감축목표 그 다음 :
시멘트 산업의
시공간 이행 전략

2026.10.



기후변화재단

목차

I. 목표에서 이행으로 대전환의 시기 **4**

1. 시멘트 배출의 핵심, 클링커 4

2. 클링커 감축을 위한 원료전환과 대체자원의 제약 5

II. 시공간의 감축 가능성 **6**

1. 월별 배출량에 따른 봄·가을 감축 가능성 6

2. 공장 배출량이 보여주는 대형 공장의 감축 가능성 6

III. What-if 시나리오로 그려본 고해상도 감축 이행 경로 **9**

1. 하나의 감축수단이 만드는 여러 전략적 선택지 9

2. 시공간 정보로 연결하는 가치사슬 감축 10

IV. 2035 NDC 달성을 위한 촘촘한 이행 전략 **11**

참고문헌 **12**

감축목표 그 다음 : 시멘트 산업의 시공간 이행 전략

본 연구는 Korea Carbon Project(KCP)가 구축·활용하고자 하는 고해상도 온실가스 배출정보가 실제 산업의 배출구조를 얼마나 정밀하게 설명하고, 감축 정책의 실행 단위까지 연결될 수 있는지를 확인하기 위한 첫 번째 사례 연구임.

기존 국가 온실가스 인벤토리가 주로 연간·업종 단위의 총량을 제시하는 데 비해 본 연구는 시멘트 공정배출을 공장별·원별 시계열로 세분화하여 배출의 시간적·공간적 분포를 분석함. 이는 단순히 배출량을 보다 세밀하게 산정하는 것을 넘어 제한된 감축 자원을 '언제, 어디에' 우선 투입할 것인지 판단하기 위해 상세한 배출정보의 확보와 국가 감축경로를 구체화하기 위함.

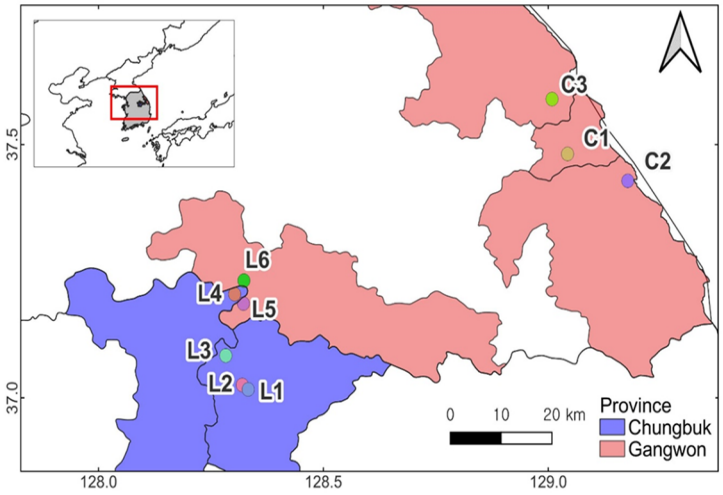
전국 시멘트 공장을 대상으로 KCP 데이터의 산업 측면에서의 활용 가능성을 점검하는 동시에 KCP가 향후 국가·산업 단위의 배출통계를 넘어 사업장 수준의 감축 우선순위 설정과 이행평가를 지원하는 데이터 기반으로 활용될 수 있도록 지원하고자 함.

