

칼슘알루미네이트계 급결재와 증점제를 사용한 그라우트의 특성 및 환경영향 평가

Properties and Environmental Effects Estimation of Grout Using Set Accelerating Agent Made From Calcium Aluminate and Viscosity Agent

허형석¹⁾ 이성태^{2)*} 노재호³⁾
Heo, Hyung Seok Yi, Seong Tae Noh, Jae Ho

Abstract

In this study, environmental problems(i.e., pH elevation and Cr^{6+} detection) occurred by using the cement grout made from CA(calcium aluminate) were evaluated using viscosity agents(MC, chelate polymer). Ordinary portland cement and blast-furnace slag cement were used by main materials and ACC(blended mixture of calcium aluminate) were used by accelerator for hardening of grout. In addition, viscosity agents were used for preventing pH elevation and heavy metal detection from grouting materials. From the results, it was noted that when chelate polymer was used, pH elevation and Cr^{6+} detection were minimized. However, other cases showed higher pH elevation and Cr^{6+} detection. At test 1 day, Cr^{6+} detection with age presented over 97% of total value and, after that, additional increase was not distinct. As a result of this study, it was acknowledged that, to control pH elevation and heavy-metal (like Cr^{6+}) detection, the usage of BSC and chelate polymer is a very useful fact.

Keywords : Grout, Calcium aluminate, Methyl cellulose, Chelate polymer, Environmental effect

1. 서론

구조물의 시공시 시멘트계 광물을 이용해 제조된 그라우트를 사용하는 분야가 점점 다양화되고 규모가 확대됨에 따라 이 광물을 이용한 그라우팅 기술은 지속적으로 발전하고 있다. 그라우팅 공법은 1800년대 초에 프랑스에서 기초지반을 보강할 목적으로 사용하기 시작한 이후 건설공사의 여러 분야에서 지반개량과 차수를 목적으로 많이 적용되고 있으며, 특히 댐공사, 터널공사, 및 대규모 지반굴착공사에는 반드시 필요한 공정이 되었다(Kurtzner, 1996). 국내에서는 1960년대 산악터널 및 댐 기초의 그라우팅에 일부 적용된 바 있으며, 1970년대부터 서울 지하철 건설공사에 본격적으로 활용되기 시작하면서 그라우팅에 대한 관심이 높아졌고, 현재는 건설현장에 없어서는 안 될 중요한 공법이 되었다(방기문 등, 2006). 그러나, 그라우팅 공법은 전문지식이나 체계적인 연구의 부족으로 아직도 경험에 의존한 설계 및 시공이 이루어지고 있는 실정이며, 그라우트 재료의 시공후 지반 내 거동은

매우 복잡하여 그라우팅에 의한 지반개량 효과를 예측하는 것은 쉽지 않다. 더구나 보이지 않은 주입재가 실제로 어떠한 과정을 거쳐 주입되고 고결되는지 파악하여 이를 정량적으로 표현하는 것은 매우 어렵다.

그라우트의 가장 일반적인 형태는 시멘트와 물을 사용하는 방식이다. 최근 들어서는 친환경 재료와 급결성능이 부여된 그라우트에 대한 연구가 활발히 진행되어 새로운 특성을 갖는 재료 및 기술이 개발되고 있다. 또한, 환경에 대한 관심이 고조되면서 그라우팅 재료의 환경에 대한 위해성을 평가하기 위한 방법과 이 개선된 재료의 시공방법들이 제시되고 있다.

시멘트 재료는 물과 반응하여 수산화칼슘을 용출하여 그라우트의 pH를 증가시키고, 또한 시멘트 중의 중금속을 용출시켜 주변환경에 해로운 영향을 미칠 수 있다(Chun et al, 2003). Cu, Pb, Zn, Cd의 경우, 일반적인 토양의 토양환경 내에서 거의 토양에 흡착되는 반면 Cr의 경우는 토양 간극수 사이로 침출될 가능성이 있으며 이동도가 가장 큰 것으로 보고된 바 있다(Markiewicz-Patkowska

1) 정희원, (주)제이엔티아이엔씨 연구팀장

2) 정희원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수, 교신저자

3) 정희원, (주)제이엔티아이엔씨 대표이사

* Corresponding author : yist@inhac.ac.kr 032-870-2237

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

et al, 2005). 그라우트 시공에 의해 증가되는 pH는 그라우트 중의 시멘트에서 수산화칼슘이 용출되어 발생되므로 그라우트에서 수산화칼슘이 외부에 용출되지 않고 그라우트 내에 고정될 수 있으면 pH의 증가를 최소화시킬 수 있을 것이다. 또한 Cr^{6+} 의 발생은 기존 연구에서 금속계 환원제를 사용하여 Cr^{3+} 로 환원시키는 기술이 개발(문세흠 등, 2008)되었으나 금속계 환원제의 사용량이 많아 경제성 확보가 어렵고 대기 중에서 금속계 환원제의 성능 유지기간이 짧아 사용에 어려움이 있다.

