

국내 시멘트 중의 중금속 수준에 대한 고찰

이 승 현 (군산대학교 신소재공학과 교수)

1. 서 론

시멘트는 천연의 석회석, 점토, 규석, 산화철 원료 및 유연탄 등을 주원·연료로 사용하여 제조된다. 그리고 자원의 유효이용이라는 관점에서 각종 부산물 혹은 폐기물이 원료 및 연료로 재활용 되고 있다. 이러한 천연 원료, 연료, 부산물, 폐기물 중에는 시멘트의 주요 구성성분 이외에도 중금속이 미량 함유되어 있어, 시멘트 제조과정 중 최종 시멘트 제품에 포함되고, 일부는 연도를 통해 배기가스로 배출될 수 있다. 이에 따라 시멘트 제품 및 배출가스의 중금속에 대한 관리는 품질·공정에서 필수항목으로 자리를 잡아가고 있다.

현재 중금속은 생활환경의 보존과 사람의 건강에 영향을 미치므로 환경기준법에 의해 환경기준이 설정되어 있다. 시멘트도 대상이 되는 일부 중금속을 함유하고 있으므로 시멘트 및 콘크리트가 환경에 미치는 영향을 검토하는 것은 환경보존과 인간의 건강 유지라는 측면에서 매우 중요하다.

2005년 3월 이후 시멘트에 함유된 6가 크로뮴의 발생원인 규명 및 저감방안에 대해 활발한 논의가 이루어져 환경부를 소관으로 하는 시멘트 민관정책협의회가 구성되었다. 민관정책협의회는 정부, 시민단체, 주민, 업계, 학계와 연구기관 등이 참여하여 발생원인, 인체유해성 규명, 외국의 규제 및 시험방법, 가이드라인 설정 등의 제정을 목표로 활동하였다. 그 결과 2008년 5월에 환경부는 시멘트 중금속 정

밀분석 결과를 발표하였고 후속 조치로서 매월 시멘트내 중금속 함량조사 결과 발표, 시멘트 소성로 환경관리 개선계획, 시멘트 제조에 사용되는 폐기물의 중금속 함량기준 설정, 시멘트 소성로의 대기오염물질 배출허용기준 강화, 시멘트 공장 주변지역 주민 건강영향 조사 등을 실시하여 왔다. 그러나 아직까지 국민들의 신뢰를 확보하는 데에는 미진한 점이 있어, 앞으로 꾸준한 조사, 기술 개발과 정보공개를 통하여 국내 시멘트 제품에 대한 신뢰성을 쌓아 나가는 것이 무엇보다 중요하다.

본고에서는 그동안 국내에서 진행되었던 시멘트 중의 중금속에 대한 데이터를 바탕으로 국내 시멘트에 함유되어 있는 중금속 수준에 대해 검토하였다.

2. 중금속에 대한 국내 환경 규제값

우리나라 환경법에는 환경보전에 대한 기본 이념이 규정되어 있다. 그중에서 환경 부하라는 것은 인간의 활동에 의해 환경에 가해진 영향으로 환경을 보전하는데 지장을 줄만한 원인이 되는 것으로 정의하고 있다. 이러한 환경법에 기초하여 여러 가지 환경기준이 설정되고 있다. 환경기준은 인간의 건강을 보호하고 생활환경을 보전할 뿐만 아니라 유지하는데에 필요한 기준으로 수질오염 및 토양오염에 관한 환경기준이 그중 하나의 예이다. 수도수에 관해서는 수도법이 설정되어 있으며 배수에 대해서는 수질기준이 정해져 있다. 이러한 법률에서는 무기물, 유기

〈표-1〉 우리나라에서의 중금속에 대한 환경기준

항 목	환경정책기본법 (수질환경기준)		폐기물 관리법 (mg/L)	토양환경보전법 (mg/L)		수도법 (mg/L)	먹는물 관리법 (mg/L)	지하수법 (mg/L)
	하천(mg/L)	해역(mg/L)		(가)지역	(나)지역			
Cr	총Cr							
	6가Cr	0.05	0.05	1.5	4.0	12.0	0.005	0.05
Mn						0.03		
Fe						0.03		
Cu		0.02	3.0	50.0	200.0	0.1		
Zn		0.1		300.0	800.0	0.1		
As	0.05	0.05	1.5	6.0	20.0	0.005	0.05	0.05
Se						0.001	0.01	0.01
Cd	0.005	0.01	0.3	1.5	12.0	0.0005	0.005	0.005
Hg	0.001	0.0005	0.005	4.0	16.0	0.0001	0.001	0.001
Pb	0.05	0.05	3.0	100.0	400.0	0.005	0.05	0.05

물 등의 여러 가지 항목에 관한 기준값이 설정되어 있다. 시멘트 및 시멘트 경화체(몰탈, 콘크리트, 고화처리토)와 관련이 있는 항목은 주로 중금속으로 이에 관한 각종 규제값을 〈표-1〉에 나타냈다. 현재 규제와 관련이 있는 중금속은 6가 크로뮴, 구리, 비소, 납, 수은, 카드뮴 등 6개의 중금속이 공통적이며, 수도법과 관련하여 추가적으로 세렌, 아연, 철, 망간 등의 항목이 규제되고 있다.

