

시멘트 수화에 따른 6가 크롬의 고정화 특성

Binding of the Hexavalent Chromium Ions in the Process of Cement Hydration

정민선¹⁾ 황준필²⁾ 홍성인³⁾ 안기용^{4)*}
Min-Sun Jung Jun-Pil Hwang Sung-In Hong Ki-Yong Ann

Abstract

The hexavalent chromium (Cr(VI)) is well known as a hazardous ion, presumably inducing dermatic diseases and if serious cancer. The present study concerns the binding capacity of Cr(VI) ions in the cement powder and matrix for a quantitative technique of Cr(VI) ions in cement to influence human health. Both the water-soluble and acid-soluble Cr(VI) ions present in 3 types of ordinary Portland cement (OPC), pulverised fuel ash (PFA), ground granulated blast furnace slag (GGBS), and silica fume (SF) were measured using the spectrophotometer. As a result, it was found that the concentration of water-soluble Cr(VI) ion in cement ranged from 10.5 to 18.9mg/kg-cement, and in the additional materials a very low value of Cr(VI) ion was measured. Acid-soluble Cr(VI) ion was even higher than water-soluble Cr(VI) ion, ranging from 172.4 to 318.2mg/kg-cement. Nevertheless, the concentration of acid-soluble Cr(VI) ion is not proportional to addition of acid. It depends rather the variable pH of solvent involving cement paste. As enough cement hydration occurs, the binding capacity of Cr(VI) ion increases, inhibiting this ions from leaching out in the presence of hydration products such as ettringite or tri-calcium aluminate which bind Cr(VI) ion by ion-exchange.

Keywords : Hexavalent chromium (Cr(VI)), Cement, pH, Spectrophotometer, Binding, Hydration.

1. 서론

콘크리트는 건설재료 중 약 80%를 차지할 만큼 중요한 건설재료로서 최근 신도시 건설, 4대강 정비 등과 같은 건설인프라 구축으로 인한 건설시장의 성장에 맞춰 콘크리트 사용량도 매년 증가하는 추세이다. 그러나 녹색성장, 친환경에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라 콘크리트의 구조물 내 유해 성분과 같은 환경에 대한 부정적인 측면이 사회적인 문제로 대두되고 있다. 콘크리트 내에 존재하는 중금속 및 유해이온의 대부분은 그 양이 미미할 뿐만 아니라 대개 불용성인 유해성이 없다. 그러나 예외적으로 수용성인 6가크롬(Hexavalent chromium; Cr(VI) ion)은 존재하는 농도가 상대적으로 높을 뿐만 아니라 수용성이므로 그에 대한 위험성이 경고되고 있다. 6가크롬은 피부에 자극을 유발하여 접촉성 피부염을 발

생시키며 심할 경우 피부암까지 일으킬 수 있는 인류 건강에 매우 위대한 이온으로서 작업현장의 건설 근로자들이 굳지 않은 콘크리트를 취급 시 피부 염증을 유발한다고 보고되고 있다. 시멘트 내의 6가크롬은 대부분 소성과정 중 킬른 내 크롬이온이 부풀어 떨어져 나오거나 (Fregert and Gruvberger, 1973; Bravo et al., 2005), 시멘트 제조에 사용되는 천연원료, 연료 등 주요 구성 성분 이외에 함유되어 있는 중금속에 의해 발생된다고 알려져 있다. 일반적으로 포틀랜드 시멘트나 클링커는 6가크롬으로 쉽게 변환하는 수용성 크롬을 함유하고 있으며, 이는 5-20 mg/kg-cement 정도로 보고되고 있으며 총 크롬이온 양은 수백 mg/kg-cement 정도로 예측되고 있다 (Hills and Johansen, 2007; Potgieter et al., 2003).

