

모형실험을 통한 배면지수 그라우팅기법에 관한 연구

A Study on the Injection Characters of
The Back Side Grouting Method by a Model Test

천 병 식* 최 춘 식**
Chun, Byung-Sik Choi, Choon-Sik

Abstract

The cement injection technology on the purpose of ground reinforcement and cut-off has been used in construction sites until now. However, recently it is applied to prevent leakage of underground structure. In this study, applicability of the back side waterproof grouting method was verified through performing field model tests and reviewing case histories. From the results of this study, injection shape of the back side waterproof grouting method was appeared to be root type, and waterproof effect by injection of cement grout material was excellent because grout material infiltrated into boundary between wall of structure and back side ground to be waterproof layer. Components influencing infiltration of injection material are type of soil and degree of compaction. For effective injection, injection pressure has to vary gradually from high pressure to low pressure and small quantity of injection material has to be injected for long times. Also, spacing of injection hole must be designed considering condition of back side ground, injection area, W/C ratio, the number of injection and injection pattern properly.

keywords : Leakage, Underground Structure, Waterproof, Type of Soil, Degree of Compaction

1. 서 언

1970년대 이후부터 국내 도심 지하철건설 및 건축 현장, 항만건설 공사현장 등에서 지반보강 및 차수를

목적으로 한 시멘트주입 약액기술이 매우 폭 넓게 활용되어 왔으며, 최근에 들어서는 지하구조물의 누수에 대한 지수공법으로도 응용되어 쓰이고 있다.

콘크리트는 완전한 방수성능을 가지지 못한 재료가

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

E-mail : Hengdang@unitel.co.kr 02-2290-0326

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

기 때문에 콘크리트의 방수성능을 향상시키기 위하여 여러 가지 방안을 강구하고 있으나 콘크리트구체 자체에 균열이 발생한 경우에는 특수한 공법을 적용하지 않으면 누수를 막을 수 있는 방법이 없다. 따라서 콘크리트구조물의 균열이나 공극에 의해 발생하는 누수를 보수하기 위해서 가장 중요한 것이 균열이 발생한 콘크리트와 같은 정도의 강도 및 방수성 그리고 콘크리트와의 접착성을 높여 보수재료와 일체화를 도모하는 것이다.

지하구조물의 누수 및 균열에 의한 장기적인 내구성, 수밀성, 안정성을 보장하기 위해서는 제도적 측면과 함께 설계, 시공, 사용, 유지관리, 공사비의 예산확보에 이르기까지 정기적인 점검 및 대책이 필요하며 특히 누수원인과 균열발생원인에 따라 구조물 종류별로 적절한 보수·보강 공법의 확립이 요구된다.

본 연구에서는 지하구조물에 발생된 누수부위를 배면지반까지 수평으로 벽체를 천공한 후 배면지반에 시멘트현탁액을 1 Shot system으로 주입하여 지하구조물의 누수를 차단하는 배면지수그라우팅공법에 대하여 모형실험 및 시공사례를 중심으로 그 적용성을 고찰하였다.

2. 지수이론

2.1 주입범위(천병식, 1998)

Karol(1960)에 의하면 현탁액형 약액의 주입범위는 다음과 같다.

$$R = \frac{\gamma_w g h r_e}{2S} + r_0 \quad (1)$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(g/cm^3)

g : 중력가속도(cm/sec^2)

h : 수두(주입압)(cm)

r_e : 공극의 등치반경(cm)

r_0 : 주입공의 반경(cm)

S : 약액의 고결강도($dyne/cm^2$)

2.2 주입압력

Kastner(1974)의 두꺼운 파이프의 탄성론에 의하면 할렬발생시의 주입압 σ 와 구속압 σ_H , 인장강도 σ_t 와의 관계는 $\sigma=2\sigma_H+\sigma_t$ 즉, 이와 같은 식으로 될 때 할렬이 일어난다고 보는 것이다. 그러나, 실제 약액주입에 있어서 초기공극수압 U_a , 주입압에 의한 새로운 공극수압 U_i 를 고려하여 다음과 같은 값 이하가 되어야 한다(森麟 등, 1987).