Ⅰ. 목표에서 이행으로 대전환의 시기

1. 시멘트 배출의 핵심, 클링커

- 시멘트는 석회석($CaCO_3$)을 채굴·분석한 뒤 평균 1450°C의 소성로에서 고온으로 가열해 돌덩어리 형태의 클링커로 만들고, 이를 혼합재와 함께 분쇄하는 과정을 거쳐 생산됨
  - 생산된 시멘트는 콘크리트의 주원료가 되어 건축물과 도로·교량 등 사회 기반 시설 건설에 사용됨
- 2023년 국내 시멘트 산업의 직접배출량은 약 38백만톤으로 국가 순 CO_2 배출량의 6.5%를 차지함. 특히, 석회석에서 클링커로 만드는 과정($CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2\uparrow$)에서 약 22.7백만톤이 발생하며 시멘트 산업 직접 배출량의 60%를 차지함(온실가스종합정보센터, 2024)[1)]
- 이 때문에 시멘트 산업의 온실가스 감축은 클링커가 만들어지는 공장에서부터 시작하는 것이 중요함. 국내 클링커 생산 공장은 석회석 수급이 용이한 강원, 충북에 집중되어 있으며, 9개 공장의 생산량이 전국 클링커 생산의 98.3%를 차지함(한국시멘트협회, 2022; 온실가스 종합정보세터, 2024)
  - 이 중 강원도 해안지역 3개 공장이 전국 클링커 생산의 약 50%를 차지해 소수 대형공장의 운영이 국가 전체 배출 추이를 좌우함(그림1)
- 결국 시멘트 업계의 탄소중립을 위해서는 클링커 생산과정의 배출과 사용량을 함께 줄이는 '원료전환'이 핵심임

[그림1] 국내 주요 클링커 생산시설의 위치 및 생산 비중



Code	Region	2022 production (Mt yr^{-1})	2022 Share (%)
C1	Coastal	9.38	22.2
C2	Coastal	6.78	16.0
C3	Coastal	5.20	12.3
L5	Inland	2.40	5.7
L4	Inland	3.10	7.3
L2	Inland	5.00	11.8
L3	Inland	1.08	2.6
L6	Inland	3.36	7.9
L1	Inland	5.98	14.1
Total		42.89	100

1) 나머지 40%(15.3백만톤)은 에너지 연료연소 과정에서 발생

2. 클링커 감축을 위한 원료전환과 대체자원의 제약

- 시멘트 업계는 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)에 따라 2018년 대비 2030년 12%, 2050년 53%의 감축목표를 제시함. 향후 2035 NDC를 반영한 업종별 감축경로가 구체화될 경우, '진전의 원칙'에 따라 시멘트 산업에도 보다 강화된 감축 목표와 이에 따른 이행 노력이 요구될 것으로 예상됨.
- 현재 원료 전환은 적용 단계에 따라 크게 세 가지로 구분됨

① 클링커를 만들 때 원료인 석회석($CaCO_3$)의 일부를 탄산염이 없는 다른 원료(비탄산염원료)로 바꾸는 방법

· 석회석은 가열될 때 CO_2를 생성하기 때문에 석회석 사용을 줄이면 클링커 1톤을 만들 때 나오는 배출량 자체가 감소함(석회석 대체율: 2030년 2%, 2050년 12%)

② 기존 시멘트(보통 포틀랜드 시멘트)를 만들 때 클링커의 일부를 고로슬래그, 플라이애시, 석회석 미분말과 같은 혼합재로 바꾸는 방법

· 시멘트 1톤에 들어가는 클링커가 줄어드는 만큼 클링커 생산량도 감소함(혼합재 대체비율: 2030년 15%, 2050년 20%)

③ 고로슬래그 시멘트와 같은 저탄소 시멘트의 사용 비중을 늘리는 방법

· 클링커의 양이 적게 들어간 시멘트가 더 많이 쓰이면서 전체 클링커 수요가 감소하고, 결과적으로 클링커 생산량이 감소함(혼합시멘트 비중: 2030년 20%, 2050년 29%)

- 이처럼 시멘트 부문의 감축 수단은 순환자원 활용과 밀접하게 연계되어 있지만, 순환자원의 공급은 시멘트 업계가 통제할 수 없는 연관 산업의 여건에 좌우됨

- 철강업계가 고로에서 전기로, 수소환원제철로 전환하면, 고로슬래그 공급이 감소할 가능성을 배제할 수 없음
- 따라서 제한된 대제 차원을 언제, 어디서, 어떻게 우선 적용할지에 대한 세밀한 접근이 필요하며 이는 감축목표 이행의 실효성을 좌우하는 중요 요소임