토양오염우려 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. 국내 시멘트 산업에서 폐기물 사용에 따른 환경부하 저감

시멘트 산업은 사회자본의 구축에 불가결한 물자를 공급하기 위해서 다량의 자원과 에너지를 사용하는 산업이다. 시멘트 산업은 2007년도의 통계에서 약 8,500만톤의 자원을 소비해서 약 5,200만톤의 시

멘트를 생산하고 있다. 시멘트는 콘크리트를 비롯한 기타 건설자재로 사용되고 있으며, 콘크리트 등은 연간 약 3억톤이 생산되어 그 사용목적이 끝나면 해체, 폐기된다. 2006년도에 콘크리트 폐기물을 포함해서 1억 2천만톤 가까운 폐기물 등이 발생하고 있다. 한편, 시멘트의 제조에 관해서는, 다량의 에너지를 필요로 하며, 또한 시멘트 주원료인 석회석은 열분해를 동반하여 CO₂가 발생하기 때문에, 다량의 CO₂를 배출하고 있다. 즉, 시멘트 산업은 스스로 산업내에서 자원 순환하는 것은 적으며, 또한 다량의 CO₂를 배출할 수밖에 없는 산업 구조로 되어 있다. 그러나 시멘트 산업은 타산업으로부터의 폐기물·부산물이나 생활 쓰레기를 원료 및 에너지원으로서 이용하는 것으로, 순환형 사회의 구축에 있어서 큰 역할을 하고 있다. 앞에서 기술한 것과 같이 연간 1.2억톤 가까운 폐기물이 발생하고 있지만, 시멘트 산업은 그중 1,440만톤을 재자원화하고 종래 매립 또는 단지 소각되고 있던 폐기물을 시멘트 제조공정에서 에너지로서 이용함으로써, 화석 연료의 사용량을 삭감하여 사회 전체로서 CO₂의 배출량을 감소시키고 있다. 이것은 천연 자원을 절약할 뿐만 아니라 폐기물 처분량을 삭감하는 것으로 최종 처분장을 연명

〈표-2〉 국내 석회석의 중금속 분석 결과 예

(단위 : mg/kg)

구 분	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg	샘플수
1	13 ~ 31 (22)	ND ~ 67 (22)	ND	ND	ND	ND	3
2	14.30 ~ 63.08 (28.30)	ND ~ 21.74 (13.00)	1.40 ~ 4.17 (2.20)	8.38 ~ 14.49 (12.57)	ND	ND	4
3	8.88 ~ 15.82 (13.10)	6.74 ~ 24.39 (12.88)	1.96 ~ 4.69 (3.70)	9.17 ~ 111.44 (50.12)	ND ~ 2.48 (0.64)	ND ~ 2.71 (1.06)	4
4	0.7 ~ 12 (9)	-	0.2 ~ 12 (6)	0.3 ~ 21 (7)	0.02 ~ 0.5 (0.07)	0.005 ~ 0.1 (0.03)	-

- 1 : 요업기술원 표준시험방법, 자체조사(2005년 시료)
- 2 : EPA 3051법, 환경부 실태조사 결과(2007.12 ~ 2008.3)
- 3 : Microwave 전처리, ICP-AES로 측정, 전주대학교(2008.7)
- 4 : 독일 석회석, 참고문헌 참조

하여 자연 환경의 보전에도 공헌하고 있다.

따라서 시멘트 산업에서 폐·부산물의 사용 효과로서, 최종 처분장의 수명 연장과 CO₂ 발생 저감을 들 수 있다. 시멘트 산업에서 폐·부산물을 사용함으로써, 최종 처분장의 수명은 연장된다. 또한 폐·부산물을 열에너지로서 이용하면, 그만큼 화석 연료 유래 에너지의 사용량을 삭감할 수 있으므로, 화석 연료에서 기인되는 CO₂도 삭감할 수 있다. 즉 단순한 소각으로 이용하지 않았던 열에너지를 시멘트 생산에 전용하는 것으로, 전체로서의 에너지 소비, CO₂ 배출을 삭감할 수 있다. 또한 시멘트 산업은 소각 후의 잔사가 시멘트 원료로 사용되어 2차 폐기물이 발생하지 않는다는 특징을 가지고 있다.

4. 국내 시멘트 제조 원료에 포함된 중금속 함유량

시멘트 1톤 제조시에 필요한 석회석의 양은 각 공장간에 약간의 차이는 있지만 약 1,150kg 정도로 시멘트 원료의 약 80% 이상을 차지하고 있어 주원료라 부른다. 우리나라 시멘트 제조에 사용되는 석회석 중의 중금속 함유량을 조사한 결과를 〈표-2〉에

나타냈다.

