2024년도 연구보고서
계획지원-01

시멘트산업에서의 대체연료(폐합성수지 등) 사용에 따른 온실가스 고찰

2024. 11.

삼척시탄소중립지원센터

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

제 출 문

○ 과 제 명 : 시멘트산업에서 대체연료(폐합합성수지 등) 사용에 따른 온실가스 고찰

○ 계약기간 : 2024년 10월 10일 ~ 2024년 11월 09일 (총1개월)
○ 계 약 일 : 2024년 10월 10일
○ 착 수 일 : 2024년 10월 10일
○ 완 료 일 : 2024년 11월 09일

본 보고서를 '시멘트산업에서 대체연료(폐합합성수지 등) 사용에 따른 온실가스 고찰' 용역의 최종 연구보고서로 제출합니다.

2024년 11월 09일

소 속 : 강원대학교 지구환경시스템공학과
직 위 : 교수
성 명 : 박 준 석 (인)

삼척시탄소중립지원센터장 귀하

목 차

제1장 연구 배경 및 목적 1

1.1 연구 배경 1

1.2 연구 목적 2

제2장 통계적 검토 3

2.1 생활폐플라스틱 현황 3

2.2 강원도 소각시설 현황 6

2.3 폐기물 대체연료 사용 현황 8

제3장 관련 법규 및 제도 11

3.1 폐기물관리법 11

3.2 통합환경관리제도 12

3.3 대기배출부과금제도 10

3.4 온실가스와 탄소중립 13

(1) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법) 14

(2) 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(약칭: 배출권거래법) 15

(3) 탄소국경조정제도 17

제4장 관련 법규 및 제도 20

4.1 시멘트 산업의 온실가스 배출량 20

4.2 온실가스 저감 방법 21

4.3 대체연료 사용시 온실가스 저감 효과 13

제5장 결론 25

참고문헌 26

제1장 연구 배경 및 목적

1.1 연구 배경

○ 국내 주요 시멘트회사는 쌍용C&E, 삼표시멘트, 한일시멘트, 한일현대시멘트, 아세아시멘트, 성신양회, 한라시멘트 등이 있으며, 생산 설비는 주로 강원도와 충청북도에 위치해 있음

- 우리나라 시멘트 생산 순위는 2020년 47,518 천톤으로 세계 12위, 2021년 50,449 천톤으로 세계 13위, 2022년 51,062 천톤으로 세계 12위, 2023년 51,116 천톤으로 세계 11위를 차지하며, 전체적으로는 세계 11~13위 정도를 차지하고 있는 것으로 파악됨 (한국의 시멘트산업 통계, 2021~2024)
- 삼표시멘트의 경우 2023년 기준 클링커 생산능력은 10,045톤으로 쌍용씨앤이 다음으로 크지만, 가동률은 68.8% 수준으로 쌍용씨앤이(82.4%)에 비해서는 낮은 것으로 나타남(2023 한국의 시멘트산업 통계, 2024)

○ 온실가스로 인한 지구온난화 및 기후변화로 인하여 우리나라를 포함한 전 세계에서는 탄소중립을 선언하고 기후위기에 대비하기 위한 자발적 노력을 진행하고 있음

- 파리협정 : 전 지구적 기후변화 대응을 위한 협정으로 '15.12. 채택, '16.11. 발효됨
- EU, 미국 등 주요 선진국은 2050년까지 탄소중립을 선언하고 2023 NDC를 상향 조정함
- 탄소배출권 거래제 시행으로 탄소배출권을 주식시장에서처럼 유가로 거래함
- EU는 세계 최초 탄소국경세 도입 최종 승인하고 2026년부터 철강, 알루미늄, 비료, 전기, 시멘트, 수소제품 등 6개 품목을 대상으로 관세를 부과함으로써 시멘트 업계의 EU수출 규제 장벽은 높아지고 있음

○ 시멘트산업은 특성상 제철·제강, 석탄화력발전소와 더불어 화석연료를 다량 소비하는 구조여서 연료사용에 많은 비용을 지불하게 되고 온실가스 배출량도 매우 높은 현실임. 따라서 시멘트 업체는 향후 탄소배출권을 크게 부담해야 하는 상황으로 이어져 기업부담을 가중시키고 있음

○ 가연성 폐기물을 시멘트 소성로 대체연료로 사용하는 경우 연료비 부담을 줄이고

경우에 따라 처리비용을 받을 수도 있으며, 탄소배출권을 획득하는 등 기업의 입장에서는 적극적으로 도입하게 되는 계기가 된 것으로 판단됨

1.2 연구 목적

○ 본 연구에서는 삼척에 위치하고 있는 삼표시멘트 공장에서 시멘트 소성로 대체연료로 폐합성수지 등을 사용하는 경우에 기존 유연탄만을 연료로 사용하는 경우 대비 온실가스 배출특성에 미치는 영향을 검토하는 목적으로 함

○ 본 연구 목적을 달성하기 위한 세부 연구항목은 다음과 같음

- 시멘트 산업의 온실가스 발생량
- 유연탄 대체연료(폐합성수지 등) 사용에 따른 온실가스 변화
- 시멘트 산업에서 온실가스 저감방안 제안 등

제2장 통계적 검토

2.1 생활폐플라스틱 현황

○ 생활폐플라스틱 발생량

- 2018년(323만톤)에 2012년(206만톤) 대비 약 57% 증가
- 2018년(323만톤) 발생량 중 종량제봉투 배출(178만톤)이 55.1%, 분리배출(145만톤)이 44.9%를 차지함

○ 생활폐플라스틱 발생 현황과 문제점



(출처 : 한국폐자원에너지기술협의회, 2023.8.30)

○ 생활폐플라스틱의 시멘트 소성로 대체연료 사용시 장단점

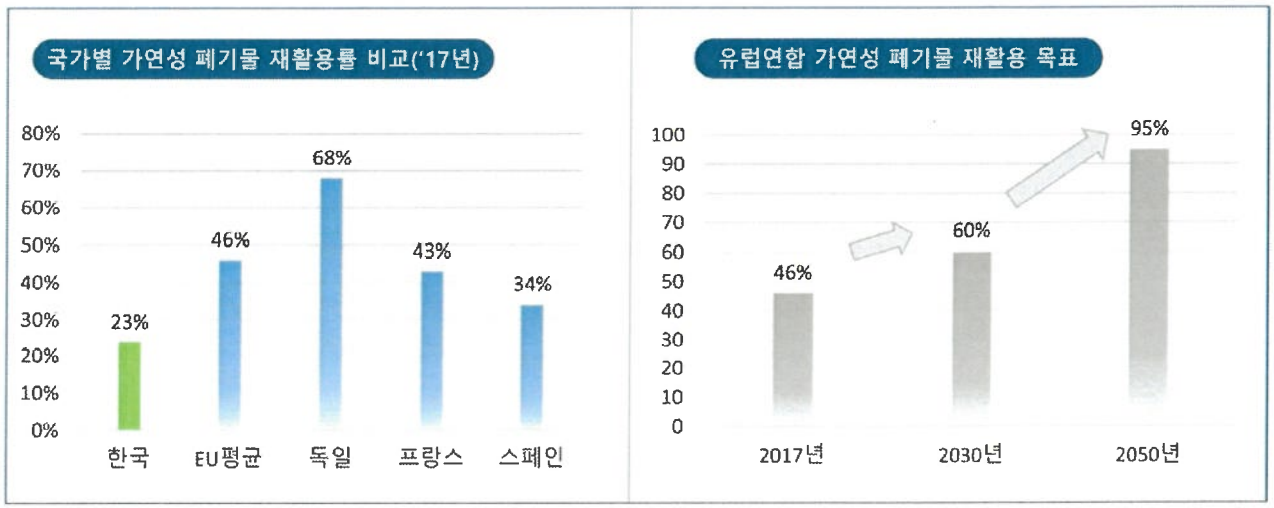
- 유연탄 대신 폐합성수지 등을 대체연료로 사용하는 경우 연료비용을 절감할 수 있는 장점이 있으나, 폐합성수지의 경우 유연탄 보다 더 많은 질소산화물을 배출하는 것으로 알려져 있음. 단순히 질소산화물을 저감시키기 위하여 폐합성수지 등 대체연료 사용을 금지하는 것을 생각해 볼 수 있으나 이는 정부의 자원순환 및 탄

소중립 정책과 부합하지 않기 때문에 현실적으로는 큰 대안이 되지 못함

- 국내 시멘트 업계가 '2050 탄소중립' 달성을 위해 속도를 내고 있음. 탄소 다량 배출의 주범인 화석연료 대신 폐기물과 바이오매스 등 순환자원 재활용으로 탄소 발생량을 낮출 수 있음(MTN 뉴스, 2024.1.8.)

