

碩士學位論文

濟州道 地下水의 그라우팅工法에  
關한 研究



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

韓 相 哲

2 0 0 2

碩士學位論文

濟州道 地下水의 그라우팅工法에  
關한 研究

指導教授 楊 城 基



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

韓 相 哲

2002 年 12 月

# 目 次

目 次 .....	i
LIST OF TABLES .....	ii
LIST OF FIGURES .....	iii
I. 서론 .....	1
1. 연구 배경 .....	1
2. 연구목적 및 방법 .....	3
II. 제주도 지질구조와 지하수 특성 .....	5
1. 제주도 지질과 수문학적 특성 .....	5
2. 수자원 및 지하수개발·이용 현황 .....	9
III. 그라우팅 공법 .....	10
1. 그라우팅 정의 .....	10
2. 그라우팅 입지조건에의 조사 .....	11
3. 주입 그라우팅 공법의 분류 .....	13
4. 그라우팅 주입재 .....	21
5. 그라우팅용 시공기계의 선정 .....	25
6. 그라우팅 설계 및 시공 시 유의점 .....	27
IV. 지하수의 오염방지그라우팅 공법 .....	28
1. 지하수법에 의한 그라우팅 .....	28
2. 지하수의 그라우팅 시공방법 .....	31
V. 제주도 지하수의 그라우팅 공법 .....	33
1. 제주도 지하수의 그라우팅 현황 .....	33
2. 그라우팅 공법 적용의 문제점 .....	34
VI. 결론 .....	40
참고문헌 .....	42

## LIST OF TABLES

Table 2-1 Aquifer constant analysis result of Jeju Island .....	7
Table 2-2 Groundwater transit time and application argument .....	8
Table 2-3 Development of Jeju Island groundwater and utilization present condition .....	9
Table 3-1 Standard of base application pouring in pieces of grout material .....	23
Table 3-2 Change of gel time by PH of groundwater .....	24
Table 3-3 Choice standard of starting work machine .....	26
Table 3-4 Mixer's form and adaptability .....	26
Table 5-1 Permeability coefficient arbor in the mountains result of Jeju Island basalt layer .....	37
Table 5-2 Pyoseon No. 3 grouting construction present condition .....	38

## LIST OF FIGURES

Figure 1. Distribution map of permeable geologic structure in Jeju Island .....	4
Figure 3. Example of machine Arrangement .....	25
Figure 4-1. On underground technique and Jeju Island special law groundwater tube well standard equipment .....	29
Figure 4-2. Bottom-up pouring in grouting method of construction mimetic diagram .....	31
Figure 5-1. Grouting target base and construction example .....	33
Figure 5-2. Falling rock state of that fill grouting city sill fractured zone section .....	35
Figure 5-3. Permeability test mimetic diagram .....	36



# A STUDY ON GROUTING METHOD OF CONSTRUCTION OF JEJU ISLAND GROUNDWATER

Sang-Cheol Han

*Department of Construction and Environmental Engineering*

*Graduate School of Industry*

*Cheju National University*

*Supervised by professor Sung-Kee Yang*

## Abstract



Jeju Island, created by many volcanic activities in its origin, has a unique geological structure which can easily be permeated by water, thus making it greatly vulnerable to the inflow of pollutants into the ground. As a result, Jeju groundwater is rapidly being polluted by the pollutants which permeate through hydraulic gradient. In addition, the lack of protective measures at the sites of groundwater projects, and an abandonment of deserted project areas make the matters worse.

It is therefore necessary to study a grouting method as a way to effectively prevent pollutants from spreading into the ground that can happen in the digging process of groundwater. This study, based on the comparative study of grouting methods being generally accepted, suggests various construction methods which are suitable for Jeju's geological structure as follows:

In Jeju Island, it is very likely that rocks may fall in shuttered zones such as cracks, joints, scoria layers, and clinker layers. For this reason, it

is recommended that materials be injected from the bottom toward the top, not from the top to the bottom.

In the case where the amount of injected materials become too large in the areas of cracks or joints because of high level of permeability coefficient, grouting materials which smeared into surrounding areas may cause in unwanted cut of aquifer of the bottom level.

To avoid this, the amount of water should be reduced from the typical water-cement ratio of 1:2, and grouting materials with lager grading should be used.

If the deep excavation of ground is made in Jeju Island, it is likely to have voids because of geological characteristics.

Therefore, first of all, doing the construction of interior casing, the centralizer should be attached to the casing to prevent the casing from being contact with the counter fort.

In addition, the grouting in Jeju Island should be thicker than usual.

In order to avoid over-use of grouting materials, prevent grouting in more than necessary zone, and facilitate grouting of void areas, flexible selection of materials is required. In addition, to exactly figure out the of dug well, an examination through CCTV should necessarily be performed when grouting work is made.

In conclusion, the goal of grouting construction for groundwater is to shut off the inflow of pollutants. Also, the construction work should protect aquifer area which is mainly usable. The effective grouting method in Jeju Island, therefore, should flexibly consider the main materials, and injection methods, based on the condition of dug wells.

# I. 서 론

## 1. 연구 배경

인류의 생활에서 물은 없어서는 안 되는 귀중한 생명자원이다. 세계문명의 발달 지역들 역시 물을 취수하기 쉬운 커다란 강가 주변지역에서 발전해 왔으며, 그러한 물을 잘 다스리기 위한 방법을 개선하고 찾아가면서 인류는 발전해 왔다고 할 수 있다. 최근 들어 이러한 물의 중요성은 더욱 강조되고 있는 실정이다.

제주도는 수차례의 화산활동에 의하여 형성된 것으로 육지부와는 상이한 지층분포를 보이며, 수매의 화산쇄설층 및 암층 형성에 따라 수직·수평적 지층변화가 매우 심한 것이 특징이다. 화산재가 주를 이루는 화산쇄설층 및 치밀·견고한 암층, 퇴적층 등은 지하수 이동이 어려운 저투수층 역할을 하며, 암층경계면에 발달되는 클린커 구조, 균열·절리 구간, 용암 tube가 대수층 역할을 한다(고, 1997 ; 송 등, 1996).

또한 대부분 투수성이 높은 다공질의 현무암질 용암류로 이루어져 있으며, 지표상에 각종 투수성지질구조들이 분포하고 있는데, 이러한 지질구조는 지하수의 함양에 기여하고 있으나 오염물질이 여과되지 않고 직접 지하수체로 유입되는 통로 역할을 하므로 오염에 매우 취약한 구조라 할 수 있다.

제주도는 이처럼 지형지질의 특성상 지층의 투수성이 커 지표수의 발달이 미약하여 1970년대 초까지만 하더라도 용수원을 전적으로 해안에서의 용출수에 의존하는 물이 귀한 지역으로 인식되었다. 그러나 이미 1960년대 수원조사과정에서 막대한 양의 지하수 부존이 확인되었으며, 1970년 이후 정부 주도로 관정을 이용한 지하수 개발이 급격히 이루어진 결과 현재는 1인1일 급수량은 육지에 비하여 다소 낮으나 상수도 보급률이 전국 최고 수준인 99.9%에 이르는 등 지하수는 이제 제



주도의 주 수자원으로서 자리매김하게 되었다(변, 1999). 따라서 지하수의 부존량이 많고 지하수를 가장 많이 사용하고 있는 제주도에서 그러한 지하수를 좀더 효율적이고 안전하게 이용할 수 있는 방법을 연구할 필요가 있다. 또한, 산업구조의 발달과 인구의 증가, 농경지의 확대 와 지하수의 무분별한 개발 및 과잉양수 등으로 다가오는 미래에 언제 닥쳐올지 모르는 물 부족현상과 지하수 오염 등에 보다 효과적으로 대처할 수 있는 방안들이 요구되고 있는 실정이다. 특히, 수량확보 보다는 수질보호에 더 관심을 갖게 되면서 오염원이 배출되는 지점의 시설에 대한 규제도 중요하지만 취수정 자체에서 양질의 물을 취수해야함은 물론, 굴착공 자체가 지표의 오염물질이 유입되어 대수층으로 연결되게 하는 오염통로 역할을 할 가능성이 있으므로 굴착공에 대한 오염방지시설 관리가 중요시되고 있다(농진공, 1994 ; 1997).

지하수 굴착공의 오염방지시설은 상부 보호공의 처리는 물론, 굴착공벽과 케이싱 사이를 통해 쉽게 오염물질이 유입되므로 이들 구간에 그라우팅을 실시하는 것이 오염물질 유입을 차단시키는 근본적인 방법이라 할 수 있다. 이들 오염방지 그라우팅의 공법은 댐·저수지·교량·건축물 등의 구조물에 적용되는 일반적인 보강 및 차수그라우팅의 다양한 공법 중에 극히 일부분에 해당되며, 지하수법상에 규정되고 있는 오염방지에 관한 그라우팅 공법 또한 가장 일반적인 공법 수 개만 제시하고 있다.

그러나, 지질구조가 육지 부와 상이한 제주도 지역에서 충적층 및 화강암 지대 지하수를 기준으로 제시된 기존의 그라우팅 공법을 그대로 적용시키는 것은 무리가 따르며 대수층·저투수층이 반복적으로 분포될 뿐만 아니라, 공동구조 및 수많은 균열·절리를 포함하는 제주 화산지질구조에 적합한 공법을 검토해볼 필요가 있다(제동홍산, 1996).

## 2. 연구 목적 및 방법

제주도는 수차례의 화산분출에 의해 형성된 화산지질의 특성상 투수성이 큰 지질구조(Fig. 1)를 하고 있어 오염물질의 지하유입이 쉬운 조건이다. 또한 지하수 개발 시 지표 및 지하오염물질의 유입 방지시설 미비와 기개발된 관정의 관리 소홀, 폐공의 방치 등으로 인해 지표로부터 오염 물질이 침투되기 쉬운 취약성을 갖고 있으며, 이로 인해 유입된 오염물질은 유동되고 있는 지하수의 동수구배를 따라 지하수를 급속히 오염시키고 있는 실정이다.

본 연구에서는 오염물질이 유입되는 1차적인 지질구조 외에, 굴착과정에서 공벽 및 케이싱 주변으로 생기는 2차적인 오염경로를 차단시키기 위한 지하수 그라우팅 공법에 관하여 중점적으로 검토해 볼 것이다. 본 연구에서는 일반적으로 시공되고 있는 그라우팅공법을 조사하고, 제주도의 지하수 그라우팅에 사용되고 있는 기존의 방법들의 문제점을 분석하여 제주도 지질구조에 적합한 그라우팅 방법을 제시하고자 한다.

