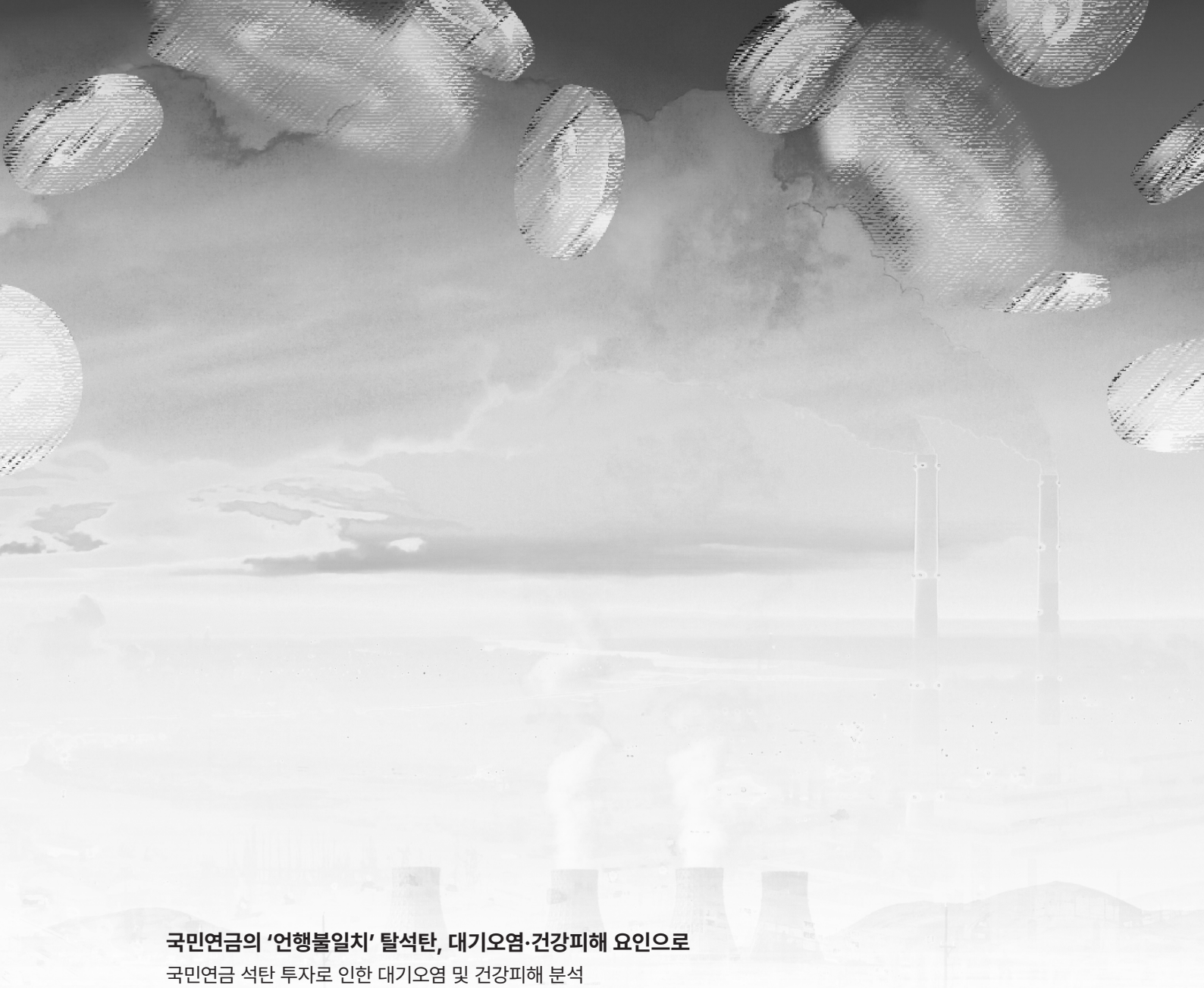


국민연금의 '언행불일치' 탈석탄, 대기오염 · 건강피해 요인으로

국민연금 석탄 투자로 인한 대기오염 및 건강피해 분석



국민연금의 '언행불일치' 탈석탄, 대기오염·건강피해 요인으로
국민연금 석탄 투자로 인한 대기오염 및 건강피해 분석

발간일 2023년 6월

저자 라우리 밀리비르타(Lauri Myllyvirta, CREA)
에리카 우우시부오리(Erika Uusivuori, CREA)
제이미 켈리(Jamie Kelly, CREA)
한수연 (Sooyoun Han, SFOC)
엘레오노라 파산 (Eleonora Fasan, SFOC)

기여자 베라 타타리 (Vera Tattari, CREA)

자문 정준희 대구대학교 교수 (Joon Hui Jung, Professor of Accounting at Daegu University)

디자인 최예진 (Yejin Choi, SFOC)

영한번역 유상호 번역가 (Sang Ho Yoo)

문의 한수연 기후솔루션 연구원 (sooyoun.han@forourclimate.org)
라우리 밀리비르타 수석 전문가 (lauri@energyandcleanair.org)



에너지·청정대기연구센터(CREA)

핀란드의 에너지·청정대기연구센터(CREA)는 대기오염에 대한 추세, 원인 및 건강 영향과 해결책을 밝히는 활동을 하는 독립적인 연구 기관입니다. CREA는 과학적 데이터, 연구 및 증거를 사용해 전 세계 정부, 기업, 캠페인 조직의 청정에너지 및 청정공기를 향한 노력을 지원합니다. CREA는 2019년 12월 핀란드 헬싱키에서 설립되었으며 여러 아시아 및 유럽 국가에서 활동하고 있습니다.



기후솔루션(SFOC)

사단법인 기후솔루션은 보다 효과적인 기후위기 대응과 에너지 전환을 위해 2016년 한국에서 설립된 비영리법인입니다. 기후솔루션은 에너지·기후변화 정책과 관련한 법률, 경제, 금융, 환경 전문가 등으로 구성되어 있고, 국내외 비영리단체들과의 긴밀한 협력 하에 활동하고 있습니다.



국민연금의 '언행불일치' 탈석탄, 대기오염 · 건강피해 요인으로

국민연금 석탄 투자로 인한 대기오염 및 건강피해 분석

주요 내용

- 국민연금공단(이하 '국민연금')은 2021년 5월 '탈석탄 선언' 후 2년이 지난 현재까지 구체적인 석탄 투자 제한 정책을 수립하지 않고 있다. 이런 가운데, 국민연금이 한국 석탄화력발전소에 직·간접적으로 막대한 자본을 투자하고 있다.
- 본 연구는 이 같은 국민연금의 석탄화력발전소 투자로 인한 대기오염 및 건강피해 영향을 산업 표준 배출 확산 모델인 칼퍼프(CALPUFF) 모델링 시스템에 기반해 분석했다. 또한 그에 따른 경제적 손실을 추산했다.
- 2021~2022년, 한국 석탄화력발전소(CFPPs)에서 발생한 대기오염물질에 노출돼 사망한 사람이 1,970명¹에 이르는 것으로 추산되며, 전체의 약 11.2%에 해당하는 220건²은 국민연금의 석탄 투자로 인한 것으로 분석할 수 있다.
- 사망에 이른 경우가 아니어도, 동기간 석탄화력발전소에서 발생한 대기오염으로 인한 건강피해로 어린이 천식 신규 발생 580건, 미숙아 출산 280건, 천식 관련 응급실 진료 560건, 병가 80만 일 이상이 발생한 것으로 추정된다. 이중 어린이 천식 신규 발생 67건, 미숙아 출산 32건, 천식 관련 응급실 진료 약 63건, 병가 9만 690 일 등이 국민연금의 석탄 투자로 인한 것으로 분석됐다.
- 석탄화력발전소로 인한 대기오염 노출로 인한 건강피해로 한국이 지출한 비용은 총 약 12조 9,000억 원³에 달한다. 이중 약 1조 4,000억 원⁴은 국민연금의 석탄 투자에 기인한 것으로 볼 수 있다.
- 지역별로는 태안화력발전소와 당진화력발전소가 위치한 충청남도과 영흥화력발전소가 있는 인천광역시에서 가장 큰 규모의 건강 및 경제 피해가 발생한 것으로 밝혀졌다. 2022년 연간 사망자 중 이들 발전소에 대해 국민연금의 투자로 인해 야기된 사망은 각각 26(태안화력발전소), 23(당진화력발전소), 18(영흥화력발전소) 건이며, 경제적 피해 규모는 각각 1,550억⁵, 1,421억⁶, 1,124억 원⁷으로 추산된다.