❍ 해외 시멘트 산업에서의 가연성 폐기물 재활용

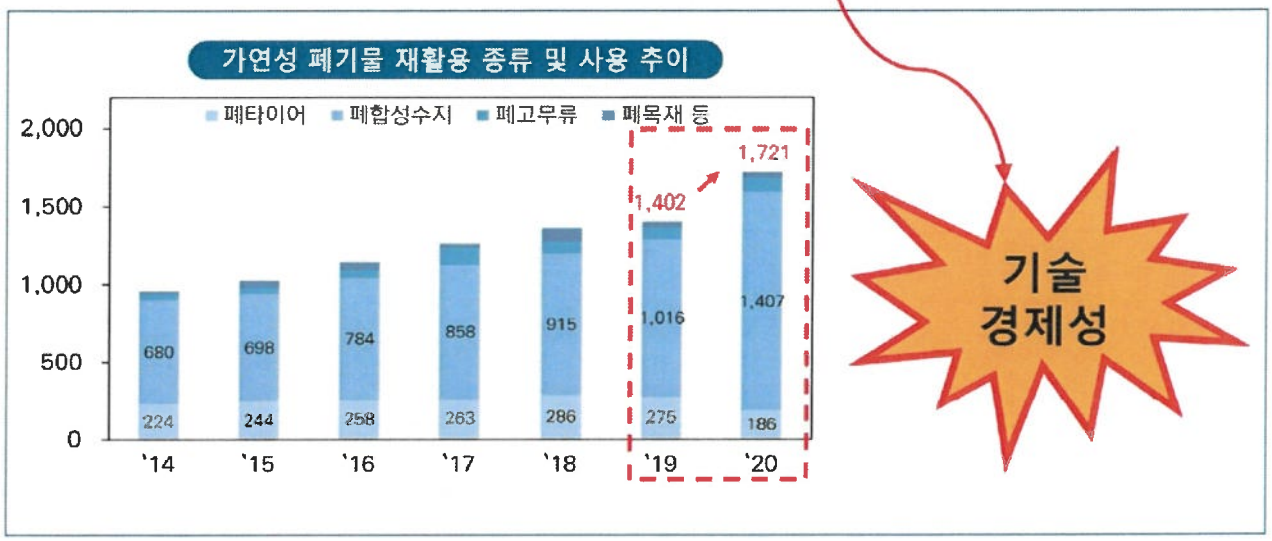
✓ 유럽에서는 천연자원 보존 및 국가 환경문제 해결을 위해 '90년대부터 순환자원 재활용 활성화
✓ 유럽 시멘트 산업의 폐기물 연료 재활용율은 평균 46%로 우리나라(23%)의 약 2배 수준
(유럽 시멘트 업계 탄소중립위해 2050년까지 가연성 폐기물 95% 대체 목표 설정)



(출처 : 한국폐자원에너지기술협의회, 2023.8.30.)

❍ 국내 시멘트 산업에서의 가연성 폐기물 재활용 현황

✓ 시멘트산업 가연성 폐기물 재활용량은 172만톤 이며, 폐합성수지 및 폐타이어가 90% 이상을 차지
✓ 특히, 폐합성수지는 폐기물 발생량 증가에 따라 '20년 재활용량은 '14년 대비 2배 이상 증가
✓ **2050 시멘트 산업 탄소중립 달성 위해 순환 연료 대체율 급격한 증가 필요(29% ⇒ 80% 이상)**



(출처 : 한국폐자원에너지기술협의회, 2023.8.30.)

2.2 강원도 소각시설 현황

❍ 2022년 기준 강원도 지자체별 소각 및 자원화 시설 현황(출처 : 2022년 전국 폐기물 발생 및 처리현황)

시군	시설명	처분대상 폐기물	시설용량 (톤/일)	소각방식	운영방식	처리량 (톤/년)	연간유지 관리비 (백만원)	관리인원 (명)	허가(승인)일
춘천시	춘천시폐기물종합처리시설	A, B	170.0	일반소각	연속식	49,776.2	16,673	48	2011.08.31
원주시	원주시 생활폐기물 연료화시설 1,2호기	(A,B), (A)							
강릉시	강릉시 자원순환센터	A, B							
동해시	※소각시설이 없으며, 발생되는 폐기물 중 폐합성수지류 등은 시멘트 소성로에서 처리하고 나머지는 지자체 매립지에 처분								
태백시	환경자원센터	A, C(하수슬러지)	50.0	일반소각	연속식	13,713.7	1,148	26	2009.09.03
속초시	속초시 폐기물소각시설	A, B	80.0	일반소각	연속식	25,210.2	6,365	37	2008.08.04
삼척시	※소각시설이 없으며, 발생되는 폐기물 중 폐합성수지류 등은 시멘트 소성로에서 처리하고 나머지는 지자체 매립지에 처분								
홍천군	소각시설 2호기	A, C(하수슬러지)	30.0	일반소각	연속식	5,156.4	1,655	12	2010.10.01
	소각시설 1호기	A, B	18.0	일반소각	연속식	9,204.9	2,988	24	2003.02.12
횡성군	횡성군 농촌폐기물종합처리장 (소각 및 매립시설)	A, B	29.0	열분해시설 (가스화포함)	준연속식	6,581.9	2,609	22	2005.12.30
영월군	환경시설관리사업소	A, B	18.0	고온소각	연속식	5,962.6	2,389	6	2003.06.02
평창군	환경센터	A, B	20.0	열분해시설 (가스화포함)	연속식	0.0	0	0	2021.12.29 (반납)
정선군	정선군 쓰레기위생매립장	A, B	10.0	일반소각	준연속식	1,058.3	780	4	2005.11.28
철원군	환경자원사업소	A, B	20.0	일반소각	연속식	4,916.3	1,018	10	2004.02.05
화천군	생활폐기물 소각시설	A	30.0	일반소각	연속식	4,916.3	364	11	2007.08.10
양구군	양구군 생활폐기물 소각시설	A	22.5	일반소각	연속식	4,875.2	2,326	24	2007.12.31
인제군	소각동	A	48.0	일반소각	연속식	12,314.0	1,977	18	2019.04.16
고성군	고성군 폐기물 소각시설	A, B	30.0	일반소각	연속식	6,109.8	678	21	2020.08.28
양양군	환경자원센터	A	30.0	일반소각	연속식	8,422.3	3,348	27	2008.07.11

A: 생활폐기물, B: 사업장비(非)배출시설계(사업장생활계) 폐기물, C: 사업장배출시설계 폐기물

❍ 강원특별자치도 소각시설 확충 계획

- 최근 강원특별자치도 내 시군 중 소각시설 확충 계획을 살펴보면 동해, 삼척은 여전히 소각시설 확충 계획이 없는 것으로 나타났으며, 이는 선별시설을 거쳐 분리된 폐합성수지류를 인근 시멘트공장 소성로의 열원으로 연계 처리가 되기 때문에 가능한 것으로 사료됨

