

ENG 공법의 차수효과 연구

Impermeability of Earth Natural Grouting Method

정민형¹⁾, Min-Hyung Jung, 김용식²⁾, Yong-Sik Kim, 정춘학³⁾, Chun-Hak Jung, 이 송⁴⁾, Song Lee

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

²⁾ (주) KSC엔지니어링 대표이사, President, K.S.C Engineering Co., Ltd

³⁾ (주) 조양건설 대표이사, President, Choyang Construction Co., Ltd

⁴⁾ 서울시립대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

SYNOPSIS : The Water Glass grouting method has been applied frequently to impermeable grouting in practice. But there is raising problems which are durability decrease by passage time and environmentally adverse effect. So, Earth Natural Grouting method which uses micro cement is developed to overcome the problems of the Water Glass grouting method. And it is displayed ground injection extent like Water Glass grouting method.

For verifying impermeability of ENG, it is carried out a triaxial permeability test about manufacturing specimen of ENG, SGR method which is a presentative Water Glass grouting method. Although Coefficient of permeability, k , of SGR is measured a little high than k of ENG whose value is $a \times 10^{-6} \text{cm/sec}$, the value of ENG belong to impermeable range. And, k of SGR shows relatively rapid increase according to cure time due to durability decrease of water glass. Also, in-situ test result of ENG has similar value with SGR method for similar ground.

Keywords : Grouting, Impermeability, Coefficient of permeability, Micro-cement

1. 서론

댐, 제방 및 방파제 등 구조물의 노후화에 따른 빈번한 차수문제 발생과, 도심도 도심지 굴착공사와 토사터널공사 등에 따른 지반 차수성 개선을 위한 그라우팅 시공이 활발히 진행되고 있다. 원지반을 손상시키지 않고 지반 침투주입을 목적으로 하는 그라우팅 공법중, 약액계 그라우팅 재료인 물유리계의 L.W 및 S.G.R 공법은 지반으로의 침투성이 시멘트나 벤토나이트에 비해 월등히 높은 그라우팅 재료로써 각광받게 되었다.

그러나, 물유리계 그라우팅 재료는 내구성이 낮으며, 용탈현상 또한 상대적으로 크다는 문제점을 안고 있어, 물유리용액이라는 특성상 차수효과가 초기에는 크게 나타나지만 장기적인 관점에서 내구성 저하에 따라 차수효과에 대한 확실성이 감소하여 영구적인 차수 공법으로는 그 한계가 있다할 수 있다. 또한 물유리계 공법들에 대하여 최근 환경문제 유발에 대한 지적도 대두되고 있는 실정이다.

이러한 물유리계 차수 그라우팅 공법의 문제점을 보완하기 위해 E.N.G(Earth Natural Grouting) 공법이 개발되었다. ENG 공법은 순수 무기질계 급결제를 사용하여 내구성 및 환경적인 문제에 대처함으로써 반영구적인 차수효과를 기대하고 마이크로시멘트를 사용함으로써 기존 SGR 공법 등의 물유리계 그라우팅 공법과 동일한 주입효과를 보이도록 하였다.

이에 본 연구에서는 몰드제작을 통한 실내시험을 통하여 비약액계의 ENG 공법과 약액계 물유리계

그라우팅을 대표하는 SGR 공법의 투수시험결과를 비교분석하고, 이를 현장시험시공을 통해 검증함으로써 ENG 공법의 차수성을 파악하고자 한다.

2. ENG 공법

2.1 주입재 특성

ENG 공법은 그라우팅 재료에 일반 포틀랜드시멘트를 사용하지 않고 순수 시멘트 무기질 재료만을 사용하는 공법이다. 본 공법은 기존 물유리계 주입 공법에서 발생하는 용탈현상, 강도 저하, 내구성감소 및 환경오염 등의 제반 문제들을 극복하기 위해 개발된 주입공법으로써 반영구적인 차수 및 보강을 동시에 만족시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 개발된 ENG 주입재는 주재료로 쓰이는 KG-1과 경화제로 쓰이는 KG-2의 두 가지 재료가 있다. KG-1의 경우 물유리계인 규산소다가 사용되지 않는 순수 시멘트계 무기질 급결 주재료써 용탈 및 체적변형 등의 내구성이 장기간 지속되는 재료이다. 그리고 KG-2는 초미립자 마이크로 시멘트으로써 분말도가 4,000~9,000 m²/g에 해당하여 세립지반까지 침투가 가능하며, 마이크로 시멘트의 특성을 모두 지니고 있는 재료이다.