1 95% 신뢰 구간: 1,340 ~ 2,860명.

2 95% 신뢰 구간: 150 ~ 321명.

3 95% 신뢰 구간: 8.5 ~ 17.9 조 원

4 95% 신뢰 구간: 0.9 ~ 1.9조 원.

5 95% 신뢰 구간: 1,050 ~ 2,280 억 원

6 95% 신뢰 구간: 970 ~ 2,060억 원

7 95% 신뢰 구간: 760 ~ 1,640 억 원

목차

주요 내용	... 4
I. 연구 배경	... 6
II. 국내 석탄발전소 영향에 대한 국민연금의 투자 기여율	... 7
III. 배출 부하 및 대기질 영향 분석	... 8
IV. 건강 영향 및 경제적 비용 분석	... 14
V. 정책 제언	... 16
부록	
[부록 A] 국내 석탄발전소에 대한 국민연금 금융배출량 산정 방법론 및 데이터	... 17
A. 주식 귀속계수	... 17
B. 채권 귀속계수	... 18
C. 재무 데이터	... 18
[부록 B] 대기오염 및 건강피해 분석 방법론 및 데이터	... 20
A. 배출량	... 20
B. 대기 모델링	... 21
C. 건강에 미치는 영향 평가 및 경제적 가치 산정	... 21
[부록 C] 굴뚝 속성 및 배출량 데이터	... 23

I. 연구배경

기후위기 시대, 지속가능성을 위한 자본의 움직임은 거스를 수 없는 시대의 패러다임으로 자리 잡았다. 금융시장 역시 지속가능성을 회복하기 위한 경로 개척에 힘쓰고 있다. 그리고 그 길목에 '탈석탄 금융'이 있다. 석탄은 화석 연료 중에서도 온실가스 배출 농도가 높아 기후위기의 주범으로 손꼽힌다. 뿐만 아니라 석탄화력발전은 대기오염의 주요 원인 중 하나로 호흡기 질환 등 건강에 악영향을 미친다.

국민연금공단(이하 '국민연금')은 이런 석탄발전의 문제와 탄소 배출 감축 필요성에 공감한다며 2021년 5월 '탈석탄 선언'을 했다(보건복지부, 2021). 이 선언은 단지 한 기관의 ESG 정책 그 이상 의미를 갖는다. 국민연금은 국내에서는 물론 전 세계 자본시장의 '큰손'으로, 국내 전 산업에 걸쳐 1,000개 이상 기업의 지분을 보유하고 있으며 시가총액에서 차지하는 비중은 6%가 넘는 유니버설 오너(Universal Owner)이기 때문이다. 채권 시장에서 차지하는 비중 역시 약 10%에 달한다. 또한 2023년 2월 말 기준 국민연금의 적립금은 약 939조 원으로, 세계 공적 연기금 규모 중 3위에 해당한다. 이런 국민연금의 ESG 정책은 금융시장과 산업계 ESG 투자 및 경영 정책에 큰 영향을 미친다.

국민연금은 탈석탄 선언 2년이 지난 오늘날까지 구체적인 석탄 투자 제한 정책을 내놓지 않으며 석탄 발전에 대한 투자를 지속하고 있다. 실질적 정책 수립과 실행은 부재한 '구호'에 그친 상태다. 본 연구는 정책이 부재한 지난 2년간(2021~2022년), 국민연금의 석탄 투자로 인한 대기오염 및 건강피해, 그리고 이로 인한 경제적 손실을 최초로 분석했다.

II. 국내 석탄발전소 영향에 대한 국민연금의 투자 기여율

국내에는 건설 단계인 것을 포함해 총 15개 국내 석탄화력발전소가 있다. 이중 민간사업자가 참여한 4개 발전소를 제외한 11개 발전소의 사업 운영은 한국전력공사가 지분 100%를 소유한 5개 발전자회사가 한다. 본 연구는 국내 석탄발전소에서 발생하는 대기오염 및 건강피해 영향에서 국민연금의 석탄 투자로 인한 책임 정도, 즉 기여율(귀속계수)을 계산했다.

계산법은 탄소회계금융협회(Partnership Carbon Accounting Financials, 이하 'PCAF')가 제안한 금융산업의 탄소회계보고기준을 바탕으로 정준희 대구대학교 회계학과 교수의 자문을 받아 개발했으며, 석탄 투자액은 국회 보건복지위원회 최영희 의원실이 국민연금으로부터 제출받은 자료에 바탕했다.

PCAF는 금융기관이 주도하는 글로벌 연합체로 표준화된 탄소회계를 통해 금융기관들의 자본을 저탄소 경제활동으로 유도하는 것을 목표로 활동한다. PCAF의 탄소회계보고기준은 금융기관의 투자 활동으로 인한 온실가스 배출량(금융배출량) 산정 방법으로 널리 활용되는데, 산정 기본 단위를 피투자 '기업'으로 한다. 반면 본 연구는 '석탄발전소' 단위로 대기오염 및 건강피해 영향을 분석했으므로 PCAF 방법론을 그대로 적용하기 부적절했다. 이에 PCAF 방법론을 기본 틀로 하되, 발전소 단위의 연간 대기오염 배출량에 국민연금의 투자 활동으로 인한 귀속계수(attribution factor)를 곱해 최종 기여 정도를 산출했다.

귀속계수는PCAF 탄소회계보고기준에서 제시된 ▲상장주식 및 회사채 ▲기업 대출 및 비상장 주식 ▲프로젝트 금융 ▲상업용 부동산 ▲모기지 ▲자동차 대출 ▲국채 등 7가지 자산군(PCAF, 2022) 중 구체적인 투자액을 파악할 수 있는 주식과 회사채에 대해 계산해 합산했다(부록 1 참조).

[표 1] 발전소별 최종 귀속계수

발전회사	발전소	최종 귀속계수(%)
한국남동발전	영흥화력발전소	11.673
	여수화력발전소	11.485
	삼천포화력발전소	11.576
강릉에코파워	강릉안인화력발전소	0.194
고성그린파워	고성하이화력발전소	3.349
한국남부발전	하동화력발전소	11.595
	삼척그린파워발전소	11.679
한국중부발전	보령화력발전소	11.607
	신보령화력발전소	11.557
	신서천화력발전소	11.531
한국동서발전	당지화력발전소	11.774
	동해화력발전소	11.470
GS 동해전력	북평화력발전소	4.100
한국서부발전	태안화력발전소	11.865
삼척블루파워	삼척화력발전소	2.909

III. 배출 부하 및 대기질 영향 분석

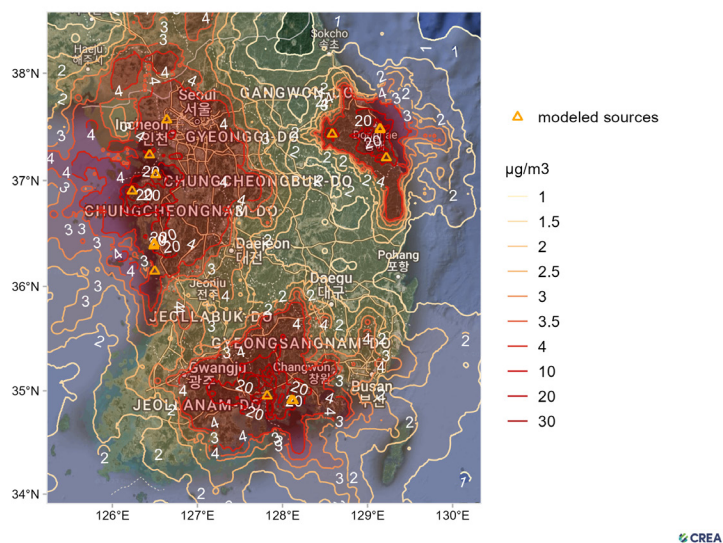
석탄화력발전소는 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x), 초미세먼지(PM_{2.5}) 등 대기오염 물질을 배출한다. 이산화황은 대표적인 가스상 대기오염물질이다. 고농도에서 비강과 인후에 많이 흡수되며 점막액과 반응해 염증을 일으킨다. 이산화황에 계속해서 노출되면 폐렴, 천식 등 질환을 겪게 된다. 질소산화물에⁸ 장기간 노출되면 저농도로 노출된 경우에도 만성중독으로 기관지염, 폐기종 등 건강 이상이 야기될 수 있다. 초미세먼지는 직경이 2.5마이크로미터(μm) 이하인 먼지로, 흡입했을 때 기도에서 걸러지지 못하고 대부분 폐포까지 침투한다. 심장질환과 호흡기질환을 유발해 조기 사망률을 증가시킨다 (서울특별시, n.d.).