Ⅱ. 시공간의 감축 가능성

1. 월별 배출량에 따른 봄·가을 감축 가능성

- 시멘트 부문 배출량을 2016년 이후 전반적으로 완만하게 감소하는 추세임. 국내 공정배출량은 2018년 24.5백만톤에서 2023년 22.7백만톤으로 약 7% 감소함. 그러나 같은 배출량을 월별로 살펴보면 뚜렷한 계절 패턴이 나타남
  - 봄(3~5월)과 가을(9~11월)에는 배출량이 연평균보다 각각 최대 10.1%, 9.4% 높고, 겨울(12~2월)에는 최대 12.5%가 낮음
  - 2020년 월평균 배출량은 1.86백만톤이었지만, 가을에는 2백만톤(+7.9%)까지 증가했으며, 여름에는 1.71백만톤(-7.8%)까지 감소함. 이러한 패턴은 특정 연도에만 나타난 것이 아니라 2016~2023년 반복됨(그림2)
- 이러한 계절 패턴은 건설 수요의 특성에서 비롯되며, 수요산업의 특성은 생산량과 배출량에도 그대로 반영되어 봄·가을 공장 가동률은 평균보다 약 10% 높고, 여름·겨울에는 약 30% 낮음(박철한, 2023)
  - 시멘트는 건설 현장에서 물, 골재와 섞여 콘크리트로 사용됨
  - 콘크리트는 원칙적으로 약 10~27°C의 기온에서 타설이 용이하며 단단하게 굳음. 0°C 이하에서는 굳기 전에 얼 위험이 있고, 32°C 이상에서는 빠르게 마르면서 균열이 생기기 쉬움. 또 시간당 3mm 이상의 비가 15분 넘게 내릴 때도 타설이 어려움(ACI, 2016; 2020)
- 수요에 따른 월별 배출 패턴은 단순히 배출이 많은 시기(peak)를 보여주는 것을 넘어 실제 감축 수단을 언제 우선 적용할지 알려주는 시점과 가능성이 될 수 있음

2. 공장 배출량이 보여주는 대형 공장의 감축 가능성

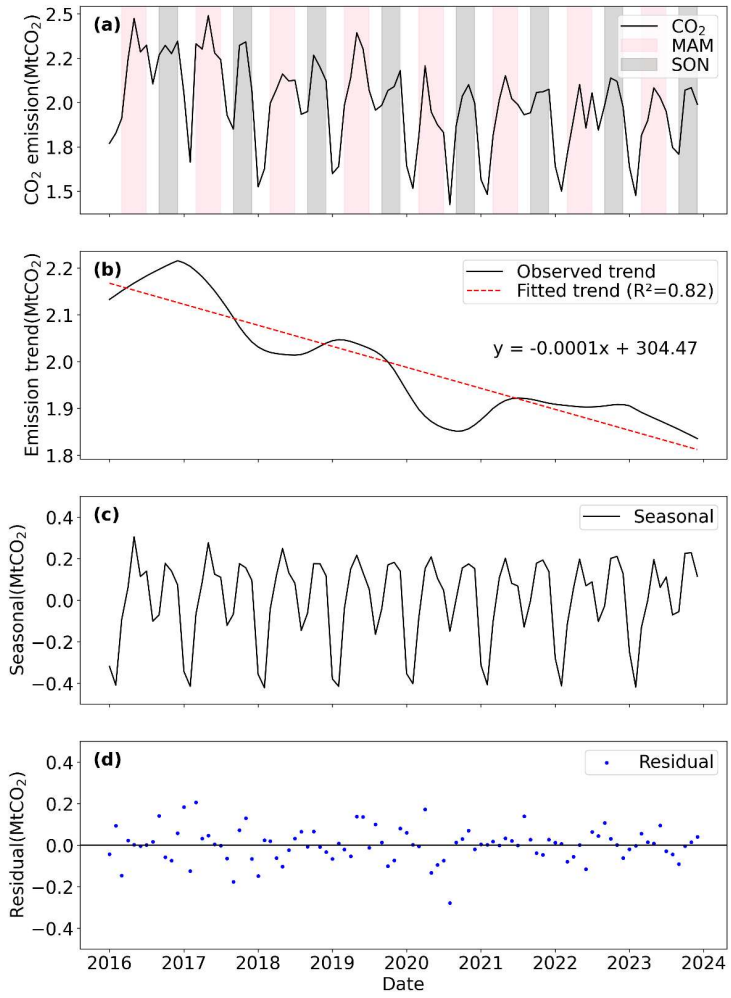
- 2019년 국가 배출량은 2018년보다 약 1.3% 증가함. 같은 기간 해안에 있는 3개 공장의 배출량은 12.5백만톤에서 13.0백만톤으로 4.1% 증가함
  - 해안 공장의 증가분이 국가 전체 증가분보다 커서 같은 해 내륙공장의 감소를 덮고 국가 전체의 증가를 이끔
  - 반대로 2020년 이후의 감소는 주로 전국 생산의 약 28~29%를 차지하는 C1과 L5 공장(같은 기업이 운영하는 해안, 내륙공장)의 감산에서 비롯됨(그림3)
- 국가 전체를 기준으로 했을 때 봄·가을 배출량이 많고, 여름·겨울에 적은 단순한 패턴이지만, 공장을 기준으로 보면 배출이 많은 달이 서로 상이함