시험방법은 EPA 3051 법과 요업기술원 표준시험방법이 있으나, 현재 국내는 EPA 3051 법으로 통일되어 측정하는 것이 관례화 되고 있다. 석회석 중의 중금속은 크로뮴이 제일 많았으며, 8.88 ~ 63.08mg/kg의 함유량을 나타내었다. 크로뮴 이외의 중금속은 석회석의 종류에 따라 다양한 함유량을 나타내고 있다. 일본 시멘트협회에서 10개의 석회석에 대하여 크로뮴의 함량을 조사한 결과, 3.0 ~ 35.1mg/(시멘트 1kg)으로 보고하였다. 이 값은 시멘트 1kg을 기준으로 한 값을 보고한 것으로, 정확하게 석회석 1kg에 대한 크로뮴 함유량을 추정할 수는 없지만, 문헌에 나와 있는 석회석의 원료 원단위 1,254kg으로 환산하면 석회석 중의 총크로뮴 양은 2.4 ~ 30.0 mg/kg으로 우리나라 석회석보다 크로뮴의 양은 적은 것으로 추산된다. 또한 독일에서 조사된 석회석의 크로뮴 함유량은 0.7 ~ 12g/t(평균:9g/t)으로 국내보다는 적은 값을 나타냈다.

크로뮴 이외의 중금속은 독일의 경우와 비교하면, 비소는 낮은 값을 나타냈으나, 다른 중금속은 상한 값에서 차이를 나타냈다.

점토질 원료는 SiO₂ 성분, Al₂O₃ 성분 및 Fe₂O₃ 성분을 공급하는 원료로 SiO₂ 60 ~ 75%, Al₂O₃ 10 ~

〈표-3〉 폐·부산물의 중금속 분석 결과 예

(단위 : mg/kg)

시료명	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg
경석 1 (3개)	29~337 (145)	26~97 (51)	ND	ND~30 (10)	ND	ND
경석 2 (3개)	13.41~107.70 (45.67)	25.19~84.96 (55.35)	ND~18.67 (8.47)	9.03~186.20 (72.16)	ND	0.108~0.184 (0.156)
경석 3	43.1	63.7	49.17	268.57	6.22	0.64
석탄회 1	139	61	ND	ND	ND	ND
석탄회 2 (3개)	12.86~67.09 (31.45)	ND~14.58 (11.45)	2.57~29.33 (16.67)	ND~14.58 (7.63)	ND~0.840 (0.42)	ND~0.251 (0.090)
석탄회 3	61.90	165.83	14.68	187.97	5.83	ND
오니류 2	15.80~36.34 (29.11)	4.38~31.51 (18.35)	2.73~302.83 (103.06)	ND~22.81 (11.36)	ND	ND~0.0803 (0.0268)
납석 1 (2개)	59~149 (104)	ND~90 (45)	ND	ND	ND	ND
납석 2	26.24	23.52	29.87	30.52	ND	ND
점토 4	20~90 (60)	-	13~23 (18)	10~40 (17)	0.05~0.2 (0.16)	0.02~0.15 (0.03)

- 1 : 요업기술원 표준시험방법, 자체조사(2005년 시료)
- 2 : EPA 3051 법, 환경부 실태조사 결과(2007.12~2008.3)
- 3 : Microwave 전처리, ICP-AES로 측정, 전주대학교(2008.7)
- 4 : 독일 점토, 참고문헌 참조

25%, Fe₂O₃ 5~10% 정도를 공급하는 원료이다. 점토질 원료의 원료 원단위는 약 214kg/(시멘트 1,000 kg 기준)이다. 기존에는 점토질 광물이 사용되었으나, 자원이 풍부하지 못해 산업 폐·부산물인 경석, 석탄회, 오니류, 소각재 등으로 대체되고 있다. 국내에서 사용되는 점토질 원료로 사용되는 폐기물, 부산물 중금속 분석 결과를 〈표-3〉에 나타냈다. 참고로 시멘트 공장에서 점토질 원료로 널리 사용되는 천연 납석의 중금속 함유량도 같이 나타냈다. 대체적으로 중금속 함유량의 편차가 커서, 최대량과 최소량의 범위차가 매우 크게 나타났다.

크로뮴은 모든 원료에 포함되어 있고 12~337mg/kg의 범위로 대체적으로 납석과 비슷한 값을 나타냈다. 특히 점토 원료로 널리 사용되는 경석은 13~337mg/kg로 넓은 범위의 함유량을 나타냈다. 최근

점토 대체원료로 사용되는 석탄회(Fly Ash 포함)도 납석과 비슷한 함유량을 나타냈다. 오니류의 경우 비소의 함유량 범위가 매우 커서 사용시에 주의를 할 필요가 있다. 기타 중금속으로 구리, 납, 카드뮴, 수은을 함유하고 있었으며, 납석이나 점토와 유사하거나 약간 높은 값을 나타냈다.