환경부가 국회 환경노동위원회 진성준 의원실에 제출한 석탄발전소 대기오염물질 및 배출시설현황 데이터를 바탕으로 진행한 연구 결과, 현재 국내에서 운전 중인 석탄화력발전소들은 2022년 이산화황(SO₂) 21.5킬로톤(kt), 질소산화물(NO_x) 19.2kt, 미세먼지(PM) 1.6kt 등 오염물질을 배출한 것으로 추산된다. 이 중에서 국민연금의 석탄 투자로 인한 배출량은 이산화황 2.5kt, 질소산화물 2.2kt, 미세먼지 0.2kt 등이다.

[그림 1]은 2022년 모델링 대상으로 삼은 발전소들의 호기에서 배출된 1시간 또는 24시간당 최대 농도의 이산화황, 질소산화물, 초미세먼지(PM_{2.5})의 영향을 보여준다. 오염물질별로 국민연금의 석탄 투자로 인해 책임이 있는 배출의 농도를 나타낸 도표와 비교해 그 비중을 알 수 있다. [그림 2]는 국민연금의 석탄 투자로 인한 오염물질의 연간 평균 농도를 보여준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이, **국민연금과 관련된 배출량은 상당하며 대기질과 환경, 사람들의 건강에 미치는 악영향도 뚜렷하다.**

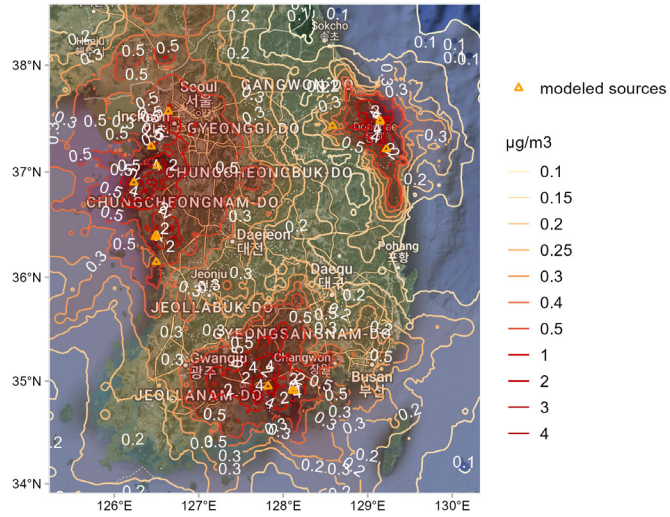
[그림 1] 2022년 전체 석탄화력발전소에서 배출된 SO₂, NO₂, PM_{2.5}의 시간당(1시간 또는 24시간) 최대 농도 및 국민연금 석탄 투자 책임에 따른 오염물질의 시간당 최대 농도

전체 석탄화력발전의 배출된 1시간당 SO₂ 배출 최대 농도 (2022년)



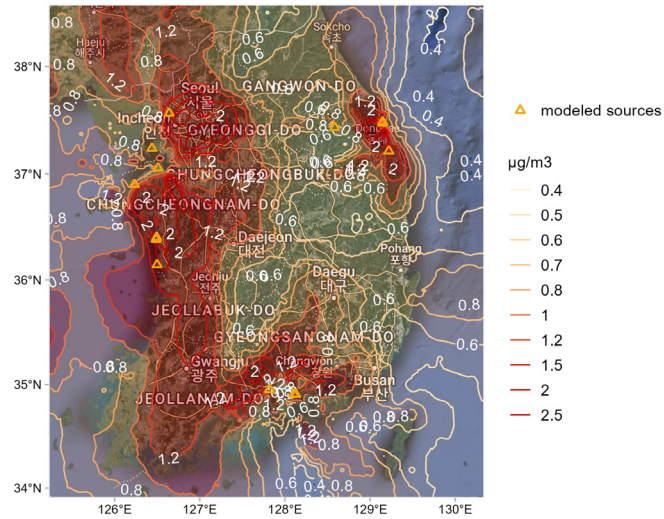
8 질소산화물은 건강에 영향을 미치는 오염 물질인 이산화질소로 빠르게 전환된다.

국민연금 석탄 투자로 인한 1시간당 SO₂ 배출 최대 농도 (2022년)



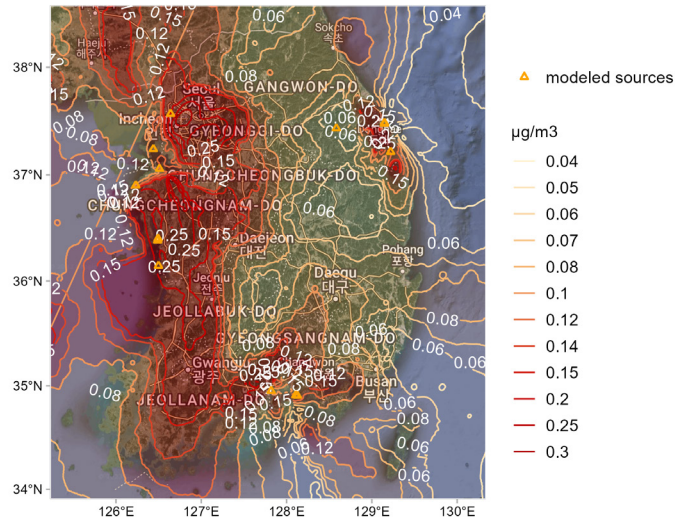
CREA

전체 석탄화력발전소의 24시간당 PM_{2.5} 배출 최대 농도 (2022년)



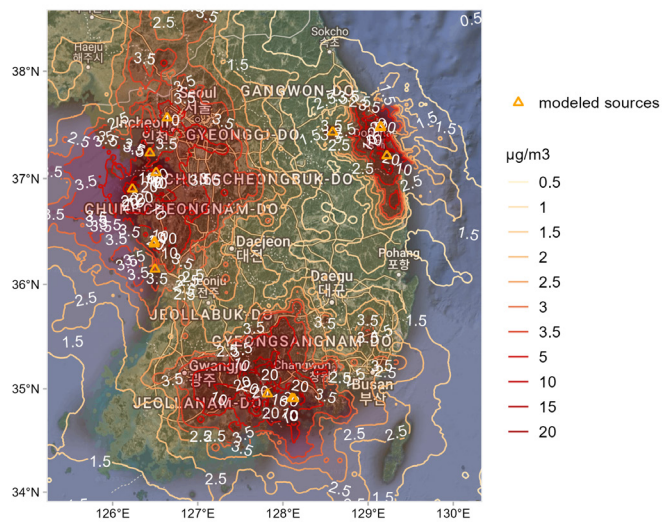
CREA

국민연금 석탄 투자로 인한 24시간당 PM_{2.5} 배출 최대 농도 (2022년)