표 1. ENG 주입재 종류

구 분	제품명	성 상	비 중	특 성	비교(비중허용오차)
주재료	KG-1	백색분말	2.85	급결 주재료	± 0.2
	KG-2	회백색분말	3.05	초미립자(시멘트대체 사용)	± 0.2

물유리계 그라우팅 공법은 우수한 지반침투 범위에 의해 그 시공실적이 증대되었다. 마이크로시멘트를 주재료로 사용하는 ENG 공법의 경우 표 2와 같이 마이크로시멘트의 주입성으로 인해 물유리계 공법과 비슷한 지반침투 범위가 가능하다.

표 2. 침투성 주입재의 토질별 침투범위 (쌍용양회 중앙연구소 콘크리트 연구실, 1994)

주 입 재		자갈층	모래층			실트층	점토층	
			coarse	medium	fine			
현 탁 액	마이크로시멘트							
	보 통 시 멘 트							
	벤 토 나 이 트							
용 액 형	리 그 닌 계							
	요 소 계							
	아크릴아미드계							
토립자입도(mm)		2	0.5	0.2	0.074	0.005		
투수계수(cm/sec)		10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	

2.2 시공장치

그림 1은 ENG 공법의 모식도를 나타낸 것으로써 2중관 주입장치를 사용하는 2.0 shot을 기본 주입방식으로 하고 있으며, ENG 공법 장치에 적용된 4조식 교반장치와 자동온수 공급장치를 통해 마이크로시

멘트와 무기질계 급결제의 원활한 교반은 물론 일정한 온도의 공급수를 사용하여 1.0 shot, 1.5 shot을 아우르는 주입방식 및 gel time 조절이 용이하고 균질한 품질을 가능하도록 하였다.

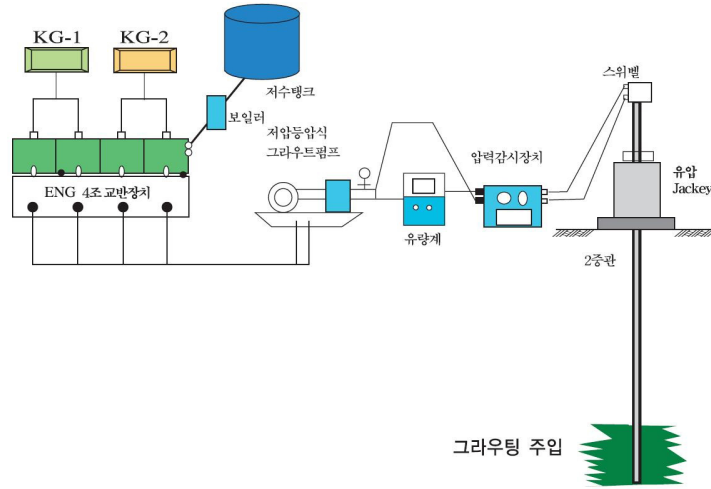


그림 1. ENG 공법의 모식도

4조식 교반장치에는 표 3과 같이 급결배합과 완결배합의 A 및 B재가 담겨져 있고, 그 배합비 역시 표 3에 표기되어 있다.

표 3. 표준 배합비

A-1 (급결)	B-2 (급결)	A-2 (완결)	B-1 (완결)
200 ℓ	200 ℓ	200 ℓ	200 ℓ
KG-1 : 40 kg	KG-2 : 100 kg	KG-1 : 18 kg	KG-1 : 65 kg
물 : 186 ℓ	물 : 167 ℓ	물 : 194 ℓ	물 : 179 ℓ



(a) 천공작업



(b) 이중관 삽입 후 케이싱 인발



(c) ENG 급결재 주입작업



(d) ENG 완결재 주입 작업



(e) 상승인발주입 (급결, 완결 반복 주입)

그림 2. ENG 공법의 단계별 시공순서

표 5. 샌드겔 모래의 물리적 특성

LL	PI	Cu	Cc	#200 통과율 (%)	Gs	USCS
N.P	N.P	4.01	1.24	5.1	2.66	SP

샌드겔 제작은 보통 그라우트 재료가 지반에 침투주입 한 것을 가정하여 모래와 그라우트재료를 특정 비율로 섞어 제작한다. 이 때 특정 비율은 주입율이 되고, 느슨 또는 중간 조밀한 모래로 하여 주입율을 35%로 하여 샌드겔을 제작하였다.