$$\sigma = 2 \sigma_H - (U_a + U_i) + \sigma_t \quad (2)$$

또한, 할렬압 σ 는 균열직전 저항을 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = m \sigma_3' + \sigma_t + R \quad (3)$$

여기서, σ : 유효수압과쇄압

m : 상수($1 \leq m \leq 2$)

σ_3' : 유효구속압

σ_t : 인장강도

R : 균열진전저항치

식 (3)에서 m 은 1~2 범위에 있고 내부공극수압의 증가가 무시될 수 있는 가압속도가 크거나 투수성이 작은 경우에 최대 2로 되며, 공벽 주변의 공극수압이 주입압에 가깝게 될 경우는 1에 가깝다. 식 (3)에서 좌변 제 1항과 제 2항의 합은 공벽에 인장파괴를 일으키는 데에 필요한 압력을 의미한다. 균열진전저항 R 은 모래의 투수성에 강하게 의존하고 있다. 투수성이 매우 작은 경우는 주입공벽의 인장파괴가 췌기작용을 일으켜 더욱 균열을 저하시키기에 충분하고 R 은 0에 가깝다. 한편 투수성이 큰 경우에는 공벽에 균열이 생겨도 균열선단에서의 압력이 상당 저하하기 때문에, 균열은 간단히는 진전하지 않고 큰 R 값을 갖게 된다. 즉 제 1항과 제 2항의 합으로서 인장파괴가 되나 그 대로는 할렬하지 않고 균열진전저항에 대해 압력이 추가될 때에는 할렬로 진전된다.

주입액의 점성이 증가하면 침투량이 감소하여 내부의 공극수압의 증가가 작게 되고, 또 균열내의 압력저하도 점성이 클수록 크게 되므로 m , R 은 함께 증가한다. 모래의 투수성이 클수록 R 은 증가하므로 할렬압도 크게 되나, 실험적으로 보아 할렬압의 최대치는 극한 공동내압 정도로 된다고 본다.

2.3 주입량

주입량은 대개 다음과 같이 구하고 있으며 불확정요소에 좌우되는 일이 많으므로 주의하여야 한다.

$$Q = V \frac{G_s}{1+e} (w - w_p) \quad (4)$$

$$\text{또는 } Q = R^2 \pi n \alpha (1 + \beta) \quad (5)$$

여기서, Q : 주입량(cm^3/sec)
 V : 주입대상토량(cm^3)
 G_s : 토립자 비중
 e : 토립자 공극비(小數)
 w : 자연함수비(小數)
 w_p : 소성한계(小數)
 R : 주입유효반경(cm)
 n : 흙의 공극률(小數)
 α : 토질에 따른 주입률(0.6~1.0)
 $1 + \beta$: 안전율
 β : 손실계수

2.4 주입비

주입제가 함유된 입자의 크기는 흙의 공극을 거침없이 통과하기 위해서는 충분히 작지 않으면 안된다.

King 등(1961)에 의하면 Frazer(1935), Wadell(1935)은 동일 입경(D)의 구로 된 토립자의 공극률(n)과 이때 공극의 입경(d)와의 관계를 구한 결과 가장 조밀하게 다졌을 때의 공극률 $n=26\%$ 에 대해서

$d=0.15D$, 가장 느슨하게 다졌을 때의 공극률 $n=48\%$ 에 대해서 $d=0.41D$ 임을 보였다.

King 등(1961)은 무수히 많은 토질에 대한 공극경을 통계적으로 조사한 결과 $d=0.2D$ 의 빈도가 가장 컸다. 그러나 실제로는 흙의 공극의 크기를 측정한다는 것은 쉬운 일이 아니다.

공극경 d 는 약액의 미립자경(D')의 3배 이상이어야 하므로 $d=0.2D$ 에서 $3D'=0.2D$, 따라서 주입비 $N=D/D'=15$ 이다.