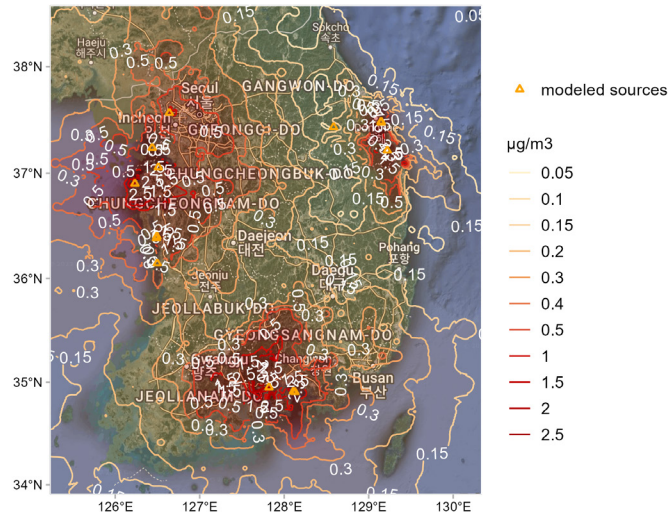
CREA

석탄화력발전소의 1시간당 NO₂ 배출 최대 농도 (2022년)



CREA

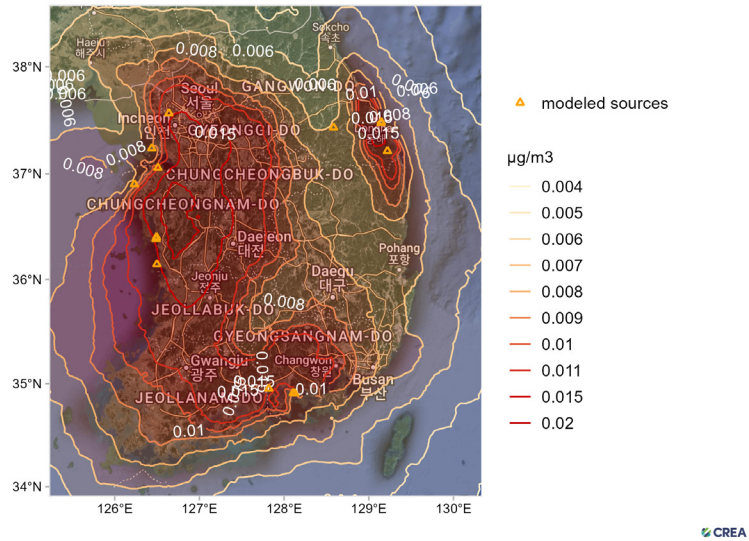
국민연금 석탄 투자로 인한 1시간당 NO₂ 배출 최대 농도 (2022년)



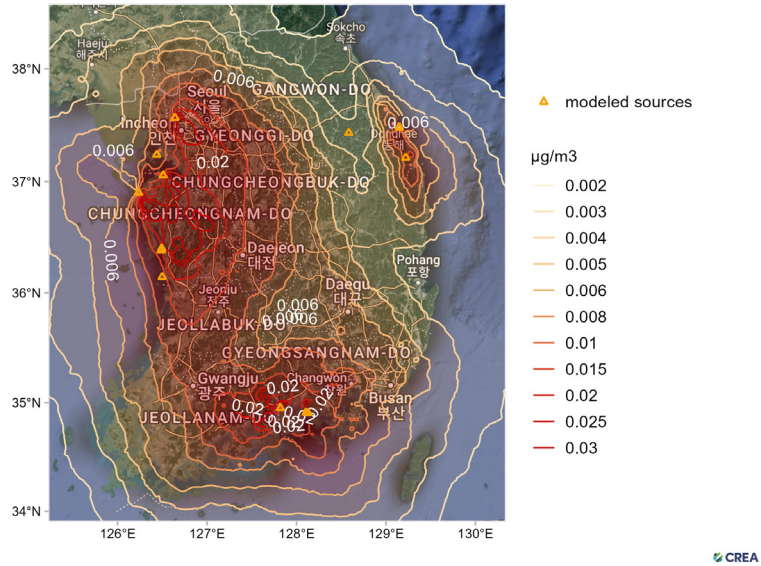
CREA

[그림2] 모델링 대상 발전소에서 배출된 오염물질의 연간 평균 농도

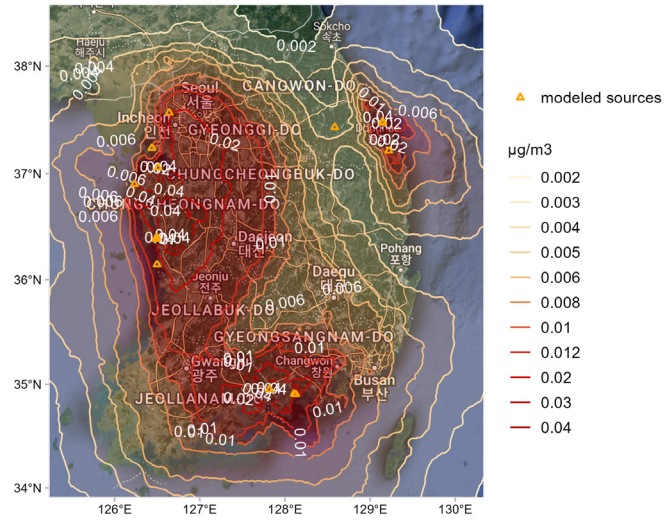
국민연금 석탄 투자로 인한 연간 PM_{2.5} 배출 평균 농도 (2022년)



국민연금 석탄 투자로 인한 연간 SO₂ 배출 평균 농도 (2022년)



국민연금 석탄 투자로 인한 연간 NO₂ 배출 평균 농도 (2022년)



CREA

IV. 건강 영향 및 경제적 비용 분석

한국에서 가동 중인 석탄발전소로 인해 2021~2022년 전국에서 사망자 1,968명이 발생한 것으로 추산된다. 이 가운데 **220명의 사망은 발전소에 대한 국민연금의 투자에 따른 책임으로 볼 수 있다. 2년간 전체 사망자의 11.2%에 해당하는 숫자다.** 이 기간 석탄발전소가 건강에 끼친 영향을 해결하기 위해 한국 경제가 짊어진 부담은 12조 9,000억 원에 달한다. 이 중 **11%, 약 1조 4,000억 원 또한 국민연금의 석탄 발전소 투자로 인한 것으로 밝혀졌다.**

[표 2] 2021~2022년 석탄화력발전소의 대기오염으로 인한 한국의 전체 사망 건수 및 국민연금의 석탄 투자로 인한 사망 건수: 원인별 분류 (괄호 안 95% 신뢰 구간)

오염물질	원인	한국 전체	국민연금 석탄 투자 기인 건수
이산화질소(NO ₂)	전체 원인	401 (194-831)	46 (22-94)
	만성 폐쇄성 폐질환	110 (39-212)	12 (4-24)
초미세먼지(PM _{2.5})	당뇨병	10 (3-20)	1.1 (0.3-2.2)
	허혈성 심장질환	230 (167-300)	26 (19-33)
	하기도 감염	283 (89-517)	31 (10-56)
	폐암	173 (83-288)	19 (9-32)
	뇌졸중	239 (92-442)	27 (10-49)
이산화황(SO ₂)	전체 원인	336 (226-454)	38 (26-52)
연간 총 사망 건수		1,968 (1,345-2,861)	220 (150-321)
연간 총 경제적 비용(조 원)		12.9 (8.5-17.8)	1.4 (0.9-1.9)

석탄화력발전으로 인한 오염의 결과로 다른 건강피해도 발생한다. 같은 기간 2,760명의 어린이가 오염에 노출돼 천식을 앓은 것으로 추산된다. 이 가운데 315명은 국민연금의 석탄 투자로 인한 것으로 볼 수 있다. 2년간 신규로 발생한 어린이 천식 환자는 589명이며, 이 중 67명은 국민연금 석탄 투자로 인한 영향으로 분석된다. 또한 285명의 미숙아가 태어났고, 이 중의 32명이 국민연금 석탄 투자로 인한 것으로 분석된다. 또한 만성 폐쇄성 폐 질환, 당뇨병, 뇌졸중으로 인한 장애를 안고 살게 되는 기간이 2,000년을 넘었고, 이 가운데 260년은 국민연금 투자로 인한 것으로 추정된다. 이에 더해 오염과 연관 있는 여러 가지 건강 문제로 병가를 낸 사람들의 결근 일수가 약 80만 9,000일에 이르렀다. 이 중 9만 690건은 국민연금 투자에서 기인한 것으로 분석됐다.