방기문 등(2006)은 시멘트를 이용한 지반의 그라우팅으로 주변 지하수 및 토양환경으로의 중금속 용출가능성을 평가하기 위한 연구를 발표하였고, 도종남 등(2007)은 지반개량을 위한 급결성 재료 중 무기계 재료와 규산계 재료에 대한 내구성 및 환경유해성에 대해 연구하였다. 또한, Marion 등(2005)은 콘크리트 폐기물의 재활용에 따른 주변 지하수 환경으로의 중금속 이온의 용출과 pH의 상승에 대한 영향을 파악하고 중금속 제거를 위한 수세법을 제안하였으며, Ottosen 등(2002)은 폐건축물 주변에 버려진 중금속의 오염으로 인한 환경영향과 Cu 제거를 위한 전기화학적 방법에 대하여 연구를 수행했다.

이러한 기술은 시멘트와 각종 혼합재를 강도발현을 위한 주재료로 사용하고 화학약액을 경화제로 사용하는 형태로 구성된다. 그러나 대부분의 기술에서는 그라우트에 의한 환경영향을 평가하는 방법으로써 그라우트 경화체를 사용하였을 뿐, 현장여건과 유사한 굳지 않은 상태의 그라우트를 사용하여 환경영향을 평가한 연구는 매우 드문 실정이다.

그리고 이러한 연구 흐름에도 불구하고 대부분의 건설 현장에서는 시멘트 및 물유리계 그라우팅이 수행되고 있으며 시멘트 재료의 시공 후 지반강도, 내구성 및 환경위

해성 등에도 많은 문제(천병식, 2002)가 나타나고 있다.

본 연구에서는 그라우트 재료에 의한 환경영향평가를 실시하기 위해 시멘트, 급결성 및 증점성 재료를 사용하여 각각의 특성을 검토하였다. 즉, 시멘트와 슬래그시멘트를 주재료로 사용하고 그라우트의 응결을 조절하기 위한 급결재료로는 CA계(Calcium aluminate, $C_{12}A_7$) 광물의 혼합물을 사용하였다. CA계 광물은 석회석과 보크사이트를 일정비율로 전기로에서 소성을 통해 제조되는 것(최재석, 2010)인데, 시멘트 수화물인 $Ca(OH)_2$ 및 $CaSO_4$ 와 반응하여 Ettringite를 생성시킴으로써 그라우트의 응결을 촉진할 수 있으며, 수화과정에서 그라우트의 잉여수를 흡수하여 그라우트에 점성을 부여하고 재료분리를 방지할 수 있다.

이에 본 연구에서는 기 수행된 연구결과(방기문 등, 2006)의 검토를 통해 시멘트계 그라우팅 재료에 의한 환경영향 중 지하수와 동식물에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 인자로서 pH 및 Cr^{6+} 을 선정했으며, 시멘트와 급결성 결합재 및 고분자 킬레이트 재료를 사용하여 그라우트에 의해 발생하는 pH의 변화량과 Cr^{6+} 용출량을 평가하고자 하였다. Fig. 1은 calcium aluminate의 수화과정을 나타내고 있다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 변수

그라우트에 의한 환경영향을 평가하기 위한 실험변수로서, 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 슬래그시멘트(BSC)를 사용하였고, 그라우트의 응결촉진을 위해 칼슘알루미네이트계[ACC(blended mixture of calcium aluminate)] 급결

