친환경 그라우팅 재료를 통한 현장 적용성 연구
A Study Of Practical For Eco-Grouting Materials

김학문[1], Kim-Hak Moon, 장경준[2], Jang-Kyung-Jun, 허원[3], Hur-Won, 허형석[4], Hur-Hyung-Suk

[1] 단국대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Dankook
[2] 단국대학교 토목환경공학과 박사수료, Graduate Student, Dept. of Civil and Environ. Eng, Dankook Univ.
[3] 단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil and Environ. Eng, Dankook Univ.
[4] (주)제이엔티아이엔씨, Lab Manager, JNTinc.

개 요 : 그라우팅은 건설공사에서 지반의 갈라진 틈이나 공동, 공극 등에 적절한 충전재를 압력을 이용하여 주입하는 것으로, 굴착공사 시 누수방지와 불안정한 지반의 보강을 위하여 광범위하게 사용되고 있다. 가장 많이 사용되고 있는 그라우팅 주입재의 재료로는 물유리계를 주재료로 사용하는 약액주입공법이 많이 사용되어지고 있다. 기존의 물유리계 재료를 사용할 경우 발생하는 용출현상 및 강도저하를 보완하기 위하여 가소성을 부과한 무기질계 재료ECG(Eco Clean Grouting)를 사용하여, 강도 및 내구성이 우수하고 주입재의 용출 현상이 발생하지 않아 환경오염 문제가 거의 없는 영구적인 차수 및 보강에 적합한지와 친환경적 특성을 확인한다. 본 연구는 가소성 무기질계 재료인 ECG(Eco Clean Grouting)재료를 사용하여 현재 많이 사용되는 재료인 물유리계 재료로 일축압축강도, 체적변화, 내구성 평가, 투수시험, 어독성 시험, 용탈시험등을 수행하여 비교・분석 하였다. 일축압축 시험결과 재령 28일 강도는 ECG가 물유리재료에 비해 크게 발현되었고, 내화학성시험 결과 ECG의 길이변화율이 거의 없는 것으로 내화학성에서 강점을 보였다.

Key words : ECG, 물유리계 , 일축압축시험, 내화학성시험, 용출시험

1. 서 론

도심 지하철 및 대형 건축공사장의 지반굴착 등의 토목공사에서는 지반의 안정성 확보를 위해서 각종 그라우팅 공법을 많이 사용하고 있다. 그라우팅은 연약지반의 차수 및 보강, 진동과 지하수위 저하로 인해 기울어진 피해건물의 원상복구 및 지지력 증대를 위한 기초보강, 진동 또는 지진에 대비한 방진 및 내진설계, 폐기물 매립장의 특수지반보강 등 국내 여건에 맞는 지반개선을 위해 사용되고 있다.

최근 환경에 대한 관심이 증대되면서 지반보강 재료의 친환경성이 강조되며, 이에 따라 각종 지반주입재료가 개발되어 지고 있으나 보통시멘트의 지반주입시 그 효과가 확인되면서 건설공사에 본격적으로 도입되었지만 시멘트의 평균입경은 15~20㎛로 입자가 굵어 침투주입 영역이 매우 제한적이었다. 이에 대부분 건설현장에서는 물유리계 재료가 적용되어지고 있으며, 물유리계공법은 특성상 차수효과가 크게 나타나지만 장기적인 관점에서 내구성, 강도, 용탈 등의 문제로 인하여 영구적인 지반 보강이 불가능하고 차수를 위한 공법으로서의 본질적인 문제점(천병식, 2002)을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 무기질계 그라우팅재료인 ECG에 대하여 물유리계 재료와 일축압축강도 시험, 투수성, 내구성시험, 어독성시험, 수중불분리성등 여러 시험을 수행하여 내구성, 강도, 투수성, 환경성들의 특성을 비교하고자 한다.

2. 시료제작

본 연구에서 사용된 ECG재료는 3가지의 시편으로 제작을 하였다. 가소성인 E-ST-T1, E-ST-T2와 급결재인 E-AC-T1으로 구분하여 순수재료로 제작한 homogel과 모래와 1:1비율로 혼합한 sandgel 이렇게 6개의 시편을 제작하였으며 각 시료의 배합비는 표 1, 2, 3과 같다.

