

碩士學位論文

濟州道 地下水管井의 補修工法에  
關한 研究



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學專攻

高在旭

2006

碩士學位論文

濟州道 地下水管井의 補修工法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

高 在 旭

2 0 0 6

# 濟州道 地下水管井의 補修工法에 關한 研究

指導教授 楊 城 基

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2006 年 1 月 日



濟州大學校 産業大學院

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

建設環境工學科

土木工學專攻

高 在 旭

高在旭의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2006 年 1 月 日

委 員 長 印

委 員 印

委 員 印

# 目 次

## 目 次

目 次 .....	i
LIST OF TABLES .....	ii
LIST OF FIGURES .....	iii
I. 서론 .....	1
1. 연구 배경 .....	1
2. 연구 목적 .....	2
3. 연구 방법 .....	3
II. 제주도의 지질과 지하수 부존특성 .....	5
1. 제주도의 지질특성 .....	5
2. 제주도의 지하수 부존특성 .....	6
III. 제주도 지하수의 개발·이용과 관리시스템 .....	10
1. 지하수의 개발과 이용현황 .....	10
2. 지하수관정의 관리시스템 .....	11
IV. 외국 지하수관정의 시공법 .....	15
1. 산타클라라카운티의 표준 지하수 시공법 .....	15
2. 산타클라라카운티의 표준 원상복구 공법 .....	19
3. 미타카시의 오염 지하수관정의 보수 공법 .....	23
V. 지하수관정의 오염과 보수공법 .....	25
1. 제주도 지하수의 오염원 .....	25
2. 보수 대상관정의 진단 .....	26
3. 지하수관정의 보수과정 .....	27
4. 지하수관정의 보수공법 .....	28
VI. 제주도 지하수관정의 보수공법 적용 .....	34
1. D콘도미니엄 시공 .....	35
2. J두부공장 시공 .....	38
3. S콘도미니엄 시공 .....	40
4. S사우나 시공 .....	43
VII. 지하수의 보수공법에 따른 수질개선 방안 .....	46
1. 수질개선을 위한 지하수 관정의 보수공법 .....	46
2. 지하수 보수공법의 개선방안 .....	47
3. 지하수 관리시스템 개선방안 .....	50
VIII. 결론 .....	51
참고문헌 .....	53

## LIST OF TABLES

Table 2-1 Distribution of permeability geologic structure in Jeju Island.....	6
Table 3-1 Status of use of groundwater in Jeju Island.....	10
Table 3-2 Application of supervision for excavation work in Jeju Island ...	13
Table 4-1 Depth of contamination prevention grouting classified by water district in Santa clara county.....	16
Table 4-2 Minimum Distance from contamination sources to groundwater well.....	19
Table 5-1 Items of survey of groundwater wells that is being trouble.....	27
Table 6-1 Details of groundwater wells.....	34
Table 6-2 Contents of survey for well at D condominium.....	36
Table 6-3 Contents of survey for well at J bean curd factory.....	38
Table 6-4 Contents of survey for well at S condominium.....	41
Table 6-5 Contents of survey for well at L sauna.....	44
Table 7-1 Analysis of improvement of water by repairing technique.....	46
Table 7-2 Factor of selection for repairing technique of groundwater wells..	48

## LIST OF FIGURES

Figure 1-1. Location of places that applied repairing technic of underground water well.....	4
Figure 2-1. Remainder of groundwater in Jeju Island.....	8
Figure 3-1. Groundwater management system in Jeju Island.....	12
Figure 4-1. Sealing conditions for upper annular space nongravel packed Wells.....	17
Figure 4-2. Sealing conditions for upper annular space gravel packed Wells.....	18
Figure 4-3. Typical sealing features of destroyed Wells.....	22
Figure 4-4. The inflow path of contamination sources at the 40th well inimitacasi Japan.....	24
Figure 5-1. Procedure of repairing work for groundwater wells.....	28
Figure 5-2. Digram of grouting technique for surrounding .....	29
Figure 5-3. Digram of filling-grouting technique.....	30
Figure 5-4. Digram of outer casing installation technique ( I ).....	31
Figure 5-5. Digram of outer casing installation technique ( II ).....	31
Figure 5-6. Digram of expansive packer grouting( I ).....	32
Figure 5-7. Digram of expansive packer grouting( II ).....	32
Figure 6-1. Location map of business places that applied repairing technic of groundwater well.....	35
Figure 6-2. Photography of repairing work of D condominium.....	37
Figure 6-3. Geological column section of surrounding wells of J bean curd factory.....	39
Figure 6-4. Geological column section of surrounding wells of S condominium.....	42

Figure 6-5. Photography of repairing work of S condominium..... 43

Figure 7-1. Digram of outer casing installation technique for blocking off  
inflow path of contamination sources..... 49



# A STUDY ON REPAIRING TECHNIC OF UNDERGROUND WATER Well in JEJU ISLAND

Jae-Wuk Koh

*Department of Construction and Environmental Engineering*

*Graduate School of Industry*

*Cheju National University*

*Supervised by professor Sung-Kee Yang*

## Abstract

The results of improvement of groundwater management system for prevention of ground water contamination and repairing technique that is applied to four being-trouble groundwater wells are as follows.

The supervision system of groundwater development and use that is in operation presently in Jeju island should be applied to all excavation holes including mineral reserch holes and hot spring holes. By this way, grouting execution for contamination prevention should be in an obligation.

Whenever problems of the pollution and the water volume in the being used wells are encountered. The written investigation of the influence of groundwater is required to change excavation aperture and the depth of wells befor repairing wells, and it should be taken into deliberation in advance. But institutional proper measures that can be taken into deliberation after repairing wells are required.

The present condition of the geologic columnar section of surrounding wells, execution details of the objective well, water changes of surrounding well and the objective well, contamination sources of around objective well and geology of surrounding well should be surveyed in oder to examine the well is whether it is continuously used.



During the groundwater well is repaired, it is preferable to apply the repairing technic differently according to characteristics of underground geology and the position of the level of groundwater.

The outer casing should be installed at the fault section(crock /joint section, scoria layer, clinker layer, etc) and the grouting section of the lower end of the outter casing should be executed 10cm wider than inner casing and 10m deeper than the outer casing.

When the interception of contaminated upper acuifer is required, outer casing is installed. Moveover, making holes for outflow and inflow of grout in the outerl casing should be constructed, and filling-grouting for contamination prevention should be executed.



# I. 서 론

## 1. 연구 배경

인류문명의 발상지는 모두 큰 강과 연관성이 있는데, 이는 인류 생존의 필수요건으로서 물이 중요하기 때문이다. 지구상에 존재하는 물의 총량은 14억 $\text{km}^3$ 이며, 이중 담수는 2.5%인 3500만 $\text{km}^3$ 에 불과하다. 특히 빙설과 지하수를 제외한 이용 가능한 호수 하천수 등의 양은 10만 $\text{km}^3$ 이다. 산업화 이후 환경오염이 가속화되어 이용 가능한 물은 줄어드는 반면에 인구증가와 산업발달로 늘어나는 물 수요에 대처하기 위한 수자원 확보는 국가의 중요한 정책과제로 대두되고 있다.

제주도의 지형지질은 특성상 지층의 투수성이 우수하여 지표수의 발달이 미약하다. 따라서 제주의 용수는 큰 강이나 하천을 통해서 공급받을 수 없으며, 해안이나 중산간에서 용출하는 용천수는 마을을 형성하는데 필수적인 조건이었다. 봉천수와 용천수에 의존하던 제주도의 용수는 1961년 애월읍 수산리에서 지하수 개발을 시작한 이후 1969년까지 도내 58개소에서 실시하여 19개공의 지하수관정 개발 사업이 성공을 하여 용천수 수원이 없는 중산간마을에 양질의 수돗물이 공급되는 계기가 되었다. 1970년 이후 정부 주도로 관정을 이용한 지하수 개발이 급격히 이루어진 결과 비위생적인 해안용출수나 봉천수에 의존하였던 용수난으로 부터 탈피하여 오늘날 제주도의 상수도 보급률이 전국 최고 수준에 이르게 되었다. 또한 지하수는 제주도의 주 수자원으로서 자리매김하게 되었다(변, 1999). 이처럼 제주의 지하수는 제주인에게 생명수로 받아 들여 지고 있으며, 풍부한 지하수자원은 제주의 국제자유도시건설이라는 시대적 요구에도 부응할 수 있는 든든한 천연자원이 되고 있다.

그러나 제주도에서 1970년부터 1990년대 중반까지 이루어진 지하수개발은 수량적인 측면에 치우친 나머지 지하수관정이 오염원의 경로로 작용할 수도 있다. 이러한 부분을 간과하여 지하수개발은 무분별하게 이루어져 왔으며, 이로 인하여 생명수인 지하수의 인식과 지위가 위협받고 있는 실정이다. 지질적 특성을 고려하여 지하수 개발 시에 오염방지를 위한 시공이 이루어져야 하며 이미 개발된 관정의 유지 관리 및 보수에서도 이러한 특성을 충분히 고려한 공법 적용이 시급히 요구

되고 있다.

제주도는 수차례의 화산활동에 의하여 형성된 특이한 지형으로 인하여 육지부와는 상이한 지층분포를 보이고 있다. 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 하고 있다(고, 1997 ; 송 등, 1996). 또한 지질의 대부분은 투수성이 높은 다공질의 현무암질 용암류로 이루어져 있으며, 지표상에 각종 투수성지질구조들이 분포하고 있다. 이러한 제주도의 지질구조는 굴착공벽과 케이싱사이에 오염방지그라우팅 시공이 절실히 요구되는 것은 물론이며, 투수성이 양호한 지질구조 및 균열·절리 구간 등의 파쇄된 부분에 오염방지와 원상복구 시공에 많은 문제점이 발생하고 있다(고, 2004).

1990년대 중반 이전에 시공된 지하수관정은 오염방지를 위한 그라우팅 시공이 이루어지지 않아 최근 제주에서는 개발·이용중인 지하수관정에서 수질 기준치를 초과하는 관정이 증가하고 있는 추세에 있다. 그러나 지하수관정의 보수공법에 대해서는 체계적으로 제시된 시공기준이 없으며, 연구조사도 이루어지지 않았다. 또한 문제가 발생한 관정은 신속히 원상복구하거나, 보수시공을 통하여 수질 수량을 개선하여 재이용하도록 조치하여야 하나, 지하수관정 보수시공은 개발·이용자에게 경제적, 시간적 비용을 부담시키고 있다. 양질의 지하수자원을 관리하기 위해서는 지하수관정의 보수 시 오염원을 철저히 차단할 수 있는 시공법이 요구되고 있으며 지하수개발이용자의 지하수관정 보수에 따른 경제적, 시간적 비용을 최소화할 수 있는 제도적 개선이 필요하다. 또한 보수공법을 직접시공에 적용함으로써 제주도에 적합한 관정보수공법의 검토가 필요한 실정이다.

## 2. 연구 목적

제주도는 투수성이 좋은 용암류와 화산쇄설물이 겹겹이 쌓인 지질구조를 이루고 있는데 용암류의 단위는 수cm에서 수십m 범위이지만 대부분은 3~5m 정도이다. 이같이 용암류의 두께가 얇다는 것은 지하에 물을 많이 함양할 수 있는 지질구조

들이 그 만큼 많다는 것을 의미하므로 수문지질학적으로 매우 중요하다. 이러한 수문지질학적인 특이성에 기인한 투수성지질구조로는 용암동굴, 솜골, 꽃자왈, 오름, 하천, 스코리아퇴적층 등이 있다. 이같은 투수성지질구조는 지하수함양이 잘 이루어지는 만큼이나 지하수의 오염취약성 또한 높다. 제주도의 투수성지질구조는 지하수의 오염원의 경로로 작용하는데 그 외에도 지하수개발에 따른 지하수관정인 오염원의 경로로 작용하여 직접적으로 심부의 지하수까지 지표의 오염물질을 유입시키는 경향이 있다.

이 연구에서는 제주도 지하수관리시스템의 내용을 분석 검토하고, 지하수자원의 오염을 방지하기 위한 방안을 제시하였으며, 문제가 발생한 지하수관정에 대한 신속한 대응을 통하여 지하수의 추가적인 오염을 방지하기 위한 제도적 개선점을 살펴보고자 한다. 또한 오염이 발생한 지하수관정에 대하여 오염원을 차단하기 위한 보수공법의 적용을 통하여 앞으로 개발·이용중인 관정의 유지관리, 보수 및 신규 지하수관정의 개발에도 적용 가능한 보수공법 기술 연구에 목적이 있다.

### 3. 연구 방법



제주도의 지하수관정 개발 시 지하수의 오염을 방지하고 양질의 지하수를 효율적으로 개발·이용하기 위하여 체계적인 지하수자원의 관리가 필요하다. 이 같은 지하수자원의 관리가 국내에서는 가장 철저히 이루어지고 있는 제주도의 지하수 관리시스템을 기존의 자료 및 외국의 지하수관리를 비교·검토함으로써 관정의 현황과 문제점 및 개선방안을 검토하였다.

현재 개발·이용중인 지하수관정에 수질이나 수량 등에 문제가 발생하게 되면 지속적인 이용 여부와 원상복구 또는 관측정으로 활용 여부를 판단하여야 한다. 또한 기 개발되어 이용 중인 지하수관정에 문제가 발생시 계속사용 여부의 진단을 위한 방법을 제주도 지하수개발·이용시설 설치 및 관리기준에 제시하고 있다. 제주도내 지하수관정의 보수를 현장에서 직접 수행하면서 문제관정의 진단에 필요한 실질적인 항목을 검토하여 추가로 필요한 진단 항목을 분석하여 제시하였다.

오염물질이 유입되는 1차적인 지질구조 외에도 굴착과정에서 공벽 및 케이싱

사이에 생기는 2차적인 오염경로를 차단시키기 위한 관정보수공법에 관하여 중점적으로 연구·조사하였다. 일반적으로 제시되고 있는 그라우팅공법을 조사하고, 문제가 발생한 대상 관정에 적합한 보수공법을 적용하여 현장에서 시공하고, 제주도 지질구조에 적합한 지하수 관정 보수 공법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 지하수관정에 문제가 발생한 제주도내의 4개의 사업장(D콘도미니엄, J두부공장, S콘도미니엄, L사우나)에서( Fig. 1-1) 직접 보수공법을 적용하여 시공한 결과를 토대로 문제점과 보수공법에 따른 수질개선 방안을 제시하였다.

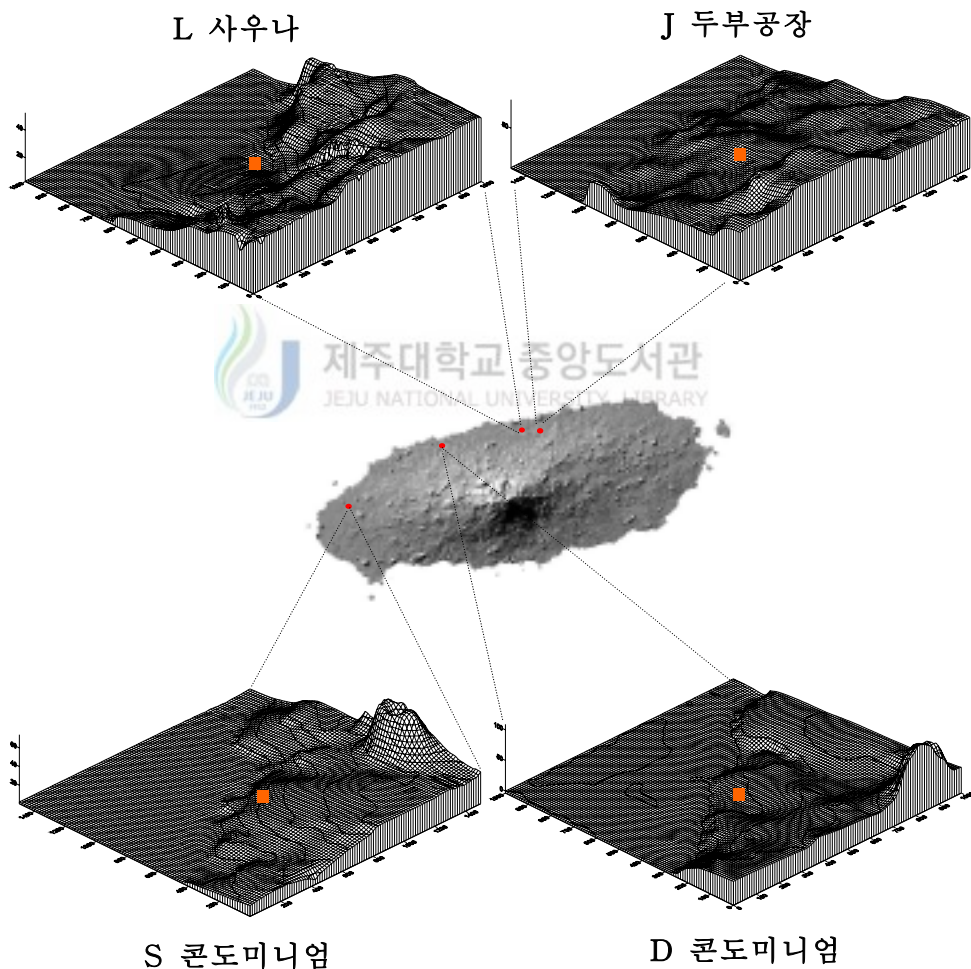


Fig. 1-1. Location of places that applied repairing technic of groundwater well  
 ( ■ : place )

## II. 제주도의 지질과 지하수 부존특성

### 1. 제주도의 지질특성

#### 1) 지질구조

제주도는 약 230만년동안에 걸쳐 수차례의 조면암질 내지 현무암질의 단속적인 화산활동과 휴식기 그리고 백록담을 통한 중심 화산활동과 함께 여러 층 화산(오름)을 통한 분산된 화산활동에 의해 형성되었다. 또한 인접지역에서도 지층이 서로 연결되지 않는 매우 복잡한 지질구조를 보여 지하수리지질 상태가 매우 복잡한 분포를 보인다. 제주도의 지질은 제4기초의 서귀포층, 중기 및 후기의 화산쇄설층인 성산층과 신양리층 등의 퇴적암층과 현무암, 조면암질 안산암, 조면암 등의 화산암류, 기생화산에서 분출된 화산쇄설물 등으로 구성되어 있다(제주도,2000).