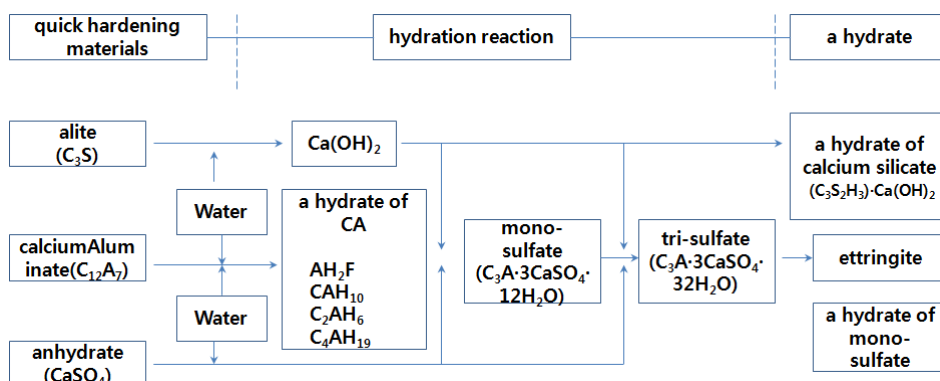


Fig. 1 A hydration of Calcium aluminate

Table 1 Test variables for environmental effect evaluation

test variables	contents	remarks
cement	OPC(ordinary cement)	-
	BSC(blaste-furnace slag cement)	
viscosity agent (VA)	MC(methyl cellulous)	solid = 47% pH = 4.6
	CHP(chelate polymer)	solid = 55% pH = 2.7

재를 사용하였다. 또한, 그라우트의 점성증가에 의한 pH 저감효과와 중금속 저감효과를 위해 증점제를 사용하였다. 여기서 증점제란 수중콘크리트의 시공을 위해 일반적으로 사용되는 혼화제를 말한다. 증점제로 MC계(methyl cellulous)와 킬레이트고분자(chelate polymer)를 선택하였으며, 참고사항은 Table 1에 나타내었다.

2.2 사용된 재료의 특성검토

2.2.1 시멘트

현장에서 가장 많이 사용되는 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, OPC)와 슬래그혼합 시멘트(blaste-furnace slag cement, BSC)이다. OPC를 사용한 그라우트는 BSC에 비해 pH가 상대적으로 높고 초기겔화가 지연되는 특징이 있지만 현장에서 가장 쉽게 사용할 수 있는 그라우팅 재료이다. 반면에 BSC는 분말도가 OPC에 비해 상대적으로 높아 지반주입에 유리하다고 할 수 있으며, 장기적으로는 더 높은 강도를 얻을 수 있다(백광섭 등, 1995). 본 연구에서 사용한 OPC와 BSC의 화학조성은 다음의 Table 2와 같다.

2.2.2 급결제

급결제는 칼슘알루미네이트계 광물의 혼합물로서 일반적으로는 시멘트의 급격한 경화를 촉진하기 위해 사용되는 광물계 미분말이다. OPC는 물과 반응하여 강 알칼리

성분(Ca(OH)₂)을 용출하게 되고 급결제는 이와 급격하게 반응하여 침상의 결정체인 에트링자이트(ettringite)를 생성하게 된다. 일반적으로 그라우트는 물-시멘트비가 매우 높아(약 100%) 혼합 후 블리딩에 의해 체적수축이 매우 심하고 내구성의 확보가 아주 어렵게 된다. 그러나 미분말 CA계 급결제를 사용할 경우, 급결제의 수화에 의해 생성된 에트링자이트(32H₂O · C₃A · 3CaSO₄)는 그라우트 중의 잉여수량을 줄여 줌으로써 체적변화를 줄여주며 조기응결을 촉진시킨다. 이 연구에 사용된 급결제의 화학조성은 Table 3과 같다.

2.2.3 증점제

그라우트의 친환경성을 평가하기 위해 증점제를 사용하였다. MC(methyl cellulose)계 증점제는 주로 수중불리 콘크리트용 혼화제에 사용되는 것으로써 그라우트의 잉여수를 흡수하여 체적을 팽창시키고 그라우트의 점성을 증대시키는 역할을 한다.

킬레이트고분자는 그라우트의 pH 변화에 따라 고분자 입자가 활성화되어 금속이온을 흡착하는 특성을 가지고 있다. 시멘트는 물과 반응하여 수화과정에서 필연적으로 강알칼리 성분과 각종 중금속이온을 용출하게 된다. 따라서, 그라우트 내에 혼입된 킬레이트고분자는 시멘트 수화물에 의해 활성화되어 발생된 중금속을 전기적인 흡착으로 그라우트 내부에 고정화시킴으로써 그라우팅에 의한 환경영향을 최소화시킬 수 있다. 이 연구에 사용된 킬레이트고분자의 화학적 특성은 Fig. 2와 같다.

