

# 지하구조물의 누수유형에 따른 시멘트그라우팅 방수기법에 관한 연구

## A Study on the Waterproof Method to the Leakage Type of Underground Structure by Cement Grouting

천 병 식<sup>\*1</sup> Chun, Byung-Sik

최 춘 식<sup>\*2</sup> Choi, Choon-Sik

### Abstract

Although the leakage problem of underground structure occurs frequently, the leakage repair methods used in Korea generally disregard the leakage type. Therefore the suitable leakage repair method is necessary in accordance with the leakage condition of underground structure. In this study, the engineering properties of waterproof grout material for leakage repair of underground structure were analyzed, and the field tests were performed with regard to the leakage conditions for construction field. The analyses of cases applied to waterproof works showed that excellent effects could be gained by changing the mixing ratio of grouting material properly and applying waterproof method available to field condition simultaneously, and that waterproof effects could increase by performing the grouting processes stepwise at low pressure, at low quantity, and for a long time. From the results of field tests, it is determined that investigations about various factors such as water-cement ratio, particle size of grouting materials, injection time, injection quantity, usage of admixture, and cut-off, etc. were necessary in addition to the existing waterproof theory.

### 요 지

지하구조물에 있어서 누수사고의 빈번한 발생 및 상습화 경향에도 불구하고 현재 국내에서 사용되고 있는 누수보수 방법은 누수유형에 관계없이 일괄적으로 동일한 처리방식으로 보수하는 상황으로서 지하구조물 누수에 대하여 누수 유형별로 보수방법을 달리하는 적극적인 해결방안의 모색이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 지하구조물의 누수보수에 있어서 방수 그라우트재의 공학적 특성을 파악하고 현장상황에 적합한 방수그라우팅 기법을 수립하여 누수유형별로 적용한 사례를 중심으로 적용성을 고찰하였다. 방수그라우팅 적용사례를 분석한 결과 지하구조물의 누수방지를 위하여 누수상황 및 누수유형에 따라 주입재의 배합비를 적절히 변화시켜 주입재와 현장상황에 적합한 방수그라우팅 기법을 병행 적용하는 것이 확실한 방수효과를 얻을 수 있으며, 주입목표구간에 대해 단계적으로 수회로 나누어 순차적인 그라우팅과 가능한 한 저압, 소량, 장시간에 걸쳐 주입하는 것이 방수그라우팅 효과를 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다. 또한, 현장 적용결과로부터 기존 방수이론의 영향요소에 추가하여 물시멘트비, 주입재의 입경, 주입시간 및 주입량, 혼화재 사용여부, 주입차수 등에 대한 다양한 영향요소의 검토가 필요한 것으로 판단된다.

**Keywords** : Grouting material, Leakage type, Underground structure, Waterproof grout method

\*1 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

## 1. 서론

최근 산업구조의 전환 및 도시교통수단의 발전 등에 의해서 대도시를 중심으로 한 도시공간 부족현상 및 토지의 효과적 이용이라는 관점에서 지하구조물의 건설이 많아지고 있다. 이와 같이 생활공간으로서의 지하공간을 확보하기 위해서는 여러 가지 해결해야 할 문제점이 매우 많으며, 그 중의 하나가 지하구조물 누수문제이다.

콘크리트 구조물은 시간의 경과에 따라 시공, 재료, 환경 등에 의하여 각종 열화현상 및 내구성이 저하되고 구조내력이 감소한다. 특히 지하구조물의 경우, 지하수 위 내에 위치하게 되어 지속적인 수압이 작용하게 되므로 콘크리트 구체 자체의 거동에 의한 균열발생과 방수층 시공불량으로 인하여 구조물 내부로 지하수가 유입되는 누수현상이 발생하게 된다. 이러한 누수현상은 복합적인 문제점이 잠재되어 있으며, 설계, 공법, 시공과정, 환경변화 등에 의하여 발생된다. 비록 성능이 우수한 재료와 공법을 선정하여 시공하더라도 이러한 잠재적인 조건을 사전 검토하고 문제점을 파악하지 않는다면 그 본래의 기능과 성능을 발휘하지 못하고 누수발생의 원인이 된다.

이러한 구조물의 누수문제에 있어서 과거부터 누수 사고의 빈번한 발생 및 상승화 경향에도 불구하고 현재 국내에서 사용되고 있는 방수그라우팅 기법은 국내 기후의 특성 및 구조재료의 물성이 외국과 다름에도 외국 자재와 기술을 그대로 사용하여 오고 있는 실정이다. 최근에 들어서 국내상황에 적합한 방수그라우팅 기술에 대한 연구가 상당수 진행되고 있으나, 적절한 공법과 그라우팅 재료에 대한 개발연구는 아직 미흡한 실정이며, 누수조건에 관계없이 일괄적으로 동일한 처리방식으로 보수하는 상황으로서 지하구조물 누수에 대하여 누수 유형별로 그라우팅 기법을 달리하는 적극적인 해결방안의 모색이 필요하다. 또한 누수발생 원인을 분석하여 누수의 재발을 방지하고 효과적인 방수그라우팅을 실시하기 위해서 여러 가지 방수그라우팅 기법을 이해함으로써 누수보수를 근원적으로 실시하여 구조물을 장기적으로 안정하도록 유지관리를 해야 할 것이다.

본 연구에서는 누수가 발생한 지하구조물에서 방수그라우팅을 실시함에 있어서 지하구조물의 안정성, 내구성, 수밀성과 관련하여 여러 가지 방수 그라우트재의 공학적 특성을 분석하고, 임시대책으로 누수 발생부위만을 차단·보수하는 기존의 방법보다는 구조물 균열

부위에 대하여 콘크리트를 파취하여 수밀치 못한 부분을 제거하고 고강도 몰탈로 충전하는 전면방수그라우팅 기법과 구조물 배면의 지반까지 천공한 후 그라우팅재를 주입하여 지반을 고결시켜 지하수의 유입을 차단하는 배면방수그라우팅 기법, 방수층이 없거나 슈트방수 시공후 슈트 파손이 발생한 부위에 그라우팅재를 충전하여 차수하는 충전방수그라우팅 기법 및 복합적인 누수에 대한 복합적용 기법 등에 대하여 검토하였으며, 누수발생상황 및 누수유형에 적합한 시멘트 그라우팅방수기법에 대한 실제 현장시험 및 시공사례를 중심으로 그 적용성을 고찰 하였다.

## 2. 방수그라우팅이론 및 기법

### 2.1 방수그라우팅 이론

#### 2.1.1 전면 및 충전방수 그라우팅

전면 및 충전방수 그라우팅시의 방수에 있어서 주입재의 입자상태 및 입경은 혼합된 주입재의 점성과 직결되고, 이 점성은 콘크리트 균열, 공극 등의 부위에 대하여 침투성능과 직접 연관이 된다. 아래의 이론식은 점도를 측정하여 유체가 구체 내부의 균열에서의 이동 속도를 알기 위한 것으로 Hagen- Poiseuille은 다음과 같은 식으로 정리를 하였다(T.B.Ahn, 1998).

$$V = \frac{P}{8 \mu l} (D/2)^2 \quad (1)$$

여기서,

$V$ : 유체의 주입시 이동 속도(cm/sec)

$P$ : 주입압력(kg/cm<sup>2</sup>)

$\mu$ : 유체의 점성(cp)

$l$ : 균열의 깊이(cm)

$D$ : 균열의 폭(cm)

식 (1)에 의하면 유체의 속도는 균열 폭의 제곱에 비례하고, 점도와 균열 깊이에 반비례하며 주입압력과 비례한다는 것을 알 수 있다. 균열 폭과 점도에 따라 주입압을 달리하여 측정된 결과, 표 1의 미세균열시 주입속도 결정과 같이 나타나며, 주입속도는 식 (1)과 같이 대략 균열 폭의 제곱에 비례하고 점도에 반비례하는 것으로 나타난다. 모형유리관에 간격을 두고 0.5mm이하의 균열에 주입할 경우 주입능력시험 결과는 그림 1과 같다.

표 1. 미세균열시 주입속도의 결정 단위(cm/sec)

균열폭 (mm)	주입압 (kg/cm <sup>2</sup> ) 점도cp	단위(cm/sec)				
		0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
0.1mm	300	0.13	0.16	0.18	0.86	2.6
	1,000	0.02	0.03	0.08	0.10	0.12
	6,000	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10
0.5mm	300	2.98	3.65	6.76	25.25	45.88
	1,000	0.64	1.19	2.28	10.22	18.11
	6,000	0.09	0.26	0.38	1.44	2.31
1.0mm	300	14.77	22.80	47.94	108.57	193.74
	1,000	3.37	6.53	8.78	27.18	61.94
	6,000	0.40	0.41	1.66	2.95	10.49

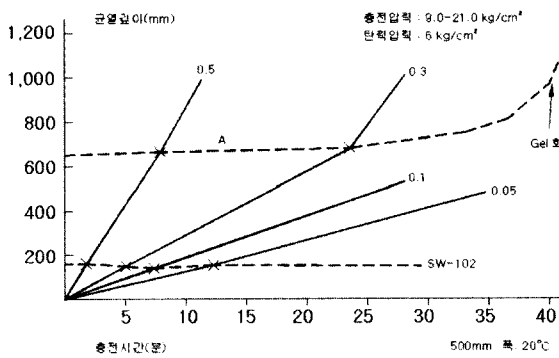


그림 1. 주입능력 시험결과

유체의 주입시 이동속도( $V$ )가 빠르면 할렬주입이 되므로 주입압( $P$ )을 크게 하면서 유체의 점성( $\mu$ )를 크게 하고 균열의 폭( $D$ )에 따라 주입재의 입도가 작아야 한다. 주입재가 물과 혼합되어 있으므로 균열의 깊이( $l$ )가 크면 구체가 건조되었을 때는 물을 흡수하면서 주입재도 흡착되므로 균열의 깊이( $l$ )가 길면 주입효율이 저하된다.