현재 유럽에서 제조되거나 수입되는 모든 시멘트 제품은 6

1) 정회원, 한양대학교 연구교수, 공학박사
2) 정회원, 한양대학교 연구교수, 공학박사
3) 정회원, 한양대학교 석사과정
4) 정회원, 한양대학교 교수, 공학박사, 교신저자

* Corresponding author : kann@hanyang.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

가크롬의 함량이 Directive 2003/53/EC의 규정에 의해 2.0 mg/kg-cement를 넘지 못하도록 엄격하게 규제하고 있으며 (Directive 2003/53/EC, 2003), 우리나라에서는 시멘트 내 총 크롬이온이 20.0 mg/kg-cement을 한계치로 하는 자율규제를 택하고 있다. 최근 우리나라에서 실시한 시멘트 내의 6가크롬량에 대한 조사를 보면 시험법, 시멘트 생산공장 및 제조사 별로 상이함을 알 수 있다 (Ministry of environment, 2008). 시멘트의 수용성 6가크롬의 양은 약 8-19 mg/kg-cement로 국내규제에 부합하나, 총 크롬량은 16-56 mg/kg-cement으로 자율규제인 20 mg/kg-cement을 상회한다. 그러나 주로 경화하지 않은 시멘트 또는 클링커에 존재하는 6가크롬에 대한 측정이 보고되었을 뿐 시멘트 경화체에서의 6가크롬에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 생산되는 포틀랜드 시멘트 내에 존재하는 수용성 6가크롬의 양과 산에 의해 용해되는 산가용성 (또는 전체) 6가크롬의 양을 용매의 pH를 달리하여 측정하고자 하였다. 또한 시멘트 수화를 통해 수용성 6가크롬의 고정화에 따른 수용성 6가크롬의 농도 변화를 평가하였다.

2. 연구내용 및 실험방법

2.1 연구내용

본 연구에서는 시멘트 중의 중금속이온을 측정하고자 보통 포틀랜드시멘트 (Ordinary Portland cement; OPC) 3종과 고로슬래그 미분말 (Ground granulated blast furnace slag; GGBS), 플라이애쉬 (Pulverised fuel ash; PFA), 실리카퓌름 (Silica fume; SF)을 이용하여 수화하지 않은 상태에서의 결합재 내 존재하는 6가크롬의 농도를 측정하였다. 시멘트는 국내 H, S, H사에서 생산되어 판매되는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 고로슬래그 미분말과 실리카퓌름은 K 제철에서 생산되는 제품을, 플라이애쉬는 국내 유연탄계 화력발전소인 B발전소에서 발생된 것을 사용하였다. 사용된 시료의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

2.2 실험방법

결합재 내의 정량적인 6가크롬의 농도를 측정하고자 분광광도법을 이용하였다. 분광광도법에 사용될 표준용액은 중크롬산칼륨 ($K_2Cr_2O_7$)을 이용하여 0.0에서 4.0 ppm 범위의 농도로 제작되었다. 중크롬산칼륨 1.414 g을 계량하여 증류수

Table 1 Caption Oxide composition of ordinary Portland cement and pozzolanic materials

Binder	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
OPC-A	62.3	21.2	4.6	2.8	2.0
OPC-B	59.2	20	5.3	3.5	2.7
OPC-C	62.1	21.7	5.0	3.5	2.4
PFA	1.7	48.7	18.8	7.7	0.6
GGBS	41.2	34.2	11.7	1.4	-
SF	0.3	94.9	0.2	0.1	0.2

1000.0 ml에 용해하여 50.0 mg Cr/ml의 크롬 용액을 제작한 후, 다시 50.0 mg Cr/ml의 크롬 용액 10 ml를 1,000 ml로 희석하여 5 µg Cr/ml 농도의 표준용액을 제조하였다. 5 µg Cr/ml의 크롬 표준용액을 50 ml 메스플라스크에 0-40 ml를 단계적으로 취하여 황산 (1:1) 0.6 ml를 넣어 흔들어 섞은 후 냉각시킨다. 여기에 디페닐카바지드 용액 ((C₆H₅NHNH)₂CO) 1.0 ml를 넣어 즉시 흔들어 섞고 물을 표선까지 채운다. 5분 후 분광광도계를 이용하여 6가크롬의 고유파장영역인 파장 540 nm에서 6가크롬 이온에 대한 흡광도를 측정하였다.