2.3 실험방법

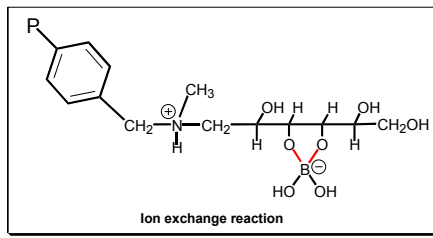
그라우트에 의한 환경영향을 평가하기 위해 본 연구에서는 그라우트의 배합별 강도발현 특성과 pH의 변화량 그리고 중금속 용출량을 측정하였다. 그라우트의 강도평가

Table 2 Chemical composition of OPC and BSC

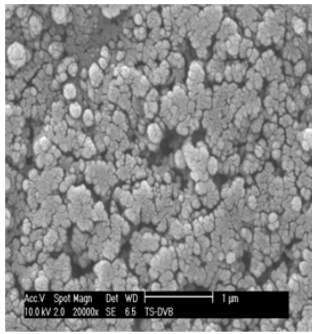
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	LOI	fineness
OPC	20.8	5.9	62.7	2.8	3.3	2.2	0.85	1.4	3,260
BSC	28.4	10.8	48.8	5.5	2.1	1.8	0.48	1.6	3,703

Table 3 Chemical composition of power type agent

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	LOI	blaine fineness
40.67	21.84	28.59	3.91	1.80	1.15	0.42	5,320



(a) molecular structure



(b) SEM measurement

Fig. 2 Chemical properties of liquid type agent



Fig. 3 Testing machine for compressive strength

를 위해서는 조건별 그라우트 모르타르를 제조한 후 91일 동안 표준양생을 수행하였고 재령별로 1축압축강도를 측정(Fig. 3)하였으며 측정 시의 하중재하속도는 1.0mm/분으로 설정하였다. pH의 변화량 측정시는 물-시멘트비 100% (일반적인 지반 그라우팅 배합)의 그라우트를 제조한 후, 굳지않은 상태의 그라우트를 수중에 투입하였으며, 시간별로 pH 측정기(HANNA Instrument HI 2210)를 사용하여 pH의 변화량을 측정하였다. 중금속 용출량 시험에서는 그라우트에서 가장 큰 문제로 부각되고 있는 6가크롬의 용출량에 대해 용출시험을 수행했으며, 배합별로 그라우트를 제조 후 굳지 않은 상태에서 수중에 투입 후 시간별로 물을 채취하고 0.24 μ m의 멤브레인 필터를 이용하여 불순물을 제거한 후 UV-Vis(US EPA 3060A-96)법 (Fig. 4)을 이용하여 측정했다.

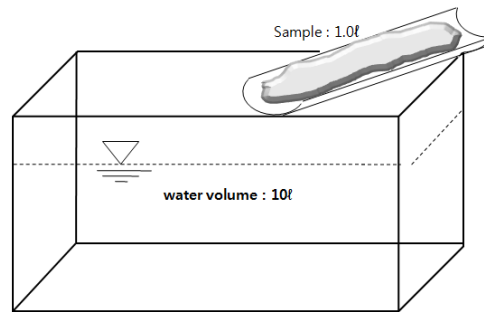


Fig. 4 Test procedure of pH measurement and Cr⁶⁺ detection

3. 실험 결과

3.1 시험배합표

그라우트의 환경영향을 평가하기 위한 실험변수는 주재료(B액)와 증점제(A액)로 구별하였다. 주재료는 시멘트, 슬래그시멘트 및 급결제이며, 증점제는 MC와 CHP이다. 기본배합으로써 시멘트와 물의 비율을 1:1로 하였고, 시험배합으로써 급결제의 사용량은 시멘트량의 5%를 선정하고 시멘트량에서 치환하여 적용하였다. 또한, 증점제는 총 결합제량의 1%를 선정하여 사용했다. 그라우트의 제조는 배합 비율에 따라 binder(B액)를 물과 혼합한 후 VA(A액)를 투입하는 방식으로 하였으며, 여기에서 배합특성을 평가하기 위한 시멘트와 증점제의 시험배합표는 Table 4에 나타내었다.

3.2 압축강도

압축강도 측정은 KS L 5105에 따라 그라우트의 배합별로 모르타르를 제조하고 재령별(1, 3, 7, 28, 56, 그리

Table 4 Trial mixture proportions of cement grout using binder and VA

Mix. No.	water	binder(liquid-B)			VA(liquid-A)	
		OPC	BSC	ACC	MC	CHP
1	760	760				
2	760		760			
3	760	722		38		
4	760		722	38		
5	760	760			7.6	
6	760	760				7.6
7	760		760			7.6
8	760	722		38		7.6
9	760		722	38		7.6

Table 5 Mixture proportion for compressive strength measurements of grout mortar

W/C (%)	water (ℓ)	binder (kg)	VA (ℓ)	sand (kg)	volume (ℓ)
48.5	304	626	6.3	1,253	1,000

