

콘크리트를 둘러싼 환경문제와 친환경 대응방안

The Environmental Problem and Environmental Friendly Method Involving Concrete



이한승*
Han-Seung Lee

1. 머리말

레미콘 통계에 따르면 2004년 1년간 콘크리트는 1억 4천만 m^3 가 건설현장에서 사용되었고 그중에서 건축이 대부분인 민수는 80%를, 토목이 대부분인 관수는 20%를 점하고 있다고 한다. 또한, 시멘트 통계에 따르면 2003년 1년간 약 6000만 톤의 시멘트가 출하되었고 이것을 콘크리트로 환산하면 약 1억7천만 m^3 에 해당된다고 한다. 단순한 통계이지만 지난 1960년대 이후로 약 45년 이상 국내에서 콘크리트로 지어진 구조물을 생각한다면 막대한 양의 콘크리트가 쾌적한 인간생활을 위하여 건축물 또는 토목 구조물에 사용되었다는 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 따라서, 콘크리트는 우리나라의 경제발전 및 사회자본 정비를 주도한 매우 중요한 구조재료라는 것에 대하여는 누구나 다 공감할 것으로 생각되며 21세기에 콘크리트를 대체할 구조재료는 없다고 보는 것이 전문가들의 공통된 견해이다. 또한, 콘크리트는 그 재료적인 안전성 및 친환경성으로 인한 잠재적 활용가치와 함께, 우리나라는 풍부한 석회석 광산을 가지고 있고 세계적인 건설기술을 가지고 있으므로 국가발전 성장동력으로써 시멘트·콘크리트산업 중요성은 점점 증가할 것으로 판단된다.

그러나, 최근에는 『콘크리트가 인간을 위협한다.』, 2005년 2월에 발효된 국제기후변화협약에 따라 『콘크리트는 CO₂ 발생의 주범이다.』라는 일부 언론보도에 의하여 콘크리트가 갖고 있는 매우 많은 장점에도 불구하고 일반인들의 의식 속에 콘크리트가 마치 반환경적인 재료로 매도되는 안타까운 실정에 와 있는 것이 현실이다.

본고에서는 이러한 배경 하에, 과연 콘크리트가 친환경 재료인가 또는 반환경 재료인가에 대하여 최근 사회적 이슈가 되고 있는 콘크리트에서의 미량성분 용출문제 및 CO₂ 발생원이라

는 2가지 문제에 대하여 집중적으로 논하고, 동시에 콘크리트의 장점을 살린 친환경적 개발방안에 대하여 논하고자 한다.

2. 콘크리트 미량성분 용출은 환경에 문제없다¹⁾

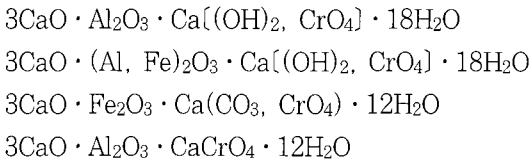
콘크리트의 원재료인 시멘트는 석회석, 점토, 규석, 산화철원료를 주원료로 하고 있지만 자원의 유효이용 관점에서 각종 산업부산물 및 폐기물도 원료로써 사용되고 있으나 이와 동시에 시멘트 소성 및 미분쇄 과정을 통하여 불소, 비소, 6가크롬, 수은, 납, 아연, 망간, 철 등의 미량성분이 함유되게 된다. 또한, 이러한 미량성분은 시멘트 이외에 콘크리트에 사용되는 각종 혼화재료를 통하여 콘크리트 내에 포함되게 된다. 그러나, 대부분의 미량성분은 콘크리트가 경화할 때 콘크리트 내에 고정되기 때문에 환경문제를 일으키는 것이 없으며, 용출이 되더라도 환경규제 기준 내에 속하기 때문에 전혀 문제가 없다는 것이 국내외 연구결과 및 전문가들이 공통된 의견이다. 그러나, 최근에 아무 검증 없이 일부 언론에서 콘크리트 내의 6가크롬이 인간생활을 위협한다는 문제제기가 이슈가 되어 사회적 논란이 일어나고 있는 시점에서 콘크리트 연구자로서 보다 과학적이고 공학적인 데이터를 아래와 같이 제공하여 이와 관련한 콘크리트의 환경문제 본질을 규명하고자 한다.