시멘트 내의 6가크롬을 측정하기 전에 시멘트 3종 및 혼합재 3종을 측정 전 24시간 동안 101±2°C의 건조로에서 건조시켜 불필요한 수분을 제거하였다. 시료는 2.00 g씩 계량하여 증류수와 염산 0.0-10.0 ml이 단계적으로 혼합된 100 ml의 산 용액과 혼합하여 10분 동안 교반하였다. 교반이 끝나는 즉시 거름종이로 여과하고 여액의 25.0 ml를 취하여 50 ml 메스플라스크에 담아 황산 (1:1) 0.6 ml를 첨가하여 섞은 후 실온에서 냉각시켰다. 디페닐카바지드 용액 1.0 ml를 첨가하여 흔들어 섞고 물을 표선까지 첨가한 후 분광광도계를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

시멘트 경화체에 존재하는 6가크롬이온의 농도를 측정하고자 본 연구에서는 국내에서 생산되는 포틀랜드시멘트 3종을 이용하여 물-시멘트 비 0.4인 시멘트 경화체 (50×50×50 mm)를 제작하였다. 시편은 제작 24시간 후 탈형하였으며, 탈형 직후 습윤양생으로 인한 경화체 내 각종 화합물 및 이온의 침출을 지양하고자 폴리스티렌으로 밀봉하여 20±2°C에서 28일간 양생하였다. 양생한 시편은 6가크롬 측정 전 24시간 동안 건조로에서 건조시켜 불필요한 수분을 제거한 후 분쇄 과정을 거치고 300 µm의 체로서 체가름을 실시하여 분말을 포집하였다. 분말 시료는 4.00 g씩 계량하여 시멘트 중의 6가크롬 측정 방법과 동일하게 증류수와 염산 0.0-10.0 ml이 단계적으로 혼합된 100 ml의 산 용액과 혼합하여 10분 동안 교반하였다. 교반이 끝나는 즉시 거름종이로 여과하



Fig. 1 Procedure of experiment

고 여액의 25.0 ml를 취하여 50 ml 메스플라스크에 담아 황산 (1:1) 0.6 ml를 첨가하여 섞은 후 실온에서 냉각시켰다. 디페닐 카바지드 용액 1.0 ml를 첨가하여 흔들어 섞고 물을 표선까지 첨가한 후 분광광도계를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 시멘트 내 6가크롬

