정책연구 2008-21

Jeju Water Vision 2030 수립을 위한 기초연구

2008. 10

제주발전연구원

목 차

Ⅰ. 서 언 ····· 1

Ⅱ. 수자원 부존 현황 ····· 3
1. 수문지질 ····· 3
2. 지하수 부존 및 산출 특성 ····· 7
3. 물수지 분석 ····· 16

Ⅲ. 수자원 개발·이용 현황 ····· 24
1. 수자원 개발현황 ····· 24
2. 수자원 이용현황 ····· 30
3. 지하수 수질현황 ····· 40

Ⅳ. 제주도 수자원의 관리계획 방향 ····· 47
1. 제주도 수자원 관리제도 ····· 47
2. 서울시 수자원 관리전략 ····· 64
3. 외국의 수자원 관리계획 ····· 66
4. 제주도 수자원의 관리방향 ····· 73

Ⅴ. 기후변화 대비 수자원의 향후과제 ····· 79

참고문헌 ····· 80

표 목 차

<표 2-1> 제주도 동부지역 관측정의 담수렌즈 두께와 G-H비 ····· 8
<표 2-2> 지역별·표고별 강수량 통계 ····· 17
<표 2-3> 지역별·표고별 증발산량 통계 ····· 20
<표 2-4> 2002년에 조사된 홍수시 유량측정 결과 및 유출율 ····· 21
<표 2-5> 수역별 유출율 산정 ····· 22
<표 2-6> 평년 강수량 기준 수역별 물수지 분석 결과 ····· 23
<표 3-1> 지하수 개발현황 ····· 24
<표 3-2> 수역별 지하수 개발현황 ····· 26
<표 3-3> 용천수 분포현황 ····· 27
<표 3-4> 용천수 보존상태 ····· 27
<표 3-5> 용천수 용출량 ····· 28
<표 3-6> 인공함양 시설현황 ····· 29
<표 3-7> 지하수 이용량 ····· 30
<표 3-8> 지하수 허가량 대비 사용량 비교 ····· 31
<표 3-9> 상수원 시설현황 ····· 32
<표 3-10> 수역별 상수도 관정 개발 현황 ····· 32
<표 3-11> 먹는샘물 현황(2개 업체) ····· 33
<표 3-12> 지하수 다량사용업체 현황 ····· 34
<표 3-13> 제주도내 온천개발 현황 ····· 35
<표 3-14> 제주도 온천공의 산출특성 분석결과 ····· 36
<표 3-15> 제주도내 시설된 권장대상 빗물이용시설 ····· 37
<표 3-16> 지표수(저수지) 개발현황 ····· 38
<표 3-17> 제주도내 골프장별 빗물 및 지하수 이용량 ····· 39

<표 3-18> 질산성질소 및 염소이온 농도 자료 통계분석 결과 ····· 40
<표 3-19> NO_3^--N 빈도 분석결과 ····· 41
<표 3-20> Cl^- 빈도 분석결과 ····· 44
<표 4-1> 제주도의 지하수 관리제도 변천과정 ····· 50

그 림 목 차

<그림 2-1> 숨골, 용암동굴 및 오름 위치도 ····· 6
<그림 2-2> 제주도 지하수의 부존형태도 ····· 9
<그림 2-3> 한동지역 해수침투 감시관측공 전기전도도 분포와 변화 ····· 10
<그림 2-4> 한동지역과 종달지역의 지하수 부존 모식도 ····· 12
<그림 2-5> 수산지역과 하천지역의 지하수 부존 모식도 ····· 13
<그림 2-6> 준기저지하수 부존지역 관측정의 수직적인 전기전도도 분포 ···· 14
<그림 3-1> 수역별 지하수 개발 현황 ····· 25
<그림 3-2> NO_3^--N 농도 분포 ····· 41
<그림 3-3> NO_3^--N 농도(log) 분포 특성 ····· 42
<그림 3-4> 질산성질소 검출 농도 공간분포 현황 ····· 43
<그림 3-5> Cl^- 농도 분포 특성 ····· 45
<그림 3-6> Cl^- 농도(log) 분포 특성 ····· 45
<그림 3-7> 염소이온 검출 농도 공간분포 현황 ····· 46
<그림 4-1> 지하수자원 특별관리구역 지정도 ····· 56
<그림 4-2> 단계별 지하수 이용량 감량조치를 위한 기준수위 관측정 위치도 ·· 59

<그림 4-3> 단계별 기준수위와 지하수위 관측자료 ····· 59
<그림 4-4> 2030년 시나리오별 물 수요 변화 ····· 70
<그림 4-5> 2030 수자원관리 비전 ····· 71
<그림 4-6> 기후변화가 제주도 수자원에 미치는 영향 ····· 74
<그림 4-7> 대체수자원의 새로운 관리체계 ····· 77

사 진 목 차

<사진 2-1> 지표에 노출된 화산암과 지하에 분포하는 화산암 ····· 3
<사진 2-2> 아아용암류에 발달한 클린커층, 지표에 노출된 서귀포층과
지하에 분포하는 서귀포층 ····· 4

Ⅰ. 서 언

Falkland(1991)는 작은 섬(small island)을 면적이 2,000㎢미만이거나 폭이 10㎞미만인 섬으로 정의하고 작은 섬의 수자원 개발과 관리에 대한 지침서를 발간하였다. 작은 섬을 따로 분류한 이유는 작은 섬은 수문특성, 수자원 평가, 개발 그리고 관리측면에서 독특한 문제를 가지고 있기 때문이다.

최근들어 세계 곳곳에서 예기치 못한 기후변화와 이상기상 현상은 기후계를 구성하는 각 성분들의 변화 또는 상호작용에 의한다. 수자원에 직접적인 영향을 미치는 기후요인 기온상승과 강우량 및 강우강도 증가 등 강우 패턴 등의 변화이다. 이에 따라 수자원 분야는 용수수요증대 및 시기변화, 하천유출량의 증가나 감소 등으로 극한 홍수 및 가뭄발생빈도와 규모 증가, 수질 악화 및 하천생태계 변화, 지하수의 염수화 등의 영향을 받을 수 있다. 실제 우리나라에서도 2001년, 2002년에는 가뭄으로 109개 시·군에서 약 40만명이 제한급수를 받는 등 주기적인 가뭄피해가 발생하였으며, 또한 루사(2002), 매미(2003), 에위니아(2004), 나리(2007) 등의 태풍과 집중호우로 인해 홍수피해가 대폭 증가하고 있다. 특히, 제주도는 작은 섬에 분류되어 수자원인 지하수는 양적으로나 질적으로 매우 취약하며, 기후변화에 대비한 수자원 분야에 대한 적극적인 대응이 필요하다.

제16회 물의 날 자료(국토해양부, 2007)를 인용하면, 1990~2100년 동안 평균 지표면 온도는 1.4~5.8℃ 정도 오르고, 해수면은 9~88㎝ 상승할 것으로 전망하고 있다. 또한, 니컬러스 스턴의 기후변화의 경제학 보고서(2006)에서는 앞으로 기후변화가 계속되어 기온이 현재보다 2028년 2℃, 2052년 3℃, 2070년 4℃, 2100년 5℃ 상승해 홍수피해와 물부족 현상은 심각해질 것으로 예측하고 있다. 기온 상승에 따른 세계 재해 변화를 구체적으로 살펴보면, 기온 1℃ 상승시 전 세계 30만 명 이상 매년 말라리아, 영양부족, 설사 등 기후관련 질병으로 사망하고 생물 10% 멸종, 산호 80%에 백화 현상이 발생할 것으로 예측하고 있다. 기온이 2℃ 상승(2028년)하면, 열대지역 농작물 생산이 급격히 감소하고 해마다 해안주민 1천만명 홍수피해, 북극곰 등 생물 15~40%가 멸종, 그린란드와 남극 빙하가 녹고 온대계절풍이 급격

히 바뀔 가능성이 높아질 것으로 예측하고 있다. 기온이 3℃ 상승하는 2052년도는 남부유럽에 10년마다 심각한 가뭄이 발생하고, 1억5천만~5억5천만명이 기근에 고통 받고, 연안에 살고 있는 주민 100만~1억7천만명이 추가로 홍수피해를 입고, 아마존 열대우림 붕괴가 시작되고 생물종 20~50%가 멸종된다. 4℃가 상승하면, 남아프리카와 지중해 연안 수자원의 30~50%가 감소하고, 700만~3억명 연안주민이 추가로 홍수피해를 당하고 아프리카 농업생산량이 15~35%가 감소하고, 세계 자연보호구역 절반이 기능을 상실할 것으로 예측하고 있다. 기온이 5℃가 상승하는 2100년도는 히말라야 대형빙하가 소멸돼 중국 인구의 4분의 1과 인도 인구 수억명이 물부족 사태가 발생하고 바다가 산성화로 인해 해양생태계에 심각한 손상이 발생하며 해수면 상승으로 인해 작은 섬나라와 해안가 대규모 도시가 위험할 것으로 예측하고 있다.

특히, 최근 들어 수자원 관리는 인구증가, 수요패턴 변화, 환경요인, 기후변화 등과 같은 외부 영향으로 인해 보다 복잡해지고 있기 때문에 이에 대비한 수자원관리계획이 더욱더 절실한 실정이다.

제주도의 경우 지하수 관리는 1991년 12월 제정된 “제주도개발특별법”에 국내 최초로 지하수 개발·이용에 대한 규제와 관리 조항을 포함하여 지하수자원 보전과 관리를 위한 기틀을 마련하였으며, 법 시행 이후 지속적인 법령의 개정과 보완을 거쳐 현재 “제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법”으로 명칭을 변경하여 제주도 지하수의 관리가 이루어지고 있다. 그러나, 2000년대 이후 기상이변에 따른 갈수기와 홍수기가 증가하고 있어 기후변화에 대응하기 위한 새로운 수자원관리정책 패러다임이 시급하다. 특히, 예상할 수 없는 기후변화에 대응하고 후손들에게 지속가능한 제주의 생명수를 물려주기 위해, 앞으로 제주도 수자원을 체계적이고 과학적으로 관리하기 위한 장기적인 수자원 비전이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 Jeju Water Vision 2030 수립을 위한 기초연구로 지금까지 제주도가 추진하고 있는 수자원 관리제도를 분석하고 선진국에서 추진하고 있는 Water Plan 계획을 비교분석하여 제주도 수자원 관리계획 방향을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 수자원 부존 현황

1. 수문지질

우리나라에서 가장 큰 화산섬인 제주도는 화산체의 두께가 약 2,100m(해수면 상부 1,950m, 해수면 하부 150m)에 달하는 순상화산으로서 화산암류와 퇴적암류로 이루어져 있다. 화산암류는 제주도 면적의 98%에 이르는 넓은 지역을 피복하고 있는 반면, 퇴적암류의 분포면적은 2%(28㎢) 정도에 불과하다.

화산암류의 화학적 조성은 알칼리현무암(Alkali basalt), 현무암(Basalt), 조면질현무암(Trachybasalt), 조면질안산암(trachyandesite), 현무암질 조면안산암(Basaltic trachyandesite), 현무암질 안산암(Basaltic andesite), 조면암(Trachyte) 등 비교적 다양하며, 퇴적암류는 응회퇴적층, 해양성 퇴적층, 용암류 사이에 협제된 퇴적층, 현생퇴적층, 사구층 등으로 이루어져 있다(<사진 2-1> 참조).

<사진 2-1> 지표에 노출된 화산암(좌측)과 지하에 분포하는 화산암(우측)

화산암은 용암의 물리적 특성에 의해 파호에호에(Paheohoe)용암과 아아(Aa)용암으로 나눌 수 있는데, 파호에호에 용암류는 주로 동부와 서부의 해안저지대 지역에 분포하며, 아아 용암류는 남부와 북부, 그리고 한라산 고지대 지역을 중심으로 분포하고 있다. 시추코아에 대한 지질검층 결과에 의하며, 제주도에 분포하는 파호에호에 용암은 단위 두께가 0.5~5m 정도로 얇고 절리와 균열이 발달된 다공질의 특징을 나타내며, 아아 용암류는 단위 두께가 5~15m 정도이고 수직절리와 균열이 발달하며, 가운데 부분은 비교적 치밀하지만 상·하부에는 투수성이 매우 좋은 클린커(Clinker)층이 발달하고 있다(<사진 2-2> 참조).

<사진 2-2> 아아용암류에 발달하는 클린커층(좌측), 지표에 노출된 서귀포층(가운데)과 지하에 분포하는 서귀포층(우측)

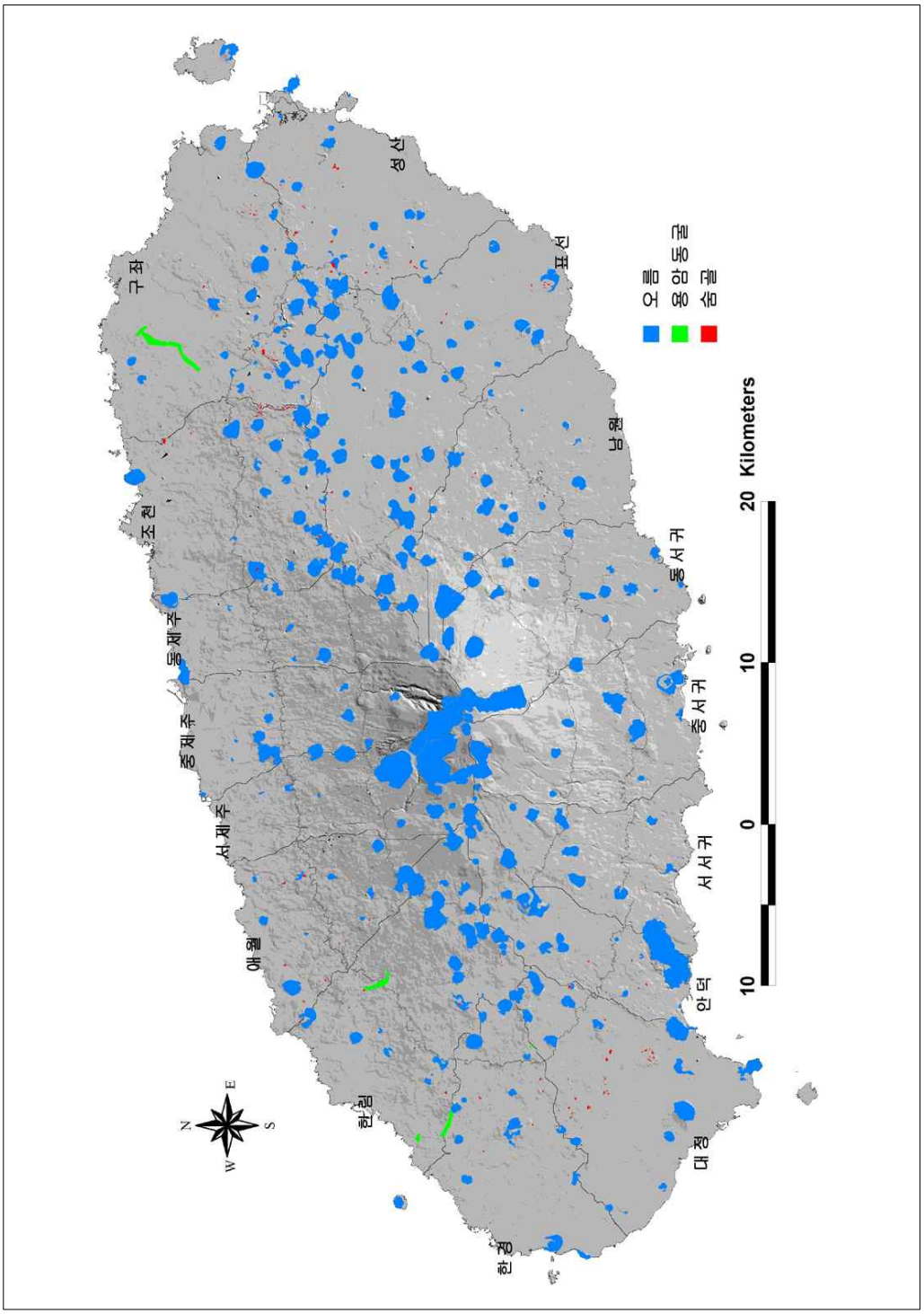
수직적으로 볼 때, 제주도는 두께가 얇은 용암류 누층으로 이루어져 있는데, 용암류의 매수는 지역별로 큰 차이를 나타내어 동부지역이 11~14매, 서부지역은 12~60매, 남부지역 5~9매, 북부지역 20~24매로 조사되었다. 아울러, 해수면 하부에 존재하는 용암류의 분포 깊이는 동부지역이 해수면 하 100~150m 범위이고, 서부지역과 북부지역은 해수면 하 50~70m, 남부지역은 해수면 위 10~80m 범위를 나타내었다. 해양성 퇴적층인 서귀포층은 지표상에는 서귀포시 천지연폭포 서쪽 해안가에만 약 33m 높이로 노출되어 있으나 지하에는 제주도 형성초기에 분출한 화산암류 하위에 광범위하게 분포하고 있어 지하수의 부존형태와 산출특성을 결정짓는 매우 중요한 역할을 한다. 서귀포층의 지하 분포심도는 지역에 따라 비교적 큰 차이를 나타내고 있는데, 동부지역은 평균 해수면 하 110~150m 범위, 서부지역은 평균 해수면 하 40~70m 범위, 남부지역은 평균 해수면 위 10~80m 범위이다(<사진 2-2> 참조).

제주도에는 크고 작은 용암동굴이 60여 개소 분포하고 있으며, 대표적인 용암동굴로는 빌레못동굴(L=11,749m), 만장굴(L=8,924m), 수산굴(L=4,674m) 등을 꼽을 수 있다. 용암동굴은 그 형성과정에서 천장이 붕괴되는 경우가 많은데, 제주도에서는 용암동굴 천장이 붕괴된 곳을 통해 배수가 잘 되기 때문에 '숨골'이라 부르고 있다. 숨골은 지표수 또는 빗물이 지하로 막힘없이 침투할 수 있는 지질구조이기 때문에 지하수 함양에 좋은 역할을 하고 있으나 지하수 오염물질의 유입통로라는 측면에서는 부정적인 기능을 지니고 있다(<그림 2-1> 참조).

제주도에는 분출시기를 달리하는 360여개에 달하는 소화산체들이 분포하고 있는데, 제주도에서는 이를 '오름'이라 부르고 있다(<그림 2-1> 참조). 이들 소

화산체 대부분은 분석구(Cinder cone) 또는 스코리아구(Scoria cone)이고, 일부는 응회구(Tuff cone)나 응회환(Tuff ring)으로 이루어져 있다. 분석구 또는 스코리아구는 미고결 분석(스코리아)으로 이루어져 있어 투수성이 매우 좋은 반면, 응회구 및 응회환은 고결 내지는 준고결의 응회퇴적층을 이루고 있는 관계로 투수성이 불량한 편이다. 지표에서 응회퇴적층은 성산일출봉을 비롯하여 수월봉, 당산봉, 단산, 용머리, 두산봉, 고내봉, 파군봉, 매오름, 송악산 등 주로 해안가에 분포하고 있고, 지하에서도 비교적 다양한 심도에서 두께를 달리하여 존재하고 있어 지하수 유동에 영향을 미치는 수문지질학적 방벽(Hydrogeological barrier)의 역할을 하고 있다.

비포화대의 두께는 지역별로 차이를 나타내는데, 해발 100m 지점을 기준으로 할 때, 동부지역은 비포화대의 두께가 약 95~98m 정도이고, 서부지역은 50~60m이며, 북부지역은 70~80m, 남부지역은 40~50m 정도이다. 따라서, 지하로 침투된 빗물이 지하수체에 도달하기까지는 비포화대 용암누층(Lava sequence)을 통과하면서 물리적 여과가 이루어지고 있다.



<그림 2-1> 숨골, 용암동굴 및 오름 위치도

2. 지하수 부존 및 산출 특성

지하수는 지하의 암석이나 지층의 공극을 채우고 있거나 공극의 틈을 통해 흐르는 물이므로 지하지질구조와 수리적 특성이 지역별로 차이를 나타내는 제주도인 경우에는 다양한 형태의 지하수가 부존하고 있다. 지하수 부존형태를 결정짓는 수문지질학적 요인은 지하지질구조, 서귀포층의 지하분포 상태, 담-염수 경계면의 형성 및 변동, 지하수의 수리경사, 지하수위 분포 및 변동, 지하수의 수질 등을 들 수 있다. 제주도에서는 상기와 같은 인자들을 고려하여 '기저지하수', '상위지하수', '준기저지하수', '기반암지하수'로 분류하여 관리해 오고 있다(<그림 2-2> 참조).

가. 기저지하수(Basal groundwater)

"기저지하수"란 염수와 담수의 비중 차에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈형태로 부존하는 지하수를 말한다. 즉, 기저지하수는 Ghyben-Herzberg원리(이하 "G-H원리"라 함)가 적용되는 지하수체로서, 일반적으로 담수의 밀도는 1.000g/㎤이고 해수의 밀도는 1.025g/㎤이므로 담수지하수는 해수면 상부 지하수위 높이의 40배 만큼의 깊이까지 부존할 수 있다(1:40의 비율을 "G-H 비"라 함).

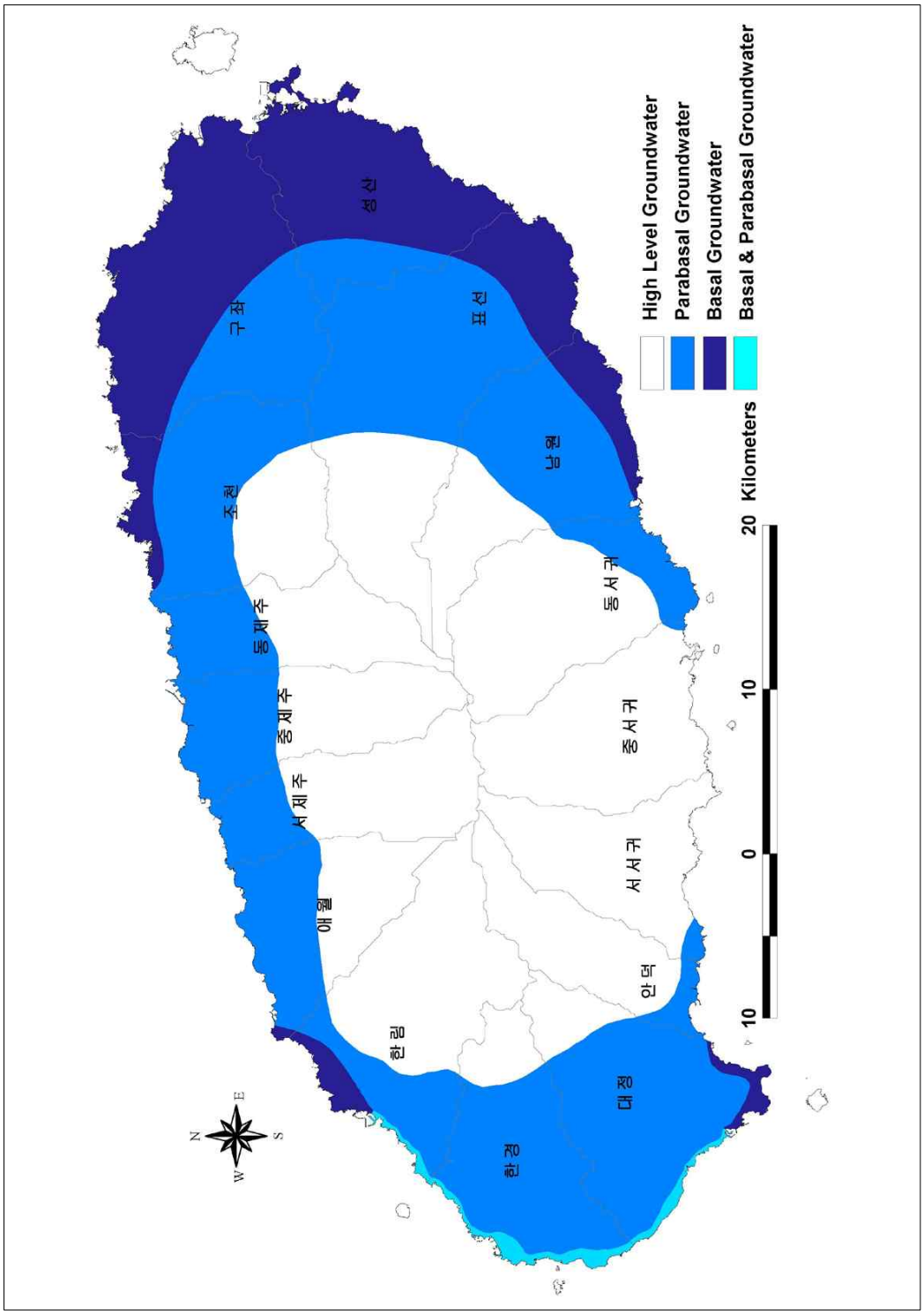
기저지하수는 조천읍 북촌리에서 남원읍 위미리에 이르는 동부의 해안지역과 서부지역의 한림읍 수원리에서 귀덕리에 이르는 해안지역, 그리고 대정읍 하모리에서 산이수동의 해안지역을 따라 부존하고 있다. 동부지역에서 담수 지하수체(또는 담수렌즈)의 수직적인 두께는 해안에서 내륙쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 두꺼워지는 현상을 나타내었다(<표 2-1> 참조). 기저지하수체의 분포범위는 동부지역의 경우, 구좌읍 한동리·세화리·종달리 지역이 내륙으로 약 8㎞까지 확장되어 있으나 조천과 표선지역에서는 해안으로부터 약 3~4㎞ 이내로 한정되어 있다. 서부의 한림읍과 대정읍 지역의 경우, 기저지하수체의 분포범위는 해안선으로부터 약 1~2㎞ 거리에 국한되어 있다. 동부지역에서 담수렌즈가 형성되고 있는 수직적 비율(G-H비)은 최소 1 : 13, 최대 1 : 31, 평균 1 : 19의 값을 나타내어 일반적인 G-H비에 의한 담수지하수체보다 두께가 훨씬 얇은 담수렌즈가 형성되고 있다.

