

碩士學位論文

濟州道 地下水의 開發과
原狀復舊技術에 關한 研究



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

高 建

2005 年 1 月

濟州道 地下水의 開發과 原狀復舊技術에 關한 研究

指導教授 楊 城 基

高 建

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



高建의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2005 年 1 月

A RESEARCH ON THE DEVELOPMENT AND
RESTITUTION TECHNIC OF GROUDWATER
IN JEJU ISLAND

Gun Ko

(Supervised by Professor Sung-Kee Yang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for
the degree of Master of Engineering

2005. 1.

This thesis has been examined and approved.

Department of Civil & Ocean Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

目 次

目 次	i
LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
I. 서론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	2
3. 연구의 방법	3
II. 제주도의 수문지질학적 특성	5
1. 지질특성과 지하수의 부존형태	5
2. 수리수문학적 특성	6
III. 지하수의 개발과 이용현황	8
1. 지하수의 개발현황	8
2. 지하수의 이용현황	9
IV. 지하수의 폐관정 현황	11
1. 폐공의 정의와 발생원인	11
2. 지하수 오염과 폐공	12
3. 폐관정의 현황	15
V. 지하수 관정의 개발공법	17
1. 지하수 관정의 개발과 이용과정	17
2. 지하수 오염방지 공법	18
3. 오염방지 공법의 시공	20
4. 오염방지 공법의 문제점	40
5. 오염방지 공법의 개선방안	46
VI. 폐관정의 재활용과 원상복구	48
1. 폐관정의 재활용	48
2. 폐관정의 재활용 과정	50
3. 폐관정의 원상복구	57
4. 지질에 따른 주입량 산정	66
5. 원상복구의 시공상 문제점	69
6. 원상복구 기술의 개선방안	70
VII. 결론	72
참고문헌	76

LIST OF TABLES

Table 1. Characteristics of irrigation sluice in Jeju Island	7
Table 2. Groundwater transit time and application argumen	7
Table 3. Situation of ground water development in Jeju Island	8
Table 4. Status of use of ground water in Jeju Island	9
Table 5. Use vs optimum development of ground water	9
Table 6. Status of abandoned well restoration by type	16
Table 7. Status of abandoned well restoration by year	16
Table 8. Location of agricultural wells in Seogimnyeong #2 District	22
Table 9. Particulars on boring diameter and final depth by piezometric head and depth	31
Table 10. Particulars on wells such as grouting depth and materials	31
Table 11. Geologic column of #1 well	32
Table 12. Geologic column of #2 well	35
Table 13. Estimated coefficient of permeability	43
Table 14. Status of grouting work in Pyoseon #3 water source	44
Table 15. Calculation method of cement feeding (kg/m)	66
Table 16. Feeding ratio by subject of the soil	69

LIST OF FIGURES

Figure 1. Distribution of wells of ground water in Jeju Island	10
Figure 2. The case of contaminant inflow in Hamyang territory	14
Figure 3. The case of infiltration into discontinued aquifuge layer	14
Figure 4. Inflow of contaminated ground water during well pumping	14
Figure 5. Dispersion of infiltrated contaminant into other aquifer	15
Figure 6. The case of contamination of ground water with dump site contaminant	15
Figure 7. Development and treatment process of abandoned wells of ground water	17
Figure 8. Influence of grouting condition	20
Figure 9. Map of field search of grouting for prevention of ground water contamination	22
Figure 10. Location of search subject in Seogimnyeong #2 District	23
Figure 11. Structure of facilities for ground water development in Seogimnyeong #2 District	25
Figure 12. Feature of operations in Seogimnyeong #2 District	27
Figure 13. Location of search district in Lakehills C.C.	28
Figure 14. Location of ground water development	29
Figure 15. Procedure of contamination prevention construction in #1 well	30
Figure 16. Grouting well diagram (#1 well)	37
Figure 17. Grouting well diagram (#2 well)	38
Figure 18. Diagram of falling stones in rock fracture zone section	41

Figure 19. Diagram of water permeability	42
Figure 20. Procedure of recycling	50
Figure 21. Procedure of recovering (re-reclaiming)	58
Figure 22. Casing recover & removal	61
Figure 23. Diagram of insertion of tremie pipes	63



SUMMARY

The purpose of this study is to investigate and search the technology for treatment and restoration of abandoned wells through survey of contamination preventive measures of ground water wells that meet geological characteristics of Jeju Island and wells with ambiguous purpose so as to prevent contamination of ground water that is the life water for Jeju Island and develop, use, and preserve qualified ground water efficiently. wells bored to use ground water in Jeju Island have broken parts along to geological structure with very excellent permeability and crack/joint section, which have many problems in construction for contamination prevention and restoration.

During the process of construction for contamination prevention, filling technique should be avoided and up-stage technique (tremie technique) should necessarily be adopted; in terms of mixture ratio for grouting materials, grouting should be performed with mixture of large particle sizes of grouting material with decreased quantity of water rather than 1:2 (w/w) ratio of water and cement.

Wells with ambiguous purpose after development for ground water use should be used as water supply wells and monitoring wells. However, in case of no value for utilization, restoration should be executed and underground inflow of contaminants should be prevented. restoration of abandoned wells in Jeju Island was executed at 284

wells and the work is being executed until now.

Recover of abandoned wells should be executed with identification of actual stratum after establishment of construction plan through accurate analysis of stratum and performance of CCTV logging. In this procedure, integrated re-reclamation of non-permeable layer should be made other than re-reclamation of whole, to protect ground water with prevention of flow in of contaminants on the ground.

Removal of casing from abandoned wells during restoration work is very difficult in technology. Casing itself may act as a contaminant when it is lost with followed corrosion and production of slime. To avoid this event, a flexible construction method should be adopted with consideration of the condition of the place and ground water should be protected from contamination with casing and rapid progress of corrosion.



I. 서론

1. 연구의 배경

화산활동에 의하여 형성된 제주도는 특이한 지형과 지질적 조건으로 인해 예로부터 물이 귀한 지역이었다. 따라서 자연히 취락지역도 해안지역 또는 중산간 지역의 용천수를 중심으로 형성되어 용천수는 귀중한 식수원 되었다(한, 2002). 그러나 신생화산도로서 매우 양호한 투수성과 다량의 지하수체를 확보할 수 있는 수문지질학적 특성을 가지고 있다. 국내 최다우지역인 제주도의 연강수량은 1566.9mm로서 풍부한 수자원을 보유하고 있으나 평상시 대부분의 하천은 건천이나 호우시는 하천수가 단시간에 유출이 발생하여 타지방과는 상이한 강우특성을 가지고 있다. 이 같은 수자원의 부존특성으로 인하여 표류수의 개발과 이용이 거의 불가능함에 따라 1960년대 말부터 수자원의 개발에 관심을 기울이게 되었다(변, 1999).

1970년대에 들어서면서 제주도는 용천수를 이용한 상수원 개발과 지하수 개발을 본격적으로 시행하여 강정천과 외도천을 개발하였으나 제주도 전역의 물 문제를 해결할 수는 없었다. 급수 혜택을 받지 못하는 중산간 지역 주민의 생활용수는 물론 제주도 개발의 관건인 농업 및 공업용수의 확보도 절실한 문제로 대두되었다. 이때부터 용수 개발을 위한 근본적 대책이 필요하게 되어 제주도의 지하수 개발로 물 문제를 해결하는 새로운 전기를 맞이하게 되었다. 이로 인하여 생활과 농업에 이용하기 위한 다목적 지하수 관정 개발사업이 본격적으로 추진되어 급수가 불가능한 중산간

마을에도 상수도가 보급되기 시작하였다. 1983년에는 급수 사정이 제주도 인구 47만4000명 가운데 98.6%인 46만7700명이 생활용수를 공급받음으로써 상수도 보급률 전국 1위를 차지하는 비약적인 발전을 거듭하였다.

이후 중산간 개발과 생활수준의 향상, 관광산업의 발전과 농·수·축산 수요 증가 등의 영향으로 인해 농업용과 생활용 및 기타 용수에 대한 수요가 급증하게 되어 무분별하게 지하수의 개발이 제주도 전역에서 이루어졌다. 식수난의 해결과 농업 및 산업용수 등의 확보를 위해 적극적인 개발이 이루어졌던 도민의 생명수인 지하수를 체계적으로 관리하고 지켜 나가는 것이 새로운 과제로 대두되었다. 무분별한 사설 관정개발은 수량 및 수질면에서 효용성이 낮아 방치된 폐관정이 도내 곳곳에 산재하고 있으나 특별한 조치와 관리를 하지 않고 있는 실정이었다. 그러나 최근에 들어 제주도는 폐관정에 대한 일제조사를 2003년도에 실시하여와 원상복구와 관리에 대해 관심을 가지기 시작하여 대대적인 정비방안을 마련하는 지하수 보존 정책이 시행되고 있다.

이 같은 폐관정은 제주도의 생명수인 지하수를 심부까지 직접적으로 오염시키는 통로 역할을 하고 있어 그 심각성은 날로 더해가고 있는 실정이다. 따라서 제주도의 지하수 개발시 현장의 실정에 적합한 지하수 오염방지공법과 폐공시 원상복구기술의 개발이 절실한 실정이다.

2. 연구의 목적

제주도는 화산지질의 특성상 투수성이 큰 지질구조를 하고 있어 오염물질의 지하유입이 쉬운 조건이다. 지하수 개발 시 지표 및 지하오염물질의

유입을 방지하기 위한 시설이 미비하고 또 기존에 개발된 지하수 관정에 대한 관리의 소홀과 폐공의 방치 등으로 인해 농약 및 생활하수 등의 오염물질이 지표로부터 지하로 침투되기 쉬운 취약성이 있다. 이 같은 오염의 유입은 지하부에 동수구배를 따라 유동하고 있는 지하수를 급속히 오염시킬 수 있다.

이 연구에서는 제주도의 생명수인 지하수의 오염을 방지하고 양질의 지하수를 효율적으로 개발·이용하고 보전하기 위해 제주도의 지질특성에 적합한 지하수 관정의 오염방지 기술의 검토와 폐관정의 처리 및 원상복구 기술을 연구한다.

오염물질이 유입되는 1차적인 지질구조 외에, 굴착과정에서 공벽 및 케이싱 주변으로 생기는 2차적인 오염경로를 차단시키기 위한 지하수 오염방지 공법에 대해 검토한다. 또한, 개발 후 그 용도가 불분명해진 관정의 현황을 조사하고 이들 관정을 급수정 및 관측정으로 재활용하거나 원상복구하는 기술을 연구·조사하는 것이 이 연구의 목적이다.

3. 연구의 방법

제주도의 지하수 개발 시 오염을 방지하고 양질의 지하수를 효율적으로 개발·이용하기 위해 지질특성에 적합한 오염방지 기술의 검토는 기존의 연구결과를 통해 일반적인 오염방지 공법을 분석하였다. 이를 실제 현장에 적용하기 위해 제주도내 6개 지점(북촌2지구, 월림지구, 한원지구, 월평1지구, 서김녕2지구, 중문지구(레이크힐스 제주C.C))에서 굴착된 주상도를 분석하고 이를 토대로 직접 현장에서 오염방지공법을 시공하여 문제점을 분석·검토하였다.

제주도의 지하수를 보전하기 위해 폐관정의 처리 및 원상복구 기술을 연구하였다. 제주도의 화산지질에 적합한 원상복구기술을 제시하기 위하여 제주도 전역에서 이루어진 원상복구현황을 연도별·지역별로 조사하고, 원상복구 현장을 선정하여 개발시 기록된 지질주상도를 상세히 분석하여 지층 분포 및 특성을 파악하여 현황파악을 하였다. 현재 폐공 및 원상복구가 진행된 2개공의 관정에 대하여는 현장에서 직접 투수시험을 실시하고 투수계수를 산정하여 수리 특성을 조사하였다. 또한 실제 현장에서 시공상의 문제점을 파악하여 제주지역 실정에 적용이 가능한 기술을 도출하였다.



Ⅱ. 제주도의 수문지질학적 특성

1. 지질특성과 지하수의 부존형태

제주도는 신생대 제3기말에서 제4기초에 걸쳐 수십 회 이상의 화산활동에 의해 형성된 휴화산으로서 현무암류가 주를 이루며 조면암, 조면암질 안산암, 응회암 및 화산쇄설층, 퇴적층 등으로 형성되었다. 화산암에 분포하는 지하수는 화산도가 지닌 지질 및 지형적 조건으로 인해 특이한 부존양상을 갖는다. 지하수의 부존형태를 결정하는 수문지질학적인 주 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 하기도 하나, 흐름을 차단시키거나 저류할 수 있는 공간을 공급하면서 지하수의 부존 형태를 결정하는 주요 요인이 된다.

제주도 지하수의 부존 형태에 관한 최근의 연구되는 서귀포층의 지하 분포 상태, 지하수위 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 구분하는데, 지역별로는 동부지역 및 서부 일부 지역의 해안변에 기저지하수가 분포하고,

그 외의 도 전역에 준기저 및 상위지하수가 분포하여 상당부분이 해안을 따라 용출되고 있다(고, 1997).

상위지하수는 일종의 부유 지하수로서 강우량에 따라 유량 변화의 폭이 크며 수질이 비교적 양호한 편이다. 기저지하수란 염수와 담수의 비중 차에 의해 담수가 염수 상부에 렌즈 형태로 부존 하며 조석의 영향에 의해 해수와 담수가 혼합된 점이대가 발달되어 있다.

준기저지하수는 지하에 저투수성 퇴적층인 서귀포층이 지하 분포 심도에 따라 상부 준기저 및 하부 준기저 지하수로 구분되며 상부 준기저 지하수는 빠른 선형유속을 가지며, 하부 준기저 지하수는 강우에 의해 지배되고 있다. 기반암 지하수는 해수면 하의 기반암내에 발달된 파쇄대나 절리 등과 같은 곳에 부존하고 있는 강우기원의 심부지하수이다.



2. 수리수문학적 특성

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

수차례의 화산분출에 의해 형성된 제주도의 대수층은 투수성이 매우 양호하고 저류량이 풍부할 뿐만 아니라, 부분적으로 이들 대수층을 차단시켜주는 저투수층이 분포하고 있다. 이 같은 특징은 육지부의 충적층 지하수와는 부존형태 및 유출형태, 수리상수 등에서 큰 차이가 있다.

제주도 수자원의 지속적인 관리·보전 대책의 일환으로 조사된 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ, 2003)에 의하면, 제주도의 지하수의 수리수문 특성은 Table 1과 같이 제주도 전 지역에서 농업용 공공관정 309공을 대상으로 조사한 결과 평균 양수량은 $969.6\text{m}^3/\text{day}$ 이고, 평균 비양수량은 $283.8\text{m}^2/\text{day}$ 로 이며, 투수량계수는 $1,953.9\text{m}^2/\text{day}$ 로 조사되었다.

Table 1. Characteristics of irrigation sluice in Jeju Island(제주도, 2003)

Drainage area	Statistics	Pumping quantity (m ³ /day)	Specific quantity (m ² /day)	Transmissivity (m ² /day)	Storage coefficient
전체 (309공)	평균	969.6	283.8	1,953.9	0.12
	중앙값	800.0	83.3	76.7	0.11
	최소값	70.0	1.5	1.14	0.00
	최대값	2,810.0	143,130.0	87,100.0	0.42
	범위	2,740.0	13,128.5	87,098.9	0.42

Table 2는 1998년까지 개발된 17개 수역별로 지하수의 양수시험 해석 자료를 나타낸 것이다. 각 수역별 대표관정을 선정하고 총 279공을 검토한 결과 제주도 지하수의 수리전도도는 평균 10.09m/day이며, 평균 유속은 175.93m/년으로 나타났다. 따라서 제주도의 지하수는 수역별로 수리상수 등이 큰 차이를 보이는 수리학적 특성이 있다.

Table 2. Groundwater transit time and application argument (제주도, 2000)

waters	표고200m 지점의 평균수두 (EL.m)	effective porosity (storage coefficient)	hydraulic conductivity (m/day)	hydraulic slope (10 ⁻³)	average velocity (m/년)
average	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

Ⅲ. 지하수의 개발과 이용현황

1. 지하수의 개발현황

제주도 지하수의 개발현황(제주도 광역수자원본부)은 2003년 12월 현재 도 전체적으로 개발된 지하수 관정은 4,891공이며(Fig. 1), 지하수 개발량은 1,489천m³/일이다(Table 3). 시·군별 관정 개발실태를 보면, 남제주군 지역이 전체 관정의 40.4%인 1,965공이 개발되어 있고, 서귀포시 지역은 1,119공(23.2%), 제주시와 북제주군 지역은 각각 893공(17.9%)와 914공(18.5%)이다(2003, 제주도).

