

시멘트 산업의 이산화탄소 배출현황 및 환경부하 저감형 재생시멘트 제안

Current State of Carbon Dioxide Emission in Cement Industry and Proposal for the Environment Load Reducing Cement used Inorganic Construction Wastes



김낙현 Rak-Hyun Kim
한양대학교 친환경건축기술연구소
박사후 연구원
E-mail : redwow6@hanyang.ac.kr

1. 머리말

오늘날 시멘트 산업은 시멘트 제조시 발생하는 이산화탄소의 배출량을 줄이기 위해 각종 산업부산물을 연료의 대체재로 사용하거나 건설폐기물을 재활용한 콘크리트 2차 제품을 개발하는 등 환경부하 저감 산업으로 변모하기 위해 노력하고 있다. 국내 시멘트 산업은 국가 경제발전의 부흥과 함께 주택건설 등이 활발히 이루어져 그 수요가 급증함과 동시에 비약적인 발전을 이루었다. 최근에 이르러서는 폐기물을 재이용하는 등의 친환경 산업으로 변모하고 있다. 국가 온실가스 배출량 관련 통계자료에 의하면 국내 광물산업 부문의 온실가스 배출량은 전체 산업공정분야에서 62% (32,612 천 톤 CO_{2eq})를 차지하고 있으며 시멘트 산업에 의한 온실가스 배출량은 전체 광물산업의 73.6% (23,990 천 톤 CO_{2eq})로 많은 비율을 차지하고 있다[1]. 국내 생산되는 시멘트는 보편적으로 1종 포틀랜드 시멘트가 가장 많이 생산되며 크게 원료공정, 소성공정, 제품생산 공정 단계를 거쳐 생산된다. 시멘트 제조 공정에서 배출되는 이산화탄소의 주요 배출요인은 직접 배출원인으로 고정연소, 이동연소, 공정배출이 있으며 간접 배출원인으로 전기(전력)사용에 대한 배출이 있다. 고정연소는 소성로, 보일러 등과 같은 고정 장비에서의 연료 연소이며 이동연소는 차량, 중장비, 화차 등 수송 장비의 연료 연소를 의미한다. 공정배출은 제품제조 시 소성에서의 이산화탄소 배출로 탈탄산화반응에 의해 주원료인 석회석의 분해 과정에서 이산화탄소가 다량 배출된다[2].

<그림 1>은 시멘트 산업의 각 제조 공정별 투입되는 이산화탄소 배출원의 종류와 이후 발생하는 이산화탄소의 배출량 비율을 나타내며 소성 공정에서의 탈탄산화반응과 연료사용 및 전기사용 에서 각각 60%, 33%, 6%의 비율로 발생된다. 이와 관련하여 건설재료 분야에서는 시멘트의 주원료인 석회석의 대체 재료로 각종 폐기물을 이용한 친환경 시멘트 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[3, 4]. 이에 본고는 무기계 건설폐기물을 이용한 환경부하 저감형 재생시멘트의 개발 가능성 및 이에 따른 환경부하 저감 효과에 대해 소개하고자 한다.