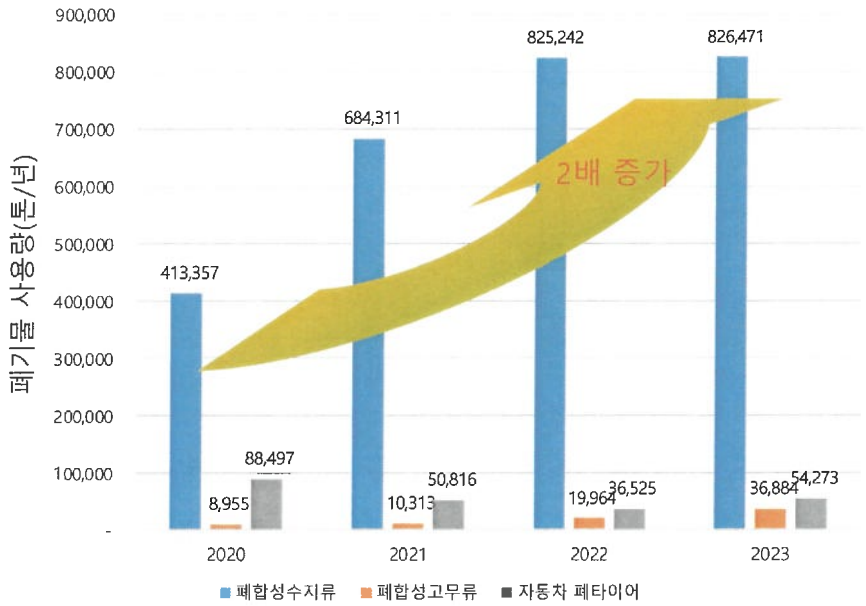
구분	시군	사업명	사업기간	사업량 (톤/일)	사업비(백만원)				
					소계	국비	도비	시군비	원인자
광역(신설)	강릉시	강릉권 광역 소각시설 설치사업	2017~2023	190	74,421	35,361	17,690.5	18,538.5	2,841
증설	춘천시	춘천시 소각시설 증설사업	2023~2027	130	56,680	10,256	7,179	31,760	7,485
	원주시	원주시 자원회수(소각)시설 설치사업	2025~2030	400	199,200	59,760	41,832	97,608	-
	태백시	태백시 소각시설 설치사업	2028~2032	50	33,300	16,650	4,995	11,655	-
	홍천군	홍천군 소각시설 설치사업	2024~2027	45	29,970	8,991	6,294	14,685	-
	횡성군	횡성군 소각시설 설치사업	2019~2024	44	20,911	6,273	4,391	10,247	
	영월군	영월군 소각시설 대보수사업	2025~2027	18	8,622	2,585	1,810	4,227	-
	정선군	정선군 소각시설 설치사업	2026~2029	36	23,976	7,193	5,035	11,748	-
	철원군	철원군 소각시설 설치사업	2021~2026	49	24,941	7,482	4,600.6	12,858.4	-
	화천군	화천군 소각시설 설치사업	2018~2023	40	19,961	5,984	4,193	9.784	-
	양구군	양구군 소각시설 설치사업	2021~2025	35	17,815	5,345	3,741	8,729	-
	양양군	양양군 소각시설 설치사업	2019~2024	48	24,817	7,124	4,986.8	12,760.2	
합계(12개소)		강원특별자치도 소각시설	2017~2032	859	534,614	172,301	107,107	244,880	10,326

자료 : 강원연구원(2023.11.20.), 「강원특별자치도 자원순환 시행계획 수립 연구 최종보고회」 발표 자료

2.3 폐기물 대체연료 사용 현황

○ 영동지역 위치한 시멘트업계 폐기물 대체(보조)연료 사용현황

- A시멘트 공장의 경우 2020년부터 2023년 사이 폐합성수지 사용량은 2.0배, 폐합성고무류는 4.1배 증가하였고, 자동차 폐타이어 사용량은 40% 감소하였음



(시멘트 공장 폐기물 대체연료 사용량)

- B시멘트 공장의 경우 2019년부터 2023년 사이 폐합성수지 사용량은 1.6배, 폐합성고무류는 2.8배 증가하였고, 자동차 폐타이어 사용량은 40% 감소하였음



(시멘트 공장 폐기물 대체연료 사용량)

※ A시멘트 공장 폐기물 대체연료 반입량 및 사용량 (출처 : 내부자료, 단위: 톤/년)

구분					2020년		2021년		2022년		2023년		2024년(1~5월)	
	대분류	명칭	소분류	명칭	반입량	사용량	반입량	사용량	반입량	사용량	반입량	사용량	반입량	사용량
연료	51-03	폐합성 고분자 화합물	51-03-01	폐합성수지류 (폐염화비닐 수지류 제외)	428,246	413,357	686,166	684,311	826,179	825,242	812,997	826,471	357,944	352,879
			51-03-02	폐합성고무류	9,029	8,955	10,944	10,313	19,448	19,964	37,000	36,884	24,060	23,016
	51-15	폐타이어	51-15-01	자동차 폐타이어	84,445	88,497	51,577	50,816	36,732	36,525	55,998	54,273	23,634	25,837
			51-15-02	그 밖의 폐타이어	-	-	1,071	842	7,319	7,536	3,578	3,509	638	672
	51-10	폐목재류	51-20-06	폐가구류, 폐전선드럼	79	79	-	-	-	-	-	-	-	-
	51-27	폐섬유류	51-27-02	폐합성섬유	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-
연료 합계					521,830	510,919	749,758	746,282	889,678	889,266	909,574	921,137	406,276	402,404

※ B시멘트 공장 폐기물 대체연료 사용량 (출처 : 내부자료, 단위: 톤/년)

구분		폐기물코드	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
연료	자동차 폐타이어	51-15-01	35,448	31,227	32,970	30,888	20,647
	폐합성수지	51-03-01	264,606	278,506	330,277	404,681	428,380
	그 밖의 폐합성고분자화합물	51-03-99	-	-	-	-	-
	폐합성섬유	51-27-02	2	1	1	0	0
	폐합성고무류	51-03-02	28	0	0	0	77
	폐목재류	51-20-01 51-20-99	1	81	1,069	327	0
	소계		300,085	309,816	364,317	435,896	449,105
합계			1,243,484	1,279,885	1,445,724	1,376,916	1,443,231

3.1 폐기물관리법

❍ 시멘트 소성로는 폐기물처리시설 중 재활용시설에 해당되며, 지정폐기물 이외의 가연성 폐기물을 보조연료로 재활용할 수 있음

❍ 폐기물처리시설의 종류 : 폐기물관리법 시행령 별표3

- 소각시설 : 중간처분시설에 해당
- 시멘트 소성로, 열분해시설(가스화시설 포함) : 재활용시설에 해당

❍ 시멘트 소성로에서 대체연료로 사용가능한 대상 폐기물 : 폐기물관리법 시행규칙 제3조제1항제3호

> 3. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 폐기물(지정폐기물은 제외한다)을 시멘트 소성로 및 환경부장관이 정하여 고시하는 시설에서 연료로 사용하는 활동
> 가. 폐타이어, 나. 폐섬유, 다. 폐목재, 라. 폐합성수지, 마. 폐합성고무, 바. 분진(중유회, 코크스(다공질 고체 탄소 연료) 분진만 해당한다), 사. 그 밖에 환경부장관이 정하여 고시하는 폐기물
>
> (참조) 자원의절약과재활용촉진에관합법률시행규칙 제20조의7 제3항제1호에는 고형연료제품 사용시설로서 시멘트 소성로도규정하고 있음

❍ 폐기물의 재활용 기준 : 폐기물관리법 시행규칙 별표 5의3

구분		납 (Pb)	구리 (Cu)	카드뮴 (Cd)	비소 (As)	수은 (Hg)	염소 (Cl) (%)	저위 발열량 (kcal/kg)
		(mg/kg)						
대체연료(보조연료, R-8-1 유형)		< 200	< 800	< 9	< 13	< 1.2	< 2	4,500 이상
대체원료 (R-4-2 유형)	철질	< 1,000	< 3,000	< 60	< 500	< 2	-	-
	철질 외 (석탄재 등)	< 150	< 800	< 50	< 50	< 2	-	-