지표상의 대부분은 조면암질 또는 현무암질 용암류로 구성된 화산암류가 서귀포층을 피복하고 있다. 침상장석감람석현무암은 제주도 전역에 걸쳐 분포하며 분출시 점성이 낮아 파호이호이(pahoehoe) 용암류의 특징을 가지고 있으며, 넓은 용암대지를 형성하였다. 이 현무암은 두께가 3m 내외로 상대적으로 얇은 용암류로 구성되며, 많은 용암동굴을 형성하고 주상절리가 발달한다. 침상장석감람석현무암류는 한라산을 중심으로 분출한 반상장석현무암과 반상회석현무암이 부정합으로 피복하고 있다. 이들 현무암류는 점성이 큰 아아(Aa) 용암류의 특징을 보이며 수직절리가 발달하고 각 용암류의 상하부에 클링커층이 두껍게 발달한다. 이 층은 제주도 동부와 서부의 해안지역을 제외한 전지역에 걸쳐 지표상에 나타나고 있다(송, 2000).

제주도 지하수의 부존 및 산출에 영향을 미칠 수 있는 지질구조로는 암석의 절리나 균열, 용암류에 의해 생성된 용암튜브, 상하 용암층사이에 협재하는 화산쇄설층이나 스코리아층, 용암류가 흐를 때 하부의 차가운 지층과 접하면서 급격히 냉각되어 생기는 클링커, 화산작용에 의해 발달한 기생화산(일명 오름)등이 있다. 또한, 화산암내에 발달된 균열, 절리와 기타 불연속면들은 지하수의 하방유동을 쉽게 한다. 치밀한 조직을 갖고 있는 조면암류는 투수성이

낮아 대수층으로서의 역할은 낮으나 주상절리와 균열 발달이 크면 지하수의 침투가 용이한 2차 유효 저투수층으로 작용한다.

## 2) 투수성 지질구조

제주도는 지하수 함양률(강우량의 45.6%)과 대수층의 산출능력이 국내에서 가장 높은 수문지질 여건을 지니고 있다(제주도·한국수자원공사,2003). 이는 연평균 강우량이 내륙지방보다 많고, 투수성이 좋은 용암류와 화산쇄설물이 겹겹이 쌓인 지질구조를 이루고 있는데서 연유한다. 용암류 단위의 두께는 수 cm에서 수십m 범위이지만 대부분은 3~5m 이하이다(제주도,2000). 이 같이 용암류의 두께가 얇다는 것은 지하에 물을 많이 함유할 수 있는 구조들이 그만큼 많다는 것을 의미하므로 수문지질학적으로 매우 중요한 요인이라 할 수 있다. 이러한 수문지질학적인 특이성에 기인한 지하수 함양과 산출에 영향을 줄 수 있는 투수성 지질구조로는 용암동굴, 습굴, 꽃자왈, 오름, 하천, 스킨리아퇴적층 등이 있으며 이러한 지질구조는 투수성이 매우 높아 지하수의 함양이 잘 이루어지는 만큼이나 지하수 오염취약성 또한 높다.

Table 2-1 Distribution of permeability geologic structure in Jeju Island

지역별		투수성지질구조 유형(단위:개소)					
		용암동굴	습굴	꽃자왈	오름	하천	스코리아 퇴적층
합 계		(2.34)	(0.73)	(122.10)	(135.02)	(36.13)	(11.52)
해발 200m 이하 지역	소 계	50 (2.04)	75 (0.22)	(48.44)	136 (35.62)	46 (9.53)	(11.19)
	제주시	-	-	(-)	17 (2.87)	12 (2.05)	(-)
	서귀포시	1	-	(-)	14 (4.76)	12 (2.24)	(-)
	북제주군	35 (2.28)	59	(28.15)	44 (11.43)	9 (1.23)	(9.13)
	남제주군	14	16	(20.69)	61 (16.56)	13 (4.01)	(2.06)
해발 200m 이상 지역		(0.30)	(0.51)	(73.26)	(99.40)	(26.20)	(0.33)



Table 2-1은 제주도의 투수성지질구조의 유형별로 분포현황을 나타낸 것이다. 이 표에서 ( )는 GIS분석에 의한 면적(km<sup>2</sup>)을 나타내며, 200m이상 지역은 국토연구원에 의해 조사된 자료이다. 해안 200m이하의 해안지역에 분포된 투수성 지질구조는 하천을 제외한 대부분이 동부지역과 서부지역에 주로 분포하며, 하천은 남·북부지역에 주로 분포하고 있는 것으로 조사되었다(제주도, 2000). 용암동굴은 남제주군 14개소, 북제주군 35개소, 서귀포시 1개소 등 총 50개소가 분포하고 있다. 그리고 오름과 꽃자왈 등은 전체 투수성지질구조 면적 중 83.5%를 차지하고 있어 매우 광범위하게 분포하고 있는 유형으로 나타나고 있다.

## 2. 제주도의 지하수 부존특성

제주도의 지하수는 서귀포층의 지하분포상태에 따라 지하수위와 수위변동 및 수질변화에 차이를 보이는 특성이 있다(고, 1997). 제주도에서는 지하수의 효율적 이용과 관리를 위하여 『제주도 지하수 부존도』를 고시하였고(제주도,2004), 제주의 지하수를 상위지하수, 하부준기저지하수, 상부준기저지하수, 기저지하수로 구분하여 제시하고 있다(제주도고시 제2004-36호). Fig. 2-1와 같이 제주도의 지하수는 서귀포층의 지하분포상태에 따라 지역별로 부존 형태를 달리하며 부존형태별 특징은 다음과 같다.

### 1) 상위지하수(High level groundwater)

상위지하수란 평균해수면보다 높은 위치에 있는 치밀질 암석이나 점토층과 같은 투수성이 낮은 지층을 따라 비교적 지속적으로 저류 또는 유동하는 지하수를 말하며 제주도 전역에 한라산을 중심으로 원형의 형태로 고지대에 고루 분포하고 있다. 상위지하수체는 지표면에 내린 강수가 중력에 의해 투수성지층을 통해 지표하부로 침투하다가 불투수성 암석층이나 점토층과 같은 저투수성 지층을 만나 더 이상 하부로 침투하지 못하고 저투수층을 따라 빠르게 이동하거나 저투수층 상부에 고여 있는 일종의 부유지하



수(perched water)로서 비포화대 내에 단속적으로 분포하여 다른 대수층과 수리적으로 연결되지 않은 지하수체이다. 따라서 해수와 직접적으로 접촉하지 않아 대체적으로 수질이 양호하나, 지하수 부존특성이 불연속적, 국지적으로 분포하며 규모가 크지 않은 관계로 강수에 따른 담수체의 변화가 심하고 계절별 유량과 수위변화가 심하게 나타나는 특징을 갖고 있다

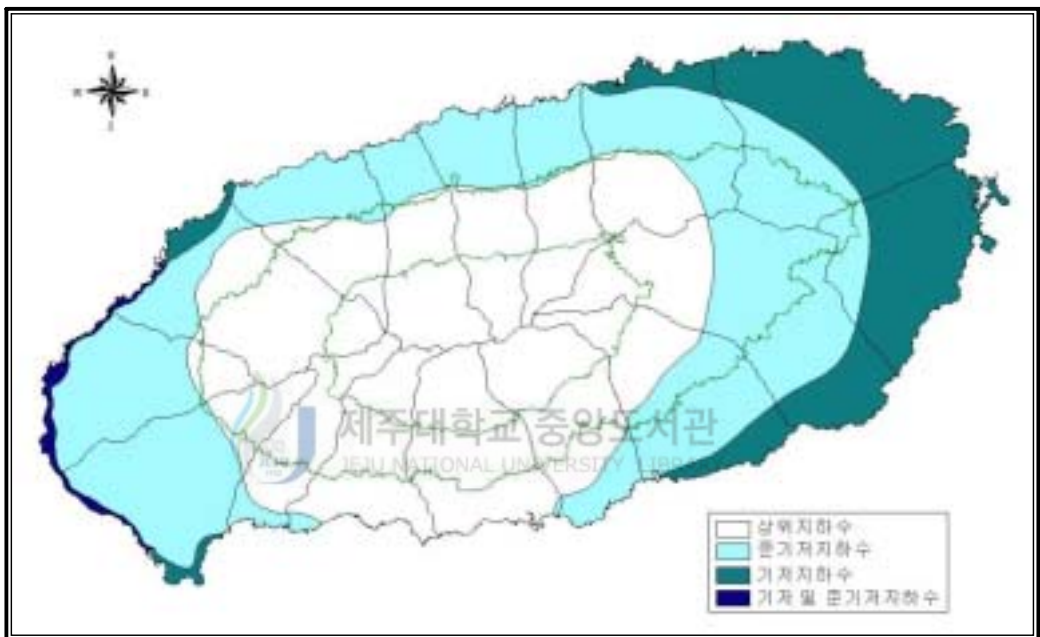


Fig. 2-1. Remainder of groundwater in Jeju Island

## 2) 기저지하수(Basal groundwater)

기저지하수란 Ghyben-Herzberg 원리(이하 G-H원리)에 의해 부존하는 지하수체로서 염수와 담수의 비중차에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈형태로 부존한다. G-H원리에 따르면 담수지하수가 해수면 하부에 부존할 수 있는 깊이는 평균해수면 상부 지하수위 높이의 40배까지이나 담수 및 해수의 밀도, 지하지질, 지하수위 등의 수문지질학적 요인에 따라 그 깊이는 차이를 보인다. 제주에서는 담수지하수가 평균해수면 상부 지하수위 높이의 40배보다 적은 두께로 존재하는 것으로 보고 되고 있다.(제주도, 2002, 제

주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅱ)). 담수렌즈에서의 염수와 담수와의 접촉면은 명확히 구분되기보다는 담수체의 수축과 팽창, 그리고 조석의 영향에 의해 염수가 혼합된 점이대를 갖게 되는데 투수성이 높은 지질로 이루어진 지역에서는 점이대의 두께가 두껍게 발달한다. 또한 점이대의 두께는 담수체의 크기가 큰 상류지역에서는 얇고 해안 쪽으로 향할수록 두터워져 해안별 유출지점에서는 담수층 전층이 점이대로 형성된다. 제주에서 기저지하수는 위미에서 성산을 거쳐 신촌에 이르는 제주의 동부지역 및 애월 일부지역, 모슬포 일부지역에 해안을 따라 분포하며 해안에서 10km 이상 까지 부존하고 있다.

### 3) 준기저지하수(Parabasal groundwater)

준기저지하수란 담수지하수체의 하부에 저투수성 퇴적층인 서귀포층이 분포하고 있음으로 인하여 담수지하수체가 해수와 직접 접하고 앓는 상태로 부존하는 지하수로서, 통상적인 G-H원리가 적용되지 않다. 또한 서귀포층이 평균해수면상부에 위치하는 지하수를 상부준기저지하수라 하고, 서귀포층이 평균해수면 하부에 위치하는 지하수를 하부준기저지하수라 한다.

### Ⅲ. 제주도 지하수의 개발·이용과 관리

#### 1. 지하수의 개발과 이용현황

제주도내에 개발된 지하수관정의 용수별 개발현황을 Table 3-1에 나타내었다. 도서지역 5공 3,980m<sup>3</sup>/일 포함되었으나, 염지하수 관정은 제외되었다(제주도, 2005). 2004년말 현재 조사·연구용 관정을 포함하여 총 4,980공이며, 이중 농수축산용이 전체의 약 64.9%인 3,230공으로 가장 많고, 생활용이 1,456공, 공업 및 기타 용도가 195공, 조사연구용은 99공이었다. 개발량 측면에서도 개발공수에 비례하여 농수축산용도가 전체 개발량 1,530,219(m<sup>3</sup>/일) 중 약 55.9%인 855,854(m<sup>3</sup>/일)이며, 다음으로 생활용수, 공업용수 순으로 개발·이용되고 있다.

Table 3-1 Status of use of groundwater in Jeju Island (2004. 12. 31.현재)

제주대학교 중앙도서관 (unit:well, m<sup>3</sup>/day)

Classification		Total	Jejusi	Segwiposi	Bukjeju	Namjeju
Total	Places number	4,980	891	1,128	977	1,984
	Development quantity	1,530,219	260,484	239,598	456,669	564,468
Living Use	Places number	1,456	697	303	242	214
	Development quantity	621,376	215,057	102,097	158,367	145,855
Farming Use	Places number	3,230	140	807	612	1,671
	Development quantity	855,854	36,966	135,396	287,544	395,948
Industry Use	Places number	195	41	10	76	68
	Development quantity	52,989	8,461	2,105	19,758	22,665
Investigation Use	Places number	99	13	8	47	31
	Development quantity	-	-	-	-	-

## 2. 지하수관정의 관리시스템

제주도는 국내의 어느 지역보다도 지하수관리를 체계적이고 합리적으로 관리하고 있다. 또한 지하수의 보전·관리를 위하여 지하수법(건교부,2002)외에도 제주국제자유도시특별법(제주도,2005) 및 시행조례(제주도,2005)를 개정하여 지하수 관리를 대폭 개선하였다. 특히 과다하게 지하수개발이 이루어진 지역을 지하수자원특별관리구역으로 고시하여 이 지역의 지하수자원을 집중적으로 관리하고 있다.

제주도는 모든 지하수관정의 개발을 위해서 지하수영향조사서를 작성하여 제주도지하수관리위원회의 심의를 거쳐 인허가를 득하도록 하고 있다. 지하수의 개발은 제주도에 등록된 지하수개발·이용 시공업자가 시공토록 하고, 지하수개발·이용시설 공사 시에는 제주도에 등록된 지하수개발·이용 시공감리업자의 감리를 받도록 하고 있다(제주도,2005). 또한 지하수 개발 후에도 철저한 사후 관리가 이루어지고 있다.

지하수 이용기간 연장허가는 지하수관정의 용도에 따라 1년(먹는샘물), 3년(생활용수) 또는 5년(농수축산용수) 주기로 이루어지고 있으며, 주기적인 수질검사도 엄격히 이루어지고 있다. 이러한 일련의 지하수관리체도의 과정을 통하여 지하수관정의 이상 유무를 지속적으로 관리·감시하고 있다. 그러나 수질이 이용용도에 적합할 경우 관정의 재이용허가가 이루어져 계속 사용가능하게 되며, 수질오염이 발생한 관정이나 용도가 상실된 관정은 원상복구조치, 관측정으로의 재활용, 또는 보수 후 재이용허가를 받고 이용할 수 있도록 조치를 취하고 있다. 이와 같이 제주도의 지하수관리 시스템은 Fig. 3-1에 나타내었다.