규산질 원료는 점토질 원료만으로는 SiO₂ 성분이 모자라는 경우에 이것을 보충하기 위해 사용되는 원료로 규석, 규사 등이 사용되고 있으며, 폐·부산물로 폐주물사 등이 사용되고 있다. 규산질 원료로 사용되는 폐주물사의 중금속 분석 결과의 일례를 규석과 비교하여 〈표-4〉에 나타냈다. 폐주물사는 규석과 비교하여 크로뮴의 함량이 높았으며 가장 높은 국내 점토질 원료로 사용되는 것은 351mg/kg을 나타내었다. 크로뮴 이외의 중금속을 규석과 비교하면 구

〈표-4〉 국내에서 사용되는 폐주물사 중금속 분석결과와 예

(단위 : mg/kg)

시료명	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg
폐주물사 1 (3개)	92 ~ 351 (206)	23 ~ 188 (100)	ND	ND ~ 156 (52)	ND	ND
폐주물사 2	240.17	246.23	4.63	82.56	0.517	ND
폐주물사 3	72.31	91.99	0.007	11.04	0.03	ND
규석 1	10 ~ 13 (12)	58 ~ 90 (74)	ND	ND	ND	ND
규석 2 (4개)	18.19 ~ 187.23 (135.68)	7.048 ~ 29.007 (14.47)	1.23 ~ 66.20 (18.72)	ND ~ 112.80 (30.92)	ND	ND ~ 1,963 (0.491)
규석 3 (2개)	26.7 ~ 42.8 (34.75)	20.74 ~ 36.99 (28.87)	2.44 ~ 62.09 (32.27)	33.45 ~ 76.66 (55.06)	0.86 ~ 2.1 (1.48)	ND ~ 2.4 (1.2)

- 1 : 요업기술원 표준시험방법, 자체조사(2005년 시료)
 2 : EPA 3051법, 환경부 실태조사 결과(2007.12 ~ 2008.3)
 3 : Microwave 전처리, ICP-AES로 측정, 전주대학교(2008.7)

리는 높은 값을 나타냈으나 나머지 중금속은 유사내지는 이하의 값을 나타냈다. 일본 시멘트협회 보고에 의하면 일본 규석질 원료(9개 규석, 1개 기타)의 크로뮴 함유량은 0.3 ~ 54.8mg/(시멘트 1kg)으로 규석의 원료 원단위는 62kg/(시멘트 1톤)으로 할 경우 규석질 원료 중의 크로뮴 함유량은 4.8 ~ 883.9 mg/kg으로 우리나라 규석질 원료와 비교할 때 하한값은 낮았으나 상한값은 매우 높은 값을 나타냈다.

보통 포틀랜드 시멘트 중에는 Fe₂O₃ 성분이 약 3 ~ 4% 정도 포함되어 있다. Fe₂O₃ 성분은 석회석이나 점토질 원료 중에 적은 양이 들어있지만, 그 정도의 양으로는 부족하므로 별도로 공급을 해주어야 한다. Fe₂O₃ 성분 원료로는 천연원료인 철광석이 좋으나 가격이 비싸므로, 국내에서는 주로 제철소의 부산물인 제강슬래그, 철질 슬러지, 동제련에서 배출되는 동 수쇄 슬래그를 사용하고 있다. 기존에는 아연 제련소에서 배출되는 부산물(자이로사이트)도 일부 사용하였으나 납의 함유량이 많아 최근에는 가능한 사용을 억제하고 있다. 따라서 철질원료로 사용하는 폐기물은 제련 과정에서 배출되는 폐·부산물이 많이 사용되고 있기 때문에 중금속의 함유량이

다른 원료질에 비해 많다는 특징이 있다.

국내에서 사용되었던 철질원료의 중금속의 함유량 일례를 〈표-5〉에 나타냈다.

총 크로뮴은 최고 1,180mg/kg 범위로 함유하고 있었으며, 특히 제강슬래그에 크로뮴의 함유량이 높았다. 철질 원료로 사용되는 폐·부산물의 특징적인 것은 크로뮴 외에 구리, 비소, 납, 카드뮴 등의 중금속을 상당량 함유하고 있었다. 구리는 14 ~ 7,565mg/kg, 비소는 ND ~ 1,875mg/kg, 납은 375 ~ 51,400 mg/kg(최근 자이로사이트는 사용을 억제함), 카드뮴은 ND ~ 690mg/kg 포함되어 있어 다양한 중금속을 함유하고 있었다. 일본 시멘트협회 보고에 의하면 일본 철질 원료(6개)의 크로뮴 함유량은 0.5 ~ 26.9mg/(시멘트 1kg)으로 철질 원료 원단위는 36 kg/(시멘트 1톤)으로 할 경우 철질 원료 중의 크로뮴 함유량은 13.9 ~ 747.2mg/kg이다. 그리고 전로 슬래그(4개) 중의 크로뮴 함유량은 6.3 ~ 64.0mg/(시멘트 1kg)으로 철질 원료 원단위로 환산하면 175 ~ 1,777.8mg/kg으로 우리나라 철질 원료와 비교할 때 비슷한 수준을 나타냈다.

