6.6	90	18.1	1239	937	60
영흥	2	37.242	126.438	200	6.6	90	18.1	1363	975	52
영흥	3	37.242	126.438	198	6.3	90	20.4	888	536	16
영흥	4	37.242	126.438	198	6.3	90	20.4	819	513	25
영흥	5	37.242	126.438	200	6.9	95.3	17.4	497	450	22
영흥	6	37.242	126.438	200	6.9	95.3	17.4	507	463	20
태안	1	36.904	126.233	150	8.83	79.83	8.9	320	560	53
태안	2	36.904	126.233	150	8.83	77.87	8.9	272	341	31
태안	3	36.904	126.233	150	8.83	78.41	8.9	322	835	94
태안	4	36.904	126.233	150	8.83	77.69	8.9	691	710	99
태안	5	36.904	126.233	150	5.4	78.49	23.4	993	886	78
태안	6	36.904	126.233	150	5.4	82.22	23.4	1353	1037	93
태안	7	36.904	126.233	150	5.4	95.87	27.7	451	567	20
태안	8	36.904	126.233	150	5.4	96.41	27.7	598	700	24
태안	9	36.904	126.233	150	7.3	91	32.9	706	795	77
태안	10	36.904	126.233	150	7.3	91	32.9	1011	816	53
신보령	1	36.385	126.486	150	7.5	90	16.8	1150	507	29
신보령	2	36.385	126.486	150	7.5	90	16.8	1005	763	45
삼천포	1	34.911	128.110	200	5.3	119	37.5	687	1122	39
삼천포	2	34.911	128.110	200	5.3	109	37.5	557	1178	57
삼천포	3	34.911	128.110	200	5.3	95	37.5	1230	2035	75
삼천포	4	34.911	128.110	200	5.3	100	37.5	1044	1302	71
삼천포	5	34.911	128.110	200	5.3	139	24.2	645	521	118
삼천포	6	34.911	128.110	200	5.3	148	23.8	726	586	133
삼척그린파워	1	37.186	129.34	90	8.8	90	15.1	595	1445	105
삼척그린파워	2	37.184	129.34	90	8.8	90	15.1	330	1008	60
호남	1	34.854	127.735	150	7	90	6.6	681	862	17
호남	2	34.854	127.735	150	7	90	6.6	1379	1558	32
호남	1	34.952	127.820	150	9.3	83	7.4	1113	1094	50
하동	2	34.952	127.820	150	9.3	83	6.6	1174	706	47
하동	3	34.952	127.820	150	9.3	83	6.6	1128	707	49
하동	4	34.952	127.820	150	9.3	83	6.5	970	855	30
하동	5	34.952	127.820	150	9.3	83	6.7	898	721	40
하동	6	34.952	127.820	150	9.3	83	6.8	819	1129	40
하동	7	34.952	127.820	150	5.4	82	18.6	720	808	37
하동	8	34.952	127.820	150	5.4	82	19.1	886	855	49

발전소	호기	연돌				배연가스		배출량		
		위도 deg	경도 deg	높이 m	직경 m	온도 °C	속도 m/s	SO ₂ 톤/년	NO _x 톤/년	TSP 톤/년
동해	1	37.486	129.146	150	4	154	16.2	770	262	7
동해	2	37.486	129.146	150	4	154	16.2	857	341	10
당진	1	37.056	126.510	151	6.5	85	15.4	691	602	52
당진	2	37.056	126.510	151	6.5	85	15.4	662	706	53
당진	3	37.056	126.510	151	6.5	85	15.4	562	592	44
당진	4	37.056	126.510	151	6.5	85	15.4	664	544	42
당진	5	37.056	126.510	150	5.4	90	22.2	540	687	53
당진	6	37.056	126.510	150	5.4	90	22.2	627	667	54
당진	7	37.056	126.510	150	5.4	90	22.2	393	464	42
당진	8	37.056	126.510	150	5.4	90	22.2	397	431	47
당진	9	37.056	126.510	200	7.4	91	25.7	796	829	22
당진	10	37.056	126.510	200	7.4	91	25.7	1079	1058	27
북평	1	37.477	129.146	150	5.3	90	24.5	1212	1910	84
북평	2	37.477	129.146	150	5.3	90	24.5	1212	1910	84
보령	1	36.403	126.492	150	8.864	85	7.2	570	959	53
보령	2	36.403	126.492	150	8.864	85	7.2	470	1320	40
보령	3	36.403	126.492	150	8.788	90	8.8	516	416	94
보령	4	36.403	126.492	150	8.762	90	7.3	804	464	26
보령	5	36.403	126.492	150	8.788	90	7.3	1013	667	49
보령	6	36.403	126.492	150	8.788	90	7.3	1146	689	34
보령	7	36.403	126.492	150	5.4	90	17.2	235	312	43
보령	8	36.403	126.492	150	5.4	90	17.2	229	604	32
신서천	1	36.143	126.498	150	7.4	90	21.0	1364	1159	238
고성하이	1	34.905	128.127	190	7.5	90	22.5	1500	1275	261
고성하이	2	34.905	128.127	190	7.5	90	22.5	1500	1275	261
강릉안인	1	37.734	128.978	102	7.6	101	21.9	1389	1121	254
고성하이	2	37.734	128.978	102	7.6	101	21.9	1389	1121	254
삼척포스파워	1	37.407	129.177	250	7.4	90	22.3	1415	1203	247
삼척포스파워	2	37.407	129.177	250	7.4	90	22.3	1415	1203	247