Table 6 Compressive strength of grout mortar

Mix. No.	compressive strength(MPa/day)					
	1	3	7	28	56	91
1	8.6	20.3	31.5	42.7	48.0	54.0
2	6.5	15.4	29.7	45.1	52.0	60.2
3	12.6	22.3	33.5	43.9	48.0	55.0
4	10.3	18.6	32.5	46.0	54.0	61.0
5	6.7	18.5	28.4	38.6	45.0	51.0
6	8.0	19.6	32.3	40.7	49.3	56.0
7	5.4	13.7	27.0	44.0	51.0	58.1
8	12.0	22.9	34.0	40.7	49.2	53.4
9	9.2	16.7	30.5	44.1	50.7	58.3

고 91일) 강도를 측정하였다. Table 5는 압축강도 측정용 공시체의 제작을 위한 배합표이고 Table 6은 실험결과로부터 얻은 값을 나타내고 있다. Fig. 5는 1일에서 7일까지의 재령에 따른 압축강도를 Fig. 6은 전 재령에 따른 압축강도를 나타내고 있다.

실험결과, 급결재를 사용한 배합(배합-3,4)에서는 그렇지 않은 배합(배합-1,2)보다 초기강도의 증가가 명확히 나타나고 있으며 재령 28일까지도 강도의 증가를 보이고 있다. 이는 시멘트에 첨가된 급결성 혼합재가 시멘트의 수화를 촉진시킴으로써 초기에 모르타르의 강도가 증가했기 때문으로 판단된다. 그러나, 증점제를 첨가한 경우 (배합-6~9)에는 초기강도가 약간 저하되는 경향을 나타내고 있고, 장기재령(56일, 91일)에서는 거의 유사한 강도를 나타낸다. 이는 모르타르에 증점제의 사용은 점성을 증가시켜 재료분리에 대한 저항성을 향상시킬 수 있으나 전기적인 흡착에 의해 시멘트의 수화를 방해하고 모르타르 혼합중 공기량을 증가시켜 강도를 저하시키는 것으로 판단된다.

3.3 pH 변화량

배합 조건별로 pH의 측정을 위해 Table 7의 혼합비율에 따라 굳지 않은 상태의 그라우트 1리터를 Fig. 4와 같은 물 10리터 용기의 상부표면에서 투입하였다. Table 8과 Fig. 7은 배합별 pH의 측정치를 나타내고 있다. 증점제를 사용하지 않은 배합(배합-1~4)은 그라우트가 물에

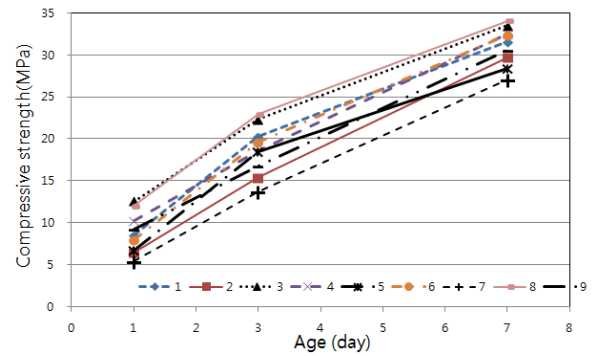


Fig. 5 Compressive strength at early-ages

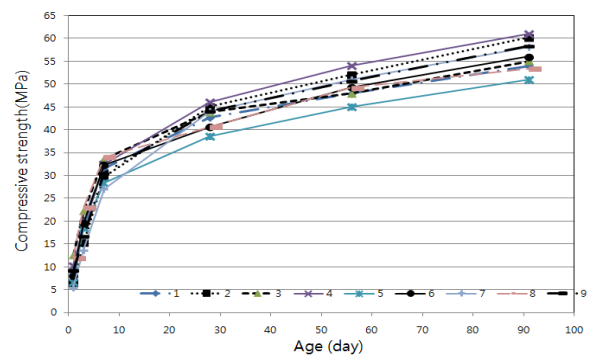


Fig. 6 Compressive strength at all ages

Table 7 Mixture proportion for pH measurement and Cr⁶⁺ detection

W/C(%)	water (ℓ)	binder (kg)	VA(kg)	volume(ℓ)
100	760	760	7.6	1,009

Table 8 pH value with mix design

Mix. No.	pH value (pH/hours)						
	0	1	3	6	24	48	72
W	7.60	-	-	-	-	-	-
1	12.12	12.90	13.03	13.04	13.09	13.09	13.12
2	11.60	12.10	12.30	12.50	12.70	12.80	12.95
3	12.03	12.60	12.90	13.00	13.01	12.96	13.05
4	10.90	11.40	11.80	12.03	12.03	12.08	12.20
5	9.20	11.83	12.51	13.18	13.12	13.10	13.10
6	9.05	10.22	10.48	10.70	11.00	11.12	11.15
7	8.84	9.50	9.94	10.12	10.23	10.25	10.32
8	8.71	9.64	9.82	9.91	10.00	10.10	10.13
9	8.22	8.82	9.02	9.18	9.30	9.36	9.36