### 2.1.2 배면방수 그라우팅

일반적으로 시멘트 현탁액형 주입액이 구조물의 방수, 차수를 목적으로 하는 그라우팅에 대부분에 적용되고 있는 데, 島田俊蓋(1977)에 의하면 현탁액형의 경우 침투거리는 아래의 Karol(1983)의 식 (2)와 같이 주입재의 Gel강도가 커질수록 침투거리는 짧아지고 그만큼 주입반경이 작아지게 되는 것을 알 수 있다. 그리고, 주입 대상의 공극에 대한 등가반경( $r_e$ )과도 비례하는 것을 알 수 있는 데, 아래의 표 2는 주입대상의 투수계수에 따른 공극의 등가반경을 나타낸 것이고, 그림 2는 물-시

멘트비와 주입재의 점성계수에 대한 Gel강도를 표시한 것이다. 그림 2에서 Gel강도는 물-시멘트비가 작을수록 Gel강도가 커지고 점성이 클수록 Gel강도도 커지는 것을 알 수 있다(천, 1998).

$$r = \frac{\gamma_w \times g \times h \times r_e}{2S} + r' \quad (2)$$

여기서,

$r$ : 현탁액의 침투거리(cm)

$g$ : 중력가속도(cm/sec<sup>2</sup>)

$r_e$ : 공극의 등가반경(cm)

$S$ : 주입재의 Gel강도(dyne/cm<sup>2</sup>)

$\gamma_w$ : 물의 단위체적 중량(g/cm<sup>3</sup>)

$h$ : 주입압의 수두(주입압)(cm)

$r'$ : 주입공의 반경(cm)

상기 식 (2)는 현탁액의 침투거리를 주입압 및 주입재의 Gel강도 등의 관계로 규명한 것으로서 구조물 배면 지반에 시멘트 그라우팅재를 주입하여 고결시키는 방수그라우팅 기법에서는 식 (2)의 관계 외에 주입속도, 주입량, 점도 등의 고려가 필요하므로 이에 대하여 누수 유형별 현장적용사례를 통하여 검토를 실시하고자 한다.

표 2. 투수계수에 따른 공극의 등가반경

k (cm/sec)	간극비	$r_e$ (cm)
1	0.3	0.019
10 <sup>-1</sup>	0.3	0.0059
10 <sup>-2</sup>	0.3	0.0019
10 <sup>-3</sup>	0.3	0.00059
10 <sup>-4</sup>	0.3	0.000177
10 <sup>-5</sup>	0.3	0.000053
10 <sup>-6</sup>	0.3	0.000016

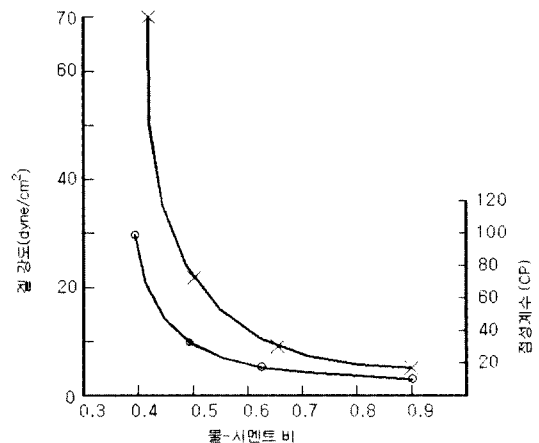


그림 2. 시멘트 그라우트재의 겔강도점도와 Gel 강도 관계

## 2.2 기존의 방수그라우팅 기법

콘크리트 구조물은 시간의 경과에 따라 시공, 재료, 환경 등에 의하여 각종 열화현상 및 내구성이 저하되고 구조내력이 감소한다. 특히 지하구조물의 경우, 지하수 위내에 위치하므로 수압의 작용으로 인한 콘크리트 구체 자체의 거동에 의하여 균열이 발생하며, 방수층 시공 불량으로 인해 균열부의 누수현상이 발생하게 된다. 또한, 콘크리트는 인장에 약하고 취성적인 성질이 있어서 항상 균열의 발생여지가 있는 재료적인 특성이 있으므로 반드시 보수·보강이 필요하다.

콘크리트 구조물에 발생하는 누수는 복합적인 균열 양상과 구체의 공극 등에 의한 누수유형으로 발생하므로 구조물의 누수상태, 누수원인, 누수량 등의 누수유형에 따라 적절한 방수그라우팅 기법을 적용하여야 한다.

기존의 방수그라우팅 기법에는 표 3(대한전문건설협회, 1995)에서와 같이 일반적으로 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 등이 있으며 각 공법에 따라 사용재료가 상이하다. 그라우팅 재료는 크게 수지계와 시멘트계로 분류되며 수지계의 경우 폴리머모르터, 에폭시수지, 탄성실링재 등이 사용되며 시멘트계의 경우에는 폴리머시멘트, 팽창시멘트 등이 그라우팅 기법의 적용조건에 따라 구분 사용되는 추세이다.

콘크리트 구조물은 목적과 용도에 따라 그 형태와 크기가 다양하며 그 다양함에 따라 그라우팅의 방법도 적절히 선별하여야 효과적이며 경제적인 그라우팅을 할 수 있다. 그라우팅 기법의 적합여부를 검토함에 있어서 도수공, 흠파기에 의한 그라우팅은 일시적인 그라우팅 기법으로서 유량의 이동이 큰 곳, 물과 접하는 면에서의 적용공법으로는 부적합하다. 그리고, 일반 충전에 의한

차수는 물의 유입량이 많은 곳에서 그라우팅을 할 경우 기대효과를 얻을 수 없다. 또한, 슛크리팅, 방수판설치, 방수쉬트 부착, 방수액 도포 등은 구체의 본질적인 누수를 차단할 수 없으며 유입량이 많은 경우는 시공부위의 접합면 또는 인접부위로 누수가 재발될 수 있다. 따라서 기존 지하구조물의 누수원인을 철저히 파악하고 누수원인에 따라 최적의 방수그라우팅 기법의 적용이 필요하게 된다.

## 2.3 누수유형별 방수그라우팅 시스템 (WGS, Waterproof Grouting System)

콘크리트 구조물에서 발생하는 누수문제에 대한 보수는 누수원인, 누수상태, 누수상황 등을 고려하여 보수·보강대책을 수립하여야 한다. 지금까지 사용되어 온 일반적인 누수보수법은 임시적 응급처치용으로 사용되어 왔다고 볼 수 있다. 따라서 종래에 일반적으로 적용되어 왔던 그라우팅 기법을 개선, 보완하고 누수원인 및 유형과 구조물의 특성을 고려한 WGS시스템은 지하구조물의 누수유형에 따라 전면방수, 충전방수, 배면방수그라우팅 기법을 단독 또는 조합, 병행하는 그라우팅 기법(최춘식, 1999)으로서 상술하면 다음과 같다.

### 2.3.1 전면방수 그라우팅 기법

전면방수 그라우팅 기법은 누수부위의 크기에 관계 없이 수밀치 못한 공극부위에서 부분적으로 누수가 발생할 때 적용하는 기법으로서 누수발생 부위에 대한 지수방법은 그림 3에서와 같이 콘크리트를 파취하여 수밀치 못한 공극부위 즉 부실한 콘크리트를 제거한 후 주입관을 설치하고, 부착력이 좋은 고강도 몰탈로서, 초미립

표 3. 보수재료의 종류와 보수공법

구분	보수 재료의 종류	표면처리공법	주입공법	충전공법
수지계 재료	폴리머 모르터			○
	에폭시 수지		○	○
	가소성 에폭시 수지		○	○
	탄성 실링재	○		○
	도막 탄성 방수재	○		
시멘트계 재료	발포 폴리우레탄 수지		○	○
	폴리머 시멘트 슬러리		○	
	폴리머 시멘트 페이스트	○		
	폴리머 시멘트 모르터			○
	시멘트 충전재	○		
	팽창 시멘트 주입재		○	

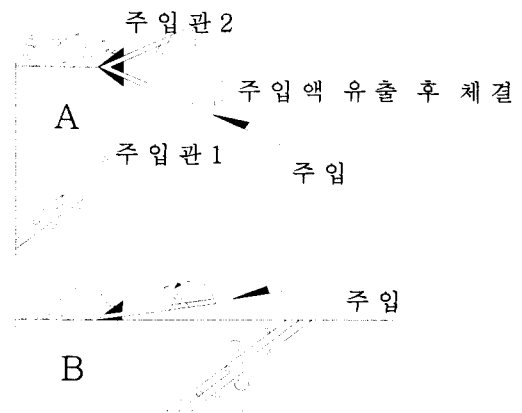


그림 3. 전면방수 그라우팅 기법

자 시멘트 및 주입재(WGS-100)로 공기압을 조절한 후 그라우팅을 실시하면 누수되는 공극부위가 메워지고 수밀 콘크리트가 되어 완전한 방수가 가능한 그라우팅 기법이다.