그러나, 오염방지 그라우팅의 정형화된 주입방법 및 주입재에 대한 자료는 전무한 실정이며, 이에 따른 실제 오염방지 그라우팅 실험을 통한 데이터의 수집은 현실적으로 어려움이 있는 실정이다. 따라서, 문헌조사를 통해 일반적인 그라우팅 공법을 검토하고, 현재 이용되고 있는 채움그라우팅공법과 트레미방법(Tremie Method)의 시공법에 대해 시공 사례를 바탕으로 문제점을 파악하였다. 또한, 제주도 화산지질의 특성을 구체적으로 제시하기 위하여 투수시험을 통한 투수계수 산정과 지질주상도에 의해 지층분포특성을 파악하였다. 이에 의해 기존에 적용되고 있는 그라우팅 공법의 문제점을 검토하고, 제주도 지질구조 특성에 적합한 그라우팅 시공 방법을 제시하였다.

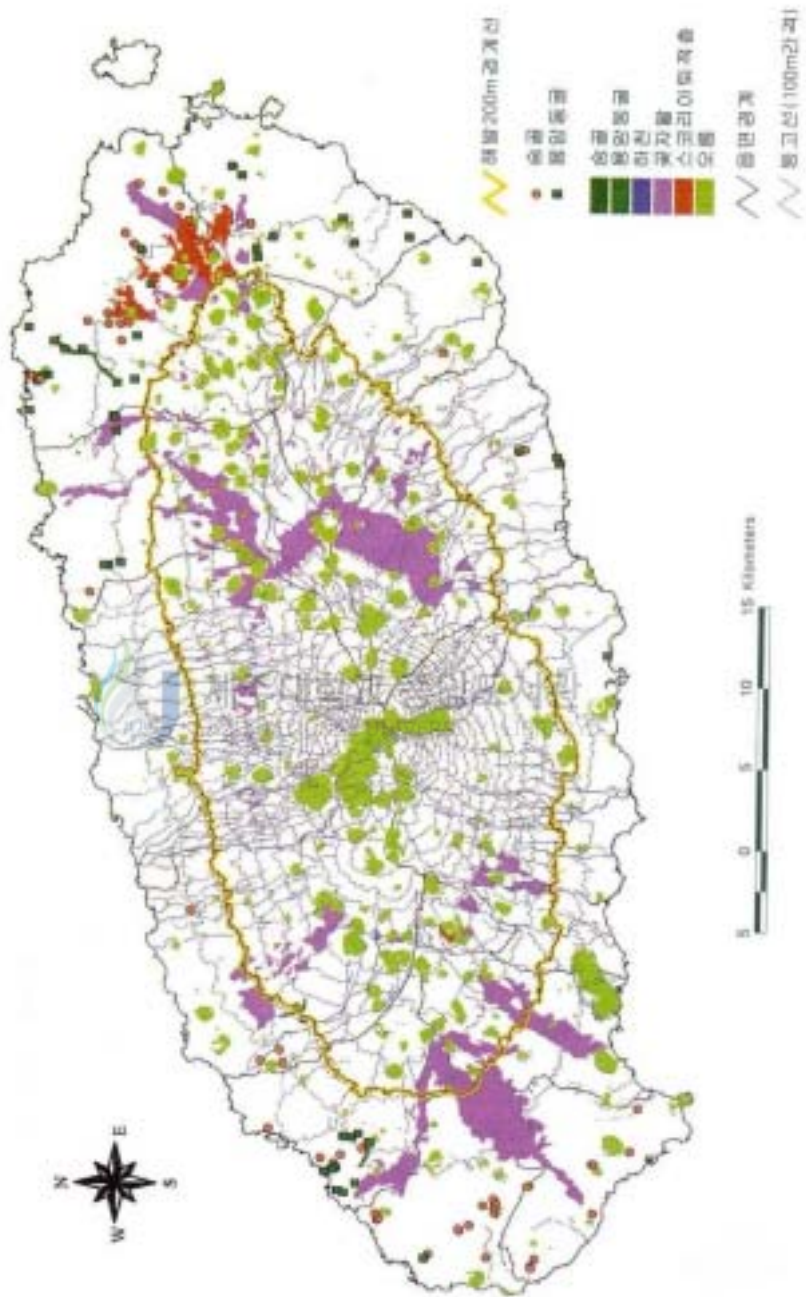


Figure 1. Distribution map of permeable geologic structure in Jeju Island

## Ⅱ. 제주도 지질구조와 지하수 특성

### 1. 제주도의 지질과 수문학적 특성

#### 1) 지질구조 및 지하수부존형태

제주도는 신생대 제3기말에서 제4기초에 걸쳐 수십회 이상의 화산활동에 의해 형성된 휴화산으로서 현무암류가 주를 이루며 조면암, 조면암질 안산암, 응회암 및 화산쇄설층, 퇴적층 등으로 형성되었다. 화산암에 분포하는 지하수는 화산도가 지닌 지질 및 지형조건으로 인해 특이한 부존 양상을 갖는다. 지하수 부존형태를 결정하는 수문지질학적인 주요 요인은 투수성 요소인 클린커, 균열·절리 및 용암터널 등과 불투수성 요소인 치밀질의 조면암, 안산암 그리고 응회암층 및 퇴적층으로 구분되고 있다(대한지질공학회, 1996).

다공질 매체로서의 대수층은 수km 이상의 연속성을 갖기도 하나 고지대로 갈수록 단속적으로 형성되고 있는 특성을 보인다. 제주도의 저지대 및 고지대에 걸쳐 수십개의 대수층과 저투수층이 반복적으로 분포되고 있으며 이들 구조는 지하수가 자유로이 통과할 수 있는 통로의 역할을 할 뿐만 아니라, 흐름을 차단시키거나 저류할 수 있는 공간을 공급해주면서 지하수의 부존 형태를 결정하게 되는 주요 요인이 된다.

제주도 지하수의 부존 형태에 관한 연구도 끊임없이 계속되고 있으며, 최근에 발표된 자료(고, 1997)에 의하면 본 도의 지하수는 서귀포층의 지하 분포 상태, 지하 수위 분포 및 변동 특성, 수질 특성 등에 따라 상위지하수(High level groundwater), 기저지하수(Basal groundwater), 상부준기저지하수(Upper parabasal groundwater), 하부준기저지하수(Lower parabasal groundwater), 기반암지하수

(Basement groundwater)로 구분되는데, 지역별로는 동부지역 및 서부 일부 지역의 해안변에 기저지하수가 분포하고, 그 외의 도 전역에는 준기저 및 상위지하수가 분포하며 상당부분이 해안을 따라 용출되고 있다.

상위지하수는 비포화대 내의 치밀질 화산암류나 퇴적층 등의 저투수성 지층 상부를 따라 비교적 빠른 선형유속으로 유동하거나 고여 있는 지하수 체이고 타 대수층과 수리적으로 연결되지 않은 일종의 부유 지하수이다. 상위지하수는 강우량에 따라 유량 변화의 폭은 크지만 해수와 직접 접촉하지 않으므로 수질은 비교적 양호한 편이다.

기저지하수란 염수와 담수의 비중 차에 의해 담수가 염수 상부에 렌즈 형태로 부존 하는 즉, Ghyben-Herzberg 원리에 의해 부존 하는 지하수이다. 담수렌즈와 해수는 담수체의 수축과 팽창, 그리고 조석의 영향에 의해 해수와 담수가 혼합된 점이대가 발달되어 있다. 점이대 두께는 담수체의 두께가 두꺼운 상류 구배구간에서는 얇으나 해안에 가까워질수록 두터워지며 해안 유출 지점에서는 담수체의 전 층이 점이대를 이루기도 한다.

준기저지하수는 지하에 저투수성 퇴적층인 서귀포층이 지하 분포 심도에 따라 상부 준기저 및 하부 준기저 지하수로 구분된다. 상부 준기저 지하수는 서귀포층의 상부면을 따라 빠른 선형유속으로 유동하므로 풍수기와 갈수기 사이의 수위 변동폭이 크게 나타나며, 채수에 의한 수위 강하량이 최대인데 반해 공당 평균 채수량은 저조한 편이다. 하부 준기저 지하수는 선형유속이 상부 준기저 지하수 보다 느리고, 자연수위 변동은 강우에 의해 지배되지만 서귀포층이 해수면 하 약 60m 이하에 분포하는 일부 지역에서는 조석의 영향이 미약하게 나타난다.

기반암 지하수는 해수면 하 약 200m 이하의 기반암내에 발달된 파쇄대나 절리 등과 같은 1, 2차 유효공극 내에 부존하고 있는 강우기원의 심부지하수로서 상부의 지질구조와 지하수 부존 형태에 따라 수질과 채수 가능량이 영향을 받고 있다.

## 2) 수리수문 특성

수차레의 화산분출에 의해 형성된 제주도의 대수층은 투수성이 매우 양호하고 저류량이 풍부할 뿐만 아니라, 부분적으로 이들 대수층을 차단시켜주는 저투수층이 분포되고 있는 특징을 보인다. 육지부의 충적층 지하수와는 부존형태 및 유출 형태, 수리상수 등이 차이를 보이는 것은 당연한 사실이다.

제주도 수자원의 지속적인 관리·보전 대책의 일환으로 제주도에서 조사 발간한 ‘제주도 지하수 보전·관리계획 보고서(2000)’에 따르면, 제주도 전역에 대한 개괄적인 수리수문 특성은 Table 2-1에 나타내었다.

Table 2-1. Aquifer good hand analysis result of Jeju Island

구 분	양수량(m <sup>3</sup> /day)	비양수량(m <sup>3</sup> /day)	투수량계수(m <sup>3</sup> /day)	저류계수
최대값	1596	13130	9556	0.3
최소값	500	2.7	1.4	0.01
평 균	823	305.9	201.8	0.115

Table 2-2에서 제시된 자료는 양수시험 해석 자료를 이용한 것이며, 1998년까지 개발된 지하수 관정에 따른 것이다. 각 수역별 대표관정을 선정하여 총 279공에 대한 검토 결과 제주도 지하수의 수리전도도는 평균 10.09m/day로 나타났으며, 평균 유속은 175.93m/년이다.

Table 2-2. Groundwater transit time and application argument

수역	표고200m 지점의 평균수두 (EL.m)	유효공극률 (저류계수)	수리전도도 (m/day)	수리경사 (10 <sup>-3</sup> )	평균유속 (m/년)
평균	38.69	0.115	10.09	5.49	175.93
구좌	9.29	0.101	23.28	1.13	94.90
조천	13.20	0.099	4.63	2.21	37.60
동제주	37.58	0.121	9.96	7.15	193.09
중제주	49.09	0.147	2.55	9.44	59.86
서제주	43.19	0.078	2.77	9.16	118.63
애월	19.05	0.114	24.01	4.26	327.41
한림	16.91	0.121	10.11	3.10	94.54
한경	34.46	0.094	3.52	4.60	62.78
대정	44.62	0.138	3.01	6.37	50.74
안덕	46.61	0.080	1.93	9.93	87.24
서서귀	47.29	0.127	3.23	15.05	139.80
중서귀	49.84	0.047	1.95	14.81	224.11
동서귀	49.98	0.086	4.86	10.59	218.27
남원	36.90	0.100	12.36	6.66	300.40
표선	17.48	0.149	16.56	2.03	82.49
성산	8.58	0.120	27.60	1.04	87.24

자료 : 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 2000, 제주도

## 2. 수자원 및 지하수개발·이용 현황

### 1) 지하수 개발·이용 현황

제주도 내에서 개발·이용되고 있는 지하수 관정현황은 Table 2-3에 나타내었다. 2000년 12월말 현재, 생활용수 관정이 1,454개공에 개발량은 620,238  $m^3/d$  농축산용수 관정이 3,010개공에 개발량 728,621  $m^3/d$ , 공업용수 및 기타 용수공급을 목적으로 개발된 관정이 233개공에 개발량 53,683  $m^3/d$ 으로, 총 개발 관정수는 4,697개 공이다.