흐트러져 혼탁하게 되었으며 투입 즉시의 pH는 시멘트만 사용한 경우는 각각 12.12와 12.03으로 증가되었고, 슬래그시멘트를 사용한 배합에서는 11.6과 10.9로 시멘트만 사용한 경우보다 약 0.52와 1.13만큼 낮게 측정되었다.

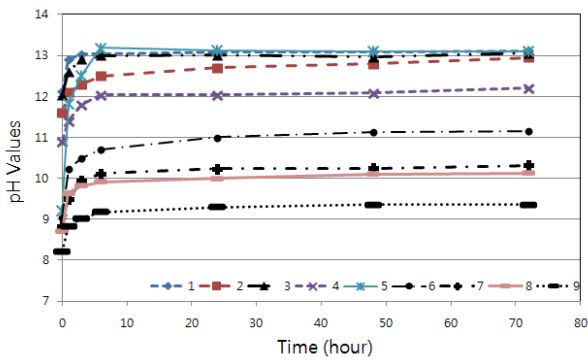


Fig. 7 pH value with mix design

이는 슬래그시멘트 중의 시멘트량이 총 중량의 약 60% 정도이므로 초기 pH의 증가가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 급결제를 사용한 배합(배합-3,4)에서는 초기에 pH 측정치가 그렇지 않은 배합보다 약간 작은 값을 보이고 있으나 시간이 지나면서 거의 유사한 정도까지 증가되고 있다.

MC 증점제를 사용한 배합에서는 초기에는 pH의 증가가 상당히 낮게 나타나고 있으나 시간이 지나면서 pH가 OPC의 경우와 유사할 정도로 큰 폭으로 증가되고 있다. MC는 그라우트의 점성을 증가시켜 초기에 흐트러지는 것을 방지함으로써 pH의 초기증가를 제어할 수 있으나, 시멘트 경화과정에서 용출되는 강알칼리 성분의 방지는 불가능한 것으로 판단된다.

킬레이트고분자를 사용한 배합의 경우는 모든 경우에서 상당히 낮은 pH의 증가를 나타내고 있다. 특히 급결제와 킬레이트고분자를 병행하여 사용한 경우는 72시간 후 pH값이 10.13과 9.36를 나타냄으로써 초기에 비해 1.42와 1.14정도만 증가를 나타내었다. 이는 킬레이트고분자가 시멘트의 강알칼리 성분의 용출을 방지하고 그라우트가 물에 흐트러지지 않은 결과인 것으로 판단된다.

3.4 중금속 용출량

그라우트의 중금속 용출량 시험도 Table 7의 배합비율을 사용하고 pH의 시험과 동일한 방식(Fig. 4)으로 그라우트를 수중에 투입하였으며, 투입후 재령 1일, 3일, 그리고 5일에 시료수를 채취하고 이물질질을 제거한 후 6가크롬 함유량을 측정하였다(Table 9, Fig. 8).

시멘트만 사용한 배합(배합-1)에서는 초기 측정치가 1.05ppm으로 가장 높은 양의 6가크롬이 용출되었고 시멘트와 급결성 혼합제를 사용한 배합(배합-3)의 경우는

Table 9 Detection value of Cr⁶⁺ with mixture design

Mix. No.	Cr ⁶⁺ (ppm/day)		
	1	3	5
1	1.05	1.07	1.07
2	0.75	0.77	0.75
3	1.04	1.04	1.04
4	0.75	0.76	0.76
5	1.03	1.04	1.03
6	ND ¹⁾	ND	ND
7	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND

¹⁾ND : non detected

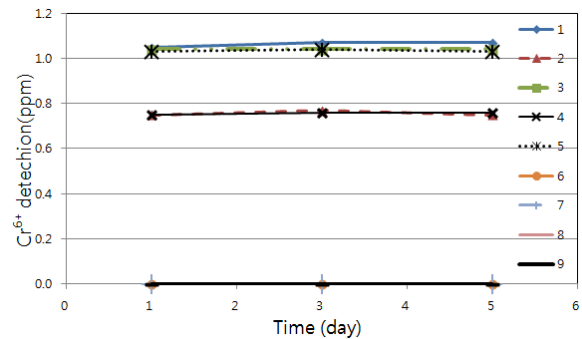


Fig. 8 Detection value of Cr⁶⁺ with mixture design

1.04ppm으로 배합-1과 유사한 용출량을 나타내어, 급결제의 사용은 중금속 저감에 효과가 없는 것으로 판단되었다. 그리고 슬래그시멘트를 사용한 경우(배합-2)에는 배합-1과 비교하여 71.4% 정도의 6가크롬이 용출되었다. 6가크롬의 발생원으로는 시멘트 소성시 사용하는 생활폐기물과 산업폐기물에 의해 유입된 3가 크롬이 소성과정을 거쳐 6가크롬으로 변형되어 시멘트로 유입되는 것(안전신문사 특별취재팀, 2007)을 들 수 있으며, 슬래그시멘트에서 사용되는 슬래그파우더는 재철공정에서 발생하는 산업부산물로써(백광섭 등, 1995) 6가크롬이 발생원과는 관계가 없으므로 슬래그시멘트의 6가크롬량이 저감되는 것으로 사료된다. 급결제를 사용한 배합(배합-3,4)은 6가크롬의 발생량이 사용하지 않은 배합(배합-1,2)과 유사하여, 급결제의 사용 유·무는 6가크롬의 발생량에 영향이 없는 것으로 나타났다.

MC 증점제를 사용한 경우(배합-5)는 중금속의 용출량이 사용하지 않은 것(배합-1,3)과 동일한 결과를 나타내고 있다. 킬레이트고분자를 사용한 모든 배합-6~9에

서는 6가크롬이 용출되지 않았다. 이는 고분자가 6가크롬을 흡착하여 그라우트 외부로 용출하지 못하는 것으로 판단된다.

재령에 따른 6가크롬 용출량은 모든 경우에서 재령 1일에 용출된 양이 총발생량의 약 97% 이상을 나타내고 있어, 6가크롬은 그라우트 시공 초기에 거의 모두 발생되는 것으로 판단된다.

4. 결론

이 연구에서는 지반 그라우트 재료별 환경영향을 평가하기 위해 조건별 그라우트를 제조하고 각각의 압축강도, pH의 변화량 및 6가크롬의 용출량을 측정하였다. 시험시에는 시멘트와 슬래그시멘트 및 급결재를 주재료로 하고, 증점제는 MC 증점제와 킬레이트고분자를 사용하였다.

- (1) 압축강도 결과에서 급결재를 사용한 경우는 사용하지 않은 경우에 비해 초기강도의 증가가 뚜렷하게 나타나고 있으며, 반면에 증점제를 사용하는 경우는 초기강도가 상대적으로 낮아지는 결과를 보였다. 그러나 장기재령에서는 모두 양호한 강도증가를 나타내었다.
- (2) 굳지않은 상태의 그라우트를 수중에 투입한 즉시 pH의 변화량을 측정한 결과, 그라우트에 증점제를 사용할 경우가 사용하지 않은 경우에 비해 pH 값의 증가가 현저히 감소되는 것으로 나타났으며, MC 증점제는 그라우트 투입 초기에는 매우 효과적이거나 시간이 지남에 따라 pH 값이 점차 증가되어 최종적인 72시간 후에는 OPC만 사용한 경우와 유사한 결과를 나타냈다. 반면, 킬레이트고분자를 사용한 경우는 그라우트 투입 초기와 72시간까지의 모든 경우에 pH의 측정값이 가장 낮아, 우수한 pH 저감효과를 갖는 것으로 나타났다.
- (3) 중금속 용출결과에서, 슬래그시멘트를 사용한 배합에서는 OPC를 사용했을 때 용출되는 6가크롬량에 비해 약 71%정도의 낮은 용출량이 나타났다. 또한, MC 증점제를 사용한 경우는 시멘트만을 사용한 경우와 결과가 유사하며 그라우트의 6가크롬의 용출에 효과가 전혀 없는 것으로 나타났다. 킬레이트고분자를 사용한 경우에는 다른 요인과 무관하게 모든 배합에서 6가크롬이 용출되지 않았다.