<표 2-1> 제주도 동부지역 관측정의 담수렌즈 두께와 G-H비

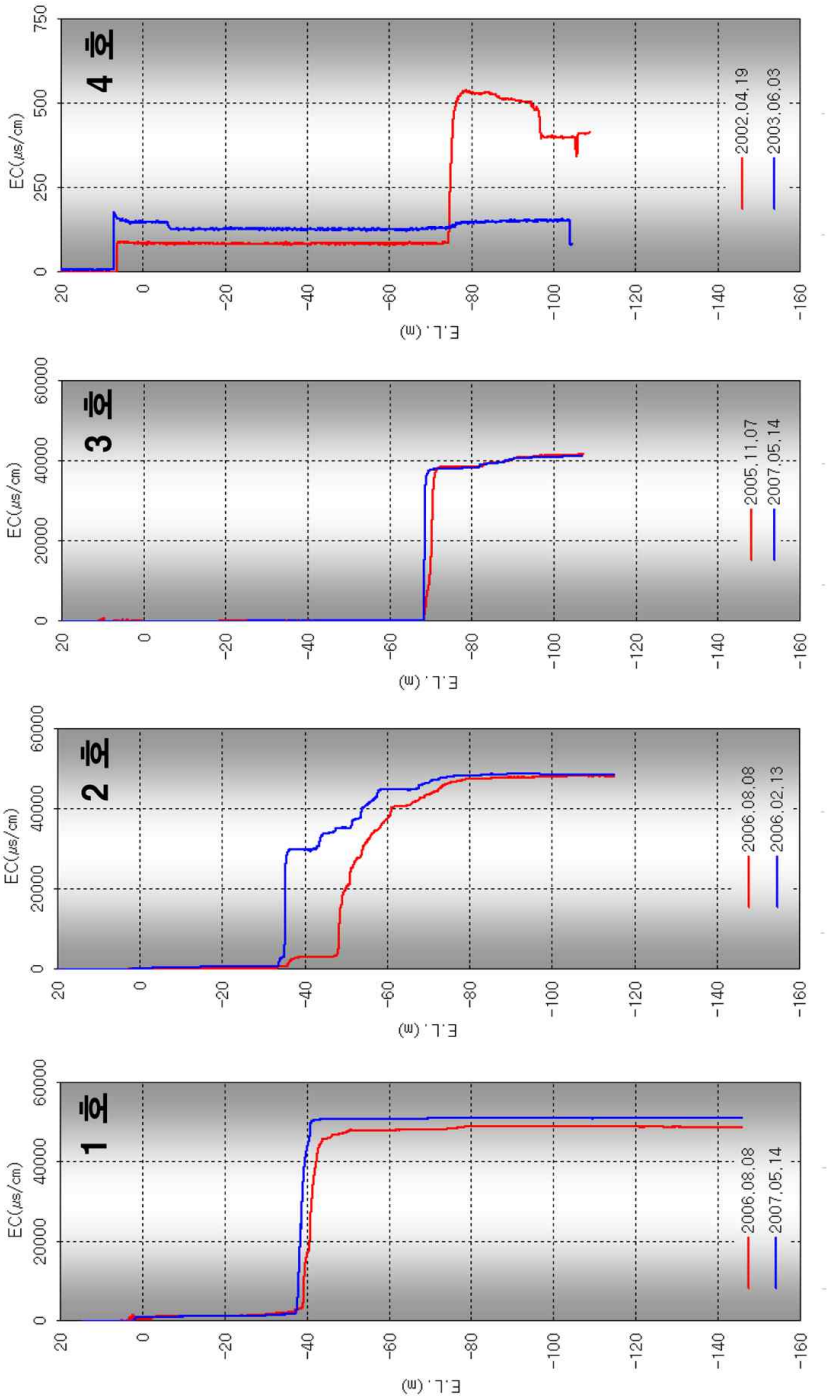
관측정명	표고 (m)	자연수위 (m)	담수렌즈체 두께		G-H비
			이론적 두께	실측 두께	
한동1호공	14.79	1.80	72m	33.18m	1 : 18
한동2호공	42.22	2.00	80m	35.15m	1 : 18
한동3호공	112.25	2.43	97.2m	67.69m	1 : 28
수산1호공	33.33	0.90	36m	27.56m	1 : 31
수산2호공	70.47	2.30	92m	29.21m	1 : 13
수산3호공	115.06	2.40	96m	48.33m	1 : 20
신촌영구정	17.90	0.80	32m	22.73m	1 : 28

<자료 : 제주도 동부지역의 지하수 부존특성, 2003, 고기원외>

제주도 동부지역 기저지하수체의 두께가 이론적인 G-H비 보다 훨씬 얇게 형성하고 있는 원인에 대해 고기원외(2003)는 (1) 지하수 함양량, (2) 지하수 채수량, (3) 연안지역에 피압층의 존재 유무, (4) 대수층의 수리적 특성, (5) 제주도 주변지역 해수의 밀도분포로 구분해 고찰한 바 있다. <그림 2-3>는 기저지하수 부존지역에 위치한 구좌읍 한동지역의 해수침투 감시 관측정을 대상(4개공)으로 실시한 담-염수 경계면 검층자료에 의해 작성한 전기전도도의 수직적 분포와 변화를 나타낸 것이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이, 이 지역 담수 지하수체의 수직적인 분포 두께는 해안에서의 거리에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 즉, 해안선에서 약 0.9㎞ 내륙 쪽에 위치한 한동1호공에서는 평균해수면 하 30.1m까지 담수 지하수체가 형성되어 있으나 약 2.5㎞ 내륙 쪽에 위치한 한동2호공에서는 평균 해수면 하 36.3m로 다소 두터워지며, 내륙 쪽 5.2㎞ 지점에 위치한 한동3호공에서는 평균 해수면 하 68.3m로 나타내어 내륙 쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 담수 지하수체의 두께가 두꺼워지는 현상을 나타내고 있다.



<그림 2-2> 제주도 지하수의 부존형태도



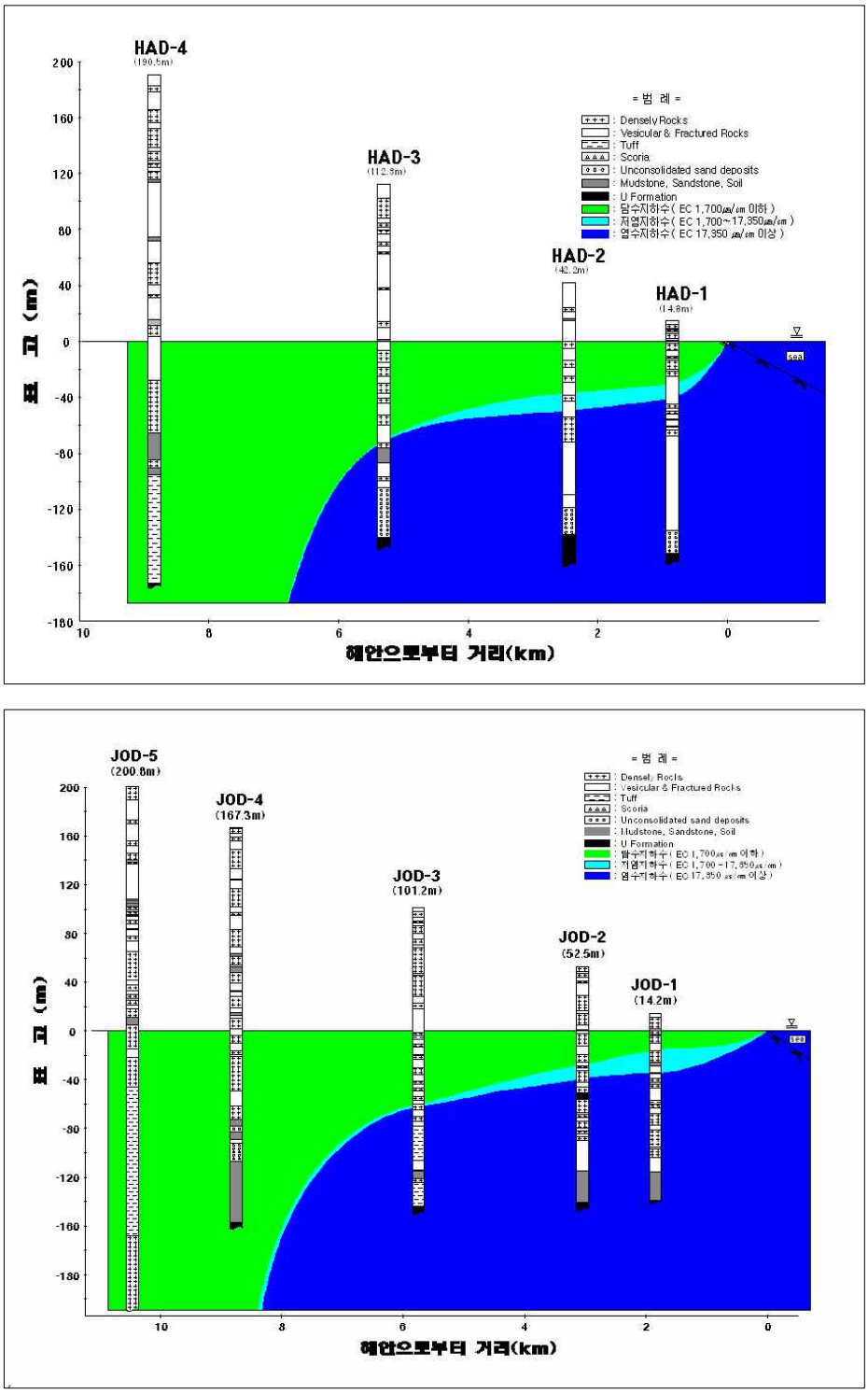
<그림 2-3> 한동지역 해수침투 감시관측공 전기전도도 분포와 변화

<그림 2-4>와 <그림 2-5>는 제주도 동부의 한동, 종달, 수산, 하천지역에 설치된 해수침투 감시관측정을 대상으로 실시한 담-염수 경계면조사 자료를 근거로 작성한 지하수 부존모식도이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이, 이 지역의 기저지하수(담수렌즈)의 두께는 해안에서 내륙쪽으로 향하면서 두터워지는 현상을 나타내고 있을 뿐만 아니라, 담수지하수체 하부에 존재하는 염지하수는 내륙쪽으로 갈수록 얇아지는 현상을 잘 보여주고 있으며, 내륙 쪽에 위치한 관측정(4호공 또는 5호공)에서는 담-염수 경계면이 형성되지 않는 준기저지하수체의 특성을 나타낸다.

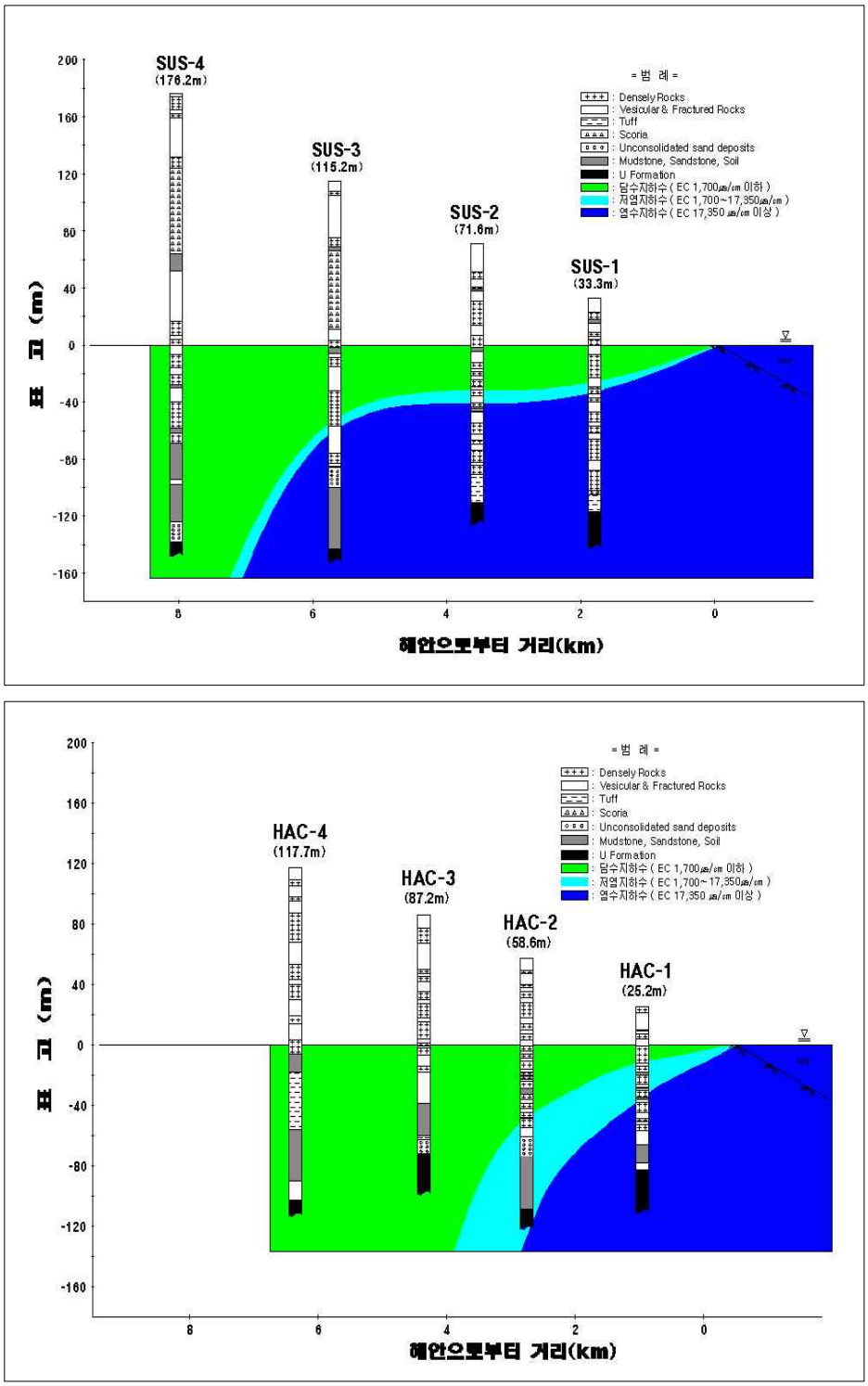
나. 준기저지하수(Parabasal groundwater)

준기저지하수는 담수 지하수체의 하부가 저투수성 퇴적층인 서귀포층에 의해 해수와의 직접적인 접촉이 차단되어 Ghyben-Herzberg 원리가 적용되지 않는 지하수체를 말한다. 서귀포층은 퇴적층인 관계로 그 상부의 용암류를 통해 침투한 빗물의 수직방향 침투를 방해하는 차수막 역할을 하고 있기 때문에 서귀포층의 분포심도는 제주도 지하수의 부존형태를 결정짓는데 대단히 중요한 요인이 되고 있다. 준기저지하수는 서귀포층의 지하 분포심도에 따라 상부준기저지하수와 하부준기저지하수로 구분할 수 있다. 상부준기저지하수는 해수면 상부에 서귀포층이 위치하는 경우로서 지하수가 서귀포층의 상부를 따라 빠르게 유동함으로서 풍수기와 갈수기간에 수위변동 폭이 크게 나타나며, 양수에 의한 수위강하량이 최대인데 반해 공당 평균 채수량은 낮다. 그렇지만, 하부준기저지하수는 서귀포층이 해수면 하부에 분포하고 있는 경우로서 서부 및 북부지역에 광범위하게 부존하고 있으며, 일반적으로 선형유속이 상부준기저지하수보다 느리고 총고형물질 함량 및 전기전도도는 G-H비 이상 심도까지 수직적으로 큰 변화가 없다.

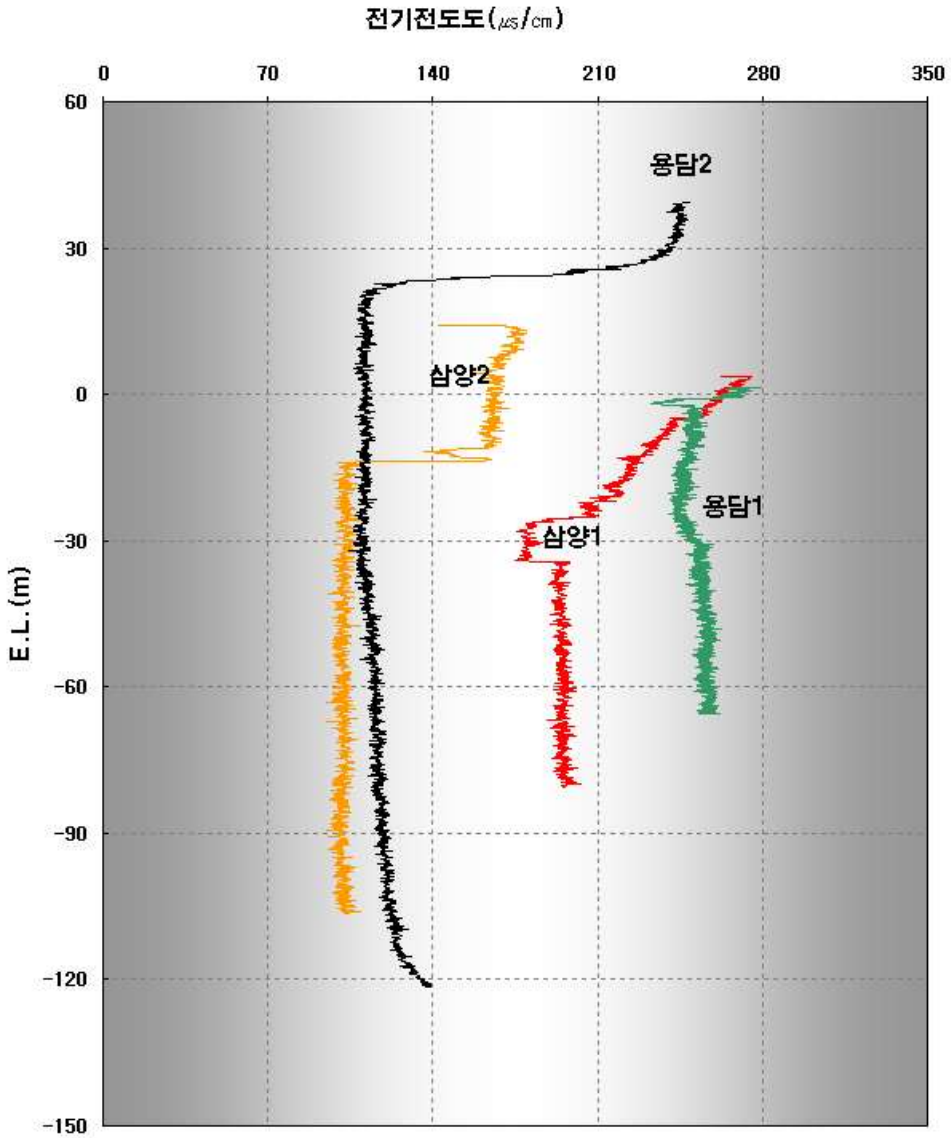
<그림 2-6>은 준기저지하수체가 부존하고 있는 제주시 용담동(용담1), 연동(용담2), 삼양동(삼양1), 도련동(삼양2) 지역에 설치된 관측정의 수직적인 전기전도도 변화를 나타낸 것이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이, 상기 4개 관측정에서 전기전도도는 약 100~280㎲/㎝의 범위를 보이며, 용담1관측정은 심도가 증가하여도 전기전도도 값은 거의 변화 없이 일정한 값을 유지하고 있다.



<그림 2-4> 한동지역(상)과 종달지역(하)의 지하수 부존 모식도



<그림 2-5> 수산지역(상)과 하천지역(하)의 지하수 부존모식도



<그림 2-6> 준기저지하수 부존지역 관측정의 수직적인 전기전도도 분포

용담2와 삼양2 관측정의 경우, 각각 해수면 상부 약 20m 및 하부 15m구간에서 전기전도도가 급격한 감소를 나타내고, 그 하부에서는 거의 일직선의 형태를 유지하고 있다. 삼양1 관측정에서는 해수면 하부 약 25m까지 전기전도도가 서서히 감소하고, 하부 약 35m까지 일정하다가 다시 증가한 후 거의 일직선의 형태를 유지하고 있다.

다. 상위지하수(High level groundwater)

상위지하수란 지표면에 내린 강수가 중력에 의해 투수성 지층을 통해 지표하부로 침투하다가 불투수성 암석층이나 점토층과 같은 저투수성 지층을 만나 더 이상 하부로 침투하지 못하고 저투수층을 따라 이동하거나 저투수층 상부에 고여 있는 일종의 부유지하수(perched water)를 말한다. 해수와 직접적으로 접촉하지 않아 대체적으로 수질이 양호한 반면, 불연속적·국지적으로 분포하며 규모가 크지 않은 관계로 강수에 따른 담수체의 변화가 심하고 계절별 유량과 수위변화가 심하게 나타났다. 상위지하수는 서귀포 일대의 남부지역과 고지대 지역에 발달하고 있으며, 영실, 돈내코, Y계곡, 상판악, 선동 등에 발달하는 용천수는 상위지하수로부터 용출되는 용천수이다.

라. 기반암지하수(Basement groundwater)

기반암지하수란 해수면 하 300~400m 이하에 분포하는 기반암(화강암, 용결응회암) 내에 발달된 파쇄대나 절리 등과 같은 1, 2차 유효공극에 부존하는 강우기원의 심부지하수체를 말한다. 1980년대 말부터 온천개발을 목적으로 일부 지역에서 심부시추가 이루어지면서 기반암지하수에 대한 정보들이 조금씩 알려지기 시작하였는데, 기반암 상부의 지질구조와 지하수 부존형태에 따라 수질과 채수 가능량에서 차이를 나타내고 있는데, 이미 개발된 12개 온천공의 평균 지온증온율은 2.06℃/100m이고, 최대 2.76℃/100m, 최소 1.63℃/100m로서 내륙지방보다 낮은 편이다.

3. 물수지 분석

3-1. 강수량

제주도는 우리나라에서 비가 가장 많이 내리는 다우지역이다. 중산간지역을 포함한 도 전역의 10년 평균(1993~2002) 강수량은 1,975㎜로서 전국 평균 1,283㎜(건설교통부, 한국수자원공사, 2001)보다 무려 692㎜가 더 많다(<표 2-2> 참조). 특히, 한라산의 지형적 영향으로 인하여 해발 100m 증가함에 따라 연강수량은 약 273㎜씩 증가하는 현상을 나타내어, 해발 200m 이하 지역은 연간 1,651㎜인 반면, 해발 200~600m인 중산간 지역은 2,184㎜이고, 해발 600m 이상 지역은 2,784㎜이다. 수역별로는 남부수역과 서부수역이 각각 2,339㎜와 1,299㎜로 수역별 강수량의 차이가 크게 나타나며, 한라산의 지형적인 영향으로 인해 동·남부수역이 북·서부수역보다 강수량이 많은 것으로 나타나고 있다.