지하수개발·이용시설공사의 감리업은 국내에서는 유일하게 제주도에서만 적용되어 시행하고 있으며, 지하수개발·이용 시설공사 시에 감리를 수행하도록 하고 있다. 이때 가장 중요한 감리사항은 지하수의 오염방지를 위한 그라우팅시공의 적정성이다. 신규 지하수개발관정을 개발 시에는 반드시 채움그라우팅을 실시하고, 채움그라우팅 시공을 위한 굴착구경은 케이싱구경보다 15cm이상 크게 시공하여 채움그라우팅을 실시한 후 재찬공을 실시한다. 재찬공은 케이싱 구경보다 10cm이상 크게 시공하여 오염방지그라우팅 최소 두께 5cm를 확보하도록 하고 있다(제주도,2005). 이러한 오염방지를 위한 그라우팅 시공은 지하수관정이 오염원의 경로로

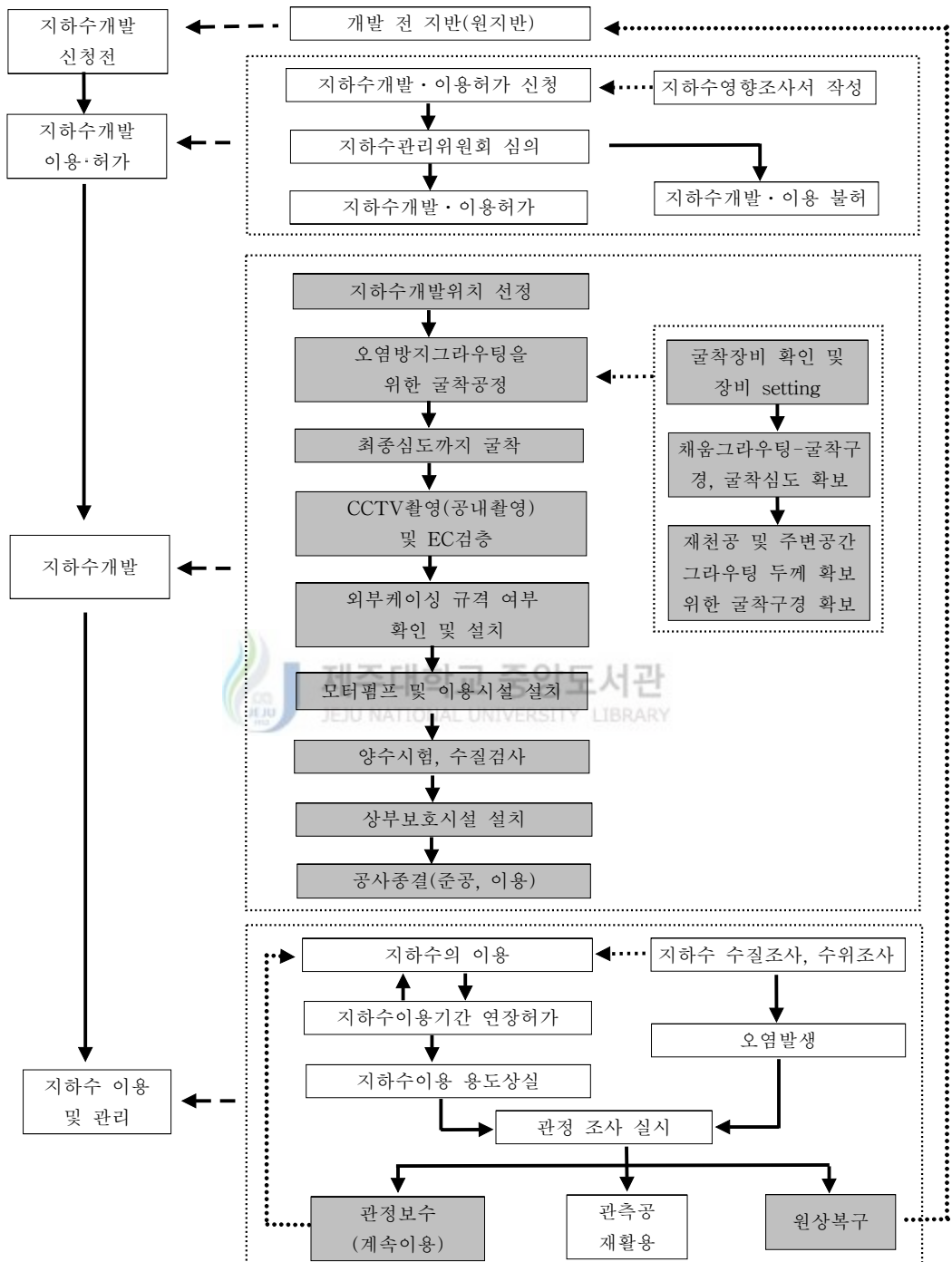


Fig. 3-1. Groundwater management system in Jeju Island (  : Part of supervision for development and use of groundwater wells)

작용하는 것을 효율적으로 차단하는데 기여하고 있다. 그러나 지하수개발·이용시설공사 감리는 Table 3-2와 같이 지하수관정의 신규 개발, 지하수시설의 굴착심도 변경공사, 지하수시설의 굴착구경 변경공사, 지하수조사·연구를 위한 토지의 굴착, 지하수관정의 원상복구 등의 공사를 대상으로 하고 있다(제주도국제자유도시특별법 시행조례 제48조).

Table 3-2 Application of supervision for excavation work in Jeju Island  
( ◎ : execution, × : not execution )

구 분		오염방지 그라우팅 시공 여부	감리대상 여부
1. 신규 지하수개발공사		◎	◎
2. 지하수시설 변경공사	1) 굴착구경 또는 정호구경을 변경하고자 하는 경우 2) 개발·이용중인 시설의 굴착심도를 변경하고자 하는 경우	◎	◎
3. 지하수조사·연구를 위한 토지의 굴착		◎	◎
4. 지하수관정의 원상복구		◎	◎
5. 온천조사공		×	×
6. 광물조사공		×	×
7. 지열이용을 위한 굴착공		×	×
8. 인공함양정		◎	×

한편, 광물조사공 및 온천조사공 그리고 최근 시공이 이루어지고 있는 지열을 이용하기 위한 굴착공에 대해서는 오염방지를 위한 그라우팅 시공의 지침이나 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이들 관정은 굴착공사의 감리 대상에 속하지 않아 이들 굴착공이 새로운 오염원의 경로로 작용할 수도 있다. 이들 굴착공은 단지 굴착신고를 통하여 시공이 이루어지고 있는 실정이며, 굴착신고 시에 원상복구를 전제로 하여 굴착신고가 이루어져 시공되고 있으나, 현장에서의 원상복구는 제대로 수행되고 있지 않다. 따라서 지하수의 보존과 관리를 위해서는 지하수의

오염의 경로로 작용할 수 있는 모든 굴착관정은 굴착시공 감리를 수행토록 하여 오염방지그라우팅의 시공이 이루어져야만 한다.

또한 개발·이용 중인 관정에 문제가 발생하였을 경우 보수 시공을 위해서는 케이싱을 인양 제거하여야 하고, 케이싱 재설치 후 그라우팅 시공이 이루어진다. 이때 그라우팅시공을 위하여 확공을 실시하며, 이는 굴착구경 변경사항으로서 굴착구경변경을 위해서는 지하수영향조사서를 작성 제출하여 제주도지하수관리위원회의 심의를 거쳐야 한다. 이러한 절차 이행은 지하수관정에 문제가 발생하였을 때 신속한 조치를 불가능하게 하여 지하수 수질의 악화를 초래할 수 있다. 따라서 관정에 문제 발생시에는 보다 신속한 조치를 위하여 지하수관정의 보수에 따른 지하수영향조사서를 보수공사 실시 후 작성하여 심의를 받도록 하는 제도적 조치가 있어야 한다.



## IV. 외국 지하수관정의 시공법

### 1. 산타클라라 카운티 지하수의 표준 시공법

미국 캘리포니아주에 위치한 산타클라라카운티의 수자원부에서는 이지역의 지하수오염을 방지하기 위하여 지하수의 표준 시공법 및 표준 원상복구공법을 만들었다(Ronald R. Esau, 1989). 지하수시공표준을 적용하는 우물의 형태는 물공급 우물(water well), 주입우물(recharge or injection well), 히트펌프/에어컨디셔닝 우물(heat pump/air-conditioning wells), 수평우물(horizontal wells), 지하수감시정(oaservation or monitoring wells), 탐사시추(Exploration boring), 음극방식우물(cathodic protection well)등이 있다. 여기서는 산타클라라카운티 지역에 물공급을 목적으로 하는 지하수관정 개발 시 적용하고 있는 지하수의 표준 시공법 및 표준 원상복구공법을 조사하였다. 지하수관정이 지하수 오염원의 경로로 작용하는 요인을 차단하기 위하여 표준시공법에서는 유역별 지하지질 분포 및 이에 따른 오염방지 그라우팅 시공법을 제도화하여, 오염방지그라우팅 자재와 시공 순서를 준수토록하고 있다. 또한 오염발생원과의 최소거리를 규정하여 지하수관정의 개발 시에 적용하고 있다.

#### 1) 오염방지그라우팅 시공법 기준

우물 케이싱과 굴착공 벽사이의 공간에 그라우팅 재료를 넣어 효과적으로 밀봉하도록 하고 있다. 특히 지하지질의 분포에 따라 오염방지 그라우팅 깊이는 50피트에서 150피트 사이로 설정하고 있으며, 지질특성에 따라 설계를 변경하여 시공할 수 있도록 하고 있다. 오염방지 그라우팅 시공 시에 난대수층 내지는 불투수층 속으로 최소한 5피트 들어가도록 시공한다. 그라우팅 재료를 넣기 전에 검사자에게 요구조건에 부합함을 작업일지 등을 이용하여 보여줘야 한다. 또한 범집행기관은 개별적인 오염방지그라우팅 깊이의 요구조건을 정할 수 있도록 하여 철저한 그라우팅 시공을 실시하고 있다.

산타클라라카운티 지역의 지하수부존특성은 지하 지질의 구성에 따라 달라지는데, 이 지역에서 지하수는 3개의 지질학적 설정, 즉 1) 산타클라라 벨리 베이신, 2)



야가스베이신, 3)산타클라라 벨리, 야가스베이신 코요테 베이신 등으로 나누었으며 각각의 지하지질 특성을 고려하여 오염방지 그라우팅의 깊이를 설정하고 있다. Table 4-1은 산타클라라카운티의 수역별 오염방지그라우팅 깊이를 나타내었다. 또한 오염방지그라우팅 두께는 최소 2인치로 규정하고 있다.

Table 4-1 Depth of contamination prevention grouting classified by water district in Santa clara county

구 분	시공조건	오염방지그라우팅 깊이	비고
산타클라라 벨리 베이신의 피압지역	150피트 이하 굴착	50피트 이상	
	150피트 이상 굴착	150피트 이상	
야가스 베이신의 피압지역	100피트 이하 굴착	50피트이상	
	100피트 이상 굴착	100피트 이상	
산타클라라 벨리 베이신의 불압지역, 코요테벨리지역 야가스베이신의 비피압지역	-	50피트이상 난대수층이 없으면 100피트	
산타클라라 카운티의 기반암 지역	-	-	

## 2) 그라우팅 자재와 절차

물공급 우물의 실링 자재에는 니트시멘트, 시멘트그라우트, 두꺼운 벤토나이트슬러리 등이 있다. 실링자재를 오염방지 그라우팅 하단에서 넣어 상부까지 밀봉하며 트레미관이나 고압 주입방법을 이용하여 실링자재가 브릿지, 희석, 분리되지 않게 한다. 오염방지그라우팅의 두께는 최소 2인치, 최대 6인치이다. 2인치 이상 그라우팅공간을 유지하기 위해 밀봉 영역내 적합한 높이에 중심유지 장치(centralizer)를 우물기둥에 부착한다. 중심유지 장치를 사용하지 않을 경우는 케이싱의 중심을 적절히 잡고 2인치 그라우팅 두께를 유지하게 하고

있다.

Fig. 4-1은 자갈을 채우지 않은 우물의 실링구조, Fig. 4-2는 자갈을 채운 우물의 예를 소개하였다. 감시정 경우에는 5피트 이상 길이의 오염방지턱을 두어 배수가 굴착구멍 속으로 들어가지 않게 한다. 5피트가 비현실적이면 최소 오염방지턱의 높이에 대한 특별조항을 만들 수 있도록 하고 있다.

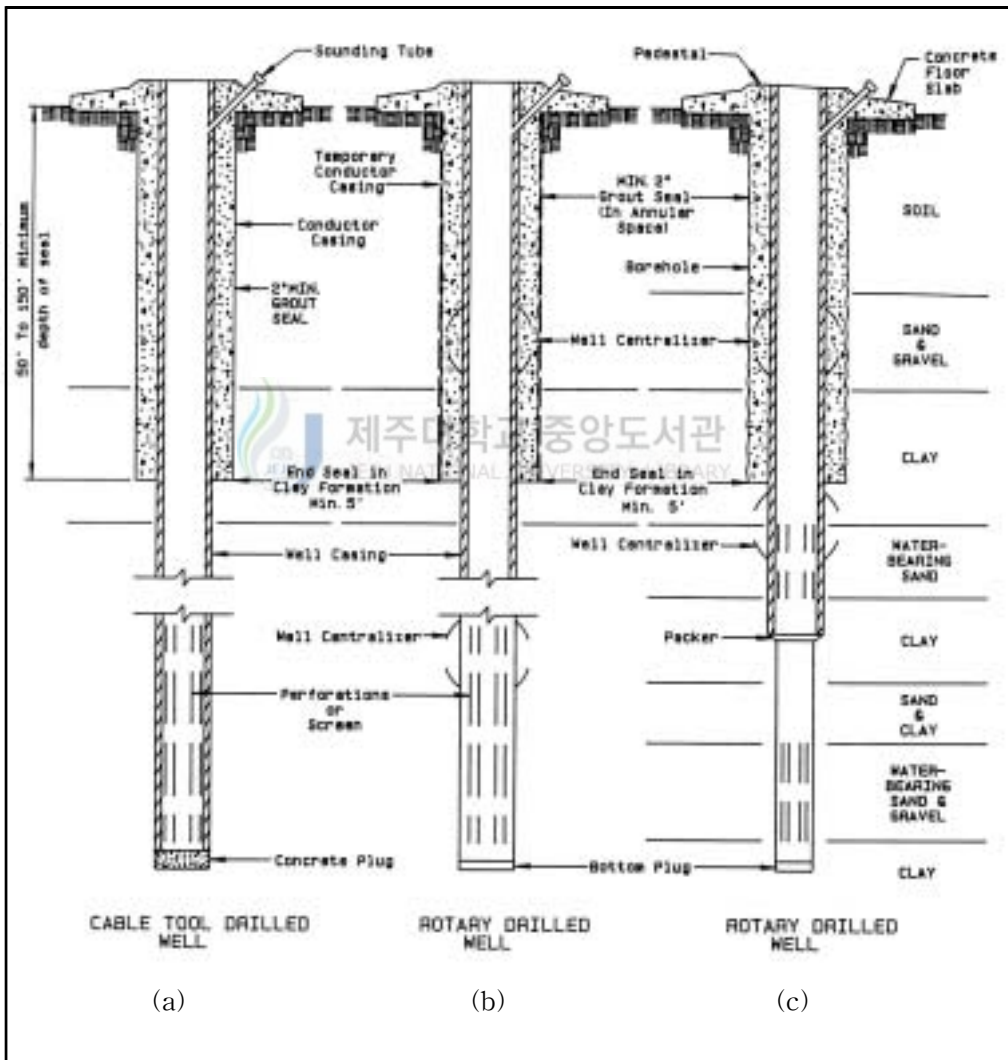


Fig. 4-1. Sealing Conditions for Upper Annular Space Nongravel Packed Wells(a,b : Wells Drilled in Unconsolidated material, Caving Formations, c : Wells Penetrating Stratified Formations)

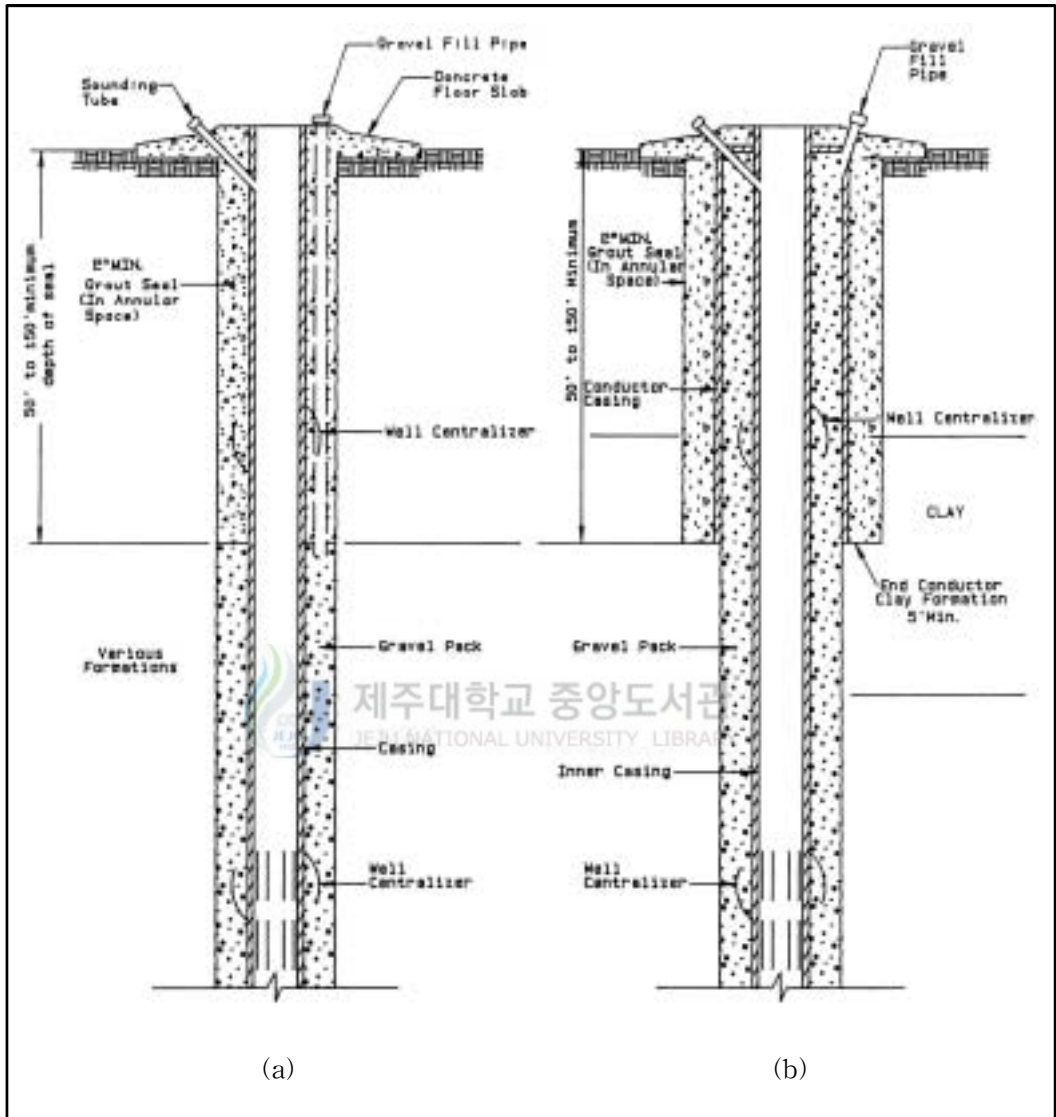


Fig. 4-2. Sealing Conditions for Upper Annular Space gravel Packed Wells  
 ( a : without Conductor Casing, b : with Conductor Casing)

그라우팅자재는 주입전에 깨끗한 물로 철저히 섞는다(건조한 덩어리가 남아 있지 않도록 한다). 그라우팅 자재를 넣을 때에는 브릿지, 회석, 분리 등이 발생하지 않게 한다.