그는 또한 점토계의 D_{15} 와 D_{85}' 및 D_{10} 와 D_{95}' 와의 관계를 밝히고 아래 식(6)과 같은 약액이 토립자의 공극을 쉽게 통과할 수 있는 주입비와의 관계도 보고한 바 있다.

Kravetz(1985)은 각종 약액 및 주입가능한 토립자에 대한 침투성 실험결과로부터 D_{15} 및 D_{85}' 의 관계를 보고한 바 있다.

$$N_1 = \frac{D_{15}}{D_{85}'} \geq 15, \quad N_2 = \frac{D_{10}}{D_{95}'} \geq 8 \quad (6)$$

여기서, N_1, N_2 : 주입비

D_{15}, D_{10} : 토립자의 입경가적곡선의 15%, 10%입경

D_{85}', D_{95}' : 약액의 입경가적곡선의 85%, 95%입경

2.5 배면지수그라우팅 시스템

WGS(Waterproof Grouting System)중의 한 형태인 배면지수 그라우팅 기법(최춘식, 1999)은 구조물배면에 토사층이 있는 구간중에 누수면적이 넓으면 누수발생 위치가 불분명하고 산발적으로 누수개소가 많이 발생하는 부위에서 지수를 위한 그라우팅 기법이다. 구조체 내부에서 구조체 배면의 토사층까지 천공후 포틀랜드시멘트와 주입제를 주입하여 배면 지수막 주변의 토사층을 고결시키고 지하수 유속이 저감되도록 하여 파손된 지수층을 보호하게 한다. 또한 배면에 주입된 주입제가 주입압력과 지하수로 인한 수압

이 구조물에 대한 침투압력을 증가시켜 주입제가 구조물 내부로 유수와 함께 유입되고, 주입제의 입자에 의하여 유로 단면을 축소시키고 공극부위 등이 충전되므로 수밀 콘크리트가 되어 누수가 발생되지 않게 하는 그라우팅 기법이다.

3. 모형실험

지하구조물의 누수에 대한 지수공법의 한 형태인 배면지수그라우팅에 대하여 모형실험을 실시하여 배면지반조건, 주입제의 종류, 배합비, 주입압 및 주입량 등의 주입조건에 따른 주입특성을 관찰하여 그 관계를 고찰하고 나아가 주입 메카니즘을 규명하고 또한 모형실험의 결과를 현장적용시 설계와 시공의 기초자료로 이용할 수 있도록 본 연구에서 수행한 모형실험의 조건 및 대상지반의 조건을 간단히 요약하면 다음과 같다.

3.1 실험장치

지하구조물 벽체배면에 대해 시멘트를 주재료로 하여 그라우팅을 실시하는 배면지수그라우팅 지수공법의 적용성을 파악하기 위하여 본 논문에서 사용한 모형실험장치는 다음과 같다.

모형토조는 주입압력에 저항할 수 있도록 강재로 제작된 직육면체의 형상이며 상면, 후면, 측면은 주입시 주입제의 침투과정을 파악하기 위하여 지름 2cm의 토출구를 두었고 각 토출구마다 주입시간별 침투거리를 산정하기 위하여 길이가 다른 PVC 파이프를 연결해 두었다. 모형토조의 상면은 주입시 토조 내부의 압력을 측정할 수 있도록 압력계이자를 설치하였고 또한 시료토의 포화시와 지하수를 고려할 경우 수압을 조절할 수 있도록 하였다.

토조의 정면은 지하구조물의 유형인 벽체, 슬라브, 바닥면을 표현하는 Con'c 판넬을 부착할수 있도록 앵커장치를 설치하였다. 인위적으로 종방향 및 횡방향으로 또한 재료분리에 의한 균열을 발생시켜 누수형태를 파악할 수 있도록 제작된 콘크리트 벽체로 지하구조물의 벽체, 바닥, 슬래브 조건이 되도록 설치하였다.