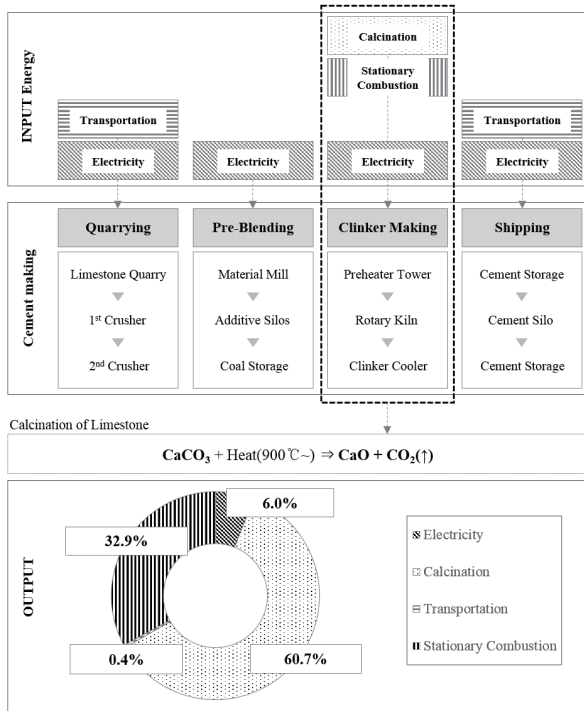


그림 1. CO₂ emission flow from cement manufacturing process

2. 건설폐기물 종류 및 발생추이 분석

환경부의 전국 폐기물 발생 및 처리 현황을 살펴보면 건설 폐기물의 양은 전체 폐기물 발생량 가운데 생활폐기물과 사업장 일반폐기물에 비해 꾸준한 증가 추세에 있다. 건설폐기물은 여전히 전체 폐기물 가운데 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 2015년에는 48.9%로 전체 폐기물 구성비 가운데 가장 많은 비율을 차지하고 있다[5]. 또한, 최근 연립주택이나 아파트의 재건축 연한이 40년에서 30년으로 단축됨과 동시에 1990년대 건설된 건축물의 재건축 및 리모델링 현상이 증가될 것으로 예상되는 바, 건설폐기물의 발생량과 차지하는 비율은 더욱더 증대될 것으로 예측된다. 실제 건축물의 설계단계에서부터 시공, 운영, 해체단계에 이르러 전과정에서 배출되는 다량의 건설폐기물의 처리는 다음과 같다. 수집·운반업체는 건설현장으로 부터 건설폐기물을 인수받아 자체 집하장에서 성상별로 1차 선별한 후 재생 가능한 폐기물은 중간집하

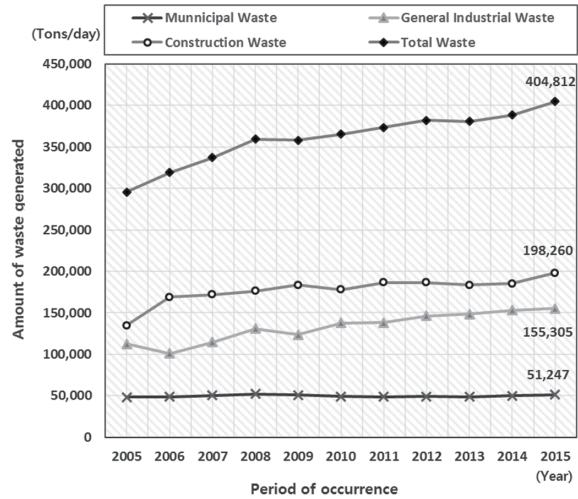


그림 2. Current Status of waste generation

장, 지역물류센터, 재활용센터, 전문처리업체 등 중간처리업체에 위탁 처리되며, 이후 콘크리트 2차 제품 등으로 재활용되거나 잡쓰레기 등은 최종 처분장으로 직접 반출되어 소각, 매립지등으로 운반 처리되는 형태가 많다. 발생하는 건설폐기물은 하기의 [표 1]과 같이 분류되어 처리되고 있으며, 폐콘크리트와 페아스콘이 가장 많이 배출되고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 재활용이 가능성이 있는 다양한 무기계 건설폐기물은 대부분 불연성 폐기물 및 건설폐재류에 속해있다.

현재 불연성 폐기물 및 건설폐재류의 경우 암물박스에 혼합 보관·배출되고, 수집·운반 집하장으로 반입되어 건설폐기물의 정확한 구분 없이 매립 처리되고 있는 실정이다. 이러한 재활용이 가능성이 있는 다양한 무기계 건설폐기물들을 주유하게 관리할 대상을 선정할 수 있다면, 건설폐기물을 최소화하고 재활용률을 최대화할 수 있는 친환경적인 건설생산시스템 구축에 기여할 수 있을 것이다.

