

보통 포틀랜드 시멘트 중의 중금속에 대한 고찰

Review of the Heavy Metals in Ordinary Portland Cement



이승현*
Seung-Heun Lee



황해정**
Hae-Jeong Hwang



이종규***
Jong-Kyu Lee



추용식****
Yong-Sik Chu

1. 머리말

우리나라의 2006년도 시멘트 생산량은 4,921만톤 정도로 주로 콘크리트 구조물로 사용되었으며, 이러한 시멘트 구조물은 사회 기반 구축에 중요한 역할을 수행하여 왔다. 시멘트는 천연의 석회석, 점토, 규석, 산화철 원료를 주원료로 하고 있지만 자원의 유효 이용이라는 관점에서 각종 부산물과 폐기물이 원료 및 연료로 사용되고 있다.

이러한 천연원료나 연료, 부산물, 폐기물 중에는 시멘트의 주요 구성 성분 외에 미량 성분을 함유하고 있으므로 제조 과정을 통하여 미량 성분이 최종 시멘트 제품에 포함되게 된다. 미량성분 중에서 중금속은 생활환경의 보존과 사람의 건강에 영향을 미치므로 환경기준법에 의해 환경 기준이 설정되어 있다.

시멘트도 대상이 되는 일부 중금속을 함유하고 있으므로 시멘트 및 시멘트 경화체가 환경에 미치는 영향을 검토하는 것은 환경보존과 인간의 건강유지라는 측면에서 매우 중요하다.

우리나라에서도 2005년 3월 이후 시멘트에 함유된 중금속에 대한 조사가 진행되어 6가 크롬의 발생 원인 규명 및 저감 방안에 대해 활발한 논의가 이루어져 시험 방법 및 가이드라인 등을 설정하게 되었으며 중금속 저감에 대해 지속적인 노력을 기울이고 있다¹⁾.

본 고에서는 국내 시멘트 중에 함유되어 있는 중금속의 함유량을 다른 나라 시멘트와 비교 검토하였으며, 시멘트, 모르타르 및 콘크리트에서의 중금속 용출량을 조사하였다. 그리고 우리나라에서의 6가 크롬 관리 방안에 대해 서술하였다.

2. 중금속과 환경

우리나라 환경법에는 환경보전에 대한 기본 이념이 규정되어 있다. 그 중에서 환경 부하라는 것은 인간의 활동에 의해 환경에 가해진 영향으로 환경을 보전하는데 지장을 줄만한 원인이 되는 것으로 정의하고 있다. 이러한 환경법에 기초하여 여러 가지 환경 기준이 설정되고 있다. 환경 기준은 인간의 건강을 보호하고 생활환경을 보전할 뿐만 아니라 유지하는 데에 필요한 기준으로 수질오염 및 토양오염에 관한 환경 기준이 그 중 하나의 예이다. 수도수에 관해서는 수도법이 설정되어 있으며 배수에 대해서도 수질 기준이 정해져 있다. 이러한 법률에서는 무기물, 유기물 등의 여러 가지 항목에 관한 기준값이 설정되어 있다. 시멘트 및 시멘트 경화체(모르타르, 콘크리트, 고화처리토)와 관련이 있는 항목은 주로 중금속으로 이에 관한 각종 규제 값을 <표 1>에 나타냈다. 토양오염 우려 기준에서 (가)지역은 지적법에 의한 지목이 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 학교용지, 하천, 수도용지, 공원체육용지, 유원지, 종교용지 및 사적지인 지역이고, (나)지역은 지적법에 의한 지목이 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종인 지역이다.

3. 시멘트 중의 중금속 함유량

국내 및 일본에서 생산되는 시멘트 중에 포함되어 있는 중금속의 함유량의 예를 <표 2>에 나타냈다²⁾. 국내 시멘트는 2005년도에 생산된 보통 포틀랜드 시멘트 10개를 측정하였다. 중금속 분석 방법은 시멘트 0.3g을 칭량하여 백금도가니에 넣은 후 불산 5~10 ml와 질산 5 ml를 용기에 넣어 시료를 용해하고 용해된 용액을 170~200 °C 조건에서 완전 건조시켰다. 건조된 시료에 1:1 질산 10~20 ml를 넣어 다시 용해시키고 부피 플라스크에 증류수를 첨가하여 250 ml로 만든 제조 용액을 ICP로 분석하였다. 수용성 6가 크롬은 일본시멘트협회 시험법(JCAS