3-2. 증발산량

증발산(evaportranspiration)이란 수면으로부터의 증발(evaporation)과 식물로부터의 증산(transpiration)을 합한 것으로서 물이 기체 상태로 변화하여 대기로 환원되는 모든 작용을 포함한다. 자연상태에서의 실제증발산량은 측정하기가 불가능하므로 “제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)”에서는 세계식량기구(FAO)에서 추천하고 있는 Penman 공식과 Penman-Monteith 공식을 적용하여 잠재증발산량을 산정하고, 실제증발산량 산정에는 관측소(기상청 관할 4개 기상관측소)별 실제증발산량 산정 결과와 토지이용현황 자료를 이용하여 실제증발산량을 산정한 바 있다. 잠재증발산량을 산정한 결과를 보면, 평년 기준의 경우 Penman-Monteith 공식에 의해 산정된 잠재증발산량은 제주 1,061.7㎜, 서귀포 1,052.3㎜, 성산 963.4㎜, 고산 1,065.6㎜이며, Penman 공식에 의해 산정된 잠재증발산량은 제주 900.9㎜, 서귀포 839.1㎜, 성산 813.6㎜, 고산 938.1㎜로서 Penman-Monteith 공식에 의한 결과가 Penman 공식에 의한 것보다 17~25% 정도 크게 산정되었다.

<표 2-2> 지역별·표고별 강수량 통계

구 분			면적 (㎢)	강 수 량(㎜)		
				평년	과우년(1996년)	다우년(1999년)
도 전체			1,828	1,975	1,419	2,945
북부	소 계		466.1	2,027	1,215	3,047
	애월	200m 이하	47.2	1,269	900	1,936
		200~600m	32.4	1,532	1,041	2,269
		600m 이상	5.7	2,075	1,251	2,595
	동제주	200m 이하	28.6	1,803	1,015	2,958
		200~600m	27.9	2,409	1,391	3,749
		600m 이상	18.8	2,893	1,712	4,375
	중제주	200m 이하	37.6	1,644	941	2,691
		200~600m	29.5	2,311	1,256	3,350
		600m 이상	22.7	2,811	1,561	3,836
	서제주	200m 이하	22.2	1,443	900	2,354
		200~600m	25.8	2,026	1,117	2,788
		600m 이상	41.5	2,612	1,419	3,175
	조천	200m 이하	67.0	1,794	1,131	3,004
		200~600m	59.1	2,421	1,547	3,791
		600m 이상	0.1	2,700	1,700	4,250
남부	소 계		492.2	2,339	1,738	3,355
	남원	200m 이하	492.2	2,339	1,738	3,355
		200~600m	65.7	2,119	1,815	3,145
		600m 이상	53.3	2,667	2,085	4,411
	동서귀	200m 이하	14.5	3,369	2,072	5,581
		200~600m	36.7	2,179	1,847	3,235
		600m 이상	29.7	2,674	2,089	4,453
	중서귀	200m 이하	40.7	3,159	2,016	4,900
		200~600m	35.1	1,976	1,700	2,830
		600m 이상	36.2	2,321	1,743	3,140
	서서귀	200m 이하	35.0	2,746	1,671	3,440
		200~600m	35.0	1,859	1,456	2,389
		600m 이상	26.9	2,060	1,437	2,473
	안덕	200m 이하	20.9	2,458	1,477	2,776
		200~600m	22.9	1,543	1,284	1,933
		600m 이상	28.2	1,803	1,300	2,253

<표 2-2> 계속

구 분			면적 (㎢)	강 수 량(㎜)		
				평년	과우년(1996년)	다우년(1999년)
동부	소 계		495.0	2,077	1,571	3,276
	구좌	200m 이하	141.1	1,673	1,201	2,859
		200~600m	31.4	2,228	1,588	3,575
		600m 이상	-	-	-	-
	성산	200m 이하	109.5	1,854	1,520	2,828
		200~600m	5.4	2,092	1,656	3,231
		600m 이상	-	-	-	-
	표선	200m 이하	82.0	2,037	1,753	3,027
		200~600m	104.8	2,611	1,898	4,056
		600m 이상	20.5	3,250	951	5,105
서부	소 계		375.3	1,299	1,022	1,844
	대정	200m 이하	107.3	1,275	1,033	1,750
		200~600m	23.5	1,490	1,201	2,016
		600m 이상	-	-	-	-
	한경	200m 이하	91.0	1,159	920	1,751
		200~600m	11.8	1,301	1,100	1,745
		600m 이상	-	-	-	-
	한림	200m 이하	64.5	1,194	914	1,749
		200~600m	63.0	1,412	1,118	2,062
		600m 이상	14.2	2,031	1,297	2,418

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수 자원 종합조사(Ⅲ), 2003>

실제증발산량 산정결과를 보면, 평년의 실제증발산량은 664.1㎜이고, 다우년과 과우년의 실제증발산량은 각각 680.2㎜와 651.9㎜로 분석되었으며, 수역별로는 북부와 남부수역의 실제증발산량이 동부와 서부수역에 비하여 큰 것으로 나타났으며, 제주도를 표고별로 200m 이하, 200~600m, 600m 이상으로 구분하여 소수역별·표고별로 실제증발산량을 산정한 결과를 보면, 대체로 표고가 증가함에 따라 실제증발산량이 증가하는 경향을 나타내고 있다(<표2-3> 참조).

3-3. 직접유출량

제주도에서의 하천유출은 투수성이 큰 토양 및 지질의 분포로 인해 강수량이 대체로 40㎜ 이상일 때 나타나며, 유출발생시 지속시간은 2~3일 정도에 불과하다. 하천유출시 유출량 및 직접유출율 분석은 제주도에서 "제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사"(Ⅰ)과 (Ⅱ)를 통해 6개 하천(외도천, 한천, 중문천, 강정천, 효례천, 천미천)을 대상으로 실시한 바 있다.

2001년 및 2002년에 실시된 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅰ), (Ⅱ)과정에서는 효례천과 천미천을 대상으로 유량을 측정하여 주요 호우대상 직접유출율을 산정하였는데, 하천별 유출율을 보면 효례천은 27~41%, 천미천은 30~38%로 분석되었다. 또한, 2003년에 실시된 "제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)"에서는 외도천, 한천, 중문천, 강정천을 대상으로 조사가 이루어졌는데, 유출율을 보면 강정천은 28.8~64.4%, 외도천은 19.8~35.2%, 중문천은 35.1~67.7%, 한천은 38.5%로 분석되었으며, 유출율은 강우 규모가 커질수록 증가하는 경향을 보였다(<표 2-4> 참조).

특히, 남부수역의 강정천과 중문천의 유출율이 북부수역의 외도천과 한천의 유출율보다 매우 높게 나타났는데, 이는 하천의 경사와 연장, 집수구역의 강우특성 차이 등에 기인한 것으로 판단된다.

한편, "제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)"과정에서는 제주도 전체적인 물수지 분석에 필요한 직접유출량 자료를 확보하기 위해 2003년에 실시한 유량측정 결과에서 산정된 유출율과 SCS 모형 분석 결과를 토대로 하천유출에 영향을 미치는 강수량, 하천밀도, 도시화 및 도로 밀도 등의 토지이용 현황을 감안하여 제주도의 각 소수역별로 직접유출율을 산정하였는데, 그 결과를 보면, 평년의 경우 9~32%이며, 다우년은 10~50%, 과우년은 6~24%로 분석되었다(<표 2-5> 참조).

<표 2-3> 지역별·표고별 증발산량 통계

구 분			면적 (㎢)	실제 증발산량 (㎜)	구 분			면적 (㎢)	실제 증발산량 (㎜)
도 전체			1,828	664.1	-			-	-
북부	소 계		466.1	699.9	남부	소 계		492.2	705.5
	애월	200m 이하	47.2	698.9		남원	200m 이하	65.7	675.0
		200~600m	32.4	700.4			200~600m	53.3	729.0
		600m 이상	5.7	770.4			600m 이상	14.5	763.7
	동제주	200m 이하	28.6	652.6		동서귀	200m 이하	36.7	669.1
		200~600m	27.9	658.8			200~600m	29.7	709.7
		600m 이상	18.8	789.1			600m 이상	40.7	756.2
	중제주	200m 이하	37.6	547.6		중서귀	200m 이하	35.1	617.1
		200~600m	29.5	692.0			200~600m	36.2	723.7
		600m 이상	22.7	775.5			600m 이상	35.0	763.4
	서제주	200m 이하	22.2	682.1		서서귀	200m 이하	35.0	639.9
		200~600m	25.8	700.2			200~600m	26.9	713.9
		600m 이상	41.5	764.8			600m 이상	20.9	759.2
	조천	200m 이하	67.0	698.4		안덕	200m 이하	22.9	693.1
		200~600m	59.1	729.6			200~600m	28.2	706.2
		600m 이상	0.1	788.8			600m 이상	11.4	759.2
동부	소 계		495.0	619.1	서부	소 계		375.3	625.1
	구좌	200m 이하	141.1	618.4		대정	200m 이하	107.3	627.6
		200~600m	31.4	613.3			200~600m	23.5	624.5
		600m 이상	-	-			600m 이상	-	-
	성산	200m 이하	109.5	608.5		한경	200m 이하	91.0	630.4
		200~600m	5.4	620.2			200~600m	11.8	642.2
		600m 이상	-	-			600m 이상	-	-
	표선	200m 이하	82.0	609.4		한림	200m 이하	64.5	613.0
		200~600m	104.8	627.7			200~600m	63.0	608.9
		600m 이상	20.5	686.4			600m 이상	14.2	684.7

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수 자원 종합조사(Ⅲ), 2003>

<표 2-4> 2002년에 조사된 홍수시 유량측정 결과 및 유출율

강우 발생일자	구 분	수역면적 (㎢)	5일선행 강우량 (㎜)	적용 강수량 (㎜)	수문총량 (천㎥/일)	홍수시 유량측정결과	
						유출량 (천㎥/일)	유출율 (%)
2002.08.06 ~ 08.07	외도천	76.7	5.5	315.3	24,184	4,782	19.8
	한 천	25.6	7.0	311.5	7,974	-	-
	중문천	28.8	5.0	369.1	10,630	3,727	35.1
	강정천	37.6	5.0	336.3	12,645	3,645	28.8
2002.08.30 ~ 08.31	외도천	76.7	14	643.2	49,333	17,348	35.2
	한 천	25.6	25	702.9	17,994	6,926	38.5
	중문천	28.8	30	629.6	18,133	12,273	67.7
	강정천	37.6	15	582.8	21,913	14,119	64.4

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수 자원 종합조사(Ⅲ), 2003>

3-4. 유효 지하수 함양량

해발 200m 이하 지역 중 해안에 인접한 지역은 도로포장, 도시 및 취락 형성, 인공배수로, 비닐하우스 시설, 방파제, 내륙바다, 양식장 시설 등 토지이용이 집중적으로 이뤄지고 있어 지하수 함양기능보다는 직접유출이 매우 우세하다.

상기와 같은 점들을 고려하여 제주도에서는 “제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)” 과정에서 우리나라 최초로 유효 지하수 함양지역 및 함양량 개념을 도입한 바 있다. 즉, 각 수역별로 해안선으로부터 직선거리 500m 이내의 109.3㎢ 지역을 지하수 함양지역에서 배제하고, 1,719.0㎢ 지역을 대상으로 유효 지하수 함양량을 산정하였다. 실제로 지하수 함양지역에서 배제된 해안선으로부터 500m 이내의 지역에는 성산포지역에 위치한 내륙바다, 탑동지역 등 매립지, 방파제, 육상 양식장, 비닐하우스, 조간대 등 지하수 함양에 전혀 기여하지 못하는 지역이 포함되어 있으며, 해안가에 발달한 하천의 자연 생태계 유지 기능을 수행하는 지역도 상당부분 포함되어 있다.

특히, 기저지하수가 넓게 분포하는 동부지역의 경우 해안선으로부터 500m 이내의 지역에서 함양되는 지하수량은 지하수 개발・이용의 측면보다는 자연상태

의 해수·담수 평형상태가 파괴하지 않도록 유지하는 역할이 훨씬 더 중요하다. 이 뿐만 아니라 제주도와 같이 수자원의 대부분을 지하수에 의존하는 특별한 여건 하에서는 무엇보다 지하수의 보전·관리가 가장 중요한 과제이며, 이를 위해 보다 보수적인 관점에서 지하수 함양량 산정 개념이 도입되어야 할 것이다

<표 2-6>은 "제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)"에서 분석된 제주도 각 소수역별 강수량, 증발산량, 직접유출량, 지하수 함양량 등 종합적인 물수지를 나타낸 것으로 총강수량은 3,427백만㎥/년이고, 직접유출량은 708백만㎥/년, 증발산량은 1,138백만㎥/년이며, 지하수 함양량은 1,581백만㎥/년(총강수량의 46.1%)이었으며, 지하수 함양량을 지역별로 보면, 동부수역이 1,447천㎥/일으로 4개 수역 중 가장 많으며, 서부수역이 539천㎥/일으로 가장 적었으며, 남부와 북부수역은 각각 1,257천㎥/일과 1,086천㎥/일으로 분석하였다.

<표 2-5> 수역별 유출율 산정

수 역		면 적 (㎢)	강수량 (㎜)	하천 밀도 (㎞/㎢)	도시화 밀 도 (㎞/㎢)	도로 밀도 (㎞/㎢)	유출곡 선지수 (CN)	유출율(%)		
								평 균	다우년	과우년
북부	애 월	85.3	1,423	1.05	0.026	0.022	77.8	20	30	14
	동제주	75.3	2,300	1.85	0.026	0.021	69.3	27	42	16
	중제주	89.8	2,158	1.75	0.107	0.047	72.0	29	43	16
	서제주	89.5	2,153	2.55	0.014	0.013	64.8	27	36	15
	조 천	126.2	2,088	0.39	0.014	0.017	62.4	11	18	7
남부	남 원	133.5	2,474	1.24	0.011	0.013	66.8	25	40	20
	동서귀	107.1	2,689	1.58	0.012	0.012	60.8	32	50	24
	중서귀	106.3	2,347	1.71	0.035	0.020	62.2	30	40	22
	서서귀	82.8	2,075	1.55	0.020	0.017	69.7	30	36	21
	안 덕	65.2	1,788	1.05	0.014	0.011	67.0	23	28	17
동부	구 좌	172.5	1,774	0.21	0.016	0.015	62.1	9	15	6
	성 산	114.9	1,865	0.13	0.020	0.017	66.1	10	15	8
	표 선	207.3	2,445	1.32	0.009	0.012	68.4	22	34	17
서부	대 정	130.8	1,314	0.27	0.024	0.021	70.2	7	10	6
	한 경	102.8	1,175	0.45	0.024	0.021	70.3	7	10	6
	한 림	141.7	1,375	0.80	0.022	0.017	69.8	12	17	9

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ), 2003>

<표 2-6> 평년 강수량 기준 수역별 물수지 분석 결과

수 역		면적 (㎢)	강수량 (㎜)	수문총량 (백만㎥/년)	증발산량 (백만㎥/년)	직접유출량 (백만㎥/년)	지하수함양량	
							(백만㎥/년)	(천㎥/일)
합 계		1,719.0	1,975	3,427	1,138	708	1,581	4,329
북부	소 계	443.7	2,027	908	310	202	396	1,086
	애 월	79.0	1,423	114	55	22	37	101
	동제주	72.5	2,300	168	51	46	71	195
	중제주	85.2	2,158	186	56	55	75	206
	서제주	87.4	2,153	189	63	51	75	206
	조 천	119.6	2,088	251	85	28	138	378
남부	소 계	446.2	2,339	1,100	329	312	459	1,257
	남 원	126.4	2,474	315	89	79	147	403
	동서귀	103.1	2,689	279	74	89	116	317
	중서귀	100.4	2,347	238	71	71	96	263
	서서귀	76.2	2,075	159	52	48	59	162
	안 덕	60.1	1,788	109	43	25	41	112
동부	소 계	459.7	2,077	964	282	153	529*	1,447
	구 좌	156.6	1,774	279	95	25	159	435
	성 산	101.0	1,865	188	60	19	109	298
	표 선	202.1	2,445	497	127	109	261	715
서부	소 계	349.4	1,299	455	217	41	197	539
	대 정	120.3	1,314	158	75	11	72	197
	한 경	94.7	1,175	111	59	8	44	120
	한 림	134.4	1,375	186	83	22	81	222

<자료 : 제주도 수문지질 및 지하수 자원 종합조사(Ⅲ), 2003>

Ⅲ. 수자원 개발·이용 현황

1. 수자원 개발현황

1-1. 지하수

2007년 12월말 현재, 제주도 내에는 4,941개의 지하수 관정이 개발되어 있으며, 이 중 4,829개 관정은 지하수를 이용하기 위해 개발된 관정이고, 112개 공은 지하수위 관측 등 조사·연구용이다(<표 3-4> 참조).

지하수 개발량을 보면 총 1,709천㎥/일이 개발되어 있으며, 이 중 생활용은 622천㎥/일이고 농업용은 1,037천㎥/일이 개발되어 있다.

용도별 개발공수를 보면, 농축업용이 전체 관정의 67%인 3,312공을 차지하고 있으며, 생활용이 1,351공(27.3%), 공업 및 기타용은 166공(3.4%)으로 농축업용 지하수 관정 비율이 매우 높은 편이다.

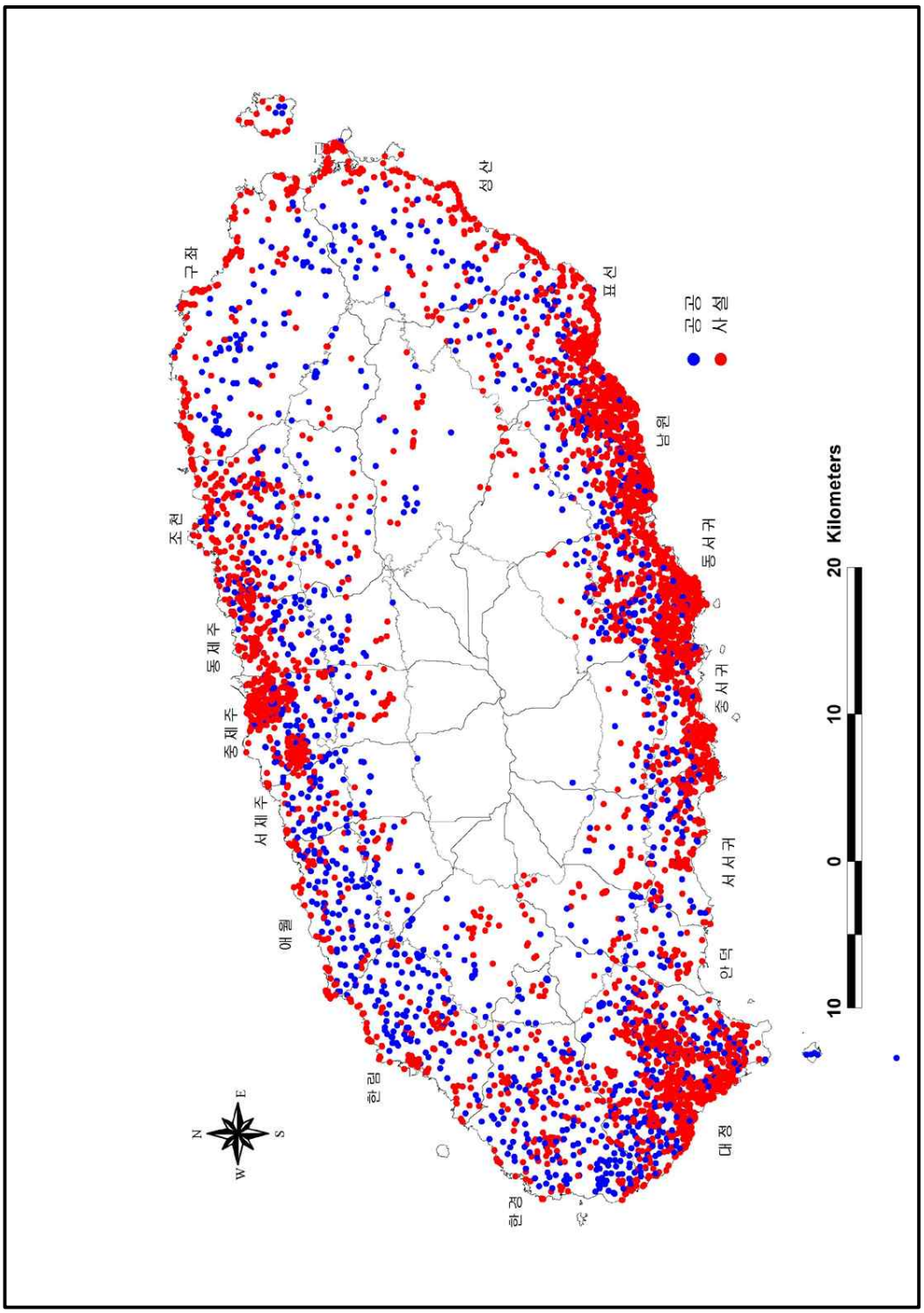
개발·이용 주체별로 보면, 공공용 관정은 총 관정수의 24.2%인 1,193공이며, 이 중 생활용이 324공, 농축업용은 63.6%인 759공이다. 사설관정은 총 관정수의 75.8%인 3,748공에 이르고 있으며, 이 중 생활용은 1,027공이나 농축업용이 2,553공(68.1%)으로서 사설관정의 대부분을 차지하고 있다.

<표 3-1> 지하수 개발현황(2007. 12. 현재)

(단위 : 공, 천㎥/일)

구 분		계	생활용	농업용	공업용	먹는샘물 제조용	조사 관측용
계	공 수	4,941 (100%)	1,351 (27.3%)	3,312 (67.0%)	162 (3.3%)	4 (0.1%)	112 (2.3%)
	개발량	1,709 (100%)	622 (36.4%)	1,037 (60.7%)	45 (2.6%)	5 (0.3%)	- (0.0%)
공공	공 수	1,193	324	759	2	3	105
	개발량	1,041	372	664	1	4	-
사설	공 수	3,748	1,027	2,553	160	1	7
	개발량	668	250	373	44	1	-

※ 염지하수 1,144공 7,915천톤/일 제외



<그림 3-1> 수역별 지하수 개발현황

도서지역을 제외한 수역별 지하수 개발·이용현황을 보면(<표 3-2> 참조), 총 1,707천㎥/일이 개발되어 적정개발량(1,768천㎥/일) 대비 96.6%가 개발되어 있는 것으로 분석되었으며, 수역별로는 총 16개 수역 중 중제주 수역을 비롯하여 애월, 한경, 대정, 중서귀, 남원 등 6개 수역은 지하수 개발량이 적정개발량을 초과한 것으로 분석되었다. 이 중 애월·한경·대정 수역의 지하수 개발량은 적정개발량의 198.6~226.2%로 과다 개발되어 있다. 또한, 중서귀, 남원, 중제주 수역도 104.7~141.3%로 초과 개발된 상태이다. 이외에 한림, 동서귀, 서서귀 수역은 81.5~94.2%로 적정개발량에 근접하고 있으며, 구좌, 조천, 동제주, 서제주, 안덕, 표선, 성산 수역의 개발율은 45.8~75.7% 범위에 분포하고 있다.

<표 3-2> 수역별 지하수 개발현황(2007. 12. 현재)

구 분	면 적 (㎢)	적정개발량 (천㎥/일)	개발량 (천㎥/일)	공 수	개발율 (%)
계	1,719.0	1,768	1,707.1	4,934	96.6
구 좌	156.6	121	78.5	121	64.9
조 천	119.6	192	145.4	270	75.7
동제주	72.5	100	54.3	151	54.3
중제주	85.2	105	148.4	581	141.3
서제주	87.4	105	41.6	75	39.6
애 월	79.0	51	101.3	165	198.6
한 림	134.4	129	105.1	204	81.5
한 경	94.7	69	156.1	261	226.2
대 정	120.3	114	239.9	782	210.4
안 덕	60.1	45	29.7	68	66.0
서서귀	76.2	65	61.2	212	94.2
중서귀	100.4	105	109.9	505	104.7
동서귀	103.1	126	114.8	522	91.1
남 원	126.4	161	187.1	649	116.2
표 선	202.1	198	90.6	255	45.8
성 산	101.0	82	43.2	113	52.7

※ 도서지역 7공 2천㎥/일 제외

1-2. 용천수

제주도의 해안지역과 고지대의 곳곳에 분포하고 있는 용천수는 지하의 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 지하수이다. <표 3-3>~<표 3-5>는 제주도가 1998년부터 1999년까지 도 전역에 분포하는 용천수에 대한 현황조사를 실시한 결과이다. 도내 용천수는 모두 911개소인데, 해발 200m 이하에 전체 용천수의 92.1%에 해당하는 839개소가 분포해 있으며, 중산간지대(해발 200~600m)에는 전체의 5.6%, 고지대(해발 600m 이상)에는 21개소(2.3%)가 분포하고 있어 용천수의 대부분은 해안저지대에 편중되어 분포를 하고 있다.

