그라우트재의 침투특성 및 내구성 규명

A Searchig Examination of The Permeability and Durability of Grouting

김찬기[1], Chan Kee Kim, 김중철[2], Jung-Chul Kim 김용철[3], Yong-Chul Kim
차경섭[4], Kyung-Sub Cha 김선주[5], Seon-Ju Kim

[1] 대진대학교 건설시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Daejin
[2] 대진대학교 토목환경공학과 박사 과정 Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Daejin
[3] 대진대학교 토목공학과 석사 과정 Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Daejin
[4] 대우건설 선임연구원 Researcher, Ph.D., Civil Engineering Research Team of Daewoo E&C
[5] 대우건설 전임연구원 Assistant Manager, Civil Engineering Research Team of Daewoo E&C

SYNOPSIS : This study was performed for evaluate permeability in base of development material and existing grouting. And examined durability by age strength when devide seawater and fresh water that water curing. Executed permeability test to choose base to produce pouring in specimen. About 5 grouting material, produced pouring in specimen. Seawater strength of all grouting materials except BGI decreased gradually as result that divide seawater and fresh water that water curing.

Key words : permeability, grouting material, pouring in specimen, seawater

1. 서 론

최근 국내외적으로 조력발전소, 침매터널, 원자력발전소, 수리조선소를 비롯한 다양한 종류의 해상공사가 수행되고 있다. 이들 공사는 공통적으로 본구조물 시공 전에 외부의 지하수 및 해수의 유입을 막기 위한 가물막이 공사가 필수적으로 선행된다. 향후에도 국내외에서 인공섬, 조력발전소 등 대형 해안공사가 다수 건설될 것으로 예상된다.

그러나, 일련의 가물막이 구조물에서 누수사고가 빈번히 발생하고 있으며, 이에 따라 공기지연 및 추가비용이 발생하고 있다. 누수가 발생하였을 때 초기에 적절한 차수대응이 되지 않는다면 비용과 공기지연을 피할 수 없게 되므로 이에 대한 대응책 마련이 요구된다.

가물막이 누수 시 대응방법으로 그라우팅공법이 주로 사용되고 있다. 하지만 그라우팅 시공 후에도 주입관리 미흡 및 재료의 품질문제로 누수가 계속되는 문제가 발생하며 차수효과를 높이기 위해서 상대적으로 많은 비용이 투입되기도 한다.

현재 많이 쓰이는 주입공법은 시멘트밀크그라우팅 공법, 약액주입공법 등이 있다. 이중 시멘트밀크그라우팅공법은 비용이 저렴한 장점이 있는 반면 주입성이 나쁘고, 겔타임이 늦어 지하수유동이 있는 경우에는 효과가 적다. 현재 우리나라에서 가장 많이 쓰이고 있는 주입공법은 약액주입공법이다. 그러나 이들 공법의 경우 장기적으로 내구성이 저하된다는 단점이 있다. 이에 침투성뿐만 아니라 장기 내구성이 우수한 그라우트 재료의 개발이 필요하다. 현재 기존 그라우트재료 개발 시 주입재료성능에 대한 구체적인 시험기준 및 검증이 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 개발재료 및 기존 그라우트재료의 지반 내 침투성을 평가하고, 담수/해수조건하 양생 시 재령별 압축강도변화를 통하여 내구성을 규명하고자한다.

2. 주입시험

2.1 개요

주입공시체를 제작하기 위해 25cm 대상지반에 겔 타임 40초내에 주입될 대상을 선정하기 위하여 대상지반의 특성시험과 주입 시험을 선행하였다.

2종류의 모래의 특성시험으로 얻어진 결과로 대상 시료토를 굵은 모래, 가는 모래로 나누었으며 입도분포, 비중, 건조밀도, 공극비, 투수계수 등의 물성시험을 수행한 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1. 대상지반 물성

대상시료		비중(G_s)	건조단위중량 (γ_d)	공극률 (%)	투수계수 (cm/sec)	입도분포특성		
						D_{10}	D_{30}	D_{60}
굵은모래	느슨한 상태	2.64	1.50	42.9	4.37×10^{-1}	0.92	1.11	1.40
	중 간 상 태		1.54	41.2	3.47×10^{-1}			
	조밀한 상태		1.56	40.1	1.27×10^{-1}			
가는모래	느슨한 상태	2.62	1.40	46.5	8.48×10^{-2}	0.45	0.51	0.61
	중 간 상 태		1.45	44.8	3.77×10^{-2}			
	조밀한 상태		1.49	43.2	2.43×10^{-2}			

2.2 시멘트 주입시험

대상지반을 동일한 밀도와 공극을 유지하도록 각 대상 시료의 조건별로 몰드체적에 대한 중량을 산정하여 그림 1과 같은 시험기에 강사, 바이브레이터, 또는 다짐봉으로 시료토를 제작한다. 다짐효과에 편차가 생기지 않도록 시료토를 약 5cm씩 5층으로 나누어 적절히 다짐하고, 이 때 대상지반 25cm에 대하여 100% 주입이 가능한 시료에 대하여 기록한다.