* 정회원, 군산대학교 신소재·나노화학공학부 교수
shlee@kunsan.ac.kr

** 정회원, 군산대학교 신소재·나노화학공학부 대학원

*** 정회원, 요업기술원, 책임연구원

**** 정회원, 요업기술원, 선임연구원

표 1. 우리나라에서의 중금속에 대한 환경기준

항목	환경정책기본법 (수질환경기준)		폐기물 관리법 (mg/L)	토양환경 보전법(mg/L)		대기환경보전법		수도법 (mg/L)	먹는물 관리법 (mg/L)	지하수법 (mg/L)
	하천 (mg/L)	해역 (mg/L)		(가)지역	(나)지역	가스상 물질	입자상 물질 (mg/Sm ³)			
크롬							0.5-1.0			
6가 크롬	0.05	0.05	1.5	4	12			0.005	0.05	0.05
망간								0.03		
철								0.03		
구리		0.02	3	50	200		10	0.1		
아연		0.1		300	800		10	0.1		
비소	0.05	0.05	1.5	6	20	0.5-3(ppm)		0.005	0.05	0.05
세레늄								0.001	0.01	0.01
카드뮴	0.005	0.01	0.3	1.5	12		0.02-1.0	0.0005	0.005	0.005
수은	0.001	0.0005	0.005	4	16	0.1-5 (mg/Sm ³)		0.0001	0.001	0.001
납	0.05	0.05	3	100	400		0.2-10	0.005	0.05	0.05

I-51-1981)으로 측정하였다³⁾. 일본 시멘트에 대한 데이터는 일본토목학회에서 2003년 발간한 "leaching of minor elements from concrete"에서 인용하였다⁴⁻⁵⁾. 또한 <표 2>에는 참고로 자연계의 토양 중에 포함되어 있는 중금속의 양을 나타냈다⁵⁾. 외국 시멘트 회사에서는 시멘트 중의 중금속 함유량을 토양 함유량 범위 내에서 관리하고 있으며, 시멘트 중의 중금속의 함유량은 거의 대부분 이 범위에 포함되는 것으로 보고되고 있다⁶⁾. 국내 시멘트 중의 중금속 함유량을 일본 시멘트 비교하였을 때 거의 유사한 값을 보였으며 토양 중에 함유되어 있는 중금속의 범위 안에 들어 있었다. 다만, 수용성 6가 크롬의 양은 높은 값을 나타냈다. 수용성 6가 크롬은 자연계에 존재하기 힘든 물질로 강한 산화성을 나타내어 환원하기 쉽다. 자연계에서는 거의 3가 크롬으로 존재한다. 시멘트 중에서 6가 크롬이 생성되는 것은 원료 중에 포함되어 있는 3가 크롬의 일부가 고온, 산화환경인 소성 과정에서 산화되어 6가 크롬이 된다. 이것은 광물을 원

료로 하여 공기 중에서 소성하여 제조되는 시멘트의 숙명이다. 6가 크롬 중에서도 문제가 되는 것은 알카리와 결합한 크롬산염, 즉 물에 잘 녹는 Na₂CrO₄, K₂CrO₄, CaCrO₄로 이것이 시멘트에서 문제가 되는 수용성 6가 크롬이다. 6가 크롬은 알칼리영역에서 음이온인 CrO₄²⁻로서 거동한다. 그렇기 때문에 시멘트를 이용하는 설비에서 배출하는 세정수 등에는 6가 크롬 이온이 검출될 가능성이 있다. 따라서 수질환경기준에서 규정하고 있는 배수 시설로부터의 배출 기준인 0.5 mg/L를 넘지 말아야 하며, 초과할 경우에는 환원제를 첨가할 필요가 있다.

4. 시멘트로부터 중금속의 용출

용출 시험 방법의 대표적인 것에는 한국폐기물용출시험법과 한국토양오염공정시험법이 있다. 토양오염공정시험법은 소수점 4째 자리까지 칭량한 시료를 0.1N HCl의 용매에 1g : 5 ml의 비로 1시간 동안 30℃, 상압에서 100rpm의 속도로 수평진탕을 한다. 그리고 수평진탕으로 제조된 용출액을 거름종이 5B로 여과하여 용출된 중금속을 분석하였다. 2005년도 생산된 국내 시멘트에 대해서 토양오염공정시험법으로 분석한 결과를 <표 3>에 나타냈다²⁾. 6가 크롬을 제외한 중금속은 불검출, 즉 검출한계 이하로 나타났다.