3. 무기계 건설폐기물을 이용한 환경부하 저감형 재생시멘트 제안

3.1 건설폐기물 화학성분 분석

[표 1] Classification and occurrence of construction waste

(Unit : Ton/Day)

Waste Classification		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Construction waste materials	Concrete	114,302	121,181	117,754	111,653	114,908	124,451
	Asphalt Concrete	32,535	35,245	35,738	35,398	33,725	35,509
	Etc ¹⁾	2,132	2,339	2,957	3,280	2,393	3,230
	Sub total	148,969	158,765	156,448	150,331	151,026	163,190
Combustibility wastes	Wood	636	592	683	704	866	923
	Syntheticresin	839	1,096	1,261	1,695	1,586	1,654
	Etc ²⁾	98	20	21	19	67	11
	Sub total	1,573	1,708	1,964	2,418	2,519	2,588
Non combustibility wastes	Construction Sludge	645	1,403	644	1,052	707	995
	Etc ³⁾	9	4	7	6	170	41
	Sub total	654	1,407	651	1,058	877	1,036
Construction soil debris		5,347	4,838	5,094	5,067	5,863	7,659
Mixed construction wastes ⁴⁾		21,577	19,699	22,471	24,664	25,097	23,787
Total		178,120	186,417	186,629	183,538	185,382	198,260

1) Construction waste materials etc : Waste Brick, Waste Block, Waste Roofing Tile

2) Combustibility wastes etc : Waste Fiber, Waste Wallpaper

3) Non-combustibility wastes etc : Waste Metal, Waste Glass, Waste Tile, Waste Ceramics

4) Mixed construction wastes : Mixed Construction Waste, Waste Board, Waste Panel

시멘트는 석회질과 점토질원료로 미분쇄 혼합된 무기물질의 혼합분말로서 물과 결합하면 화학반응을 일으켜 경화하는 건설산업의 필수 건설 재료이다. 포틀랜드 시멘트의 대표적인 화학성분은 아래 [표 2]와 같이 산화칼슘(CaO) 이산화규소(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화제이철(Fe₂O₃) 순으로 구성되어 이루어져있다[6]. 이 화학성분의 혼입량에 의해 소성 후 시멘트 구성 광물의 비율이 변화한다. 그 비율에 따라 시멘트의 성질도 변하기 때문에 소성전의 원료의 화학 성분을 정

량적으로 평가하고 기존의 시멘트의 화학 성분과 일치시키는 것이 무엇보다 중요하다.

본고에서는 타일, 유리, 벽돌, ALC, 석고보드, 콘크리트 미분말 등 CaO 및 SiO₂를 다량 포함한 무기계 건설폐기물의 화학성분이 시멘트의 화학성분과 유사한 것에 착안하여내 기존 문헌고찰을 통해 건설폐재류를 중심으로 페타일, 폐석고보드 등 6종의 무기계 건설폐기물에 대한 화학성분표를 [표 3]과 같이 수집하였다. 수집된 무기계 건설폐기물의 화학성분을 살펴보면 폐석고보드의 경우 SiO₂의 함량이 적고 시멘트에서 가장 많은 비율을 차지하고 있는 CaO를 다량함유하고 있어 석회석(천연)의 대체 재료로서 가장 유용하게 이용될 것으로 예상되었다. 또한, 시멘트의 두 번째로 가장 많은 비율을 차지하는 SiO₂에 대한 대체 재료로는 페타일, 폐유리 및 폐점토벽돌이 예상되었으며, 폐경량기포콘크리트와 폐콘크리트 미분말은 SiO₂뿐만 아니라 CaO성분도 적절한 비율을 차지하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만, 시멘트 제조에 있어 석회질과 점토질의 원재료를 대체하기엔 불순물들이 다수 포함되어있다

[표2] The average chemical composition of Portland Cement

시멘트 화학조성(화학성분)

(Unit : weight percentage, %)

Portland	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Type I	63.8	22.1	5.0	3.0
Type II	63.6	23.3	3.9	3.9
Type III	64.9	20.8	4.5	2.8
Type IV	63.0	25.9	3.0	2.8
Type V	65.0	22.4	3.4	4.4

[표 3] Investigation of the chemical composition of inorganic construction waste though the existing literature discussion

(Unit : weight percentage, %)

