

# 탄소중립과 건설순환자원

## Carbon Neutrality and Recycled Construction Resources



전명훈 Myoung-Hoon Jun  
LH토지주택연구원 / 연구위원  
E-mail : mhjun@lh.or.kr

### 1.머릿말

19세기 후반부터 시작된 지구온난화로 인하여 전세계적으로 바다와 지표부근 공기의 온도가 상승하였으며, 20세기 후반부터는 엘리뇨, 라니냐 등의 이상 기후에 대한 구체적인 현상과 명칭까지 등장하는 등 인류가 기후변화에 따른 직접적인 영향을 받게 되었다.

지구온난화로 인하여 고산지대와 극지방의 빙하가 사라지고, 사막이 증가하며, 폭우, 한발 등의 이상기후로 이미 많은 피해가 발생하고 있어 인류 생존의 가장 큰 위협요소 가운데 하나로 평가되고 있는 실정이다.

지구온난화의 원인으로는 온실가스의 농도상승이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 지구온난화를 일으키는 여러 가지의 온실가스 가운데 대표적인 것을 들자면 이산화탄소\* (CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소\*(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>) 등이 있으며, 이 가운데 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 양이 가장 많아 온난화에 큰 영향을 미치는 것으로

알려져 있다. 따라서 기후위기를 극복하는 가장 큰 수단은 이산화탄소의 발생을 억제하는 것이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다.

국제사회는 지구온난화를 방지하기 위하여 1988년 UN총회 결의에 따라 기후변화에 따른 정부간패널(IPPC)을 설치하였고 1992년 6월 리우에서 개최된 유엔환경개발회(UNCED)에서 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하였으며 우리나라는 1993년 12월에 세계 47번째로 가입하였다. 이후 1997년 당사국 총회에서 교토의정서(선진국 감축의무)가 채택되었으며, 2015년 당사국 총회에서 신기후체제(파리협정)를 도출하는 등의 전 지구적인 노력이 진행되어 왔으며, 우리 정부에서도 2020년 10월에 '2050년 탄소중립 선언'을 통해 온실가스의 순배출량이 0가 되는 Net-zero를 달성할 것을 천명하였다.

우리나라가 탄소 중립을 실현하기 위해서는 현재 약 7억 톤 규모의 탄소배출량을 감축하여야 하며, 이를 위해서는 에너지 전환, 산업, 수송, 건물 등 사회전반의 구조적 조정이 필요하다. 에너지 전환부문에서는 재생에너지 비중을 약 60%까지 확대하고, 산업분야에서는 수소환원 제철 방식으로 전환하고 탄소포집 활용 및 저장, 순환경제의 강화 등이 필요하며, 건물과 관련된 분야에서는 도시가스를 전기 및 수소로 대체하고 녹색건축의 확산 및 고효율 기기공급, 수송 분야에서는 내연기관 차량을 전기차 및 수소차 등의 친환경차량으로 전환 등이 방안으로 고려되고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 지구온난화는 특정 지역이나 국가의 문제가 아닌 전지구적인 문제로 이의 해결을 위해서는 모든 분야에서의 노력이 필요하며 여기서는 건설분야와 관련된 부분에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2. 건설과 탄소중립

UN환경계획(UNEP)에서 세계건축 및 건설연맹의 2020년 현황보고서를 인용해 발표한 바에 따르면 건물을 운용하는 데서 배출되는 이산화탄소 배출량은 약 28%, 건설부문에서 배출되는 양은 약 10%로 건물·건설부문에서 배출되는 이산화탄소 배출량



은 38%에 이른다고 한다. 잉에르 아네르센 유엔환경계획 사무총장에 따르면 건물·건설분야의 이산화탄소 배출 저감을 위해서는 건축 환경의 에너지 수요 대폭 감축, 전력부문의 탈탄소화, 탄소 순환 배출량을 줄일 수 있는 자재 사용 등의 3가지 전략이 필요한 것으로 제안하였다.