Table 2-3. Development of Jeju Island groundwater and utilization present condition



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(단위 : 공, (천 $m^3/d$ ))

구 분	계		공 공		사 설	
	공 수	개발량	공 수	개발량	공 수	개발량
계	4,697	1,402	962	785	3,735	617
생 활 용	1,454	620	408	395	1,046	225
농 축 업 용	3,010	729	511	383	2,499	346
공 업 · 기 타 용	233	53	43	7	190	46

### 2) 수자원 현황

- 총 강 우 량 : 연간 33억 9천만 $m^3$ (연강우량 1,872mm)
- 증 발 산 량 : 연간 12억 6천만 $m^3$  - 37%
- 직 접 유 출 량 : 연간 6억 4천만 $m^3$  - 19%
- 지 하 수 함 양 량 : 연간 14억 9천만 $m^3$  - 44%(1일 4,082천 $m^3$ )



### Ⅲ. 그라우팅 공법

#### 1. 그라우팅(Grouting) 정의

그라우팅이란 지반 혹은 암반내로 액상이나 Gel상의 Grout재를 주입시켜, 공기나 물로 차있는 균열·공극을 채워 고결 시킴으로서 지지력을 증대시키는 가장 보편적인 공법이다(건교부, 1997).

그라우팅을 하는 목적은 연약한 지반을 고강도의 물질로 채움·응결시킴으로써 지지력을 증대시키는 것과, 느슨한 상태의 지반을 치밀한 그라우트재로 채움으로써 누수를 차단시키는 차수 그라우팅의 두가지 목적으로 크게 구분시킬 수 있다. 여기서, 지하수 개발에 적용되는 그라우팅은 오염물질 유입방지를 위한 것으로 크게는 후자에 해당되는 차수그라우팅 개념이라고 할 수 있다.

또한, 차수 그라우팅공법에는 지표에 대한 수평적 개념의 ‘땅속 연속벽공법’과 지하심부의 수직적 개념인 ‘주입공법’이 있다. 땅속 연속벽공법은 지상에서 안정액을 사용하여 지반을 굴착하고, 땅속에 철근콘크리트제의 연속한 벽체를 구축하는 공법이며, 주입공법은 시멘트, 점토(벤토나이트), 약액 기타의 주입재(grout)를 지반, 구조물 등의 내부 또는 지반의 간극 속으로 침투시키는 것으로 정의된다. 따라서, 지하수 굴착공에 대한 지하심부의 오염방지 그라우팅은 시공법 면에서는 주입공법에 의한 것이고, 시공목적에는 차수를 위한 것이라 할 수 있다.

주입 그라우팅공법에는 주입대상지반, 주입재료, 주입목적 등에 따라 여러 가지가 있으며, 이들 다양한 공법 중 지하수 오염방지를 목적으로 이용되고 있는 공법을 중심으로 하여 다음과 같이 설명할 수 있다.

## 2. 그라우팅 입지조건의 조사

입지조건의 조사항목으로는 입지조건의 조사, 환경조사, 토질조사, 그라우트에 대한시험과 주입시험, 시공관리, 효과의 확인, 기록과 보고 등으로 나눌 수 있다. (토목공법연구회, 1996)

### 1) 입지조건의 조사

- (1) 시공장소의 대지형상·고저차, 방법
- (2) 측량의 기준점, 인조점(引照점), 버팀말뚝 등의 확인
- (3) 시공지역내의 지상구조물이나 지하관리물의 유무, 위치의 측정, 확인
- (4) 인접지, 인접구조물과의 관계
- (5) 교통량, 교통제한, 점유상황
- (6) 공사용의 전기, 용배수



### 2) 환경조사

- (1) 소음, 진동의 문제
- (2) 우물이나 주변지하수의 현황
- (3) 하천 호수의 현황
- (4) 동식물의 생태계나 농작물의 현황

### 3) 토질조사

- (1) 토층구성, 토층의 분포
- (2) 흙의 물리적 성질, 역학적 성질
- (3) 지하수의 수위
- (4) 투수층의 깊이, 두께, 용수량 등
- (5) 매토의 상황

4) 그라우트에 대한 시험과 주입시험

- (1) 그라우트에 대한 시험
- (2) 실내 주입시험
- (3) 현지 주입시험

5) 시공관리

- (1) 그라우트의 품질관리(겔타임 등)
- (2) 1일의 사용량과 스톡량의 밸런스
- (3) 계량과 믹싱
- (4) 사용수의 수질변화의 유무
- (5) 지표의 침하·부상의 측정과 시공위치
- (6) 우물이나 측정정의 수질관리
- (7) 그라우트의 일출 유무
- (8) 유량·주입압의 측정

제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

6) 효과의 확인

- (1) 지수성
- (2) 지반강화

7) 기록과 보고

### 3. 주입 그라우팅 공법의 분류

#### 1) 주입대상 지반에 따른 분류

- (1) 사력층 주입(연약지반, 충적층, 붕괴암석 및 토사)
- (2) 암반 주입(암반 균열)
- (3) 단층 파쇄대 주입
- (4) 경계(지층 이음매) 주입

#### 2) 주입재에 따른 분류

- (1) 시멘트계 : 차수 및 지반강화를 위해 사용하며 필요시 벤토나이트, 톱밥, 물유리계 약액을 혼합하여 사용할 수 있다.
- ① 주입재는 보통 포트란트 시멘트, 물 및 기타 승인된 첨가제의 혼합으로 구성되며, 경우에 따라 마이크로 시멘트 및 기타 시멘트를 적용할 수 있다.
  - ② 혼합재료는 5%이내의 벤토나이트, 톱밥등이 사용될 수 있으며, 주입재의 누출 등을 막기 위해 물유리계 약액을 사용할 수 있으며 사용전 감독원의 승인을 받아 배합비등을 결정한 후 사용하여야 한다.
  - ③ 주입재와 혼합하는 물은 순수, 신선해야 하며 기름, 산, 알칼리, 염분, 유기물 및 기타 유해 요소가 함유되어서는 안 된다.
  - ④ 모래를 주입재에 첨가할 경우 깨끗하고 내구성 있는 석재입자로서 점토질 및 유해물질이 혼합되지 않아야 하며 ASTM 8번체를 전부 통과하고 ASTM 50번체를 30%이상 통과하는 세립모래이어야 한다.

(2) 고분자 우레탄 : 차수 및 막장 천단부 안정화 등을 위해 주로 사용한다.

① 주입볼트

- 고분자계 우레탄약액 주입을 위한 주입관으로 우레탄 주입공법을 강관 주입볼트 사용 원칙으로 하며 Paker 등 기타 주입관 사용시 쓸 수 있다.
- 주입볼트의 재질 및 재원 선정은 주입목적 및 시공성, 지반조건등을 고려하여 결정한다.
- 주입볼트의 직경은  $\phi 21\text{mm}$  이상으로 주입목적 및 지반조건을 고려하여 결정한다.
- 주입볼트는 선단(약1m)에  $\phi 8\text{mm}$ 의 토출공이 6~10개 설치되어 있어야 하고, 교반 장치가 내장된 것으로 한다.

② 주입약액

- 주입약액은 2액 혼합형으로 조기강도가 크며 취급이 간단하고 내구성이 양호한 고분자계 우레탄 약액을 사용한다.
- 고분자계 우레탄 약액은 주입재와 코킹재로 구분할 수 있으며 코킹재는 압입볼트의 정착시, 주입재는 지반내 Grouting시 사용한다.
- 고분자계 우레탄 약액은 PPG(Polypropylene-Glycol)를 주체로한 Polyol 및 MID Prepolymer의 합성재료로 유효기간 6개월을 경과한 약액을 사용해서는 안 된다. 또한 용수, 약산, 약알칼리 등에 대하여 영향을 받지 않는 것이어야 한다.
- 혼합액은 그 물성을 4배 발포시를 기준으로 했을 때 그 다음에 물성을 확보하는 것 또는 그 이상으로 하고, 충분한 강도특성을 발휘하여야 함은 물론 조기에 강도 및 접착력을 발휘하는 것이어야 한다.

### 3) 실시시기에 따른 분류

#### (1) Pre-grouting

누수지점 발견 시 시행하는 것으로 주로 현탁액형인 시멘트를 주재로 사용하며, 기타 혼합재 및 약액계를 사용할 수도 있다.

파쇄대나 용수대가 예상될 경우 감지공을 천공, Pre-Grouting 실시 유무를 결정해야 한다. 감지공은 파쇄대나 용수대의 위치 및 지하수 유출량을 확인하여 Pre-Grouting 천공위치, 심도, 공수 등을 결정한 후 실시하며, 천공→투수시험→그라우트재 주입→확인천공의 순서로 실시된다.

Pre-grouting 시공 시, 시멘트계 주입의 경우 감독원의 별도 지시가 없는 한 주입완료 18시간 경과 후 확인공을 천공해야 한다. 주입효과는 주입목적에 따라 Lugeon Test 또는 유출량 측정을 통해 확인하며, 지반보강을 위한 주입의 경우 투수계수가  $3 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  이하일 때 주입이 완료된 것으로 보며, 차수목적의 주입일 경우 유출량이 2 l/min/m 이하 일 때 주입이 완료된 것으로 본다. 투수계수나 유출량이 허용기준을 초과할 경우 추가시공 또는 재시공하여야 한다.

#### (2) After-Grouting

굴착 진행후 발견된 누수지점에 대하여 시행하는 것으로, 고분자계 우레탄 약액을 주재료로 사용하며 지반 및 지하수 조건 등에 따라 기타 주입재를 사용할 수도 있다.

차수목적의 주입일 경우 주입효과 확인은 유출량 측정으로 하고, 필요할 경우 확인공을 천공, Lugeon Test를 실시하며, 유출량이 2 l/min/m이하 일 때 주입이 완료된 것으로 본다. 또한, 지반보강을 위한 주입의 경우는 투수계수가  $3 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  이하 일 때 주입이 완료된 것으로 보며, 투수계수나 유출량이 허용기준을 초과할 경우 추가시공 또는 재시공하여야 한다.