일반적으로 콘크리트의 블리딩수에는 평균 2~10 mg/L의 6가크롬이 포함되어 있으나, 블리딩수는 수 시간이 경과되면 콘크리트에 흡수되어 6가크롬은 콘크리트 내에 고정된다. 시멘트에 포함된 크롬은 원료중의 3가크롬의 일부가 킬른에서 소성 중에 산화되어 6가크롬으로 존재한다. 또한, 시멘트수화물은 알칼리성이므로 6가크롬은 CrO₄²⁻로 되어 수화물중의 에트린자이트(Aft) 또는 모노설페이트(AFm)로써 시멘트 경화체 자신에 고정된다고 하며, 시멘트수화물인 C-S-H겔 중에서 6가크롬은 흡착에 의하여 고정된다고 한다.

즉, 6가크롬은 OH⁻ 또는 CO₃²⁻가 CrO₄²⁻로 치환되는 것에 의

* 정회원, 한양대학교 건축학부 조교수
ercleehs@hanyang.ac.kr

하여 아래와 같이 고정된다고 알려져 있다.



한편, <표 1>은 실내실험에서 경화된 콘크리트에서의 6가크롬 용출량 결과를 나타낸다. 일반적으로 경화된 콘크리트에서 허용 6가크롬 용출량은 0.05 mg/L이며 실험결과 사용한 시멘트의 수용성 6가크롬 함유량, 양생재령에 관계없이 모든 시료에서 6가크롬 양이 매우 낮은 값을 보여 안전함을 알 수 있다.

표 1. 경화 콘크리트에서의 6가크롬 용출량

시료	시멘트중의 수용성 6가크롬 (mg/kg)	콘크리트에서의 용출량(mg/L)	
		재령 7일	재령 28일
No. 1	14.9	-	-
No. 2	7.4	< 0.015	< 0.015
No. 3	10.1	0.016	0.017
No. 4	14.0	< 0.015	< 0.015
No. 5	16.3	0.024	0.020

한편, <표 2>는 공용되고 있는 콘크리트 구조물에서 6가크롬의 용출실태를 파악하기 위하여 건설년대가 다른 구조물에서 코어를 채취하여 압축강도, 탄산화깊이 및 용출시험을 실시한 결과를 나타낸다. 용출하는 6가크롬 농도는 표면이 탄산화하고 있는 부분이 내부와 비교하여 높은 것을 알 수 있다. 단, 공용되고 있는 콘크리트에서의 용출거동의 파악이라는 점에서는 엄격한 용출시험법(일본 환경보고 46호법)의 시험결과에 있어서도 환경기준 이하로 6가크롬에 의한 문제는 전혀 없으며, 용출한 것도 지반 등으로 환원되기 때문에 안전하다.

표 2. 공용 구조물에서 채취한 코어에서 용출하는 6가크롬 농도

구조물	공용년수 (년)	압축강도 (N/mm ²)	탄산화깊이 (mm)	6가크롬 농도(mg/L)		
				표면에서 0~1 cm	표면에서 1~2 cm	내부
1	1	33.9	1.6	0.036	-	0.022
2	약 30년	24.1	9.6	0.032	0.027	0.027
3	25년	51.3	-	0.020	-	0.022
4		65.0	-	0.027	0.013	-
5	약 30년	-	-	0.032	-	0.032
6		-	-	0.029	-	0.019

또한, <표 3>은 기성콘크리트말뚝 매설공법의 하나인 프리블링확대공법에서 시멘트밀크로 구성된 말뚝주위 고정액을 채취하여 6가크롬의 용출농도를 조사한 결과이다. 어떤 시료에서도 용출농도는 기준값 이하로써 환경문제가 없는 것을 알 수 있다.

표 3. 말뚝주위 고정액 시험체의 6가크롬 농도(단위: mg/L)

시료	환경고시 46호법	탱크리칭시험법
	재령 (28일)	물 침지 일수 (28일)
①	< 0.006	< 0.006
②	0.017	< 0.006
③	< 0.006	< 0.006
④	0.010	< 0.006
⑤	0.029	< 0.006

이상에서 살펴본 바와 같이, 콘크리트에서 6가크롬에 의한 인간 환경문제는 없다고 판단된다. 또한, 6가크롬은 건설재료로써 아연도금강판, 황색 도료, 피혁제품, 황색 플라스틱 용기 및 보석인 루비에 소량 들어 있지만 대부분은 안정한 3가크롬 형태이므로 인간에게는 무해하다고 판단된다. 단지, 플레쉬(fresh) 콘크리트 상태에서 블리딩수에는 6가크롬이 존재하고 블리딩수가 매우 높은 알칼리성이므로 블리딩수가 직접 손이나 몸에 닿는 것에 대해서는 주의할 필요가 있다고 판단된다.