지하수 개발량은 남제주군 지역이 전체 개발량의 37.7%인 554천m³/일로 가장 많고, 북제주군 4402천m³/일(29.6%), 제주시 260천m³/일(16.8%), 서귀포시 239천m³/일(16.0%)이다.

Table 3. Situation of ground water development in Jeju Island

(단위 : wall, m³/day)

Division		Total	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군
총계	Places number	4,891	893	1,119	914	1,965
	Derelopment quantity	1,488,858	259,501	235,624	440,019	553,714
	Max a day	1,242,254	251,722	218,014	292,014	479,607
	average a day	315,395	84,607	44,662	87,435	98,691

2. 지하수 이용현황

제주도 지하수의 이용현황은 Table 3과 같이 남제주군 지역이 가장 많이 사용하는 것으로 나타났으며, 용도별로는 2003년 12월 현재 Table 4에서 나타낸바와 같이 농업용이 3,166공으로 전체 지하수 시설의 약 65%를 차지하고 있어 농업위주의 관정개발이 이루어 졌다.

Table 4. Status of use of ground water in Jeju Island(2003.12. 현재)
(단위 : wall, m³/day)

Section	Total	Living use	Industry use	Farming use	Etc.
Places number	4,891	1,492	193	3,166	40
Derelopment quantity (m ³ /day)	1,488,858	634,864	49,490	800,565	3,939
Max a day (m ³ /day)	1,242,254	576,921	104,378	556,677	4,278
average a day (m ³ /day)	315,395	220,619	11,527	81,495	1,683
untillization quantity (천m ³ /day)	115,119	80,552	4,207	29,746	614

제주도 지하수 적정개발량과 개발량 및 일일이용량 등을 비교해 보면 현재 개발량이 적정개발량의 약 84%를 상회하고 있는 것으로 분석되어 향후 지하수 개발시 부분적인 제약이 필요한 실정이다. 이러한 취지에 따라 제주도는 5개 지역에 지하수 특별관리구역을 설정하여 관리하고 있다 (양, 2004).

Table 5. Use vs optimum development of ground water(제주도, 2003)

Section	Propriety (천m ³ /일)	Derelopment quantity (천m ³ /일)		average a day (천m ³ /일)		Max a day (천m ³ /일)	
		quantity	%	quantity	%	quantity	%
총계	1,768	1,489	84.2%	315	17.8%	1,242	70.2%
북부유역	553	444	80.3%	127	23.0%	378	68.4%
남부구역	502	465	92.6%	93	18.5%	410	81.7%
동부구역	401	197	49.1%	43	10.7%	145	36.2%
서부유역	312	383	122.8%	53	17.30%	310	99.4%

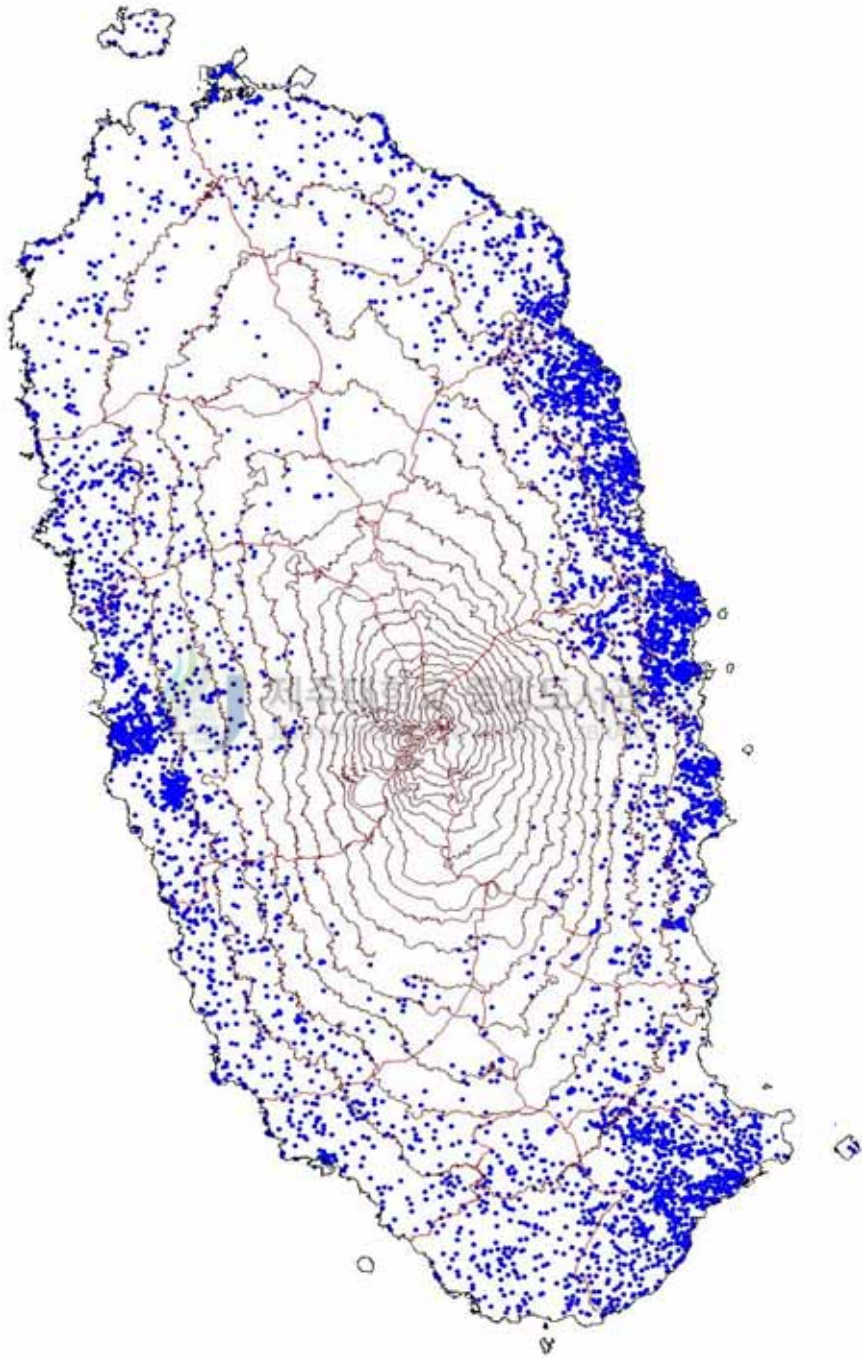


Fig. 1. Distribution of wells of ground water in Jeju Island

IV. 지하수의 폐관정 현황

1. 폐공의 정의와 발생원인

1) 폐공(廢孔, abandoned well)

폐공이란 지층을 굴착한 공(孔 ; hole) 또는 우물(井戶 ; well)로서 현재 또는 미래에 이용할 계획이 없고, 지하수 수질오염방지를 위한 별도의 조치 없이 방치되어 있는 모든 공을 말한다. 지하수를 개발·이용하기 위해 착정한 우물, 토목·건축조사 및 지질조사용 시추공 중에서 당초의 목적을 상실한 지하 굴착공은 모두 폐공에 해당한다. 또한, 한해대책 관정, 비상용 공동우물 등 평상시에는 이용하지 아니하나 미래에 이용할 계획이 있는 우물은 오염방지를 위한 조치를 한 후 사용 중인 우물로 분류하여 관리하여야 한다(2003, 건교부).

2) 폐공의 발생원인

폐공은 지하수 개발·이용 또는 지질조사 등을 위하여 굴착한 공이 당초 기대에 못 미치거나 소기의 목적을 달성하여 더 이상 사용하지 않는 경우 발생한다. 폐공이 발생하는 구체적인 경우는 다음과 같다.

(1) 지하수 개발 중 발생하는 폐공

- ① 채수량이 부족하여 소기의 목적을 달성할 수 없는 경우

- ② 시공상태가 불량하여 이용하지 못하게 되는 경우
 - ③ 수질이 이용목적에 부적합하여 이용하지 못하게 되는 경우
- (2) 지하수 이용 중 발생하는 폐공
- ① 채수량이 급격히 감소되어 사용하지 못하게 되는 경우
 - ② 우물스크린 및 우물자재의 부식으로 오염이 발생하거나 함몰된 경우
 - ③ 수질검사 결과, 이용목적에 부적합 판정이 내려진 경우
 - ④ 지하수 과잉채수로 대수층의 파괴 또는 주위 지반의 침하가 발생하는 경우
 - ⑤ 염수의 침입으로 사용이 불가능하게 되는 경우
 - ⑥ 내구년수를 초과하여 노후된 우물
- (3) 사용목적을 완료하여 더 이상 사용하지 않음으로 발생하는 폐공
- (4) 기타 사례
- ① 건축 조사 및 지질조사용 시추공을 방치하는 경우
 - ② 상수도 공급에 따라 생활용수 우물의 사용을 중단하는 경우
 - ③ 공장 이전 및 폐쇄에 따라 우물을 방치하는 경우
 - ④ 한해대책 등 긴급히 개발한 우물시설을 방치하는 경우
 - ⑤ 기타 지하수법 또는 다른 법률의 규정에 의하여 폐쇄하는 경우

2. 지하수 오염과 폐공

폐공은 지표 오염원의 유입 창구 또는 유입된 오염원을 지하 심부까지 이동시키는 통로 역할을 하고 있으며 그 자체가 직접 오염원으로 작용하기도 한다. 장기간 방치되었거나 잘 못 처리된 폐공이 지하수 오염에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 오염원으로 작용

굴착시 사용된 독성, 난분해성 유류가 인위적으로 유입되거나 우물안의 유류를 공내청소 없이 방치한 경우 그 자체가 직접적인 지하수 오염원으로 작용하며, 폐공 내에 설치되어 있는 관(케이싱)이 부식되어 지하수를 오염시키거나 박테리아의 성장에 필요한 영양원이 되기도 한다.

2) 지표 오염원 유입 창구

폐공 입구가 지표에 노출되어 있음에 따라 오염된 지표수, 농약 등의 오염원이 직접적으로 폐공내로 침투하거나 케이싱 주변부를 통하여 간접적으로 침투하여 오염원 유입창구로 역할을 한다.

3) 유입된 오염원을 지하 심부까지 이동시키는 이동 통로

일반적으로 지표 오염원이 상부 지층을 통과하여 암반대수층에 도달하기 위하여서는 수일~수백년의 시간을 필요로 하고 상부 지층 통과시 자연적으로 정화되는 효과가 있으나, 암반내의 대수층까지 인위적으로 굴착한 공의 경우는 유입된 오염원을 심부 지층까지 빠른 속도로 직접 유입·이동시키는 통로 역할을 한다.

4) 대수층 오염경로

지표에서 발생한 오염물질이 심층의 지하수에서 검출되는 오염경로는 다음과 같다.

① 지하수의 함양지역에 오염원이 존재하는 경우

오염물질이 지하수 유동에 따라 수평방향으로 확산하여 심층의 지하수를 오염시키게 된다.

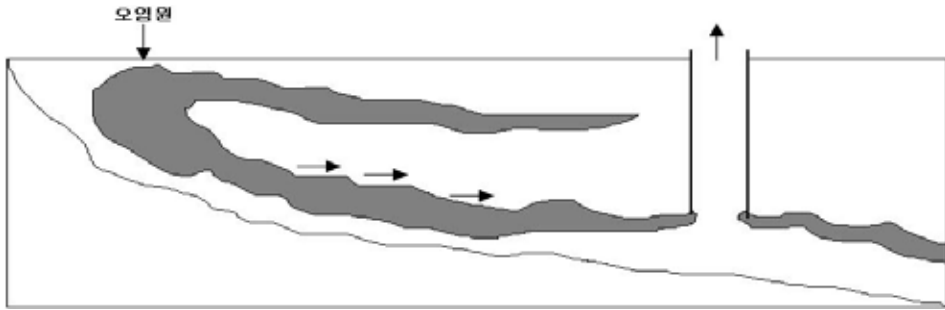


Fig. 2. The case of contaminant inflow in Hamyang territory

- ② 상부 대수층의 지하수가 이미 오염되어 있고 그 하부에 존재하는 불투수층이 오염 확산을 차단하고 있는 경우 불투수층이 끊겨 있거나 불연속적이면 그 틈으로 오염물질이 심층부로 침투할 수가 있다.

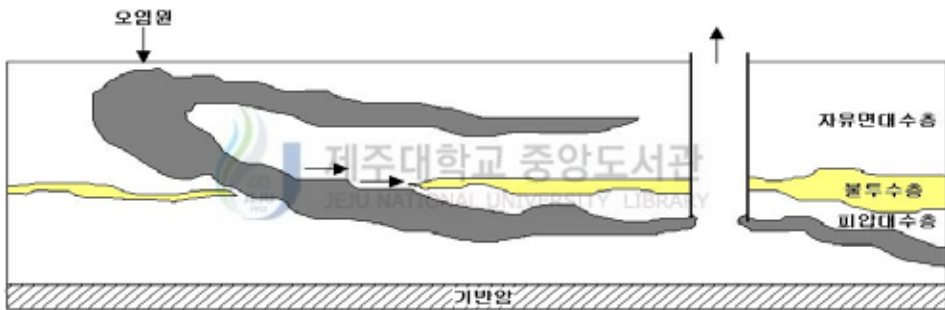


Fig. 3. The case of infiltration into discontinued aquifuge layer

- ③ 우물 양수시 케이싱 주변의 불완전한 차수벽 그라우팅 구간을 통하여 이미 오염된 상위지하수가 심층우물로 침투하는 경우

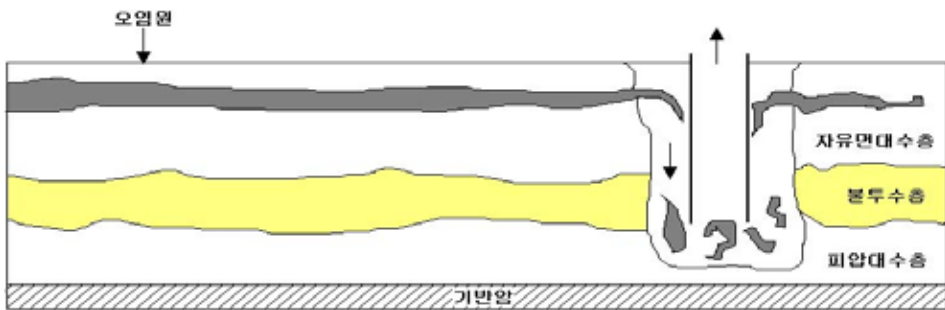


Fig. 4. Inflow of contaminated ground water during well pumping

- ④ 이미 오염된 대수층에 설치된 우물 스크린을 통하여 오염물질이 침투한 다음 다른 대수층에 확산되는 경우

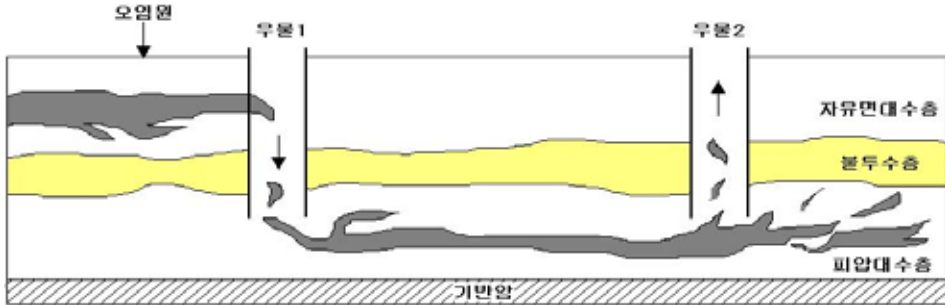


Fig. 5. 오염물질이 침투후 다른 대수층에 확산

- ⑤ 오염된 우물에서 오염물질이 대수층을 통과하여 다른 우물에서 검출되거나, 쓰레기 매립장 또는 지하탱크의 부식으로 인한 오염물질이 누출하여 지하수를 오염시키고 인근 우물에서 검출되는 경우

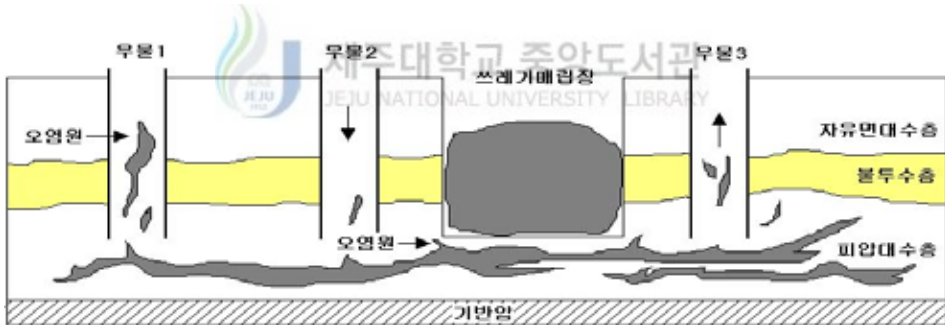


Fig. 6. The case of contamination of ground water with dump site contaminant

3. 폐관정의 현황

제주도의 지하수 개발은 1990년도 이전까지는 무분별한 개발 양상을 보여 왔다. 또한 지하수 관정이 개발 되었으나 원래 사용용으로 사용하지

못하거나 여러 요인으로 인하여 방치된 공들이 매우 많았다(Table 6). 또한, Table 7에는 이들 폐관정에 대해 원상복구 한 현황을 연도별로 나타내었다(2003, 제주도). 제주도에서는 2003년도에 폐관정 찾기 운동을 대대적으로 실시하여 65개 공에 대해 원상복구를 실시한 바 있다.

