
「시멘트 제조사업장 주변」
미세먼지 배출량 산정 및 관리방안

2021. 11.



장성군의회
JANGSEONG COUNTY COUNCIL

제 출 문

장성군의회

본 보고서를 「시멘트 제조사업장 주변의 미세먼지 배출량 산정 및 관리방안」의 최종보고서로 제출합니다.

2021년 11월

연구총괄

책 임 연 구 원 :

이 상 득

환경자원연구소

목 차

제 I 장 과업의 개요

1. 배경 및 목적	3
2. 범위 및 내용	5
3. 추진체계	7

제 II 장 『엘로시티 장성』 지역현황

1. 지역 현황 및 특성	11
2. 대기환경 현황	25

제 III 장 시멘트 제조사업장과 대기환경

1. 시멘트 제조사업장과 석회광산	43
2. 시멘트 제조공정	46
3. 시멘트 산업과 폐자원	55
4. 미세먼지 및 대기오염물질 배출 현황	71
5. 미세먼지 및 대기오염물질 저감방안	123
6. 대기환경 관련 법규 및 제도	137

제 IV 장 고려시멘트 제조사업장의 현황조사

1. 시멘트 원료 및 연료 사용현황	169
2. 제조 공정별 대기오염물질 배출현황	184
3. 주변지역에 미치는 영향조사	205
4. 대기오염 현상과 환경요인	226

제 V 장 결론 및 협력방안

1. 결론	235
2. 협력방안	239

참고문헌

참고문헌	243
------------	-----

표 목 차

<표 II.1- 1> 장성군 위치	11
<표 II.1- 2> 장성군 행정구역 현황	12
<표 II.1- 3> 장성군의 행정구역 및 면적	12
<표 II.1- 4> 장성군 하천현황	14
<표 II.1- 5> 장성군의 기상 현황	15
<표 II.1- 6> 지목별 토지이용 현황	16
<표 II.1- 7> 장성군 도시계획 현황	16
<표 II.1- 8> 산림면적 현황	16
<표 II.1- 9> 임상별 산림면적	17
<표 II.1-10> 공원현황	17
<표 II.1-11> 장성군의 인구, 세대수, 65세 이상 인구수 변화 추이	18
<표 II.1-12> 장성군의 읍면 인구현황	19
<표 II.1-13> 장성군 취약계층 조사	20
<표 II.1-14> 장성군 기초수급자 변화추이	20
<표 II.1-15> 장성군 사업체 및 종사자 수	21
<표 II.1-16> 장성군 산업별 총생산(GRDP)	22
<표 II.1-17> 도로 현황	23
<표 II.1-18> 고속도로 노선현황	23
<표 II.1-19> 대기오염물질 배출사업장 현황	24
<표 II.1-20> 수질 배출사업장 현황	24
<표 II.2- 1> 우리나라 대기환경기준	25
<표 II.2- 2> 장성군 연도별 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도 변화	26
<표 II.2- 3> 장성군 월별 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도 변화	27
<표 II.2- 4> 월별 초미세먼지(PM _{2.5})의 환경기준(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과 현황	27
<표 II.2- 5> 장성군 연도별 미세먼지(PM ₁₀) 농도 변화	28

<표 II.2- 6> 장성군 월별 미세먼지(PM ₁₀) 농도 변화	29
<표 II.2- 7> 미세먼지(PM ₁₀)의 환경기준(100 μ g/m ³) 초과 현황	29
<표 II.2- 8> 장성군 연도별 아황산가스(SO ₂) 농도 변화	30
<표 II.2- 9> 장성군 월별 아황산가스(SO ₂) 농도 변화	31
<표 II.2-10> 장성군 연도별 이산화질소(NO ₂) 농도 변화	31
<표 II.2-11> 장성군 월별 이산화질소(NO ₂) 농도 변화	32
<표 II.2-12> 배출원 분류체계	34
<표 II.2-13> 장성군의 연도별, 오염물질 별 배출량 추이	35
<표 II.2-14> 장성군과 고려시멘트의 연도별, 오염물질별 배출량	38
<표 II.2-15> 장성군과 고려시멘트의 제조업연소 부문의 배출량 비교(2017)	40
<표 III.1- 1> 국내 석회석 매장량 현황	45
<표 III.3- 1> 시멘트 원료 혼합비	59
<표 III.3- 2> 시멘트 부원료 종류	60
<표 III.3- 3> 시멘트 부연료 종류	64
<표 III.3- 4> 국내외 시멘트 공장의 폐자원 허용 현황	68
<표 III.3- 5> 국내 시멘트 제조사업장에서 사용되는 폐자원 종류	69
<표 III.3- 6> 시멘트 제조사업장의 부연료로 사용되는 폐자원 현황	70
<표 III.4- 1> 시멘트 사업장에서 미세먼지의 주요 발생과정	71
<표 III.4- 2> 나대지 및 야적더미에 대한 저감조치별 비산먼지 제거 효율	86
<표 III.4- 3> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질	91
<표 III.4- 4> WHO 발암성 물질의 분류 및 발암 강도	95
<표 III.4- 5> 다이옥신의 주요 배출원	96
<표 III.4- 6> 미국의 대기 중 다이옥신 오염원(또는 배출원) 및 연간 배출량	96
<표 III.4- 7> 잔류성유기오염물질 배출시설	100
<표 III.4- 8> 잔류성오염물질 배출허용기준(제7조 관련)	101
<표 III.4- 9> 부속서 C(비의도적으로 생산)의 목록과 IARC 발암성 등급	102

<표Ⅲ.4-10> 우리나라 토양환경보전법상 토양오염 우려기준 및 대책기준	105
<표Ⅲ.4-11> 소음 발생원	108
<표Ⅲ.4-12> 우리나라의 소음환경기준	109
<표Ⅲ.3-13> 시멘트 분진에 의한 건강영향시멘트 분진에 의한 건강영향	111
<표Ⅲ.3-14> 납, 카드뮴, 크롬, 수은의 인체영향	121
<표Ⅲ.3-15> 주요 PAHs 물질의 인체 유해성	122
<표Ⅲ.3-16> IARC의 발암물질 분류기준	122
<표Ⅲ.5- 1> NOx제어기술 개요	124
<표Ⅲ.5- 2> SOx 제어기술 개요	131
<표Ⅲ.5- 3> 미세먼지 제어기술 개요	134
<표Ⅲ.6- 1> 폐기물관리법 제31조((폐기물처리시설의 관리)	137
<표Ⅲ.6- 2> 폐기물관리법 시행령(14조, 15조)	138
<표Ⅲ.6- 3> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 13]	138
<표Ⅲ.6- 4> 폐기물관리법 시행령(14조, 15조)	139
<표Ⅲ.6- 5> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 21]	139
<표Ⅲ.6- 6> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 9]	140
<표Ⅲ.6- 7> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 10]	142
<표Ⅲ.6- 8> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 11]	143
<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]	144
<표Ⅲ.6-10> 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률	148
<표Ⅲ.6-11> 시멘트 소성로 폐기물 사용관리 기준(자율협약)	149
<표Ⅲ.6-12> 비산먼지 발생 사업(별표 13, 제57조 관련)	152
<표Ⅲ.6-13> 비산먼지 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치에 관한 기준	155
<표Ⅲ.6-14> 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치에 관한 엄격한 기준	158
<표Ⅲ.6-15> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질(기체상 오염물질)	160
<표Ⅲ.6-16> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질(입자상물질)	162
<표Ⅲ.6-17> 잔류성오염물질 배출허용기준(제7조 관련)	163

<표Ⅲ.6-18> 일본의 소각로와 시멘트 소성로의 대기배출허용기준	164
<표Ⅲ.6-19> 유럽연합의 시멘트 소성로 배출허용기준 (WID 2000/76/EC)	165
<표Ⅳ.1- 1> 시멘트 제품 및 클링커 생산량의 연도별 추이	169
<표Ⅳ.1- 2> 석회광석의 연간 채굴량	170
<표Ⅳ.1- 3> 시멘트 사업장에서 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량	171
<표Ⅳ.1- 4> 유연탄의 연간 사용량 및 재활용량	173
<표Ⅳ.1- 5> 고려시멘트에서 연료로 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량	174
<표Ⅳ.1- 6> 바닥재의 연간 발생량 및 처리방법	175
<표Ⅳ.1- 7> 시멘트 1톤을 제조하는데 필요한 원료, 연료량	176
<표Ⅳ.1- 8> 국내 시멘트 1톤당 폐자원 사용량	178
<표Ⅳ.1- 9> 국내 시멘트산업의 폐자원 사용량	178
<표Ⅳ.1-10> 연료 대체율 산정방법	179
<표Ⅳ.1-11> 고려시멘트 1톤당 폐자원 이용량	180
<표Ⅳ.1-12> 고려시멘트 폐자원 연도별 반입량	180
<표Ⅳ.1-13> 연도별 연료 대체율	181
<표Ⅳ.1-14> 바닥재의 연간 발생량 및 폐자원 반입량 추정	182
<표Ⅳ.1-15> 고려시멘트의 부산물 반입량 추이	183
<표Ⅳ.1-16> 폐자원의 대체연료 적용에 따른 예상 문제점	183
<표Ⅳ.2- 1> 시멘트 제조공정별 대기오염물질 배출량	184
<표Ⅳ.2- 2> 원료준비 공정의 미세먼지 배출량	187
<표Ⅳ.2- 3> 소성공정의 대기오염물질 배출량	190
<표Ⅳ.2- 4> 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량	195
<표Ⅳ.2- 5> 혼합시멘트 제조공정의 미세먼지 배출량	197
<표Ⅳ.2- 6> 2차 생성 미세먼지 추정 배출량	203
<표Ⅳ.3- 1> 측정지점별 미세먼지(PM ₁₀), 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도	206
<표Ⅳ.3- 2> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 미세먼지(PM ₁₀ , PM _{2.5}) 농도	208

<표Ⅳ.3- 3> 고려시멘트 주변의 대기중 중금속 분석 농도	212
<표Ⅳ.3- 4> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 중금속 농도	213
<표Ⅳ.3- 5> 대기중 PAHs(발암성에 따른 분류) 분석 농도	214
<표Ⅳ.3- 6> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 PHAs 농도	216
<표Ⅳ.3- 7> 국내 토양오염물질 환경기준	217
<표Ⅳ.3- 8> 장성군 토양오염실태조사 결과(2019)	220
<표Ⅳ.3- 9> 고려시멘트 소성로 굴뚝의 다이옥신 농도	221
<표Ⅳ.3-10> 고려시멘트 주변지역의 다이옥신 측정 결과(2019)	221
<표Ⅳ.2-11> 고려시멘트의 연도별 CO, HC의 배출량	222
<표Ⅳ.2-12> 소각시설 주변의 연령별 인구 현황	223
<표Ⅳ.2-13> 시멘트 소성로 주변의 대기오염물질 민감취약시설	224
<표Ⅳ.4- 1> 대기안정도와 대기오염물질 확산	227

그림 목 차

<그림 I.1- 1> 국내 시멘트 제조사업장 주변의 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도 현황	4
<그림 I.2- 1> 과업 대상지역	5
<그림 I.3- 1> 과업의 흐름도	7
<그림 II.1- 1> 장성군의 지리적 위치	11
<그림 II.1- 2> 장성군의 표고분석도	13
<그림 II.1- 3> 장성군의 경사분석도	13
<그림 II.1- 4> 고려시멘트 주변의 지질 분포도	14
<그림 II.1- 5> 장성군의 수계	15
<그림 II.1- 6> 장성군의 인구, 세대수, 65세 이상 인구수 변화 추이	18
<그림 II.1- 7> 읍면별 세대수 및 인구(2018)	19
<그림 II.1- 8> 장성군의 사업체수 및 종사자수	21
<그림 II.1- 9> 대기 및 수질 배출사업장 현황(2018)	24
<그림 II.2- 1> 장성군 연도별 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도 변화	26
<그림 II.2- 2> 장성군 월별 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도 변화	27
<그림 II.2- 3> 장성군 연도별 미세먼지(PM ₁₀) 농도 변화	28
<그림 II.2- 4> 장성군 월별 미세먼지(PM ₁₀) 농도 변화	29
<그림 II.2- 5> 장성군 연도별 아황산가스(SO ₂) 농도 변화	30
<그림 II.2- 6> 장성군 월별 아황산가스(SO ₂) 농도 변화	31
<그림 II.2- 7> 장성군 연도별 이산화질소(NO ₂) 농도 변화	32
<그림 II.2- 8> 장성군 월별 이산화질소(NO ₂) 농도 변화	32
<그림 II.2- 9> SODAC과 CAPSS의 구조도	33
<그림 II.2-10> 전남의 대기오염물질별, 연도별 배출량 변화추이	35
<그림 II.2-11> 장성군의 대기오염물질의 배출비율(2017)	36
<그림 II.2-12> 장성군의 대기오염물질별, 연도별 배출량 변화추이	36

<그림 II.2-13> 장성군의 대기오염물질의 총배출량 변화추이	37
<그림 II.2-14> 장성군의 PM ₁₀ , PM _{2.5} 의 연도별 배출량 변화추이	37
<그림 II.2-15> 장성군의 NO _x , SO _x 의 연도별 배출량 변화추이	37
<그림 II.2-16> 고려시멘트의 대기오염물질별, 연도별 배출량 추이	38
<그림 II.2-17> 고려시멘트의 대기오염물질별 기여율(2017)	39
<그림 II.2-18> 고려시멘트의 연도별 미세먼지(TSP, PM _{2.5} , PM ₁₀) 배출량 변화 추이	39
<그림 II.2-19> 고려시멘트의 연도별 NO _x , SO _x 배출량 변화 추이	39
<그림 II.2-20> 제조업연소 부문의 대기오염물질별 배출량(2017)	40
<그림 III.1- 1> 시멘트 제조사업장의 분포 및 연산능력	43
<그림 III.2- 1> 시멘트 제조공정	47
<그림 III.2- 2> 계단식 채광법	49
<그림 III.2- 3> 그로리흡식 채광법	50
<그림 III.2- 4> 시멘트 제조공정(채광)	50
<그림 III.2- 5> 시멘트 제조공정(원료)	51
<그림 III.2- 6> 시멘트 제조공정(소성)	53
<그림 III.2- 7> 시멘트 제조공정(제품출하)	54
<그림 III.3- 1> 시멘트 생산과정별 폐기물 사용과정	67
<그림 III.4- 1> 광산에서의 비산먼지 발생	72
<그림 III.4- 2> 입자 크기에 따른 마찰속도의 역치	74
<그림 III.4- 3> 싣기·내리기 과정에서의 비산먼지 발생	76
<그림 III.4- 4> 싣기·내리기 과정에서의 비산먼지 저감방안	77
<그림 III.4- 5> 조쇄공정 투입구에서의 비산먼지 발생	78
<그림 III.4- 6> 쇄공정 투입구에서의 비산먼지 억제시스템	80
<그림 III.4- 7> 이송공정에서 비산먼지 발생	81
<그림 III.4- 8> 벨트 컨베이어에서 미세먼지의 낙하	81
<그림 III.4- 9> 교차지점에서 비산먼지제어 시스템	82

<그림 III.4-10> 조쇄공정 투입구에서의 비산먼지 발생	83
<그림 III.4-11> 야적 및 저장과정의 비산먼지 저감방안	86
<그림 III.4-12> 광산내 운반에 의해 발생하는 비산먼지	87
<그림 III.4-13> 수송공정의 비산먼지 저감방안	89
<그림 III.4-14> 다이옥신의 생성 메카니즘	98
<그림 III.4-15> 소각에 의한 다이옥신류의 생성 메카니즘	98
<그림 III.4-16> 가스화에 의해 다이옥신류가 비생성 메카니즘	99
<그림 III.5- 1> 선택적 비촉매 환원법(SNCR)의 프로세스	128
<그림 III.5- 2> 선택적 촉매 환원법(SCR)의 프로세스	130
<그림 IV.1- 1> 시멘트 제품과 클링커 생산량의 연도별 추이	169
<그림 IV.1- 2> 석회광석의 연간 채굴량 추이	170
<그림 IV.1- 3> 고려시멘트의 연간 폐자원 반입량	172
<그림 IV.1- 4> 고려시멘트의 주요 폐자원의 연간 반입량	172
<그림 IV.1- 5> 연도별 유연탄 사용량	173
<그림 IV.1- 6> 고려시멘트에서 연료로 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량	174
<그림 IV.1- 7> 소각재의 연간 발생량 추이	175
<그림 IV.1- 8> 시멘트 1톤 제조에 필요한 원료 및 에너지 원단위	176
<그림 IV.1- 9> 폐자원의 공정별 사용 프로세스	177
<그림 IV.2- 1> 공정별, 연도별 미세먼지 배출량 추이	185
<그림 IV.2- 2> 공정별 미세먼지 배출비율(%)	185
<그림 IV.2- 3> 원료 준비공정	186
<그림 IV.2- 4> 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량 추이(kg/yr)	187
<그림 IV.2- 5> 시멘트 소성공정	189
<그림 IV.2- 6> 소성공정의 미세먼지 배출량 추이(TMS, kg/yr)	189
<그림 IV.2- 7> 소성공정의 염화수소(HCl) 배출량 추이(kg/yr)	190
<그림 IV.2- 8> 불화수소와 황화수소의 배출량 추이(kg/yr)	191

<그림 IV.2- 9> 소성공정의 황산화물(SO _x)의 배출량 추이(kg/yr)	191
<그림 IV.2-10> 소성공정의 질소산화물(NO _x)의 배출량추이(TMS, kg/yr)	192
<그림 IV.2-11> 소성공정의 일산화탄소(CO)의 배출량 추이(kg/yr)	192
<그림 IV.2-12> 소성공정의 시안화수소의 배출량 추이(kg/yr)	193
<그림 IV.2-13> 소성공정의 크롬화합물 배출량 추이(kg/yr)	193
<그림 IV.2-14> 시멘트 분쇄공정	194
<그림 IV.2-15> 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량 추이(kg/yr)	195
<그림 IV.2-16> 혼합시멘트 제조공정	196
<그림 IV.2-17> 혼합시멘트 제조공정의 미세먼지 배출량	197
<그림 IV.2-18> 초미세먼지(PM _{2.5})의 생성과정의 개요	198
<그림 IV.2-19> 2차 초미세먼지(PM _{2.5})의 생성과정	199
<그림 IV.2-20> 연도별 2차 생성 초미세먼지의 발생량 비교	204
<그림 IV.2-21> 오염물질별 2차 생성 초미세먼지(PM _{2.5}) 발생량의 비율	204
<그림 IV.3- 1> 고려시멘트 장성공장 주변 측정지점	205
<그림 IV.3- 2> 고려시멘트 공장 주변 PM ₁₀ 의 농도	206
<그림 IV.3- 3> 고려시멘트 공장 주변 PM _{2.5} 의 농도	207
<그림 IV.3- 4> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 미세먼지(PM ₁₀) 농도	208
<그림 IV.3- 5> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 초미세먼지(PM _{2.5}) 농도	208
<그림 IV.3- 6> 고려시멘트 공장 주변의 크롬(Cr ⁶)의 농도	209
<그림 IV.3- 7> 고려시멘트 공장 주변의 납(Pb)의 농도	210
<그림 IV.3- 8> 고려시멘트 공장 주변의 알루미늄(Al)의 농도	210
<그림 IV.3- 9> 고려시멘트 장성공장 주변의 철(Fe)의 농도	211
<그림 IV.3-10> 고려시멘트 장성공장 주변의 규산(SiO ₂) 농도	211
<그림 IV.3-11> 고려시멘트 공장 주변의 Group 2A 농도	215
<그림 IV.3-12> 고려시멘트 공장 주변의 Group 2B 농도	215
<그림 IV.3-13> Group 2A의 측정소별 농도 비교	216
<그림 IV.3-14> 2지역 토양오염실태조사 결과	218

<그림 IV.3-15> 2지역 토양오염실태조사 결과	219
<그림 IV.3-16> 2지역 토양오염실태조사 결과(톨루엔, TPH)	219
<그림 IV.3-17> 고려시멘트 소성로시설과 민감·취약시설	224
<그림 IV.3-18> 용도지역별 고형연료 사용량 현황	225
<그림 IV.4- 1> 정적인 대기안정도	226
<그림 IV.4- 2> 대기안정도와 대기오염물질 확산	227
<그림 IV.3- 3> 굴뚝의 높이와 주변 건물과의 관계	230

I 과업의 개요



1. 배경 및 목적
2. 범위 및 내용
3. 추진체제

1.1 배경

시멘트 사업장

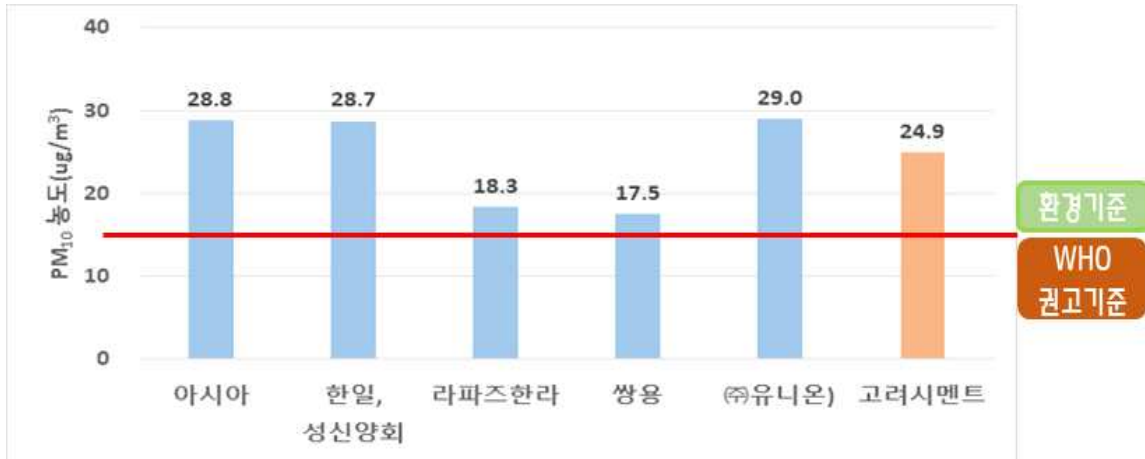
- 장성군에 위치한 고려시멘트 공장은 1962년 12월 전남 장성군 장성읍에 서울 시멘트제조(주)로부터 출발하였으며, 1969년에는 차관도입 승인을 받아 시멘트 생산시설을 확충하였음
- 1970년에 고려시멘트제조(주)로 상호변경과 함께 1973년 당시로서는 국내 최대 규모의 소성로 완성
 - 1995년에서 2002년까지 법정관리
 - 2004년 유진그룹이 인수하였으며, 2012년에 강동레미콘으로 운영권이 변경
- 고려시멘트의 연간 생산량(2019년 기준)은 포틀랜드시멘트 86만톤, 슬래그 시멘트 140만톤, 플라이애시 20만톤, 레미콘 300만^m으로 국내에서 생산규모가 가장 작은 것으로 조사되었음
- 시멘트 공장과 석회석 광산의 분진과 관련하여 1970년대 공장의 초기 가동 당시부터 피해 보상과 공장 이전을 요구하는 주민들의 민원이 지속적으로 제기되고 있는 상황임

석회석 광산

- 우리나라의 석회석은 주로 강원도 일대와 충청북도 지역에 분포하고 있으며, 대부분의 석회석은 고생대 Cambrian으로부터 Ordovician에 이르는 조선계 대석회암통에 속하고 이들 암석의 분포지가 석회석의 주요 분포지가 되고 있음
 - 석회석은 CaCO₃로 구성된 퇴적암으로 결정형태에 따라 방해석(Calcite), 아라고나이트(Aragonite), 바테라이트(Vaterite)로 구분되며, 대부분의 칼슘은 탄산칼슘 형태로 출현되고 있음

□ 시멘트 사업장 주변의 미세먼지 현황

- 국내 시멘트 제조사업장 주변의 미세먼지 농도는 전국에서 비교적 높은 수준이며, 대기환경기준과 세계보건기구(WHO)권고 수준에는 크게 미치지 못하는 상황으로 체계적인 미세먼지 관리대책 마련이 필요



자료출처 : 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr/>), 재구성

[그림 1.1- 1] 국내 시멘트 제조사업장 주변의 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 현황

1.2 목적

- 본 연구의 목적은, 전남 장성군에 위치한 시멘트 제조 사업장과 석회석 광산에서 배출되는 대기환경 오염물질 및 배출량 산정
- 시멘트 제조사업장에서 사용하고 있는 보조원료와 보조연료의 연도별 반입량과 자료에 대한 신뢰성 검토
- 대기환경 오염물질이 주변지역에 미치는 영향조사
- 조사결과를 바탕으로 환경오염을 예방하고, 피해를 최소화할 수 있는 대책 방안 수립
- 또한, 시멘트 제조사업장과 석회석 광산 주변 지역사회에서 제기되고 있는 문제들을 합리적으로 관리하는데 필요한 기초 자료를 제공함

2

범위 및 내용

2.1 과업 범위

기간

- 과업 기간 : 2021. 5. ~ 2021. 11.

공간적 범위

- 시멘트 사업장 주변 및 장성군 일원

내용적 범위

- 시멘트 사업장 및 광산 현황조사
- 시멘트 사업장에 사용되는 폐자원 조사
- 시멘트 소성로와 대기오염물질 현황조사
- 대기오염물질이 주변지역에 미치는 영향조사
- 대기오염물질의 효율적인 관리방안 제시



[그림 1.2- 1] 과업 대상지역

2.2 세부내용

지역현황

- 지형 및 자연환경
- 인구 및 사회환경
- 산업 및 경제현황

시멘트 사업장의 현황

- 시멘트 제조 사업장
- 석회광산
- 시멘트 제조공정

시멘트 산업과 폐자원

- 시멘트의 원료 및 연료
- 대기오염물질 발생 현황
- 대기오염물질 제어
- 미세먼지 및 대기오염물질 관련 국내 법규 및 규정

사업장 현황조사

- 사업장의 현황조사
- 주변지역에 미치는 영향조사

미세먼지의 효율적인 관리방안 제시

- 석회석 광산의 복구현황 및 대안
- 시멘트 공장의 이전 및 활용방안

2.3 방법

문헌고찰

- 시멘트 제조사업장 관련 기존 연구자료 분석 및 정리
- 미세먼지 관련 선행연구 고찰

3

추진체계

- 시멘트 제조사업장에서 배출되는 대기오염물질의 분석, 배출량 산정, 폐자원의 반입량, 주변지역에 미치는 영향, 저감대책 수립 등 기초 연구
- 대기오염물질의 영향에 기여하는 일반현황 및 영향인자 조사
- 장성군 대기측정망 자료 분석
- 시멘트 제조사업장의 공정별 배출량 산정
- 대기오염물질 배출량(CAPSS) 자료, 고려시멘트 배출량 자료 분석 및 비교 검토
- 고려시멘트에서 부원료·연료로 사용되고 있는 폐자원 반입량 검토
- 시멘트 제조사업장 주변에 미치는 영향조사
- 저감대책 및 지원대책



[그림 1.3- 1] 과업의 흐름도

II 『엘로시티 장성』 지역현황



1. 지역현황 및 특성
 2. 장성군 대기환경 현황
-

1

지역 현황 및 특성

1.1 자연환경 현황

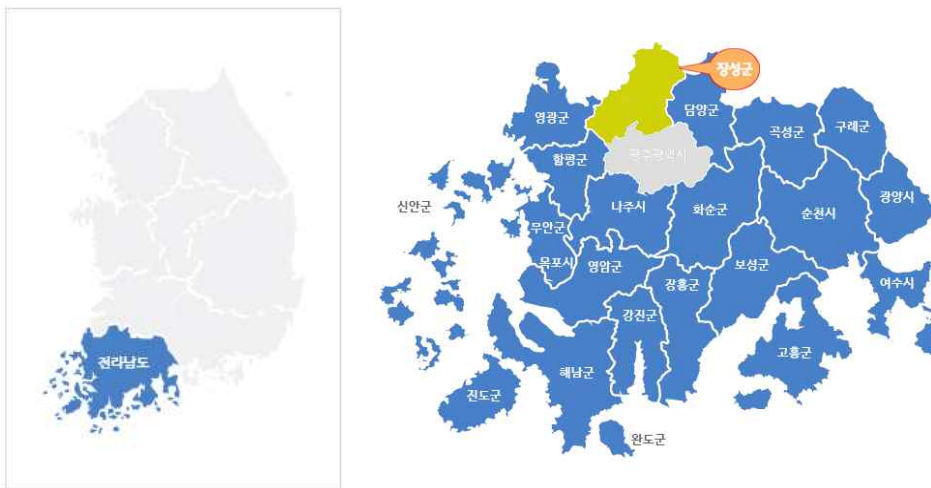
1.1.1 위치

- 장성군은 전남의 북단에 위치하며, 노령산맥을 경계로 전북과 경계를 이루고 서남부 지역에 구릉성산지가 분포하며, 황룡강, 고막원천, 풍영정천 등의 하천을 중심으로 소규모 평야지대가 발달해 있음
- 장성군은 호남고속도로, 호남선(KTX 경유), 국도 1호선, 국도 24호선 등이 통과하는 교통의 결절점에 있어 지역 내외적으로 양호한 교통 네트워크를 구축하고 있음

<표 II.1- 1> 장성군 위치

소재지	극단	경도와 위도		연장거리
		지명	극점	
장성을 영천로 200	동단	북하면 대흥리	동경 126° 55'	동서간 20.0km
	서단	삼서면 학성리	동경 126° 35'	
	남단	삼서면 석마리	북위 35° 11'	남북간 36.0km
	북단	북하면 신성리	북위 35° 29'	

자료출처 : 장성군 홈페이지(www.jangseong.go.kr)



자료출처 : 장성군 홈페이지(www.jangseong.go.kr)

<그림 II.1- 1> 장성군의 지리적 위치

○ 행정구역 면적은 518.4km²에 달하여 1개 읍, 10개 면으로 구성됨

<표 II.1- 2> 장성군 행정구역 현황

군	읍	면	행정리	법정리
1	1	10	292	120

자료출처 : 장성군 홈페이지(www.jangseong.go.kr)

<표 II.1- 3> 장성군의 행정구역 및 면적



자료출처 : 장성군 홈페이지(www.jangseong.go.kr)

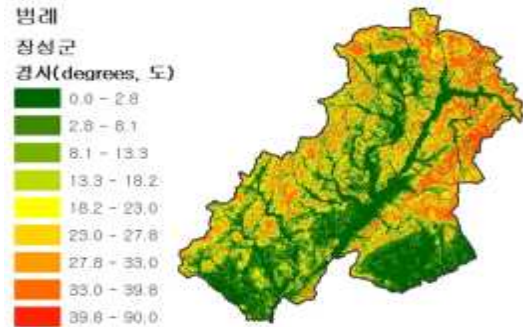
1.1.2 지형 및 지질

□ 지형 및 지세

- 백두대간 호남정맥의 서쪽 기맥인 노령과 병풍산 줄기가 병풍을 치고 있는 장성군은 영산강유역에서 가장 유로가 긴 황룡강을 비롯하여 고막원천, 풍영정천, 진원천의 상류지역에 있음. 따라서 산기(山氣)와 수세가 최상인 산지와 수려한 고을임
- 대체로 산지의 경사는 심하며, 완경사나 평탄지는 노령산맥 지맥의 각 분수령을 따라 좁고 길게 형성되어 있으며, 진원면과 남면은 지형·지세 특성상 생활권이 장성읍과 분리되는 경향이 있음

- 고도별 면적을 살펴보면 100m 이하가 4할 정도이고 최저 고도는 30m로 삼서면 석마리 옥산 앞들이며, 100m~300m 고도가 절반에 가깝고 300m 이상의 고지대는 1할쯤 되는데, 최고 고도는 822m인 병풍산임

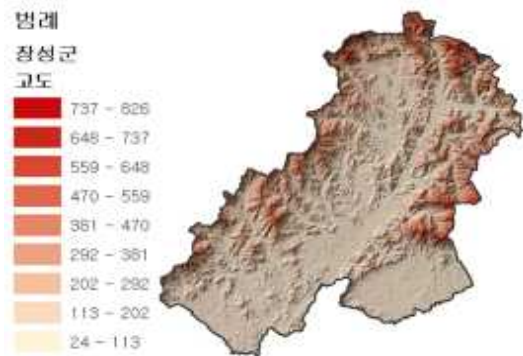
구분(도)	면적(km ²)	구성비(%)
0.0~2.8	132.2	25.5
2.8~8.1	128.3	24.7
8.1~13.3	103.8	20.0
13.3~18.2	76.9	14.8
18.2~23.0	47.7	9.2
23.0~27.8	21.3	4.1
27.8~33.0	7.4	1.4
33.0~39.8	0.8	0.2
39.8~90.0	0.1	0.0
계	518.5	100.0



자료출처 : 장성군 환경보전중기종합계획, 2018

[그림 II.1- 2] 장성군의 표고분석도

구분(m)	면적(km ²)	구성비(%)
24~113	225.0	43.4
113~202	135.9	26.2
202~292	72.6	14.0
292~381	44.9	8.7
381~470	23.3	4.5
470~559	11.0	2.1
559~648	4.6	0.9
648~737	1.1	0.2
737~826	0.1	0.0
계	518.5	100.0

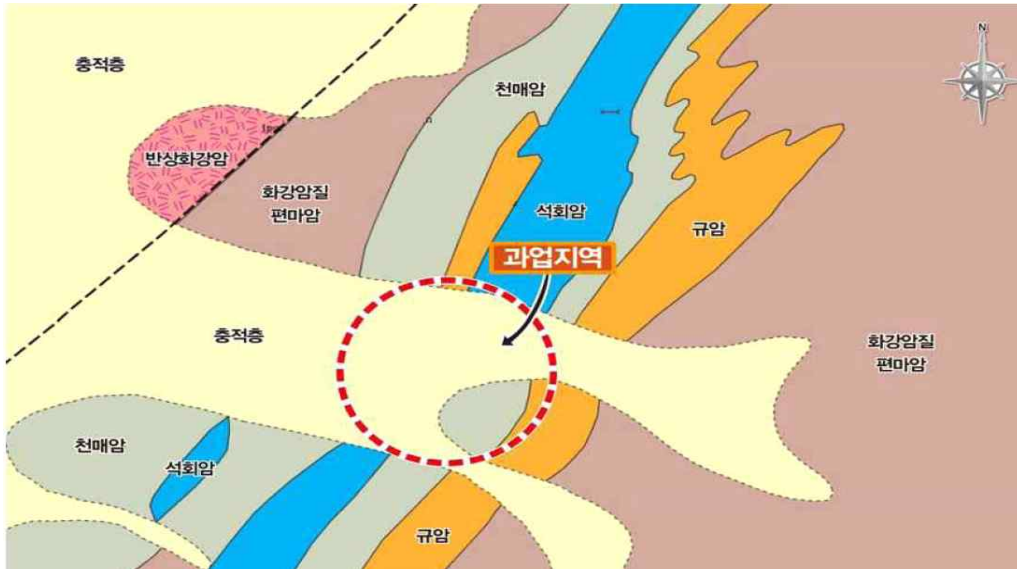


자료출처 : 장성군 환경보전중기종합계획, 2018

[그림 II.1- 3] 장성군의 경사분석도

□ 지질 및 토양

- 장성군의 지질은 시대 미상의 편암류가 기반암으로 분포하고 있으며, 편암류에는 흑색 천매암, 석회암, 회녹색 편암 등이 포함되어 있음
- 석회암은 대부분 회색 또는 암회색이 가장 우세하고 부분적으로 백색 또는 회백색도 띄는 결정질로 구성되어 있으며, 구성광물 조성비(%)는 방해석(69.7), 석영(5.3), 사장석(3.5), 투각섬석(3.2), 견운모(10.1), 녹염석(7.8), 기타 등으로 되어있음



자료출처 : 한국암반공학회, 장성군 와룡리 일원 호남고속철도 안정성 검토 용역, 2018
 [그림 II.1- 4] 고려시멘트 주변의 지질 분포도

1.1.3 수계

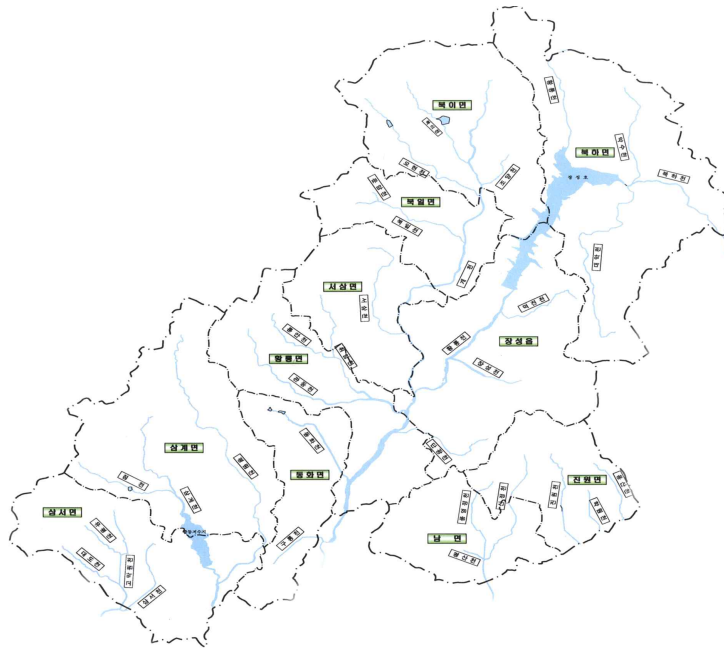
- 장성의 수계는 크게 4개로 나누어 볼 수 있으며, 수련산 능선을 기준으로 하여 동편 지역인 백암산, 입암산, 방장산, 축령산의 남쪽 계곡과 병풍산, 불태산의 북쪽 계곡의 물은 모두 황룡강으로 흐름
- 수련산 서편의 삼계물은 합동저수지를 거쳐 평림천으로 모여 광주 송정리와 본량의 송산교 염해평에서 황룡강에 합류됨. 삼서의 태청산 물은 고막원천으로 진원과 남면의 셋강은 극락강에 합류되어 결국 장성에서 흘러간 물은 영산강에 합류함

<표 II.1- 4> 장성군 하천현황

(Unit : 개소, km, %)

하천종류별	하천수 (개소)	총연장 (km)	요개수 (km)			
	소계	소계	소계	기개수	미개수	개수율 (%)
합계	33	204.71	413.0	368.9	44.1	89.3
국가하천	-	-	-	-	-	-
지방하천	33	204.71	413.0	368.9	44.1	89.3

자료출처 : 장성군, 장성통계연보, 2020



[그림 II.1- 5] 장성군의 수계

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

1.1.4 기후

- 장성군의 기후는 우리나라 남부의 온난한 기후대에 속하며, 몬순기후의 영향으로 계절풍과 하계집중 호우의 특징을 지님
- 여름은 태평양에서 불어오는 고온다습한 남동풍이 불고, 겨울은 시베리아 대륙에서 불어오는 건조하고 한랭한 북서풍의 영향을 받음
- 2018년 평균 기온은 14.6℃이며, 평균 최고기온 19.8℃, 평균 최저기온 10.4℃로 강수량은 1,049.6mm이며 평균 상대습도는 69%로 나타남

<표 II.1- 5> 장성군의 기상 현황

(Unit : m²)

	기온 (°C)					강수량(mm)	상대습도 (%)	
	평균	평균 최고	최고극값	평균 최저	최저극값		평균	최소
2014	15.2	19.7	26.2	9.9	5.3	107.5	64.9	20.1
2015	14.6	19.8	36.2	10.4	-8.7	1,049.6	69.0	10.0
2016	15.0	20.1	37.2	10.9	-11.7	1,482.3	72.0	11.0
2017	12.8	19.2	35.4	7.5	-9.8	912.5		
2018	14.7	20.1	38.5	10.3	-11.5	1,427.9	71.0	5.0

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

1.1.5 지목별 현황

- 장성군의 2018년도 토지 지목별 현황을 살펴보면, 전체 면적에서 임야가 61.2%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 답 15.2%, 전 6.7%, 대지가 2.2%의 면적을 차지하고 있음

<표 II.1- 6> 지목별 토지이용 현황

(Unit : km²)

	합 계	전	답	과수원	목장용지	임야	대지	구거	잡종지	기타
장성군	518.4	34.7	78.9	2.8	1.4	317.2	11.5	12.2	8.1	51.66

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

1.1.6 도시계획

- 장성군의 도시계획 지정 현황은 총 108.6km² 중 녹지지역이 전체 면적의 90.0%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 주거지역이 7.5%, 공업지역이 1.9%이며, 상업지역이 0.6%로 낮은 비율을 차지하고 있음

<표 II.1- 7> 장성군 도시계획 현황

(Unit : km²)

	합 계	주거지역	상업지역	공업지역	녹지지역	미지정
장성군	108.6	8.1	0.7	2.1	97.7	-

자료출처 : 장성군, 장성통계연보, 2020

1.1.7 산림 및 공원 현황

□ 산림현황

- 2018년 기준 장성군의 전체 산림면적은 31,790ha, 국유림 5,305ha, 공유림 624ha, 사유림 25,861ha로 조사되었음

<표 II.1- 8> 산림면적 현황

(Unit : ha)

구 분	전체면적	국유림	공유림	사유림
장성군	31,790	5,305	624	25,861
장성읍	4,627	331	25	4,271
황룡면	2,738	868	35	1,835

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

<표 II.1- 9> 임상별 산림면적

(Unit : ha)

	계	입목지				무입목지
		침엽수림	활엽수림	혼효림	죽림	
장성군	31,789	21,405	6,014	3,616	135	619
장성읍	4,626	3,157	885	475	12	97
황룡면	2,738	1,836	552	286	8	56

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

□ 공원현황

- 2018년 기준 공원 결정 현황 39개소 중 어린이공원이 22개소로 가장 많이 차지하고 있으며, 그 다음으로 근린공원, 체육공원, 소공원 순임
- 내장산 국립공원이 있으며, 면적은 33,818.4천m²임

<표 II.1-10> 공원현황

[Unit : 개소, 천m²]

연도별	총계		도시공원								자연공원	
			어린이공원		소공원		근린공원		체육공원		국립공원	
	개소	면적	개소	면적	개소	면적	개소	면적	개소	면적	개소	면적
장성군	39	34,755.4	22	47.3	1	444.5	13	422.5	2	22.7	1	33,818.4
장성읍	12	168.8	8	13.9	-	-	4	154.9	-	-	-	-
황룡면	2	12.7	1	1.5	-	-	1	11.2	-	-	-	-

자료출처 : 장성군 제59회 장성통계연보, 장성군, 2020

1.2 인문사회환경 현황

1.2.1 인구 및 가구

□ 총 인구변화

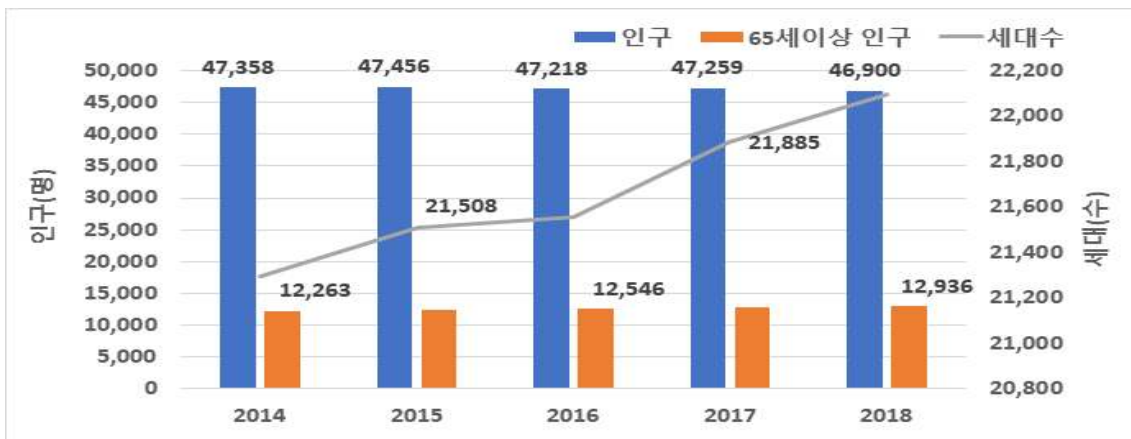
- 2018년 기준 장성군에는 총 22,095세대, 46,900명이 거주하고 있으며, 세대당 인구는 2.12명임
- 장성군은 최근 5년간, 세대 수는 2012년 이후 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 인구수는 지속적인 감소 추세를 보이다가, 큰 변화 없이 46,900명 내외를 유지하고 있음
- 사회적으로 빠르게 진행되는 고령화 현상에 따라, 장성군 역시 65세 이상 고령자 수는 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있음

<표 II.1-11> 장성군의 인구, 세대수, 65세 이상 인구수 변화 추이

(Unit : 세대, 명, 인/km²)

	세대	인구(명)			세대당 인구(명)	65세 이상 인구(명)	인구밀도(인/km ²)
		계	남	여			
2014	21,292	47,358	24,033	23,325	2.2	12,263	89.3
2015	21,508	47,456	24,082	23,374	2.0	12,445	91.5
2016	21,557	47,218	23,974	23,244	2.2	12,546	91.0
2017	21,885	47,259	24,023	23,236	2.18	12,805	91.1
2018	22,095	46,900	23,906	22,994	2.12	12,936	90.4

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020



[그림 II.1- 6] 장성군의 인구, 세대수, 65세 이상 인구수 변화 추이

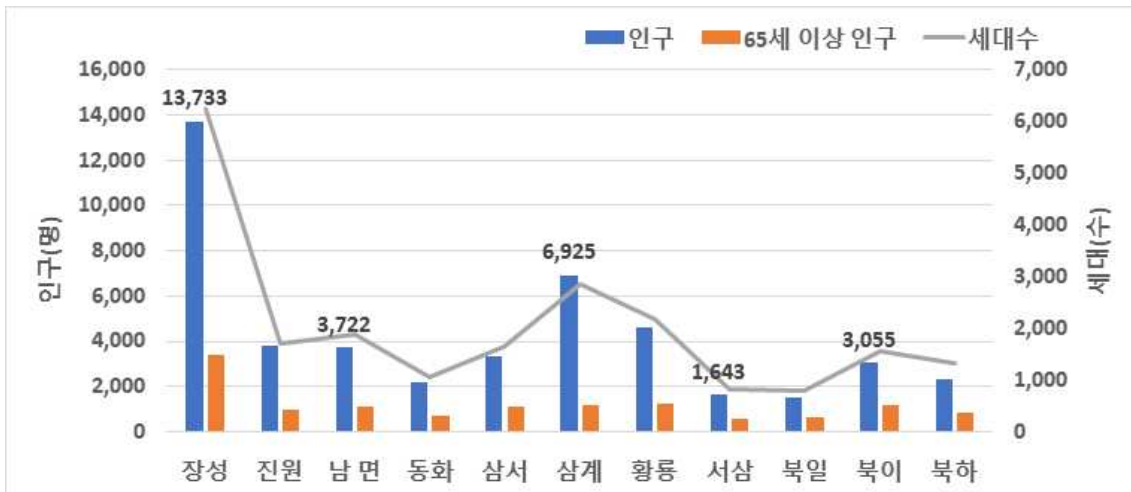
자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

<표 II.1-12> 장성군의 읍·면 인구현황(2019)

(Unit : 명, %)

	세대수		총인구			65세 이상
	세대	구성비(%)	합 계	남	여	
장성군	22,095	100.0	46,900	23,906	22,994	12,936
장성읍	6,237	28.1	13,733	6,791	6,942	3,420
진원면	1,713	7.1	3,809	1,923	1,886	1,007
남 면	1,891	8.1	3,722	1,953	1,769	1,119
동화면	1,048	4.8	2,218	1,247	971	704
삼서면	1,662	7.7	3,322	1,709	1,613	1,102
삼계면	2,857	13.2	6,925	3,585	3,340	1,153
황룡면	2,178	9.9	4,608	2,374	2,234	1,219
서삼면	836	3.9	1,643	847	796	541
북일면	797	3.7	1,530	764	766	619
북이면	1,547	7.3	3,055	1,530	1,525	1,191
북하면	1,329	6.3	2,335	1,183	1,152	861

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020



[그림 II.1- 7] 읍면별 세대수 및 인구(2018)

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

□ 읍면별 취약계층

- 장성군의 2018년 12월 기준 읍·면별 15세미만 인구를 비교분석결과 4,867명 (10.6%), 65세 이상 고령자는 12,936명(28.2%)으로 나타남
- 장성군의 노령화비율을 살펴보면, 장성군 전체 평균 노령화 비율은 265.8%로 조사되었음

<표 II.1-13> 장성군 취약계층 조사(외국인 제외)

(Unit : 명, %)

	총인구수	15세 미만 인구(명)	65세 이상의 고령자(명)	노령화지수(%)
장성군	45,795	4,867	12,936	-
비율(%)	-	10.6	28.2	265.8

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

□ 기초생활수급자 현황

- 2018년 기준 장성군의 기초생활수급자는 총 2,307명으로 조사되었으며, 최근 5년간 추세로 볼 때 감소하다가 다시 증가하는 추세를 나타내고 있음

<표 II.1-14> 장성군 기초수급자 변화추이

(Unit : 명)

	장성군 총 수급자	일반수급자	특례수급자	시설수급자
2014	2,524	2,066	95	365
2015	2,754	2,324	81	349
2016	2,512	2,113	65	334
2017	2,170	1,833	37	300
2018	2,307	1,965	23	319

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

1.2.2 산업

□ 종사자규모별 사업체수

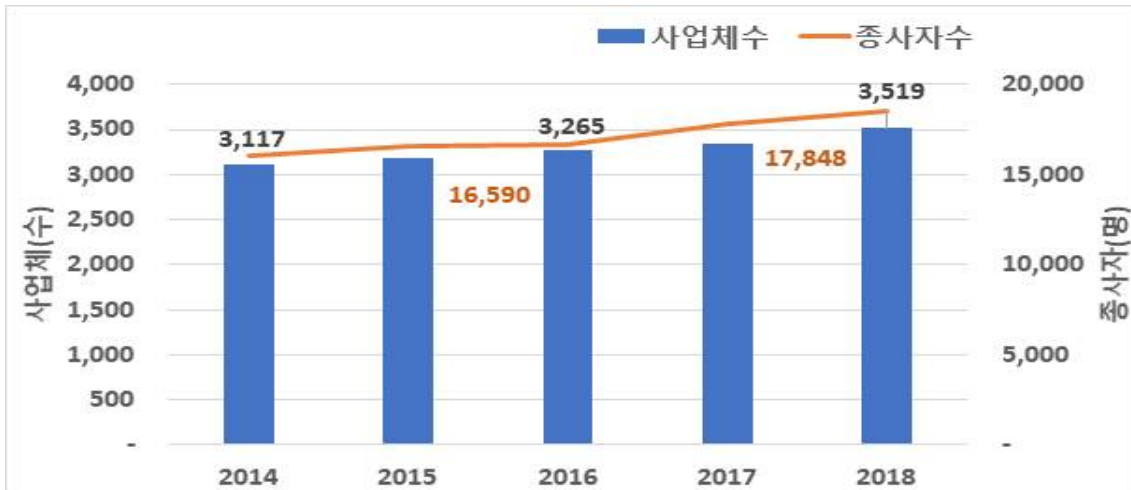
- 장성군의 사업체수는 2018년 기준 3,519개, 종업자수는 18,494명임
- 장성군의 사업체수와 종사자수는 모두 증가하는 추세임

<표Ⅱ.1-15> 장성군 사업체 및 종사자 수

(Unit : 명, 개수)

	2014	2015	2016	2017	2018
사업체수	3,117	3,184	3,265	3,347	3,519
종사자수	16,040	16,590	16,700	17,848	18,494

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020



[그림Ⅲ.1- 8] 읍면별 세대수 및 인구(2018)

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

□ 업종별 지역내총생산(GRDP)

- 장성군의 지역내총생산(시장가격)액은 2018년 기준 1,791,993백만원이며, 지속적으로 증가하는 추세임
- 장성군의 2018년 기준 산업별로는 공공 행정, 국방 및 사회보장 행정(29.71%), 제조업(28.86%), 농업, 임업 및 어업(6.58%), 건설업(6.25%)을 제외한 모든 업종이 각각 5% 미만의 비중을 차지하고 있으며, 광업, 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업, 정보통신업의 비중이 1%이하로 가장 낮음

<표 II.1-16> 장성군 산업별 총생산(GRDP)

(Unit : 백만원)

산업별	2016년 당해년 가격	2017년 당해년 가격	2018년 당해년 가격
지역내총생산	1,700,150	1,765,692	1,791,993
순생산물세	106,642	106,353	99,258
총부가가치(기초가격)	1,593,508	1,659,339	1,692,735
농업, 임업 및 어업	155,588	116,593	111,351
광업	5,451	7,686	1,366
제조업	455,107	476,900	488,497
전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업	10,188	9,091	5,761
건설업	117,335	115,758	105,581
도매 및 소매업	46,095	48,314	52,137
운수 및 창고업	64,951	64,594	62,854
숙박 및 음식점업	13,142	16,015	17,349
정보통신업	16,691	16,954	16,640
금융 및 보험업	30,969	29,945	34,461
부동산업	50,930	62,428	59,947
사업서비스업	25,142	41,571	43,295
공공 행정, 국방 및 사회보장 행정	430,551	468,239	502,978
교육 서비스업	59,206	63,245	65,107
보건업 및 사회복지 서비스업	36,412	46,840	43,551
문화 및 기타서비스업	75,751	75,165	81,858

자료출처 : 장성군, 제59회 장성통계연보, 2020

1.2.3 도로 및 교통

일반도로 현황

- 총 도로연장 길이는 2018년도 기준 399.7km로 2014년과 동일함
- 고속도로를 제외한 도로 포장률은 85.7% 수준임

<표 II.1-17> 도로 현황

(Unit : km, %)

구분	합 계				고속도로 (km)
	연장	포장률(%)			
		포장(km)	포장률(%)	미포장(km)	
2014	399.7	342.9	85.7	56.8	49.7
2015	399.7	342.9	85.7	56.8	49.7
2016	399.7	342.9	85.7	56.8	49.7
2017	399.7	342.9	85.7	56.8	49.7
2018	399.7	342.9	85.7	56.8	49.7

자료출처 : 장성군 제58회 장성통계연보, 장성군, 2019

고속도로 현황

- 장성군을 통과하는 고속도로는 2개 노선이 있음
- 남북방향의 호남고속도로, 동서방향의 담양-고창고속도로가 통과하고 있음

<표 II.1-18> 고속도로 노선현황

(단위 : km)

고속도로	기종점	연장(km)
호남고속도로	순천 - 천안	194.2
고창담양고속도로	고창 고수 - 담양 대덕	42.5

자료출처 : 한국도로공사

1.2.4 환경

□ 대기

- 2018년 장성군 대기오염 배출사업장을 살펴보면, 총 146개소로 1종 3개소, 2종 6개소, 3종 2개소, 4종 43개소, 5종 92개소, 그리고 소음진동 106개소로 조사되었음
- 대기배출오염물질 강도가 높은 1, 2종 사업장이 9개소로 조사되었음

<표 II.1-19> 대기오염물질 배출사업장 현황

(Unit : 개소)

년도	대기(가스, 먼지, 매연, 악취)						소음 진동
	계	1종	2종	3종	4종	5종	
2018	146	3	6	2	43	92	106

자료출처 : 장성군 통계연보, 2019,

□ 수질

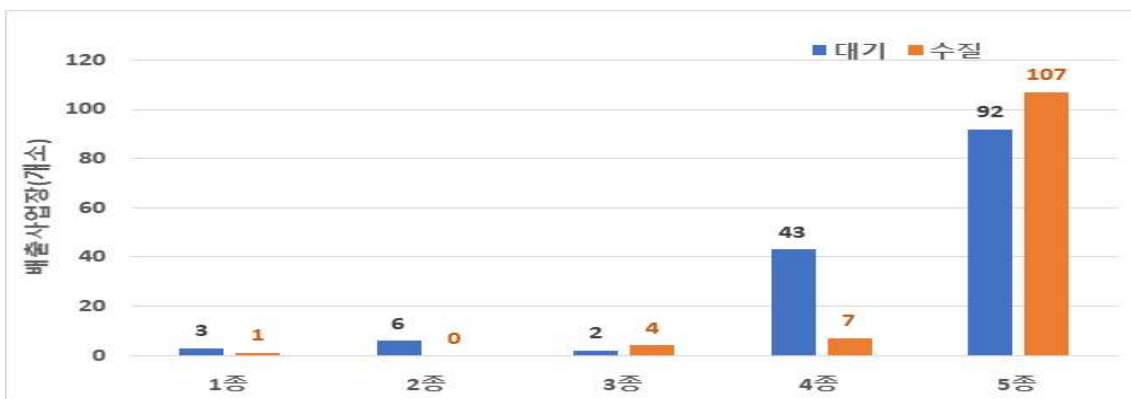
- 2018년 장성군 수질오염 배출사업장을 살펴보면, 1종 1개소, 3종 4개소, 4종 7개소, 5종 107개소, 총 119개소로 조사되었음

<표 II.1-20> 수질 배출사업장 현황

(Unit : 개수)

년도	수질(폐수)					
	계	1종	2종	3종	4종	5종
2018	119	1	-	4	7	107

자료출처 : 장성군 통계연보, 2019,



[그림 II.1- 9] 대기 및 수질 배출사업장 현황(2018)

2

대기환경 현황

2.1 대기오염물질 농도 현황

2.1.1 측정소 및 대기환경기준

대기환경 측정망

○ 대기 측정망 위치

장성군	장성읍	장성읍 영천로 211 (장성읍사무소)	주거	2017. 11.	도시대기
-----	-----	-------------------------	----	-----------	------

※ 2020년 12월말 기준

○ 측정항목

- SO₂, CO, O₃, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}

우리나라 대기환경기준

<표 II.2- 1> 우리나라 대기환경기준

[Unit : ppm, µg/m³]

항 목	기 준	측정방법
아황산가스(SO ₂)	연간평균치 0.02ppm 이하 24시간평균치 0.05ppm 이하 1시간평균치 0.15ppm 이하	자외선형광법 (Pulse U.V. Fluorescence Method)
일산화탄소(CO)	8시간평균치 9ppm 이하 1시간평균치 25ppm 이하	비분산적외선분석법 (Non--Dispersive Infrared Method)
이산화질소(NO ₂)	연간평균치 0.03ppm 이하 24시간평균치 0.06ppm 이하 1시간평균치 0.10ppm 이하	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
미세먼지(PM ₁₀)	연간평균치 50µg/m ³ 이하 24시간평균치 100µg/m ³ 이하	베타선흡수법 (β--Ray Absorption Method)
초미세먼지(PM _{2.5})	연간평균치 15µg/m ³ 이하 24시간평균치 35µg/m ³ 이하	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
오존(O ₃)	8시간평균치 0.06ppm 이하 1시간평균치 0.1ppm 이하	자외선광도법 (U.V Photometric Method)
납(Pb)	연간평균치 0.5µg/m ³ 이하	원자흡광광도법 (Atomic Absorption Spectrophotometry)
벤젠	연간평균치 5µg/m ³ 이하	가스크로마토그래프법 (Gas Chromatography)

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>

1.2 대기오염물질 분석

가. 초미세먼지(PM_{2.5})

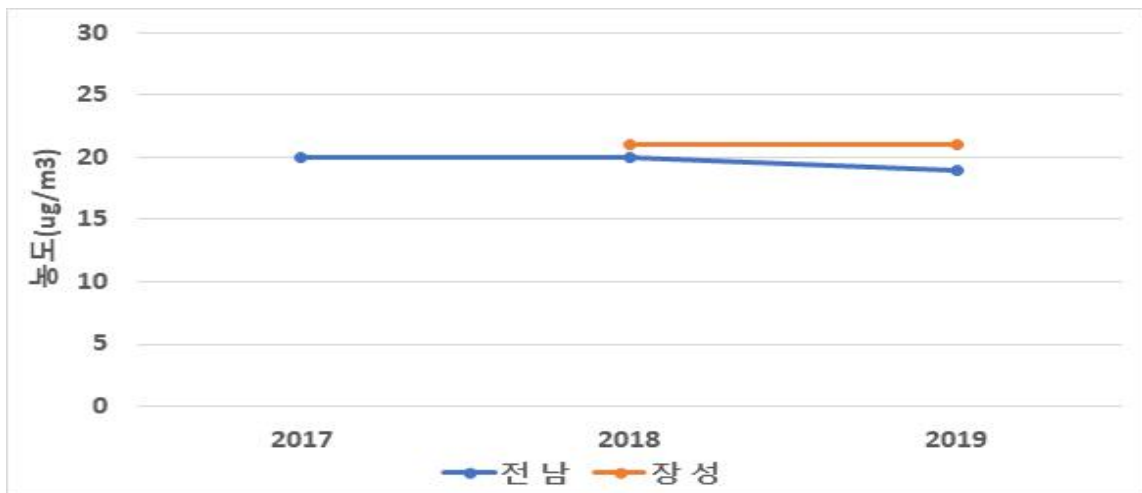
□ 연간변화

- 초미세먼지(PM_{2.5})의 인체 유독성이 대두되면서 우리나라는 2011년 환경정책 기본법에 PM_{2.5} 항목을 추가하였고 2015년 1월부터 측정하고 있음
- 전남의 평균농도는 2018년 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019년 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하고 있음
- 장성의 연평균 농도는 전남보다 약간 높은 2019년 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사됨

<표 II.2- 2> 장성군 연도별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]			
	2017	2018	2019
전 남	20	20	19
장 성	-	21	21

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 1] 장성군 연도별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화

□ 월별변화

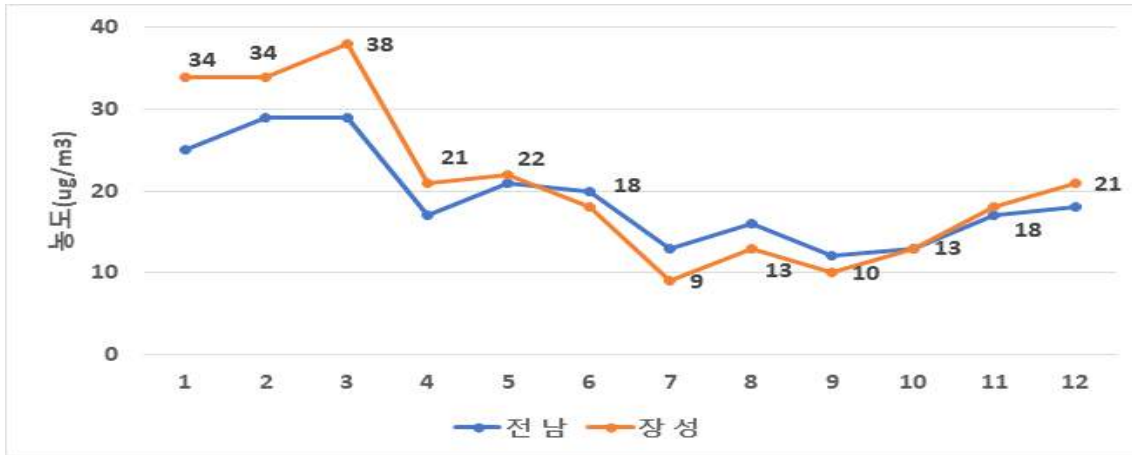
- 2019년도 월별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화를 나타낸 것이며, 1월부터 3월까지 높은 농도를 나타내며, 이는 황사발생일(4월 2회, 5월 2회, 10월 3회, 11월 6회)의 영향에 의한 것으로 조사되었음
- 여름철(7, 8월)의 낮은 농도는 장마, 비에 의한 세정작용의 영향으로 예상됨

<표 II.2- 3> 장성군 월별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화(2019)

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
전 남	25	29	29	17	21	20	13	16	12	13	17	18	19
장 성	34	34	38	21	22	18	9	13	10	13	18	21	21

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 2] 전남지역 월별 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화

□ 환경기준 초과 현황

- 전남 도내 대기오염측정소에서 대기환경기준 24시간 평균값($35\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 286회 초과하였으며, 월별 기준 초과현황을 나타낸 것임
- 장성군의 초과횟수는 1~3월 사이에 많았고, 6~10월까지의 초과횟수는 발생되지 않았음
 - 1~3월 사이의 발생비율이 75.0%(33회)로 장성군의 초미세먼지 환경초과 농도는 주로 겨울철에서 봄철로 넘어가는 시기에 발생되고 있음

<표 II.2- 4> 월별 초미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준($35\mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과 현황

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

측정소	24시간 평균치												
	계	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전 남	838	150	185	221	31	75	57	7	18	5	6	37	48
장 성	42	11	11	11	1	3	0	0	0	0	0	1	4

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>

나. 미세먼지(PM₁₀)

□ 연간변화

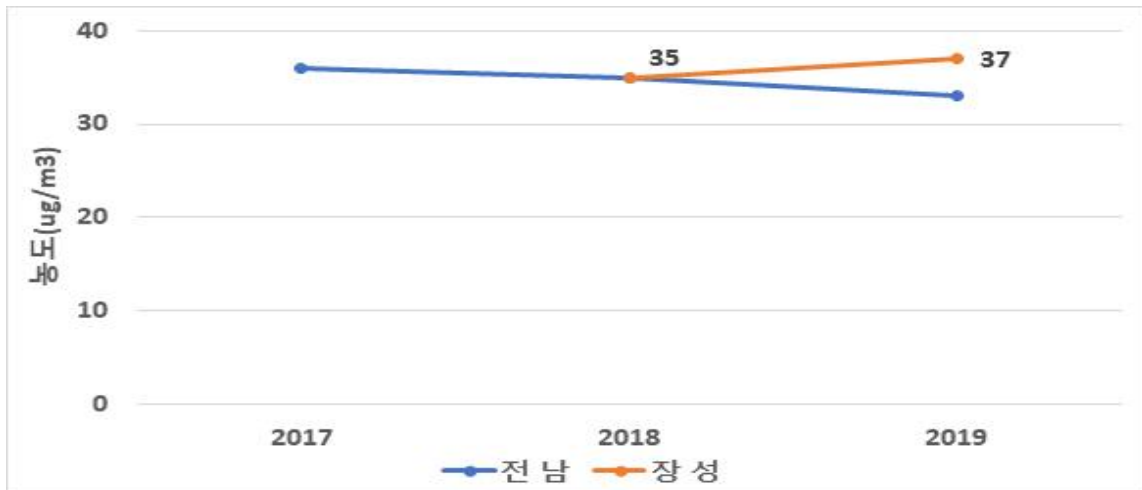
- 장성군의 연평균 PM₁₀ 농도를 나타낸 것이며, 전남의 평균농도는 감소하는 반면 장성군의 평균농도는 증가하는 추세임
- 미세먼지(PM₁₀)의 국가대기환경기준은 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 장성군의 미세먼지 농도는 국가대기환경기준을 만족하고 있음