3. 시멘트·콘크리트산업에서 CO₂ 발생문제 대응방안²⁾

현재의 지구 평균 온도는 약 15°C이나 온실가스들에 온실효과 부재시 온도는 -18°C 정도로 낮아지게 된다. 그러나 19세기 후반에 시작된 산업혁명 이후 화석연료 사용의 증가로 대기에는 <표 4>와 같은 종류의 온실가스가 급속히 증가하게 되었으며 이에 따른 온실효과의 증대(enhanced greenhouse effect)로 지구의 온도 상승 즉 지구온난화(global warming)를 유발한 것으로 과학자들은 주장하고 있다.

표 4. 온실가스의 종류

배출원	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCS, PFCS, SF ₆
	에너지사용/산업공정	폐기물/농업/축산	산업공정/비료사용	냉매/세척용
지구온난화 지수(CO ₂ =1)	1	21	310	1,300 ~ 23,900
온난화 기여도(%)	55	15	6	24
국내 총배출량(%)	88.5	4.6	2.8	4.2

이러한 배경 하에, 1997년 일본 교토에서 기후변화협약에 관한 교토의정서가 채택된 이후, 2005년 2월 14일 러시아 비준에 따라 교토의정서가 발효됨으로써 세계 각국은 온실가스 감축 의무를 준수해야 하는 실정에 와있다. 특히, 우리나라는 2013년부터 온실가스를 감축해야 하는 2차 의무이행 대상국에 편입될 것이 확실시됨에 따라 모든 산업분야에 걸쳐 반드시 온실가스를 감축해야하며, 특히, 시멘트 및 철강 등 건설과 관련하여 에너지를 대량 소비하고 폐기물을 많이 발생시키는 건설 활동

은 온실가스를 줄여야 하는 주요 대상으로 초점이 되고 있다. 이러한 근거는, 건설 활동이 국내 산업 전체 CO₂ 발생량의 42%, 에너지 소비량의 24% 및 폐기물 발생량의 30%를 차지하는 등 대량소비/대량폐기를 특징으로 하는 반환경 산업이기 때문이다. 따라서, 건설활동을 친환경적으로 지속시키기 위해서는 환경부하 저감 및 폐적성 향상을 목표로 자원절감, 에너지 절약, 장수명화, 재활용 등 첨단 친환경건축 기술을 사용하여 기존 개발 지상주의의 건설 활동을 지속가능한 개발 위주의 새로운 패러다임으로 전환이 필요한 실정이다. 이러한 친환경시대대에 있어 건설업의 쌀이라고 일컬어지는 시멘트·콘크리트산업에서는 그 어느 산업보다도 친환경 대책이 요구되고 있으며 지속적인 산업성장을 위해서는 다음과 같은 전략 하에 장기적인 노력이 경주되어야 한다고 판단된다.

첫째, 시멘트·콘크리트 산업에 있어서 환경보전 및 공해방지 시스템의 구축이다. 이를 위해 지역생태계를 보전하면서 개발을 추진하는 기술개발과 소음, 진동, 먼지 등 주변 환경에 악영향을 미칠 우려가 있는 요소들을 제거하는 것이 중요하다.

둘째, 에너지 절약시스템의 구축이다. 시멘트산업은 소성을 위한 막대한 에너지가 투입되므로 대체연료의 적극적인 사용이 요구되며 또한, 기존의 설비를 에너지 고효율 사용 설비로 바꾸는 노력이 필요하다.