### 2.3.2 충전방수 그라우팅 기법

충전방수 그라우팅 기법은 방수층이 없거나, 또는 쉬트방수 시공 후 균열이 발생된 콘크리트 구조물의 표면으로 발생하는 부분적인 누수에 대한 그라우팅 기법이다. 쉬트방수 시공시 구조물 벽체와 방수용 쉬트의 접착이 되지 않고 들뜸현상으로 공극이 발생되어 유로가 형성될 때 그라우팅을 실시하여 그 유로와 균열부위 등을 충전시키게 된다. 특히, 파손된 쉬트부위로 주입액을 유출시켜 주입하는 것으로 그림 4에서와 같이 코아드릴이나 드릴비트로 구조체가 관통할 수 있도록 방수쉬트 앞까지 천공한 후, 주입재(WGS-200)가 유로를 따라 주입이 가능하도록 실시한다. 주입후에는 주입확인을 할 수 있는 유출구를 만들어 공기 제거를 하면서 주입순서에 준하여 현장여건에 맞게 충전하여 차수를 시행하는 그라우팅 기법이다.

### 2.3.3 배면방수 그라우팅 기법

배면방수 그라우팅 기법은 구조물배면에 토사층이 있는 구간중에 누수면적이 넓으면서 누수발생 위치가 불분명하고 산발적으로 누수개소가 많이 발생하는 부위에서 지수를 위한 그라우팅 기법이다. 그림 5에서와 같이 구조체 내부에서 구조체 배면의 토사층까지 천공 후 보통시멘트와 WGS-300을 주입하여 배면 방수막 주

변의 토사층을 고결시키고 지하수 유속이 저감되도록 하여 파손된 방수층을 보호하게 한다. 또한 배면에 주입된 주입재가 주입압력과 지하수로 인한 수압이 구조물에 대한 침투압력을 증가시켜 주입재가 구조물 내부로 유수와 함께 유입되고, 주입재의 입자에 의하여 유로 단면을 축소시키고 공극부위 등이 충전되므로 수밀 콘크리트가 되어 누수가 발생되지 않게 하는 그라우팅 기법이다.

### 2.3.4 복합방수 그라우팅 기법

복합방수 그라우팅 기법은 누수원인과 누수형태가 다양하고 방수 그라우팅시 주입재의 유실방지와 효과적인 누수유로 차단을 위하여 전면, 충전, 배면 방수 그라우팅 기법중 한가지 또는 여러 가지 기법을 병용하여 시공해야만 효과적인 지수가 된다고 판단될 때 적용하는 기법이다. 이와 같이 복합방수 그라우팅 기법이 적용된 현장은 구조물의 방수효과 뿐 아니라 주변지반 및 기초지반의 보강이 동시에 이루어질 수 있는 종합적인 WGS방수시스템이다.

## 3. 실험

누수유형에 따른 적합한 방수그라우팅 효과를 위해 사용재료에 대한 실내시험을 실시하여 기존에 사용되고 있는 시멘트 페이스트와 발포성 폴리우레탄계 주입재와의 비교를 통한 주입재의 공학적 특성을 파악하고 사용재료를 이용한 현장시험시공 및 본시공을 실시하여 그 적용성을 파악하고자 하였다.

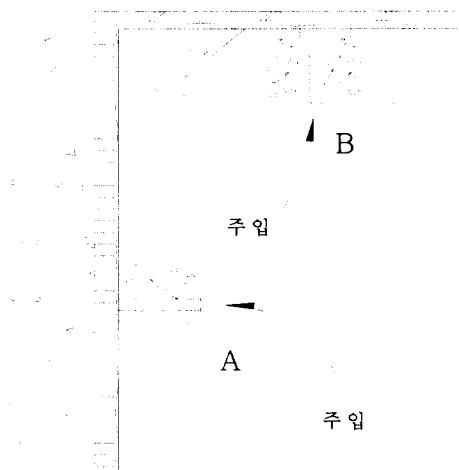


그림 4. 충전방수 그라우팅 기법

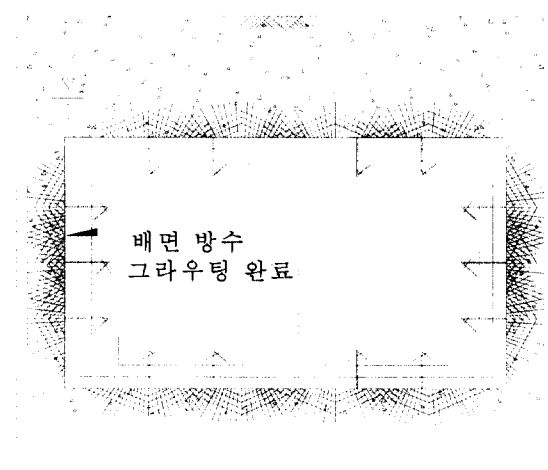


그림 5. 배면방수 그라우팅 기법

### 3.1 실내시험

주입재의 물리적 특성과 방수성 및 내구성을 파악하기 위하여 다음과 같이 실내시험을 실시하였다.

#### 3.1.1 주입재의 물성시험

방수그라우팅 재료의 기본적인 물리적 특성을 파악하기 위하여 방수그라우팅 재료의 시공성을 비롯한 압축강도, 부착강도 및 열팽창계수 등을 측정하였다.

#### 3.1.2 주입재의 방수성 및 내구성시험

주입재의 방수성 및 내구성을 파악하기 위하여 방수성시험으로서 투수시험과 흡수율시험을 실시하였으며, 내구성시험으로 동결융해저항성시험과 내화학약품시험 및 내충격성시험을 실시하였다.

### 3.2 현장시험시공 및 본시공

기존의 지하구조물의 발생누수에 대한 누수유형별그라우팅 기법의 적용성을 파악하기 위하여 WGS시스템을 그림 6의 방법 및 순서에 의하여 현장시험시공 및 본시공을 실시하였다.

현장시험 및 시공은 각 누수유형별로 전면방수그라우팅, 배면방수그라우팅, 충전방수그라우팅, 복합방수그라우팅 구간으로 구분하여 4개 지역에서 실시하였다. 각 현장별 조건은 다음과 같다.

#### 3.2.1 사례 1: 전면방수 그라우팅 기법

- 1) 공사명: 서울지하철 2호선 ○○역사 누수보수공사
- 2) 시공범위: 지하철 벽체구간, 벽체연장 약 10m, H=약 5.6m
- 3) 현장상황
  - 벽체 여러 곳으로 발생된 누수를 하부 현치 바닥으로 유도해 놓은 상태임
  - 바닥 하부에 유도된 부분이 적황색으로 산화된 부유물질이 쌓여있는 것으로 판단하여 근본적인 누수보수를 시행하지 않고 방치시 구조물 내구성에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단됨
  - 바닥 하부 현치로 유도되어 나오는 누수량이 약 2.4ton/day로 추정됨

#### 3.2.2 사례 2: 충전방수 그라우팅 기법

- 1) 공사명: 서울 지하철 6호선 ○○공구 본선 벽체 누수보수공사
- 2) 시공범위: 개착식 본선 벽체 58m구간
- 3) 현장상황

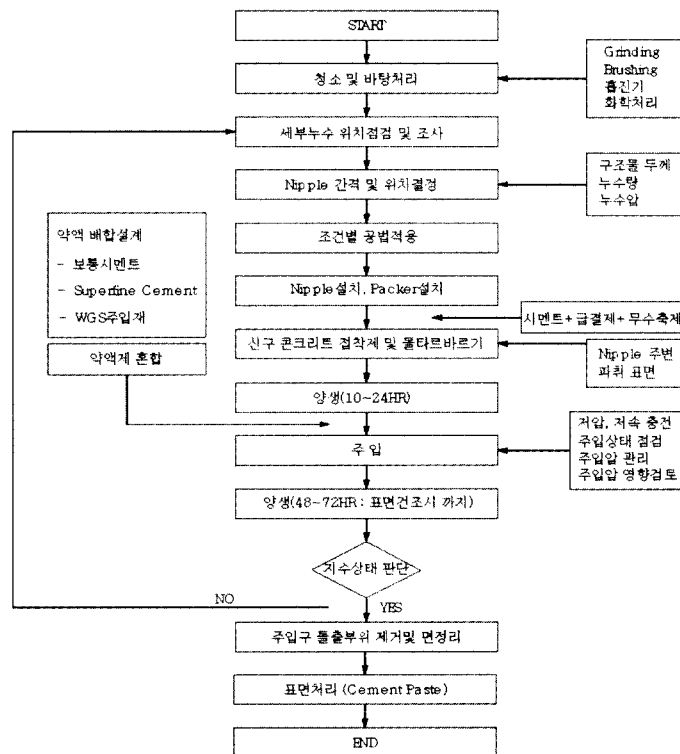


그림 6. 방수그라우팅 시공 흐름도

- 본 현장은 개착식 터널이 중량천 하부로 통과하는 구간으로서 타 현장에 비해 수압이 많이 작용하여 벽체 여러 곳에서 누수가 발생되고 있는 상태임.
- 기존에 폴리우레탄 수지주입공법으로 누수작업을 실시하였으나 누수현상이 시공조인트 등 다른 부위로 확산되는 형태로 나타나고 있음.

### 3.2.3 사례 3: 배면방수 그라우팅 기법

- 1) 공사명: 서울 ○○아파트 지하주차장 바닥 및 벽체 누수보수공사
- 2) 시공범위: 지하주차장 벽체 및 바닥 (2,687.5 m<sup>2</sup>)
- 3) 현장상황
  - 지하주차장 바닥 하부와 벽체에 유수가 포함되어 있는 상태
  - 집중호우로 인한 유입량의 급증으로 지하주차장 바닥에 양압력이 발생하여 구조물 기둥과 보에 충격을 가한 상태
  - 지하주차장 바닥의 균열부위 등으로 누수가 발생되고 있음

### 3.2.4 사례 4: 복합방수 그라우팅기법 적용(배면방수 그라우팅 + 전면 및 충전방수 그라우팅)

- 1) 공사명: ○○병원 지하층 누수보수공사
- 2) 시공범위: 지하1층~지하3층 바닥 및 벽체, 건물 측벽 Heaving방지 그라우팅 깊이 6m, 연장 150m 구간
- 3) 현장상황
  - 본 현장 주위로 하천이 지나고 지하수위 유입 등으로 집수정의 일일 양수량이 1200ton으로 양수 중단 시 심각한 문제 발생이 예상되는 상태임.
  - 지하수의 유속이 빨라 주입재의 효과적인 주입이 어려운 상태임.
  - 구조물의 바닥 및 벽체의 균열이나 공극 등에서 누수가 발생되고 있는 상태임.