Table 6. Status of abandoned well restoration by type(2003. 12. 31)

유형별	계	제주시	서귀포시	북제주군	남제주군	비 고
Loss use	64	25	6	17	16	작목전환, 공장폐쇄, 시설이전 등
The quality of water badness	57	27	7	15	8	토사발생, 염분과다
Development work	51	28	19	1	3	구획정리, 도로확장
Non permission	50	12	9	14	15	무허가 굴착공
Etc.	62	14	3	18	27	비중저하, 온천실패, 수량부족
Total	284	106	44	65	69	

Table 7. Status of abandoned well restoration by year

Total	'92이전	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
284	25	36	21	8	39	12	17	22	18	14	7	65

V. 지하수 관정의 개발공법

1. 지하수 관정의 개발과 이용과정

1) 관정개발 과정

제주도에서 지하수를 개발하여 이용하는 절차는 제주국제자유도시특별법에 따라 시행을 하며, 그 과정을 Fig. 7에 나타내었다(2000, 제주도).

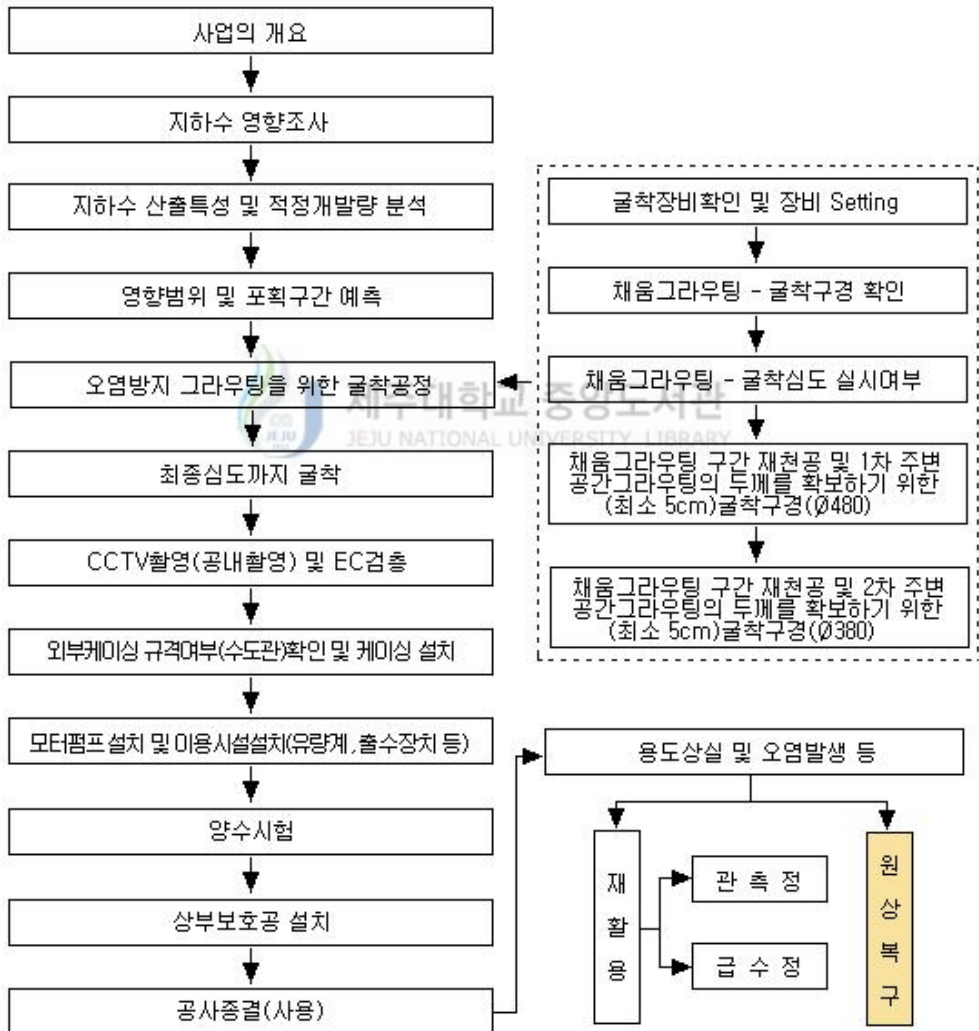


Fig. 7. Development and treatment process of abandoned wells of ground water

2. 지하수 오염방지 공법

1) 그라우팅의 정의

지하수의 오염방지를 위한 그라우팅이란 지반 혹은 암반대로 액상이나 Gel상의 Grout재를 주입시켜, 공기나 물로 차있는 균열·공극을 채워 응결시킴으로서 지지력을 증대시키는 가장 보편적인 공법이다(건교부, 1999).

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 크게 후자에 해당되는 차수그라우팅 개념이라고 할 수 있다.

또한, 차수 그라우팅공법에는 지표에 대한 수평적 개념의 ‘땅속 연속벽 공법’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(한, 2002).

2) 그라우팅의 설계 및 시공시 유의점

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

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

10^{-4} cm/sec 보다 작은 경우에는 점성토지반을 포함하여 할열주입이 기본이 된다. 이 경우에는 할열액이 다수 생기고 그 대부분이 설계 범위 내에 그치도록 주입조건을 선정하는 것이 필요하다. 이때 할열액을 적극적으로 발생시키기 위하여 주입방식으로는 주입간격 및 주입스텝은 가늘게 하고 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).

3. 오염방지 공법의 시공

1) 지하수 오염방지 공법

신생화산도인 제주도의 지하수는 오염원과 쉽게 접촉되는 상부 지층이 오염경로가 되며, 습굴·곶자왈·용암동굴 등의 공동구조가 오염통로 역할을 할 뿐만 아니라 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.

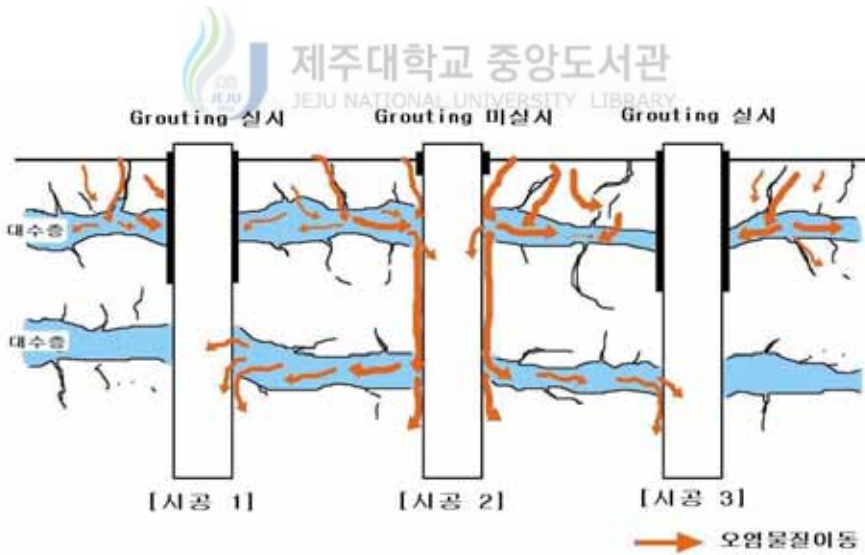


Fig. 8. Influence of grouting condition

제주도의 지하수는 육지부의 충적층 지하수개발과는 차이를 보이는데 제주도 지하수개발공의 그라우팅 대상층 및 지층모식도를 간략하게 제시

하고 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 of 필요성을 동시에 보여주고 있다. 시공1 및 시공2 에서는 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 이동경로의 역할을 하기에는 충분한 구간이므로 차단시키고 있다.

2) 지하수 오염방지공법의 시공과 현장조사

(1) 개발현장 조사와 시공

투수성이 높은 제주도 지질의 특성에 적합한 지하수 오염방지 그라우팅방법의 현황을 개발현장에서 파악하였다. 현장에서 시공 공정을 조사한 내용은 현장의 위치, 입지조건, 관정의 구조도, 그라우팅 깊이관정의 적합성, 그라우팅의 두께, 시공방법(주입공법상, 주입재료, 공극) 및 시공상의 문제점 등을 파악하였다.

조사 현장의 위치는 북촌2지구, 월림지구, 한원지구, 월평1지구, 서김녕2지구, 중문지구(레이크힐스 제주C.C)등 총 6개의 관정이었다(Fig. 9). 또한 이들 개발관정들이 완공되었을 때 수질을 측정하고 그 결과와 주변관정들의 수질측정치와 비교·검토하여 오염방지시설의 시공으로 인한 효과를 분석하여 오염방지공법의 개선 방안에서 그 대책을 수립하는데 참고로 하였다.

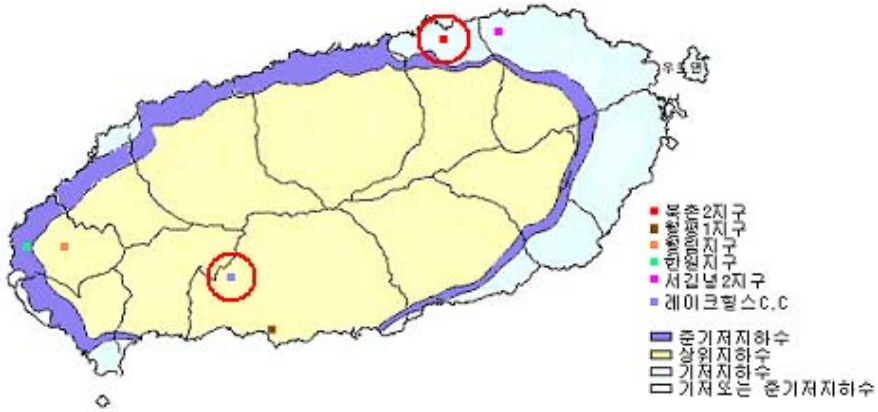


Fig. 9. Map of field search of grouting for prevention of groundwater contamination

(2) 지하수 오염방지 시설의 시공

제주도에서는 지하수오염, 생태계 및 경관이 훼손되는 것을 방지하고 천혜의 자연자원을 보전하기 위하여, 그 환경특성에 따라 지하수자원 보전지구·생태계 보전지구 및 경관보전지구로 세분하여 보전지구별, 등급별로 지정하고, 관리할 수 있도록 되어 있다(제주국제자유도시특별법, 2002).

현장 조사 관정 6개 공 중 농업용수로 개발한 서김녕2지구(Fig. 10)와 생활용수로 개발한 중문지구(레이크힐스 제주C.C) 1개 공을 선정하여 개발관정의 시공과정을 조사하였다.

① 농업용수 개발 관정

서김녕2지구의 농업용 관정에 대한 개발위치는 Table 8과 Fig. 10과 같다.

Table 8.. Location of agricultural wells in Seogimnyeong #2 District

지하수 개발위치	보전지구별	등급별
북제주군 구좌읍 김녕리 5126번지	지하수자원보전지구	4 등급
	생태계보전지구	4-1 등급
	경관보전지구	5등급

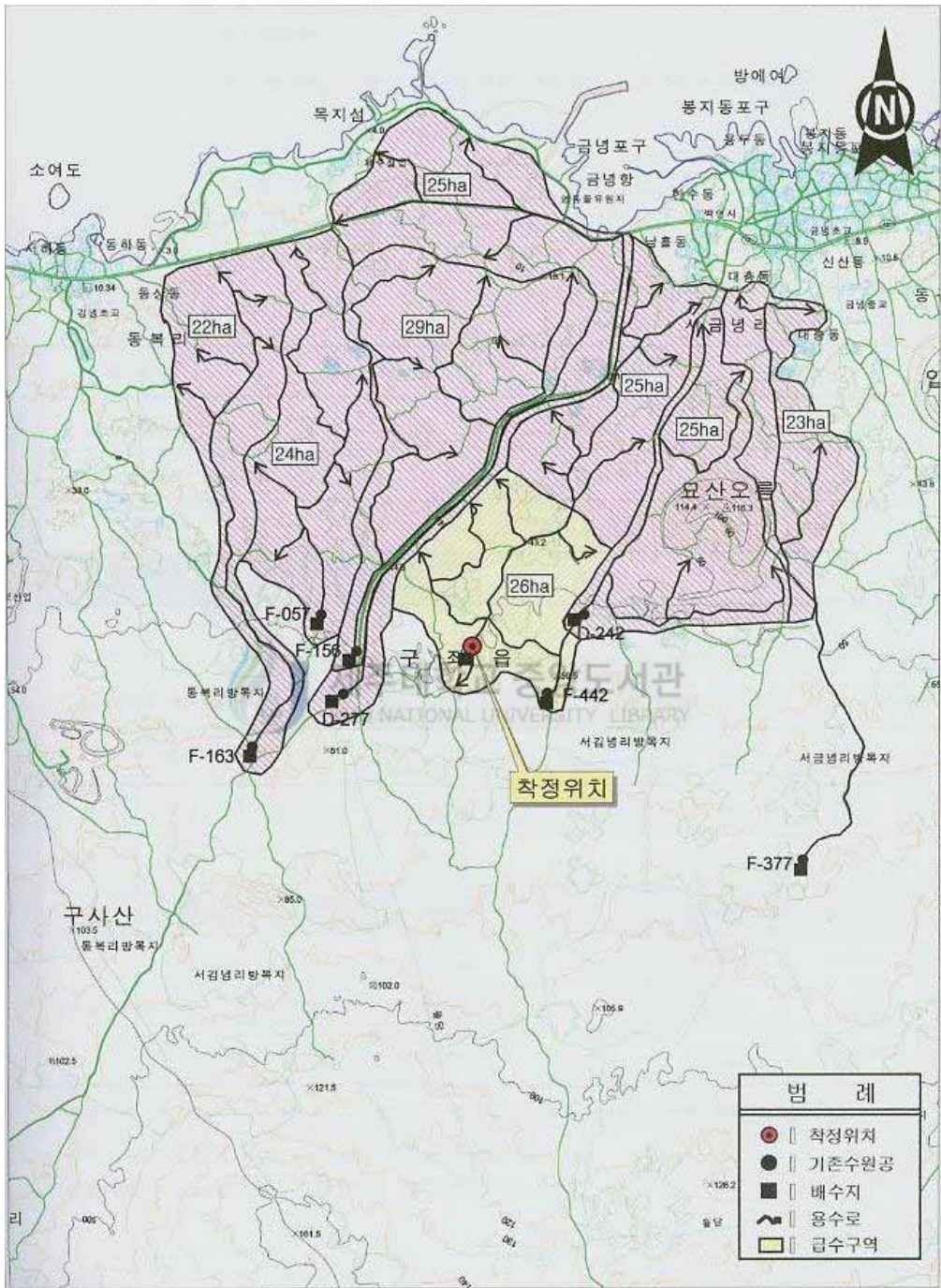


Fig. 10. Location of search subject in Seogimnyeong #2 District (북제주군, 2002)

가) 시공 공법

착정공법은 회전식 공법을 사용하였다. 이 공법은 머드펌프에 의하여 순환수를 사용하여 유압으로 비트에 하중을 주면서 회전시키고 부서진 지층은 순환수에 의하여 지표면으로 배출시키는 과정을 계속 반복해가면서 굴진하는 방법이다. 또한 이 방법은 굴진 작업 시 깨끗한 물을 사용하므로 각종 유류 및 미생물균 등이 공내에 유입되어도 쉽게 제거가 가능한 이점이 있다.

착정구경 및 착정심도는 관정구경의 산정을 고려해야 하는데 고려할 사항으로는 펌프를 충분히 설치할 수 있고 효율적으로 작동 시킬 수 있는 공간을 확보하고, 관정으로 지하수가 유입되는 부분의 면적이 양호한 수리학적 효과와 압상 파이프 설치 시 수위 관측관(구경 2.5cm 이상)을 병행하여 설치한다.