모형토조와 마찬가지로 전면에는 주입공이 45cm 간격으로 9공이 설치되어 있고 주입제의 유출상태를 확인하기 위한 토출구가 15cm간격으로 20공이 천공되어 있으며 벽체 내부에는 실제 구조물의 벽체와 동일시 하기 위하여 13mm철근을 25cm간격으로 복철근으로 배근 하였다. 주입장치는 용량 800ℓ의 원통형 믹서기와 최대 주입속도가 32ℓ/min인 2마력짜리 튜브펌프의 주입기와 ADR 15-60-60 기종인 유량-압력측정기로 구성되어 있다.

Table 1 배면지수 그라우팅

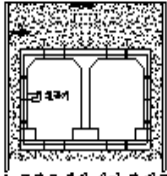
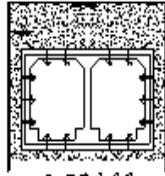
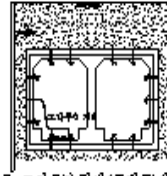
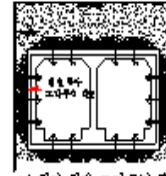
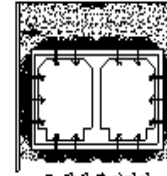
공 법	주입재료	적용범위	시 공 방 법
배면지수 그라우팅	보통포틀랜드시멘트 + WGS-300	<ul style="list-style-type: none"> - 넓은면적, 산발적인 누수 - 누수량 소량, 역방수구간 - 쉬트파손 구간 - 유속이 빠른 구간 	<ul style="list-style-type: none"> - 주입압 : 0~10 kg/cm² - 주입량 : 120~200 kg/cm² - 천공간격 : 1.0~2.0m
	 1 주입구 위치 선정 및 철근  2 주입관 설치  3 그라우팅 준비(블로우)설치  4 배면 믹수 그라우팅 및 주입구 체결  5 완성 및 단정화		



Photo 1 모형토조



Photo 2 Con'c 판넬

3.2 지반조건

일반적으로 약액의 주입침투에 대한 지반조건의 중요 영향인자는 대상지반의 다짐정도와 지하수위에 의한 포화도에 따라 주입특성이 달라질 수 있으므로 배면지수그라우팅 공법의 모형실험을 위한 배면지반의 다짐정도는 느슨한 상태, 중간상태, 조밀한 상태의 3가지로 구분하였으며, 각 상태별 지반은 건조단위중량의 표준범위 규정에 합당하도록 여러 번 시행착오를 거쳐 조밀한 상태는 70kg의 추로 21cm 층두께로 각 층당 50회 다짐을 하였으며, 중간상태는 35kg의 추로 13cm 층두께로 각 층당 25회, 느슨한 상태는 대상시료를 다짐없이 1m 높이에서 자유낙하시켜 지반을 조성하였다. 또한, 지하수위에 의한 영향을 파악하기 위하여 배면지반의 함수상태를 습윤상태, 포화상태로 나누어 실험을 실시하였고 이것을 요약·정리하면 Table 2과 같다.

Table 2 시료토의 다짐정도에 따른 건조단위중량

구분	다짐정도	포화도	비중	건조단위중량(t/m^3)	
				시료토	표준범위
일반 토래	느슨한 상태	습윤	2.67	1.38	1.3 ~ 1.5
	중간 상태			1.54	1.5 ~ 1.7
	조밀한 상태	포화		1.71	1.7 ~ 1.8
일반 토사	느슨한 상태	습윤	2.68	1.45	1.3 ~ 1.5
	중간 상태			1.65	1.6 ~ 1.7
	조밀한 상태	포화		1.79	1.8 ~ 1.9