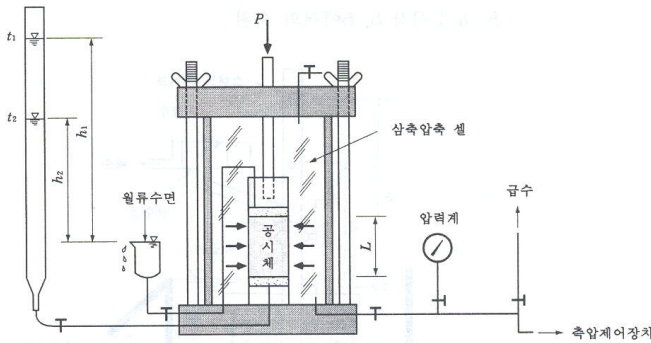
이와 같은 배합비를 통하여 삼축투수시험 장치에 맞도록 직경 5cm, 높이 10cm의 원기둥형 공시체를 제작하였고, 담수보다 양생조건이 좋지 못한 해수에 양생을 하였다.

3.2 실험 원리 및 장치

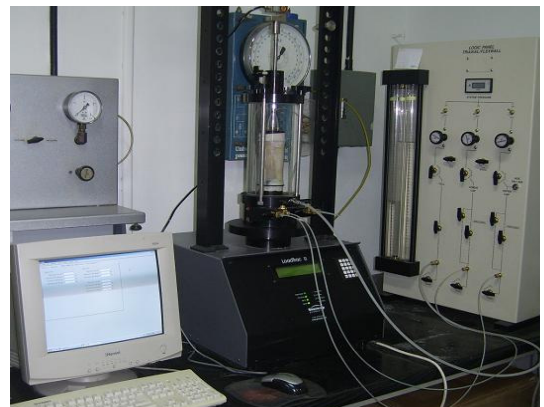
삼축투수시험은 삼축압축시험방법과 같이 포화 압밀단계를 거친 후 공시체 상하부의 back pressure 차이를 두어 인위적으로 수두차를 형성시켜 통수시키는 투수단계를 통해 이루어지고, 보통 흐름에 불리한 상방향의 흐름을 위해 시료 하부의 압력을 크게 한다.

이 시험은 현장 응력 상태를 구현하여 투수시험을 행할 수 있으며, 공시체를 고무막으로 씌우고, 측압을 가하므로 공시체 주면을 따르는 누수가 작아진다. 그리고, 압력을 가하여 포화도를 높일 수 있다. 그러나 공시체 내의 응력상태가 침투압에 의해서 변하는 점에 주의해야 한다.

삼축투수시험장비는 그림 3(b)의 GEOCOMP社 LoadTrack II 및 FlowTrack II를 이용하였다.



(a) 실험원리 모식도



(b) GEOCOMP 삼축투수시험 장치

그림 3. 삼축투수시험 원리 모식도와 실험장치

3.3 실험 결과

ENG 및 SGR 공시체에 대한 삼축투수결과를 표 6에 정리하였다. ENG 호모겔의 경우 투수계수가 보통 $a \times 10^{-6}$ cm/sec 정도이며, SGR 호모겔의 경우는 $a \times 10^{-7} \sim 10^{-8}$ cm/sec의 값을 보여 SGR 호모겔이 ENG 호모겔에 비하여 보다 낮은 투수계수를 나타내었다. 이는 SGR 그라우팅 재료인 물유리가 용액이라는 특성때문으로 차수성이 더 큰 것으로 판단된다. 그러나, 비록 ENG가 SGR에 비해 투수계수가 크게 도출되기는 하였으나 $a \times 10^{-6}$ cm/sec의 투수계수는 불투수성의 차수성이 큰 상태라고 판단할 수 있다.