착정위치에서 1일 800m³의 물을 양수할 계획으로 상부 오염방지 채움그라우팅 구간 (30m)는 350mm 구경으로 착정하고 채움그라우팅을 실시하고 완전히 양생시킨 후 재 천공토록 하고, 주변공간 그라우팅 50mm 350mm 구경으로 착정한 후 하부 구간은 200mm로 굴착하는 것이 적당하며, 착정심도는 착정위치 주변의 기설관정의 표고 및 평균심도, 그리고 지하수 부존형태 등을 감안하여 65m까지 굴착하는 것이 적절할 것으로 판정 하였다. 주변공간 그라우팅 심도 최하부면에 packer(밀봉장치)를 장착하며, 그라우트 재료는 tremi-pipe 등을 이용하여 바닥에서부터 상향식으로 지표로 역류 될 때까지 주입시켰다.

나) 오염방지 공법

지하수 개발공 주변의 지표 또는 지하로부터 오염물질 유입을 방지하기 위하여 지표면으로부터 최소 30m구간까지는 케이싱파이프 외경

보다 최소 7cm 이상으로 굴착하여 채움그라우팅을 실시하고(Fig. 11), 그라우팅 재료가 완전히 굳은 후 재천공 하되 그라우팅 후 최소 48시간이 경과하도록 하였다.

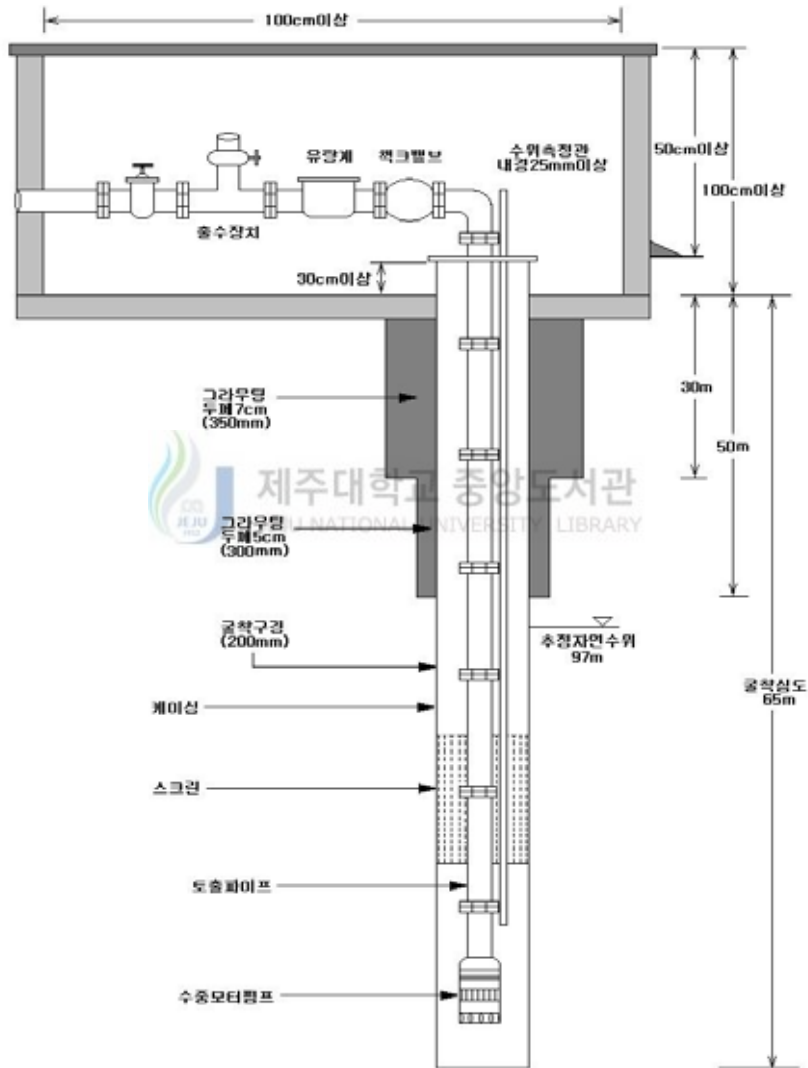


Fig. 11. Structure of facilities for ground water development in Seogimnyeong #2 District

케이싱 파이프 설치 후 굴착공벽과 케이싱파이프 사이의 주변 공간 원칙적으로 지표면으로부터 주대수층까지 시공하여야 하나, 심도가 너무 깊어 시공이 불가능하다고 판단되면 지표로부터 최소 50m구간은 실시하여야 하며 두께는 5cm이상 되도록 하고 있다. 주변공간 그라우팅 심도는 기개발된 인근 관정의 지질주상도를 참고하여 불투수성 지층의 예상심도를 고려하여 결정하고, 보호벽 설치구간의 우물자재는 공극이 없는 케이싱파이프를 사용하였다.

지하수 개발시 채움그라우팅과 주변공간 그라우팅 재료는 체적상 3%의 벤토나이트를 함유한 시멘트혼합물(시멘트+모래)을 기준으로 하며, 물과 시멘트혼합물의 중량비는 물:시멘트혼합물 = 1 : 2로 하여 최대한 수축을 방지하고, 유동성을 향상시키기 위한 보조제를 사용하기도 하였다.

주변공간 그라우팅 시 그라우트재가 대수층으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 그라우팅 심도 최하부면에 packer(밀봉장치)를 장착하여야 하며, 그라우트 재료는 tremi-pipe등을 이용하여 바닥에서부터 상향식으로 지표로 역류 될 때까지 주입시켰다.

그라우팅을 하고자 하는 최종심도를 기준으로 그 상부 3m 구간을 먼저 실시하고 난 후, 나머지 주변공간의 그라우팅은 최소24시간 이상 경과한 다음에 실시하고, 그라우팅 시공 시 열 또는 압력에 의해 케이싱 파이프가 찢어지거나 찌그러지는 것을 방지하기 위해 반드시 단계별로 시공하고 있다.

케이싱파이프 설치 시에는 굴착공벽 한쪽으로 치우치지 않고 중앙에 위치하도록 설치하고 차수용 시멘트가 균일하게 충전 될 수 있도록 한다.

차수용 시멘트를 주입하기 전에 착정용수나 깨끗한 물로 공내를 깨끗이 청소한다.

다) 시공공정 현장사진



Fig. 12. Feature of operations in Seogimnyeong #2 District

② 생활용수의 개발관정

레이크힐스 제주C·C 조성사업(Fig. 13~14)의 환경·교통·재해영향평가서에 의하면 골프장 운영에 필요한 용수수요량은 약 2,360m³/d(생활용수 : 191.89m³/d, 관개용수 2,170.1m³/d)이며, 관개용수의 재활용 측면을 고려하여 2,200m³/d(4개공) 규모의 지하수원 개발계획을 제시하고 있다.



Figure 13. Location of search district in Lakehills C.C.

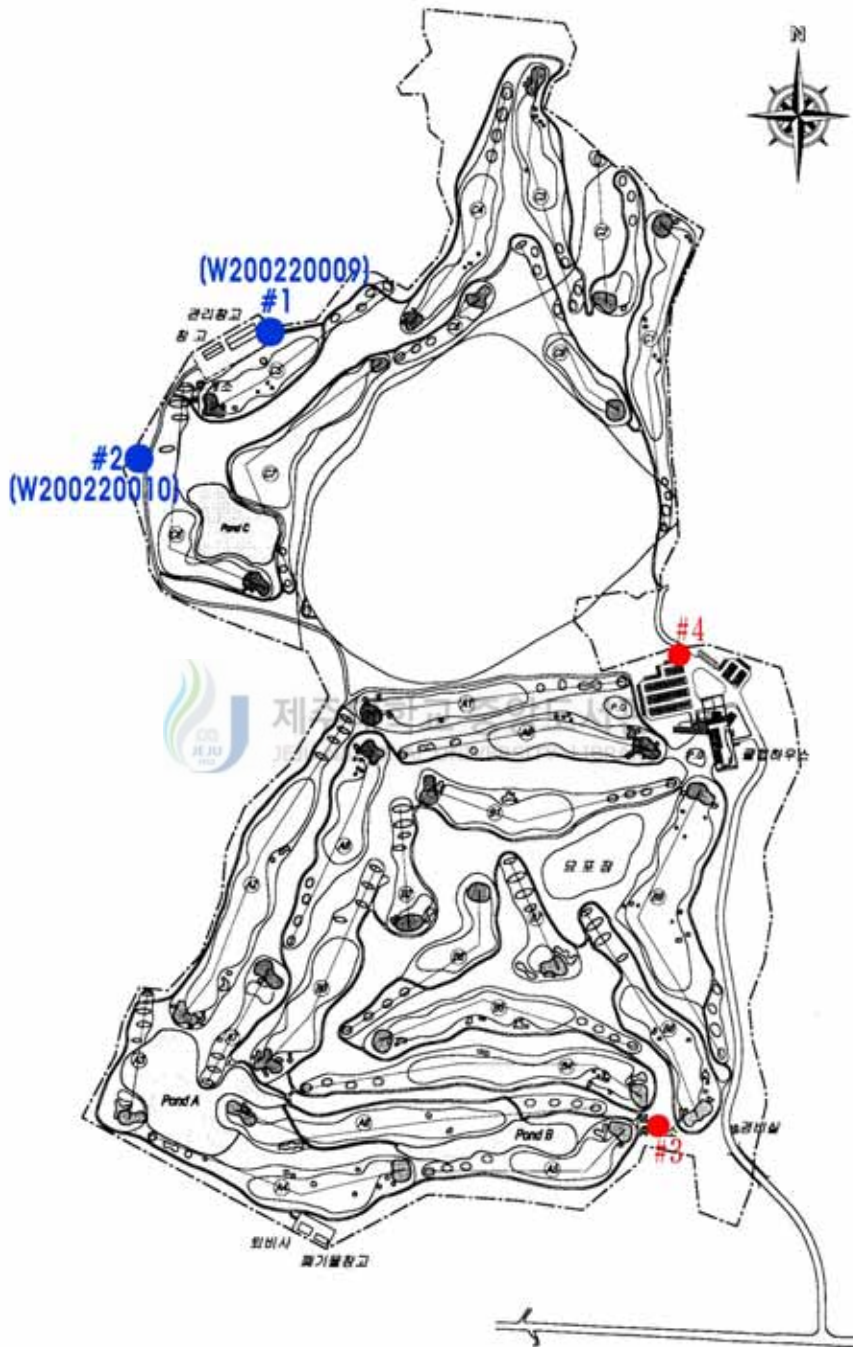


Fig. 14. Location of ground water development

가) 시공 공정(1호공, 2호공)

레이크힐스 제주C.C에서는 Fig. ??와 같은 공정으로 시공을 실시하였으며, 관정에 대한 제원은 Table ??~ ??와 같다.

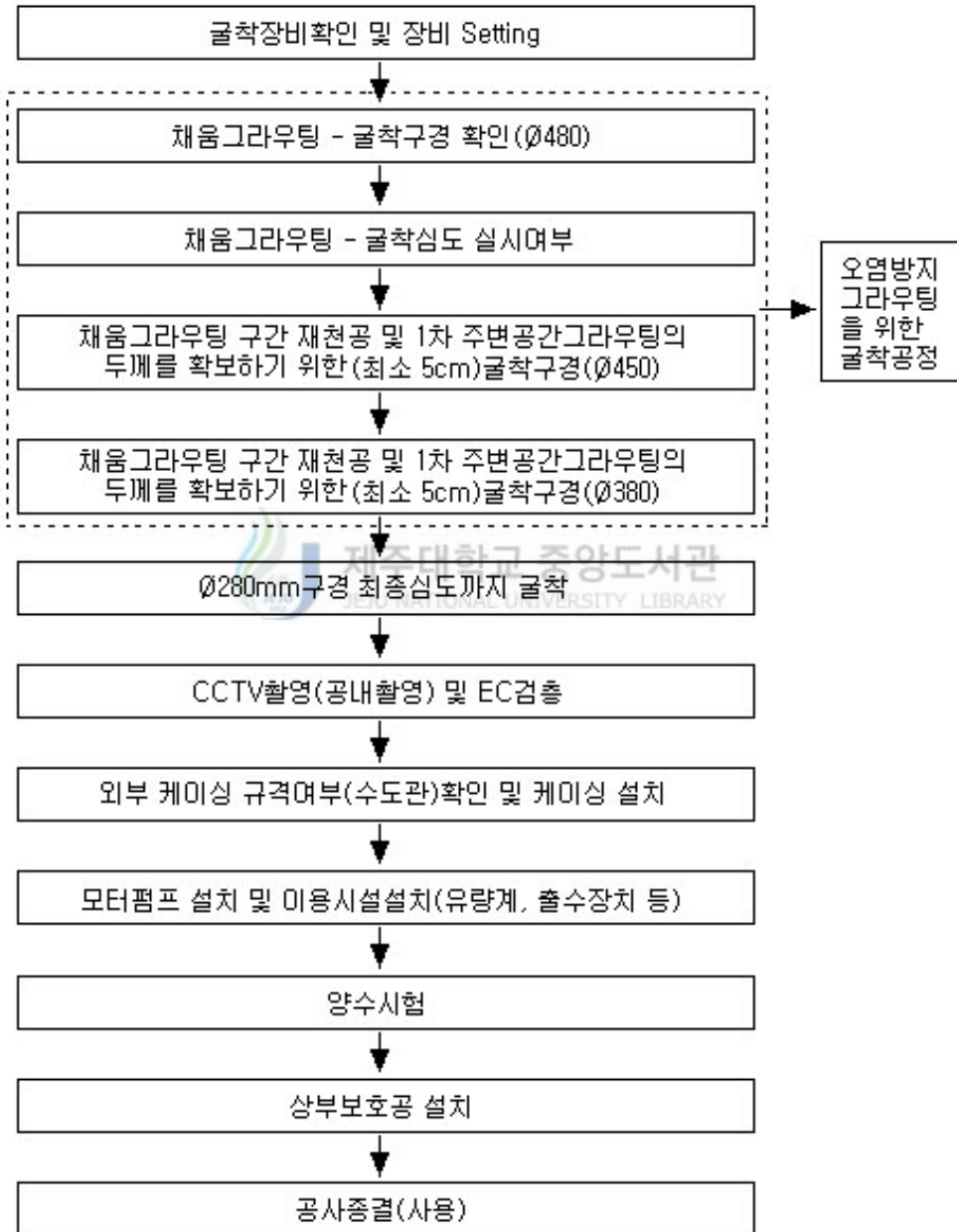


Fig. 15. Procedure of contamination prevention construction in #1 well

Table 9. Particulars on boring diameter and final depth by piezometric head and depth

구분	심도(m)	착정구경		채움 및 주변 그라우팅 심도	수위(GL.m)	
					자연	안정
1호공	450.0	0~30m	φ480mm	·채움 : 0~30m ·주변 : 0~150m	213.05	213.28
		30m~90m	φ450mm			
		90~178m	φ380mm			
		178~412m	φ280mm			
2호공	450.0	0~30m	φ480mm	·채움 : 0~30m ·주변 : 0~150m	170.38	180.27
		30m~90m	φ450mm			
		90~165m	φ380mm			
		165~400m	φ280mm			



Table 10 Particulars on wells such as grouting depth and materials

구분	채움 그라우팅심도	주변공간 그라우팅심도	그라우팅 재료	비고
1호공	0~30m	0~150m	시멘트 혼합물	※150m~178m : 충전력 채움시공
2호공	0~30m	0~150m	시멘트 혼합물	※15m0~165m : 충전력 채움시공

Table 11. Continue

심도 (m)	층후 (m)	주상도	암석명	기 재
112.0	3.0	≡≡≡≡ ≡≡≡≡ ≡≡≡≡	Tuff	Tuff(화산재 퇴적층) - 화산재·화산사 혼재된 미고결층. - 황갈색.
178.0	66.0	∞∞∞∞ ∞∞∞∞	Scoria	Scoria(스코리아) - 다공질 암재 퇴적층. 적갈색.
186.0	8.0	 	TB	TB(Trachy Basalt ; 조면암질 현무암) - 암회색. - 비교적 치밀·견고. 균열 약간 발달.
194.5	8.5	≡≡≡≡ ≡≡≡≡ ≡≡≡≡	Tuff	Tuff(화산재 퇴적층) - 황갈색. - 점토질. 미고결층.
220.0	25.5	 	TB	TB(Trachy Basalt ; 조면암질 현무암) - 암회색. - 치밀·견고. - 206~220.0m: 수직절리 발달
235.0	15.0	≡≡≡≡ ≡≡≡≡ ≡≡≡≡ ≡≡≡≡	Tuff	Tuff(화산쇄설물 퇴적층) - 황갈색-암회색. - 입도 불균질. 화산재~암편 혼재.
284.0	49.0	 	T	T(Trachyte ; 조면암) - 암회색. - 매우 치밀·견고. - 균열 약간 발달.
310.0	26.0	 	TB	TB(Trachy Basalt ; 조면암질 현무암) - 암회색-암갈색. - 치밀·견고. - 균열 약간 발달. - 307.0~310.0m: Clinker.
339.0	29.0	 	T	T(Trachyte ; 조면암) - 암회색. - 매우 치밀·견고. 균열 약간 발달.
350.0	11.0	∞∞∞∞ ∞∞∞∞ ∞∞∞∞ ∞∞∞∞	Scoria	Scoria(스코리아) - 다공질 암재 퇴적층. - 적갈색.