[표 3] 2021~2022년 석탄 발전으로 인한 오염으로 한국에서 발생한
전체 건강피해 및 국민연금의 투자로 인한 건강피해

원인	전체 건수			국민연의 투자 기인한 건수		
	적정 추정치	최소 추정치	최대 추정치	적정 추정치	최소 추정치	최대 추정치
어린이 천식 신규 발생	589	127	1,332	67	14	152
오염 노출로 인해 천식을 앓는 어린이 수(유병률 증가)	2,767	692	5,961	315	79	679
천식으로 인한 응급실 진료	563	348	775	63	39	87
미숙아 출산	285	138	302	32	15	34
결근(병가 일수)	809,800	688,900	929,900	90,690	77,150	104,100
장애를 안고 살아가는 기간(년)	2,333	761	4,705	259	84	522

건강에 끼친 피해의 규모를 발전소별로, 또 국민연금의 석탄 투자에 기인하는 비중별로 분리해 보면, 용량이 가장 큰 발전소가 미치는 영향도 가장 큰 것으로 나타난다. 6,400 메가와트(MW) 용량의 태안화력발전소가 연간 26명의 사망자를 발생시키고 한국 경제에 총 1,550억 원의 경제적 부담을 안겼다. 이어서 6,040MW 용량의 당진 화력발전소가 23명의 사망자와 1,421억 원의 경제적 비용을 발생시켰다. 영흥화력발전소는 그 뒤를 이어 18명의 사망자와 1,124억 원의 경제적 비용을 발생시켰다.

[표 4] 2022년 국민연금 석탄 투자에 기인한 발전소별 건강피해와 경제적 비용

발전소	천식 관련 응급실 진료	사망	어린이 신규 천식 발생	결근	비용 (단위: 백만 달러)	비용 (단위: 십억 원)
보령	2 (1 - 3)	6 (4 - 9)	1 (0 - 3)	2,990 (2,540 - 3,440)	30 (21 - 42)	39 (27 - 54)
북평	0 (0 - 0)	0 (0 - 1)	0 (0 - 0)	169 (143 - 194)	2 (1 - 3)	3 (1 - 4)
당진	7 (4 - 9)	23 (16 - 33)	7 (1 - 15)	9,500 (8,080 - 10,900)	110 (75 - 160)	142 (97 - 206)
동해	1 (1 - 1)	3 (2 - 4)	0 (0 - 0)	1,440 (1,220 - 1,650)	15 (11 - 19)	19 (14 - 25)
강릉 안인	0(0 - 0)	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	18 (15 - 21)	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)
고성 하이	0 (0 - 0)	1 (1 - 1)	0 (0 - 0)	375 (319 - 431)	5 (3 - 6)	6 (4 - 8)
하동	3 (2 - 4)	10 (7 - 15)	3 (1 - 6)	4,250 (3,620 - 4,880)	56 (39 - 78)	72 (50 - 101)
삼척그린파워	1 (1 - 2)	4 (3 - 6)	1 (0 - 1)	2,030 (1,720 - 2,330)	22 (16 - 30)	28 (21 - 39)
삼천포	1 (1 - 2)	5 (3 - 7)	1 (0 - 3)	1,930 (1,640 - 2,220)	26 (18 - 38)	34 (23 - 49)
신보령	1 (1 - 1)	3 (2 - 4)	1 (0 - 1)	1,500 (1,270 - 1,720)	15 (10 - 21)	19 (13 - 27)
신서천	0 (0 - 0)	1 (0 - 1)	0 (0 - 1)	251 (214 - 289)	3 (2 - 4)	4 (3 - 5)
태안	8 (5 - 11)	26 (18 - 39)	9 (2 - 20)	10,900 (9,310 - 12,600)	120 (81 - 177)	155 (105 - 228)
영흥	5 (3 - 7)	18 (12 - 27)	5 (1 - 12)	7,210 (6,140 - 8,280)	87 (59 - 127)	113 (76 - 164)
여수	0 (0 - 1)	4 (2 - 7)	4 (1 - 9)	664 (565 - 763)	20 (11 - 37)	26 (14 - 48)

국민연금을 관리감독하는 기관이 국민보건에 관한 사무를 총괄하는 대한민국 보건복지부라는 사실을 상기하면, 국민 보건 차원에서의 현황 파악 및 대책 마련이 필요해 보인다. 하지만 관련 연구 및 정책 등은 미흡한 것으로 보인다.

V. 정책 제언

본 연구 결과 국민연금의 석탄 투자에서 기인한 대기오염 및 건강피해와 이에 따른 경제적 손실이 우려할 수준으로 나타났다. 국민연금이 실효성 있는 석탄 투자 제한 정책 수립을 계속 미룬다면, 누적 피해 및 경제 손실이 더욱 커질 것으로 예상된다. 이를 막기 위해 국민연금에 다음과 같은 석탄 투자 제한 정책을 제안한다.

1. 공적 연기금으로서 파리기후협약에서 도출된 1.5도 목표를 위한 기후행동에 적극적으로 나서야 한다.
2. 석탄 기업을 분류하는 정량 기준은 매출 비중 기준(발전기업의 경우엔 발전량 비중 기준) 최소 30%를 설정하고, 지속해서 강화해야 한다.
3. 석탄 기업에 대한 적극적인 수탁자 책임 활동 기준을 수립하고 투명성을 강화해야 한다.

[부록 A] 국내 석탄발전소에 대한 국민연금의 금융배출량 산정 방법론

A. 주식 귀속계수

주식에 대한 귀속계수는 다음 두 단계를 거쳐 계산한다.

[단계 1] 발전회사 자산 총계에서 발전소 자산 총계가 차지하는 비중을 산출한다.

$$\frac{\text{(발전소의 연결 기준 자산 총계)}}{\text{(발전회사의 연결 기준 자산 총계)}} = a$$

비상장인 경우 연결재무제표상 '연결 기준 총자산'을 사용하며 건설 중인 발전소의 자산 총계는 사업계획서상 사업비로 같음한다.

[단계 2] 발전회사에 대한 국민연금의 투자 비중을 산출해, 최종 귀속계수를 산정한다.

$$\text{[단계 1]에서 도출된 값 } a * \frac{\text{모회사 시가총액} * \text{국민연금 지분율}}{\text{모회사 시가총액} + \text{연결부채}}$$

한국남동발전, 한국중부발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전 등 5개 발전회사는 모두 상장사인 한국전력의 자회사이므로, PCAF 방법론에 따라 현금을 포함한 기업가치(Enterprise Value Including Cash, EVIC)를 계산에 사용한다. 이는 '모회사(한국전력)의 시가총액 + 연결부채'로 구할 수 있다.

다만 북평화력발전소, 삼척화력발전소, 강릉안인화력발전소, 고성하이화력발전소 등 민간사업자가 참여한 4개 발전소의 경우, 발전회사와 연결된 관계사를 통해 국민연금의 투자를 받는다고 보아 [단계 1]과 [단계 2] 사이에 추가로 발전회사에 투입된 연결실체의 투자 비중을 곱해야 한다. 즉 [단계 1]과 [단계 2] 사이에 다음 계산을 추가하고, [단계 2] 산출 과정에서 [단계 1]에서 도출된 값 a 대신 다음 식을 통해 산출된 값을 사용한다.

$$\text{[단계 1]에서 도출된 값 } a * \text{발전회사에 대한 관계사의 지분율}$$

B. 채권 귀속계수

채권의 귀속계수는 국민연금이 발전회사가 발행한 채권 인수를 통해 직접 투자한 경우와 관계사가 발행한 채권을 인수해 간접 투자한 경우를 합산한다.

국내 석탄화력발전소 운영과 관련된 주체는 ▲한국전력 및 5개 발전자회사 ▲삼척화력발전소 사업자인 삼척블루파워 및 삼척블루파워를 설립한 포스코홀딩스밖에 없으므로 아래에서는 구체적인 주체를 들어 설명한다.