시멘트 혼합제로 사용되는 고로 수쇄 슬래그, 응

〈표-5〉 국내에서 철질원료로 사용되었던 폐·부산물의 중금속 함유량 예

(단위 : mg/kg)

시 료 명	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg
제강슬래그 1 (2개)	1,165 ~ 1,180 (11,725)	14 ~ 27 (21)	ND	ND ~ 46 (23)	ND	ND
제강슬래그 2 (3개)	79.43 ~ 820.57 (251.47)	15.44 ~ 107.40 (64.40)	0.95 ~ 21.43 (13.06)	13.49 ~ 1015 (592.76)	ND ~ 11.66 (8.68)	ND ~ 1,7253 (0.643)
제강슬래그 3	712.1	5.75	ND	11.25	0.015	ND
Cu 슬래그 1	499	10,350	148	929	19	ND
크린철 1 (2개)	183 ~ 313 (248)	6,075 ~ 7,565 (6,820)	1,570 ~ 1,875 (1,723)	11,100 ~ 13,900 (12,500)	223 ~ 250 (237)	ND
크린철 2	142.57	3,560.00	203.60	2,426.00	49.73	0.0897
분철 3	237.6	1,416.7	451.4	871.8	56.84	4.88
자이로사이트 1	31 ~ 97 (71)	1,755 ~ 2,755 (2,150)	1,005 ~ 1,130 (1,068)	44,000 ~ 51,400 (48,867)	468 ~ 690 (595)	ND
자이로사이트 3	120.98	2,193.6	349.0	23.86	640.04	4.65
메탈슬래그 1 (2개)	136 ~ 516 (326)	137 ~ 1,130 (634)	ND	375 ~ 1,220 (798)	ND ~ 10 (5)	ND
메탈슬래그 2	331.00	3,080.00	316.90	1,509.67	35.43	0.2777
제강슬러지 1	76	151	ND	1,805	27	ND
철광석 1 (2개)	ND ~ 186 (93)	62 ~ 2,545 (1,239)	ND	ND ~ 1,085 (543)	ND ~ 19 (10)	ND
철질원료 3 (2개)	109.1 ~ 431.0 (270.05)	53.3 ~ 199.2 (126.3)	23.9 ~ 162.1 (93.0)	824.4 ~ 1,732.1 (1,278.3)	40.12 ~ 53.31 (46.72)	ND

- 1 : 요업기술원 표준시험방법, 자체조사(2005년 시료)
- 2 : EPA 3051법, 환경부 실태조사 결과(2007.12~2008.3)
- 3 : Microwave 전처리, ICP-AES로 측정, 전주대학교(2008.7)

결시간을 조정하기 위해 첨가하는 석고에 사용되는 폐·부산물의 중금속 함유량의 예를 〈표-6〉에 나타냈다.

고로 수쇄 슬래그, 석고 등은 중금속 함유량이 매우 적었으나, 고로슬래그는 크로뮴을 약간 함유하고 있었으며, 일부 탈황석고에서 비소, 납, 카드뮴 등이 함유되고 있었다.

연료로 사용하는 폐·부산물의 중금속 함유량의 예를 〈표-7〉에 표시하였다.

유연탄과 비교하여 폐타이어는 유사하거나 약간 많은 양의 함유량을 나타냈고, 폐합성수지는 일부의

RPF에서 납, 카드뮴의 양이 유연탄보다 높은 값을 보였으나 대체적으로 원료용으로 사용되는 폐·부산물보다는 매우 적은 양을 나타냈다.

5. 국내 시멘트 중의 중금속 함유량

우리나라 시멘트에 대한 6가 크로뮴을 포함한 중금속 함유량에 대한 첫번째 보고는 환경부에서 의뢰하여 요업기술원에서 수행하여 2006년 5월에 보고한 “2005년도 시멘트 중 중금속 함량조사 연구”로서 국내 각사 10개의 시료에 대해 조사하였다. 이

〈표-6〉 응결지연제/혼합재로 사용되는 페·부산물의 중금속 함유량의 일례

(단위 : mg/kg)

시료명	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg
고로슬래그 1 (2개)	18 ~ 39 (28.5)	ND ~ 34 (17)	ND	ND	ND	ND
고로슬래그 2 (3개)	35.63 ~ 101.93 (64.48)	ND ~ 18.867 (6.289)	ND ~ 1.12 (0.56)	ND ~ 12.19 (4.06)	ND	ND
중화석고 1 (2개)	12 ~ 16 (14)	ND ~ 8 (4)	ND	ND	ND	ND
탈황석고 1 (2개)	ND ~ 9 (5)	ND	ND	ND	ND	ND
탈황석고 2 (3개)	5.18 ~ 9.24 (7.83)	14.18 ~ 342.5 (128.43)	1.80 ~ 528.20 (177.39)	ND ~ 120.93 (44.53)	ND ~ 48.09 (16.63)	0.085 ~ 0.566 (0.377)

데이터는 국내 최초로 보고된 값으로 국내 시멘트의 중금속 실정을 나타낸 것으로 이 보고를 기준으로 중금속 문제가 대두되었다. 총 크로뮴은 35 ~ 168 mg/kg, 6가 크로뮴은 5 ~ 44mg/kg으로 각사간의 차이는 매우 크게 나타났으며, 6가 크로뮴은 일본시

멘트협회 관리기준인 20mg/kg을 넘는 시멘트는 6개로 과반수 이상을 나타내었다.