#### 4) 주입공법에 따른 분류

##### (1) 심층혼합처리 공법

심층혼합처리 공법은 석탄이나 시멘트계를 피상, 분말상 또는 현탁상태의 화학적 안정재를 심층의 지반과 혼합하여 고화처리하는 공법으로서 대표적인 개량 형식은 Block식과 벽식이며 또한 주상식도 많이 활용되고 있다.

주상식은 기계적 혼합처리공법과 고압분사식 처리공법으로 분류되며 최근에 와서 이외에 충전식 혼합처리공법도 적용되고 있다.

##### ① 충전식 혼합처리 공법

본 공법은 연약한 점토층에 그라우트재를 충전, 혼합하여 특수한 확장장치를 사용하여 지반을 이완시킨 후에 개량목적에 적합한 그라우트재를 주입, 혼합시켜 환주상의 고결체를 지반중에 형성함은 물론 주변지반을 개량시키는 공법이다.

##### ② 고압분사식 혼합처리공법

본 공법은 지반의 토립자를 고속 jet가 갖는 운동에너지에 의해 굴착하고, 동시에 혼합작용에 의해 토립자와 고화재를 배합, 교반하는 공법으로서 개량토의 형상 목적에 따라 환주상, 패널상, 원상의 형태로 형성할 수 있으나 대개 환주상이 많이 사용된다. 본 공법은 투입장비가 비교적 간단하고 수직, 경사든 다양한 형태의 개량이 가능하나 고압주입으로 지반의 교란과 투입재의 침투, 확산 가능성이 많고 시멘트 slime의 발생등의 문제점이 있다.

##### a. 그라우트 분사 방법

약액등 액상의 고화재를 고압으로 지중에 분사시켜 지반을 절삭하면서 흙과 고화재를 혼합하여 고결시키는 방법이다.

##### b. 공기 그라우트 분사방법

분사공의 외주로부터 압축공기를 그 중심부로부터 분출시켜 ①의 방법과 같이 지반을 고결시키는 공법이다.

c. 물, 공기 그라우트 분사공법

분사공의 외주로부터 압축공기를 그 외부로 삼주관을 통해 물과 고화재를 분출시켜 b의 방법과 같이 지반을 고결 시키는 공법이다.

(2) 관다단 공법

① 강관다단 Grouting공법의 원리

물유리 용액과 시멘트 현탁액을 지반중의 소정장소에 주입하여 지반의 지수성을 증가시킬 것을 목적으로 하는 공법이다.

이 방법의 가장 큰 특징은 임의로 굳어지는 시간을 조정할 수 있는 재료를 사용하는 것이며 이 재료를 사용함으로써 토질 지반개량에 널리 사용되고 있다.

강관 다단형 공법은 지수를 목적으로 강관을 삽입하고 여러 단계로 강관주위에 그라우팅을 시행하는 공법을 말한다.

② 공법의 특징

- a. 켈타입의 조절은 시멘트량의 증감에 의하므로 간단하다.
- b. 수직, 경사, 어떤 방법으로도 가능하다.
- c. 시멘트가 혼합되어 있으므로 호모겔 강도가 크다.

(3) JET 공법

① 공법개요

수압 및 투수성의 감소, 굴착에 따른 지표면 침하방지 등을 목적으로 흙의 치환, 다짐, 탈수 및 고결 등의 처리를 하고 지반 내에 고압의 분류수를 분사하여 지반을(400kg/cm<sup>2</sup>-700kg/cm<sup>2</sup>) 절삭/파쇄함으로써 형성된 공극에 주입재를 충전하여 원주모양의 고결체를 형성하는데 있다.

② Jet Grouting공법의 원리

공기 중으로 분사되는 고압분류수는 Nozzle출구의 포텐셜이 일정하게 유지



되는 초기영역교란상태가 충분히 발달한 주요영역 및 불연속류로 되는 말기영역으로 구분되나, Jet의 요소에 필요한 천이영역도 유의해야 한다.

### ③ 공법의 특징

- a. 토층구성이나 토질에 대한 영향을 받지 않으며 필요한 요소에 경화재를 계획적으로 주입 할 수 있다.
- b. 보통의 주입공법으로는 주입이 곤란한 세립토 지반에도 적용이 가능하나 암반에서는 불가능하다.
- c. 토층에 인공적으로 만든 간극에 경화재를 충전하는 것이기 때문에 보통의 약액 주입공법처럼 인근의 구조물이나 지하 매설물에 영향을 미치는 일이 거의 없다.
- d. 수직, 경사(수평), 어떤 방법으로도 시공이 가능하고 원주 고결체의 배치, 배열에 의해서 여러 가지 개량이 된다.



## 5) 주입방법에 따른 분류

- (1) 상향식주입공법 ; 트레미 파이프 등의 주입파이프를 이용하여 상향식 주입
- (2) 하강식주입공법 ; 상부에서 그라우트재를 투하시키는 채움그라우팅 형식
- (3) 압력관리주입공법
- (4) 파카공법

## 6) 주입인자에 따른 분류

1974년 일본 Fukuoka지방에서 약액주입공사현장 가까이에 위치한 우물이 약액의 독성으로 인해 오염되었다는 사례가 있었다. 따라서 독성이 있는 주입제의 사

용은 크게 한정 되도록 되었으며, 이 결과 지반개량(강도와 투수성 개량)공법에 영향을 주게 되었다. 현재는, 통상 시멘트재와 물 유리계의 무기물이 주입재로서 많이 사용되고 있다.

이 같은 지하수 오염의 문제는 오염물질의 발생, 이동, 확산 등을 정확히 예측하는 것이 매우 곤란하므로 주입공법의 채용에 따라 정기적인 지하수의 수질 검사가 규정되어 있다.

### (1) 주입압 규제법

Grouting은 소정의 구역내에 필요한 량을 주입하는 것이 목적이지만, 턱없이 높은 주입압은 주입량의 증대에는 기여하나 기초암반의 이상변위를 가져와 암반의 열화나 상부 구조물에 나쁜 영향을 초래하므로 주입압의 상한에 대하여는 여러 가지 규제가 행하여져 왔다. 최고 주입압에 제한을 두는 방법은 Grouting을 완전한 최고 압력으로 계속하면서 배합비를 조절하여 단위시간당 주입량이 규정치 이하로 되면 종료하는 방법이다. 이러한 최고 주입 압력의 상한을 지배하는 요인은 암반의 이상변위와 같은 지질적 요인과 경제적 요인이 있다. 경험적으로 채택되고 있는 방법으로는

- ① 주입압력  $P(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 를 Stage심도에 비례하여  $P = a \cdot d$ 로 정하는 방법과( $a$ 는 0.25~2.0의 수치로서 지질조건에 따라 정해지는 상수,  $d$ 는 심도)
- ② 암반 투수시험의 한계압력을 채택하는 방법이 있다.

즉, 투수시험결과를 방안지 상에 표시할 때, 그 연결곡선이 급격히 변하여 주입량이 급증 할 때의 압력을 암반에 이상 변위가 없는 한계압력으로 정하는 방법이다. 한편으로는 압력주입방식에서 암반에 다소의 영향을 주는 것은 당연하다는 이론도 강력하다. 이것은 경제적 요인과 관련되며 주입압을 높이면 주입공 간격을 더 멀리 정할 수 있게 되고 따라서 천공비의 절감을 가져올 수 있다

는 점에 근거를 둔 것이다.

그러나 고압 Grouting을 위한 Pump, Hose, Valve, Packer등의 기구류 제작비가 높아져 주입 비용을 높이는 면도 있다. 대체로 미국을 비롯한 서구 및 일본 등지에서는 고압용 장비의 보유가 풍부해, 고압 Grouting을 행하는 예가 많으며 30~60kg/cm<sup>2</sup>이상 120kg/cm<sup>2</sup> 까지 승압시키기도 하나 우리나라에서는 이러한 고압주입은 흔하지 않다.

## (2) 주입량 규제법

주입량 규제방법은 단위주입량을 제한하여 서서히 압력을 상승시키는 방법으로서 주입량이 일정한도를 넘으면 승압을 중지하고 주입량이 일정한도에 도달되지 않을 때는 승압시켜 최종압력에서 단위주입량이 규정이하로 되면 Grouting을 종료한다. 이 방법은 시공전 Lugeon Test 자료가 확보 되어야 하고(Lugeon치에 따라 단위주입량 결정)시공관리에 있어 철저를 기해야 하는 만큼 인력소요가 크다. 최근 미국에서 건설되는 중규모 댐에서의 최대 주입압력은 0.25~0.4d 정도가 많다고 보고되고 있으며 미개척 국이 채용하고 평균치도 0.23d이다.

#### 4. 그라우팅 주입재

주입재 그라우팅은 재료, 반응형식, 적용방식, 주입 목적이나 효과, 켈시간<sup>1)</sup> 등의 인자로 분류할 수 있는데, 그라우팅 형식 분류에 가장 중요한 요인이 되는 재료면에 대한 검토가 필요하다.

Grouting은 암반중의 균열이나 흙지반의 공극 등에 주입재를 압입하는 것이므로 그 지반의 공극율과 균열정도, 투수성, 지하수 상황, 재료의 침투성, 강도와 내구성 등을 고려하여 주입재를 선택해야 한다. 주입재의 일반적인 요건은 입자가 작으며, 입자가 균등하게 분산하고, 유동성을 가지고, 고결된 후 소정의 강도를 갖고 있으며, 저렴한 것이 좋다.

##### 1) 주입재 종류



주입재는 광의로 지반에 주입되는 유동성 재료를 총칭하며, 주입재의 주 재료로 이용된다.

##### (1) 시멘트(Cement현탁액)

일반적으로 Portland Cement를 사용하며 보통 암반의 그라우팅 재료로 가장 많이 쓰인다. 시멘트 그라우트는 여러 재료를 혼합 사용할 수 있으며, 혼합재료로는 점토, 벤토나이트, 아스팔트, 톱밥(Sawdust), 회재(Cinder), 밀짚(Straw), 귀리(Oat), 규토(Silica) 및 기타 화학재료 등이다.

##### (2) 점토

단독재료로서도 쓰이며 시멘트와 혼합하여 층적층, 풍화대, 점토층, 토사 등

---

1) 켈시간 : 약액을 혼합한 후 시간이 경과하여 유동성을 상실할 때까지의 소요시간

에 주입재로 이용된다. 시멘트와 적당량의 비율(시멘트 : 점토 = 1 : 3)로 혼합하면 지수효과의 장기화와 내압력 증대 효과를 얻을 수 있다.

(3) 벤토나이트(Bentonite)

점토보다 미립이며, 균질하고 활동성이 양호하므로 미세한 공극충진의 효과가 있으나 값이 비싸므로 점토 등과 혼합 사용한다.