### ■ 부문별 이산화탄소 배출 비중(2019년)

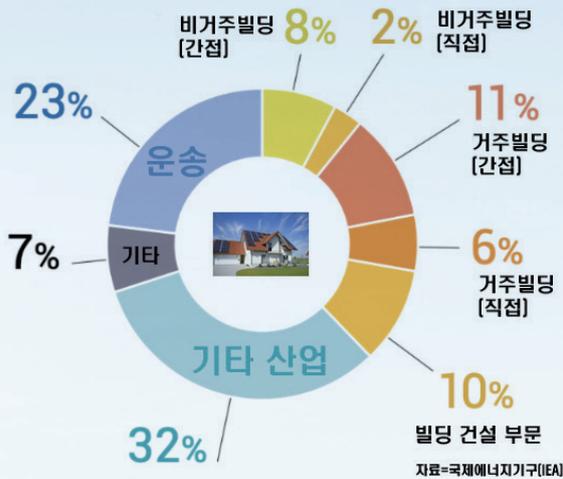


그림 1. 부문별 이산화탄소 배출 비중(국제에너지기구(IEA))

건축환경의 에너지 수요 감축을 위해서는 건축물의 운영과 관련되어 소비되는 냉난방 에너지의 저감이 필요하며 이를 위해서는 건축물의 고단열화 등을 통한 소비에너지의 저감, 화석에너지를 대체하는 전기에너지의 사용 확대와 여기에 소요되는 전력에너지의 탈탄소화가 필요하다. 또한 건설분야에서는 탄소순환 배출량을 줄일 수 있는 자재 사용이 있다. 건설자재 가운데 탄소배출은 철강과 콘크리트의 비중이 가장 높고 사용량 또한 많은 자재이다. 철강과 시멘트는 제조시에 다량의 이산화탄소를 배출하므로 사용을 줄여야 할 필요가 있으나, 다양한 첨단소재가 개발된 현재까지도 대체할 수 있는 다른 재료가 없는 실정이다. 따라서 철강과 시멘트의 사용량을 최적화 하는 등의 사용량을 억제하는 방법과 자원 순환을 통하여 탄소 발자국을 줄이는 방법, 대체재료의 적극적 활용 등은 건설분야에서 탄소중립을 위한 중요한 방법이라 할 수 있다.

철강과 시멘트는 건설분야에서 구조 재료로 사용되는 재료로 사용량을 줄인다는 것은 구조안전성과 상충될 수 있으므로 보다 정밀한 설계를 통하여 사용량을 최적화 하는 것이 중요하다.

2017년 기준으로 시멘트로부터 발생하는 이산화탄소의 배출량이 3,900만 톤 정도이며 이를 사용하여 제조되는 콘크리트에서의 배출량은 4,300만 톤 정도이다. 콘크리트 산업의 연간 매출 규모가 약 10조이므로 2,000조로 추정되는 국내 총생산량의 약 0.5% 규모이지만, 탄소 배출량은 총배출량의 6% 수준이므로 상대적으로 탄소배출량이 많은 산업이다. 따라서 콘크리트 분야에서의 이산화탄소 배출량 저감은 건설분야에서 큰 저감 항목 가운데 하나이다.

### 3. 시멘트 산업에서의 탄소 배출 저감

시멘트 제조 과정에서 배출되는 이산화탄소는 원료공정, 소성공정, 제품생산 공정으로 나누어 생각할 수 있으며 원료공정에서는 석회석의 채굴, 이동 및 분쇄 과정에서 사용되는 에너지에 의한 것이고 배출량이 가장 큰 소성공정에서는 석회석 원료의 탈탄산 과정에서 60%, 소성을 위한 연료 사용에서 33%, 전기 사용에서 6%의 비율로 발생되며, 제품생산 공정에서는 분쇄 및 이송을 위한 에너지 사용에 따른 배출로 구성되어 있다.

시멘트의 제조과정에서 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 클링커 제조과정에서의 탄소저감 방법은 킬른 최적화, 대체연료 사용, 해체콘크리트로부터의 미분말을 원료로 사용, 탄소포집과 저장기술이 검토되고 있다. 킬른의 최적화는 이미 높은 수준에 도달되어 있으므로 추가적인 효과는 제한적이며, 대체연료를 사용하는 것 또한 많이 진행되고 있다. 대체연료는 폐타이어, 폐합성수지 등의 가연성 폐기물을 연료로 사용하는 것으로 매립에 대한 규정이 없으면 쉽게 사용하기 어렵다. 또한 이러한 연료의 사용으로 쓰레기 시멘트, 폐기물 시멘트 등의 오해를 받고 있으나, 고온의 클링커 소성과정을 감안하면 연소에 의한 다이옥신 등의 유해물질 배출 우려는 없다고 볼 수 있으며, 배출가스의 유해성을 실시간으로 모니터링 하고 있으므로 다른 방법보다 친환경적인

방법으로 폐기물을 처리하여 자원의 절약과 유효활용에 큰 기여를 하고 있다. 다만, 이러한 방법을 적용하더라도 이산화탄소의 발생을 막을 수는 없다. 이산화탄소의 발생을 줄이는 방법은 클링커 제조시에 석회석을 페콘크리트 미립분으로 대체하는 것이 있으며 이를 위해서는 페콘크리트의 처리 과정에서 시멘트 페이스트 성분을 분리할 수 있는 기술이 필요하다. 클링커 제조 공정에서 이산화탄소의 배출을 줄일 수 있는 마지막 방법으로는 탄소의 포집 및 저장이 있으나, 아직은 실용화된 기술은 없는 실정으로 현재 세계적으로 관련 기술의 개발이 진행되고 있다.