도시화 및 지역개발로 인해 용천수의 용출량이 줄어들고 매립되어 위치 멸실되는 경우가 발생하고 있는데 이에 따른 보전·관리가 필요하다. 현재 도내에 분포하고 있는 용천수 중 보존상태가 양호한 용천수는 637개소(70.0%)이고, 수량부족인 용천수가 74개소가 있다. 이들 용천수 중 용출량 측정이 가능한 701개소의 평균 용출량의 합계는 1,083,363㎥/일이고, 최대 용출량은 1,608,342㎥/일이다.

<표 3-3> 용천수 분포 현황

(단위 : 개소)

시 군 별	합 계	저지대	중산간지대	고지대
합 계	911	839(92.1%)	51(5.6%)	21(2.3%)
제 주 시	540	487	39	14
서귀포시	371	352	12	7

<표 3-4> 용천수 보존상태

(단위 : 개소)

시 군	합 계	양호	수량부족	수량고갈	위치멸실	주변훼손
합 계	911	637 (70.0%)	74 (7.9%)	26 (3.0%)	156 (17.1%)	18 (2.0%)
제 주 시	540	364	44	10	110	12
서귀포시	371	273	30	16	46	6

<표 3-5> 용천수 용출량('98~'99)

시 군 별	측정개소	평균용출량 (㎥/일)	최대용출량 (㎥/일)
합 계	701	1,083,363	1,608,342
제 주 시	401	655,279	941,012
서귀포시	300	428,084	667,330

※ 용출량 측정이 가능한 701개소를 대상으로 함.

1-3. 지하수 인공함양시설

제주도에서는 비닐하우스나 유리온실 시설에 의한 농경지 침수와 토지이용 변화에 따른 지하수 함양면적의 감소 문제를 적극적으로 해결하기 위해 2000년 1월 28일 개정된 제주도개발특별법(현행 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법)에 「지하수 인공함양정 설치」를 국내에서는 최초로 제도화하여 시행하고 있다. 제주특별자치도 특별법 제316조 및 지하수관리 기본조례 제38조에 근거하여 인공함양정 시설은 상부보호시설 등 지하수오염을 방지하기 위한 시설기준에 따라 설치하여야 하며, 농·축·임·수산산업용 비닐하우스, 유리온실, 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장·공공기관 청사 등을 대상으로 하고 있다. 권장대상 인공함양정 설치시 시설비 80%까지 보조를 하고 있다.

지하수 인공함양정은 2007년 12월말 현재 총 73개에 설치되어 연간 611천㎥의 빗물이 지하수로 함양되고 있으며, 민간인에게 약 1억원의 시설비가 보조되었다. 도내에 설치된 지하수 인공함양정은 비포화대 관정방식으로 시설하고 있으며, 대부분 비닐하우스 시설이 많은 서귀포시 남원읍 위미리·남원리·신례리 지역과 도순동·서홍동 지역에 밀집되어 있고, 대정읍 보성리·신평리와 애월읍 고성리 지역에도 설치되어 있다.

<표 3-6> 인공함양 시설현황

구 분	시설수	함양량 (톤/년)	집수면적 (㎡)	사업비 (천원)	보조금 (천원)
계	73	611,256	342,207	972,034	105,986
권장대상	70	544,756	298,002	272,034	105,986
연구사업	3	66,500	44,025	700,000	-

2. 수자원 이용현황

2-1. 지하수 이용현황

현재 지하수의 실 이용량을 살펴보면(<표 3-7>), 일 최대 이용량은 1,131,416㎥이며, 일평균 437,369㎥로 지하수 적정 개발량 대비 최대 64%, 평균 25% 수준인 것으로 분석되었다.

용도별 일 평균 이용량을 보면, 생활용수가 194천㎥로 전체 이용량의 44%를 차지하고 있으며, 농업용수는 230천㎥로 53%를 차지하고, 공업 및 기타 용수가 13천㎥에 불과하여 농업용수 비율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

2007년도 말 현재 지하수 개발량(허가량)은 1일 1,709천톤으로 적정 개발량의 96.6%에 달하고 있다. 용도별 개발량을 보면(<표 3-8>), 생활용수가 622천㎥로 전체 개발량의 36%를 차지하고 있으며, 농업용수 1,037천㎥로 61%, 공업용수 45천㎥(3%), 먹는샘물 5천㎥(0.3%) 순으로 분석되었다.

<표 3-7> 지하수 이용량(2007년 12월 기준)

(단위 : 공, ㎥/일)

구 분		합 계	제 주 시	서귀포시
합 계	공 수	4,941	1,851	3,090
	일평균	437,369	190,150	247,219
	일최대	1,131,416	524,763	606,653
생활용수	공 수	1,351	855	496
	일평균	194,438	100,859	93,579
	일최대	496,342	270,697	225,645
농업용수	공 수	3,312	819	2,493
	일평균	230,206	82,375	147,831
	일최대	571,111	213,155	357,956
공업기타	공 수	278	177	101
	일평균	12,725	6,916	5,809
	일최대	63,963	40,911	23,052

<표 3-8> 지하수 허가량 대비 사용량 비교

(단위 : 천톤/일)

구 분	계	생활용	농업용	공업용	먹는샘물	조사관측
공 수	4,941	1,351(27%)	3,312(67%)	162(3%)	4(0.1%)	112(2.3%)
개발량	1,709	622(36%)	1,037(61%)	45(3%)	5(0.3%)	- (0.0%)

지하수 허가량 대비 실 이용량은 허가량에 비해 약 25%(생활용 31%, 농업용 22%)로 매우 낮은 것으로 분석되었는데, 이와 같은 현상은 지하수 허가가 1일 24시간 동안 취수가능량으로 산정했을 뿐만 아니라, 지하수 관정의 실 가동시간은 1일 평균 8시간 미만이며, 특히 농업용 관정의 경우에는 작물생육기와 가뭄시에만 관정을 가동하므로 허가량 대비 실 이용 비율이 매우 낮은 것으로 판단된다. 또한, 공공 관정인 경우에는 비상시를 대비한 예비용 관정 개발로 개발량과 이용량 편차가 커지는 요인이 되고 있다. 이에 대한 대책으로는 용도별 적정 취수허가량 산정방법에 대한 연구를 통해 허가 기준을 용도별로 조정(월간, 년간)할 필요가 있다.

2-2. 상수도 시설 및 이용현황

2006년도 기준 제주도 상수도 시설 현황을 보면, 제주도내에는 총 278개소의 상수원이 개발되어 있으며, 이들 수원을 통해 수돗물을 공급할 수 있는 시설용량은 총 442천㎥이다. 수원시설별로 보면, 지하수 관정시설이 255개소에 247천㎥/일이고, 용천수가 13개소에 177천㎥/일이며, 어승생저수가 15천㎥/일이다. 또한, 추자도를 비롯한 도서지역의 경우 저수지와 담수화 시설 9개소가 시설되어 1일 2,200㎥을 공급하고 있다.

상수도 관정의 지하수 개발량은 제주도 전체 지하수 적정개발량의 21%에 해당하는 359천㎥/일이고, 지하수공은 249개소가 개발되어 있다(표 3-10 참조). 수역별 상수도 관정 시설 현황을 보면, 구좌·조천·서제주 수역이 적정개발량 50%를 상

회하고 있어 상수도 관정 개발율이 높은 수역으로 조사되었다. 한림·한경·대정·안덕·서서귀 수역은 옹포수원, 서림수원, 강정수원의 상수도를 이용하고 있어 타 수역보다 상수도용 관정 개발율이 낮은 것으로 판단된다.

<표 3-9 > 상수원 시설현황

구분	개소수	시설용량(㎥/일)	시설명
계	278	441,900	
지하수	255	247,500	광역 80, 북부지역 111, 남부지역 64
용천수	13	177,200	외도, 이호, 용담, 금산, 삼양 1·2, 삼양 3, 한림, 강정, 중문, 서홍, 상예, 상효, 서림
어승생	1	15,000	어리목 1, 어리목 2, 구구곡
담수장·저수지	9	2,200	추자, 가파, 마라도, 추자 1·2·3·4 저수지, 우도, 우도저수지

<표 3-10> 수역별 상수도 관정 개발현황

(단위 : 공, 천㎥/일, %)

수역	적정개발량	지하수 개발 현황		상수도 관정		A/B(%)
		공수	개발량(A)	관정수	개발량(B)	
계	1,768	4,934	1,707.1	249	359.0	21.0
구 좌	121	121	78.5	27	41.4	52.8
조 천	192	270	145.4	43	74.9	51.5
동제주	100	151	54.3	14	13.9	25.6
중제주	105	581	148.4	17	16.4	11.1
서제주	105	75	41.6	15	21.0	50.5
애 월	51	165	101.3	23	34.3	33.8
한 림	129	204	105.1	6	5.1	4.8
한 경	69	261	156.1	6	4.4	2.8
대 정	114	782	239.9	5	4.8	2.0
안 덕	45	68	29.7	2	2.0	6.7
서서귀	65	212	61.2	6	5.3	8.7
중서귀	105	505	109.9	13	22.0	20.0
동서귀	126	522	114.8	14	20.2	17.6
남 원	161	649	187.1	29	56.8	30.4
표 선	198	255	90.6	18	25.6	28.3
성 산	82	113	43.2	11	10.9	25.2

2-3. 주요 업종별 지하수 이용현황

제주도내에는 제주도개발공사(제주삼다수)와 한국공항주식회사(제주광천수)의 2개 업체가 먹는샘물 제조·판매영업을 하고 있으며, 먹는샘물 제조·판매용 지하수 개발·이용허가는 특별법에 의해 엄격히 규제되고 있다. 제주도에서는 1995년 5월부터 먹는샘물 국내 판매가 전면 허용됨에 따라 먹는 샘물 개발을 위한 사기업의 진출과 이로 인한 무분별한 지하수 개발을 차단하기 위해 1995년 구 제주도개발특별법을 개정하여 사기업에 의한 먹는샘물 제조·판매 목적의 지하수 굴착·허가를 원칙적으로 금지시켰다. 따라서 제주도내에는 먹는샘물 제조업체가 2개 업체 밖에 없다.

2개 업체의 먹는샘물 제조·판매용 지하수 개발·이용허가 내역을 살펴보면, 제주도개발공사의 경우 해발 440m 지점에서 지표 하 420m까지 3개공을 착정하여 1일 3,700㎥을 취수할 수 있는 시설을 갖추었으며, 월간 취수허가량은 63,000㎥(2,100㎥/1일)이다. 한국공항주식회사는 해발 330m 지점에서 지표하 325m까지 1개공을 착정하여 1일 1,080㎥을 취수할 수 있는 시설을 갖추었으며, 월간 취수허가량은 3,000㎥(1일 최대 200㎥)이다.

<표 3-11> 먹는샘물 현황(2개 업체)

(단위 : ㎥)

년 도	개발공사			한국공항(주)		
	연사용량	월평균	일평균	연사용량	월평균	일평균
2001	120,494	10,041	330	6,748	562	18
2002	257,808	21,484	706	9,603	800	26
2003	266,902	22,242	731	10,872	906	30
2004	308,941	25,745	846	11,712	976	32
2005	302,897	25,241	830	9,094	758	25
2006	554,795	46,233	1,520	9,689	807	27
2007	433,614	36,135	1,205	38,984	3,249	108

먹는샘물 2개업체의 2007년도 기준 제주삼다수의 일평균 이용량은 1,205㎥, 연사용량은 433,614㎥이나, 제주광천수는 일평균 108㎥이고 연사용량은 38,984㎥이다.

2007년도 제주도내 지하수 다량사용업체를 살펴보면, 가장 많이 사용하고 있는 업체는 제주그랜드호텔로 연 699천㎥이며, 다음으로는 한국공항공사 446천㎥, 먹는샘물제조로 사용하고 있는 제주특별자치도개발공사가 세 번째인 것으로 조사되었다. 제주도내 업종별 지하수를 다량으로 사용하고 있는 업종은 골프장이 압도적으로 가장 많으며, 다음은 관광숙박업순으로 조사되었다.

<표 3-12> 지하수 다량사용업체 현황(2007년)

(단위 : 톤)

업종별	업체명	연사용량	월평균	일평균
관광숙박	제주그랜드호텔	699,240	58,270	1,942
업무시설	한국공항공사	446,104	37,175	1,239
먹는샘물제조	제주특별자치도개발공사	433,614	36,135	1,204
골프장	에버리스골프장	416,683	34,724	1,157
발전소	남제주화력발전	382,600	31,883	1,063
골프장	스카이힐	361,275	30,106	1,004
골프장	핀크스	303,210	25,268	842
골프장	오라컨트리클럽	302,840	25,237	841
골프장	블랙스톤	299,446	24,954	832
공동주택	이도주공APT 2, 3단지	294,196	24,516	817
골프장	해비치리조트	289,137	24,095	803
관광숙박	호텔롯데	268,728	22,394	746
골프장	제주컨트리클럽	264,337	22,028	734
골프장	크라운컨트리클럽	252,092	21,008	700
골프장	엘리시안	249,763	20,814	694
관광숙박	제주신라호텔	240,885	20,074	669
골프장	라온골프장	236,063	19,672	656
공동주택	아라주공아파트	232,596	19,383	646
목욕장	탐라탕	221,388	18,449	615
골프장	캐슬렉스골프장	217,377	18,115	604

2-4. 온천개발 및 이용현황

도내의 온천은 비화산성지역에 분포하는 심부지하수형 온천으로서 1980년대 말부터 도내 일원에서 개발이 진행되기 시작하여 2007년 12월말 현재 온천법 규정에 의해 온천원보호지구로 지정된 곳은 4개소이고, 온천공보호구역으로 지정된 곳은 7개소이다.

온천발견신고가 수리된 11개 지구 20개 온천공 수질자료를 분석해 보면, 굴착심도는 540~2,003m범위이고, 평균 토출온도는 29.2℃(최고 42℃), 양수량은 583㎥/일, TDS는 평균 3,527㎎/ℓ로 분석되었다. 온천의 수질은 동부지역은 Na-Cl형의 식염천이 우세한 반면, 서부 및 남부지역은 Na-HCO_3형의 탄산천이 우세한 것으로 분석되었다. 현재 일시 이용 중인 온천은 상천지구와 부림랜드이며, 1일평균 온천 이용량은 50~80㎥ 범위이다.

<표 3-13> 제주도내 온천개발 현황(2007. 12)

구 분		소재지	지구 (신청) 면적㎡	공수 (심도) (m)	1일 적정 양수량 (승인량)	온도 (℃)	수질	비고
온천원 보호 지구	세화·송당	구좌읍 세화리 산 38	2,362,800 (399,130)	4 (680~903)	4,470 (3,576)	27~32	Nacl형 식염천	
	종달 지구	구좌읍 종달리 3478	1,399,266	3 (700~720)	2,462	25~30	Nacl형 강식염천	
	색달 지구	서귀포시 색달동 376	2,070,000	3 (644~854)	2,070	25~27	Na-HCO_3 형의 단순천	
	사계 지구	안덕면 사계리 1116-1	1,032,000	3 (544~600)	2,537	29~31	Na-HCO3 형의 탄산천	
온천공 보호 구역	상천 지구	안덕면 상천리 304	39,342	1 (2001)	310	42	약알칼리 탄산천	일시 이용
	오조 지구	성산읍 오조리 61-1	8,499	1 (598)	1,700	28	식염천	
	호근 지구	서귀포시 호근동 399	30,196	1 (2003)	322	37	나트륨탄산 수소천	
	선흘 지구	조천읍 선흘리 3075	19,802	1 (800)	312	26	Na-HCO_3 형의 탄산천	
	상효 지구	서귀포시 상효동 1465-1	20,347	1 (540)	324	31	함유황 광천온천	
	난산 지구	성산읍 난산리 3013		1 (850)	310	26	알칼리성 단순천	
	(주)부림 랜드	제주시 연동 1409		1 (1002)	310	25.8	Na-HCO_3 형의 단순천	일시 이용

<표 3-14> 제주도 온천공의 산출특성 분석결과

지역	굴착심도 (m)	토출온도 (℃)	양수량 (㎥/day)	수위 강하량(m)	TDS (㎎/ℓ)
전체평균	817.8	29.2	583.2	59.6	3,526.8
동부	765.0	27.4	578.3	43.8	5,679
서부	919.8	33.3	711.8	80.8	2,402.5
남부	845.4	29.7	540.8	67.9	447.2
북부	800.0	26.1	324.0	75.6	1,900

2-5. 빗물이용시설 및 이용현황

빗물이용시설 설치는 특별법 제316조 및 지하수관리 기본조례 제37조에 근거하여 의무적 설치 대상과 권장대상으로 되어있다.

빗물이용시설의 의무적 설치대상은 골프장 부지면적 6만㎡ 이상, 온천개발사업계획 면적 10만㎡ 이상, 관광사업 중 1일 지하수 이용량 500㎥ 이상, 관광지 및 관광단지 조성사업 중 1일 이용량 500㎥ 이상인 사업장에 대해서 적용하고 있다. 빗물이용시설 중 권장대상에 대해서는 예산의 범위 안에서 시설비의 일부(보조금 80%)를 지원하고 있는데 농·축·임·수산업용 비닐하우스 또는 온실, 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장 등이 해당한다.

빗물이용시설 의무적 설치 대상 사업에 해당하는 골프장 및 온천개발 사업은 월간 용수 사용량의 40% 이상 빗물을 이용해야 한다. 관광사업 중 1일 지하수 사용량이 500㎥ 이상인 시설인 경우 월간 용수사용량의 10% 이상 빗물을 이용해야 하는데, 도내 이에 해당하는 관광사업으로는 그랜드호텔, 신라호텔, 롯데호텔, 칼호텔이다. 관광지 및 관광단지 조성사업 중 1일 지하수 이용량 500㎥ 이상 사용하는 사업장인 경우도 월간 용수사용량의 10%를 의무적으로 빗물을 이용해야 한다.

2007년 12월말 현재 의무적 설치대상 사업장에 해당하는 골프장인 경우 19개소 골프장에 141개의 저류지가 설치되어 있으며, 총 저류가능량은 2,720천㎥에 이르고 있다. 특히, 골프장 중에서도 엘리시안, 해비치, 제피로스, 사이프러스는 20만㎥ 이상의 저류지 시설용량을 갖추고 있다.

<표 3-15>~<표3-16>는 2007년 12월 현재 제주도내에 시설된 빗물이용시설 현황을 나타낸 것으로 권장대상 빗물이용시설 9개소로 시설용량 1,141㎥, 저수지 시설은 4개소에 1,313천㎥의 빗물을 저류할 수 있는 시설이 갖추어져 있다.

<표 3-15> 제주도내 시설된 권장대상 빗물이용시설(2007년 12월말 기준)

시 설 위 치	시설규모 (저류용량) (㎥)	연간이용 계획량 (㎥)	집수 면적 (㎡)	용도	사업비 (천원)	보조금 (천원)
9개소	1,141	41,566	25,619		287,383	92,320
회천동 293-16 ㈜동성콘크리트	89	5,100	1,529	공업	117,150	7,020
색달동 3039-3 ㈜호텔신라	48	1,154	690	조경	31,350	7,020
남원읍 태흥리 216-3(오문식)	32	4,728	2,480	농업	12,925	7,750
조천읍 조천리 2-2(이정선)	100	12,777	6,700	농업	20,000	7,750
애월읍 봉성리 3554 현태언	72	2,453	2,148	농업	18,500	12,950
제주시 영평동 1371 마호철	500	2,677	1,650	농업	21,400	13,000
제주시 오라2동 1442-1 강명구	100	2,972	4,392	농업	20,000	13,000
애월읍 소길리 산51 (주)요석산업	100	179	130	공업	29,700	13,000
조천읍 조천리 2426 이동익	100	9,526	5,900	농업	16,358	10,830

빗물이용시설 유형별로 보면, 빗물이용시설은 서귀포 월드컵경기장에 500㎥ 규모와 한국항공(주) 유리온실에 4,500㎥가 시설되어 파프리카 재배에 필요한 농업용수로 활용하고 있다.

지표수(저수지)는 공공용 3개소와 사설 1개소가 있는데, 총 시설 규모는 1,252천㎥이며 농업용수와 축산용수로 이용하고 있다. 특히, 공공용 저수지는 1960년대 초반에 논농사에 필요한 물을 공급하기 위해 시설되었으나 최근에 와서는 밭작물 용수로 이용하고 있다. 또한, 제주도내에 시설된 권장대상 빗물이용시설은 9개소로 시설용량 1,141㎥ 규모의 빗물이용시설을 설치하고 있으며, 대부분 개인이 농업용수로 이용하기 위하여 30~500㎥ 규모로 설치되어 있으며, 연간이용계획량은 41,566㎥이다.

<표 3-16> 지표수(저수지) 개발현황

명 칭	위 치	저수용량(천톤)	용 도
합 계	5개소	1,252	
용수저수지	제주시 한경면 용수리	253	농업용
어승생저수지	제주시 해안동	107	상수도
귀엄저수지	제주시 애월읍 수산리	681	농업용
광령저수지	제주시 애월읍 광령리	51	농업용
제동목장	제주시 조천읍 교래리	160	축산용

제주도에서는 골프장에서 빗물이용이 활성화됨으로써 지하수 이용량을 감소시키기 위하여 2005년부터 골프장별 빗물 이용량과 지하수 이용량을 매월 보고하도록 하고 있다. 또한, 2005년도까지는 빗물을 월간 용수이용량의 20%를 이용하도록 규정하였으나 2006년 7월 1일부터는 40%로 상향조정하였다.

<표 3-17>은 2007년 12월말 현재 도내 19개 골프장의 빗물이용시설 규모와 지하수 및 빗물 이용량을 나타낸 것이다. 2006년도 14개 골프장에서 총 6,380천㎥의 물을 사용하였는데, 지하수 이용량이 2,650천㎥이고, 빗물 이용량은 3,730천㎥으로서 총 용수사용량의 58.5%를 빗물로 사용한 것으로 파악되었다. 또한, 2007년도에는 19개 골프장에서 총 9,038천㎥의 물을 사용하였는데, 지하수가 3,470천㎥이고, 빗물이 5,568천㎥으로서 빗물 이용율은 61.6%로 조사되었다.

14개 골프장 중 2년간 빗물 이용률이 50% 이상인 골프장은 핀크스를 비롯한 5개(레이크힐스, 캐슬렉스, 블랙스톤, 제피로스)이며, 빗물 이용률이 60% 수준을 유지한 골프장도 5개소(스카이힐, 나인브릿지, 엘리시안, 로드랜드, 봉개프라자)인 것으로 조사되었다. 2007년을 기준으로 할 때, 연간 용수사용량이 가장 많은 골프장은 블랙스톤으로서 1,156천㎥, 그 다음은 스카이힐로서 1,090천㎥이며, 연간 600천㎥ 이상인 골프장은 핀크스(746천㎥), 엘리시안(607천㎥)이다.

골프장의 빗물 이용량 변화를 보면 2007년의 총 용수사용량은 2006년보다 816천㎥이 증가하였는데 그 중 지하수 이용량은 소폭으로 증가(94천㎥)하는 반면, 빗물 이용량은 722천㎥ 증가하였다. 이 같은 현상은 “제주특별자치도 지하수관리 기본조례”에서 월간 빗물이용 기준수량을 월간 빗물이용 기준수량에 미달한 경우에는 가산금을 부과하도록 규정(제58조제4항)하였을 뿐만 아니라,

골프장에 대한 지하수 원수대금 부과요율이 월간 지하수 이용량 30,000㎥을 초과한 경우에는 고율의 누진이 적용되도록 규정(제57조 별표 12)한 긍정적인 효과로 해석되고 있다.