<표 II.2- 5> 장성군 연도별 미세먼지(PM₁₀) 농도 변화

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	2017	2018	2019
전 남	36	35	33
장 성	-	35	37

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 3] 전남지역 연도별 미세먼지(PM₁₀) 농도 변화

□ 월별변화

- 장성군의 2019년도 월별 미세먼지(PM₁₀) 농도 변화를 나타낸 것이며, 건조하고 풍속이 강하고 황사 발생이 잦은 겨울과 봄철에는 높은 농도를 보이고 있으며, 장마와 강우 발생에 따른 세정효과로 인해 여름과 가을철에 농도가 감소하고 있는 것으로 판단됨

- 월평균 미세먼지 농도는 3월에 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며, 7월, 8월, 9월에 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 평균 농도값을 나타내고 있음

<표 II.2- 6> 장성군 월별 미세먼지(PM₁₀) 농도 변화

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
전남	42	47	48	33	41	31	23	28	22	27	35	28	33
장성	50	52	58	41	45	33	20	20	21	31	39	34	37

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 4] 장성군 월별 미세먼지(PM₁₀) 농도 변화

□ 환경기준 초과 현황

- 장성군의 대기환경기준 24시간 평균치 초과현황을 나타낸 것이며, 대기오염 측정소에서 대기환경기준 24시간 평균치(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 8회 초과하였음
- 월별 대기환경기준 초과횟수는 3월 4회로 가장 많았고, 2월에 2회로 황사 발생시기(4월, 5월, 11월)와 일치하지 않아 황사가 PM₁₀의 주요인으로 판단하기에는 어려움이 있음

<표 II.2- 7> 월별 미세먼지(PM₁₀) 환경기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과 현황

[Unit : 횟수]

	24시간 초과횟수												
	계	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전 남	144	8	20	79	2	6	0	0	0	0	0	29	0
장 성	8	1	2	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>

라. 아황산가스(SO₂)

연간변화

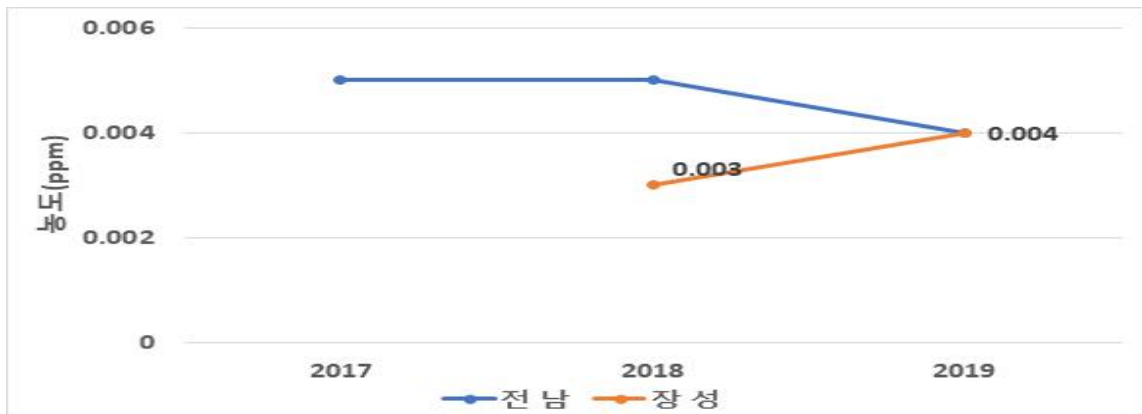
- 장성군의 연평균 SO₂ 농도를 나타낸 것이며, 국가대기환경기준을 만족함
- SO₂ 농도는 전남에서 감소하는 경향을 보이고 있으나, 장성군은 약간 증가하는 추세임

<표 11.2- 8> 장성군 연도별 아황산가스(SO₂) 농도 변화

[Unit : ppm]

	2017	2018	2019
전 남	0.005	0.005	0.004
장 성	-	0.003	0.004

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 11.2- 5] 장성군 연도별 아황산가스(SO₂) 농도 변화

월별변화

- SO₂ 농도는 난방연료 소비량이 증가하는 겨울철에 아황산가스 오염도가 상승하고, 하절기에는 난방 수요 감소와 장마 영향으로 아황산가스 농도가 감소하는 것으로 알려져 있음
- 장성군은 4월 ~ 6월 고농도를 보이고 있으며, 이것은 발생원이 난방에 기인하는 주거지역이나 상업지역과는 달리 연중 공장이 가동되는 산업단지의 특성임
- 하절기 SO₂에서 기인하는 2차 미세먼지의 발생원 관리 차원에서 장성군 SO₂의 하절기 고농도는 주의 깊은 관찰이 요구됨

<표 II.2- 9> 장성군 월별 아황산가스(SO₂) 농도 변화

[Unit : ppm]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
전남	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
장성	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.002	0.003	0.004

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 6] 장성군 월별 아황산가스(SO₂) 농도 변화

라. 이산화질소(NO₂)

□ 연간변화

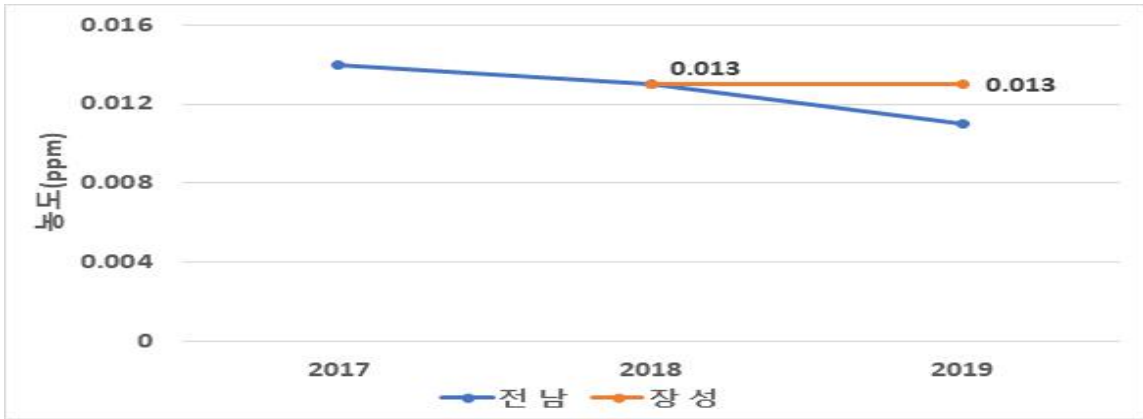
- 장성군의 연평균 NO₂ 농도를 나타낸 것이며, 측정지점에서 환경기준을 만족함을 확인할 수 있었음
- NO₂ 농도는 전남 평균농도는 매년 감소하는 경향을 보이고 있으나, 장성군의 평균 농도는 2018년 농도와 변화가 없음

<표 II.2-10> 장성군 연도별 이산화질소(NO₂) 농도 변화

[Unit : ppm]

	2017	2018	2019
전 남	0.014	0.013	0.011
장 성	-	0.013	0.013

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 7] 장성군 연도별 이산화질소(NO₂) 농도 변화

□ 월별변화

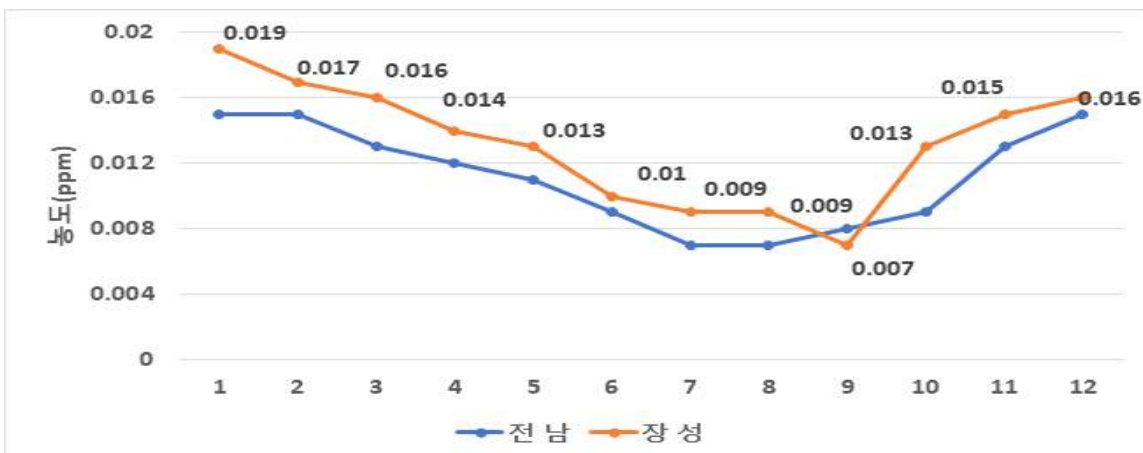
- NO₂ 농도는 난방연료 소비량이 증가하는 겨울철에 아황산가스 오염도가 상승하고, 하절기에는 난방 수요 감소와 장마 영향으로 아황산가스 농도가 감소하는 것으로 알려져 있음
- 장성군은 11월 ~ 3월 고농도를 보이고 있으며, 이것은 발생원이 난방에 기인하는 주거지역이나 상업지역에서 기인하는 것으로 판단됨

<표 II.2-11> 장성군 월별 이산화질소(NO₂) 농도 변화

[Unit : ppm]

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
전남	0.015	0.015	0.013	0.012	0.011	0.009	0.007	0.007	0.008	0.009	0.013	0.015	0.011
장성	0.019	0.017	0.016	0.014	0.013	0.010	0.009	0.009	0.007	0.013	0.015	0.016	0.013

자료출처 : 대기환경 연보, 에어코리아, <https://www.airkorea.or.kr>



[그림 II.2- 8] 장성군 월별 이산화질소(NO₂) 농도 변화

2.2 대기오염물질 배출량 현황

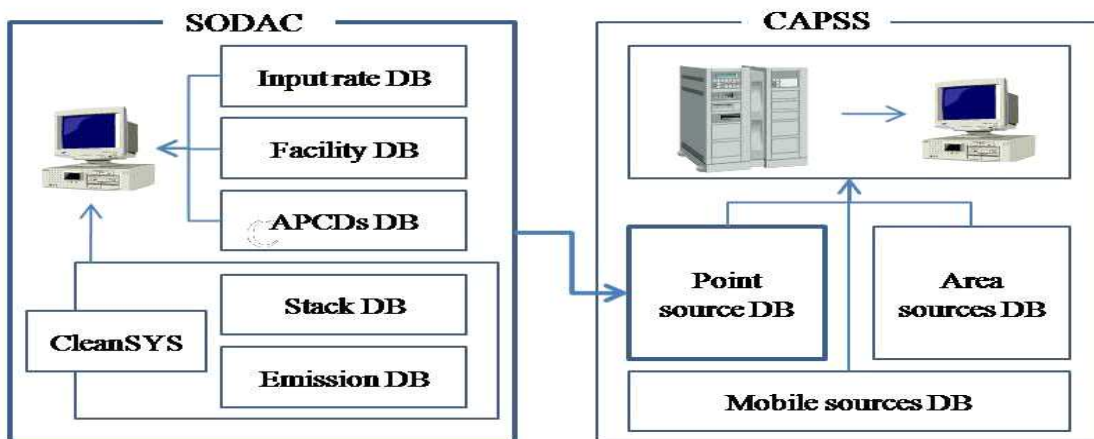
2.2.1 배출량 산정 개요

□ CAPSS의 개요

- 대기정책지원시스템(CAPSS)은 현재 국가미세먼지센터에서 대기오염물질 인벤토리 구축을 위해 고안한 시스템으로 대기질 관리 종합시스템임
- 체계적인 기초자료 수집, 관리를 통하여 국가에서 시행하는 대기관련 정책수행에 필요한 정보 및 시스템을 제공하고 배출량 관련 대국민 정보 서비스임
- 8개의 대기오염물질(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOCs, NH₃)을 대상으로 배출량을 산정하고 있으며 유럽의 CORINAIR 배출원 분류체계를 기초로 국내에 적용 가능하도록 변경하였음
- 2016년을 기준으로 대분류 12개, 중분류 58개, 소분류 308개, 세분류 578개로 구분되어 있음

□ 대기배출원관리시스템(SMES)

- 대기배출원관리시스템(Stack Emission Management System, SMES) URL, <http://sodac.nier.go.kr>
- 요청기관 : 환경부, 한국환경공단, 지자체, 정책평가연구원, 과학원, 기타 등



[그림 II.2- 9] SODAC과 CAPSS의 구조도

□ 대기오염물질 배출자료(CAPSS) 분류 체계

- 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 서비스 (<http://airemiss.nier.go.kr>) 의 대기오염물질 배출량 통계자료를 이용하여 분석하였음
- CAPSS 배출원 분류체계는 13개로 대분류되고, 각 대분류별 중분류 범주를 아래 표에 보여주고 있음

<표 II.2-12> 배출원 분류체계

SCC	배출원 대분류	배출원 중분류
10	에너지산업 연소	공공발전시설, 지역난방시설, 민간발전시설
02	비산업 연소	상업 및 공공기관시설, 주거용시설, 농업, 축산, 수산업시설
03	제조업 연소	연소시설, 공정로, 기타
04	생산공정	제철제강업, 목재, 펄프 제조업, 식음료 가공, 암모니아 소비, 기타 제조업
05	에너지수송 및 저장	휘발유 공급
06	유기용제 사용	도장시설, 세정시설, 세탁시설, 기타 유기용제사용
07	도로이동오염원	승용차, 택시, 승합차, 버스, 화물차, 특수차, RV, 이륜차
08	비도로이동오염원	철도, 선박, 항공, 농업기계, 건설장비
09	폐기물처리	폐기물소각, 기타 폐기물 처리
10	농업	비료사용농경지, 분뇨관리
11	기타 면오염원	산불 및 화재, 동물
12	비산먼지	도로재비산먼지, 건설공사, 나대지, 하역 및 야적, 농업활동, 축산활동, 폐기물처리, 비포장도로 비산먼지
13	생물성연소	노천소각, 농업잔재물 소각, 고기 및 생선구이, 목재난로 및 보일러, 아궁이, 숯가마

2.2.2 장성군 대기오염물질 배출량 분석

□ 장성군의 대기오염물질별 배출량(2015~2017년)

○ 최근 3년간(2015~2017)의 전남과 장성군의 대기오염물질별 배출량을 나타낸 것이며, 전남의 대기오염물질별 배출량은 일산화탄소(CO)와 암모니아(NH₃), 휘발성유기화합물(VOCs)를 제외하고 매년 감소하는 추세임

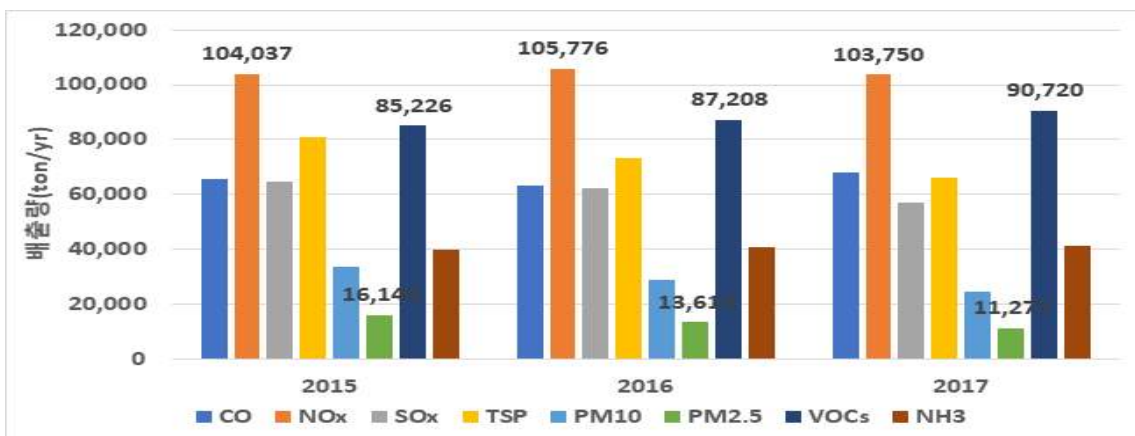
- 미세먼지(TSP, PM₁₀, PM_{2.5})의 배출량은 2015년 대비 2017년은 18.3%, 27.4%, 30.2% 각각 감소하였음

<표 II.2-13> 장성군의 연도별, 오염물질별 배출량 추이(2015~2017)

[Unit : ton/yr, %]

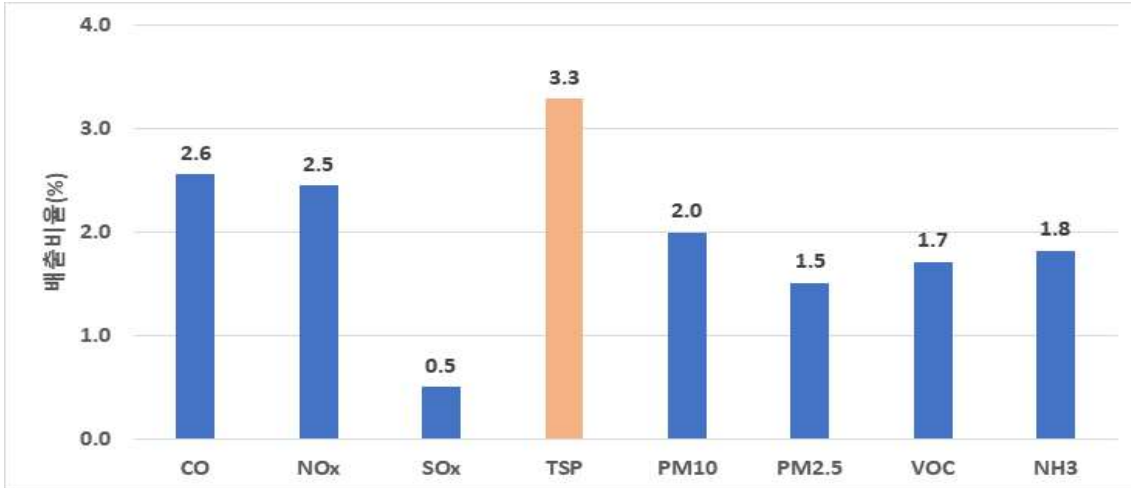
		CO	NOx	SOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOCs	NH ₃
2015	전남	65,662	104,037	64,649	80,941	33,854	16,140	85,226	39,700
	장성	1,808	2,615	383	2,093	556	216	1,190	729
	비율(%)	2.8	2.5	0.6	2.6	1.6	1.3	1.4	1.8
2016	전남	63,481	105,776	62,171	73,092	29,096	13,613	87,208	40,967
	장성	1,808	2,761	296	2,042	511	181	1,510	751
	비율(%)	2.8	2.6	0.5	2.8	1.8	1.3	1.7	1.8
2017	전남	67,863	103,750	56,844	66,103	24,593	11,272	90,720	41,491
	장성	1,739	2,545	289	2,178	493	171	1,557	757
	비율(%)	2.6	2.5	0.5	3.3	2.0	1.5	1.7	1.8

자료출처 : 국가미세먼지정보센터, 시군구별 배출원 소분류별 연료별 배출량, 2020



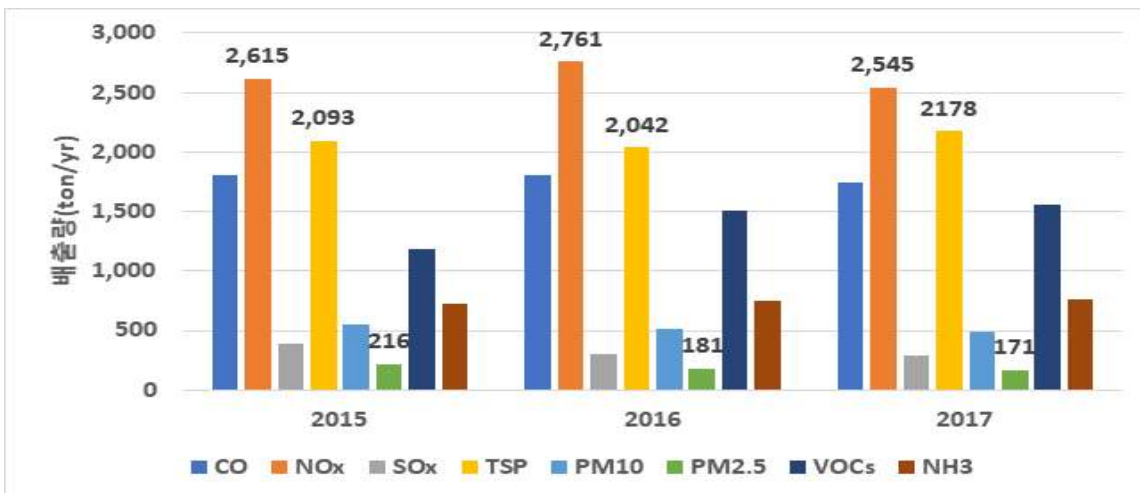
[그림 II.2-10] 전남의 대기오염물질별, 연도별 배출량 변화추이

- 2017년 기준, 장성군에서 배출되는 오염물질별 기여율은 TSP가 3.3%로 가장 높고, CO 2.6%, NOx 2.5%, PM₁₀ 2.0%, NH₃ 1.8%, VOCs 1.7%, PM_{2.5} 1.5%, SOx 0.5% 순으로 조사되었음



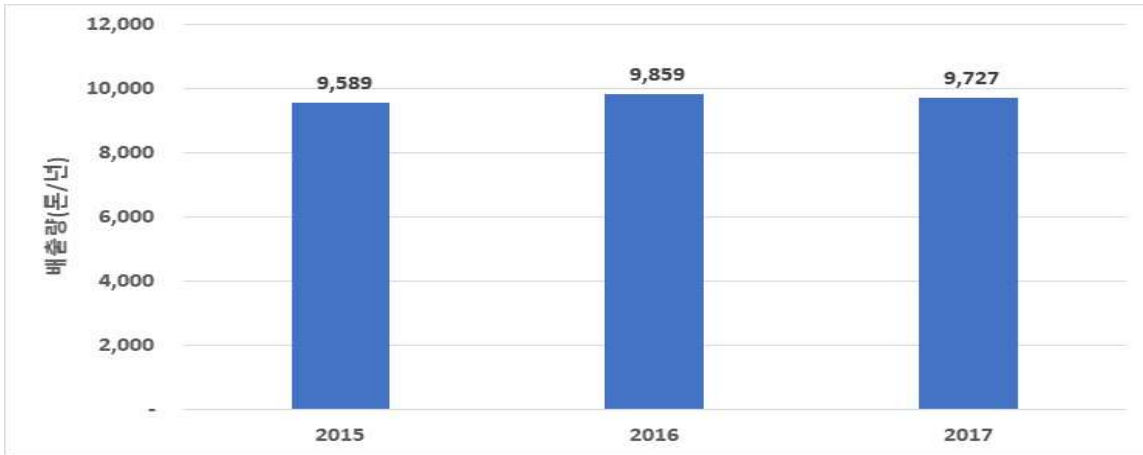
[그림 II.2-11] 장성군의 대기오염물질의 연도별, 배출원별 배출량 추이

- 장성군의 연도별 증가하는 대기오염물질은 TSP, VOCs, NH₃, 감소하는 오염물질은 CO, PM₁₀, PM_{2.5}, SOx, 증가하다가 감소하는 오염물질은 NOx로 분류할 수 있음

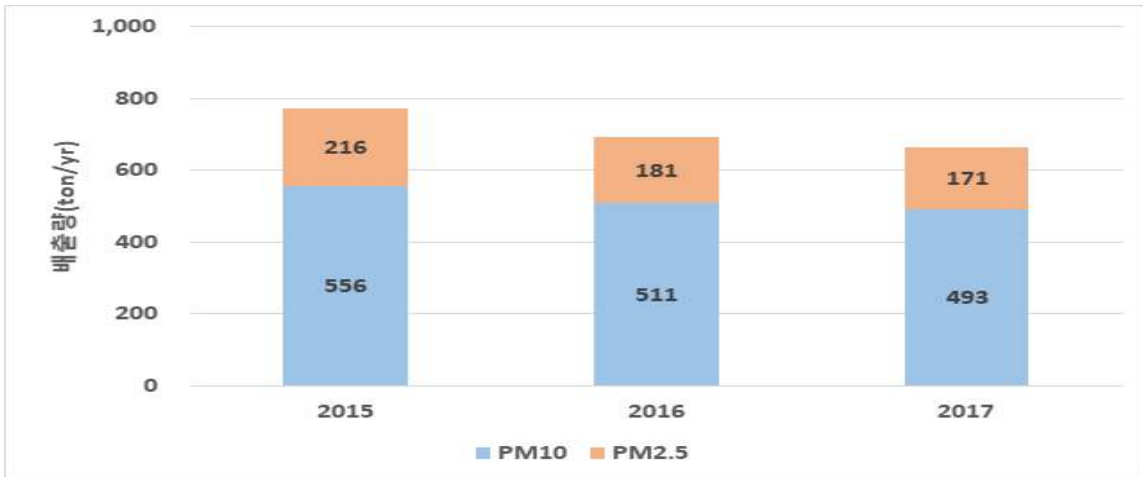


[그림 II.2-12] 장성군의 대기오염물질별, 연도별 배출량 변화추이

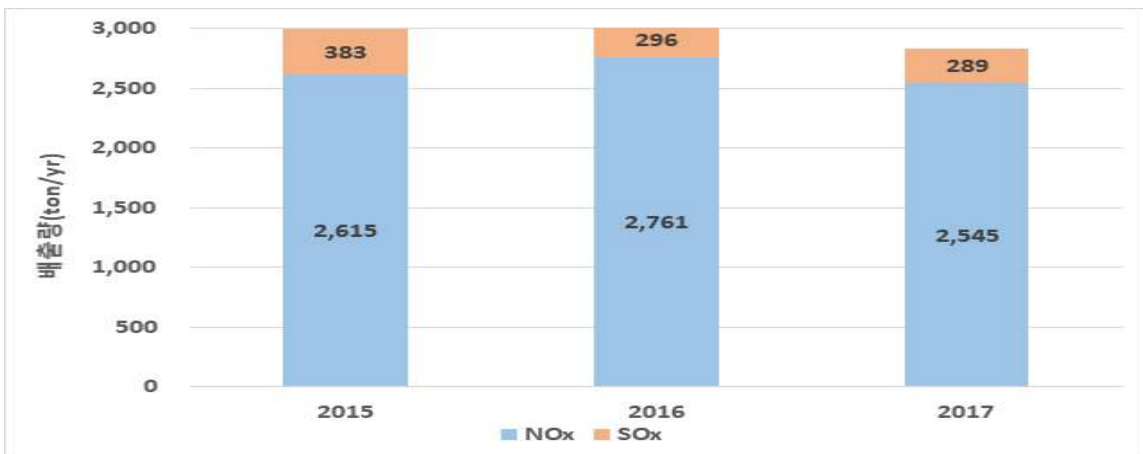
- 2017년 기준 총 대기오염물질 배출량은 9,727ton/yr이며, NOx(26.2%), TSP(22.4%), CO(17.9%), VOCs(16.0%), NH₃(7.8%), PM₁₀(5.1%), SOx(3.0%), PM_{2.5}(1.8%) 순으로 조사되었음



[그림 II.2-13] 장성군의 대기오염물질의 총배출량 변화추이



[그림 II.2-14] 장성군의 PM₁₀, PM_{2.5}의 연도별 배출량 변화추이



[그림 II.2-15] 장성군의 NO_x, SO_x의 연도별 배출량 변화추이

□ 고려시멘트의 대기오염물질별 배출량(2015~2017년)

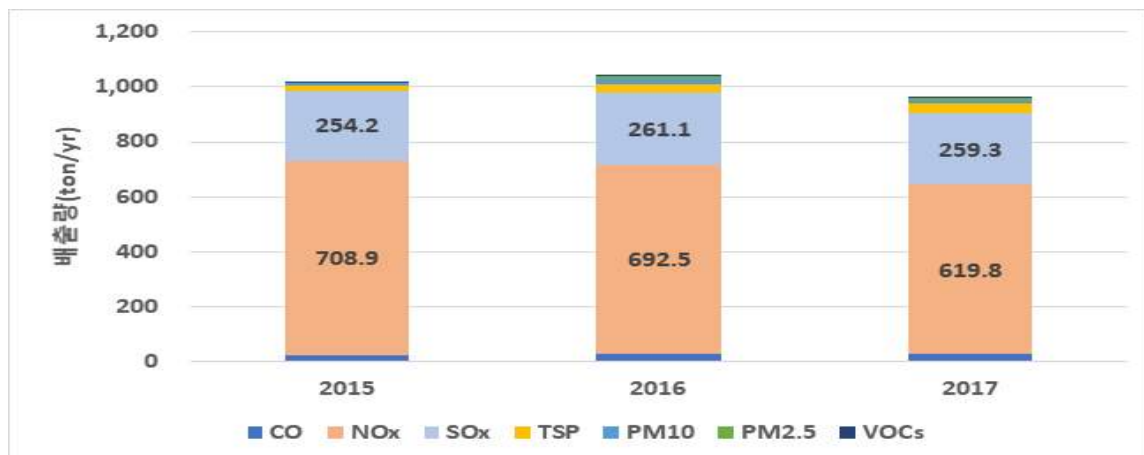
- 최근 3년간(2015~2017)의 고려시멘트 대기오염물질별 배출량을 나타낸 것이며, 연도별 증가하는 대기오염물질은 TSP, VOCs, CO, 감소하는 오염물질은 NOx, 증가하다가 감소하는 오염물질은 SOx, PM₁₀, PM_{2.5}으로 분류할 수 있음
- 2017년 기준, 고려시멘트가 배출되는 오염물질별 기여율은 SOx가 89.7%, NOx(24.4%), PM_{2.5}(4.5%), PM₁₀(2.5%), TSP(1.7%), CO(1.4%) 순으로 조사되었음

<표 II.2-14> 장성군과 고려시멘트의 연도별, 오염물질별 배출량(2015~2017)

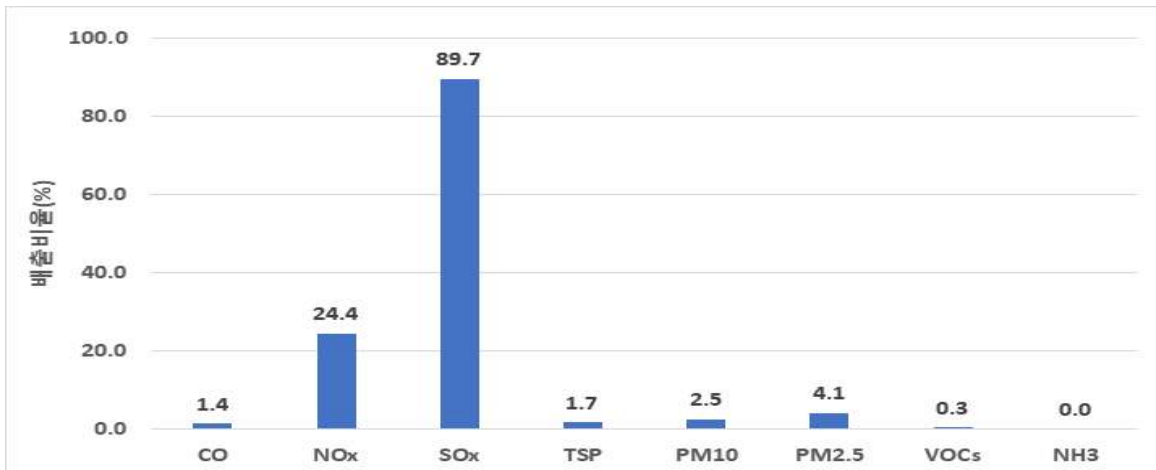
[Unit : ton/yr, %]

		CO	NOx	SOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOCs	NH ₃
2015	장성	1,808.1	2,614.6	382.8	2,092.9	556.1	216.0	1,189.7	729.2
	고려	23.7	708.9	254.2	18.1	7.9	4.5	2.8	0.0
	비율(%)	1.3	27.1	66.4	0.9	1.4	2.1	0.2	0.0
2016	장성	1,808.1	2,760.7	295.6	2,041.5	510.7	181.1	1,509.5	751.4
	고려	24.4	692.5	261.1	33.0	16.9	9.6	2.9	0.0
	비율(%)	1.3	25.1	88.3	1.6	3.3	5.3	0.2	0.0
2017	장성	1,738.7	2,544.7	289.2	2,177.6	492.6	170.6	1,556.6	756.6
	고려	24.2	619.8	259.3	36.5	12.3	7.0	2.9	0.0
	비율(%)	1.4	24.4	89.7	1.7	2.5	4.1	0.2	0.0

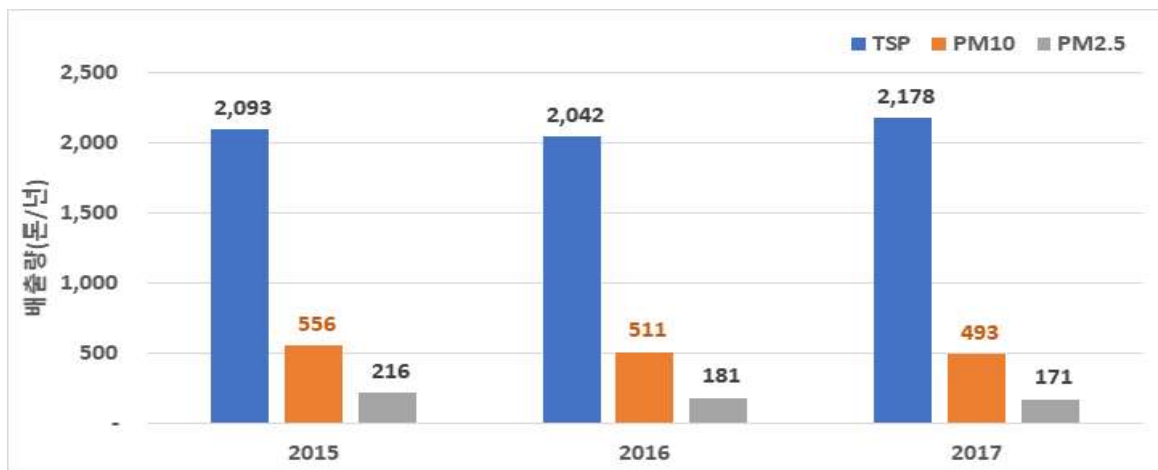
자료출처 : 국가미세먼지정보센터, 시군구별 배출원 소분류별 연료별 배출량, 2020



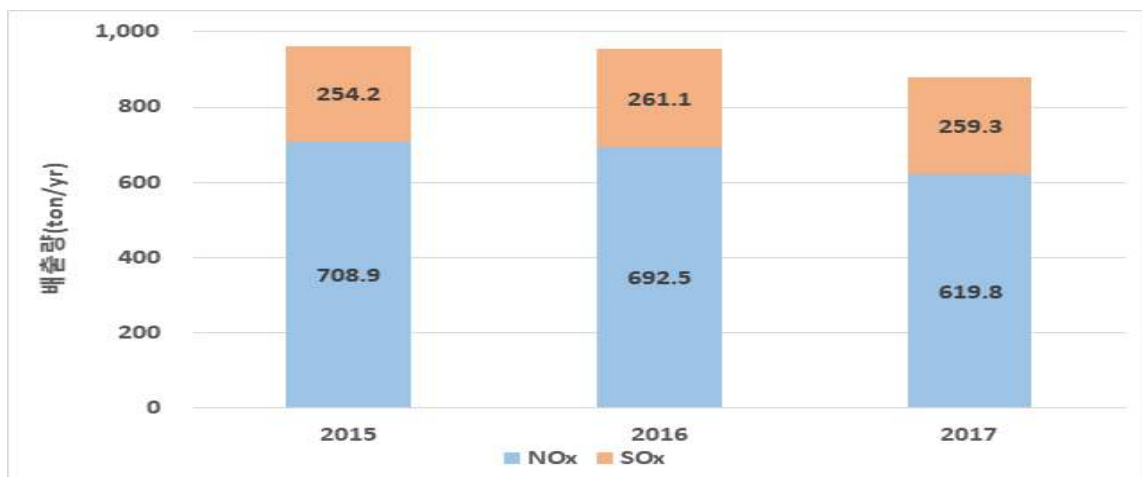
[그림 II.2-16] 고려시멘트의 대기오염물질별, 연도별 배출량 추이



[그림 II.2-17] 고려시멘트의 대기오염물질별 기여율(2017)



[그림 II.2-18] 고려시멘트의 연도별 미세먼지(TSP, PM_{2.5}, PM₁₀) 배출량 변화 추이



[그림 II.2-19] 고려시멘트의 연도별 NOx, SOx 배출량 변화 추이

□ **대분류에 의한 고려시멘트의 대기오염물질별 배출량(2017년)**

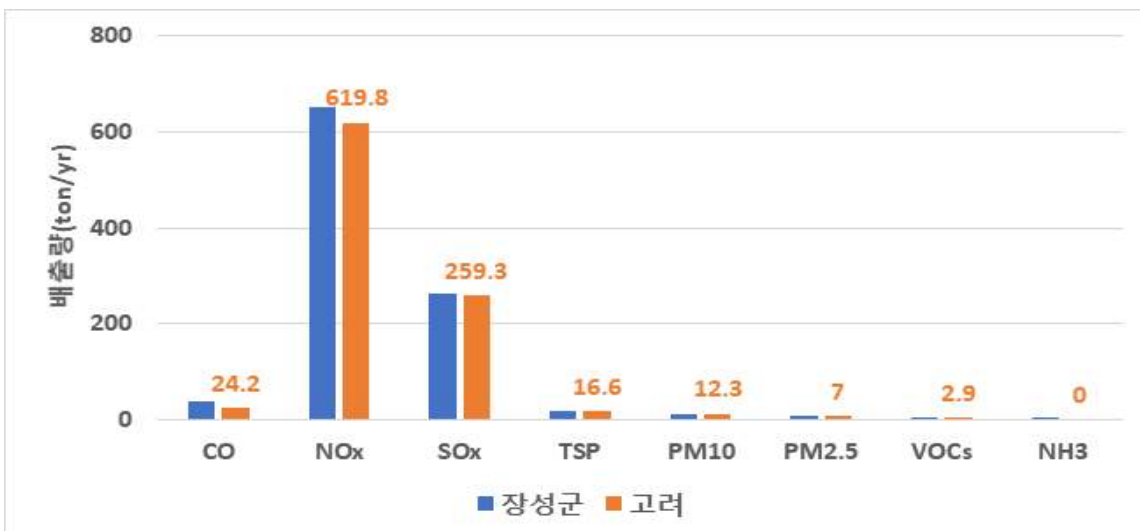
- 장성군의 2017년도 대기오염물질별 배출량은 NOx 2,544.7톤/년(26.2%), TSP 2,177.6톤/년(22.4%), CO 1,738.7톤/년(17.9%), PM₁₀ 492.6(톤/년(5.1%), SOx 289.2톤/년(3.0%), PM_{2.5} 170.6톤/년(1.8%)으로 NOx와 TSP가 주로 배출되고 있음
- 고려시멘트의 대기오염물질 배출은 주로 제조업연소와 생산공정 부문이며, 오염물질별 배출량은 NOx 619.8톤/년(24.4%), SOx 259.3톤/년(89.7%), CO 24.2톤/년(1.4%), TSP 36.5톤/년(1.7%), PM₁₀ 12.3톤/년(2.5%), PM_{2.5} 7.0톤/년(4.1%)임
- 고려시멘트의 제조업 연소부문 NOx는 95.1%, SOx 99.0%, CO 63.5%, VOCs 60.4%이며, 분진과 관계되는 TSP 99.4%, PM₁₀ 98.4%, PM_{2.5} 98.6%를 차지하고 있음

<표 II.2-15> 장성군과 고려시멘트의 제조업연소 부문의 배출량 비교

[Unit : ton/yr]

분 류		CO	NOx	SOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOCs	NH ₃
장성군		1,738.7	2,544.7	289.2	2,177.6	492.6	170.6	1,556.6	756.6
제조업 연 소	장성군	38.1	651.4	261.8	16.7	12.5	7.1	4.8	0.6
	고려시멘트	24.2	619.8	259.3	16.6	12.3	7.0	2.9	0.0
생산공정	장성군	0.0	0.0	0.0	20.0	0.1	0.0	1.3	0.0
	고려시멘트	-	-	-	19.9	-	-	-	-

자료출처 : 국가미세먼지정보센터, 시군구별 배출원 소분류별 연료별 배출량, 2020



[그림 II.2-20] 제조업연소 부문의 대기오염물질별 배출량(2017)

III 시멘트 제조사업장의 대기환경

1. 시멘트 제조사업장과 석회광산
2. 시멘트 제조공정
3. 시멘트 산업과 폐자원
4. 미세먼지 및 대기오염물질 배출현황
5. 미세먼지 및 대기오염물질 저감방안
6. 대기환경 관련 법규 및 제도

1

시멘트 사업장과 석회광산

1.1 시멘트 제조사업장 현황

- 우리나라는 1919년 평양에 일본 오노다(小野田)시멘트 공장이 처음 세워졌고, 2019년도 기준 11개의 시멘트 공장이 운영되고 있음
- 강원도 삼척, 강릉, 동해, 영월 등에 5개 업체가 분포하여 가장 많고, 다음으로 충북의 단양, 제천, 청원에 3개 업체가 분포되어 있음
- 2019년 세계적인 시멘트 생산량은 2,564만톤, 우리나라는 이 중 1.2%를 차지하고 있으며, 세계 11위의 생산국가임
- 2019년도 시멘트 생산량은 61,455천톤이며, 이 중 3개 업체(쌍용, 성신, 한라)가 약 53.1%(32,628천톤)의 시멘트를 생산하고 있으며, 고려시멘트는 660천톤으로 전국 1.1%를 차지하고 있음



[단위 : 천톤]

회사명	공장명	연산능력
삼표시멘트	삼척	10,045
쌍용C&E	동해	11,221
	영월	3,537
	소계	14,758
한일시멘트	단양	7,131
한일현대시멘트	단양	2,904
	영월	3,960
	소계	6,864
아세아시멘트	제천	4,146
성신양회	단양	9,686
한라시멘트	옥계	6,633
	신기	1,551
	소계	8,184
기타	장성	660
합계		61,475

자료출처 : 한국시멘트협회 홈페이지(www.cement.or.kr)

[그림 III.1- 1] 시멘트 제조사업장의 분포 및 연산능력

1.2 석회광산의 현황

석회광석의 수급현황

- 2013년 광산물 수급현황에 의하면 우리나라의 광산물총 국내 생산액은 1.6조원이며, 이 중 석회석은 1.15조원으로 약 72%를 차지하고 있음
 - 생산량은 석회석이 2013년에 8,619만톤, 방해석이 243만톤, 백운석이 256만톤 수준이며, 대리석이 8천톤 정도로 보고되고 있음
 - 2011년을 기준으로 보고된 석회석 광산 수는 122개소로 정도이며, 연 매출액 100억원 이상의 대형 광산은 17개소로 14%에 불과하고, 10억원 미만의 영세 업체가 54개소로 전체의 44%를 차지하고 있음. 가행광산 수는 2011년에 113개소, 2012년에 116개소, 2013년에는 106개소로 생산량은 증가했으나, 중소규모 광산들의 가행중단으로 광산수는 일부 감소하고 있음
- 석회석 광산을 보유하지 않은 석회석 가공업체도 다수 있으나 현황 파악은 잘 되고 있지 않으며, 일부 석회석 광산을 보유한 대형 업체를 제외하고는 대부분의 업체가 영세한 것으로 파악되고 있음
- 석회석 자원의 국내 수급현황을 보여주는 자료이며, 2009년 이후 경기가 일부 회복되면서 생산량은 지속적으로 늘어나고 있으나 수입량 역시 증가하고 있는데, 이는 주로 일본의 고부가가치 원료소재 수입과 베트남의 고품위 석회석 원광 수입량으로 분석됨
 - 중국에서의 수입은 1차 가공품의 수출만을 허용하는 중국 수출 정책으로 인해 많지 않았으나 2013년 이후 물량과 금액 면에서 크게 증가하고 있으며, 대신 베트남에서의 원광 수입량이 상대적으로 감소하고 있는 것으로 분석됨.

분포현황

- 우리나라의 석회석은 주로 강원도 일대와 충청북도 지역에 분포하고 있으며, 대부분의 석회석은 고생대 Cambrian으로부터 Ordovician에 이르는 조선계 대석회암통에 속하고 이들 암석의 분포지가 석회석의 주요 분포지가 되고 있음

- 석회석은 CaCO₃로 구성된 퇴적암으로 결정형태에 따라 방해석(Calcite), 아라고나이트(Aragonite), 바테라이트(Vaterite)로 구분되며, 대부분의 칼슘은 탄산칼슘 형태로 출현되고 있음
- 우리나라의 석회석 자원은 약 320억톤 정도가 매장되어 있는 것으로 추정되며, 가채매장량은 약 130억톤으로 추정됨
- 국내의 석회석 광산은 382개(2004년 기준)가 있는 것으로 보고되고 있으며 (<http://www.kigam.re.kr>), 이들 석회석 광산의 대부분은 강원도(48%)와 충북(31%)에 위치하고 있음
 - 국내에서 소비되고 있는 대부분의 석회석은 강원도에서 감당하고 있으며, 총 70개의 석회석 광산 중에서 정선, 영월, 삼척에 각각 17개소, 18개소, 13개소가 존재하여 대부분의 석회석 광산이 이들 3개 지역에 밀집되어 있음
- 국내 석회석 광산에서 적용하는 채광방법은 계단식 채광법(Bench Cut Method), 그로리홀 채광법(Glory Hole Method), 경사면 채광법 등 노천채굴법을 적용하고 있으며, 시멘트 석회암 광산 등 대규모 석회석 광산은 계단식 채광법 등을 사용하여 대량 채광이 가능한 상태임

<표Ⅲ.1- 1> 국내 석회석 매장량 현황

[단위 : 천톤, %]

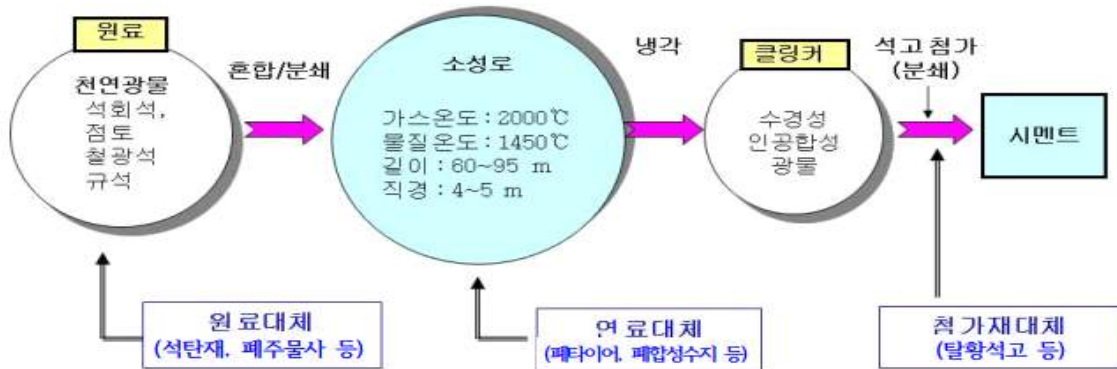
	매장량(천톤)	비율(%)
경 기	16,442	0.2
강 원	6,925,534	80.7
충 북	1,299,524	15.2
충 남	25,125	0.3
전 북	31,273	0.4
전 남	2,492	0.9
경 북	279,395	3.3
합 계	8,579,785	100.0

자료출처 : 지식경제부(2004년 말 기준)

2.1 개요

- 시멘트는 골재와 섞어 콘크리트 또는 모르타르(Mortar)를 만들 때 수경성을 갖게 하는 보합 광물질로 생산제품의 제조공정에 따라 포틀랜드시멘트, 혼합 포틀랜드시멘트, 특수시멘트 등으로 나누어지며 이중 포틀랜드시멘트가 주종을 이루고 있음
- 시멘트 제조공정의 기본적인 화학작용은 900°C에서 CaCO_3 를 분해하여 CaO (Lime)와 CO_2 가스로 분해하는 것으로, 석회소성(Calcination)으로 알려져 있으며, 칼슘 산화물이 고온(1,400~1,500°C)에서 이산화규소, 알루미늄, 철산화물과 반응하여 클링커가 되는데, 규산염, 알루미늄산염, 칼슘 아철산염의 형태로 형성되며, 이러한 클링커에 석고와 다른 첨가제를 첨가하여 함께 분쇄하면 일반적인 시멘트가 제조됨
- 시멘트 제조방식은 크게 건식공정(Dry Process)과 습식공정(Wet Process)임
 - 습식공정은 원료(Raw Meal)를 분쇄할 때 적당량의 물을 가하여 분쇄, 혼합하여 슬러리로 만든 후 큰 탱크에 넣어서 저장하여 성분 조성을 행한 후 물의 일부를 여과하고 킬른(Kiln)으로 보내는 것이며, 품질의 안정화는 기할 수 있지만 수분의 증발을 위해서 다량의 열이 필요하기 때문에 연료의 소모가 크다는 단점이 있음
 - 현재 주로 사용하는 방식은 습식공정에 비해 연료 소모량이 적은 건식공정(Dry Process)으로 이것은 물을 전혀 사용하지 않고 원료를 분쇄, 혼합하는 방식임
- NSP(New Suspension Preheater) 킬른이 사용됨에 따라 상당히 열효율이 좋은 사이클론식 예열기로 킬른에서 연소가스를 유도, 열분해(흡열반응)에 약 40%를 종료시키고 로터리 킬른 내에 보내기 때문에 필요 열량이 60%로 감소하게 되어 킬른의 소성효율을 현저히 높이게 됨

- 오늘날 가장 많이 사용되고 있는 포틀랜드 시멘트의 제조는 채광공정, 분쇄 및 혼합공정, 소성공정, 제품화공정의 4공정으로 구분할 수 있음
- 석회석 광산에서 원료를 채취하여 석회석, 점토, 규석, 산화철 원료 등을 건조한 후 적당량을 비율로 배합, 원료밀로 미분쇄하고 혼합사일로 중에서 균일하게 혼합한 다음 원료배합물을 예열기를 통하여 로터리 킬른으로 공급하고 충분히 소성한 후 냉각하여 시멘트 클링커 생산함
- 최종적으로 클링커에 적당량의 석고를 가하여 제품밀로 미분쇄하여 시멘트 제품이 되는 것임

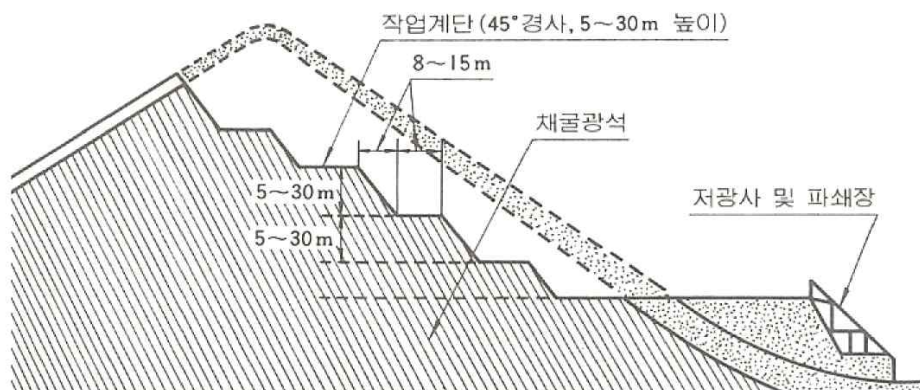


자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 1] 시멘트 제조공정

2.2 채광 및 채취과정

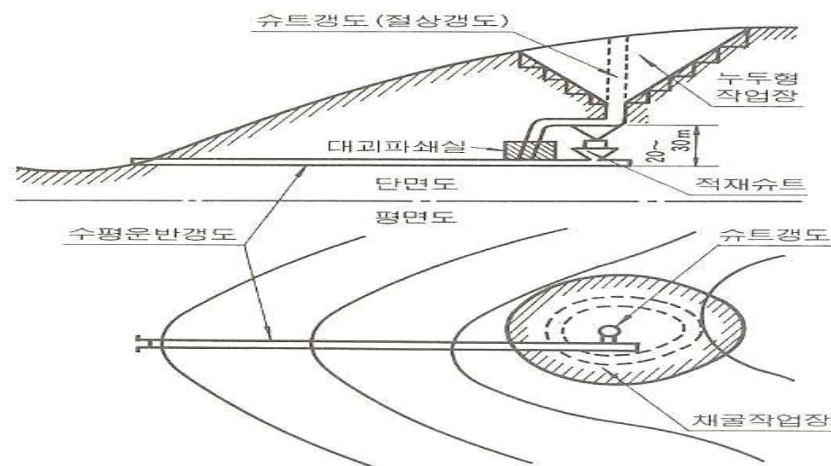
- 시멘트의 주원료인 CaCO_3 는 석회석, 이회토(Marl), 백악(Chalk)과 같이 자연에서 발생하는 석회질의 매장물에 주로 포함되어 있음
 - 이산화규소, 알루미늄, 철산화물 등과 같은 부원료는 모래, 점토, 철암석과 같은 다양한 암석과 광물에 포함되어 있음
 - 화력발전소에서 발생한 비산재, 고로(Blast Furnace)의 슬래그(Slag), 다른 공정들에서 발생한 부산물은 각각 그 화학적 특성에 따라 원료물질로 사용되고 있음
- 시멘트의 주원료는 대부분 석회석 광산에서 채취하며, 우리나라의 석회석 광산은 대부분 계단식 노천광산으로 되어 있음
 - 착암기로 석회석의 채굴면에 구멍을 뚫고, 폭약을 넣어 폭발시켜, 석회석을 대량으로 채광하고 있음
 - 노천채광 방식은 채광상이 지표에 노출되었거나 또는 지하 천부에 부존되어 있을 때 표토를 제거하고 직접 지표에서부터 채굴하는 방식으로 광체가 지표에 광범위하게 노출되어 있는 경우 대개 광산개발 초기에는 노천채광으로 하는 것이 보통이나, 채진 및 광체 경사 등으로 채광 지역이 심부화 되면 갱내채광으로 전환하게 됨
- 노천채굴하는 방식은 경사식 채광(Slope Cut Method), 계단식 채광(Bench Cut Method), 그로리홀식 채광(Glory Hole Method)방법으로 분류
 - 경사식 채광법은 노천채광의 가장 간단한 방법으로 채광면의 경사는 $40\sim 70^\circ$ 로 계단을 이루지 않고 사면에 수평방향으로 하향 천공 후 발파하여 채광 방식이며, 파쇄된 광석은 사면에 자연 낙하하여 하부 작업장에서 적재 및 운반 장비에 의해 운반됨
 - 계단식 채광법은 대규모 광체의 대량처리에 적합하며, 주로 시멘트용 석회석 광산과 일부 제철용 석회석 광산에서 적용 중이며, 여러 개의 계단작업장과 기계화로 대형화한 방법임
 - 사면에서 표토를 제거하고 계단의 높이를 10~20m, 폭을 8~15m정도로 하여 유압 크롤러 드릴을 이용 공경 75~135mm, 천공각도 70° , 천공장 12~17m, 공간격 3~4m로 20~30공을 천공하여 초유 및 함수폭약을 이용하여 발파함

- 일정한 고도차와 사면경사, 그리고 계단을 형성시키고, 각 계단에서 채굴한 광석은 트럭(35~85톤) 등을 이용하여 파쇄장으로 운반되므로 형성된 각 계단은 별도의 작업장으로서 천공, 발파, 운반이 이루어지게 됨
 - 계단의 높이는 보통 10~20m 범위이나 안전과 능률 향상, 적재작업 시 낙석위험의 방지, 대피 발생방지 등을 고려하여 15m 내외가 가장 안전하고 능률적인 것으로 확인됨
 - 그로리홀식 채광법은 일부 시멘트 광산에서 적용하고 있으며, 채광 작업과 파쇄 및 운반작업의 효율성을 동시에 높일 수 있는 채광법이며 일부 광산에서는 본 방법을 운용하여 파쇄 및 운반 계통에 적용하고 있음
- 갱구에서 수평 운반갱도를 채굴광체의 중심까지 굴착하고 거기서 광체의 상부를 향해 지표까지 절상갱도(슈트갱도)를 굴착하며 절상갱도 상부에서부터 절상갱도 주위를 계단식으로 채굴하여, 절상갱도를 중심으로 누두형(Crater) 작업장이 형성되며, 작업장에 경사식 채광법이나 계단식 채광법으로 작업장을 확장하면서 하부로 채굴을 진행하고 파쇄 광석은 중앙의 절상갱도(슈트갱도)로 투입함



자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 2] 계단식 채광법

- 절상경도의 높이는 90~100m까지 가능하며, 그 경사는 수직인 90°가 이상적이거나 조건에 따라 70°까지 경사시켜 설치할 수도 있음
- 운반된 석회석은 파쇄시설인 Jaw Crusher, Gyratory Crusher 등에 의해 1차 조쇄되고, 다음으로 Hammer Crusher나 ImpactCrusher 등에 의해 2차 조쇄, 3차 조쇄가 행해지고 약 25mm 이하의 크기가 되면 이 조쇄물이 벨트 컨베이어에 의해 공장으로 이송되어 석회석 야적장에 저장됨



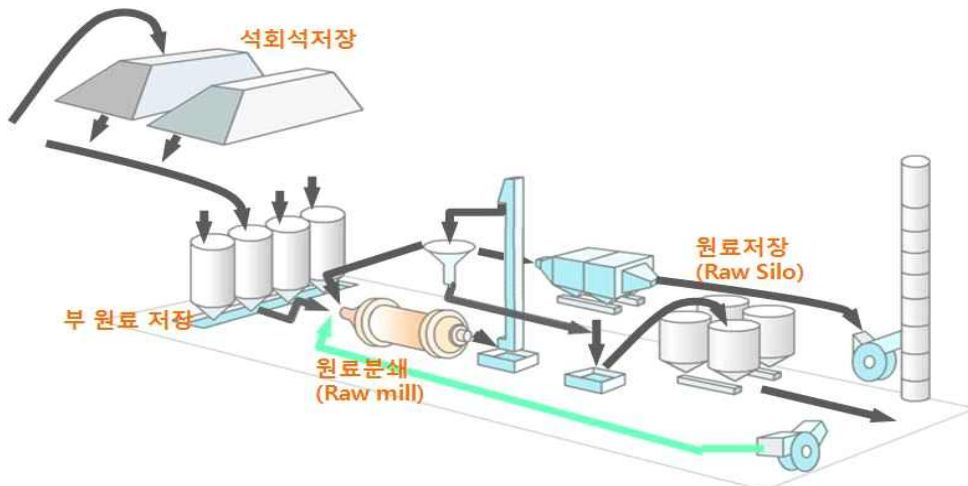
자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 3] 그로리홀식 채광법



자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 4] 시멘트 제조공정(채광)

2.3 분쇄 및 혼합공정

- 공장 내에는 주원료인 석회석과 부원료인 점토, 슬래그, 비산재 등이 미분쇄되고 혼합되며, 미분쇄는 원통형의 원료밀(Tube Mill)이 이용되는데, 원통의 길이가 짧은 것을 볼밀(Ball Mill), 긴 것을 튜브밀(Tube Mill)이라고 함
- 그 외에 시멘트 공장에서 잘 사용되는 수직 롤러밀이 있으며, 수직 밀의 하부에 있는 회전 테이블의 중앙에 원료는 놓이게 되고 원심력에 의해 밖으로 밀려 테이블과 롤러 사이에서 분쇄되고 건조되면서 상부의 분급기로 빨려 올라가 배기와 함께 밖으로 나옴
- 미분쇄물은 재차 테이블로 떨어져 미분쇄되며, 시멘트 공장에서는 이 롤러 밀을 원료만이 아니고 연료용 석탄의 건조와 미분쇄에 사용하는 경우가 많고 일반적으로 석회석과 점토는 원료 드라이어에서 충분히 건조되기 때문에 정확히 계량, 배합되어 원료밀에서는 혼합과 미분쇄가 동시에 행하여짐
- 효율이 좋은 분쇄를 하기 위해서는 공기분리기 (Air Separator)에서 미분쇄 부분을 분리한 후 재분쇄하며, 미분쇄된 원료 배합물은 혼합(Air Blending) 사이로(Silo)로 보내지고 여기에서 균일하게 혼합됨



자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 5] 시멘트 제조공정(원료)

2.4 소성공정

- 대부분의 시멘트 공장이 NSP(New Suspension Preheater)킬른을 이용하여 원료를 소성하고 있으며, 그 이전의 시멘트는 로터리 킬른만으로 소성되고 있었는데, 이 방식은 열이 원료의 상면에서 열교환하는 것만으로 대부분의 열을 통과하기 때문에 열효율은 상당히 낮음
- NSP(New Suspension Preheater)킬른 공정에서는 킬른 앞에 사이클론을 배열, 연결한 것으로 원료 배합물의 미분체들은 이들 사이클론을 순차적으로 통과하여 내려오고, 역방향으로 올라가는 킬른의 배기가스와 열교환하여 850℃ 정도 까지 예열 되면서 킬른에 들어감
- 모든 점토와 석회석의 일부는 예열기(Preheater)에서 열분해하여 킬른에 들어오기 때문에 열효율은 현저히 향상되며, 즉 열분해는 흡열반응이고, 이것을 킬른 내로 보내면 온도가 올라가기 어려워 열소비가 현저하게 크게 되기 때문임
- 로터리 킬른의 소성능력은 직경과 길이에 따라 결정되며, 그것에 따라서 예열기와 냉각기(Cooler)가 설계되며, 최근 시멘트 공장에서는 최적 합리화에 의해 킬른이 대형화하여 직경 3.5~6m 길이 55~100m 정도가 되며, 회전도 2.7~3.7rpm으로 하고 있음
- SP(Suspension Preheater) 킬른에서는 예열기의 킬른 측 입구에서 들어가는 배기가스의 온도가 900~1000℃ 정도 되지만 석회석의 탈탄산율은 40% 정도. 그러나 최근에는 대부분의 회사에서 NSP를 사용하고 있는데, 이것은 프리 히터와 킬른 사이에 별도의 열원을 사용하여 킬른으로 보내지는 원료의 탈탄산율을 90% 정도까지 높인 것임

- 원료가 예열기에서 킬른에 들어가면 열분해 반응은 거의 완료되기 때문에 킬른 내의 고상반응과 소결반응을 위해서 원료에 주는 열량은 900~1,450℃까지 원료의 온도를 올리기에 필요한 것이며, 킬른 출구의 약 10m앞에서 반응 생성물의 온도는 약 1,450℃가 되어 충분히 소결되어 직경 1cm 정도 크기의 둥근 괴상으로 되어 1,200℃ 정도의 온도로 킬른 출구로 나와 즉시 냉각장치로 들어감. 이것이 시멘트 클링커(Clinker)임
- 클링커는 가능한 급냉각 하여야만 결정 전이를 방지할 수 있으며 냉각기에는 햄머가 붙어 있어 입자가 큰 것을 일정한 크기로 만들어 주며, 냉각기에서 배출되는 클링커의 온도는 60~80℃가 이상적임



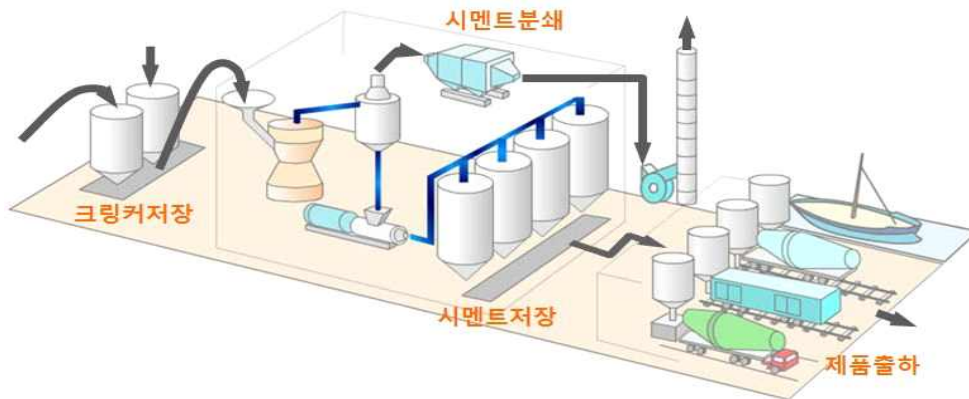
자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014
 [그림Ⅲ.2- 6] 시멘트 제조공정(소성)

2.5 제품화 및 출하공정

○ 포틀랜드 시멘트 제조

- 냉각기에서 나온 시멘트 클링커에 석고를 3~5% 첨가하여 다시 분쇄하여 입경 3~30 μm 의 분말 제조
- 제조된 시멘트는 일단 저장 사이로에 저장되고 검사한 후 출하

- 공장에서 출하되는 시멘트의 대부분은 비포장 상태로 선박, 기차, 탱크로리 등으로 운반되어 일부는 지대포장으로 출하됨



자료출처 : 한국시멘트협회, 시멘트산업 공정특성과 순환자원 재활용, 2014

[그림 III.2- 7] 시멘트 제조공정(제품출하)

3.1 시멘트의 정의와 한국공업(KS) 규격

□ 시멘트 정의

- Cemen는 “적은 덩어리로 잘려진 돌“, “부서진 돌“의 Caedere라는 말이 Caedimentum → Cementum 등으로 변형되어 현재의 Cement로 되었음
- 19세기 후반부터 “타물질과 결합하는 것“이란 의미로 사용되어 왔으며 현재의 시멘트는 포틀랜드 시멘트(Portland Cement)를 지칭하며, “물을 섞어 반죽 하였을 때 경화하는 무기접착재료(Inorganic Cementing Material)“ 의미로서 현재 시멘트의 일정한 품질 규격을 정해져 있음
- 원료처리 공정이 건식 → 습식 → 건식으로 전환, 연료도 석탄 → 증유 → 석탄으로 전환되는 등 자동화와 생산성 면에서 지속적인 발전을 하고 있음

□ 한국공업규격(KS)