위에서 설명한 바와 같이 시멘트의 생산과정에서 많은 이산화탄소가 발생하므로 콘크리트에서 시멘트의 사용량을 줄이려는 많은 노력이 진행되어 왔다. 시멘트 대체재료로 많이 사용되어온 플라야애시나 고로슬래그 미분말의 활용 초기에는 콘크리트 재료 가운데 가장 고가인 시멘트를 대체하여 생산 원가를 줄일 수 있다는 경제적인 부분이 가장 큰 이유였으나, 현재는 이산화탄소 발생량 저감에 더 큰 역할을 기대할 수 있다. 이러한 관점에서 국내에서도 90년대부터 비소성시멘트 등의 명칭으로 지오폴리머와 관련된 연구가 있어 왔으며, 현재 가장 활발하게 모색되고 있는 방법은 알칼리 자극제를 사용하여 고로슬래그 미분말의 수경성을 발현시키는 방법으로, 포틀랜드 시멘트를 소량 또는 전혀 사용하지 않고 콘크리트를 제조하는 방법에 대한 연구가 활발하다. 지오폴리머를 사용한 콘크리트를 구조물에 적용하는 부분은 품질 문제, 내구성 문제 등에 대한 검토가 부족하여 실용화는 되지 못한 상황이다. 콘크리트 구조물이 사용자의 안전과 직접적인 관련이 있고, 이와 같은 이유로 새로운 재료의 사용에 대한 건설업계의 보수적 성향 등으로 단기간에 사용이 어려울 수 있으나 콘크리트 산업의 탄소발생량 저감을 위해서는 매우 중요한 기술이다.



#### 4. 골재산업에서의 탄소 배출 저감

콘크리트를 구성하는 재료 가운데 가장 많이 사용되는 것이 골재이다. 80년대 까지만 하여도 양질의 천연골재 수급이 가능하였으나, 각종 댐의 건설 및 하천정비 사업 등으로 하천골재의 생성

이 어려워졌을 뿐 아니라 70년대 이후 경제발전에 의하여 도시화가 진행되고 이에 따른 주택 및 각종 SOC 시설에 대한 수요의 증가 등으로 굵은 골재는 부순골재로 대체되고, 잔골재는 바다모래와 부순모래로 전환되었다. 바다모래의 경우 초기에는 연안에서 채굴하였으나 연안환경의 훼손 등으로 점차 먼 바다로 나가서 채취하게 되었으며, 현재는 이마저도 환경문제로 인하여 채취 허가의 취득이나 연장이 어려운 실정이다. 따라서 현재는 골재의 많은 부분을 부순골재에 의존하고 있다.

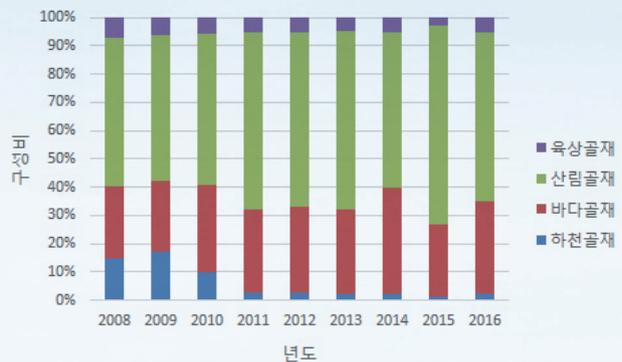


그림 2. 공급원별 골재채취 현황

골재 산업에서 배출되는 이산화탄소는 크게 골재의 채취나 생산을 위한 에너지 사용에 따른 발생과 골재의 운반을 위한 에너지 사용에 의한 발생으로 구분할 수 있다. 배타적경제수역(EEZ)에서 채취된 바다모래는 주로 바지선에 선적되어 연안 항구로 이송되며 이후 세척과정을 거쳐 덤프 트럭 등으로 레미콘 공장으로 반입된다. 이와 같이 바다모래의 사용과 관련하여 발생하는 이산화탄소는 대부분 운반과 관련된 것으로 볼 수 있다. 부순 자갈과 부순 모래의 사용과 관련하여 발생하는 이산화탄소는 암석의 채취, 파쇄 등 생산과 관련하여 발생하는 부분과 석산에서 레미콘 공장까지의 운반과정에서 발생하는 부분으로 구분할 수 있다. 이때 생산과정에서 발생하는 이산화탄소는 감축이 어려우나, 수요처와 가까운 거리의 석산을 활용하는 방법 등으로 운반과정에서는 이산화탄소 발생을 감축할 수 있다. 그러나 현재 산림골재의 개발이나 운영 또한 환경문제, 주변 거주민들의 민원 등으로 허가의 취득이나 연장이 쉽지 않은 실정이다.