<표 3-17> 제주도내 골프장별 빗물 및 지하수 이용량

(단위 : 천톤)

골프장별	저류지 개소수	저류지 용량	2006년				2007년			
			계	지하수	빗 물	이용율 (%)	계	지하수	빗 물	이용율 (%)
19개소	153	2,940	6,380	2,650	3,730	58.5	9,038	3,470	5,568	61.6
핀크스	8	67	675	261	414	61.3	746	307	439	58.9
레이크힐스	4	153	261	105	156	59.8	291	142	149	51.4
스카이힐	10	151	958	345	613	64.0	1,090	351	739	67.8
캐슬렉스	11	123	612	226	386	63.1	455	221	234	51.4
나인브릿지	8	102	265	98	167	62.8	303	104	199	65.7
엘리시안	11	236	659	227	432	65.6	607	234	373	61.4
로드랜드	11	70	390	151	239	61.3	392	140	252	64.3
라 온	6	106	610	328	282	46.2	440	231	209	47.5
해비치	14	227	435	216	219	50.4	499	289	210	42.1
크라운	13	92	304	187	117	38.4	306	173	133	43.5
봉개프라자	2	113	122	36	86	70.5	229	45	184	80.4
블랙스톤	5	177	756	308	448	59.2	1,156	303	853	73.8
수 농	4	45	109	66	43	39.4	132	62	70	52.8
제피로스	8	252	224	96	128	57.0	550	142	408	74.2
사이프러스	10	259	-	-	-	-	563	123	440	78.1
에버리스	9	102	-	-	-	-	586	332	254	43.3
라헨느	3	140	-	-	-	-	413	174	239	57.9
한라산	6	155	-	-	-	-	161	56	105	65.1
테디벨리	2	150	-	-	-	-	119	41	78	65.4

3. 지하수 수질현황

제주도 전역의 질산성질소 및 염소이온 농도 분포를 분석하여 지하수자원특별관리구역과 비교분석하기 위해 2004년부터 2007년까지 지하수 수질검사 자료 13,076건을 통계분석하여 그 결과를 <표 3-18>에 나타내었다. 질산성질소와 염소이온 농도의 공간적인 분포를 파악하기 위해 ESRI사의 ArcGIS 9.0의 지구통계 분석 모듈인 Geostatistical Analyst를 사용하여 질산성질소 및 염소이온 농도의 공간분포 현황을 분석하여 <그림 3-4>와 <그림 3-7>에 나타냈다.

그리고 질산성질소와 염소이온의 농도별 검출빈도를 분석하기 위한 빈도 분석을 실시한 결과를 <표 3-19>, <표 3-20>, <그림 3-2>, <그림 3-5>에 나타냈으며, <그림 3-2>, <그림 3-5>를 Sinclair법에 의해 정규화한 결과를 <그림 3-3>과 <그림 3-6>에 나타냈다.

<표 3-18> 질산성질소 및 염소이온 농도 자료 통계분석 결과

구 분	평 균	표준오차	표준편차	분 산	최소값	최대값
NO_3^--N(㎎/ℓ)	2.3	1.0	3.2	1.8	0.1	69.3
Cl^-(㎎/ℓ)	11.7	1.0	2.4	1.4	1.0	500.0

3-1. 질산성질소 농도 분포현황

제주도 전역의 질산성질소 농도는 <표 3-18>에 제시된 바와 같이 평균 2.3㎎/ℓ, 표준오차 1.0㎎/ℓ, 표준편차 3.2㎎/ℓ로 먹는물 수질기준(10㎎/ℓ)을 감안하면 전반적으로 양호한 편이라 할 수 있다. <표 3-19> 및 <그림 3-2>에 나타낸 결과를 보면 수질검사 자료 12,981건 중 90%가 10㎎/ℓ를 초과하지 않았으며, 생활용수 수질기준인 20㎎/ℓ를 초과하지 않는 비율은 98.8%로 전체 검사건수 중 160건만이 수질기준을 초과하고 있는 것으로 분석되었다.

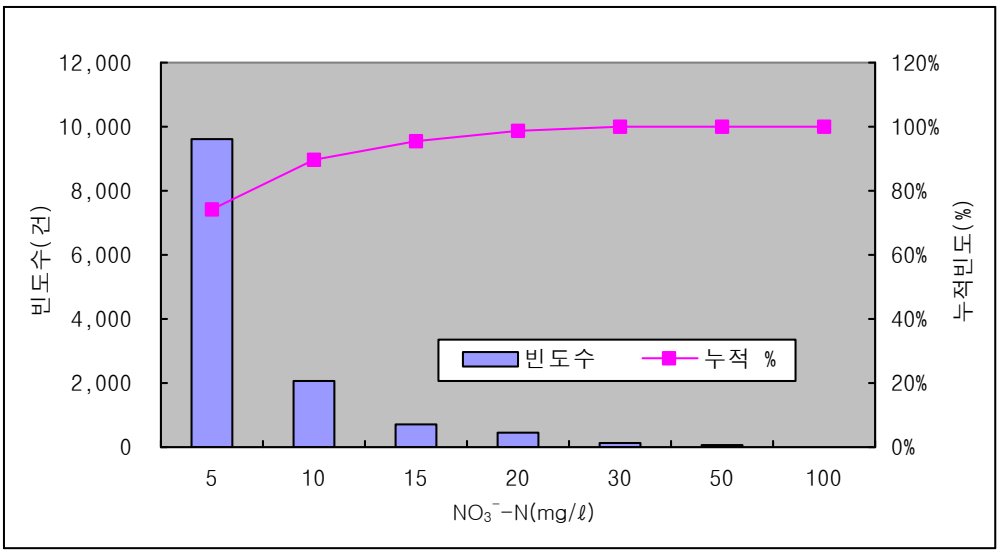
<그림 3-3>의 정규화된 그래프에서 누적빈도 곡선을 볼 때 오염되지 않은 자연 상태의 수질을 나타내는 첫 번째 변곡점 하부 구간의 log 농도 값은 -1.0 ~ 0.0을 나타내고 있는데 이를 환산하면 질산성질소 농도가 0.1~1㎎/ℓ로 매우 깨끗한 수질을 보이고 있으며, 인위적인 오염의 영향을 받고 있는 것을 나타내는 두 번째 변곡점의 log 농도 값은 1.0(환산 농도 10㎎/ℓ) 부근에서 나타나고 있

음을 알 수 있다.

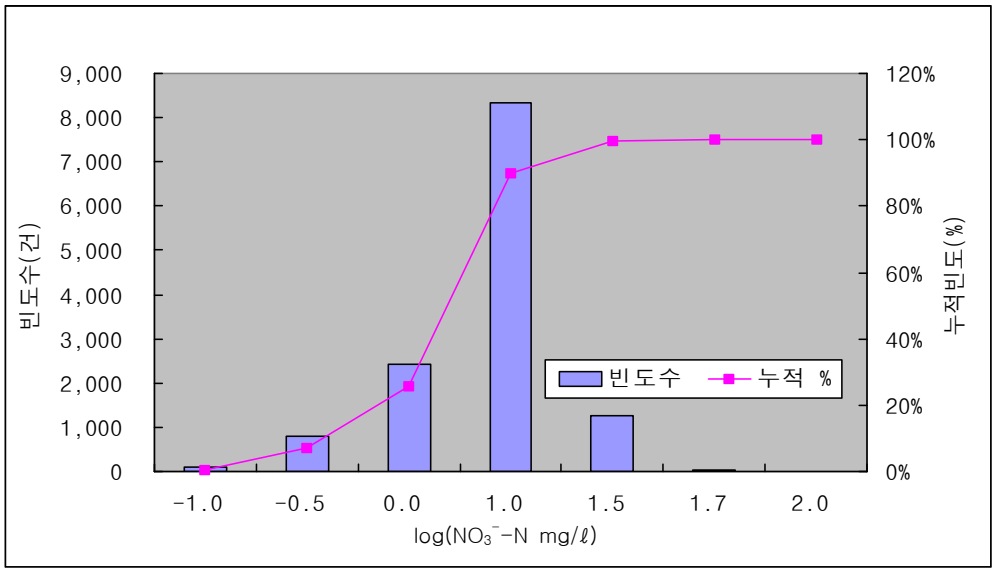
<표 3-19> NO_3^--N 빈도 분석결과

NO_3^--N (㎎/ℓ)	빈도수 (건)	빈도 (%)	누적빈도 (%)	log(NO_3^--N) (㎎/ℓ)	빈도수 (건)	빈도 (%)	누적빈도 (%)
5	9,615	74.1	74.1	-1.0	84	0.6	0.6
10	2,065	15.9	90.0	-0.5	806	6.2	6.9
15	698	5.4	95.4	0.0	2,412	18.6	25.5
20	443	3.4	98.8	1.0	8,335	64.2	89.9
30	122	0.9	99.7	1.5	1,263	9.7	99.7
50	35	0.3	100.0	1.7	35	0.3	100.0
100	3	0.0	100.0	2.0	4	0.0	100.0

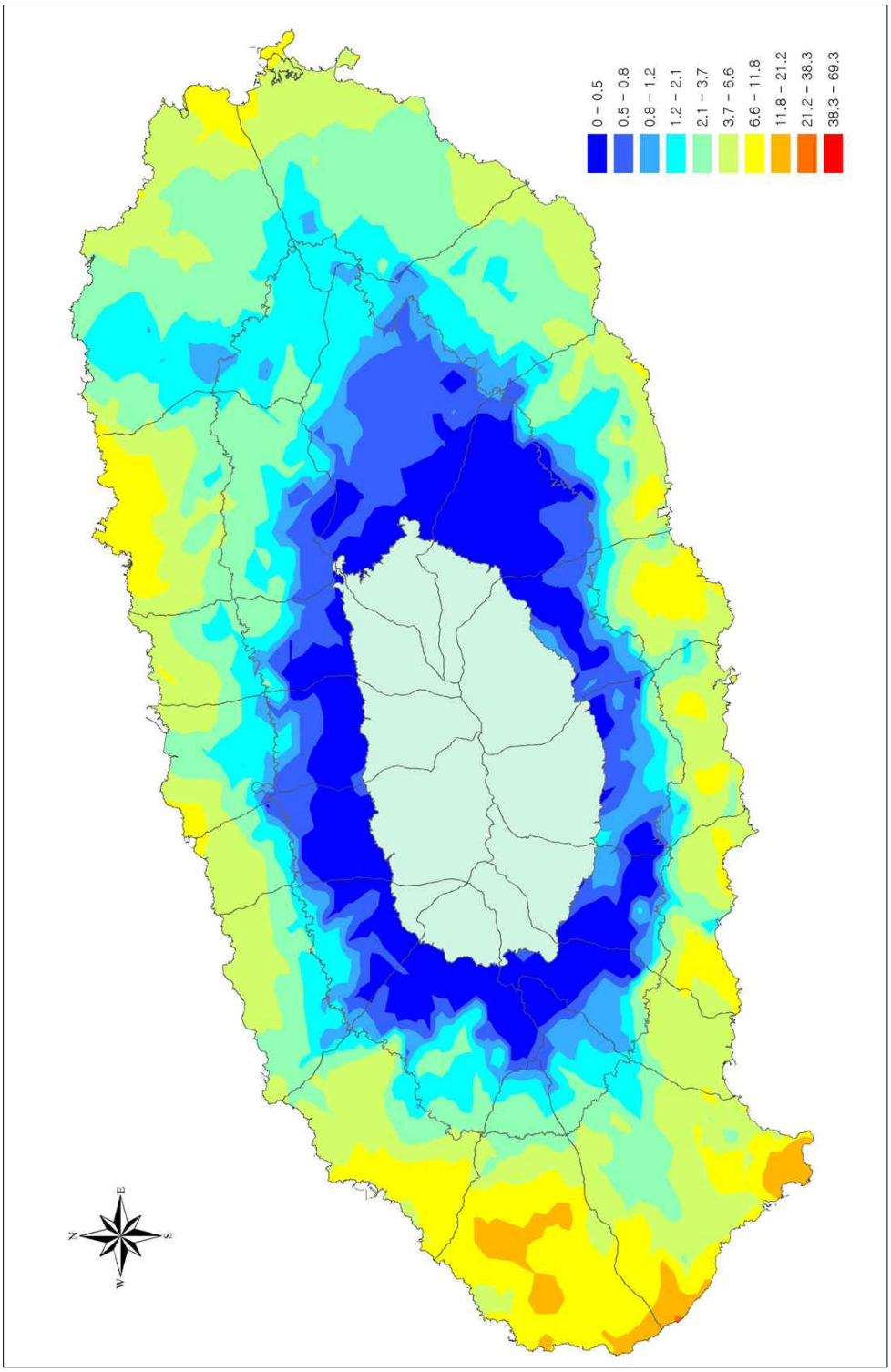
ArcGIS의 Geostatistical Analyst를 이용하여 분석한 질산성질소 농도의 공간적인 분포 현황을 나타낸 <그림 3-4>를 보면 농경지 면적이 넓고 축산폐수 배출시설이 많은 서부지역이 전반적으로 질산성질소 농도가 높게 검출되고 있으며, 그 외에 조천 및 동서귀 수역 해안지역도 비교적 높은 값을 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 그러나, 해발 200m 이상의 중산간 지역으로 갈수록 질산성질소 농도는 현저히 감소하여 자연수준의 값을 나타내고 있다.



<그림 3-2> NO_3^--N 농도 분포



<그림 3-3> NO_3^--N 농도(log) 분포 특성



<그림 3-4> 질산성질소 검출 농도 공간분포 현황

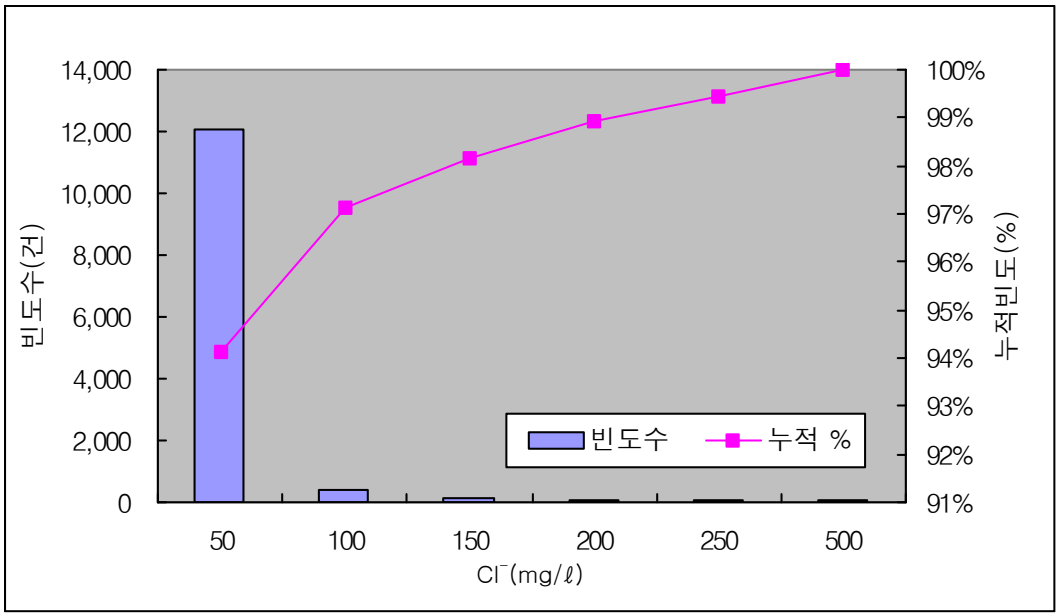
3-2. 염소이온 농도 분포현황

<표 3-19>에 나타난 염소이온 분석결과를 보면 평균 11.7㎎/ℓ, 표준오차 1.0㎎/ℓ, 표준편차 2.4㎎/ℓ를 나타내어 먹는물 수질기준이 250㎎/ℓ임을 감안하면 아주 낮은 농도라 할 수 있다.

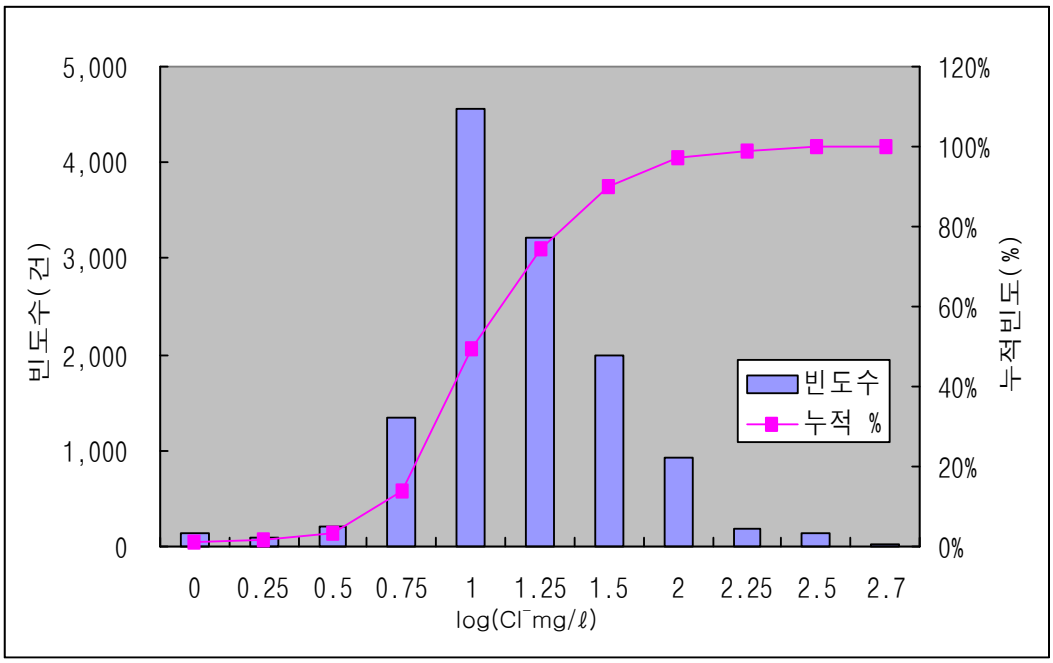
<표 3-20>과 <그림 3-5>의 빈도 분석결과를 보면 총 분석 건수 12,095건의 99.4%가 250㎎/ℓ를 초과하지 않았으며, 단지 73건만이 먹는물 수질기준을 초과하였다. <그림 3-7>의 염소이온 농도 공간분포 현황을 보면, 기저지하수 부존지역인 구좌, 성산, 표선에 이르는 동부 수역은 지하수 부존특성상 염소이온 농도가 높은 편이며, 서부지역 일부 해안을 따라 염소이온 농도가 다소 높게 나타나고 있다.

<표 3-20> Cl^- 빈도 분석결과

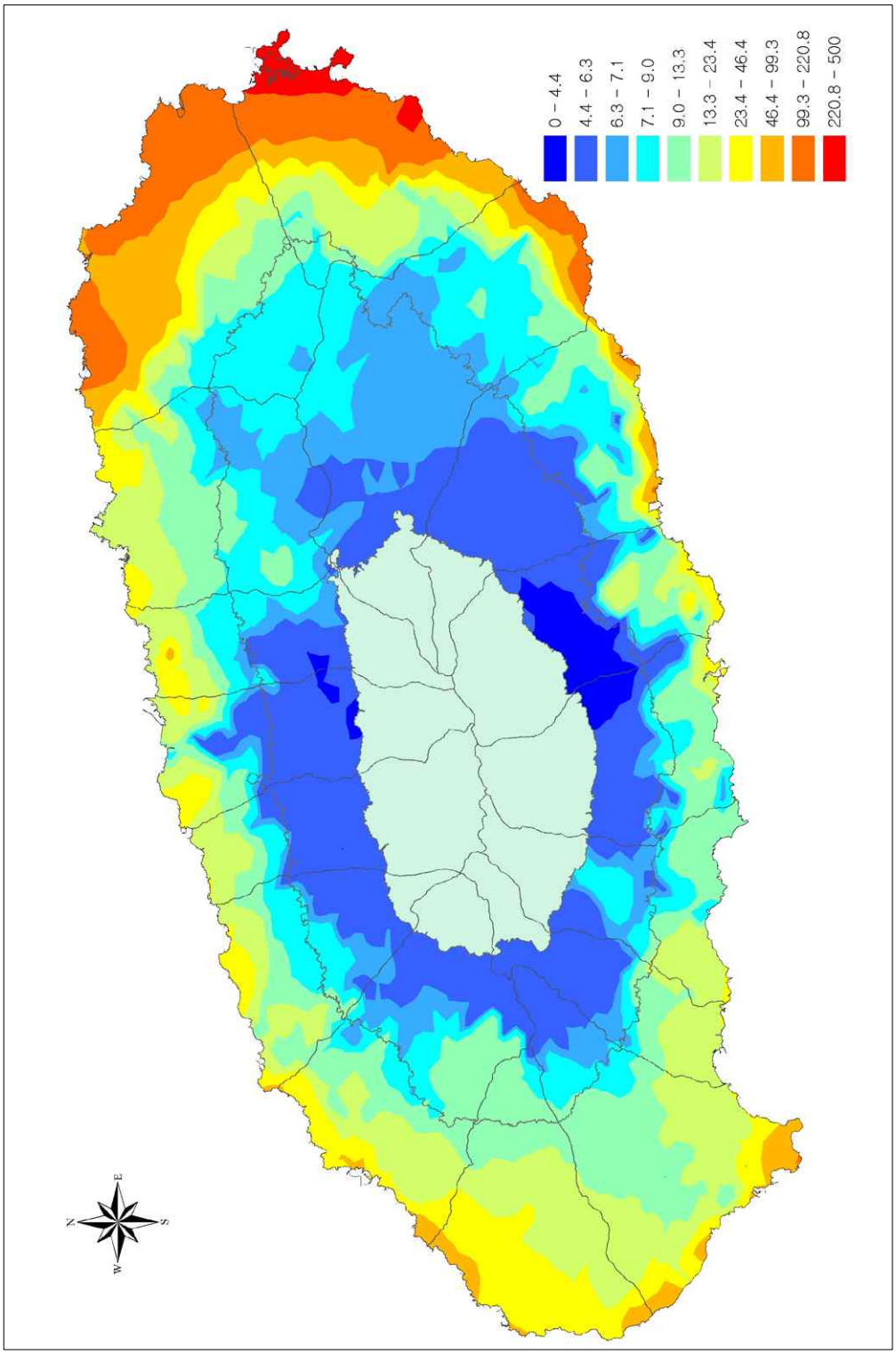
Cl^- (㎎/ℓ)	빈도수 (건)	빈도 (%)	누적빈도 (%)	log(Cl^-) (㎎/ℓ)	빈도수 (건)	빈도 (%)	누적빈도 (%)
50	12,095	94.1	94.1	0.1	135	1.1	1.1
100	386	3.0	97.1	1.1	6,203	48.3	49.3
150	132	1.0	98.2	1.5	5,208	40.5	89.9
200	98	0.8	98.9	2.0	935	7.3	97.1
250	64	0.5	99.4	2.5	334	2.6	99.7
500	73	0.6	100.0	3.0	33	0.3	100.0



<그림 3-5> Cl^- 농도 분포 특성



<그림 3-6> Cl^- 농도(log) 분포 특성



<그림 3-7> 염소이온 검출 농도 공간분포 현황

Ⅳ. 제주도 수자원의 관리 계획 방향

1. 제주도 수자원 관리제도

1-1. 제주도 지하수의 관리 기본원칙

제주도는 육지부 지방과는 달리 큰 강이나 연중 물이 흐르는 하천이 전무하여 지표수를 이용할 수 없는 지역인 관계로 대부분의 용수를 지하수에 전적으로 의존하고 있다. 또한, 제주도는 작은 섬이기 때문에 지하수 적정 개발량이 한정돼 있을 뿐만 아니라, 지하수의 원천이 되는 강우량의 경년변화가 매우 크기 때문에 지하수 부존량이 매우 불안정한 상태라 할 수 있다. 따라서 지하수를 제대로 보호하지 못하게 된다면, 제주도는 생명력을 상실한 죽음의 섬으로 전락하게 된다.

제주도에 있어서 지하수는 물이라는 단순한 차원이 아니라 유일한 생명수이며, 제주도민 모두가 향유하고 유익하게 이용해야 하는 공동자산이라는 의미를 지니고 있다. 따라서, 제주도 생명수를 지켜나가기 위해서는 다음과 같은 기본원칙이 필요하다.