### 3) 오염발생시설로 부터의 거리

물공급 우물(water well)은 오염물질 공급원으로부터 적절히 떨어진 곳에 수평으로 위치한다. 안전한 거리를 정하는 요소들은 대부분 알려져 있지 않다. 과거 경험과 일반적 지식에 의하면 투과성이 모래보다 작고 건조하면서 위에 있는 연약지층이 있는 장소에서는 Table 4-2와 같은 거리가 안전하다. 물공급우물은 Table 4-2의 오염원과의 거리보다 가까이 위치하지 않아야 하며, 법집행기관의 판단으로 불리한 조건이 있다면 거리를 늘려 특별한 보호수단을 강구하여야 한다.

Table 4-2 Minimum distance from contamination sources to groundwater well

구 분	오염원과의 최소 거리	비고
하수도	50피트	
지표 밑 하수침출장소, 정화조, 옥외변소 등	100피트	
오수구덩이	150피트	
동물과 가금류 우리	100피트	

## 2. 산타클라라 카운티의 표준 원상복구 공법

지하수의 수질을 보호하고 피압대수층의 피에조메트릭 압력을 유지하기 위해 폐관정을 적절히 원상복구하여야 한다. 표준원상복구공법은 산타클라라카운티 전체에 걸쳐 통일되어 있다. 이 표준의 핵심은 우물의 본래바닥으로부터 지표까지 니트시멘트나 시멘트그라우트를 희석하거나 분리하지 않도록 채워 넣어 우물을 원상복구하는 것이다.

### 1) 폐공의 정의

폐공은 다음과 같이 정의한다.

- (1) 일 년 이상 계속 사용하지 않는 우물(다만, 지하수 측정구는 제외한다.)
- (2) 삼 년 이상 측정하지 않거나 샘플을 채취하지 않은 지하수 측정구.

- (3) 의도된 목적으로 운영할 수 없는 파괴된 우물.
- (4) 건설하고 시험작업을 끝낸 후 24시간 지난 시험구멍.
- (5) 본래 목적을 위해 더 이상 기능을 발휘하지 못하는 음극방식우물.
- (6) 어떤 우물로 완성할 수 없는 시추.

다만, 법집행기관이 우물상태를 판단한다. 펌프를 수리하거나 교체하기 위해 없앤 경우, 수리증거를 보여줄 수 있으면 “폐관정”이라고 볼 수 없다. 수리기간 동안에는 우물을 덮어 사람이 부상당하지 않게 하고 이물질이 들어가지 않게 한다.

#### 1) 폐공의 원상복구

폐관정은 물을 생산하지 않고 물을 교환하는 통로로 작용하지 않으며, 사람과 동물의 안전에 위협하지 않는 방법으로 조치를 취한다. 어떤 지역에서 우물을 원상복구 할 때 대상 관정의 개발당시의 지하수의 표준시공법을 고려하여 원상복구를 실시한다. 개발 중인 지하수관정을 원상복구 할 때는 폐관정은 개발의 일부로서 파괴한다. 어떤 우물을 원상복구할 때 그 우물의 소유주는 지방정부로부터 허가를 받아야 한다. 또한 우물소유주는 그라우팅 실링재료를 넣기 24시간 전에 지방정부 검사과에 연락하여 우물의 원상복구일정을 정하도록 한다.

#### 2) 폐공의 원상복구 절차

우물을 채우기 전에 우물의 건설조건, 시공내용, 실링을 방해하는 장애물이 있는지 여부 등을 판단하기 위해 우물을 검사한다. 원상복구 절차는 다음과 같다.


- (1) 굴착공 내에 장애물이 있으면 굴착공을 청소함으로써 장애물을 치운다. 장애물 제거가 불가능할 경우 트레미 관을 장애물 아래로 통과시키고 실링 재료를 장애물 아래로부터 우물을 밀봉되게 한다.
- (2) 실링재료가 우물 케이싱뿐만 아니라 케이싱과 굴착공벽사이의 공간, 공극 등을 채우도록 하기위하여 적절한 깊이의 케이싱에 구멍을 뚫는다.

(3) 컨덕터 파이프 (conductor pipe)를 설치하지 않은 우물이나 지표를 밀봉하지 않고 자갈을 채운 우물에서는 케이싱 상부를 없앨 필요가 있다.

(4) 지표처리 : 지표에 있는 실을 보호하고 우물이 있는 장소를 앞으로도 쉽게 확인하기 위해 본래 시추공보다 직경이 1피트 이상 크게 지표로부터 5피트 깊이로 우물케이싱 외부주위를 판다. 이 때 우물케이싱을 구덩이바닥으로부터 6인치 위에서 절단하고 꺼낸다. 실링 작업동안 실링자재를 굴착공 및 구덩이에 넣고 1피트 이상 두께로 채워 본래 굴착공 직경보다 1피트 이상 크게 직경을 만든다. 이러한 절차로 6인치의 실링자재로 케이싱을 덮어 케이싱은 가장자리가 된다. Fig. 4-3과 같이 실링재료를 넣은 후 압축된 흙으로 구덩이를 채운다

현장을 조사한 결과 5피트 깊이 구덩이가 현실적이지 않은 경우 충분한 추가 공간을 두고 1피트 이상 두께로 캡의 실링재료를 만들 수 있도록 관정주변에 최소한의 터파기를 실시한다.

파괴할 우물에 실링자재를 넣을 때 아래에 소개한 요구조건을 만족시키도록 한다.

- 
- (1) 우물의 바닥으로부터 상부까지 우물을 실링자재로 완전히 채운다. 그라우팅자재가 자유로이 회석, 분리되지 않도록 채운다.
  - (2) 니트시멘트, 시멘트그라우트, 콘크리트 등을 우물하부로부터 지표까지 넣는다. 트레미 관이나 압력그라우팅이 요구되는 경우 콘크리트를 사용하지 않는다.
  - (3) 굴착관정과 우물 케이싱 사이 공간이 존재하는 경우 우물케이싱을 적절한 깊이에서 뚫거나 케이싱을 실링 전에 꺼낸다. 크기와 간격을 적절히 고려하여 충분한 구멍을 만들어 그라우트가 통과할 수 있게 한다. 그라우팅 (트레미) 관을 벽 케이싱 내부에 두어 우물바닥으로부터 지표까지 우물을 채운다. 구멍이 있는 부분은 고압 주입방법으로 채운다. 이 방법은 컨덕터 파이프와 (conductor pipe) 우물케이싱 사이의 공간에도 적용한다. 굴착공벽과 컨덕터 파이프 (conductor pipe) 사이에 공간이 존재하면 그것도 밀봉하도록 한다.

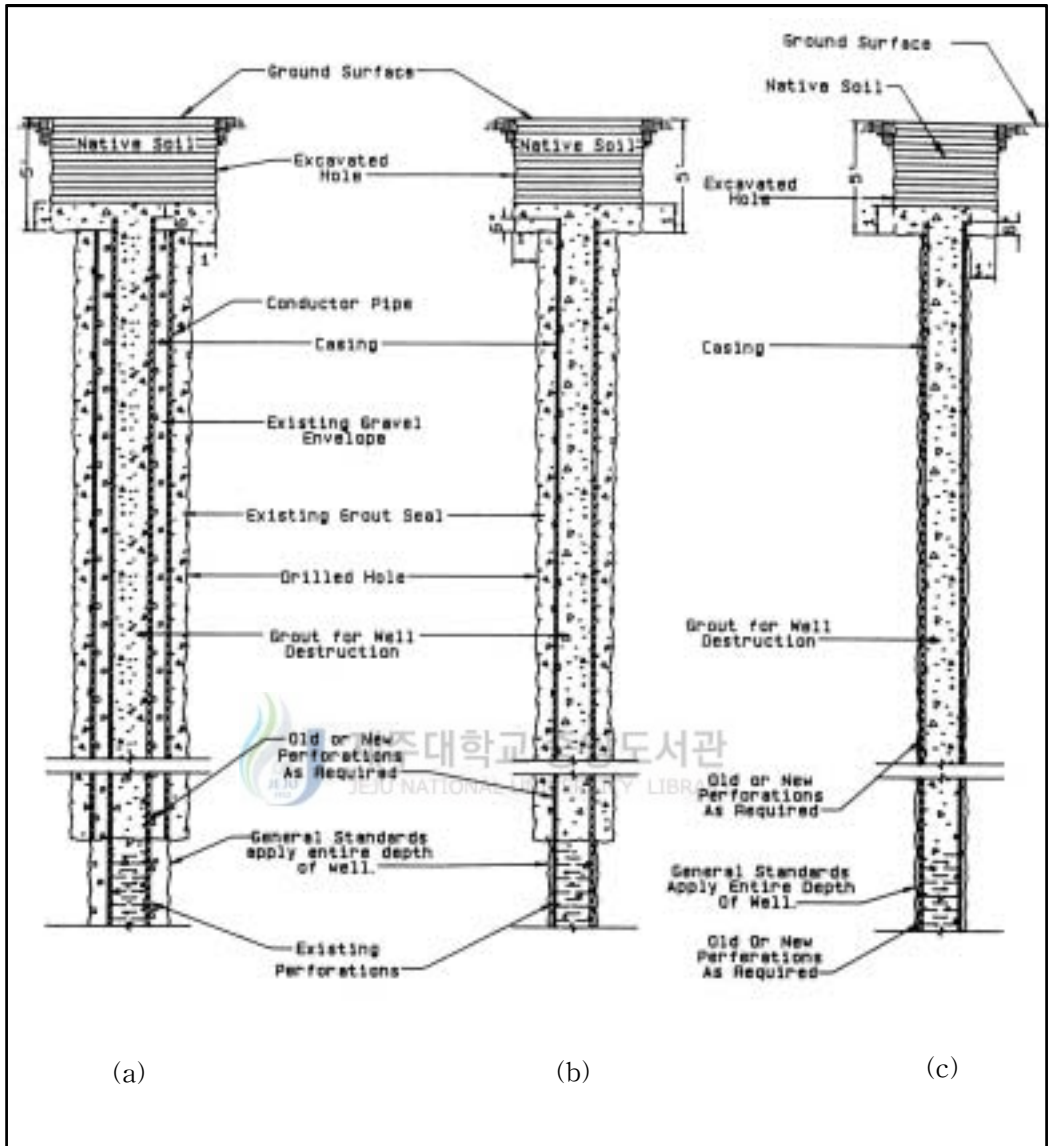


Fig. 4-3. Typical Sealing Features of Destroyed Wells (a : Well with Gravel Pack, b : Well without Gravel Pack, c : CableTool Well or Other Wells w/o Sanitary Seal)

(4) 우물의 굴착공벽과 케이싱 사이 공간을 그라우팅자재를 이용하여 이전에 밀봉했으면 그라우팅부분을 흠뜨릴 필요가 없다. 그러나 그라우팅부분을 검사하여 그것이 표준우물건설에 부합되게 한다. 그라우팅부분이



표준우물의 건설과 부합하지 않으면 우물의 굴착공벽과 케이싱 사이 공간 아래로부터 우물을 포틀랜드시멘트그라우트로 채운다.

- (5) 그라우팅자재를 구덩이에 부어 1피트 이상 두께로 캡을 만들게 한다.
- (6) 우물을 적당히 채운 후 (구덩이 속 실링자재가 채워질 시간을 충분히 둔다) 구덩이를 흙으로 도로 메운다.

### 3) 원상복구 그라우팅자재

불침투성 실링자재에는 니트시멘트, 시멘트그라우트, 콘크리트 등이 있다. 콘크리트는 깊이가 얇고 건조한 구멍에만 사용한다.

- (1) 니트시멘트 혼합물은 포틀랜드 시멘트 1포대와 깨끗한 물 5~7갤런으로 구성된다. 벤토나이트클레이를 최고 5퍼센트까지 시멘트혼합물에 첨가할 수 있다.
- (2) 시멘트/모래그라우트는 모래 2포대 이상, 포틀랜드시멘트 1포대, 깨끗한 물 5갤런 내지 7갤런 등으로 구성한다.



### 3. 미타카시의 오염 지하수관정의 보수공법

일본 동경도 미타카시에서는 1983년 8월에 상수도수원인 지하수관정 중 40호 관정에서 트리클로로에틸렌이 140PPB(먹는물 기준치 :10PPB) 검출되었다(地下水を 守る會, 1993). 상수도수원인 지하수관정의 오염을 확인한 미타카시에서는 상수도 수원 지하수관정을 40여 개소 개발·이용 중에 있었는데, 이들 관정에 오염이 미치지 않도록 하는 것을 최우선 과제로 선정하였다. 이를 위해 40호 관정에서 양수를 계속하여 실시하여 하수관에 방류하였다. 40호관정은 굴착깊이가 168m 이며, 스트레나가 39m ~ 133m 까지 6개소에 설치되었고 최상층의 스트레나로부터 밑쪽은 7m의 두께를 가진 점토층이 있는 것으로 파악되었다. 또한 오염원의 경로로 추정되는 것은 이 관정의 케이싱 간극이었다. Fig. 4-1은 미타카시의 40호 관정의 오염원 유입경로를 보여주고 있다.

관정굴착 시에 굴착구경은 철관의 외경보다 크므로 관정 설치 시에 그 틈에는 점토를 충전하였다. 굴착공벽과 케이싱사이에 점토를 충전하는 것은 수질이 나빠



지는 천층지하수의 침입을 막게 되지만 이 충전이 충분하지 않고 미세한 공극이 있을 수 있다. 미타카시의 40호공은 이같은 미세한 공극을 통해 오염원이 유입되는 것을 조사하였고, 오염원의 유입을 차단하기 위하여 시멘트를 이용하여 개수 그라우팅공법을 시행하였다. 또한 1년 반 후에는 폭기처리장치를 40호 관정저에 설치하여 오염지하수를 정화하여 상수도수원으로 재사용하였다.

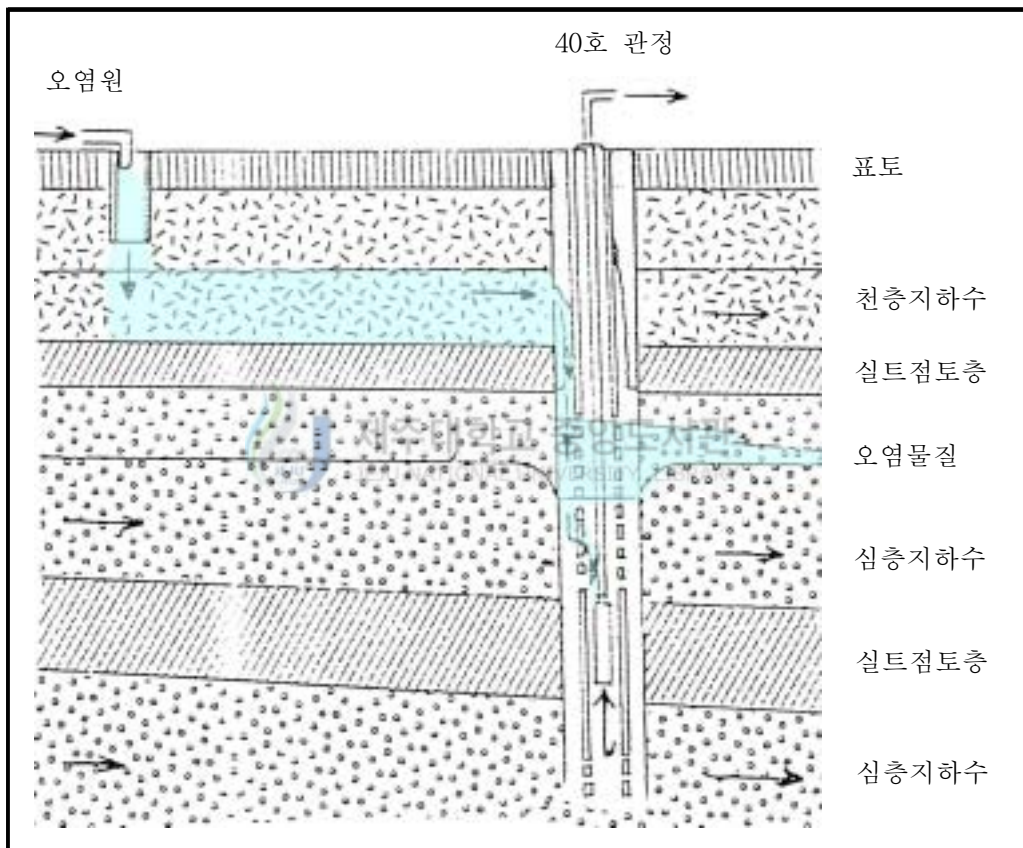


Fig. 4-4. The inflow path of contamination sources at the 40th well in mitacasi Japan

## V. 지하수관정의 오염과 보수공법

### 1. 제주도 지하수의 오염원

일반적으로 지하수의 오염물질은 미생물, 유기물질, 무기물질 등으로 구분할 수 있는데, 제주의 지하수 오염은 다음과 같이 4가지 정도로 요약할 수 있다(제주도, 2005).