- 예를 들어, 대부분의 공장이 봄(3~5월)과 가을(9~11월)에 배출이 많았지만, C1-L5 공장은 8월, 11월, 12월에 정점을 보여 다른 공장과 뚜렷이 다른 패턴을 나타냄
- 결국 국가 전체의 계절 패턴은 공장마다 다른 공급 권역과 수요 시기, 그리고 이에 맞춘 생산 일정이 작용한 결과로 볼 수 있음(한국시멘트협회, 2022)

● 이처럼 월별, 공장별 기준으로 확인해보면, 연간 국가 총량에서는 보이지 않던 '언제'와 '어디에'를 확인할 수 있음

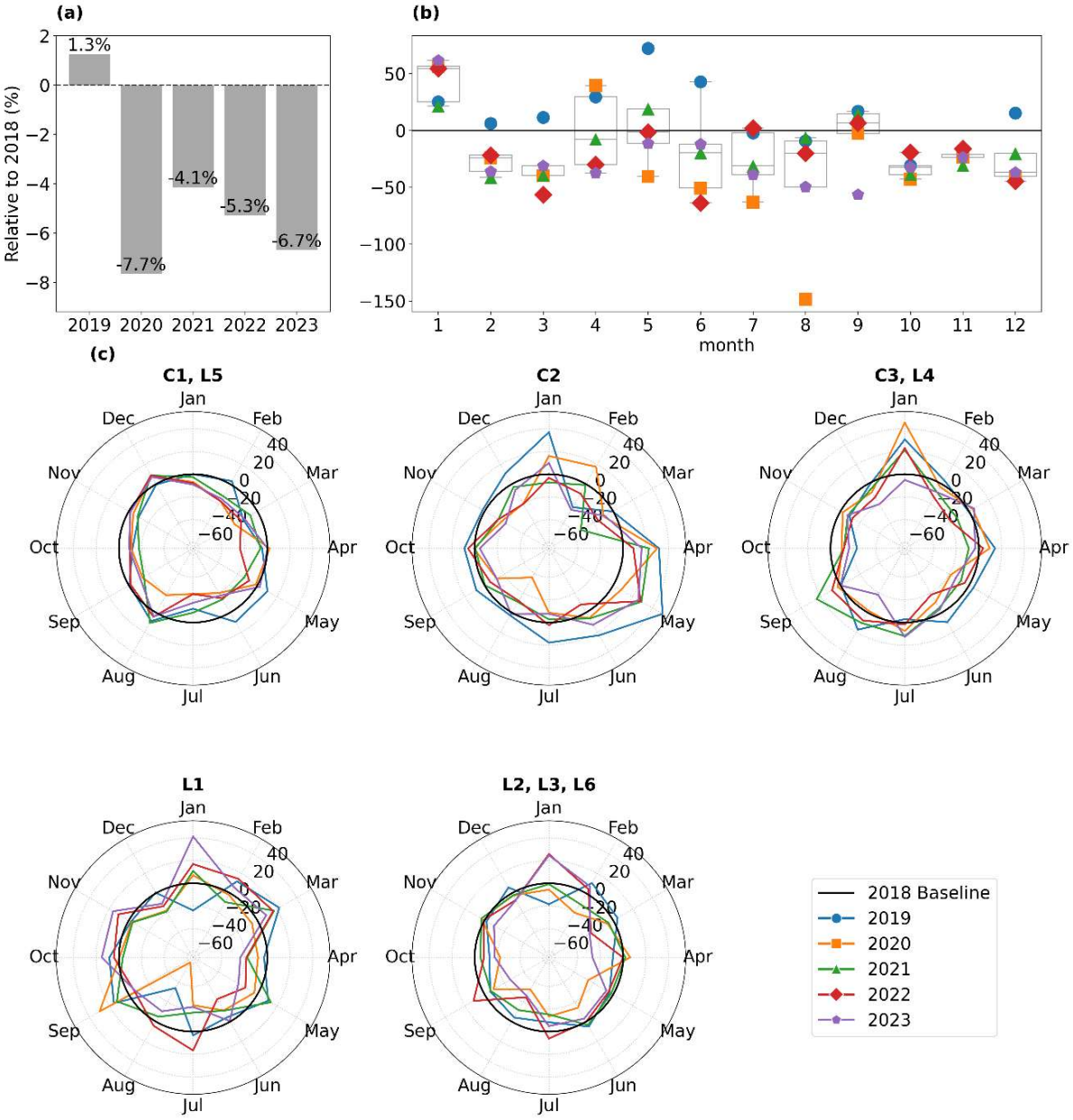
- 앞서 제기한 질문, 즉 제한된 대체 자원을 언제, 어디에, 어떻게 우선 적용할지를 판단하기 위해서는 상세한 배출정보가 필요함

[그림2] 시멘트 공정배출량의 추세와 계절 패턴(2016~2024).



(a) 월별 배출량(음영: 봄·가을)　　(b) 장기 추세
(c) 매년 반복되는 계절 변동　　(d) 잔차(추세·계절변동을 제외한 나머지 변화)

[그림3] 2018년 대비 시멘트 공정배출량 증감율(2019~2023년)



(a) 연도별 증감률 (b) 월별 증감률 (c) 기업별 공장의 월별 증감율

III. What-if 시나리오로 그려본 고해상도 감축 이행 경로

1. 하나의 감축수단이 만드는 여러 전략적 선택지

- 앞서 살펴본 것과 같이 시멘트 배출은 봄·가을에 높고, 해안 공장이 국가 전체 시멘트 공정배출량 추이를 좌우함. 이 특성을 반영해 비탄산염 원료 대체라는 하나의 감축 수단을 바탕으로 세 가지 가정(what-if) 시나리오로 구성함
  - what-if 시나리오는 미래를 예측하는 것이 아닌 같은 감축 수단을 서로 다른 시기와 공장에 적용한다고 가정했을 때 결과의 차이를 비교해 보는 것
- **(시나리오1)** 해안 3개 공장의 생산과 배출량이 많을 때(봄·가을)에만, (시나리오2) 전체 공장의 봄·가을에만, (시나리오3) 전체 공장에 1년 내내 적용함(박스1)
  - 이는 계절마다 감축 기술을 바꾸는 것이 아닌 공급이 제한된 대체자원을 배출이 집중되는 시기와 공장에 먼저 투입하는 우선순위를 의미함