Table 11. Continue

심도 (m)	층후 (m)	주상도	암석명	기 재
400.0	50.0	<pre> TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTTTTTT TTTTTT </pre>	TB	TB(Trachy Basalt ; 조면암질 현무암) -. 암회색. -. 비교적 치밀·견고. -. 350.0~355.0m: Clinker.
405.0	5.0	<pre> ㅋㅋㅋㅋ ㅋㅋㅋㅋ ㅋㅋㅋㅋ ㅋㅋㅋㅋ ㅋㅋㅋㅋ </pre>	Tuff	Tuff(화산쇄설물 퇴적층) -. 암회색~황색. -. 화산사가 주를 이룸. 암편 포함.
412.0	7.0	<pre> ※※※※ ※※※※ ※※※※ ※※※※ ※※※※ ※※※※ ※※ </pre>	퇴적층	퇴적층 -. 암황색-암녹색. -. 폐각 없음. -. 405.0~410.0m: 회색. 점토질. -. 410.0~412.0m: Fine Sand.
END				

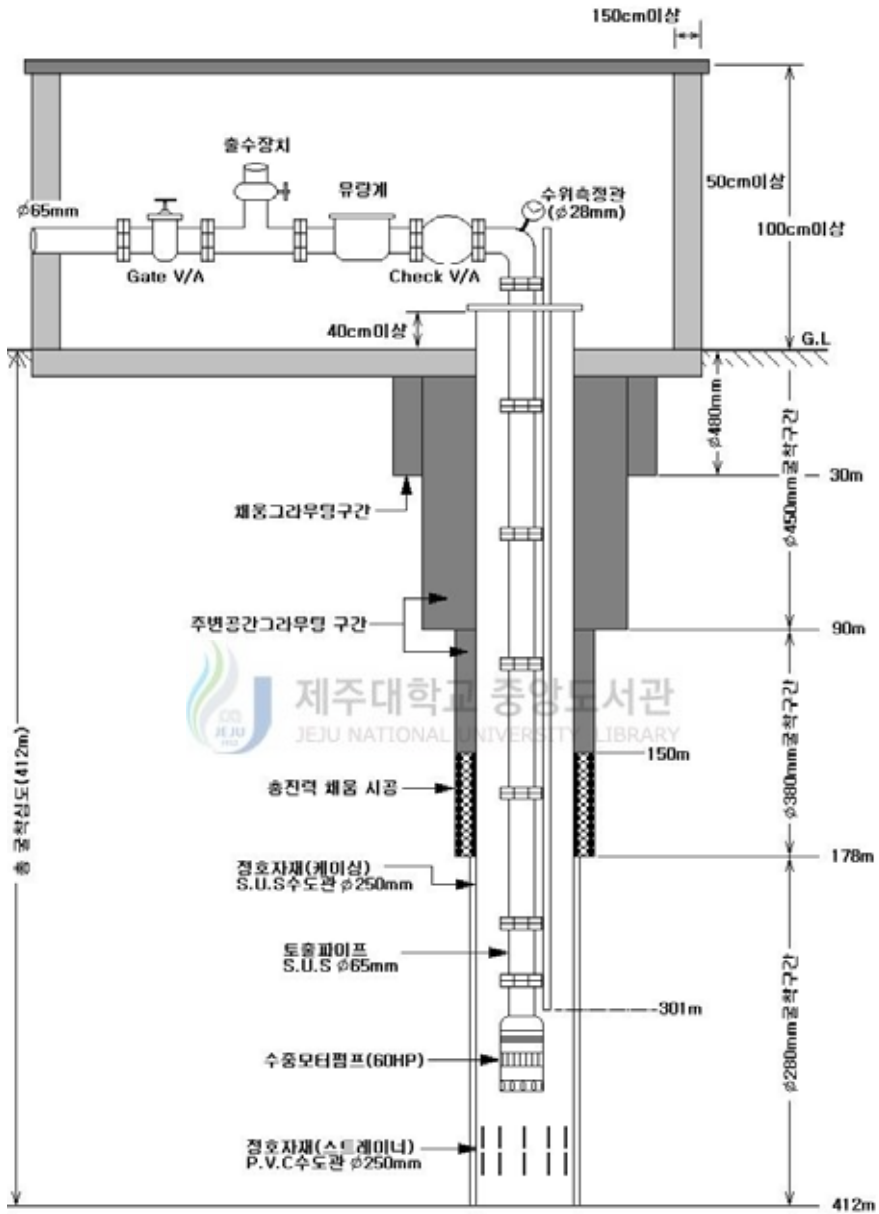


Fig. 16. Grouting well diagram (#1 well)

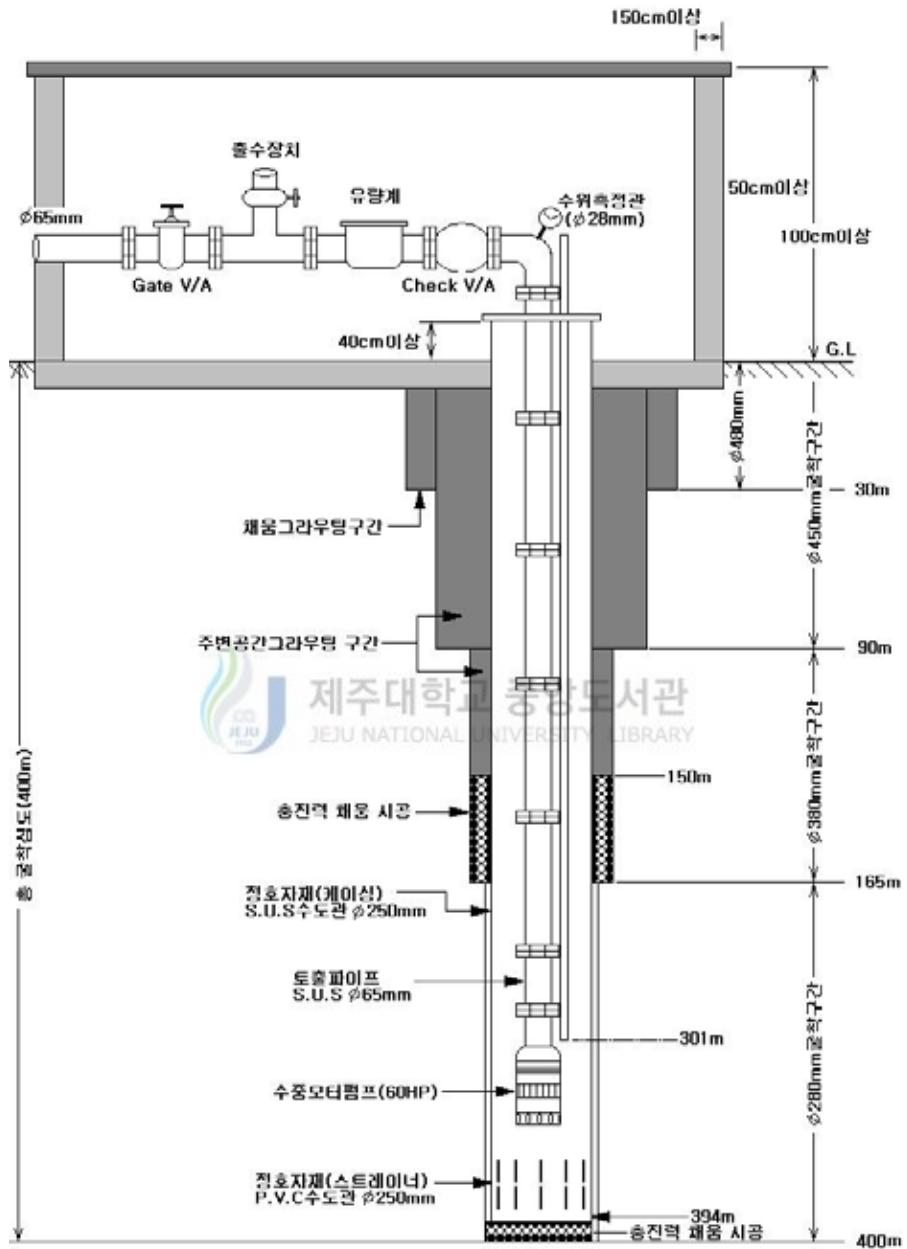


Fig. 17. Grouting well diagram (#2 well)

다) 시공공정 현장사진



GPS측정(위치확인)



착수(Barber Drill 장비투입)



채움그라우팅 中



채움그라우팅 완료 後



TBM 장비투입



250m/m Drill Cone



공내촬영 및 수직검층



외부케이싱 설치작업



주변공간그라우팅
완료 後



수중모터펌프 설치작업



압상파이프 설치작업



양수시험

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 오염방지 공법의 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, 수위 하에서 그라우팅이 이루어질 경우, 시멘트혼합물의 투하 중 혼합물이 분리현상을 일으켜 그라우팅이 이루어지지 못하게 된다. 둘째, 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 대상 심도까지 주입파이프를 삽입하여 상향식으로 실시해야 하는 것은 불가피한 사항이다. Fig. 187은 트레미 파이프를 이용하지 않고 상부에서 그라우트재를 투하시키는 채움그라우팅 시 파쇄대 구간에서 낙석 되는 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 낙석 될 우려가 있다. 이에 따라

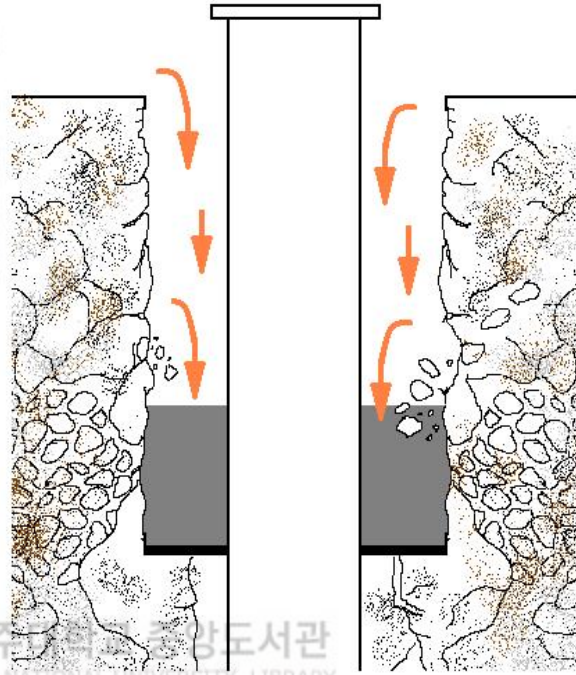


Fig. 18. Diagram of falling stones in rock fracture zone section

급결제를 사용하는 경우가 많은데, 급결제 사

용 시 발생하는 문제점은 응결, 경화시간의 단축으로 양생 시 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, 경화시간의 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.

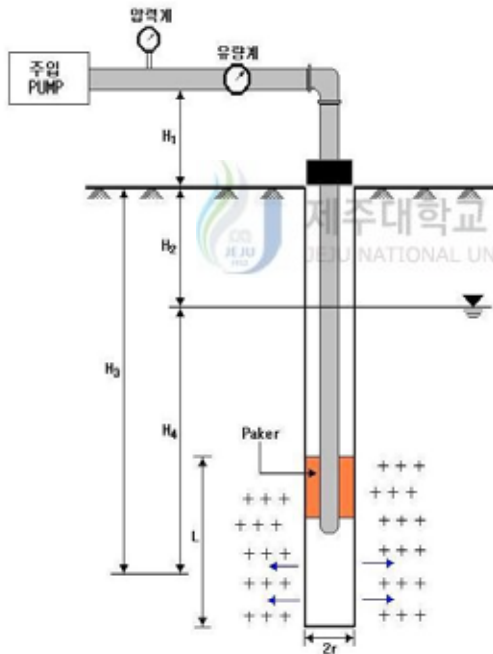


Fig. 19. Diagram of water permeability

하기 위하여 제주도내 일부 지점에서 투수시험이 실시되었다.

Fig. 19와 같이 packer를 이용한 주수시험을 실시하였으며, 심도 10m

그러나, 이들 규정은 육지부의 충적층 및 화강암지대 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 4×10^{-5} 정도이나, 지층구조가 상이하며 균열을 포함하는 제주도 현무암지대의 투수계수를 파악

내외에서 실시된 시험구간에 지하수위는 존재하지 않고 있다.

수차례 시험을 반복한 결과, 대부분 시험 시 주수 하자마자 곧 누수 되어 무압 상태로 주입된다.

투수계수는 제주도내 일부 지점을 선정하여 주수시험을 통해 산정된 것이며, 그 결과는 Table 13과 같으나, 극소수에 불과하므로 제주도 전역을 대표할 수는 없고, 개략적 검토용으로 이용될 수 있다.

Table 13. Estimated coefficient of permeability

A Location	Test method	Permeability coefficient(cm/sec)	Note
한경면 고산리	Field perched groundwater test	4×10^{-2} 이상	
서귀포시 색달동	Field perched groundwater test	2×10^{-1} 이상	
표선면 성읍리	Permeability test	1.4×10^{-3} 이상	

이와 같이 투수계수가 높은 제주도 신생화산 지층구조에서의 그라우팅은 육지부 보다 배합되는 물의 양을 줄여 물 : 시멘트 중량비 = 1:4 까지 적용할 수 있으며(제주도, 2000), 응결제를 이용하여 지하수공에서 멀리 떨어진 곳까지 쉽게 침투되는 것을 차단시켜 필요한 대상구간 만을 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.

표선3수원의 1호공, 2호공, 3호공에서 굴착경 및 정호경(내부케이싱) 구경이 동일하고 그라우팅 심도가 비슷하나 즉, 그라우팅 대상체적은 유사하나 실질적으로 그라우팅 시 주입된 모르터량은 큰 차이를 보인다(Table 9). 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 대안책 없이 규정상의 모르터만을 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(차수용 시멘트; 체적 상으로 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 14. Status of grouting work in Pyoseon #3 water source

A Location	굴착경(mm)	정호경(mm)	그라우팅심도(m)	주입량(m ³)	비고
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(현 제주국제자유도시특별법) 지하수개발·이용시설 등의 기준에 의하면 그라우팅 두께를 채움그라우팅의 경우 7cm 이상, 주변공간 그라우팅 구간은 5cm 이상으로 규정하고 있다. 또한, 공벽과 케이싱 사이 외에 지표 및 지층 중간 균열부를 통해 오염물질이 유입되는 것을 방지하기 위하여 채움그라우팅을 실시하도록 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 오염물질의 유입이 적을 수도 있다.

그러나 채움그라우팅구간을 재천공시 굴착장비의 오차나 개발관정의 현장 환경요소에 의해 수직으로 찬공되지 않을 경우에 대비하여 현행

채움그라우팅 7cm이상과 주변공간그라우팅 5cm이상의 규정을 각각 10cm이상과 7cm이상으로 더욱 강화할 필요성이 있는 것으로 사료 되었다.

5. 오염방지공법의 개선방안

현재 제주의 지하수 관정은 대부분 암반지하수에 해당하며 암반은 두터운 토양처럼 오염물질을 거르는 필터의 역할은 하지 못한다.; 따라서, 암반의 지하수가 오염된다면 치명적이라 할 수 있으며, 때문에 오염방지그라우팅의 시공은 양질의 지하수를 확보하는데 있어 가장 중요한 사항이라 할 수 있다.

위의 비교한 두가지 오염방지 그라우팅 방법 중 제주도내에 적절한 그라우팅은 트레미 방법이라 할 수 있으며, 제주도내 지질 특성상 상부 재천공 방법을 병행하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

트레미 방법과 상부 재천공 병행한 그라우팅 방법을 정리하면 다음과 같다.

- ① 천공시 지표에서 지표하 약 30m 구간은 정호자재 보다 5~10cm이상 크게 천공하여 시멘트를 혼합물로 되메움하고 다시 재천공 한다. (상부 구간을 되메움 하고 재천공 할 경우 공벽을 타고 흐르는 유입수를 일부 차단하므로 차후 Tremi Method을 이용하여 그라우팅 할 경우 시멘트혼합물의 외벽의 유입수를 일부 차단하므로 그라우팅시 수막 형성을 막을 수 있다.)
- ② 그라우팅 재료는 체적상으로 3%의 벤토나이트를 함유한 시멘트 혼

합물을 기준으로 하고 급결제 사용도 가능하다. 단, 물과 시멘트 혼합비의 중량비는 물 : 혼합물 = 1 : 2로 하여 최대한 수축을 방지한다.