## 4. 시험결과 및 누수유형별 현장적용성

### 4.1 실내시험 결과

사용주입재의 공학적 특성을 파악하기 위하여 Control (보통포틀랜드시멘트), Poly-u(발포성 폴리우레탄)와 비교·분석하였으며, 각 사용재료별 주입재료의 주성분은 다음 표 4와 같다.

표 4의 주입재료를 이용하여 주입재의 입도분포, 유동특성, 일축압축강도, 부착강도, 열팽창계수, 팽창율시험, 방수성시험, 흡수율시험, 화학약품 및 동결융해에 대한 저항성 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

#### 4.1.1 주입재 입도분포

주입재별 입도시험 결과는 다음 그림 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 초미립자시멘트와 WGS주입재를 혼합한 것과 콜로이드계 시멘트는 50%(평균입경, D<sub>50</sub>)이상이 10 μm이하의 입경으로 구성되어 있어 주입재로서 양호하며 반면에 포틀랜드시멘트의 경우는 대부분이 20~40 μm대를 형성하고 있다.

주입재의 입자상태 및 입경은 콘크리트 균열, 공극 등의 부위에 대한 침투성능 및 차수성과 직접적인 연관성이 있으며 작은 공극에 대한 침투성을 높이기 위

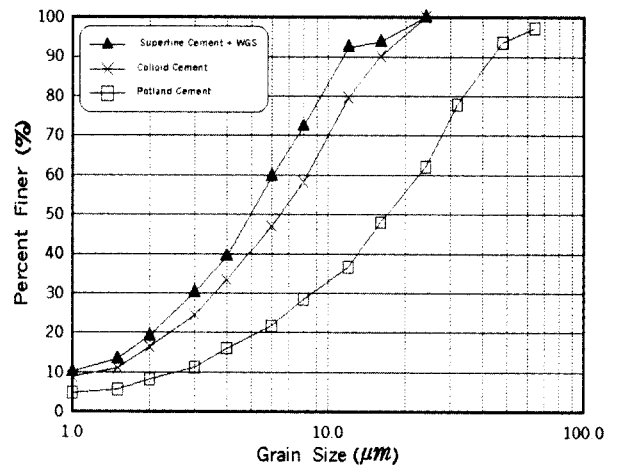


그림 7. 주입재에 대한 입도분포곡선

표 4. 주입재료의 주성분

종류	주 성분	배 합 비 (%)
Control	보통포틀랜드시멘트페이스트	W/C : 47
WGS100	초미립자시멘트 + 혼화재	초미립자시멘트 : 80, WGS100 : 20, W/C : 48.5
WGS200	보통포틀랜드시멘트 + 혼화재	시멘트 : 80, WGS200 : 20, W/C : 47
WGS300	보통포틀랜드시멘트 + 혼화재	시멘트 : 70, WGS200 : 25, W/C : 47
POLY-U	발포성 폴리우레탄	-

해서는 입경이 대략  $10\mu\text{m}$ 이하이어야 한다. 이와 같은 기준으로 볼 때 WGS주입재의 입도분포는 양호한 특성을 지니고 있는 것으로 판단된다.

#### 4.1.2 주입재 유동특성

누수보수를 위한 그라우팅시 시공성 및 주입능력과 관련된 주입재의 유동성을 파악하기 위하여 경과시간에 따른 유동성을 측정하였다.

주입재의 유동성 시험결과, 그림 8에서와 같이 보통포틀랜드시멘트의 경우 응결경화가 완만한데 비해 WGS 주입재는 종류에 따라 약간의 차이가 있지만 초기에는 유동성의 손실이 비교적 적으나 30분후 부터는 유동성이 급격히 저하되고 응결경화가 빨리 진행됨을 알 수 있다. 그러나 발포성 폴리우레탄의 경우 초기부터 급격히 유동성이 저하되고 응결경화가 빨리 진행되는 것으로 나타났다.

유동성은 누수가 발생하는 균열부위에 주입재료를 주입하는 데 있어서 초기주입시 충분한 유동성을 확보하여 콘크리트의 미세한 균열부위까지 쉽게 침투하고 침투 후 경화를 빨리 진행시켜 누수를 차단하는 효과를 나타낼 수 있는 것이 중요하다. 島田(1977)에 의하면 응결경화 시간이 5~20분 사이에서 침투거리와 침투반경이 급격히 증가하고 그 이후부터는 일정한 값을 나타낼 수 있는 재료가 양호한 지수특성을 갖는다고 하였다. 이와 같이 WGS주입재는 유동성이 양호한 상태인 것으로 판단할 수 있다.

#### 4.1.3 일축압축강도 특성

일축압축강도 시험결과, 보통포틀랜드시멘트를 이용한 CONTROL의 경우 재령 28일 강도가  $312\text{ kg/cm}^2$  정도로 나타났으나 WGS주입재는  $447\sim 512\text{ kg/cm}^2$  정도로 보통 콘크리트강도 보다 더 큰 값을 나타내었다. 반

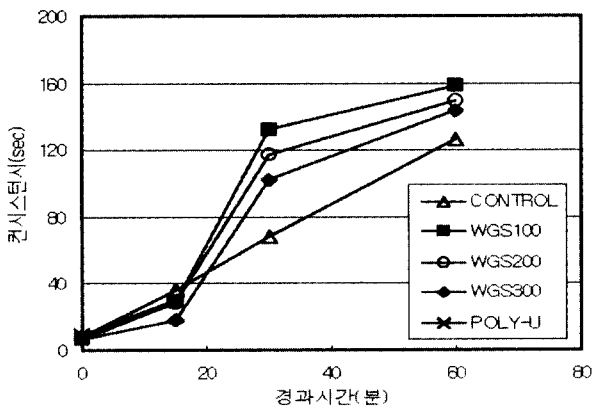


그림 8. 시간경과에 따른 주입재의 유동성

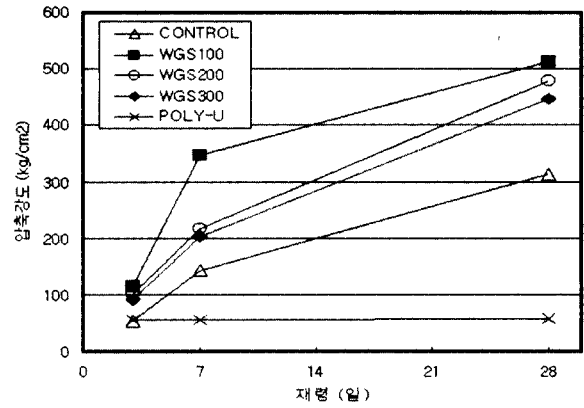


그림 9. 재령에 따른 일축압축강도

면에 발포성 폴리우레탄의 경우는 재령초기에 급격히 경화되어 재령 3일에 압축강도  $56\text{ kg/cm}^2$ 를 발휘하여 재령의 증가에 따른 강도의 증진은 없는 것으로 나타났다.

일반적으로 주입재는 누수를 완전히 차단해야 할 뿐만 아니라 균열부분에 주입되어 구체의 강성복원성이 있어야 하므로 어느 정도의 강도를 지녀야 한다. 따라서 콘크리트와 역학적 성질이 동일한 재료를 사용하는 것이 콘크리트의 거동과 일치하기 때문에 장기적인 내구성 유지 측면에서 유리하게 된다.

#### 4.1.4 부착강도특성

누수보수재료는 콘크리트내부에 주입되기 때문에 콘크리트와의 거동을 일체화시키는 것이 매우 중요하다. 따라서 사용주입재료는 우선적으로 콘크리트와의 부착이 양호해야 하며, 온도나 습도의 변화에 대해서도 부착강도가 일정한 재료적 특성을 지녀야 한다.

주입재에 대한 부착강도 시험결과는 그림 10에 나타내었다.

그림 10에서와 같이 보통포틀랜드시멘트의 경우 부착강도가  $14\text{ kg/cm}^2$  정도로 나타났으며, 발포성 폴리우

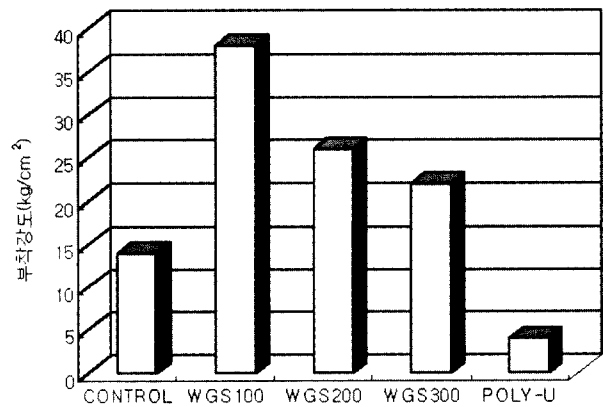


그림 10. 부착강도



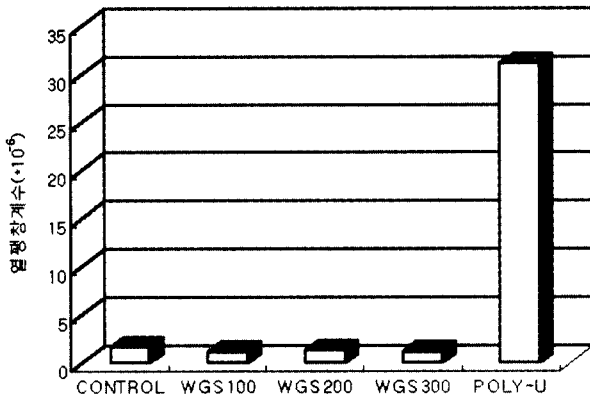


그림 11. 열팽창계수

레탄의 경우는 4 kg/cm<sup>2</sup> 정도로 상당히 작은 값을 보이는 반면 WGS주입재는 두 종류와 비교해 3배에서 10배정도 큰 값인 22~38 kg/cm<sup>2</sup>로 나타나 콘크리트 구조물의 누수보수 전문시방서(1999)에 규정된 값 10 kg/cm<sup>2</sup>를 모두 상회하고 있으므로 양호한 부착특성을 갖는 것으로 판단된다.