No	Construction Waste	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	L.O.I*	Total
1	Waste Tile	61.40	17.43	1.73	8.80	1.13	0.68	1.27	-	0.36	6.61	99.41
2	Waste Glass	71.00	1.47	0.07	8.91	4.04	13.10	0.83	0.24	-	-	99.66
3	Waste Brick	64.34	24.10	4.81	0.57	1.13	0.78	2.89	-	1.09	-	99.71
4	Waste ALC	48.30	3.69	1.88	28.10	1.59	0.26	0.62	1.66	-	13.30	99.40
5	Waste Gypsum board	1.60	0.69	0.22	54.32	0.1	0.46	0.23	41.47	0.49	-	99.58
6	Waste Concrete powder	45.50	11.90	1.90	29.80	1.90	-	3.00	1.40	-	2.30	97.70

*L.O.I : Loss on ignition

[표 4] Bogue formula

Content ratio	Prediction formula
Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ > 0.64	C ₃ S = [4.071 × CaO(%) - [7.600 × SiO ₂ (%) - [6.718 × Al ₂ O ₃ (%) - [1.430 × Fe ₂ O ₃ (%) - [2.852 × SO ₃ (%)]
	C ₂ S = [2.867 × SiO ₂ (%) - [0.7544 × C ₃ S(%)]
	C ₃ A = [2.650 × Al ₂ O ₃ (%) - [1.692 × Fe ₂ O ₃ (%)]
Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ < 0.64	C ₃ S = [4.071 × CaO(%) - [7.600 × SiO ₂ (%) - [4.479 × Al ₂ O ₃ (%) - [2.859 × Fe ₂ O ₃ (%) - [2.852 × SO ₃ (%)]
	C ₂ S = [2.867 × SiO ₂ (%) - [0.7544 × C ₃ S(%)]
	C ₄ AF = [2.100 × Al ₂ O ₃ (%) - [1.702 × Fe ₂ O ₃ (%)]

[표 5] Factors for the cement manufacturing control

	LSF	SM	IM
Formula	$\frac{1.00CaO}{2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
Range	0.92~0.96	2.3~2.8	1.6~2.0

는 점이 단점이며, 이에 100 % 순수 건설폐기물로는 시멘트 제조에 한계가 있는 것으로 분석되었다.

3.2 무기계 건설폐기물의 화학성분 분석 및 조합

본고에서는 시멘트의 강도와 밀접한 관계가 있으며 규산칼슘화합물인 C₃S와 C₂S를 생성하는데 가장 주요하게 작용하는 물질로서 CaO와 SiO₂를 중심으로 무기계 건설폐기물을 [표 6]과 같이 조합하였다. 이론식 조합은 무기계 건설폐기물을 이용한 환경부하 저감형 재생시멘트 개발이라는 연구의 목적에 부합하여 탈탄산화반응에 의해 발생하는 이산화탄소의 양을 줄이고자 CaCO₃을 다량 함유하고 있는 석회석의 양을 이

론적으로 어느 정도까지 줄일 수 있는가를 기준으로 석회석의 비율을 75, 80, 85 %에 맞추어 조합하였다. 이론식은 Bogue 식을 통하여 실제 소성 후 생산되는 클링커의 광물조성비(C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF)를 예측하였으며, 이와 함께 시멘트 클링커의 제조 관리를 위한 특성치로 규산률(S.M : 2.3~2.8), 철률(I.M : 1.6~2.0) 및 석회포화도(L.S.F : 0.92~0.96) 또한 고려하여 일정 범위의 계수 안에서 상회할 수 있도록 하였다 [7].

폐천장재와 폐석고보드는 앞서 언급한바와 같이 석회석(천연자원)과 비교했을 때 동등 수준의 CaO을 포함하고 있다. 하지만, SO₃ 성분이 다른 무기계 건설폐기물에 비해 다량 함유되어있어 보그(Bogue)식에 의한 광물조성 성분을 예측할 시

[표 6] The combination of inorganic construction waste

(Unit : weight percentage, %)

No.	Construction Waste	Combination I	Combination II	Combination III
1	Waste Tile	4.1	4.4	4.8
2	Waste Cement block	0.7	0.5	0.3
3	Waste Ceiling material	17.5	12.4	7.2
4	Limestone	75.0	80.0	85
5	Electric furnace slag	2.7	2.7	2.7
Total		100.0	100.0	100.0