본 연구에서 수행된 포틀랜드시멘트 3종과 흔히 사용되는 혼화재료로부터 측정된 수용성 6가크롬 결과는 Fig. 2와 같

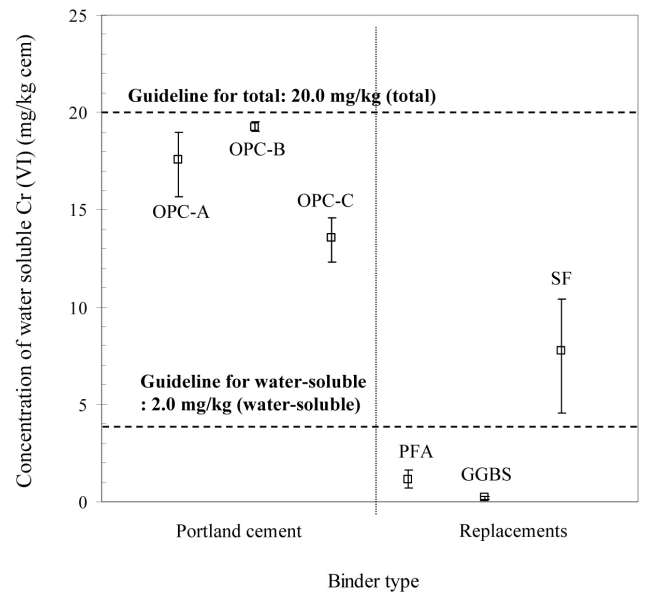


Fig. 2 Concentrations of water-soluble Cr(VI) ion in binders with guidelines

다. 시멘트 3종의 6가크롬의 농도는 12.3-19.0 mg/kg 범위였으며 이는 포졸란계 혼화재인 플라이애쉬 (i.e. 1.1 mg/kg)나 고로슬래그 미분말 (i.e. 0.2 mg/kg)이 함유하고 있는 6가크롬 농도보다 현격히 높게 나타났으며 이는 국내 자율규제인 20.0 mg/kg-cement에는 적합하지만 유럽의 2.0 mg/kg-cement 규제에는 만족하지 못하는 결과이다. 혼화재료 중 유일하게 실리카폼의 6가크롬 측정량이 4.5-10.4 mg/kg으로 높게 측정되었으며 이는 실리카폼 생산 과정 중 미세 분말로 분쇄시 6가크롬이 해리되어 포함되었을 것으로 예측된다.

포졸란 재료, 특히 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말은 매우 작은 양의 6가크롬을 함유하고 있으며 실리카폼의 치환율도 최대 7% 이하로 포졸란 재료의 치환량이 매우 작아 혼화재료에 대한 6가크롬의 추가 연구는 본 연구에서 제외하였다.

국내에서 생산되는 시멘트 3종을 사용하여 본 연구에서는 산농도 증가에 따른 시멘트 내 산가용성 6가크롬을 측정하였다. 시멘트 내 산가용성 6가크롬의 농도는 Fig. 3과 같이 산의 농도에 따라 크게 변화하였다. 산의 농도가 2.0 ml/g-cem 일 때까지 시멘트 내 6가크롬의 농도는 산의 농도가 증가할수록 점차 증가하였으며 6가크롬의 최고 농도는 각각의 포틀랜드시멘트 종류에 따라 172.4-318.2 mg/kg-cement 정도 측정되었으며 이는 수용성 6가크롬 농도의 10-20배 정도에 해당한다. 그러나 산의 농도가 2.0 ml/g-cem 이상일 때의 산가용성 6가크롬의 농도는 급격히 감소하였다. 특히 OPC-A

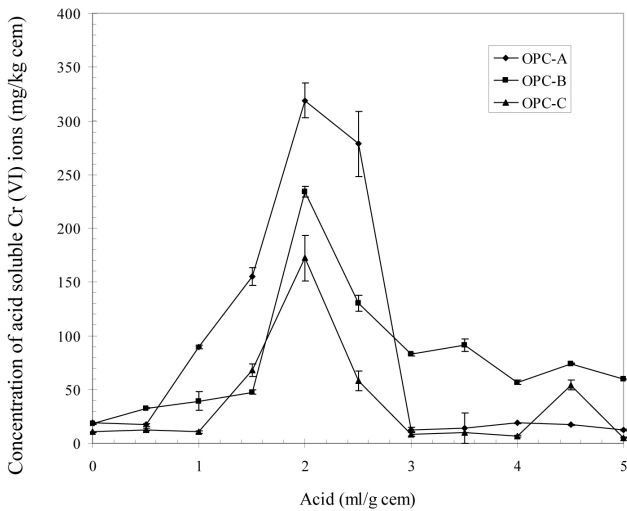


Fig. 3 Concentrations of acid soluble Cr(VI) ion in cements depending on the acidity of standard solution

와 OPC-C는 산의 농도가 3.0 ml/g-cem 이상일 때 산가용성 6가크롬의 농도는 수용성 6가크롬과 비슷하거나 더 적게 측정되었다. 이와 같은 결과는 시멘트 내 6가크롬의 용해도가 pH에 매우 의존적임을 의미한다. 그러나 용매의 pH가 낮은 경우 6가크롬의 용해도가 높다는 것을 의미하는 것은 아니다. 6가크롬의 농도는 용매의 pH에 결정적인 영향을 받을 수 있다. 특히, 시멘트 내 총 6가크롬을 측정하기 위해서는 용매의 다양한 pH 농도에 대한 6가크롬의 용해도를 측정해야만 한다. 실제로 6가크롬의 침출량 측정을 위해 국제 규격에서는 증류수, 다양한 준위의 pH를 가진 용액을 이용한 여러 종류의 용매를 사용하고 있다 (BS EN 196-10, 2006).