3.3 실험방법

실험방법은 모형토조 전면에 부착된 콘크리트 벽체의 하부중앙에 설치된 주입구에서부터 주입을 시작하여 설치된 9개의 주입구를 모두 순차적으로 주입을 하였다. 주입재를 주입하는 과정 중에는 모든 유출구를 개방하였고 주입재가 토출된 유출구는 폐쇄하면서 주입압이 $10kg/cm^2$ 까지 증가되면 주입이 완료된 것으로 간주하고 다음 주입구로 이동하여 동일한 방법으로 주입을 실시하였으며 이전에 폐쇄된 유출구는 다시 개방하여 주입재가 토출 되도록 하였다. 각 주입구마다 주입시작 시간과 최초로 주입재가 토출되는 시간을 기록하였고 주입이 종료된 후 최종 주입량을 측정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 주입형태

지반에 압력을 가하여 주입재를 주입하게 되면 당연히 그 주입재는 유입하기 쉬운 부분부터 먼저 침투해 가게 된다. 따라서 지반상황이나 주입재의 조건에 따라 주입형태가 달리 나타난다. 실험완료 후 주입재의 주입형태를 파악하기 위하여 모형토조를 분리한 다음 고결토의 주변 흙을 조심스럽게 제거하고 주입된 모양을 세밀하게 관찰한 결과를 지반조건에 따라 정리하면 다음과 같다.

4.1.1 모래

4.1.1.1 습윤상태

주입재가 지반속에서 지반 및 주입조건에 의해 어떠한 주입형태가 되는가는 주입효과를 감안하면 매우 중요하다. Photo 3에서 보면, 중간정도의 경우는 콘크리트 벽체의 배면부분을 3~10cm두께로 대략 75% 정도 부착되는 유사한 주입형태를 보이며 시멘트 주입재의 맥상형태가 아닌 콘크리트 벽체와 배면지반 경계부분으로만 주입재가 관입된 경계주입형태를 나타내고 주입재가 구형이 되면 되메움시에 벽체와 근접부위의 다짐정도는 느슨할 수밖에 없으므로 주입재가 느슨한 부위로 멀리 침투되어 방수층을 이루게 된다.

이와 반면 Photo 4처럼 지반 다짐조건이 느슨한 경우는 아주 다른 양상으로 주입형태를 나타내었고 형태는 약액주입시와 같이 주입되는 시멘트 입자들이 지반의 약한 부분을 따라 한 곳으로 모여서 혼합수는 빠져나가고 시멘트 페이스트만이 응집현상에 의해 구형의 침투주입형상을 보이지만 침투주입의 흔적이 거의 확인되지 않아 지반이 느슨한 경우 주입재가 다량 소모된다고 할 수 있고 지반의 연약부를 압축시켜 압축된 부분을 주입재가 충전되는 충전주입양상이며 고결체는 다짐정도와 관계없이 모두 샌드겔이 아닌 호모겔이었다.

4.1.1.2 포화상태

실험결과 주입재의 주입형태는 다짐정도에 따라 모두 콘크리트벽체와 배면지반과의 경계부에 주입재가 주입되는 경계주입형태를 나타내는 양상을 보이고 있다. 주입된 두께는 조밀한 상태와 중간상태에서는 2~8cm정도이고 느슨한 경우에는 2~5cm이며 대략 90%정도 부착되었다. 지반의 함수상태가 습윤일 경우와 비교하여 콘크리트 벽체 배면에 부착되는 주입재의 두께는 약 20%정도 감소하였고 주입된 범위는 오히려 15%가 증가되었다. 이는 시멘트 입자가 토립자의 공극 사이를 침투하지 못하고 또한 지하수위에 의해서 발생된 수압과 습윤인 경우에는 주입시 지반이 물을 흡수하지만 포화시는 오히려 회석되어 주입재가 배면지반을 압축시킬 때 압축시키는 압력에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4.1.2 실트질 모래

4.1.2.1 습윤상태

2절에서 언급한 Kravetz(1958)의 경험식을 이용한 침투한계 주입비 계산결과 실트질 모래의 경우 주입비가 N_1 은 2.16, N_2 는 1.11로 나타나 침투주입이 불가능한 것으로 나타났다. 모형실험결과에서도 마찬가지로 침투주입이 아닌 지반의 다짐정도에 따라 조밀한 상태와 중간상태는 경계주입과 충전주입형태를