3.2 통합환경관리제도

○ (개요) 종전 대기·수질·토양·폐기물 등 환경 매체별로관리하던 허가방식을'17년부터는 하나로 통합허가하는 제도로 저비용·고효율의 최적기술을적용하여 오염물질의 배출을 최소·최적화하는 환경관리방식이며, 유럽연합 등 선진국의 제도와 경험을 토대로 우리 현실과 특성에 맞게 설계한 제도

○ 통합관리에 관한 법률 시행령 일부 개정으로 시멘트 제조업을 추가(최적환경관리기법 적용하여 오염배출 최소화)하고 2023. 7. 1부터 시행함

- 소성로 미설치사업장 제외
- 환경오염시설허가 대상 사업장 수 : 9개 기업 11개 사업장

업체명	지역	소성로	업체명	지역	소성로	업체명	지역	소성로
쌍용	동해	7	한일현대	영월	2	아세아	제천	3
	영월	3		단양	1	유니온	청주	1
삼표	삼척	7	성신	단양	4	고려	장성	1
한라	강릉	4	한일	단양	6	**합계**		**39**

업체명	지역	소성로	업체명	지역	소성로	업체명	지역	소성로
쌍용	동해	7	한일현대	영월	2	아세아	제천	3
	영월	3		단양	1	유니온	청주	1
삼표	삼척	7	성신	단양	4	고려	장성	1
한라	강릉	4	한일	단양	6	**합계**		**39**

< 환경오염시설허가 대상업종 >

적용시기	['17-'20]	['18-'21]	['19-'22]	['20-'23]	['21-'24]	['23.7-'27.6]
업종(20개)	3개	3.5개	3.5개	3개	6개	1개
업 종	발전 중기공급 소각	비철금속 철강제조 합성고무/수지 석유화학	석유정제 비료제조 화학제품 무기화학	펄프·종이 기타 종이 전자제품	플라스틱, 섬유·주류, 도축육류 자동차부품 반도체	시멘트
사업장수	284개	223개	162개	186개	515개	11개

3.3 대기배출부과금제도

○ (정의) 대기오염물질로 인한 대기환경상 피해를 방지하거나 줄이기 위해 대기오염물질 배출사업장에 부담금을 부과하는 제도

- 배출부과금의 종류
  - ○ 기본부과금 : 배출허용기준이하로 배출하는 대기오염물질량에 대하여 부과
  - ○ 초과부과금 : 배출허용기준을 초과한 대기오염물질량에 대하여 부과

○ 환경부는 그간 먼지, 황산화물 등의 오염물질에만 부과되던 대기배출부과금을 질소산화물에도 부과하도록 개정하여, 2020년부터 대기오염물질 배출사업장에서 배출허용기준을 초과할 때 부과하는 초과부담금과 배출허용기준 이내로 배출되는 오염물질에 부과하는 기본부과금에 질소산화물을 추가하였는데 시멘트 공장도 대상 사업장에 해당됨

- 부과가 시작되는 최소부과농도와 부과단가는 단계적으로 강화되며, 2020년에는 사업장의 반기별 평균 배출농도가 배출허용기준 수치의 70% 이상일 경우에만 부과하였으며, 2021년까지는 배출허용기준의 50%, 2022년부터는 배출허용기준의 30% 이상 배출하는 경우로 강화함

- 대기오염물질 초과부과금 :

구분		오염물질 1kg당 부과금액(원)
황산화물		500
먼지		770
질소산화물(2020.1.1.시행)		2022년 2,130(2020년 1,490, 2021년 1,810)
암모니아		1,400
황화수소		6,000
이황화탄소		1,600
특정유해물질	불소화물	2,300
	염화수소	7,400
	시안화수소	7,300

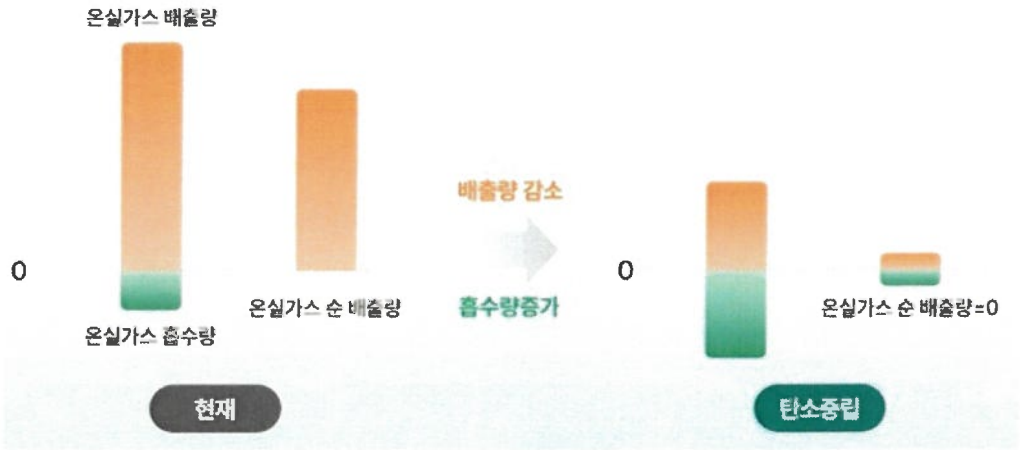
3.4 온실가스와 탄소중립

(1) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 (약칭: 탄소중립기본법)

○ 기후위기의 심각한 영향을 예방하기 위하여 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 탄소중립 사회로의 이행 과정에서 발생할 수 있는 경제적·환경적·사회적 불평등을 해소하며 녹색기술과 녹색산업의 육성·촉진·활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적으로 함

○ 본 법의 제정 의의는 2050년 탄소중립을 국가 비전으로 명시한 데에 있으며, 이를 달성하기 위한 국가전략, 중장기 온실가스 감축목표, 기본계획 수립 및 이행점검 등의 법정 절차를 체계화하게 됨