- (4) 본 연구의 결과에서, 지반 그라우팅에 의한 pH의 증가와 중금속(Cr^{6+})의 발생은 시멘트가 가장 주요한 원인으로 판단되며, 그라우팅 재료로서 슬래그시멘트 또는 킬레이트고분자의 사용은 그라우트에 의한 환경문제의 발생을 저감시키는데 주요인 자임을 확인할 수 있었다. 또한, 그라우팅의 현장 시공에 있어, 본 연구의 결과를 통해, 그라우팅에 의한 환경영향을 최소화하기 위한 그라우팅 재료 및 시공기술의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010~2012년 중소기업청 기술개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도종남, 변요셉, 천병식, "무기질계 지반주입제의 친환경성 및 내화학적 특성에 관한 연구", Korea Geo-Environmental Conference, Sept. 7, 2007/ kwacheon/Korea.
2. 문세훈, 정재홍, 이승훈, 이승현, "시멘트 6가크롬($Cr(VI)$) 정량분석법에 관한 고찰", 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집, vol. 20, No. 1, 2008, pp.897-900.
3. 방기문, 전해표, 전효택, "그라우팅으로 인한 주변 지하수-토양 환경으로의 중금속 용출가능성 평가", 한국지구시스템공학회지, vol. 43, No. 2, 2006.
4. 백광섭, 차태환, 노재호, 박연동, 윤재환, "고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트 배합설계에 관한 연구", 한국콘크리트학회 1995년도 가을 학술발표회 논문집, vol. 7, No. 2, 1995, pp.113-118.
5. 안전신문사 특별취재팀, "일과탄과 쓰레기시멘트' 이대로 방치할 것인가", 안전통권 280호, 2007, pp.106-107 ISSN 1975-7018.
6. 천병식, "고성능 주입제에 의한 연약지반 처리공법 연구", 한국과학재단, 2002, p.78.
7. 최재석, "전기로 환원슬래그를 이용한 CSA계 시멘트 클링커 제조 연구", 인하대학교 박사학위논문, 2010.
8. Chun, B. S., Lee, J. Y and Kim, K. M., "Strength characteristic of solidified cement grout on curing solution and environmental effects", Korean Geotechnical Society Conference 2003 proceeding, 2003, pp.689-696.
9. Kurtzner, C., 1996, Grouting of rock and soil, Rotterdam.
10. Marion, A, Lanève, M. D. and Grauw, A. D., "Study of the leaching behaviour of paving concretes: quantification of heavy metal content in leachates issued from tank test using demineralized water", Cement and Concrete Research, vol. 35, No. 5, 2005, pp.951-957.
11. Markiewicz-Patkowska, J., Hursthouse, A. and Przybyla-Kij, H., "The interaction of heavy metals with urban soils: sorption behaviour of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a typical mixed brownfield deposit", Environment International, vol. 31, No. 4, 2005, pp.513-521.
12. Ottosen, L. M., Eriksson, T., Hansen, H. K. and Ribeiro,

A. B., "Effects from different types of construction refuse in the soil on electrolytic remediation", Journal of Hazardous Materials, vol. 91, No. 1-3, 2002, pp.205-219.

(접수일자 : 2012년 4월 27일)
(수정일자 : 2012년 6월 11일)
(심사완료일자 : 2012년 6월 14일)

요 지

이 연구에서는 시멘트계 광물로 제조된 그라우트의 사용에 의해 발생하는 환경문제인 pH의 증가와 중금속오염을 MC계와 킬레이트고분자를 이용하여 평가하고자 하였다. 그라우트 재료로 보통포틀랜드시멘트와 슬래그시멘트를 사용하였고 급결재로 칼슘알루미늄에이트계 급결성재료의 혼합물을 사용하였으며, 중금속과 pH의 발생을 방지하기 위해 증점제를 사용하였다. 측정결과, 킬레이트고분자를 사용할 경우에 그라우트에 의한 pH의 증가가 최소화되었으며 중금속(Cr^{6+})은 용출되지 않았다. 그 이외의 경우에는 pH의 증가와 중금속 용출이 뚜렷이 증가하였다. 또한, 재령에 따른 중금속 발생량은 용출시험 1일에서 전 용출량의 약 97% 이상이 용출되었고 이후는 추가 발생되지 않는 것으로 나타났다. 이 연구의 결과로부터 pH의 증가와 Cr^{6+} 과 같은 중금속의 용출을 제어하기 위해서 BSC와 킬레이트고분자를 사용하는 것이 아주 유용함을 알 수 있었다.

핵심 용어 : 그라우트, 칼슘알루미늄에이트, MC계, 킬레이트고분자, 환경영향