환경부에서는 상기 실험결과 등을 토대로 하여 시멘트 소성로 관리개선안을 발표하였으며, 정기국회 국정감사에서도 지역주민에 대한 역학조사 등 전반

〈표-7〉 연료로 사용되는 페·부산물의 중금속 함유량의 일례

(단위 : mg/kg)

시료명	총 Cr	Cu	As	Pb	Cd	Hg
페타이어 2 (3개)	4.45 ~ 7.57 (6.49)	21.83 ~ 28.29 (25.63)	0.83 ~ 1.27 (1.02)	13.19 ~ 22.40 (16.33)	ND ~ 0.86 (0.46)	ND
페타이어 3 (4개)	NA ~ 23.23 (9.31)	14.16 ~ 39.20 (22.72)	ND ~ 0.68 (0.17)	14.38 ~ 102.48 (41.15)	ND ~ 0.86 (0.35)	ND ~ 2.12 (0.53)
폐합성수지 3 (4개)	9.33 ~ 49.22 (20.53)	7.49 ~ 27.08 (19.07)	ND ~ 2.19 (0.55)	27.89 ~ 402.78 (131.58)	0.84 ~ 12.06 (5.33)	ND ~ 0.27 (0.07)
WDF 3 (2개)	5.44 ~ 21.16 (13.3)	ND ~ 22.98 (11.49)	0.73 ~ 0.93 (0.83)	7.5 ~ 20.44 (13.97)	ND ~ 0.13 (0.07)	ND ~ 0.058 (0.029)
RDF 3	14.72	21.78	2.6	42.76	1.67	ND
RPF 3	487.41	60.33	ND	92.35	8.75	ND
폐목재 3	13.73	7.49	ND	49.5	12.06	ND
코크스 3 (2개)	ND ~ 0.73 (0.37)	ND ~ 1.3 (1.7)	ND ~ 0.94 (0.47)	ND ~ 1.02 (0.51)	ND ~ 0.07 (0.04)	ND
유연탄 3 (4개)	6.43 ~ 13.06 (8.64)	3.34 ~ 54.44 (17.99)	ND ~ 1.18 (0.51)	12.09 ~ 32.87 (23.31)	ND ~ 0.32 (0.16)	ND

〈표-8〉 흙속의 미량성분 함유량

(단위 : mg/kg)

총 Cr	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
5 ~ 1500	2 ~ 250	1 ~ 900	0.1 ~ 40	0.01 ~ 12	0.01 ~ 2	0.01 ~ 0.5	2 ~ 300

* H.J. Bowen : 淺見輝男 譯, 環境無機化學, pp.55 ~ 71, 博友社, 1983

적인 사항에 대한 대책보완 요구가 있었다. 이것을 계기로 환경부에서는 2007년 10월 24일 “시멘트 소성로 관리개선을 위한 민관협의회”를 구성하여 지역주민, 시민단체, 학계 및 업계가 공동 참여하여 시멘트 중금속 합동 조사를 실시하였다. 시판 및 공장 채취 시멘트 모두가 현재 6가 크로뮴은 2008년도 국내 자율 기준인 30mg/kg 이내로 나타났으나, 일본과 중국산에 비해 약 30% 정도 높게 검출되었으며, 기타 중금속인 납, 구리, 카드뮴, 비소, 수은, 총 크로뮴의 경우, 국내 시멘트가 일본과 중국산에 비해 납이 높은 편이었으며, 구리 등 다른 항목은 유사한 수준이나 일본산 보다 낮게 나타났다.

2008년 9월부터 환경부와 국립환경과학원에서는 시멘트 소성로 환경관리 개선계획의 일환으로 국내 시멘트 생산 공장(9개 공장)에서 생산한 시멘트 제품에 대한 6가 크로뮴 및 중금속 함유량을 매월 조사하여 환경부 및 한국양회공업협회 홈페이지에 게재하기 시작하였다.

그 결과를 Bowen의 흙의 범위 (〈표-8〉)와 비교하여 고찰하면 다음과 같다. 6가 크로뮴은 2009년 자율기준 20mg/kg 이하를 만족하고 있으며(2009년 4월에 1개 공장이 21.1mg/kg), 평균은 11.1mg/kg으로 각 공장간에는 큰차를 나타냈다. 납은 2008년보다 2009년에 들어서 낮아졌으며 2009년 4월에는 100mg/kg 이하를 나타내고 있다. 2009년 이전에는 Bowen의 흙의 범위 2~300의 범위를 초과하는 시멘트가 있었으나 2009년부터 범위내에 존재하고 있다. 비소는 5~40mg/kg 정도로 Bowen의 흙의 범위 0.1~40mg/kg내에 존재하였다. 카드뮴은 범위 0.5~2.9mg/kg으로, Bowen의 흙의 범위 0.01~2mg/kg와 유사한 값을 나타냈다. 수은은 불

검출부터 0.140mg/kg의 범위를 나타내고 있으며 Bowen의 흙의 범위 0.01~0.5mg/kg의 범위내에 있었다. 구리는 범위 2.2~339.7mg/kg, 평균 100.8mg/kg로 Bowen의 토양의 범위 2~250mg/kg보다 초과하는 시멘트가 약 두달에 1개 정도(7개월 측정에 4개) 나타났다.