#### 4.1.5 열팽창계수

일반적으로 콘크리트의 온도작용에 의한 열팽창 계수는 약  $1.0 \times 10^{-6}$  정도이므로 콘크리트 구체 누수보수용 재료는 구조물의 열적 안정성을 확보하기 위하여 콘크리트와 같은 정도의 열팽창계수를 갖는 재료를 선정하는 것이 중요하다. 이에 대하여 사용 주입재로서의 내열성을 파악하기 위하여 열팽창계수를 측정하였으며 그 결과는 그림 11과 같다.

실험결과 보통포틀랜드시멘트와 WGS주입재의 경우 열팽창계수가  $1.2 \times 10^{-6} \sim 1.6 \times 10^{-6}$  정도로 콘크리트의 열팽창계수와 거의 같게 나타났으나, 발포성우레탄은 보통포틀랜드시멘트와 비교해 약 31배정도 큰  $31.2 \times 10^{-6}$  값을 보이고 있다. 따라서, 발포성우레탄을 누수보수재료로 사용할 경우 온도변화에 대한 일치성이 결여되어 장기적인 측면에서 누수가 재발될 가능성이 높은 것으로 판단되며, WGS주입재는 양호한 열팽창특성을 지니고 있음을 알 수 있었다.

#### 4.1.6 팽창률시험

일반적으로 그라우팅 재료는 어느 정도 팽창성을 가지고 있어야 균열내부나 공극부위를 치밀하게 채워 줄 수 있다. 팽창재의 혼입에 따른 방수 주입재의 종류별 팽창률시험 결과는 표 5와 같다.

시험결과, 팽창재의 혼입량이 증가함에 따라 팽창률

표 5. 경과시간에 따른 팽창률(%)

주입재 종류	팽창재의 혼입량		
	0.3	0.5	1.0
보통 포틀랜드 (CONTROL)	0.9	3.0	11.7
WGS100	1.2	3.2	12.3
WGS200	1.3	3.8	11.5
WGS300	1.2	3.4	10.7
POLY-U	32 (팽창재 무혼입)		

이 증가하는 경향으로 팽창재 혼입량 1%에 대하여 보통포틀랜드시멘트의 경우 0.9%에서 11.7%의 팽창률 증가를 보였으며, WGS주입재의 경우 1.2~1.3%에서 10.7~12.3%로 평균 10.27% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 발포성 폴리우레탄의 경우는 재료특성상 물과 접촉하면 즉시 팽창하여 팽창재를 혼합하지 않아도 팽창률이 빠른시간에 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

#### 4.1.7 방수성시험

방수 주입재는 무엇보다도 누수를 차단하기 위하여 충분한 방수능력이 있는 재료를 사용해야 한다. 방수 주입재의 방수능력을 평가하기 위하여 방수 주입 종류별로 재령7일 및 재령28일에서 투수계수를 측정된 결과는 표 6과 같다.

표 6에서와 같이 재령 28일을 기준으로 하면 보통포틀랜드시멘트의 경우  $2.6 \times 10^{-8}$  cm/sec, WGS주입재  $2.3 \times 10^{-7} \sim 1.1 \times 10^{-8}$  cm/sec, 발포성 폴리우레탄의 경우  $1.0 \times 10^{-10}$  cm/sec로 나타나, 3종류 모두 수밀성 콘크리트의 투수계수인  $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-8}$  cm/sec와 유사한 값을 보이고 있어 거의 불투수성임을 알 수 있다.

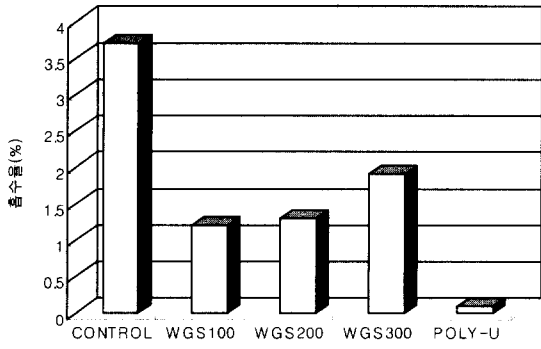
#### 4.1.8 흡수률 시험

사용 주입재료의 흡수율 시험은 수증침지 5시간 및 24시간에 대하여 측정하였으며 그 결과는 그림 12에 나타내었다.

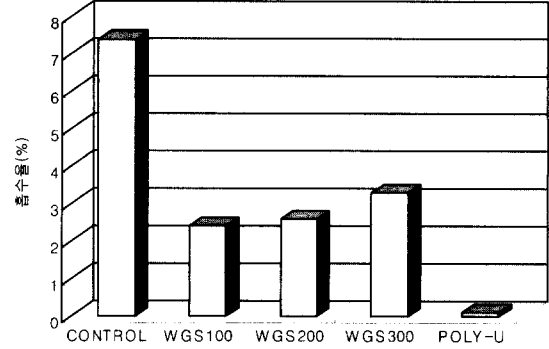
그림과 같이 보통 포틀랜드시멘트는 침지시간 5시간의 흡수율이 3.7%, 침지시간 24시간의 흡수율이 7.4%를

표 6. 투수계수 측정결과

주입재 종류	투수계수 (cm/sec)	
	재령 7일	재령 28일
보통 포틀랜드 (CONTROL)	$1.7 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^{-8}$
WGS100	$1.4 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-8}$
WGS200	$1.8 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-8}$
WGS300	$2.3 \times 10^{-7}$	$1.6 \times 10^{-8}$
POLY-U	$1.0 \times 10^{-10}$	

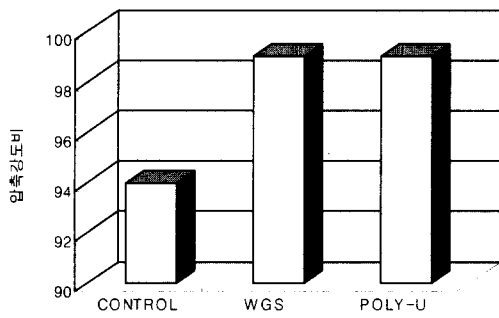


(a) 침지 5시간

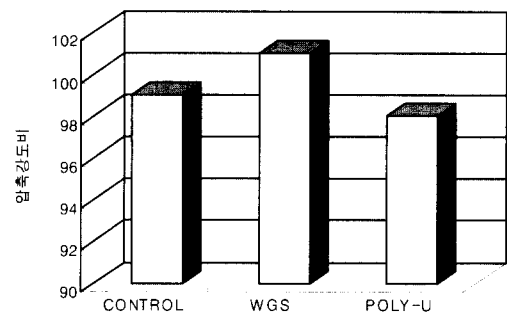


(b) 침지 24시간

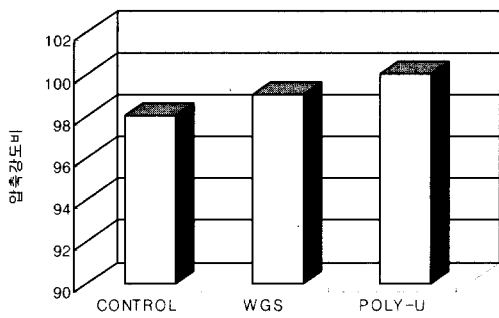
그림 12. 침지시간에 따른 흡수율



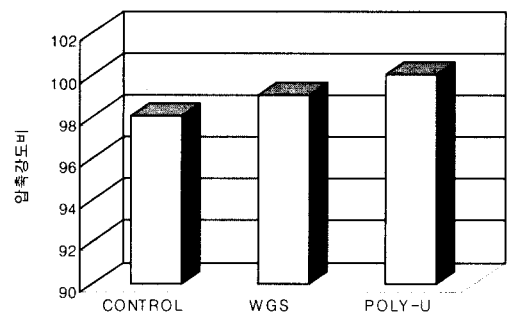
5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



10% CaCl<sub>2</sub>



10% MgCl<sub>2</sub>

그림 13. 화학약품에 따른 방수 주입재의 압축강도비

보이고 WGS주입재의 경우 침지시간 5시간의 흡수율이 1.2~1.9%정도, 침지시간 24시간의 흡수율이 2.4~3.3%, 발포성 폴리우레탄의 경우도 0.1%정도로 일본 건설성 규정의 15%이하 값으로 모두 양호한 상태를 보이고 있다.

#### 4.1.9 화학약품에 대한 저항성

사용주입재의 각종 화학약품에 대한 내구성을 파악하기 위하여 4종류의 화학약품에 5cm입방체의 공시체를 제작하여 28일 동안 침지한 후 압축강도와 중량을

측정하여 침지전 압축강도와 중량에 대한 비로 시험을 실시하였으며 그 결과는 다음 그림 13에 나타내었다.