(4) 모르터

주로 규모가 큰 사력질 지반이나 공동대와 같이 다량 주입을 요하는 암반, 뒹채움을 요하는 터널 등의 주입재로 활용되며 대형 주입장비, 큰 동력 등을 필요로 한다.

(5) 아스팔트(Asphalt)  제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

시멘트 그라우트나 모르터 그라우트로는 주입효과가 적은 침투수압이 고대한 곳에 유동하나 고온의 용해상태를 유지해야 하므로 고도의 취급기술과 특수장비 및 시설이 필요하다.

(6) Chemical Material(화학물질)

통상 두 가지 또는 그 이상의 광염으로 된 용해를 혼합 사용한다. 지수효과가 빠르고 치밀, 양호한 주입효과를 나타내지만 고가이므로 일반 그라우팅에는 쓰이지 않는다.

2) 지반의 침투성을 고려한 주입재의 선정

사질지반에서 차수를 목적으로 할 경우에는 지반으로의 침투성을 고려하여 주입

재를 선정한다. 용수에 대한 응급처치로서는 겔시간 짧은 약액이 효과적이지만 지반의 수밀성을 높이기 위한 계획 주입에서는 겔시간이 긴 약액으로 토립자 사이의 침투를 피하는 것이 바람직하다. 점토성 지반인 경우에는 현탁액형<sup>2)</sup> 약액이나 겔시간이 짧은 약액에 의한 맥상주입이 효과적인 경우가 많다(Table 3-1).

차수를 목적으로 할 경우 저점성 용액형약액<sup>3)</sup>을 이용해야 하는데, 일반적인 주입재 현탁액형 및 용액형의 표준사항은 다음과 같다.

현탁액형은 세립의 고체입자가 침전하지 않고 부유하고 있는 주입액이고, 용액형은 시멘트, 아스팔트, 점토 이외의 재료를 주재료로 한 유동성 있는 주입재료를 이용한 것으로 구분하며, 용액형은 주입 중에 각종 재료가 액체상으로 존재한다.

Table 3-1. Standard of base application pouring in pieces of grout material

주입재 겔시간 지반조건	현탁액형		용액형	
	길 다	짧 다	길 다	짧 다
점토 ~ 실트	×	○	×	×
세립질 모래	×	×	○	△
조립질 모래	×	△	○	○
자갈섞인 모래	△	○	△	○

○: 적용성이 높다 △: 검토하여 적용하기도 함 ×: 일반적으로 적용하지 않음

2) 현탁액형 ; 세립의 고체입자(시멘트, 점토, 벤토나이트 등)가 침전하지 않고 부유하고 있는 주입액

3) 용액형액 ; 시멘트, 아스팔트, 점토 이외의 재료를 주재료로 한 유동성액으로 주입 중에 각종 재료가 액체상으로 존재.

### 3) 용액형 주입재의 침투성

현탁액형 주입재가 사용하기 곤란한 중립질 모래나 세립질 모래 지반에 대하여는 용액형 주입재를 사용하며, 용액형 주입재의 침투성은 일반적으로  $k=10^{-3}$ cm/sec의 투수계수를 가진 지반에 적합하다. 그러나 겔화시간을 길게 하는 배합을 적용할 경우 투수계수  $k=10^{-4}$ cm/sec 정도의 지반에서도 침투가 가능하다.

### 4) 지하수의 영향 고려

주입재는 지하수의 수질에 따라 상당히 다른 반응을 나타낸다. 즉, 알칼리성 주입재와 중성 주입재가 지하수의 산도(pH)에 따라 겔시간이 다르게 나타난다 (Table 3-2).



Table 3-2. Change of gel time by PH of groundwater

구 분	지하수의 pH	겔 시 간
알칼리성 주입재	산 성	빠 림
	알칼리성	늦 음
중성 주입재	산 성	늦 음
	알칼리성	빠 림

## 5. 그라우팅용 시공기계의 선정

시공기계는 주로 천공기계, 펌프, 믹서, 호스, 주입관, 재료탱크로 구성되어 있다. Fig. 3에 표준적인 기계설비의 예를 나타내었다. 기계설비 및 배치는 작업환경, 시공규모, 플랜트와 현장간의 거리 등을 고려하여 선정한다(토목공법연구회, 1995).

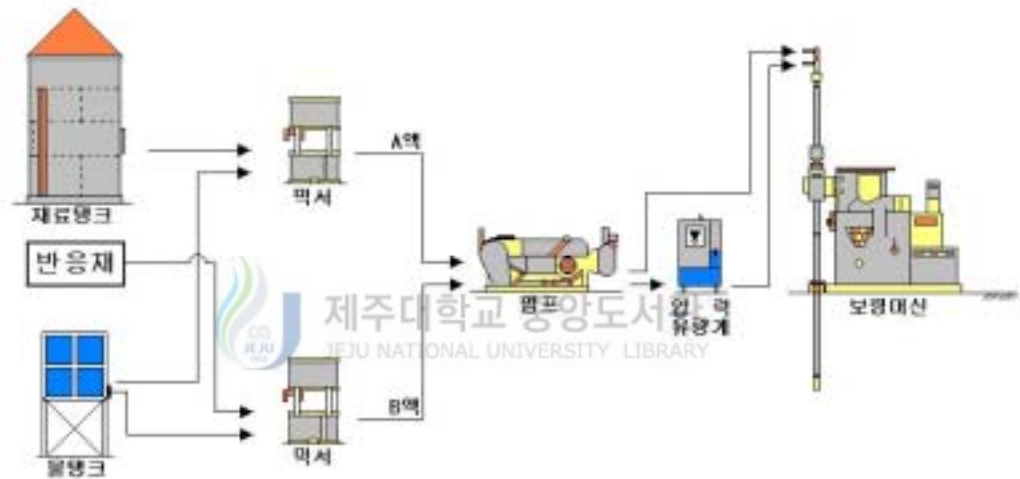


Figure 3 Example of machine Arrangement

- 1) 천공기계: 주입관 설치는 일반적으로  $\Phi 41 \sim 100\text{mm}$  정도의 천공이 필요하다. 이를 위한 천공기계로는 회전식, 충격식, 회전충격식이 있으며 대상 지반의 토질에 따라 적합 또는 부적합한 것이 있다. 토질에 따라 일반적인 선정 기준을 Table 3-3에 나타내었다.



Table 3-3. Choice standard of starting work machine

기계의 종류 지반조건	회전식	충격식	회전충격식
	동근자갈층(20cm이상)	△	○
전 석 층	○	○	○
모 래 층	◎		○
점 성 토 층	◎		

◎ : 적합      ○ : 적용가      △ : 경우에 따라 적용가

2) 펌프 : 주입재의 압송에 사용하는 펌프는 다음 조건에 만족하는 기계를 선정한다.

- (1) 분출토를 설정할 때 확실히 분출 할 수 있을 것
- (2) 비교적 높은 압력에 견딜 수 있을 것
- (3) 주입재에 의한 부식이 작을 것
- (4) 조립·수리가 용이할 것

일반적으로는 피스톤식 또는 plunger식이 많이 사용되고 있다.

3) 믹서 : 믹서를 교반 방식으로 분류하면 기계교반식, 분류교반식이 있으며, 일반적으로 기계교반식이 많이 사용되도 있다. Table 3-4에 믹서형식과 특징을 나타내었다.

Table 3-4. Mixer's form and adaptability

믹서의 형식		연속성	주입재의 종류	
			용액형	현탁액형
기계식	저속	◎	◎	○
	고속	◎	◎	◎
분류식		○	X	◎

◎ : 적합      ○ : 적용가      X : 불가

## 6. 그라우팅의 설계 및 시공 시 유의점

토층과 주입형태에 대해서는 그라우트재를 지반 속에 주입하며 그라우트재는 지반의 종류나 주입조건에 의해서 각기 침투, 할열<sup>4)</sup>, 할열침투 등의 형태로 지반 속에 들어가서 켈타임 경과 후 고결하여 투수성의 저하나 강도증가의 주입효과가 생긴다.

사질지반에서의 그라우트재 주입은 실질적으로 침투주입을 시키는 것이 기본이다. 투수계수가  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 의 오더의 경우는 실질 상의 침투주입을 피하는 것은 주입방식에 불구하고 용이하다. 그러나  $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$  오더의 경우는 할열이 발생하기 쉬우므로 적절한 주입방식, 켈타임, 주입재 및 주입속도 등을 선정하는 것이 필요하다.

$10^{-4} \text{ cm/sec}$ 보다 작은 경우에는 점성토지반을 포함하여 할열주입이 기본이 된다. 이 경우에는 할열액이 다수 생기고 그 대부분이 설계 범위내에 그치도록 주입조건을 선정하는 것이 필요하다. 이때 할열액을 적극적으로 발생시키기 위하여 주입방식으로는 주입간격 및 주입스텝은 가늘게하고 켈타임은 짧은 것이 필요하다. 또 주입재는 호모겔 강도가 강한 것을 선정한다.

투수계수가 꽤 다른 호층에 주입하는 경우는 침투하기 쉬운 토층에 우선해서 그라우트재가 들어가서 그 토층이 다층의 그것과 동정도가 되지 않는 한 타층에 주입되지 않으므로 특히 주입방식, 주입간격, 주입스텝 등을 적절하게 고려하는 것이 필요하다(일본연약지반대책기술위원회, 1995).

---

4) 할열; 목재가 섬유방향으로 갈라지는 것

## IV. 지하수의 오염방지 그라우팅 공법

### 1. 지하수법에 의한 그라우팅

#### 1) 지하수법 규정

우리나라 지하수법(건설교통부, 1999)에 의하면 지하수 개발·이용시설을 설치하는 경우 지표 또는 지하로부터 오염물질 유입을 방지하기 위한 시설 중 지하심부에 관한 사항으로는

첫째, 지하수 개발·이용시설의 지표하부 보호벽(케이싱) 깊이는 3m이상으로 설치하며 암반층 이하 깊이로 굴착하는 경우에는 암반선까지 설치한다.  
둘째, 지하수 개발·이용시설의 지표하부 보호벽(케이싱) 외부의 그라우팅은 두께 5cm 이상이 되도록 하여, 차수용시멘트로 밑에서부터 충전한다.

라고, 규정하고 있다.

또한, 지하수 업무수행 지침서(건설교통부, 1999)에 제시된 그라우팅에 관한 사항은 다음과 같다.

#### 가. 목적

케이싱과 공벽사이 혹은 내부케이싱과 외부케이싱 사이의 공간에 불투수성 물질을 투입함으로써 ①오염물질로부터 대수층을 보호하고 ②공내 지하수와 접촉하는 케이싱을 보호하고 ③선택된 지역을 밀봉하기 위하여 실시한다.

#### 나. 그라우팅 재료

시멘트, 골재, 물을 주로 하고 첨가물로 모래, 벤토나이트, 수화석회 등을 사용한다.