#### 1) 질산성질소에 의한 오염

질산성질소는 주로 가축이나 사람의 분뇨, 비료나 퇴비, 부패된 음식찌꺼기, 생활하수 등에 포함된 질소 성분에서 생겨난다. 1993년 지하수수질 조사에 의하면 여러곳의 지하수가 음용수의 수질기준을 초과한 것으로 나타나고 있다. 질산성질소가 높게 검출되는 지역의 지하수공 주변은 농경지이거나 크고 작은 축산시설 등이 인근에 위치하고 있으며, 비가 적은 겨울철 동안에는 수질 기준 이하의 값을 나타내지만 비가 많이 내리는 여름철에는 높아지는 변화를 보이고 있다. 이 같은 현상은 질소성분이 포함된 오염물질이 빗물과 함께 땅속으로 침투하여 질산성질소에 의한 오염이 일어나고 있는 것으로 분석되었다.

#### 2) 미생물에 의한 오염

미생물에 의한 오염은 일반세균이나 대장균군에 의한 오염이다. 제주지역에서 발생하고 있는 미생물에 의한 오염은 주로 사람이 많이 살고 있는 지역에서 발생하고 있다. 하수도의 미정비에 의한 생활하수의 침투가 주원인으로 판단되며 미생물에 의한 오염은 점차 확산되고 있는 실정이다.

#### 3) 염소이온에 의한 오염

해안지역에서 주로 발생하며 지하수의 과다 양수로 인하여 해수가 지하수로 침투함으로써 발생되고 있다. 또한 생활하수나 축산폐수 등의 하수가 지하로 침투할 때에도 발생하고 있다. 염소이온이 음용수의 기준 이상으로 나타나는 곳은 동

부지역 해안가와 일부 인구 밀집지역의 하류에 편중되어 있다. 동부지역 지하수의 염소이온은 비가 많이 내리는 경우에는 낮은 값을 보이는 반면, 겨울철이나 가뭄이 들면 훨씬 높아져 강우량과는 반비례의 관계가 있고, 이때 가뭄 시에 과다 양수는 해수침투에 의한 염소이온의 증가가 일어날 우려가 있다. 다만 최근 조사에 따르면 염지하수가 내륙 6km까지 부존하고 있는 것으로 조사되어 염수침투로만 해석하기 힘든 부분이 있다.

#### 4) 기타성분들에 의한 오염

질산성 질소, 미생물 및 염소이온 성분에 의한 오염이 주로 발생되고 있는 반면에 탁도, 철(Fe), 아연(Zn) 및 수소이온 농도(pH) 성분에 의한 오염은 흔하지 않은 부수적인 오염이라 할 수 있다.

## 2. 보수대상 관정의 현장 진단

지하수관정의 개발 초기에는 오염원의 차단이라는 개념보다는 양적인 개발에 치중한 결과 지하수관정이 오염원의 통로로 작용한 경우가 있다. 또한 도시화가 지속적으로 이루어지면서 상부대수층 자체가 오염되고 있는 실정이다. 개발·이용중인 관정의 수질이 악화하여 사용목적에 부적합한 경우 대상 관정을 원상복구시키거나, 관측정으로 재활용할 수도 있으며, 관정을 보수·시공함으로써 수질을 개선하여 계속 사용할 수 있다.

제주도 지하수의 개발·이용시설 설치 및 관리기준(제주도,2005)에 따르면 지하수 이용과정에서 탁수토출, 수질불량, 악취발생, 수량감소 등으로 관정을 정상적으로 가동·이용하지 못하는 경우에는 시장·군수에게 신고하고, 지하수개발·이용시공업자나 지하수영향조사 대행기관 또는 지하수시설공사의 감리업체 등에 의뢰하여 원인의 진단과 조치방안을 강구하도록 하고 있다.

또한 제주도 지하수개발·이용시설 설치 및 관리기준에서는 문제가 발생한 관정의 진단에 필요한 조사·측정 항목을 제시하고 있다. 문제발생 관정의 진단을 수행함에 있어 추가적으로 필요한 사항을 Table 5-1과 같이 제시하였다.

Table 5-1 Items of measurement of groundwater well that is being trouble ( ◎ : explained, - : not explained )

구 분	조 사 내 용	시설관리기준 제시여부
1. 기초조사	○ 관정개발시기 시공기준 및 시공내역 검토	-
	○ 관정 가동시 특이사항 조사(수질변화, 수위변화)	-
	○ 수중모터 펌프 등 동력장치 인양 및 고장 여부	◎
2. 수질분석	○ 개발 당시부터 및 현재까지의 대상관정의 수질자료 조사	-
	○ 주변 지하수관정의 수질자료 조사	-
	○ 정밀 수질조사(양·음이온 성분, 먹는물 수질기준 항목, 미생물 등)	◎
3. 투수성 지질 및 오염원조사	○ 주변지역의 지표지질 지하지질 조사	-
	○ 투수성지질 분포 조사	-
	○ 대상 관정 주변의 오염원 조사	◎
	○ 대상 관정의 개발 이후의 주변 오염원 변화 조사	-
4. 지하수 부존 특성 검토	○ 대상 관정의 지하수부존 특성 검토	-
	○ 지하수위 조사	◎
5. 기타 현황 조사	○ 관정 내부 TV 검층을 통한 시설상태 및 지층 중간부에서의 오·폐수등의 유출 여부 확인	◎
	○ 전기전도도 및 수온 등 수직검층	◎
	○ 단계별 양수시험	◎

### 3. 지하수관정의 보수과정

문제 발생 지하수관정의 원인 진단이 이루어져 수질 또는 수량의 개선이 가능하다고 조사가 되고, 보수공법이 결정되면 다음 Fig. 5-1과 같은 절차에 따라 시공을 실시한다.

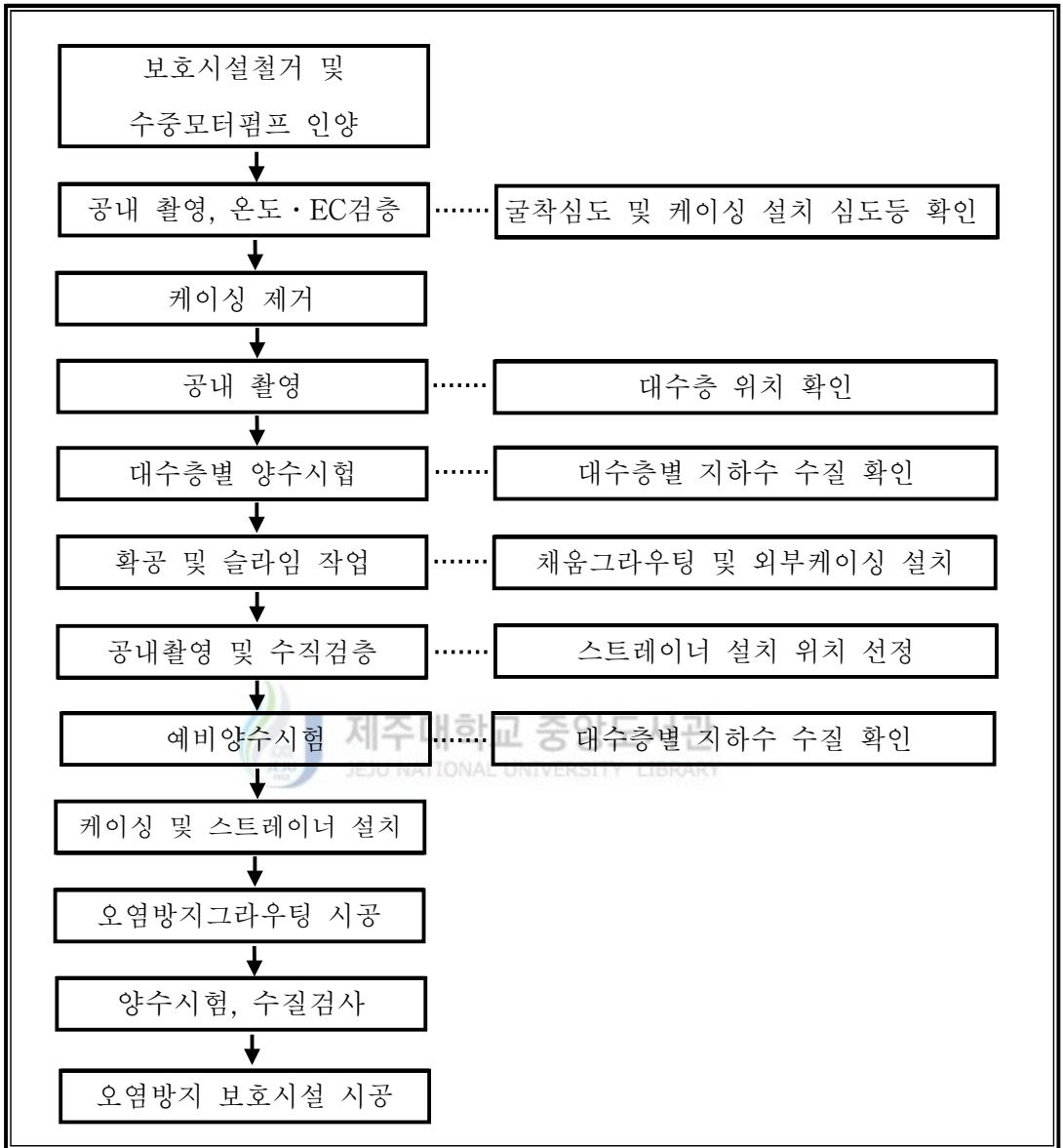


Fig. 5-1. Procedure of repairing work of groundwater wells

#### 4. 지하수관정의 보수공법

문제가 발생한 지하수관정은 Table 5-1의 지하수관정 조사·측정 항목별로 조사를 실시하여 문제발생 원인을 분석하고 원인을 제거하기 위하여 최선의 보수공

법을 선택·시공하여야 한다. 보수공법에 대한 검토는 보수 비용, 공사 기간, 현장 여건 등을 고려하여 결정하여야 한다. 현재 적용되고 있는 지하수관정의 보수를 위한 그라우팅공법으로는 주변공간 그라우팅 공법, 채움그라우팅 공법, 외부케이싱 설치 그라우팅 공법, 패커 공법 등이 있다.

### 1) 주변공간그라우팅 공법

지하수관정의 보수 그라우팅 공법 중 가장 보편적으로 적용되고 있는 방법으로 서 케이싱을 인양한 후 그라우팅 공간 확보를 위한 확공을 실시한다.

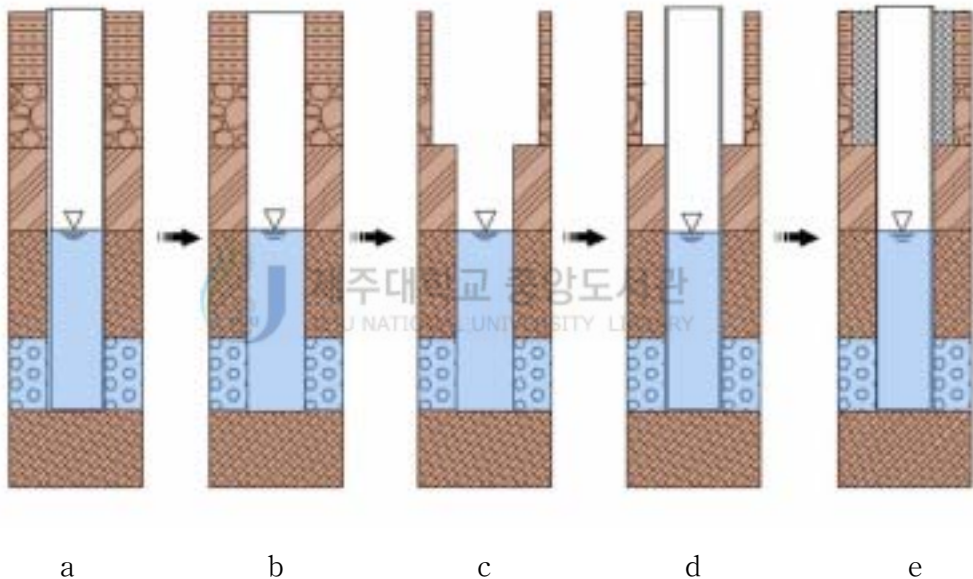


Fig. 5-2. Diagram of grouting technique for surrounding(a: before repairing, b: casing conduct, c: widening a well d: installing casing, e: grouting of surrounding gap)

Fig. 5-2는 주변공간그라우팅 시공 모식도이며 주변공간그라우팅 두께가 50mm이상을 확보하기 위하여 케이싱 구경보다 100mm이상의 구경으로 굴착하여야 한다.

### 2) 채움그라우팅 공법

채움그라우팅은 2000년이후 신규 지하수개발공사에 적용 실시하고 있는데, 보수

공사시에 채움그라우팅시공은 케이싱 인양 후 채움그라우팅을 75mm이상 확보하기 위하여 케이싱 구경보다 150mm이상의 구경으로 굴착하여야 한다. 채움그라우팅을 실시한 후 48시간이 지나면 주변공간그라우팅 두께 50mm 이상으로 재찬공하고 추가적으로 주변공간그라우팅 공간이 필요하면 확공을 실시하도록 한다. Fig. 5-3은 채움그라우팅의 시공 모식도이며, 채움그라우팅 시공을 보수공사에 적용할 때 발생하는 문제점은 채움그라우팅 실시하고 재찬공을 실시하는 과정에서 기존 공벽을 비켜서 굴착이 될 가능성이 높게 된다. 이는 굴착 기간의 연장 및 추가 굴착비용을 유발하게 한다.