외국의 경우를 보면, 일본에서 포틀랜드 시멘트에 포함된 총 크로뮴량은 2001년에 53~114mg/kg으로, 대체적으로 우리나라 값보다 많은 값을 나타냈다. 그러나 수용성 6가 크로뮴의 양은 3.0~14.4mg/kg으로 우리나라 보다 적은 값을 나타냈다. 일본 시멘트업계는 1998년 9월에 시멘트 중의 수용성 6가 크로뮴의 함유량에 대해서 20mg/kg 이하로 하는 가이드라인을 설정하여 이것에 근거하여 관리를 하고 있다. 수용성 6가 크로뮴의 함유량의 평균값은 1995년에 10.8mg/kg에 비해 2001년에는 8.1mg/kg으로 적어져 가이드라인 설정에 의해 우리나라와 마찬가지로 수용성 6가 크로뮴의 함유량은 저감되었다. 기타 중금속은 국내 시멘트와 유사한 수준을 나타냈다.

독일의 경우를 보면, 2008년 2월 26일 “시멘트 소성로 환경관리 개선을 위한 국제 토론회”에서 독일 ITAS(Institute for Technology Assessment and Systems Analysis)의 K. R. Brautigam가 독일 시멘트 중에 함유된 중금속 양을 발표하였다. 유럽에서는 시멘트 중의 6가 크로뮴 측정방법은 시멘트와 모래를 혼합한 몰탈에 대해 측정하고 규제값을 2ppm 이하로 설정하였기 때문에 일반적으로 6가 크로뮴의 데이터는 게재하지 않는다.

국내 시멘트의 평균값을 비교하면(시멘트 소성로 관리개선 민·관협의회 데이터와 비교) 총 크로뮴,

비소는 국내 시멘트와 동등한 수준을 나타내고 있으나, 납, 구리, 카드뮴 등의 함유량은 국내보다 낮은 값을 나타냈다. 전체적으로 중금속 함유량 수준이 우리나라 및 일본보다 낮은 수준을 유지하고 있으며, 분석하는 중금속의 종류도 10종류로 국내 6종류(Cr, Pb, As, Cd, Cu, Hg), 일본(Cr, Pb, As, Cd, Cu, Hg, Se, Zn, Mn) 9종류보다 많았다.

시멘트 소성로 관리개선 민·관협의회에서 프랑스 라파즈의 조지샤인 박사에 의해 발표된 프랑스 CEM I(보통 포틀랜드 시멘트) 중의 중금속 함유량과 비교하면, 전체적으로 15종류의 중금속에 대해서 조사하였으며 3그룹으로 나누어 보고하였다. 민관합동조사 데이터와 비교하면, 총 크로뮴, 수은의 평균 값은 우리나라보다 많은 양을 나타냈으나, 납은 우리나라 평균값보다 훨씬 낮은 정도를 나타냈다. 카드뮴과 비소는 비슷한 함유량을 나타냈으며, 구리는 우리나라가 많은 경향을 나타냈다.

6. 국내 시멘트 중 중금속 함유량 평가의 예

환경문제와 관련하여 시멘트 중의 중금속 수준을 평가하는 것은 매우 어려운 일이다. 현재 수용성 6가 크로뮴을 제외하고 여기에 대해서 명확하게 정의를 내리는 방법은 제시되고 있지 않다. 시멘트 중의 중금속의 함유량의 평가 방법 중의 하나는 시멘트를 암석의 산업전환제품으로서 그리고 자연전환제품으로 간주하여 암석, 토양에서의 중금속 함유량 수준을 비교하는 것이다.

〈표-9〉는 독일 경작토양에 대해 규정한 농도의 특성치를 나타낸 것이다. 여기서 열거된 수치는 식물에 이용가능하거나 재흡수 될 수 있는 양으로 비율이 아닌 총량을 나타낸 것이다. 매월 환경부에서 조사한 국내 시멘트 중의 6개 중금속 함유량에 대해 〈표-9〉의 독일의 경작토양 중 미량원소 표준치 및 허용치와 비교하여 보았다. 총 72개 시멘트 중

〈표-9〉 독일의 경작토양 중 미량원소의 총 허용치 및 표준치

(단위 : mg/kg)

원소	표준치	허용치	한계치	특별치
As	2~20	20	40	<8,000
Be	1~5	10	-	<2,300
Pb	0.1~20	100	300	<4,000
Cd	0.1~50	3	2(pH<6.5)	<200
Cr	2~50	100	100	<20,000
Ni	2~50	50	100	<10,000
Hg	0.1~1	2	2	<500
Tl	0.1~0.5	1	1	<40
V	10~100	50	-	<1,000
Zn	3~50	300	500	<20,000

일부 벗어나는 것도 있지만 대부분 한계치의 값 이내로 나타났다.