- 포틀랜드 시멘트(KSL 5201) : 석회, SiO₂, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃를 함유한 원료를 적당한 비율로 혼합한 일부가 용융하여 소결된 클링커에 적당량의 석고를 가하여 분말로 한 것
- 고로슬래그시멘트(KSL 5210) : 슬래그나 포틀랜드 포졸란 시멘트(KSL 5401)에서 규정한 포졸란, 또는 플라이 애쉬(KS L 5405)에서 규정한 플라이애시 및 기타 첨가제 등을 5% 이내에서 혼합, 분쇄 또는 단독 분쇄 후 혼합한 분말

3.2 시멘트 원료

- 시멘트의 주성분인 CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 성분이 함유되어 있는 원료를 혼합, 분쇄한 후 소성 하여 제조한 반제품인 클링커에 석고를 첨가하여 분쇄한 미분말
- 시멘트 원료 및 특성
 - 분쇄 및 소성이 용이할 것
 - 품질의 성분변화가 작을 것
 - 가격이 저렴할 것
- 시멘트의 주성분이 모두 혼합된 광물은 존재하지 않아 몇가지 원료를 혼합하여 사용하므로 주성분 이외에 MgO, K₂O, Na₂O, SO₃ 등의 성분도 존재함
 - 석회질 원료
 - 점토질 원료
 - 규산질 원료
 - 산화철원료
 - 석고

3.1.1 시멘트 원료

석회질 원료

- 지질학적 분류
 - 국내의 석회석은 Ordovician기, Cambrian기에 속하는 석회석 광산이 두꺼운 지층을 형성하여 강원도를 중심으로 전국에 분포되어 있고 매장량이 막대하여 시멘트공업의 발전 원인
- 석회석(탄산칼슘, CaCO₃) 성인
 - 탄산석회질 생물인 유공충, 조개껍질 및 산호 등이 화석으로 된 것
 - 해수중의 박테리아에 의해 탄산암모늄이 칼슘의 염류와 작용하여 탄산칼슘이 침전하여 생성된 것
 - 변성작용에 백색의 조립질 방해석 결정으로 재결정되어 외관이 미려한 것은 대리석

○ 석회석의 화학조성

- 순수한 석회석은 CaO 56%, CO₂ 44%이나 고용체로서 MgCO₃, FeCO₃, MnCO₃ 등을 함유하여 MgO, FeO 및 MnO 등의 불순물이 포함되어 있음
- 점토나 갈철광과 같은 광물을 수반하여 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등의 불순물을 함유

○ 석회석(탄산칼슘)의 화학조성

- CaCO₃의 결정에는 칼사이트(calcite)와 아라고나이트(aragonite)가 있으나, 석회석은 대부분 칼사이트, 조개껍질은 아라고나이트로 구성
- 아라고나이트는 가열하면 칼사이트가 되었다가 분해

○ 석회석(탄산칼슘)의 열분해

- 석회석을 가열하면 열분해하여 생석회로 변화



- 석회석의 열해리압은 약 900°C(1기압)이지만 공업적으로 생석회 제조시 1000~1200°C로 소성
- 석회석의 가열, 분해에 의해 생성되는 생석회는 물이나 수증기와 접촉하여 바로 수화하여 소석회로 변화. 이 반응은 급격한 발열반응이며, 괴상인 생석회도 분화하여 미립자로 변화



⇒ 이 반응을 소화라 하며 유리상태의 CaO는 물과 접촉하여 CaO의 소화에 의하여 분화되는 현상을 소화 또는 분화함

□ 점토질 원료

- 국내 광업법은 고령토(카올린광물), 산성백토, 도석, 벤토나이트, 반토혈암 및 점토(와목, 목절)를 고령토로 정의하나 무기재료공업에서는 점토류로 분류
- 점토의 생산 부족으로 경석, 슬래그 등이 점토질 원료의 대체원료로 사용
- 시멘트는 CaO - SiO₂ - Al₂O₃ - Fe₂O₃ 4성분 중 염기성 성분인 CaO는 석회석에서 얻고 산성인 SiO₂, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃는 점토질 원료로부터 공급
- 결정질의 점토는 SiO₂ 사면체를 기본으로 하는 층상 규산염 광물

- 사면체의 3정점은 평면상으로 결합하여 6각형의 그물구조를 갖는 SiO_2 4면체층의 골격을 이루고 나머지 한 정점은 Al, Mg, Fe 등의 양이온이 산소 음이온(O_2^-)이나 수산기(OH^-)를 배위하여 형성된 8면체 층과 결합

○ 결합방식에 따라 점토광물은 1:1형, 2:1형, 2:1:1형 등으로 분류됨

- 적당량의 물과 혼합하면 가소성 발현
- 수 μm 이하의 미립자
- 건조하면 경화하는 특징을 가짐

□ 규산질 원료

○ SiO_2 와 Al_2O_3 의 성분비가 6:1 이상이고 SiO_2 성분의 함유량이 80% 이상인 광물

○ 고규산질 시멘트인 중용열 및 저열시멘트의 SiO_2 성분을 보충하기 위하여 규산질 원료를 첨가. 연규석은 SiO_2 함량이 높고 분쇄와 반응이 용이하여 주로 이용

○ 규산질 원료의 종류

- 규석
 - 피상의 상태이나 분쇄공정을 거친 SiO_2 원료로서 도자기의 경우 도석, 장석, 납석, 점토 등이 SiO_2 를 수반하므로 별도의 원료로 SiO_2 를 사용하지는 않음
 - 국내의 규석은 SiO_2 품위 90%이상을 기준으로 할 때 시멘트용으로 22.1%, 주물 사용으로 23.0%, 유리용으로 15.2%가 사용. 규석이 이용되는 이유는, 규석의 매 장량이 풍부하고, 백색도(whiteness)를 높이고, 변형(deformation)을 방지
- 규사 : SiO_2 의 함량이 95%정도인 분말상의 규산질 원료
- 규조토 : 규조의 유해가 퇴적된 분말의 규산질 원료

□ 산화철(Fe_2O_3) 원료

○ 산화철 원료는 점토질 원료 중에 다량의 철분이 함유되어 있으면 사용하지 않아도 되나 점토질 원료는 산화철 함량이 미량이므로 산화철 원료로 철광석 및 제철소의 부산물인 슬래그 등을 이용

□ 석고(Gypsum)

- 클링커만을 미분쇄하여 수화반응을 시키면 응결이 빠르게 진행되어 크링커에 석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)를 약 3~5% 섞어 미분쇄, 혼합하면 경화속도의 조절이 가능하고 초기강도 및 안정도를 향상시킴
- 천연석고 대신 화학공업의 부산물인 값싼 화학석고를 주로 이용
- 석고 상전
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \beta - \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{II} - \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{비정질}$
 (단사정) (육방정)
- 시멘트 제조공정에서 원료는 석회석, 점토, 규석, 기타 원료를 시멘트의 화학 조성이 되도록 조합하여 건조, 미분쇄, 균일화하는 과정으로 시멘트 1톤의 제조에 필요한 원료는 대략 석회석(60~66% CaO) 1,200kg, 점토(Al_2O_3 4~9% SiO_2 20~26%) 250kg, 규석(SiO_2) 30kg, 철광석(2~3.5% Fe_2O_3) 30kg, 석고 ($\text{CaSO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 3.0%) 30kg 혼합된 물질로 구성됨

<표Ⅲ.3- 1> 시멘트 원료 혼합비

	원료	주성분	시멘트 1톤을 만드는 필요한 양	적 요
석회질 원료 (80%)	석회석	CaO (60~66%)	약 1,200kg	일반적으로 CaCO_3 로서 95% 이상의 양질의 것
점토질원료 (20%)	점토	SiO_2 (20~26%), Al_2O_3 (4~9%)	약 250kg	점토, 혈암, 이암, 점판암, 롬 등
	규석	SiO_2 (보충)	약 30kg	점토중의 SiO_2 보충하기 위해 첨가, 규석, 연규석차트 등
	광재	Fe_2O_3 (2~3.5%)	약 20kg	점토중의 Fe_2O_3 를 보충하기 위해 첨가, 구리 녹찌꺼기, 펄라이트 등
	석고	$\text{CaSO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.0%)	약 30kg	응결시간 조절, 화학석고, 천연석고

자료출처 : 환경부, 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

3.1.2 시멘트 부원료

가. 부원료 사용현황

- 시멘트 제조에서 필요한 원료는 석회석뿐만 아니라 여러 가지 부원료가 필요하며, 소성하기 위한 에너지원으로는 유연탄, 중유 등이 사용되는데, 최근 들어 원료 및 에너지 절감을 위해 폐기물 및 대체에너지가 사용되고 있음

<표Ⅲ.3- 2> 시멘트 부원료 종류

	구 분	종 류
원료	부산물	점토질(경석), 철질, 규산질(주물사), 기타
	폐기물	점토질(연소재, 오토티, 소각재), 철질(고로 및 제강슬래그), 규산질(폐주물사), 기타
	부산물	혼합재(고로슬래그, 기타)
	부산물	응결지연제(탈황석고, 중화석고, 기타)

자료출처 : 환경부, 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

- 제철소에서 나오는 부산물인 고로슬래그의 미분말과 석탄화력 발전소의 비산재를 각각 일정 비율로 혼합한 고로슬래그 시멘트(KSL 5210)와 플라이애쉬 시멘트(KSL 5211)로 제조하여 천연자원 및 에너지 절약을 하고 있음
 - 소성과정에서는 조합한 원료를 예열장치, 소성로를 거쳐 로터리 킬른에 투입하여 1,450℃ 이상의 고열로 가열함
 - 소성과정에서 원료성분이 서서히 화학적 변화하여 클링커가 되며, 소성용 연료로 사용된 석탄과 폐기물의 회분도 클링커의 성분으로 변환됨
- 최근에는 선진국을 중심으로 시멘트 제조에 폐기물을 적극적으로 이용하고 있으며, 시멘트 제조시에 폐기물의 사용은 원료대체, 첨가제 및 응결 지연제 대체부분으로 구별할 수 있음
 - 시멘트 제조공정에 폐기물을 이용할 때 폐기물의 화학성분이 천연원료의 화학성분과 유사한 것은 원료로써 대체가 가능하며, 발열량을 갖는 것은 연료대체, 그리고 시멘트의 물성을 유지 또는 증진시키는 역할을 할 수 있다면 첨가제 대체 또는 응결 지연제 대체가 가능함

- 국내 산업폐기물의 이용에 관한 연구는 1980년 중반부터 일부 시멘트업체와 대학의 연구기관에서 진행하고 있으나 주로 고로슬래그나 석탄회를 이용하기 위한 기술에 집중됨
 - 현재 산업폐기물에 함유되어 있는 미량성분의 영향성 평가는 거의 연구가 진행되고 있지 않아, 향후 발생량이 증가될 것으로 예상되는 산업폐기물의 처리뿐 만 아니라 국내외환경적인 문제를 해결하기 위하여 적극적인 제반 연구가 수행되고 있음
- 선진국에서 폐기물을 재활용하기 위해 추진되고 있는 최근 연구 방향은 폐기물 중에 함유 되어 있는 소량성분 (MgO, SO₃, P₂O₅, R₂O, TiO₂ 등)과 미량성분 (Cl, Zn, Cr, Mn, Sr, Ba, F, Cb, As, V, Pb, Cu, Hg, Sb)등이 시멘트 제조공정 및 품질에 미치는 영향에 관한 연구임
 - 시멘트 제조 공정에서는 유해물질의 휘발성, 인체에 대한 유해성, 소성성 등이 주로 평가되고 품질적인 측면으로는 유해물질이 수화반응, 압축강도에 미치는 영향과 각종 유해물질의 용출특성 등을 평가하고 Alinite 등과 같은 환경부하 저감형 시멘트의 개발에 집중되고 있음
- 현재 시멘트업계에서는 폐기물을 원료 및 연료로 다양하게 재활용하고 있으며, 시멘트의 주요성분인 CaO(석회석에 다량함유), Al₂O₃(점토 또는 규석에 다량함유), SiO₂(점토 또는 규석에 다량함유), Fe₂O₃로 포함한 물질을 원료로 광범위하게 사용하고 있음
- 제품화 공정에서는 클링커에 석고 및 혼합재를 첨가한 후 미분쇄(평균입경 10 μ m 정도)하여 시멘트를 제조하고 있음
 - 석고는 시멘트의 경화 속도를 조정하기 위한 것이지만 화력발전소 등의 배연탈황에서 발생하는 부산석고를 재활용하고 있음
 - 최근, 클링커를 분쇄하기 위해 사용하는 화학첨가제인 DEG(Diethylene Glycol)대신 폐부동액을 사용하는 기술을 개발하여 기존의 DEG를 대체하고 있음
 - 산업폐기물을 시멘트 소성으로 적극적으로 사용하기에 앞서 환경 및 인간의 건강에 미치는 영향에 대한 검증과 안전성 보장이 필요함

나. 부원료의 종류

□ 석탄재

- 시멘트산업에서 대체원료로써 가장 많이 이용되는 것이 석탄재(Fly ash)이며, 석탄 화력발전소에서 발생하는 석탄재는 대부분 매립시설인 재 처리장에 매립하여 왔으나, 1990년대 초부터 석탄재 재활용률이 꾸준히 증가하고 있음
- 특히, 2010년에 국내 발전 5사에서 발생한 840.6만톤의 석탄재 중에서 707.9만톤인 84.2%를 재활용하여 최대치를 달성하였으나, 이후 건설경기 침체, 수입석탄재, 철강슬래그 사용 확대 등 외생적 요인으로 인해 점차 재활용률이 저하되고 있는 추세임
- 2015년도 우리나라 시멘트산업에서는 국내산 석탄재 1,283천톤과 수입한 석탄재 1,354천톤 합계 2,637천 톤의 석탄재를 Al_2O_3 대체 점토원료로 사용하였음

□ 고사(폐주물사)

- 고사에 함유된 철분을 제거하고, 시멘트 공장의 시멘트 원료로 공급되며, 주물사 분진도 시멘트 원료로 공급됨
- 2015년도 우리나라 시멘트업계에서는 560천톤의 고사(폐주물사)를 규산질 대체 원료로 사용하였음
- 대표적인 철강부산물이라고 할 수 있는 철강슬래그는 고로슬래그와 제강슬래그로 구분됨
 - 고로슬래그는 고로에서 원광석으로부터 선철(銑鐵, Iron)을 제조하는 과정에서 발생되는데 용융슬래그를 고압의 물로 급랭하여 모래형상으로 제조한 수재슬래그와 야드에서 서냉시킨 괴재슬래그가 있음
 - 제강슬래그는 전로, 전기로 등에서 쇳물을 정련하여 강(鋼, Steel)을 만들 때 발생됨
- 고로 수재슬래그는 시멘트원료로 활용할 경우, 슬래그 1톤을 재활용하는 것에 의해 시멘트 원료인 석회석 사용을 1.2톤 줄일 수 있음

- 분진/슬러지는 전처리 또는 가공을 통해 제철공정 내에서 원료로 재사용하거나 시멘트 제조용 철강원료 등으로 재활용되며 유효성분이 미흡한 일부 분만이 미활용 되고 있음

□ 하·폐수처리오니

- 기술원리
 - 시멘트 제조시설인 소성로에서 하수슬러지를 고온으로 시멘트 제조 원료로 사용하는 기술
 - 시멘트 주원료는 CaCO_3 (석회석), SiO_2 (규산), Al_2O_3 (알루미나), Fe_2O_3 (적철석)로 구성되며, 하·폐수 슬러지는 Al_2O_3 (알루미나), SiO_2 (규산)을 대체,
- 폐수처리오니는 유·무기성이 거의 같은 비율로 발생되고 있으며, 하수처리오니는 유기성의 비율이 높게 발생되고 있으며, 공정오니는 철강산업 등의 산세척폐수에 기인하여 발생하는 것으로 무기성이, 정수처리오니는 유기성이 높은 것으로 나타나고 있음
- 고형화된 하수슬러지는 저압건조시 5,700kcal/kg, 탄화슬러지 3,000kcal/kg 정도의 발열량을 가지고 있음

3.2 시멘트 연료 및 부연료

- 시멘트 제조시 클링커 1톤의 소성에 필요한 에너지는 약 2,950MJ인데, 유연탄을 사용하는 것이 일반적임
 - 석유, 코크스와 소량의 중유를 사용하고 있으며, 최근에는 화석연료의 매장량의 한계성과 경제성을 고려하여 새로운 대체에너지의 확보가 필수불가결한 요소임
 - 화석연료 대신 폐타이어, 폐유, 재생유, 폐백토, 폐플라스틱 등 가연성 폐기물을 재활용하여 연료로서 사용되고 있음
- 재활용제품으로 정의된 물질에는 보조연료로 사용되는 SRF는 현재 환경부에서 법령에 의해 재활용물질로 분류 되어 있고, 폐기물 가공 고체연료인 SRF는 양질의 가연성 폐기물을 선별하여 고발열 연료로서의 기능뿐 아니라 성형하여 저장과 운반이 용이하고, 대형 설비에서의 소각도 가능하여 최근에 많은 관심을 갖는 연료 중의 하나임
- 미국, 일본 등의 선진국에 있어서는 이미 30년 전부터 SRF에 관한 연구개발을 진행해 왔으며 현재는 발전, 지역난방, 산업시설(종이) 등에 널리 사용하고 있음
 - 우리나라는 1990년대 후반부터 SRF 기술에 대한 본격적인 연구가 이루어지고 있으며, 2013년부터 환경부의 법률 개정으로 SRF 분류하여 시멘트 제조시 사용되는 연료로 사용하고 있음
- SRF를 사용할 수 있는 시설은 매우 다양하고, 규모에 있어서도 소규모의 시설인 원예시설에서부터 대규모의 화력발전소까지 연료로 사용함

<표.3- 3> 시멘트 부연료 종류

	구 분	종 류
연료	부산물	석유코크스, 정제유, 재생유, SRF(Solid Refused Fuel), 합성수지류, 고무류, 정제카본 등
	폐기물	폐타이어, 폐합성수지, 무류, 기타

자료출처 : 환경부, 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009


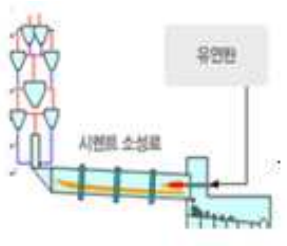
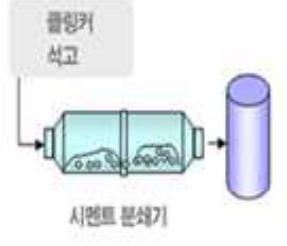
- 연소 시 대기오염물질 발생의 가능성이 커서 선별된 SRF만 사용하는 것이 바람직하며, SRF 전용 사용시설이 아니더라도 대기오염 방지시설이 잘 구비되어 있는 고로, 시멘트 킬른, 대형 생활폐기물 소각로나 하수슬러지 소각로 등에서 보조연료로서 사용하는 것도 가능함
- 기본적으로 SRF는 도시 생활폐기물을 가연성물질과 비가연성 물질로 분리하여 가연성 폐기물만 가공하는 것임
 - 처리대상 폐기물에 금속물, 무기물 등 불연물이 포함되는 경우 파쇄, 선별 등의 분리, 제거공정이 필요하며, PVC, 테프론 수지 등 고분자 물질이 포함될 경우는 연소과정에서 염소(Cl), 불소(F) 등이 포함된 유해가스가 발생할 수 있음
- 원료성상에 따라 대기오염물질 발생농도의 변화가 심하여 첨가제(소석회 등 알칼리 물질)를 성형과정 시 투입하여 중화·제거하고 있으나 투입량 조정 등의 정밀한 조작이 필요한 실정임
- 1998년 캘리포니아에서 운영 중인 상업적인 RDF시설은 LA카운티의 위생국이 운영하는 것으로 커머스시에 있는 10.5MW급 시설
 - RDF 기술에 입각한 가장 큰 도시폐기물 소각로는 Xcel사가 운영하는 위스콘신주의 라크로스에서 있는 프렌치 아일랜드의 소각로
 - 소각장에서 유기물질(다이옥신, 퓨란), 중금속(카드뮴, 납, 수은, 입자상물질 등), 산성가스(염화수소, 이산화황) 그리고 질소산화물 등이 배출됨
- 가연성 생활폐기물을 유연탄 대체연료로 사용하기 위해서는 수분, 발열량, 염소성분의 조건이 시멘트 제조 공정상에 문제가 없어야만 사용이 가능함
- SRF의 연료 사용 조건
 - 시멘트 소성로에 투입한 건조된 가연성 생활폐기물의 평균 발열량은 6,617kcal/kg으로 시멘트 공장에서 주로 사용되는 연료인 유연탄의 발열량 6,000kcal/kg보다 높은 발열량을 함유함

- 시멘트 소성로에 투입한 건조된 가연성 생활폐기물의 평균 염소농도는 833ppm으로 시멘트 공장의 염소 기준치인 1,500ppm보다 낮음
 - 수분은 가연성 생활폐기물의 수분함량이 15% 이하여야만 시멘트 제조 공정에 영향이 없는 것으로 확인됨
- SRF가 화석연료 대체연료로서 발열량도 높고 폐기물을 재활용한다는 점에서 평가할 수 있으나 생활폐기물의 수분량에 따라 연소의 효율 저하 초래
- 연소 시 배출되는 고농도의 염소에 의해 시멘트 품질에 악영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 대기 중에 배출되어 주변의 대기환경에 영향을 미칠 수 있음

3.3 시멘트산업과 폐자원

□ 시멘트 생산과정별 폐자원 사용 현황

- 현재 각종 산업, 건축, 생활, 공공 폐기물을 보조연료 및 부원료로 사용하여 시멘트가 만들어지고 있으며, 폐기물 사용량은 점점 증가하여 2019년 기준으로 시멘트 생산량(49,600천톤) 대비 20.7%(10,270천톤)의 폐기물을 사용하고 있음
- 시멘트는 천연의 석회석, 점토, 규석, 산화철 원료 및 유연탄 등을 주원료 및 연료로 사용하여 생산해야 하나 IMF 이후인 2002년부터 시멘트 제조사들은 생산원가 절감과 자원의 재활용이라는 이유로 각종 폐기물을 사용하고 있음

	①원료 분쇄	②시멘트 소성	③시멘트 분쇄
시멘트 생산과정			
폐기물 원료 및 연료	원료용 폐기물 석탄회, 주물사 오니류, 슬래그	연료용 폐기물 페타이어, 재생유 폐합성수지, 폐목재	첨가재용 폐기물 슬래그 부산석고

자료출처 : 한국시멘트협회 홈페이지(www.cement.or.kr)

[그림Ⅲ.1- 1] 시멘트 생산과정별 폐기물 사용과정

□ 폐기물 종류

- 시멘트 제조 시 보조연료로 사용하는 각종 폐기물은 한국은 25종, 미국은 18종, 독일은 9종, 일본은 7종, 프랑스는 11종, 스위스는 8종임
- 시멘트 부원료로 사용하는 폐기물은 한국은 63종, 미국 독일은 각각 16종, 일본 13종, 프랑스 6종, 스위스는 5종임
- 보조연료와 부원료를 합치면 한국은 88종, 미국은 34종, 독은 25종, 일본 20종, 프랑스는 17종, 스위스는 13종의 폐기물을 사용

○ 국내·외 시멘트 소성로 투입폐기물 종류 현황

<표.3- 4> 국내외 시멘트 공장의 폐기물 허용 현황

[Unit : 천톤/년]

구분		한국	미국	독일	일본	프랑스	스위스
보조 연료	종류	25종	18종	9종	7종	11종	8종
	사용량	1,397.3	-	5,112.6	4,894.4	450.8	-
부원료	종류	63종	16종	16종	13종	6종	5종
	사용량	8,865.7	-	17,842.7	16,990.8	6,762.0	-
합계	종류	88종	34종	25종	20종	17종	13종
	사용량	10,263.0	-	22,955.3	21,885.2	7,212.8	-

자료출처 : 시멘트업체허가증 및 시멘트소성로 투입폐기물의 중금속 기준(안)(환경과학원, 2019)

○ 보조연료

- 국내 시멘트 제조사들만이 다른 외국들과 달리 폐목재 포장재, 폐발포합성수지, 폐합성수지류, 폐합성섬유, 그밖의 폐섬유, 폐의류, 폐고무, 폐폴리염화비닐수지류, 폐폴리우레탄폼류, 폐어망, 고행연료 등 11종류의 폐기물을 추가하여 보조연료로 사용하고 있음
- 각종 화학제품을 연료로 사용했을 경우 지역에 대한 각종 유독 가스 발생 등 환경적 피해 고려 없이 무분별하게 사용하고 있음을 알 수 있음

○ 보조원료

- 국내 시멘트 제조사들은 폐유리, 폐내화물, 폐석고보드, 자로싸이트, 크링커, 경석, 폐도자기 조각, 납석, 보크사이트 잔재물, 샌드블라스트폐사, 선광공정광재, 시멘트고형화 처리물, 분뇨처리오니, 공정오니, 유기성 하수분뇨, 폐수처리오니, 건설오니, 실리콘공정오니, 유리식각공정오니, 펄프제지 폐수처리오니, 펄프제지 공정오니, 양식용 폐부자, 연탄재, 킬레이트 처리물, 폐실리카 폼, 폐유리 섬유, 폐타일, 폐활성탄, 폐흡수제, 폐흡착제, 그 밖의 고행화/고화 처리물, 그 밖의 광재류, 그 밖의 폐금속류, 그 밖의 폐유리, 그 밖의 폐촉매, 그 밖의 공정오니, 그 밖의 무기성 오니, 그 밖의 유기성 오니, 그 밖의 폐수처리오니 등 33종을 외국 시멘트 제조사들과 달리 시멘트 생산 시 부원료로 추가 사용하고 있음

<표.3- 5> 국내 시멘트 제조사업장에서 사용되는 폐자원 종류

국가	소성로에 사용되는 각종 폐기물 종류	
	보조연료	부원료
한국 (88종)	<p>폐목재, 폐유기용제, 페타이어, 플라스틱 폐포장재, 재생연료, 폐지, 분진, 그밖의 폐기물, 폐천연성유, 그밖의 폐합성고분자화합물, 제재부산물(톱밥), 폐합성고무류, 페벨트, 농촌폐비닐파쇄압착품, 폐목재포장재, 폐발포합성수지, 폐합성수지류, 폐합성섬유, 그밖의 폐섬유, 폐의류, 폐고무, 폐폴리염화비닐수지류, 폐폴리우레탄폼류, 폐어망, 고휘연료 (25종)-일출친 11종은 한국만이 허용</p>	<p>연소재, 철질슬래그, 재생주물사·폐주물사, 폐사·폐토사·마사토·폐여과사, 비철금속제련공장 광재, 탈황석고·폐석고, 석탄재, 제강슬래그, 오니류, 분진, 자동차 페타이어, 그 밖의 폐기물, 폐석회, 그 밖의 소각시설 중 바닥재, 석고류, 폐콘크리트, 그 밖의 연소잔재물, 정수오니, 석재·골재폐수처리오니, 하수처리오니, 철광석, 하수준설토·점토, 가축분뇨처리오니, 슬러지, 폐유리, 폐내화물, 폐석고보드, 자로싸이트, 크링커, 경석, 폐도자기조각, 납석, 보크사이트 잔재물, 샌드블라스트 폐사, 선광공정광재, 시멘트고형화 처리물, 분묘처리오니, 공정오니, 유기성 하수분뇨, 폐수처리오니, 건설오니, 실리콘공정오니, 유리식각공정오니, 펄프제지 폐수처리오니, 펄프제지 공정오니, 양식용 폐부자, 연탄재, 킬레이트 처리물, 폐실리카 폼, 폐유리섬유, 폐타일, 폐활성탄, 폐흡수제, 폐흡착제, 그 밖의 고휘화/고화 처리물, 그 밖의 광재류, 그 밖의 폐금속류, 그 밖의 폐유리, 그밖의 폐촉매, 그 밖의 공정오니, 그 밖의 무기성 오니, 그 밖의 유기성 오니, 그 밖의 폐수처리오니 (63종)-일출친 33종은 한국만이 허용</p>
미국 (34종)	<p>목재칩, 오일, 페타이어, 플라스틱잔재물, 절삭기계유, 종이·펄프, 지자체폐기물, 솔벤트, 페인트슬러지, 타르·아스팔트, 톱밥, 고무잔재물, 피혁 폐기물, 영농잔재물, 화학산업폐솔벤트, 청소솔벤트, 폐촉매, 청소찌꺼기 (18종)</p>	<p>비산재, 슬래그, 주물사, 석회질 함유 모래, 불소폐기물, 아연폐기물, 탈황슬러지, 적니, 부스러기, 석회석, 바닥재, 유혈암잔재물, 철광석, 연못재, 비료, 슬러지 (16종)</p>
독일 (25종)	<p>목재스크랩, 폐오일, 타이어, 플라스틱, 고기·뼈·동물사체, 종이·펄프·포장지, 지자체폐기물, 섬유산업폐기물, 솔벤트 (9종)</p>	<p>비산재, 슬래그, 주물사, 오일함유토양, 탈황석고, 석탄잔재물, 철광 및 금속산업부산물, 수화석회석, 소각회, 유혈암, 기타석고, 기포콘크리트입자, 제지회, 정수오니, 석회오니, 하수오니(16종)</p>
일본 (20종)	<p>폐목재, 폐유, 페타이어, 폐플라스틱, 재생유, 육골분, 폐백토 (7종)</p>	<p>연소재, 고로슬래그, 주물사, 폐백토, 비철광재, 부산석고, 폐목재, 석탄재, 제강슬래그, 오니, 분진, 페타이어, 육골분 (13종)</p>
프랑스 (17종)	<p>폐침목, 폐유, 페타이어, 플라스틱, 폐오일, 동물사체, 제지 폐기물·펄프, 하수슬러지, 폐페인트, 코크스, 필터 (11종)</p>	<p>비산재, 철질폐기물, 폐주물사, 오염토양, 불소폐기물, 폐알루미늄(6종)</p>
스위스 (13종)	<p>숯, 폐유, 폐유기용제, 뼈·동물사체, 폐토양, 하수슬러지, 분진, 현상액, 담배 (8종)</p>	<p>비산재, 알루미늄, 플라스틱, 압착용지, 목재 (5종)</p>

자료출처 : 시멘트업체 허가증 및 시멘트 소성로 투입폐기물의 중금속 기준(안)(환경과학원,2019)

□ 연도별 폐기물 사용량 현황

- 시멘트 제조 공정에서 폐기물의 사용은 기존의 연료(유연탄)를 페타이어와 같은 가연성 연료로 대체함으로써 시멘트 제조원가 절감
 - 폐기물의 에너지 성분은 화석연료의 대용으로 사용될 수 있고 연소 후 남는 무기성분은 클링커와 일체화되기 때문
 - 폐기물 사용은 시멘트 업계에서 별도의 큰 투자 없이 적용할 수 있는 기술이며, 일반적으로 시멘트 산업에서 사용 가능한 폐기물은 기존 연료 대비 30%까지 대체가 가능한 것으로 알려져 있음
- 2013년부터 2017년까지 시멘트 원료로 사용하는 폐기물량은 증가 하였으나 대체 연료사용은 증가하다가 정체 상태임
 - 2013년의 경우 대체연료는 약 1,195천톤 사용되었으며, 사용량은 소량 증가하여 2017년의 경우 약 1,266천톤이 사용됨
- 2017년의 경우 대체연료 사용량은 페타이어 및 고무류 378천톤, 폐플라스틱 등 합성수지 858천톤, 폐목재 및 재생 연료유 30천톤 등 총 1,166천톤을 사용 하였으며, 2013년의 사용량에 비해 크게 증가되지는 않은 것으로 나타남

<표.3- 6> 시멘트 제조사업장의 부연료로 사용되는 폐자원 현황

[Unit : 천톤]

	2013	2014	2015	2016	2017
페타이어	266	224	244	258	263
폐합성수지	769	680	698	784	858
고무류	49	30	39	51	115
폐목재	-	28	50	56	30
계	1,195	962	1,031	1,149	1,266

자료출처 : 시멘트업체허가증 및 시멘트소성로 투입폐기물의 중금속 기준(안)(환경과학원, '19)

4

미세먼지 및 대기오염물질 배출 현황

4.1 미세먼지 발생 현황

□ 개요

- 시멘트 제조공정에서 발생하는 비산먼지 발생원으로는 크게 공정 배출원(Process Source)과 비공정 배출원(Non Process Source)으로 구분함
- 공정 배출원으로는 석회석 채광, 유연탄의 취급, 석회석 및 원료의 분쇄, 연료의 분쇄, 클링커의 냉각, 시멘트 분쇄 등임
- 비공정 배출원은 원료 및 연료의 저장, 클링커, 시멘트 등 생산품의 저장, 원료, 연료 및 제품의 운송에서 배출되는 것임
- 시멘트 제조의 거의 모든 공정에서 분진이 발생되며, 이는 공장내 뿐만 아니라 주변지역에 영향을 미치게 됨
- 시멘트 사업장 주변지역에서 비산되는 분진에는 인, 황, 칼륨, 칼슘, 철, 염소 등의 원소가 함유되어 있으며, 이는 사업장주변 지역에 생활하는 사람, 서식하는 식물의 생장에 영향을 줄 수 있음

〈표Ⅲ.4- 1〉 시멘트 사업장에서 미세먼지의 주요 발생공정

구분	작업공정	취급물질	
석회석 광산	착암, 폭파, 신키·내리기, 도로비산, 야적	석회석, 철광석	
원료의 취급과 이송	하역작업	석회석 석탄, 석고, 비산재 철광석, 세일, 점토	
	이송작업	석회석 석고, 석탄 철광석, 세일, 점토, 첨가물	
	교차점의 작업(교차점)	석회석, 석탄, 석고	
	사일로(유출, 배출)		석회석, 클링커
			석탄, 석고
원료·연료의 분쇄과정	조쇄 및 분쇄과정	석회석, 석탄 철광석, 세일, 점토, 슬래그	
제품의 분쇄과정	분쇄과정	클링커, 비산재, 슬래그, 석고	
공장의 부두, 출하	차량운송, 컨베이어 이송, 컨베이어 구동부(낙하, 출입구), 도로재 비산	클링커	
		시멘트	

자료출처 : 환경부, 시멘트 사업장의 비산먼지 관리요령, 2009

4.1.1 채광·채취 공정

□ 비산먼지 발생

- 시멘트의 주원료인 석회석은 주로 노천광산에서 계단식 채굴방법에 의해 노천채광 되며, 석회석의 채굴면에 착암기로 일정한 간격으로 구멍을 뚫고 (착암공정), 여기에 폭약을 장착하여 폭발시켜 석회석을 깎아내는 착암 (Drilling)공정, 발파(Blasting)공정에서 발생됨
- 또한 석회석을 채광한 나대지와 석회석 야적장에서 바람에 의해 먼지가 비산되며, 나대지와 야적터미에서 발생하는 비산먼지 배출량은 나대지의 활용빈도, 풍속과 토양의 특성 등에 의하여 결정됨



<착 암>



<발 파>



<노천광산>

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 1] 광산에서의 비산먼지 발생

- 나대지 및 야적터미에 대한 비산먼지의 배출은 미국 EPA에서 제안한 배출 계수 방법으로 산출함

$$PM_{10} \text{ Emission Factor} = 0.5 \sum_{i=1}^{i=N} P_i \quad \text{<식 5 - 1>}$$

여기서, N = Number of disturbances per year

P_i = Erosion potential corresponding to the observed fastest mile of wind for the i -th period between disturbances (g/m^2)

건조한 표면에 대한 풍화잠재력(Erosion Potential Function)은 다음과 같음

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*) \quad \text{<식 5 - 2>}$$

$$P = 0 \text{ for } u^* \leq u_t^*$$

여기서, u^* = Friction velocity(m/sec)

u_t^* = Threshold friction velocity(m/sec)

- 마찰속도의 역치(Threshold Friction Velocity)는 입자가 움직이기 시작하는 최소 풍속을 말하며, Bagnold(1941)가 처음으로 이론적 해석을 하였으며 후에 Iversen(1982) 등이 마찰속도의 역치식을 도출함

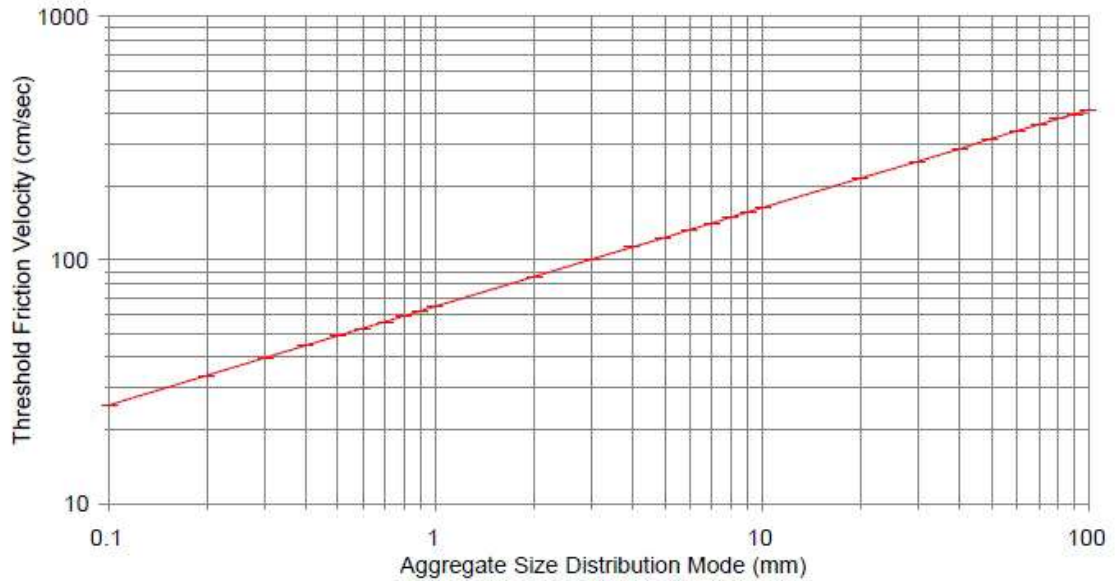
$$u_t^* = A \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a} g d} \quad \text{<식 5 - 3>}$$

여기서, A = 실험상수, 보통은 0.1을 사용

ρ_p = 입자밀도 (kg/m^3), ρ_a = 공기밀도 (kg/m^3)

g = 중력가속도 (m/sec^2), d = 입자직경 (m)

- 토양입자의 크기는 체(Sieve)를 이용해서 측정하는데, 상세하게 입자크기를 측정하기 보다는 5~7개의 크기로 분류하며, Chepil(1952)은 체를 이용한 입자 크기 분류에 따른 마찰속도의 역치를 <III.1- 1>과 같이 산출함



[그림Ⅲ.4- 2] 입자 크기에 따른 마찰속도의 역치

자료출처 : Control of Open Fugitive Dust Sources, EPA,1988

- 또한, 마찰속도는 다음과 같이 기상관측대에서 관측된 Fastest Miles of Wind로부터 산출함

$$u^* = 0.053 u_{10}^* \quad \text{<식 5 - 4>}$$

여기서, u^* = Friction velocity(m/sec)

u_{10}^* = Fastest mile of reference anemometer for period between disturbances(m/se)

□ 비산먼지 발생 저감방안

- 채광작업을 하는 표면이 적절한 수분을 함유할 수 있도록 살수시설을 설치하여 충분한 살수를 실시
- 채광 사면에 구멍을 뚫을 때 포집장치가 부착된 착암기를 사용하여 착암 시 발생하는 먼지를 포집
- 발파 전 풍속 및 풍향을 확인하고, 풍속이 평균 8m/s 이상일 경우 광산지역 내에서 발파, 수송, 신고 내리기 작업을 제한하며, 사업자는 이를 확인하기 위하여 풍속측정기를 설치하여 풍속을 측정하고 조치사항 등을 기록하는 관리일지를 작성
- 발파 작업시 발생하는 비산먼지를 저감하기 위하여 발파 사면에 충분한 살수를 실시한 후 일정한 간격을 두고 적은 양의 연속적인 폭파작업을 실시
- 광산 내 차량 수송도로는 자갈로 포장하여 흙먼지가 발생하지 않도록 하며, 차량 통행으로 발생하는 비산먼지를 저감하기 위해서 비포장 도로에서 차량속도를 제한하고, 먼지 억제제 등을 도로표면에 살포하여 경화하거나, 주기적으로 물을 살수
- 채광이 끝난 광산은 조속히 자연생태가 복원되도록 복구사업을 실시하여 나대지로 인한 비산먼지 발생을 저감
- 미국의 경우 Regulation-VIII의 Rule 403에서 “High Wind“는 순간풍속 11.1m/s 이상일 때, 1시간 평균풍속 6.6m/s초과 시로 규정하고 있으나, 지방정부에서 시멘트 사업장의 작업을 허가할 때 발파는 8.9m/s, 채광, 야적작업은 13.3m/s이하로 규정하고 있으며, 인도의 경우는 페이로더에 의한 작업은 13.9m/s 이상인 경우에 제한하고 있음

4.1.2 신기·내리기 공정

□ 비산먼지 발생

- 광산에서 폭파에 의해 크게 잘려진 석회석은 페이지더 등으로 덤프트럭에 실려서 조쇄기의 입구까지 운반되며, 광산에서 석회석이 신기·내리기 공정에서 비산먼지가 발생하게 됨
- 석회석 광산에서 트럭에 의해 운반되는 동안에 돌이 깨지기 때문에 추가적으로 많은 양의 미세먼지가 발생되고, 내리기 공정에서 석회석이 자유낙하 하면서 비산먼지가 상당한 발생함
- 비산먼지는 구름(Cloud) 형태와 비슷하게 대기 중으로 확산되며, 이러한 먼지의 발생은 각각 내리는 공정에서 짧은 시간 동안 간헐적으로 계속됨
- 이 공정에서 비산먼지 배출은 석회석이 건조(Dry)할 때 많이 발생되고, 습한(Wet)상태 일 때는 덜 발생하게 됨
- 또한 슬래그, 석고 등 부원료들의 신기·내리기 작업과 유연탄과 같은 연료와 클링커, 시멘트와 같은 제품의 신기·내리기 작업에서도 비산먼지가 발생하게 됨



<광산내 신기 작업 >



<광산내 내리기 작업>

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 3] 신기·내리기 과정에서의 비산먼지 발생

□ 비산먼지 발생 저감방안

- 비산먼지 발생을 억제하기 위하여 석회석을 신고 내리는 동안 물을 충분히 분사하며, 적재 후에도 적재물에 충분한 살수를 실시
- 조쇄작업을 위한 투입구는 3면이 막힌 구조로 하며, 내리기시 충분한 살수를 실시할 것. 다만 수직갱의 경우에는 이동식 살수시설 등을 이용하여 비산먼지 발생을 저감함
- 살수시설은 신고나 내리는 적재물에 대하여 고르게 살수할 수 있는 시설을 설치하며, 노즐이 막히지 않도록 관리
- 풍속이 평균 8m/s 이상일 경우 작업을 중지
- 최대한 밀폐된 시설에서 작업을 실시하되, 불가피한 사유로 야외에서 작업할 경우에는 작업전 및 작업중에는 충분한 살수를 실시하며, 작업 후 진공청소 차량으로 작업장 주변을 청소하여 먼지의 재비산을 방지할 것
- 야외 작업시 풍속이 평균 8m/s 이상일 경우에는 작업을 중지



자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 4] 신고·내리기 과정에의 비산먼지 저감방안

4.1.3 조쇄·분쇄 공정

□ 비산먼지 발생

- 운반된 석회석은 Jaw Crusher, Gyratory Crusher 등에 의해 1차 조쇄되고, 다음으로 Hammer Crusher나 Impact Crusher 등에 의해, 2차 조쇄되어 약 25mm 이하의 석회석으로 크기가 조정됨
- 조쇄된 석회석은 벨트 컨베이어, 오버헤드 버킷 컨베이어 등을 통해 석회석 저장소로 이동. 조쇄과정에서 비산먼지는 ① 투입구 ② 조쇄과정 ③ 벨트 컨베이어로 자유낙하 하는 3단계 동안에 발생함
- 발생하는 비산먼지의 크기는 석회석의 경도, 수분량, 투입되는 석회석의 크기에 따라 다름. 투입구에서 발생하는 비산먼지는 원료의 이동과 원료의 마찰로 인하여 입자가 흩날리고, 분열되어 발생됨
- 석회석 덩어리가 파쇄되는 동안에는 새로운 미세입자가 발생되며, 벨트컨베이어 위로 원료를 내리는 동안에는 석회석이 높은 곳에서 자유낙하 되기 때문에 공기 중으로 먼지가 퍼져 나감
- 또한, 조쇄공정을 거친 석회석은 다른 부 원료들과 같이 더 작게 분쇄되어 혼합되는데, 이 과정에서도 비산먼지가 발생함. 그러나 분쇄공정은 대부분 밀폐시설에서 이루어지기 때문에 공기 중으로 먼지가 비산되지 않음



자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림 III.4- 5] 조쇄공정 투입구에서의 비산먼지 발생

□ 비산먼지 발생 저감방안

< 조쇄공정 >

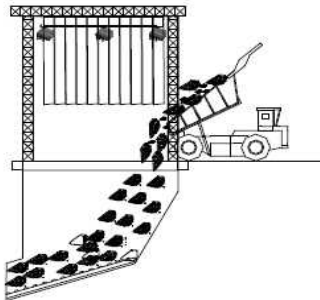
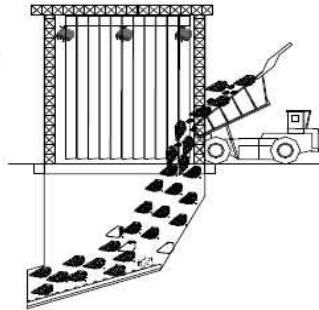
- 조쇄공정은 3면이 막히고 지붕이 있는 구조물 내에서 실시
- 조쇄시설은 적재물에 전면적으로 살수할 수 있는 시설을 설치하고, 살수시설의 노즐이 막히는 등 문제 발생시 조속히 수리하여 방치하지 않도록 함
- 집진시설을 설치하고, 포집된 먼지는 재비산 되지 않도록 제거하는 등 적정 관리
- 주기적으로 조쇄시설 내부를 청소하여 먼지가 쌓이지 않도록 함
- 먼지 발생 부위에 적절한 후드를 설치하고, 먼지를 흡인하여 필터로 걸러내는 여과집진장치를 운영하고, 포집된 먼지는 재비산 되지 않도록 제거하는 등 적정 관리

< 분쇄공정 >

- 분쇄작업은 완전 밀폐된 시설에서 실시하여 먼지의 흩날림이 없도록 하며, 또한 필요시 살수장치 및 여과집진장치를 설치 운영함
- 국소 배기부위에는 적합한 후드와 집진시설을 설치하고, 주기적으로 집진시설의 효율을 점검하여 기록하며 필터 등은 적정시기에 교체
- 집진시설에 포집된 먼지는 재비산되지 않도록 제거하는 등 적정 관리
- 분쇄시설 및 집진시설 점검 또는 보수 시 먼지가 발생하지 않도록 방풍망 설치, 진공청소차를 이용한 청소 등의 적절한 조치를 취하고 작업 실시

- FULLY ENCLOSED FROM ALL THREE SIDE BY FLEXIBLE BELT CURTAINS
- 50-56 SPRAY NOZZLES PROVIDED

1

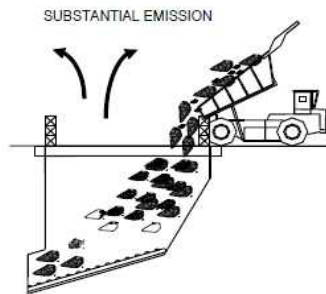


- PARTIALLY ENCLOSED FROM ALL THREE SIDE BY FLEXIBLE BELT CURTAINS
- 6-10 SPRAY NOZZLES PROVIDED

2

- NO ENCLOSURE
- NO WATER SPRAY

3



자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 6] 쇄공정 투입구에서의 비산먼지 억제시스템

4.1.4 이송공정

□ 비산먼지 발생

- 불규칙하게 움직이는 벨트 컨베이어 혹은 하나의 벨트 컨베이어에서 다른 벨트 컨베이어로 교차되는 지역(Transfer Point)에서 비산먼지가 발생. 이것은 높은 곳에서 낮은 곳으로 원료를 자유낙하 하면서 원료나 연료가 충돌로 깨지면서 새로이 먼지가 발생함
- 아울러서 이송되기 전의 공정, 예를 들어 전 단계가 분쇄공정이면, 이 공정에서 발생된 미세먼지가 1차적으로 포함되어 있다가, 이동 혹은 컨베이어 교차 지점에서 자유낙하 하면서 비산먼지가 발생됨
- 적재물에 포함된 수분으로 인하여 벨트 컨베이어 표면에 일부 부착했다가 벨트 컨베이어 종점에서 벨트가 회송될 때 적재물과 접촉한 벨트 부분이 지면으로 향하게 되고, 벨트표면에 부착되어 적재물이 지면으로 떨어질 수 있음

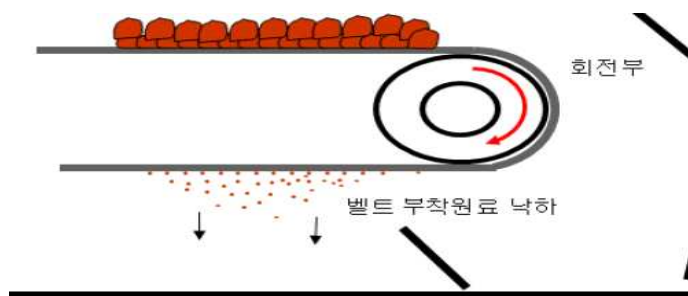


<벨트컨베이어 교차지점>

<벨트컨베이어 하부 비산먼지 발생>

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 7] 이송공정에서 비산먼지 발생

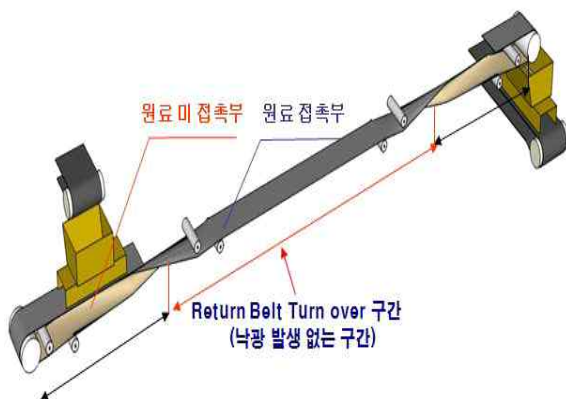


자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

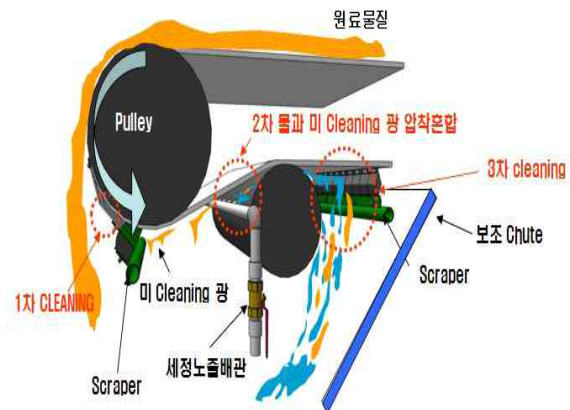
[그림Ⅲ.4- 8] 벨트 컨베이어에서 미세먼지의 낙하

□ 비산먼지 발생 저감방안

- 야외 이송시설은 밀폐화하여 이송 중 먼지의 흩날림이 없도록 하며, 정기적으로 이송시설을 점검하여 파손된 부분을 수리하여 먼지가 시설 밖으로 유출되지 않도록 함
- 낙하지점, 출입구 및 국소배기부위에 적합한 집진시설을 설치하고, 주기적으로 집진시설의 효율을 점검하여 기록하며 필터 등은 적정시기에 교체
- 벨트 컨베이어 교차지점(Transfer Point)에는 낙하부에서 발생하는 먼지를 적절하게 후드를 통하여 흡인하고 백필터를 이용해 제거
- 집진시설에 포집된 먼지는 재비산 되지 않도록 처리하며, 낙하지점 및 출입구 내부는 주기적으로 청소하여 먼지가 쌓이지 않도록 함
- 이송시설 하부는 주기적으로 진공청소차량 등으로 청소하여 시설에서 떨어진 먼지가 재비산 되지 않도록 함
- 교차지점은 밀폐되고, 음압상태를 유지하여야 하며, 낙하 높이가 최소화되도록 설계
- 벨트 컨베이어의 표면 먼지를 제거할 수 있는 시설을 설치하여 벨트 회송시 먼지의 흩날림이 없도록 함(예: 세척시설, 턴 오버(Turn Over) 시설)



<이송벨트 턴오버 장치>



<이송벨트 세척 장치>

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4- 9] 교차지점에서 비산먼지제어 시스템

4.1.5 야적 및 저장 공정

□ 비산먼지 발생

< 석회석 저장 >

- 3차 조쇄가 완료된 25mm 이하의 석회석은 혼합시설에서 2~3일 기간 야적후 분쇄시설로 이송되며, 보통 혼합시설에서는 야적을 위한 쌓기 작업 및 분쇄시설로의 이송작업이 동시에 이루어지며, 쌓기 작업은 야적더미 상단의 중심선 위로 스택커(Stacker)가 계속해서 좌우로 이동하여 이루어지며, 더미의 측면에서는 석회석의 일정량을 반복적으로 리클레이머(Reclaimer)가 긁어내려 벨트에 실어 분쇄시설로 이동시키는 작업이 이루어짐
- 석회석은 Pile의 측면으로 흘러 떨어지는 스택커(Stacker)로부터 방출되는데, 공정에서 미세입자는 꼭대기 표면에서 머물러 있는 경향이 있고, 큰 입자는 관성에 의해 밑으로 굴러 떨어진다.
- 석회석 저장에서 비산먼지 배출은 수분 유지와 밀접한 관계가 있으며, 석회석의 수분은 증발하기 때문에 정기적으로 충분하게 수분을 공급하지 않으면, 미세입자는 바람에 의해 대기 중으로 확산됨
- 조쇄된 석회석중 25mm 이하로 굵은 입자는 관성에 의해 하단에 쌓이게 되고, 미세입자는 야적더미의 상단에 쌓이게 되며, 비산먼지의 발생은 밀폐되어 있는 저장시설보다 노출되어 있는 야적장에서 더 많이 발생됨



< 석회석 쌓기 작업 >



< 석회석 이송 작업 >

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4-10] 조쇄공정 투입구에서의 비산먼지 발생

< 석탄 저장 >

- 석탄 Stacker, Reclaimer는 석회석 저장 공정과 유사함. 1차 조쇄 후, 석탄은 야적하거나, 밀폐시설에 저장하며, 적은 양은 실내 저장설비에 보관함
- 바람이 불면 많은 양의 비산먼지가 Stockpile에서 발생하며, 배출량은 바람의 세기와 수분함량, 석탄에 포함되어 있는 미세입자에 따라 다름

< 클링커 저장 >

- 생산된 클링커는 사이로(Silo)에 저장되며, 일반적으로 시멘트 공장은 30~40일 동안의 생산량을 수용할 수 있는 밀폐 저장시설을 갖추고 있음. 클링커는 건조한 상태를 유지해야 하기 때문에 미세먼지가 발생함
- 미분쇄된 클링커가 사이로에 공압식으로 이송되며, 사이로에서 직접 떨어진 조대입자를 통해, 미세먼지가 공기 중에 발생함
- 공기는 배출되어야 하므로 공압식 이송과 함께 사이로로 들어가며, 공기는 백필터를 통해 배출됨. 사이로는 시멘트와 클링커와 같이 최종생산품 뿐만 아니라 원료밀, 비산재와 같은 미분쇄 원료물질에 사용됨

< 기타 부원료, 부연료 저장 >

- 석고는 미세먼지를 많이 포함하고 있어서 일반적으로 밀폐시설에 저장되며, 따라서 실기·내리기 공정에서 비산먼지가 배출됨
- 철광석, 세일, 모래, 보트사이트, 적철석, 규암과 같은 부가물질들의 저장도 야외 혹은 밀폐시설에 보관되며, 부원료 물질의 저장 및 취급에서 물질이 건조하다면 많은 양의 비산먼지가 배출됨

□ 비산먼지 발생 저감방안

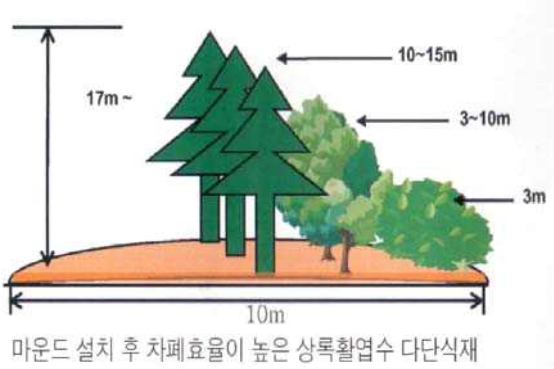
< 야 적(광산내) >

- 먼지가 비산될 우려가 있는 야적물질은 최대한 조속히 처리
- 작업시에는 야적물질에 주기적으로 살수를 하여 먼지발생을 억제
- 야적물질의 최고 저장높이의 1/3 이상의 방진벽을 설치하고, 최고저장 높이의 1.25배 이상의 방진망(막)을 설치하되 방진망 설치 시에는 야적더미에 대한 바람의 영향을 최소화 하도록 함
- 임시야적의 경우 방진덮개를 설치하고 싣기 및 내리기 작업 시에는 이동식 살수시설 등을 이용, 주기적으로 살수하여 비산먼지가 발생하지 않도록 조치

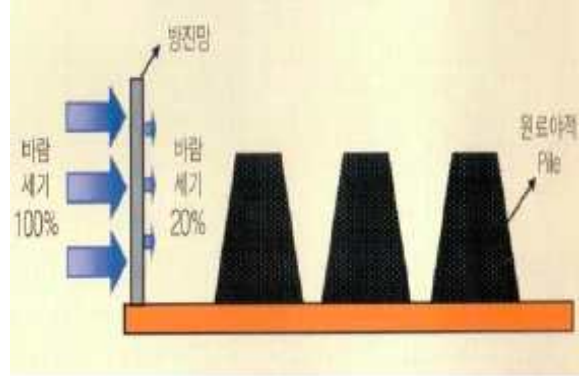
< 야적, 저장(공장내) >

- 공장내에서 시멘트 제조를 위한 원료 및 연료는 최대한 3면이 막히고 지붕이 있는 구조물 내에 보관하며, 보관시설의 출입구는 방진망(막) 등을 설치하되 출입시 먼지가 유출되지 않도록 관리
- 기존시설 중 원료(분쇄된 물질을 제외) 및 석탄은 방진벽, 방진망(막)을 설치하여 바람의 영향을 최소화 하며, 야적물질에 최대한 미세입자가 포함되지 않도록 조치
- 야적더미 전체에 고르게 살수할 수 있는 시설을 설치하며, 주기적으로 살수를 실시하여 야적물질의 함수율을 일정하게 유지
- 야적더미에 쌓기 작업을 할 경우 낙하거리를 최소화하고, 스택커에 살수시설 및 먼지확산 방지용 덮개(Skirt)를 설치하여 먼지의 비산을 방지
- 동절기 기온하강으로 살수시설 운영이 곤란한 경우 또는 임시야적의 경우에는 먼지역제제, 방진덮개 등을 이용하여 먼지의 비산을 방지

○ 새로운 저장시설 설치시 최대한 밀폐된 구조물로 설계



< 미세먼지 차단숲 조성 >



< 방진망 설치 >



< 먼지 억제제 살포 >



< 방진덮개 설치 >

자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4-11] 야적 및 저장과정의 비산먼지 저감방안

<표Ⅲ.4- 2> 나대지 및 야적더미에 대한 저감조치별 비산먼지 제거 효율

[Unit : %]

	조치사항	효율
나대지	먼지 억제제 살포	84
	자갈로 덮음	84
야적더미	50% 개구율의 3면 방진망 설치	75
	살수 또는 바람이 불때 방진덮개 설치	90

자료출처 : Western Regional Air Partnership Fugitive Dust Handbook

4.1.6 수송공정

□ 비산먼지 발생

- 채광 후 조쇄시설로 석회석 수송, 광산에서 공장, 공장 내부, 공장에서 제품을 트럭에 의해 운반되며, 일부 클링커, 시멘트를 대량으로 철도, 선박 운송을 하는 경우도 있음
- 석회석, 석탄, 부원료, 부연료는 일반적으로 덤프트럭으로 운반함. 운송수단은 적재물을 운송하는 동안에 길에 가라앉았던 미세먼지를 공기 중에 다시 비산되며, 반복되는 운송수단의 이동으로 상당양의 비산먼지가 발생함



자료출처 : 시멘트 제조사업장의 효율적인 비산먼지 저감방안 마련, 2009

[그림Ⅲ.4-12] 광산내 운반에 의해 발생하는 비산먼지

□ 비산먼지 발생 저감방안

< 수송공정(광산) >

- 차량은 시속 20km 이하로 운행하며, 차량 통행로는 주기적으로 살수하여 상시 젖어 있도록 함
- 고효율의 세륜 및 측면살수 시설을 설치하고 광산 출입차량은 세륜 및 측면살수 후 운행하도록 하며 출입구에 현장 관리감독자를 배치하여 세륜·세차를 실시하지 않는 차량을 통제

- 세륜시설 주변은 항상 청결하게 유지하고 침전조의 침전물은 주기적으로 청소하여 침전된 분체상 물질로 인한 2차 비산먼지가 발생하지 않도록 조치
- 동절기 세륜시설을 가동하지 못할 경우에는 광산 출입구 주위 및 주변도로에 노면 청소차를 항상 운영하는 등 비산먼지가 발생하지 않도록 조치
- 광산 진입로는 자갈 등으로 임시포장을 하여 차량 이동시 흙먼지가 비산되지 않도록 함

< 수송공정(공장) >

- 고효율의 세륜 및 측면살수 시설을 설치하고 출입차량은 세륜 및 측면살수 후 운행하도록 하며 출입구에 현장 관리감독자를 배치하여 세륜·세차를 실시하지 않은 차량을 통제
- 차량은 시속 20km이하로 운행하며, 차량 통행로는 주기적으로 살수하여 상시 젖어 있도록 함
- 수송차량은 덮개를 설치하고 적재물이 적재함 상단으로부터 수평 5cm이하까지만 적재함 측면에 닿도록 적재하여 적재물이 외부에서 보이지 아니하고 흘림이 없도록 함
- 공장 내부 및 외부 차량 통행로를 중심으로 노면청소차량 등으로 주기적으로 청소
- 수송차량 통행으로 인한 도로의 비산먼지발생을 억제하기 위하여 수송차량의 배기구가 바닥을 향하지 않도록 함
- 동절기 세륜시설을 가동하지 못할 경우에는 공장 입·출구 주위 및 주변도로에 노면청소차를 항상 운영하여 비산먼지가 발생하지 않도록 조치
- 광산에서 공장까지 수송도로 중 비포장도로는 자갈 등으로 임시포장하여 비산먼지 발생을 억제



< 진공 청소차 및 노면 청소차 운행 >



< 세륜 세차 시설 및 살수차 운행 >

[그림 III.4-13] 수송공정의 비산먼지 저감방안

4.2 시멘트 사업장의 대기오염물질 배출 현황

□ 개요

- 2000년대 이후 시멘트 생산에 필요한 원료를 확보하고 연료비용을 절감하기 위하여 제철산업 부산물인 고로슬래그나 발전소 부산물인 석탄재 등을 원료로, 폐타이어와 같은 각종 산업폐기물 및 부산물 등은 보조연료로 재활용하여 사용하고 있으며, 폐기물을 포함한 원료가 분쇄, 혼합된 후 예열기와 소성로를 거쳐 클링커를 생산하는 과정에서 원료와 연료에 함유된 각 성분들이 휘발되어 대기오염물질이 굴뚝 통해 배출될 수 있음
- 시멘트 공장의 굴뚝에서 배출되는 대기오염물질은 주로 소성공정, 클링커 냉각공정, 분쇄공정 등에서 배출되며, 대부분의 소성로와 냉각시설에 대해 대기오염물질의 배출허용기준을 적용하고 있음
- 시멘트 제조공정에서 배출되는 주된 대기오염물질은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 분진(비산먼지) 등임
- 또한, 시멘트 제조와 관련하여 일산화탄소(CO), 염화수소(HCl), 불화수소(HF), 휘발성 유기화합물(VOCs), 중금속화합물, 다환족방향족탄화수소(PAHs), 다이옥신류(PCDDs, PCDFs), 이산화탄소(CO₂), 악취, 소음 등도 포함됨

4.2.1 일반 대기오염물질

- 시멘트 제조공정의 대기오염물질은 주로 소성공정에서 배출되며, 이러한 물질들은 원료물질과 연료의 연소가 포함된 물리·화학적 반응으로부터 발생됨
시멘트 소성로로부터 발생된 배기가스의 주요 구성성분은 연소공기의 N₂와 CaCO₃의 소성에 의한 CO와 연료의 연소에 의한 CO₂임
- 모든 소성공정에서 고체물질은 뜨거운 연소가스와 반대로 움직이며, 이러한 역류는 순환유동층에서 형성되기 때문에 오염물질의 배출에 영향을 미침. 연료의 연소나 원료물질이 클링커로 변환되는 공정으로부터 발생된 물질의 주요성분들은 역방향으로 투입되는 원료물질에 의해 흡착되거나 응축되기 전까지 가스 상태로 남아있게 됨

- 또한, 이러한 물질들의 흡착력은 물리·화학적 상태에 따라 다양하며, 소성공정 내의 물질 위치에 따라 좌우됨. 예를 들어, 이러한 물질들이 소성공정의 소성단계를 지났을 경우 매우 높은 CaO 함량을 보일 것이며, HCl, HF, SO₂와 같은 산성 가스상물질에 대한 흡착력이 향상될 것임
- 일반적으로 소성로 배출 가스의 용량은 m³/ton(표준상태의 건조공기)로 표기하며 대부분의 소성로는 1,700~2,500m³/ton 정도의 배기가스를 배출함
SP(Suspension Preheater)와 예비소성로를 갖춘 소성공정은 배출가스량이 약 2,000m³/ton(표준상태의 건조공기)임

<표Ⅲ.4- 3> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질

오염물질 종류	농도(mg/Nm ³)	배출계수(kg/ton of clinker)
질소산화물 (NO _x as NO ₂)	< 200~3,000	< 0.4~6
황산화물 (SO ₂)	< 100~3,500	< 0.02~7
먼지 (Dust)	5~200	0.01~0.4
일산화탄소 (CO)	500~2,000	1~4
이산화탄소 (CO ₂)	400~520g/Nm ³	800~1,040
총유기탄소 (TOC)	5~500	0.01~1
불화수소 (HF)	< 0.4~5	< 0.8~10g/ton
염화수소 (HCl)	< 1~25	< 2~50g/ton