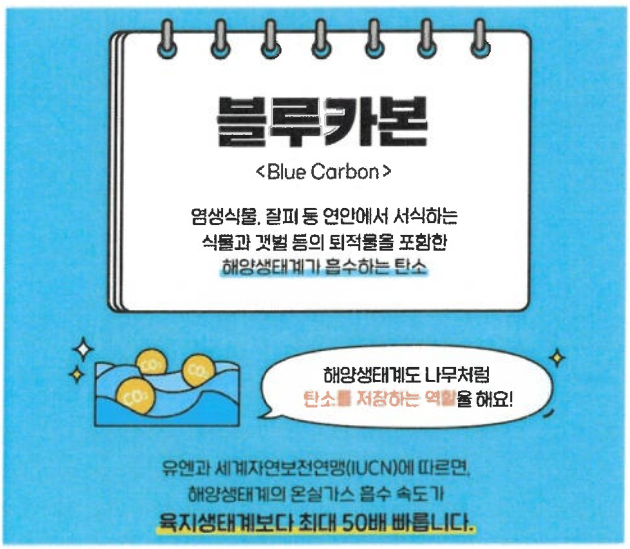
○ 탄소중립의 개념

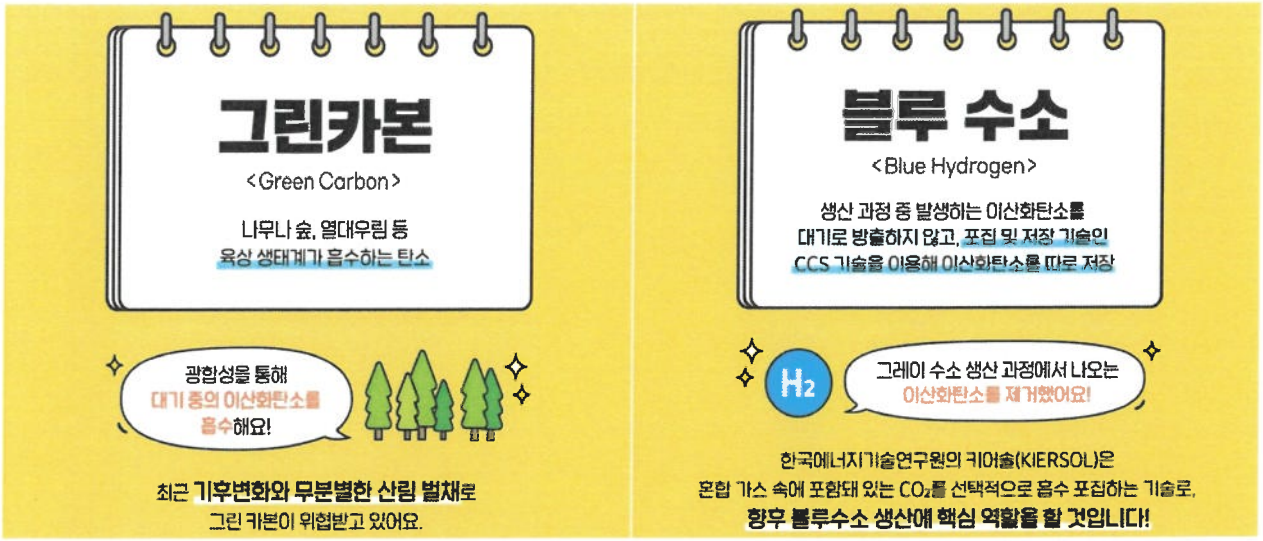


블랙카본

✓ 화석연료에 저장되어 있는 탄소
✓ 연소 후 분진이나 이산화탄소로 배출
✓ 불완전 연소시 매연 뿐만 아니라 검은색 검탱 발생







(출처 : https://energium.kier.re.kr/)

❍ 온실가스 종류 및 특징

- "온실가스" 란 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질로서 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6) 및 그 밖에 대통령령으로 정하는 물질을 말함(대기환경보전법 제2조, 탄소중립기본법 제2조)

이산화탄소(CO_2)
산림벌채, 에너지 사용, 석탄/석유연료 등 화석연료의 연소 등이 발생원인

메탄(CH_4)
가축 사육, 습지, 논, 음식물 쓰레기, 쓰레기 더미 등이 발생원인

아산화질소(N_2O)
석탄, 폐기물 소각, 질소비료 등 화학비료의 사용 등이 발생원인

수소불화탄소(HFCs)
에어컨 냉매, 스프레이 제품 분사제 등이 발생원인

과불화탄소(PFCs)
반도체 세정제 등이 발생 원인

육불화황(SF_6)
변압기, 절연개폐장치 등의 절연제 등이 발생원인

(2) 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 (약칭: 배출권거래법)

❍ "할당대상업체"란 제8조제1항에 따라 환경부장관이 배출권 할당대상업체로 지정·

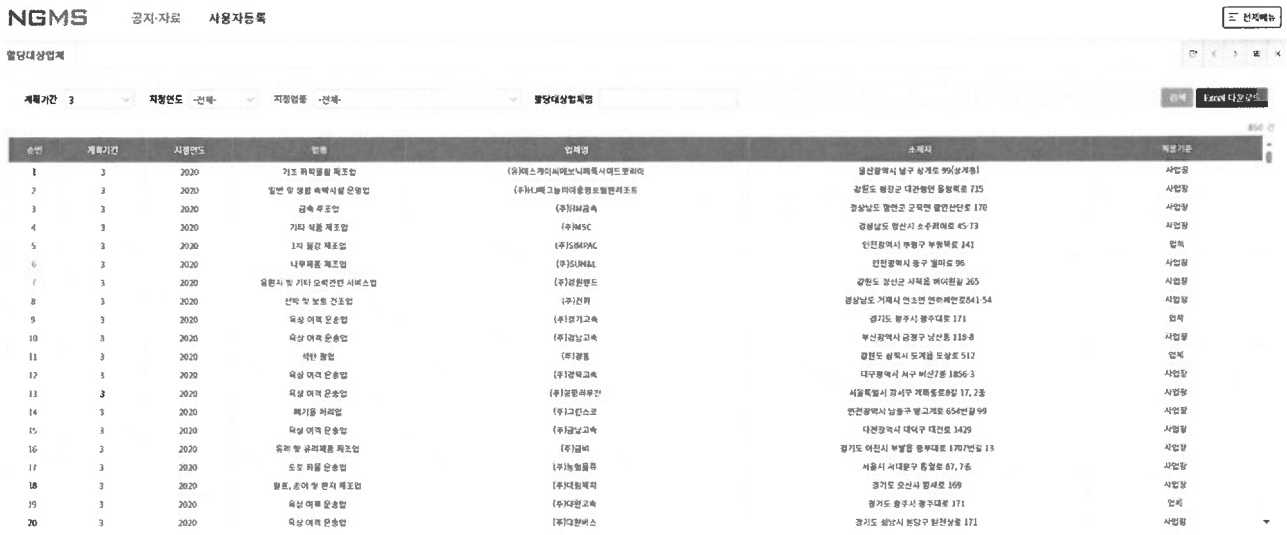
고시한 업체를 말하며, 각 계획 기간 시작 시점에 이행연도별로 거래종목을 구분하여 할당배출권이 상장됨

○ 할당대상업체 지정

- 최근 3년간 온실가스 배출량의 연평균 총량이 125,000 이산화탄소상당량톤(tCO_2-eq) 이상인 업체이거나 25,000 이산화탄소상당량톤(tCO_2-eq) 이상인 사업장을 하나 이상 보유한 업체로서 직전 계획기간 당시 할당대상업체와 기본법 제27조제1항에 따른 관리업체
- 위에 해당하지 아니하는 업체 중에서 할당대상업체로 지정받기 위하여 신청한 업체로서 대통령령으로 정하는 기준에 해당하는 업체

○ 전국 할당대상업체 지정 현황

- 2020년(685건 지정) ➜ 2021년(35건 추가) ➜ 2022년(33건 추가) ➜ 2023년(54건 추가) ➜ 2024년(43건 추가)
- 2024년 현재 총 850건 지정되어 있음



○ 시멘트 업계 할당대상업체 지정 현황

- 시멘트 업계는 2020년 전 업체 및 사업장이 대상업체로 지정되어 온실가스 할당을 받으며, 온실가스 배출 할당량을 초과할 경우 배출권을 구매하여야 하고, 폐합성수지 등 대체연료 사용으로 온실가스 감축을 달성하게 되면 배출권을 확보할 수 있음
- 지정연도 : 2020년
- 계획기간 : 3년