[채권 직접 투자]

$$\frac{\text{국민연금이 인수한 한국전력 및 발전자회사 또는 삼척블루파워 발행 채권 총액}}{\text{발전사 시가총액 또는 삼척블루파워 총자산+연결부채}}$$

[채권 간접 투자]

$$\frac{\text{국민연금 인수한 연결실체 기준 포스코홀딩스 채권 총액} * \text{연결실체 기준 포스코홀딩스가 가지고 있는 발전회사의 지분율}}{\text{포스코홀딩스의 시가총액 + 연결부채}}$$

C. 재무 데이터

석탄발전소에 대한 국민연금의 직·간접적 지분 투자 데이터는 금융감독원 전자공시시스템(DART)에 공시된 사업 보고서를 참고했다. 채권 투자액 및 발전사 및 발전사 연결실체에 대한 재무 데이터는 다음과 같다.

[표 A-C-1] 국민연금 채권 투자 데이터

투자자	피투자자	투자액(원)	출처
국민연금공단	포스코홀딩스	310,000,000,000	국민연금 - 국회의원 최영희 의원실 제공 (2023.02.13)
국민연금공단	한국전력공사	15,166,608,500,000	국민연금 - 국회의원 최영희 의원실 제공 (2023.02.13)
국민연금공단	삼척블루파워	30,000,000,000	국민연금 - 국회의원 최영희 의원실 제공 (2023.02.13)

[표 A-C-2] 발전사·발전사 연결실체 재무 데이터

피투자자	데이터 유형	출처
발전사	자산총계	국회 자료요구 (2023.04.06)
발전소	자산가치	국회 자료요구 (2023.04.06)
한국전력공사	시가총액	시가총액 상위 - 한국거래소 정보데이터시스템 (krx.co.kr) (2022.12.29 기준)
한국전력공사	(비)유동금융부채	한국전력공사/사업보고서/연결재무제표 (2023.04.10) (fss.or.kr)
포스코홀딩스	시가총액	시가총액 상위 - 한국거래소 정보데이터시스템 (krx.co.kr) (2022.12.29 기준)
포스코홀딩스	차입금+장기차입금	포스코/사업보고서 (2023.03.09) (fss.or.kr)
포스코인터내셔널	시가총액	시가총액 상위 - 한국거래소 정보데이터시스템 (krx.co.kr) (2022.12.29 기준)
포스코인터내셔널	주식 수	포스코인터내셔널/사업보고서 (2023.03.10) (fss.or.kr)
포스코인터내셔널	주가	Google Finance (2022.12.29 기준)
삼척블루파워	자산총계	삼척블루파워/사업보고서 (2023.03.30) (fss.or.kr)
삼척블루파워	유동성기부채 + 사채 + 장기차입금	삼척블루파워/사업보고서 (2023.03.30) (fss.or.kr)

[부록 B] 대기오염 및 건강피해 분석 방법론 및 데이터

이번 연구에서는 석탄 화력발전이 건강에 미치는 영향을 계량화하기 위해 에너지청정대기연구센터(CREA)의 영향 경로 접근법(IPA)을 이용했다. 이 방법은 (1) 발전소별 배출량 목록 작성 (2) 대기 모델링을 통한 석탄화력발전소의 오염물질 확산량 추산 (3) 농도 변화에 따라 대기 오염이 건강에 미치는 영향 계량화 (4) 질병으로 인한 비용을 바탕으로 경제적 측면에서의 영향 평가 등 네 단계로 이뤄져 있다. 연구팀은 통계 분석과 데이터 시각화를 위한 소프트웨어인 R언어를 이용해 연구 대상 지역을 1 X 1 km의 격자 공간으로 나눈 뒤, 각 공간의 건강 영향을 계산했다. 필요에 따라 모든 데이터는 같은 공간 단위로 집계 및 추가됐다.

A. 배출량

발전소별 배출량 목록은 칼퍼프(CALPUFF) 모델링에 필요한 입력 데이터로 사용됐다. 이 데이터에는 한국에서 가동 중인 모든 석탄 화력발전소의 기술, 위치, 용량이 반영돼 있다(부록 C 참조). 연소 및 배출 제어 기술, 사용하는 석탄 종류, 굴뚝의 높이 및 직경, 연도 가스의 방출 속도 및 온도 등의 정보를 이용해 배출 부하를 산출하고, 배출 연기의 높이와 오염물질의 온도 상승을 파악했다.

발전소의 배출량에 관한 정보가 부족하거나 이용할 만한 데이터가 없는 경우, 유사한 용량과 연소기술을 보유한 프로젝트의 평균값을 이용해 그 값을 개략적으로 추정했다. 이번 연구에서는 그러한 발전소들이 한국의 배출 기준을 준수하고, 배출가스 제어 기술을 최대한 활용하고 있다는 것을 전제했다. 배출 제어 기술에 관한 정보는 이러한 1차 자료와 S&P 세계 발전소 데이터베이스(2020)를 통해 수집했다.

굴뚝 높이, 연도 가스의 배출 속도 및 온도도 마찬가지로 방법으로 이용 가능한 데이터를 바탕으로 입력했다. 자료가 누락된 경우에는, 전체 연도 가스의 흐름 및 속도를 기준으로 굴뚝 직경을 계산했다. 이러한 방법조차 불가능할 때에는, 업계의 표준 지표에 따라 저임계, 초임계, 초초임계 공장의 열효율을 각각 37%, 41%, 43%로 가정했다.

이와 별개로 수은 배출량은 $EHg = CC \times MC \times (1 - CE)$ 의 공식을 이용해 예측했다. 여기서 CC는 발전소의 석탄 소비량, MC는 석탄의 수은 함량, CE는 표집 효율이다. 발전소의 메인 보일러에서 생성된 독성 침전물에 대해서는, 방출된 비산회의 30%는 초미세먼지로, 37.5%는 미세먼지로 가정했다. 이는 정전식 침전기(ESP)에 관한 미국 환경보호청 AP-92 기본값(1998)을 기준으로 삼은 것이다. 수은 침전물은 세 가지 수은 타입(원소, 반응성 가스, 입자 결합)을 각각 모델링했으며, Lee et al. (2006)의 연구를 기반으로 세 가지 타입 간의 차이를 계산했다. 다만 다른 중금속에 관한 배출량 데이터는 얻을 수 없었다.

추정치는 미국 지질조사국의 석탄 샘플 가운데 백분위수 기준 10번째와 90번째를 이용해 계산했다. Linak et al (2000) 연구의 경험적 결과 등에 따라 태우지 않은 석탄의 재가 굴뚝에서 배출되는 비산회로 바뀔 때의 농축 계수를 1로 가정했다.

B. 대기 모델링

본 연구에서는 석탄화력발전소가 주변의 대기 오염물질 농도에 얼마나 영향을 미치는지 예측하는데 활용한 방법은 칼퍼프(CALPUFF) 모델링 시스템이다. 칼퍼프는 가장 광범위하게 이용되는 산업 표준 배출 확산 모델로, 각 지점의 오염 요인이 넓은 지역의 대기질에 어떤 영향을 미치는지 보여준다. 칼퍼프는 석탄 발전 과정에서 배출되는 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x)이 이차적으로 형성하는 황산염 및 질산염 입자를 모델링할 수 있다. 또한 장거리 이동 패턴의 모델링이 가능하다. 사람들이 초미세먼지(PM_{2.5})에 노출되는 사례 및 석탄발전소가 건강에 미치는 악영향의 90% 이상이 이 두 메커니즘의 결과라 할 수 있다. 따라서 이들 메커니즘을 배제하면 건강에 미치는 대부분의 악영향도 사라질 것이다. 본 보고서는 오염물질의 이동, 화학적 변형, 퇴적 과정을 살펴봄으로써 석탄발전소 배출물의 장단기적 영향을 보여준다.

시뮬레이션에 이용된 기상학적 데이터는 9×9km의 격자 공간을 단위로 한 기상연구 및 예측(Weather Research and Forecasting-WRF) 모델을 통해 생성했다. 토지 이용 데이터는 유럽우주국의 2018년 자료이며, 지형 고도 데이터는 미국 항공우주국(NASA)의 셔틀 레이더 지형미션(SRTM)의 고해상도 데이터세트(Farr et al. 2007)에서 가져왔다.