자료출처 :

□ 질소산화물(NO_x)

- 질소산화물(NO_x)은 시멘트 제조공정에서 발생하는 대기오염물질의 중요한 지표로써 NO와 NO₂의 형태로 배출되는데, 질소산화물의 90% 이상이 NO
- 열에 기인한 NO_x(Thermal NO_x)로써 연소공기 중에 포함된 질소가 산소와 함께 반응하여 다양한 질소산화물을 발생시키며, 원료나 연료에 포함된 질소성분이 산소와 결합하여 질소산화물을 발생시키기도 함

- 열에 기인한 NOx(Thermal NOx)는 약 1,200°C에서 형성되며 연소공기에서의 질소분자와 산소분자의 반응이 포함됨. Thermal NOx는 소성로의 연소구역에서 대체로 연소온도가 반응이 일어날 만큼 높아지면 생성되고, 연소구역에서 발생된 Thermal NOx의 생성량은 연소구역의 온도와 산소함유량(과잉공기 요소)과 관련이 있음
- Thermal NOx에 대한 반응비는 온도에 따라 증가하므로 높은 온도를 요구하는 혼합물의 경우 쉽게 연소되는 혼합물보다 더 많은 Thermal NOx를 발생시키며, 같은 소성공정이라도 높은 산소함량으로 운전하게 된다면 연소구역에서 더 많은 Thermal NOx가 발생하게 됨
- 연료 혹은 원료에 기인한 NOx(Fuel NOx)는 연료 내에 존재하는 질소 연소로 인해서 발생하며, 연료 내의 질소는 다른 질소원자와 결합하여 N₂ 가스형태로 되거나 산소와 반응하여 fuel NOx를 형성함. 예비소성로는 보통 850~950°C의 범위에서 운전되며 Thermal NOx가 형성되기에는 충분한 온도가 아니지만, Fuel NOx가 발생됨
- 예비소성로를 가진 소성로(예비소성로 : 소성로에서 사용되는 60%의 연료 사용)에서는 배출되는 총 NOx 중 Fuel NOx가 차지하는 비중이 크며, 이러한 소성로에서 Thermal NOx가 형성되며 소결구역(Sintering Zone)에서 모든 연료를 연소시키는 소성로와 비교하였을 때 상당히 낮음. 온도, 산소함량, NOx 형성은 불꽃의 모양, 온도, 소각로의 구조, 반응성, 연료내의 질소의 함량, 수분의 존재, 체류시간, 버너의 형태에 의해 영향을 받음

□ 황화합물(SOx)

- 시멘트 소성로에서의 SO₂의 배출량은 원료물질에서의 휘발성 황성분에 의해 결정되며, 휘발성이 적거나 없는 황성분이 포함된 원료물질을 사용하는 소성로에서는 SO₂로 인한 문제가 거의 없음
 - 배출가스에서 배출농도는 소성로에서의 자체적인 삭감 없이도 10mg SO₂/m³ 이하이며, SO₂ 농도는 사용된 원료물질의 휘발성 황성분의 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보임

- 원료에 유기성 황성분이나 황철광(FeS)이 함유 되었을 때 SO₂ 농도는 증가 하며, SO₃가 생산되거나 환원상태에서 H₂S가 생성될 수도 있지만 배출되는 황화합물의 99%가 SO₂임. 원료물질에 포함된 황성분은 황화물을 생성하거나 유기적으로 결합되어 황성분은 기화 될 것임
- 기화된 황성분의 30%이상이 예열기의 첫 번째 단계에서 배출되며, 배출된 가스는 직접적으로 대기로 방출되거나 원료물질의 분쇄기가 작동상태에 있다면 분쇄공정으로 유입됨
- 원료의 분쇄공정에서 SO₂의 30~70%가 미세한 입자상태의 원료물질에 포획 되므로 원료물질의 분쇄공정은 소성공정 내에서 SO₂ 농도를 감소시키기 위해서 최적화되어야 함
- 예열기가 있는 소성로에 투입되는 연료에 포함된 황성분은 소결구역, 소성 구역, 예열기 하부가 강한 염기성이기 때문에 여기서 발생된 황성분은 대부분은 클링커에서 포획됨
- 과잉산소(시멘트 생산물의 질을 보장하기 위해서는 보통 1~3%의 과잉산소가 유지된다)는 배출된 황화물들을 즉각적으로 SO₂로 산화시킴. 길이가 긴 소성로에서는 SO₂와 염기성 물질의 접촉이 좋지 못하기 때문에 연료내의 황성분의 함량이 SO₂ 배출의 주요 요인임
- 클링커에 대부분의 황성분이 sulphate 형태로 남아 있음에도 불구하고, SO₂ 배출은 휘발성이 높은 황성분이 함유된 원료물질에 의해서 발생되며 주요 대기오염물질임

□ 먼지(Dust)

- 지금까지 소성 공정에서 발생하는 먼지의 배출은 시멘트 제조와 관련하여 주요 환경적인 문제가 되어 왔으며, 먼지의 주요 발생원은 소성로, 원료물질의 분쇄, 클링커 냉각기(Clinker Coolers), 클링커 분쇄공정임. 현재 전기 집진기와 여과집진기의 설계치 및 신뢰도는 먼지의 배출을 10mg/m³ 이하로 감소시킬 수 있음

- 또한 비산먼지는 원료물질들과 유연탄 등의 연료의 취급, 저장과정에서 배출되며, 클링커, 시멘트의 포장 및 운송 단계에서도 발생됨
- 처리하지 못한 먼지의 배출은 지역적으로 먼지의 농도를 증가시킬 수 있으며, 높은 굴뚝에서 발생하는 먼지는 넓은 지역의 대기질에 영향을 미침

□ 탄소산화물(CO₂, CO)

- CO₂의 배출은 클링커 생산량당 3,500~5,000MJ/ton의 비열이 요구되는 것과 관련하여, 900~1,000kg/ton로 추정할 수 있지만 연료의 유형에 따라 다르며, 약 60%가 소결공정에서 발생되며 나머지 40%는 연료의 연소과정임
- 탄소가 함유된 연료의 연소에 의한 CO₂의 배출은 비열의 요구량뿐만 아니라 연료의 열을 내기 위한 탄소 함유량의 비율에 직접적으로 비례함
- CO의 배출은 원료물질의 유기성물질의 함량과 관련이 있지만 고회전연료의 투입이 최적의 상태 이하로 운전되는 불완전연소에 의해서 발생되며, CO 농도는 1,000mg/Nm³ 보다 높을 수도 있고, 때때로 2,000mg/Nm³을 초과하는 경우도 발생함
- 호퍼나 이송 컨베이어, 투입구의 적절한 설계는 최적의 고회전폐기물 투입비율을 유지하기 위해서 필수적이며, 화학 양론적인 연소조건 이하에서 운영된다면 CO는 0.5% 보다 많은 양이 발생됨

□ 휘발성 유기화합물(VOCs)

- 일반적으로 연소공정에서 휘발성 유기화합물이나 일산화탄소의 발생은 연료의 완전연소와 관련이 있음. 시멘트 소성로는 가스의 충분한 체류시간, 높은 온도, 과잉산소 조건으로 운전되기 때문에 휘발성 유기화합물이나 일산화탄소의 발생비율이 낮은 편이며, 발생농도는 운전 조건이 변화하는 동안에 증가함
- VOCs의 배출은 원료물질에 존재하는 유기성 성분이 가열됨에 따라 휘발되므로 예열기, 예비소성로 공정의 첫 번째 단계에서 발생할 수 있음. VOCs는 400~600℃의 온도에서 배출되며 시멘트 소성로에서 발생하는 배기가스의 VOCs 농도는 보통 10~100mg/Nm³임

4.2.2 잔류성유기오염물질(다이옥신)

□ 다이옥신 개론

○ 다이옥신의 정의

- 두 개의 벤젠고리에 염소가 여러개 붙어 있는 화합물로 산소가 두개인 다이옥신류와 산소가 한 개인 퓨란류를 합하여 말하며 210종류가 있음
- 다이옥신류(polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDDs): 75종류
- 퓨란류(polychlorinated dibenzofuran, PCDFs): 135종류

○ 물리적 성질

- 다이옥신은 상온(25℃)에서 무색의 결정성 고체이며, 물에 잘 녹지 않고 열화학적으로 안정하여, 자연계에서 한 번 생성되면 잘 분해되지 않고 안정적으로 존재하며, 지방에는 잘 녹기 때문에 생물체 안에 들어온 다이옥신은 소변으로 배설되지 않고 생물체의 지방 조직에 축적되는 성질을 가지고 있는 물질임

○ 독성

- 다이옥신은 염소의 치환 위치 및 수에 따라 독성강도가 다르며, 210종의 이성체 중 독성이 가장 강한 것은 2, 3, 7, 8 -사염화다이옥신(T4CDD)임
- 발암성 물질의 분류에서 다이옥신의 독성은 미국 EPA에서는 B1으로, 국제암연구센터(IARC)에서는 group 2A에서 1998년도에 group 1로 조정되었음

<표Ⅲ.4- 4> WHO 발암성 물질의 분류 및 발암 강도

국제암연구센터	미국 환경청	내 용
1	A	인간에게 암을 일으킨다는 증거가 충분히 있는 물질
2A	B1	동물실험결과 암을 일으키거나 역학조사 결과 인간에게 암을 일으킬 가능성이 있는 물질
	B2	동물실험 결과 암을 일으키거나 인간에게는 암에 대하여 확실한 증거가 없는 물질
2B	C	인간에 대한 자료는 없으나 동물에 대한 제한적 자료가 있는 물질
3	D	인간 및 동물에 대한 자료가 불충분하여 인간에게 암을 일으킨다고 판단할 수 없는 물질
4	E	동물실험, 역학조사 결과 인간에 암을 일으킨다는 증거가 없는 물질

□ 다이옥신 발생원

○ 발생원

- 환경내의 다이옥신류의 발생은 광범위하나, 주로 염소를 포함하고 있는 화합물의 연소에 의해 생성되고, 제초제 등을 제조하는 과정에서 불순물로 존재하기도 함

<표Ⅲ.4- 5> 다이옥신의 주요 배출원

오염원분류		대상시설	주요 세부내용
1차 오염원	인위 적인 발생	화합물 제조	염화페놀 관련물질의 제조 공정(제초, 곰팡이 방지, 살충제의 용도)
		폐기물 소각	도시폐기물, 산업폐기물, 의료폐기물, 슬러지의 소각에 따른 굴뚝 먼지, 비산재 및 바닥재
		펄프, 종이제조	염소화합물에 의한 표백처리 공정
		자동차	휘발류 첨가제(4에틸납), 포착제(2-염화-2-브로모 에탄) 사용
	기 타	담배연기, 에너지 소비가 많은 산업시설 등	
	자연적인 발생	화산, 화재, 번개 및 산불 등	
2차 오염원		식품섭취, 음용수 섭취, 공기흡입, 피부접촉, 토양, 하수오니, 퇴비 및 퇴적물 등	

○ 발생원별 배출량 비교

<표Ⅲ.4- 6> 미국의 대기 중 다이옥신 오염원(또는 배출원) 및 연간 배출량

[Unit : g-TEQ/yr, %]

발생원	배출량(g-TEQ/yr)	비율(%)
합계	9,300	100
시멘트	350	4
도시쓰레기 소각	3,000	31
유해폐기물 소각	35	< 1
오물침전물 소각	23	< 1
병원쓰레기 소각	5,100	53
무연 휘발유	1.3	< 1
디젤 연료	85	1
유연 휘발유	1.9	< 1
장작연소	360	4
산림화재	86	1
구리제련 및 정제관련	230	2

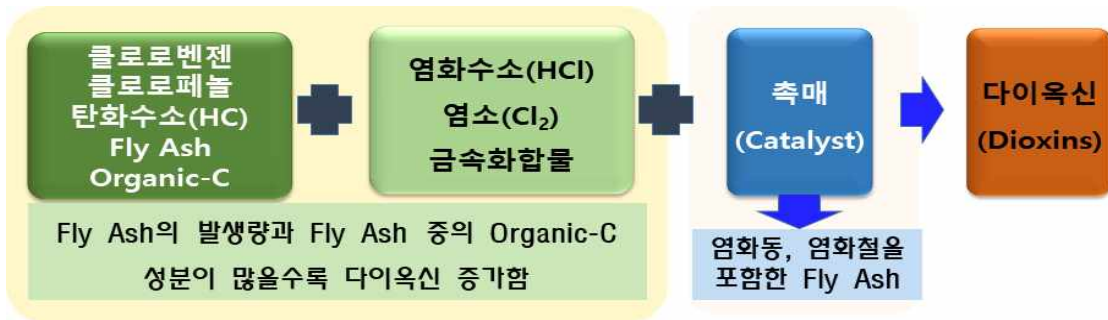
□ Dioxin의 생성 조건

- 소각 대상물에 본래 포함된 Dioxin이 소성로에서 분해되지 않고 그대로 배출되는 경우(도시폐기물, 사업장폐기물, 슬러지 등)
- Dioxin 전구물질(precursor)의 존재
 - 전구물질은 연소가스 중에 존재하는 O₂, Cl 등과 반응하여 다이옥신이 250~450°C (200~600°C)구역에서 재형성되어 활발히 다이옥신류가 생성됨(300°C 부근)
 - 전구물질 : CPs, PCBs, CBs, 방향족 염소화합물 등
 - 문제는 전구물질의 존재보다는 온도가 큰 인자임
- 소성로의 온도와 Dioxin
 - 소성로 온도와 Dioxins 농도와의 관계 850~900도에서 가장 작고, 그 보다 낮을수록 발생량이 증가함
 - 소성로 온도의 총다이옥신류 및 CO 농도와의 관계
 - * 850~900도에서 CO 발생량이 가장 작고, 그 보다 낮을 수록 발생량이 증가함
→ 다이옥신 증가
 - 산소에 대한 총 다이옥신류 농도에 대한 관계 산소 농도 9%에서 가장 작고, 그 보다 낮을 수록 발생량이 증가함
 - 일산화탄소와 총다이옥신류 농도의 관계 10~15ppmv에서 가장 작고, 그 보다 높을 수록 발생량이 증가함

□ 다이옥신의 재생성

- Dioxin 생성이 잘 되는 연소 온도, 소성로의 구조 등
 - 다이옥신은 소성로에서 800~850°C 이상으로 소각시 대부분 파괴되어 낮은 농도로 배출이 가능 하나, 소성로 출구에서 연소가스가 300°C 정도로 냉각될 때 다시 재생성 됨 → 재생성(De-novo synthesis)
 - 연소시 접촉이 좋으면 물과 이산화탄소가 발생하나, 나쁘면 다이옥신이나 그 전구물질이 발생
 - 결국 다이옥신은 불완전연소 생성물에서 합성되는 것으로 생각되며, 이러한 불완전 연소의 지표가 되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 농도는 다이옥신의 중요한 지표

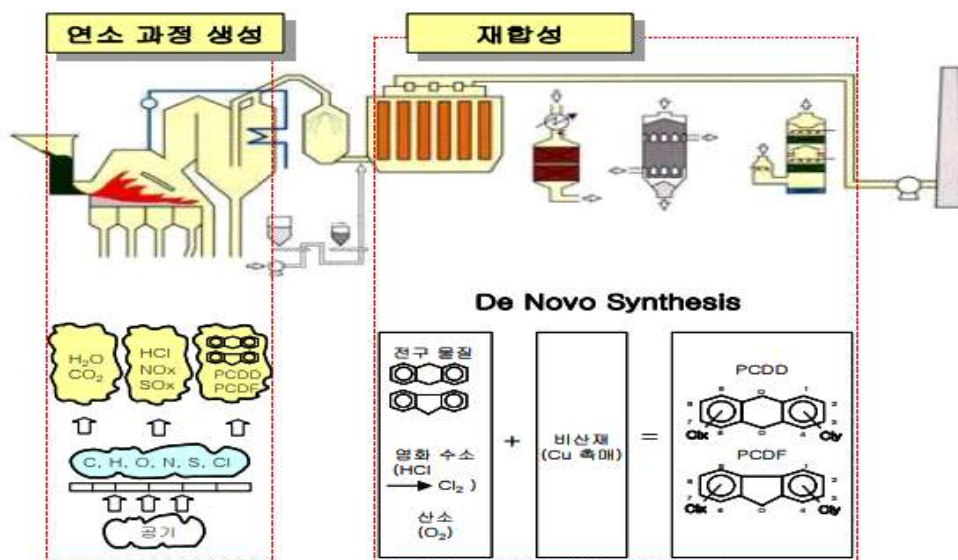
○ Dioxin의 재생성 : 디노버 합성 (De-novo synthesis)



[그림III.4-14] 다이옥신의 생성 메카니즘

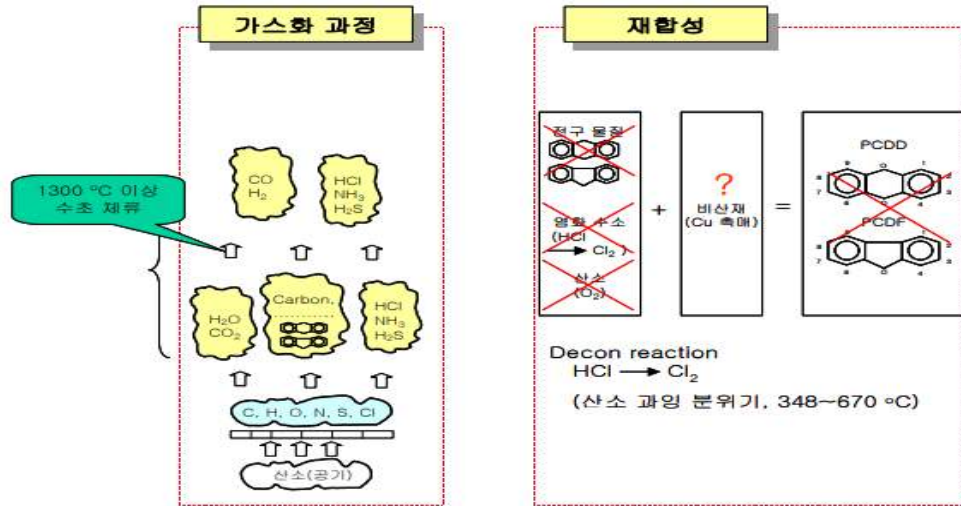
○ 생성과정

- In-furnace formation : 연소과정 중에 시료에서 발생한 탄화수소 전구물질 (precursor)들이 Cl이 포함된 화합물 또는 complex organic molecule들과 반응하여 dioxin/furan의 다이옥신류 화합물을 생성
- Post-combustion formation : 다이옥신 전구물질이 낮은 온도영역에 있는 후연소영역의 flyash에 기상응축과 flyash 같은 입자의 표면에서 촉매반응을 통해 형성



자료출처 : 윤용승, 유영돈, 소각과 가스화 반응에 의한 Dioxin류 발생의 비교, 고등기술연구원 Plant Engineering 센터

[그림III.4-15] 소각에 의한 다이옥신류의 생성 메카니즘



자료출처 : 윤용승, 유영돈, 소각과 가스화 반응에 의한 Dioxin류 발생의 비교, 고등기술연구원 Plant Engineering 센터

[그림III.4-16] 가스화에 의해 다이옥신류가 비생성 메카니즘

□ 잔류성유기오염물질 배출기준

- 잔류성유기오염물질 중 대기오염물질로 대표적으로 관리되고 있는 다이옥신은 「잔류성유기오염물질 관리법 시행령」 제16조에 따라 동법 시행령 [별표 3]에 환경기준(연간 평균치 0.6pg-TEQ/Sm³ 이하)이 제시되어 있음
- 다이옥신 관리를 위하여 「잔류성 유기오염물질 관리법 시행규칙」 [별표 1]에서 배출시설을 규정하고 있으며, 동법 내 시설별 배출허용기준을 정하여 이를 확인할 수 있는 측정주기, 초과배출 시의 개선명령·사용중지명령 및 폐쇄명령에 대한 사항이 제시되어 있음
- 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 규정한 배출시설 목록인 제철 및 제강시설, 알루미늄 압연, 압출 및 연신제품 제조시설, 동 제련, 정련 및 합금 제조시설, 동 압연, 압출 및 연신제품 제조시설, 시멘트 제조시설, 석유화학계 기초 화학물질 제조시설, 소각시설 중 산업시설에서 고형연료를 사용하는 시설이 누락되어 있음
- 고형연료 사용시설은 별도로 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」상에 다이옥신 배출허용기준 및 관련 관리사항이 규정되어 있음

- 고행연료 사용시설과 소각시설의 다이옥신 배출허용기준을 비교하면 동일한 수준으로 볼 수 있음
- 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의10 제1항 관련과 「잔류성유기오염물질 관리법 시행령」의 다이옥신 측정주기를 비교하면 고행연료 제품 사용시설은 연 1회 이상으로 측정주기가 단일한 반면 시간당 2톤 이상 소각시설은 측정주기가 6개월마다 1회 이상이며, 이에 최소한 소각시설에 적용되는 기준에 준하는 측정주기 개선이 필요함
- 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 내에는 고행연료 사용시설에 대하여 다이옥신 측정의 주체가 명확하지 않으며, 배출허용기준을 초과하면 고행연료 제품 사용시설 소재지를 관할하는 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수구청장에게 알리는 것으로 되어 있어 모든 측정결과를 의무적으로 알리도록 개선하는 것이 필요하함

<표Ⅲ.4- 7> 잔류성유기오염물질 배출시설

배출시설	대상 배출시설
1. 제철 및 제강시설	가. 용량이 시간당 300kw 이상인 전기아크로 나. 연료사용량이 시간당 30kg 이상이거나 용적이 1m ³ 이상인 소결로
2. 알루미늄 압연, 압출 및 연신제품 제조시설	가. 용량이 시간당 300kw 이상인 전기아크로(유도로를 포함한다)
3. 알루미늄 제련, 정련 및 합금 제조시설	나. 노상면적이 4.5m ² 이상인 반사로 다. 1회 주입 원료량이 0.5톤 이상이거나 연료사용량이 시간당30kg 이상인 도가니로
4. 동 제련, 정련 및 합금 제조시설	라. 연료사용량이 시간당 30킬로그램 이상이거나 용적이 1m ³ 이상인 전로, 정련로, 배소로, 용융·용해로, 전해로, 건조로
5. 동 압연, 압출 및 연신제품 제조시설	
6. 시멘트 제조시설	연료사용량이 시간당 30kg 이상이거나 용적이 3m ³ 이상인 소성시설
7. 석유화학계 기초 화학물질 제조시설	연료사용량이 시간당 30kg 이상이거나 용적이 1m ³ 이상인 이염화에틸렌·염화비닐 제조시설
8. 소각시설	시간당 소각능력이 25kg 이상인 폐기물소각시설(폐기물 소각열 회수 시설을 포함한다)

자료출처 : 국가법령정보센터, 잔류성유기오염물질 관리법 시행규칙

- 다이옥신 배출허용기준을 초과하였을 경우 해당하는 처벌기준을 비교하면 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」에서는 1년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금에 해당하지만 「잔류성 유기오염물질 관리법」상에는 이후 행정처분(개선명령, 중지명령) 단계와 폐쇄명령 단계가 있는 차이를 보이고 있음

<표Ⅲ.4- 8> 잔류성오염물질 배출허용기준(제7조 관련)

[Unit : ng-TEQ/Sm³]

		신설시설	기존시설		비 고
			2009.1.1. ~ 2011.12.31.	012.1.1.이후	
시멘트소성로		0.1	0.1	0.1	산소농도 13%
소각시설	4t/hr 이상	0.1	1		산소농도 12%
	2~4t/h	1	5		
	0.025t/hr~2t/hr	5	10		
생활폐기물 소각시설	2t/hr이상	0.1			
감염성폐기물소각시설	4t/hr이상	0.1	0.1	1	
	2~4t/h	1	1	5	
	1~2t/h	1	1	5	
	0.2t/hr~1t/hr	5	5	5	
	0.025t/hr~0.2t/hr	5	10	10	

자료출처 : 국가법령정보센터, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률, 잔류성유기오염물질관리법, 재구성

- 다이옥신 관리의 경우 고형연료 사용시설은 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한법률」 내에서 관리하는 것보다 「잔류성 유기오염물질 관리법」 내에서 통합관리하는 것이 바람직함
- 「잔류성 유기오염물질 관리법」 제4조에 따른 『잔류성유기오염물질관리기본 계획』(이하 “기본계획”)을 수립할 때도 중요한 잔류성 유기오염물질 배출 원인 고형연료 사용시설이 누락되지 않도록 하는 것이 중요할 것임

- 고행연료 사용시설은 다이옥신뿐만 아니라 스톡홀름 협약 대상 잔류성유기 오염물질 중 부속서 C에 해당하는 소각 등의 공정과정에서 비의도적으로 생산된 물질들에 대하여도 관리방안 마련이 필요함
- 이는 다이옥신 외 잔류성유기오염물질에 대하여 관리하고 있는 「잔류성유기오염물질 관리법」 내에서 고행연료 사용시설에 대한 모니터링, 관리계획 수립 등에 주의를 기울여야 함을 의미함

<표Ⅲ.4- 9> 부속서 C(비의도적으로 생산)의 목록과 IARC 발암성 등급

부속서 C 물질명	발암 등급	
	WHO IARC	US EPA
헥사클로르벤젠 (HCB: Hexachlorobenzene)	2B	B2
헥사클로로부타디엔 (HCBD: Hexachlorobutadiene)	3	C
펜타클로르벤젠 (Pentachlorobenzene)	-	D
다염소화 비페닐 (PCB: Polychlorinated biphenyls)	1	B2
다이옥신 (PCDD: Polychlorinated dibenzo-p-dioxins)	1, 3	B2
퓨란 (PCDF: Polychlorinated dibenzofurans)	3	-
다염소화 나프탈렌 (Polychlorinated naphthalenes)		-

주: 1) 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-para-dioxin
 2) other than 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-para-dioxin
 3) Hexachlorodibenzo-p-dioxin (HxCDD), mixture of 1,2,3,6,7,8-HxCDD and 1,2,3,7,8,9-HxCDD

자료출처 : IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, "List of classifications, Volumes 1-222", IRIS, "Intergrated Risk Information System, Stockholm Convention, All POPs listed in the Stockholm Convention

4.2.3 토양 오염물질

가. 토양 오염물질

- 토양오염물질이란 개별 환경관련 법령에서 규정하고 있는 거의 모든 오염물질이 대상이라고 할 수 있으나, 토양환경보전법에서는 특히 토양 중에서 분해되지 않고 오랫동안 잔류하는 물질로서 농작물의 생육을 저해하거나 지하수를 오염시키는 등의 작용으로 사람의 건강에 좋지 않은 영향을 미치는 물질을 대상으로 하고 있음

□ pH

- 토양의 pH는 포화염도(base saturation)와 더불어 토양의 가장 중요한 화학적 성질로서 토양학자인 Northcote 박사는 pH의 변화를 이용하여 토양을 분류함
 - 일반적으로 토양의 pH는 3~9정도의 넓은 범위를 가지며 일부 토양은 극산성 또는 극염기성을 띠기도 함
 - 산성토양은 주로 황철석, 황을 포함하는 소택지나 습지에서 관찰되며, 염기성 토양은 주로 탄산염(sodium carbonates)이 존재하는 토양에서 관찰됨. 최근에는 산성광산 배수(acid mine drainage)의 영향을 받은 토양에서도 매우 낮은 pH를 갖는 토양이 관찰되기도 함
- 토양의 pH는 주로 유기물과 양이온의 형태 및 그 양에 의해 조절되며, 다량의 유기물은 유기산을 형성하여 토양의 산도를 높임. 물론 다량의 염기를 함유한 경우는 유기산에 의해 산성토양을 중성으로 중화하기도 함
 - 이탄(peat)질 토양의 pH는 3~4정도의 산성을 띠지만 이들의 형성 당시에 탄산칼슘과 같은 다량의 염기들이 용해된 물에 의해 중성의 pH를 가짐
 - 수소와 알루미늄이 온도 토양의 산도에 영향을 주며, 1차 광물에서 수화되어 빠져 나온 알루미늄이온(Al^{3+})은 토양수에 존재하는 수산화이온(OH^-) 3개와 결합하여 수산화알루미늄($Al(OH)_3$)으로 침전되며, 남아있던 수소이온(H^+)의 농도가 증가되어 토양의 pH를 낮추게 됨
- 강우의 영향으로 토양에 있는 양이온이 침전 또는 제거되면서 자유로운 수소이온이 증가되어 pH가 낮아지기도 함

나. 토양환경 기준

- 오염된 토양을 평가하는 5가지 방법
 - 토양 중의 중금속 원소들의 전체함량을 분석하고 비교지역의 토양(배경토양)과 비교함으로써 토양의 오염을 평가하는 방법
 - 오염된 토양지역에서 성장하는 식물 내의 중금속함량을 측정하여 비오염지역과 비교 평가하는 방법
 - 토양 중의 중금속함량 변화를 광역적으로 조사하여 광역 지구화학도를 작성하여 오염도를 평가하는 방법
 - 토양오염의 수준과 정도를 지수로서 표시하는 오염지수 방법이며, 이 방법은 토양에서 농작물을 재배할 경우 농작물의 섭취로 인한 인간과 동물의 건강이나 질병에 영향을 끼칠 수 있는 중금속들의 허용한계치를 각각 정해 오염도 평가
 - 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 토양오염우려기준과 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 주어 토양오염에 대한 대책을 필요로 하는 토양오염대책기준을 법으로 규정하고 법으로 규정되어 있는 시험법에 따라 분석하여 토양오염기준과 비교하여 오염도를 평가하는 방법(과학기술부, 1999).
- 최근 오염토양복원에 대한 관심이 증대됨에 따라 토양질의 목표기준이 되는 판단기준의 설정이 필요하지만, 이러한 기준은 국가의 정책과 직결되는 사안임
- 오염정도가 사람의 건강과 재산, 그리고 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 토양오염기준을 토양오염우려기준으로 토양오염대책기준의 40% 수준으로 설정하고 있으며, 이 기준을 초과하여 사람의 건강과 재산, 그리고 동·식물의 생육에 지장을 주어 토양오염에 대한 대책이 필요한 기준을 토양오염대책기준으로 설정하고 있음
- 대책기준은 오염이 심하여 대책이 필요한 지역의 관리를 위해서 적용하고 있고, 우려기준은 오염의 진행정도 판단과 오염방지를 위한 예방조치가 필요한 지역에 대해 적용할 뿐만 아니라 오염지역 복원시 복원기준으로 이용함

- 현재의 토양환경기준은 2009년 6월 25일에 개정되어 2010년 1월 1일부터 새로이 적용된 것이며, 새로이 개정된 토양오염기준에는 과거에 ㉠ 지역과 ㉡ 지역으로 구분되어 있는 것을 1, 2, 3 지역으로 구분하였고, 과거에 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌)로 되어 있는 항목을 각각 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 항목으로 개별 분리하였으며, 벤조(a)피렌이 추가되었음

<표Ⅲ.4-10> 우리나라 토양환경보전법상 토양오염 우려기준 및 대책기준

물질	우려 기준			대책 기준		
	1지역	2지역	3지역	1지역	2지역	3지역
카드뮴	4	10	60	12	30	180
구리	150	500	2,000	450	1,500	6,000
비소	25	50	200	75	150	600
수은	4	10	20	12	30	60
납	200	400	700	600	1,200	2,100
6가크롬	5	15	40	15	45	120
아연	300	600	2,000	900	1,800	5,000
니켈	100	200	500	300	600	1,500
불소	400	400	800	800	800	2,000
유기인화합물	10	10	30	-	-	-
폴리클로리네이티드비페닐	1	4	12	3	12	36
시안	2	2	120	5	5	300
페놀	4	4	20	10	10	50
벤젠	1	1	3	3	3	9
톨루엔	20	20	60	60	60	180
에틸벤젠	50	50	340	150	150	1,020
크실렌	15	15	45	45	45	135
석유계총탄화수소(TPH)	500	800	2,000	2,000	2,400	6,000
트리클로로에틸렌(TCE)	8	8	40	24	24	120
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	4	25	12	12	75
벤조(a)피렌	0.7	2	7	2	6	21
1,2-디클로로에탄	5	7	70	15	20	210

자료출처 : 토양환경보전법 시행규칙

※ 비고

1. 1지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 전·답·과수원·목장용지·광천지·대(「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제58조제8호가목 중 주거의 용도로 사용되는 부지만 해당한다)·학교용지·구거(溝渠)·양어장·공원·사적지·묘지인 지역과 「어린이놀이시설 안전관리법」 제2조제2호에 따른 어린이 놀이시설(실외에 설치된 경우에만 적용한다) 부지

2. 2지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대(1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대를 말한다)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지(「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제58조 제28호가목 또는 다목에 해당하는 부지만 해당한다)인 지역
3. 3지역: 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지(2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1호가목부터 마목까지에서 규정한 국방·군사시설 부지
4. 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」 제48조에 따라 취득한 토지를 반환하거나 「주한미군 공여구역주변지역 등 지원 특별법」 제12조에 따라 반환공여구역의 토양 오염 등을 제거하는 경우에는 해당 토지의 반환 후 용도에 따른 지역 기준을 적용한다.
5. 벤조(a)피렌 항목은 유독물의 제조 및 저장시설과 폐반침목을 사용한 지역(예: 철도용지, 공원, 공장용지 및 하천 등)에만 적용한다.
6. 법 제11조제3항, 제14조제1항, 제15조제1항 및 같은 조 제3항 각 호에 따른 토양정밀조사 실시나 오염토양의 정화 등을 명하는 경우 토양오염우려기준은 조치명령 당시의 지목을 기준으로 한다. 다만, 정밀조사 기간 또는 정화 기간이 완료되기 전에 지목이 변경된 경우에는 변경된 지목을, 다음 각 목의 어느 하나에 해당하여 지목변경이 예정된 경우에는 변경 예정 지목을 기준으로 한다.
 - 가. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 등 관계 법령에 따라 개발행위 허가 또는 실시 계획 인가 등을 받고 토지의 형질변경 등의 공사가 착공된 경우
 - 나. 건축물의 용도변경을 위하여 「건축법」에 따라 용도변경 허가를 받았거나 신고한 후 공사가 착공된 경우
 - 다. 다른 법령에 따라 지목변경 사유에 해당하는 공사가 착공된 경우
7. 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」에 따른 지목이 등록되어 있지 않은 토지에 대하여 법 제11조제3항, 제14조제1항, 제15조제1항 또는 같은 조 제3항 각 호에 따른 토양정밀조사의 실시나 오염토양의 정화 등을 명하는 경우 토양오염우려기준은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」 등 관계 법령에 따른 개발행위 허가 또는 실시계획 인가 등의 관계 서류를 통하여 확인할 수 있는 토지의 용도에 부합하는 지목을 기준으로 한다. 다만, 관계 서류를 통하여 그 용도를 확인할 수 없는 경우에는 1지역에 해당하는 지목을 기준으로 한다.

4.2.4 소음

가. 소음 특성

- 대기오염 및 수질오염 등은 유해물질에 의한 인간의 건강을 해치는 물질공해라 할 수 있지만, 소음과 진동은 인간의 심리적, 생리적 요인을 좌우하는 감각공해임으로 그 오염특성 또한 여타의 특성 오염과는 다른 양상을 나타내고 있음
- 소음이 물리적인 특성과 관련한 중요한 개념은 주파수와 음의 세기이며, 주파수는 입자가 운반되는 과정에서 앞, 뒤로 또는 아래, 위로 에너지가 움직이는 일정한 운동이 시간 당 몇 번 발생하는가를 나타내는 단위를 주파수라 하며, Hz로 표시함. 인간이 귀로 들을 수 있는 주파수 대역은 일반적으로 20~20,000Hz임
- 소음원은 각종 기계로부터 발생하는 기계소음, 건설과 관련된 건설소음, 자동차 등 수송수단에 대한 교통소음, 가정에서의 생활 소음 등으로 대별할 수 있으며, 산업과 경제의 발달, 그리고 도시화에 따라 이들에 의한 공해도가 급격히 증가하고 있음
- 소음이 인체에 미치는 영향을 구분하면 소음성 난청, 생리기능에 미치는 영향, 순환기계에 미치는 영향, 심리적인 기능에 미치는 영향 등으로 나눌 수 있으며, 소음성 난청은 가장 광범위하게 나타나는 영향으로 초기에는 4,000Hz 주변 영역의 청력손상이 먼저 오고, 소음에 대한 폭로가 지속적으로 진행된다면 다른 주파수 영역으로 점차 확산되면서 가청주파수(20~20,000Hz) 영역에 손상을 가져옴
- 순환기계에 대한 영향으로는 소음에 대한 폭로 영향으로 혈관이 수축되어 손가락 끝의 혈류량이 감소하여 손가락 끝 맥파의 진폭이 작아지는 결과를 초래하는데 이러한 영향은 동물실험이나 역학적인 조사에서도 일치된 결과가 확인되고 있으며, 심리적인 기능에 미치는 영향으로는 주로 불쾌감, 수면방해, 대화방해, 작업능력에 저하 및 취학 아동들의 학업 능력 저하, 긴장, 불안 등 정신적인 측면이 알려져 있음

- 소음 진동규제법상 소음의 정의는 기계·기구·시설 기타 물체의 사용으로 인하여 발생하는 강한 흔들림을 말하며, 특히, 도시소음은 다른 공해요소와는 달리 주민들의 건강에 미치는 장기적인 영향 이외에 정서생활에도 커다란 영향을 미치고 있어 대기오염, 수질오염 등 여타 환경오염 문제 못지않게 중요성을 나타내고 있음
- 도시의 소음은 일반적으로 공장소음, 건설공사장, 이동행상소음 등이 있지만 그 가운데 가장 큰 소음공해는 교통수요 증대로 인한 교통소음인 것으로 인식되고 소음이 인체에 미치는 영향은 청력에 영향을 준다는가 인간이 소음으로 인해 다른 일에 몰두할 수 없다는가 또는 TV를 보는데 방해를 받는다는가 정식적·신체적으로 피해를 받는 것 등으로 여러 가지가 있음

<표Ⅲ.4-11> 소음 발생원

구 분	구체적 발생원
교통소음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 자동차 엔진 가동 및 배기소음 ◦ 경적음 ◦ 타이어와 노면 마찰소음 ◦ 철도소음
생활소음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 앰프, 차임벨 등 확성기소음 ◦ 소규모 공장 및 사업장 발생소음 ◦ 이동행상 등 이동소음원 ◦ 건축설비에서 발생소음 ◦ 향타기 등 특정 공사장비 발생소음 ◦ 발파작업시 발생소음 ◦ 출입차량 운행소음
공장소음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 동력(모터) 기기사용 소음 ◦ 작업기계 발생소음(충격음 발생기계) ◦ 원료 및 제품 운반시 소음
항공기 소음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 항공기엔진 소음

나. 소음기준

- 우리나라 소음환경기준은 국제표준화기구(ISO)의 주거환경과 작업능률 및 기타 사회활동에서 가장 적합한 소음권고기준을 근거하여 환경정책기본법에 규정되어 있으며, 전국을 국토이용관리법(도시지역은 도시계획법)의 지역구분에 따라 4개 지역으로 구분하여 시간대별 차등 설정

<표Ⅲ.4-12> 우리나라의 소음환경기준

지역구분	적용대상지역	환 경 기 준	
		낮(06:00 ~ 22:00)	밤(22:00 ~ 06:00)
일반지역	“가”지역	50	40
	“나”지역	55	45
	“다”지역	65	55
	“라”지역	70	65
도로변지역	“가” 및 “나”지역	65	55
	“다”지역	70	60
	“라”지역	75	70

(주)“가”지역 :전용주거지역, “나”지역 :일반주거지역, “다”지역 :상업 및 준공업지역, “라”지역 :공업지역
 자료출처 : 환경부, 홈페이지(www.me.go.kr) 법령 정책

4.3 시멘트 사업장 주변의 대기오염물질 영향

4.3.1 분진

- 시멘트 공장에서 발생, 비산되는 미세먼지는 호흡기를 통하여 인체 내로 유입되며, 분진의 폐침착으로 인하여 진폐증을 비롯한 폐질환을 일으킬 수 있음
 - 시멘트 입자의 크기는 주로 0.05~5.0 μm 로 호흡기나 구강을 통해 들어 온 먼지를 삼켜서 인체에 들어옴
 - 호흡기를 통해 유입된 시멘트 입자의 축적은 입자의 크기나 모양, 입자의 전하량 또는 시멘트 입자의 산성도나 알칼리성 등에 의해 영향을 받음
 - 시멘트 입자의 크기가 10 μm 이상일 경우는 비강에서 걸러질 수 있지만 3~10 μm 인 경우에는 기관지에, 0.1~3 μm 경우는 폐포에 침착됨
 - 시멘트 먼지는 폐기능을 악화시키고 폐쇄성 또는 제한성 폐질환이나 진폐증과 위암 및 대장암을 유발할 수 있으며, 전신의 순환계를 통해 심장, 간, 비장, 골수, 근육 등에도 영향을 미칠 수 있다는 보고도 있음
- 시멘트 생산공정에서 원료와 클링커, 그리고 최종 생산물 등에서 발생한 분진에 노출된 작업자들에게서 폐기능의 감소와 호흡기계 증상이 증가하는 것이 확인됨 (Health and Safety Executive. 2004)
- 시멘트 분진에 노출된 근로자들을 대상으로 한 연구에서 전형적으로 호흡기계 증상의 빈도가 많아지고 폐기능이 감소하는 호흡기계의 유해건강영향이 밝혀졌고, 이러한 영향은 연령, 흡연여부, 비만도 등에 의해 설명되지 않음(Al-Neaimi et al 2001)
- 시멘트공장에서 발생하는 오염물질과 건강영향에 관한 연구
 - 시멘트제조 공정에서 보다 높은 농도의 분진에 노출되는 고위험 집단에서 저위험 집단에 비하여 폐기능이 통계적으로 유의하게 저하되었다는 보고(Kakooei et al., 2012; Mwaiselage et al., 2004)
 - 시멘트공장에서 근무하는 작업자들에게서 분진의 노출과 폐암, 후두암, 방광암 간 연관성이 있음(Dietz et al., 2004; Smailyte et al., 2004)

- 시멘트 생산공정에서는 주원료인 석회석뿐만이 아니라 석탄재나 오토티나 기타 여러 가지 폐기물을 부원료로 혼합하여 사용하며, 소성 과정 중의 연료로 폐타이어나 폐유, 폐합성수지 등과 같은 여러 가지 산업폐기물을 부연료로 사용하기 때문에 분진과 더불어 중금속 및 다환방향족탄화수소류(PAHs)에 의한 환경유해물질을 배출할 수 있음
- 시멘트 분진에 함유된 일부 중금속은 암을 유발할 수 있으며, 소성 공정에서 배출되는 다환방향족탄화수소(PAHs) 성분들 중에도 암을 유발하는 것으로 알려진 물질들이 포함됨

<표Ⅲ.4-13> 시멘트 분진에 의한 건강영향시멘트 분진에 의한 건강영향

기관	장기	건강영향
호흡기계	폐	기침과 가래 폐질환, 늑막비생후성, 폐기능 손상, 폐쇄성/제한성, 폐질환, 늑막비후, 섬유화, 폐기종, 폐결절, 진폐, 폐암
소화기관	구강	기치계주 외상, 점막 염증, 치아 표면 손상, 치주질환, 치아 마모와 우식
	간	사인곡선, 관벽 세포의 확산 평윤과 증가, 육종 육아종, 간 섬유화 및 병변
	위	위통, 위암
신경계	뇌	두통, 피로
림프계	비장	림프조직 감소 및 병변
기타	눈, 피부, 골	안구 염증, 눈물 분비와 결막염, 피부 염증, 가려움, 피부염, 골괴저, 상완골 병변, 골피질 두께 감소, 골단연골 감소

자료출처 : 충북대학교, 삼척 시멘트공장 주변지역 주민건강영향조사, 2011

4.3.2 시멘트 소성로 환경영향

- 김 등(2006)은 국내의 폐기물을 처리하는 시멘트 소성로 사업장 3개소를 대상으로 소성시설의 굴뚝과 대기오염 방지시설 전·후단에서 중금속 농도를 조사하였음
 - 총수은의 배출농도가 국내배출허용기준인 $0.1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 을 만족
 - 시멘트 소성로의 경우 투입연료 및 투입원료에 따라 배출물질의 종류 및 정도가 다르게 나타나며, Al, Zn이 각각 $3.7431\text{mg}/\text{Nm}^3$ 과 $0.0291\text{mg}/\text{Nm}^3$ 으로 주로 배출됨
 - 시멘트 소성로에 대한 중금속의 배출농도규제치가 존재하지 않기 때문에 국내 소각시설의 기준들(허가용량이 2 ton/hr 이상의 시설)과 비교한 결과 규제중금속 항목의 경우 배출허용기준과 비교할 때 현저하게 낮은 농도의 결과를 나타냄
 - VOCs의 경우 acrylonitrile, benzene, toluene이 각각 $22.78\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, $327.83\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, $43.00\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 으로 나타났으며, 이 물질들은 연료 대체를 위해 투입되는 폐기물인 폐합성수지, 재생유 등에 다량 함유되어 있는 것으로 사료됨
- 강 등(2005)은 시멘트 제조공장의 소성로에서 폐기물을 고온 소각함으로써 발생하는 다이옥신의 특성변화와 클링커의 중금속 특성 변화에 대한 검토
 - CO 농도는 유연탄만을 사용할 때 239.9~406.4ppm이었으며, 유연탄에 폐기물을 5~7% 혼소하였을 때 178.2~413.1ppm으로 비슷한 농도분포를 나타냄
 - NO_x의 경우 유연탄만을 사용하였을 때 266.6~513.6ppm이었으며, 유연탄에 폐기물을 5~7% 혼소하였을 때 239.1~518.9 ppm으로 일산화탄소와 유사한 경향을 나타냄
 - 다이옥신 배출특성을 살펴보면 유연탄만을 사용하였을 때는 3개 시설의 농도가 $0.02\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 이었으며, 폐기물을 같이 투입하였을 때는 $0.02\text{-}0.08\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 으로 농도차이는 크지 않은 것으로 나타남
 - 이는 연료로 투입되는 폐기물이 10% 이내로 큰 비중을 차지하지 못하고 있기 때문으로 사료됨
 - 클링커는 시멘트를 만들기 전 단계로서 소성시설에서 나오는 반제품으로 유연탄만을 사용할 때 용출시험 농도는 Cr⁶⁺의 경우 1.28~3.9ppm이었고, 폐기물을 같이 혼소할 때는 0.82~4.07ppm으로 나타남

- 전 등(2012)은 국내 시멘트 소성로의 투입폐기물에 따른 시멘트 제품에 대한 유해물질 우려가 있어 8개 제조업체에서 시멘트 소성로 투입폐기물(부원료, 보조연료)의 종류에 따른 중금속 함량 특성 분석 및 평가
 - 부원료 109건의 함량분석 결과 As, Cd, Cu는 국내 자율협약기준 이내이었으나, Pb의 경우 평균 농도는 1,551.3mg/kg으로 자율협약기준(1,000mg/kg)을 초과하는 것으로 나타남
 - 보조연료 89건의 함량분석 결과, As, Cd, Cu는 국내 자율협약기준 이내, Hg의 평균 농도는 0.7702mg/kg으로 자율협약기준인 1.2mg/kg이내이었으나, 독일기준 0.6 mg/kg과 스위스기준 0.5 mg/kg을 약간 초과하고 있음
 - 먼지, WDF, 폐합성수지, 정제유 일부에서 Hg 농도가 높게 검출되어 평균 농도를 높이는 원인이 되고 있음
- 김 등(2011)은 유연탄을 연료로 사용하는 상용규모의 시멘트 소성로에서 폐합성수지를 보조연료로 투입할 경우에 대기오염에 미치는 영향 평가
 - 폐합성수지는 고품원료 형태로 성형 RPF와 성형되지 않은 비성형 RPF를 사용하였으며, 유연탄만을 투입한 경우와 폐합성수지를 혼합한 경우를 비교하면 대기오염물질 발생에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 모든 연료물질에서 국내 시멘트 소성로 대기 배출허용기준을 만족하였음
 - 성형과 비성형 RPF를 비교하면 대기오염물질 배출농도는 유사하였으며, 연료공급형태에 따른 대기환경에 미치는 영향을 확인할 수 없었음
 - 복합악취 발생의 경우 연료 종류에 따른 차이 없이 희석배수 3으로 동일했으며, 대기환경 중 악취발생 영향은 미미하였음
 - 입자상 대기오염물질 중 총 부유분진은 폐합성수지 연료 사용에 의해 다소 증가하는 경향을 보였으나, 폐기물 사용에 따른 중금속 배출농도 증가는 미확인됨
 - 가스상 대기오염물질 중 일산화탄소는 폐합성수지 연료 사용에 의해 다소 증가하였으나 NO_x은 모든 연료에서 400mg/m³ 이상의 농도를 나타냄
 - 다이옥신의 경우 폐합성수지 연료 반입에 의한 영향은 적었고, 국내외 분석결과와 국내 기준치와 비교하였을 경우에도 우려할 수준은 아님

- 시멘트 소성로에서 폐타이어를 보조연료로 사용에 따른 대기오염에 미치는 영향
 - 보조연료 등에 대한 명확한 기준은 없으나 영국, 이탈리아, 스위스 등 일부 나라의 경우 폐기물에 대한 사용 가이드라인을 설정하여 관리하고 있음
 - 김 등(2008)이 연구한 ANSI(American National Standards Institute) 61-2007a법에 의한 중금속 용출시험에서는 모르타르공시체, 폐콘크리트, 폐벽돌로부터 모두 6개 항목(Pb, Cu, Cd, As, Hg, T-Cr)에서 ANSI기준치 이내로 조사됨
 - 일본 시멘트법에 의한 Cr⁶⁺ 용출시험에서는 시판되는 시멘트 및 공장에서 채취한 시멘트 모두 국내 시멘트 업계의 자율관리기준 30mg/kg 이내로 나타났으며, 국내산이 외국산보다 약 30% 정도 높게 검출되었고 일본산과 중국산은 비슷하게 나타남
 - EPA 3051법에 의한 중금속 함량시험에서는 국내산 시멘트의 중금속 함량이 중국산보다 다소 높고 Pb를 제외한 모든 항목에서 일본산보다 낮게 검출되었으며, 시멘트 주원료의 규석, 경석과 첨가제의 탈황석고에서 중금속들이 높게 검출되었고 부원료인 크린철과 제강슬래그에서 가장 높게 검출되었음
- 2006년 통계에 의하면, 독일을 비롯한 주요 시멘트 생산국들의 대체연료 이용률은 24~52%, 대체원료의 이용률은 2~15 %였다. 우리나라의 대체연료/원료 이용률도 각각 17.8 %와 6 %로 선진국들과 비슷한 수준이다. 국내에서는 1999년 환경부가 폐기물 신고제로 시멘트 소성로에 폐기물 투입을 허용하면서 대체원료/대체연료로의 폐기물 사용이 급증하고 있음
- 남 등(2009a)은 국내 8개 주요 시멘트 생산업체를 대상으로 주원료, 투입 폐기물(대체원료/대체연료)과 첨가제, 생산된 클링커와 시멘트 제품 중에 함유된 중금속 함량에 대한 기초 조사 실시
 - 중금속 투입량 대 배출량의 물질수지를 비교한 결과 Co, Sb, Sn에 대하여 50% 미만의 O/I를, Ba, Cr, Cu, V는 150% 이상, 그 외 나머지 중금속은 100±50%의 O/I를 경향을 보임

4.3.3 대기오염물질이 인체에 미치는 영향

가. 대기오염물질의 특징

- 세계보건기구(WHO)에서는 대기오염을 대기 중에 인위적으로 배출된 오염물질이 한 가지 또는 그 이상 존재하여 오염물질의 양, 농도 및 지속시간이 어떤 지역의 불특정 다수인에게 불쾌감을 일으키거나 해당 지역에 공중보건상 위해를 끼치고 인간이나 동식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태로 정의하고 있음
- 우리나라의 경우에는 대기오염물질을 대기환경보전법에서 SO₂, CO, NO_x 등 가스상물질(악취물질 포함)과 먼지 등 입자상물질을 포함한 총 52종 물질로 정하고 있음
 - 입자크기가 10 μ m보다 작은 미세입자의 경우 사람의 폐까지 깊숙하게 침투해 기관지와 폐에 쌓여 미세먼지는 각종 호흡기 질환의 직접적인 원인이 되고, 몸의 면역 기능을 떨어뜨린
 - 대기 중에 부유하면서 빛을 흡수, 산란시키기 때문에 시야를 악화시키기도 하고, 식물의 잎 표면에 쌓여 광합성 동화작용, 호흡작용과 증산작용 등을 저해하여 식물 성장에도 악영향을 미치고 있음
- 미세입자는 심폐질환으로 인한 수명단축과 시정(visibility) 감소의 원인으로 작용하여 건강에 직·간접적인 피해를 주고 있으며, 인체건강에 관련된 미세입자에 대한 과학적인 연구가 진행되고 있고, 이를 토대로 대기환경기준 및 배출규제 기준의 강화가 미국 및 유럽에서 계획되고 있고 추세임
 - 미세입자가 유발하는 질환으로는 천식이 대표적이며, 천식은 만성호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 흉부 압박감 등의 증상을 초래함
- 먼지는 공기 중의 고체상태의 입자와 액적상태의 입자의 혼합물을 말하며, 이러한 입자들은 자연 배출원 뿐만 아니라 여러 종류의 고정 배출원이나 이동 배출원으로부터 배출되므로 여러 형태의 모양과 크기를 가지고 있음
 - 먼지는 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래하며, 시정을 악화시킴
 - 식물의 잎 표면에 침적되어 신진대사를 방해함
 - 건축물에 퇴적되어 유적물이나 동상 등에 부식을 일으킴

나. 인체에 미치는 대기오염물질

Cd 및 그 화합물

- 카드뮴은 도료의 재료로서 광범위하게 사용되고 있으며, 카드뮴 화합물은 그림물감의 색소나 플라스틱공장, 전지, 사진재료, 살균제로 폭넓게 사용되고 있으며, 이 원소는 도로 근방의 토양에 상대적으로 많이 존재하는데, 그 이유는 자동차의 윤활유나 타이어에 카드뮴이 함유되어 있기 때문임
- 지각(crust) 중의 카드뮴 농도는 평균 0.15 mg/kg 정도이지만, 토양 중에는 암석의 풍화에 의하여 생성된 카드뮴이 토양입자에 흡착되기 쉬우므로 0.5 mg/kg 정도 존재하며, 우리나라 농토양 중 자연함유량을 조사한 결과 평균 0.14 mg/kg으로 나타나고 있음
- 카드뮴이 인체 내에 섭취되면 소화관과 폐를 통해 흡수되며, 소화관으로 들어온 카드뮴은 6% 정도가 흡수되고, 폐에서는 0.1 μ m 입자 중 50%, 2 μ m 입자 중 20%가 폐에 남아 흡수됨
- 혈액으로 들어온 카드뮴은 주로 간과 신장에 농축 저장되고 생물학적 반감기는 13-38년으로 알려져 있으며, 흡수된 카드뮴은 태반을 통과하지 못하므로 신생아에는 거의 존재하지 않음
- 카드뮴이 건강에 미치는 영향
 - 급성증상 : 구토 등 소화기 증상, 기관지염, 폐기종, 빈혈, 신장결석 등
 - 신장피질 축적 : 당뇨, 단백뇨, 아미노산뇨
 - 저농도 장기간 노출시 : 고혈압
 - 고농도 노출 : 기형, 돌연변이, 암 유발

Cu 및 그 화합물

- 구리염의 분진흡입으로는 초기에 구내 감미, 때로는 인두건조, 1~2시간 후에 발열, 두통, 흉통, 호흡장애, 탈력감이 나타나며, 일반적으로 체온은 1~2일 후 하강하여 다시 정상으로 됨
- CuSO₄가 5~6시간 정도 흡수되면, 용혈, 빈혈, 간, 신장해, 용혈성 활달을 나타내며, 심해지면 혼수에 빠져서 순환장애로 사망하게 됨

- 토양내에서 정상적인 구리함량은 거의 20 mg/kg으로 2-100 mg/kg 범위내에 있으며, 일반 토양의 pH나 산소분압의 조건 하에서는 Cu^{2+} 의 형태로 존재함
- 주요 발생원은 제련공정과 신동, 제선, 합금 등의 가공공정, 그리고 황산구리, 염화제일구리 등의 화합물 제조공정 등이며, 토양 중 구리함량이 높으면 식물이 흡수 시에 Fe 결핍이 일어나 잎의 백화현상이 일어남
 - 급성중독(흡입, 경구, 피부접촉) : 구리염의 분진흡입으로는 초기에 구내 감미, 때로는 인두건조, 1-2시간 후에 발열, 두통, 흉통, 호흡장애, 탈력감이 나타나며, 일반적으로 체온은 1-2일 후 하강하여 다시 정상으로 된다. CuSO_4 가 5-6시간 정도 흡수되면, 용혈, 빈혈, 간, 신장해, 용혈성 활달을 나타내며, 심해지면 혼수에 빠져서 순환장애로 사망하게 됨
 - 만성중독(흡입, 경구, 피부접촉) : 소량씩 장기간에 걸쳐 흡입, 경구섭취하면 비점막의 충혈, 부식, 비중격천공, 정신이상, 진전, 만성위장염, 피부궤양, 간경련, 혈색증 등을 초래함

□ As 및 그 화합물

- 비소화합물은 조개의 색소로 또는 식물이나 모피공장에서 사용되고 세정제에도 상당량(10-70 ppm)의 비소가 포함되며, 비소화합물의 대부분은 독성이 강하기 때문에 살균제, 제초제, 살충제 등 여러 가지 농약으로도 사용됨(한국지하수토양환경학회, 2003).
- 토양 내 비소는 주로 표층 10cm 내에서 발견되는데, 이는 Fe, Al, Ca가 중요한 역할을 하기 때문이며, FeAsO_4 , $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ 같은 비소화합물의 용해도적이 매우 작아 점토함량이 많은 토층일수록 비소가 토양에 많이 축적되며, 심층에서는 쉽게 용탈됨
- 비소의 주요 발생원은 광산, 제련소, 아비산·비산염 등의 제조공정과 사용공정(반도체제조, 유리공업 등)임. 광산, 제련소, 공장 등에서 나오는 폐수, 광재, 분진 등의 비소뿐만 아니라, 수목, 농작물에 사용된 살충제 중의 비소가 주변지역의 토양과 우물, 하천 등을 오염시킴

- 비소화합물의 독성영향은 화합물의 화학적, 물리적 성질에 따라 좌우되며, 인체 내에 노출된 비소는 As^{3+} 이 As^{5+} 보다 독성이 더 강한 것으로 알려져 있음
 - 급성중독 : 비소로 70-180mg의 양이 체내에 섭취되면 중추신경계를 포함한 급성중독 증상으로 혼수상태, 사망에 이르게 됨
 - 만성중독 : 근무력증, 식욕부진, 구역질, 점막에 염증이 발생하며, 3-6mg As/day로 장기간 섭취할 때에도 만성중독증의 가능성이 있다.