- ③ 파이프나 호스의 선단을 착정공 하부에 위치시킨 상태에서 그라우팅 재료를 적정 압력으로 충전 시키며, 파이프나 호스를 끌어 올리면서 깊이별로 단계적으로 충전 시킨다.



VI. 폐관정의 재활용과 원상복구

1. 폐관정의 재활용

폐공의 재활용이란 당초의 목적과 부적합하거나 사용기간 및 용도가 완료되어 폐공으로 분류된 관정, 또는 계획된 소요수량이나 또는 수질등급에 미달되어 폐공으로 방치된 공을 적절하게 시설을 개보수하여 변경된 수량이나 등급을 적용하여 급수정으로 활용하거나 지하수의 수위 및 수질 관측정으로 그 용도를 변경하여 활용하는 것을 말한다.

그러나, 폐공 발생의 주원인이 수원고갈이나 수질악화 등이어서 재활용이 가능한 경우는 한정적이므로 폐공을 재활용함에 있어서는 경제성, 효율성, 기능성 등을 신규 굴착과 대비, 면밀히 검토한 후 시행하여야 하며, 신규 굴착에 비하여 역기능이 많다고 판단될 경우는 되메움을 원칙으로 하여야 한다. 폐공의 재활용에는 다음과 같이 이용하고 있다.

1) 급수정으로 재활용

(1) 수량이 줄었으나 취수정으로 이용가치가 있는 경우

지하수위 저하 또는 우물간섭에 의한 수량감소와 모래 토출로 우물바닥에 슬라임이 퇴적되어 지하수 유입구간이 감소한 경우 또는 우물 스크린/스트레나 부위에 피각현상이 생기어 지하수 유입을 방해함으로써 양수량이 감소한 경우와 우물 스크린 주위의 충전자갈 필터에 피각현상이 발생한 경우 이고 암반층 우물의 암반 균열대에 피각현상이 생겨 양수량이 감소하는 경우 등이 있다.

(2) 오염물질이 일시적으로 유입되었으나 우물 소독 및 개·보수 작업 후 다시 활용할 수 있는 경우

오염물질이 일시적으로 케이싱 내부로 유입되어 수질악화를 초래한 경우와 지표 그라우팅¹⁾(annulus cementing)의 부실로 인하여 상부의 오염원이 침투 또는 유입되고 우물 자체 스크린의 부식으로 함몰되어 토사가 유입되며, 다층구조 대수층에 설치된 우물에서 일부 대수층의 오염물질 유입이 확인된 경우이다.

(3) 지하수 수질등급이 하락되었으나 하등급 수질기준에 적합하게 용도 변경 하는 경우

지하수 수위 및 수질 관측망(보조관측망)으로 활용할 수 있는 위치에 설치된 우물로써 대수층 오염지역에 위치하여 오염 진행상황을 관측하는데 이용할 수 있는 우물이고, 지표 그라우팅(annulus cementing)등 오염방지시설이 완전하게 시공되어 있고 자동관측기를 설치할 수 있는 구경의 우물이다

그러나 모두 다 재활용 할 수 없는데 이런 경우의 대상은 재활용할 경우 오히려 오염원 유입의 우려가 있고, 방치될 경우 사람 또는 생태계를 해하며, 기능성, 효율성, 경제성 등이 완전히 상실된 경우이다

2) 관측정으로 재활용

(1) 지하수 수위 및 수질 관측망(보조관측망)으로 활용할 수 있는 위치에 설치된 우물

(2) 대수층 오염지역에 위치하여 오염 진행상황을 관측하는데 이용할 수 있는 우물

1) 지표 그라우팅(annulus cementing) : 지층 공벽과 외부케이싱 사이의 빈공간(annulus)을 시멘트와 같은 불투수성 재료로 그라우팅을 해서 지표오염원이 공내로 유동할 수 없게 처리하는 것

(3) 지표 그라우팅(annulus cementing)등 오염방지시설이 완전하게 시공되어 있고 자동관측기를 설치할 수 있는 구경의 우물

2. 폐관정의 재활용 과정

1) 재활용 일반 절차

Fig. 7에서 제시한 급수정 또는 관측정으로 재활용하는 경우 일반적인 절차는 Fig. 20과 같다.



Fig. 20. Procedure of recycling

2) 단계별 시공방법

(1) 폐공현황 및 제원조사

우물의 구경, 심도, 우물설치시 사용할 자재의 선정 등 사용목적에 부합되는 최적 재원을 선정, 이상적인 시설개보수를 통해 재활용공의 수명을 최장기간 연장하고 가장 저렴한 가격으로 설치할 수 있도록 하는 것이다.

① 구경 검토

양수기를 충분히 설치할 수 있는 공간과 이를 효율적으로 작동시킬 수 있는 공간과 우물 내로 지하수가 유입되는 부분의 단면적이 충분하도록 수리학적인 효과를 가져야한다.

② 우물심도 검토

시추공의 지하지질 자료나 동일 대수층에 설치된 기존 우물의 자료를 이용하고 상부층이 미고결층인 경우 상부 지하수의 수질불량을 막기 위한 수단을 강구하고 대수층 하부의 지하수수질이 불량한 경우는 상부로 오염되지 않도록 불투수성 물질 충전여부를 판단하기 위함이다.

(2) 우물청소

대수층내의 미립자를 제거하여 공극률을 증가시키고 유입통로를 확충하여 지하수의 유입이 자유롭게 하는 것으로 방법은 다음과 같다.

① 써징 플러저법(surging plunger)

우물자재 내경에 맞는 나무 원판 피스톤을 착정기 로드(rod)에 부착하고 기계 작동으로 상하로 움직여 스크린부위에서의 흡입작용과 역류작용을 반복시켜 지층내의 미세립자를 공내로 유입시키는 방법으로서 유입된 슬라임은 베일러를 이용하여 공 밖으로 배출한다.

② 압축공기에 의한 세척법(air surging)

공기관과 배출관을 우물안에 설치하고 압축공기를 공내로 불어넣어 에어리프트 식으로 슬라임을 배출시키는 방법이다.

③ 과잉 양수법

물의 산출능력 이상의 물을 양수하여 대수층내의 세립자를 제거하는 방법으로 소량의 산출량을 가진 우물에서는 가능하나 산출량이 많은 우물에서는 고성능 양수기의 준비가 어렵고 과잉 양수시에는 지층의 붕괴가 우려된다.

④ 백-워싱 법(back-washing)

에어 리프트(air-lift) 펌프나 수중터빈 펌프를 이용하여 양수할 때 물이 지표로 올라온 직후 펌프의 가동을 중단하면 물은 파이프를 따라 공내로 떨어져 지층에 충격을 가하게 된다. 이러한 방법으로 신속하게 양수와 중단을 반복하면 스크린내에서 일어나는 교란현상으로 공내에 유입된 미세립자가 배출된다.

⑤ 고속젯팅(jetting)에 의한 세척

물을 고속으로 공내에 분사하여 스크린을 통과시키므로 공벽의 점토막을 효과적으로 제거하며 지층의 교란과 손상을 교정하여 재배열 되도록 하는 방법이다. 작업방법은 고속분사기를 회전시키면서 상하로 이동하며 분사작업을 진행하는 것으로 물의 교란작용에 의해 공벽의 미립질의 점토 물질이 공내로 유입되며 이를 양수하여 배출시킨다.

⑥ 분산제 사용

착정용 점토피막을 제거하기 위하여 분산제를 공내에 투입 분산작용을 일으켜 점토입자의 점성을 파괴하는 방법이다.

⑦ 기타방법

기타 방법으로는 관정 안에서 왕복 운동하는 막대피스톤을 이용하여 공벽을 청소하는 방법(swabbing), 높은 주파수의 음파를 이용(ultrasonic)하거나 관정내에 폭약을 터뜨려 균열을 확장시키는 방법(shooting) 등이 있다.

대수층의 공극이나 스크린의 간극을 외부물질이 피막을 형성하는 성인은 탄산작용, 산화물 침전, 유기물로 인한 침전, 흙의 퇴적에 의한 침전 등이 있다.

⑧ 탐산염 계통의 피막제거

칼슘, 마그네슘, 유황 등의 탄산작용에 의하여 생긴 피막은 산에 적정량의 안정제를 가하여 효과적으로 처리할 수 있다. 칼슘과 망간은 탄산염을 쉽게 용해시키고 안정제는 철재 케이싱의 부식 속도를 느리게 하여 손상을 방지하여 준다.

⑨ 산화물 침전에 의한 피막제거

수산화물, 함수산화물이 철 및 망간의 산화물로 침전되어 생긴 피막은 염산에 쉽게 용해되나 pH가 3이하이면 침전이 계속되므로 이들을 제거하기 위하여서는 일정강도의 높은 산도를 계속 유지토록 한다. 철과 망간의 피막이 산성물질에 용해되더라도 피막물질의 공매작용에 의해 산성처리법이 효과가 없을 경우는 강도가 높은 염산(27.92%)을 사용하는 것이 좋다.

⑩ 철박테리아 또는 유기물로 인한 피막제거

염화철과 유기물질이 존재하는 경우는 염소나 유화물질 소독제를 사용함으로써 제거가 가능하다.

(3) 공내촬영

재활용처리 여부를 결정하는데 있어서 공내상태 파악을 위해 실시하

는 TV검층은 우물 내에 수중카메라를 삽입하여 공 상태를 심도에 따라 연속적으로 조사하여 다양한 자료를 수집하고 공 주변 지층의 상태를 촬영하여 분석하는 작업이다.

- ① 우물자재의 재질, 설치상태, 연결부위 및 파손여부
- ② 굴착심도와 공내 슬라임 퇴적상태
- ③ 공내 대수성부위 관찰
- ④ 케이싱 하단부와 기반암반과의 접촉상태 및 그라우팅 여부
- ⑤ 지하수 오염정도 등을 조사한다.

(4) 시설물 개보수

우물자재 검토는 일반적으로 공벽 보호용 자재는 K.S 철재 백관파이프이며 우물설치용 자재는 부식에 강한 스테인레스 스틸이나 P.V.C 파이프류를 사용하고 있다.

미고결층의 공벽 보호용 철재 케이싱, 우물설치용 파이프 및 유공관 등 우물자재는 지하수내에 함유된 광물성분, 박테리아의 유무, 재질의 소요강도 등의 조건에 맞는 재료를 선정하여야 한다.

① 유공관의 내구력

완성된 우물에서는 유공관에 파이프의 하중과 지층의 횡압력이 작용하며 유공관 주변에 작용하는 횡압력은 유공관의 붕괴를 초래할 수도 있다. 유공관은 적절한 내구력과 최대 개공면적을 가져야 하며 상대적인 가격 비교가 고려되어야 한다.

② 유공관의 재질

우물을 폐쇄시킬 수 있는 유공관의 부식 또는 물때효과는 지하수 수질에 따라 차이가 있으므로 수질분석 결과를 고려해 유공관의 재질 선택을 달리하여야 한다.

우물자재 및 수중모터펌프 재설치는 관측정으로 재활용할 경우 미고 결층의 붕락을 방지하고 대수층으로부터의 지하수 유입을 효과적으로 하기 위하여 우물자재를 설치하며 주 대수층에는 유공관(screen, strainer)을 설치한다.

(5) 우물소독

우물 소독은 먹는물 용도로 사용되는 우물에 대한 염소소독과 세균 검사 절차를 말한다. 폐공 재활용을 위한 개·보수 과정에서 오염물질 제거와 우물소독은 우물 재활용을 위한 필수사항이다. 소독을 위한 염소의 종류로는 소독작업에 이용할 수 있는 염소의 형태는 액체 염소, 차아염소산나트륨용액, 차아염소산칼슘 입자 또는 정제이다.

① 액체염소

액체염소는 100% 유효염소를 포함하며 취급이 위험하므로 적절한 안전수단이 강구된 장비와 기술을 갖춘 자가 사용하여야 한다.

② 차아염소산나트륨

차아염소산나트륨(NaOCl)은 매우 불안정한 화합물로서 물에 용해해서 판매되고 있다. 이 용액은 약 5~15%의 유효 염소를 함유하고 있으며, 열화를 최소화하기 위해서는 저장조건과 기간의 관리에 유의하여야 한다.

③ 차아염소산칼슘

차아염소산칼슘(Ca(OCl)_2)은 입자 형태 또는 작은 정제로 이용되며 중량으로 약 65%의 유효염소를 함유하고 있다. 이 재료의 열화 방지를 위해서는 건조한 냉암환경에 보관하여야 한다.

우물 내 물의 전 체적에 염소를 투여하여 평균 염소농도가 $50\text{mg}/\ell$ 가 되도록 케이싱 내의 물을 처리한다. 이 작업은 차아염소산칼슘 정제 또는 차아염소산나트륨 용액을 사용하여 실시한다. 차아염소산칼

습을 이용하는 경우에는 약 5g 용량의 정제를 케이싱 안에 투입하고 30분 이상 방치하여 정제가 물에 용해되도록 한다. 차아염소산나트륨을 이용하는 경우에는 주입관을 우물 바닥에 닿도록 설치하고 관을 통하여 차아염소산나트륨 용액을 주입하면서 관을 꺼내 올린다. 염소 투입 후 염소소독수의 혼합을 증진하고 주변 대수층이 접촉할 수 있도록 3회 이상 에어써징을 실시하며 염소소독수는 적어도 12시간 이상 최대 24시간까지 케이싱 내에 체류시킨다.

위의 소독작업 절차가 마무리된 다음에는 펌프 배출관에서 배출량의 일부가 케이싱 내부로 회귀하도록 장치한 후 양수를 하여 소독수를 제거한다. 이것은 배출밸브를 조절하여 케이싱 내부를 청소하고 물의 표면에 축적된 기름 또는 이물질을 제거하려는 것이다. 만일 펌프가 설치되어 있지 않은 우물에서는 이를 에어써징으로 대체할 수 있다. 배출된 물은 주기적으로 염소 잔류량을 측정하고 염소잔류량이 0으로 측정된 후 15분 정도 양수를 지속한다.

우물의 염소소독을 실시하고 염소 잔류량이 0이 된 후 15분 이상 양수한 다음 30분 이상의 간격을 두고 2개 이상의 시료를 채취하여 수질검사 기준에 의거 대장균 존재 여부를 검사하여야 한다.

(6) 양수시험

우물의 양수능력과 효율을 파악하기 위한 대수층 조사의 일종인 양수시험은 그 우물이 위치한 대수층의 수리적 특성을 나타내는 수리상수와 밀접한 관련이 있다. 수리 상수의 측정방법으로는 장·단기양수시험, 단계양수시험, 순간수위변화시험(slug test) 등 여러 가지가 있으나, 우물의 효율을 측정하는 데는 단계양수시험이 가장 일반적 방법으로서 이로부터 비양수량과 최대 양수가능량을 산정한다.

(7) 수질검사

지하수 수질은 지하수 부존특성상 대수층을 구성하고 있는 지층과의 상호적인 작용에 의해 장기간에 걸쳐 형성된다.

방치폐공의 원인분석 및 재활용 방안 강구를 위해 대상공에 대한 수질검사를 실시함으로써 대상지역의 지하수 특성을 파악한다.

(8) 우물보호시설 설치

지하수 우물의 오염물질 유입방지 및 부대설비의 보호를 위하여 설치하는 것이고 보호공의 덮개는 동파방지 및 보호공내 외부물질의 유입방지와 위험예방 등을 감안한 재질로 설치한다.

3. 폐관정의 원상복구

1) 원상복구의 목적

폐공 원상복구의 주목적은 지표오염원의 폐공 내 유입 방지, 오염원의 수직적 이동통로 차단, 케이싱 등의 우물자재를 제거해 지하수 오염을 방지함으로써 원래의 지하수 부존 환경으로 복원하는데 있다. 또한 사용하지 않는 우물을 제거하여 우물 주변의 지표환경을 복원하고 직경이 큰 폐공의 경우에는 추락 등의 안전사고를 사전에 방지하는 효과도 기할 수 있다.

2) 원상복구 일반절차

폐공을 되메움 할 때 가장 효과적인 방법은 폐공 전구간을 하부로부터 투수성 재료 되메움 구간, 불투수성 재료 되메움 구간 및 표면처리 구간으로 구분하여 각 구간별로 적합한 되메우기를 하는 것이다. 현장여건에

따라 지표부 표면처리 구간은 생략하여 되메움을 할수도 있으며 심도가 깊은 폐공(300m이상)은 조사 후 상부만 되메움 할 수도 있다. 그러나 오염된 폐공은 전구간 불투수성 재료로 되메움하여야 한다.