본 연구의 결과에 따르면 시멘트 시료의 6가크롬의 용해도는 산성 용매에 의해 증가되지만 특정 pH 이후에서의 용해도는 감소한다. 이는 6가크롬의 용해도가 용매의 pH에 따라 점차적으로 증가하거나 감소되지 않음을 의미한다. 현재까지 6가크롬 용해도의 pH 의존성은 보고된 바가 없으나 6가크롬의 용해도는 3가 크롬 용해도 특성의 영향을 받을 것이다. 일정한 농도의 3가 크롬에 대해 용매가 강산성 또는 강알칼리성 일 때 용해도는 급격히 증가되며 이에 대한 모식도는 Fig. 4와 같다.

본 연구에서 측정된 6가크롬은 강알칼리 상태이거나 염산을 추가하여 산성화된 환경에서의 시멘트 시료와 페이스트로부터 추출되었다. 그래서 6가크롬의 용해도는 시멘트 시료와 혼합한 산성 용액의 pH 변화에 따라 좀 더 복잡하게 나타났다. 결론적으로 산성 용액으로 추출한 6가크롬의 최대값은 총 6가크롬의 농도라고 정의할 수 없다. Trezza and Ferraiuolo

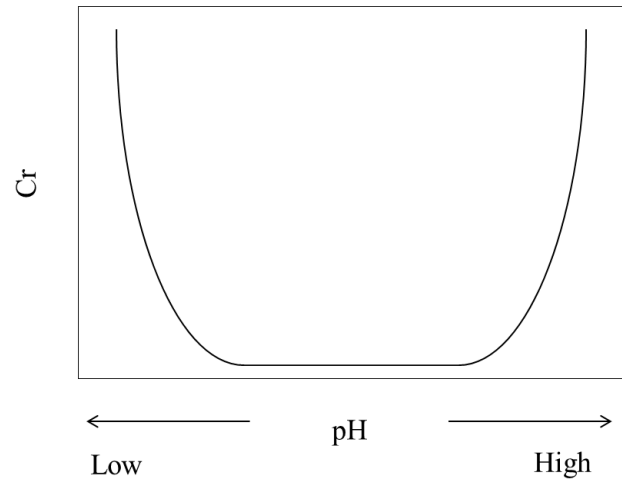


Fig. 4 The solubility of Cr(VI) ion at different pH

(2003)은 6가크롬의 매우 작은 일부만이 산성 용매에 의해 추출된다고 주장하고 있다. 연구 내용에 따르면 중크롬산칼륨을 이용하여 시멘트 페이스트 제작 시 2,080 mg/kg-cement의 6가크롬을 혼입하였으나 400-600 ppm의 6가크롬이 추출되었다. 대신, 탄산나트륨 용액을 6가크롬 침출 용매로서 사용한 결과, 26.6 mg/kg-cement 농도의 6가크롬이 측정되었으며 이는 예상보다 약간 작은 양이었다. 결론적으로 6가크롬 용해도에 의존적인 pH 특성과 최적의 용매에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

4. 시멘트 수화에 따른 6가크롬의 고정화

시멘트 경화체 내 6가크롬의 농도를 측정하고자 본 연구에서는 28일간 양생한 시멘트 페이스트를 사용하였다. 용매의 산 농도는 시멘트 시료에 대한 용매의 농도와 동일하나 6가크롬 측정 시, 시멘트 경화체의 시료는 4.0 g을 사용하였으며 측정된 6가크롬의 농도와 용매의 산의 농도는 시멘트 경화체의 중량이 아닌 사용된 시멘트 중량대비 부피와 무게로 각각 나타내었다. Fig. 5와 같이 측정 결과 산의 농도가 증가할수록 시멘트 페이스트 중의 6가크롬의 농도가 증가하였다.