폐기물용출시험법은 소수점 4째자리까지 칭량한 시료를 탈이온수(pH5.8-6.3) 용매에 1g : 10 ml의 비로 6시간 동안 상온, 상압에서 200 rpm으로 수평진탕 하고, 수평진탕으로 제조된 용출액을 1μm의 유리섬유로 여과하여 용출된 중금속을 분석한다. 2005년도 생산된 국내 시멘트에 대해서 폐기물용출시험법으로

표 2. 보통 포틀랜드 시멘트 중의 중금속 함유량의 예(단위 : mg / kg)

항목	한국		일본		토양
	평균값	범위	평균값	범위	
총크롬	101	41-178	98	52-204	5-1500
동	197.5	41-294	140	18-243	2-250
비소	불검출	-	18.9	3.3-106.3	0.1-40
카드뮴	0.75	0-9	2.0	0.6-7.8	0.01-2
수은	불검출	-	0.023	0.002-0.127	0.01-0.5
납	250	35-294	111	7-421	2-300
수용성 6가 크롬	25.9	7.1-51.2	10.8	0.4-32.4	-

표 3. 토양오염공정시험법에 의한 시멘트 중의 중금속 용출 특성(단위 : mg / L)

시료	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
용출 중금속										
아연	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
구리	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
인	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
납	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카드늄	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
붕소	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가 크롬	3.16	5.52	10.03	2.35	6.69	6.29	13.90	2.00	2.94	7.52

표 4. 폐기물용출시험법에 의한 시멘트 중의 중금속 용출 특성(단위 : mg / L)

시료	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
용출 중금속										
아연	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
구리	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
인	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
납	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카드늄	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
붕소	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가 크롬	2.17	3.85	2.33	0.97	2.98	2.76	4.44	0.58	1.04	3.03

분석한 결과를 <표 4>에 나타냈다²⁾. 6가 크롬을 제외한 중금속은 검출한계 이하로 나타났다. 2005년도 생산된 국내 시멘트의 경우 지정폐기물 기준값 1.5mg/L를 초과한 경우가 10개의 시멘트 중에서 6개가 나왔다. 폐기물관리법에 명시된 폐기물의 정의는 "쓰레기, 조각재, 오니, 폐산, 폐알칼리, 동물의 사체 등으로 사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 말한다."라고 정의되어 있다. 즉 마이너스의 가치를 갖는 물질, 상품이다. 시멘트는 사람의 생활이나 사업 활동에 필요한 물질이고 플러스의 가치를 갖는 재료이다. 시멘트는 건설용 기초 소재로서, 시멘트 자체만으로는 사용할 수 없고 물이라는 첨가제가 있어야만 기능을 발휘하여 경화체가 되어 구조물에 쓰이게 된다. 따라서 시멘트에 물을 첨가하여 응결하기 전까지는 6가 크롬이 기준값보다 높게 용출되는 경우가 있어 관리에 주의를 기울여야 한다. 이 과정을 거친 후, 대략 6시간 이후에는 6가 크롬의 용출은 0.05mg/L 이하로 기준값보다 훨씬 낮은 값을 나타낸다. 일본 시멘트도 크롬의 용출농도가 일본 토양오염공정 기준값 0.05mg/L를 넘게 나타나는 경우도 있으나 문제 제기되지 않고 있다⁴⁾. 현재 유해산업폐기물로서 인정받은 폐기물은 시멘트·콘크리트 등에 의한 고화처리를 행하여 유해물질이 외부 환경으로 유입되지 않도록 격리시킨 후 매립 처분하도록 의

무화 하고 있다. 즉 시멘트는 금속 및 유해물질을 유효하게 고정시키는 재료로 규정되어 있고, 중금속을 효과적으로 고정시키는 재료로서 인정되고 있다⁷⁾.