○ 지하수 자원의 공수관리 원칙
- 제주특별자치도의 지하수는 도민의 공동자산으로서 도지사가 직접관리

○ 과학적 관리 원칙
- 지하수를 학술적 토대 위에서 과학적으로 관리해 나가기 위해 기초조사 및 연구를 지속적으로 추진하고, 지하수 모니터링망 구축

○ 공익적 이용 원칙
- 지하수를 사적 영리목적이 아닌 공익을 위한 개발·이용 도모

○ 적정관리 원칙
- 지하수 적정개발량 범위 내에서 체계적 개발·이용

○ 대체수자원의 적극적 개발 및 이용
- 대체 가능한 수자원을 적극 개발하여 부존 수자원의 효율적 이용

1-2. 제주도 지하수의 관리제도의 변천

제주도는 지하수 개발현황을 파악하기 위해 1991년 10월부터 12월까지 시·군 합동으로 지하수 관정현황조사를 실시한 결과, 총 1,831공(공공용 357공, 사설 1,474공)이 개발되어 있는 것으로 파악되었다.

1991년 12월 31일 제정 공포된 제주도개발특별법에 지하수 굴착·이용허가 및 지하수 원수대금의 부과·징수에 관한 규정(제25조와 제26조)이 포함됨으로써 지하수를 법적으로 관리할 수 있는 기틀이 전국 최초로 마련되었다(<표 4-1>). 지하수법 제정이 지지부진하던 그 당시로서는 제주도개발특별법에 지하수 허가제와 원수대금 부과근거를 마련했다는 것은 획기적인 일이었다. 특히 지하수 개발을 위해 토지를 굴착하고자 할 때에는 환경영향평가 과정을 밟도록 의무화함으로써 무분별한 지하수 개발을 강력하게 규제해야 한다는 지역사회 여론이 법에 반영되었다. 제주도에서는 1996년 10월 23일에는 구 제주도개발특별법 제23조(현행 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제32조)의 규정에 의거『지하수·송이·산호사』를 보존자원으로 지정·고시하고, 지하수를 제주도외 지역으로 반출하고자 하는 때에는 보존자원 매매업 허가와 보존자원 도외반출허가를 받도록 하였다.

1995년 5월 19일 제주도개발특별법 제25조의 규정에 의해 최초로 지하수 굴착허가가 이루어졌다(서광서리 마을공동목장, 제주온천리조트). 2000년 1월 28일 개정된 제주도개발특별법에는 지하수관리가 대폭 강화되었다. 개인에 의한 먹는샘물 제조·판매 목적의 지하수 개발·이용허가의 원칙적 금지를 비롯하여 지하수를 100분의 98이상 이용하여 청량음료 또는 주류 등 제조·판매목적의 지하수 개발·이용허가 제한, 지하수 공동이용 명령, 지하수자원특별관리구역의 지정, 오염원으로부터 일정 거리이내에서의 지하수 개발금지, 지하수 개발·이용시설 기준제정, 지하수 시설공사 감리제 도입, 지하수 인공함양정 설치신고, 용도별 지하수 이용허가 기간의 부여, 지하수 원수대금 부과대상의 확대, 지하수영향조사서 작성대상의 확대, 지하수 수질기준의 강화, 지하수자원보전지구의 지정 및 관리 등에 관한 사항이 포함되었다. 또한, 1991년 제정 공포된 제주도개발특별법은 2002년 1월 28일 제주국제자유도시특별법으로 법 명칭이 바뀌었다. 제주시를 비롯한 서귀포시, 남원읍, 대정읍 등의 지역은 적정

개발량을 초과해 지하수가 개발돼 있어 지하수위 하강, 해수침투, 대수층의 교란 등의 지하수 장해로 지하수 이용에 커다란 지장을 초래할 우려가 높기 때문에 2003년 6월 25일자로 노형-신촌구역 등 4개 구역 160.065㎢를 지하수자원특별관리구역으로 지정・고시하였다.

<표 4-1> 제주도의 지하수 관리제도 변천과정(1991～2006)

구 분	주 요 내 용
1991년 이전	○ 이용자의 임의적 지하수 개발·이용
1991～1994	○ 제주도개발특별법 공포(1991. 12. 31) ● 지하수 굴착·이용허가제 도입(용도, 규모에 관계없이 허가) ● 지하수원수대금 부과·징수제 도입 ● 지하수 수질검사, 원상복구 명령 근거 마련 ● 지하수 굴착시 사전 환경영향평가 의무화 ○ 기존 지하수관정 양성화(1993. 8. 25, 11. 25)
1995～1999	○ 제주도개발특별법 개정(1995. 1. 5) ● 광천음료수 제조·판매목적의 허가제한(지방공기업 예외) ● 지하수영향조사제도 도입(시행령 개정 1995. 6. 30) ● 지하수영향조사 대행자 자격을 정함 ○ 특별법에 의한 최초 지하수 굴착허가(1995. 5. 19) ○ 보존자원 지정고시(지하수·송이·산호사 : 1996. 10. 23)
2000～2005	○ 제주도개발특별법 개정(2000. 1. 28) ● 지하수 이용기간 연장허가제 도입 ● 지하수자원보전지구, 지하수자원특별관리구역 지정제도 도입 ● 지하수 개발·이용허가 제한 확대(오염원과의 이격거리 등) ● 지하수 공동이용 명령제, 지하수시설공사 감리제 도입 ● 오·폐수의 지하침투행위 금지 ● 지하수 인공함양정 설치제, 지하수 개발·이용시설기준 도입 ● 지하수관리자문위원회 구성(지하수영향조사심의위원회 명칭변경) ○ 제주도개발특별법을『제주국제자유도시특별법』으로 개정(2002. 1. 26) ● 반경 250m내 기존 지하수관정이 있는 경우 신규 허가제한 규정 신설 ○ 제주국제자유도시특별법 개정(2004. 1. 28) ● 지하수 취수량 제한 근거, 단계적 취수량 제한 조치 근거 마련 ● 허가취소 조항 신설, 지하수 공동이용 신청절차 등 마련 ● 빗물이용시설 설치 및 운영 규정 마련 ● 지하수 오염우려가 높은 농약의 공급 및 사용제한 근거 마련 ● 지하수원수대금 부과체계를 5개 업종으로 단순화 ○ 제주국제자유도시특별법 시행조례 개정(2005. 3. 30) ● 지하수 원수대금 부과대상 업종 중 “골프장 및 온천용” 신설 ● 먹는샘물 지하수에 대한 지하수 원수대금 부과율 상향(2% ⇒ 3%) ● 제주도지사가 지하수영향조사기관을 지정할 수 있도록 함 ● 지하수자원특별관리구역내 장기간 미사용 관정 정비 규정 신설

<표 4-1> 계속(1991～2006)

구 분	주 요 내 용
2006 현재	○ 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 공포 (2006. 2. 21) ● 지하수를 공공의 자원으로 규정(제310조) ● 수자원관리종합계획 및 농업용수종합계획 수립 의무화 ● 지하수법, 먹는물관리법, 온천법을 배제하고 특별법 체계로 단일화 ● 지하수 관측망 설치·운영 및 단계별 조치 ● 지하수관리특별회계 설치 및 지하수 관련 사업에 사용 ○ 제주특별자치도 지하수관리 기본조례 공포(2006. 4. 12) ● 지하수 판매 또는 도외반출허가 등 11장 68개 본문으로 구성 ○ 제주특별자치도 지하수관리 기본조례 시행규칙 제정

2004년 1월 29일 개정·공포된 제주국제자유도시특별법(2004년 7월 30일 시행조례 개정 공포)에서는 1일 300㎥ 이하의 국방·군사시설용을 제외한 모든 지하수 개발·이용 행위에 대해 지하수영향조사서를 작성하도록 확대시켰을 뿐만 아니라, 지하수 이용량 제한 규정의 신설을 비롯하여 가뭄시 지하수 이용량의 단계적 감량조치, 일정 규모 이상의 사업장에 대한 빗물이용시설 설치 및 빗물이용 의무화, 지하수 오염 우려가 높은 농약의 공급 및 사용제한, 기준지하수위 관측정 고시, 지하수 공동이용 신청 및 명령절차, 지하수 원수대금 부과대상 확대 및 부과체계 개선 등에 관한 사항이 반영되었다. 또한, 2005년 3월 30일자 개정 공포된 제주국제자유도시특별법 시행조례에서는 지하수 원수대금 부과대상 업종에서 “골프장 및 온천용”을 신설함과 아울러, 먹는샘물에 대해서는 용량규격별 평균고시가격의 2%에서 3%로 부과율을 상향시켰으며, 제주도지사가 지정한 기관도 지하수영향조사서를 작성할 수 있도록 하였다. 특히, 지하수자원특별관리구역 내의 지하수 관정 중 정당한 사유 없이 1년 이상 계속 이용하지 않는 경우에는 폐쇄 또는 철거 등의 정비명령을 할 수 있도록 미사용 관정에 대한 관리도 강화시켰다.

2006년 7월 1일부터 시행되고 있는 『제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법』이 2006년 2월 21일 제정·공포되었으며, 법 제310조에는 제주도 지하수를 공공의 자원으로 규정함으로써 비로소 제주도의 지하수

를 공수(公水)로 관리할 수 있는 법적 근거가 마련되었다.

지하수의 공개념이란 용어는 아직까지 학술적으로나 법률적으로 명확하게 정의되어 있지는 않지만, 외국의 사례와 지하수 자원이 지니고 있는 공공성 및 수문지질학적 특성 등을 고려할 때, 다음과 같은 내용을 포함한다고 할 수 있다. 즉, 지하수를 토지소유권에 포함된 것으로 규정하지만 지하수 개발·이용을 허가를 받도록 함과 아울러 개발·이용에 따른 영향의 정도를 사전에 조사하여 적정한 범위 내에서 개발하도록 하고, 오염방지를 위해 일정 기준의 시설을 갖추도록 하며, 정기적인 수질검사, 불량한 시설에 대한 원상복구 또는 철거, 지하수의 공동이용 등 개발과 이용에 일정한 규제를 가하면서 지하수 자원을 최적의 상태로 관리하기 위한 제도의 총회를 지하수의 공개념적 관리라고 할 수 있을 것이다. 이와 같은 공개념적 관점에서 지하수를 관리하고 있는 국가로서는 오스트리아, 영국, 우루과이, 칠레 등을 꼽을 수 있다.

이와는 반면, 지하수의 공수(公水) 개념이란 이스라엘, 이탈리아, 이란, 독일, 소련 등의 국가에서처럼 “지하수는 공공의 재산이며, 국가에서 관리한다”와 같이 지하수를 토지 소유권과 분리된 별개의 공공자원으로 규정하고 사적인 개발·이용을 통제하는 것을 말한다. 이러한 공수개념은 종래 물에 대한 각국의 실정법에서 일정한 하천이나 호수 등을 사적 소유의 대상이 될 수 없는 것으로 규정함에 따라 형성되었다(윤양수, 1996). 결론적으로 ‘공수’란 “모든 국민이 공유할 수 있는 것이면서 사적 소유권의 대상이 될 수 없는 수자원”이라는 의미의 “공공의 수자원”과 같은 의미를 지니는 것이라 하겠다.

또한, 이 법률에서는 10년 단위의 수자원종합관리계획 및 농업용수종합계획의 수립 규정을 비롯하여 지하수 관측망의 설치·운영에 관한 사항, 지하수관리특별회계의 설치 및 세출에 관한 사항, 지하수법·먹는물관리법·온천법 중 대통령령으로 정하도록 한 28가지 사항을 포괄적인 지하수관리 기본조례로 제정할 수 있는 사항 등 여러 가지 사항이 규정됨으로써 제주도 지하수 관리에 획기적인 전기가 마련되었다. 아울러, 2006년 4월 12일에는 법에서 위임된 사항을 규정한 『제주특별자치도 지하수관리 기본조례』가 제정·공포되었다.

1-3. 제주도의 지하수 관리제도 주요 내용

다음은 제주도에서 현재 시행되고 있는 지하수 관리제도의 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 지하수의 공공적 관리(지하수 공수(公水) 관리원칙)

○ 제주도 내에 부존하는 지하수는 공공의 자원으로서 제주도가 관리함

○ 도지사는 지하수의 적정관리와 오염 예방, 용수의 안정적 공급, 지하수 기초조사 및 관측, 대체수자원 개발에 노력해야 함

(2) 수자원관리종합계획의 수립 및 시행

○ 지하수, 온천 등 수자원의 체계적인 개발·이용 및 효율적인 보전관리를 위하여 10년 단위의 수자원관리종합계획을 수립하고 시행함

○ 수자원관리종합계획 주요내용

- 수자원 부존특성 및 개발 가능량
- 수자원 개발·이용실태
- 수자원 보전·관리 계획
- 수자원 기초조사에 관한 사항
- 대체 수자원 개발 및 이용에 관한 사항

(3) 지하수 개발·이용 허가제

○ 먹는샘물 제조·판매 목적의 지하수 개발허가 제한(지방공기업 예외)

○ 1일 300㎥ 이하의 국방·군사시설용을 제외하고는 지하수영향조사를 실시하고, 심의 후 허가 여부 결정

○ 모든 지하수 관정에 대해 지하수 개발·이용허가 기간연장 실시

- 먹는샘물 제조·판매용 : 매 2년마다
- 생활용 관정 매 3년마다, 농축수산용 및 염지하수 매 5년마다
- 허가기간 만료일 전 180일부터 30일까지 기간연장허가 신청
- 6개월 이내에 실시한 수질검사성적서, 지하수영향조사서, 사후관리보고서 등 첨부

○ 지하수 개발·이용허가의 제한

- 하수관 및 정화조로부터 반경 10m 이내
- 축산폐수 배출시설 및 토양오염유발시설 등으로부터 반경 50m 이내
- 폐기물 처리시설로부터 반경 200m 이내
- 지하수자원보전지구 중 1등급지역
- 용천수로부터 반경 50m 이내 지역
- 해안변 지적경계선으로부터 직선거리 100m 이내 지역(기저지하수 부존 지역에서 염지하수의 개발·이용은 제외)
- 기존 관정에서 반경 250m 이내 지역 및 공공급수시설로부터 급수 가능 지역
- 토지경계선으로부터 2m 이내
- 화장실, 폐기물처리시설, 동물사육장 등의 장소로부터 20m 이내
- 지하수법 제7조제3항 각호의 1에 해당하는 경우

○ 지하수 시설공사 및 지하수 이용 일시중지 기간은 6월이고, 1회에 한해 6월 이내에서 연장 가능

(4) 지하수 판매 또는 도외반출허가

○ 먹는샘물, 지하수를 95~98% 함유한 주류, 음료, 지하수 원수, 정수처리한 지하수를 영리목적으로 판매하거나 도외로 반출할 경우 허가를 받아야 함

○ 지하수 판매 또는 도외반출을 제한할 수 있는 경우

- 지하수의 공익적 이용원칙에 부합되지 않는 경우
- 지하수 개발·이용허가를 받은 목적과 일치하지 않는 경우
- 그밖에 도민의 이익에 부합되지 않는 경우

(5) 지하수영향조사 및 지하수관리위원회 운영

○ 지하수영향조사서 작성 면제 대상

- 최초허가
  - 국방·군사시설에 이용할 목적으로 1일 양수능력 300㎥ 이하로 개발하고자 하는 경우
  - 지하수 조사·관측 목적의 지하수 개발·이용허가

● 변경허가 및 연장허가

- 굴착구경 및 굴착심도 변경·양수능력 증가, 취수 허가량 증가
- 허가기간을 연장하고자 하는 경우(공공상수도 및 공공농업용)

○ 지하수관리위원회 운영

● 구 성 : 15인 이내의 전문가

● 기 능

- 지하수 기초조사 및 수자원관리종합계획 수립 및 변경에 관한 자문
- 지하수영향조사서 및 먹는샘물 환경영향조사서 심사
- 지하수자원특별관리구역의 지정 및 관리 평가
- 지하수관리특별회계의 운용에 관한 자문
- 농업용수종합계획 수립 및 변경에 대한 자문
- 가뭄시 단계적 조치 결정에 대한 자문
- 지하수 오염 우려가 높은 농약의 사용 및 공급제한에 대한 자문
- 기타 대체수자원 개발·이용 및 보전관리에 대한 자문 등

○ 지하수영향조사기관의 지정

● 지하수법 제27조 및 제주특별자치도 지하수관리 기본조례 제46조의 규정에 의해 등록한 지하수영향조사기관

(6) 지하수자원특별관리구역의 지정 및 관리

○ 지정대상

● 지하수위 저하가 현저하게 발생하고 있거나 발생할 우려가 높은 지역

● 해수(염수)침입의 우려가 높거나 지하수중의 염소이온 농도가 먹는 물수질기준을 초과하고 있는 지역

● 장래 용수 수요를 위하여 지하수 개발·이용을 제한할 필요가 있는 지역

● 국가 또는 지방자치단체가 설치한 상수원 또는 농업용수 관정의 취수량과 수질보전을 위해 필요하다고 인정되는 지역 등

○ 지정절차

● 사전 기초조사 실시 : 지하수 개발·이용실태 및 지하수위 변화 등 조사

● 제주도의회 동의 및 지하수관리계획 수립·시행(지정·고시 후 6개월

이내)

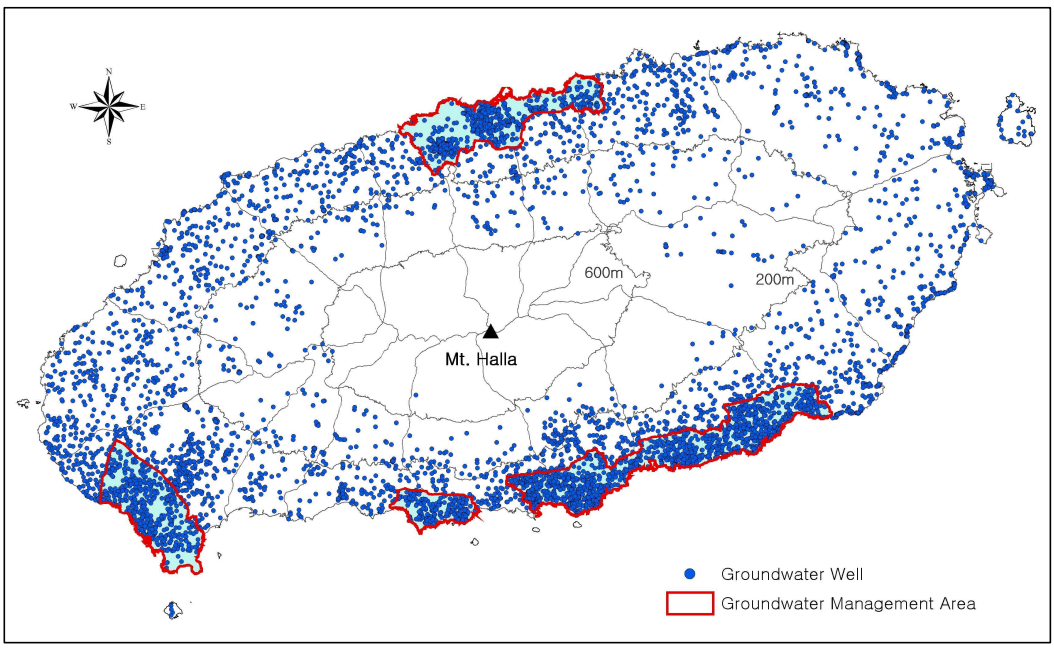
● 매 5년마다 관리계획 수행 결과평가를 하여 기간연장, 해제 등 조치

○ 2003년 6월 25일자로 노형-신촌구역 등 4개 구역 160.065㎢ 지역을 지정·고시하였고, 2003년 12월에 지정구역에 대한 지하수관리계획을 수립하여 2004년도부터 특별관리를 하고 있음<그림 4-1>

○ 지하수자원특별관리구역에 대한 조치

● 지하수 개발·이용허가 제한, 허가기간 또는 취수량 제한

● 정당한 사유 없이 지하수를 계속해서 1년 이상 이용하지 않는 경우에는 지하수 개발·이용시설의 정비 또는 원상복구



<그림 4-1> 지하수자원 특별관리구역 지정도

(7) 지하수 취수량의 제한

○ 신규허가 또는 변경허가시 제한할 수 있는 경우

● 빗물이용시설을 의무적으로 설치해야 하는 대상

● 기저지하수 부존지역 안에서 담수지하수를 개발·이용하는 경우

● 용천수·연못·상수원·폭포수 등에 영향을 줄 우려가 있는 경우

● 지하수영향조사 심의결과 취수량 제한이 필요하다고 판단되는 경우

○ 지하수 이용허가기간을 연장할 때 제한할 수 있는 경우

● 해수침투가 진행되고 있는 것으로 판단되는 경우

● 월최대 지하수 이용량이 취수허가량에 현저히 미치지 못하는 경우에는 월최대 지하수 이용량의 70% 이내로 연간 취수량 제한

● 필요수량의 50% 이상을 공공급수시설로부터 급수가 가능한 경우

○ 취수량 제한 결정

지하수영향조사서 심사결과, 지하수위 관측자료, 지하수 이용실적, 수질조사자료 등을 종합적으로 검토해 결정

(8) 지하수 공동이용 조치

○ 공동이용 대상 관정

상수원 또는 공공 농업용 관정을 제외한 전 관정

○ 공동이용 신청

지하수 공동이용을 하고자 하는 자는 도지사에게 공동이용신청서 제출

○ 공동이용 결정

신청내용, 현장조사 결과, 공동이용 대상 지하수 관정 소유주의 의견, 지하수관리위원회의 자문 등을 종합적으로 검토하여 결정

○ 공동이용조치 명령

공동이용 기간, 공동이용 지하수량, 공동이용 신청자의 준수사항 명시

○ 공동이용 협력자에 대한 혜택 : 지하수 원수대금 50% 범위내에서 감액

(9) 지하수 과다채수에 대한 조치

○ 지하수의 과다채수로 인하여 주변관정에 영향을 미치는 경우 당해 지하수 관정에 대해 지하수 취수량 제한, 일시 이용중지 등의 조치를 취함

○ 지하수 취수량 제한 또는 일시 이용중지 조치가 필요한 경우

● 주변 관정의 지하수 취수량이나 수질에 현저한 영향을 미치는 경우

● 염소이온 농도가 먹는물 기준을 초과하는 경우

● 용천수・연못・폭포수 등의 수량에 현저한 영향을 미치는 경우

• 취수정 수위가 지속적으로 하강하는 경우
• 탁도 증가, 토사 유출이 발생하는 경우

○ 관정 관리자가 조치할 사항
• 양수능력 하향 조정 또는 취수량 감량
• 펌프설치 깊이 조정, 토출관 구경 축소
• 지하수위 측정 또는 수질검사, 지하수 관정 청소 및 검사
• 주변 관정·용천수 또는 폭포수에 미치는 영향조사

○ 상기의 조치에 불구하고 개선되지 않을 경우 이용중지 기간 연장, 시설폐쇄

(10) 기준수위 관측정의 설치·운영 및 단계별 조치 사항

○ 지하수위의 과다한 하강 및 해수침투 등을 사전에 방지하기 위하여 기준수위 관측정을 설치 운영하며, 기준수위 관측정의 관측결과에 따라 단계별 조치를 취할 수 있다(<그림 4-2>~<그림 4-3>).