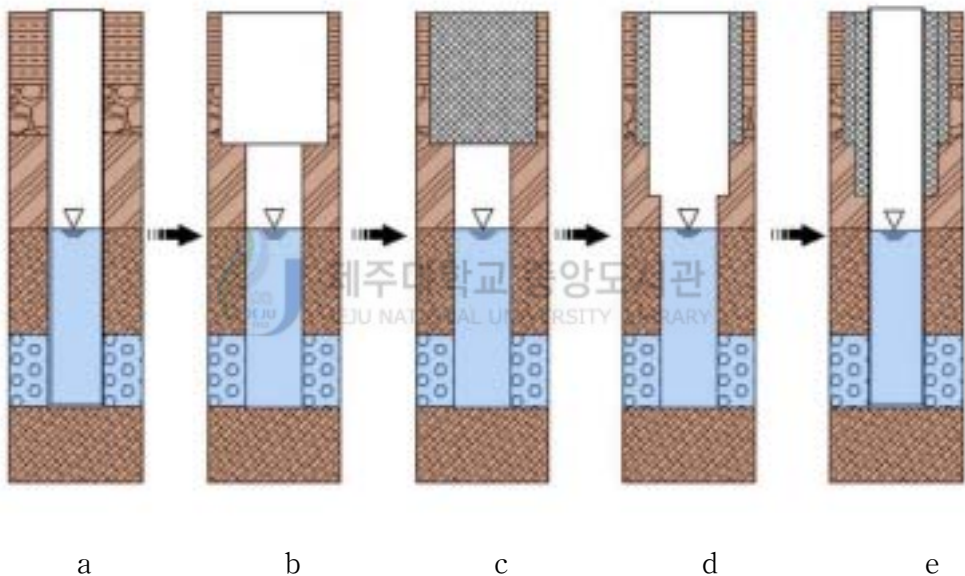


Fig. 5-3. Diagram of filling-grouting technique(a:before repairing, b:widening a well, c:filling-grouting d:reexcavation, e:grouting of surrounding gap)

### 3) 외부케이싱 설치 공법

외부케이싱을 설치하여 그라우팅을 실시하는 경우는 상부구간에서 무너짐 현상이 발생하거나, 상위지하수의 낙하등으로 그라우팅 시공이 어려운 경우에 주로 적용하고 있다. Fig. 5-4와 Fig. 5-5에 외부케이싱 설치공법을 각각 (I)과 (II)로 나누어 제



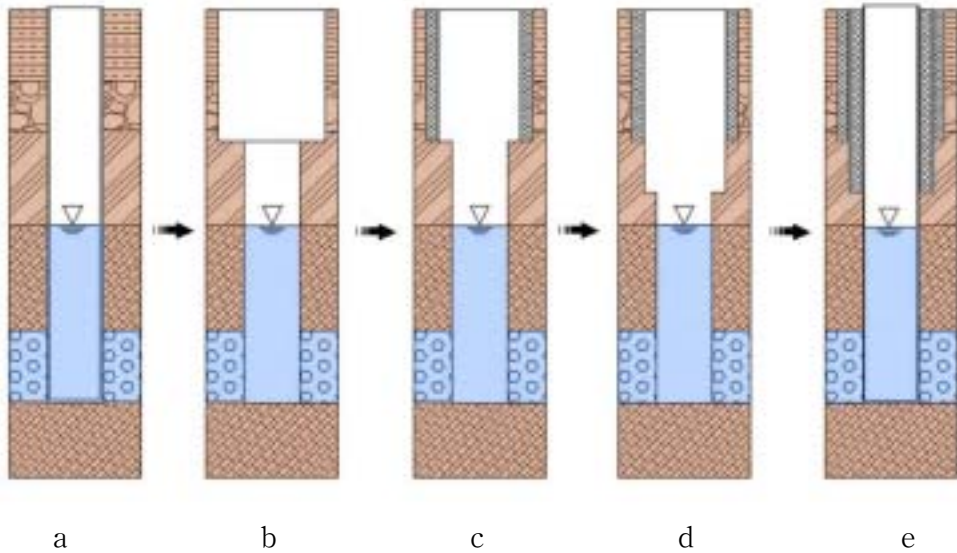


Fig. 5-4. Diagram of outer casing installation technique( I )

(a: before repairing, b: widening a well(1), c: grouting of surrounding gap(1), d: widening a well(2), e: grouting of surrounding gap(2) )

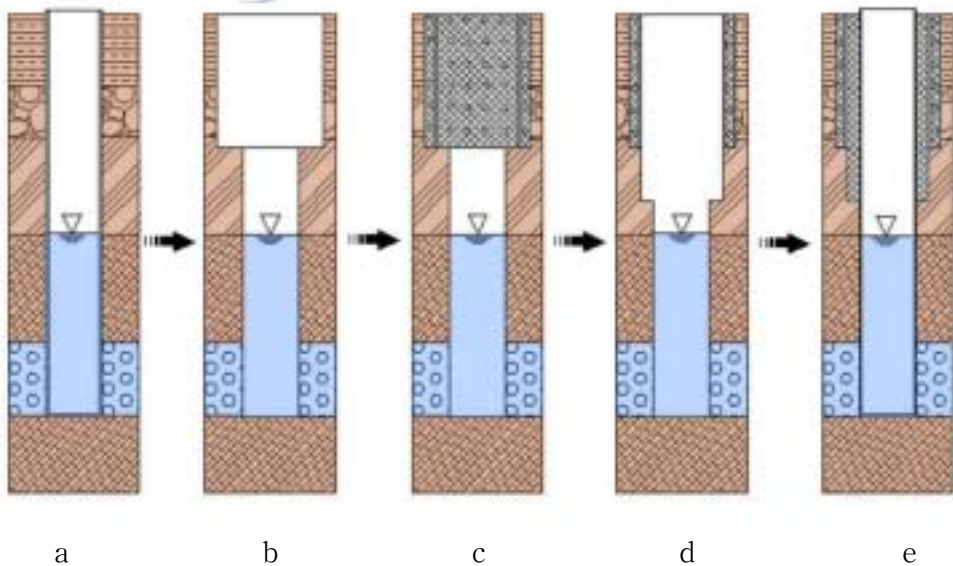


Fig. 5-5. Diagram of outer casing installation technique( II )

(a: before repairing, b: widening a well(1), c: grouting of surrounding gap(1), d: widening a well(2), e: grouting of surrounding gap(2) )



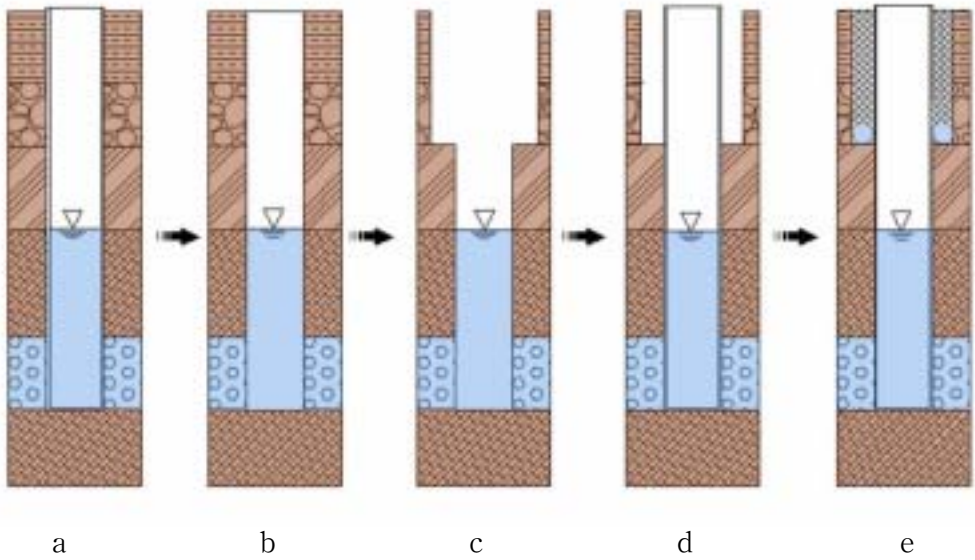


Fig. 5-6. Diagram of expansive packer grouting(I) (a: before repairing, b: casing conduct, c: widening a well d: installing casing, e: grouting of surrounding gap)

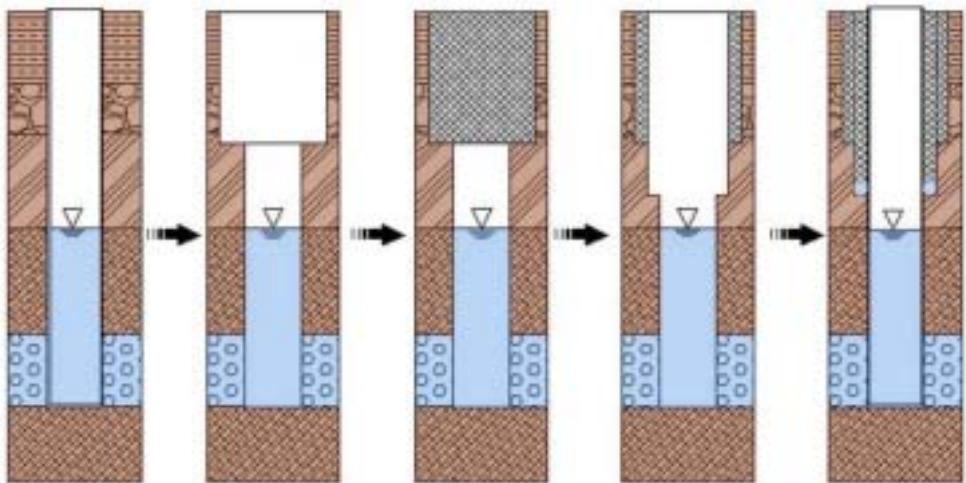


Fig. 5-7. Diagram of expansive packer grouting(II) (a: before repairing, b: widening a well, c: filling-grouting d: reexcavation, e: grouting of surrounding gap)

시하였다. Fig. 5-4는 외부케이싱을 설치하여 주변공간 그라우팅을 실시한 후 케이싱 내부로 2차 주변공간그라우팅을 위한 추가 굴착을 실시하는 시공방법을 나타내고 있으며, Fig. 5-5는 외부케이싱에 hole을 가공하고, 외부케이싱의 설치 상태에서 채움그라우팅을 실시한 후 재찬공을 실시하여 주변공간그라우팅 공간을 확보하는 시공방법을 나타내었다.

#### 4) 팽창팩커 공법

지하수 관정의 그라우팅 시공을 위하여 케이싱파이프 하단에 굴착공벽과 케이싱간의 차폐를 위한 팽창 팩커를 설치하여 지하수 관정의 내벽과 케이싱파이프 외부면간의 간극을 차단하여 그라우팅을 실시하는 시공방법이다.

Fig. 5-6과 Fig. 5-7에 팽창팩커그라우팅공법을 각각 (Ⅰ)과 (Ⅱ)로 나누어 제시하였다. Fig. 5-6은 주변공간그라우팅을 실시하기 위하여 팽창 팩커를 설치하여 시공하는 방법을 나타내고 있으며, Fig. 5-7은 채움그라우팅을 실시하고 재찬공이 이루어진 후에 케이싱 하단에 팽창팩커를 설치하여 주변공간 그라우팅을 실시하는 방법을 나타내었다. 제주도내에서는 아직까지 팽창팩커를 이용한 그라우팅 시공이 거의 이루어 지지 않았으나, 최근 관측공 및 신규개발관정의 대수층별 양수시험 시에 상부대수층을 차단하기 위한 시공이 이루어지고 있다.

## VI. 제주도 지하수관정의 보수공법 적용

제주도에서 개발·이용중인 지하수관정의 대부분은 오염방지를 위한 그라우팅 시공이 이루어지지 않아 최근 문제가 발생한 관정이 점차 증가하고 있다. 따라서 이들 지하수관정의 수질이 악화되어 이를 개선하여 재이용하는 보수 시공이 늘어나고 있는 추세이다. 여기서는 수질악화로 인하여 사용목적에 부적합한 문제가 발생한 관정에 대해 보수시공을 실시하였다. 그 결과 수질을 개선하는데 성공한 도내 4개 사업장의 지하수관정을 보수한 시공 사례를 살펴보았다. 수질악화 현상은 질산성질소, 탁도, 생활하수, 염소이온 초과 때문이었으며, 문제발생 관정에 대한 오염원인을 파악하기 위하여 기초조사, 수질분석, 투수성지질 및 오염원조사, 지하수부존특성 검토, 기타현황조사를 실시하였다. 이 같은 문제발생관정의 진단을 통하여 수질 악화 원인을 조사·분석하고 수질악화의 원인을 차단하기 위한 보수공법을 선정하여 각각 시공하였다. 지하수관정을 보수·시공한 도내 4개사업장의 위치는 Fig. 6-1과 같으며, 개발내역은 Table 6-1과 같다.



Table 6-1 Details of development of ground wells

사업장명	표고 (m)	굴착 심도 (m)	굴착 구경 (mm)	양수 능력 (m <sup>3</sup> /일)	위 치		
					동/리	위 도	경 도
D콘도미니엄	10	47	200	95	구엄리	33° 21 ' 41.3 "	126° 12 ' 03.0 "
J두부공장	40	48(70)	150	130	화북동	33° 30 ' 48.5 "	126° 34 ' 28.2 "
S콘도미니엄	10	22(47)	150	205	판포리	33° 21 ' 41.3 "	126° 12 ' 03.0 "
L사우나	5	22(60)	150	250	일도1동	33° 30 ' 37 "	126° 31 ' 40 "

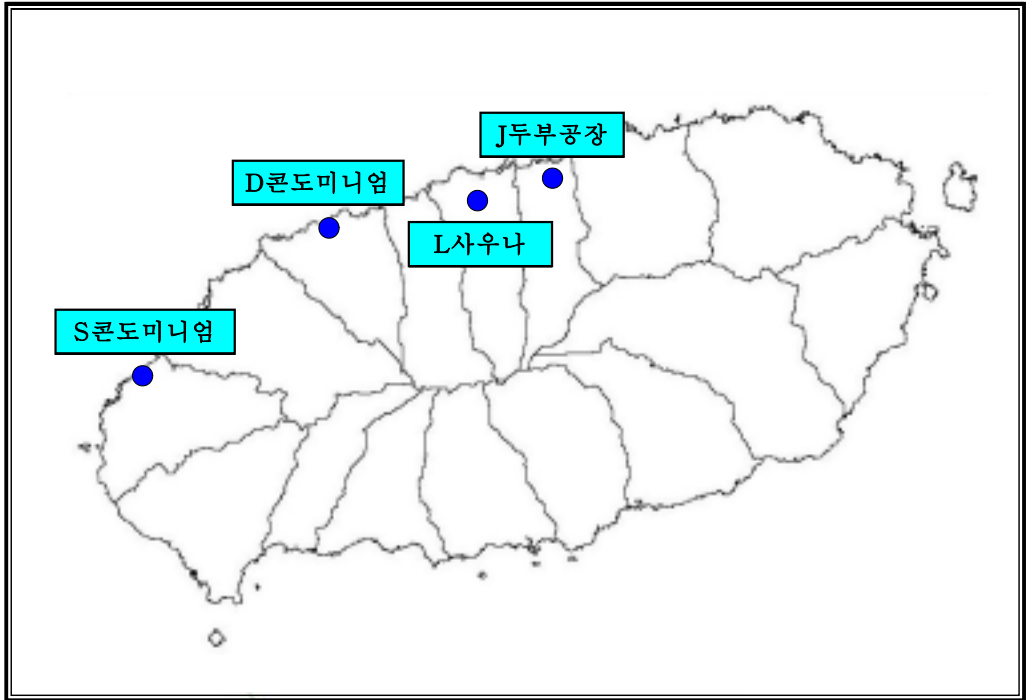


Fig. 6-1. Location map of business places that applied repairing technic of groundwater well

### 1. D콘도미니엄 시공

구업리에 위치한 사업장 부지 내에 농업용관정을 1998년에 개발하여 이용하고 있었으나, D콘도미니엄을 신축하게 되어 관정의 이용용도를 농업용수에서 생활용수(먹는물)로 변경하기 위하여 관정의 상태와 현황을 조사·분석하였다. 조사결과 대상관정은 개발 시에 그라우팅 시공을 실시한 것으로 조사되었으나, 질산성질소의 수치가 비교적 높게 나타났다. 대상관정의 공내촬영을 실시한 결과 상부에서 상위수의 유입이 확인되어 생활용수(먹는물)로 대상관정을 용도변경하기 위해서는 관정에 설치된 케이싱을 완전히 인양한 후 그라우팅시공을 위한 굴착공의 확공공사를 실시하고, 케이싱을 설치한 후 그라우팅을 재시공하였다. D콘도미니엄의 지하수관정 진단을 위한 조사내용은 Table 6-2와 같고, Fig. 6-2는 관정의 시공 사진이다.

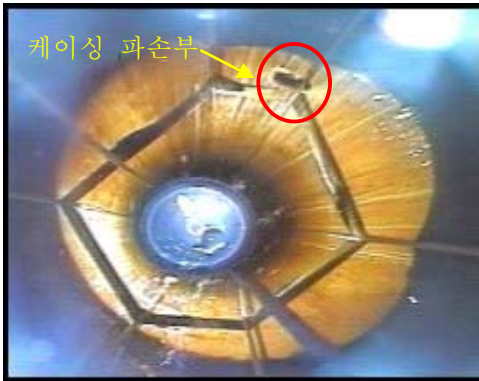
1) 지하수관정의 보수 검토

Table 6-2 Contents of survey for well at D condominium

항 목	조 사 내 용
1. 기초조사	○ 특이사항 없음
2. 수질분석	○ 대상관정의 수질 조사 : 질산성질소 7.5mg/ℓ ○ 주변 지하수 관정 수질 자료 조사 : 질산성질소 2.7~0.4 mg/ℓ
3. 투수성 지질 및 오염원 조사	○ 특이사항 없음
4. 지하수 부존 특성 검토	○ 하부준기저지하수 ○ 수위변화 조사 : 지하수위는 조석과 강우의 영향을 동시에 받는 혼합형
5. 기타 현황조사	○ 주변관정의 지질주상도 및 굴착심도 스트레이너 위치 확인 ○ 자연수위 상부에 화산쇄설층 및 점토층이 위치할 것으로 추정
6. 특기사항	○ 공내촬영 결과 지표에서 9M 지점에서 상위수의 유입 확인

2) 지하수관정의 보수 공법 결정

- (1) 수질악화 원인 분석 : 주변관정에서는 질산성질소 수치가 대상관정의 수치보다 훨씬 낮게 나타나고 있고, 강우시에 탁도의 증가가 발생하고 있다. 또한 자연수위의 상부에 투수성지질인 화산쇄설층이 위치하고 있어 상부에서 오염원의 유입이 이루어지고 있는 것으로 파악되었다. 또한 상부에 그라우팅 시공이 제대로 이루어지지 않아 오염원의 유입으로 질산성질소 수치가 높게 나타나고 있는 것으로 판단하였다.
- (2) 보수공법의 결정 : 설치된 케이싱을 인양한 후 상부구간을 확공하고 케이싱 재설치 시에 패킹 처리하여 적정 심도 까지 오염방지그라우팅을 실시하였다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 6-2. Photography of repairing work of D condominium (a: photographing of the inside of holes, b : casing conduct, c : after casing conduct, d : he production of packer, e : before grouting execution, f : grouting execution)

## 2. J두부공장 시공

화북공업단지 동측에 위치한 사업장 부지 내에 1997년에 개발·이용중인 농업용 관정이 위치하고 있으며, 부지 내에 두부공장을 신축 이전하게 되어 이 지하수관정의 용도를 생활용수로 변경하기 위하여 지하수영향조사를 실시하였다. 관정의 상태를 조사·분석한 결과 질산성질소의 수치가 일정하지 않고 비교적 높게 나타났다으며, 수중모터펌프를 초기 가동시 탁도가 발생하여 보수공사를 수행하였다.