□ Hg 및 그 화합물

- 수은은 그 자체로도 쓰이지만 각종 원소들과 결합하여 화합물의 형태로 많이 사용되며, 화합물의 형태로 쓰이는 수은은 염화수은의 형태가 많은데, 이는 전극이나 농약, 안료, 건전지, 촉매제, 염료로 쓰임. 수은전극을 이용한 전해 공정에서도 사용됨(한국지하수토양환경학회, 2003).
- 수은의 주요 발생원은 제련공정, 수은전극을 이용하는 전해공정(가성소다·가성칼리), 수은을 사용하는 공장(온도계·기압계·혈압계·수은등·촉매 등)이며, 그 밖에도 석탄, 목탄, 석유, 천연가스 등의 연료에 수은이 함유되어 있으므로 이들이 연소될 때 수은이 대기 중으로 방출됨
- 수은중독의 주요 영향은 중추신경계와 신장기능 장애이며, 수은의 급·만성 중독성은 다음과 같음
 - 무기수은화합물의 급성중독 증상은 구기, 구토, 토혈, 구강내 적반(赤班), 저혈압 등이며, 심해지면 무뇨증(無尿症)이 되고 요독증에 이르러 사망한다. 만성중독 증상으로는 두통, 현기증, 불면, 기억장애, 영양실조 등이 일어나며, 구내염, 치육염, 시신경염, 신장장애 등도 나타남
 - 유기수은화합물의 급성중독 증상은 전신권태, 식욕부진, 구기, 구갈, 구내염과 청력, 시력, 언어, 보행 등의 장애를 나타내고 경련을 일으키며, 단시간내에 사망함
 - 만성중독 증상으로는 입술, 혀, 사지 등에 이상감각을 느끼고 일상동작 실조, 구심성 시야협착, 난청, 언어장애, 보행장애, 정신장애 등을 일으킴

□ Pb 및 그 화합물

- 납은 대부분 자동차공장, 전지생산고장에서 사용된다. 납은 예부터 잘 알려진 금속의 일종으로서 자연 속에는 주로 아연광의 황과 황산연광, 백연광, 황연광, 흑연광 등의 광물로 존재함(한국지하수토양환경학회, 2003)
- 지구 표층, 즉 지각의 평균 Pb 존재량은 13mg/kg 정도, 우리나라 논토양 중 비오염지역의 자연함유량은 전국 평균 17.3mg/kg이며, 가용성 납의 자연 함유량은 전국 평균 5.38mg/kg으로 조사됨
- 납의 오염원은 제련공정, 납제품 제조공정, 화합물 제조공정, 납축전지 제조공정, 납이 첨가된 휘발류의 연소 등이며, 건강에 미치는 영향은 아래와 같음
 - 급성독성 : 흡입 및 경구섭취에 의하여 구토, 위경련을 일으킴
 - 만성독성 : 권태감, 체중감소 등을 일으키지만, 주요 증상으로는 빈혈을 들 수 있는데 이는 납에 의한 적혈구의 수명단축과 헤모글로빈 합성의 저해로 인한 것임
 - 위장장애는 빈혈 다음으로 많이 나타나는 징후로서 식욕부진, 변비, 산통발작 등의 증상을 보이며, 산통발작은 장기에 걸쳐 급격히 발증하는 위험성이 있음. 납은 대동맥에도 축적되어 시력장애, 청력장애, 월경이상 등의 증상을 유발하기도 함

□ Cr⁶⁺ 및 그 화합물

- 금속크롬과 크롬산은 부식방지제로 널리 사용되고 있으며, 가정, 수송기관 또는 공장에서 금속의 내구성을 증대시키기 위하여 크롬을 많이 사용하고 또한 니스, 잉크, 염료 등의 생산에도 소량의 크롬이 사용되고 있음(한국지하수토양환경학회, 2003)
- 크롬은 비교적 희소한 금속으로서 지각 중에 평균 조성원소로 100mg/kg 정도 존재. 토양 중에는 약 20mg/kg 존재하는 것으로 알려져 있으며 우리나라 토양 중 비오염 농경지로 판단되는 논토양의 조사결과 전국평균치로서 크롬의 자연함유량은 0.493mg/kg(가용성)으로 평가되고 있음
- 크롬의 오염원은 제련공정, 합금제조공정, 크롬화합물 제조공정, 크롬화합물 사용공정(도금, 도장, 가죽손질 등) 등이며, 크롬이 건강에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같음
 - 일반적으로 Cr⁶⁺ 화합물이 Cr³⁺ 화합물보다 독성이 강하며, 크롬 독성은 주로 이에 기인하며, 간 및 신장 장애, 내출혈, 호흡장애를 야기시킴. 급성 증상은 구토, 하리 등임

□ CN 및 그 화합물

- 시안염은 광석으로부터 금이나 은을 추출할 때, 전기도금이나 금속제련시 사용되고, 시안화수소는 강한 독성을 가진 가연성 가스로서 살충용 훈연제나 쥐약 제조에 사용됨(한국지하수토양환경학회, 2003)
- 시안화합물은 매우 강한 독성을 나타내며, 신체 내 산소 이용을 막아 신진대사를 방해함. 이는 중추신경계에 영향을 주어 심장박동수를 느리게 하고, 뇌의 활동을 방해함
- 기체의 흡입이나 피부흡수, 섭취에 의해 신체 내로 들어가면 매우 빠르게 반응하며, 시안이 건강에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같음
 - 급성독성 : 노출 후 반응은 빠르게 나타난다. 약한 증상으로는 두통, 현기증, 메스꺼움 등이 나타나고, 노출된 사람은 숨쉬기가 힘들어져 질식당하는 기분을 느끼게 되며, 팔과 다리가 무겁게 느껴져 무력감을 느끼게 됨. 또한 코, 입, 목에 자극을 주며, 심한 증상으로는 숨이 차거나 의식을 잃을 수 있음. 의식을 잃은 후에는 숨이 약해지거나 끊어질 수 있으며, 심장마비로 인한 죽음을 초래할 수도 있음
 - 만성독성 : 두통과 현기증, 메스꺼움을 느끼며, 시야가 흐려지거나 주변 신경계에 영향을 미침. 시안화칼슘 같은 물질이 저농도로 장기간 피부에 접촉되면 피부가 가렵거나 발진현상이 일어남

<표Ⅲ.4-14> 납, 카드뮴, 크롬, 수은의 인체영향

구분	인체 건강 영향
납	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 발암성 : IARC에서 Group 2B로 분류 ◦ 노출경로 : 무기납-호흡기, 위장관, 유기납-피부접촉 ◦ 대부분의 납중독은 오랜 기간동안 축적된 결과이며 서서히 증상이 나타남 ◦ 노출시 위장, 신경근육, 중추신경 계통장애 - 두통, 식욕부진, 메스꺼움, 불쾌감, 구토, 경련 등 ◦ 중독시 빈혈, 체중감소, 손목 처짐, 복통, 중추신경장애, 용혈현상, 동맥경화, 간장질환, 관세포위축, 사구체경화증, 혼수(昏睡) 등
카드뮴	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 발암성 : IARC에서 Group 1로 분류(폐암, 전립선암) ◦ 노출경로 : 흡입, 섭취, 눈 및 피부접촉, 일반인구집단은 주로 식이 섭취를 통해 노출됨 ◦ 과다노출시 피부발진, 두통, 피로, 메스꺼움, 구토, 복통, 설사, 침분비 증가, 구강건조, 피나 거품이 섞인 가래를 동반한 기침, 흉부압통, 호흡곤란, 기관지염, 폐기종, 폐렴, 폐부종, 단백뇨, 신장손상 등을 유발 ◦ 만성중독시 신세뇨관장애(renal tubular dysfunction), 단백뇨 등을 유발하며, 소변의 칼슘 배설율을 증가시켜 뼈 중 칼슘과 아연 함유량이 감소되므로 골연화증(osteomalacia)과 골다공증이 발생함.
크롬	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 발암성(6가 크롬) : IARC에서 Group 1로 분류(폐암) ◦ 노출경로 : 흡입, 섭취, 눈 및 피부접촉 ◦ 급성 고농도 노출시 눈, 코, 목 및 호흡기 자극, 작열감, 울혈, 비출혈, 기침 및 급성 폐렴, 급성신부전 야기 ◦ 만성 노출시(6가 크롬) 피부 궤양과 알레르기성 접촉성 피부염, 비중격 부식, 천공, 호흡곤란 및 크롬성 천식, 폐암 발생 위험이 높음
수은	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 발암성 : 무기수은 - IARC에서 Group 3으로 분류, 유기수은은 Group 2B로 분류 ◦ 노출경로 : 흡입(금속성 수은)과 경구노출 ◦ 신장에 가장 높은 수준으로 축적되며, 무기 수은의 만성노출시 신장에 영향 ◦ 유기수은에 만성 노출시 감각이상, 시력감퇴, 시야감소, 불쾌감, 언어소통 장애, 손떨림, 무정위운도, 시야감소 등의 중추신경계 영향

자료출처 : 충북대학교, 삼척 시멘트공장 주변지역 주민건강영향조사, 2011

<표Ⅲ.4-15> 주요 PAHs 물질의 인체 유해성

PAHs	인체건강영향	유해기준
Acenaphthene	◦ 피부 및 점막 자극	
Anthracene	◦ 섭취시 눈, 호흡기, 위장 자극 ◦ 장기 접촉시 피부의 색소 침착, 피부암	TLV-TWA* : 0.2mg/m ³
Benz(a)anthracene	◦ 피부접촉시 종양성, 유두종, 피부암, 돌연변이원성	LDLo** : 10mg/kg
Benzo(a)pyrene	◦ 점막에 자극성, 피부암, 기관지염, 기침, 결막염, 폐수종, 피부접촉시 홍반, 색소침착, 박리, 가려움, 만성노출시 각막 탈색, 눈가에 홍반, 피부발진, 빈혈, 백혈병	LD50*** : 50mg/kg LDLo : 500mg/kg
Benzo(b) fluoranthene	◦ 피부접촉시 발암성	
Benzo(e)pyrene	◦ 피부접촉시 유두종과 암발생, 변이원성	
Benzo(k) fluoranthene	◦ 피부접촉시 유두종, 발암성	
Chrysene	◦ 실험실상 피부접촉시 발암성, 선천성기형 유발, 종양발생, 변이원성	
Fluoranthene	◦ 변이원성	LD50 : 2,000mg/kg
Indeno(1,2,3cd)pyrene	◦ 피부접촉시 발암성, 유두종	
Naphthalene	◦ 피부, 눈, 점막, 기관지에 자극성, 구역질, 두통, 구토, 땀분비, 혈뇨, 고열, 빈혈, 간장괴사, 경련, 피부염, 피부가려움, 복통, 백내장, 피로, 황달, 설사, 결막염, 시각장애	TLV-TWA : 10ppm, 50mg/m ³
Phenanthrene	◦ 피부염, 기관지염, 기침, 호흡곤란, 기관지 종양	LD50 : 700mg/kg
Pyrene	◦ 쥐에 대한 간장, 폐, 내장에 병리적 변화	LD50 : 514mg/kg

*TLV-TWA: Thresold limit value - time-weighted average

**LDLo : Lowest dose causing lethality

***LD50 : Lethal dose 50%

자료출처 : 충북대학교, 삼척 시멘트공장 주변지역 주민건강영향조사, 2011

<표Ⅲ.4-16> IARC의 발암물질 분류기준

PAHs	항목	비고
Group 2A	◦ Benzo(b)fluoranthene ◦ Benzo(k)fluoranthene	◦ 유력발암물질 : 사람에게 대한 발암성이 충분한 가능성이 있는 화학물질
Group 2B	◦ Benzo(a)anthracene ◦ Benzo(a)pyrene ◦ Chrysene ◦ Fluorene ◦ Dibenz(a,h)anthracene ◦ Anthracene ◦ Fluoranthene	◦ 후보발암물질 : 사람에게 대한 발암성의 가능성이 있는 화학물질
Group 3	◦ Indeno(1,2,3-cd) ◦ Phenanthrene ◦ Pyrene	◦ 인체 발암성 있는 물질로 분류할 수 없는 물질 : 인체 및 실험동물 발암 증거가 제한적 이거나 부정확한 경우

자료출처 : 충북대학교, 삼척 시멘트공장 주변지역 주민건강영향조사, 2011

5.1 대기오염물질 저감방법

□ 연료와 원료물질의 선택

- 환경부는 2020년부터 NO_x 배출량에 대비하여 2020년 1,490원/kg, 2021년 1,810원/kg, 2022년 2,130원/kg 등 순차적으로 부과금을 부과하는 조치를 고시하였으며, 2019년부터 배출 허용기준이 종전 330ppm에서 270ppm으로 강화됨에 따라 개정안대로 시행될 경우 2022년 국내 시멘트 업계의 NO_x 배출 부과금은 연간약 650억 원에 달할 것으로 추정되고 있음
- 시멘트 제조 공정에서의 NO_x 발생 원인은 연소 공기에 존재하는 N₂의 고온 산화(Thermal NO_x), 연료 중 NO_x의 산화(Fuel NO_x), 원재료에 포함된 NO_x의 산화(Feed NO_x), 연료 CH 라디칼과 NO_x의 산화(Prompt NO_x)에 기인하며, NO_x 발생 영향 인자는 화염 모양 및 온도, 화염 형태, 산소 농도, 온도 안정성, 원료 소성성, 연료 발열량 등에 의존함
- 소성로에 투입되는 물질의 적절한 선택과 제어는 대기오염물질의 배출을 감소시킬 수 있으며, 연료에 포함된 황성분은 건식 예열기와 예비소성로를 가진 소성로 공정에서는 문제가 되지 않으며 주연소실을 통해서 투입되는 연료 중에 포함된 모든 유기성 화합물은 완벽하게 파괴될 수 있음
- 소성공정으로 투입되는 물질에서 염소함량을 제한하는 것은 염기성의 염화물과 다른 금속성의 염화물의 생성을 감소시키지만, 소성로의 고장을 야기시켜 전기집진기의 오작동이 발생하게 됨. 따라서 먼지의 배출량이 증가되는 결과를 초래함
- 높은 염기성 물질은 또한 공정내에서 발생된 먼지가 공정내로 재사용되는 것보다 외부로 배출되는 양을 증가시킬 수도 있으며, 최종생산품에서 높은 염기성 함량을 피하기 위함. 그러므로 폐기물양의 제어는 공정 내에서 이루어져야 함

5.1.1 NOx 제어기술

- 시멘트 제조시설에서 NOx의 배출을 제어하는 기술들을 정리한 것임

<표III.5- 1> NOx제어기술 개요

	적용가능여부	효율(%)	보고된 배출량	
			mg/m ³ ¹⁾	kg/ton ²⁾
FlameCooling	All	0~50	400~	0.8~
Low-NOx Burner	All	0~30	400~	0.8~
Staged Combustio	Precalcine	10~50	< 500~1,000	< 1.0~2.0
Mid-kiln Firing	Preheate	20~40	-	-
Mineralised Clinke	All	10~15	-	-
SNCR	Preheaterand Precalcine	10~85	200~800	0.40~1.6
SCR	Possibly All	89~95	100~200	0.2~0.4

주: 1) 조건 : O₂10%, 표준상태의 건조공기

2) kg/tonneclinker: basedon2000m³/tonofclinke

자료출처 : EC, IPPC, Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, 2001, 33

Flame Cooling

- 연료에 물을 추가하거나 불꽃에 직접적으로 물을 분사하여 온도를 줄일 수 있으며, 연소구역에서 NOx의 농도를 감소시키고 감소 효율은 0~50%로 보고되고 있음
- 추가적인 열은 물을 증기화시키기 위해서 필요하며 소성로에서 CO₂의 총 배출농도와 비교했을 때, CO₂의 배출량이 약간 증가하는 것을 알 수 있으며 (대략 0.1~1.5%), 물의 주입은 소성 공정에서 작동상의 문제점을 유발시킬 수 있음

□ Low-NOx Burner

- Low-NOx Burner의 사용으로 인한 효과는 특히 산소가 부족한 분위기에서 연료 중에 포함된 휘발성 유기물질의 초기연소를 이끌어, NOx의 형성이 줄어드는 경향을 나타냄
- Low-NOx Burner가 성공적으로 설치되면 NOx를 30%까지 감소시킬 수 있지만, Low-NOx Burner의 사용이 항상 NOx의 배출을 줄이는 효과를 보이는 것은 아님
- Low-NOx Burner는 모든 로터리 킬른 공정에 사용될 수 있으며 예비소성로에서만 뿐만 아니라 소성로의 주요부분에서 배출량이 600~1,000mg/Nm³이라고 알려져 있음

□ 다단 연소(Staged Combustion)

- 다단으로 연소하는 기술은 일반적으로 예비소성로가 갖춰진 소성로에 대해서만 적용이 가능하며 예비소성로가 없는 싸이클론 예열공정에 적용하기 위해서는 공정을 변형시켜야 함
- 현재 다단연소공정이 갖추어진 소성로에서는 NOx농도를 500mg/Nm³ 이하로 배출하고 있으나, CO 배출을 제한하는 동시에 NOx농도를 감소시키는 것은 매우 어려움이 있음
- 또한 고형 덩어리 연료(타이어)가 연소될 때 환원분위기의 구역이 생성되기 때문에 고형덩어리 연료의 연소에는 다양한 다단연소기술의 적용이 가능함
- 예열기, 예비소성로를 가진 소성로에서는 고형연료가 소성로의 입구와 예비소성로에서 투입될 수 있으며, 고형연료의 연소는 NOx 감소에 긍정적인 효과를 가진다고 보고되고 있음

□ Mid-kiln Firing

- 길이가 긴 습·건식의 소성로에서 고형연료를 연소함으로써 환원 구역을 생성하는 것은 NO_x의 배출량을 감소시킬 수 있으며, 보통 온도범위가 900~1,000℃를 초과하지 않기 때문에 주버너를 통과할 수 없는 폐기물 연료를 사용 가능하게 하기 위해서 몇몇 공정에는 Mid-kiln Firing 공정이 설치되어 있음
- 기계적인 설계 고려인자는 연료가 소성로에서 1회전 할 때마다 한번 씩 간헐적으로 투입하는 것이며, 열에너지 투입의 연속성을 유지하기 위해서는 고형폐기물인 타이어와 다른 폐기물 연료를 천천히 연소하는 방법이 사용되어야 함
- 이러한 설비는 거의 없으며 NO_x의 제거량이 20~40%라고 보고되고 있으며, 이러한 2차 연료(폐기물연료)를 연소하는 비율은 부족할 수 있으며 만약 너무 천천히 연소된다면 연소구역에서 환원조건이 발생하여 생산품의 질에 심각한 영향을 미칠 수 있음

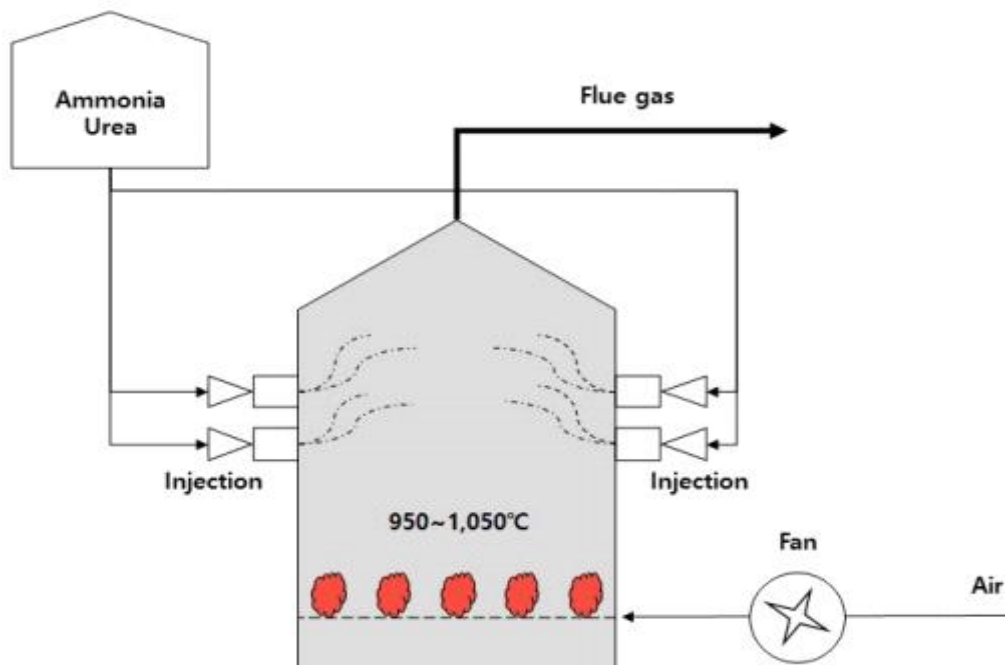
□ 무기물이 포함된 클링커

- 원료물질로 무기물을 추가하는 것은 클링커의 질을 조정하기 위한 기술이며 낮은 온도로 소결 구역을 운전할 수 있도록 하며, 연소온도를 낮춤으로써 NO_x형성을 감소시킬 수 있음
- NO_x의 환원은 10~15%사이에서 이루어지며 50%까지 환원될 수 있다고 보고되고 있으며, Calcium Fluoride는 무기물을 추가하는 한 예임. 그러나 과량을 투입할 경우 HF 방출의 증가를 발생시킬 수 있음

□ 선택적 비촉매 환원법(SNCR)

- SNCR은 암모니아(NH_3), 요소($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), Cyanuric acid ($(\text{HOCN})_3$), NH_2 라디칼 등과 같이 질소를 함유한 환원제를 온도가 850~1100 °C 정도 되는 지점에 분사시키고, 분사된 환원제가 이온화되어 산소가 존재하는 환경에서 NO_x 와 반응하여 N_2 , CO_2 그리고 H_2O 로 분해되도록 하는 방법
- SNCR 장치는 환원제 저장탱크, 주입장치, 제어장치 등으로 구성되며, 반응에 영향을 주는 주요인자는 온도 조건, 체류 시간, Normalized stoichiometric ratio(이하, NSR), 첨가제 혼합, 산소 및 수분, 부산물 등임
- SNCR 공정에서 반응기 내 온도 및 체류 시간은 NO_x 제거 효율에 큰 영향을 미치는데 800 °C 이하의 저온 영역에서는 체류 시간이 증가할수록 처리 효율이 증가하지만 900 °C 이상에서는 NO_x 제거와 체류 시간의 영향은 거의 없는 것으로 보고되고 있음
- NSR은 유입되는 NO_x 몰수에 대한 환원제 몰수 비를 의미하며, 일반적으로 NSR이 높을수록 NO_x 처리 효율이 증가되고 2~3에 가까울수록 2차 오염물질 증가 추세가 감소하여 일정한 NO_x 제거효율을 달성할 수 있음
- SNCR에 사용되는 첨가제는 알코올계 물질, 알칸, 알켄 등의 탄화수소와 CO, 과산화수소 등이 사용되는데 적절한 첨가제 사용은 온도 범위를 증가시키는 효과와 NO_x 저감 효율도 증가시킬 수 있음
- 환원제 분사 시 연소 가스와 첨가제 혼합 및 적절한 노즐 위치, 분사 속도, 각도 산출 등도 반응에 큰 영향을 미치게 되는데 이를 위해 CFD (Computational fluid dynamics)를 실시하여 정확한 데이터 산출 및 부적절한 혼합으로 인한 처리효율 저하, 미반응 환원제 유출을 예방할 수 있음

- 산소와 수분은 암모니아 산화에 필요한 라디칼을 공급하는 역할을 하지만 과량으로 존재 할 경우 오히려 NOx를 재생성하여 제거 효율을 저하시킬 수 있음
- SNCR 반응공정에서 발생할 수 있는 부산물은 NH₃, NO₂, N₂O 등으로 이들이 가지는 독성 때문에 부산물의 생성을 최소화 할 수 있는 상태를 유지하여야 함
- 이러한 SNCR은 설치가 용이하고 설치비가 저렴한 장점이 있지만, 저감 효율은 SCR보다 상대적으로 낮은 30~70%정도이며 암모늄 화합물 형성 등의 단점이 있음



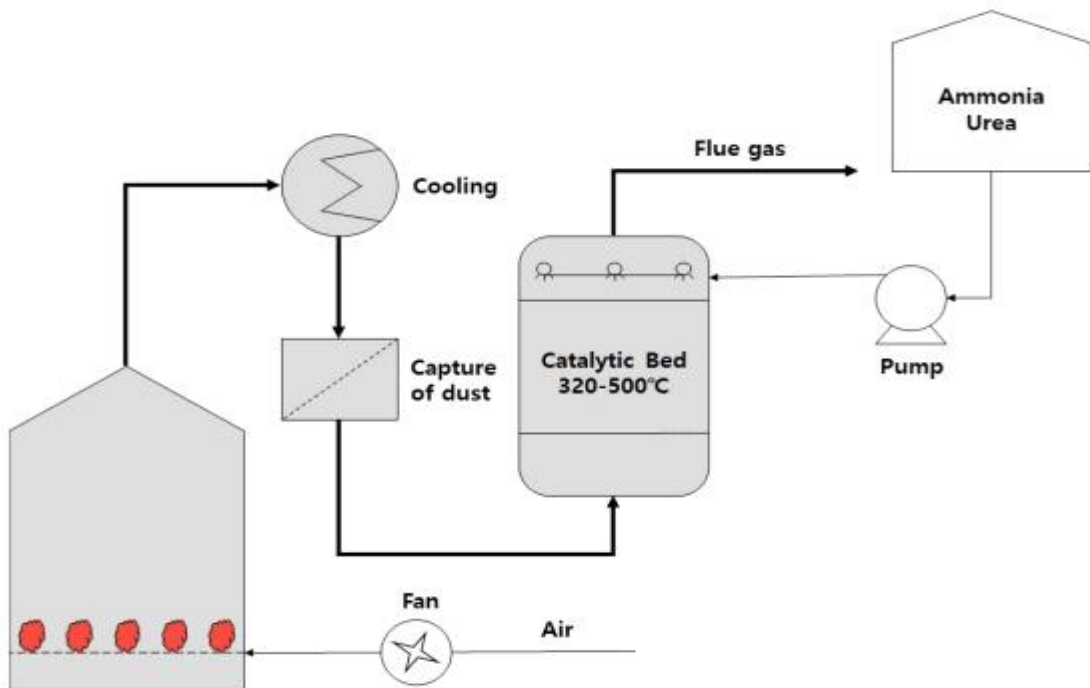
자료출처 : 권동욱 · 홍성창, 배기가스 질소산화물 제거를 위한 선택적촉매환원법(SCR) 기술동향, 2016

[그림Ⅲ.5- 1] 선택적 비촉매 환원법(SNCR)의 프로세스

□ 선택적 촉매 환원법(SCR)

- SCR은 암모니아나 요소수의 NH_3 가 촉매 상에서 선택적으로 NO_x 와 반응 환원하여 N_2 로 전환시키는 공정임
- SCR에 의한 NO_x 저감 효율은 90% 이상까지 가능하며, 사용되는 촉매는 금속 산화물계, Zeolite계, 알칼리 토금속계, 희토류계 등이 있고 TiO_2 , WO_3 , V_2O_5 , MoO_3 등이 주로 사용되고 있음
- 촉매의 형태는 벌집 모양으로 압출 성형하는 모노리스의 honeycomb type과 모노리스에 코팅된 plate type, 그리고 corrugated type이 대표적이며, 지지체와 촉매를 제조하는 방식과 용도에 따라 다름
- SCR에 사용되는 환원제는 주로 암모니아(NH_3), 요소($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)이며, 200~500°C 반응온도 범위에서 NO_x 를 질소와 수증기로 환원시키며, 이러한 SCR은 초기 투자비가 많고 넓은 설치 공간이 필요하고 촉매 활성이 NH_4HSO_4 나 배가스에 존재하는 먼지에 의하여 감소하므로 먼지가 과량 존재하는 경우 전기집진 시설이나 탈황 설비가 SCR 공정 이전에 설치되어야 하는 단점이 있음
- 촉매 반응 온도(300~400 °C) 이상에서는 촉매가 손상되고 효율도 떨어지기 때문에 배가스 온도의 유지가 매우 중요함
- 시멘트 산업에서의 SCR 공정을 적용하기 위해서는 SCR로 유입되는 배가스에 포함된 분진으로 인한 촉매 부착 및 피독 현상에 대한 대책 확보가 필요하며 탄소 등이 금속 표면이나 기공에 누적되어 촉매의 활성을 저하시키는 촉매 파울링 현상으로 인해 SO_2 가스 유입 억제도 고려되어야 하므로 고농도의 SO_2 가스 유입을 차단할 수 있는 탈황 기술 연계도 필요함

- SCR은 약 300~400°C의 온도범위에서 NH₃나 촉매를 사용하여 NO와 NO₂를 N₂로 환원시키는 기술이며, 이미 다른 산업시설(석탄 화력발전소, 소각시설)에 많이 적용되고 있음
- SCR은 탄화수소류도 제거할 뿐만 아니라 VOCs와 PCDD/Fs도 줄일 수 있으나, SCR의 초기비용은 SNCR보다 매우 높음



자료출처 : 권동욱·홍성창, 배기가스 질소산화물 제거를 위한 선택적촉매환원법(SCR) 기술동향, 2016
 [그림Ⅲ.5- 2] 선택적 촉매 환원법(SCR)의 프로세스

5.1.2 SOx제어기술

- 소성로에서 SOx제어는 적절한 소성로의 운영, 산소농도, 원료물질과 연료의 선택이 포함된 공정 최적화에 관한 것들이 중요하며, 길이가 긴 소성로에서 산소의 함량을 증가시킴으로 SO₂의 농도를 감소시키나, NOx의 농도를 증가시킬 수 있음
- 환경적인 균형을 유지하기 위해서는 후단의 산소농도를 조절함으로써 최적의 NOx/SO₂/CO 농도를 도출해야 하며, 발생된 SO₂의 배출을 감소시키는 효과적인 기술들을 나타낸 것임

<표III.5- 2> SOx 제어기술 개요

	적용가능여부	효율(%)	보고된 배출량	
			mg/m ³ 1)	kg/ton ²⁾
흡착제 첨가	All	60~80	400	0.8
Dry Scrubber	Dry	Up to 90	< 400	< 0.8 ~ 10
Wet Scrubber	All	> 90	< 200	< 0.4
활성탄	Dry	Up to 95	< 50	< 0.1

주: 1) 조건 : O210%,표준상태의 건조공기

2) kg/tonneclinker:basedon2000m3/tonofclinke

자료출처 : EC,IPPC,ReferenceDocumenton BestAvailableTechniquesin theCement and Lime Manufacturing Industries, 2001, 33

□ 흡착제의 추가

- Slaked Lime(Ca(OH)₂)나 Quick Lime(CaO), CaO를 함유하는 활성 비산재와 같은 흡착제를 소성로의 배기가스에 투입하여 SO₂를 제거할 수 있다
- 흡착제의 주입은 건·습식 상태로 적용이 가능하나 예열기를 가진 소성로에 대해서는 소성로의 배기가스에 직접적으로 Slaked Lime을 추가하는 것은 소성로의 주입부에 Slaked Lime을 추가하는 것보다 효과적이지 못한 것으로 알려져 있음

- SO₂는 Lime과 함께 반응하여 CaSO₃나 CaSO₄를 생성하여 원료물질과 함께 소성로로 투입되어 클링커의 일부가 되며, 이 기술은 적당한 SO₂농도를 가진 비교적 깨끗한 가스에 적합하며 공기의 온도가 400℃ 이상일 경우에 적용이 가능함
- 흡착제로는 비표면적이 크며 다공성을 가진 Ca(OH)₂가 적절하며, Slaked Lime은 반응성이 낮아서 Ca(OH)₂/SO₂의 몰분율은 3~6정도가 적당함
- SP킬른 공정에서 흡착제의 주입으로 60~80%까지 SO₂를 처리할 수 있으며, 초기 SO₂ 농도가 400mg/m³ 보다 높지 않다면 이론적으로 100mg/m³까지 달성하는 것이 가능함
- SO₂의 농도가 1,200mg/m³까지는 흡착제의 주입으로 400mg/m³까지 달성할 수 있음

□ 건식 스크러버

- 건식 스크러버는 가스와 흡착제의 접촉, 긴체류시간, 이슬점에 가까운 낮은 온도 등이 SO₂의 효과적인 제거를 가능하며, 포집된 흡착제의 일부는 스크러버로 다시 보내지며 나머지 부분들은 소성로의 주입부로 첨가되어 클링커로 변환됨
- SO₂의 제거효율은 90%정도이며, HCl과 HF의 제거도 가능하며, 건식 스크러버는 모든 건식 소성로 형태에 적용할 수 있음

□ 습식 스크러버

- 습식 스크러버는 석탄 화력발전소의 배연탈황에 사용하는 가장 일반적인 기술로 SO_x는 분무탑에서 분사된 Liquid Slurry에 의해서 흡착되거나, Liquid Slurry층을 통과시켜서 처리하는 것이 일반적임
- 흡착제로는 Calcium Carbonate, Hydroxide, Oxide가 있으며, 현재 유럽에 있는 시멘트 공정에서 다섯 가지의 습식 스크러버가 사용 중에 있는데 모두 분무탑 방식을 사용하고 있음

- Slurry는 배기가스의 흐름과 반대 방향으로 분무되며 스크러버 바닥에 있는 재활용 탱크에 수집되고 재활용 탱크에서 Sulphate가 공기에 의해 산화되어 Sulphate가 형성됨
- 탈수공정으로 불리하여 시멘트 분쇄공정에서 석고로 사용되며 처리된 물은 스크러버로 돌아오게 되며, SO₂ 처리효율은 90% 이상임
- 또한 습식 스크러버는 HCl, 먼지, 금속, NH₃의 배출을 현저하게 줄여줄 수 있으며, 모든 종류의 소성로에 적용할 수 있음

□ 활성탄

- SO₂, 유기화합물, 금속, NH₃, NH₄ 화합물, HCl, HF과 같은 오염물질은 활성탄의 흡착작용으로 제거할 수 있으며, 활성탄은 필터형태로 충전탑과 같은 형식으로 구성됨
- 사용된 활성탄은 소성로에서 연료로 사용함으로써 활성탄에 잡혀진 오염물질들은 다시 시스템 내로 순환됨
- 유럽에 있는 시멘트 공정 중에는 단지 스위스 Siggenthal에만 활성탄 필터가 설치되어 있으며, 이 시멘트 공장에서 100일간 측정한 결과는 SO₂, 금속, PCDD/Fs에 대해서 높은 제거효율을 보이고 있음
- 초기 SO₂의 농도는 50~600mg/m³이며 활성탄필터를 통과한 SO₂의 농도는 50 mg/m³ 이하이며, 먼지농도는 10~30mg/m³까지 떨어뜨릴 수 있고, 활성탄필터는 모든 건식소성 공정에 적용할 수 있음

5.1.3 먼지 제어기술

- 시멘트 제조공정에서 먼지가 배출되는 주요 지점으로는 소성공정, 클링커 냉각기(Clinker Coolers), 시멘트 분쇄기 등 주요 세 가지의 오염원이며, 먼지를 제어하기 위한 다양한 장치들이 사용되었지만, 현재는 전기집진기나 여과집진장치가 사용되고 있음
- 전기집진기와 여과집진장치는 각각 장단점을 가지고 있으며, 두 방식은 일반적인 운영조건하에서 매우 높은 먼지제어 효율을 보임
- 높은 CO 농도, 소성작업의 조업의 개시, 중단, 추가장치(Raw Mill)가 동시에서 미가동시로 바뀔 때와 같은 특별한 조건아래서는 전기집진기의 효율은 감소되지만 여과집진장치 효율에는 영향을 미치지 않음

<표Ⅲ.5- 3> 미세먼지 제어기술 개요

	적용가능여부	효율(%)	보고된 배출량	
			mg/m ³ ¹⁾	kg/ton ²⁾
전기집진기	모든 소성시스템	99.99% 이상	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
	클링커 쿨러	99.99% 이상	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
	시멘트 (Mill)	-	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
여과집진기 (FabricFilters)	모든 소성시스템	99.99% 이상	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
	클링커 쿨러	99.99% 이상	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
	시멘트 (Mill)	99.99% 이상	5 ~ 10	0.01 ~ 0.1
비산먼지 방지	모든 설비		-	-

주: 1) 조건 : O210%,표준상태의 건조공기

2) kg/tonneclinker:basedon2000m3/tonofclinke

자료출처 : EC,IPPC,ReferenceDocumenton BestAvailableTechniquesin theCement and Lime Manufacturing Industries, 2001, 33

□ 전기집진기

- 전기집진기는 고전압의 정전기력을 이용하여 먼지를 집진 하는 장치이며, 주요구성은 방전극, 집진극, 고압발생장치, 추타봉 및 호퍼로 구성됨
- 방전극과 집진극 및 고압 발생장치의 역할이 매우 중요하며, 방전극은 코로나 방전을 일으켜서 처리가스를 이온화시켜 먼지를 대전시키며 전기장을 형성함
- 집진극은 원통이나 판상형태이며 방전 극에 의해 대전된 입자를 집진하며, 고압발생장치는 집진극과 방전극 사이에서 제거할 먼지에 정전기력을 발생시키고 전계강도를 조정하고 집진성능은 $0.01\mu\text{m}$ 정도의 미립자까지 집진하며 출구 분진량 $0.01\text{g}/\text{Sm}^3$ 이하까지 집진이 가능함
- 압력손실이 30mmAq 전후로 낮아 동력을 절감할 수 있으며, 350°C 이상의 온도에서 사용 가능한 기종도 개발되어 있으므로 배기가스를 필요 이상으로 냉각하지 않아도 됨
- 건식의 경우에는 폐수처리가 불필요하고 조작성이 간단한 특징을 가지고 있으며, 전기집진기는 세정집진기와 같이 충전탑(Packed Tower), Venturi Scrubber 및 Wet & Absorber 등의 공정의 현장에 적용되고 있음

□ 여과집진장치

- 여과집진장치의 기본적인 원리는 가스는 통과시키면서 입자는 보유하는 특징을 가진 섬유막을 사용하는 것이며, 초기에 먼지는 섬유막 표면과 섬유막내에 걸러지게 된다. 하지만 점차적으로 먼지 자체가 섬유막 표면에 층을 형성하면서 필터의 중간부분까지 잠식하게 됨
- 백필터를 이용하여 가스를 제어할 때 가스의 흐름은 백의 안에서 밖으로 나가거나 그 반대일 수도 있다. 먼지덩어리의 두께에 따라 가스흐름에 대한 저항력이 증가함

- 그러므로 백필터를 주기적으로 청소하는 작업이 필요하며, 가장 일반적 탈진 방법은 공기의 흐름과 반대 방향으로 공기를 불어주는 방법, 기계적인 흔들, 진동, 압축공기를 분사하는 것임
- 백필터는 필터가 오작동 했을 경우에 각각이 분리된 다수의 구획을 가져야 하며 필터의 한 부분이 가동 중단되었을 때 적절한 작동을 유지할 수 있을 만큼 충분해야 함
- 각각의 부분에는 백파괴 감지기(Burst Bag Detectors)가 있어야 하며, 근래에 개발된 백필터를 사용하게 되면 먼지의 배출농도를 $5\text{mg}/\text{m}^3$ (표준상태의 건조 공기), 10% O_2 까지 줄 일 수 있다. 먼지뿐만 아니라 다이옥신이나 금속류들이 먼지 입자로 흡착되어 제거 할 수도 있음

6.1 시멘트 소성로 관련된 법규 및 제도

6.1.1 주변지역 영향조사

□ 폐기물관리법 제31조((폐기물처리시설의 관리))

<표Ⅲ.6- 1> 폐기물관리법 제31조((폐기물처리시설의 관리))

- ① 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자는 환경부령으로 정하는 관리기준에 따라 그 시설을 유지·관리하여야 한다.
- ② 대통령령으로 정하는 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자는 그 처리시설에서 배출되는 오염물질을 측정하거나 환경부령으로 정하는 측정기관으로 하여금 측정하게 하고, 그 결과를 환경부장관에게 제출하여야 한다.
- ③ 대통령령으로 정하는 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자는 그 폐기물처리시설의 설치·운영이 주변 지역에 미치는 영향을 3년마다 조사하고, 그 결과를 환경부장관에게 제출하여야 한다.
- ④ 환경부장관은 폐기물처리시설의 설치 또는 유지·관리가 제29조제1항에 따른 설치기준 또는 이 조 제1항에 따른 관리기준에 맞지 아니하거나 제30조제1항 또는 제2항에 따른 검사 결과 부적합 판정을 받은 경우에는 그 시설을 설치·운영하는 자에게 환경부령으로 정하는 바에 따라 기간을 정하여 그 시설의 개선을 명하거나 그 시설의 사용중지(제30조제1항 또는 제2항에 따른 검사 결과 부적합 판정을 받은 경우는 제외한다)를 명할 수 있다. <개정 2010. 7. 23.>
- ⑤ 환경부장관은 제4항에 따른 개선명령과 사용중지 명령을 받은 자가 이를 이행하지 아니하거나 그 이행이 불가능하다고 판단되면 해당 시설의 폐쇄를 명할 수 있다. <개정 2007. 8. 3.>
- ⑥ 환경부장관은 폐기물을 매립하는 시설을 설치한 자가 제5항에 따른 폐쇄명령을 받고도 그 기간에 그 시설의 폐쇄를 하지 아니하면 대통령령으로 정하는 자에게 최종복토(最終覆土) 등 폐쇄절차를 대행하게 하고 제52조제1항에 따라 폐기물을 매립하는 시설을 설치한 자가 예치한 사후관리이행보증금 사전적립금을 그 비용으로 사용할 수 있다. 이 경우 그 비용이 사후관리이행보증금 사전적립금을 초과하면 그 초과 금액을 그 명령을 받은 자로부터 징수할 수 있다. <신설 2015. 1. 20.>
- ⑦ 환경부장관은 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자가 제2항에 따른 오염물질의 측정의무를 이행하지 아니하거나 제3항에 따라 주변지역에 미치는 영향을 조사하지 아니하면 환경부령으로 정하는 바에 따라 기간을 정하여 오염물질의 측정 또는 주변지역에 미치는 영향의 조사를 명령할 수 있다. <개정 2007. 8. 3., 2015. 1. 20.>
- ⑧ 제2항에 따라 측정하여야 하는 오염물질, 측정주기, 측정결과의 보고, 그 밖에 필요한 사항은 환경부령으로 정한다. <개정 2015. 1. 20.>
- ⑨ 제3항에 따른 조사의 방법·범위, 결과 보고, 그 밖에 필요한 사항은 환경부령으로 정한다. <개정 2015. 1. 20.>
- ⑩ 환경부장관은 「공공기관의 정보 공개에 관한 법률」로 정하는 바에 따라 제2항에 따른 측정 결과와 제3항에 따른 조사 결과를 공개하여야 한다. <개정 2015. 1. 20.>

□ 폐기물관리법 시행령 제31조(주변지역 영향 조사대상 폐기물처리시설)

<표Ⅲ.6- 2> 폐기물관리법 시행령(14조, 15조)

제14조(주변지역 영향 조사대상 폐기물처리시설) 법 제31조제3항에서 “대통령령으로 정하는 폐기물처리시설”이란 폐기물처리업자가 설치·운영하는 다음 각 호의 시설을 말한다. <개정 2011. 9. 7., 2012. 9. 24.>

4. 시멘트 소성로(폐기물을 연료로 사용하는 경우로 한정한다)

제15조(기술관리인을 두어야 할 폐기물처리시설) 법 제34조제1항에서 “대통령령으로 정하는 폐기물처리시설”이란 다음 각 호의 시설을 말한다. 다만, 폐기물처리업자가 운영하는 폐기물처리시설은 제외한다. <개정 2007. 12. 28., 2011. 9. 7., 2012. 9. 24.>

6. 시멘트 소성로

□ 폐기물관리법 제31조(조사의 방법·범위, 결과 보고)

○ 폐기물처리시설 주변지역 영향조사 기준(제46조 관련)

<표Ⅲ.6- 3> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 13] <개정 2018. 12. 31.>

1. 조사분야 및 항목

나. 소각시설, 시멘트 소성로 및 소각열회수시설

- 1) 대기: 다이옥신, 푸란 및 「악취방지법」 제2조제1호에 따른 악취
- 2) 지표수: 별표 11 제2호나목2)가에 따른 침출수배출허용기준 항목(소각시설 또는 소각열회수시설이 「물환경보전법」 제2조제10호에 따른 폐수배출시설에 해당하는 경우를 말한다)

2. 조사방법

가. 조사횟수: 각 항목당 계절을 달리하여 2회 이상 측정하되, 악취는 여름(6월부터 8월까지)에 1회 이상, 토양은 연 1회 이상 측정해야 한다.

나. 조사지점

- 1) 미세먼지와 다이옥신 조사지점은 해당 시설에 인접한 주거지역 중 3개소이상 지역의 일정한 곳으로 한다.
- 2) 악취 조사지점은 매립시설에 가장 인접한 주거지역에서 냄새가 가장 심한 곳으로 한다.
- 3) 지표수 조사지점은 해당 시설에 인접하여 폐수, 침출수 등이 흘러들거나 흘러들 것으로 우려되는 지역의 상·하류 각 1개소 이상의 일정한 곳으로 한다.
- 4) 지하수 조사지점은 별표 9 제2호가목8)의 설치기준에 따라 매립시설의 주변에 설치된 3개의 지하수 검사정(檢査井)으로 한다.
- 5) 토양 조사지점은 4개소 이상으로 하고, 「토양환경보전법 시행규칙」 제1조의4에 따라 환경부장관이 정하여 고시하는 토양정밀조사의 방법에 따라 폐기물 매립 및 재활용 지역의 시료채취 지점의 표토와 심토에서 각각 시료를 채취해야 하며, 시료채취 지점의 지형 및 하부토양의 특성을 고려하여 시료를 채취해야 한다.

다. 측정방법: 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항에 따른 환경오염 공정시험기준으로 하여야 한다.

□ 과태료 부과(조사의 방법·범위, 결과 보고)

<표Ⅲ.6- 4> 폐기물관리법 시행령(14조, 15조)

위반행위	근거 법조문	과태료 부과금액		
		1차 위반	2차 위반	3차 이상 위반
모. 법 제31조제1항부터 제3항까지의 규정을 위반하여 관리 기준에 맞지 않게 폐기물처리시설을 유지·관리하거나, 오염물질 및 주변지역에 미치는 영향을 측정 또는 조사하지 않은 경우	법 제68조 제1항제4호			
4) 재활용시설 중 시멘트 소성로의 관리기준을 위반하여 유지·관리한 경우				
가) 예열기 최하단 원심력 집진시설의 출구온도를 규정 온도 이상 유지하지 않은 경우		200	500	1,000
나) 연소실의 연소가스가 규정 시간 이상 체류하지 않은 경우		200	500	1,000
다) 그 밖의 관리기준을 위반하여 유지·관리한 경우		300	500	1,000
5) 4) 외의 재활용시설의 관리기준을 위반하여 유지·관리한 경우		300	500	1,000
7) 주변지역 영향조사를 하지 않은 경우		1,000	1,000	1,000

□ 행정처분기준

<표Ⅲ.6- 5> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 21] <개정 2021. 7. 6.>

1. 일반기준

- 가. 위반행위가 둘 이상일 때에는 위반사항에 따라 각각 처분한다.
- 나. 위반행위의 횟수에 따른 행정처분 차수의 산정은 행정처분하고자 하는 해당 위반행위가 발생한 날 이전 최근 1년[제2호나목7)과 제2호다목8)의 경우에는 2년]간 같은 위반행위로 받은 행정처분의 횟수를 합산하여 적용한다.

2. 개별기준

- 가. 폐기물처리업자에 대한 행정처분 기준

위반행위	근거법령	1차	2차	3차	4차
6) 법 제13조 또는 제13조의2를 위반하여 폐기물을 처리한 경우	법 제27조 제2항제2호				
마) 재활용의 원칙 및 준수사항 중 시멘트 소성로에 보조연료로 사용하는 폐기물의 중금속 함량기준을 지키지 않거나 지정 폐기물이 아닌 사업장폐기물을 시멘트 대체원료로 재활용할 때 중금속 함량기준을 지키지 않은 경우		해당 업체의 폐기물 반입 및 처리금지 1개월	해당 업체의 폐기물 반입 및 처리금지 3개월	영업정지 1개월	영업정지 3개월

6.1.2 시멘트 소성로 설치 기준

□ 폐기물 처분시설 및 재활용시설의 설치기준

- 폐기물을 연료로 사용하는 시멘트 소성로는 연소실의 연소용 공기 또는 산소 등이 안정적으로 공급될 수 있는 장치(공급량을 조절할 수 있는 기능을 갖는 것에 한한다)를 설치하고, 굴뚝을 설치하는 경우에는 통풍력과 배기가스의 대기확산을 고려한 높이와 구조를 가져야 하며, 폭발사고와 화재 등에 대비한 안전한 구조이어야 하며, 소화기 등 필요한 장비를 갖추어야 하는 등 필요한 모든 설치기준을 갖추어야 함

<표Ⅲ.6- 6> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 9]

3. 재활용시설의 경우

가. 공통기준

- 1) 폐기물이 흘날리거나 흘러나오는 것을 방지하는 데에 필요한 설비를 하여야 한다.
- 2) 폐기물의 재활용과정에서 발생하는 대기오염물질·수질오염물질 등을 처리할 수 있는 시설을 갖추어야 한다. 다만, 「물환경보전법 시행규칙」 별표 2 및 별표 3에 따른 수질오염물질 또는 특정수질유해물질을 「물환경보전법」 제62조에 따른 폐수처리업자에게 위탁 처리하는 경우와 매립시설의 침출수 처리시설, 「물환경보전법」 제2조제12호에 따른 수질오염방지시설(자가 수질오염방지시설만 해당한다), 「물환경보전법」 제48조에 따른 공공폐수처리시설, 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설 또는 「하수도법」 제2조제11호에 따른 분뇨처리시설에서 처리하는 오염물질을 그 시설에 옮겨 처리하는 경우와 영 제5조에 따른 폐기물 재활용시설 중 혐기성분해 시설에 유입하여 에너지를 생산(음식물류 폐기물을 재활용하는 과정에서 발생하는 경우만 해당한다)하는 경우에는 수질오염물질 처리시설의 일부 또는 전부를 갖추지 아니할 수 있다.
- 3) 재활용시설의 바닥은 시멘트·아스팔트 등 물이 스며들지 아니하는 재료로 포장하여야 한다.

마. 시멘트 소성로

- 1) 연소실의 연소용 공기 또는 산소 등이 안정적으로 공급될 수 있는 장치(공급량을 조절할 수 있는 기능을 갖는 것에 한한다)를 설치하여야 한다.
- 2) 굴뚝을 설치하는 경우에는 통풍력과 배기가스의 대기확산을 고려한 높이와 구조를 가져야 한다.
- 3) 폭발사고와 화재 등에 대비한 안전한 구조이어야 하며, 소화기 등 필요한 장비를 갖추어야 한다.
- 4) 시설규모, 재활용대상 폐기물의 종류, 재활용방식, 설계·시공자명 및 연락처 등 필요한 사항을 지워지지 아니하고 파손되지 아니하는 방법으로 표시한 표지를 붙여야 한다.
- 5) 연소실에는 시설 내의 압력변화를 감지할 수 있는 압력측정계를 설치하여야 한다.

- 6) 반입되는 폐기물의 무게를 측정할 수 있는 계량시설을 설치하여야 한다.
- 7) 연소실의 최종 출구에는 출구온도 측정공을 설치하고, 각 시설의 출구온도 기준보다 섭씨 300도 이상까지, 대기오염 방지시설중 최초 집진시설의 입구에는 섭씨 600도 이상 측정할 수 있는 온도지시계 및 온도변화를 연속적으로 기록할 수 있는 자동온도기록계를 부착하여야 한다.
- 8) 대기오염 방지시설 중 최초 집진시설(전기·여과집진시설이 설치되어 있는 경우에는 전기·여과 집진시설을 최초 집진시설로 본다)에 유입되는 연소가스를 섭씨 200도 이하로 냉각시키기 위한 냉각시설 또는 폐열회수시설을 설치하여야 한다.
- 9) 굴뚝에서 배출되는 가스중의 산소·먼지농도를 연속적으로 측정·기록할 수 있는 장치로서 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 따라 형식승인 및 정도검사를 받은 것을 적합하게 설치하여야 하며, 대기오염방지시설의 입·출구 및 굴뚝에는 배출가스의 온도, 대기오염물질의 농도 등을 측정할 수 있는 측정공을 대기오염공정시험기준에 적합하게 설치하여야 한다.
- 10) 폐기물 투입구 및 청소구는 고온에 견딜 수 있는 재질로 만들어야 하며, 외부공기가 흘러 들어오거나 연소가스가 새어 나가는 것을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.
- 11) 폐기물반입장·저장조 등에서 발생하는 악취가 재활용시설의 외부로 새어 나가는 것을 방지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.
- 12) 「대기환경보전법 시행규칙」 별표 8 제2호가목에 따른 총탄화수소(THC) 및 「잔류성유기오염물질 관리법 시행규칙」 별표3 제2호가목의 배출허용기준을 지킬 수 있는 시설을 설치하여야 한다.
- 13) 예열기 최하단 원심력 집진시설의 출구온도는 섭씨 800도 이상이어야 한다.
- 14) 연소실은 연소가스가 2초 이상 체류할 수 있고, 충분히 혼합될 수 있는 구조이어야 한다. 이 경우 체류시간은 섭씨 800도에서의 부피로 환산한 연소가스의 체적으로 계산한다.
- 15) 폐기물을 자동으로 투입하는 장치와 투입되는 폐기물의 양을 자동계측하는 장치를 갖추어야 한다.
- 16) 허가·승인을 받거나 신고한 시간당 재활용능력을 초과하여 설치하여서는 아니된다.

□ 폐기물 처분시설 및 재활용시설의 검사기준

○ 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 검사기준(제41조제6항 관련)

<표Ⅲ.6- 7> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 10]

구 분	검 사 항 목
설치검사	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 소각능력의 적절성 및 적절연소상태 유지 여부 ◦ 연소실 출구온도 유지 여부 ◦ 연소가스 체류시간 적절 여부 ◦ 바닥재 강열감량 적절 여부 ◦ 보조연소장치의 용량 및 작동상태 ◦ 연소실 공기나 산소공급장치 작동상태 ◦ 굴뚝의 통풍력 및 구조의 적절성 ◦ 폭발사고와 화재 등에 대비한 구조인지 여부 ◦ 압력측정계 설치 여부 및 작동상태 ◦ 자동투입장치(의료폐기물을 대상으로 하는 경우만 해당한다)· 계량시설의 설치 여부 및 작동상태 ◦ 출구온도 측정공, 온도 지시계, 온도 기록계 설치 여부 및 작동상태 ◦ 내부에 사용한 재질의 적절성 ◦ 연소실 외부피복상태 및 외부표면온도 ◦ 대기오염 방지시설의 유입가스 온도 ◦ 배출가스의 연속측정·기록장치 작동상태 ◦ 폐기물의 투입구 및 청소구의 내열성, 구조 및 공기유입·유출 여부 ◦ 내부연소상태 투시공 설치 여부 ◦ 소각재의 흠날림 방지조치 여부 ◦ 표지판 부착 여부 및 기재사항 ◦ 에너지 회수설비의 계측장비 설치 여부(소각열을 회수·이용하는 시설만 해당한다)
정기검사	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 적절연소상태 유지 여부 ◦ 소방장비 설치 및 관리실태 ◦ 보조연소장치의 작동상태 ◦ 배기가스온도 적절 여부 ◦ 바닥재 강열감량 ◦ 연소실 출구가스 온도 ◦ 연소실 가스체류시간 ◦ 설치검사 당시와 같은 설비·구조를 유지하고 있는지 여부

□ 폐기물 처분시설 및 재활용시설의 관리기준

○ 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 관리기준(제42조제1항 관련)

<표Ⅲ.6- 8> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 11]

다. 재활용시설의 경우

4) 시멘트 소성로

가) 해당 시설에서 재활용이 가능한 폐기물만을 재활용하여야 한다.

나) 연소실에 폐기물을 투입하려는 경우에는 보조연소장치나 그 밖의 방법을 사용하여 섭씨 800도 까지 온도를 높인 후 폐기물을 투입하여야 하고, 시설의 가동을 멈출 때에는 폐기물이 완전히 연소한 후 온도를 낮추어야 한다.

다) 예열기 최하단 원심력 집진시설의 출구온도는 섭씨 800도 이상을 유지하여야 한다. 다만, 기계 고장·이물질 유입 등으로 인하여 불가피한 경우에는 20도 낮은 온도의 범위에서 장애제거와 정상가동에 필요한 시간 동안 일시적으로 유지할 수 있다.

라) 연소실은 연소가스가 2초 이상 체류하여야 한다.

마) 연소실의 최종 출구온도를 연속적으로 측정·기록하여야 하며, 대기오염 방지시설 중 최초 집진 시설(전기·여과집진시설이 설치되어 있는 경우에는 전기·여과집진시설을 최초 집진시설로 본다)의 입구온도 및 배출가스 중의 산소·분진농도를 연속적으로 측정·기록하여야 한다. 다만, 「대기환경보전법」 제32조에 따라 측정기를 붙이고 이를 같은 법 시행령 제13조의2에 따른 굴뚝 자동측정관제센터와 연결하여 정상적으로 운영하는 경우에는 연속적으로 측정·기록한 것으로 본다.

바) 대기오염 방지시설 중 최초 집진시설(전기·여과집진시설이 설치되어 있는 경우에는 전기·여과집진시설을 최초 집진시설로 본다)에 흘러드는 연소가스는 섭씨 200도(시간당 재활용능력이 2톤 미만인 시설의 경우에는 섭씨 250도) 이하로 유지·관리하여야 한다.

사) 시설의 유지·관리를 위하여 운전관리자를 선임하고 운전지침서를 갖추어 두어 운전 중에는 운전관리자가 계속 머물면서 운전지침서에 따라 운영하도록 하여야 한다.

아) 총탄화수소(THC)를 4시간 평균 60피피엠(표준산소농도 13퍼센트로 환산한 농도로서 4시간 평균치를 말한다) 이내로 배출되도록 유지·관리하여야 한다.

6.1.3 대체원료 및 보조연료의 종류와 품질기준

□ 폐기물의 재활용 기준(제14조의3제1항 관련)

<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]

2. 유형별 재활용의 세부기준

나. 재생이용할 수 있는 상태로 만들거나 재생이용하는 유형

2) R-4 유형의 재활용 기준

(3) 철강슬래그 및 석탄재를 재활용하는 경우에는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제 25조제1항에 따른 지침을 준수해야 한다.

(4) 금속 또는 비금속 제련과정에서 발생하는 슬래그를 시멘트 제조 또는 콘크리트 골재 등의 용도로 사용하기 위해 급냉, 수쇄·풍쇄 등을 통한 파쇄 공정을 거쳐 입자상 또는 분말상으로 만드는 경우에는 다음의 기준을 준수해야 한다.

(가) 시멘트 제조용으로 공급하는 경우에는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의3제3항에 따라 환경부장관이 고시한 고�형연료제품의 품질검사 방법에 따른 시험결과가 다음의 기준을 충족해야 한다.

① 동 제련과정에서 발생하는 경우

- ㉠ 납: 킬로그램 당 3,200밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 10,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 100밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 900밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

② 아연 제련과정에서 발생하는 경우

- ㉠ 납: 킬로그램 당 7,000밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 14,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 60밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 500밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

③ 그 외의 경우

- ㉠ 납: 킬로그램 당 1,000밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 3,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 60밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 500밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]

(나) 콘크리트용 골재 등으로 공급하는 경우에는 한국산업표준에 따른 용도별 규격 또는 품질에 적합해야 한다. 다만, 입도(粒度)는 그러하지 아니하며, 한국산업표준이 설정되어 있지 않은 경우에는 같은 용도에 대한 한국산업표준을 준용할 수 있다.

(5) 비산재, 바닥재 등 소각재와 그 잔재물이나 보크사이트 잔재물[적토(赤土), 수산화알루미늄의 제조 공정에서 발생한 광물성폐기물을 말한다]은 다음의 기준을 충족하는 경우에만 재활용해야 하며, 이를 충족시키지 못할 경우 해당 기준을 충족시키도록 처리한 후 사용해야 한다.

(가) 강열감량(強熱減量)은 5.0 퍼센트 이하여야 한다.

(나) 용출기준

[단위: mg/l]

항목	용출농도
납과 그 화합물	1.0 이내
구리와 그 화합물	1.0 이내
비소와 그 화합물	0.50 이내
수은과 그 화합물	0.0030 이내
카드뮴과 그 화합물	0.10 이내
6가크롬화합물	0.10 이내
시안화합물	0.20 이내
염소화합물	250.0 이내

(8) 소성과정을 거쳐 폐패각을 가공한 폐패각 분말을 황토포장, 황토미장, 황토블록 등 시멘트 대체용 경화제로 재활용하는 경우 폐패각 분말은토양오염물질에 관한 공정시험기준의 함량시험 결과가 다음의 기준을 충족해야 한다.

(가) 납·구리·비소·수은·카드뮴·6가크롬·시안화합물: (6)(나)의 바닥재를 이용한 요업제품의 중금속 등 함량 기준 이내

(나) 수소이온농도(pH): 12.4 이하

(9) 폐주물사를 가공하여 재생주물사로 사용하는 경우에는 폐기물에 관한 공정시험기준, 한국산업표준 또는 국제적으로 통용되는 시험방법에 따른 시험결과가 다음의 기준을 충족해야 한다.

(가) 수소이온농도(pH): 6.0 이상 11.0 이하

(나) 비중: 2.3 이상 2.8 이하

(다) 이물질: 무게비율로 1.0퍼센트 이하

(라) 납·구리·비소·수은·카드뮴 또는 그 화합물 및 6가크롬화합물: 별표 1에 따른 유해물질의 기준 미만일 것

<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]

(11) 지정폐기물이 아닌 사업장폐기물을 시멘트대체원료로 재활용하는 경우에는 다음의 기준에 적합하여야 한다.

(가) 철강슬래그 및 석탄재를 재활용하는 경우에는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제25조제1항에 따른 지침을 준수해야 한다.

(나) 대체원료로 재활용하는 폐기물은 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의3제3항에 따라 환경부장관이 고시한 고�형연료제품의 품질검사 방법에 따른 시험결과가 다음의 기준을 충족하여야 한다.

① 철 대체원료의 경우

- ㉠ 납: 킬로그램 당 1,000밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 3,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 60밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 500밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

② 철 외의 대체원료의 경우

- ㉠ 납: 킬로그램 당 150밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 800밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 50밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 50밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

(다) (나)에도 불구하고 철 대체원료 중 동 제련소에서 발생하는 슬래그 등에 대해서는 다음의 기준을 적용한다.

① 동 제련소에서 발생하는 슬래그

- ㉠ 납: 킬로그램 당 3,200밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 10,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 100밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 900밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

② 아연 제련소에서 발생하는 슬래그

- ㉠ 납: 킬로그램 당 7,000밀리그램 미만
- ㉡ 구리: 킬로그램 당 14,000밀리그램 미만
- ㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 60밀리그램 미만
- ㉣ 비소: 킬로그램 당 500밀리그램 미만
- ㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만

<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]

- ③ 제철소의 폐기물 중 대기오염 방지시설에서 포집된 분진(철 성분이 함유된 것에 한한다) 및 오니(습식 방지시설에서 포집된 것으로서 철 성분이 함유된 것에 한한다)
- ㉠ 납: 킬로그램 당 4,000밀리그램 미만
㉡ 구리: 킬로그램 당 3,000밀리그램 미만
㉢ 카드뮴: 킬로그램 당 100밀리그램 미만
㉣ 비소: 킬로그램 당 500밀리그램 미만
㉤ 수은: 킬로그램 당 2.0밀리그램 미만
- (12) 규소철 생산과정에서 발생하는 분진(실리카폼)을 콘크리트용 혼화재로 사용하려는 경우에는 지정폐기물이 아닌 폐기물만을 재활용 할 수 있다.
- (13) 무기성오니를 별표 4의2 제4호가목부터 다목까지 및 바목에 따른 유형의 용도에 사용되는 골재제품으로 재활용 하려는 경우에는 제2호라목1)가)(3)의 기준에 적합한 무기성오니만 사용해야 한다.

마. 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형

1) R-8 유형의 재활용 기준

가) R-8-1 유형의 재활용 기준

(1) 시멘트 보조연료로 사용할 때에는 제3조제1항제3호에 따른 폐기물로서, 다음의 기준에 적합한 폐기물만을 재활용하여 시멘트 품질을 안정적으로 유지하여야 한다.

(가) 시멘트 소성로에서 보조연료로 재활용하는 폐기물은 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의3제3항에 따른 고품연료제품의 품질 시험·분석방법에 따라 시험한 결과(저위발열량 외의 항목은 건조된 상태를 기준으로 한다)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.

- ① 납: 킬로그램 당 200밀리그램 미만
② 구리: 킬로그램 당 800밀리그램 미만
③ 카드뮴: 킬로그램 당 9밀리그램 미만
④ 비소: 킬로그램 당 13밀리그램 미만
⑤ 수은: 킬로그램 당 1.2밀리그램 미만
⑥ 염소농도: 무게의 2퍼센트 미만
⑦ 저위발열량: 킬로그램 당 4,500킬로칼로리 이상

(나) (가)에도 불구하고 폐목재에 대하여는 다음의 기준을 적용한다.

- ① 납: 킬로그램 당 30밀리그램 이하
② 구리: 킬로그램 당 800밀리그램 미만
③ 카드뮴: 킬로그램 당 2.0밀리그램 이하

<표Ⅲ.6- 9> 폐기물관리법 시행규칙 [별표 5의3]

- ④ 비소: 킬로그램 당 2.0밀리그램 이하
- ⑤ 수은: 킬로그램 당 1.0밀리그램 이하
- ⑥ 염소농도: 무게의 2퍼센트 이하
- ⑦ 저위발열량: 킬로그램 당 3,500킬로칼로리 이상

나) R-8-2 유형의 재활용 기준: 지정폐기물이 아닌 가연성 고형폐기물[폴리염화비닐(PVC)은 제외한다]만 재활용할 수 있다.

□ 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률

<표Ⅲ.6-10> 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률

제20조의3(폐기물 고형연료제품 사용시설 등) ① 법 제25조의2에서 "환경부령으로 정하는 사용시설"

이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 시설을 말한다. <개정 2009.7.13.>

1. 시멘트 소성로(燒成爐)
 2. 화력발전시설, 열병합발전시설 및 발전용량이 2메가와트 이상인 발전시설
 3. 석탄사용량이 시간당 2톤 이상인 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소 로(爐)
 4. 재활용품 중 폐기물을 이용하여 만든 고형연료제품(이하 "고형연료제품"이라 한다) 사용량이 시간당 200킬로그램 이상인 보일러시설(「폐기물관리법 시행규칙」 별표 9에 따른소각시설의 설치기준 및 같은 법 시행규칙 별표 10에 따른 소각시설의 검사기준에 적합한 시설로서 초기 가동 시 연소실 출구 온도가 800℃ 이상이 될 때 고형연료제품을 자동 투입할 수 있는 장치를 갖춘 시설만 해당한다)
 5. 그 밖에 환경부장관이 고형연료제품의 사용에 적합하다고 인정하여 고시하는 시설
- ② 제1항의 시설에서 사용되는 고형연료제품의 품질·등급기준은 별표 7과 같다.

□ 폐기물 사용관리 기준에 관한 자발적 협약

<표Ⅲ.6-11> 시멘트 소성로 폐기물 사용관리 기준(자율협약)

1. 폐기물 사용 기본원칙

- 지정폐기물이외의 폐기물로서 폐기물 사용기준을 충족하는 폐기물만 사용함으로써 시멘트 품질을 안정적으로 유지할 것
- 배출자 및 중간처리업체로부터 수탁 받는 재활용 폐기물의 성상과 유통 흐름을 명확히 파악하고 정보를 공개할 것
- 관할 행정기관에서 폐기물 재활용의 적정성 여부를 평가하기 위해서 필요한 정보를 요구할 경우 협조할 것

2. 폐기물 사용기준(2011.09.07., 201.09.27 법제화)

- 지정폐기물은 사용하지 말 것. 단, 회사 자체 발생 지정폐기물, 동·식물유를 흡착·흡수한 폐흡착제·폐흡수제는 사용 제한 지정폐기물에서 제외
- 사용 폐기물에 대한 중금속 등의 함량 기준

[단위: mg/kg]

구분		Pb	Cu	Cd	As	Hg	Cl	저위발열량
대체 원료	철	< 1,000	< 3,000	< 60	< 500	< 2	-	-
	기타	< 150	< 800	< 50	< 50	< 2	-	-
대체연료		< 200	< 800	< 9	< 13	< 1.2	< 2%	>4,500kcal/kg

비고 1. 재활용 제품은 동 기준 적용에서 제외

2. 철 대체원료 중 동 제련소에서 발생하는 슬래그에 대하여는 다음 기준을 적용
(Pb<3,200mg/kg, Cu <10,000mg/kg, Cd <100mg/kg, As <900mg/kg, Hg <2mg/kg)
3. 철 대체원료 중 아연 제련소에서 발생하는 슬래그에 대하여는 Pb <7,000mg/kg, Cu <14,000mg/kg을 적용하고 나머지 항목은 철 대체원료와 동일한 기준을 적용
4. 철 대체원료 중 제철소의 폐기물 중 집진시설에서 발생하는 철 함유 부산물에 대하여는 Pb <4,000mg/kg, Cd <100mg/kg, 나머지 항목들은 철 대체원료와 동일한 기준 적용
5. 폐목재(대체연료)에 대한 중금속, 발열량은 WCF 기준 적용(WCF 기준에 없는 Cu항목은 상기 기준 적용)

- 폐기물을 운반·보관·투입할 경우 외부 유출 및 비산방지를 위해서 밀폐시설, 덮개 설치 등의 조치를 취할 것

3. 수탁 폐기물에 대한 관리 기준

- 폐기물 공급자와 수탁 계약 체결 전에 폐기물에 대한 배출공정 및 중금속 함량 등의 특성을 조사하고 관할 행정기관에 보고 후 사용할 것
 - 중간처리업체를 통하여 수탁하는 폐기물의 경우도 원 공급자에 대하여 동일하게 적용할 것
- 사용 폐기물에 대하여 조사된 중금속 함량 등은 DB화하고, 관련 정보(공급자, 폐기물 종류와 양, 중금속 함량 등)를 회사 인터넷 홈페이지 등을 통하여 공개하고 주기적으로 갱신할 것

<표Ⅲ.6-11> 시멘트 소성로 폐기물 사용관리 기준(자율협약)

- 도착된 개별 수탁 폐기물에 대하여 중금속 함량 등을 분석할 것. 단, 배출원과 폐기물 종류가 동일할 경우는 회사 상황에 따라 분기 1회 등 주기적으로 실시
 - 기준 초과 시 공급자를 통하여 정확한 원인을 파악하고, 재사용 여부가 결정될 때까지는 반입하지 말 것
 - 사용기준을 초과한 폐기물 공급자에 대한 폐기물 재반입은 사용기준을 안정적으로 만족시킬 수 있다고 판단되는 경우에만 관할 행정기관에 보고한 후 실시할 것
- 폐기물 및 시멘트 품질관리를 위해서 적정 실험실과 인력을 확보할 것
- 시료채취·분석은 환경부 장관이 정하는 방법을 준수할 것

4. 행정사항

- 동 기준은 자발적 협약을 체결한날로부터 3개월 후부터 시행하며, 기준 이행과 관련하여 추가적으로 필요한 사항들은 환경부, 관할 행정기관, 업체가 논의하여 결정
- 관할 행정기관은 지역 주민 참여 하에 폐기물 사용실태 및 사용기준 준수 여부를 주기적으로 점검하고, 인터넷 홈페이지 등을 통하여 관련 자료를 공개
- 동 기준은 폐기물 사용 현황 및 시멘트 품질 등에 대한 세부 실태 조사를 통하여 조정·보완

6.2 비산먼지 관련 국내 법규 및 규정

6.2.1 대기환경보전법 및 시행령

□ 대기환경보전법 제43조(비산(飛散)먼지의 규제), 2020. 12. 29., 일부개정

- ① 비산배출되는 먼지(이하 “비산먼지”라 한다)를 발생시키는 사업으로서 대통령령으로 정하는 사업을 하려는 자는 환경부령으로 정하는 바에 따라 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말함. 이하 같다)에게 신고하고 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치하거나 필요한 조치를 하여야 하며, 이를 변경하려는 경우에도 또한 같음
- ② 제1항에 따른 사업의 구역이 둘 이상의 특별자치시·특별자치도·시·군·구(자치구를 말함)에 걸쳐 있는 경우에는 그 사업 구역의 면적이 가장 큰 구역(제1항에 따른 신고 또는 변경신고를 할 때 사업의 규모를 길이로 신고하는 경우에는 그 길이가 가장 긴 구역을 말함)을 관할하는 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장에게 신고하여야 함
- ③ 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장은 제1항에 따른 신고 또는 변경신고를 받은 경우 그 내용을 검토하여 이 법에 적합하면 신고 또는 변경신고를 수리하여야 함

□ 대기환경보전법 시행령 44조(비산먼지 발생사업), 2019. 7. 16., 일부개정

- 제44조(비산먼지 발생사업) 법 제43조제1항 전단에서 “대통령령으로 정하는 사업”이란 다음 각 호의 사업 중 환경부령으로 정하는 사업을 말함
 1. 시멘트·석회·플라스터 및 시멘트 관련 제품의 제조업 및 가공업
 2. 비금속물질의 채취업, 제조업 및 가공업
 3. 제1차 금속 제조업
 4. 비료 및 사료제품의 제조업
 5. 건설업(지반 조성공사, 건축물 축조공사, 토목공사, 조경공사 및 도장공사로 한정한다)

6. 시멘트, 석탄, 토사, 사료, 곡물 및 고철의 운송업
7. 운송장비 제조업
8. 저탄시설(貯炭施設)의 설치가 필요한 사업
9. 고철, 곡물, 사료, 목재 및 광석의 하역업 또는 보관업
10. 금속제품의 제조업 및 가공업
11. 폐기물 매립시설 설치·운영 사업

대기환경보전법 시행규칙 57조(비산먼지 발생사업, 58조(신고),

- 제57조(비산먼지 발생사업) 영 제44조에서 “환경부령으로 정하는 사업”이란 별표 13의 사업을 말한다.