○ 단계적 조치
• 1단계(지하수위 하강주의보) : 지하수위 하강상황을 주민에게 고지
• 2단계(지하수위 하강경보) : 지하수 이용량 10% 감량
• 3단계(지하수 비상상황) : 지하수 이용량 30% 감량

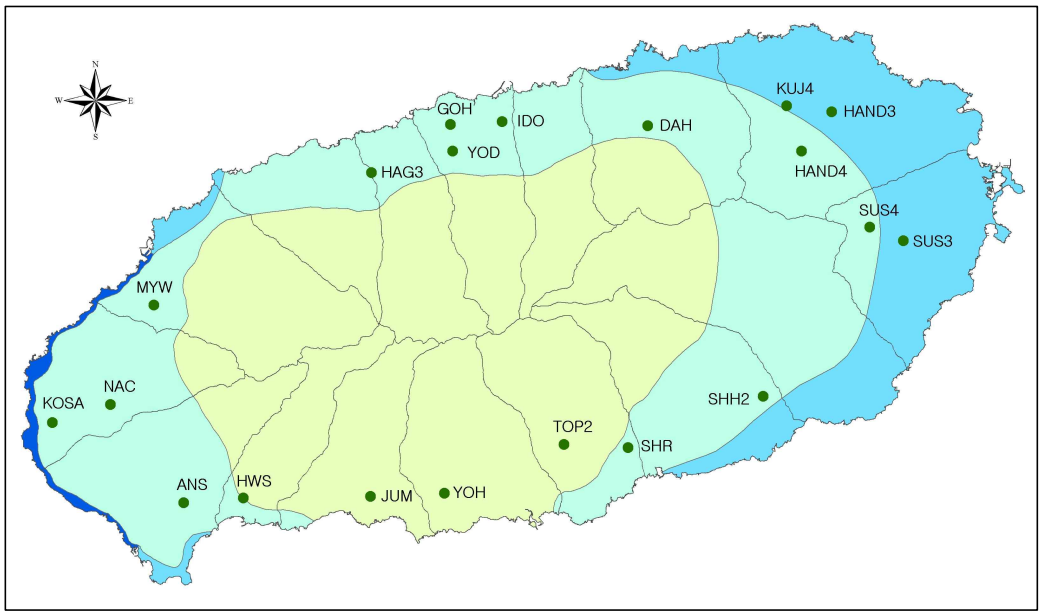
○ 지하수위 하강에 따른 단계적 조치를 위한 기준수위관측정 고시(2004. 9)
• 동부지역 : 한동3·구좌4·한동4·수산3·수산4관측정
• 서부지역 : 안성·화순·고산·낙천·명월관측정
• 남부지역 : 태흥2·신례·토평·중문·용흥관측정
• 북부지역 : 하귀3·대흘·공항·연동·이도관측정

(11) 지하수 개발·이용시설 설치 및 관리기준

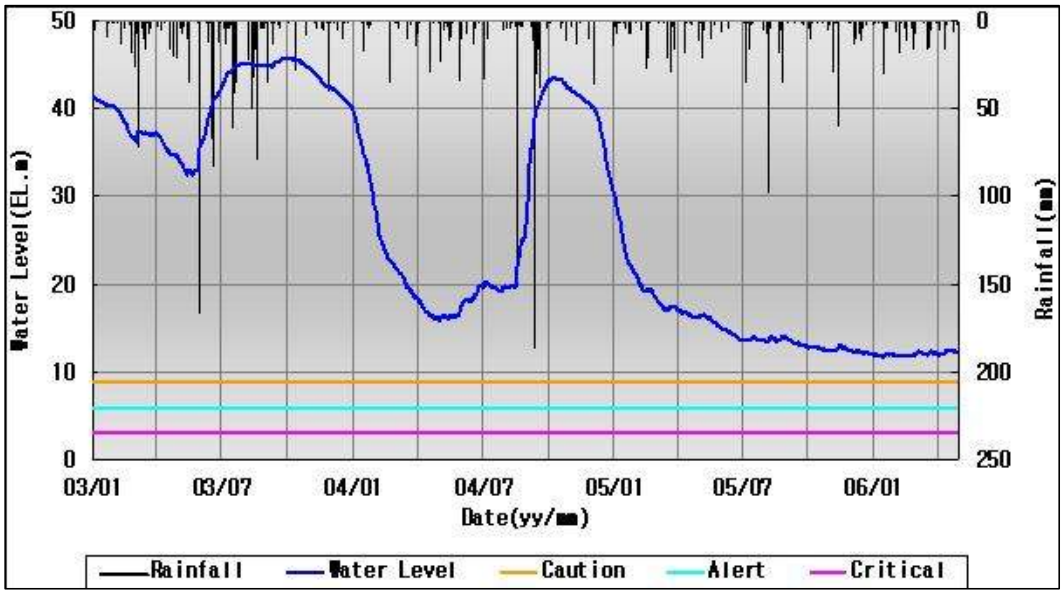
○ 제주특별자치도 지하수 관리규칙에 지하수 개발·이용시설 설치기준 및 관리기준 제정

○ 지하수 개발·이용시설 설치기준에 포함된 사항
• 지하수 관정 굴착공사에 관한 기준
• 우물자재의 설치 및 양수시험에 관한 기준

• 동력장치의 설치 및 준공보고서 작성에 관한 기준
• 폐공의 원상복구 및 보고서 작성, 지하수 개발·이용시설의 관리에 관한 사항



<그림 4-2> 단계별 지하수 이용량 감량조치를 위한 기준수위 관측정 위치도



<그림 4-3> 단계별 기준수위와 지하수위 관측자료

(13) 지하수 원수의 공급

○ 지하수 개발·이용허가 제한 지역 등에서 불가피하게 지하수 개발이 필요한 경우, 도지사가 직접 지하수를 개발하여 지하수 원수를 공급하고, 지하수 원수대금을 부과함

○ 지하수 원수공급이 가능한 경우

- 지하수 개발·이용허가 제한 구역
- 지하수자원특별관리구역
- 공공용수 공급시설로부터 용수공급이 곤란한 지역
- 지하수 개발·이용에 따른 분쟁이 발생하거나 분쟁발생이 예상되는 지역
- 대량의 지하수 개발·이용을 필요로 하는 지역

○ 지하수 개발·이용시설은 지하수 원수를 공급받는 자가 위탁 관리함

(14) 빗물이용시설의 설치 및 이용

○ 설치대상

구 분	시설의 종류	설 치 대 상
의무적 설치대상	빗물이용시설 또는 인공함양저류지	가. 체육시설의설치·이용에관한법률시행령 별표1의 규정에 의한 골프장 중 부지면적이 6만제곱미터 이상인 골프장 나. 온천법 제7조제1항의 규정에 의한 온천개발사업 중 사업계획면적이 10만제곱미터 이상인 사업 다. 관광진흥법 제2조제1호의 규정에 의한 관광사업 중 1일 평균 지하수 이용량이 500톤 이상인 시설 라. 관광진흥법 제2조제6호 및 제7호의 규정에 의한 관광지 및 관광단지 조성사업 중 1일 평균 지하수 이용량이 500톤 이상인 시설
권장 대상	빗물이용시설 또는 지하수인공함양정	가. 농·축·임·수산산업용 비닐하우스 또는 온실 나. 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장·공동주택·공공기관 청사 등

○ 설치규모

구 분	시설의 종류	시 설 규 모	월간 빗물이용 기준수량
의무적 설치대상	빗물이용시설	○ 별표7의 의무적 설치 대상 중 가호 및 나호 : 월간 빗물이용 기준수량을 충족시킬 수 있는 규모	별표7의 의무적 설치 대상 중 가호 및 나호 : 월간 용수사용량의 40% 이상
		○ 별표7의 의무적 설치 대상 중 다호 및 라호 : 월간 빗물이용 기준수량을 충족시킬 수 있는 규모	별표7의 의무적 설치 대상 중 다호 및 라호 : 월간 용수사용량의 10% 이상
	지하수 인공함양 저류지	○ 저류지 시설용량(톤) : 부지면적 × 연평균 강우량 × 지하수 함양율 × 0.10	-
권장 대상	지하수 인공함양정	○ 인공함양정 1공 이상 (굴착구경 250㎜ 이상)	-
	빗물이용시설	○ 지붕면적과 연평균 강우량을 고려한 적정 규모	-

○ 권장대상에 대해서는 소요비용을 예산의 범위 안에서 70%까지 보조

○ 빗물이용시설 등의 시설 및 관리기준 - 지하수관리규칙에 포함

- 대형 빗물이용시설, 지하수 인공함양저류지, 지하수 인공함양정 시설기준
- 소형 빗물이용시설의 시설기준
- 빗물이용시설 등의 관리 및 시설비 보조기준

(15) 지하수관리특별회계의 설치

○ 지하수의 적정한 개발·이용과 보전·관리 사업에 필요한 재원마련을 위해 지하수관리특별회계를 설치·운영함

○ 지하수관리특별회계의 세입

- 지하수 원수대금
- 일반회계 및 다른 특별회계 전입금
- 과태료, 폐공 원상복구 이행보증금 등

○ 지하수관리특별회계의 세출

- 지하수 기초조사
- 수자원관리종합계획의 수립 및 시행
- 지하수자원특별관리구역의 지정 및 관리
- 지하수 관정의 원상복구
- 오염된 지하수 정화작업
- 지하수 관측망 설치·운영 및 지하수 이용실태 조사
- 기타 수자원 개발·이용 등 지하수 보전·관리에 필요한 사업

(16) 지하수 원수대금의 부과 및 징수

○ 부과대상

국가·지방자치단체의 상수도공급시설, 학교 및 부속시설, 사회복지시설, 국방·군사시설, 농임축수산업용 및 염지하수를 이용하는 자를 제외한 모든 지하수 이용자

○ 부과업종의 분류 : 6개 업종

영업용, 골프장 및 온천용, 공장 및 제조업용, 비영업용, 가정용, 먹는샘물제조업

(17) 지하수 오염방지를 위한 농약사용 제한

○ 지하수 오염위험성평가 결과에 따라 지하수를 오염시킬 우려가 큰 농약의 품목을 공급 및 사용제한

○ 2004년 9월 8일자로 브로실수화제, 메타실 입제 및 수화제 품목을 제주도내에서 공급 및 사용제한 품목으로 고시하였음

(18) 농업용수종합계획의 수립 및 농업용수 공급시설 위탁관리

○ 제주자치도의 지역특성 및 여건에 맞는 지하수 관리체계를 구축하고, 지하수의 효율적인 이용을 위하여 10년 단위 농업용수 종합계획을 수립 시행함

○ 농업용수종합계획 주요내용

- 농업용수의 개발 및 이용실태
- 농업용수의 수요예측

- 농업용수의 개발 및 공급계획
- 농업용수 공급시설의 관리계획
- 농업용수의 수질관리 계획 등

○ 농업용수 공급시설의 위탁관리

- 농업용수의 체계적인 개발·공급과 효율적인 관리를 위하여 농업용수 공급시설을 지방공기업, 한국농촌공사 등의 전문기관에 위탁관리 할 수 있으며, 도는 위탁관리 기관에 필요한 재정지원을 할 수 있음

(19) 지하수자원보전지구 지정·관리

○ 도시계획구역, 한라산국립공원, 마라도, 추자도를 제외한 제주도 전 지역을 토양 및 지질의 지하수 오염 취약성에 따라 1~4등급의 보전지구로 분류

○ 1등급 지구는 모든 행위를 금지하고, 2~4등급 지구는 등급별 지하수 오염방지시설 설치조건에 따라 제한적 허용

○ 2003년 4월 2일자로 1,306.5㎢ 지역을 지정·고시하였음

2. 서울시 수자원 관리전략

친환경 물순환 체계를 회복하기 위한 정책으로 현재(2000년대)의 강우 손실율을 1960년대로 개선하기 위하여 빗물침투시설, 빗물이용시설, 빗물저류시설 설치를 통해 친환경 물순환 회복 정책으로 방향을 전환하고 있다. 이를 위해 표면유출량을 2000년대 연 강우량의 48%에서 1960년대 수준인 9%로 저감한다. 건조해진 도시를 쾌적한 생활환경으로 조성하기 위해서는 옥상녹화, 빗물 이용 및 빗물저류시설을 통해 증발산량을 연 강우량의 27%에서 46%로 증가시킨다. 친수공간을 조성하고 건천화된 하천에 물이 흐르게 함으로써 시가지의 증발산 면적을 30%이상 확보한다. 지표면의 증발산량이 많은 물순환체계로 전환하고, 도시 자체가 기온조절 기능을 가지고 증발작용이 원활하게 이루어지도록 증발산면적 및 친수공간을 확보한다.

대체용수 공급체계 구축에 의한 높은 광역상수도 의존율을 개선하여 광역상수도 의존율을 93.5%에서 84.4%로 완화한다. 특히, 상수도만큼 깨끗하지 않아도 되는 물이용 용도는 중수도, 물재생용수(고도처리수), 빗물 등의 대체용수로 이용하고, 제3의 물산업 육성의 대상 용수로 물재생용수 공급사업을 적극 추진한다.

2-1. 친환경 물순환 회복

1960년대보다 5배 이상 손실되고 있는 강우량 관리대책이 필요하다. 현재 표면 유출 손실량은 1960년대에 비해 31% 손실되고, 지하수 함양량은 1960년대에 비해 9%가 손실되고 있어 1960년대 물순환 수준으로 지하수함양량, 표면유출량 유지정책이 필요하다.

친환경 물순환을 회복하기 위해 불투수 면적을 강우시 빗물을 땅속으로 스며들게 하는 침투면적으로 전환하기 위해 우선적으로 공공기관, 공원 및 학교에 빗물침투시설을 설치하고 점차적으로 일반 건축물 및 주택으로 확대 보급하여 불투수면을 빗물침투가 가능하게 개량하여 지하수 함양량을 복원한다.

홍수량을 처리하기 위한 빗물저류시설 설치사업의 장단기계획을 추진하기 위해 공공시설, 공원 및 학교에 빗물저류시설을 확대 설치하여 침수피해로부터 안전한 지역을 조성한다.

2-2. 생활환경 건조화 완화

대기 중 수분이 1960년대 46%에서 현재 27%로 감소하고 도시기온이 상승함에 따라 생활환경이 건조하게 변하고 열섬 현상이 심화되고 있어 수분 증발작용 촉진에 의한 도시기온 조절기능을 강화할 필요가 있다. 시가지에 인공수로와 분수 등 수경공간을 조성하고, 주요 산책로에 물이 흐르는 실개천을 조성한다. 특히, 재개발과 신개발지역에 증발산면적과 친수공간 설치를 의무화 한다. 또한 고도처리수, 빗물, 중수도 등 물재생용수를 시가지 살수용수로 살포하여 뜨거운 지표면 온도를 조절한다.

건천화된 하천을 물이 풍부한 하천으로 회복되기 위해서는 1일 총 301,800㎥의 물 공급이 필요하며, 각 하천에 1일 2,500~4,200㎥의 유지유량 공급을 물재생용수를 이용하여 하천 유지용수로 공급한다. 재개발, 뉴타운개발, 대형 건축물의 지하 개발 시 발생하는 지하수 유출수를 하천유량으로 활용한다.

2-3. 지속가능한 물이용 체계로 전환

전량 상수도공급 체계에서 벗어나 이용용도에 맞는 선택적 물이용 체계 구축을 위해 중수도, 빗물, 지하수 등을 대체용수로 활용하여 상수도 의존율을 84.4%로 완화할 계획이다. 이를 위해 신축 건축물에 중수도를 설치, 화장실용수와 청소용수로 활용하고, 빗물을 수자원으로 확보하고 조경용수, 청소용수, 살수용수 등으로 적극 활용하기 위하여 가정용 주택 빗물이용시설 보급에 지원을 확대한다. 또한 업종별 상수도요금을 점차적으로 현실화하여 가정용, 영업용, 업무용에 대한 대체용수의 가치 확보 및 이용량 증가를 유도한다.

물재생용수는 정부가 추진하는 상수와 하수 다음으로 제3의 물산업(The 3rd Water Industry) 대상 용수원으로서 국내외 타 지역에서는 하천 유지용수, 공업용수, 농업용수, 생활용수로 활용하고 있다. 국내외 물재생용수 이용률이 6.7~52.0%인 반면에 서울의 재이용률은 0%이기 때문에 상시 변화 없이 안전하게 확보할 수 있는 물재생용수를 활용함으로써 서울의 물자립도를 높이는 유효한 수자원으로 위상을 부여하고 도시용수로 적극적으로 이용하도록 유도한다.

3. 외국의 수자원 관리 계획

3-1. 하와이의 수자원관리 계획

하와이주는 제주도처럼 화산암으로 이루어져 있으며, 지하수를 주된 용수원으로 이용하고 있는 지역으로 1879년부터 지하수를 개발해 이용해 오고 있다. 1978년 주 헌법 개정준비위원회에서 주 정부는 주민을 위하여 ① 수자원을 적극 보호·관리·통제하고 ② 수자원개발을 적절히 규제해야 함을 주 헌법에 명시토록 결정하였고, 하와이주 헌법 제13장 제7조 "수자원"항에는 다음과 같이 명시하고 있다.

"주 정부는 하와이 주민을 위하여 영토 내의 수자원을 보호하고, 관리·규제할 의무가 있다. 주 의회는 법에 근거하여 수자원기구를 설립할 수 있도록 하고, 전반적인 수자원을 보호하고, 수질 확보와 물 이용정책을 수립하고, 물의 합의적 사용과 혜택이 되는 이용이 어떤 것인지를 결정하고 지하수·지표수·수자원 유역·자연 하천환경을 보호하고, 물과 관련된 부속권이나 하안권(riparian)을 보호하는 범위 내에서 물 사용 순위를 결정하는 기준을 설정하고, 하와이의 수자원을 규제하는 과정을 설정하도록 한다."

하와이 수자원의 합리적인 공급·보존·수질관리를 위해 수자원 보호계획(Watr Resource Protection Plan), 수질계획(Water Quality Plan), 주 수자원 프로젝트계획(State Water Project Plan), 농업용수 이용 및 개발계획(Agricultural Water Use and Development plan), 지자체별 수자원 이용 및 개발계획(County Water Use and Development Plan)을 수립하도록 규정하고 있다.

하와이주 수자원법은 주의 수자원을 주민이 최대한 유익하게 이용하는 것을 보장하려는 하와이주의 수자원 정책근간이라 할 수 있다. 이 법에서는 주 내의 체계적인 물 공급·수자원 보존·수질관리를 위해 하와이주 수자원계획(Hawaii Water Plan)을 수자원관리위원회로 하여금 마련하도록 규정하고 있다. 수자원계획의 수립 목적은 다음과 같이 크게 5가지로 요약할 수 있다.

- ○ 주 헌법에 명시된 주 수자원의 가장 합리적이고 유익한 이용 목표 달성
- ○ 주 수자원의 적절한 보존과 개발 도모

○ 항해・배수・위생・홍수 조절의 목적과 같은 주 수자원의 적절한 관리
○ 주 수자원보호계획 및 주 수질계획에 명시된 수질기준 달성
○ 수자원법에 명시된 수자원정책의 집행

따라서, 이 계획은 하와이주의 수자원관리를 위한 장기적 지침 뿐만 아니라, 수자원법의 집행을 위한 시행계획이라 할 수 있으며, 1990년 최초의 수자원계획이 수자원관리위원회에 의해 채택되었고 현재는 이를 보완・수정하고 있다.

가. 수자원 보호계획

수자원법에는 하와이주 수자원보호계획을 수자원관리위원회가 수립하도록 규정하고 있으며, 이 계획 수립의 주된 목적은 하와이의 지하수 및 지표수자원과 하천환경을 보호함과 아울러 이를 지속적으로 유지하기 위한 계획을 수립・집행하는데 있다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해 수자원보호계획은 다음과 같은 사항을 포함하고 있다.

① 하와이주 전역의 수문단위(hydrologic unit) 설정과 수문특성 파악
② 수문 단위별 부존 수자원의 특성 및 위치를 기재한 종합 목록 작성, 주 전역의 수자원 이용현황 및 수질현황 파악
③ 하천수의 유익한 이용과 환경보호를 위해 필요한 사항 마련
④ 주 수자원의 보존・증대, 보호를 위한 실천 프로그램 마련
⑤ 주 수자원의 보존・증대 수단 및 방법을 위해 연구해야 할 사항

특히, 수자원관리위원회에서는 하와이주 수자원의 특성 및 부존상황을 파악하고, 수자원의 효율적 관리와 보호방안을 마련함과 아울러, 수자원의 보존과 증대를 위해 수자원보호계획에 다음과 같은 사항들을 포함하도록 요구하고 있다.

① 지하수 및 지표수자원의 목록화와 평가, 대수층 분류 및 특성기재, 수문단위의 경계확정, 대수층별 지속 가능 이용량 산출, 하천수 이용량 및 지표수자원 보호를 위한 보호 규정
② 지하수 및 지표수 모니터링 프로그램과 프로젝트 평가 및 향후 발전전략
③ 지하수 및 지표수자원의 보호를 위한 주 전역・광역 대수층 분류도 작성과 현행 수자원관리 및 보호시책의 평가
④ 현재 사용하고 있는 지하수 모델링 기법의 적용 타당성 평가

⑤ 지하수와 지표수 관리전략 평가, 최소 하천유지수량 결정을 위한 현실성 있는 방법
⑥ 하와이주의 수자원 보존 프로그램의 목적과 목표
⑦ 가뭄 대비계획과 물 부족 개선계획 수립 및 이를 위한 주 정부와 자치단체 간의 협력방안
⑧ 현행 수자원 증대정책의 검토 및 수자원 증대를 위한 시행계획 수립

나. 수질계획

수질계획은 하와이주 전역의 지하수 및 지표수자원의 수질보호·보전·유지·증진을 통해 생태계와 공중위생을 보호하는데 그 목적을 두고 있다. 1차 수질계획은 1990년 수자원관리위원회에 의해 채택되었다. 수질계획은 다음과 같은 사항으로 구성된다.

① 연방정부, 주정부, 자치단체의 수자원 수질보호의 목표·목적·정책
② 수자원관리구역 설정을 위한 수질기준 마련
③ 주 전역에 적용되는 수질기준 및 모니터링 수행 규정 마련
④ 수질관리 프로그램과 전략 마련

다. 하와이주 수자원프로젝트 계획

수자원법에는 하와이주 수자원프로젝트계획을 주정부 토지 및 자연자원국 토지과(Land Division)에서 수립하도록 규정하고 있다. 토지과는 주 정부의 여러 부서와 협력해서 하와이주 발전계획에 따른 용수수요를 충족시키기 위한 수자원개발 프로그램과 시행기본계획을 수립하고 있는데, 이 계획에는 다음과 사항들이 포함된다.

① 기존 관수 시스템의 종합적인 목록화 및 평가
② 기존 관수 시스템 시설현황 파악
③ 관수 시스템 수리에 필요한 예산과 재원확보 방안
④ 관수 시스템 보수계획 수립
⑤ 장기 농지개발계획에 근거한 지방자치단체별 향후 농업용수 수요량 예측
⑥ 추가적인 농업용수 및 대체수원 개발계획수립

⑦ 농업용수 사용량을 줄이기 위한 전략수립

라. 지방자치단체 수자원 이용 및 개발계획

호놀룰루시를 비롯한 4개의 지방자치단체에서는 수자원법의 규정에 의하여 토지 이용계획에 따른 수자원 개발 및 배분계획을 수립하고 있다. 이 계획에는 다음과 같은 사항을 포함하고 있다.

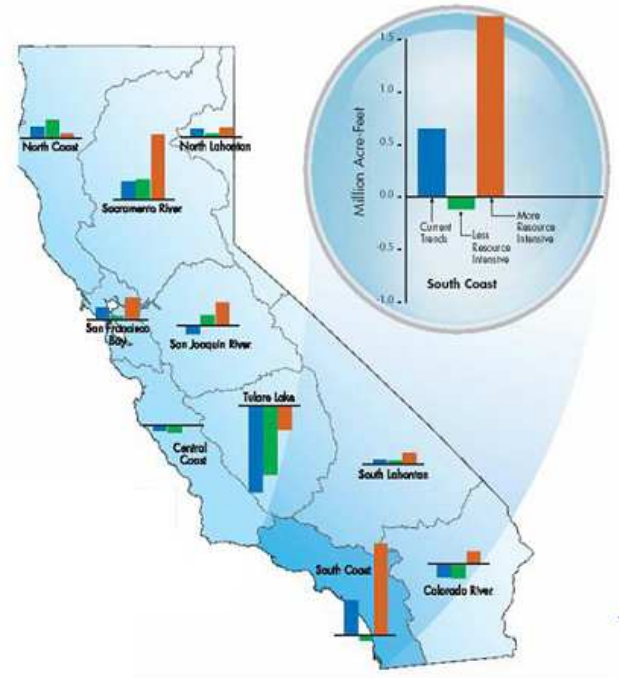
① 지방자치단체별 산업과 경제 현황
② 기존 물 이용량과 용수개발 현황
③ 향후 토지이용계획에 따른 용수 수요량
④ 향후 용수 수요량 충족을 위한 수자원개발계획

특히, 이 계획은 수자원보호계획 및 수질계획의 내용과 반드시 일치하여야 할 뿐만 아니라, 당해 지방자치단체의 토지이용계획 및 정책·일반계획·특정지역 개발계획과 주 정부의 토지이용분류 등을 빠짐없이 반영하여 계획간의 모순이 발생하지 않도록 하고 있다.

2-2. 캘리포니아의 수자원 관리 계획

캘리포니아의 수자원 관리는 인구 증가, 수요패턴 변화, 환경요인, 기후변화 등과 같은 외부 영향으로 인해 보다 복잡해질 것으로 예상되어지고 있다. Water Plan Update 2005에서는 향후 발생할 물 사용량 변화의 불확실성을 예측하기 위해 2030년에 발생 가능한 3개의 예측 시나리오를 작성하였다. 다음 그림은 2000년부터 2030년까지 시나리오별 물 수요 변화를 예측한 것이다.