### 1) 수질개선 가능성 검토

Table 6-3 Contents of survey for well at J bean curd factory

항 목	조 사 내 용
1. 기초조사	○ 초기 수중모터 가동시에 탁도 발생이 확인
2. 수질분석	○ 대상관정의 수질 조사 : 질산성질소 6.3mg/ℓ ○ 주변 지하수관정 수질 자료 조사 : 질산성질소 2.9~8.2 mg/ℓ
3. 투수성 지질 및 오염원 조사	○ 사업부지 인근에 화북공업단지 위치
4. 지하수 부존 특성 검토	○ 하부준기저지하수 ○ 수위변화 조사 : 지하수위는 강우의 영향을 받는 강우지배형
5. 기타 현황조사	○ 주변관정의 지질주상도 및 굴착심도 스트레이너 위치 확인 : 장석감람석현무암과 장석현무암과 화산쇄설층 및 퇴적층이 협재할 것으로 추정.
6. 특기사항	○ 주변관정보다 해수면기준으로 굴착심도가 낮은 것으로 조사됨.



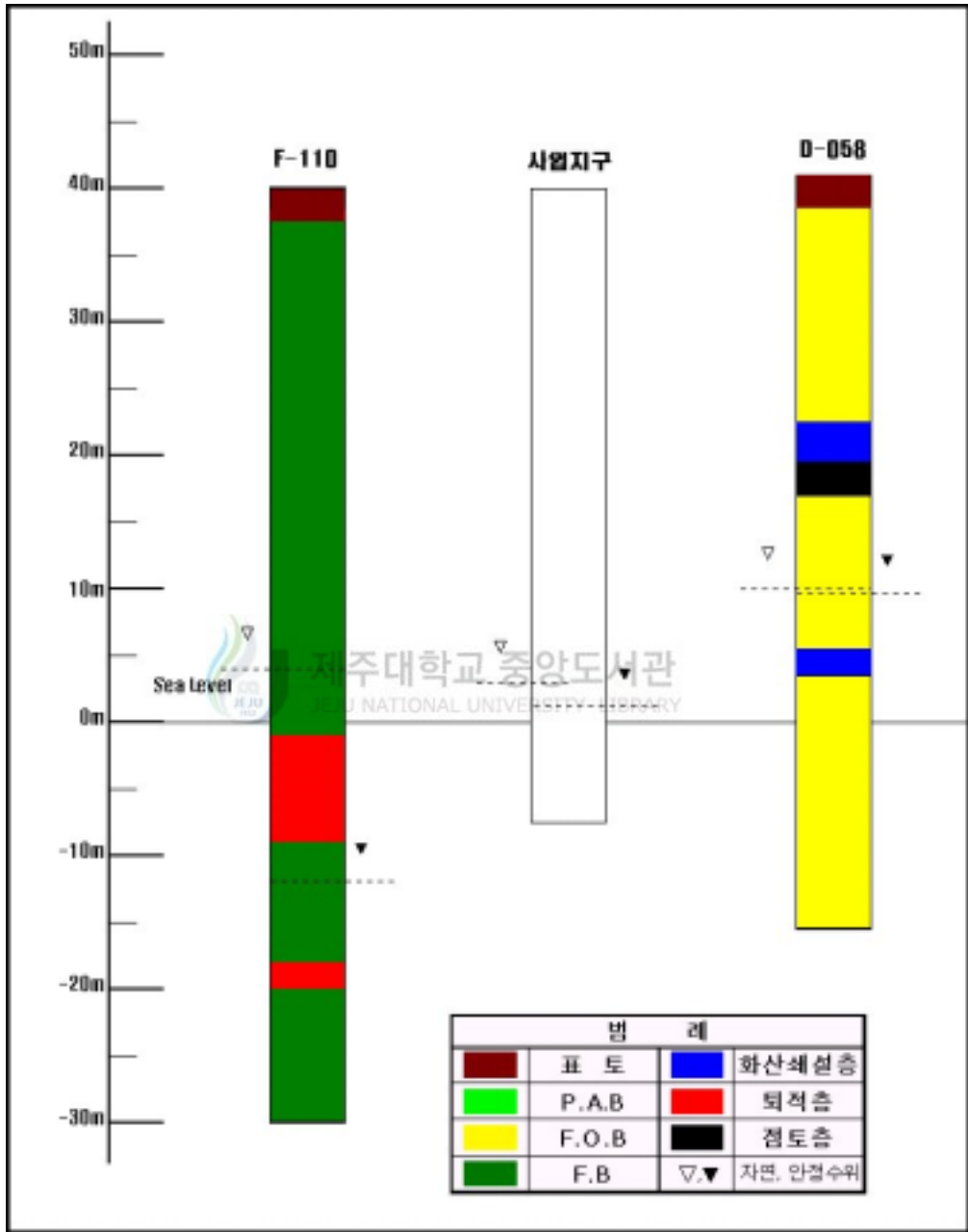


Fig. 6-3. Geological column section of surrounding wells of J bean curd factory



## 2) 지하수관정의 보수공법 결정

- (1) 수질악화 원인 분석 : 주변관정 지하수의 수질은 질산성질소의 수치가 채수 시점에 따라 변동폭이 크고, 대상관정의 질산성질소의 수치보다 비교적 높게 나타나고 있다. Fig. 6-3과 같이 대상관정의 굴착심도가 주변관정의 굴착심도에 비해 평균해수면 기준으로 하여 상대적으로 낮아 추가 굴착을 실시하여 하부 대수층을 확보하도록 결정하였다. 초기 가동시 탁도가 발생한 점으로부터 탁도 유발 오염원이 상부에서 유입되는 것으로 판단되었다.
- (2) 보수공법의 결정 : 케이싱을 인양한 후 상부구간을 확공하여 채움그라우팅 공간을 확보하고 그라우팅 및 재찬공을 실시하였다. 재찬공은 오염방지그라우팅의 시공공간을 확보하기 위하여 케이싱의 외경보다 10cm 크게 시공하였으며, 최종 심도까지 굴착하고 케이싱을 설치한 후 오염방지그라우팅을 실시하여 오염원의 유입경로를 차단하였다.

## 3. S콘도미니엄 시공



사업부지내에 1997년에 허가되어 시공이 완료되지 않은 생활용관정이 위치하고 있었으며, 관정 현황을 조사한 결과 염소이온이 생활용수의 수질기준에 부적합한 것으로 조사되었다. 관정위치는 해안에서 불과 50m정도 떨어져 위치하고 있으며, 해수와 지하수 사이에 이동 경로가 형성된 것으로 판단되었다. 또한 주변관정의 굴착심도와 대상관정의 굴착심도를 비교해본 결과 주변관정에 비하여 굴착심도가 현저히 낮게 시공된 것으로 조사되었다. 따라서 대상관정을 생활용수의 수질기준에 적합하도록 보수·시공을 실시하였다.

### 1) 수질개선 가능성 검토

Table 6-4 Contents of survey for well at S condominium

항 목	조 사 내 용
1. 기초조사	○ 특이사항 없음
2. 수질분석	○ 대상관정의 수질 조사 : 염소이온 기준치 초과 ○ 주변 지하수관정 수질 자료 조사 : 염소이온 22~40mg/ℓ
3. 투수성 지질 및 오염원 조사	○ 관정이 해안에서 약 50m 떨어져 위치함 ○ 오름 1개소 및 숲골 1개소가 인근에 위치함.
4. 지하수 부존 특성 검토	○ 기저 및 하부준기저지하수 혼합지역 ○ 수위변화 조사 : 조석과 강우의 영향을 동시에 받는 혼합형
5. 기타 현황조사	○ 특이사항 없음
6. 특기사항	○ 주변관정의 굴착심도가 평균해수면기준으로 사업지구보다 깊이 굴착된 것으로 조사됨.

## 2) 지하수관정의 보수 공법 결정

(1) 수질악화의 원인 분석 : 주변관정의 염소이온 수치가 아주 낮게 나타나고 있으며, 관정이 해안에 인접하고 지하수부존특성이 기저 및 하부준기저지하수 혼합 지역이었다. 따라서 상부구간에서 해안과의 유동경로가 있어 해수가 사업지구의 지하수에 영향을 미치고 있다고 판단되었으며, 그라우팅 시공 또한 이루어지지 않은 것으로 판단되었다. Fig. 6-4과 같이 최초 굴착심도가 주변관정의 굴착심도보다 평균해수면기준으로 낮게 굴착된 것으로 조사되어 굴착이 충분히 이루어지지 않은 것으로 판단되었다.

(2) 보수공법의 결정 : 케이싱 인양후 확공을 하고, 외부케이싱을 설치하여 오염 방지그라우팅을 실시하였다. 또한 상부구간의 오염원 유입을 완전히 차단하고 내부케이싱 설치후에 오염방지그라우팅공법을 실시 하였다. Fig. 6-5는 관정의 시공 사진이다.

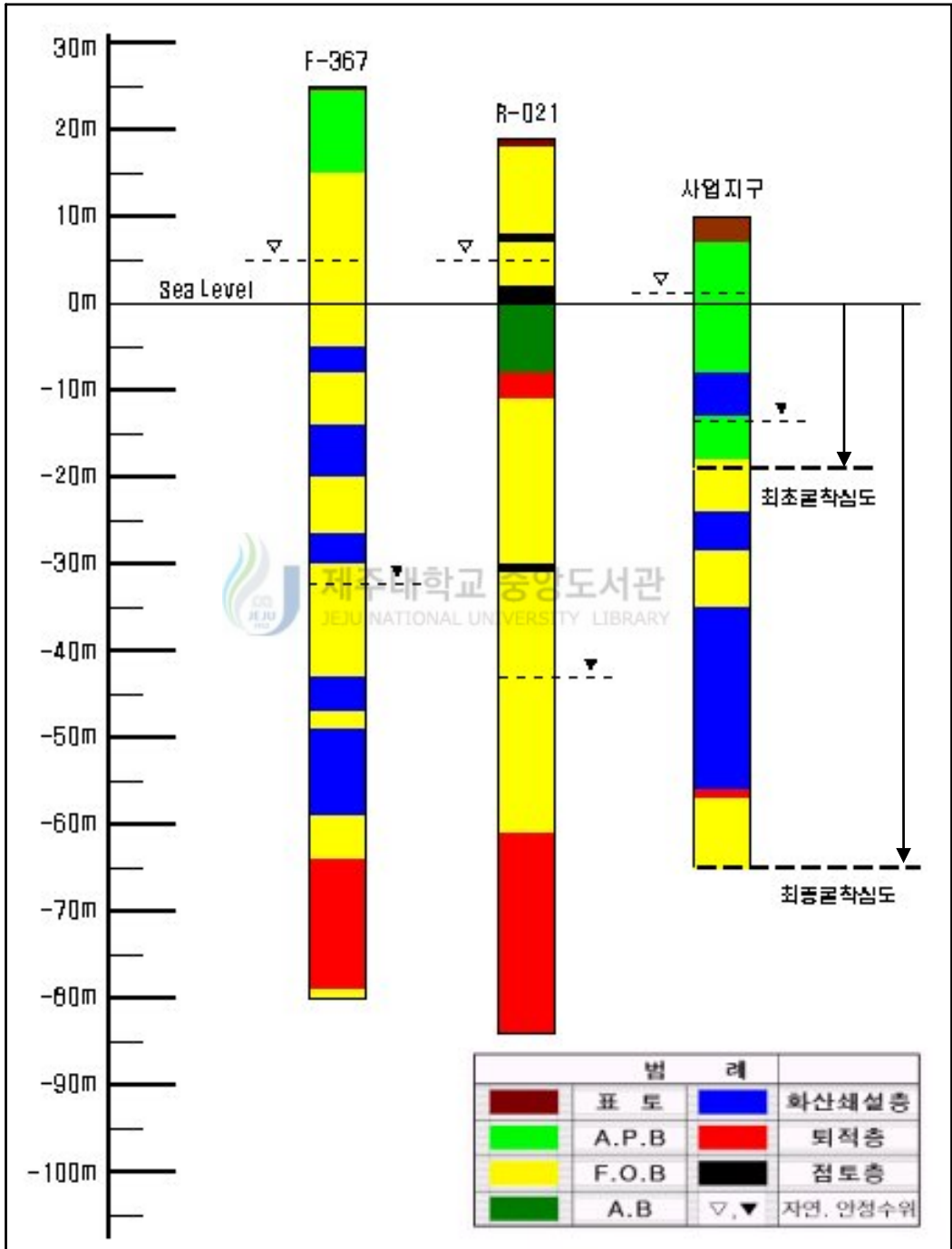


Fig. 6-4. Geological column section of surrounding wells of S condominium



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 6-5. Photography of repairing work of S condominium ( a:

photographing of the inside of holes, b : casing conduct, c : outer casing foundation(I), d : outer casing foundation(II), e : grouting(I), f : grouting(II) )

#### 4. L사우나 시공

1993년 이전에 개발된 관정으로서 그라우팅시공이 이루어지지 않아, 강우시 관정내부로 일시적인 하수 유입이 발생되어 이를 방지하고자 보수공사를 실시하였다.

##### 1) 수질개선 가능 검토

Table 6-5 Contents of survey for well at L sauna

항 목	조 사 내 용
1. 기초조사	○ 우수시 하수가 상부에서 유입되고 있음.
2. 수질분석	○ 대상관정의 수질 조사 : 평상시 생활용수 수질 기준에 적합, 우수시 하수유입으로 수질 악화 ○ 주변 지하수관정 수질 자료 조사 : 주변관정의 수질은 양호함
3. 투수성 지질 및 오염원 조사	○ 주변지역에 주거지역으로서 생활하수가 다량 발생하고 있음.
4. 지하수 부존 특성 검토	○ 하부준기저지하수 ○ 수위변화 조사 : 대상관정에서 미실시
5. 기타 현황조사	○ 특이사항 없음
6. 특기사항	○ 주변관정의 굴착심도가 해수면기준으로 사업지구보다 깊이 굴착된 것으로 조사됨.

## 2) 지하수관정의 보수 공법 결정

(1) 수질악화의 원인 분석 : 평상시의 수질은 아주 양호하나 우수발생시에는 하수가 상부로부터 굴착공벽을 따라 유입되는 것으로 조사되었다.

(2) 보수공법의 결정 : 대상관정의 굴착심도가 해수면하 17m이고, 반면 주변관정의 굴착심도는 해수면하 72-78m까지 시공되어 있는 것으로 조사되었다. 따라서 주변관정은 하부대수층을 주대수층으로 지하수를 개발 이용 중인 반면 이 관정은 상부대수층을 주대수층으로 지하수를 개발·이용 중이며, 상부대수층으로 생활하수가 유입되고 있는 것을 판단되었다. 따라서 상부대수층 구간을 포함한 상부구간을 채움그라우팅 시공을 하여 생활하수의 유입을 완전히 차단하기로 하였다. 채움그라우팅 구간이 대수층을 포함하고 있어 채움그라우팅을 보다 용이하게 수행하기 위하여 외부케이싱을 설치하고 채움그라우팅을 실시하였다. 또한 외부케이싱에 구멍을 가공하여 그라우트재가 외부케이싱과 굴착공벽사이의 공간에 주입되도록 시공하였다.



## VII. 지하수의 보수공법에 따른 수질개선 방안

### 1. 수질개선을 위한 지하수 관정의 보수공법

제주의 지하지질은 수차례 또는 수십차례의 화산활동으로 이루어져 수매에서 수십매에 이르는 다양한 지층의 변화를 보이고 있다. 지하수의 보수공사를 실시하고, 적용한 보수공법에 따른 시공전후의 수질을 비교·분석하였다.

Table 7-1 Analysis of improvement of water by repairing technique

적용공법	사업장	수질개선항목	분 석	
			시공전	시공후
오염방지그라우팅 공법	D콘도미니엄	질산성질소 (NO <sub>3</sub> -N)	7.5mg/ℓ	4.6mg/ℓ
채움그라우팅 공법	J두부공장	질산성질소 (NO <sub>3</sub> -N)	6.3mg/ℓ	3.3mg/ℓ
외부케이싱 설치 공법	S콘도미니엄	염소이온 (Cl <sup>-1</sup> )	250mg/ℓ 이상	34mg/ℓ
	L사우나	생활하수유입	하수유입	하수유입 차단

상기 4개 사업장에 적용한 지하수관정의 보수공법은 오염방지그라우팅시공법, 외부케이싱 설치 시공법, 채움그라우팅 시공법이다. Table 7-1에 제시한 시공전후의 분석결과를 살펴보면 4개 사업장 모두 수질개선효과가 나타나고 있음을 알 수 있었다. 그러나 보수공법 중 팽창팩커 그라우팅공법을 제주도에 적용한 보수시공사례는 아직까지 없는 실정이다. 다만 최근 관측공 및 신규 지하수 개발 시 팽창팩커를 이용한 그라우팅공법을 시험적으로 적용되고 있을 뿐이다.