변수로 적용되어 예상보다 석회석을 대체하는데 많은 양이 고려되지 못하였다. 또한, 페시멘트 블럭과 페콘크리트 미분말 역시 선행연구에서와 같이 소량의 CaO을 포함하고 있지만, 보다 많은 SiO₂를 포함하고 있어 이론식 배합에 있어서는 크게 적용되지 못하였다. 규산질 원료에 있어 크게 적용될 것으로 예상되는 페타일과 폐점토벽돌은 상대적으로 CaO이 더 많고 SiO₂가 적은 페타일이 적합한 것으로 판단되어 조합하였다. 한편, 주요 4가지 광물(C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF)만을 놓고 예측할 시에는 산업부산물인 전기로 슬래그를 제외해도 문제가 없었지만 시멘트 제조관리에 있어 적용되는 석회포화도(LSF), 규산률(SM), 철률(IM)을 고려하면 그 수치들이 적정 범위에서 높게 예상되어 이들을 낮추기 위해서는 성분조절재로서 Fe₂O₃을 다량 함유하고 있는 전기로슬래그의 포함을 고려해야 한다. 이에 분석한 결과 혼합비에 약 2.7% 첨가했을 시 그 수치들이 안정화되는 것으로 보여 각 조합별 고정 값으로 함께 조합하였다.

3.3 예측식을 통한 광물조성 성분분석

시멘트 업체에서 준수하는 1종(보통)포틀랜드시멘트의 광물조성 값을 기준으로 앞서 무기계 건설폐기물을 조합하였으며, 조합한 혼합비율을 활용하여 실제 소성 이후 생산되는 클링커의 광물조성비를 보그(Bogue)식에 대입해 예측 및 분석하였다.

아래 <그림 3>은 앞서 예측 된 결과를 나타낸 것으로 초기 강도에 있어 큰 역할을 하는 C₃S에 대해서는 조합 3(51.27

%)이 가장 근접한 값으로 예측 되었으며 이를 제외하고 두 조합(조합1 : 48.38%, 조합2 : 50.23%) 모두 기준 값(52%)에 조금 미치지 못하였다. 초기강도 보다는 장기강도 발현에 크게 기여하고 반응속도가 낮으며 발열량이 낮은 C₂S의 경우 세 조합(조합1 : 20.15%, 조합2 : 20.82%, 조합3 : 22.34%) 모두 기준에 도달하지 못하였다. 또한, 화합물에 있어 반응속도가 빠르고 발열량이 매우 높은 C₃A도 세 조합(조합1 :

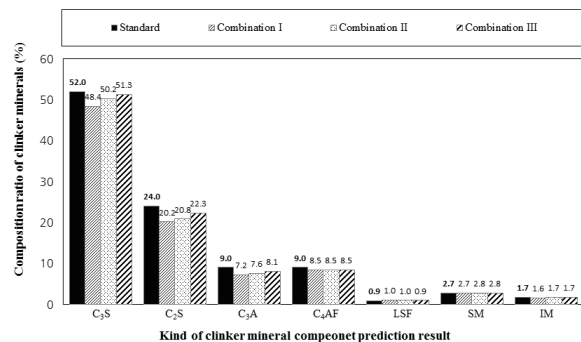


그림 3. Graph of clinker mineral component prediction result

[표 7] The raw materials used in the cement production

(Unit : kg/1 kg cement production)

Raw material	OPC	Combination III
Limestone	1,399	1,276
Clay	0.088	0.225 (Inorganic Construction Wastes)
Siliceous	0.031	
Iron ore	0.039	
Gypsum	0.033	0.060

[표 8] Characterization of cement raw materials

LCI DB	Unit	Characterization value by environmental impact category					
		GWP (kgCO _{2eq} /Unit)	ADP (kg/Unit)	ODP (kgCFC-11 _{eq} /Unit)	AP (kgSO _{2eq} /Unit)	EP (kgPO ₄ ³⁻ _{eq} /Unit)	POCP (kgEthylene _{eq} /Unit)
lime stone	A kg	2.53E-03	1.51E-05	3.32E-10	6.42E-05	1.21E-05	6.49E-06
clay, at mine	B kg	2.91E-03	1.81E-05	3.62E-10	2.85E-05	5.20E-06	2.64E-06
silica sand	A kg	2.19E-02	1.44E-04	9.40E-11	8.37E-05	1.30E-05	2.08E-05
iron ore, 46 %	B kg	2.02E-03	1.18E-05	2.37E-10	4.46E-05	8.67E-06	3.75E-06
gypsum, mineral, at mine	B kg	4.68E-03	2.64E-05	4.82E-10	1.31E-04	2.64E-05	1.07E-05