산의 농도가 0.00-2.46 ml/g-cem 일 때 6가크롬은 190.5-318.3 mg/kg-cement으로 최고값이 측정되었으며, 이는 시멘트 시료와 비슷하게 나타났다. 그러나 산의 농도가 2.0 ml/kg-cem 이상일 때 6가크롬의 농도는 시험 시 시료의 양 차이로 인하여 감소되는 경향을 나타내지는 않았으며 오히려 6가크롬의 농도가 일정하게 유지되었으며 같은 양의 시료에 대한 6가크롬의 농도가 비교적 낮은 산의 농도에 의해 발생되었다.

시멘트 수화에 따른 산가용성 6가크롬의 증감은 Fig. 6에

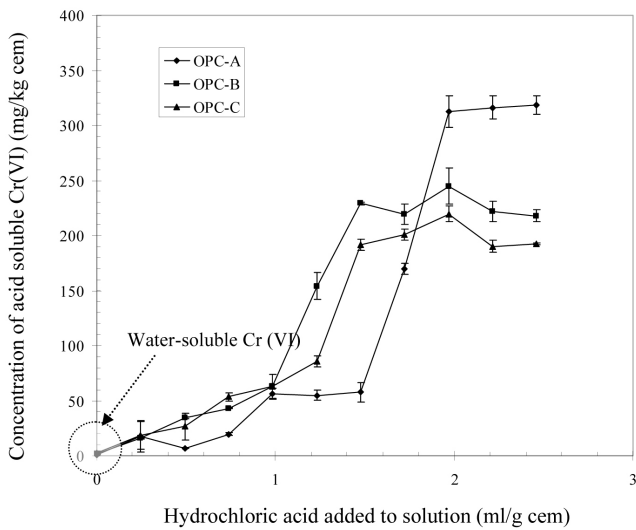


Fig. 5 The concentrations of Cr(VI) ion in cement paste after 28 days depending on the acidity of standard solution

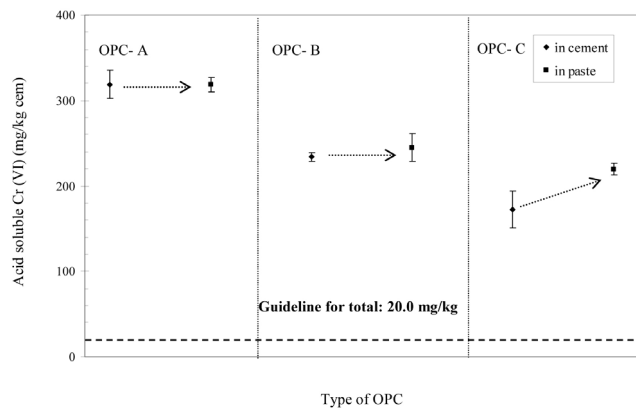


Fig. 6 Change in the concentrations of acid-soluble Cr(VI) ion after hydration of cement

서 확인할 수 있다. OPC-A와 OPC-B의 산가용성 6가크롬은 거의 같았으나 OPC-C의 농도는 소량 증가하였으며 OPC 종류에 관계없이 시멘트와 시멘트 경화체 시료에 대해 산가용성 6가크롬의 농도가 거의 변화하지 않았다.

이는 적어도 산성 환경에서 시멘트 수화가 산가용성 6가크롬 이온의 증감과 관련된 반응이 발생하지 않음을 의미한다. 또한 산성 용매에서의 pH 변화에 대한 6가크롬의 용해도가 변화하나 이는 시멘트 시료나 시멘트 페이스트 사이에 차이가 발생하지 않으며 즉, 시멘트 량 대비 일정량의 산성용매에 대해서 6가크롬의 용출이 이루어지고 있음을 시사한다.