Photo 3 모래에서 중간 다짐의 주입형태(습윤)



Photo 4 모래에서 느슨한 다짐의 주입형태(습윤)

보이고 있으며 느슨한 상태는 연약한 면을 할렬과괴 형태로 관입된 맥상주입을 띠고 주입된 영역은 콘크리트 벽체의 배면에 약 90%이상 부착되며 부착된 두께는 모래와 비교해 1~3cm정도 감소된 경향을 띠었다. 이는 실트질 모래의 입경분포가 모래보다 다양하여 공극 부위에 세립자가 균일하게 섞여있고 세립분에 의한 점착력이 침투주입에 저항하는 요소로 작용한 것으로 판단되며 모래와 비교해서 구체의 배면과 경계 부위는 공극이 작다고 볼 수 있다. 또한, 주입된 고결체는 약액만이 결화된 호모겔의 형태로 골격을 구성하였다.

4.2 주입효과 증대를 위한 조건

각 현장의 누수상황 및 누수유형에 따른 적절한 지수그라우팅 기법을 적용함에 있어 주입목표구간에 대하여 1차주입으로 시공을 마무리하는 것보다는 단계적으로 1, 2, 3차로 나누어 순차적인 그라우팅을 실시하여 지수효과를 극대화시키는 그라우팅 계획이 필요하다. 또한, 가능한 한 주입압을 저압에서 실시하여 순차적으로 고압의 주입이 되도록 계획하는 것이 필요하며, 주입량은 소량을 장시간에 걸쳐 주입하는 것이 지수그라우팅 효과를 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다.

5. 현장 적용 예

본 공법을 적용한 현장은 아파트 건물 지하주차장 지수공사로서 바닥과 벽체에 지하 유수가 있는 상태였으며, 집중호우로 인한 유입량의 급증으로 주차장 바닥에 양압력이 발생하여 구조물 기둥과 보에 가는 균열이 발생된 상태로서 균열을 통하여 누수가 발생되고 있는 상황이다.

본 현장의 경우 구조물벽체 배면은 실트질모래로 구성되어 있으며 지반의 투수계수(k)는 1×10^{-3} cm/sec, 지하수위는 GL(-)8.0m를 보이고 있다. 누수원인은 수밀치 못한 콘크리트와 양압력 발생으로 인하여 발생한 균열과 공극부위에서 누수가 발생하였다.

구조물 시공시 집중적인 강우로 인해 구조물 내부로 누수가 다량 유입되었기 때문에 토사 되메우기를 실시한 구간도 지수에 많은 문제점을 안고 있다고 본다. 따라서 본 현장은 근본적인 차수뿐 아니라 되메우기 구간을 보강하여 구조물 전체의 안정을 도모하는 것이 중요하다고 판단된다.

Table 3에서 보는바와 같이 효과적 그라우팅을 위해서는 1차주입 완료 후 추가 주입이 필요하다. 2차, 3차의 추가주입 시공중에는 주입압은 증가, 주입량은 감소되었다. 추가주입은 1차주입이 불확실할 때 시공되는게 일반적이므로 효과적인 지수를 위해 필요하다. 식 2에서처럼 주입간격은 효과적인 지수를 위하여 적절히 평가되어야 한다.