#### 다. 주의사항

그라우팅은 최소 5cm 이상의 두께로 실시하며 설치하는 장소에 빈 공간이 생기지 않도록 완전히 봉한다.

상기에 제시된 것을 주 골자로 한 지하수법에 의하면 취수정 설치를 위한 토지 굴착 후 케이싱을 설치하고나면 토지굴착부위와 케이싱사이에는 공간이 발생하게 되는데 이 주변공간이 5cm이상 되도록 굴착을 하고 차수용시멘트(체적상으로 3%의 벤토나이트를 함유한 시멘트, 물과 시멘트 혼합물의 중량비 = 1:2)로 주입하여 그라우팅을 실시하도록 하고 있다(Fig. 4-1). 이 때 케이싱이 길어지는 경우 스프링 성능을 갖고 있는 중심틀(Centralizer)을 케이싱 용접시마다 케이싱 외부(4군데씩)에 부착하여 케이싱이 중앙에 위치하게 하고 차수용시멘트가 균일하게 부설될 수 있게 함으로써 그라우팅의 효과가 충분히 나타날 수 있도록하는 것이 바람직하다고 보고 있다. 또한, 차수용시멘트를 주입하기 전에 청수나 착정용수를 공저(밑바닥)로부터 역순화시켜 주변공간을 깨끗이 청소해야 하고, 그라우팅은 케이싱 외부 밑바닥 주변공간부터 차수용시멘트가 하부에서 상부로 충전 되도록 역압력(압축공기에 의한 역순환)방법으로 실시해야 하며, 주입시멘트가 지표로 역류될 때까지 시행하도록 제시하고 있다.

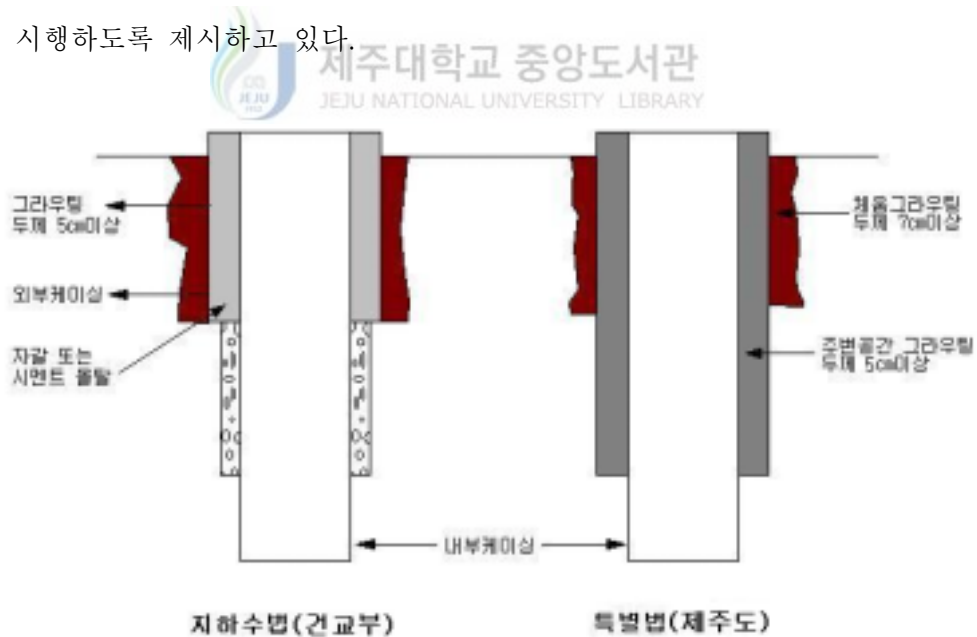


Figure 4-1. On underground technique and Jeju Island special law groundwater tube well standard equipment

## 2) 제주도 특별법 규정

제주도는 수원 공급원의 대부분을 의존하고 있는 지하수 자원을 보호하는 노력이 계속되고 있으며, 2000년에 개정된 제주도 개발 특별법 상에는 지하수 개발에 따른 규제를 강화시키고 있다. 개정된 특별법과 관련하여 제주도지하수 개발·이용시설 등의 기준을 제시하고 있고, 그 기준상에 규정하고 있는 그라우팅에 관한 사항은 지하수법과는 다소 차이를 보인다.

그 주요사항은 지표면으로부터 최소 30m 이상(주대수층이 30m이내에 분포하고 있을 경우는 주대수층 상부까지)은 반드시 채움그라우팅을 실시하도록 하여야 하며, 케이싱파이프 설치 후 굴착공벽과 케이싱 파이프 사이의 주변공간 그라우팅은 지표면으로부터 주대수층 상부까지 시공하여야 하고, 그라우팅 시공을 해야할 심도가 너무 깊어 시공이 불가능하다고 판단될 경우 지표로부터 최소 50m 구간은 반드시 실시하도록 하고 있다(Fig. 4-1). 또한 주변공간 그라우팅 시 그라우트재가 대수층으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 그라우팅 심도 최하부면에 packer(밀봉장치)를 장착하여야 하며, 그라우트 재료는 tremie<sup>5)</sup> pipe 등을 이용하여 바닥에서부터 상향식으로 지표로 역류될 때까지 주입시켜야 한다. 그라우팅 두께는 채움그라우팅 구간은 최소 7cm 이상, 주변공간 그라우팅 구간은 최소 5cm 이상 되도록 하여야 하며, 그라우팅 재료는 지하수법과 동일조건으로 제시하고 있다(제주도, 2000).

제주도특별법 상에 규정하고 있는 그라우팅의 가장 큰 특징은 채움그라우팅과 주변공간 그라우팅의 단계적 시공에서 그라우팅 두께를 충분히 확보하도록 제시하고 있다는 것이라 할 수 있다.

---

5) tremie : 수중 콘크리트에 주로 쓰이는 것으로 상부에 깔때기가 달리고 밑에 철관 밀바닥을 끼워 콘크리트가 밑으로 흐르게 하는 기구

## 2. 지하수의 그라우팅 시공방법

지지력 증대 및 차수를 목적으로 하는 그라우팅 공법에는 수많은 종류가 있으나, 대부분이 댐이나 저수지, 교량, 건축물 등의 구조물 시공에 적용되는 공법이며, 실질적으로 지하수개발에 따른 오염방지용 그라우팅 공법에 적용되는 사항은 극히 일부에 불과하다.

주입 그라우팅 중에서도 일반적으로 이용되는 지하수 그라우팅 공법의 종류는, 시멘트와 모르타, 벤토나이트 등을 주입재에 따른 공법과 공내로 응결체를 주입하는 형태에 따른 수 개의 공법이 전부이다.

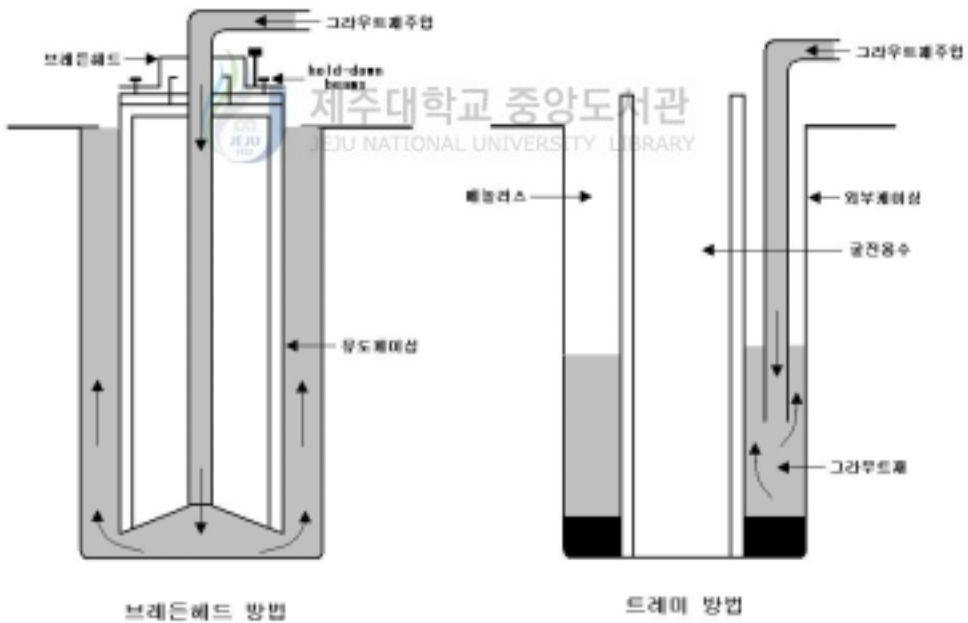


Figure 4-2. Bottom-up pouring in grouting method of construction mimetic diagram

지하수개발은 지표에서부터 심부로 굴착하여 공간을 형성하고 그 공간을 통해 대수층 구간의 지하수를 끌어올려 이용하도록 하는 것이다. 굴착공 내로 지표오

염원이 유입되는 1차적인 통로는 케이싱과 공벽사이의 공간인 애놀러스(annulus)를 통해서이며, 따라서 지하수 개발 시 반드시 그라우팅을 하여 이 공간을 밀폐시켜야 하는데 이 것이 곧 애놀러스 시멘팅(그라우팅)이라 한다. 공내의 공벽과 케이싱 사이 주입되는 응결체의 주입형태에 따른 공법에는 브레든헤드 방법(Bradenhead Method)과 트레미 방법(Tremie Method)이 있다.

브레든헤드 방법은 케이싱 상부에 부레든헤드 또는 시멘트헤드를 밀착시켜 케이싱 내부에서 애놀러스쪽으로, 지표하부에서 상부로 시멘팅하는 방법이며, 트레미 방법은 트레미 또는 그라우트 파이프를 애놀러스 부분 하단에 위치시키고 이를 통하여 시멘트를 애놀러스 하부에서부터 상부로 주입하는 방법이다(Fig. 4-2).

브레든헤드 방법 및 트레미 방법은 모두 지하심부에서 상부로 채워지는 상향식 주입공법이며, 지표에서 투하하는 채움 형태 그라우팅의 문제점을 보완시키는 공법이다.



## V. 제주도 지하수의 그라우팅 공법

### 1. 제주도 지하수의 그라우팅 현황

신생화산도인 제주도의 지하수는 크게 상위지하수, 준기저지하수, 기저지하수의 부존형태를 보이고, 세부적으로는 수매의 저투수층 및 대수층 역할을 하는 지층이 반복적으로 분포되는 특성을 갖는다.

오염원과 쉽게 접촉되는 상부 지층이 오염경로가 되며, 습골·꽃자왈·용암동굴 등의 공동구조가 오염통로 역할을 할 뿐만아니라 상부에 형성된 대수층 구간 또한 이동 경로가 되어 이들 모두가 오염방지 그라우팅의 대상층이 된다. 지하수개발 시 그라우팅의 목적은 오염물질 유입을 방지시키는 데에 있으나, 지하수 이용의 대상이 되는 대수층을 보호해야하는 기본사항이 전제되어야 그 시공가치가 있는 것이다.