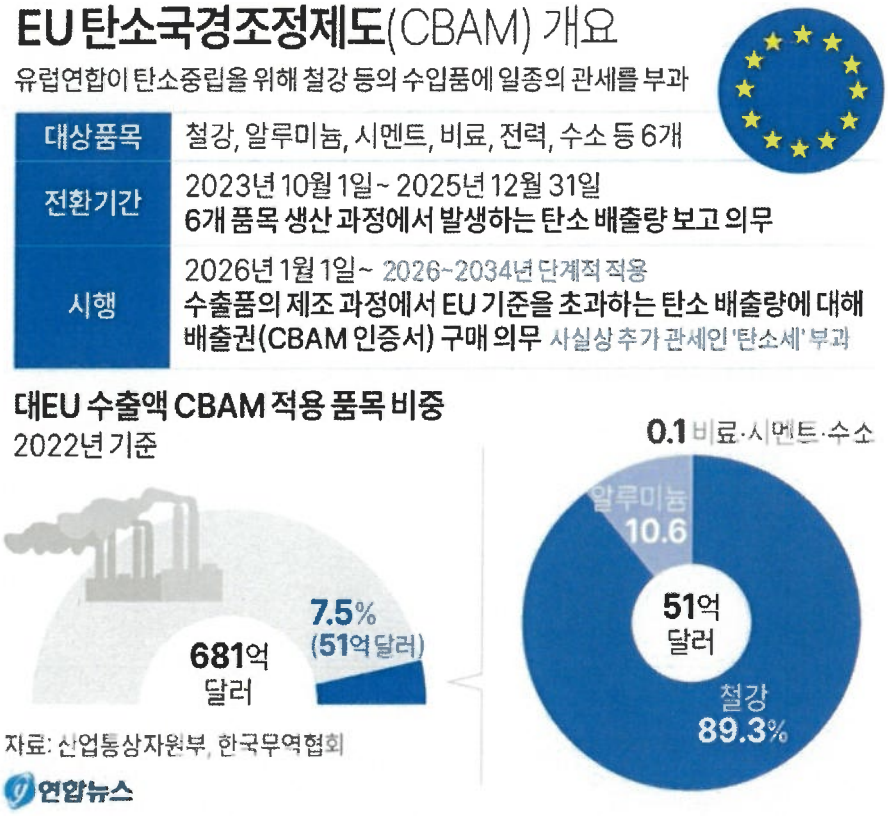
- 업체 및 사업장

업체명	소재지	적용기준
대한시멘트주식회사	전라남도 광양시 백운1로 74(태인동)	사업장
삼표시멘트	강원도 삼척시 동양길 20(사직동)	업체
성신양회(주)	서울특별시 종로구 인사동 5길 29 태화빌딩 7층	업체
쌍용씨앤이(주)	서울특별시 중구 수표로 34	업체
아세아시멘트 주식회사	서울특별시 강남구 논현로 430	업체
주식회사 고려시멘트	전라남도 장성군 장성읍 영천로 35	업체
한국씨엔티(주)	광주광역시 북구 무등로 239	사업장
한라시멘트주식회사	강원도 강릉시 옥계면 산계길 225	업체
한일시멘트 주식회사	서울특별시 서초구 효령로 275	업체
한일현대시멘트 주식회사	서울특별시 서초구 효령로 275(서초동)	업체

(3) 탄소국경조정제도

❍ 개요

- (내용) 철강 등 대상품목(철강, 알루미늄, 비료, 시멘트, 수소, 전력 등 6개)을 EU로 수출시 제품에 내재된 탄소배출량을 보고하고 배출량에 따른 탄소국경조정제도(CBAM, Carbon Border Adujustment Mechanism) 인증서 구매 의무화(출처 : 관계부처합동, EU 탄소국경조정제도 준비현황및 향후 대응방향, 2023.10.6)
- (목적) EU내 환경규제 강화에 따라 생산시설의 역외 이전, 역내 기업의 생산원가 상승 등 '탄소누출' 방지 목적
- (경과) CBAM 초안공개('21.7) ➜ CBAM 최종법안 발표(' 23.5) ➜ 전환기간 보고의무 관련 이행법('23.9) ➜ ' 23.10월 전환기간
  - ○ 전환기간('23.10~' 25.12): 보고의무 ➜ 본격시행('26.1): 보고의무+인증서 구매의무
  - ○ EU는 ' 26년 전까지 20여개 이행법·위임법(국내 지불 탄소가격 인정 등)을 추가 제정하여 본격시행에 필요한 사항을 규정 예정



김민지 기자 20230926

(출처 : 연합뉴스(2023.10.1.), EU, 세계 최초 탄소세시동…오늘부터 韓철강 탄소배출량 보고해야)



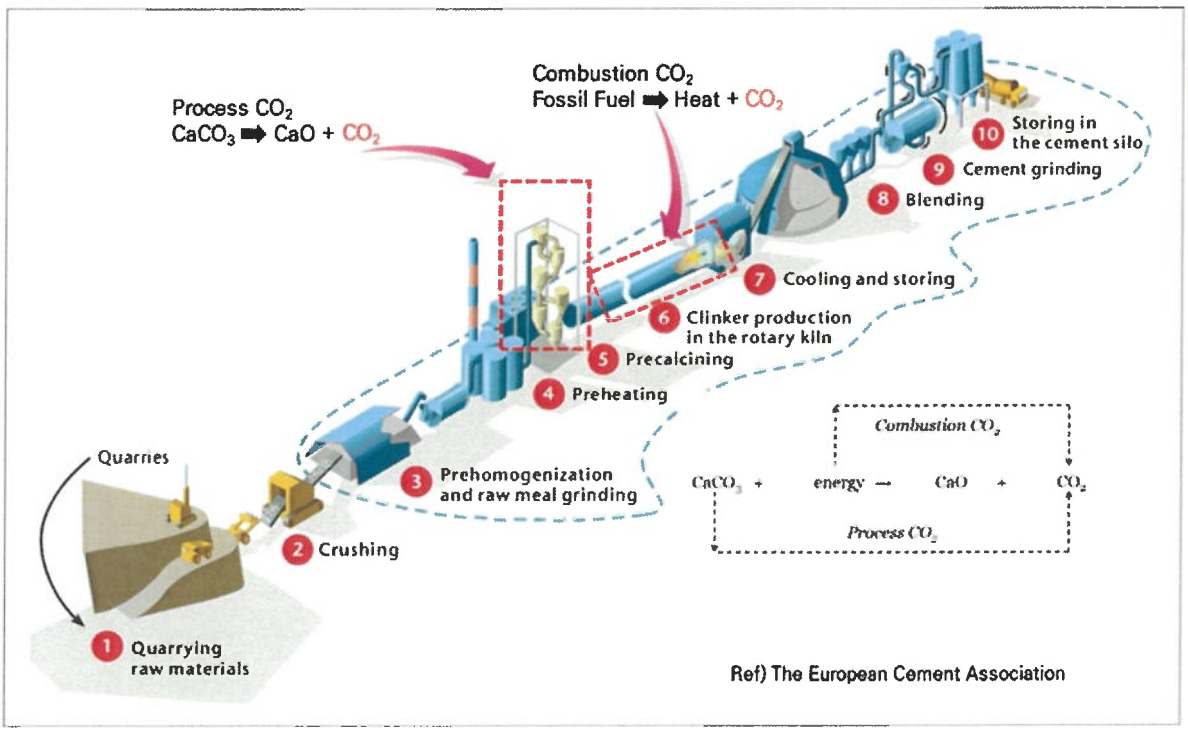
(출처 : 이투데이(2023.4.26), EU, 세계 최초 탄소국경세도입 최종 승인)

제4장 시멘트 산업의 온실가스 배출량 및 대체연료 사용시 저감 효과

4.1 시멘트 산업의 온실가스 배출량

○ 시멘트 생산 공정별 온실가스 발생원

- 시멘트 생산 공정에서 대표적 온실가스인 이산화탄소가 배출되는 과정은 두 가지로 대별할 수 있는데, 하나는 연료(유연탄)나 대체연료(폐기물)를 시멘트 소성로의 열원으로 사용할 경우 연소 후 배출되는 과정이고 다른 하나는 원재료인 석회석($CaCO_3$)이 고온에서 탈탄산 반응을 거친 후 생석회(CaO)로 전환되면서 이산화탄소가 배출되는 과정임
- 시멘트 원료로 사용되는 석회석이 열적으로 분해되는 과정에서 발생하는 CO_2(Process CO_2)가 약 60%를 차지하며, 클링커 생산을 위해 사용되는 화석연료의 연소에 의해 발생되는 CO_2(Combustion CO_2)가 약 40%를 차지함(기술과 혁신 웹진, 2021)