ECG와 비교시험으로 사용된 물유리계 재료도 homogel과 sandgel로 구분하였으며, 물유리계 재료의 배합비는 표 4와 같이 배합을 하였다.

표 1. E-ST-T1 배합비

구 분	A 액(30ℓ)			B 액(30ℓ)		합 계
	Water	ECG-Cement	ECG2000	Water	ECG1000	
중 량	638	720	40	94	6	1,498
용 적	638	248	14	94	6	1,000

표 2. E-ST-T2 배합비

구 분	A 액(30ℓ)			B 액(30ℓ)			합 계
	Water	ECG-Cement	ECG2000	Water	ECG1000	ECG3000	
중 량	368	360	40	340	20	340	1,468
용 적	368	118	14	340	20	142	1,002

표 3. E-AC-T1 배합비

구 분	A 액(30ℓ)			B 액(30ℓ)		합 계
	Water	ECG-Cement	ECG2000	Water	ECG1000	
중 량	384	300	50	465	100	1,299
용 적	384	98	18	465	35	1,000

표 4. 물유리계재료 배합비

구 분	A 액(30ℓ)			B 액(30ℓ)		합 계
	Water	Cement	보조제	Water	물유리계	
중 량	420	150	30	250	345	1,195
용 적	420	48	30	250	250	998

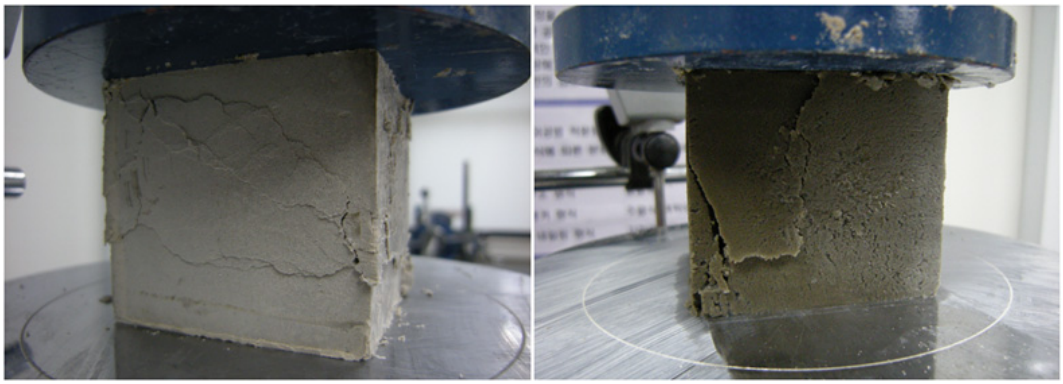
3. 실내시험

3.1 일축압축강도시험

3.1.1 시험개요 및 방법

일축압축강도시험은 일축압축강도시험기를 이용하여 KS F 2314의 방법으로 측정하였다. 그림 1과 같

이 5 × 5 × 5의 사이즈로 큐빅몰드로 시편을 제작하였으며, 재하속도 1.0mm/min로 일축압축시험을 실시하였고, ECG시료와 물유리계 시료에 대해서 급결성(E-AC-T1, 물유리계)은 큐빅몰드에 재령 1시간, 3시간, 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 40일, 60일, 80일, 100일별로 일축압축강도시험을 실시하여 일축압축강도를 산출하였으며, 가소성(E-ST-T1, E-ST-T2)은 3일, 7일, 14일, 28일, 40일, 60일, 80일, 100일별로 일축압축강도시험을 실시하였다.