비교하는 데에는 감열감량의 차이에 의한 농도의 변화 영향이라든지, 시험방법의 차이가 있어 절대적이라고 할 수는 없지만 하나의 수단으로 적용할 수 있어 평가하여 보았다.

납의 경우 허용치 100mg/kg(한계치 300mg/kg)과 비교하면, 2009년 4월에는 모든 시멘트가 100mg/kg 이하를 만족하였고, 그 이전에는 100mg/kg을 넘는 시멘트가 1~2개 존재하였다. 카드뮴은 허용치 3mg/kg보다 초과하는 것이 45.8% 정도였으며, 한계치(2, pH<6.5)에 대한 만족도는 실험방법 차이로 평가할 수가 없었다. 비소는 허용치 20mg/kg을 만족하는 것이 55.6%이고 한계치 40mg/kg을 72개 중 1개만 제외하고 모두 만족하였다. 수은은 모두 허용치 이내의 값을 나타냈다.

시멘트는 콘크리트 제조를 위한 매개 재료이다. 일반적으로 콘크리트의 골재비는 시멘트에 대해 약 5~6배이므로 그만큼 미량원소, 즉 중금속의 양을 줄이는 셈이다. 따라서 시멘트에 의한 콘크리트 중의 중금속 수준은 관리와 감독이 이루어진다면 대체로 경작토양에 상응하는 범위내에 있게 될 것으로 생각된다.

7. 결 론

환경보존이라는 입장에서 환경정책기본법에 의거 특정 중금속이나 유기물에 관한 환경기준이 설정되고 있다. 이러한 설정 대상 물질 중의 일부는 시멘트의 미량성분으로서 함유되고 있는 것이 있어, 환경보전에 입각해서 효과적으로 시멘트 중의 중금속을 관리할 필요가 있다.

우리나라에서는 2005년 3월 이후 시멘트에 함유된 6가 크로뮴의 발생원인 규명 및 중금속 저감방안에 대해 활발한 논의가 이루어져 왔다. 이러한 논의를 바탕으로, 최근까지 시멘트 중의 6개의 중금속에 대해 많은 조사를 시행하여 왔다. 그 결과를 바

탕으로 매월 환경부에서 조사한 국내 72개 시멘트 중의 6개 중금속 함유량에 대해 독일의 경작토양 중 미량원소 한계치와 비교한 결과, 일부 벗어나는 시멘트도 있지만 대부분 경작토양 한계치의 값 이내로 나타났다.

따라서 폐기물을 시멘트 제조의 원료·연료의 일부로 대체할 때 시멘트 제품 중의 중금속의 함유량은 토양의 함유량 이내로 관리하여 생산이 가능한 것으로 판단된다. 그러나 환경문제는 아직까지 밝혀지지 않은 것에 대한 잠재적인 위험성을 항상 내포하고 있기 때문에 위해요소에 대한 사전 예방을 위한 지속적인 관리와 노력은 필요하다. ▲

시사 용어 해설

▶ 간접수출

간접수출은 흔히 수출활동의 시작으로 본다. 간접수출은 최소의 투자(Less Investment), 최소의 위험(Less Risk)의 특징 및 이점이 있으며, 중간 기구나 중간 상인을 통한 수출을 하는 행위를 일컫는다. 기업이 해외판매의 형태로서 간접수출을 택하는 이유는 우선 수출의 경험이나 수출연계가 없다가, 전문인력이 부족하다거나, 재정문제 혹은 생산량의 근소함 때문에 독자적으로 수출활동을 수행할 능력이 없는 까닭이다. 이 형태는 일반적으로 중간 상인을 통해 수출을 하게 되는데, 이 경우 다음과 같은 여러가지 형태의 수출이 이루어진다. 국내근거의 수출상인(Domestic-based Export Merchant):중간 상인이 구입 해외판매의 형태로서 이 경우에는 수출하고자 하는 측은 단지 수출 상인에게 재화를 판매하면 되는 것이다. 국내 근거의 수출대리인(Domestic-based Export Agent):수수료(Commission)를 받고 외국의 구매인을 알선해 주는 역할을 담당하는 것을 말한다. 이 경우에 모든 상거래의 책임과 위험부담은 수출하고자 하는 측에 있다. 수출구매 대리인(Export Buying Agent:생산국가에 거주하며 외국 구매자의 대리인 역할을 한다. 생산자와 거래를 하며 운송 및 지불조건도 협상하거나 알선해 준다), 중개인(Broker:구매자를 찾아주고 수수료를 받으며 제품은 취급하지 않는다), 생산자의 수출대리인(Manufacturer's Export Agent:수출업을 대행하며, 판매와 기타 서비스도 대행한다) 등으로 나눌 수 있다. 그밖에도 협력기구(Cooperative Organization)를 통한 수출도 이루어진다. 이러한 기구는 몇 개의 생산자를 대신하여 수출 활동을 수행하는 기구로서 주로 1차 산업 제품의 해외 판매를 위하여 결성되거나 혹은 복수의 국내 제조업자가 해외시장에 적합한 보완적 제품라인을 개발하고자 하는 경우에 결성된다.