발전소 호기별 가동기간

발전소	호기	가동시작		가동종료	
		년	월	년	월
평균		2004	9	2035	10
여수	1	2016	8	2046	1
여수	2	2011	11	2041	1
영흥	1	2004	7	2034	1
영흥	2	2004	11	2034	1
영흥	3	2008	6	2038	1
영흥	4	2008	12	2038	1
영흥	5	2014	6	2044	1
영흥	6	2014	11	2044	1
태안	1	1995	6	2025	1
태안	2	1995	12	2025	1
태안	3	1997	3	2027	1
태안	4	1997	8	2027	1
태안	5	2001	10	2031	1
태안	6	2002	5	2032	1
태안	7	2007	2	2037	1
태안	8	2007	8	2037	1
태안	9	2016	10	2046	1
태안	10	2017	6	2047	1
신보령	1	2017	6	2047	1
신보령	2	2017	9	2047	1
삼천포	1	1983	8	2020	4
삼천포	2	1984	2	2020	4
삼천포	3	1993	4	2024	1
삼천포	4	1994	3	2024	1
삼천포	5	1997	7	2027	1
삼천포	6	1998	1	2028	1
삼척그린파워	1	2016	12	2046	1
삼척그린파워	2	2017	6	2047	1
호남	1	1972	10	2021	1
호남	2	1972	10	2021	1
호남	1	1997	7	2027	1
하동	2	1997	11	2027	1
하동	3	1998	7	2028	1
하동	4	1999	3	2029	1
하동	5	2000	7	2030	1
하동	6	2001	7	2031	1
하동	7	2008	12	2038	1
하동	8	2009	5	2039	1

발전소	호기	가동시작		가동종료	
		년	월	년	월
동해	1	1998	10	2028	1
동해	2	1999	9	2029	1
당진	1	1999	6	2029	1
당진	2	1999	12	2029	1
당진	3	2000	9	2030	1
당진	4	2001	3	2031	1
당진	5	2005	10	2035	1
당진	6	2006	4	2036	1
당진	7	2007	6	2037	1
당진	8	2007	12	2037	1
당진	9	2016	7	2046	1
당진	10	2016	9	2046	1
북평	1	2017	3	2047	1
북평	2	2017	8	2047	1
보령	1	1983	12	2020	12
보령	2	1984	9	2020	12
보령	3	1993	4	2043	1
보령	4	1993	6	2043	1
보령	5	1993	12	2023	1
보령	6	1994	4	2024	1
보령	7	2008	6	2038	1
보령	8	2008	12	2038	1
신서천	1	2021	3	2051	1
고성하이	1	2021	4	2051	1
고성하이	2	2021	10	2051	1
강릉안인	1	2022	6	2053	1
고성하이	2	2022	6	2053	1
삼척포스파워	1	2023	10	2054	1
삼척포스파워	2	2024	4	2054	1

생명을 앗아가는 나쁜 전기, 석탄화력 석탄화력 조기폐쇄의 건강편익 분석 보고서

발간일

2020년 2월

저자

한가희 | 사단법인 기후솔루션 연구원 | gahee.han@forourclimate.org

박지혜 | 사단법인 기후솔루션 이사 | jeehye.park@forourclimate.org

손민우 | 그린피스 동아시아지부 대기오염 캠페이너 | minwoo.son@greenpeace.org

모델링

Aidan Farrow | 그린피스 과학연구소 대기오염과학자

Andreas Anhäuser | 그린피스 북유럽지부 대기오염 분석가

Lauri Myllyvirta | Centre for Research on Energy and Clean Air | 선임 대기오염 분석가

디자인

네이처리듬

문의

solutions@forourclimate.org

사단법인 기후솔루션(Solutions for Our Climate, SFOC)은
보다 효과적인 기후변화 및 대기오염 대응 정책 마련을 위해
2016년 한국에서 설립된 비영리법인입니다.
에너지·기후변화 정책에 전문성을 가지고 있는
법률, 경제, 금융, 환경 전문가 등으로 구성되어 있고,
국내외 비영리단체들과의 긴밀한 협력 하에 활동하고 있습니다.

www.forourclimate.org