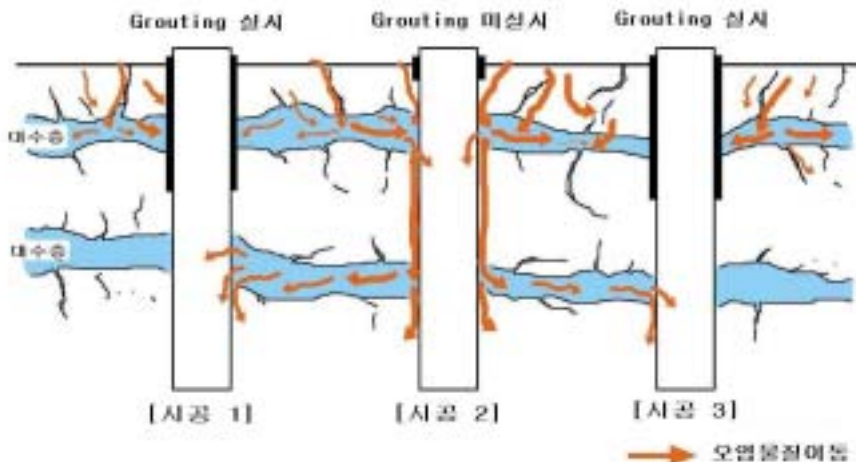


Figure 5-1. Grouting target base and construction example



Fig. 5-1은 육지부 충적층 지하수개발과는 차이를 보이는 제주도 지하수개발공의 그라우팅 대상층 및 지층모식도를 간략하게 제시하고 있다.

시공2와 같이 지표처리 외에 그라우팅을 실시하지 않을 경우는 오염물질이 쉽게 유입되고, 유입된 오염물질이 공벽과 케이싱외벽 사이의 공간을 통하여 심부로 이동되어 이용대상이 되는 하부대수층구간까지 오염시키는 경로를 보여주고 있으며, 따라서 상부 대수층 차단 필요성을 동시에 보여주고 있다. 시공1 및 시공2는 지표에서부터 상부대수층 구간은 물론 균열 및 절리를 포함하지 않는 심부 저투수층까지 그라우팅을 실시한 것을 나타내고 있으며, 시공1에 비해 시공3의 굴착공은 상부대수층 구간이 협소하나 이들 또한 오염물질 이동경로 역할을 하기에는 충분한 구간이므로 차단시키고 있다.

## 2. 그라우팅 공법 적용의 문제점



### 1) 주입공법상의 문제점

지하수법 및 제주도 특별법 상에는 그라우팅을 트레미 파이프 등을 이용한 상향식 주입을 하도록 규정하고 있으나, 일반적인 시공 시에는 상향식 주입 외에, 상부에서 그라우트재를 투하시켜 채우는 형식도 많이 적용되고 있다.

여기서는, 육지부의 지하수 개발공 상부구간에 공벽과 케이싱 사이에 실시되는 채움그라우팅과는 다른 의미로 주입방법에 따른 채움그라우팅 공법을 뜻하는 것이며, 그라우트재를 지표에서 투하하여 하부에서 상부로 Over flow(월류) 시키는 방법으로 시멘트 혼합물의 혼합비에 따라 수밀성의 차이가 크게 된다.

이 방법의 문제점은 첫째, 수위하에서 그라우팅이 이루어질 경우, 시멘트혼합물의 투하 중 혼합물이 분리현상을 일으켜 그라우팅이 이루어지지 못하게 된다. 둘

제, 슬라임 및 낙석 등으로 인해 공동이 발생할 우려가 있다는 것이다. 셋째, 공벽의 절리구간이나 파쇄구간에는 그라우트재의 침투가 용이하지 않다. 이에 따라, 지하수법 및 제주도 특별법 상에는 트레미 파이프 및 그라우트 파이프를 이용한 상향식 주입공법을 규정하고 있으며, 특히 굴착공벽의 지층이 붕괴될 가능성이 많은 제주도 지하수 개발에 있어서는 그라우팅 대상심도까지 주입파이프를 삽입하여 상향식으로 실시해야 하는 것은 불가피한 사항이다. Fig. 5-2는 트레미 파이프를 이용하지 않고 상부에서 그라우트재를 투하시키는 채움그라우팅 시 파쇄대 구간에서 낙석되는 모식도를 보여주고 있다.

육지부 충적층 지하수와 비교하여 제주도 지하수 개발 그라우팅 시공 시 문제가 되는 사항은, 첫째로 상부 구간에서 유입되는 지하수량이 많아 그라우트재가 분리될 가능성이 있으며 둘째, 클린커구조 및 스코리아층이 분포되고 균열 및 절리구간이 많아 그라우팅 시 세굴 또는 낙석될 우려가 있다. 이에 따라 급결제를 사용하는 경우가 많은데, 급결제 사

용 시 발생하는 문제점은 응결, 경화시간의 단축으로 양생시 과도한 수축 균열이 발생되어 Grouting의 목적 및 기능이 상실할 우려가 있고, 초기 양생기간의 압축강도는 증가하나, 양생기간이 지날수록 혼화재(급결제) 미사용 시보다 강도가 떨어지게 된다. 또한, 그라우트재에 대한 급결제의 혼합비와 그 효과에 대한 실적용 사례가 없어 적용에 어려움이 따르고, 급결제 사용으로 인한 응결, 경화

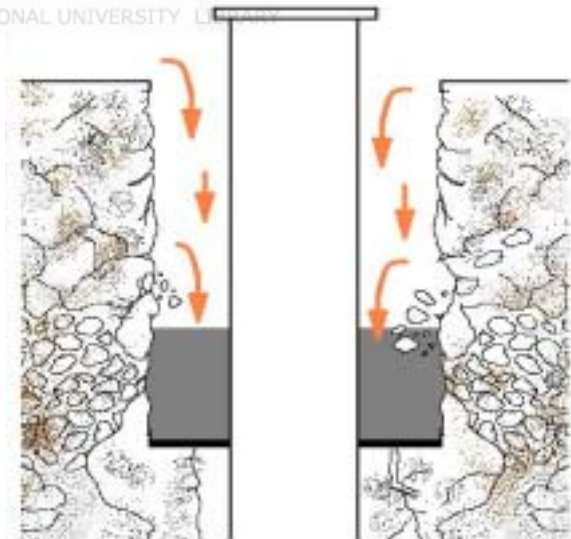


Figure 5-2. Falling rock state of that fill grouting city sill fractured zone section

시간의 인위적 변화로 그라우팅 시 몰탈 주입량에 따른 Mortar 배합 생산량의 정확한 조절이 필요하나 이의 조절에 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다.

## 2) 주입재료상의 문제점

### (1) 투수계수에 대한 검토

일반적으로 용액형 주입재는  $k=10^{-3}$ cm/sec의 투수계수를 가진 지반에 적합하며, 일반적으로 지하수 오염방지 그라우팅에는 현탁액형 주입재를 이용하도록 규정하고 있다. 제주도 특별법 상에 제시된 주입재 차수용시멘트는 체적상으로 3%의 벤토나이트를 함유한 시멘트, 물과 시멘트 혼합물의 중량비 = 1:2로 규정하고 있다.

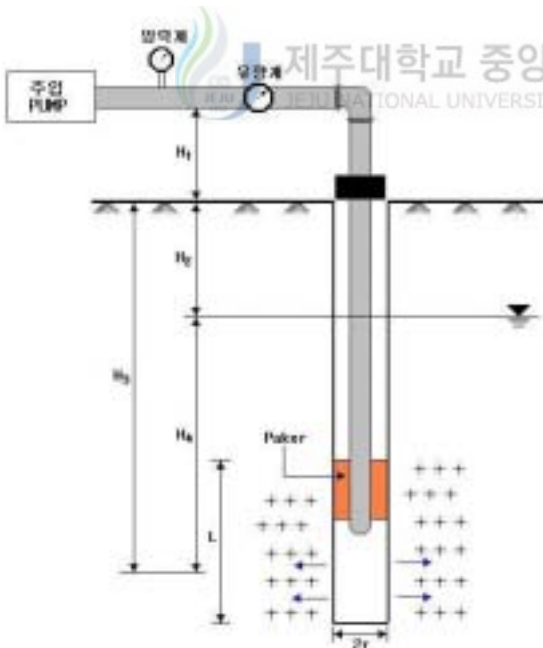


Figure 5-3. Permeability test mimetic diagram

그러나, 이들 규정은 육지부의 충적층 및 화강암 지대 지하수를 기준으로 하여 적합한 재료를 설정한 것이며 균열 및 절리가 발달한 현무암류가 주를 이루는 제주도 지질특성상 동일한 것을 적용시키는 것은 무리가 따른다.

조립실트에 해당되는 충적층의 평균 투수계수는  $4 \times 10^{-5}$  정도이나, 지층 구조가 상이하며 균열을 포함하는 제주도 현무암 지

대의 투수계수를 파악하기 위하여 제주도내 일부 지점에서 투수시험이 실시되었다.

Fig. 5-3에 보여지는 것처럼 packer를 이용한 주수시험을 실시하였고, 심도 10m 내외에서 실시된 시험구간에 지하수위는 존재하지 않고 있다.

수차례 시험을 반복한 결과, 대부분 시험 시 주수하자마자 곧 누수되어 무압상태로 주입된다.

투수계수는 제주도내 일부 지점을 선정하여 주수시험을 통해 산정된 것이며, 그 결과는 Table 5-1와 같으나, 극소수에 불과하므로 제주도 전역을 대표할 수는 없고, 개략적 검토용으로 이용될 수 있다.

Table 5-1. Permeability coefficient arbor in the mountains result of Jeju Island basalt layer

위 치	시험방법	투수계수(cm/sec)	비 고
한경면 고산리	현장주수시험	$4 \times 10^{-2}$ 이상	
서귀포시 색달동	현장주수시험	$2 \times 10^{-1}$ 이상	
표선면 성읍리	실내투수시험	$1.4 \times 10^{-3}$ 이상	

이와 같이 투수계수가 높은 제주도 신생화산 지층구조에서의 그라우팅은 육지부 보다 배합되는 물의 양을 줄여 물:시멘트 중량비 = 1:4까지 적용할 수 있으며, 응결제를 이용하여 지하수공에서 멀리 떨어진 곳까지 쉽게 침투되는 것을 차단시켜 필요한 대상구간만을 효율적으로 그라우팅 하는 방법이 적절할 것이다.

## (2) 공동구간의 차단

제주도 내에 실제적으로 개발·이용되고 있는 지하수 공 중에 그라우팅 시

공동구간이 분포한데 따라 주입량이 큰 차이를 나타내는 공이 확인된다(Table 5-2).