A : LCI DB of Korea, B : LCI DB of Europe

7.15 %, 조합2 : 7.61 %, 조합3 : 8.12 %) 모두 기준 값을 만족하지 못하였다. 하지만, C₄AF는 반대로 기준보다 높은 수치로 예측되었다. 석회포화도(LSF)와 철률(IM)에 있어서는 조합3 (LSF : 0.94, IM : 1.74)이 세 조합 가운데 기준 값에 가장 근접한 값으로 예측되었으며, 반대로 규산률(SM)은 조합1 (SM : 2.7)이 가장 근접하게 예측 되었다. 분석결과, 전체적으로 조합 3이 초기강도와 장기강도 발현에 영향을 미치는 C₃S와 C₂S가 가장 많이 예측 및 분석되어 기준으로 하는 1종 시멘트에 가장 이상적인 조합으로 분석 되었으며, 그 다음으로는 조합 2와 조합 1순으로 분석 되었다.

3.4 환경부하 저감 성능 평가

본고에서는 LCA (Life Cycle Assessment)기법을 활용하여 무기계 건설폐기물을 이용한 재생시멘트의 환경부하 저감 성능을 평가 하였다. 이때 평가 범위는 시멘트의 제조공정에서 원료 채광 및 생산단계를 제외한 모든 공정은 동일하게 가정하고 원료별 사용량만을 대상으로 국한하여 비교 하였다. 분석 대상은 1종 포틀랜드 시멘트와 조합 3의 재생 시멘트와의 지구온난화(GWP), 자원고갈(ADP), 오존층파괴(ODP), 산화화(AP), 부영양화(EP), 광화학적산화물(POCP) 등 6대 환경영향범주별 환경영향을 분석하였으며, 이때 원료 사용량은 [표 7]과 같이 A사의 원료 사용량을 활용하였다. 또한, [표 8]과 같이 시멘트의 각 원료에 해당되는 Cradle to gate 범위

의 국내·외 LCI DB (Life Cycle Inventory Database)를 수집하여 각각의 특성화 수치를 분석하였다.

분석 결과, 본고에서 제안한 환경부하 저감형 시멘트의 석회석 사용량은 기준 OPC 대비 9.0 % 절감되어 사용된 것으로 분석되었으며 석회석 이외 부원료의 경우 기타 천연광물인 점토질, 규산질, 산화철질 대신 무기계 건설폐기물로 100 % 대체되어 사용된 것으로 분석되었다. 또한, 환경부하 저감형 재생 시멘트는 <그림 4>와 같이 기준 OPC 대비 6대 환경영향 범주별 각 환경부하에서 전체적으로 저감되는 값이 분석 되었다. 특히 ADP와 GWP에서 각각 29.32 %, 27.73 %로 가장 크게 저감되었다. 다양한 환경영향 범주 가운데 ADP에서 가장 크게 절감된 이유로는 시멘트의 원료인 석회질, 점토질, 규산질, 산화철질을 대신하여 무기계 건설폐기물이 일부 대체되어 재료 생산에 따른 환경영향 값이 저감된 것으로 사료되며

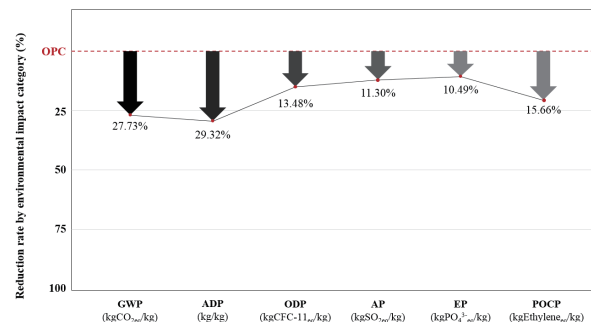


그림 4. Environmental impact assessment by environmental impact category

GWP의 경우 실제 시멘트 제조시 지구온난화의 주범인 CO₂가 다량 배출되는 석회석의 사용이 절감 되어 분석된 결과로 예측된다. 이 외 POCP, ODP, AP, EP 순으로 환경부하 저감율이 크게 분석되었다.