폐공 전구간 되메움 순서는 일반적으로 ① 주변환경검토, ② 폐공현황 및 제원조사, ③ 폐공내 이물질 제거 및 우물소독, ④ 투수성 재료 주입, ⑤ 지표부 터파기, ⑥ 케이싱 제거, ⑦ 불투수성 재료 주입, ⑧ 지표부 표면처리, ⑨ 주변 정리, ⑩ 원상복구 보고서 작성 등의 순서로 시공한다. 케이싱 제거 유무와 토지이용계획에 따라 ⑤, ⑧ 항목의 작업공정은 생략할 수 있으며 주요 공종별 내용은 Fig. 21과 같다.

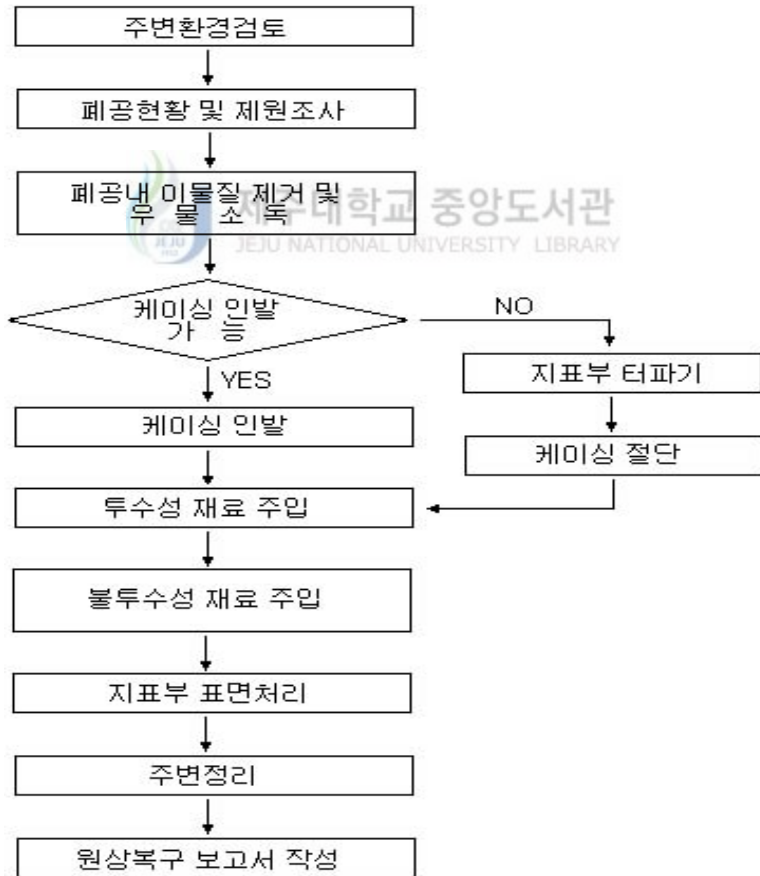


Fig. 21. Procedure of recovering (re-reclaiming)

(1) 주변 환경 검토

폐공 되메움 작업을 시행하기에 앞서 주변 환경과 지질조건에 대한 검토는 매우 중요하다. 만약 대규모의 오염원이 폐공 인근에 존재할 경우에는 전구간을 불투수성 재료로 되메움할 필요가 있을 것이며 농약 등의 살포가 빈번하고 경작을 하는 농경지 등에서는 불투수성 재료 되메움 구간 심도를 깊게 하거나 지표부 표면처리를 반드시 시행하여야 한다. +

또한 개발 당시의 자료를 확보, 지질조건이나 지층의 현황을 파악하는 것도 되메움의 재료 결정이나 불투수성 재료의 주입심도 등을 결정하는데 중요한 자료로 사용된다.

(2) 폐공현황 및 제원조사

폐공의 원상복구를 위하여는 폐공현황조사를 실시하여 폐공의 위치와 상태를 파악하고 그 지질조건에 따라 적절한 방법으로 되메움하여야 한다(건교부, 2003).

되메움 심도의 결정은 폐공의 심도와 지질주상도 및 대수층 심도 등을 검토하여 폐공심도 전 구간을 되메움할 것인가 또는 일부구간을 되메움할 것인가를 판단한 후 되메움 재료의 양과 심도를 결정한다.

되메움 재료의 양을 결정할 때에는 다음의 공식을 사용한다.

$$V = \pi \times r^2 \times d$$

여기에서

V : 부피

r : 우물의 반지름

d : 우물의 심도

되메움 재료의 선정은 폐공의 지질단면에 따라 대수층 구간에는 투수

성 재료로 되메움하고 대수층이 아닌 암반층과 충적층에서는 불투수성 재료로 되메움한다. 이는 지하수가 통과하는 구간에서는 모래 잔자갈 등을 충전하여 지하수가 자연상태로 흐르게 하고, 비대수층구간과 지하수 오염구간에서는 시멘트, 벤토나이트, 점토 등을 넣어 물이 통과하지 않게 하는 것이다.

그러나, 원상복구 대상 폐공의 대수층 구간을 파악하는 것은 현실적으로 어려움이 있으므로 하부 고결암층은 투수성 재료로 되메움을 하고 상부 미고결암층은 불투수성 재료로 되메움하는 것이 바람직하다.

보통 암반층 지하수를 개발대상으로 하는 우물의 경우 미고결암 구간에 공벽붕괴 방지를 위하여 케이싱 등의 우물자재를 설치하는 것이 일반적이므로 케이싱 설치구간을 불투수성 재료로 되메움 하도록 한다.

(3) 폐공내 이물질 제거

폐공내의 상태를 점검하여 되메움 재료 주입에 방해가 되는 수중모터 펌프 등의 양수장비와 기타 이물질을 되메움 재료 주입전에 이를 제거하도록 하며, 폐공내부가 유류 등으로 오염되었다고 판단되면 에어써징(air surging)을 실시하여 우물청소를 하여야 한다.

우물소독은 200mg/l 농도의 염소 용액을 공내 지하수에 넉넉히 주입하여 시행하는데, 이 용액은 5.25%의 클로린(chlorine) 농축액 2ℓ 를 450 ℓ의 물에 희석하여 만든다.

(4) 지표부 터파기

케이싱 인발이 되지 않을 경우 케이싱 절단을 위하여 실시한다. 터파기 심도는 현장 여건과 향후 토지 이용 계획에 따라 조정할 수 있으나 대략 1~1.5m 심도가 적당하다.

(5) 케이싱 제거

투수성재료 주입이 끝나면 케이싱을 가능한 한 인발(뽑기)하여 제거

한다. 케이싱 인발 장비는 유압잭(hydraulic jack), 체인블럭, 포크레인 등을 이용하여 인발하며 거의 대부분의 케이싱은 유압잭으로 인발이 가능하다. 케이싱의 외부 공벽에 그라우팅이 확실하게 되어 있어도 케이싱을 그대로 두면 장기적으로는 부식되어 오염원이 될 수 있으므로 가급적이면 인발하여야 한다. 케이싱 인발이 불가능하면 터파기를 실시하여 지표에서 1m까지 케이싱을 절단하여 제거한다.



크레인으로 인양 유압식 인발기로 인양

Fig. 22. Casing recover & removal

(6) 투수성 재료 주입

케이싱 제거와 지표부 터파기에 앞서 실시하여야 한다. 폐공의 직경은 수cm에서 수십cm에 불과하므로 투수성 재료의 주입시 브릿지(bridge)²⁾ 현상에 유의하여야 한다.

브릿지 현상이 발생하면 브릿지 구간 하부는 되메움이 되지 않게 되며 일정 시간이 지나 중력에 의해 브릿지가 해소되면 브릿지 상부구간이 함몰되어 빈 공간이 다시 발생하므로 되메움의 효과가 떨어지게 된다. 그러므로 투수성 재료 주입시는 주입량에 따른 주입심도를 측정하

2) 브릿지(bridge) 현상 : 되메움 재료를 폐공 내로 주입시 주입속도가 지나치게 빠르면 되메움 재료가 공 하부에 도달하기 전에 중간에 막히는 현상

여 브릿지 현상 발생여부와 주입재 다짐상태를 점검해야 한다.

(7) 불투수성 재료 주입

① 물

되메움 재료를 혼합하기 위한 것으로 깨끗한 물을 사용해야만 되메움 재료의 특성에 따른 주입효과를 기대할 수 있다.

② 시멘트

되메움 재료로서의 시멘트는 한국 표준규격의 포틀랜드시멘트를 사용하여야 하며 목적에 따라 급결재 혹은 지연재와 같은 혼합물을 사용할 수 있다.

③ 벤토나이트

벤토나이트는 점토광물의 일종인 몬모릴로나이트(montmorillonite)를 주광물로 하며 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 팽창성 : 물을 흡수하여 5~10배의 체적 팽창하는 성질
- 현탁성 : 물을 분산시켜 콜로이드 상태의 현탁액으로 되는 성질
- 점 성 : 미세한 판상 결정입자가 밀접되어 높은 점성을 나타내는 성질

되메움 재료는 공내 상황 및 화학적 특성, 현장 여건, 되메움 재료의 특성에 따라 결정되는데 주로 시멘트 밀크, 시멘트 몰탈, 시멘트 콘크리트 및 이들과 벤토나이트의 혼합재 등을 들 수 있다.

케이싱 제거가 끝나면 투수성 재료를 주입한 상부구간부터 터파기 구간 또는 지표까지 불투수성 재료를 주입한다. 선정된 주입재의 재료분리를 방지하기 위해 룯드주입을 하거나 구경 50mm 이내의 트레미 파이프 또는 호스를 하부까지 내려서 바닥으로부터 주입해야 한다. 주입요령은 파이프 선단을 하부에 고정시킨 상태에서 주입하는 방법과 주입의 진행에 따라 끌어올리면서 단계적으로 주입하는 방법이 있는데 이때 파이프 하단은 주입표면으로부터 적어도 3m 아래에 잠겨 있도록 하여야

하며, 주입은 항상 하단에서부터 실시하여 주입압에 의해 상부로 유출 될 때까지 주입 방법을 적용해야 한다.

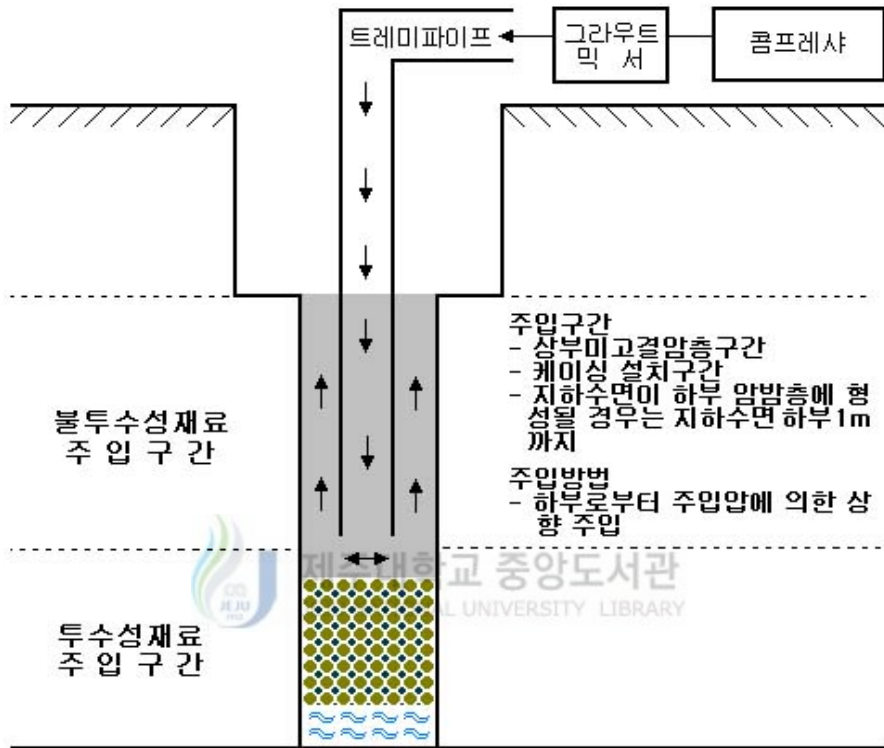


Fig. 23. Diagram of insertion of tremie pipes

(8) 지표부 표면처리

지표부 터파기 작업을 실시한 경우 불투수성 재료의 주입이 끝난 상부구간을 표면처리토록 한다.

불투수성 재료 투입후 24시간이 경과하면 불투수성 재료는 수축 또는 주변 토양으로 침투하기 때문에 약 1m 이상 수축하게 되는 데 이 부분을 불투수성 재료로 재충진한다.

재충진한 불투수성 재료가 완전히 고결되면 터파기 하부 구간에 시멘

트 몰탈을 약 30cm 두께로 타설한다. 시멘트 몰탈 타설이 끝나면 터파기 나머지 구간은 터파기 한 흙으로 다짐하면서 뒷메움을 하여 폐공처리 작업을 완료한다.

(9) 주변 정리

폐공처리 작업이 완료되면 주변 환경과 어울리게 주변 정리를 하고 폐공 작업중에 발생한 케이싱, 우물자재 등의 폐자재를 운반 폐기 처분한다.

(10) 원상복구 보고서 작성

원상복구가 완료되면 보고서를 일정 양식에 의거 작성, 보존함으로써 지하수 관리자료로 활용하여야 한다.

3) 원상복구 시공 과정



주변환경검토



폐공현황 및 제원조사



폐공내 이물질 제거 ①



폐공내 이물질 제거 ②



우물 및 투수성 재료 소독



투수성 재료 주입



케이싱 제거 ①



케이싱 제거 ②



불투수성 재료 주입



지표부 표면 처리



주변 정리

4. 지질에 따른 주입량 산정

1) 암반층

찬공량과 마찬가지로 주입량은 대개 추정하여 설계하고 있으며 그 양은 시공과정에서 상당히 증감하는 것이 보통이다. 그러나 공사비 산출을 위해서 합리적인 방법으로 그 양을 산출하여야 한다(농기공, 2001).

수압시험과 코어상태로부터 주입량을 산출하는 방법이 얼핏 들으면 합리적인 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이는 투수성과 주입성이 일치하지 않는 경우가 흔하기 때문에 오차가 대단히 크다.

단위 m당 주입량(unit take) 산출은 일정한 구간 즉 1차공과 1차공 사이의 구간을 완료한 후 수직적 주입량을 검토하여 산출한다. 한두공만 시험주입하고 주입량으로 산출하여도 안되고 심도에 따라 투수성이 다르므로 공당 주입량으로 산출하는 것도 합리적이지 못하다. 즉, 내삽법에 의한 공별, 단계별로 주입된 양을 기준하여야 한다. 공의 간격이 줄어들면서 주입량 또한 최소열 시공 후 다음열 주입량이 훨씬 덜 들어가기 때문이다.

Table 15. Calculation method of cement feeding (kg/m)(농기공, 2001)

구분	Step	Section	1차공	2차공	3차공	4차공	평균
		m	kg	kg	kg	kg	kg/m
The minimum line	1	0~3	100	80	40	30	83
	2	3~8	80	50	30	15	35
	3	8~13	40	30	20	-	18
	4	13~18	30	20	-	-	10

이처럼 시험그라우팅 결과로 양을 산출하지 못할 때는 국내 및 외국에서 일반적으로 3%의 주입공극율을 적용하고 있다. 그러나 석회암지대나 화산암지대로서 주상절리와 시대를 달리하는 용암류가 발달하고 있는 지질여건이거나 공동이나 절리의 크기가 클 때는 엄청나게 주입되는 경우가 흔하므로 현장주입시험 결과에 의한 공극율을 적용하여야 한다.

캡콘크리트 타설구간에서는 주입재의 지표누출이 억제되거나 암반표면부에 그라우팅할 때는 주입재의 지표누출이 심하여 손실율이 크다, 또한 공매작업에 소요되는 주입재량과 재찬공에 의한 주입재의 손실량도 감안되어야 한다.

초미립자시멘트를 주입재료로 사용할 경우에는 침투성이 포틀랜드시멘트에 비해 양호하므로 암반의 주입공극율은 30~60% 더 많이 계상하여야 한다.

2) 토사층



투수계수가 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ cm/sec 인 경우에는 주입공법에 관계없이 침투주입이 되나 10^{-3} cm/sec인 경우에는 할렬이 발생하기 쉬우므로 적절한 주입 방법, 주입재 및 주입속도 등을 정해야 한다.

투수계수가 매우 다른 호층에 주입하는 경우에는 침투하기 쉬운 토층 또는 할렬하기 쉬운 토층에 먼저 주입되고, 그 토층의 주입저항이 다른 층의 주입저항과 같은 정도가 되어야 다른 층으로 주입이 되기 시작한다. 이와 같은 토사층에 주입재가 들어가는 양상은 여러 가지이다. 따라서 주입량 계산은 주입방법, 주입재 종류, 주입압력 등의 불정확한 요소가 너무 많아서 정확히 계산하기가 어렵다.