주입재로는 보통포틀랜드 시멘트와 마이크로 시멘트를 사용하였다. w/c는 100, 200, 300%로, 주입압은 1, 2, $3kg/m^2$로 변화시켜 주입을 실시하였고, 대상 시료토를 이용하여 OPC와 마이크로 시멘트(분말도 각각 6000, 8000)에 대한 주입시험 결과는 다음 표 2와 같다.

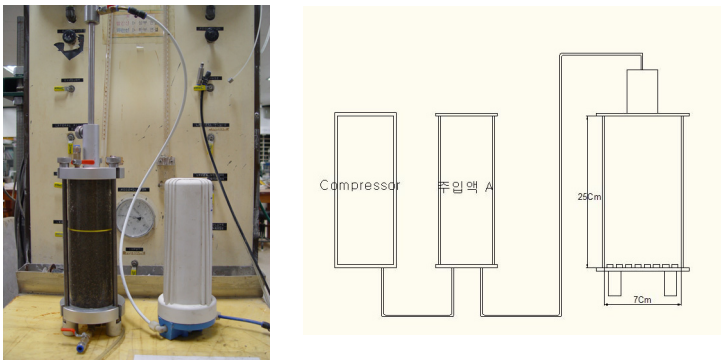


그림 1. 침투성 시험기

표 2. 주입조건에 따른 침투결과

대상 시료		Opc (분말도3000)									마이크로 시멘트 (분말도 6000)									마이크로 시멘트 (분말도 8000)								
		주입압 (kgf/㎠)									주입압 (kgf/㎠)									주입압 (kgf/㎠)								
		1			2			3			1			2			3			1			2			3		
		W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)		
		100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300
굵은 모래	20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	70	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
가는 모래	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	70	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

표 2의 주입시험 결과 포틀랜드 시멘트와 마이크로 시멘트의 주입효과 차이로 미루어볼 때 침투주입에 가장 큰 영향을 주는 요소는 토립자의 입경과 주입재의 분말도로 판단된다.

보통 포틀랜드시멘트(분말도 3000)의 경우 $K = N \times 10^{-2} (cm/\sec)$의 대상지반에는 주입이 어려운 반면 마이크로시멘트(분말도 6000, 8000)는 본 시험에 사용된 모든 지반조건에 대해 원활히 주입되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 강도시험

3.1 공시체 제작

주입시험에서 얻은 결과를 토대로 5가지 재료들이 모두 겔타임 안에 주입될 수 있는 지반으로 굵은 모래, 상대밀도 70 의 지반상태를 설정하여 시편을 제작하였다.

LW, McG, SGR, BGI, 개발제에 대해 표 3과 같은 배합비에서 $1kgf/cm^2$내외의 압력에서 현탁액형과 용액형의 주입재를 2액1공정식으로 주입하되 1:1 주입이 95%이상의 조건을 만족할 수 있도록 압력계를 조절하여 주입하였으며 BGI 주입제에 대해서는 현탁액과 용액형의 주입제가 2:1이 될 수 있도록(A액 기준으로 $1kgf/cm^2$내외) 압력계를 조절하여 주입하였다.

시편은 주입시 상부가 압력계 때문에 교란이 되므로 D=7cm h=25cm의 공시체를 제작한 후에 상부교란부분을 제거하는 방법으로 시편을 제작하였다.

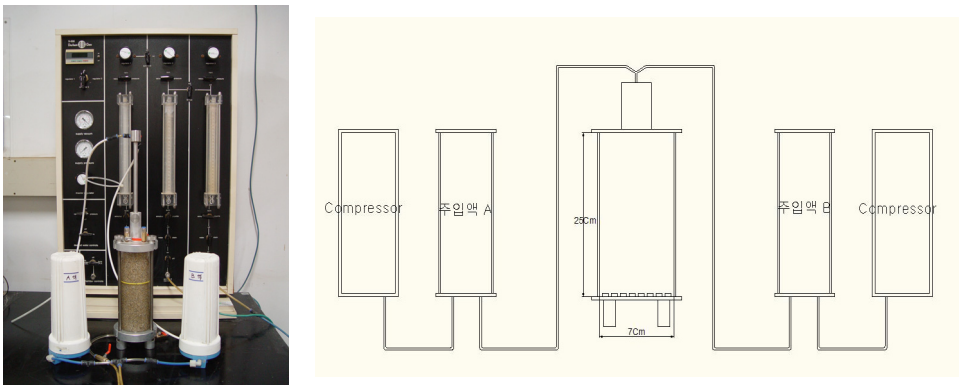


사진 2. 공시체 제작장면

표 3.공시체 제작 배합비

종 류	A액			W/C (%)	B액		비고
	재료량				재료량		
	C	W			WG	W	
MCG 완결(N)	80	173		216	112	120	※YSS