5. 모르타르 및 콘크리트로부터의 중금속 용출

모르타르 경화체의 중금속 용출 특성을 분석하기 위해 모르타르 공시체를 KS L 5105에 따라 제작하였으며 9개의 시멘트에 대해서 시험하였다. 모르타르 공시체 제작, 24시간 경과 후 성형틀에서 모르타르를 탈형하여, 1일 모르타르 공시체는 즉시 증류수로 세정하고, 세정한 모르타르를 증류수에 완전히 침적되도록 하여 용출 시험을 시행하였다. 그리고 나머지 모르타르 공시체는 3일, 7일, 28일간 수중에서 양생한 모르타르 공시체에 대해서 용출시험을 하였다. 용출 시험을 시행하기 전에 모르타르 공시체의 표면을 증류수로 세정하고, 탈이온수와 모르타르 공시체의 비를 5L/L의 비로 고정하여 공시체가 용매에 완전히 침적되도록 폴리에틸렌 용기에 24시간 동안 정치하였다. 용출이 종료한 후 즉시 검액하여 중금속을 분석하였다. <표 5>에서 보듯이 모든 재령에서 중금속 및 수용성 6가 크롬은 검출한계 이하로 나타났다²⁾. 콘크리트의 용출 특성을 파악하기 위하여 혼합

표 5. 국내 시멘트 사용한 모르타르의 중금속 용출결과(단위 : mg/L)

재명	동, 비소, 카드뮴, 수은, 납, 수용성 6가 크롬								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
3일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
7일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
28일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

수/시멘트의 비를 54.3%, 잔골재/골재의 비를 48.5%, 즉 시멘트 306 kg, 잔골재 888 kg으로 콘크리트 공시체를 제조하였다. 제조한 콘크리트 공시체는 지름 100 mm, 높이 200 mm의 원추형 공시체로 제조한 후 24시간 경과 시, 즉시 탈형하여 3일, 7일, 28일간 수중 양생하였다. 용출시험 전, 먼저 공시체 표면을 증류수로 세정하고, 탈이온수와 공시체의 액고비를 5 L/L로 고정하여, 공시체가 용매에 완전히 침적되도록 하였다. 그 후 24시간 경과 후 공시체를 꺼내, 여과 과정을 거친 용출액에 대해 중금속을 분석하였다. (표 6)에서와 같이 수용성 6가 크롬을 비롯한 중금속은 검지되지 않았다²⁾.

6. 중금속 고정화 메커니즘

시멘트 경화체 중에 중금속의 고정화 메커니즘에 대해 기존의 문헌을 중심으로 정리하면 다음과 같다⁴⁾.

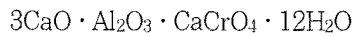
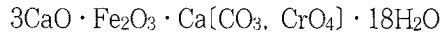
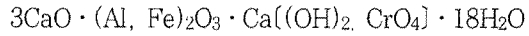
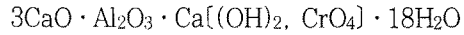
6.1. 6가 크롬

일반적으로 시멘트 수화물은 알칼리성이기 때문에 6가 크롬은 CrO_4^{2-} 이온 형태로 존재하고, 수화물 중에서 에트린자이트(Aft) 또는 모노설페이트(AFm)에 고정되는 것으로 알려져 있다⁷⁾. 직경 100 μm 로 분쇄한 칼슘알루미네이트, 칼슘페라이트, Aft, C_3S 등의 분말과 6가 크롬 수용액을 혼합하여 고정화 실험을 한 결과, 6가 크롬의 고정화에 크게 기여하는 것은 AFm상이고, 이때에 수용액 중의 6가 크롬 농도가 초기값 50 ppm으로부터 0.05 ppm으로 감소되었다⁸⁾. 6가 크롬이 고정된 AFm상

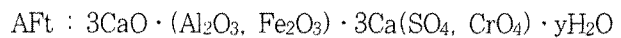
표 6. 국내 시멘트를 사용한 콘크리트의 용출 결과(단위 : mg/L)

재명	동, 비소, 카드뮴, 수은, 납, 수용성 6가 크롬								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
3일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
7일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
28일	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

은 다음과 같은 형태로서, 6가 크롬은 OH^- 또는 CO_3^{2-} 가 CrO_4^{2-} 로 치환되는 것에 의해 고정화된다.