<표Ⅲ.6-12> 비산먼지 발생 사업(별표 13, 제57조 관련)

발 생 사 업	신 고 대 상 사 업
1. 시멘트·석화·플라스터(Plaster) 및 시멘트 관련 제품의 제조 및 가공업	가. 시멘트제조업·가공 및 저장업 나. 석회제조업 다. 콘크리트제품제조업 라. 플라스터제조업
6. 시멘트·석탄·토사·사료·곡물·고철의 운송업	시멘트·석탄·토사·사료·곡물·고철의 운송업
8. 저탄시설의 설치가 필요한 사업	가. 발전업 나. 부두, 역구내 및 기타 지역의 저탄사업 다. 석탄을 연료로 사용하는 사업(저탄면적 100㎡ 이상만 해당한다)
11. 폐기물매립시설 설치·운영 사업	가. 「폐기물처리시설 설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률」에 따른 폐기물매립시설을 설치·운영하는 사업 나. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물최종처분업 및 폐기물 종합처분업

○ 제58조(비산먼지 발생사업의 신고 등)

① 법 제43조제1항에 따라 비산먼지 발생사업(시멘트·석탄·토사·사료·곡물·고철의 운송업은 제외한다)을 하려는 자(영 제44조제5호에 따른 건설업을 도급에 의하여 시행하는 경우에는 발주자로부터 최초로 공사를 도급받은 자를 말한다)는 별지 제24호서식의 비산먼지 발생사업 신고서를 사업 시행 전(건설공사의 경우에는 착공 전)에 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말하며, 이하 “시장·군수·구청장”이라 한다)에게 제출하여야 하며, 신고한 사항을 변경하려는 경우에는 별지 제24호서식의 비산먼지 발생사업 변경신고서를 변경 전(제2항제1호의 경우에는 이를 변경한 날부터 30일 이내, 같은 항 제5호의 경우에는 제8항에 따라 발급받은 비산먼지 발생사업 등 신고증명서에 기재된 설치기간 또는 공사기간의 종료일까지)에 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다. 다만, 신고대상 사업이 「건축법」 제16조에 따른 착공신고대상사업인 경우에는 그 공사의 착공 전에 별지 제24호서식의 비산먼지 발생사업 신고서 또는 비산먼지 발생사업 변경신고서와 「폐기물관리법 시행규칙」 제18조제2항에 따른 사업장폐기물배출자 신고서를 함께 제출할 수 있다.

② 법 제43조제1항 단서에 따라 변경신고를 하여야 하는 경우는 다음 각 호와 같다.

1. 사업장의 명칭 또는 대표자를 변경하는 경우
2. 비산먼지 배출공정을 변경하는 경우
3. 다음 각 목에 해당하는 사업 또는 공사의 규모를 늘리거나 그 종류를 추가하는 경우
가. 별표 13 제1호 가목 중 시멘트제조업(석회석의 채광·채취 공정이 포함되는 경우만 해당한다)
나. 별표 13 제5호 가목부터 바목까지에 해당하는 공사로서 사업의 규모가 신고 대상사업 최소 규모의 10배 이상인 공사 3의2. 제3호 각 목 외의 사업으로서 사업의 규모를 10퍼센트 이상 늘리거나 그 종류를 추가하는 경우
4. 비산먼지 발생억제시설 또는 조치사항을 변경하는 경우
5. 공사기간을 연장하는 경우(건설공사의 경우에만 해당한다)

- ③ 제1항에 따른 신고를 할 때에 공사지역이 둘 이상의 특별자치시·특별자치도·시·군·구(자치구를 말하며, 이하 “시·군·구”라 한다)에 걸쳐 있는 건설공사이면 그 공사지역의 면적 또는 길이가 가장 많이 포함되는 지역을 관할하는 시장·군수·구청장에게 신고를 하여야 한다. 이 경우 신고를 받은 시장·군수·구청장은 다른 공사지역을 관할하는 시장·군수·구청장에게 신고내용을 알려야 한다.
- ④ 법 제43조제1항에 따른 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치에 관한 기준은 별표 14와 같다.
- ⑤ 시장·군수·구청장은 다음 각 호의 비산먼지 발생사업자로서 별표 14의 기준을 준수하여도 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 상당한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정하는 사업자에게는 제4항에도 불구하고 별표 15의 기준을 전부 또는 일부 적용할 수 있다.
1. 시멘트 제조업자
 2. 콘크리트제품 제조업자
 3. 석탄제품 제조업자
 4. 건축물 축조공사자
 5. 토목공사자
- ⑥ 시장·군수·구청장은 법 제43조제1항에 따라 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치하거나 필요한 조치를 할 때에 사업자가 설치기술이나 공법 또는 다른 법령의 시설 설치 제한규정 등으로 인하여 제4항의 기준을 준수하는 것이 특히 곤란하다고 인정되는 경우에는 신청에 따라 그 기준에 맞는 다른 시설의 설치 및 조치를 하게 할 수 있다.
- ⑦ 제6항에 따른 신청을 하려는 사업자는 별지 제25호서식의 비산먼지 시설기준 변경신청서에 제4항의 기준에 맞는 다른 시설의 설치 및 조치의 내용에 관한 서류를 첨부하여 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다.
- ⑧ 제1항에 따른 신고를 받은 시장·군수·구청장은 별지 제26호서식의 신고증명서를 신고인에게 발급하여야 한다.

[별표 14]_(제58조제4항 관련)

<표Ⅲ.6-13> 비산먼지 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치에 관한 기준

배출공정	시설의 설치 및 조치에 관한 기준
<p>1. 야적 (분체상물질 을 야적하는 경우에만 해당한다)</p>	<p>가. 야적물질을 1일 이상 보관하는 경우 방진덮개로 덮을 것</p> <p>나. 야적물질의 최고저장높이의 1/3 이상의 방진벽을 설치하고, 최고저장높이의 1.25배 이상의 방진망(개구율 40% 상당의 방진망을 말한다. 이하 같다) 또는 방진막을 설치할 것. 다만, 건축물축조 및 토목공사장·조경공사장·건축물해체공사장의 공사장 경계에는 높이 1.8m(공사장 부지 경계선으로부터 50m 이내에 주거상가 건물이 있는 곳의 경우에는 3m) 이상의 방진벽을 설치하되, 둘 이상의 공사장이 붙어 있는 경우의 공동경계면에는 방진벽을 설치하지 아니할 수 있다.</p> <p>다. 야적물질로 인한 비산먼지 발생억제를 위하여 물을 뿌리는 시설을 설치할 것(고철 야적장과 수용성물질, 사료 및 곡물 등의 경우는 제외한다)</p> <p>라. 공장 내에서 시멘트 제조를 위한 원료 및 연료는 최대한 3면이 막히고 지붕이 있는 구조물 내에 보관하며, 보관시설의 출입구는 방진망 또는 방진막 등을 설치할 것(시멘트 제조업만 해당한다).</p> <p>마. 저탄시설은 옥내화할 것(발전업만 해당한다). 다만, 이 기준 시행 이전에 설치된 야외 저탄시설은 2024년까지 옥내화를 완료하되, 이 규칙 시행 후 1년 이내에 환경부장관과 협의를 거쳐 옥내화 완료 기간을 연장할 수 있다.</p> <p>야. 가목부터 사목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치하는 경우에는 가목부터 사목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치를 제외한다.</p>
<p>2. 실기 및 내리기 (분체상 물질을 실고 내리는 경우만 해당한다)</p>	<p>가. 작업 시 발생하는 비산먼지를 제거할 수 있는 이동식 집진시설 또는 분무식 집진시설(Dust Boost)을 설치할 것(석탄제품제조업, 제철·제강업 또는 곡물하역업에만 해당한다)</p> <p>나. 실거나 내리는 장소 주위에 고정식 또는 이동식 물을 뿌리는 시설(살수반경 5m 이상, 수압 3kg/cm² 이상)을 설치·운영하여 작업하는 중 다시 흩날리지 아니하도록 할 것(곡물작업장의 경우는 제외한다)</p> <p>다. 풍속이 평균초속 8m 이상일 경우에는 작업을 중지할 것</p> <p>라. 공장 내에서 실고 내리기는 최대한 밀폐된 시설에서만 실시하여 비산먼지가 생기지 아니하도록 할 것(시멘트 제조업만 해당한다)</p> <p>마. 조쇄(캐넌 광석을 초벌로 깨는 일)를 위한 내리기 작업은 최대한 3면이 막히고 지붕이 있는 구조물 내에서 실시 할 것. 다만, 수직갱에서의 조쇄를 위한 내리기 작업은 충분한 살수를 실시할 수 있는 시설을 설치할 것(시멘트 제조업만 해당한다)</p> <p>바. 가목부터 마목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치하는 경우에는 가목부터 마목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치를 제외한다.</p>

<p>3. 수송 (시멘트·석탄 토사·사료·곡물 고철의 운송업은 가목나목·바목 사목 및 차목만 적용하고, 목재수송은 사목·아목 및 차목만 적용한다)</p>	<p>가. 적재함을 최대한 밀폐할 수 있는 덮개를 설치하여 적재물이 외부에서 보이지 아니하고 흘림이 없도록 할 것</p> <p>나. 적재함 상단으로부터 5cm 이하까지 적재물을 수평으로 적재할 것</p> <p>다. 도로가 비포장 사설도로인 경우 비포장 사설도로로부터 반지름 500m 이내에 10가구 이 상의 주거시설이 있을 때에는 해당 마을로부터 반지름 1km 이내의 경우에는 포장, 간이 포장 또는 살수 등을 할 것</p> <p>라. 다음의 어느 하나에 해당하는 시설을 설치할 것</p> <p>1) 자동식 세륜시설(바퀴 등의 세척시설) 금속지지대에 설치된 롤러에 차바퀴를 달게 한 후 전력 또는 차량의 동력을 이용하여 차 바퀴를 회전시키는 방법으로 차바퀴에 묻은 흙 등을 제거할 수 있는 시설</p> <p>2) 수조를 이용한 세륜시설 - 수조의 넓이 : 수송차량의 1.2배 이상 - 수조의 깊이 : 20센티미터 이상 - 수조의 길이 : 수송차량 전체길이의 2배 이상 - 수조수 순환을 위한 침전조 및 배관을 설치하거나 물을 연속적으로 흘려 보낼 수 있는 시설을 설치할 것</p> <p>마. 다음 규격의 측면 살수시설을 설치할 것 - 살수높이 : 수송차량의 바퀴부터 적재함 하단부까지 - 살수길이 : 수송차량 전체길이의 1.5배 이상 - 살 수 압 : 3kgf/cm² 이상</p> <p>바. 수송차량은 세륜 및 측면 살수 후 운행하도록 할 것</p> <p>사. 먼지가 흩날리지 아니하도록 공사장안의 통행차량은 시속 20km 이하로 운행할 것</p> <p>자. 광산 진입로는 임시로 포장하여 먼지가 흩날리지 아니하도록 할 것(시멘트 제조업만 해 당한다)</p> <p>차. 가목부터 자목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치하는 경우에는 가목부터 자목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치를 제외한다.</p>
<p>4. 이송</p>	<p>가. 야외 이송시설은 밀폐화하여 이송 중 먼지의 흩날림이 없도록 할 것</p> <p>나. 이송시설은 낙하, 출입구 및 국소배기부위에 적합한 집진시설을 설치하고, 포집된 먼지는 흩날리지 아니하도록 제거하는 등 적절하게 관리할 것</p> <p>다. 기계적[벨트컨베이어, 용기형 승강기(바켓엘리베이터) 등]인 방법이 아닌 시설을 사용할 경 우에는 물을 뿌리거나 그 밖의 먼지제거 방법을 사용할 것</p>

<p>4. 이송</p>	<p>라. <u>기계적(벨트컨베이어, 용기형 승강기 등)인 방법의 시설을 사용하는 경우에는 표면 먼지를 제거할 수 있는 시설을 설치할 것(시멘트 제조업과 제철 및 제강업만 해당한다). 제철 및 제강업의 경우 표면 먼지를 제거할 수 있는 시설은 스크래퍼(표면의 먼지를 긁어서 제거하는 시설) 또는 살수시설 등으로 한다.</u></p> <p>마. 이송시설의 하부는 주기적으로 청소하여 이송시설에서 떨어진 먼지가 재비산되지 않도록 할 것(제철 및 제강업만 해당한다)</p> <p>바. 가목부터 마목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치하는 경우에는 가목부터 마목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치를 제외한다.</p>
<p>5. 채광 채취 (갱내작업의 경우는 제외한다)</p>	<p>가. 살수시설 등을 설치하도록 하여 주위에 먼지가 흩날리지 아니하도록 할 것</p> <p>나. 발파 시 발파공에 젖은 가마니 등을 덮거나 적절한 방지사설을 설치한 후 발파할 것</p> <p>다. <u>발파 전후 발파 지역에 대하여 충분한 살수를 실시하고, 천공시에는 먼지를 포집할 수 있는 시설을 설치할 것</u></p> <p>라. 풍속이 평균 초속 8미터 이상인 경우에는 발파작업을 중지할 것</p> <p>마. 작은 면적이라도 채광·채취가 이루어진 구역은 최대한 먼지가 흩날리지 아니하도록 조치할 것</p> <p>바. 분체형태의 물질 등 흩날릴 가능성이 있는 물질은 밀폐용기에 보관하거나 방진덮개로 덮을 것</p> <p>사. 가목부터 바목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치하였을 경우에는 가목부터 바목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치는 제외한다.</p>
<p>6. 조쇄 및 분쇄 (시멘트 제조업만 해당하며, 갱내 작업은 제외한다)</p>	<p>가. <u>조쇄작업은 최대한 3면이 막히고 지붕이 있는 구조물에서 실시하여 먼지가 흩날리지 아니하도록 할 것</u></p> <p>나. <u>분쇄작업은 최대한 4면이 막히고 지붕이 있는 구조물에서 실시하여 먼지가 흩날리지 아니하도록 할 것</u></p> <p>다. 살수시설 등을 설치하여 먼지가 흩날리지 아니하도록 할 것</p> <p>라. 가목부터 다목까지와 같거나 그 이상의 효과를 가지는 시설을 설치하거나 조치를 하였을 경우에는 가목부터 다목까지 중 그에 해당하는 시설의 설치 또는 조치는 제외한다.</p>

[별표 15]_(제58조제5항 관련)

<표Ⅲ.6-14> 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치에 관한 엄격한 기준

배출공정	시설의 설치 및 조치에 관한 기준
1. 야 적	가. 야적물질을 최대한 밀폐된 시설에 저장 또는 보관할 것 나. 수송 및 작업차량 출입문을 설치할 것 다. 보관저장시설은 가능하면 한 3면이 막히고 지붕이 있는 구조가 되도록 할 것
2. 싣기와 내리기	가. 최대한 밀폐된 저장 또는 보관시설 내에서만 분체상물질을 싣거나 내릴 것 나. 싣거나 내리는 장소 주위에 고정식 또는 이동식 물뿌림시설(물뿌림반경 7m 이상, 수압 5kg/cm ² 이상)을 설치할 것
3. 수 송	가. 적재물이 흘러내리거나 흩날리지 아니하도록 덮개가 장치된 차량으로 수송할 것 나. 다음 규격의 세륜시설을 설치할 것 금속지지대에 설치된 롤러에 차바퀴를 달게 한 후 전력 또는 차량의 동력을 이용하여 차바퀴를 회전시키는 방법 또는 이와 같거나 그 이상의 효과를 지닌 자동물뿌림장치를 이용하여 차바퀴에 묻은 흙 등을 제거할 수 있는 시설 다. 공사장 출입구에 환경전담요원을 고정배치하여 출입차량의 세륜·세차를 통제하고 공사장 밖으로 토사가 유출되지 아니하도록 관리할 것 라. 공사장 내 차량통행도로는 다른 공사에 우선하여 포장하도록 할 것

6.3 시멘트 소성로의 배출허용기준

6.3.1 국내

□ 개요

- 우리나라의 대기오염물질 배출허용기준은 오염물질별로 배출시설을 구분하여 정하고 있는데(대기환경보전법 제16조 동법 규칙 제15조 별표 8), 여기에 시멘트 소성로에 대한 대기오염물질 배출허용기준이 명시되어 있다.
- 또한 시멘트 소성로는 1999년 폐기물 소각시설로 인정한 이후에 자체 발생 폐기물과 외부에서 폐기물을 반입하여 소성로의 부연료로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 배출허용기준의 적용은 각각의 오염물질에 대해 개별시설(소각시설, 시멘트 소성로 등)과 기타 시설, 모든 시설로 나누어 이루어져야 한다(대기환경보전법 제16조 동법 규칙 제15조 별표 8, 2020. 12. 30)
- 대기환경보전법상의 배출허용기준 중 소각시설의 경우 ‘소각시설’에 13개 항목, ‘모든 배출시설’에 11개 항목, ‘기타 시설’에 10개 항목 등 25개 항목이 규제항목으로 되어 있다.
- 시멘트 소성로의 경우는 ‘시멘트 소성로’에 3개 항목, ‘모든 배출시설’에 11개 항목, ‘기타 시설’에 10개 항목 등 24개 항목이 규제항목으로 되어 있으며 소각시설과 비교하여 일산화탄소에 대해 배출허용기준이 없다.<표 2-9>에 이를 나타냈다.
- 2010년 1월 1일부터 시멘트·석회·플라스틱 및 그 제품 제조시설로 분류되어 배출허용기준이 적용되며 먼지, 황산화물, 질소산화물, 수은화합물, 벤젠, 암모니아 등의 기준이 강화된다.
- 다이옥신의 경우는 대기환경보전법에 명시되어 있지 않고, 잔류성 유기오염물질관리법에 포함되어 있으며, 시멘트 제조시설의 경우 연료 사용량이 시간당 30kg 이상이거나 용적이 3m³ 이상인 소성시설에 대해 2009년 1월부터 배출허용기준이 적용되어 왔다(잔류성 유기오염물질관리법 제7조 별표 3 참조)

<표Ⅲ.6-15> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질(기체상 오염물질)

	시멘트 소성로	소각시설
암모니아	20(13)	15(12)
일산화탄소	-	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 50(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 150(12)
염화수소	9(13)	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 10(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 15(12)
염 소		
황산화물	가) 2007년 1월 31일 이전 설치시설 (1) 클링커 생산량이 연 200,000톤 이상인 시설 :15(13) (2) 클링커 생산량이 연 200,000톤 미만인 시설 :80(13) 나) 2007년 2월 1일 이후 설치시설 (1) 클링커 생산량이 연 200,000톤 이상인 시설 :15(13) (2) 클링커 생산량이 연 200,000톤 미만인 시설 : 35(13) 다) 2015년 1월 1일 이후 설치시설 (1) 크링커 생산량이 연 200,000톤 이상인 시설 : 10(13) (2) 크링커 생산량이 연 200,000톤 미만인 시설 : 20(13)	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 20(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 25(12)
질소산화물	가) 2007년 1월 31일 이전 설치시설 : 270(13) 나) 2007년 2월 01일 이후 설치시설 : 200(13) 다) 2015년 1월 01일 이후 설치시설 : 80(13)	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 50(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 60(12)
이황화탄소	10	10
포름알데히드	8	8
황화수소	2(13)	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 2(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 3(12)
불소화합물	2(13)	(가) 소각용량 200kg/hr이상 : 2(12) (나) 소각용량 0.2-2.0톤 : 2(12)
시아나화수소	4	4
브롬화합물	3	3
벤젠화합물	6	6
페놀화합물	4	4
수은화합물	0.05(13)	0.05(12)
비소화합물	0.2(13)	0.2(12)

<표Ⅲ.6-15> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질(기체상 오염물질_계속)

	시멘트 소성로	소각시설
탄화수소	60(13)	-
디클로로메탄	50	50
트리클로로에틸렌	50	50
1,3-부타디엔	6	6
아크릴로니트릴	20	20
1,2-디클로로에탄	12	12
클로로포름	5	5
테트라클로로에틸렌	10	10
스틸렌	23	23
에틸벤젠	23	23
사염화탄소	3	3

<표Ⅲ.6-16> 시멘트 소성공정에서 발생하는 대기오염물질(입자상물질)

	시멘트 소성로	소각시설
먼지 (mg/Sm ³)	가) 소성시설, 용융·용해시설, 건조시설 (1) 2001년 6월 30일 이전 설치시설 :15(13) (2) 2001년 7월 1일 이후 설치시설 :15(13) 나) 냉각시설(직접배출시설 경우):30 다) 슬래그 시멘트 열풍 건조시설:20	(가)소각용량 2t/hr 이상 : 10(12) (나)소각용량 0.2t/hr 이상 2t/hr 미만 : 15(12)
카드뮴 화합물 (mg/Sm ³)	0.02(13)	(1)소각용량 2ton/hr 이상 : 0.02(12) (2)소각용량 0.2t/hr 이상 2t/hr 미만 : 0.8(12) (3)소각용량 0.2t/hr 미만 : 0.15(12)
납화합물 (mg/Sm ³)	0.2(13)	(1) 소각용량 2ton/hr이상 :0.2(12) (2) 소각용량 0.2t/hr 이상 2t/hr 미만 : 0.4(12) (3) 소각용량 0.2t/hr 미만 :0.8(12)
크롬화합물 (mg/Sm ³)	0.2(13)	0.2(12)
구리화합물 (mg/Sm ³)	4	4
니켈 및 그 화합물 (mg/Sm ³)	2	2
아연화합물 (mg/Sm ³)	4	4
비산먼지 (mg/Sm ³)	0.3	0.4
매연)	링겔만비탁표 2도	링겔만비탁표 2도
다환방향족탄화 수소류(벤조a피 렌)(mg/Sm ³)	0.05	0.05

<표 III.6-17> 잔류성오염물질 배출허용기준(제7조 관련)

[Unit : ng-TEQ/Sm³]

		신설시설	기존시설		비 고
			2009.1.1. ~ 2011.12.31.	012.1.1.이후	
시멘트소성로		0.1	0.1	0.1	산소농도 13%
소각시설	4t/hr 이상	0.1	1		산소농도 12%
	2~4t/h	1	5		
	0.025t/hr~2t/hr	5	10		
생활폐기물 소각시설	2t/hr이상	0.1			
감염성폐기 물소각시설	4t/hr이상	0.1	0.1	1	
	2~4t/h	1	1	5	
	1~2t/h	1	1	5	
	0.2t/hr~1t/hr	5	5	5	
	0.025t/hr~0.2t/hr	5	10	10	

6.3.2 해외

□ 일본

- 일본의 경우에는 폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률(이하, 폐기물처리법) 제 14조 제6항에 따라 시멘트 소성로에서 폐기물을 원료나 연료로써 재활용하고자 할 경우, 대상폐기물의 분류에 따라 일반폐기물 또는 산업폐기물 처분업(소성 및 소각) 허가를 득해야 폐기물의 사용이 가능함
- 대기배출허용기준은 대기오염방지법 과 폐기물처리법 에 따라 적용받는 규제항목이 다르며, 대기오염방지법에 의한 규제항목은 먼지, SO₂, NO_x 3개 항목이고, 폐기물처리법에 의한 규제항목은 다이옥신과 HCl임
- 소각로의 경우 표준산소농도는 12%를 적용하고 있으나, 시멘트 소성시설의 경우에는 표준산소농도 10%를 적용하고 있음
 - 시멘트 소성로의 경우 먼지, SO₂, NO_x는 표준산소농도 10%로 적용받고, 다이옥신과 HCl은 표준산소농도12 %로 적용고 있음
- CO의 경우 소각시설에서는 100ppm으로 규제하고 있으나, 시멘트 소성로의 경우에는 예외규정을 적용하여 규제하지 않는 것을 법으로 고시하고 있음

<표Ⅲ.6-18> 일본의 소각로와 시멘트 소성로의 대기배출허용기준

	단위	소각로(12% O ₂)	시멘트 소성로(10% O ₂)
Total Dust	mg/Sm ³	40	100
CO	ppm	100	-
HCl	ppm	700	-
SO ₂	ppm	별도계산	별도계산
NO _x	ppm	450/700/250	350/250
Dioxins	ng/m ³	0.1	0.1

자료출처 : 일본 대기오염방지법, 2019

□ 유럽

- EU에서는 2000년 12월 28일 폐기물 소각에 대한 지침(2000/76/EC, the waste Incineration Directive)이 개정되어. 기존의 생활폐기물 소각시설(89/369/EEC)과 유해폐기물 소각시설(94/67/EC)에 관한 법령을 대체함
- WID 2000/76/EC [5]는 폐기물소각, 유해폐기물 소각, 의료폐기물 소각에 있어서 운전조건, 배출허용기준 설정, 모니터링을 위한 요구조건 등에 대해 기술하고 있으며, 운전조건에 대한 규정(WID 2000/76/EC, Article 6)에서는 연소온도, 연소시간, 에너지회수 등 많은 부분에 대하여 자세하게 기술적인 요구조건들을 명시하고 있음

<표Ⅲ.6-19> 유럽연합의 시멘트 소성로 배출허용기준 (WID 2000/76/EC)

	Annex II (10% O ₂)	Annex V (11% O ₂)	
	시멘트 소성로	소각시설, 유해폐기물을 40%이상 열원으로 이용하는 혼합소각시설	
	1일 평균치	1일 평균치	30분 평균치
Dust	30	10	30
SO ₂	60	60	200
NO _x	800(기존)3/500(신규)	4004)/2005	400
TOC	10	10	20
CO		50	100
Cd+Ti	0.05	0.05	
Hg	0.05	0.05	
Sb+As+Pb+Cr+Co +Cu+Mn+Ni+V	0.5	0.5	
HCl	10	10	60
HF	1	1	4
PCDD/Fs	0.1 ng/m ³	0.1 ng/m ³	

자료출처 : WID 2000/76/EC

IV 고려시멘트 제조사업장의 현황조사

1. 시멘트 원료 및 연료 사용현황
 2. 제조 공정별 대기오염물질 배출현황
 3. 주변지역에 미치는 영향조사
 4. 대기오염 현상과 환경요인
-

1

시멘트 원료 및 연료 사용현황

1.1 시멘트 제품 연간 생산량

- 클링커 생산량은 2017년(69.9만톤/년), 2018년(70.6만톤/년), 2019년(72.5만톤/년), 2020년(66.8만톤/년)으로 2017년 대비 변화가 없으며, 2020년에 4.4% 감소하였음
- 시멘트 제품(포틀랜드, 고로슬래그, 플라이애시)의 생산량은 2017년(171.3만톤/년), 2018년(178.8만톤/년), 2019년(172.0만톤/년), 2020년(169.0만톤/년)으로 2017년 대비 거의 변화가 없으며, 2020년에 약간 1.3% 감소하였음
- 시멘트 제품과 클링커 생산량의 배율은 2017년 2.45배, 2018년 2.53배, 2019년 2.37배, 2020년 2.53배로 나타남

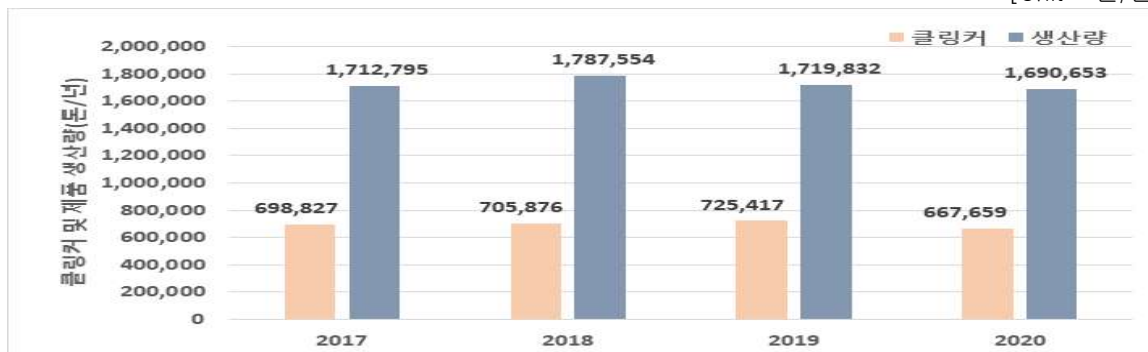
<표Ⅳ.1- 1> 시멘트 제품 및 클링커 생산량의 연도별 추이

[Unit : ton/yr]

구 분		2017	2018	2019	2020
시멘트 클링커		698,827	705,876	725,417	667,659
시멘트 제 품	포틀랜드시멘트	883,931	899,008	827,096	846,570
	고로슬래그시멘트	774,675	809,253	805,027	765,099
	플라이애시	54,189	79,293	87,709	78,984
	소 계	1,712,795	1,787,554	1,719,832	1,690,653

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

[Unit : 톤/년]



[그림Ⅳ.1- 1] 시멘트 제품과 클링커 생산량의 연도별 추이

1.2 시멘트 원료 사용량

1.2.1 석회광석 채광량

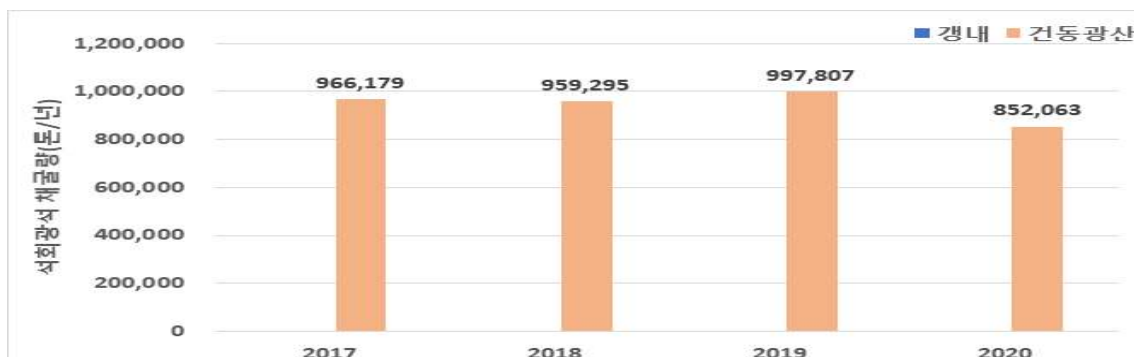
- 시멘트는 원료 중 약 90%가 석회석이며, 이를 소성, 분쇄하여 생산하기 때문에 원재료의 확보가 매우 중요함
- 고려시멘트는 전체 석회석 사용량의 93% 이상을 자체적으로 조달 가능하여 시멘트를 안정적으로 생산, 공급하고 있음
- 고려시멘트는 친환경 채광방식인 갭내채광법을 적용, 석회석 광산인 건동, 맥정광산을 개발 운영하고 있으며, 100년 이상 활용 가능한 가채 매장량 보유
- 건동광산과 맥정광산이 있으나, 건동광산의 갭내에서만 채굴하고 있음
- 2020년 기준 85만톤/년의 석회암을 채굴하고 있음
 - 2017년 96.6만톤/년, 2018년 95.9만톤/년, 2019년 99.8만톤/년으로 증가하다가 2020년에 감소

<표 IV.1- 2> 석회광석의 연간 채굴량

[Unit : ton/yr]

	2017	2018	2019	2020
합 계	966,179	959,295	997,807	852,063
맥정광산	0	0	0	0
건동광산	966,179	959,295	997,807	852,063

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 20121



[그림 IV.1- 2] 석회광석의 연간 채굴량 추이

1.2.2 폐자원 원료 반입량

- 시멘트 산업에서 대체원료로써 가장 많이 사용되는 것이 석탄재(Fly ash)가 일반적이거나, 고려시멘트의 경우 무기성 슬러지의 비중이 높음
 - 우리나라 시멘트산업에서 점토질 대체원료로 석탄재, 유기성 슬러지, 무기성 슬러지를 주로 사용하고 있으며, Al₂O₃의 대체 원료임
- 폐수처리오니는 유·무기성이 거의 같은 비율로 재사용 되고 있으며, 하수처리오니는 유기성의 비율이 높게 발생 되고 있음
 - 공정오니는 철강 산업 등의 산 세척폐수에 기인하여 발생하는 것으로 무기성이, 정수처리오니는 유기성이 높은 것으로 나타나고 있으며, 이들 오니를 처리하여 시멘트산업에서 원료 대체로 이용하고 있음

<표Ⅳ.1- 3> 시멘트 사업장에서 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량

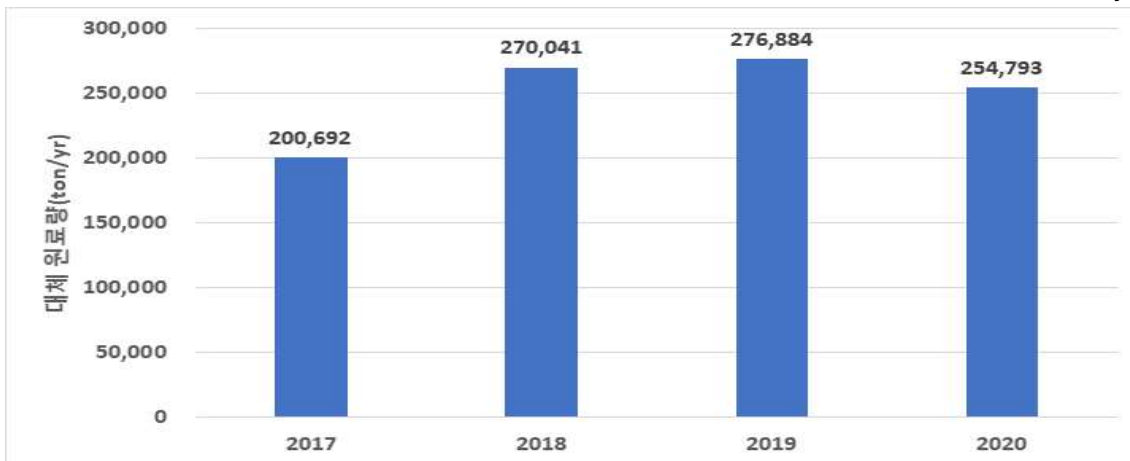
[Unit : ton/yr]

폐기물 종류		반입량			
대분류	세분류	2017	2018	2019	2020
유기성 오니류	하수처리오니(고상)	16,475.7	16,389.7	17,973.1	17,819.1
	그 밖의 폐수처리오니(고상)	-	5,188.3	4,445.7	-
	그 밖의 유기성오니(고상)	497.5	4,529.3	2,904.5	3,053.7
	소 계	16,973.2	26,107.3	25,323.3	20,872.8
무기성 오니	폐수처리오니(고상)	87,726.0	87,726.0	106,088.5	110,250.1
	그 밖의 공정오니(고상)	-	26,787.5	32,361.7	15,534.8
	소 계	87,726.0	114,513.5	138,450.2	125,784.9
분진류	그 밖의 분진(고상)	-	139.1	267.1	375.1
폐주물사	화학점결폐주물사(고상)	4,584.0	-	892.6	142.6
연소 잔재물	석탄재(고상)	91,337.2	129,280.8	111,839.2	104,841.8
광재류	광재류	71.1	-	112.0	-
식물성 잔재물	폐패각(고상)	-	-	-	2,775.9
합 계		200,691.5	270,040.7	276,884.4	254,793.1

자료출처 : 고려시멘트 홈페이지(www.koreacement.co.kr)

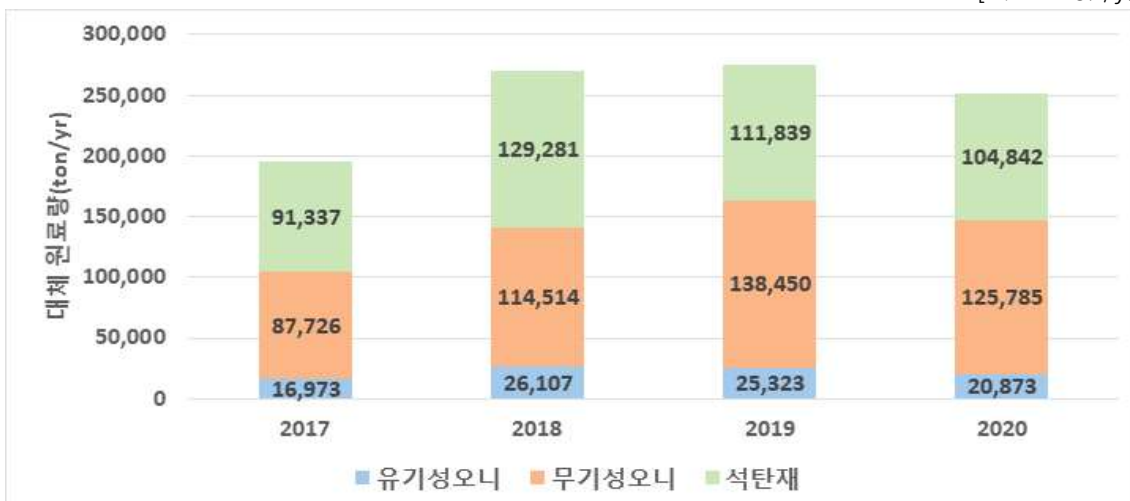
- 화학점결폐주물사(고상)는 고사에 함유된 철분을 제거하고, 시멘트 공장의 시멘트 원료로 공급되며 또한 주물사 분진도 시멘트 원료로 공급하고 있음
 - 분진/슬러지는 전처리 또는 가공을 통해 제철공정 내에서 원료로 재사용하거나 시멘트 제조용 철강원료 등으로 재활용되고 있음
- 고려시멘트의 연간 폐자원의 반입량은 2017년 200,692톤/년, 2019년 276,884톤으로 증가하다가 2020년에 약간 감소하여 254,793톤으로 조사됨
- 2020년 기준 폐자원의 반입량의 비율은 무기성오니류가 49.4%로 가장 많고, 다음으로 석탄재 41.1%, 유기성오니류 8.2%으로 대부분(98.7%)을 차지하고 있음

[Unit : ton/yr]



[그림 IV.1- 3] 고려시멘트의 연간 폐자원 반입량

[Unit : ton/yr]



[그림 IV.1- 4] 고려시멘트의 주요 폐자원의 연간 반입량

1.3 연료 사용량

1.3.1 유연탄 사용량

○ 유연탄의 연도별 사용량은 증가하다가 감소하는 추세이며, 2018년 9.8만톤/년으로 가장 많고, 2020년에 8.4만톤/년으로 가장 적게 사용함

- 2020년 기준 클링커 66.8만톤/년, 시멘트 169.1만톤/년을 생산하고 있음
- 고려시멘트의 시멘트 1톤당 유연탄 사용량은 0.13~0.14ton/kg이며, 우리나라는 평균 0.12ton/kg임
- 우리나라의 폐자원의 연료로서의 활용은 23.0% 수준임

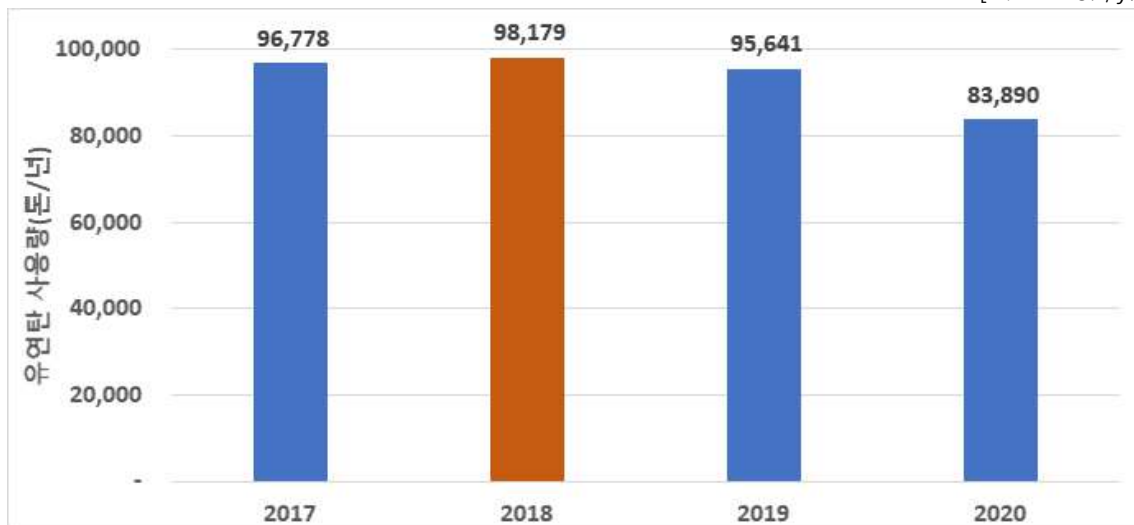
<표Ⅳ.1- 4> 유연탄의 연간 사용량 및 재활용량

[Unit : ton/yr]

		2017	2018	2019	2020
유연탄 연간 사용량		96,778	98,179	95,641	83,889
석탄재	발생량(톤/년)	-	-	-	-
	처리방법	제품화	제품화	제품화	제품화

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

[Unit : ton/yr]



[그림Ⅳ.1- 5] 연도별 유연탄 사용량

1.3.2 폐자원 연료 반입량

- 고려시멘트에서 대체연료 사용되는 폐자원의 종류 및 연간 반입량을 나타낸 것이며, 2017년 3,814.5톤에서 2020년 4,349.3톤으로 14.0% 증가하였음
- 폐타이어 사용량이 감소하는 반면, 폐합성수지류의 폐자원이 증가하여 2020년에 54.2%로 나타남
 - 폐타이어의 발열량은 9,448kcal/kg, 폐합성수지류는 6,782kcal/kg 이상으로 조사됨

<표 IV.1- 5> 고려시멘트에서 연료로 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량

[Unit : ton/yr]

폐자원 종류		반입량			
사용용도 대분류	세분류	2017	2018	2019	2020
폐타이어	자동차 폐타이어(고상)	3,684.0	3,863.3	2,279.4	1,990.4
폐합성수지류	폐합성수지류	130.5	124.7	1,431.1	2,358.9
합 계		3,814.5	3,988.0	3,710.5	4,349.3

자료출처 : 고려시멘트 홈페이지(www.koreacement.co.kr)

[Unit : ton/yr]



[그림 IV.1- 6] 고려시멘트에서 연료로 사용되는 폐자원 종류 및 연간 반입량

1.3.3 소각재의 연간 발생량

○ 유연탄, 폐수오니, 페타이어 및 합성수지의 소각에 의해 발생하는 바닥재의 발생량은 2017년 9.1만톤/년, 2018년 12.9만톤/년, 2019년 11.2만톤/년, 그리고 2020년에 10.3만톤/년 증가하였음

- 일반 소각시설 바닥재의 강열감량은 10% 이하, 고온 소각시설은 5% 이하가 될 수 있는 소각 성능을 갖추어야 함
- 바닥재의 증가 비율은 2017년 대비 2018년은 41.5%, 2019년 22.4%, 2020년 13.2% 증가하였음

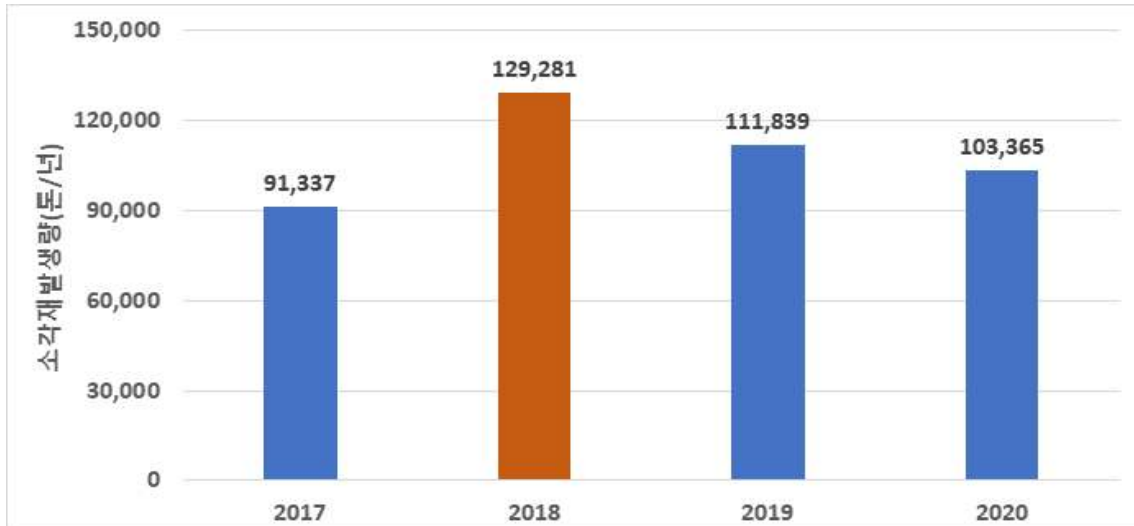
<표IV.1- 6> 바닥재의 연간 발생량 및 처리방법

[Unit : ton/yr]

구 분		2017	2018	2019	2020
소각재	발생량(톤/년)	91,337	129,281	111,839	103,365
	처리방법	재활용	재활용	재활용	재활용

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

[Unit : 톤/년]



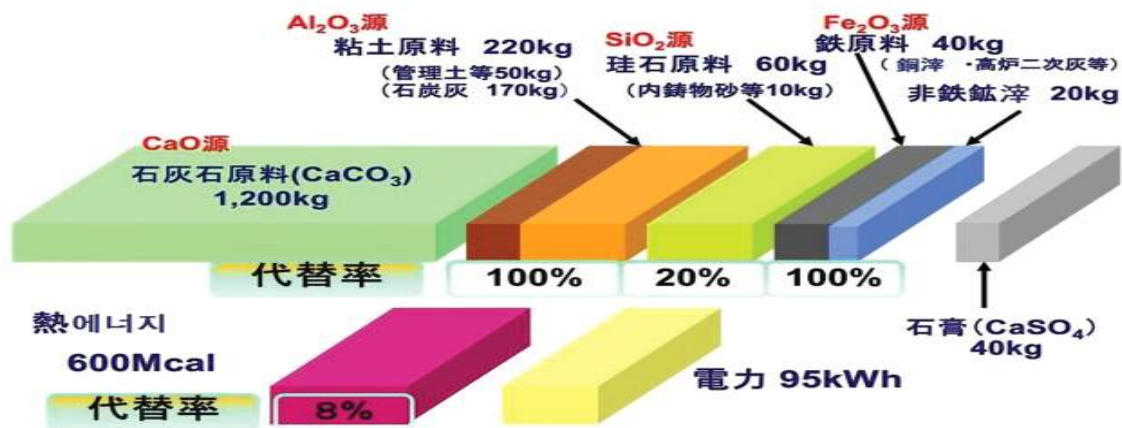
[그림 IV.1- 7] 소각재의 연간 발생량 추이

1.4 시멘트 부원료 및 부연료 추정

1.4.1 개요

□ 시멘트 물질량 산정방법

- 시멘트 1톤 제조에 필요한 원료 및 에너지 원단위를 도시한 것이며, 시멘트는 주원료인 석회석과 부원료인 점토와 규석, 철광석 등을 일정하게 혼합하여 1,450℃ 이상의 높은 온도로 구워서 만든 제품임
- 시멘트 반제품(클링커) 1,000kg 생산시 원료 1,580kg과 연료 120kg이 필요함
- 시멘트 제조 프로세스에서 순환자원 이용이라는 것은 부원료(380kg/톤)와 열에너지(석탄 120kg/톤)를 폐자원과 부산물로 대체하는 것임



자료출처 : 시멘트의 상식(일본시멘트협회)

[그림 IV.1- 8] 시멘트 1톤 제조에 필요한 원료 및 에너지 원단위

<표 IV.1- 7> 시멘트 1톤을 제조하는데 필요한 원료, 연료량

[Unit : kg, kWh]

물질명	사용량	물질명	사용량
석회석(CaCO ₃)	1,200	석고(CaSO ₄)	40
점토(Al ₂ O ₃)	220	석탄	120
규석(SiO ₃)	60	기타	20
산화철(Fe ₂ O ₃)	40	전력	95

자료출처 : 시멘트의 상식(일본시멘트협회)

□ 시멘트 1톤당 원료 및 연료 사용량

○ 이론적인 종합 원료량

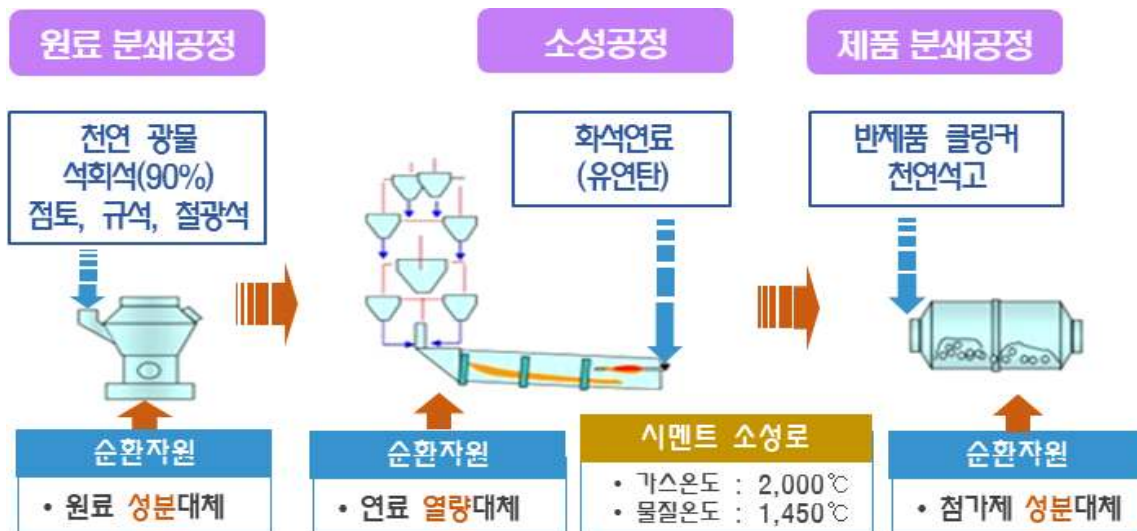
- 이론적인 총원료량 = 시멘트 총생산량(클링커) × 1.58
- 이론적인 부원료량 = 이론적 총원료량 × 0.38

○ 이론적인 종합 연료 사용량

- 연료사용량 = 시멘트 생산량(톤) × 0.12(톤)

□ 시멘트 1톤당 폐기물 이용량 = 폐기물 이용량(kg)/시멘트 제조 톤

- ⊙ 원료 대체율 = 원료 대체량 / 1.58 × 시멘트 제조 톤 × 0.38 × 100
- ⊙ 연료 대체율 = 연료 대체량 / 0.120 × 시멘트 제조 톤 × 100
- 원료 대체율과 연료 대체율은 계산방식에 따라 달리 표현할 수 있음



자료출처 : 시멘트의 상식(일본시멘트협회)

[그림 IV.1- 9] 폐자원의 공정별 사용 프로세스

1.4.2 국내 시멘트 제조공정과 폐자원 이용

□ 원료 대체율을 고려한 폐자원 사용량

- 시멘트 톤당 폐자원 이용량 = 폐자원 재활용량(kg) / 시멘트제조 톤
- 순환자원 재활용량 = 폐자원 + 부산물(고로슬래그)

<표Ⅳ.1- 8> 국내 시멘트 1톤당 폐자원 사용량

[Unit : ton/yr]

연도	시멘트 생산량(천톤)	순환자원 재활용량(천톤)	원단위(kg)
2017	48,657	6,997	144
2018	45,351	7,435	164
2019	45,932	8,093	176
2020	41,894	8,079	193

자료출처 : 한국시멘트협회, <http://www.cement.or.kr>

<표Ⅳ.1- 9> 국내 시멘트산업의 폐자원 사용량

[Unit : 천톤]

구분	종류	2017	2018	2019	2020	
원료	점토질	석탄재	2,804	3,150	3,179	2,792
		유기	328	435	727	883
		무기	1,755	1,616	1,588	1,744
		기타(광미 등)	190	308	591	330
	규산질	폐주물사	654	563	606	610
	소 계	5,731	6,072	6,691	6,359	
연료	페타이어	263	286	275	186	
	폐합성수지	858	915	1,016	1,407	
	폐고무류	115	70	76	88	
	폐목재 등	30	92	35	40	
	소 계	1,266	1,363	1,402	1,720	
합 계		6,997	7,435	8,093	8,079	

자료출처 : 한국시멘트협회 자원순환센터, <http://recycling.cement.or.k>

○ 이론적인 종합 원료량(2020)

- 원료 대체량 = 폐자원 재활용 - 연료 재활용량
 $8,079,000 - 1,720,000 = 6,359,000(\text{톤})$
- 이론적인 총원료량 = 시멘트 총생산량 \times 1.58
 $41,894,000 \times 1.58 = 66,192,520(\text{톤})$
- 이론적인 부원료량 = 이론적 총원료량 \times 0.38
 $66,192,520 \times 0.38 = 25,153,158(\text{톤})$

⊙ 이론적인 원료 대체율 =

원료대체량(폐자원 사용량 - 연료 재활용량) / 이론적인 부원료량

- $6,359,000 \div 25,153,158 \times 100 = 25.3\%$

○ 자원순환센터의 원료 대체율 산출법(2020)

- 이론적인 종합 원료량 = 시멘트 총생산량 \times 1.58
 $41,894,000 \times 1.58 = 66,192,520(\text{톤})$

⊙ 자원순환센터 원료 대체율 =

원료대체량(폐자원 사용량 - 연료 재활용량) / 이론적인 부원료량 \times 100

- $8,079,000 \div 25,153,158 \times 100 = 25.3\%$

연료 대체율을 고려한 폐자원 사용량

○ 이론적인 종합 연료 사용량(2020)

- 연료 총 사용량 = 시멘트 생산량(톤) \times 0.12(톤)
 $41,894,000 \times 0.12 = 5,027,280(\text{톤})$

⊙ 연료 대체율 = 사용한 연료량 / 석탄 소요량 \times 100

⊙ 연료 대체율 = 연료 대체량 / 0.12 \times 시멘트 제조 톤 \times 100

<표IV.1-10> 연료 대체율 산정방법

[Unit : ton/yr, %]

	시멘트 생산량	이론적 연료량	실제 사용한 대체 연료량	연료 대체율
국내	41,894,000	5,027,280	1,126,111	22.4

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 20121

1.4.3 고려시멘트 제조공정과 폐자원 이용

□ 고려 시멘트 제조공정과 폐자원 이용

- 시멘트 톤당 폐자원 이용량 = 폐자원 재활용량(kg) / 시멘트제조 톤
- 순환자원 재활용량 = 폐자원 + 부산물(고로슬래그)

<표Ⅳ.1-11> 고려시멘트 1톤당 폐자원 이용량

[Unit : ton/yr]

연도	시멘트 생산량	순환자원 재활용량	원단위(kg)
2017	698,827	204,506	293
2018	705,876	274,029	388
2019	725,417	280,595	387
2020	667,659	259,142	388

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

<표Ⅳ.1-12> 고려시멘트 폐자원 연도별 반입량

[Unit : ton/yr]

구 분	폐자원 종류		반입량				
			2017	2018	2019	2020	
원료 재활용	점토질	석탄재	91,337	129,281	111,839	104,842	
		슬러지	유기	16,973	26,107	25,323	20,873
			무기	87,726	114,514	138,450	125,785
			기타(폐패각)	71	-	112	2,776
	규산질	폐주물사	4,584	139	1,160	518	
	소 계		200,691	270,041	276,884	254,794	
연료 재활용	폐합성수지		131	125	1,431	2,359	
	페타이어		3,684	3,863	2,279	1,990	
	소 계		3,815	3,988	3,710	4,349	
합 계			204,506	274,029	280,594	259,143	

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

□ 원료 대체율을 고려한 폐자원(원료) 사용량

○ 이론적인 총 원료량(2020)

- 원료 대체량 = 폐자원 재활용 - 연료 재활용량
 $259,143 - 4,349 = 254,794(\text{톤})$
- 이론적인 총 원료량 = 시멘트 총생산량 \times 1.58
 $667,659 \times 1.58 = 1,054,901(\text{톤})$
- 이론적인 부원료량 = 이론적 총 원료량 \times 0.38
 $1,054,901 \times 0.38 = 400,862(\text{톤})$
- 이론적인 원료 상환 대체량에 대한 원료 대체량
 원료 대체량 / 이론적인 부원료량

⊙ 이론적인 원료 대체율 =

$$\text{원료 대체율} = \frac{\text{원료 대체량(폐자원 재활용 - 연료 재활용량)}}{\text{이론적인 부원료량}}$$

- $254,794 \div 400,862 \times 100 = 81.0\%$

□ 연료 대체율을 고려한 폐자원(연료) 사용량

○ 이론적인 종합 연료 사용량(2020)

- 연료 사용량 = 시멘트 생산량(톤) \times 0.12(톤)
 $667,659 \times 0.12 = 80,119(\text{톤})$

⊙ 연료 대체율 = 사용한 연료량 / 석탄 소요량 \times 100

⊙ 연료 대체율 = 연료 대체량 / 0.12 \times 시멘트 제조 톤 \times 100

<표 IV.1-13> 년도별 연료 대체율

[Unit : ton/yr, %]

	시멘트 생산량	이론적 연료량	실제 사용한 대체 연료량	연료 대체율 (%)
국내 전체(2015)	41,804,056	5,016,487	1,031,000	22.4
고려시멘트	667,659	80,119	4,349	5.43

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 20121

□ 바닥재를 고려한 폐자원 연료 반입량 추정

- 소성로의 바닥재(유연탄 + 페타이어 + 폐합성수지)에 의해 사용되는 폐자원의 연간 사용량을 추정하였음
 - 유연탄 바닥재의 중량을 연소 전·후 동일하게 가정하였음
 - 유연탄 소각재를 포함한 전체 소각재 발생량에서 유연탄 사용량을 제외한 발생량을 폐자원의 바닥재로 가정
 - 페타이어와 폐합성수지의 소각시설 개별기준의 강열감량이 10% 이하
- 페타이어와 폐합성수지의 바닥재 중량은 2018년도에 31,102톤에서 2020년 19,476톤으로 37.4% 감소하였으며, 바닥재 중량으로 페타이어 및 폐합성수지 사용량은 311,020톤과 194,760톤으로 추정됨
 - 고려시멘트의 2020년 페타이어 및 폐합성수지의 반입량이 6,508톤으로 바닥재 중량으로 추정한 반입량과의 차이가 매우 크며, 이에 대한 자료 보완 및 검토가 필요함

<표Ⅳ.1-14> 바닥재의 연간 발생량 및 폐자원 반입량 추정

[Unit : ton/yr]

	2017	2018	2019	2020
유연탄 사용량	96,778	98,179	95,641	83,889
소각재의 전체 발생량(톤/년)	91,337	129,281	111,839	103,365
페타이어와 폐합성수지의 바닥재 발생량	-	31,102	16,198	19,476
페타이어와 폐합성수지의 반입 추정량	-	311,020	161,980	194,760

자료출처 : 고려시멘트 사내 자료, 2021

□ 고려시멘트의 총 폐자원 반입량 추정

<표Ⅳ.1-15> 고려시멘트의 부산물 반입량 추이

[Unit : ton/yr]

구 분		2017	2018	2019	2020
시멘트 제품		1,712,795	1,787,554	1,719,832	1,690,653
시멘트 원료량	시멘트 클링커	698,827	705,876	725,417	667,659
	바닥재 발생량	91,337	129,281	111,839	103,365
	원료 재활용	204,506	274,029	280,594	259,143
	소 계	994,670	1,109,186	1,117,850	1,030,167
부산물량		718,125	678,368	601,982	660,486

<표Ⅳ.1-16> 폐자원의 대체연료 적용에 따른 예상 문제점

검토항목	예상 문제점
킬른 공정에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> 순환자원 내에 C, 알카리 등 순환물질이 많을 경우, 킬른내부의 순환물질 함량 증가로 예열실 적분 및 코팅형성 가연성 순환자원이 적정량 이상 투입되거나, 부적정 위치에 투입될 경우, 킬른 후단부의 온도 상승 및 CO₂ 발생 등으로 킬른 운전성 저해
클링커 품질에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> 순환자원 자체의 연소성 저하, 불균질 및 정량투입이 불가능할 경우 킬른의 불안정성 유발 대체연료의 연소특성이 불량할 경우, 환원 분위기 형성으로 품질에 악영향을 미침 연소성이 상이한 폐기물 연소시 킬른내 전열형태 변화로 클링커링 반응을 저해시킬 수 있음 대체연료 내에 중금속, 알카리 등 클링커링 반응 및 수화반응 저해물질이 존재할 경우 시멘트 품질이 저하됨
유해성 문제	<ul style="list-style-type: none"> 분해에 필요한 연소조건을 만족하지 못하거나, 부적정 위치로 가연성 폐기물을 투입할 경우 유해물질이 분해되지 않고 대기로 배출됨 폐기물 중 중금속이 많을 경우, 클링커 중 함량증가 및 경화체에서 일부 용출될 가능성이 있음.

자료출처 : Hong, C.S. (1999). New energy and environmental strategy in cement industry, The Korean Ceramic Society, 2(2), 29-35 [in Korean].