종 류	A액			W/C (%)	B액		비고
	재료량				재료량		
	OPC	SGR	W		WG	W	
SGR 완결(8호)	60	24	168	200	140	100	※WG 3호

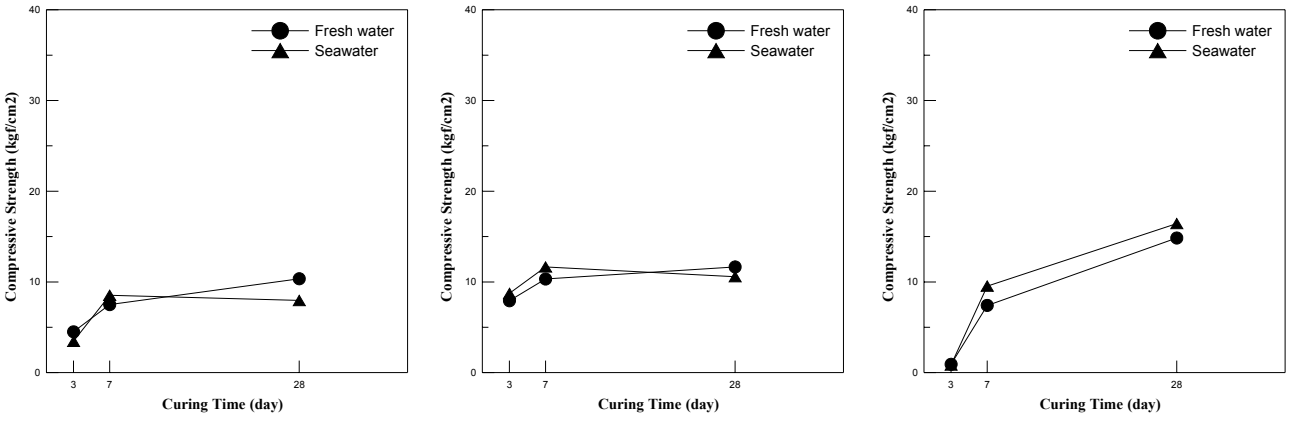
종 류	A액			W/C (%)	B액		비고
	재료량				재료량		
	OPC	BGI	W		WG	W	
BGI 완결(2호)	100	5	165	160	70	50	※WG 3호

종 류	A액			W/C (%)	B액		비고
	재료량				재료량		
	OPC	벤토나이트	W		WG	W	
LW (OPC)	200	20	430	200	350	150	$1m^3$

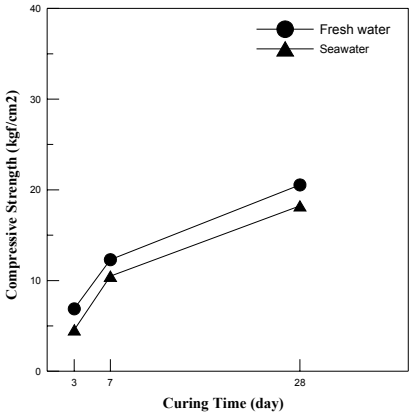
종 류	A액			W/C (%)	B액			비고
	재료량				재료량			
	OPC	PZ	W		WG	PZ	W	
완결1 (OPC)	85	25	165	150	117	58	92	개발재

3.2 시험결과

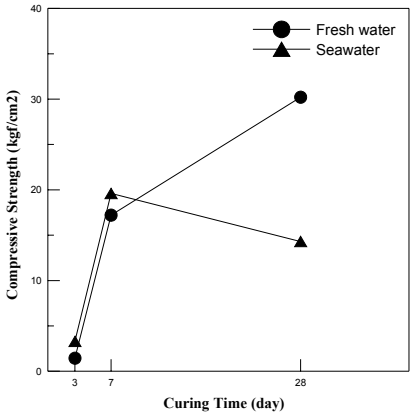
제작된 공시체의 양생조건으로 담수와 ASTM D 1141에 준하는 인공해수로 나누어 수중 양생시키고 재령 3일, 7일, 28일의 일축압축강도시험을 시행한 결과를 그림 3, 그림 4 에 나타내었다.