- Current Trends : 인구증가와 개발경향, 농업 및 산업생산, 환경용수고시, 자발적인 보존 등이 최근의 경향으로 지속됨
- Less Resource Intensive : 인구증가의 최근 경향 지속, 농업 및 산업생산의 고도화, 더 많은 환경용수고시, 자발적인 보존의 고도화
- More Resource Intensive : 인구의 급증, 농업 및 산업생산의 고도화, 환경용수의 추가 불필요, 2000년 평수년 수준 유지, 자발적인 보존의 저조



<그림 4-4> 2030년 시나리오별 물 수요 변화

2030년까지 캘리포니아의 목표는 수자원의 지속가능성과 수자원 공급의 신뢰성을 확보하는데 있다. 수자원의 지속가능성을 확보하기 위해 캘리포니아는 효율적인 물 사용, 수질보호, 환경보호와 복원의 3대 기본 실행계획(Actions)에 입각한 수자원 관리를 권고사항으로 제시하고 있다. 그리고 수자원 공급의 신뢰성을 확보하기 위해서 통합지역수자원관리(Integrated Regional Water Management) 적용을 촉진하고, 주 차원에서 수자원관리의 중추인 수자원관리 시스템(Water Management System)을 유지관리 및 개선할 수 있는 수자원관리체계를 추구하는 것이 선결과제(Initiatives)로 제시하고 있다.

<그림 4-5> 2030 수자원관리 비전

가. 3대 기본 실행계획

앞에서 언급한 지속가능성을 확보하기 위해 캘리포니아는 반드시 효율적 물 사용방안을 마련하여야 한다. 캘리포니아는 이미 물 절약과 재활용과 같은 효율적 물 사용측면에서 선도적 역할을 하고 있으나, 향후 경제, 건전한 환경, 삶의 질 향상을 위한 비전을 충족시키기 위해서는 기존의 지표, 지하수관리, 수자원관리시스템에 의존한 효율적 물 사용 개념에서 다음과 같이 확장된 개념의 효율적 물 사용이 필요하다.

○ 도시 및 농업용수 사용의 효율화 증대
○ 생활용수의 재이용 증대 및 확장
○ 운영개선과 효율화를 위한 수자원시설물의 재운영
○ 지역의 물 부족을 회피하기 위한 환경, 경제 및 사회 친화적 전환 촉진
○ 지하수 과잉채수의 저감

또한 공중보건, 건전한 환경유지를 위해 물 공급과 수질보호를 동시에 수자원관리에서 고려하여야 한다. 수요를 절감하고, 공급을 증대시키기 위한 과업을 수행할 때, 반드시 수질을 보호하고 개선할 수 있는 방법과 전략을 수립하여야 한다.

○ 지표수와 지하수를 오염으로부터 보호
○ 먹는 물과 지하수 개선을 위한 새로운 기술의 모색
○ 물 사용을 위한 적정한 수질의 조화

○ 도시와 농업유출관리의 개선
○ 유역관리의 개선

마지막으로 수자원의 지속가능성을 확보하기 위해서 환경보호와 복원을 고려한 수자원 관리가 이루어져야 한다. 물은 인간 뿐만 아니라 건전한 환경을 유지하기 위한 필수자원이다. 따라서 물 공급을 위한 모든 수자원관리 활동은 다음과 같은 환경요소를 고려하여 추진되어야 한다.

○ 생태계 복원, 수자원계획, 국토이용계획의 통합
○ 수 생태계의 기능과 구조물들의 복원과 유지관리
○ 수자원관리 실행에 의한 생태계에 미치는 영향을 최소화
○ 유역관리의 개선
○ 공공 자원의 보호
○ 홍수관리와 수자원 확보를 위한 일련의 관리활동의 조화

나. 선결과제(Initiatives)

기본적인 3개 실행계획을 효과적으로 달성하기 위하여, 통합지역수자원관리와 수자원관리시스템의 유지관리 및 개선이라는 두 가지의 선결과제를 마련하고 있다. 두 개의 선결과제를 통해 깨끗하고, 충분한 양의 물을 2030년까지 제공 가능할 것이다.

첫 번째 선결과제는 통합지역수자원관리를 이행하는 것이다. Water Plan Update 2005는 지역수자원관리 목표를 달성시킬 수 있는 25개의 자원관리전략(Resource Management Strategies)을 구성하고 있다. 25개의 자원관리전략에는 효율적 물 사용, 재순환, 담수화를 비롯해 수질개선, 홍수터 관리, 생태보전 등에 관한 전략을 포함하고 있다. 이러한 자원관리전략에 따라 지역공동체는 물 공급을 원활히 하고, 다른 자원관리 노력과의 상충을 최소화하는 방향으로 수자원 개발을 계획, 투자하고 효율적인 연계활용 등의 다양한 활동을 추구할 수 있다. 통합지역수자원관리는 지역사회를 구성하고 있는 많은 이해당사자간의 협력과 물 사용, 수질보호, 환경보호와 복원의 3대 기본 실행계획을 성공적으로 구현할 수 있도록 지원해 주고 있다. 통합지역수자원관리는 다음과 같은 권고사항을 포함한다.

○ 지역 협력 육성
○ 통합지역수자원관리계획 개발
○ 지역 물 포트폴리오(Water Portfolios)의 다양화

두 번째 선결과제는 시설물 유지관리와 수자원관리 프로그램을 포함한 주 차원의 수자원관리시스템을 유지관리 및 개선하는 것이다. 캘리포니아는 물 공급, 지역간 물 이동과 배분, 홍수 저감 및 방지 등을 위한 다양한 시설물 관리체계를 구축하여 왔다. 이러한 시설물들은 캘리포니아 수자원 관리의 중추적 역할을 수행하여 왔으며, 물이 필요한 시기와 장소에 원활한 물 공급이 이루어질 수 있도록 하기 위해서 반드시 유지관리 되어져야 한다. 또한 수자원관리시스템을 유지관리 및 개선하기 위한 선결과제는 주 차원의 수질표준관리 프로그램, 모니터링 프로그램, 효율적 수자원관리 프로그램을 포함한다. 이러한 프로그램들은 주 차원의 수자원계획과 생태복원을 위한 목표달성을 충족시키는 데 중요한 역할을 한다. 선결과제를 이행하기 위해서 연방, 주, 지역 물 관리 기구는 다음과 같은 권고사항을 따라야 한다.

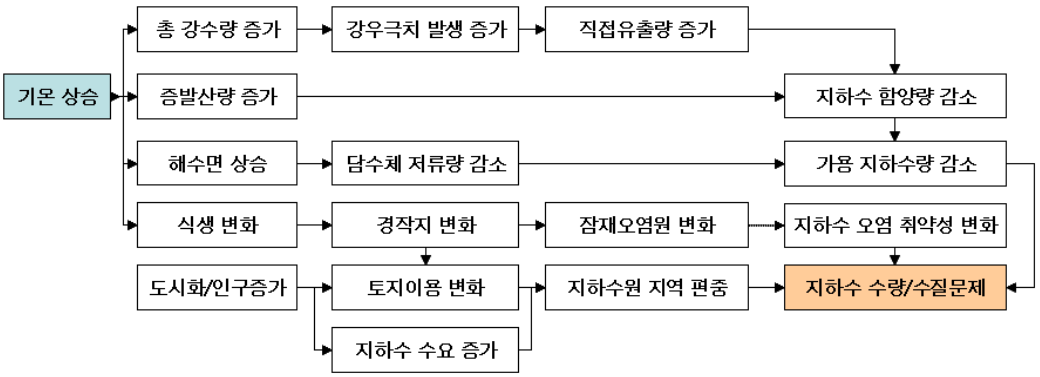
○ 노후화된 시설들의 유지관리
○ CALFED 프로그램의 적용
○ 홍수관리의 개선
○ Sacramento-San Joaquin Delta의 유지

4. 제주도 수자원의 관리방향

4-1. 지속가능한 지하수 자원 확보

제주도 수자원 현황을 통해 살펴본 대략적인 기후변화가 제주도 수자원(지하수)에 미치는 영향을 고려해 정리하여 보면 <그림 4-6>과 같다. 기온상승으로 인해 총강수량은 대체적으로 증가할 것으로 예상되지만, 극단적인 호우(홍수) 또는 가뭄이 지역별로 발생할 가능성이 높다. 즉, 증발산량이 증가하고 직접유출량이 증가하여 지하수 함양량이 감소할 것으로 예상되고, 또한 해수면 상승에 의해 담수체 저류량이 감소하여 가용지하수량은 감소할 가능성이

높을 것으로 판단된다. 이와 더불어 지역개발에 따른 도시화와 인구증가, 그리고 제주도가 추진하는 물산업 정책 등 지하수 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서, 제주미래의 지하수 자원 확보문제 및 수자원관리계획에 대한 노력이 절실하게 필요한 실정이다. 또한 식생 변화, 농작물 변화에 의한 경작지 변화, 토지이용 변화 등에 의한 지하수 함양지의 개발이 이루어질 수 있으므로 수질적인 대책과 관리방법, 모니터링 등 지속적이고 체계적인 연구가 이루어져야 할 것이다.



<그림 4-6> 기후변화가 제주도 수자원(지하수)에 미치는 영향

앞으로의 수자원 관리 방향에 있어서 기후변화의 평가, 기온상승과 해수면 상승에 의한 지하수 함양량 및 수문요소(강수량, 증발산량, 직접유출량, 용천수량 등)에 관한 지속적인 모니터링 및 모니터링 지점 확대, 지하수 관측망 및 해수침투 관측망의 확대 및 관리, 적극적 지하수 인공함양 방법에 관한 연구, 유역 단위의 지하수질 보전관리 방안 등에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 제주도와 같은 도서지역에서는 기후변화에 대한 수자원의 취약성이 큰 것으로 나타난다. 수자원 수요를 충족시키기 위해서는 적극적 지하수 자원확보 방안으로서 대용량 지하수 자원 확보를 위한 연구와, 저류지 활용 지하수 인공함양 등의 연구가 필요하며, 바다로 흘러나가는 수자원인 용천수 및 하천수 유출량 관리에 대한 연구도 필요하다. 가용한 지하수 자원확보를 위해서는 지하수 수질에 대한 영향도 고려해야 하며, 기후변화에 따른 유역별 수질관리방안 연구도 필요할 것으로 판단된다.

4-2. 대체수자원의 새로운 패러다임

대체수자원이라는 용어에 대하여 사전적, 학문적, 법적으로 정의를 내린 사례는 없다. 다만, 일반적으로 대체수자원이란 “댐 용수, 하천 표류수, 지하수 등을 통한 전통적인 수자원 확보가 아닌, 기타 다른 인위적인 방법으로 신규로 확보된 수자원”으로 통용되고 있다. 우리나라는 최근까지도 지속가능한 수자원으로써 대체수자원에 대한 인식이나 여건이 미흡하여 대체수자원을 이용하고자 하는 노력이 부족하였을 뿐만 아니라 이에 명확한 개념조차 정립하지 못한 상태였다.

물론 상수도망이 보급되기 전에는 빗물을 주로 생활용수로 이용하였으나, 경제성장에 따른 도시화 및 산업화에 따른 상수도망이 갖춰진 이후에는 빗물을 획일적인 우수관거 시스템인 하수도나 차집관거 등을 통해 하천으로 일시에 유출시켜 하천이나 댐 등에 저류 저장함으로써 홍수 예방이나 갈수시를 대비하는 개념으로 빗물을 활용하였다. 그러나 선진외국의 경우는 20세기 초반부터 대체수자원을 지역적·사회적 여건 등을 고려하여 활발히 개발·이용하고 있다. 미국은 1980년대 초반에 기존의 지표수나 지하수가 아닌 인위적인 수단을 통해 이용 가능한 수자원으로 변환시켜 이용하는 방법을 대안수자원(alternative water-resource)으로 규정하여 관리하고 있다.

대체수자원의 의미는 각 시대의 경제·사회적 여건과 지형·기후적 특성에 따라 계속 변화하여 왔는데, 최근의 대체수자원은 여유 수자원의 확보 뿐만 아니라 홍수 예방 및 환경생태계의 파괴를 최소화하는 자원의 의미로 인식되고 있다. 그러나 대체수자원의 체계적인 개발·이용 및 관리를 위한 제도적 수단 마련은 20세기 후반 기상변화에 따른 전 지구적인 홍수피해의 증가, 가뭄현상 빈발 및 물의 오·남용에 따른 물 순환체계 붕괴 등으로 많은 나라들이 이를 해결하기 위한 방안으로 대체수자원에 대한 인식을 높여가면서 부터였다. 최근에는 기술의 발전 및 생태환경의 보전에 대한 욕구 등으로 대규모 시설에 따른 비효율적인 수자원 확보 방안보다는 지역이나 지형의 특성을 감안한 물부족과 홍수예방을 동시에 이룰 수 있는 대체수자원을 개발하고자 하는 활발한 노력을 진행하고 있다.

이러한 여건들을 감안하여 향후 대체수자원은 “기존의 용수공급 방식이 아닌 지역적인 여건을 고려한 새로운 방법으로 수자원을 개발·이용하는 이수기능, 집중호우 시 빗물의 유수·저류를 통한 홍수 예방의 치수 기능, 빗물을 지하로 침투시켜 물의 자연 순환체계를 보전·복원하여 지하수를 인공적으로 함양하여 생태계 기능을 증진하는 환경 기능 등을 포괄적으로 통합하는 개념”의 새로운 패러다임을 구축하여 관리할 필요가 있다.

현재 우리나라의 대체수자원과 관련한 인식은 선진 외국과 비교할 때 아직은 상당히 미흡한 수준으로 시설 설치에 대한 지침이나 기술 개발 등은 기초적인 단계를 벗어나지 못하고 있다. 현재 한국건설기술연구원 등에서 수자원의지속적확보기술개발사업단의 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 “우수 저류 및 활용 시스템의 적용” 등 빗물에 대한 기술 관련 연구를 연차적으로 수행하고 있다. 그러나 이들 연구의 주안점은 주거단지나 학교 등의 건축물에 빗물이용시설 설치를 위한 기초적인 설계지침이나 설치기준 등과 같은 기술적인 부문에 한정되어 있다. 또한, 한국수자원공사에서는 우리나라 전역을 대상으로 해수담수화, 지하댐, 강변여과수를 적용하기 위한 입지 조사를 실시하였다. 그러나 이에 대한 기술적·경제적 타당성 분석은 아직 미흡한 수준에 머물러 있는 수준이다. 대체수자원은 대규모 시설물이 아닌 지역별 특성에 따라 건설되어 이용되는 자원으로 비록 대규모로 수자원을 공급할 수는 없으나, 지역의 요구에 따라 소규모로 개발이 가능하므로 지역의 상습적인 물 부족을 해결할 수 있고 또한 환경훼손 범위가 적어 자연생태계를 보전하는 등 이수·치수·환경 기능을 갖는 지속가능한 수자원이다.

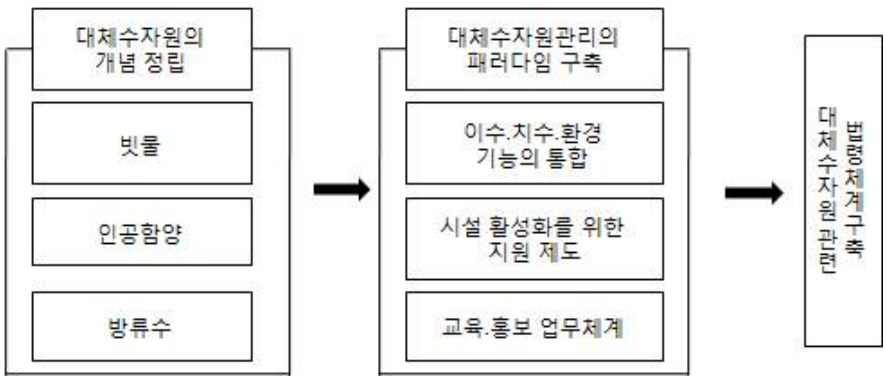
대체수자원시설이 지역적으로 적절하게 필요한 장소에 설치되면 연안·도서지역의 주민들에게 안정적으로 용수를 공급하여 그동안 소외된 모든 국민이 균등한 삶의 질을 누릴 수 있는 권리를 부여할 수 있다.

이처럼 규모에 비하여 다양한 기능을 갖는 대체수자원을 보다 활발히 개발·이용하기 위해서는 이들 시설물 개발에 대한 기술개발이나 설치에 대한 재정적 지원 등의 제도 마련이 필요하다. 이와 더불어 편리한 상수도망에 의존하고 있는 일반인·학생 등을 대상으로 대체수자원에 대한 중요성 및 대체수자원의 이용 효과 등을 알릴 필요가 있는데 이를 책임지고 교육·홍보를 담

당할 조직도 함께 마련할 할 필요가 있다.

즉, 지속적인 산업발전을 보장하기 위한 댐이나 상하수도 건설에 따른 환경 훼손의 문제점 및 공공요금으로 책정되어 생산원가 이하로 공급되는 상수도 요금 체계 하에서 일반인들이 별다른 의식 없이 행하는 생활용수의 오·남용 문제 등에 대한 인식 전환을 도모하여야 할 것이다.

따라서, 향후 대체수자원 관리는 빗물, 인공함양, 하수처리장 방류수 등 하나의 틀 내에서 이수·치수·환경 기능을 함께 아우르는 새로운 패러다임에 입각한 제도적 수단으로 법률적 체계를 마련하여야 한다. 구체적인 내용에 있어서는 대체수자원을 구성하는 각 수단별 기능 등을 통합하는 새로운 패러다임에 입각한 대체수자원의 개념 정립과 시설 활성화를 위한 기술개발 및 지원 등의 제도 마련 그리고 대체수자원의 중요성을 알리기 위한 조직체계도 담을 필요가 있다.



<그림 4-7> 대체수자원의 새로운 관리체계

4-3. 농업용수 개발·이용·관리방향 전환

최근 제주도의 농업형태는 종전 식량작물 및 노지감귤 중심에서 시설 원예·특작·노지채소 중심으로 빠르게 전환되고 있다. 이로 인하여 농업용수 수요량이 꾸준히 증가하고 있으며, 기후변화로 인한 집중호우나 장기적인 가뭄으로 인해 현재 농업용수의 공급체계로는 용수 수요를 충족시키기가 어려운 실정이다. 특히, 기후변화와 농업활동은 불가분의 관계이기 때문에 농업용수의

공급체계에 대한 새로운 전환이 시급한 실정이다. 따라서, 농업용수 개발·이용·관리방향을 전환하기 위한 방법으로는 첫째, 소규모 급수구역 및 급수시설체계를 탈피하여 관로 연계, 저수조 확대 및 대체수원과의 연계를 통해 가능한 권역별 농업용수 공급체계망 구축을 모색하여 농업용수 효율성을 증대할 필요가 있다. 둘째, 기존 소규모 배수조의 용량확대를 통해 저수 및 수압 조절 기능을 확보할 필요가 있다. 또한, 사설관정이 밀집된 지역에 대해서는 효율적인 물 이용과 용수의 균형분배를 위해 사설 농업용 관정을 과감히 정비하면서 대체 공공 용수원 개발이 필요하다.

농업용 공공 관정의 경우 작물생육기와 가뭄시에만 관정을 가동하므로 허가량 대비 실이용 비율은 22%에 불과하고 사설관정 또한 공공관정과 동일하게 용수패턴으로 이용되고 있다. 이러한 물공급 패턴을 보다 체계적으로 용도별 적정 취수허가량 산정방법에 대한 연구를 통해 허가 기준을 용도별로 조정할 필요가 있다. 셋째, 기존 농업용수의 소용량·분산 개발방식을 가능한 대용량·군집 개발방식으로 전환한다. 넷째, 지하수 위주의 농업용수 개발에서 탈피하여 지표수 및 대체수자원을 우선 개발·이용하는 방향으로 농업용수 개발계획을 수립한다. 다섯째, 기존 수리계 중심의 관리체계에서 농업용수 권역화에 필요한 관리체계로 개선하고 권역화 사업의 효율적인 추진을 위해 농업용수 개발·관리·운영주체를 일원화하는 방향으로 관리체계를 개선한다.

Ⅴ. 기후변화 대비 수자원의 향후과제

기후변화로 인해 기온의 증가는 유역의 증발산량을 증가시킬 수 있으며, CO_2 등의 온실가스의 증가는 식생 종류를 변화시킬 것으로 판단된다. 한국환경정책평가연구원에 따르면 기후변화로 인해 우리나라의 침엽수비율이 줄고, 활엽수가 증가할 것으로 전망하고 있다. 이것은 증발산의 양적 변화 뿐만 아니라 계절변화도 동반할 것으로 예상하고 있다. 따라서 기후변화에 따른 유역의 증발산량의 변화를 정량적으로 평가하기 위해서는 기온의 변화 뿐만 아니라 식생의 변화도 고려되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 유역의 증발산량 추정방법의 신뢰성을 향상하는 것도 필요하다.

기후변화로 인해 더 따뜻해지고 건조해짐에 따라 농업, 가정 및 산업분야에서 물수요는 증가할 것이고, 그 결과 수요와 공급의 불균형이 나타날 수도 있다. 따라서 기후변화에 따른 수자원의 영향평가를 통해 수자원의 수요와 공급측면에서 발생할 수 있는 취약성을 평가하고 대응책을 마련하는 것이 필요하다. 특히 가뭄과 홍수에 관한 취약성은 지역 사회에 큰 피해를 일으킬 수도 있으므로 지역별 취약성 평가를 통해 효과적인 정책을 수립해야 한다.

기후변화에 따른 유출의 평균적 및 극한적 상황의 변화는 미래 수자원 공급의 지리적·시간적 불균형을 가중시킬 것으로 예상되므로 이에 따른 사회경제적 영향을 정량화하는 것이 필요하다. 또한 수자원 정책개발은 후속세대의 지속가능한 성장과 밀접한 관련이 있으므로 미래의 변화하는 환경에 대비한 탄력적인 수자원 공급전략을 수립하는 것이 요구된다. 세계 여러 선진국 및 개도국에서는 기후변화에 대비한 수자원 영향을 평가하고 이를 정책에 반영하려는 노력이 대두되고 있어, 이러한 정책관리의 실태를 파악하여 제주도 수자원 정책방향을 설정하는 것이 절실히 요구된다. 특히 기후변화에 따른 유출의 평균적 및 극한적 상황의 변화는 미래 수자원 공급의 지리적·시간적 불균형을 가중시킬 것으로 예상되므로 제주지역의 특성에 맞는 맞춤형 수자원 정책이 개발되어야 한다.

참고문헌

건설교통부, 2006, 대체수자원 확보에 관한 연구

고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수 관리, 제주도광역수자원관리본부

수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2008, 기후변화 수자원 영향평가 기법 및 한반도 영향평가.

수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2005, 캘리포니아 Water Plan Update 2005.

서울시정개발연구원, 2008, 기후변화에 대응한 서울시 물관리 전략, 정책리포트, 제10호

제주도, 한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3)

제주도, 2004, 제주국제자유도시특별법령집

제주도광역수자원관리본부, 2004, 제주도지하수 관련 법령집

Asano T. 1985, Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers, Boston, MA

Bouwer, H. 1978, Groundwater Hydrology, McGraw-Hill Book Co., New York, New York

Fox P. 1999, Advantages of Aquifer Recharge for a Sustainable Water Supply, Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas-Innovative Ways of Finding Water for Cities, UNDP

People's Daily, 2003, China : Cities sinking due to excessive pumping of groundwater

T. Shah, D. Molden, R. Sakthivadivel, D. seckler, 2000, The Global Groundwater Situation : Overview of Opportunities and Challenges, International Water Management Institute

Todd, D.K. 1980, Groundwater Hydrology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, New York

연 구 진		
연구책임	**박 원 배**	제주발전연구원 선임연구위원
연 구 원	**고 기 원**	환경자원연구원 물산업육성부장
연 구 원	**강 봉 래**	환경자원연구원 수자원연구과 연구원
자문위원	**김 진 희**	한국농촌공사 제주지역본부 차장
자문위원	**하 규 철**	한국지질자원연구원 선임연구원

Jeju Water Vision 203 수립을 위한 기초연구

인쇄일 / 2008. 10.

발행일 / 2008. 10.

발행인 / 허 향 진(제주발전연구원장)

발행처 / 제주발전연구원

인쇄처 / 일신옵셋인쇄사

ISBN 978-89-6010-069-5 93530

□ 이 책에 실린 내용은 出處를 밝히는 한 자유로이 引用할 수 있으나 無斷轉載나 複製는 금합니다.