Photo 5 배면지수그라우팅 현장시험시공 시공전

Table 3 배면지수그라우팅 예

1공 기준

구분	주입간격 (m)	물/시멘트비 (%)	점도 (cp)	주입공 반경 (cm)	주입시간 (min)	균열길이 (cm)	주입압 (kg/cm ²)	주입면적 (m ²)	주입량 (ℓ)
1차주입	2.0	60	29	0.8	24	40	2.5	4	457.5
2차주입	2.0	62	27	0.8	10.4	40	3.0	4	93.48
3차주입	2.0	65	24	0.8	2.41	40	5.0	2.25	21.71



Photo 6 배면지수그라우팅 현장시험시공 시공 후

현장 적용성파에 의하면 배면지수그라우팅에서 적절한 주입간격을 결정 시에는 배면의 토질조건, 주입시간, 주입량, W/C, 주입대상면적, 주입시공 차수 및 주입패턴 등이 주요 factor가 되므로 이들에 대한 면밀한 검토가 있어야 한다.

6. 결론 및 제언

- 1) 배면지수그라우팅의 주입형태는 다짐과 지하수위정도에 따라 달리 나타나는 바, 조밀~중간정도의 다짐상태에서는 주입재가 지반과 벽체의 경계면을 따라 침투, 압입되어 충전주입형태를 보이고 느슨한 경우는 맥상주입되어 둥근 형태의 구근을 형성함을 알 수 있었다.
- 2) 시멘트계 주입재에 의한 배면지수효과는 주입재가 구조물 배면과 지반의 경계면에 침투, 압입되어 충전되므로 방수막을 형성시켜 지하수 유입을 차단할 수 있는 양호한 지수효과를 보였다.
- 3) 주입재의 침투성에 가장 영향을 많이 미치는 요소는 지반의 종류와 다짐정도이므로 주입설계 시에는 지반상태를 정확히 파악하여 적용할 필요가 있다.
- 4) 현장배면지수그라우팅 시험시공성파에 의하면 적절한 지수그라우팅 기법을 적용함에 있어 1차주입으로 시공을 마무리하는 것보다는 보강효과를 점검하면서 순차 추가그라우팅을 실시하는 것이 효과적이다.
- 5) 배면지수그라우팅의 주입기법으로서는 가능한 저압

에서 순차적으로 고압으로, 주입량은 소량을 장시간에 걸쳐 주입하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

- 6) 주입공의 간격은 주입양(주입비용)과 주입효과를 좌우하는 매우 중요한 요소가 되므로 특별히 배면지반조건, 주입대상면적, W/C비 주입시공 차수 및 주입패턴등이 적절히 고려되어 배면지수그라우팅이 설계, 시공되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 2001년 한양대학교 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄에서 지원하는 연구과제인 "고기능성 첨단 주입약액의 개발연구" 의 연구수행 결과의 일부를 밝히며, 아울러 연구비를 지원해준 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 천병식 "최신 지반주입-이론과 실제", 원기술, 1998, pp. 88~95.
2. 최춘식 "콘크리트 구조물에 대하여 시멘트 계열의 그라우트재를 이용한 누수방지 보수공법(WGS 방수그라우팅 시스템)", 건설교통부 신기술지정. 1999.
3. Waddell, H. "Volume, Shape and Roundness of Quartz Particles", J. of Geology, Vol. 43, No. 3. 1935.
4. Frazer, H.J. "Experimental Study of Porosity and Permeability of Clastic Sediments", J. of Geology, Vol. 43, No. 8. 1935.
5. G.A. Kravetz "Cement and Clay Grouting of Foundations: The Use of Clay in Pressure Grouting", P. of ASCE, J. of SMFE, SMI, 1958. pp. 1546-1~30.
6. Karol, R.H. "Soil & Soil engineering, Chap. 17", Prentice-Hall Eng. and Eng. Mechanics Series, Englewood Cliffs, N.Y. 1960.
7. Kastner, H., "トンネルの力学", 森北出版, 1974. pp.40~41,
8. King, J.C. and Bush, E.G.W. "Symposium on Grouting: Grouting of Granular Material", P. of ASCE, J. of SMFE, Vol. 87, SMI, 1961. pp. 1~32.
9. 森麟, 千柄植, "砂質地盤における割裂發生機構", 日本土木學會論文集, 第338号, III-7, 1987. 12. pp.61~70.

(접수일자 : 2001년 12월 27일)