(a) LW 압축강도 (b) SGR 압축강도 (c) McG 압축강도

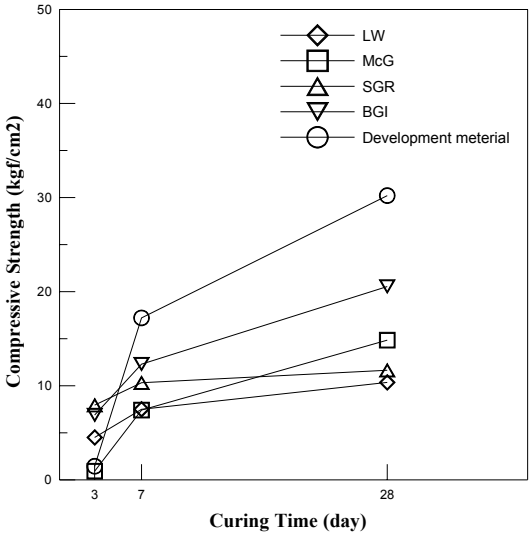


(d) BGI 압축강도

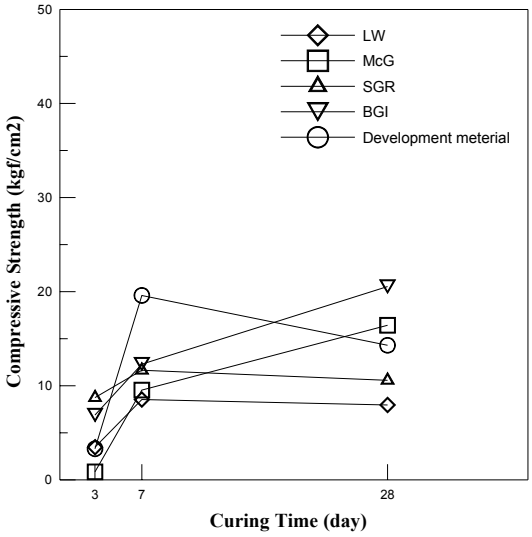


(e) 개발재 압축강도

그림 3. 각 재료별 일축압축강도



(a) 담수양생강도



(b) 해수양생강도

그림 4. 담수, 해수조건의 일축압축강도 비교

그림3. 에 나타낸 바에 의하면 강도시험결과 LW, SGR의 경우 초기강도는 오히려 해수조건에 양생한 공시체가 더 큰 강도를 보였고, 28일에서는 강도가 저하되어 결과적으로 담수조건의 공시체보다 강도가 감소하였다. McG는 28일 까지 해수의 강도가 담수보다 높았지만 강도 발현율이 다소 감소하여 이 후의 해수 강도는 저하될 것으로 예상된다.

BGI의 경우 담수가 해수의 강도보다 강도발현이 컸다. 이는 주입압의 상이함을 원인으로 공극의 저하와 충전율 차이에서 오는 결과로 보이며 다른 재료들의 경우 해수와의 화학적 생성물이 공극을 메움으로써 오는 일시적인 강도 증진현상으로 예상된다. 이는 수은압입법(MIP : Mercury Intrusion Porosimetry)으로 확인이 요구된다.

그림4. 에서는 개발재가 다른 기성제품들보다 담수와 해수조건 모두 초기강도발현이 비교적 큰 것을 알 수 있다. 담수의 경우 28일의 강도가 크게 증진되었지만 해수양생에서는 강도가 저하되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 그라우트재료 및 개발재의 지반 내 침투성을 평가하고, 담수와 해수양생조건에 따라 재령별 압축강도변화를 통하여 내구성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 보통 포틀랜드시멘트의 경우 가는 모래에서는 주입이 어려운 반면 마이크로시멘트는 본 시험에 사용된 모든 지반조건에 대해 원활히 주입되는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 모든 시료에 대해서 담수양생시료의 강도는 계속적으로 증진되었지만 해수양생조건에서는 BGI를 제외한 모든 재료의 재령 28일강도가 떨어지거나 강도 발현율이 저하되었다.

(3) 28일까지 해수에 대한 내구성은 BGI가 가장 컸고, 장기적인 내구성에 대해서는 이 후 양생 일에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 문한영, 김성수, 김홍삼, 이승태(2000) “시멘트 모르타르의 인공해수 침식에 대한 저항성”대한토목학회 학술발표회 논문집 pp. 443~446
2. 천병식, 김진춘, 이영근(1997)“국산 무기계 초미립자 주입재의 침투성 시험결과”97 가을 학술발표회 논문집 pp. 186~187.
3. 천병식, 최동찬, 정혁상, 김진춘(2009) “그라우팅 급결재의 내해수성에 관한 실험적 연구”한국지반환경공학회 학술발표회논문집 pp. 349~353
4. YANG Ping, PENG Zhen-bin, TANG Yi-qun, PENG Wen-xiang, and HE Zhong-ming(2008) "Penetration grouting reinforcement of sandy gravel" CENTRAL SOUTH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Vol.15 No.2 pp. 280~283.