표선3수원의 1호공, 2호공, 3호공에서 굴착경 및 정호경(내부케이싱) 구경이 동일하고 그라우팅 심도가 비슷하나 즉, 그라우팅 대상체적은 유사하나 실질적으로 그라우팅 시 주입된 모르타량은 큰 차이를 보인다. 이는 3호공의 경우 균열 및 절리가 매우 발달된 부분이 있어 이 구간에서 주입재가 주변공간으로 유실됨에 따른 것이다. 본 시공 시, 3호공의 경우는 공동구간을 차단시키기 위하여 시멘트와 혼합되는 물의 양을 줄이고, 시멘트보다 입도가 큰 골재를 혼합하여 그라우팅 실시하였다.

만약 이런 대안책없이 규정상의 모르타만을 주입했다면 공동구간으로 유실된 주입재가 하부로 이동되어 이용대상이 되는 대수층을 차단시켜버리는 문제점이 발생 할 우려가 있다. 따라서, 제주도 지하수의 그라우팅은 응결 및 경화, 차수에 최적인 규정상의 재료(차수용시멘트; 체적상으로 3%의 벤토나이트를 함유한 시멘트, 물과 시멘트 혼합물의 중량비 = 1:2)를 사용하는 것도 중요하지만, 사전에 굴착공의 상태를 파악하여 오염방지 목적을 달성할 수 있으면서도 하부 대수층으로의 그라우트재 유출을 차단시킬 수 있는 유동적인 그라우팅 공법을 적용할 필요성이 있다.

Table 5-2. Pyoseon No. 3 grouting construction present condition

위 치	굴착경 (mm)	정호경 (mm)	그라우팅심도 (m)	주입량 (m <sup>3</sup> )	비 고
표선3수원 1호공	450	300	65.9	8	
표선3수원 2호공	450	300	66.1	7	
표선3수원 3호공	450	300	68.7	21	

### 3) 공극에 따른 문제점

균열 및 절리가 발달되고, 연·경이 교호(交互)될 뿐만 아니라 화산쇄설층 등의 미고결층 및 암반층이 교호되는 제주도 지질특성상 지하심부로 굴착할 경우 공이 훔 가능성이 많다. 이에 따라, 굴착 후 내부 케이싱을 설치할 경우 케이싱이 Hole 중심에 설치되지 못하고 한쪽으로는 공벽에 닿게 되는 현상이 발생하는 것이다. 이럴 경우, 그라우팅을 실시하더라도 일정두께를 유지하기 어려우며, 케이싱과 공벽이 닿는 부분은 오염물질이 유입될 가능성이 있다.

이런 문제점을 방지하기 위해서는 1차적으로 내부 케이싱 설치 시 공 중심에 설치되기 위한 centralizer를 케이싱에 부착시켜야 하고, 2차적으로는 그라우팅 두께를 두껍게 해야 한다. 이에 따라, 2000년 개정된 제주도개발특별법 지하수개발·이용시설 등의 기준에 의하면 그라우팅 두께를 채움그라우팅의 경우 7cm이상, 주변공간 그라우팅 구간은 5cm이상으로 규정하고 있다. 또한, 공벽과 케이싱 사이 외에 지표 및 지층 중간 균열부를 통해 오염물질이 유입되는 것을 방지하기 위하여 채움그라우팅을 실시 하도록 하고 있는데, 이는 그라우팅 두께를 확보하기 위한 것보다는 그라우트재의 압력에 의해 주변으로 수평적 침투를 용이하게 하기 위한 것이므로 반드시 상부구간을 굴착하여 채움그라우팅을 실시한 후 재 천공하는 시공순서를 지켜야 한다. 이렇게 채움그라우팅 구간에서 그라우트재의 압력으로 주변 침투가 잘 이뤄졌을 경우 공극이 발생하더라도 그라우팅 두께가 얇아진 것에 따른 오염물질 유입 가능성은 희박할 것으로 보인다.

## VI. 결 론

수차례의 화산분출에 의해 형성된 제주도의 지층분포는 오염에 취약한 투수성지질구조가 많이 분포되고 있으며, 지하수개발·이용을 위해 굴착된 지하심부에서도 암층 경계면의 클린커구조, 균열 및 절리, 용암터널 등 오염경로 역할을 하는 구조들이 다수 형성되고 있다.

이런 지질구조로 인해 지표상부 또는 굴착공벽과 케이싱 사이에 오염방지 그라우팅 시설이 절실히 요구되는 것은 물론이며, 투수성이 매우 양호한 지질구조 및 균열·절리 구간을 통해 파쇄된 부분의 그라우팅은 시공상에 많은 어려움이 따르고 있다.

지하수 오염방지 그라우팅에 관한 기존 자료 및 실제 시공예를 바탕으로 검토한 결과, 제주도 지하수 그라우팅에 적합한 시공방법을 다음과 같이 제시할 수 있다.

그라우팅 대상구간 하단부까지 주입파이프를 삽입하여 파이프 내로 그라우트재를 주입시켜 하부에서부터 상향식으로 압력이 주입되게 해야 한다. 본 공법은 기존에 제시되어 적용되는 것이나, 특히 제주도는 균열·절리 구간 및 스코리아층, 클린커층 등의 파쇄대 구간에서 낙석될 가능성이 많으므로 상부에서 투하시키는 채움공법은 피해야 하므로 상향식공법의 필요성이 크다고 할 수 있다.

지하심부에 또한 공동구간 및 대규모 균열·절리구간을 포함하고 있으며, 투수계수가 높아 이들 구간에서 주입량이 과대하게 주입될 경우 주변으로 침투된 그라우트재가 하부의 대수층을 차단시키는 결과를 초래할 우려가 있다. 따라서, 공 상태에 따라 지하수법상에 제시되고 있는 물:시멘트 중량비 = 1:2 보다는 물의 양을 감소시키고, 그라우트재의 입도가 큰 것을 혼합시켜 그라우팅을 실시해야 한다.

균열 및 절리가 발달되고, 연·경이 교호될 뿐만 아니라 화산쇄설층 등의 미고결층 및 암반층이 교호되는 제주도 지질특성상 지하심부로 굴착할 경우 공극현상이 생길 가능성이 크며, 이에 따라 공내에 설치된 케이싱이 치우쳐 공벽에 닿게 되는 현상이 발생되어 그라우팅을 실시하더라도 일정두께를 유지하기 어렵다. 따라서, 그라우팅 시공 시 1차적으로는 내부 케이싱 설치 시공 중심에 설치되기 위한 centralizer를 케이싱에 부착시켜야 하고, 2차적으로는 그라우팅 두께를 두껍게 해야 한다.

주입재의 과대 투입 및 필요이상 구간의 그라우팅 방지, 또한 공동구간의 차단용이하게 하기 위하여는 주입재의 유동성있는 선정이 필요하며, 이를 위해서는 무엇보다도 공벽상태를 확인해야 한다. 굴착공 상태를 정확히 확인하는 방법으로는 CCTV 검층을 통해서이며, 공동구간이 형성되거나 Hole이 붕괴되기 쉬운 제주도 지역에서는 그라우팅 시공작업에 필수 요건으로 CCTV 검층을 실시하여야 할 것이다.

지하수의 그라우팅 시공은 오염물질 유입을 차단시키는 것이 목적이며, 또한 이 용대상이 되는 대수층 구간을 보호해야하는 것은 근본적인 문제이다. 따라서, 제주도의 그라우팅은 굴착공 상태에 따라 주입재의 선정 및 주입방법에서 어느 정도 유동적인 요소를 갖는다.



## 참고문헌

- 건설교통부, 1999, 지하수 업무수행 지침서, 240~245p.
- 건설교통부, 1999, 지하수법령집, 133pp.
- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위논문, 325pp.
- 과학기술, 1995, 지하수 개발과 환경대책 총기술, 820~858p.
- 농어촌진흥공사, 1994, 토목지질실무지침서, 293pp.
- 농어촌진흥공사, 1997, 직무교육교재, 412pp.
- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 해양연구소 논문집, 161~163p.
- 송시태 · 고기원 · 윤선, 1996, 제주도 지하수의 함양과 오염에 미치는 숨골구조와 곳자왈 지대에 관한 연구, 대한지하수환경학회 학술발표회논문집 68~69p.
- 일본 연약지반 대책 기술위원회, 1995, 토목건축시공자를 위한 실용연약지반대책공법 총기술, 동화출판, 809pp.
- (주)가원주택, 1999, 지하수영향조사서, 104pp.
- 제동홍산(주), 1996, 환경영향조사보고서, 756pp.
- 토목공법연구회, 1996, 지반개량공법(조사·설계·시공), 창우출판, 257~258p.
- 토목공법연구회, 1995, 연약지반대책공법(조사·설계·시공), 창우출판, 243~244p.
- 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 588pp.
- 96응용지질 WORK SHOP, 1996, 대한지질공학회, 120pp.

## 감사의 글

만학의 꿈을 안고 캠퍼스로 향하던 첫 발걸음은 예전의 설레임보다는 조금은 두려운 마음이 앞섰습니다

이제 어느덧 세월이 흘러 한편의 논문으로 그 결실을 맺으려 합니다. 이 한편의 논문이 제주도 지하수의 오염방지에 미력이나마 도움이 되었으면 합니다.

전문적인 지식이라고는 어깨너머로 배운 것이 전부인 저에게 용기와 희망을 심어 주시고, 이 논문을 쓸 수 있도록 동기를 부여해 주신 “양성기 지도교수님”에게 진심으로 고마운 말씀을 드립니다.

또한, 바쁜 일과 중에도 논문의 완성을 위하여 힘써주신 이병걸 교수님과 김상진 교수님께도 감사 드리며, 지난 3년 동안 가르침을 주신 김남형 교수님, 박상렬 교수님과 남정만 교수님께도 감사 드립니다.

그리고 그라우팅에 관한 자료정리와 편집을 도와준 고 건 조교께도 고마움을 전합니다.

돌이켜 보면 대학원 생활 중 가장 보람 있었던 것은 학문 못지 않은 동기들의 우정이 아니었나 생각합니다. 혼자 머뭇거리고 있을 때 곁에서 격려를 아끼지 않은 (주)상아엔지니어링의 전명택 사장님, 제주대학교 시설과의 김창식 계장님을 비롯한 동기여러분에게 감사 드리며, 함께 하였던 시간들은 아름다운 추억으로 소중하게 간직하겠습니다.

무엇보다도 오늘이 있기까지는 가족들의 도움이 컸습니다. 어려움 속에서도 세 아이들을 뒷바라지하며, 항상 밝은 모습으로 정성을 다해 보필해준 사랑하는 아내 애지와 이 기쁨을 함께 하고 싶으며, 어느새 훌쩍 커 버린 큰딸 예나, 꼭 하버드대학을 나와서 의사가 되겠다고 다짐하는 둘째딸 정옥이, 그리고 귀염둥이 막내 용석이에게 이 작은 결실이 위안의 선물이 되었으면 합니다.

감사합니다.