그림 13에서 나타난 것과 같이 5%의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 10%의 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 대해 WGS주입재가 압축강도의 감소비 1%이 내를 보이고 있어 저항성이 가장 높게 나타났으며, 10%의 CaCl<sub>2</sub> 및 MgCl<sub>2</sub>에 대한 저항성은 발포성 폴리우레탄이 거의 강도의 감소를 나타내지 않으므로 높게 나타났다.

WGS주입재의 화학약품에 대한 저항성은 전반적으로 양호한 특성을 지니고 있는 것으로 판단된다.

표 7. 동결융해에 대한 내구성지수 및 질량감소율

주입재 종류	내구성지수	질량감소율(%)
보통 포틀랜드 시멘트 (CONTROL)	17	7.5
WGS300	83	1.7

4.1.10 동결융해에 대한 저항성

일반적으로 방수성 주입재는 누수가 발생하는 곳에 사용되기 때문에 겨울철 동결융해작용을 심하게 받는다. 따라서 방수성 주입재료는 동결융해에 대한 내구성을 충분히 지녀야 한다. 방수성 주입재의 동결융해저항성 시험결과는 표 7에 나타내었다.

상기의 표에서와 같이 내구성지수는 통포틀랜드시멘트의 경우 내구성지수가 17인 데 비해, WGS주입재는 83으로 동결융해 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 또한 질량감소율은 보통포틀랜드시멘트의 경우 약 7.5%인 반면 WGS주입재는 1.7%로 내구성이 매우 양호하게 나타났다.

4.2 누수유형별 현장적용성 검토

방수그라우팅을 위한 WGS주입재의 재료적 특성은 4.1절에서 사용주입재의 공학적특성을 파악한 결과에서와 같이 매우 양호한 것으로 평가할 수 있었으며, 이와 같은 주입재를 이용한 시멘트 그라우팅 방수기법의 방수효과 및 현장적용성을 누수유형별로 4개 현장에 대하여 파악하고자 하였다.

4.2.1 사례 1: 전면방수 그라우팅(서울지하철 2호선 ○○역사 방수그라우팅)

1) 누수원인

- 방수 공사후 구조물공, 토공사시에 방수지 파손
- 콘크리트 다짐 불량
- 수밀치 못한 콘크리트로서 누수 유로 형성
- 열화현상으로 누수량 증대

2) 현장적용공법

- ① 방수그라우팅 계획: 누수의 근원지를 파악하고 효과적인 주입이 될 수 있도록 계획
- ② 파취: 유도구를 제거하고 누수의 유입경로 등을 확인하기 위해 콘크리트 파취
- ③ 주입구설치: 파취한 부위에 V자와 I자 주입구를 설치하고 보수모르터로 면복구 및 주입구고정
- ④ 주입: 초미립자시멘트와 전면방수 그라우팅 주입재(WGS-1000)를 혼합하여 주입
- ⑤ 양생: 주입실시 후 구체내에서 주입재가 양생되도록 주입구 체결
- ⑥ 면정리 양생 후 주변면과 동일하게 마감정리

3) 현장적용

본 현장의 전면방수 그라우팅은 다음 표 8과 같이 실시하였다.

표 8에서와 같이 효율적인 방수효과를 얻기 위해 1차 주입 완료 후 2차주입을 실시하였으며, 2차주입과정중 주변의 누수상태를 확인하면서 완전방수가 되도록 하였다. 식 (1)에 의하면 전면방수 그라우팅의 주입속도

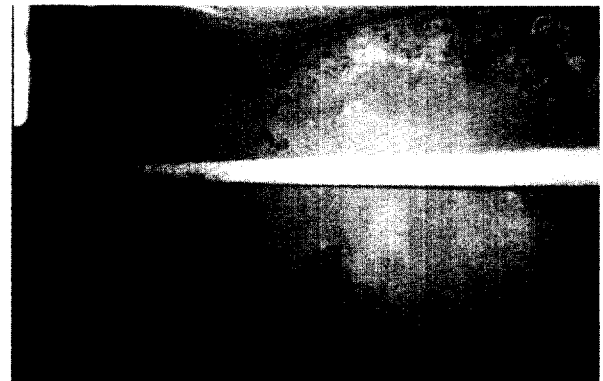
표 8. 전면방수 그라우팅 적용 예

1공 기준

구 분	주입간격 (m)	물/시멘트비 (%)	점도 (cp)	주입공 반경 (cm)	주입시간 (min)	균열의 폭 (cm)	균열의 깊이 (cm)	주입압 (kg/cm <sup>2</sup> )	주입길이(c m)	주입량 (ℓ)
1차주입	0.5	65	24	0.8	2.8	0.2	70	10.0	50	1.4
2차주입	0.5	65	24	0.8	0.28	0.2	70	10.0	50	0.14



(a) 시공전



(b) 시공후

사진 1. 전면방수 그라우팅 (서울지하철 2호선 ○○역사 방수그라우팅)

산정을 위한 영향요소는 주입압력, 유체의 점성, 균열의 깊이, 균열의 폭이 고려되어 현장에 적용할 경우 주입속도가 보다 작게 평가된다. 따라서 현장 주입시공시 다양한 영향요소중 주입간격, 물시멘트비, 주입공의 크기, 장비성능, 주입시간, 주입량 등에 대한 다양한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

4) 적용결과

본 현장의 경우 누수유도된 부분을 확인 후 유도구를 제거하였으며, 누수의 근원지를 파악하고 전면방수 그라우팅 기법을 적용하였다. 또한, 구조물 전체의 안정과 시공 후에 발생할 수 있는 재누수를 방지하기 위해 구조물 바깥면 토사층에 배면방수 그라우팅을 보조적으로 실시하여 구조물의 안정화를 도모하였다. 현장에서의 전면방수 그라우팅 기법의 시공현황은 사진 1에 나타내었다.

이와 같은 현장적용 사례로부터 전면방수 그라우팅 기법은 다음과 같은 누수유형에 효과적인 것으로 판단된다.

- ① 구조물의 열화된 부위로 누수가 발생하는 경우
- ② 콘크리트 구체내 공극이 많아 그 부위를 따라 누수가 발생하는 경우
- ③ 콘크리트 구조물의 시공조인트 및 폴드조인트 등에서 누수가 발생하는 경우
- ④ 콘크리트 타설시 수밀치 못한 부위에서 누수가 발생하는 경우
- ⑤ 콘크리트 구조물 전단면의 균열이 큰(0.5mm이상)부위에서 누수가 발생하는 경우

4.2.2 사례 2: 충전방수 그라우팅(서울지하철 6호선

○○공구 본선 BOX 방수그라우팅)

1) 누수원인

- 콘크리트 다짐불량 - 시공 이음부
- 수밀치 못한 콘크리트의 균열 및 공극발생시
- 방수공사 시공상의 부주의
- 신축이음부 등

2) 현장적용공법

- ① 누수보수계획 : 천공위치 및 주입량, 주입압 등을 판단
- ② 천공 : 콘크리트 합벽부위 방수공까지  $\phi 17.5\text{mm}$  천공
- ③ 주입구설치 : 천공부위에 PE관 주입구 설치
- ④ 주입 : 시멘트에 충전방수 그라우팅 주입재(WGS-200)를 혼합하여 주입
- ⑤ 양생 : 주입 실시후 주입구 체결하고 구체내 양생
- ⑥ 면정리 : 주입구를 절단하고 주변면과 동일하게 마감작업

3) 현장적용

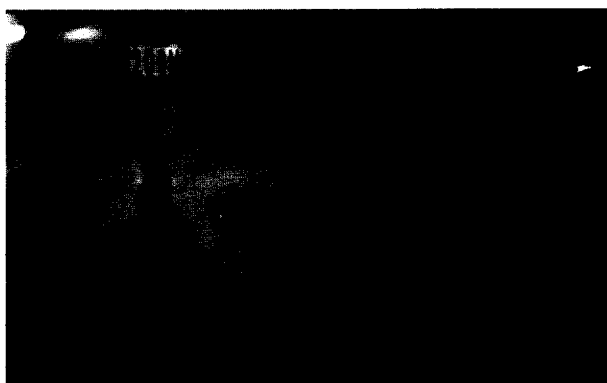
본 현장의 충전방수 그라우팅은 다음 표 9와 같이 실시하였다.

표 9에서와 같이 효과적인 충전방수 그라우팅을 위하여 1차주입 완료 후 주입압을 증가시켜 2차주입을 실시하여 시공을 완료하였다. 이와 같이 충전방수 그라우팅 적용을 위한 주입속도 산정시에도 기존 이론식 (1)의 영향요소에 추가하여 전면 방수 그라우팅과 같은 다양한 영향요소의 검토가 필요한 것으로 판단된다.

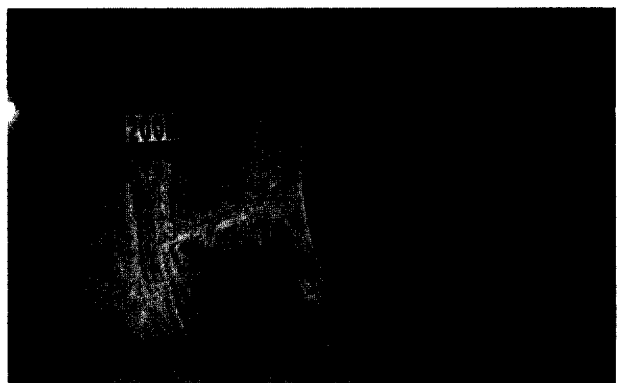
표 9. 충전방수 그라우팅 적용 예

1공 기준

구 분	주입간격 (m)	물/시멘트비 (%)	점도 (cp)	주입공 반경 (cm)	주입시간 (min)	균열의 깊이 (cm)	주입압 (kg/cm <sup>2</sup> )	주입면적 (m <sup>2</sup> )	주입량 (ℓ)
1차주입	1.5	60	29	0.8	2.4	70	2.0	2.25	1.2
2차주입	1.5	60	29	0.8	0.8	70	5.0	2.25	0.4



(a) 시공전



(b) 시공후

사진 2. 충전방수 그라우팅(서울지하철 6호선 ○○공구 본선 BOX 방수그라우팅)

4) 적용결과

하천의 하부를 통과하여 축조된 가압침투현상이 발생하는 구간임에도 불구하고 충전방수 그라우팅 기법으로 투수계수  $k = \alpha \times 10^{-7} \text{cm/sec}$  이하의 불투수층을 형성할 수 있었으며, 주입완료 후 코어를 채취하여 시료를 분석한 결과 주입재가 합벽부위에 밀실하게 충전되어 확실한 지수가 되었음을 확인하였다. 현장에서의 충전방수 그라우팅의 시공현황은 사진 2에 나타내었다.