4. 맺음말

본고는 무기계 건설폐기물을 이용한 환경부하 저감형 재생 시멘트 개발연구의 일환으로 개발 가능성 및 이에 따른 환경부하 저감 효과에 대해 소개하였다. 보그식을 통하여 실제 조성 후 생산되는 클링커의 광물조성비를 예측 분석한 결과, 시멘트의 원재료인 석회석의 비율을 85% 이상 함께 사용하지 않는다면 이론상 시멘트 업체에서 기준으로 하는 광물조성 값에 도달하지 못하는 것으로 분석되었다. 즉, 배합에 있어 만족하는 C₃S와 C₂S 등의 값을 얻기 위해서는 CaO을 다소 포함하고 있는 무기계 건설폐기물이나 천연자원인 석회석의 비율을 높여야 할 것으로 보인다. 본고에서는 석회석의 대체재로 폐천장재와 폐석고보드를 선정하였으나 앞서 우려했던 바와 같이 석회석과 비교했을 때 동등수준의 CaO을 함유하고 있음에도 불구하고 SO₃이 다량 포함되어있어 보그(Bogue)식의 C₃S를 예측하는 공식에서 얻고자하는 예측값을 충분히 얻지 못하였다. 이는 추후 재생시멘트 제조에 있어 SO₃ 함량 조절

에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되며 이를 제거하고 폐기물내 CaO의 비율을 높일 수 있다면 폐천장재와 폐석고보드는 재생시멘트를 개발하는데 있어 크게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

이론적 배합을 통한 재생시멘트 개발의 연구 분석한 결과, 대체적으로 무기계 건설폐기물은 선행연구에서 연구된 바와 같이 시멘트의 주요 화학성분들을 함유하고 있어 시멘트 제조에 있어 시멘트의 원재료를 대체하는데 그 가능성을 확인 할 수 있었다. 하지만, 각 무기계 건설폐기물은 발생하는 장소와 시기 그리고 제조방법에 따라 다르기 때문에 함유하는 화학성분들이 일정치 못하며 불순물들이 다량 함유되어있음을 볼 수 있다. 실제 재생시멘트 제조 과정에서 이러한 불순물들은 균질한 품질의 제품생산을 방해 할 뿐만 아니라 품질 관리에 있어서도 어려움의 원인이 될 것이다. 이를 위해 건설폐기물이 반출되는 건설현장에서부터 수집 및 운반에 이르기까지 해당 처리 업체를 잘 관리할 수 있는 매뉴얼 개발 및 인센티브제도 도입 등을 실시하여 실질적으로 건설폐기물의 상성별 분리배출이 잘 이루어질 수 있도록 하는 제도개선이 이루어져야 할 것이다. 건설폐기물이 잘 분류되어 수집이 용이하게 된다면 조금 더 예측 가능하며 균질한 시멘트 대체 자원 확보가 가능할 것으로 기대되며, 이를 활용한 기술 개발이 확보 된다면 재생시멘트 개발뿐만 아니라 건설재료 산업에서의 다양한 제 2차 건설제품의 개발 또한 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, (2015).
2. Good Practice Guidelines for Estimating Cement Industry GHG Emissions, Korea Energy Agency, (2009).
3. Kim, J.H., Tae, S.H. (2016). Theoretical study on the development of environmental load reducing recycled cement utilizing inorganic construction wastes, Architectural institute of Korea, 36(1), 365-366 [in Korean].
4. Kwon E., Ahn J., Cho B., Park D. (2015). A study on development of recycled cement made from waste cementitious powder. Construction and Building Materials, 83, 174-180.
5. Waste generation and processing status of the country, Ministry of Environment in Korean, (2016).
6. KS L 5201. (2016). Portland cement, Korean Agency for Technology and Standards.
7. Oh, D.Y., Takafumi Noguchi, Ryoma kitagaki, Park, W.J. (2014). CO₂ emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 38, 796-810.

담당 편집위원 : 민태범(성신양회(주))