[시나리오 설정방법]

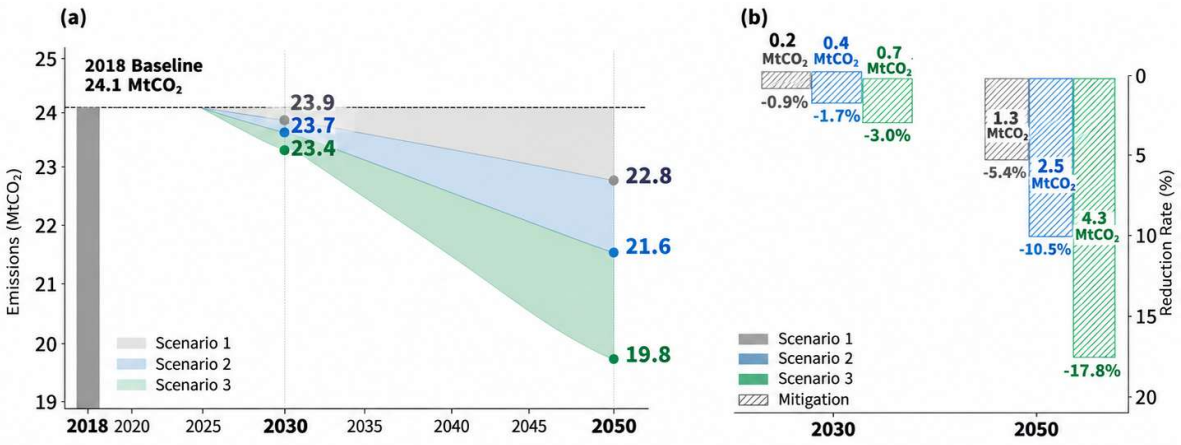
- **감축수단** : 비탄산염 원료대체. 대체율은 업계의 로드맵에 따라 2024년 0%에서 2030년 2%, 2050년 12%까지 선형으로 높아진다고 가정함(이영준 외,2023; 김의철,2024), 2006 IPCC 가이드라인에 따라 배출계수에 해당 값을 반영하였다.
- **생산량 가정** : 감축수단의 효과만 비교하기 위해 모든 공장의 클링커 생산량은 2018년 수준으로 유지되고 대체율은 모든 공장에 똑같이 적용된다고 가정했다. 따라서 시나리오 간 차이는 감축 효율이 아니라 적용 범위(포함되는 생산량)에서 나온다.

[표3] 시나리오 설계와 가정

시나리오	적용 공장	적용 시기
시나리오 1	해안 3개 공장	봄·가을
시나리오 2	전체 공장	봄·가을
시나리오 3	전체 공장	연중

- 2050년 기준 감축량 : 시나리오1 약 1.3백만톤(2018년 대비 5.4%), 시나리오2 약 2.5백만톤(10.5%), 시나리오3 약 4.3백만톤(17.8%)
  - 각각 내륙 중형 공장 1곳, 내륙 대형 공장 1곳, 해안 대형 공장 1곳의 연간 배출량에 해당하는 규모

[그림4] 비탄산염 원료 대체 시나리오별 배출량과 감축 효과(2025~2050년)



(a) 배출량과 감축량 (b) 2030년, 2050년 감축률(2018년 대비)

- 세 시나리오의 차이는 감축 효율이 아니라 적용 범위에서 비롯됨. 어느 시나리오가 더 효율적인가보다 같은 감축수단을 언제, 어디에서부터 적용할 수 있는지 제시함
  - 대체자원의 다변화와 함께 대체자원의 공급이 제한된다면 배출이 집중되는 해안 공장의 봄과 가을부터 적용(시나리오1), 공급이 증가할 때에 맞춰 전체 공장의 봄·가을(시나리오2), 연중 전면 적용(시나리오3)으로 넓혀가는 단계적 경로 고려가 가능함
  - 연간 국가 총량은 '얼마나' 줄여야 하는지 알려줄 뿐이지만, 월별·공장별 배출정보는 감축목표가 실제 이행으로 이어지도록 돕는 도구로 활용이 가능함