충전방수 그라우팅 기법은 협소한 장소에서 누수부위에 대한 근접시공이 가능하며, 구조물 내부에서 시공하므로 바닥, 벽체, 천장부에 방수그라우팅을 실시할 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 현장적용 사례를 분석한 결과 다음과 같은 누수유형에 적용성이 있는 것으로 판단된다.

- ① 콘크리트 구조물의 균열부위로 누수가 발생할 경우
- ② 누수위치가 확실한 국부적인 포인트를 보수할 경우
- ③ 콘크리트 파취가 곤란한 부분
- ④ 구체가 두꺼우며, 균열이 망상으로 발생하였을 경우

4.2.3 사례 3: 배면방수 그라우팅(서울 ○○아파트 지하주차장 바닥 및 벽체 방수그라우팅)

1) 누수원인

- 수밀치 못한 콘크리트
- 양압력 발생으로 지하주차장 바닥에 균열이 발생하

여 균열과 공극으로 누수발생

2) 현장적용공법

- ① 방수그라우팅 계획 : 천공위치, 천공개소 선정
- ② 천공 : 벽체와 바닥 구체를 관통하며 토사층까지 천공, 천공구경( $\phi 17.5\text{mm}$ ), 천공개소 (바닥 및 벽체 - 614공 ; 4m/개소 기준)
- ③ 주입구 설치 : 천공한 부위에 PE주입관을 설치
- ④ 주입 : 벽체부터 시작하여 바닥부위로 이동하면서 주입. 바닥구체가 충격을 받은 상태이므로 구조물에 영향을 미치지 않도록 저압으로 주입을 실시하고 배면지반의 완전충전을 위해 1차주입 실시 후 약 24시간내에 2차주입을 실시
- ⑤ 양생 : 주입 후 양생을 위해 주입구 체결
- ⑥ 면정리 : 약 48시간 후 양생이 완료되면 주입관을 절단하고 주변의 면과 동일하게 마감정리

3) 현장적용

본 현장의 경우 구조물벽체 배면지반은 실트질모래로 구성되어 있으며 지반의 투수계수(k)는  $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ , 지하수위는 GL(-)8.0m를 보이고 있다.

본 현장의 배면방수 그라우팅은 표 10과 같이 실시하였다. 표 10에서와 같이 효과적인 배면방수 그라우팅이 되도록 1차주입 완료 후 2차, 3차의 추가 주입을 실시하였다. 2차, 3차주입 시공중에는 주입압을 증가 시켰고, 주입

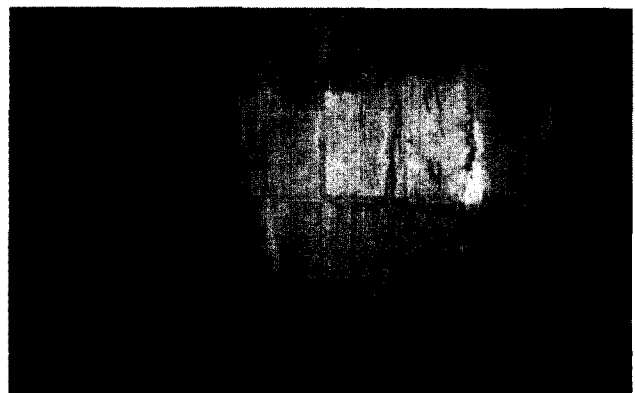
표 10. 배면방수 그라우팅 적용 예

1공 기준

구 분	주입간격 (m)	물/시멘트비 (%)	점도 (cp)	주입공 반경 (cm)	주입시간 (min)	균열의 깊이 (cm)	주입압 (kg/cm <sup>2</sup> )	주입면적 (m <sup>2</sup> )	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



(a) 시공전



(b) 시공후

사진 3. 배면방수 그라우팅(서울 ○○아파트 지하주차장 바닥 및 벽체 방수그라우팅)

량은 감소함을 알 수 있었다. 2, 3차 주입은 1차주입이 불완전하게 시공된 지역에서 시공되므로 효과적인 방수를 위하여는 추가 주입이 필요하게 된다. 식 (2)에서와 같이 배면방수 그라우팅의 평가를 위해서는 주입간격이 효과적인 방수를 위하여 적절히 평가되어야 한다. 현장 적용결과에 의하면 배면방수 그라우팅 공법에서 적절한 주입간격의 적용을 위해 배면의 지반상태, 물시멘트비, 주입시간, 주입면적, 주입량, 주입차수 및 주입 Pattern 등에 대한 다양한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

4) 적용결과

지하주차장 벽체 및 바닥슬래브의 누수 및 집중호우 등으로 인한 구조물의 부상을 방지하고 벽체 및 바닥으로 유입되는 누수의 경로를 차단하고자 구조물 배면지반에 방수그라우팅을 실시하였다. 또한, 바닥 밑에 고여 있는 물도 일정한 방향으로 주입을 실시하여 바닥에 고여 있는 물과 공기를 주입액으로 대체하도록 하였으며, 고여 있는 물이 외부로 밀려 나가도록 주입하였다.

본 현장에서의 배면방수 그라우팅 기법의 시공은 지반상태, 현장상황 및 누수상태를 고려하여 주입 Pattern을 계획하였으며, 시공현황은 사진 3과 같다.

사진 3의 (b)에 나타난 바와 같이 시공완료후 누수상태가 종료됨을 확인할 수 있었다.

배면방수 그라우팅 기법을 적용하여 주입, 양생후 코아드릴로 바닥 배면의 공시체를 채취한 결과 주입액이 바닥의 구체 밑에 두께 2.5mm의 막을 형성한 상태로서 토사층에 주입액이 충전된 형체만 표출되었다. 이와 같은 결과로부터 배면방수그라우팅은 다음과 같은 누수 유형에 적합한 것으로 판단된다.

- ① 배면 방수슈트가 파손되어 콘크리트 구조물의 넓은 구간에 누수가 발생하는 경우
- ② 배면 방수층이 없더라도 구조물의 넓은 구간에 누수가 산재되어 발생하는 경우
- ③ 지하구조물이 양압력에 의해 부상할 때 양압력을 제거하고 누수를 방지해야 할 경우

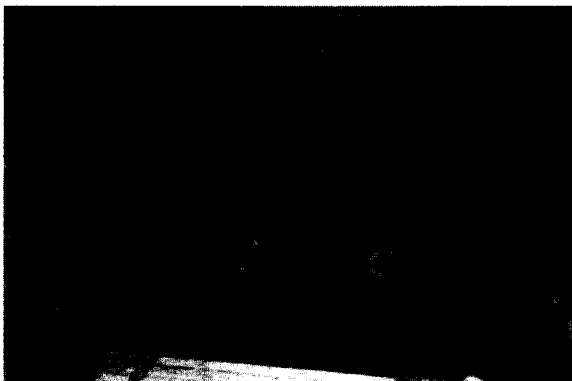
4.2.4 사례 4: 복합방수 그라우팅(배면+전면+충전방수 그라우팅)

1) 누수원인

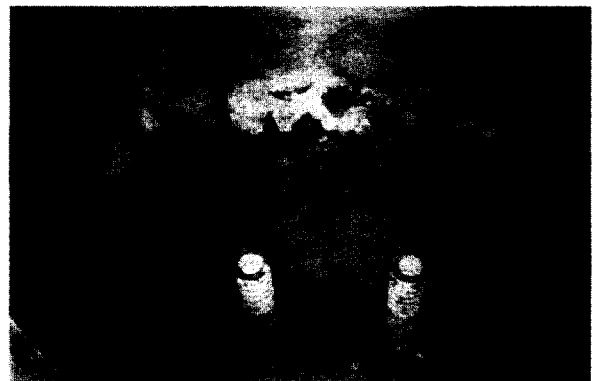
- 방수그라우팅의 미흡
- 콘크리트 구조물의 부실
- 건물주변의 지하수 다량 유입

2) 현장적용공법

- ① 방수그라우팅 계획: 지하수의 유입량, 지하수의 유속, 구조물의 취약한 부위 등을 파악하여 구조물 전체적으로 효과적인 주입이 되도록 계획을 수립
- ② Heaving 방지 그라우팅: 건물주변의 지하수 유속이 빠르므로 효과적인 주입이 이루어지기 위해서 급결성 주입재를 주입하여 건물외곽을 1차적으로 주입 실시
- ③ 벽체 배면방수 그라우팅: 벽체의 누수되는 부위를 차수하기 위하여 배면방수 그라우팅을 주공법으로 사용하였으며, 공극이 많고 열화된 콘크리트 부위나 균열부위 등은 전면방수 그라우팅과 충전방수 그라우팅을 병행하여 실시
- ④ 바닥 배면방수 그라우팅: 바닥슬래브 부위로 유입되는 지하수의 양이 많기 때문에 효과적인 주입을 위하여 집수정을 신설하여 양수를 실시하



(a)카리프트 부위 그라우팅 실시전



(b) 배면방수 그라우팅을 주공법으로 전면 및 충전방수 그라우팅공법을 보조공법으로 차수 실시

사진 4. 복합방수 그라우팅 적용(○●병원 지하층 방수그라우팅)

면서 주입배합비를 조정하여 기존 집수정과 바닥 배면방수 그라우팅을 실시

### 3) 적용결과

본 현장은 1일 양수량이 1,200ton으로 지하수의 유입량이 많을 뿐 만 아니라 지하수의 유속이 빠르기 때문에 효과적인 주입이 이루어지도록 배면방수 그라우팅 기법을 주로 하였으며, 지하수의 저감을 위하여 Heaving 방지용 차수벽 그라우팅을 시공전 실시하였다. 또한, 수압이 많이 작용하고 있으므로 구조물의 열화된 부위 등은 전면방수 그라우팅 기법을 적용하여 구조물을 보강하면서 주입을 실시하였으며, 균열부위 등의 누수에는 충전방수 그라우팅 기법을 현장상황에 맞도록 적절히 병행 실시하여 장기적으로 완벽한 방수가 되도록 하였다. 주입시공중의 현장상황은 사진 4에 나타낸 바와 같다.