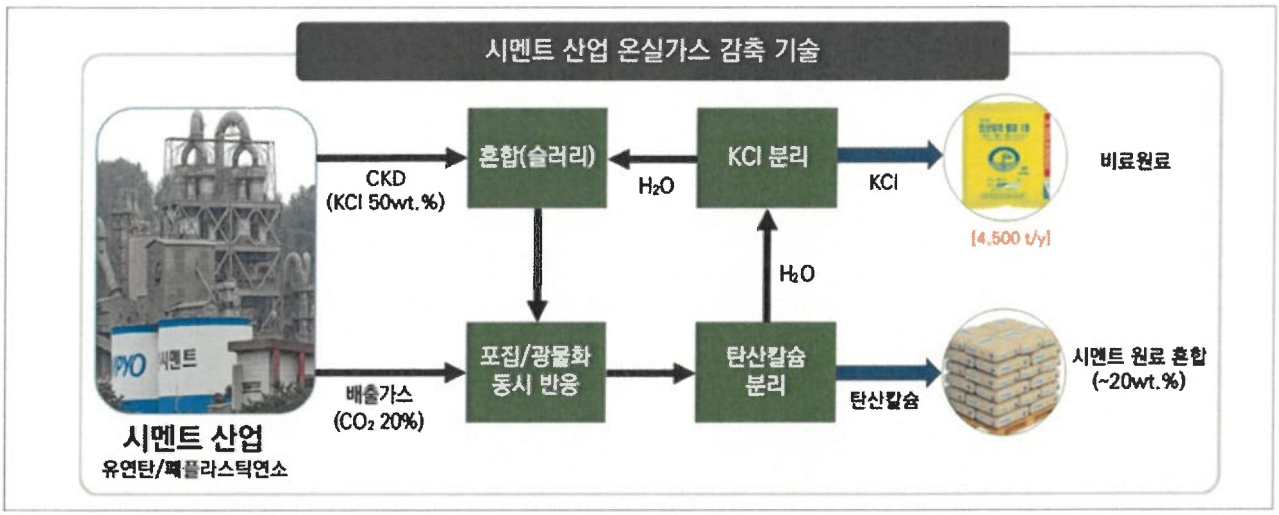
(출처 : 기술과 혁신 웹진(2021), 시멘트 산업도 '2050-탄소중립' 에 힘 보탠다)

- 화석연료의 사용이 많은 고탄소 산업구조를 가진 우리나라에서는 철강, 시멘트, 석유화학 등 산업계에서 배출되는 온실가스 감축에 대한 장·단기 전략을 수립하여 추진 중임. 후방산업에 대한 영향이 큰 시멘트 산업은 전 세계에서 2019년 기준 약 23억 톤의 온실가스를 배출하여 전 세계 배출량의 7%를 차지하고 있음(기술과 혁신 웹진, 2021)
- 국제에너지기구에서는 2050년까지 시멘트 산업의 성장률을 12~23%로 예상하고 이에 따른 온실가스 배출량 증가는 동일 기간 중 약 4%에 이를 것으로 예측하고 있음. 이는 시멘트 산업에서 온실가스 감축을 위한 강력한 기술적 진전이 이루어져야 함을 의미함(기술과 혁신 웹진, 2021)
- 우리나라 시멘트 산업은 약 4천 6백만 톤의 시멘트 생산과 2천 4백만 7천 톤의 이산화탄소를 배출하여 4번째로 온실가스를 많이 배출하는 산업부문임(기술과 혁신 웹진, 2021). 이산화탄소 배출량 = 시멘트 생산량 대비 52.2%

4.2 온실가스 저감 방법

- 온실가스 배출의 대부분이 화석연료 연소에 의해 발생하는 철강, 석유화학, 발전 등 다른 산업 부문과는 달리 시멘트 산업에서는 원료의 탈 탄소에 의해 발생하는 CO_2가 절반 이상을 차지하는 특성을 보임. 그러나 아직까지는 시멘트 원료로써 사용되는 석회석을 대체할 수 있는 물질이 개발되지 않았기 때문에 시멘트 산업은 다른 산업 부문에 비해 온실가스 발생량이 많고 획기적인 온실가스 저감 효과를 기대하기가 어려운 실정임
- 시멘트 산업에서 배출되는 온실가스 감축을 위해 적용할 수 있는 기술은 CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage, 이산화탄소 포집 활용 및 저장)기술을 포함한 혁신기술 적용, 시멘트 원료인 석회석 대체, 연료 전환, 효율 향상으로 분류할 수 있음. 이러한 기술군 중 석회석 소성을 위해 사용되는 유연탄과 같은 화석연료를 폐합성수지, 바이오매스 등으로 대체하며 이때 발생한 CO_2를 포집하는 것과 동시에 유용한 물질로 전환하는 것이 가장 효과적으로 CO_2를 저감할 수 있는 기술로 부각되고 있음

❍ 시멘트 산업의 온실가스 저감 기술 개략도



(출처 : 기술과 혁신 웹진(2021), 시멘트 산업도 '2050-탄소중립' 에 힘 보탠다)

❍ 한국의 탄소중립 정책

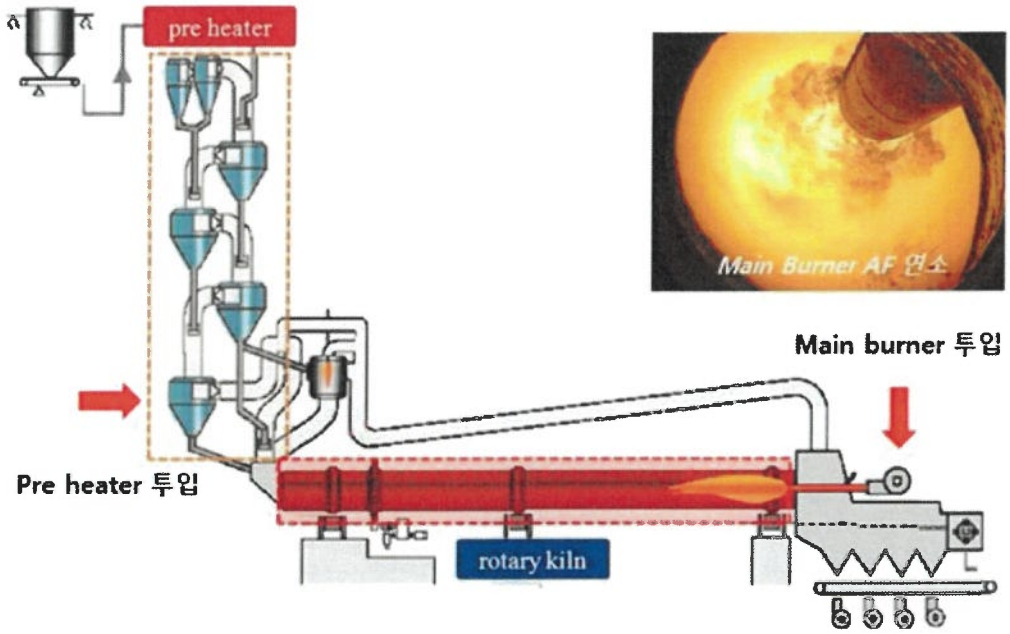
- 정부 탄소중립 목표 최종안 : 2030년 40% 감축, 2050년 순배출량 제로
- 탄소중립위원회 : 2050 탄소중립 시나리오, 2030 NDC 상한안 의결
- 2030 NDC 상한안(산업부문) 중 시멘트 연료 전환 : 유연탄→폐합성수지 36%

❍ 국내 시멘트 업계가 '2050 탄소중립' 달성을 위해 속도를 내고 있음. 탄소 다량 배출의 주범인 화석연료 대신 폐기물과 바이오매스 등 순환자원 재활용으로 탄소 발생량을 낮추는 것은 물론, 선택적 환원촉매(SCR) 설비 설치를 통해 시멘트 생산과정에서 발생하는 유해물질을 제거하는 방식에 이르기까지 대대적인 투자와 혁신에 나서는 모습임(MTN 뉴스, 2024.1.8.)