2.1 미세먼지 및 대기오염물질 배출량

□ 개요

○ 시멘트 제조 프로세스를 4개 공정(배출시설)로 구분함

- 각 공정의 대기오염물질은 국가미세먼지정보센터의 사업장별 대기오염물질(SEMS)의 최근 4년간(2016~2019) 자료를 참고하여 기술하였음
- 공정별, 측정방법별, 오염물질별로 산정하였으며, 미세먼지는 감소, 질소산화물, 일산화탄소, 탄화수소는 증가하는 추세를 보이고 있음

<표Ⅳ.2- 1> 시멘트 제조공정별 대기오염물질 배출량

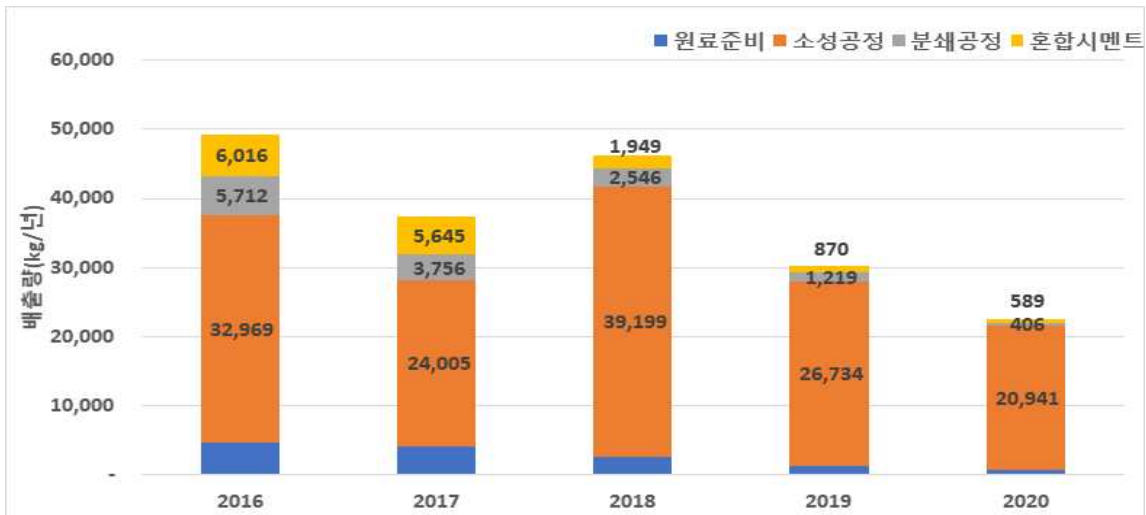
[Unit : kg/yr]

공정	측정방법	오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
원료준비	대행의뢰	미세먼지	4,606.8	4,068.1	2,595.8	1,316.3	612.7
소성공정	TMS(공단)		32,969.1	24,004.9	39,199.2	26,734.4	20,941.1
분쇄공정	대행의뢰		5,712.1	3,755.6	2,546.2	1,219.0	406.3
혼합시멘트	대행의뢰		6,016.3	5,644.8	1,949.3	870.4	588.6
소계			49,304.3	37,473.4	46,290.5	30,140.1	22,548.7
소성공정	대행의뢰	카드뮴화합물	160.7	0.0	0.0	0.3	0.0
		납화합물	26.7	72.3	26.8	0.0	5.9
		크롬화합물	15,106.4	5.7	0.5	1.6	11.8
		염화수소	3,101.3	7,050.2	1,011.0	2,434.0	566.3
		황화수소	1,196.6	910.6	127.8	9.8	89.4
		시아나화수소	499	42.2	1,078.50	274.3	955.3
		황산화물	1,339.4	4,534.7	1,550.9	219.3	0.0
		일산화탄소	56,996.8	22,237.0	18,583.8	23,951.7	8,959,753.5
		탄화수소	0.0	0.0	2,825.6	0.0	20,344.6
	암모니아	896.6	1,828.8	2,239.2	2,180.1	6,845.8	
TMS(공단)	질소산화물	692,452.3	398,318.4	780,136.8	1,222,787.5	815,077.0	

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)

○ 미세먼지(PM_{2.5})

- 고려시멘트에서 배출되는 미세먼지의 최근 5년간의 연도별 변화 추이를 나타낸 것이며, 2016년도에 49,3045.kg/년으로 가장 많이 배출되고 감소하는 경향을 보임
- 2016년 대비 2020년도에 54.3% 감소하여 22,549kg/년을 배출하고 있음
- 원료 준비, 분쇄공정, 혼합시멘트 공정은 대행하여 측정하고 있으며, 소성공정은 TMS에 의해 환경공단에서 관리하고 있음



자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS), 고려시멘트 사내자료, 2021

[그림 IV.2- 1] 공정별, 연도별 미세먼지 배출량 추이



<2016년>

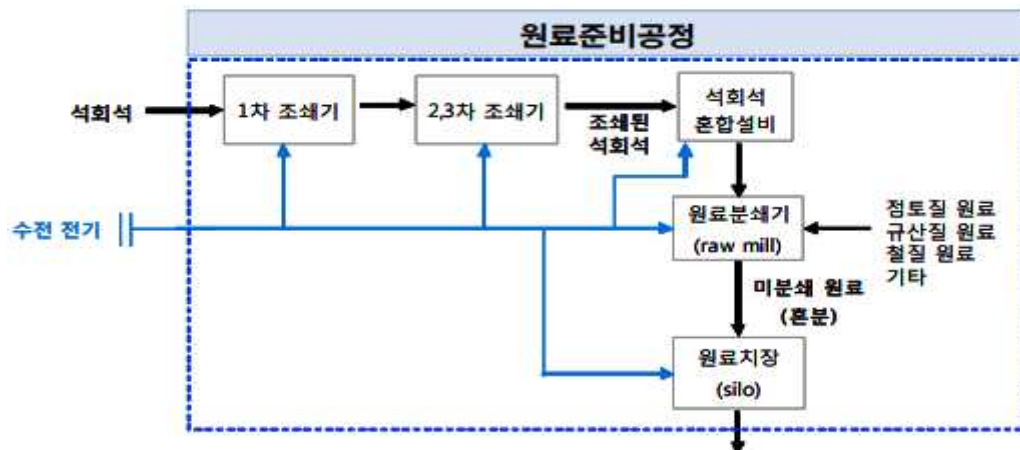
<2020년>

[그림 IV.2- 2] 공정별 미세먼지 배출비율(%)

2.1.1 원료준비

□ 물질 흐름

- 석회 광산에서 채굴한 석회석을 1차, 2차, 3차 조쇄과정을 거쳐 일정 크기로 파쇄한 후에 이를 균질한 조성을 갖도록 혼합하고, 혼합된 석회석과 점토질, 철질 등의 부원료를 정량공급장치를 통해 정확하게 배합하여 원료분쇄기에 투입, 88 μ m 이하로 미분쇄하여 원료 사일로(silo)에 저장하는 공정까지 포함함
 - 주원료:부원료인 석회석에 점토질과 철질 부원료를 보충해야 하는데, 점토질은 실리카와 알루미나를 보충하기 위한 것이며 주로 규석, 납석, 경석 등이 사용되고, 철질은 철광석을 사용함. 현재는 천연자원보다는 친환경 리사이클링 원료를 대체하여 사용하는 경우가 많음
- 원료 준비공정의 설비로는 조쇄기(1차, 2차, 3차), 석회석혼합설비, 원료·부원료 공급설비, 원료분쇄기, 원료 이송을 위한 컨베이어 벨트, 미분쇄 조합원료 저장 silo 등이 있으며, 이외에 집진설비가 가동되고 있음
 - 집진기는 각 원료분쇄기 후단에서 분쇄된 혼합원료(raw mill) 먼지를 포집하여 사일로로 이송·저장함



자료출처 : 환경부, 시멘트 사업장의 비산먼지 관리요령, 2009

[그림 IV.2- 3] 원료 준비공정

□ 대기오염물질 배출량

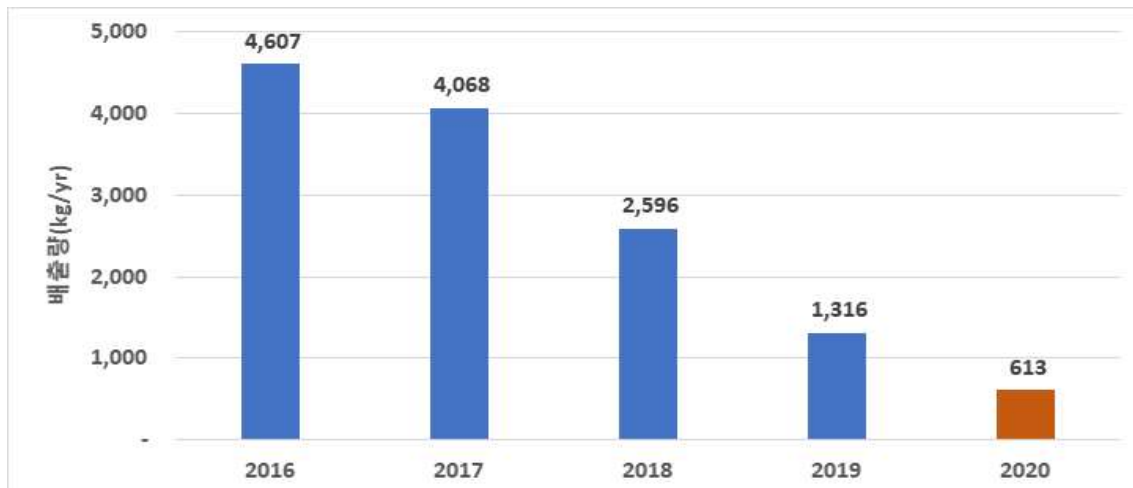
- 연도별 배출량은 급격하게 감소 추세이며, 2016년 대비 2020년은 86.7% 감소
 - 2020년 기준 원료혼합저장시설 31.6%, 석탄분쇄시설 21.6%, 원료분쇄시설 19.5%, 원료저장시설 17.5%로 이들 시설에서 90.2%를 차지하고 있음
 - 원료저장시설, 석탄분쇄시설에서 주로 배출되기 때문에 감소된 원인도 두 장치에서 기인하며, 저감시설 개선 등 저감원인 자료 확인 및 검토 필요

<표Ⅳ.2- 2> 원료준비 공정의 미세먼지 배출량

[Unit : kg/yr]

배출구 유형	측정방법	오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
합 계			4,606.8	4,068.1	2,595.8	1,316.3	612.7
원료분쇄시설	대행의뢰	먼지	330.1	186.6	158.1	60.9	119.2
원료혼합저장시설			537.6	469.8	1,103.6	334.1	193.4
원료저장시설			1,394.0	1,173.3	563.5	418.6	107.3
석탄분쇄시설			1,189.0	1,411.5	437.3	326.0	132.6
원료ASH저장시설			421.5	224.8	72.9	28.8	19.1
석회석분쇄시설			514.9	411.7	174.7	85.8	29.6
석회석저장시설			219.7	190.4	85.7	62.1	11.5

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)



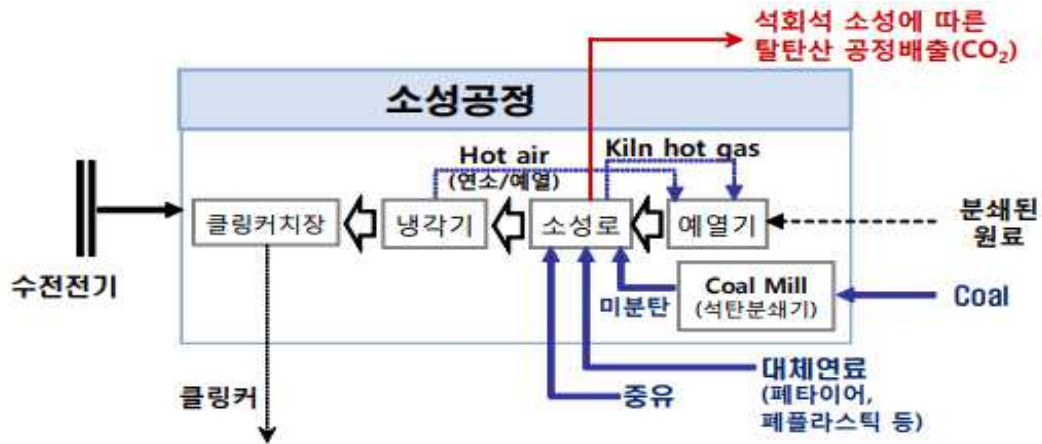
자료출처 :

[그림Ⅳ.2- 4] 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량 추이(kg/yr)

2.1.2 소성공정

□ 물질 흐름

- 미분쇄 조합원료를 예열하여 하소 및 소성과정을 거쳐 클링커를 생산하고, 이를 냉각시켜 사이로에 저장하는 공정까지를 포함함
- 조합원료를 소성로에 투입하기 전에 예열하는 과정은 안정적인 품질과 열효율을 기하기 위하여 필수적인 단계임
- 소성은 로터리 킬른(Rotary Kiln)에서 이루어지는데, 유연탄을 분쇄한 미분탄으로 2,000℃ 이상 가열하면 조합원료가 1,400℃ 이상 온도에서 소성되어 새로운 광물로 전환되는데, 이것이 시멘트의 수경성을 구현하는 핵심 물질인 클링커임
- 로터리 킬른에 연료로 사용되는 유연탄은 소성공정에서 열교환이 용이하도록 Coal mill (유연탄 분쇄기)에서 90 μ m 이하로 미분말화 시켜서 공기 압송형태로 버너에 투입함
 - 유연탄은 중국, 러시아, 호주 등 해외에서 수입하며, 안정된 소성을 위해 항구에서 철도로 사업장 내로 반입된 유연탄을 대형 치장에서 균질하게 혼합 적치한 후 필요할 때 마다 적정량을 인출하여 사용함
- 로터리 킬른에서 고온 소성을 거친 클링커는 온도가 1200℃ 이상에 이르는데 이것을 클링커 냉각기에서 대기 공기를 이용해 100℃ 정도까지 급냉 시키며, 이 과정에서 열교환 된 공기는 하소기 및 소성로(로터리 킬른)의 연소용 공기로 재공급되어 에너지 효율을 극대화시킴
 - 클링커의 냉각 속도에 따라 클링커 물성이 영향을 받으므로, 냉각 과정은 품질을 결정하는 중요한 공정과정임
- 주요 설비로는 유연탄 분쇄기(coal mill), 예열기(소성로 배가스 폐열활용), 소성로(유연탄, 중유 등 액체연료, 대체연료 사용), 클링커 냉각장치, 클링커 저장설비, 원료/반제품 이송을 위한 컨베이어 벨트 등이 있음

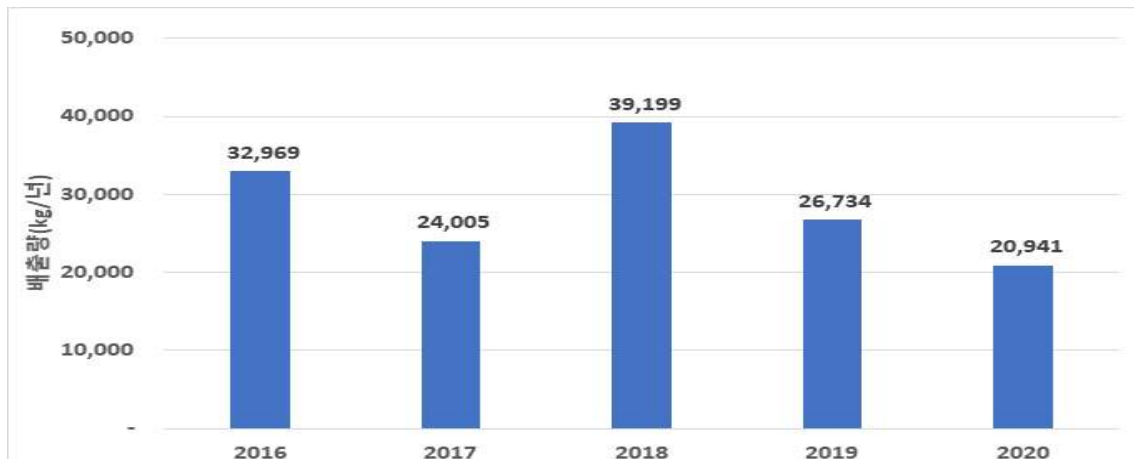


자료출처 : 환경부, 시멘트 사업장의 비산먼지 관리요령, 2009

[그림 IV.2- 5] 시멘트 소성공정

□ 대기오염물질 배출량

- 소성공정에서 배출된 대기오염물질별 배출량을 나타낸 것이며, 중금속류와 일반대기오염물질로 미세먼지, 질소산화물, 황산화물, 암모니아 등이 주로 배출되고 있음
- 미세먼지(PM_{2.5})
 - 미세먼지의 연도별 변화 추이를 나타낸 것이며, 2018년도에 39,199kg/년 최고 배출량, 2020년에 감소하여 20,941kg/년을 배출하였음
 - 연간 배출량이 0.2ton 이상으로 1종 사업장으로 TMS에 의해 관리되고 있음



[그림 IV.2- 6] 소성공정의 미세먼지 배출량 추이(TMS, kg/yr)

<표Ⅳ.2- 3> 소성공정의 대기오염물질 배출량

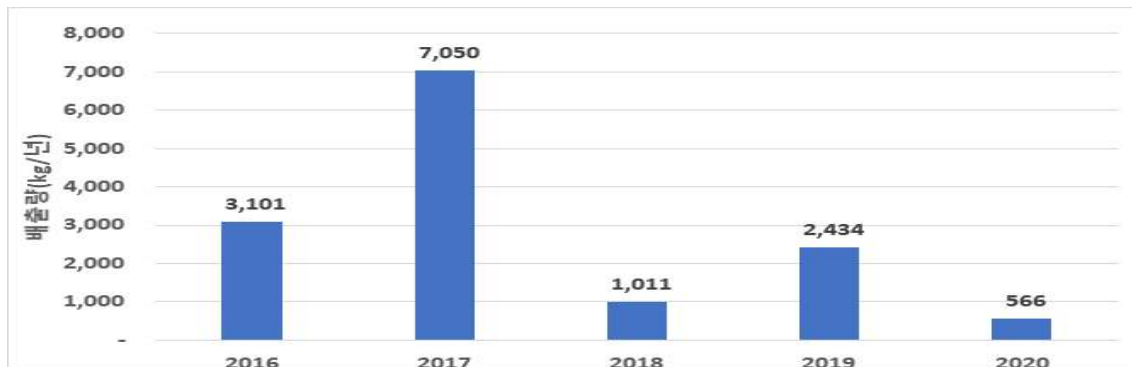
[Unit : kg/yr]

배출구 유형	측정방법	오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
TMS 부착 배출구	대행의뢰	카드뮴화합물	160.7	0.0	0.0	0.3	0.0
		시안화수소	499	42.2	1,078.50	274.3	955.3
		납화합물	26.7	72.3	26.8	0.0	5.9
		크롬화합물	15,106.4	5.7	0.5	1.6	11.8
		비소화합물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		수은화합물	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0
		불소화합물	1,787.8	138.1	160.6	90.3	679.1
		니켈 및 그 화합물	0.0	8.5	0.0	0.2	5.6
		포름알데히드	235.7	37.3	44.2	74.6	5.0
		황화수소	1,196.6	910.6	127.8	9.8	89.4
		일산화탄소	56,996.8	22,237.0	18,583.8	23,951.7	8,959,753.5
		염화수소	3,101.3	7,050.2	1,011.0	2,434.0	566.3
		황산화물	1,339.4	4,534.7	1,550.9	219.3	0
		탄화수소(THC)	0.0	0.0	2,825.6	0.0	20,344.6
		암모니아	896.6	1,828.8	2,239.2	2,180.1	6,845.8
	TMS(공단)	먼지	32,969.1	34,471.0	39,199.2	26,734.4	21,941.1
		질소산화물	692,452.3	619,758.0	780,136.8	1,222,787.5	815,077.0

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)

○ 염화수소(HCl)

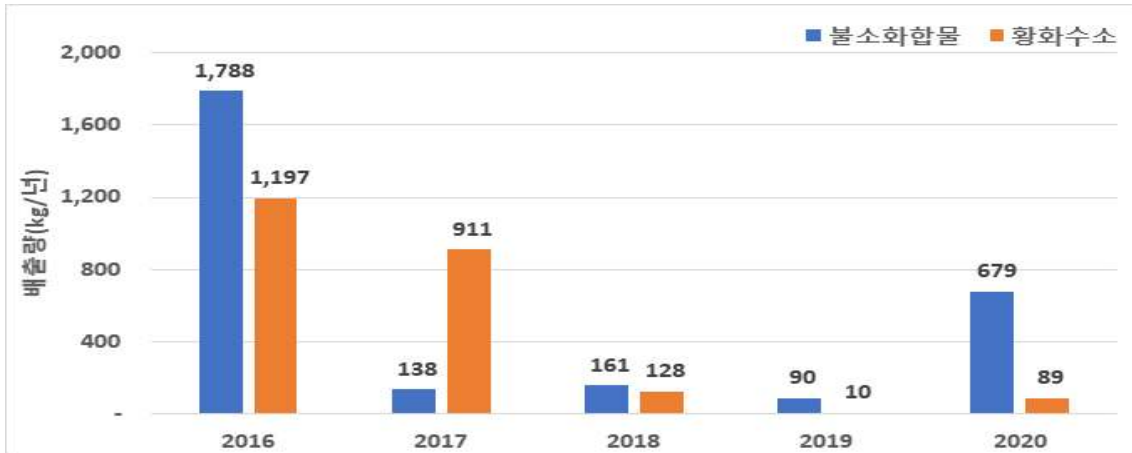
- 페타이어 및 PVC 조각에 의해 배출되는 HCl 농도의 연도별 변화 추이를 나타낸 것이며, 2017년도에 7,050kg으로 가장 많이 배출되었으며, 대폭 감소하다 다시 대폭 증가하면서 다시 감소하는 추세이며 2020년도에는 566kg/년으로 나타남



[그림Ⅳ.2- 7] 소성공정의 염화수소(HCl) 배출량 추이(kg/yr)

○ 불화수소(HF) 및 황화수소(H₂S)

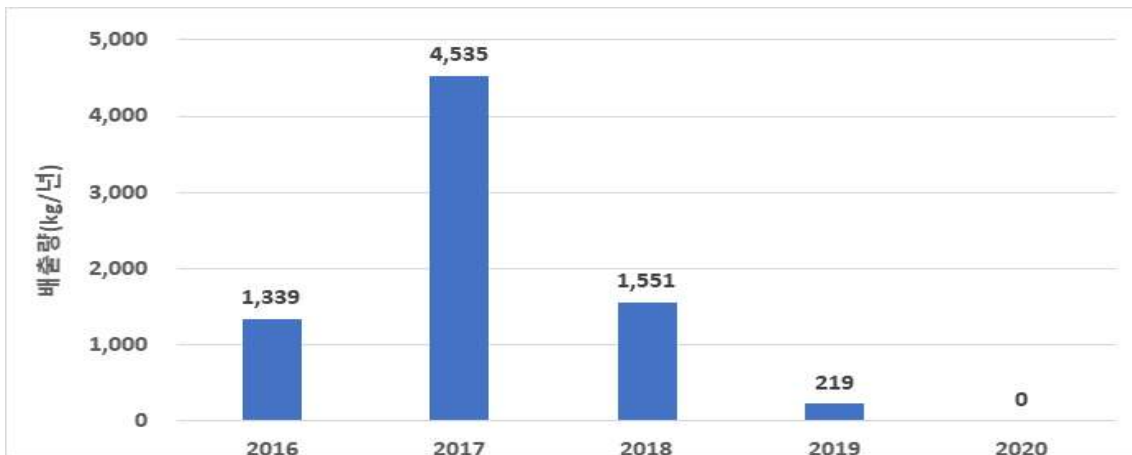
- 시멘트 소성로에서 배출되는 HF와 H₂S는 2016년에 가장 많이 배출되고, 감소하다가 2020년에 다시 증가하고 있음
- 2016년 대비 2020년의 HF화합물과 H₂S는 2016년에 62.0%와 92.5% 각각 감소하였음



[그림 IV.2- 8] 불화수소와 황화수소의 배출량 추이(kg/yr)

○ 황산화물(SO_x)

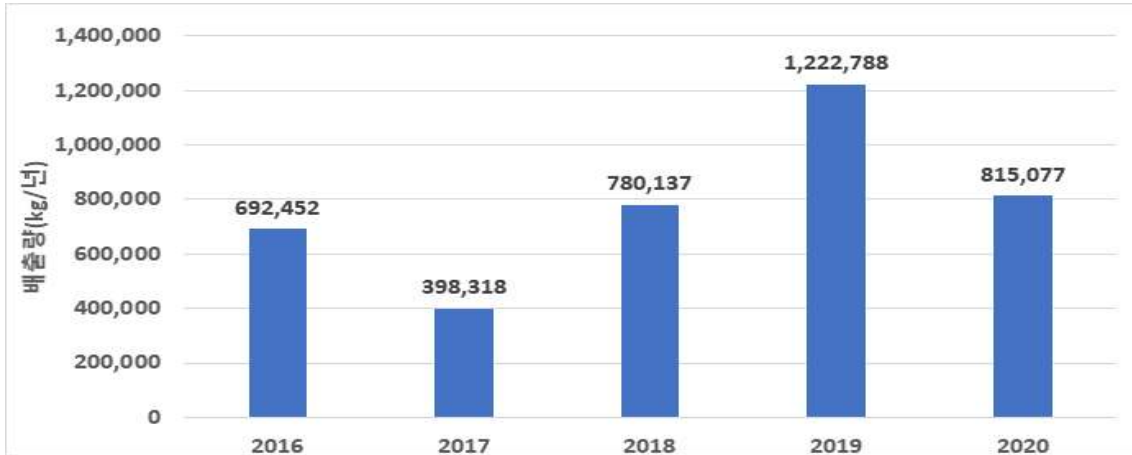
- 유연탄과 폐합성 수지, 폐타이어 소각에 의해 배출되는 SO_x의 연도별 변화 추이를 나타낸 것이며, 2017년도에 4,535kg으로 가장 많이 배출되었으며, 대폭 감소하다 2020년 0kg 임
- 유연탄의 황성분에 따라 배출되는 황산화물의 배출량이 다르며, 2020년의 황산화물 저감시설 설치 및 배출량 자료에 대한 검토가 필요함



[그림 IV.2- 9] 소성공정의 황산화물(SO_x)의 배출량 추이(kg/yr)

○ 질소산화물(NOx)

- NOx의 연도별 변화 추이를 나타낸 것이며, 증가하다가 2019년도에 1,223톤/년으로 가장 많이 배출되었으며, 2020년에 감소하여 815톤/년으로 일반대기오염물질 중에서 2020년 기준 2번째로 많이 배출되고 있음



[그림 IV.2-10] 소성공정의 질소산화물(NOx)의 배출량추이(TMS, kg/yr)

○ 일산화탄소(CO)

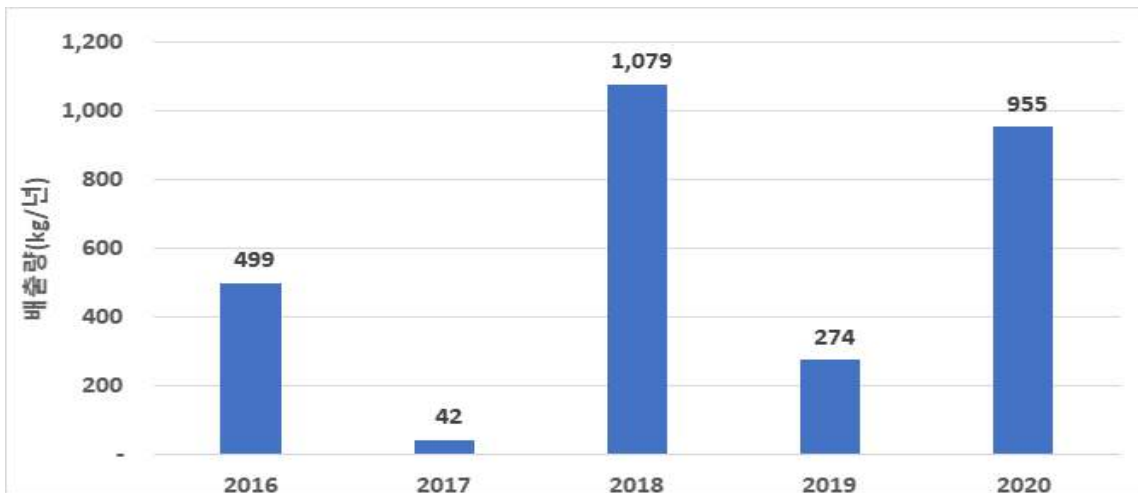
- 연료의 불완전연소에 의해 배출되며, 연료의 상태에 따라 배출량의 차이가 발생됨
- 2016년부터 2019년까지 23-57톤/년으로 배출되고 있으나, 2020년에 8,960톤/년으로 소성로에서 배출되는 오염물질 중 가장 많이 배출되고 있음
- 페타이어와 폐합성수지 등 연료에 대한 검토와 함께 대기오염물질 자료 검토가 필요함



[그림 IV.2-11] 소성공정의 일산화탄소(CO)의 배출량 추이(kg/yr)

○ 중금속

- 시멘트 사업장의 소성로에서 배출되는 주요 중금속의 종류별, 연도별 배출량을 나타낸 것이며, 2010년 기준 시안화수소는 955kg, 크롬화합물은 12kg으로 나타남
- 자료에 대한 증감폭이 너무 커서 분석하기에 어려움이 있음
- 중금속은 자가 측정에 의해 대행하고 있으며, 특히 크롬화합물은 감소에 대한 시설 투자 또는 측정방법에 대한 정보가 필요함



[그림 IV.2-12] 소성공정의 시안화수소의 배출량 추이(kg/yr)



[그림 IV.2-13] 소성공정의 크롬화합물 배출량 추이(kg/yr)

2.1.3 시멘트 분쇄

□ 물질 흐름

- 소성공정에서 만들어진 클링커를 시멘트 밀(cement mill)에서 45 μ m 이하의 미분말로 미분쇄(grinding)하여 저장하고, 소비자 요구에 따라 포장하거나 또는 벌크 상태로 출하하는 공정
 - 시멘트 밀의 종류는 Ball Mill, Roller Mill 등이 있는데 그 형태는 조합원료 분쇄 시에 사용하는 Mill과 거의 동일함
- 클링커 만을 분쇄하면 응결 속도가 너무 빨라 작업이 곤란하므로 응결 지연제로 석고를 3~5% 첨가하고 이외에 물성 보완 및 안정을 위해 소량의 첨가제를 부가하게 되며, 각 원료를 적합한 배합비로 시멘트 밀에 일정하게 투입하여 분쇄가 이루어짐
- 미분쇄 후 사일로에 저장된 시멘트는 화차, BCT 등을 통해 출하지, 고객에게 직접 수송되며, 주로 무정형 벌크 형태로 대량 공급되며 지대형 포장제품으로도 공급됨
- 시멘트분쇄공정의 주요 설비로는 시멘트 밀(cement mill), 제품 이송을 위한 컨베이어 벨트 등, 저장/포장/출하설비 등이 있음
- 시멘트생산 공정의 총 배출량은 포틀랜드시멘트 86만톤, 슬래그시멘트 140만톤, 플라이애시 20만톤, 레미콘 300만 m^3 (계열사포함)으로 배출시설의 규모는 사업장의 생산능력 및 설비 capacity에 따라 오염물질이 배출되고 있음



자료출처 : 환경부, 시멘트 사업장의 비산먼지 관리요령, 2009

<그림 IV.2-14> 시멘트 분쇄공정

□ 대기오염물질 배출량

○ 연도별 배출량은 지속적으로 감소하며, 2016년 대비 2020년은 92.9% 감소함

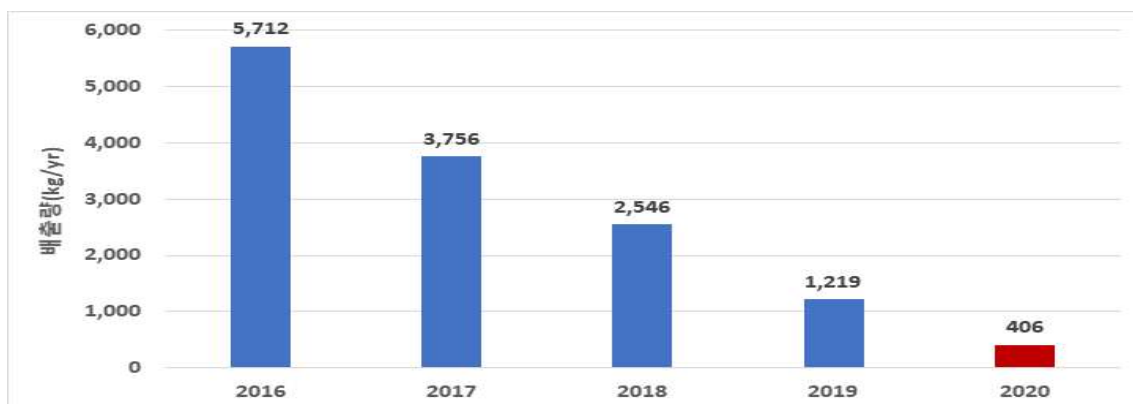
- 2020년 기준 제품포장시설 53.3%, 제품저장시설 14.6%, 저장시설 12.3%, 저장·포장시설 5.5%, 제품ASH저장시설 5.4% 순으로 배출되고 있음
- 제품포장시설, 저장시설에 의해 기인하고 있으며, 지속적인 감소에 따른 저감시설 개선 등 저감원인 자료 확인 및 검토 필요

<표IV.2- 4> 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량

[Unit : kg/yr]

배출구 유형	측정방법	오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
합 계			5,712.1	3,755.6	2,546.2	1,219.0	406.3
제품저장시설	대행의뢰	먼지	785.8	428.3	257.2	121.2	59.3
제품포장시설			2,378.7	1,499.3	1,052.0	513.5	216.5
제품ASH저장시설			198.4	204.3	79.8	43.2	22.1
저장·포장시설			296.3	247.7	137.2	45.2	22.5
저장시설			1088.1	685.4	590.4	336.6	49.8
SC저장시설			244.5	258.4	127.1	39.6	14.1
OPC저장시설			305.1	158.4	113.9	59.1	11.0
FA저장시설			390.1	244.7	147.2	50.9	8.9
저장시설(Fly Ash)			25.1	29.1	41.4	9.7	2.1

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)



[그림 IV.2-15] 시멘트 분쇄공정의 미세먼지 배출량 추이(kg/yr)

2.1.4 혼합시멘트 제조

□ 물질 흐름

- 혼합시멘트는 대표적으로 슬래그시멘트, 플라이애쉬시멘트 등을 들 수 있으며, 일반적으로 포틀랜드 시멘트에 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 포졸란 물질 등을 섞어서 만듦
- 본 표준공정에서는 국내에서 가장 많이 생산되고 있는 슬래그시멘트를 대상으로 배출량 산정
- 혼합시멘트 제조공정은 클링커와 석고를 함께 분쇄하여 만든 포틀랜드시멘트에 고로 슬래그 미분말을 혼합하여 생산하는 것이 일반적임
 - 슬래그 시멘트 생산공정 주요설비인 건조기는 유류 또는 LNG 등을 연료로 사용하며, 나머지 분쇄기, 혼합설비 및 포장/출하설비 등은 전기를 사용하여 가동됨
 - 건조기는 고로슬래그 속에 포함된 수분을 제거하기 위한 것으로, 고로슬래그는 제철소에서 물을 뿌려 만들어지는 수재슬래그 형태이므로 포틀랜드 시멘트와 혼합되기 전에 완전히 건조시켜 수분을 제거해야 함



자료출처 : 환경부, 시멘트 사업장의 비산먼지 관리요령, 2009

<그림 IV.2-16> 혼합시멘트 제조공정

□ 대기오염물질 배출량

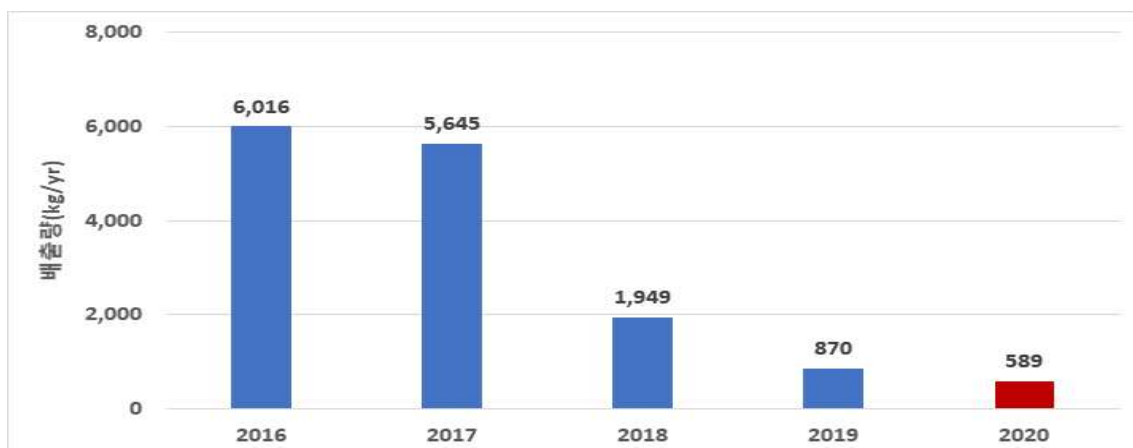
- 연도별 배출량은 큰 폭으로 감소하는 추세이며, 2016년 대비 2020년은 9.82%임
 - 2018년부터 대폭적으로 감소하고 있으며, 2016년 대비 2018년 67.6%, 2019년 85.5%, 2020년은 90.2% 감소하였음
 - 2020년 기준 제품분쇄기가 66.1%로 대부분을 차지하며, 제품분급기 28.4%, 혼합시설 2.1%, 혼합·포장시설제 1.9%, 그리고 저장·포장시설 1.5% 순으로 배출되고 있음
 - 제품분쇄기, 제품분급기 시설에 의해 미세먼지 배출이 기인하고 있으며, 지속적인 감소에 따른 저감시설 개선 등 저감원인 자료 확인 및 검토가 필요함

<표Ⅳ.2- 5> 혼합시멘트 제조공정의 미세먼지 배출량

[Unit : kg/yr]

배출구유형	측정방법	오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
합 계			6,016.3	5,644.8	1,949.3	870.4	588.6
제품분쇄기	대행의뢰	먼지	3,069.4	3,028.3	1,043.3	394.0	389.2
제품분급기			2,283.5	2,141.4	628.0	335.3	167.2
혼합·포장시설			234.2	241.0	88.0	52.6	10.9
혼합시설			164.2	142.0	85.6	52.7	12.5
저장·포장시설			265.0	92.1	104.4	35.8	8.8

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)

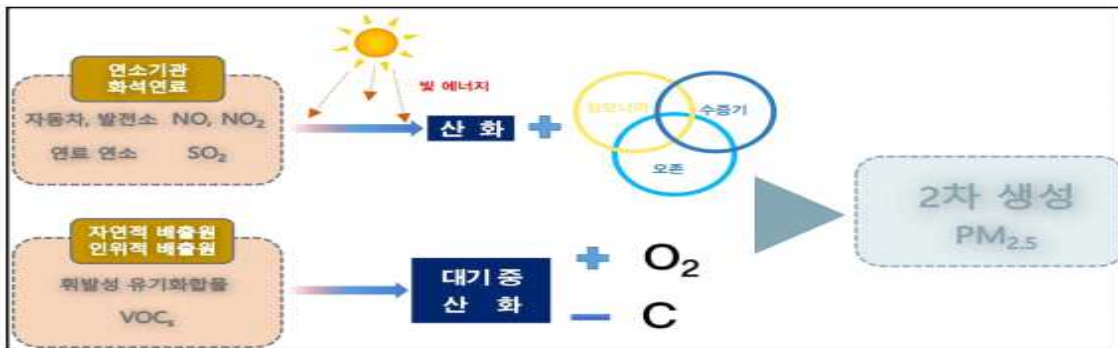


[그림Ⅳ.2-17] 혼합시멘트 제조공정의 미세먼지 배출량

2.2 2차 생성 미세먼지 발생량 추정

2.2.1 2차 생성 미세먼지의 개요

- 미세먼지의 발생원은 자연적인 것과 인위적인 것으로 구분할 수 있는데 자연적 발생원은 흙먼지, 바닷물에서 생기는 염 성분 등이 있으며 인위적 발생으로는 인간의 활동으로 일어나는 대부분의 영역에서 나타날 수 있는 발생원으로 보일러나 발전시설 등에서 석탄, 석유 등 화석연료를 태울 때 생기는 매연, 자동차 배기가스, 건설현장 등에서 발생하는 날림먼지 등이 대표적인 것임
- 미세먼지 중 $PM_{2.5}$ 는 PM_{10} 보다 입자크기가 더 작은 성분들이 인체유해성이 더 큰 것으로 알려져 있으며 이러한 $PM_{2.5}$ 는 2차 생성에 의한 발생이 주를 이루는 것으로 알려져 있음
- 미세먼지 2차 생성은 자동차나 발전소와 같은 고온 연소기관에서 발생하는 NO 및 NO_2 와 화석연료연소시 발생하는 SO_2 가 빛을 받아 산화되면서 NH_3 , O_3 , 수증기 등과 결합해 여러 화학반응을 통해 생성됨
 - 자연적 혹은 인위적으로 배출된 VOCs는 대기 중 산화과정을 거치며 탄소수가 적어지거나 산소가 첨가되면서 2차 미세먼지를 생성하게 됨
- 광화학 반응이나 대기 중 산화 반응을 통해 생성되는 것으로 알려진 2차 미세먼지의 생성은 대기 중 질소산화물, 황산화물 및 휘발성 유기화합물 등과 같은 가스상 오염물질들이 복잡한 과정을 거쳐 생성되기 때문에 그 메커니즘을 규명하는 것은 매우 힘든 상황임



[그림 IV.2-18] 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 생성과정의 개요

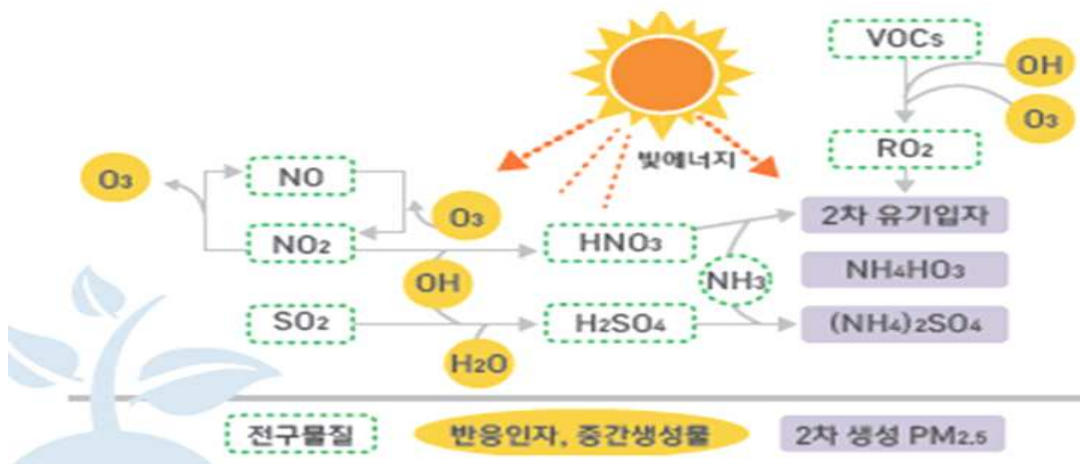
2.2.2 추정방법

□ 반응식을 이용한 추정

- 미세먼지의 2차 생성을 규명하기 위한 연구는 일반적으로 반응식을 이용해 추정하는 방법 등이 사용됨
 - 반응식을 이용한 방법은 일반적으로 황산염, 혹은 질산염 등의 생성 메커니즘을 이용해 분석하는 방법으로 화학반응식을 사용해 추정하고 있음
- 최근 「미세먼지 관리 종합대책(2017)」에서 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs) 등이 미세먼지로 전환되는 간접배출이 전국을 기준으로 전체 배출량의 72% 정도를 차지한다고 발표한 바 있음
- 지금까지 NO_x, SO_x, 그리고 그 배출원 관련 정보는 비교적 잘 알려져 있는 편이나 2차 생성에 중요한 역할을 하는 휘발성 유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃) 배출 정보는 아직까지도 명확하게 알려지지 않은 상태임

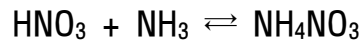
□ 질산염의 생성 메커니즘

- 질소산화물(NO_x)은 여러 가지 복잡한 물리, 화학적 반응을 거쳐 가스상으로 HNO₃, 입자상으로 NO₃⁻로 변환되며, 이들의 생성량은 일사량, 기온 및 상대습도, 대기 중의 HNO₃과 NH₃농도, 해양입자와 알칼리성 토양입자 등 부유분진의 성분과 농도에 따라 달라짐



[그림 IV.2-19] 2차 초미세먼지(PM_{2.5})의 생성과정

- 질산염의 생성메카니즘은 다양하지만 일반적으로 광화학반응에 의해 생성된 HNO_3 과 NH_3 의 기상균일반응, 해염입자, 알칼리성 토양입자와 NO , HNO_3 간의 불균일 반응으로 생성

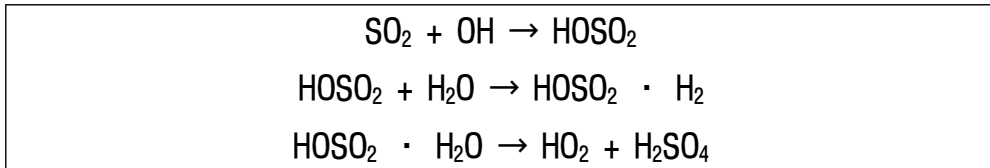


- 대기 에어로졸 중 존재하는 질산염은 NH_4NO_3 , NaNO_3 등과 같은 것 외에도, Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 등의 알칼리성 토양입자와 HNO_3 간의 반응으로도 생성됨
 - NO_2 , HNO_3 의 액적 용해반응에 의하여 생성된 질산염을 포함하는 액적과 알칼리성 토양입자 간의 반응으로 새로운 형태의 질산염을 생성하기도 함
 - 이러한 질산염은 부유물질 또는 습식 및 건식 강화물의 형태로 인체와 동식물에 해를 줄 뿐만 아니라, 토양과 수계의 산성화를 촉진시키고, 각종 구조물을 부식시키며, 가시도의 감소 등 여러 가지로 피해를 줌

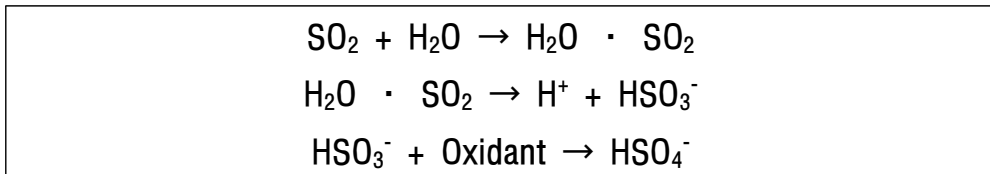
□ 황산염의 생성 메카니즘

- 황산염 농도는 일반적으로 산성 에어로졸에 대한 대표값으로 고려되어질 수 있으며, 강산의 대부분은 균일과 불균일반응에 의한 아황산가스(SO_2)의 산화에 의한 황산염으로 생성되어짐
- 대기중 황산염의 생성기전은 광화학반응으로 생성된 OH기와 같은 산화라디칼에 의한 SO_2 의 광산화에 의한 것과 탄화수소와 질소산화물의 광산화에서 생성된 중간체로서, 생성된 황산염의 초기 형성은 황산 (H_2SO_4)으로 이루어졌으며 다시 대기 중 암모니아(NH_3)에 의해 중화됨
 - 불균일반응(가스상-액상)의 전환방법은 작은 물방울에서 SO_2 의 촉매 산화, 강한 옥시 단트에 의한 액상에서의 SO_2 의 산화, 고체 분자와의 충돌로 인한 SO_2 의 표면 촉매 산화에 의해 생성됨
- 이와 같은 황산염입자는 미세입자 에어로졸 질량의 주요한 구성요소이고 생성기구에 따라 성상의 차이가 있으나, 입자의 크기는 상대습도에 따라 증가하며, 주로 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 미세입자가 많으며 전 입자의 64 ~ 83%를 차지한다는 보고되고 있음

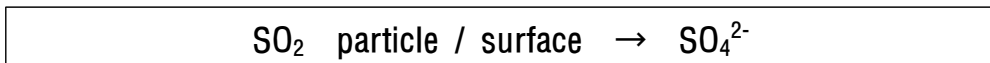
- H₂SO₄(sulfuric acid)는 균일상(homogeneous phase) 또는 액상반응에 의해 생성된 수산화기(OH)와 SO₂의 반응은 H₂SO₄를 형성하는 지배적인 메카니즘으로 알려져 있음



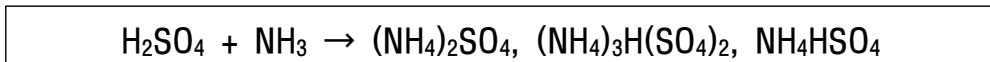
- 정상적인 대기 상태 하에서 H₂SO₄는 수증기와 핵을 형성하여 물방울 형태의 에어로졸로 존재하게 됨
 - 에어로졸 형태나 안개 혹은 구름액적에 용해되어 있는 아황산가스가 과산화수소(H₂O₂) 등과 같은 산화제와 액상 균일반응을 통하여 산화됨으로서 황산이 생성



- H₂SO₄의 또 다른 생성메카니즘은 고체입자의 표면의 흡착된 아황산가스가 산화반응을 통하여 H₂SO₄가 생성되는 반응이 있음



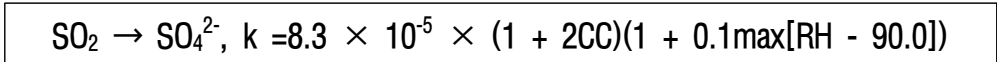
- 이러한 반응은 배기가스 중 입자농도가 매우 높은 배출원이 인접해 있을 때, 이 반응에 의해 H₂SO₄가 잘 생성되는 것으로 알려져 있음
- 위에서 언급된 H₂SO₄의 생성반응식에 의해 만들어진 H₂SO₄는 대기중에 존재하는 암모니아가스 등과 중화반응을 일으켜 황산암모늄을 생성



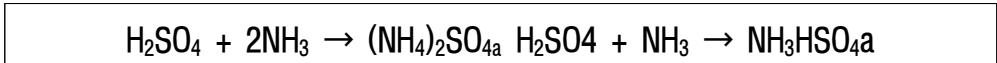
- 또한 NO₃⁻ 등이 SO₄²⁻ 같이 대기 중에 존재하게 되면, 입자전환 과정을 거쳐 (NH₄)HSO₄, (NH₄)₃H(SO₄)₂, (NH₄)₂SO₄ 등이 생성됨

□ 암모니아와 2차 미세먼지 생성

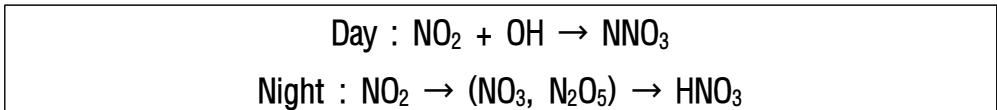
- 배출원 등에서 배출된 암모니아는 대기 중의 아황산가스 및 황산미스트와 반응하여 황산암모늄을 생성하는 것으로 알려져 있음
- 또한 대기 중의 SOx 산화에 의해 생성된 SO3와 반응하여 입자상의 H2S를 생성하며 NOx와의 반응으로 질산암모늄을 생성할 뿐 아니라 대기 중의 오존과 반응하여 질산암모늄을 생성하기도 함
- 만약 구름이 존재하는 상황에서 배출될 경우 SO2는 구름분포(cloud cover CC(0~1)과 상대 습도(RH%)에 지배적으로 영향을 받아 반응하여 황산염의 입자형태로 변환됨



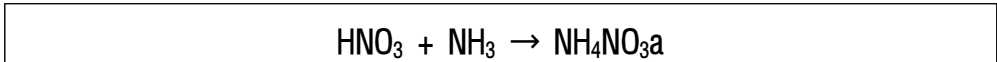
- 또한 만약 암모니아가 존재한다면 황산은 암모니아와 바로 반응하여 황산암모늄을 형성해 입자화 됨



- 대기 중에 존재하는 암모니아는 1차적으로 황산과 반응하여 소모되며 잔류 암모니아가 질산(HNO3)과 반응하여 ammonium nitrate를 형성하며 질산의 생성경로는 낮과 밤에 따라 다르게 나타남



- 반응이 빠르고 비가역적인 ammonium sulfate 생성과 달리 ammonium nitrate는 반휘발성(semi-volatile)물질로 다음과 같이 가역반응으로 나타나며 이 반응은 주위의 온도와 습도에 영향을 받음



2.2.3 2차 생성 미세먼지 발생량 추정

- 정부에서는 지난 2017년 9월 관계부처합동 「미세먼지 관리 종합대책」에서는 우리나라 전역을 대상으로 2차 미세먼지 발생량 추정을 위해 PM_{2.5} 생성 전환계수를 PM_{2.5} 0.042, NO_x 0.0095, SO_x 0.0032, VOCs 0.0032, NH₃ 0.1752 로 제시한 바 있음
- 따라서 본 절에서는 고려시멘트 사업장(2016-2020)에서 배출된 배출량을 토대로 정부가 제시한 PM_{2.5} 미세먼지 생성 전환계수를 적용해 고려시멘트 2차 생성 미세먼지 발생량을 추정하였음
- 대기오염물질별로 추정한 고려시멘트의 2차 생성 미세먼지 발생량 추정 결과 2019년에 가장 많은 13,265kg이 발생되었으며, 그 다음으로 2020 9,955kg, 2018년 9,762kg 순으로 나타나고 있음
 - PM_{2.5} : 2019년 직접 배출량 + 2차 생성량 = 23,494kg/yr, 1차 생성 69.4%, 2차 생성 30.6%

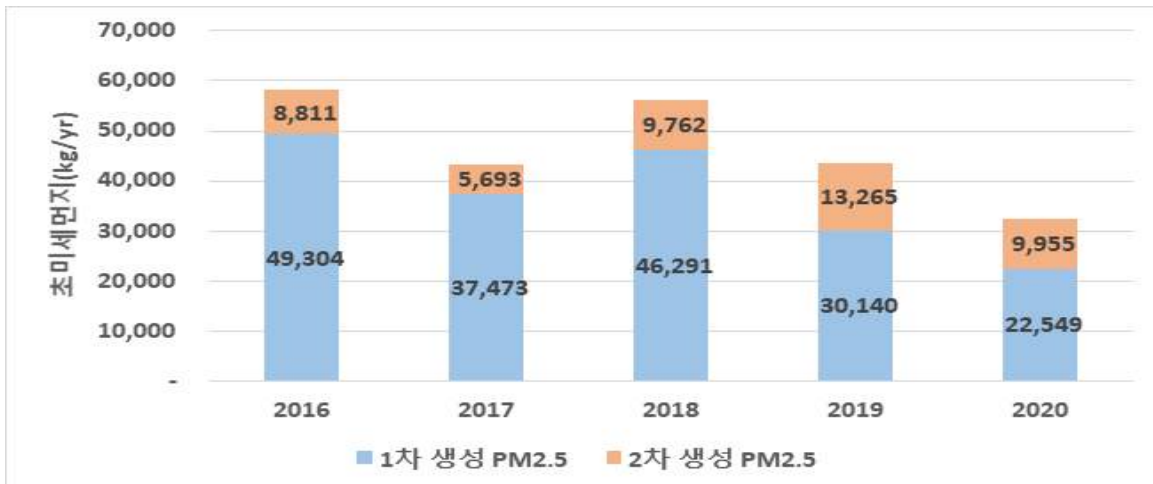
<표Ⅳ.2- 6> 2차 생성 미세먼지 추정 배출량

[Unit : kg/yr]

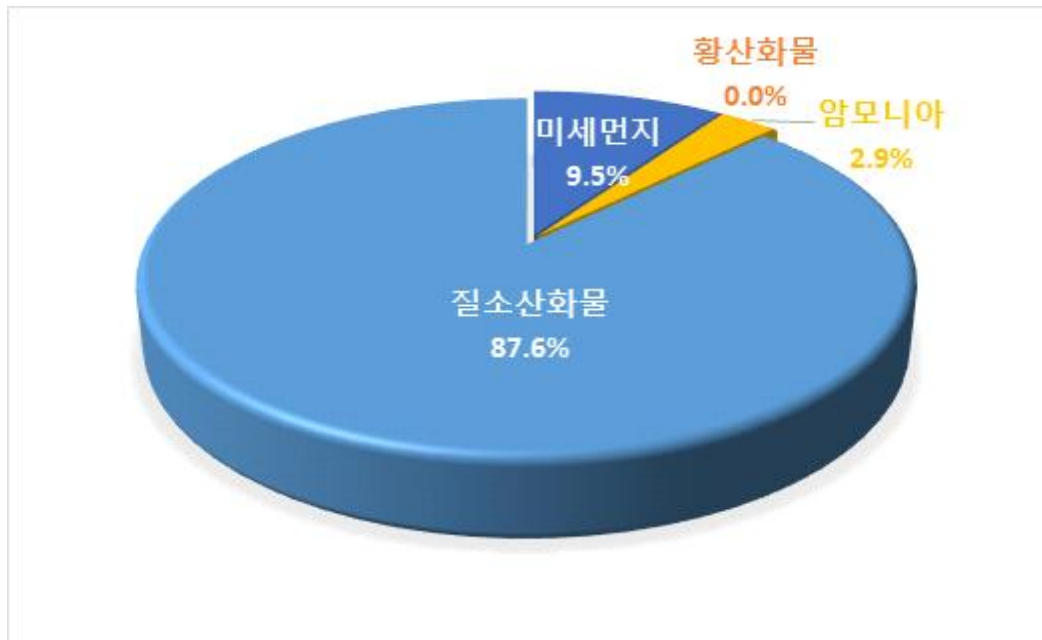
오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
미세먼지	2,070.8	1,573.9	1,944.2	1,265.9	947.0
황산화물	4.3	14.5	5.0	0.7	0.0
탄화수소	0.0	0.0	9.0	0.0	65.1
암모니아	157.1	320.4	392.3	382.0	1,199.4
질소산화물	6,578.3	3,784.0	7,411.3	11,616.5	7,743.2
합 계	8,810.5	5,692.8	9,761.8	13,265.1	9,954.7

자료출처 : 사업장 대기배출원관리시스템(SEMS)

- 2019년 기준 오염물질별 2차 생성 추정량은 13,265kg/yr로 PM_{2.5}의 30.6%를 차지하는 것으로 나타났으며, 질소산화물(NO_x)이 87.6%, 미세먼지(PM_{2.5}) 9.5%, 암모니아(NH₃) 2.9% 순으로 나타남



[그림 IV.2-20] 연도별 2차 생성 초미세먼지의 발생량 비교



[그림 IV.2-21] 오염물질별 2차 생성 초미세먼지(PM_{2.5}) 발생량의 비율

3.1 시멘트공장 주변지역 환경오염도 조사

□ 환경조사지역 및 범위

- 본 연구에서는 과거 고려시멘트 공장 주변지역 환경영향조사 결과를 비교 분석하여 시멘트공장 관리방안을 도출하고자 함
- 고려시멘트 공장 주변지역 환경영향조사를 실시한 시기와 분석항목
 - 조사 시기 : 봄(2013년 05월 30일~2013년 06월 06일, 여름(2013년 08월 19일~2013년 08월 26일), 가을(2013년 10월 14일 ~ 2013년 10월 21일)
 - 항목 : PM₁₀, PM_{2.5}, 중금속, PAHs
- 시멘트공장 주변지역 조사지점
 - 직접영향권 지역인 시멘트공장 주변 200 m 내에 주거 가구가 약 50가구 정도 되는 것으로 추정되며, 500m 이내에는 대체로 생활주거가 밀집되어 있고 그 지역 내에 초등학교 등 대기오염물질 취약시설도 다수 포함되어 있음



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림Ⅳ.3- 1] 고려시멘트 장성공장 주변 측정지점

□ 미세먼지(PM_{2.5}, PM₁₀)

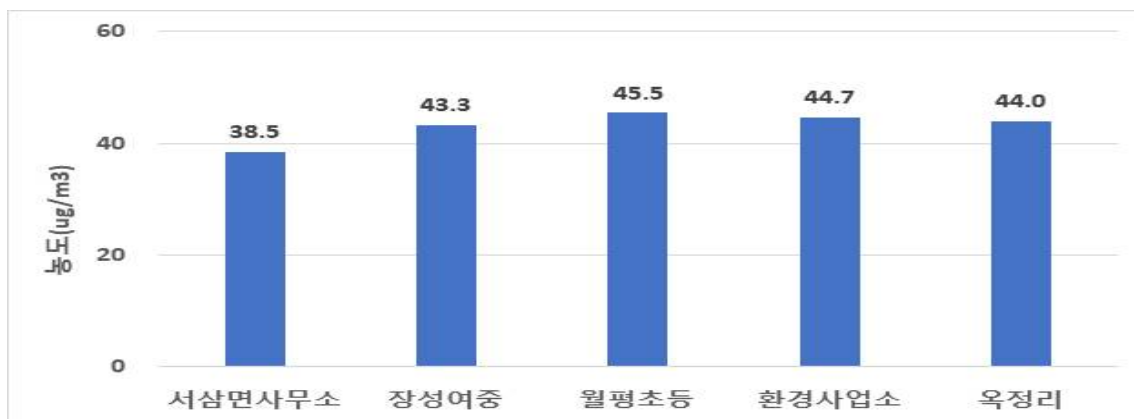
- 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도를 나타낸 것이며, 대기환경기준 PM₁₀은 만족하고 있으나, PM_{2.5}는 대조구역부터 모두 대기환경기준을 상회하고 있음
 - 대기환경기준(PM₁₀) : 24시간 평균값 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연간 평균값 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - 대기환경기준(PM_{2.5}) : 24시간 평균값 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연간 평균값 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM₁₀의 조사결과 대조지점의 최고값은 54.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었고, 조사지점은 월평초등에서 가장 높은 66.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 24시간 평균값을 모두 상회하고 있음
 - 3회 평균값은 대기환경기준을 만족하고 있으나, 1차 조사에서는 대조지점 포함 모두 환경기준을 상회하고 있음

<표Ⅳ.3- 1> 측정지점별 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

		PM ₁₀				PM _{2.5}			
		1차	2차	3차	평균	1차	2차	3차	평균
대조지역	서삼면사무소	54.32	30.71	30.53	38.52	34.66	11.43	11.93	19.34
조사지역	장성여중	63.74	33.07	32.99	43.27	43.96	14.89	14.49	24.44
	월평초등	66.18	33.85	36.55	45.53	44.97	14.89	16.61	25.48
	환경사업소	61.71	32.34	40.15	44.73	42.95	13.90	17.07	24.63
	옥정리	61.68	33.58	36.67	43.98	43.43	15.54	16.15	25.04
	평균	63.33	33.21	36.59	44.38	43.83	14.81	16.08	24.90

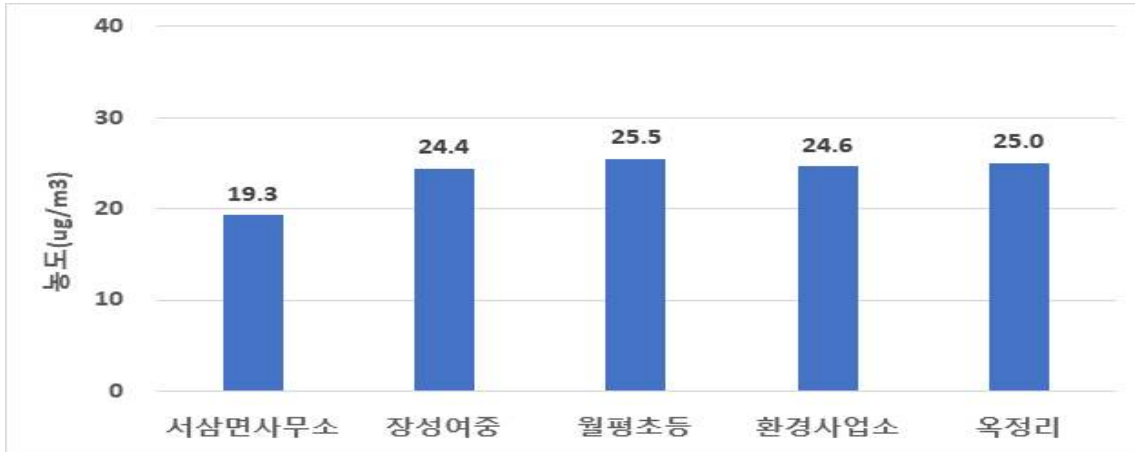
자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림Ⅳ.3- 2] 고려시멘트 공장 주변 PM₁₀의 농도

- PM_{2.5}의 조사결과 대조지점의 최고값은 34.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었고, 조사지점은 월평균등에서 가장 높은 44.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 24시간 평균값을 모두 상회하고 있음
- 3회 평균값도 대기환경기준을 모두 상회하고 있으며, 월평균등에서 가장 높은 농도분포를 나타내고 있음



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림Ⅳ.3- 3] 고려시멘트 공장 주변 PM_{2.5}의 농도

○ 시멘트 제조공장 주변의 PM₁₀ 비교

- 청주 시멘트공장에서 최고값 50.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타냈고, 그 다음으로 장성 고려시멘트 44.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 제천 아시아 39.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 단양 한일 38.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 동해 쌍용 32.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 강릉 라파즈시멘트 18.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 조사됨
- 측정결과 비교시 공장 모두 전반적으로 대조지점보다 주변지역에 PM₁₀ 농도 값이 높게 나타남

○ 시멘트 제조공장 주변의 PM_{2.5} 비교

- 청주 시멘트공장에서 최고값 28.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타냈고, 그 다음으로 제천 아시아 28.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 단양 한일 28.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 장성 고려시멘트 24.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 강릉 라파즈시멘트 18.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 동해 쌍용 17.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 조사됨
- 측정결과 비교시 공장주변의 PM_{2.5} 농도 값이 대조지역보다 높게 나타남

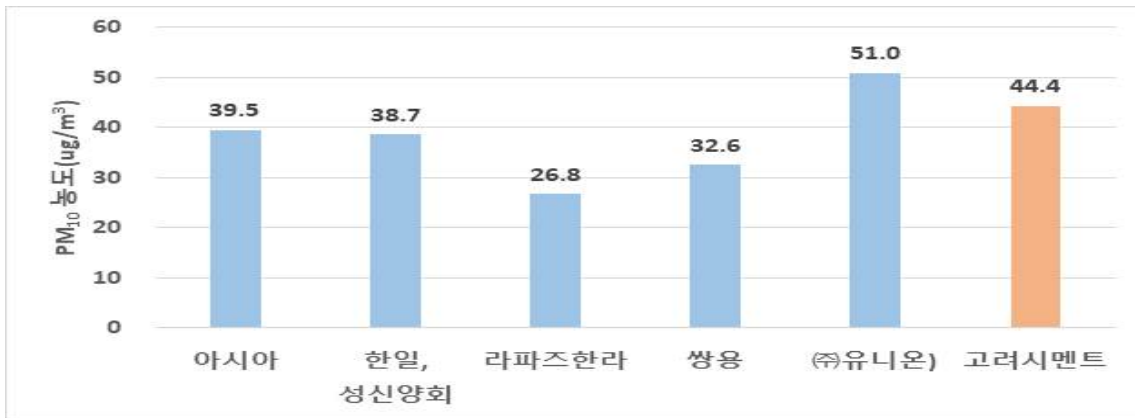
○ 고려시멘트 주변의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 타 지역 시멘트 공장주변과 비교할 때 비교적 높게 나타나고 있음

<표Ⅳ.3- 2> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 농도

[Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

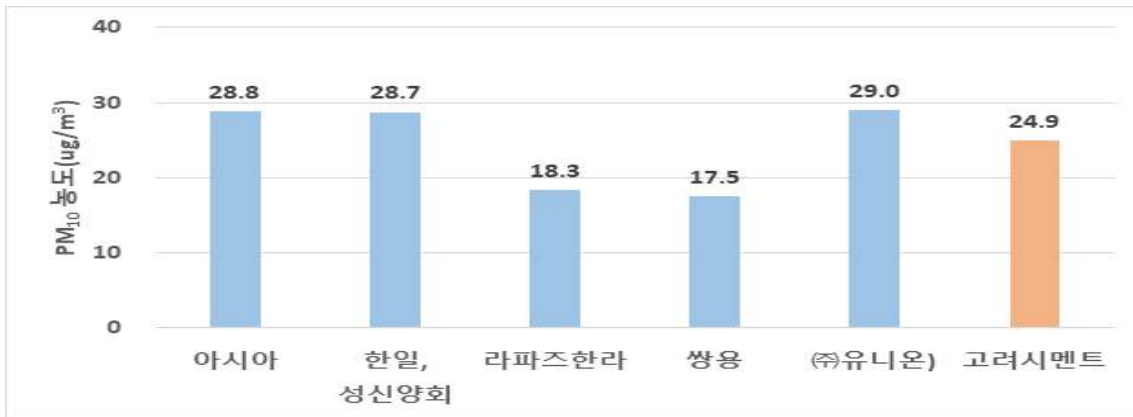
		시멘트 공장	조사시기	항 목	
				PM ₁₀	PM _{2.5}
충청	제천	아시아	2010	39.50	28.78
	단양	한일, 성신양회		38.66	28.71
강원	강릉	라파즈한라	2012	26.78	18.30
	동해	쌍용	2012	32.55	17.48
충남	청주	(주유니온)	2014	50.98	28.96
전남	장성	고려시멘트	2013	44.38	24.90

자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림Ⅳ.3- 4] 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 미세먼지(PM₁₀) 농도



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

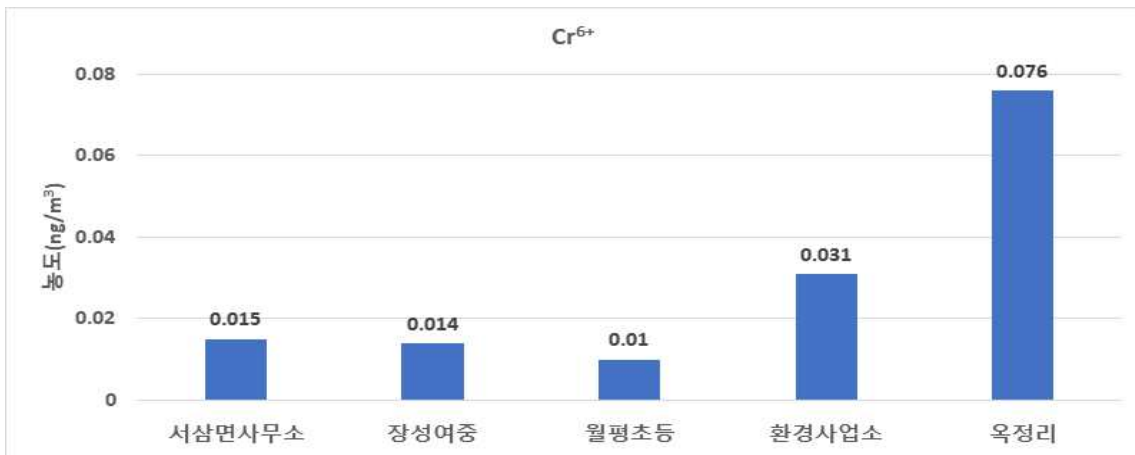
[그림Ⅳ.3- 5] 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도