이와 같이 지하구조물에 발생하는 균열 및 누수는 한 가지 유형이 아닌 복합적인 균열과 누수유형으로 발생하므로 구조물의 종류 및 누수원인, 누수량 등에 따라 방수그라우팅 기법을 조합, 병행하여 복합적인 방수그라우팅 기법을 적용함으로써 방수 및 보강효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 고찰

### 5.1 누수유형별 공법의 적용성

지하수위가 높거나 집중강우에 의한 지하수위 상승 시 기존 지하구조물에 발생하는 누수는 한가지 유형이 아닌 복합적인 발생양상을 보인다. 현장 적용한 사례를 분석·고찰하여 구조물의 종류 및 누수원인, 누수량 등의 누수유형에 따른 적절한 방수그라우팅 기법을 정리하면 다음 표 11과 같다.

표에서와 같이 누수유형에 따른 적절한 방수그라우팅 기법을 적용한 후에는 그라우팅시의 과대한 주입압, 주입속도 등의 원인으로 구체의 변형을 초래하며 새로운 균열이 발생하거나, 또다시 누수의 위험이 있을 수 있다. 따라서 방수그라우팅 기법을 적용할 경우 시공순서 및 절차의 준수가 필요한 것으로 판단된다.

### 5.2 방수 그라우팅에서 주입효과 증대를 위해 고려하여야 할 사항

각 현장의 누수상황 및 누수유형에 따른 적절한 방수

표 11. 누수조건별 공법의 적용성

누수부위	누수상태	누수상태	전면방수 그라우팅	충전방수 그라우팅	배면방수 그라우팅
위치별	슬래브			△	○
	벽 체		△	△	○
	바 닥			△	○
누수량	다량, 특다량		○		
	중량, 소량		○		△
	극소량, 젖은 상태			△	○
면적	넓은면적(100㎡이상)			△	○
	일부면적(10㎡정도)		△	○	
	1개소(0.1㎡이하)		○	△	
구조체 재질	콘크리트		○	○	○
	블록, 벽돌			△	○
	석축, 돌		○		
구조체 방수공법	방수층 생성방법		△	△	○
	수밀재 붙임방법		△	△	○
방수 Sheet	유			○	○
	무		△	○	○
	파손		△	○	○
이전 하자보수상태	Injection 충전		△	○	
	유도처리		○	△	
	액체방수		△	△	○

○ : 최적공법, △ : 병용(보조)공법

그라우팅 기법을 적용함에 있어 주입목표구간에 대하여 1차주입으로 시공을 마무리하는 것보다는 단계적으로 1, 2, 3차로 나누어 순차적인 그라우팅을 실시하여 방수효과를 극대화 시키는 그라우팅 계획이 필요하다. 또한, 가능한 한 주입압을 저압에서 실시하여 순차적으로 고압의 주입이 되도록 계획하는 것이 필요하며, 주입량은 소량을 장시간에 걸쳐 주입하는 것이 방수그라우팅 효과를 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다.

현장적용 사례를 분석해 볼 때, 전면 및 충전방수 그라우팅에서의 적용식인 유체의 주입시 이동속도산정(식 1)과 배면방수 그라우팅의 적용식인 시멘트 현탁액의 침투거리 산정(식 2)의 평가를 위하여는 기존 식의 각각의 영향요소에 추가하여 물시멘트비, 주입재의 입경, 주입시간, 주입량, 혼화제 사용여부, 차수별 주입 패턴 등에 대한 다양한 요소가 존재하며 이에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구는 지하구조물의 누수유형별 시멘트 그라우팅 방수기법에 대하여 검토한 것으로서 이를 위하여 주입재의 공학적 특성을 분석하고, 아울러 각 방수그라우팅 기법별 현장적용사례를 토대로 그 적용성을 파악하였으며 연구결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

- (1) 누수유형에 따른 시멘트 그라우팅 방수기법을 현장에 적용하기 위해 사용한 WGS주입재의 공학적 특성을 살펴보면, 유동성은 초기손실은 적으나 30분 후 유동성이 급격히 저하되고 경화가 빨리 진행됨을 알 수 있었다. WGS주입재에 의한 시멘트의 압축강도는 447~512 kg/cm<sup>2</sup>, 부착강도는 22~38 kg/cm<sup>2</sup>이며, 주입재의 팽창특성이 양호함을 알 수 있었다. 또한, 화학약품에 대한 저항성, 동결융해, 팽창성시험 등을 통하여 내구성이 매우 양호하였고, 더욱, 투수계수는  $2.3 \times 10^{-7} \sim 1.1 \times 10^{-8}$  cm/sec로서 지수효과가 매우 양호한 것으로 파악되었다.
- (2) 방수그라우팅 기법별 현장적용 결과를 분석해 보면 콘크리트 다짐불량으로 인하여 수밀하지 못한 콘크리트의 경우 발생하는 누수에 대하여는 전면방수 그라우팅 기법이, 하천의 하부를 통과하여 축조된 가압침투현상이 발생하는 구간에는 충전방수 그라우팅 기법이, 넓은 면적의 벽체에서 누수가 발생하는 경우에는 배면방수 그라우팅 기법이, 다양한 형태의

누수발생시에는 복합방수 그라우팅 기법을 적용하는 것이 양호한 것으로 나타났다. 이와 같이 지하구조물 조건 및 누수유형에 따라 방수그라우팅 기법을 구분하여 적용하는 것이 바람직하다고 본다.

- (3) 누수유형에 따른 적절한 방수그라우팅 기법을 적용함에 있어 주입목표구간에 대하여 1차주입으로 시공을 마무리하는 것보다는 보강효과를 점검하면서 단계적으로(1, 2, 3차로 나누어) 순차 그라우팅을 실시하는 것이 훨씬 효과적이며, 가능한 한 주입은 저압으로 시작하여 순차적으로 고압으로 주입하는 것이 효율적이며 더욱, 주입량은 소요량을 일시에 주입하는 것 보다는 소량으로 장시간에 걸쳐 주입하는 편이 방수그라우팅에 효과적인 것으로 판단된다.
- (4) 현장적용 결과, 전면 및 충전방수 그라우팅에서의 주입시 이동속도 산정(식 1) 및 배면방수 그라우팅의 침투거리 산정(식 2) 등을 위해서는 기존 각 식의 영향요소에 추가하여 물시멘트비, 주입재의 입경, 주입시간 및 주입량, 혼화제 사용여부, 주입횟수 등 다양한 요소의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 대한전문건설협회(1995), "방수공사의 하자원인 및 대책에 관한 연구", 형실출판사, pp.23~50.
2. 심종성(1995), "콘크리트 구조물의 보수보강기법의 최근 연구동향", 한국콘크리트학회지, 7권6호, pp.64~73.
3. 안갑선(1980), "콘크리트 구조물에 있어서 균열발생의 원인과 보수 보강방법" 대한건축학회지, 24(92), pp.70~74.
4. 천병식, 최춘식, 임해식(1994), "지하구조물의 누수방지를 위한 그라우팅 사례연구", 대한토목학회 논문집, pp.751~754.
5. 천병식(1990), "기초지반 개량공법", 건설연구사, pp.86~107.
6. 천병식(1998), "最新 地盤注入 -理論과 實際-, 圓技術, pp.107~122.
7. 坪井直道外(1972), "藥液注入工事における注入壓に關する 2, 3の考察", 土木學會 第27回 年次學術講演 會 講演集, 第IV部, pp.541~544.
8. 島田俊介, 兼松 陽(1977), "最新の地盤注入工法", 理工圖書, pp.130~134.
9. Irwin, G.R.(1958), "Fracture Mechanics", Pergamon, Elmsford, N. Y., pp.557.
10. Manfred R. Hausman(1990), "Engineering Principles of Ground Modification", McGraw-Hill, Singapore, pp.346-381.
11. T.B.Ahn, C.S.Choi, B.W.Shin, B.S.Chun(1998), "Maintenance of the Leakage for the Underground Structure by Grouting", 2nd International Conference on Ground Improvement Techniques, Singapore. pp.597~603.
12. Welsh, J. P.(1991), "Grouting", Underground Structure Design and Construction, ed. R. S. Sinha, Elsevier, Netherlands, pp.328-350
13. Widmann, R.(1993), "Grouting from Experience to Theory", News Journal, Vol.1, No.2, ISRM, pp.73~79.

(접수일자 2001. 8. 6)