또한, ENG와 SGR의 호모겔 결과값은 시간에 따른 영향을 고려하지 않는 값이며 시간에 따라 그 변동을 살펴보면 양상이 달라진다. 표 7은 7일 양생시의 투수계수와 90일 양생시의 투수계수를 비교한 시간에 따른 투수계수 변화율을 나타내었다. 그 결과 같은 양생기간 동안 ENG 호모겔 공시체의 투수계수 증가율에 비하여 SGR 호모겔 공시체의 투수계수 증가율이 대략 5배 이상의 차이를 보였다. 이는 ENG

의 경우 체적변형 등의 내구성적 측면이 이미 수렴하여 장기 양생시 투수계수가 점점 수렴해감으로써 장기적으로 차수성을 보인다고 판단할 수 있고, SGR의 경우 용탈 등의 내구성 감소로 인하여 공시체 내부에 공극이 생기는 등의 문제로 계속해서 투수계수가 감소함을 보여준다 할 수 있다.

샌드겔의 실험 결과 역시 SGR 샌드겔이 ENG 샌드겔에 비하여 투수계수가 낮은 결과를 나타내었으나, 양생시간이 경과함에 따라 투수계수의 증가율은 SGR이 크게 나타났다. 특히 ENG 샌드겔의 경우 7일 양생시의 투수계수보다 28일 양생시의 투수계수가 더 낮게 도출되었다. 여기서, 샌드겔 대상 시료에 대해서 ENG의 경우는 호모겔과 비교하여 샌드겔이 다소 낮은 투수계수를 갖고 있는 것과 달리 SGR의 경우는 호모겔과 비슷한 투수계수를 보였다. 이는 ENG의 경우 그라우트재가 모래와 엉키면서 입자사이를 보다 충실하게 메우고 있다고 볼 수 있으며, SGR의 경우 주재료의 용액적 특성이 투수계수에 반영되므로 모래와의 엉킴작용이 투수계수 감소와는 연관이 없는 것으로 판단된다.

표 6. 삼축투수실험 결과

공시체 종류	양생 일수 (day)	투수계수 (cm/sec)	
		ENG	SGR
호모겔	7	5.96×10^{-6}	7.37×10^{-8}
	28	7.88×10^{-6}	1.26×10^{-7}
	90	7.64×10^{-6}	2.04×10^{-7}
샌드겔	7	2.16×10^{-6}	8.66×10^{-8}
	28	9.69×10^{-7}	1.66×10^{-7}

표 7. 시간 경과에 따른 투수계수 증가율

공시체 종류	투수계수 증가율 (%)	
	ENG	SGR
호모겔 (7일 양생과 90일 양생 비교)	28.14	176.12
샌드겔 (7일 양생과 28일 양생 비교)	-55.23	91.72

4. 현장 투수실험

4.1 시험시공 현황

ENG 공법의 현장에 대한 차수성을 살펴보기 위해 현장시험시공을 실시하였다. 현장시험시공은 경남 창원군 남지읍 ○○제방에서 이루어졌다. 본 현장은 낙동강 지류로써 비교적 낮은 제방으로 보수·보강을 위한 그라우팅 공법 시공이 필요한 상황이었다. 이에 ENG 공법을 적용하여 시공 전·후의 현장투수 시험에 따른 투수계수를 구하였다.

시험시공 대상지반은 과거 제방 축조를 위해 점토질 자갈의 퇴적층 상부에 약 7m 가량을 쌓아올린 지층 조건으로써 상부 매립층은 매우 습하며 점토가 다량 함유된 자갈층으로 느슨한 상태를 보임으로써 차수그라우팅이 요구되는 상황이었다.

4.2 현장 시험시공 결과

7개의 공변에서 각각 심도 3.0m와 6.0m에 대하여 현장 투수실험을 적용하여 그 결과를 표 8에 나타내었다. 원지반 투수실험이 이루어진 위치에서 ENG 시공 후에 대한 투수실험을 진행할 수 없으므로, 원지반 공변과 거의 동일한 지역에서 ENG 시공 후의 투수실험을 진행하였다. 따라서, 원지반 공변 PH와 ENG 시공 후의 공변 CH는 거의 동일 지점의 위치로써 원지반과 ENG 시공 후의 투수계수는 동일지반의 투수계수라 볼 수 있다.

현장 시험시공 결과는 한 개소만을 제외하고는 $a \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 의 투수계수를 나타내었다. 이러한 결과는 ENG 공법이 현장의 차수그라우팅으로써 효과가 있음을 나타내고 있다. 또한 본 결과는 실내 삼축투수실험과 그 결과가 비슷하게 도출되어, ENG 공법의 그라우트재 배합에 의한 실내실험의 투수성능이 실제 공법 적용에 있어서도 비슷한 양상을 보임으로써 공법의 현장 ENG 공법의 현장적용성이 우수함을 보여주고 있다.