그러나 Fig. 7에서 보는 바와 같이 수용성 6가크롬의 농도는 시멘트 수화에 따라 용해도가 매우 변화하였다. 시멘트

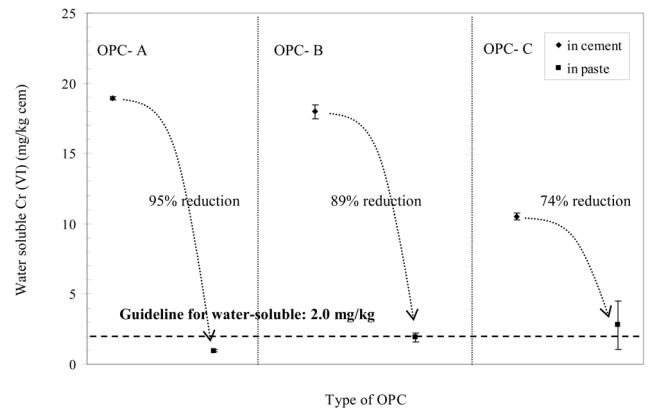


Fig. 7 Change in the concentrations of water-soluble Cr(VI) ion after hydration of cement

경화체 내 수용성 6가크롬의 농도는 2.0 mg/kg-cement 정도로 시멘트 수화반응으로 인해 시멘트 시료의 수용성 6가크롬 농도 (10.5-18.9 mg/kg-cement)에 비해 74~95% 정도 급격히 감소하였다. 시멘트 경화체 내 수용성 6가크롬의 감소는 황산염 이온에 의해 발생하는 것으로 추정된다 (Trezza and ferraiuelo, 2003; Kuehl, 2006). 수화 과정 중 에트링게이트 (Ettringite; $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)는 황산염 이온을 해리하고 대신 6가크롬과 결합한 크롬산-에트링게이트 (Chromate-ettringite; $C_3A \cdot 3CaCrO_4 \cdot 32H_2O$)의 형태로 변화하며 이는 최근 연구에서 X선 회절법 (X-ray diffraction technique; XRD)을 통해 정성적인 평가가 이루어졌다 (Fontas et al., 2006; Jain and Garg, 2008). 또한 황산 이온이 많을수록 6가크롬이 감소한다고 보고된 바 있다 (Fregert et al., 1979). 이 외에도 C_3A 에 의해 6가크롬 이온이 시멘트 경화체 내에서 고정화되기도 한다 (Magistri et al., 2006). 이는 C_3A 가 에트링게이트의 주요 구성성분이므로 앞의 주장과도 일치되는 바이다.

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 생산되는 시멘트와 혼화재료를 사용하여 시멘트 및 시멘트 경화체에 존재하는 수용성 및 산가용성 6가크롬의 농도를 측정하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 시멘트 내 존재하는 수용성 6가크롬의 양은 10.5-18.9 mg/kg-cement 범위였으며 플라이애쉬는 1.1 mg/kg, 고로슬래그 미분말은 0.2 mg/kg, 실리카폼은 7.7 mg/kg의 6가크롬을 함유하며 이는 시멘트에 비해 매우 작은 양이었다.

- (2) 시멘트 내 산가용성 6가크롬의 농도는 172.4-318.2 mg/kg-cement 범위로서 수용성 6가크롬에 비해 크게 측정되었다. 용매의 pH가 감소함에 따라 6가크롬의 농도가 증가하였으나 일정 산의 농도 이상일 경우에는 오히려 6가크롬의 농도가 떨어지는 결과가 나타났다.
- (3) 시멘트 수화에 따라 수용성 6가크롬의 농도는 2.0 mg/kg-cement 정도의 매우 낮은 값으로 감소하였으며 그에 비해 산가용성 6가크롬의 농도는 거의 변화 없었다. 수화에 따른 6가크롬의 농도 변화는 수화 과정 중 황산염 이온 해리로 인한 크롬산-에트링게이트 생성과 C₃A의 함유량에 의해 발생된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 “친환경 화학처리기술을 통한 콘크리트 구조물의 환경오염 저감 및 환경영향성 평가 (과제번호:10기술혁신E02)”의 지원으로 수행되었다.