(a) ECG 일축압축시험 (b) 물유리계 일축압축시험

그림 1. 일축압축시험

3.1.2 일축압축강도시험 결과 및 분석

ECG와 물유리계 시편으로 일축압축시험을 실시한 결과는 표 5에 나타내었다. 재령별 일축압축강도시험결과 ECG재료 시편은 재령 28일까지도 강도가 계속 증가하고있는 경향을 보이고 있으며, 물유리계 재료 시편은 재령 7일, 14일에서 최대강도가 발현되면서 그 이후에는 강도가 감소되는 경향을 보였다. 이는 시편의 수중양생 중 용출현상에 의한 것으로 판단되어 진다. homogel과 sandgel의 강도차이는 많은 차이가 생기지 않으며 sandgel보다는 homogel의 강도가 더 크게 발현되는 것으로 판단되며, 현재 시험이 28일강도 측정까지만 되있는 상태이며, 재령 40일 강도에서 최대강도가 발현할 것으로 예상이 된다.

3.2 내구성시험

3.2.1 시험방법

내구성시험은 각각의 양생수조에 자연해수의 6배(25g/L)의 Cl_2용액 및 자연해수의 10배(25g/L)의 SO_4 용액에 4 × 4 × 16 크기와 5 × 5 × 5 시편을 homogel로 제작하여 양생시켜서 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 40일, 80일, 100일별로 길이변화율과 각각의 일축압축강도를 측정하였다.

3.2.2 시험결과

재령일 별 길이변화율 측정과 일축압축강도 시험결과는 표 6~7과 같으며, 염화물에 양생시킨 시편의 길이변화를 보면 28일까지는 큰 변화는 없는 것으로 판단이 되며, 황산염 수용액에 침적시킨 시편을 보게 되면 ECG재료의 시편들은 큰길이 변화를 보이지 않았지만, 물유리계 시편은 재령14일정도에 시편이 붕괴가 일어나 측정불가 판단을 하였다. 물유리계 재료는 시편제작시 A액과 B액의 반응으로 에트링자이트(Ettringite, $3CaO \cdot AlO_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 형성하는데 황산염 수용액에서 SO_4가 증가되면서 팽

창을 일으켜 붕괴된 것으로 판단되었다. 일축압축 시험 결과를 보게되면은, ECG시편이 재령일 28일까지는 강도가 우수하게 나타났으며, 물유리계 시편은 28일 이후에는 강도가 감소할 것으로 예상이 되며 물유리계 재료가 ECG보다 화학적결합의 견고성이 낮아서 화학적 민감도가 큰 것으로 판단된다

표 5. 일축압축강도시험 결과 (단위 : kg/cm^2)

재령일 / 시편		일축압축강도						
		1Hour	3Hour	1 Day	3 Day	7 Day	14 Day	28 Day
E-ST-T1	homogel	-	-	16.26	29.57	35.12	45.56	56
	sandgel	-	-	9.27	16.38	20.96	25.88	30.8
E-ST-T2	homogel	-	-	11.97	20.75	28.32	36.26	44.19
	sandgel	-	-	8.52	12.42	19.28	23.75	28.23
E-AC-T1	homogel	2.84	3.33	8.77	13.45	17.04	18.6	20.16
	sandgel	0.92	1.25	3.86	5.28	8.08	9.76	11.44
물유리계	homogel	0.82	1.1	2.68	3.52	4.674	4.3715	4.069
	sandgel	0.62	0.94	1.02	2.4	3.276	3.414	3.55

표 6. 내구성 시험 결과(길이변화 측정)

재령일 / 침적용액		길이변화(mm)				
		1 Day	3 Day	7 Day	14 Day	28 Day
$MgCl_2$ 자연해수 6배 25g/ml (homogel)	E-ST-T1	160	160	160	160.2	160.8
	E-ST-T2	159.5	159.8	160	160.3	160.4
	E-AC-T1	157.8	157.8	158.0	160.2	160.75
	물유리계	158.0	158.2	158.5	158.9	159.35
MgSO4 자연해수 10배 25g/ml (homogel)	E-ST-T1	158.5	159.2	159.8	160	160.3
	E-ST-T2	159.0	159.7	161.0	162.0	160.5
	E-AC-T1	158.7	159.0	159.5	161.3	162.55
	물유리계	158.2	159.7	측정불가	측정불가	측정불가

표 7. 내구성 시험 결과(일축압축강도 측정)