퇴적 결과는 2015년 유럽우주국의 글로벌 토지 이용지도를 활용했고, 300m 해상 단위(ESA 2018)로 토지 이용 유형에 따라 구획했다. 토지 이용 코드 10-30은 경작지, 코드 50-100은 숲, 170은 맹그로프 숲을 나타낸다. NH₃, O₃, H₂O₂ 농도에 대한 월평균 자료는 지오스-캠(Geos-Chem) 모델링 결과(Koplitz et al. 2017)에서 가져와 칼퍼프 화학 모듈(ISORROPIA/RIVAD)에 입력했다.

C. 건강에 미치는 영향 평가 및 경제적 가치 산정

주요 대기오염물질

건강에 미치는 영향 평가 및 경제적 가치 산정에는 핀란드 에너지·청정대기연구센터(CREA)의 “화석연료로 인한 대기오염의 경제적 비용 정량화(Mylyvirta 2020)”를 이용했다. 전체 인구 및 연령별 인구 구조, 전체 사망률, 기준 사망률 및 손실 수명에 관한 데이터는 2019년도세계질병부담(GBD) 연구 결과를 참조했다. (IHME, 2020) 초미세먼지(PM_{2.5})와 이산화질소(NO₂)의 기준 농도는 van Donkelaar et al.(2016)과 Larkin et al.(2017)의 연구 결과에서 각각 가져왔다.

건강에 미치는 영향은 유엔개발계획(UNDP)의 2019년 세계 인구 전망 보고서(중간 변량)의 과거 데이터 및 예측을 바탕으로, 인구와 전체 사망 원인의 연령대별 변화를 고려해 조정했다. 경제적 비용은 구매력 기준 1인당 GDP의 변화에 따라 조정했다. 2019년까지는 세계은행의 데이터뱅크에서, 그리고 미래 예측치는 [OECD 장기 GDP 전망](#)에서 해당 데이터를 가져왔다. 1989년까지의 예측 및 과거 데이터에는 GDP가 고정 가격에 포함되지만, 구매력 기준 조정이 없었으므로, 구매력 기준 GDP의 성장률은 실질 GDP의 성장률과 동일하다고 가정했다. 과거 및 미래의 비용은 Hurley et al.(2005)의 권고대로 2019년 수치로 매년 4% 하향 조정했다.

[표 B-C-1] 경제적 영향 추정에 사용된 입력 매개 변수 및 데이터

건강 영향	가치 산정	통화	산정 단위	연도	자료	조정	소득 수준 참고	탄력성
신규 천식	500만 원	KRW	1건 발생	2010	Brandt et al 2012	구매력 기준 GDP	캘리포니아	1
천식 관련 응급실 진료	109만 원	KRW	1회 방문	2010	Brandt et al 2012	구매력 기준 GDP	캘리포니아	1
미숙아 출산	4억1,592만 원	KRW	1명 출산	2010	Trasande et al 2016	구매력 기준 GDP	미국	1
장애	1억13만 원	KRW	장애를 안고 사는 기간(1년)	2018	Birchby 2019	구매력 기준 GNI	영국	1
초기 사망	7,613만 원	KRW	단축 수명(1년)	2005	EEA 2014	구매력 기준 GNI	유럽연합	0.9
결근	18만 원	KRW	근무 일수(1일)	2005	EEA 2014	구매력 기준 GDP	유럽연합	1

[표 B-C-2] 건강에 미치는 영향의 경제적 비용 추정에 이용된 입력 매개 변수 및 데이터(원화로 변환)

결과	세계 평균 GDP (2011년 달러 기준)	한국에서의 가치 (2011년 달러 기준)	한국에서의 가치 (2019년 달러 기준)	한국에서의 가치 (2019년 원화 기준)
미숙아 출산	105,725	283,419.47	211,010.67	245,902,871.97
결근(병가 1일)	85	227.86	169.65	197,699.16
단축 수명(1년)	39,324	95,517.83	71,114.67	82,874,018.24
장애를 안고 사는 기간(1년)	31,047	83,228.41	61,964.99	72,211,364.07
오염 노출로 인한 어린이 천식 환자 수 (유병률 증가)	1,168	3,131.08	2,331.15	2,716,619.10
천식으로 인한 응급실 진료	252	675.54	502.95	586,119.87

[부록 C] 굴뚝 속성 및 배출량 데이터

다음 표는 모델링 대상이 된 한국의 개별 석탄화력발전소 및 호기별 데이터를 나타낸 것이다. 연간 배출량은 칼퍼프 모델링의 입력 데이터로 사용됐다.

[표 C-1] 한국 석탄화력발전소의 좌표, 굴뚝 속성, 2021년 및 2022년 연간 배출량

발전소	좌표		굴뚝 속성				2021년 연간 배출량(t/a)			2022년 연간 배출량(t/a)		
	위도	경도	높이 (미터)	직경 (미터)	배출 온도 (°C)	연도 가스 속도	SOx	NOx	PM	SOx	NOx	PM
여수 1호기		126.640	150	5.1	85.96	24.593	29.75	283.50	12.37	17.77	254.13	7.75
여수 2호기	37.569	126.640	150	4.8	79.3	27.092	33.66	272.9	10.48	37.68	256.39	9.15
영흥 1호기	37.237	126.438	200	6.6	77.5	22.05	583.60	536.51	38.11	0	0	0
영흥 2호기	37.237	126.438	200	6.6	79.7	25.7	871.84	733.53	47.17	113.24	84.79	6.44
영흥 3호기	37.235	126.438	198	6.3	90.5	28.7	561.78	355.71	19.37	829.81	531.86	30.41
영흥 4호기	37.235	126.438	198	6.3	87.6	29.7	706.79	441.93	22.62	642.67	408.04	27.20
영흥 5호기	37.249	126.438	200	6.8	99.5	27.6	463.08	373.79	21.82	497.83	437.88	31.35
영흥 6호기	37.249	126.438	200	6.8	92.5	28.4	528.19	362.50	22.10	501.42	401.13	32.83
태안 1호기	36.904	126.238	150.3	8.83	111	17.5	305.19	327.49	34.65	305.38	336.14	47.58
태안 2호기	36.905	126.237	150.3	8.83	111	17.5	247.86	324.58	45.27	246.17	227.72	32.73
태안 3호기	36.904	126.236	150.3	8.83	111	17.5	290.61	337.61	33.45	251.45	358.97	39.23
태안 4호기	36.904	126.236	150.3	8.83	111	17.5	271.86	385.47	36.01	596.46	371.36	34.93
태안 5호기	36.902	126.2296	150	5.4	137	14.2	341.15	359.66	12.10	602.87	469.16	26.44
태안 6호기	36.902	126.2259	150	5.4	137	14.2	706.61	532.23	40.25	588.86	471.36	31.85
태안 7호기	36.903	126.232	150	5.4	139	16.5	317.02	494.08	21.27	227.30	337.53	19.43
태안 8호기	36.902	126.232	150	5.4	139	16.5	241.57	340.60	18.90	304.09	424.65	18.32
태안 9호기	36.9022	126.229	150	7.7	135	14	375.71	541.88	19.40	249.34	429.01	16.05
태안 10호기	36.902	126.229	150	7.7	135	14	399.42	440.23	23.52	511.68	586.40	23.04
신보령 1호기	36.385	126.488	150	7.5	90	27.62	439.44	222.39	17.21	523.63	271.05	21.29
신보령 2호기	36.385	126.488	150	7.5	90	27.62	645.18	382.25	33.17	267.31	208.34	18.03
삼천포 3호기	34.911	128.108	200	5.16	97.22	17.4725	558.41	806.72	27.80	624.92	855.06	45.69
삼천포 4호기	34.910	128.189	200	5.16	99.21	18.3925	754.72	1091.44	53.36	410.33	654.81	49.53
삼천포 5호기	34.911	128.108	200	5.16	84.97	16.805	90.97	101.97	8.56	256.23	166.56	8.18
삼천포 6호기	34.911	128.108	200	5.16	80.02	16.792	2.60	21.68	2.24	180.36	180.65	11.26
삼척그린파워 1호기	37.186	129.338	90	7.97	155.3	25.2785	447.11	375.40	48.31	234.63	450.08	50.67
삼척그린파워 2호기	37.187	129.338	90	7.97	155.3	25.2785	296.56	241.39	48.18	254.24	407.04	60.02
삼척 1호기*	37.243	129.102	320	7.4	90	30	691.96	332.53	65.35	691.96	332.53	65.35
삼척 2호기*	37.243	129.102	320	7.4	90	30	691.96	332.53	65.35	691.96	332.53	65.35

*삼척화력발전소 배출량 예측.