References

1. Bravo, A., Cerulli, T., Dragoni, M., Magistri, M. and Padovani, D., “Determination of soluble chromates in cement and cement-based materials by ion chromatography”, ZKG International, Vol. 58, 2005, pp.55-62.
2. BS EN 196-10, “Methods of testing cement: Part 10 Determination of the water-soluble chromium(VI) content of cement”, 2006.
3. Directive 2003/53/EC, “Restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (nonylphenol, nonylphenol ethoxylate and cement)”, 2003.
4. Fontas, C., Queralt, I. and Hidalgo, M., “Novel and selective procedure for Cr(VI) determining by X-ray fluorescence analysis after membrane concentration”, Spectrochimica Acta, Part B, Vol. 61, 2006, pp.407-413.
5. Fregert, S. and Gruvberger, B., “Factors decreasing the content of water-soluble chromate in cement”, Acta Dermatologica

Venereologica, Vol. 53, 1973, pp.267-270.

6. Fregert, S., Gruvberger, B. and Sandahl, E., “Reduction of chromate in cement by iron sulfate”, Contact Dermatitis, Vol. 5, 1979, pp.39-42.
7. Hills, L. and Johansen, V. C., Hexavalent chromium in cement manufacturing: literature review, 2007, PCA R&D Serial No. 2983.
8. Jain, N. and Garg, M., “Effect of Cr(VI) on the hydration behavior of marble dust blended cement: solidification, leachability and XRD analysis”, Construction and Building Materials, Vol. 22, 2008, pp.1851-1856.
9. Kuehl, M., “It’s all in the chemistry”, World Cement, Vol. 9, 2006, pp.95-98.
10. Magistri, M. and D’Arcangelo, M., “World cement research: Stannous sulfate”, Mapei SPA, 2007.
11. Magistri, M., Padovani, D. and Nicodemi, M., “A study on the release mechanism of soluble chromates during the clinker hydration”, In: The 6th Coloquia of Managers and Technicians of Cement Plants, Valencia, Spain, 2006.
12. Ministry of environment, “Result of private and public joint research about heavy metals including cement”, 2008.
13. Potgieter, S. S., Panichev, N., Potgier, J. H. and Panicheva, S., “Determination of hexavalent chromium in South African cements and cement-related materials with electrothermal atomic absorption spectrometry”, Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, pp.1589-1593.
14. Trezza, M. A. and Ferraiuolo, M. F., “Hydration study of limestone blended cement in the presence of hazardous wastes containing Cr(VI)”, Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, pp.1039-1045.
15. Wang, S. and Vipulanandan, C., “Solidification/ stabilization of Cr(VI) with cement leachability and XRD analyses”, Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.385-389.
16. Yamaguchi, O., Ida, M., Uchiyama, Y. and Hanehara, S., “A method for the determination of total Cr(VI) in cement”, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 26, 2006, pp.785-790.

Received : 05/09/2013

Revised : 07/22/2013

Accepted : 07/24/2013

요 지

시멘트 내 6가 크롬은 피부질환이나 암을 유발할 수 있는 유해한 인체에 유해한 이온으로 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 사람에게 영향을 주는 시멘트 내 6가 크롬의 정량적 분석을 하고자 시멘트 및 시멘트 경화체 내 6가 크롬의 고정화에 대해 평가하였다. 국내에서 생산되는 일반 포틀랜드 시멘트 3종과 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, 실리카폼을 사용하여 수용성 및 산가용성 6가 크롬을 분광광도법으로 측정하였다.

측정결과, 시멘트 내 수용성 6가 크롬의 농도는 10.5-18.9 mg/kg-cement 범위였으며 혼화재료 내 수용성 6가 크롬의 양은 매우 적게 측정되었다. 시멘트 내 산가용성 6가 크롬의 농도는 172.4-318.2 mg/kg-cement 범위로 측정되었으며 수용성 6가 크롬에 비해 증가하였다. 그러나 크롬의 pH에 의존적인 용해 특성에 따라 용매의 pH가 저감된다고 하여 산가용성 6가 크롬의 농도가 항상 크게 측정되지는 않았다. 시멘트 수화 후 수용성 6가 크롬은 2.0 mg/kg-cement 정도로 감소하였으며 이는 크롬산-에트랑게이트 생성에 의한 결과임을 확인할 수 있었다.

핵심 용어 : 6가 크롬 (Cr(VI)), 시멘트, pH, 분광광도법, 고정화, 수화