❍ 업계 1위 쌍용C&E는 탄소 감축 및 환경 개선을 위해 오는 2030년까지 약 8000억원 규모의 설비투자에 나서 시멘트 소성공정(원료를 가열해 경화성 물질을 만드는 것)에서 사용하는 화석연료를 대체하기 위해 총 3600억원을 투자할 계획임. 지금까지 관련 설비와 인프라를 구축하는 2200억원 규모의 1차 투자를 완료했고 앞으로 1400억원을 추가로 투입해 2030년엔 세계 시멘트업계 최초로 탈석탄을 실현한다는 목표임(MTN 뉴스, 2024.1.8.)

4.3 대체연료 사용시 온실가스 저감 효과

○ 시멘트공장에서 폐합성수지는 일반적으로 main burner와 예열탑(preheater) 1단으로 투입하고 있음. 대부분의 시멘트공장에서는 폐합성수지를 예열탑에서만 투입하고 있으나 일부에서는 main burner와 예열탑 두 곳에서 투입하여 폐합성수지 사용량을 증가시키고 있음



(시멘트 소성로의 폐합성수지 투입 위치)

○ 유연탄은 연료 자체의 발열량이 높지만 합성수지류는 이보다 발열량이 낮아 소성로를 목적하는 온도(1,450℃)로 가열하기 위해서는 유연탄보다 많은 연료를 사용하여야 하며, 이때 공기도 상대적으로 많이 사용하게 되는데 이는 질소산화물 배출의 증가를 유발함. 공기에는 78.1%의 질소가 포함되어 있기 때문에 완전연소를 위한 산소공급 목적으로 과잉공기를 주입할 경우 질소산화물 배출량은 증가할 수 밖에 없음. 이에 대한 대책으로 일부 시멘트사에서는 소성시설 main burner에 순산소주입시스템을 계획하고 있으며, 이 경우 배기가스량도 크게 줄어들 뿐만 아니라 공기주입 대비 질소산화물(thermal NOx) 발생을 크게 저감시킬 수 있을 것으로 판단됨

○ 한 시멘트공장에서는 순산소주입시스템을 구축한 후 2기의 시멘트 소성시설 main burner에 폐합성수지를 투입하여 클링커를 생산했을 경우와 기존 유연탄과 재생연

료유를 연료로 사용한 경우를 비교하였음. 순산소주입시스템을 이용하여 순수산소를 투입 할 경우 연소용 공기 투입량은 기존대비 약 20 %로 저감할 수 있으며, 이에 따라 질소 투입량은 기존 대비 80% 감소하여 기존 연소용 공기로 인해 발생되는 질소산화물의 발생량을 약 80% 저감할 수 있을 것으로 예상됨. 참고로 합성수지를 대체 에너지원으로 사용했을 경우 연간 온실가스 발생량은 156,678 tCO_2e/yr으로 기존 대비 약 15.7%가 저감됨(출처 : 내부자료)

❍ 온실가스 세부 산출 방법

① 유연탄, WDF(폐유), 폐플라스틱(비바이오)

연료사용량(kg) × 순발열량(MJ/kg) × 배출계수($kgGHGCO_2/TJ$) × 10^{-9} × 산화계수 + Σ[배출계수($kgGHGCH_4/N_2O/TJ$)x$^{10-9}$] × 지구온난화지수

② 폐플라스틱(바이오)

연료사용량(kg) × 순발열량(MJ/kg) × Σ[배출계수($kgGHGCH_4/N_2O/TJ$)x10^{-9}] × 지구온난화지수

※지구온난화지수 : CO_2 = 1, CH_4 = 21, N_2O = 310

❍ 폐합성수지 대체연료 사용에 따른 온실가스 세부 산출 내역

구분	사용 연료	사용량 (톤)	순발열량 Tier3	배출계수 Tier3			산화 계수	온실가스 배출량 (tCO_2e/yr)
				CO_2	CH_4	N_2O		
시행 이전	유연탄	64,652.4	23.4	91,631	10.0	1.5	0.980	136,991.2
	석유 코크스	8,391.3	31.4	90,555	3.0	0.6	0.980	23,441.0
	합성 수지류	-	19.8	44,325	30.0	4.0	1.000	-
	기타 액체연료	16,695.9	20.3	74,000	30.0	4.0	0.990	25,476.2
	소 계							**185,908.3**
대체 연료 사용 시행 이후	유연탄	38,479.5	23.4	91,631	10.0	1.5	0.980	81,533.7
	석유 코크스	2,461.3	31.4	90,555	3.0	0.6	0.980	6,875.6
	합성 수지류	46,785.9	19.8	44,325	30.0	4.0	1.000	42,793.0
	기타 액체연료	16,695.9	20.3	74,000	30.0	4.0	0.990	25,476.2
	소 계							**156,678.4**
결론 : 185,908.3 tCO_2e/yr ➜ 156,678.4 tCO_2e/yr (≒15.7%▽)								

제5장 결론

○ 한국의 탄소중립 정책

- 정부 탄소중립 목표 최종안 : 2030년 40% 감축, 2050년 순배출량 제로
- 탄소중립위원회 : 2050 탄소중립 시나리오, 2030 NDC 상한안 의결
- 2030 NDC 상한안(산업부문) 중 시멘트 연료 전환 : 유연탄→폐합성수지 36%

○ 우리나라 시멘트 산업은 약 4천 6백만 톤의 시멘트 생산과 2천 4백만 7천 톤의 이산화탄소를 배출하여 4번째로 온실가스를 많이 배출하는 산업부문이며, 시멘트 생산량 대비 52.2%의 이산화탄소가 배출됨

○ 일반적으로 합성수지를 대체 에너지원으로 사용했을 경우 온실가스 배출량을 저감할 수 있는 것으로 예측됨(예. 한 소성로의 main burner에 순산소주입시스템을 장착한 폐합성수지를 사용한 경우 연간 온실가스 발생량은 156,678 tCO2e/yr으로 기존 대비 약 15.7%가 저감되었음)

○ 시멘트 산업에서 배출되는 온실가스 감축을 위해 적용할 수 있는 기술은 CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage, 이산화탄소 포집 활용 및 저장)기술을 포함한 혁신기술 적용, 시멘트 원료인 석회석 대체, 연료 전환, 효율 향상으로 분류할 수 있음

참 고 문 헌

- MTN 뉴스(2024.1.18.), 「대체연료부터 SCR까지…시멘트업계, '굴뚝' 벗어나 '친환경'으로」
- 강원연구원(2023.11.20.), 「강원특별자치도 자원순환 시행계획 수립 연구 최종보고회」 발표 자료
- 관계부처합동(2023.10.6.), EU 탄소국경조정제도 준비현황및 향후 대응방향
- 기술과 혁신 웹진(2021), 「시멘트 산업도 '2050-탄소중립' 에 힘 보탠다」
- 법제처 국가법령정보센터(2024. 10.18 접속), 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법
- 법제처 국가법령정보센터(2024. 10.18 접속), 대기환경보전법
- 법제처 국가법령정보센터(2024. 10.18 접속), 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률
- 연합뉴스(2023.10.1.), 「EU, 세계 최초 탄소세시동…오늘부터 韓철강 탄소배출량 보고해야」
- 이투데이(2023.4.26.), 「EU, 세계 최초 탄소국경세 도입 최종 승인 [높아지는 EU 규제 장벽]」
- 한국시멘트협회(2021~2024), 2020~2023 한국의 시멘트산업 통계
- 한국폐자원에너지기술협의회(2022.5.31.), 2022년도 춘계 기술워크숍: 폐기물처리시설로서 소성로와 소각로의 역할 및 전망(권우택), pp.85-100
- 한국폐자원에너지기술협의회(2023.8.30), 2023년도 추계 기술워크숍: 탄소중립과 통합폐기물처리시설의 전망, 폐기물처리시설 현황 및 동향(최해성), pp.85-103