2. 시공간 정보로 연결하는 가치사슬 감축

- 이번 분석은 클링커 생산단계의 비탄산염 원료 대체 하나만 다루었지만, 시멘트 산업의 감축 수단은 가치사슬 전반에 걸쳐 있음
  - 클링커 생산단계(Clinker): 원료와 연료 전환
  - 시멘트 생산단계(Cement): 혼합재 비율 확대
  - 콘크리트 생산단계(Concrete): 혼합재 사용
  - 건설 단계(Construction): 혼합시멘트 사용 확대와 설계 효율화를 통한 시멘트 수요 감축이 가능함(CEMBUREAU, 2018; Miller et al., 2021)
- 각 단계의 감축 수단은 주체, 적용 시기, 필요한 자원이 모두 상이함. 클링커와 시멘트 단계는 시멘트 공장이, 콘크리트와 건설 단계는 레미콘사와 건설사가 결정함

- 또 고로슬래그처럼 여러 단계가 같은 자원을 나누어 쓰는 경우도 있음
- 즉, 월별·공장별 배출정보는 서로 다른 단계의 감축 수단을 같은 시간과 공간 위에 겹쳐 볼 수 있는 공통의 기준이 됨

● 특히 시멘트 배출의 계절 패턴이 건설 수요에서 비롯된다는 점은 공급 측(시멘트 공장)과 수요 측(레미콘·건설사)이 감축 시기를 맞출 수 있는 여지를 보여줌

- 예를 들어 건설 성수기에 맞춰 혼합시멘트 사용을 늘리고, 같은 시기 클링커 생산 단계의 원료 대체를 집중하면 공급과 수요 측면에서 동시에 감축 효과를 낼 수 있음
- 하나의 감축 수단으로 시작한 이번 분석은 단계별 감축 수단을 더해 가며 가치 사슬 전체의 실행 경로를 설계하는 출발점이 될 수 있음

IV. 2035 NDC 달성을 위한 촘촘한 이행 전략

● 2021년 2월 출범한 시멘트 그린뉴딜위원회는 2050 탄소중립을 위해 원료·연료 전환, 공정 효율 개선, CCUS 등 감축 기술의 개발과 도입 방향을 제시해 옴(김진만·배성철, 2021)

- 향후 감축 전략은 기술별 최대 감축량 뿐 아니라, 어느 사업장에 언제 적용할 것인지를 함께 고려해야할 필요가 있음
- 특히 대체 원료와 같이 공급량이 제한될 수 있는 자원은 적용 대상과 시점 자체가 중요한 정책 변수가 될 수 있음

● 따라서 '얼마나(How much)'와 '무엇을(What)' 중심의 탄소중립 전략을 '어디에(Where)'와 '언제(When)'까지 넓혀야 함

- 국가 감축 경로 하에 공장, 월, 기술(Plant×Month×Technology) 수준의 실행 경로를 연결하고, 이를 기준으로 이행 상황 점검이 필요함

● 원료 전환을 언제, 얼마나 적용할 수 있는지는 철강·발전 등 연관 산업의 순환자원 공급에 달려 있으며, 시멘트가 언제 생산되고 배출되는지는 건설·콘크리트 수요가 결정함. 때문에 이행 전략은 시멘트 산업 안에서만 수립할 수 없음

● 시멘트 그린뉴딜위원회가 이러한 연결이 장이 되기를 기대하며, 시멘트 업계의 공장별·원별 배출정보, 철강·발전 업계의 순환자원 공급 전망, 건설·레미콘 업계의 수요 정보를 같은 시공간 단위로 모아 공유한다면, 각 산업의 전환 계획을 서로 맞물려 설계가 가능할 것