Aft상이나 CSH 겔은 6가 크롬을 크게 고정화 시키지는 않지만, Aft는 SO_4^{2-} 이온이 CrO_4^{2-} 이온과 치환하는 것에 의해 고정화되고, CSH 겔은 흡착에 의해 고정화되는 것으로 알려져 있다. 6가 크롬 농도 10mg/L을 함유하고 있는 크롬산칼륨 수용액과 무기분체를 반응시킨 실험에서 6가 크롬은 주로 칼슘알루미네이트와 반응하여 Aft 또는 AFm 고용체 생성에 의해 고정화 된다. 그리고 이러한 고정화는 용액 중의 SO_4^{2-} 이온 농도의 감소에 의해 촉진되므로 과잉한 석고의 첨가는 6가 크롬의 고정화를 지연시키든지 방해한다. 마찬가지로 염화물의 첨가는 6가 크롬의 고정화를 지연 또는 방해한다⁹⁾. Aft나 CSH 겔에 대한 6가 크롬의 상세한 고정화 메커니즘에 대해서는 앞으로 상세한 검토가 필요하다. 그렇지만 AFm의 고정화에 대해서는 고정화 능력이 크고 메커니즘에 대해서도 대부분 밝혀졌다. 6가 크롬 함유 칼슘알루미네이트 수화물의 조성식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



시멘트 수화물에 의한 6가 크롬의 고정화 능력의 한 예를 (표 7)에 나타냈다. 일반적으로 시멘트 클링커 구성광물의 비율을 C_3S 50%, C_2S 20%, C_3A 10%, C_4AF 10%, 기타 10%로 하고, 완전 수화하였을 때 6가 크롬의 고정화 양을 계산하면 시멘트에 대해서 87.9 mg/kg가 된다. 이러한 계산에 의하면 최종적으로 시멘트 중의 거의 모든 6가 크롬은 시멘트 수화물에 고정되어 용출되지 않는다⁷⁾.

6.2. 기타 중금속

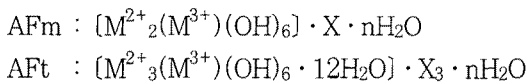
미량의 중금속을 함유한 포틀랜드 시멘트를 이용하여 모르타르의 용출시험을 한 결과를 보면 아연은 pH가 높을수록 고정화율이 높아지고, pH = 8-13에서는 난용성 염을 형성한다. 납은 pH = 12.5 이상에서는 부분적으로 용출하지만, pH = 7~12.5에서는 시멘트 수화물에 거의 고정화된다¹⁰⁾. 포틀랜드 시멘트의

표 7. 시멘트 수화물에 의한 6가 크롬 고정 능력^{*)}

클링커 광물	생성 수화물	6가 크롬 첨가량 (mg/광물kg)	재량 (일)	6가 크롬 고정능력 (mg/광물kg)
C ₃ S	CSH	100	21	97.0
C ₃ A+3CaSO ₄ ·2H ₂ O	에트린자이트			88.2
C ₃ A+CaSO ₄ ·2H ₂ O	모노설페이트	14	14	>99.8
C ₃ A	C ₃ AH ₆			>99.8

높은 pH 특성은 많은 중금속을 수산화물, 수화물 또는 탄산염으로 침전시킨다¹¹⁾.

중금속이 수화물에 고정될 때에 형태는 다음과 같다.



여기서 M은 양이온, X는 1가 또는 2가의 음이온이다. 일반적으로 M²⁺, M³⁺, X²⁻는 각각 칼슘, 알루미늄 혹은 철, 황산이온이다. 결정학적으로 Cd²⁺, Co²⁺, Ni²⁺이온은 Ca²⁺로, Cr³⁺, Mn³⁺, Ni³⁺, Co³⁺이온은 Al³⁺나 Fe³⁺로, CrO₄²⁻, SeO₄²⁻, B(OH)⁻는 SO₄²⁻로 치환이 가능하다. 또한 시멘트페이스트의 표면은 표면적이 매우 크고, 대전하고 있기 때문에 전기적인 흡착 현상에 의해서도 고정화된다⁴⁾.

7. 우리나라에서의 시멘트 중의 중금속 관리 방안

2005년 3월 이후 시멘트에 함유된 중금속의 발생 원인 규명 및 저감방안에 대해 활발한 논의가 이루어져 환경부를 소관으로 하는 시멘트 민관정책협의회가 구성되었다. 민관정책협의회는 정부와 업계, 학계와 연구기관, 시민단체 등이 참여하고 있으며, 발생 원인, 인체유해성 규명, 외국의 규제 및 시험 방법, 가이드라인 설정 등을 목표로 하여 활동하여 왔다. 그 결과를 바탕으로 2006년 9월에 다음과 같은 관리 방안을 발표하였다¹²⁾.