재령일 / 침적용액		일축압축강도(kg/cm^2)				
		1 Day	3 Day	7 Day	14 Day	28 Day
$MgCl_2$ 자연해수 6배 25g/ml (homogel)	E-ST-T1	19.57	33.72	41.84	53.9	67.2
	E-ST-T2	10.94	14.86	18.72	27.74	37.96
	E-AC-T1	17.8	22.61	28.88	38.58	49.48
	물유리계	2.18	3.64	4.723	4.1435	4.764
MgSO4 자연해수 10배 25g/ml (homogel)	E-ST-T1	18.16	28.23	37.28	45.66	55.24
	E-ST-T2	13.82	19.27	24.32	30.88	38.64
	E-AC-T1	11.35	16.91	21.76	26.592	32.624
	물유리계	1.834	2.435	3.085	측정불가	측정불가

5. 종 합

본 연구에서는 가소성 무기질계 그라우팅재료인 ECG(Eco Grouting)에 대하여 물유리계 재료와 일축압축강도 시험, 투수성, 내구성시험, 어독성시험, 수중불분리성등 여러 시험을 수행하여 내구성, 강도, 투수성, 친환경성의 특성을 비교하고자 하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 일축압축강도시험 결과 ECG의 일축압축강도가 물유리계재료 시편보다 우수하다는걸 확인할수 있었으며, 시험진행이 28일 강도까지만 진행되어서 최대강도는 추후 확인을 하여야 한다.

(2) 내구성시험에서 길이변화측정 결과 ECG재료는 염화물과 황산염에 큰 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 물유리계재료 시편은 영향이 많이 끼치는 것을 알 수 있었다.

(3) 내구성시험에 일축압축강도 결과 ECG재료 시편이 재령일 28일까지는 강도가 우수하게 나타났으며, 물유리계 재료 시편은 28일 이후에는 강도가 감소할 것으로 예상이 되며 물유리계 재료가 ECG재료보다 화학적결합의 견고성이 낮아서 화학적 민감도가 큰 것으로 판단된다.

(4) 향후 추가적인 연구로 투수성시험과 용출시험, 수중불분리성 시험을 통하여 시공후 지하수에 의해 독성물질이 발생하거나 용출되는지, 그 발생량이 환경기준에 적합한지에 대한 ECG재료의 친환경성 특성을 평가・확인하고자 한다.

참고문헌

1. 천병식, 강형남, 도종남, 임주헌(2006), 환경 친화적인 무기질계 지반주입재의 내구성 및 차수효과에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, Vol. 7, No 6, pp. 113~119.
2. 김진춘(1999), 지반개량용 초미립자시멘트의 주입특성에 관한 연구, 한양대학교.
3. 천병식, 이재영, 서덕동(2003), 시멘트계 주입재 종류별 주입 특성 및 환경적 영향연구, 한국지반공학회논문집, 제19권 2호, pp. 159~170.
4. 김진춘, 최영철, 정종주, 신상재, 윤남식(2001), 그라우팅기술동향과 MSG 공법의 특징, 한국지반공학회지, 제 17권, 제 3호, pp. 40~49.
5. 천병식, 정종주, 오민열(1994), 동수지반에서 주입된 물유리계 약액의 내구성에 관한 실험적 연구, 1994년도 대한토목학회 학술대회논문집(I), pp, 685~688.
6. 천병식(2005), 최신 지반주입 이론과 실제 원기술, pp. 23, 32~33, 169~170.
7. 강석화, 최항길, 박춘식, 노재호(2002), 시멘트계 급결성 지반주입재의 출현, 대한토목학회 대한토목학회지, Vol. 50 No. 8, pp. 9~15.
8. Markiewicz-Patkowska, J, Hursthouse, A. and Przybyla-ij, H.(2005), Sorption Behaviour of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a Typical Mixed Brownfield Deposit, The Interaction of Heavy Metals with Urban Soil, Environment International, Vol. 31, No. 4, pp. 513~521.
9. Taylor, H.F.W.(1968), The Calcium Silicate Hydrates, Proc. Symp. Chem. Cement. Tokyo, 2, 1~36
10. Stin(1965), N.H. Some Characteristics of the Hydration of $3CaO \cdot Al_2O_3$ in the Presence of $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, Silicate Ind, 28, No. 3, 141~145.