- 결국 다음 단계는 배출 정보를 상세화하는 데 그치지 않고, 수요가 만드는 배출의 시공간과 순환자원이 공급되는 시공간을 연결하는 것

● 얼마나 줄일지를 넘어 이제는 언제, 어디서, 어떻게 줄일지 정하고 실행해야 할 차례임

참고문헌

국문 문헌

1. 김의철(2024). 「시멘트 탄소중립: 국내 현황과 전망」. 2035 NDC 콘퍼런스 발표자료, 대통령 직속 2050 탄소중립녹색성장위원회. https://www.pcccr.go.kr/storage/board/base/2024/12/11/BOARD_ATTACH_1733883271053.pdf (접속일: 2025년 12월 19일).
2. 김진만, 배성철(2021). 「시멘트-콘크리트 그린뉴딜위원회」. 『콘크리트학회지』, 33(3), 87–90.
3. 박철한(2023). 「건설경기 변동에 따른 주요 건설자재 수요 변화 연구」. 서울: 한국건설산업연구원.
4. 온실가스종합정보센터(2024). 「2023년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(1990–2021)」. https://www.gir.go.kr/ (접속일: 2025년 10월 19일).
5. 이영준, 염우성, 서성관, 추용식(2023). 「비탄산염 원료를 사용한 시멘트 원료 혼합물 및 클링커의 특성」. 『자원리싸이클링』, 32(5), 35–43. https://doi.org/10.7844/kirr.2023.32.5.35
6. 한국시멘트협회(2022). 「2021 한국의 시멘트산업 통계(통계연보)」. http://www.cement.or.kr/ (접속일: 2025년 9월 14일).

영문 문헌

1. American Concrete Institute (2016). Guide to Curing Concrete (ACI 308R-16). American Concrete Institute.
2. American Concrete Institute (2020). Cold Weather Concreting (ACI 306R-20). American Concrete Institute.
3. CEMBUREAU (2018). Building Carbon Neutrality in Europe. Brussels: CEMBUREAU. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/cembureau_building_carbon_neutrality_in_europe.pdf (Accessed 14 March 2026).
4. Lee, G., Son, M., Bae, J., Kim, J., & Han, J. (2025). Model-based life cycle assessment of steelmaking: Role of solid waste recycling via rotary hearth furnace in South Korea. Journal of Cleaner Production, 527, 146687.
5. Miller, S. A., Habert, G., Myers, R. J., & Harvey, J. T. (2021). Achieving net zero greenhouse gas emissions in the cement industry via value chain mitigation strategies. One Earth, 4, 1398–1411.
6. Park, S., & Jeong, S. (2026). The worth of high-resolution inventories: disparities between monthly and annual emission trends in the cement industry. Environmental Research Communications.

감축목표 그 다음 : 시멘트 산업의 시공간 이행 전략

발 행 월 2026년 10월
발 행 기 관 기후변화재단
연 구 기 관 서울대학교 기후테크센터

- 본 보고서는 기후에너지환경부 R&D 과제 「관측기반 온실가스 공간정보지도 구축 플랫폼 기술개발」의 일환으로 수행된 "The Worth of high-resolution inventories: disparities between monthly and annual emission trends in the cement industry" 연구 결과를 바탕으로 작성되었습니다.
- 본 자료를 인용할 경우 출처를 명시해 주시기 바랍니다. 복제·배포 및 기타 활용에 관한 사항은 기후변화재단 정책연구팀 (policyresearch@ccf2008.org)으로 문의해 주시기 바랍니다.

기후변화재단(Climate Change Foundation)
www.ccf2008.org | T. 02-766-4351 | E. info@ccf2008.org
서울특별시 강남구 테헤란로7길 22, 한국과학기술회관 1관 306호
ⓒClimate Change Foundation. All right reserved.