이러한 상황에서 급격한 경제성장기였던 70~80년대에 건축



[표 1] 건설폐기물 발생 현황

(단위:톤/일)

구분		'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19
총계		186,417	186,629	183,538	185,382	198,260	199,444	196,262	206,951	221,102
건설 폐재류	소계	158,765	156,449	150,331	151,026	163,190	166,494	162,140	172,356	184,426
	페콘크리트	121,181	117,754	111,653	114,908	124,451	128,092	123,248	131,040	137,816
	페아스팔트콘크리트	35,245	35,738	35,398	33,725	35,509	35,192	35,861	37,759	41,163
	기타 <sup>1)</sup>	2,339	2,957	3,280	2,393	3,230	3,210	3,030	3,557	5,447
가연성 건설폐기물	소계	1,708	1,964	2,418	2,519	2,588	2,237	2,613	2,652	2,484
	폐목재	592	683	704	866	923	806	800	805	863
	폐합성수지	1,096	1,261	1,695	1,586	1,654	1,420	1,803	1,826	1,607
	기타 <sup>2)</sup>	20	21	19	67	11	11	11	21	14
비가연성 건설폐기물	소계	1,407	651	1,058	877	1,036	2,012	1,825	1,256	1,132
	건설오니	1,403	644	1,052	707	995	1,922	1,822	1,250	1,127
	기타 <sup>3)</sup>	4	7	6	170	41	90	3	5	5
건설폐토석		4,838	5,094	5,067	5,863	7,659	6,478	7,478	7,102	8,385
혼합건설폐기물 <sup>4)</sup>		19,699	22,471	24,664	25,097	23,787	22,223	22,206	23,585	24,675

주) 1) 폐벽돌, 폐블럭, 폐기와  
 2) 폐섬유, 폐벽지  
 3) 폐금속류, 폐유리, 페타일 및 페도자기  
 4) 폐보드류, 폐판넬, 혼합건설폐기물

된 각종 구조물이 물리적 또는 사회적 경제적 수명이 다하여 해체되면서 다량의 건설폐기물이 발생하고 있다. 재개발 등에서 발생하는 건설폐기물은 대부분 벽돌조, 블록조 등의 저층 건축물을 해체하는 과정에서 발생되므로 폐기물 가운데 콘크리트의 양이 적을 뿐 아니라 혼합폐기물의 형태가 많아 재활용이 쉽지 않으며 이를 통하여 생산되는 순환골재의 품질 또한 낮은 경우가 많다. 이에 반하여 재건축 등에서 발생하는 건설폐기물은 상대적으로 중고층 공동주택을 대상으로 하고 있으므로 분별해체가 용이하고 발생하는 페콘크리트의 비율이 높으므로 보다 양질의 순환골재 생산이 가능하다. 위에서 살펴본 바와 같이 골재 산업에서 운송에 의한 이산화탄소 발생량이 큰 부분을 차지하고 있으므로 천연골재나 산림골재보다 상대적으로 이동거리가 적은 순환골재의 사용은 콘크리트 사용에 따른 이산화탄소 발생 억제에 유리하다.

2019년 기준 건설폐기물의 발생량은 하루 약 22만 톤에 이르며 이 가운데 페콘크리트와 페아스팔트콘크리트가 약 18만 톤에 이르고 있다. 페콘크리트와 페아스팔트콘크리트의 재활용은 건설폐기물이 발생하는 해체현장으로부터 중간처리업체로 운반하고 중간처리업체에서는 선별 및 파쇄과정을 거쳐 순환골재로 재활용 하게 된다. 이러한 공정을 살펴볼 때 순환골재의 파쇄과정은 산림골재의 생산과 유사하다고 볼 수 있으므로 이산화탄소 발생량을 비교하면 운반거리에 의한 차이가 발생한다. 순환골재의 경우 해체현장으로부터 중간처리업체까지의 운반과 생산된 순환골재를 수요처인 레미콘 공장, 건설현장 등으로 이송하는 등 두 번의 운반과정을 거치므로 운반거리에 있어서 불리한 점도 있을 수 있으나 산림골재의 경우 골재채취원이 대부분 수요처인 대도시와는 상당부분 이격된 거리에 있고, 그 수가 적으므로 실제적인 이동거리에서는 오히려 유리한 경우가 많을 뿐 아니라 바다모