표 8. 원지반 및 ENG 시공 후의 투수실험 결과

No.	심도 (m)	원지반		ENG 시공 후	
		공변	투수계수 (cm/sec)	공변	투수계수 (cm/sec)
1	3.0	PH-1	5.22×10^{-3}	CH-1	5.87×10^{-6}
	6.0		9.21×10^{-3}		6.56×10^{-6}
2	3.0	PH-2	5.96×10^{-3}	CH-2	6.69×10^{-5}
	6.0		1.12×10^{-2}		9.61×10^{-6}
3	3.0	PH-3	8.95×10^{-3}	CH-3	4.04×10^{-6}
	6.0		1.17×10^{-2}		8.04×10^{-6}
4	3.0	PH-4	5.06×10^{-3}	CH-4	6.35×10^{-6}
	6.0		9.13×10^{-3}		8.18×10^{-6}
5	3.0	PH-5	5.38×10^{-3}	CH-5	6.12×10^{-6}
	6.0		1.20×10^{-2}		8.88×10^{-6}
6	3.0	PH-6	4.77×10^{-3}	CH-6	5.74×10^{-6}
	6.0		9.10×10^{-3}		3.94×10^{-6}
7	3.0	PH-7	5.58×10^{-3}	CH-7	7.18×10^{-6}
	6.0		9.74×10^{-3}		4.40×10^{-6}

이해봉(1998)의 연구에서는 본 시험시공 대상지반과 비슷한 $a \times 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/sec}$ 의 투수계수 지반에서 L.W와 SGR의 물유리계 그라우팅을 실시하여 각각 $a \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 과 $a \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 의 현장투수계수 값을 얻었다. 이는 비록 실내실험에서는 SGR 공시체가 투수계수가 낮게 나오더라도 현장에 적용되었을 경우 ENG와 비슷한 투수계수 값을 보임으로써 ENG의 현장적용성을 나타내는 것이라 할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 물유리계 차수그라우팅의 문제점을 극복하기 위해 개발된 ENG 공법의 차수성을 파악하고자 하는 목적으로 수행되었다. ENG 공법은 물유리계 그라우팅과 그 지반침투범위가 비슷하면서도 내구성이 강하고 환경적인 영향이 미미하도록 하고 있으며, 새로운 시공장치를 통하여 품질의 신뢰성을 높이고 있고 또한 비슷한 공법과 비교하여 양호한 경제성을 갖추고 있다. 따라서, 이와 같은 ENG 공법에 대해서 그 차수성에 대한 적용성을 파악하기 위해 물유리계 SGR 공법과 비교를 통한 실내투수실험과 현장투수실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ENG는 호모겔과 샌드겔에서 약 $a \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 의 투수계수를 보였다. 이 수치는 SGR는 비해 높은 투수계수 값이지만, 불투수성 재료로 판단하기에 무리가 없는 것으로 판단된다.
2. 시간에 따른 투수계수의 양상을 분석한 결과 SGR 호모겔에 비해 ENG 호모겔의 투수계수 증가비율이 약 1/5 수준으로 나타났고, 샌드겔의 경우 SGR은 크게 투수계수가 증가하나 ENG는 투수계수가 감소하는 양상을 나타냈다. 이는 ENG 공법의 장기적 차수성에서의 우수함을 나타내고 있다.
3. ENG 공법의 현장투수시험결과 실내시험과 비슷한 약 $a \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 의 투수계수를 보여 현장 차수성에 적합한 모습을 보였다.

참고문헌

1. 이해봉(1998), **그라우팅에 의한 지반보강시의 주입율 산정에 관한 고찰**, 조선대학교 산업대학원.
2. 천병식, 이재영, 서덕동(2003), “시멘트계 주입재 종류별 주입 특성 및 환경적 영향 연구”, **한국지반공학회논문집**, 제19권, 제2호, pp. 159~170.
3. 토목공법 연구회(2003), **실무 그라우팅 공법**, 건설정보사.
4. R. H. Karol.(1990), *Chemical Grouting*, 2nd Ed., New York and Basel, Marcel Dekker Inc..