시멘트 중의 6가 크롬 시험 방법은 용이성, 재현성 등을 고려하여 일본시멘트협회시험법(JCAS I-51)이 적당하고, 함유기준도 일본과 동등한 "20 mg/kg 이하"가 타당하다. 시멘트 중의 6가 크롬의 함유 기준을 2008년 1월부터 30 mg/kg, 2009년 1월부터 20 mg/kg 이하로 단계적으로 설정하여 관리한다. 2008년부터 매년 한국양회공업협회와 국립환경과학원 공동으로 6가 크롬의 함유량에 대한 측정 결과를 협회 홈페이지에 게재하는 등 공표하여 업계의 자율적인 6가 크롬 저감 노력을 유도한다. 그리고 부원료 등에 함유된 총 크롬의 함유량을 1,800 mg/kg 이하로 관리하기 위한 가이드라인을 제정하여 시멘트 업계의 자율적 관리 기준을 2009년 산업표준화법에 의한 KS 규격 중

"시멘트 화학성분 규격"에 반영하도록 산업자원부에 요청한다.

향후 환경부는 시멘트업계 부원료의 총 크롬관리, 6가 크롬 자율관리기준 준수 노력이 계획대로 이행될 수 있도록 철저히 관리해 나가는 한편, 보다 선진화된 저감 방안이 마련될 수 있도록 관련 저감 기술 개발을 추진토록 하는 등 업계를 독려한다. 그리고 이러한 관리 방안을 근간으로 시멘트업계는 시멘트의 부원료 또는 보조연료로 소성로에 투입하는 국내·외 타사로부터 반입되는 폐수/정수처리장 오니, 폐주물사, 전로슬래그, 메탈/Cu 슬래그 분철 등 철질원료는 함유량을 확인하여 조치를 취하도록 하고 있다. 즉 반입 전 송장 등에 첨부되어 있는 성분 분석표에 의거 총 크롬 함량을 확인하고, 성분 분석이 없는 경우에는 자체분석을 통해 폐자원의 입고 회사별·성상별로 구분하여 크롬 농도에 따라 등급을 설정하도록 되어있다. 입고 시에는 등급별로 정해진 주기에 따라 분석을 실시하여 총 크롬의 함유량이 1,800 ppm 초과된 폐기물은 시멘트의 부원료·보조연료로 투입 및 반입을 중단하고 있다. 또한 시멘트 업계에서는 킬른 내 내화물을 크롬이 없는 내화물로 대체하거나 불밀을 틀러 밀로 대체하고자 하는 계획을 추진하는 등 시멘트 중의 6가 크롬의 함유량을 줄이기 위해 부단히 노력하고 있다.

8. 맺음말

본고에서는 국내 시멘트 중에 함유되어 있는 중금속 함유량을 일본 시멘트와 비교 검토하였으며, 시멘트, 모르타르 및 콘크리트에서의 중금속 용출량을 조사하였다. 그리고 우리나라에서의 6가 크롬 관리 방안에 대해 언급하였다. 6가 크롬을 제외한 중금속의 함유량은 대부분 토양 중에 함유되어 있는 중금속 범위 내에 있었으며, 일본 시멘트와 유사한 값을 나타냈다. 그리고 시멘트에 대한 중금속 용출시험에서도 6가 크롬을 제외하고는 검출되지 않았다. 모르타르 및 콘크리트 1일 경화 이후의 용출 시험에서는 6가 크롬을 포함한 중금속이 기준치 이하의 극미량이 용출되었다. 따라서 콘크리트 구조물로부터 중금속에 의한 환경오염 우려는 없는 것으로 파악할 수 있었다. 그러나 젖은 시멘트를 다루는 작업자를 위해서는 시멘트 중의 6가 크롬에 대한 관리가 필요하므로 환경부에서는 시멘트 중의 수용성 6가 크롬의 함유기준을 2008년 30 mg/kg 이하, 2009년에는 일본 기준인 20 mg/kg 이하로 규제하는 가이드라인을 설정하였다.