□ 대기 중 중금속

○ 고려시멘트공장 주변지역의 대기중에 부유하고 있는 주요 중금속 항목의 분석 결과를 나타낸 것임

○ 대기 중 6가 크롬(Cr^{6+}) 농도

- 황룡면 옥정리와 환경사업소 순으로 각각 평균 0.076 ng/m^3 , 0.031 ng/m^3 으로 검출됐으며, 황룡면의 경우 환경사업소에 비해 약 2 배 이상 높게 조사되었음
- 계절별 농도분포 양상을 보면 3계절 모두 황룡면 옥정리 지점에서 가장 높게 관측됐고 특히, 대기 중 연무와 박무가 관측되었던 봄철 시기에 높게 조사되었음



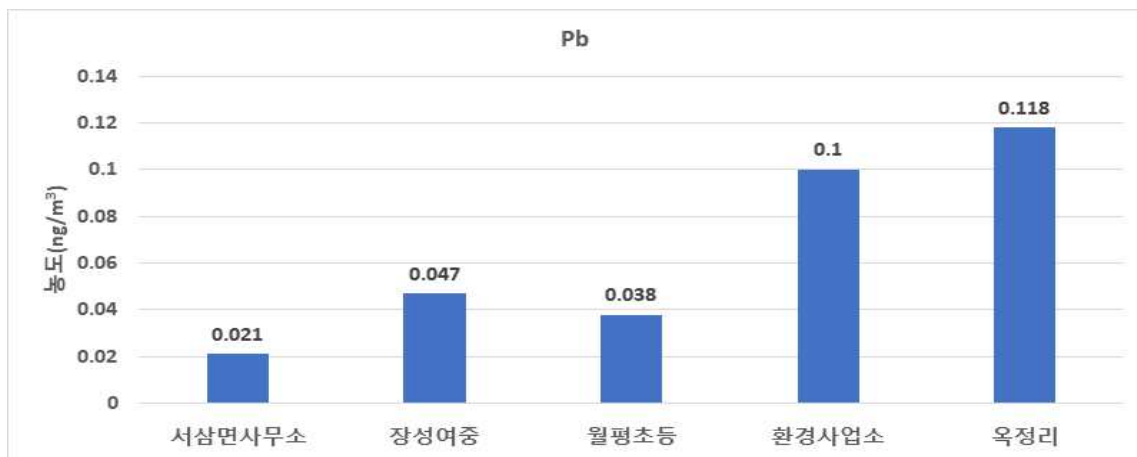
자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림 IV.3- 6] 고려시멘트 공장 주변의 크롬(Cr^6)의 농도

○ 대기 중 중금속 농도

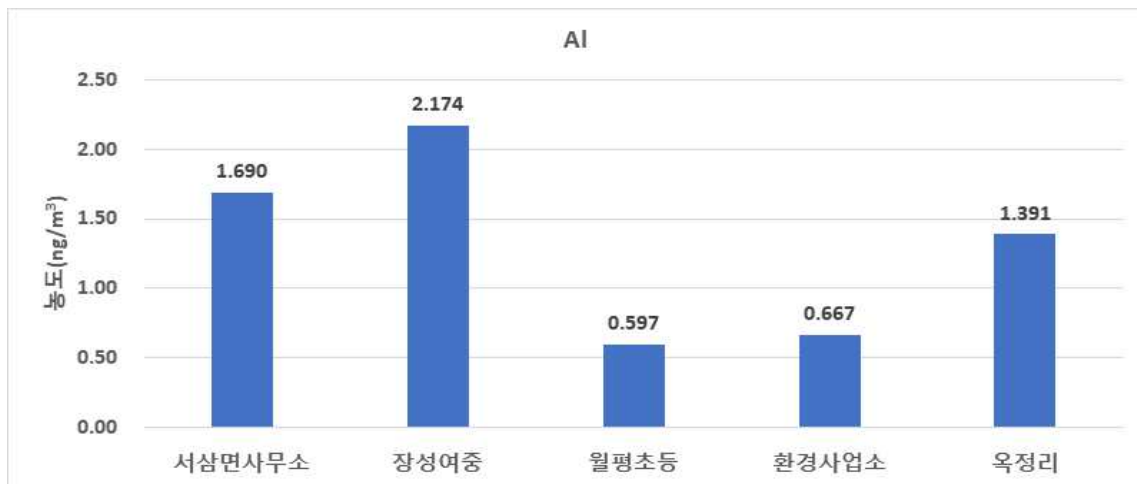
- 중금속의 평균 측정치 서삼면 경우 3계절 중 황사가 있었던 봄철이 다른 조사지점에 비해 조사항목 7종 중 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 철(Fe) 성분에서, 황룡면 옥정리에서는 3계절 모두 마그네슘(Mg), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb) 성분들이 가장 높게 검출되었음
- 서삼면에서 검출된 성분들은 토양기원 성분들이고, 황룡면 옥정리에서 검출된 성분들은 인위적인 연료연소에서 배출되는 성분들로서 이들 성분들은 지역적인 특성을 반영한 것으로 사료됨
- 조사항목 7종 중 Mg 성분을 제외한 6종(Al, Ca, Fe, As, Cd, Pb) 성분들은 대체적으로 봄철(5-6월)에 가장 높게 검출됐으며, Mg 성분 경우는 가을철(10월)에 높게 검출되었음

- 국내 대기환경 기준이 설정된 Pb 성분 경우 황룡면 옥정리와 환경사업소에서 3 계절 평균 농도는 각각 114.6 ng/m³, 100.0 ng/m³ 으로 가장 높은 농도였으나, 연 평균 대기환경기준인 500 ng/m³ 보다는 낮은 농도를 나타냄
- 장성군 지역의 대기 중 중금속(Cd, Pb, As, Al, Fe) 농도수준은 국내에서 조사되었던 시멘트 영향지역의 결과와 비교하였을 시, Pb과 Al 성분은 삼척 및 강릉·동해 시멘트 영향지역에 비해 각각 약 2배, 약 2~4배 정도 높은 농도였으나, Ca, Mg, Fe 성분은 낮은 농도 수준임



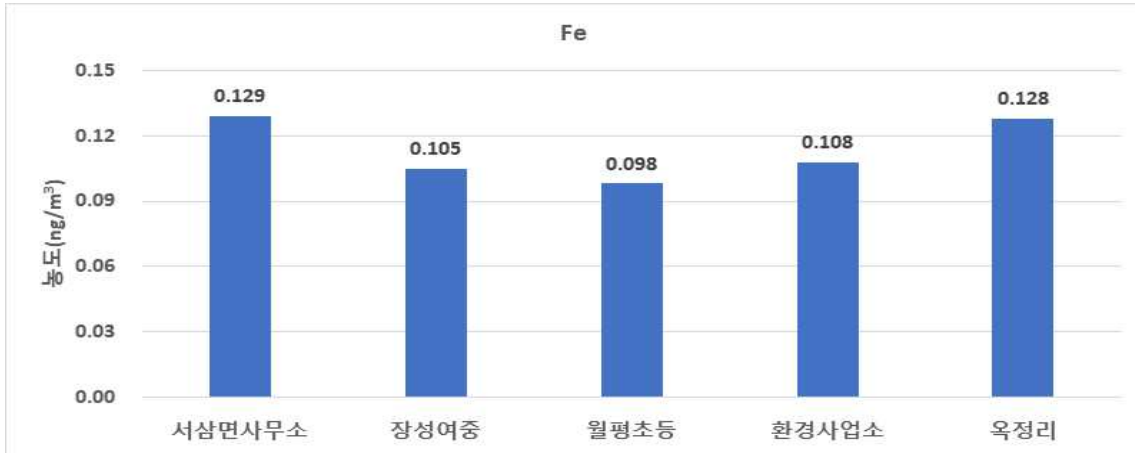
자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림 IV.3- 7] 고려시멘트 공장 주변의 납(Pb)의 농도



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림 IV.3- 8] 고려시멘트 공장 주변의 알루미늄(Al)의 농도

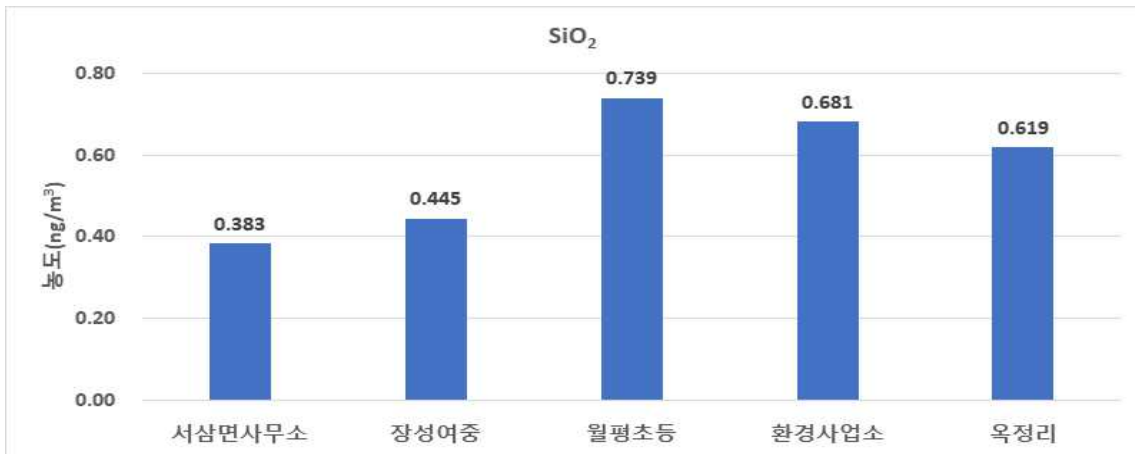


자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림 IV.3- 9] 고려시멘트 장성공장 주변의 철(Fe)의 농도

○ 결정형 규산(SiO₂) 농도

- 대기 먼지 중의 결정형규산의 측정 농도의 전체 평균은 0.574 μg/m³ 으로, 시멘트 공장과 인접한 월평초등학교에서 0.739 μg/m³ 가장 높고, 대조지역인 서삼면사무소의 0.384μg/m³ 보다 2배정도 높게 조사됨



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림 IV.3-10] 고려시멘트 장성공장 주변의 규산(SiO₂) 농도

<표Ⅳ.3- 3> 고려시멘트 주변의 대기중 중금속 분석 농도

[Unit : ng/m³, µg/m³]

중금속	측정시	대조지역	조사지역				
		서삼면사무소	장성여중	월평초등	환경사업소	옥정리	평균
Cr ⁶	1차	0.032	0.012	0.006	0.065	0.152	0.053
	2차	0.004	0.028	0.021	0.017	0.035	0.021
	3차	0.008	0.001	0.005	0.011	0.042	0.013
	평균	0.015	0.014	0.010	0.031	0.076	0.029
Cd	1차	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
	2차	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002
	3차	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002
	평균	0.001	0.002	0.001	0.003	0.003	0.002
Pb	1차	0.044	0.068	0.075	0.100	0.119	0.091
	2차	0.012	0.018	0.026	0.070	0.112	0.067
	3차	0.008	0.066	0.013	0.129	0.122	0.080
	평균	0.021	0.047	0.038	0.100	0.118	0.076
As	1차	0.017	0.012	0.010	0.009	0.009	0.010
	2차	0.002	0.003	0.003	0.004	0.008	0.005
	3차	0.002	0.003	0.003	0.004	0.008	0.005
	평균	0.007	0.006	0.005	0.006	0.008	0.006
Ca	1차	2.362	1,607	1.583	1.701	1.433	1.581
	2차	0.164	0.012	0.224	0.229	0.504	0.242
	3차	0.017	0.087	0.056	0.133	0.261	0.134
	평균	0.848	0.569	0.621	0.688	0.733	0.653
Mg	1차	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	2차	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004
	3차	0.038	0.031	0.030	0.056	0.059	0.044
	평균	0.013	0.012	0.011	0.019	0.021	0.016
Al	1차	4.490	3,543	1.093	1,243	3.051	2.233
	2차	0.525	0.100	0.644	0.645	1.022	0.603
	3차	0.056	0.046	0.053	0.084	0.099	0.071
	평균	1.690	2,174	0.597	0.667	1.391	1.205
Fe	1차	0.282	0.209	0.186	0.156	0.186	0.184
	2차	0.046	0.047	0.052	0.054	0.079	0.058
	3차	0.058	0.059	0.056	0.113	0.117	0.086
	평균	0.129	0.105	0.098	0.108	0.128	0.110
SiO ₂	1차	0.410	0.510	0.751	0.842	0.667	0.693
	2차	0.340	0.534	0.776	0.646	0.623	0.645
	3차	0.402	0.290	0.691	0.554	0.567	0.526
	평균	0.383	0.445	0.739	0.681	0.619	0.621

자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

○ 시멘트 제조공장 주변의 중금속 비교

- 분석결과 Cr₆ 농도 값은 한일시멘트에서 주변지역 최고값 0.0055 µg/m³, 동해 쌍용시멘트에서 주변지역에서 최저값 0.0019µg/m³을 나타내고 있음
- Cd 농도 값은 한일시멘트(0.0054µg/m³)과 고려시멘트에서 비교적 높은 농도값을 나타내고 있으며, 라파즈한라시멘트에서 주변지역 최저값 0.0003µg/m³을 나타냄.
- Pb는 한일시멘트에서 최고값 0.1740 µg/m³, 라파즈한라시멘트 주변지역 최저값 0.0160 µg/m³을 나타냄
- As 농도 값은 쌍용시멘트에서 최고값 0.0070 µg/m³, (주)유니온에서 최저값 0.0025 µg/m³을 나타냄
- Al 농도 값은 고려시멘트에서 최고값 1.2803 µg/m³, 아세아시멘트 주변지역 최저값 0.0538 µg/m³ 을 나타냄
- SiO₂ 농도 값은 쌍용시멘트에서 주변지역 최고값 2.0993 µg/m³, 아세아시멘트와 한일시멘트에서 최저값 0.0004 µg/m³을 나타냄

<표IV.3- 4> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 중금속 농도

[Unit : µg/m³]

	아시아	한일	동양	한라(라파스)	쌍용	유니온	고려
Cr ⁶⁺	0.0050	0.0055	0.0030	0.0020	0.0019	0.0020	0.0013
Hg	-	-	0.0005	0.0007	0.0017	0.0013	-
Cd	0.0019	0.0054	0.0004	0.0003	0.0004	0.0010	0.0023
Pb	0.0700	0.1740	0.0217	0.0160	0.0324	0.0207	0.0758
As	-	-	0.0067	0.0053	0.0070	0.0025	0.0063
Ca	-	-	5.7267	6.1340	6.0804	2.6643	0.6523
Mg	-	-	0.4143	0.6080	0.5280	0.6943	0.0158
Al	0.0638	0.1407	0.2730	0.4253	0.4360	0.4293	1.2048
Fe	0.1138	0.1539	0.5307	0.2880	0.3488	0.3583	0.1290
SiO ₂	0.0004	0.0004	0.8527	1.6273	2.0993	0.3507	0.6210

자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

□ 대기중 다환방향족탄화수소(PAHs)

○ Group 2A

- Benzo(b)fluoranthene는 분석결과 대조지점이 0.5200ng/m³, 공장 주변지역이 0.5900~1.1700ng/m³을으로 대조지점보다 농도분포가 높게 나타나고 있음
- Benzo(k)fluoranthene는 분석결과 대조지점 0.0800이며, 주변지역 농도 값이 0.0600~0.1200ng/m³로 1개 지점을 제외하고 대조지점보다 낮음

○ Group 2B

- Benzo(a)pyrene 분석결과 대조지점 값이 0.3900ng/m³, 주변지역 농도 값이 0.4200~0.6400ng/m³로 대조지점보다 모든 지점에서 높게 나타남
- Fluoranthene 분석결과 대조지점 0.9100ng/m³, 주변지역 농도 값이 0.8100~1.3400ng/m³로 PR-4에서 가장 높은 농도분포를 나타냄

<표IV.3- 5> 대기중 PAHs(발암성에 따른 분류) 분석 농도

[Unit : ng/m³]

PAHs		조사지점					
		대조지점	PR-1	PR-2	PR-3	PR-4	PR-5
Group 2A ¹	Benzo(b)fluoranthene	0.5200	0.5900	0.6600	0.6100	1.1700	0.7575
	Benzo(k)fluoranthene	0.0800	0.0600	0.0700	0.0600	0.1200	0.0775
Group 2B ²	Benzo(a)anthracene	0.3900	0.4800	0.4200	0.6400	0.5500	0.5175
	Benzo(a)pyrene	0.6300	0.6300	0.7600	0.7200	1.3000	0.8525
	Chrysene	0.8100	0.8700	0.7600	1.1200	1.0300	0.9460
	Fluorene	0.1500	0.1300	0.1000	0.1400	0.1900	0.1400
	Dibenz(a,h)anthracene	0.3800	0.4200	0.7900	0.4700	0.8000	0.6200
	Anthracene	0.0800	0.0500	0.0500	0.0700	0.0800	0.625
	Fluoranthene	0.9100	0.8500	0.8100	0.9100	1.3400	0.9775
Group 3 ³	Indeno(1,2,3-cd)	1.4300	1.8400	2.6100	1.2600	3.2300	2.2350
	Phenanthrene	0.4100	0.4200	0.3500	0.4500	0.6400	0.4650
	Pyrene	0.7500	0.8000	0.7200	0.8800	1.1000	0.8750

*국제암연구센터(IRC International Agency For Research on Center)에서 발암성에 따른 분류를 지정

1) Group 2A1 : Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene

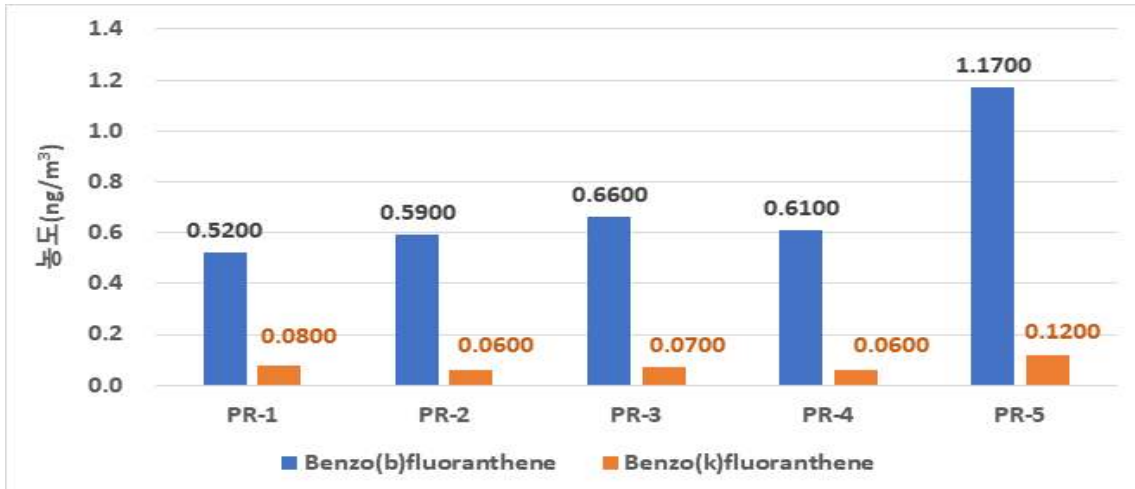
2) Group 2B2 : Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene, Chrysene, Fluorene, Dibenz(a,h)anthracene, Anthracene, Fluoranthene

3) Group33 : Indeno(1,2,3-cd), Phenanthrene, Pyrene

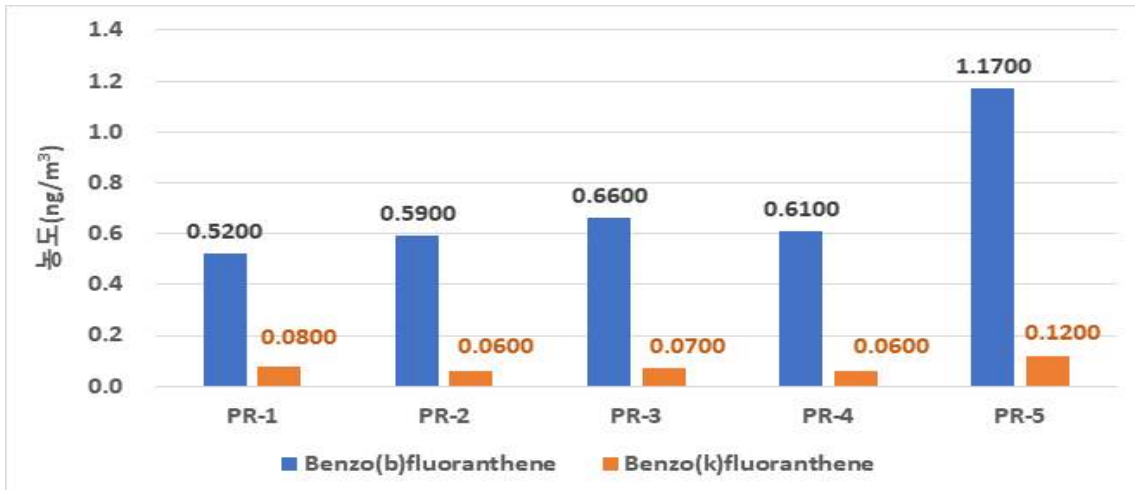
자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

○ Group 3

- Indeno(1,2,3-cd) 분석결과 대조지점 1.4300ng/m³, 주변지역 농도 값이 1.8400~3.2300ng/m³로 대조지점보다 모든 지점에서 높게 나타남
- Pyrene 분석결과 대조지점 0.7500ng/m³, 주변지역 농도 값이 0.7200~1.1000ng/m³로 PR-5에서 가장 높은 농도분포를 나타냄



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016
 [그림 IV.3-11] 고려시멘트 공장 주변의 Group 2A 농도



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016
 [그림 IV.3-12] 고려시멘트 공장 주변의 Group 2B 농도

○ 시멘트 제조공장 주변의 PAHs 비교

- Benzo(a)pyrene 분석결과 장성(고려시멘트)에서 대조지점 최고값 0.8100ng/m³, 주변지역 최고값 0.9450 ng/m³을 나타냄

<표IV.3- 6> 국내 주요 시멘트 사업장 주변의 PHAs 농도

[Unit : ng/m³]

PAHs		동양	한라	쌍용	장성
Group 2A ¹	Benzo(b)fluoranthene	0.2687	1.2094	1.4775	0.7575
	Benzo(k)fluoranthene	0.0693	0.2545	0.3567	0.0775
Group 2B ²	Benzo(a)anthracene	0.0397	0.7547	1.3430	0.5175
	Benzo(a)pyrene	0.0980	0.5027	0.9214	0.8525
	Chrysene	0.1077	0.7375	0.8564	0.9460
	Fluorene	0.0280	0.0883	0.1142	0.1400
	Dibenz(a,h)anthracene	0.1110	0.0620	0.1619	0.6200
	Anthracene	0.0463	0.0720	0.1231	0.625
	Fluoranthene	0.0693	0.6267	1.5639	0.9775
Group 3 ³	Indeno(1,2,3-cd)	0.0993	0.2923	0.5748	2.2350
	Phenanthrene	0.0810	0.4517	0.6447	0.4650
	Pyrene	0.0637	0.5213	1.5628	0.8750

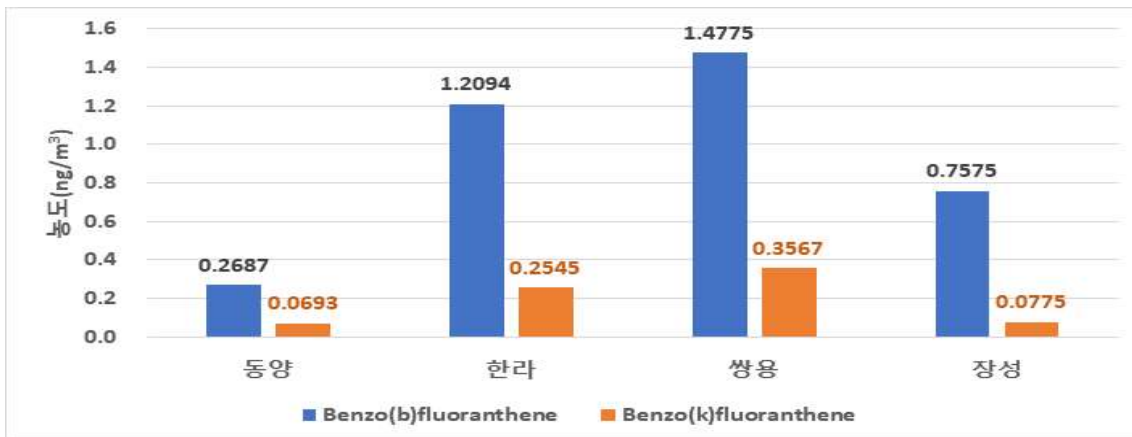
*국제암연구센터(IRC International Agency For Research on Center)에서 발암성에 따른 분류를 지정

1) Group 2A1 : Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene

2) Group 2B2 : Benzo(a)anthracene, Benzo(a)pyrene, Chrysene, Fluorene, Dibenz(a,h)anthracene, Anthracene, Fluoranthene

3) Group33 : Indeno(1,2,3-cd), Phenanthrene, Pyrene

자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016



자료출처 : 국립환경과학원, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 2016

[그림IV.3-13] Group 2A의 측정소별 농도 비교

3.2 토양오염

□ 토양오염실태조사 및 토양오염기준

○ 토양환경보전법('96. 1. 6)에 의거 '97년부터 지역 토양측정망을 설치하여 이를 연차별로 확대, 토양에 대한 오염도 변화추이 등 종합적인 오염실태를 파악하여 장래예측 가능한 토양환경 계획 및 보전대책 수립 기초자료 확보 토지용도별 면적점유비율과 조사대상 지역의 오염원 규모 및 지역설정에 따라 최근 14개지점(2019)의 토양오염실태조사 실시

○ 측정주기 : 매년 1회 상시측정

- 측정항목 : 토양오염물질 22개 항목

○ 토양오염실태조사 지점 선정

- 관내 구역 안의 토양오염이 우려되는 지역
- 토양오염의 가능성이 높은 지역
- 오염토양복원 등의 조치가 필요하다고 판단되는 지역

○ 토양오염기준

<표Ⅳ.3- 7> 국내 토양오염물질 환경기준

[Unit : µg/mg]

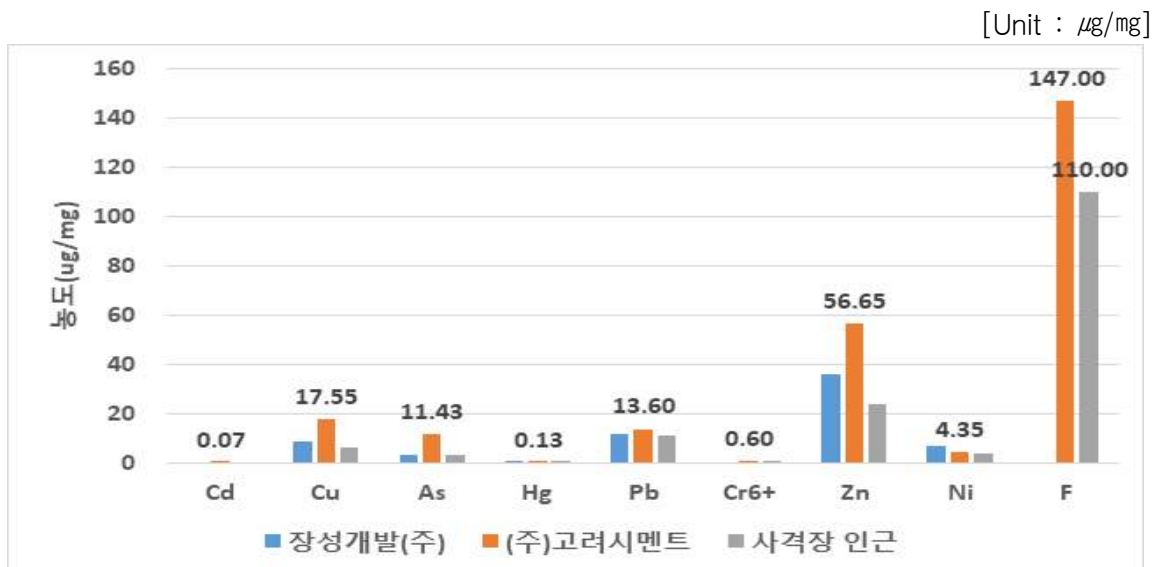
물질	토양오염기준		물질	토양오염기준	
	2지역	3지역		2지역	3지역
Cd	10	60	Ni	200	500
Cu	500	2,000	F	400	800
As	50	200	틀루엔	20	60
Hg	10	20	에틸벤젠	50	340
Pb	400	700	크실렌	15	45
Cr ⁶⁺	15	40	TPH	800	2,000
Zn	600	2,000	벤조(a)피렌	2	7

자료출처 : 환경부·국립환경과학원, 2019년도 토양측정망 및 토양오염실태조사 결과, 2020

□ 토양오염실태조사 및 토양오염기준

○ 2지역 토양오염실태조사 결과

- 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지 지역
- 불소(F), 아연(Zn) 고려시멘트 측정지점에서 타 지역보다 높게 조사되었으나, 토양오염기준을 모두 만족하는 것으로 조사됨
- 벤조(a)피렌, 크실렌, 석유계총탄화수소(TP) 등 유기화합물질은 검출되지 않음

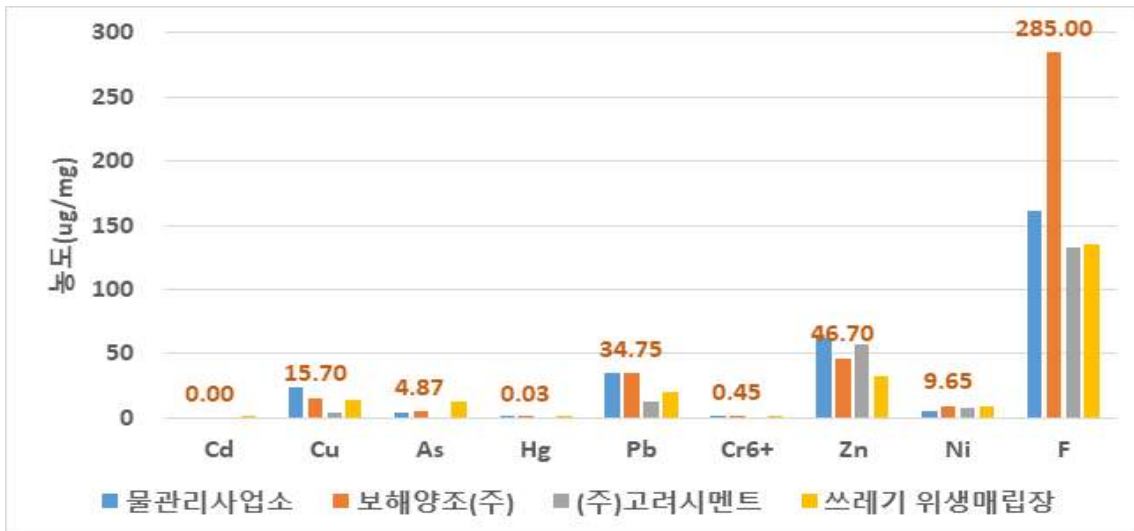


[그림Ⅳ.3-14] 2지역 토양오염실태조사 결과

○ 3지역 토양오염실태조사 결과

- 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소·용지·도로·철도용지·계방·잡종지인 지역과 국방·군사시설 부지
- 불소(F)가 보해양조(주) 측정지점에서 타 지역보다 높게 조사되었으나, 토양오염기준을 만족하는 것으로 조사됨
- 그 외의 지점 및 항목에서도 토양오염기준을 모두 만족하는 것으로 조사되었음
- 석유계총탄화수소(TP)가 물관리사업소와 쓰레기 위생매립장에서 타 지역보다 높게 검출되었으나, 토양오염기준을 모두 만족하는 것으로 조사되었음

[Unit : $\mu\text{g}/\text{mg}$]



[그림 IV.3-15] 2지역 토양오염실태조사 결과

[Unit : $\mu\text{g}/\text{mg}$]



[그림 IV.3-16] 2지역 토양오염실태조사 결과(톨루엔, TPH)

<표Ⅳ.3- 8> 장성군 토양오염실태조사 결과(2019)

[Unit : µg/mg]

지점명	맑은 물관리사업소	보해양조(주)	장성개발(주)	(주)고려시멘트		쓰레기 위생매립장	사격장 인근
	3지역	3지역	2지역	3지역	2지역	3지역	2지역
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.25	0.00
Cu	24.00	15.70	8.55	3.90	17.55	14.50	6.05
As	4.27	4.87	2.98	0.00	11.43	12.98	3.06
Hg	0.06	0.03	0.02	0.00	0.13	0.13	0.02
Pb	34.60	34.75	11.50	12.60	13.60	20.55	11.25
Cr ⁶⁺	1.35	0.45	0.00	0.00	0.60	1.00	0.65
Zn	61.85	46.70	36.05	57.90	56.65	33.15	23.90
Ni	5.45	9.65	6.90	8.30	4.35	9.10	4.00
F	161.50	285.00	0.00	133.00	147.00	135.50	110.00
톨루엔	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10	0.00
에틸벤젠	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
크실렌	0.15	0.00	0.00	0.40	0.00	0.05	0.00
TPH	29.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00
pH	7.40	7.60	7.15	8.05	8.15	7.25	7.15

자료출처 : 국립환경과학원, 2019년도 토양측정망 및 토양오염실태조사, 2020

2지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대(1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대를 말한다)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지(「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 제58조 제28호가목 또는 다목에 해당하는 부지만 해당한다)인 지역

3지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지(2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1항제1호부터 제5호까지에서 규정한 국방·군사시설 부지

3.3 잔류성유기오염물질(다이옥신)

굴뚝의 다이옥신 조사

- 조사 근거
 - 잔류성유기오염물질관리법 제19조 1항에 따라 (다이옥신)의 측정주기 등(시행규칙)
 - 소각시설의 처리능력이 2톤/hr 이상 경우, 6개월마다 1회 이상
- 측정일시
 - 제 1 차 : 2020. 03. 24. ~ 2020. 04. 08.

<표Ⅳ.3- 9> 고려시멘트 소성로 굴뚝의 다이옥신 농도

[Unit: ng-TEQ/Sm³]

	03월	품질기준
측정값	0.008	0.1

자료출처 : 고려시멘트 내부자료

소각시설 주변의 다이옥신 조사

- 조사 근거
 - 폐기물관리법 : 제31조 3항, 동법 시행령 제14조, 동법 시행규칙 제46조
 - 소각시설의 처리능력이 50톤/일 이상 경우, 3년마다 1회
- 측정일시
 - 제 1 차 : 2019. 07. 11. ~ 2019. 07. 12.
- 측정결과

<표Ⅳ.3-10> 고려시멘트 주변지역의 다이옥신 측정 결과(2019)

[Unit: pg-TEQ/Sm³]

	측정지점			환경기준
	A-1	A-2	A-3	
측정값	0.000	0.000	0.001	0.6

자료출처 : 고려시멘트 내부자료, 2021

□ 일산화탄소(CO) 농도와 다이옥신

○ 일산화탄소 배출량

- 폐자원의 불완전연소에 의해 배출되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 농도는 다이옥신의 중요한 지표 대기오염물질임
- 2018년 CO 배출량은 18,584kg, 2020년 8,959,754kg으로 2018년 대비 482.1배, HC는 7.2배 증가하였으며, 2018년 대비 대폭적인 배출량 증가에 따른 원인 규명이 필요함
- HC, CO의 발생량은 증가는 연료의 불완전연소에 기인하기 때문에 반입되는 연료의 함유량 및 성상조사, 운전조건에 대한 자료 필요
- 또한, 다이옥신의 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 플라이애시와 소성로의 바닥재에 대해 다이옥신을 주기적으로 분석 필요성 제기

<표Ⅳ.3-11> 고려시멘트의 연도별 CO, HC의 배출량

[Unit : kg/yr]

오염물질명	2016	2017	2018	2019	2020
CO	56,997	22,237	18,584	23,952	8,959,754
HC	0	0	2,826	0	20,345

자료출처 : 고려시멘트 내부자료, 2021

3.4 소성로시설과 주거지역

□ 대상 사업장의 주변 환경

○ 인구 현황

- 대상 사업장(반경 1.0km) : 장성읍과 황룡면

<표Ⅳ.3-12> 소각시설 주변의 연령별 인구 현황

[Unit : 명]

연령	장성읍			황룡면			합 계
	총인구	남	여	총인구	남	여	
합 계	13,532	6,719	6,821	4,385	2,188	2,197	17,917
0 - 4	519	261	258	120	58	62	639
5 - 9	550	280	270	101	48	53	651
10 - 14	542	287	255	132	65	67	674
15 - 19	702	366	366	197	104	93	899
20 - 24	796	425	371	253	141	112	1,049
25 - 29	542	264	278	198	102	96	740
30 - 34	542	287	255	137	61	76	679
35 - 39	809	413	396	205	108	97	1,014
40 - 44	864	466	398	241	142	99	1,105
45 - 49	1,064	602	462	224	135	128	1,288
50 - 54	1,048	605	443	408	224	184	1,456
55 - 59	1,138	586	552	446	239	207	1,584
60 - 64	996	503	493	369	207	162	1,365
65 - 69	920	435	485	326	154	172	1,246
70 - 74	802	370	432	274	122	152	1,076
75 - 79	765	299	466	260	98	162	1,025
80 - 84	578	194	384	209	59	150	787
85 - 89	245	57	188	97	24	73	342
90 - 94	81	17	64	36	7	29	117
95 - 99	17	1	16	11	1	10	28
100 이상	12	1	11	6	0	6	18

자료출처 : 장성군 통계연보, 2021

○ 미세먼지 및 대기오염물질 취약 시설

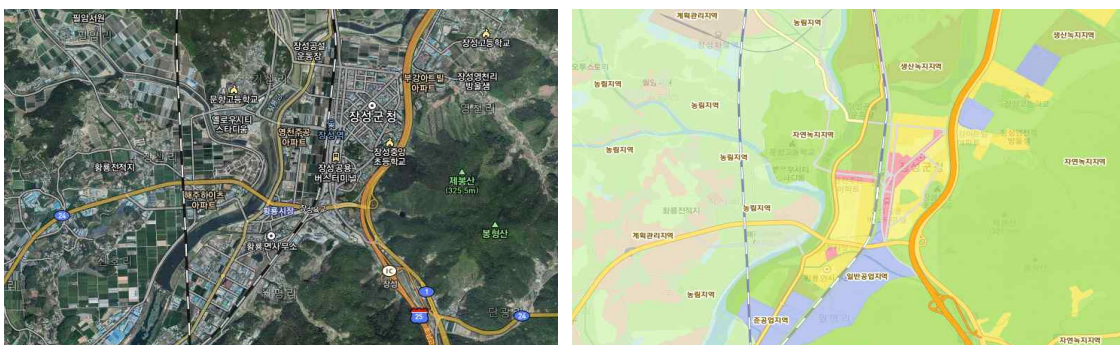
<표Ⅳ.3-13> 시멘트 소성로 주변의 대기오염물질 민감·취약시설

[Unit : m]

시설명	거리
월평초등학교	200m
중앙 초등학교	940m
장성 여자중학교	800m
삼가2동 마을회관	470m
단광 마을회관	50m
공립 소중한 어린이집	400m
온누리 어린이집	520m
기은지역 아동센터	700m
장성 새마을 유치원	450m

○ 토지 용도별

- 제1종 일반주거지역
- 간접영향권의 범위는 ‘폐기물처리시설 설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률 시행령’ 제20조에서 소각시설의 부지 경계선으로부터 300m 이내임
- 고려시멘트 사업장과 같이 제1종 주거지역과 밀접한 지역에서 운영 중인 시멘트 소성로 시설은 국내에는 거의 없음

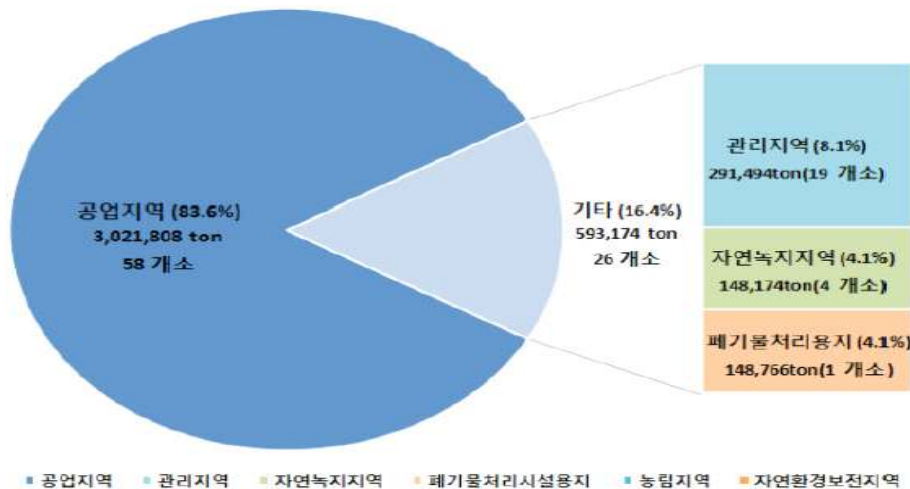


[그림Ⅳ.3-17] 고려시멘트 소성로시설과 민감·취약시설

□ 용도지역별 사용시설

- 고형연료를 포함한 소각시설 사용업체가 입지하고 있는 지역을 DAUM 지도의 용도지역정보를 활용하여 용도지역별로 구분하여 분석하였음
- 고형연료 사용시설은 공업지역, 관리지역, 자연녹지지역, 폐기물처리시설용지, 농림지역, 자연환경보전지역에 분포하고 있음
- 각 입지별 고형연료 사용량을 살펴보면, 공업지역(83%)이 비율이 가장 높고, 관리지역에 19(8%)개소, 자연녹지지역에 4(4%)개소, 폐기물처리용지는 1개소로 사용량이 자연녹지지역과 비슷하여 역시 4%를 차지하고 있음
- 이 밖에 농림지역 1개소, 자연환경보전지역 1개소 순위로 파악되었으나, 사용량이 상대적으로 적어 그림에서는 제외하였으며, 공업지역 내에서도 산업단지에 분포하고 있는 비율은 약 27%로 파악되었음

[Unit : 개소, %]



자료출처 : 김유미, 고형연료 에너지 시설의 대기오염물질 관리 개선방안 연구, 2018

[그림 IV.3-18] 용도지역별 고형연료 사용량 현황

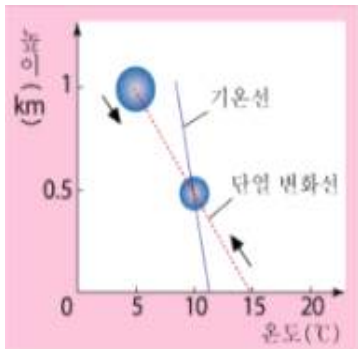
4.1 대기안정도와 대기오염물질

□ 대기안정도

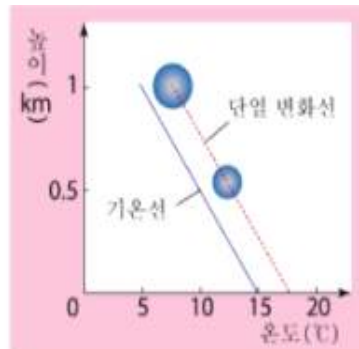
- 대기의 혼합 정도는 고도별 기온 변화율과 풍향 변동에 의한 난류 강도로 표현할 수 있으며 이를 등급으로 분류한 것
 - 대기 중에서 더운 공기는 위로 올라가고 찬 공기는 아래로 내려오게 되며, 하층의 공기가 위보다 차가울 때에는 상하간의 이동이 일어나지 않는 안정한 상태
 - 지형 특성 및 풍향의 변동과 난류에 의해 수평방향의 확산도가 변화됨
- 대기의 안정도는 난류와 함께 대기경계층 또는 혼합층 내에서 오염물질의 확산 정도를 결정하는 중요한 인자

□ 대기안정도 분류

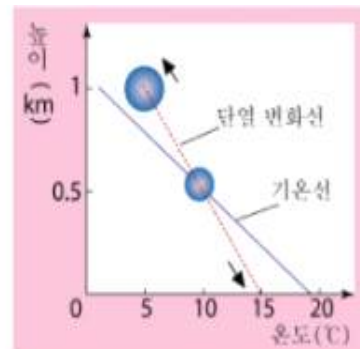
- 대기가 불안정하다는 것은 공기의 연직 운동이 매우 활발하다는 것이고, 반대로 대기가 안정하다는 것은 공기층의 연직 운동이 활발하지 않다는 것임



< 안정 >



< 중립 >



< 불안정 >

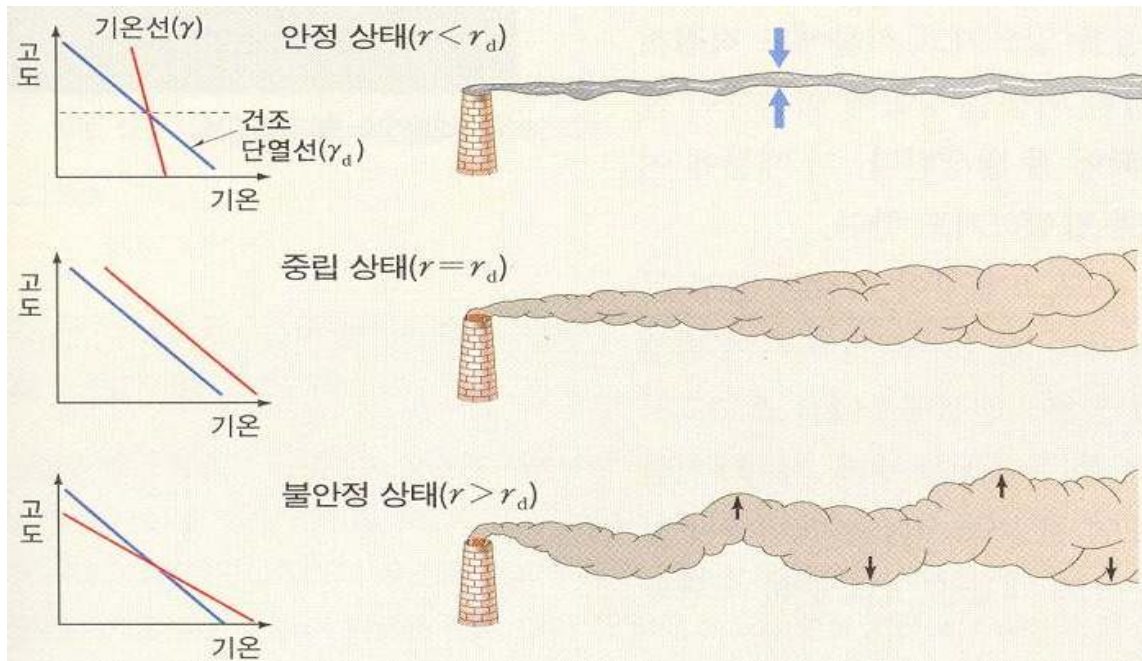
[그림Ⅳ.4- 1] 정적인 대기안정도

<표Ⅳ.4- 1> 대기안정도와 대기오염물질 확산

안정	중립	불안정
기온 감률 < 단열 감률	기온 감률 = 단열 감률	기온 감률 > 단열 감률
층운형 구름이 잘 생김		적운형 구름이 잘 생김
상승 또는 하강한 공기가 원위치로 되돌아옴	상승 또는 하강한 공기 덩어리가 이동한 위치에 그대로 머무름	상승 또는 하강한 공기가 원위치로 되돌아오지 않음
대류가 잘 일어나지 않음	대류가 약함	대류가 잘 일어남

□ 대기안정도와 대기오염물질의 확산

○ 대기가 안정되면 대기오염물질의 확산이 원활하지 못하며, 특히 이러한 조건은 야간이나 아침에 주로 나타나며 이때 낮은 혼합고나 대기역전층이 함께 발생하는 경우가 많으므로 고농도가 나타나게 됨



[그림Ⅳ.4- 2] 대기안정도와 대기오염물질 확산

4.2 안개와 대기오염물질

안개

- 안개는 대기 하층 지면이나 해수면에 가까운 고도에서 수증기가 응결하여 액체 물 입자가 부유하여 발생하는 현상
- 안개는 지표면이나 해수와 대기의 온도 차이에 의해 주로 발생하거나, 하층의 공기 덩어리가 기온차가 큰 지역으로 이동하는 과정에서 수증기 응결에 의해 발생됨

장성군과 안개

- 증발안개는 증발에 의한 안개로 찬 공기가 따뜻한 수면위로 이류할 때 발생하는 안개
 - 증발안개가 발생하기 위해서는 기온과 수온의 차이가 상당히 커야 하고 수면으로부터 높지 않은 고도에 기온 역전층이 존재
 - 가을에 호수나 강 부근에서 주로 발생
- 복사안개는 복사 냉각으로 발생하는 안개로 기온이 이하일 때 발생
 - 지표의 온도가 공기의 온도보다 낮아지면 발생
 - 그리 높게 발달하지 않고 대체로 내륙지방에 형성됨
 - 온도가 가장 낮은 해가 떠오르기 직전에 가장 진하게 생성되며, 해가 뜨면 기온이 상승해 소멸됨

스모그 현상

- 스모그(smog)는 대기오염 현상의 하나이며, 스모크(smoke)와 포그(fog)가 합성어로 원래는 연기와 안개가 섞인 것을 가리킴
 - 자동차 배기가스나 공장 등에서 나오는 대기오염물질 때문에 발생되며, 바람에 실려가 주변지역에 피해를 발생하게 함

- 장성읍과 황룡면은 황룡강의 영향으로 타 지역보다 짙은 안개와 발생빈도가 높은 지역임
 - 안개는 주변의 공장이나 가정에서 배출되는 아황산가스(SO₂), 질소산화물(NOx), 매연 등과 합쳐 스모그를 발생시킴

□ 스모그 원인물질

- 아황산가스(SO₂) : 공장, 빌딩 등의 연소시설이나 산업체 및 가정 등의 난방시설이 주요 배출원
- 질소산화물(NOx) : 질소산화물은 연료의 연소시 고온에 의하여 공기 중의 질소와 산소가 반응하여 생성되는 것
- 미세먼지 : 시정이 나빠지는 것은 에어로졸이 빛을 산란시키거나 흡수하여 소멸시키기 때문에 입자의 주요 성분은 황산염, 질산염, 원소탄소, 유기탄소임
- 안개 : 기온의 급강하로 아침에 주로 생기는 안개의 현상이 시계를 방해하는 물질중의 하나임
- 탄화수소(HC) : 불완전연소와 증발에 의해서 배출되므로 자동차가 주요한 배출원이며 정유시설, 저유소 및 정유소의 연료탱크에서 증발되는 연료, 페인트 용매, 세탁소에서 사용하는 용매 등도 탄화수소의 주요한 배출원임

□ 피해사례

- 각막이나 기관의 점막을 자극하고 호흡기 질환을 유발하며, 식물에 피해
- 호흡기에 관련되기 때문에 목이 아프고 기침을 하거나, 피부에도 이상이 올 수 있으며, 증상이 심할 경우에는 호흡 곤란, 수족 마비, 현기증, 두통, 발한, 구토 등이 나타날 수 있음

4.3 굴뚝의 높이와 건물 영향

□ 세류현상(Down Wash)

- 굴뚝의 수직 배출속도에 비해 굴뚝높이에서 평균풍속이 크면 플룸이 굴뚝 아래로 훑날리는 형상
- 굴뚝 배출구의 가스유속을 풍속보다 최소한 2배 이상 높게 유지

□ 다운드래프트 현상(Down Draft)

- 굴뚝의 높이가 주위 지형이나 건물의 높이보다 낮아 연기가 주위 건물 후면으로 말려들어가는 현상
- 대기오염물질을 배출하는 굴뚝의 풍상 측에 굴뚝 높이에 비교할 만한 건물이 있으면 건물 때문에 난류가 발생하며, 이 난류에 의해 플룸이 풍상측 건물 후면으로 흐르게 되는 것
- 굴뚝의 높이를 주위건물의 2.5배 이상 높게 설치



[그림Ⅳ.4- 3] 굴뚝의 높이와 주변 건물과의 관계

4.4 도시경관 및 사업장의 허가 내역

□ 도시경관

- 시멘트산업은 장치산업인 만큼 시멘트 공장 특유의 경관을 나타냄
- 시멘트 공장은 공장부근에 자체적으로 광산을 소유하고 있으며, 석회석을 캐내는 석회석 광산과 석회석 원료를 운반하는 도로를 점유하고 있음
- 조쇄한 석회석, 철광석, 점토, 폐기물을 보관하는 적치장 노출
- 거대한 원통기둥의 원료 싸이로, 제품 포장실 설치
- 킬른 및 예열탑. 대기오염물질을 배출하는 굴뚝 도출
- 공장부근에는 원료와 제품을 운반하는 철도와 도로 등으로 구성되어 있어 도시미관, 발전 등에 직·간접적으로 영향을 미치고 있음

□ 허가 내역

- 고려시멘트는 장성군(1996. 08. 14)으로부터 폐기물 종합 재활용업 허가를 받아 운영 중에 있음
- 원료
 - 오니류(무기성, 유기성), 그 밖의 분진, 폐주물사
 - 폐합성수지류, 그 밖의 폐합성고분자화합물
 - 고로슬래그, 그 밖의 광재류, 폐패각
- 연료
 - 자동차 폐타이어, 그 밖의 폐타이어
- 시설장비
 - 기계적 재활용시설(분쇄시설(175톤/시간), 정제(분리)시설(60톤/시간)
 - 시멘트 소성로(2,400톤/일, 768,000톤/년)

○ 허가 조건

- 타인에게 자기의 상호 또는 대표자 명의를 사용하여 폐기물을 수집운반하게 하거나 허가증을 대여할 수 없음
- 폐기물 처리시 민원이 발생치 않도록 할 것
- 폐기물관리법 및 환경관계법령 등 폐기물처리업과 관련된 제반법령을 준수할 것
- 상기 허가 조건을 이행하지 않을 경우 영업정지 및 허가취소 등 행정처분을 할 수 있음

V 결론

1. 결론
2. 협력방안

- 장성 고려시멘트 제조사업장은 소성로 기준 2020년 생산 능력은 클링커 66.7만톤, 시멘트 169만톤으로 국내에서 가장 규모가 작지만, 시멘트 공장의 분진과 관련하여 1970년대 공장의 초기 가동 당시부터 피해 보상과 공장 이전을 요구하는 주민들의 민원이 계속되어 왔음
- 본 조사의 궁극적인 목표는 선행된 자료를 기반으로 시멘트 광산과 소성로를 보유한 고려시멘트에서 배출되는 미세먼지를 보다 체계적이고 효과적인 관리 방안을 제안하고자 함

□ 원료 및 연료 사용량

- 고려시멘트의 연간 생산량은 2017년 171.3만톤, 2018년 178.8만톤, 2019년 172.0만톤, 2020년 169.0만톤으로 2017년 대비 거의 변화가 없으며, 2020년에 약간 감소하였음
- 2020년 기준 85만톤의 석회암을 채굴하고 있으며, 2017년 96.6만톤, 2018년 95.9만톤, 2019년 99.8만톤으로 증가하다가 2020년에 약간 감소하는 추세임
- 유연탄의 연도별 사용량은 2017년 9.7만톤, 2018년 9.8만톤, 2018년 9.6만톤, 그리고 2020년에 가장 적은 8.4만톤을 채굴하였음

□ 폐자원 반입량

- 고려시멘트의 연간 폐자원의 반입량은 2017년 200,692톤/년, 2019년 276,884톤으로 증가하다가 2020년에 약간 감소하여 254,793톤으로 조사됨
- 2020년 기준 폐자원의 반입량의 비율은 무기성오니류가 49.4%로 가장 많고, 다음으로 석탄재 41.1%, 유기성오니류 8.2%으로 대부분(98.7%)을 차지하고 있음

□ 바닥재를 고려한 폐자원 연료 반입량 추정

- 폐타이어와 폐합성수지의 바닥재 중량은 2018년도에 44,579톤에서 2020년 23,246톤으로 감소하였으며, 바닥재 중량(10%)으로 폐타이어 및 폐합성수지 사용량은 445,760톤과 232,460톤으로 추정됨
 - 고려시멘트의 2020년 폐타이어 및 폐합성수지의 반입량이 4,349톤으로 바닥재 중량으로 추정한 반입량과의 차이가 존재함을 알 수 있음

□ 일반대기오염물질 배출현황

- 일산화탄소(CO)는 2016년 57.0톤, 2019년 23.8톤에서 2020년에 매우 증가하여 8,959.8톤으로 대기오염물질 중에서 가장 많이 배출되고 있음
 - CO와 탄화수소(HC)는 불완전연소에 의해 배출되는 대표적인 오염물질로 2020년 다량 배출에 따른 다이옥신의 배출량이 증가될 것으로 예상됨
- 질소산화물(NOx)은 2016년 692.4톤, 2019년에 급격하게 증가하여 1,222.8톤, 그리고 2020년에 감소한 815.1톤을 배출하고 있음
- 미세먼지는 2016년 49.4톤, 2020년 22.5톤으로 감소 추세이며, 소성공정에서 92.9%(20.9톤)를 차지하고 있음
- 탄화수소(HC)는 2016년 0.0톤, 2020년에는 20.3톤이 배출되고 있음

□ 중금속물질 및 유해오염물질 배출현황

- 2020년 기준 시안화수소(HCN)가 0.9톤으로 가장 많이 배출되고, 불화수소(HF) 0.7톤, 그리고 염화수소(HCl) 0.6톤 배출되고 있음
- 그 밖의 카드뮴, 납, 크롬화합물은 거의 배출되지 않고 있음

□ 잔류성유기화합물(다이옥신)

- 폐자원의 불완전연소에 의해 배출되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 농도는 다이옥신의 농도에 중요한 지표 물질이며, 2018년 CO 배출량은 18,584kg, 2020년 8,959,754kg으로 2018년 대비 482.1배, HC는 7.2배 증가함
- 반입되는 폐자원의 성분분석과 운전조건, 소각 후 발생하는 바닥재, 플라이애시에 대한 주기적인 분석이 필요함

□ 환경오염물질 농도 현황

- PM_{2.5}의 농도는 24.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환경기준 농도를 초과하고 있으며, PM₁₀의 농도는 44.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 타 지역의 시멘트 제조 사업장 주변의 농도보다 약간 높게 나타나고 있음
- 납(Pb)과 알루미늄(Al) 농도는 타지역 시멘트 사업장 주변의 농도보다 높은 경향을 나타내며, 그 밖의 중금속 농도는 낮게 검출되고 있음
- 다환방향족탄화수소(PAHs) 농도는 Benzo(a)pyrene, Chrysene, Indeno(1, 2, 3-cd) 타지역 시멘트 사업장 주변의 농도보다 높은 경향을 나타내며, 그 밖의 PAHs 농도는 비교적 낮게 검출되고 있음
 - 타 지역에 비해 PAHs 농도가 높은 것은 폐수오니, 폐합성수지 및 페타이어의 소각한 것에서 기인한 것으로 예상됨
- 고려시멘트 사업장 주변의 토양에서는 불소(F) 주변지역 농도보다 높게 나타나고 있으나, 토양오염기준을 만족하는 것으로 조사됨

□ 시멘트 사업장 주변의 환경 영향

○ 생태계에 미치는 영향

- 시멘트 소성로 주변에서 재배되는 사과나 배추 등의 농작물에서 중금속이 추출되는 경우가 있음
- 분진에 의해 농작물의 생육, 수량 및 품질 저하 등이 발생할 수 있음

○ 인체에 미치는 영향

- 시멘트 분진에 의한 피해는 호흡기, 소화기, 신경계, 림프계 등 신체의 모든 부분에서 여러 가지 증상이 발생되고 있는 것으로 조사됨
- 다환방향족탄화수소(PAHs)는 피부 및 인체 내에 축적되어 유두종, 선천성 기형 유발, 변이원성, 암을 유발할 수 있는 것으로 조사됨

□ 폐자원 반입량 자료의 신뢰성 확보 및 실시간 공개

- 고려시멘트 사업장은 소성로에 사용되는 유연탄, 폐수오니(원료), 폐합성수지(원료), 페타이어(연료) 등을 허가받아 소각하고 있음
 - 반입되는 폐자원의 양과 이론적인 소각량에 대한 차이가 존재함
- 지역의 실시간 대기환경 정보를 제공함으로써 그 동안의 행정 불신 및 민원해소와 먼지 농도에 따른 주민 실외 생활 정보제공
 - 신뢰성 있는 자료 확보를 위해 사업장 주변에 CCTV 설치, 폐자원 운반 차량에 대한 GPS 등을 부착과 실시간 자료 공개

□ 대기오염물질 저감시설 및 소성로 굴뚝 개선

- 고려시멘트의 대기오염물질 방지시설은 선택적비촉매환원탑(SNCR), 세정집진, 백필터에 의해 소성로에서 배출되는 대기오염물질을 저감하고 있음
 - 현재 사용되고 있는 대기오염물질 저감시설은 설치연도가 오래된 된 방지시설에 대한 전반적인 개선사업이 필요함
- 질소산화물(NOx), PAHs, 다이옥신을 저감하기 위한 방지시설 확충
 - 폐수오니, 폐합성수지, 페타이어의 소각 시 타 물질에 비해 유해대기오염물질이 질적, 양적으로 많이 배출되고 있으므로, 선택적촉매환원탑(SCR)와 2차 B/F시설을 부착하여 배출되는 대기오염물질 저감이 필요함
- 고려시멘트의 굴뚝 제원은 높이 40m, 직경 2.95m, 배출속도 10.62m/s
 - 굴뚝, 주변건물의 세류현상을 방지 및 대기확산, 대기 혼합고, 안개발생 등 주변 지역의 미기상을 고려한 굴뚝 개선 사업이 필요함
- 비포장도로를 포장하고, 노면 청소차 구입 등 주변 환경개선

□ 주변지역 환경 및 건강 영향조사 실시(폐기물 관리법 제31조)

- 대통령령으로 정하는 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자는 그 폐기물처리 시설의 설치·운영이 주변 지역에 미치는 영향을 3년마다 조사하고, 그 결과를 환경부장관에게 제출하여야 함
 - 대기, 폐기물, 수질, 악취, 농작물, 산림, 교통, 도시미관, 토양 등 환경영향조사
 - 취약계층 및 인체에 미치는 건강영향조사
- 건강영향평가
 - 미세먼지 및 대기오염물질 농도에 대한 건강영향평가
- 환경 및 건강영향평가 자료 공개
 - 환경부장관은 「공공기관의 정보 공개에 관한 법률」로 정하는 바에 따라 제2항에 따른 측정 결과와 제3항에 따른 조사 결과를 공개하여야 함 <개정 2015. 1. 20.>

□ 건축물, 공작물 설치 및 용도변경 등 현황조사 실시

- 사업장 내에 허가 및 임의로 사용되고 있는 건축물과 공작물에 대한 현황측량 및 드론 촬영을 실시하여 무허가 건축물 확인 필요
 - 주변지역의 하천 및 도로에 대한 불법점유 조사 필요
- 소각시설과 부대시설, 원료 및 연료 저장시설, 파쇄기, 수질처리장 등 환경기초 시설에 대한 운영실태 및 용도변경 조사 실시
 - 소성로, 세륜시설 등 주변지역의 분진 방지시설 운영
 - 폐수처리시설과 주변 하천 주변
- 석회광산 복원 등 현황조사

□ 주민 협력강화

○ 거버너스 구성

- 장성군수가 주관하여 주민대표, 의회, 고려시멘트 등이 참여하는 협의회 구성·운영
- 환경관리개선, 사고예방·조치, 주민지원사업, 기타 주민 요구사항 등 상호 협력 및 개선방안을 마련하여 추진
- 영산강유역청은 지역협의회 구성·운영의 활성화를 위한 자문과 기술지원 실시

○ 지역 상생기금 조성

- 주민 기피시설 관리 및 주민지원에 관한 조례 제정
- 고려시멘트 주변 주민지원을 위한 기금을 고려시멘트가 설치하고 운영
- 기금 재원은 고려시멘트의 수익금 일부 출연을 고려
- 기금은 고려시멘트 주변지역 주민지원사업, 환경보전 및 생활 숲(공원) 등 조성사업, 취약계층시설 지원, 학교 장학금 지원 등

□ 고려시멘트 부지 최적화 모델개발

○ 현황(2029년 폐쇄 예정)

- 미세먼지를 포함한 대기오염물질 다량 배출원
- 장성군의 브랜드 이미지와 미관, 교통, 장성 미래발전 저해 등

○ 최적화 개발모델 제시

- 장성군의 이미지 개선과 환경문제 해결
- 황룡강, 축령산, 고려시멘트 재생과 연계한 의료환경산업, 문화관광산업 제안
- 장성고, 광주근교 배후도시를 구상한 생태교육 주거단지 조성

□ 참고문헌 □

1. 김정윤·김형석·유광석, 국내 석회석 산업의 현황 - 석회석 가공 산업을 중심으로, 한국자원공학회지, Vol 52, No 2, p. 263-269, 2015
2. 한국순환자원유통지원센터(www.kora.or.kr)
3. 환경부(2015), 고품연료제품 수입·제조·사용 신고 및 검사제도
4. 장성군 통계연보(2020)
5. 기상청 기상연보(2019)
6. 환경부(2012), 제3차 국가폐기물관리 종합계획 마련을 위한 연구
7. 한국환경정책·평가연구원(2016), 자원순환사회 전환을 위한 중장기 전략 마련 연구(1)
8. 환경부(2012), 생활폐기물 소각시설 설치·운영지침 해설서 개정본
9. 박 영구 외 13인, 동해항 환경오염 실태조사 등 연구용역, 강원지역환경기술개발센터, 2010
10. 김현, 시멘트공장 주변지역 환경보건 종합평가 및 개선방안 연구, 환경부·국립환경과학원, 2015
11. 조선대학교, 장성군 시멘트공장 및 광산 주변지역 주민건강영향조사 최종 보고서. 2013
12. 오재현, 시멘트 산업에서의 자원재활용, (사)한국자원리사이클링학회, 제20권 제1호, 2017