지하수보수공사를 실시한 4개 사업장의 보수공사 시공 전후의 수질을 수질검사

성적서를 토대로 비교 검토하여 Table 7-1에 나타내었다. D콘도미니엄의 질산성 질소 수치는 7.5mg/ℓ에서 4.6mg/ℓ로 개선되었고, J두부공장의 질산성질소 수치는 6.3mg/ℓ에서 3.3mg/ℓ로 낮아진 것으로 확인되었다. 염소이온이 250mg/ℓ 이상 검출되어 용도에 부적합하였던 S콘도미니엄의 경우 보수공사 후의 염소이온은 34mg/ℓ로 현저히 낮은 수치를 보이고 있다. 또한 생활하수가 유입되어 이용이 불가능 했던 L사우나는 보수시공으로 생활하수의 유입을 차단하였다.

## 2. 지하수 보수공법의 개선방안

지하수의 수질에 문제가 발생한 관정의 보수시공 사례를 통하여 악화된 지하수 관정의 수질을 개선할 수 있음을 알 수 있다(Table 7-1). 4개 사업장의 지하수관정 보수 시에 관정 상태를 진단하여 대상관정에 가장 적절한 보수공법을 적용하였다. Table 7-2는 문제발생 대상관정을 보수하기 위한 보수공법 선정 시 고려할 사항을 제시하였다.

지하수관정의 보수 시에는 설치된 케이싱은 전부 인양하여 보수 시공하여야 한다. 오염방지그라우팅공법은 그라우팅을 실시하고자 하는 구간의 지층이 비교적 치밀하여 그라우팅 시공이 용이하다고 판단되는 경우에 적용하여 가장 적은 비용으로 오염원을 차단 시공할 수 있다. 또한 채움그라우팅공법을 보수시공 시에 적용할 경우 오염방지그라우팅공법을 보완하는 의미가 있으나, 채움그라우팅 공간 확보를 위하여 굴착공을 확공하여야 하며, 확공 시공시에는 기존 굴착공을 따라 확공이 이루어지도록 가이드를 설치한 코아튜브를 이용하여 확공을 실시하여야 한다. 이는 대상 지하수 개발 당시의 굴착장비의 수직도와 보수 시공 시 굴착장비의 수직도가 달라서 가이드를 설치하지 않을 경우 기존 굴착공벽을 벗어난 시공이 이루어진다. 지층이 치밀하지 않은 경우 즉 사력층 내지는 스큐리아층에서 기존 굴착공벽을 벗어나서 굴착이 이루어 질 경우 채움그라우팅을 통한 오염원 유입의 차단 효과가 저감될 수 있다. 외부케이싱 설치 그라우팅공법은 제주도의 지질적 특성을 고려할 때 보다 확실한 그라우팅 시공이 가능한 방법이다. 제주도의 지하수관정은 균열·절리 구간과 스큐리아, 클린커층 등의 파쇄대 구간에서 낙석이 발생할 가능성이 많고, 상위지하수가 그라우팅 구간에 위치할 경우 이로 인하여 오



염방지그라우팅 시공이 어렵게 된다.

Table 7-2 Factor of selection of repairing technique of groundwater

적용공법		공법 선정 시 고려사항
오염방지그라우팅 공법		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 상부구간에 함몰 발생 등이 없는 지하지질이 비교적 치밀한 관정에 적용</li> <li>2. 자연수위 상부구간의 오염원을 차단하고자 하는 경우에 적용</li> </ol>
채움그라우팅공법		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 상부구간에 함몰 발생 등이 없는 지하지질이 비교적 치밀한 관정에 적용</li> <li>2. 자연수위 상부구간의 오염원을 차단하고자 하는 경우에 적용</li> <li>3. 굴착심도가 낮은 관정의 보수에 적용 (굴착심도가 깊은 경우 재찬공시에 기존 공벽을 벗어나서 굴착이 이루어 질 수 있다.)</li> </ol>
외부케이싱 설치 공법	주변공간 그라우팅	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 그라우팅을 실시할 중간 지점에 공동구, 습골, 상위지하수 및 낙석발생 등이 발생할 경우에 적용</li> </ol>
	채움 그라우팅	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 그라우팅을 실시할 중간 지점에 공동구, 습골, 상위지하수 및 낙석발생 등이 발생할 경우에 적용</li> <li>2. 굴착심도가 낮은 관정의 보수에 적용</li> </ol>

특히 제주도의 지질구조는 지하에 공동구, 습골 등이 존재하며 이러한 지층에서는 그라우팅 시공이 어렵거나 불가능하게 된다. 이러한 경우 외부 케이싱을 설치하여 보완하는 시공이 가능하다. 우선 공동구, 습골, 상위지하수 및 낙석발생 구간 하부에 치밀한 암반 또는 불투수성 지층까지 외부케이싱외경보다 5cm 이상의 구

경으로 굴착 후 외부케이싱을 설치하고, 공동구, 솥골, 상위지하수 및 낙석발생 구간 상단 까지를 굴착공벽과 외부케이싱 사이 공간을 오염방지그라우팅 시공을 실시한다. 오염방지그라우팅 시공 후 외부케이싱 설치 하단 부를 내부케이싱보다 10cm 이상의 구경으로 난투수성 내지는 불투수성 지질 구간을 가능한 10m 이상을 굴착하여 내부케이싱 설치 후, 내부케이싱과 외부케이싱 및 굴착공벽 사이 공간에 그라우팅 시공을 실시함으로써 외부케이싱 하단을 통하여 유입될 수도 있는 상위지하수 또는 오염원의 차단에 위한 시공을 실시하여야 한다. 특히 오염된 상부대수층을 차단하고자 할 때는 외부케이싱을 활용한 채움그라우팅 시공도 효과적이다. 채움그라우팅을 위하여 굴착공을 확공하고, 외부케이싱에 그라우트재의 유출입이 가능하도록 구멍을 가공하여 굴착공에 설치한 후 채움그라우팅을 실시하여 채움그라우팅재의 유동 및 분리를 최소화하여 효과적으로 그라우팅을 실시할 수 있다. Fig. 7-1은 케이싱을 활용하여 오염원의 경로를 차단하기 위한 시공 모식도이다.

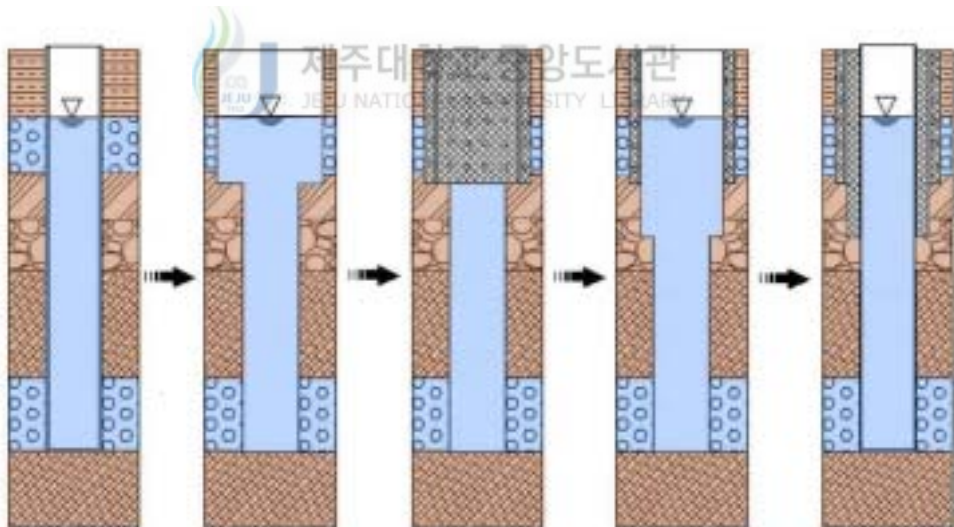


Fig. 7-1. Digram of outer casing installation technique for blocking off inflow path of contamination sources (a: before repairing, b: widening a well, c: filling-grouting d: re-excavation, e: grouting of surrounding gap)

### 3. 지하수 관리시스템 개선 방안

제주도는 유일한 수자원인 지하수를 체계적이고 합리적으로 관리하기 위하여 지하수자원특별관리구역 고시, 지하수개발·이용시공 감리업 도입등 지하수관리를 대폭 개선하여 집중적으로 관리하고 있다. 특히 지하수개발·이용시설 공사 시에는 제주도에 등록된 지하수개발·이용 시공감리업자의 감리를 받도록 하여 지하수 관정이 오염원의 경로가 될 수 있는 가능성을 철저히 차단하도록 하고 있다.

그러나 지하수개발·이용시설공사 감리 적용대상은 지하수관정의 신규 개발, 지하수시설의 굴착심도 변경공사, 지하수시설의 굴착구경 변경공사, 지하수조사·연구를 위한 토지의 굴착, 지하수관정의 원상복구 공사 등으로 제한하고 있는 실정이다. 광물조사공 및 온천조사공 그리고 최근 시공이 이루어지고 있는 지열을 이용하기 위한 굴착공에 대해서는 오염방지를 위한 그라우팅 시공의 지침이나 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이들 관정은 굴착공사의 감리 대상에 속하지 않아 이들 굴착공이 새로운 오염원의 경로로 작용할 수도 있다. 따라서 지하수의 보존과 관리를 위해서는 지하수 오염의 경로로 작용할 수 있는 모든 굴착공사에 굴착시공 감리를 수행토록 하여 오염방지그라우팅의 시공이 이루어져야만 한다.

한편 개발·이용 중인 관정에 문제가 발생하였을 경우 신속한 사후 조치가 필요하나, 보수 시공을 위해서는 케이싱을 인양 제거한 후 그라우팅 시공을 위한 확공을 실시하거나 굴착심도를 변경하여야 한다. 이를 위해서는 지하수영향조사서를 작성 제출하여 제주도지하수관리위원회의 심의를 받도록 하고 있다. 이러한 절차 이행은 지하수개발·이용자에게 경제적 시간적 부담을 주어, 지하수관정에 문제 발생에 따른 신속한 조치를 불가능하게 하여 지하수 수질의 악화를 초래할 수 있다. 따라서 관정에 수량 또는 수질 문제 발생시에는 보다 신속한 조치를 위하여 지하수관정의 보수를 시행한 후 지하수영향조사서를 작성하여 심의를 받도록 하는 제도적 보완이 이루어져야 한다.

## VIII. 결 론

제주도 지하수의 오염을 방지하고 양질의 지하수를 효율적으로 개발·이용하기 위하여 체계적인 지하수자원의 관리가 필요하며 제주도의 지하수 관리시스템 개선방안 및 굴착과정에서 공벽 및 케이싱 사이에 생기는 2차적인 오염경로를 차단시키기 위한 관정 보수공법 개선 방안은 다음과 같다.

1. 국내에서 유일하게 제주도에 시행하고 있는 지하수개발·이용시설공사 감리 제도는 지하수관정의 신규 개발, 지하수시설 변경공사, 지하수조사·연구를 위한 토지의 굴착, 지하수관정의 원상복구 공사만을 대상으로 하고 있는 실정이다. 그러나 광물조사공, 온천조사공 및 최근 시공이 이루어지고 있는 지열 이용을 위한 굴착공 등에 대해서는 오염방지를 위한 그라우팅 시공에 대한 지침이나 관리가 이루어지지 않고 있다. 굴착에 의한 오염원의 유입은 굴착공의 성격과는 관계 없이 발생하기 때문에 모든 굴착공에 대한 적절한 굴착공사감리제도를 입법 시행하여 오염방지그라우팅 시공을 하여야 한다.

2. 현재 개발·이용 중인 관정에 문제가 발생하였을 경우 보수 시공을 위해서는 굴착구경 또는 굴착심도를 변경하여야 한다. 이를 위해서는 사전에 지하수영향조사서를 작성 제출하여 제주도지하수관리위원회의 심의를 거쳐야 한다. 이러한 절차 이행은 신속한 조치를 불가능하게 하여 지하수 수질의 악화를 초래할 수 있다. 따라서 관정에 문제 발생시에는 보다 신속한 조치를 위하여 지하수관정의 보수를 실시한 후 지하수영향조사서를 심의를 받도록 제도적 조치가 필요하다.

3. 개발·이용 중인 지하수관정에 문제가 발생하면 지속적인 이용 또는 원상복구 및 관측정으로 활용 여부를 판단하여야 하며, 문제가 발생한 관정 계속 사용 여부 진단을 위한 항목을 제주도 지하수개발·이용시설 설치 및 관리기준에 제시하고 있다. 이를 지하수관정의 보수를 현장에서 수행하면서 문제관정의 진단에 적용하여 보았고, 추가로 조사가 필요한 항목으로 주변관정의 지질주상도 활용, 대상관정의 시공내역 검토, 개발이후 대상관정과 주변관정의 수질 변화, 대상관정

주변의 오염원 조사 등이 있다.

4 제주도의 지하수관정 보수공법은 굴착공의 지하지질특성, 지하수위 형성 위치 등에 따라 공법을 달리 적용하는 것이 바람직하다. 제주도는 균열·절리 구간 및 스크리아층, 클린커층 등의 파쇄대 구간에서 그라우팅 시 낙석이 발생할 가능성이 많으며 상위수가 상부에서 하부로 낙하하면서 오염방지그라우팅 시 공이 어렵다. 이러한 경우에는 외부케이싱을 설치하여 보완시공이 가능하다. 상위지하수 및 낙석 등이 발생하는 구간 상부에 그라우팅을 실시하여 굴착공 벽과 외부케이싱 사이의 공간을 통한 오염원의 상부로부터 유입을 차단하여야 하고, 외부케이싱은 치밀한 암반구간까지 시공하여야 한다.

5. 오염된 상부대수층을 차단하고자 할 때는 외부케이싱을 활용한 채움그라우팅 시공도 효과적이다. 채움그라우팅을 위하여 굴착공을 확공하고, 외부케이싱에 그라우트재의 유출입이 가능하도록 구멍을 가공하여 굴착공에 설치한 후 채움 그라우팅을 실시하여 채움그라우팅재의 유동 및 분리를 최소화하여 효과적으로 그라우팅을 실시할 수 있다.

## 참고문헌

- 제주도, 2004, 제주도국제자유도시특별법, 85~124p
- 제주도, 2004, 제주도 지하수 관련 법령집, 119~121p
- 제주도, 2005, 제주도 지하수 관련 법령집, 111~138p
- 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서, 62~65p, 188~190p
- 제주도, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(III) 112p
- 건설교통부, 2002, 지하수법령집, 133p
- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위논문, 193~198p
- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 해양연구소 논문집 161~163p
- 송시태, 2000, 제주도 암괴상 아아용암류의 분포 및 암질에 관한 연구, 15~18p
- 고건, 2005, 제주도 지하수의 개발과 원상복구에 관한 연구, 72p
- Ronald R. Esau, 1989, SANTA CLARA VALLEY WATER DISTRICT, 1989, STANDARDS FOR THE CONSTRUCTION AND DESTRUCTION OF WELLS AND OTHER DEEP EXCAVATION IN SANTA CLARA COUNTY. 1~30p
- 地下水を守る會, 1993, やさしい 地下水の話 121~122p
- 조장생, 2002, 라이온스사우나 지하수개발사업 지하수영향조사서, 36~38p
- 한현숙, 2004, 화북동 1050-1번지 지하수이용시설 용도변경에 따른 지하수영향 조사, 25~51p, 76~79p
- (주)스위스콘도미니엄, 2004, (주)스위스콘도미니엄 지하수개발사업에 따른 지하수 영향조사서, 25~64p, 97~102p
- (주)동양콘도미니엄, 2002, (주)동양콘도미니엄 지하수개발사업 지하수영향조사서, 21~63p, 79~85p

## 감사의 글

이 논문의 완성되기까지 많은 격려와 지도를 아낌없이 해주신 양성기 교수님과 논문의 내용을 검토하시고 바로 잡아주신 김상진 교수님, 박원배 박사님께 감사드리며 대학원 생활 동안 학업을 지도해주신 김남형 교수님, 남정만 교수님, 박상렬 교수님, 이병걸 교수님께도 감사드립니다. 그리고 논문이 완성되기까지 옆에서 아낌없는 도움을 주었던 일반대학원생 태혁군, 학부학생 우열, 상봉군에게도 감사의 마음을 전합니다.

늦은 대학원입학으로 어려움이 많았지만 이를 극복할 수 있도록 용기를 준 부모님의 노고에 깊은 감사드리며, 항상 든든한 마음이 되어준 사랑스런 아내와 아이에게 이 논문을 드립니다.