주입량은 이론적으로 다음과 같이 구하고 있다.

$$Q = Vn\alpha(1 + \beta)$$

또는,

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

여기서, Q : 주입량

V : 주입대상토량

n : 흙의 공극율(소수)

α : 토질, 주입재점성 등에 따라 변하는 주입재의 충전율, 공극충전율 또는 주입충전율이라고도 함.

$1 + \beta$: 안전율 또는 손실상수

$\alpha(1 + \beta)$: 손실을 고려한 주입재의 충전율

$n\alpha(1 + \beta)$: 손실을 고려한 주입율(%)

$\lambda = n\alpha$: 주입율(%)

β : 주입손실계수 = 0.05~1.0 ≒ 1.0

G_s : 토립자의 비중

e : 토립자의 공극비

w : 자연함수비(%소수)

w_p : 소성한계(소수)

주입율 λ 는 대상지반의 토성과 주입재의 침투성에 따라 달라지는데 더욱이나 주입대상토는 불규칙하고 복잡하므로 이를 결정하기 위해서는 많은 경험과 숙련을 요한다. 즉, 공극율 n 은 토질 및 다짐정도에 따라 매우 가변적이며, 위에서와 같이 주입충전율 α 도 토질의 입도, 밀도, 공극율, 주입재의 점성, 침투성, 주입공의 숙련도 등에 따라 변화되는 등 불정확정요

서가 많기 때문에 이를 정량적으로 결정한다는 것은 매우 어렵다.

Table 16. Feeding ratio by subject of the soil

subject of the soil			Porosity(n) (%)	Percentage of grouting (λ)	비고
Sandy soil	coarse sand	Loose state	44.38	0.40~0.54	$\alpha=90\sim120\%$
		Medium state	28.34	0.35~0.46	
		Dense state	31.6	0.28~0.38	
	fine sand	Loose state	45.7	0.41~0.55	
		Medium state	39.8	0.36~0.48	
		Dense state	35.7	0.32~0.43	
silty sand	Loose state	48.2	0.14~0.17	$\alpha=30\sim35\%$	
	Medium state	39.3	0.12~0.14		
	Dense state	34.1	0.10~0.12		

5. 원상복구의 시공상 문제점

원상복구는 지표오염원의 폐공 내 유입 방지와 오염원의 수직적 이동통로 차단하고 케이싱 등의 우물자재를 제거해 지하수 오염을 방지함으로써 원래의 지하수 환경으로 복원하고, 사용하지 않는 우물을 제거하여 우물 주변의 지표환경을 복원하고 추락 등의 안전사고를 사전에 방지하는 효과도 기할 수 있다. 이러한 원상복구 공정은 건교부의 규정대로 하고 있으

나, 실제 현장에서는 공정상의 어려움이 따른다.

원상복구의 과정 중 폐공 되메움을 하기 위해서는 주변환경과 지질조건에 대한 검토는 매우 중요한 과정이다. 그러나, 제주도의 부분별한 지하수 개발로 인해 양산된 사설 관정 대부분은 지질주상도가 없거나 그 내영을 신뢰 할 수 없는 실정이다. 이러한 실정에서 지질 및 지층을 파악이 힘들어지므로 불투수층의 주입심도 등을 결정하는데 어려움이 따른다.

되메움 재료 선정시 대수층 구간에는 투수성 재료로 되메움하고 대수층이 아닌 암반층과 충적층에서는 불투수성 재료로 되메움을 해야 하는데, 부정확한 자료로 인하여 대수층을 막거나 지하수가 자연상태로 흐르는 것을 방해하고, 비대수층과 지하수 오염구간의 차단을 못하므로 오염원의 확산을 초래할 수 있다.

케이싱 제거는 현장의 여건으로 인발 자체가 힘든 경우가 종종 발생하게 되는데, 이러한 상황은 지하수개발 과정에서 굴착시 지층의 변화 및 굴착장비의 각 비틀림으로 인하여 케이싱이 직선으로 설치되지 못한 경우에는 터파기를 설치하여 지표에서 1m까지 케이싱을 절단하여 제거한 후 되메움을 실시하나, 이것은 케이싱 자체가 오염원으로서 작용을 하게 되므로 신중을 기해야한다.

6. 원상복구 기술의 개선방안

제주도에서 이루어지는 원상복구 공법의 대부분은 제주의 실정에 맞기 보다는 건교부의 규정에 따른다.

따라서, 제주지역에 적합한 공법의 기준의 제시가 절실한 실정이다. 또

한, 실제 현장의 형편에 맞는 공법의 유동성 또한 필요하다. 그러기 위해서는 처리비용의 상승이 불가피한 실정으로 지적된다.

먼저 공공관정이 아닌 경우 지질주상도가 거의 없는 실정이며, 있는 것 또한 신뢰할 수 있는 여건이 조성되어 있는 실정에서 원상복구는 무리가 따른다. 원상복구 시 지층 파악이 안되므로 골재 및 채움그라우팅의 재료의 유실이 우려되며, 또한 대수층을 차단할 수 있는 실정이다.

이를 막기 위해서는 주변 공공관정의 지질주상도를 통해 주변 지층을 확인하고, CCTV 검층을 통한 지층의 확인 후 불투수층 지질에 집중적인 채움그라우팅으로 지상의 오염원으로부터 지하수를 보호한다.

또한 현장에서의 케이싱 제거는 힘들다. 재료상의 문제도 있지만 굴착 시 각의 비틀림으로 인해 지상에서 인발기로 뽑아내는 방식으로는 작업 자체가 힘들다. 이로 인해 케이싱의 유실로 인해 케이싱 자체가 오염원이 될 수 있는 실정이다.

이를 막기 위해서는 건교부의 규정을 무조건 따르는 방법보다는 현장 상황에 맞는 유동적인 공법으로의 전환이 필요하겠다. 그러기 위해서 우선 케이싱의 인발보다는 케이싱의 매립을 결정 후 단가의 상승이 필요하나 케이싱 안의 슬라임을 제거하는 방법을 권장하겠다.

그리고, 케이싱 인발시 연약지반의 낙석 및 붕괴로 인해 브릿지 현상이 나타나므로 인발보다는 매립을 하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

VI. 결론

제주도에서 지하수 이용을 위해 굴착된 관정은 지하 심부에서 암층 경계면의 클린커 구조, 균열 및 절리, 용암터널 등 오염경로 역할을 하는 구조들이 다수 형성되고 있다. 이러한 지질구조로 인해 지표상부 또는 굴착 공벽과 케이싱 사이에 오염방지 그라우팅 시설이 절실히 요구되는 것은 물론이며, 투수성이 매우 양호한 지질구조 및 균열·절리 구간을 통해 파쇄된 부분에 오염방지와 원상복구 시공 시 많은 문제점이 있다.

이 연구에서는 제주도의 생명수인 지하수의 오염을 방지하고 양질의 지하수를 효율적으로 개발·이용하고 보전하기 위해 제주도의 지질특성에 적합한 지하수 관정의 오염방지와 용도가 불분명해진 관정의 현황을 조사하여 폐관정의 처리 및 원상복구 기술을 연구·조사하였다.

제주도는 균열·절리 구간 및 스코리아층, 클린커층 등의 파쇄대 구간에서 낙석 될 가능성이 많으므로 상부에서 투하시키는 채움 공법은 피해야 한다. 따라서 상향식공법(트레미 방법)의 시공이 절대적으로 필요하며, 이를 엄격히 준수하도록 현장에서의 지도와 감독이 강하게 요구된다.

지하심부에 공동구간 및 대규모 균열·절리구간을 포함하고 있으며, 투수계수가 높아 이들 구간에서 그라우트재가 과대하게 주입되면, 주변으로 침투된 그라우트재가 하부의 대수층을 차단시킬 수 있다. 그러므로 개발공의 상태에 따라 지하수법이 제시하고 있는 물 : 시멘트의 중량비 1:2 보다는 물의 양을 줄여 그라우트재가 균열 및 절리 구간으로의 유실되는 것을 방지하기 위하여 그라우트재의 입도가 큰 것을 혼합시켜 그라우팅을 실시해야 한다.

제주도 지질특성상 지하심부로 굴착할 경우 공극현상이 생길 가능성이 크며, 이에 따라 공내에 설치된 케이싱이 한쪽으로 치우쳐 공벽에 닿게 되는 현상이 발생되므로 그라우팅을 실시하더라도 일정두께를 유지하기 어렵다. 따라서 채움그라우팅 구간을 재천공시 굴착장비의 오차나 개발관정의 현장 환경요소에 의해 수직으로 천공되지 않을 경우에 대비하여 현행 지하수법상의 규정인 채움그라우팅 7cm이상과 주변공간그라우팅 5cm 이상을 각각 10cm이상과 7cm이상으로 더욱 강화할 필요성이 있다.

주입재의 과대 투입 및 필요이상 구간의 그라우팅 방지, 또한 공동구간의 차단을 용이하게 하기 위하여 주입재의 유동성 있는 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.

지하수 관정을 개발하여 이용한 후 그 용도가 불분명해진 관정은 수량이 줄었거나 취수정으로 이용가치가 있는 경우 급수정으로 재활용한다. 그러나 지하수의 수질이 악화되어 정상적인 수질등급을 유지하기 어려운 경우는 관측정으로 재활용하기도 한다.

지하수의 관정을 재활용할 가치가 없을 때는 원상복구를 실시하여 오염원의 지하유입을 방지하여야 한다. 제주도는 오염에 취약한 투수성 지질구조로 형성되어 있어, 건설교통부가 제시하고 있는 원상복구 기술은 시공절차와 공법이 제주도의 현실과는 다소 거리가 있다. 따라서, 특이한 지질특성을 가진 제주지역에 적합한 원상복구 기술은 유동성과 효율적인 처리과정이 필요하다.

제주도는 현재 총 4,891개공의 관정이 개발되어 전체 수자원의 대부분을 차지하고 있다. 또한 폐관정에 대한 원상복구는 284개공에서 실시되었

으며, 현재도 지속적으로 시행되고 있다. 제주도의 지하수 관정 중 공공관정이 아닌 사설관정은 거의 지질주상도가 없거나, 있는 경우라 하더라도 자료의 신뢰성 때문에 원상복구시 참조하기에는 무리한 실정이다. 따라서 폐공의 원상복구시 지층의 분석이 이루어지지 않으면 시공시 골재와 채움 그라우팅 재료의 선정과 주입량의 산정 및 주입재의 유실이 예상되며, 대수층을 차단할 우려도 있다. 이를 방지하기 위해서는 대상관정의 주변에 위치한 공공관정의 지질주상도를 참조하여 주변의 지층을 판단한 후, CCTV 검층을 실시하여 계획을 수립한 후 실제의 지층을 확인하면서 시공하여야 한다. 이때 전체에 대한 되메움보다는 불투수층 지질에 대해 집중적인 되메움을 실시하여 지상의 오염원이 유입되지 않도록 지하수를 보호하여야 한다.

원상복구 현장에서 폐관정의 케이싱 제거는 기술적으로 매우 어려운 실정이다. 재료상의 문제 외에도 지하수 관정 개발시 비틀림이 발생하여 완전한 제거는 어렵게 된다. 이때 케이싱이 유실되어 케이싱의 부식 및 슬라임을 발생시킴으로 인하여 케이싱 자체가 오염원이 될 수도 있다. 이같은 현상을 방지하기 위해서는 현장의 상황을 고려하여 유동적인 시공법을 도입하여야 한다. 즉, 우선 케이싱의 인발 또는 매립을 결정 한 후, 매립으로 결정 되면 케이싱 내부를 슬라임 처리 한 후 되메움을 하여 미생물의 번식에 의한 오염과 빠른 부식 진행으로 인한 오염으로부터 지하수를 보호하도록 하여야 한다.

화산쇄설층으로 이루어진 제주도의 지질구조상 케이싱 인발시 낙석의 발생이 예상되며, 이로 인하여 지반 붕괴로 발전될 수도 있다. 이러한 경우는 케이싱 자체를 약액처리를 한 후 매립을 하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

지하수 오염방지 시설의 시공 및 원상복구는 오염물질의 유입을 차단시키는 것이 목적이며, 또한 이용대상이 되는 대수층 구간을 보호해야 하는 것은 근본적인 문제이다. 따라서, 제주도의 지하수 그라우팅 및 원상복구 시는 관정과 지층의 상태에 따라 주입재를 선정하고 주입방법에서는 어느 정도 유동적인 요소를 가진다. 그러므로 지하수 개발 및 원상복구 현장에서는 오염방지시설을 더욱 철저히 준수하도록 지도·감독을 강화해야만 한다.



참고문헌

- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적 이용방안 연구, 제주대학교 석사학위논문, 61pp
- 양윤석, 2004, 제주도 지하수특별관리지역의 지하수이용허가권 조정방안에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, 45pp
- 건설교통부, 2003, 지하수 업무 수행 지침, 384pp.
- 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.
- 건설교통부, 1999, 지하수 업무수행 지침서, 240~245p.
- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 해양연구소논문집, 161~163p.
- 김계남·구자공·원희준·오원진, 2000, 김포매립지 주변 지하수오염 저감방법 연구, 1~7p.
- 한상철, 2002, 제주도 지하수의 그라우팅공법에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문, 42pp.
- 김윤종·이석민·원종석·이성복, 2001, 지하수분류도 작성에 의한 서울시 지하수 보전지구선정·관리방안, 연구한국지하수도양환경학회지, 97~113p.
- 이철효, 1999, 유류 및 침출수에 의한 지하수오염과 처리방안, 대한지하수환경학회, 139~167p.

- 오석영·전효택, 1996, 폐기물 매립지 주변의 지하수 오염과 오염물질의 지연 특성, 대한지하수환경학회, 37~49p.
- 조희남·성익환·이병대·조병욱, 2003, 팩카그라우팅을 이용한 지표하부 오염방지 시공 및 응용연구, 한국지하수토양환경학회, 77~81p.
- 북제주군, 2002, 월림지구 받기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 119pp
- 북제주군, 2002, 북촌2지구 받기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 117pp
- 북제주군, 2002, 한원지구 받기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 125pp
- 북제주군, 2002, 월림지구 농촌농업·생활용수사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 125pp
- 서귀포시, 2002, 월평1지구 받기반정비사업에 따른 지하수 개발 지하수 영향조사서, 109pp
- 송시대·고기원·윤선, 1996, 제주도 지하수의 함양과 오염에 미치는 습곡조와 꽃자왈 지대에 관한 연구, 대한지하수환경학회 학술발표회논문집 68~69p.
- 일본 연약지반 대책 기술위원회, 1995, 토목건축시공자를 위한 실용연약지반대책공법 총기술, 동화출판, 809pp.
- 대한지질공학회, 1996, 96응용지질 WORK SHOP, 120pp
- 토목공법연구회, 1996, 지반개량공법(조사·설계·시공), 창우출판, 323pp.
- 토목공법연구회, 1995, 연약지반대책공법(조사·설계·시공), 창우출판, 243~244p.
- 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 588pp.
- 농업기반공사, 2001, 댐 그라우팅 설계 및 시공 실무지침서, 229~236p.
- 제주도, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ), 425pp.

감사의 글

이 논문을 쓰기까지 부족한 점이 많은 저에게 그 어느 누구보다 우선저의 부족함을 탓하지 않으시고, 노력과 인내로 지도해 주시고, 인격적으로나 학문적으로 크신 가르침을 주신 양성기 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 학부 때부터 지금까지 학문적 소양뿐만 아니라 세심하게 지도해주신 김남형 교수님, 남정만 교수님, 이병걸 교수님 박상렬 교수님, 김상진 교수님, 김성근 교수님께도 감사를 드립니다.

논문이 나오기까지 아낌없는 도움을 준 수리방 식구인 김봉석, 문덕철, 양태혁, 김형철, 김준형, 윤천훈, 강호성, 양안수, 김성윤에게도 감사의 마음을 전하고, 대학원 생활 및 조교를 하면서 부족한 점이 많은 저에게 힘이 되어준 김창훈, 허영택, 박지훈, 조영웅, 오동일, 허성호, 최현, 부성욱, 권혁춘, 김광일, 박민수, 김경보, 김승범, 양철영에게 고마움을 전합니다. 그리고 힘들거나 지칠때 큰 힘이 되어준 소중한 친구 창식, 종석, 진호, 혁준, 영진, 광원, 창준에게도 고마운 마음을 전합니다.

공부할 수 있도록 믿고 의지가 되어준 아버지, 어머니, 형, 누나에게도 진심으로 감사드리고 사랑합니다. 그리고 항상 내가 힘들거나 지칠 때마다 힘이 되시고 바른길로 인도해주시는 하나님께 이 영광을 돌립니다.

오늘의 결실이 있기까지 힘들고 고된 순간들이 닥칠 때마다 관심과 용기를 주신 모든 분이 있다는 것 잊지 않겠습니다. 감사합니다.

2004년 12월