시멘트는 중금속을 시멘트 수화물에 고정시켜 환경오염확대를 방지하는 우수한 재료이므로 앞으로도 유해물질 처리에 큰 공헌을 할 것이다. 따라서 시멘트가 환경에 미치는 영향을 단편적인 시각으로 평가하는 것보다는 종합적으로 평가하고 판단하여 논하는 것이 바람직하다. □

참고문헌

1. 이승현, 이종규, "시멘트 중의 크롬에 대한 고찰, 세라미스트", Vol.9, No.3, 2006, pp.16 ~ 21.
2. 요업기술원, 군산대학교, "시멘트 중금속 함량조사 연구보고서", 2006. 5.
3. 일본시멘트협회, "흡광광도법에 의한 시멘트중의 수용성 6가 크롬의 정량방법", JCAS I-51-1981.
4. Japan Society of Civil Engineering, *Leaching of Minor Elements from Concrete*, 2003. 5.
5. T. Ugajin, "The Effects of the Trace Elements in Cement on the Environment", *Concrete Journal*, Vol. 39, No. 4, 2001, pp.14 ~ 19.
6. S. Takahashi, "The Effects of the Trace Elements in Cement on the Environment, Cement · Concrete", No. 640, 2000, pp.20 ~ 29.
7. Hongye He and Hideaki Suito, "Immobilization of Hexavalent Chromium in Aqueous Solution through the Formation of 3CaO · (Al, Fe)2O3 · Ca(OH)2 · xH2O Phase, Ettringite and CSH Gel", *ISIJ International*, Vol.42, No.2, 2002, pp.139 ~ 145.
8. 牛山宏隆, セメント水和物による六価クロム固定化に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.54, 2000, pp.123-128.
9. I. Serclerat and P. Moszkowicz, "Retention Mechanism in Mortars of the Trace Metals Contained in Portland Cement Clinkers", *Waste Materials in Construction*, Putting Theory into Practice, 1997, pp.339 ~ 347.
10. D. Bonen and S.L. Sarkar, "The Present State of the Art of Immobilization of Hazardous Heavy Metals in Cement Based Materials", *Advanced in Cement and Concrete*, Vol.20, No.7, 1994, pp.481 ~ 498.
11. 이승현, 친환경 및 미래소재로서의 시멘트-시멘트 중의 6가 크롬을 중심으로, 환경과 콘크리트 국제 심포지엄, 한국콘크리트학회, 2006. 11.

콘크리트 기술 전문도서 소개

1	합성구조 설계기법 및 최근 기술 - 기술강좌 교재 - · 회원 : 21,500원 · 비회원 : 27,000원
2	콘크리트 구조물 거꾸집(동바리)의 설계 및 시공 - 기술강좌 교재 · 회원 : 20,000원 · 비회원 : 25,000원
3	노출 콘크리트 제조, 설계, 시공기술 - 기술강좌 교재 - · 회원 : 13,500원 · 비회원 : 17,000원
4	시설물의 리모델링의 이해와 실제 - 2006년도 제1회 기술강좌 교재 - · 회원 : 16,000원 · 비회원 : 20,000원
5	개정삼판 콘크리트용어집 · 회원 : 9,500원 · 비회원 : 12,000원
6	21세기 콘크리트 기술 · 회원 : 9,500원 · 비회원 : 12,000원
7	레미콘 플랜트 설비와 콘크리트 품질 - 콘크리트 특집도서 시리즈 KCI SP1 - · 회원 : 8,000원 · 비회원 : 10,000원
8	콘크리트의 재활용 - 콘크리트 특집도서 시리즈 KCI SP2 - · 회원 : 11,200원 · 비회원 : 14,000원
9	유동화 콘크리트 - 콘크리트 특집도서 시리즈 KCI SP3 - · 회원 : 8,800원 · 비회원 : 11,000원
10	철근콘크리트구조물의 내화특성 - 콘크리트 특집도서 시리즈 KCI SP4 - · 회원 : 10,000원 · 비회원 : 12,000원
11	콘크리트의 미학 - 콘크리트 특집도서 시리즈 KCI SP5 - · 회원 : 10,000원 · 비회원 : 12,000원

▶ 도서 구입은 학회 홈페이지(www.kci.or.kr)에서 구입 가능하며, 방문 또는 전화로도 구입하실 수 있습니다. 전화로 구입하시고자 하실 때에는 아래 계좌에 입금을 하시고 학회로 연락 주시기 바랍니다. 우송료는 착불입니다.
 씨티은행 : 102-53655-255 (예금주 : 한국콘크리트학회) (TEL 568-5985~7, FAX 568-1918)