셋째, 지구기후변화 협약에 대한 능동적 대처 시스템의 구축이다. 대표적인 에너지 다소비업종인 시멘트 업계는 에너지세가 신설되고 제품의 제조와 폐기까지 전 과정에서 온실가스 발생량을 명기하는 등 환경에 대한 규제 강화가 불가피 하다고 전망되고 있다. 따라서, 시멘트산업은 기업 스스로 감축목표를 설정하여 정부와 협약을 체결하고 정부는 자금지원, 규제완화 등의 인센티브를 부여하는 VA(Voluntary Agreement) 제도에 적극 참여하여야 하며, 일본과 같이 시멘트업계로서 관리가 능한 지표로서 「시멘트제조용 에너지 원단위」를 채용하고, 에너지절약 설비의 보급촉진, 에너지대체 폐기물 등의 사용 확대, 기타 폐기물 등의 사용 확대, 혼합시멘트의 생산비율 확대 등 온난화대책을 위한 실질적이 대처가 필요하다.

넷째, 시멘트공장에 있어서 폐기물 재생(recycle) 시스템의 구축이다. 시멘트 업계에서는 산업기초자재를 제공하는 동맥산업으로서의 역할 뿐만 아니라 여러 장소에서 배출되는 폐기물·부산물을 받아들여 재생하는 정맥산업으로서의 역할이 충분히 가능하며, 특히, 시멘트 제조시에 폐기물을 사용하게 되면, 시멘트공장에서는 각종 폐기물·부산물의 성분 전부를 시멘트 제조용의 원료, 열에너지원으로 이용하기 때문에 2차 폐기물 발생이 없는 점, 시멘트공장에 반입된 폐기물은 다른 시

멘트원료와 함께 1,450°C의 고온으로 소성되기 때문에 다이옥신류는 거의 발생하지 않는 점, 시멘트공장에서는 석회석, 점토, 규석 및 철원을 주원료로서 시멘트를 제조하고 있지만, 폐기물·부산물을 시멘트원료로서 재생하는 것에 의해 그 분량만큼 천연원료의 사용량을 삭감하는 것이 가능한 점, 도시쓰레기 소각장이나 도시쓰레기를 반입하는 것에 의해 일반 폐기물 최종처분장의 연명에도 공헌할 수 있는 점 등의 장점을 살릴 필요가 있다.

다섯째, 시멘트를 주원료로 하는 콘크리트에는 여러 가지 친환경 성능을 부여할 수 있는 장점이 있으며 이를 이용하여 친환경건축에 도움을 줄 수 있고, 에코시멘트, 식생콘크리트, 전파 흡수 콘크리트, 질소 산화물(NO_x) 흡수 콘크리트 등 친환경 콘크리트를 개발하고 실용화함으로써 친환경을 도모할 수 있다.

여섯째, 시멘트·콘크리트 친환경전문가 양성 및 홍보 시스템 구축이다. 시멘트 제조 전체 과정에서 어느 정도의 CO₂가 발생되어 어느 정도 환경부하를 차지하는 지에 대한 정확한 평가를 할 수 있는 LCA(Life Cycle Assessment) 전문가 양성 및 프로그램을 개발하여 대처하지 않으면 안 된다.

4. 맺음말

콘크리트 구조물이 환경에 미치는 영향요인은, 재료 제조, 시공, 유지관리, 해체·폐기 등의 라이프사이클을 통하여 발생하며 여기에는 미량성분 배출량, CO₂ 배출량, 에너지 소비량, 재생자재 사용량, 주변 환경에의 영향, 생태환경에의 영향 등이 포함된다. 그러나 위에서 살펴본바와 같이 콘크리트는 반환경적인 요소보다는 친환경적인 요소가 더 많다. 따라서 이들 장점을 살린 시멘트·콘크리트의 친환경 연구개발 및 노력 등의 성과를 지속적으로 홍보하고 연구하는 시스템을 구축이 필요하다. 또한, 시멘트·콘크리트 산업은 친환경관점에서의 지속가능 개발로 우리나라 국가 성장을 주도하여야 하며, 일반인들이 일부 언론보도에 의하여 시멘트·콘크리트의 친환경성에 관한 불신을 가지고 있는 것에 대하여 그 인식개선 활동이 무엇보다도 중요하다고 판단된다. □

참고문헌

1. 日本土木學會, “コンクリートからの微量成分溶出に關する現狀と課題”, 콘크리트라이브러리 111, 2003.
2. 이한승, “친환경 건축시대의 시멘트·콘크리트산업의 대응방안”, 제32회 시멘트 심포지엄, 2005. 7.