발전소	좌표		굴뚝 속성				2021년 연간 배출량(t/a)			2022년 연간 배출량(t/a)		
	위도	경도	높이 (미터)	직경 (미터)	배출 온도 (°C)	연도 가스 속도	SOx	NOx	PM	SOx	NOx	PM
하동 1호기	34.9497	127.82	150	9.3	85	15.12	597.14	337.89	38.22	481.30	271.46	31.28
하동 2호기	34.951	127.82	150	9.3	85	15.12	467.82	403.77	29.90	422.45	444.64	32.84
하동 3호기	34.9504	127.819	150	9.3	85	15.12	390.71	399.45	27.76	392.84	507.60	31.47
하동 4호기	34.952	127.29	150	9.3	85	15.12	432.07	426.51	25.88	323.30	362.10	19.35
하동 5호기	34.952	127.819	150	9.3	85	15.12	319.61	355.37	28.28	562.75	518.34	41.02
하동 6호기	34.953	127.819	150	9.3	85	15.12	511.84	548.06	31.07	500.85	447.72	23.91
하동 7호기	34.955	127.819	150	5.4	91	22.66	471.30	432.11	29.97	430.08	369.24	26.56
하동 8호기	34.954	127.818	150	5.4	91	22.66	539.11	410.83	40.83	455.06	398.58	41.36
동해 1호기	37.2907	129.085	150	4	140	19.43	656.93	221.64	8.17	712.04	219.77	8.50
동해 2호기	37.2909	129.085	150	4	140	19.43	611.72	205.97	9.64	551.30	178.72	7.26
당진 1호기	37.0568	126.515	150	6.5	85	1.03	295.42	168.05	35.66	0	0	0
당진 2호기	37.057	126.515	150	6.5	85	19.03	280.36	156.71	28.84	455.20	298.07	46.45
당진 3호기	37.057	126.513	150	6.5	85	19.03	312.22	164.40	37.33	357.51	251.39	32.62
당진 4호기	37.057	126.512	150	6.5	85	19.03	310.25	131.49	25.50	32.51	11.07	2.48
당진 5호기	37.058	126.511	150	5.4	91	24.03	244.37	182.23	38.34	352.04	289.48	57.04
당진 6호기	37.058	126.5085	150	5.4	91	24.03	382.21	183.76	35.75	199.59	212.82	34.60
당진 7호기	37.059	126.508	150	5.4	90	23.32	256.76	163.46	31.77	258.51	195.26	31.53
당진 8호기	37.059	126.5069	150	5.4	91	23.32	371.36	212.97	44.62	299.05	239.85	47.68
당진 9호기	37.0536	126.506	208	7.3	90	26.17	900.30	426.99	0.40	615.67	469.24	18.84
당진 10호기	37.0547	126.503	208	7.3	90	26.17	692.32	360.47	0.36	702.45	591.20	54.31
북평 1호기	37.477	129.146	150	5.4	93	26.817	95.22	306.81	16.15	163.79	309.25	18.23
북평 2호기	37.477	129.146	150	5.4	93	26.817	102.64	304.15	12.14	167.51	271.75	16.91
보령 3호기	36.402	126.491	150	8.79	90	22.25	100.24	65.49	21.33	117.42	58.70	39.26
보령 4호기	36.402	126.491	150	8.76	90	19.96	384.77	275.98	32.43	0.57	1.57	0.24
보령 5호기	36.402	126.493	150	8.79	90	19.96	654.25	378.80	47.44	439.52	312.78	24.89
보령 6호기	36.402	126.493	150	8.79	90	19.96	554.91	303.74	28.76	541.84	316.77	33.27
보령 7호기	36.402	126.495	150	5.4	90	32.7	158.46	170.09	30.70	184.17	154.50	31.38
보령 8호기	36.402	126.495	150	5.4	90	32.7	274.17	197.61	29.63	248.18	215.47	26.88
신서천	36.145	126.498	150	7.5	91	24.8	90.25	133.81	12.10	119.92	206.57	12.64
고성하이 1호기	34.906	128.127	190	7.5	90	24.78	429.15	407.61	10.02	618.73	378.23	13.07
고성하이 2호기	34.906	128.127	190	7.5	90	24.78	84.20	75.41	2.17	623.17	378.43	13.46
강릉안인 1호기	37.435	128.584	107	7.6	93.8	20	442.09	269.10	38.44	442.09	269.10	38.44
강릉안인 2호기	37.435	128.584	107	7.6	93.8	20	442.09	269.10	38.44	442.09	269.10	38.44

참조

- Donkelaar van, A., Martin, R.V., Brauer, M., Hsu, N.C., Khan, R. A., Levy, R.C., Lyapustin, A., Sayer, A. M. & Winker, D.M 2016. Global Estimates of Fine Particulate Matter using a Combined Geophysical-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors, Environ. Sci. Technol.50(7):3762-3772. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05833>
- EPA. 1998. Emission Factor Documentation for AP-42 Default https://www3.epa.gov/ttnchie1/old/ap42/ch01/s06/bgdocs/b01s06_feb1999.pdf
- European Space Agency (ESA) 2018. Land Cover Maps –v2.0.7. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.ph>
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. & Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics 4(2), RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Hurley, F., Hunt, A., Cowie, H., Holland, M., Miller, B., Pye, S. & Watkiss, P. 2005. Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE: Volume 2: Health Impact Assessment. AEA Technology Environment, UK. https://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/pdf/cba_methodology_vol2.pdf
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2020). GBD Results. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>
- Koplitz, S.N., Jacob, D.J., Sulprizio, M.P., Myllyvirta, L. & Reid, C. 2017. Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. Environmental Science & Technology 51(3): 1467-1476. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03731>
- Larkin, A., Geddes, J.A., Martin, R.V., Xiao, Q., Liu, Y., Marshall, J.D., Brauer, M. & Hystad, P. 2017. Global Land Use Regression Model for Nitrogen Dioxide Air Pollution. Environmental Science & Technology 51(12):6957-6964. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01148>
- Lee, S.J., Seo, Y.C., Jang, H.N., Park, K.S., Baek, J.I., An, H.S., Song, K.S., 2006. Speciation and mass distribution of mercury in a bituminous coal-fired power plant. Atmospheric Environment 40:2215-2224. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.01>
- Linak, W., Miller, A. and Wendt, J. 2000. Comparison of Particle Size Distributions and Elemental Partitioning from the Combustion of Pulverized Coal and Residual Fuel Oil. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2000.10464171>
- Myllyvirta, L. 2020. Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels. Centre for Research on Energy and Clean Air. <https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/02/Cost-of-fossil-fuels-briefing.pdf>
- S&P Global. 2020. World Electric Power Plants database. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/campaigns/data-distribution>
- USGS. 2011. World Coal Quality Inventory v1.1. <http://energy.usgs.gov/Coal/AssessmentsandData/WorldCoalQualityInventory.aspx>

- 보건복지부. 2021.05.28. 국민연금기금, 탄소배출 감축을 위한 '탈석탄 선언'. [국민연금기금, 탄소배출 감축을 위한 '탈석탄 선언'](#)
- PCAF. 2022. The Global GHG Accounting and Reporting Standard Part A: Financed Emissions. Second Edition. <https://carbonaccountingfinancials.com/files/downloads/PCAF-Global-GHG-Standard.pdf>
- 서울특별시. n.d. 대기환경정보 - 대기오염물질 - 아황산가스 (SO₂). <https://cleanair.seoul.go.kr/information/info153>
- 서울특별시. n.d. 대기환경정보 - 대기오염물질 - 이산화질소 (NO₂). <https://cleanair.seoul.go.kr/information/info151>
- 서울특별시. n.d. 대기환경정보 - 대기오염물질 - 초미세먼지 (PM_{2.5}). <https://cleanair.seoul.go.kr/information/info11>