래와 비교하면 운반거리가 매우 단축되므로 순환골재의 활용은 콘크리트 산업에서 이산화탄소의 발생을 억제할 수 있는 유효한 방법이다. 특히 건설폐기물의 발생현장에서 직접 골재로 가공하여 사용하는 현장 재활용의 경우는 운반거리가 거의 없는 것으로 볼 수 있으므로 탄소저감에는 매우 효과적이라 할 수 있다.

건설폐기물의 현장재활용에 관한 연구 결과에 따르면 페콘크리트의 현장재활용 비용을 위탁처리비용과 비교하면 순환골재 생산비용은 35.5%이고, 토사반입비용을 포함하면 약 28.3%로 나타났으며 이러한 차이의 대부분은 운반거리의 단축에 따른 것으로 볼 수 있다. 따라서 건설폐기물의 재활용은 그 자체 만으로도 이산화탄소의 발생을 저감할 뿐 아니라 현장재활용을 하게 되면 감축효과는 더욱 커지게 된다. 순환골재의 용도별 품질기준에 제시된 용도를 살펴보면 다음과 같으며 이 가운데 콘크리트용이나 아스팔트 콘크리트용을 제외하면 현장재활용을 위한 파쇄설비에서도 소요되는 품질의 충족이 가능하다. 따라서 현장재활용은 건설분야에서의 이산화탄소 발생 저감에 매우 중요한 요소가 될 수 있으므로 확대를 위한 제도 정비와 기술개발이 필요하다.

[표 2] 순환골재의 용도

분야	용도
도로	노체용
	노상용
	동상방지층 및 차단층용
	도로보조기층용
	도로기층용
	아스팔트 콘크리트용
콘크리트	잔골재 굵은골재 제품제조용
기타	하수관로 설치용 모래대체 잔골재 용 되메우기 및 뒷채움용 성토용 복토용 매립시설 복토용

## 5. 맺음말

지구온난화를 방지하기 위한 이산화탄소 배출량의 저감은 이제 전 지구적인 과제이며 이를 위한 건설분야 특히 콘크리트산업과 관련된 이산화탄소 배출 저감 방안에 대하여 시멘트와 골재를 중심으로 살펴보았다.

시멘트 산업에서의 배출 저감 방안으로는 클링커 제조과정에서의 배출량 저감을 위한 원료 및 공정 개선과 가연성 폐기물의 활용 등이 있으며, 이러한 부분의 확대를 위해서는 쓰레기 시멘트 등으로 대표되는 국민의 인식 전환과 관련된 노력과 부재료 사용 확대에 따른 품질의 확보를 위한 기술적 발전 등이 중요하다. 종국적으로는 제조과정에서 탄소 배출이 획기적으로 저감되는 지오폐리머 관련 기술의 개발 및 탄소포집 및 저장과 관련된 기술의 개발과 실용화가 중요한 과제이다.

골재산업에서는 순환골재의 사용이 탄소 배출 저감을 위한 유효한 방법이며 특히 현장재활용은 운송에 따른 탄소 발생량을 대폭 저감할 수 있는 방법이다. 이를 위하여 순환골재의 품질 향상을 위한 꾸준한 기술 개발 이외에도 순환골재에 대한 국민들의 부정적 인식 개선 노력 및 현장재활용을 활성화하기 위한 저소음 저분진 순환골재 생산 기술 개발 및 제도적 보완 등이 중요한 과제이다.

이상과 같이 폐기물의 재활용이 건설분야에서 탄소저감에 큰 역할을 할 수 있으므로 우리학회의 역할은 더욱 증대될 것으로 기대되며 건설산업의 발전 및 국가 경쟁력 향상 등에 우리 회원들의 큰 활약을 기대한다.

### 참고문헌

1. [http://hani.co.kr/arti/science\\_general/974603.html](http://hani.co.kr/arti/science_general/974603.html)
2. 김진만, 콘크리트 분야에서의 탄소중립 전략, Land & Housing Insight, Vol. 42, 2021.7.31.
3. 이재성 외 5인, 페콘크리트의 현장재활용 경제성 분석-택지개발지구를 중심으로, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2006.11
4. 순환골재 품질기준, 국토교통부 공고 제2017-1711호

담당 편집위원 : 전세진(아주대학교)