

21세기를 대비한  
제주도 지하수의 관리방향

고 기 원

(제주도수자원개발사업소, 이학박사)

박 원 배

(제주발전연구원, 공학박사)

# 차 례

|  |    |
|--|----|
| I. 서 언 .....                               | 2  |
| II. 지하수 부존 및 이용현황과 전망 .....                | 4  |
| 2-1. 제주도의 물 수지 .....                       | 4  |
| 2-2. 수자원개발 · 이용현황 .....                    | 5  |
| 2-2-1. 지하수 관정 .....                        | 5  |
| 2-2-2. 용천수 .....                           | 7  |
| 2-2-3. 상수도 현황 .....                        | 8  |
| 2-2-4. 사설 지하수 이용현황 .....                   | 9  |
| 2-3-1. 지하수환경의 변화추세 .....                   | 10 |
| 2-3-2. 21세기 지하수 전망 .....                   | 12 |
| III. 21세기 지하수 관리방향 .....                   | 14 |
| 3-1. 제주도 수문지질의 규명 .....                    | 14 |
| 3-1-1. 수문층서의 설정 .....                      | 14 |
| 3-1-2. 지하수 적정 개발량의 보완 .....                | 15 |
| 3-1-3. 지하수위 · 수질 · 이용량에 대한 지속적인 모니터링 ..... | 16 |
| 3-1-4. 지하수 순환시스템 규명 .....                  | 17 |
| 3-1-5. 지하수 정보관리시스템의 구축 · 운영 .....          | 18 |
| 3-2. 지하수의 체계적 개발 · 이용 .....                | 19 |
| 3-2-1. 장기적인 지하수 이용계획의 수립 .....             | 19 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3-2-2. 지표수 및 용천수의 이용확대 .....   | 20 |
| 3-2-3. 지하수 함양량 증대사업의 추진 .....  | 20 |
| 3-3. 지하수 관리체계의 강화 .....        | 21 |
| 3-3-1. 지하수 개발·이용허가제도의 보완 ..... | 21 |
| 3-3-2. 지하수의 공동이용 .....         | 22 |
| 3-3-3. 지하수 과다개발지역의 특별관리 .....  | 23 |
| 3-3-4. 지하수 원수대금제도의 개선 .....    | 23 |
| 3-3-5. 지하수 이용자의 의무사항 확대 .....  | 24 |
| 3-4. 지하수의 수질관리 .....           | 24 |
| 3-5. 지하수 보전프로그램의 시행 .....      | 25 |
| <br>                           |    |
| IV. 결 언 .....                  | 26 |

참고문헌

## I. 서 언

천혜의 자연경관과 온화한 기후, 독특한 생활문화를 지니고 있는 제주도는 '80년대 이후부터 본격적으로 추진된 관광지 개발사업에 의해 연간 약 400만명의 관광객들이 찾아오는 명실상부한 관광도시로 발돋움하고 있다. 특히, '99년에 들어서서는 친환경적 국제자유도시 건설을 목표로 한 『제주 국제자유도시에 관한 타당성 조사 및 종합계획』 수립용역을 시행 중에 있어 제주도를 세계적인 관광명소로 발전시키기 위한 국가차원의 프로젝트가 추진되고 있다. 이처럼 제주도가 현재와 같은 관광도시로 발전할 수 있었고 또한, 21세기 동북아의 거점도시로 육성시키기 위한 국제자유도시 건설계획을 수립할 수 있는 저력은 천혜의 수려한 자연환경과 풍부하고 깨끗한 지하수를 기반으로 하고 있음은 부인할 수 없는 사실일 것이다.

그러나, UN을 비롯한 세계적인 수자원 전문연구기관들이 바라보는 21세기 지구촌의 수자원 여건은 그렇게 낙관적이지 못하다. 1999년 2월 8일 스위스 제네바에서 열린 『물 부족 해결을 위한 국제회의』에서 유네스코 및 세계기상기구는 “현재 물 부족사태를 겪고 있는 국가는 25개국이지만, 2025년에는 34개국으로 늘어날 전망이다, 2050년에는 전 세계인구의 13~20%가 식수난에 시달릴 것”으로 예상한 바 있다. 특히, “20세기의 자원전쟁이 주로 ‘석유’ 때문이었다면, 다음 세기는 ‘물’이 재앙이 씨앗이 될 것”이라고 전망하고 있다. 이러한 비관적인 전망은 세계인구의 폭발적 증가와 함께 갈수록 심화되고 있는 환경오염으로 인해 인구증가에 따른 물 수요를 충족시키지 못할 것이라는 분석에서 연유하는 것이라 하겠다.

제주도의 경우도 상주인구를 비롯한 관광객 및 생활편의 시설 등이 꾸

준히 증가해 왔을 뿐만 아니라, 지하수를 둘러싸고 있는 환경도 급격히 변하여 왔다. 상주인구는 '70년 365,522명에서 '97년 528,360명으로 27년 사이에 약 1.4배 증가하였을 뿐 아니라, 관광객수도 '70년 244,847명에서 '97년 4,143,955명으로 약 17배가 증가하였다(제주도 통계연보, 1971, 1998). 이와 같은 제주도의 발전은 물 사용량의 현저한 증가를 가져와 상수도 급수량이 '70년 2,374톤/일에서 '97년 118,914톤/일으로 약 50배 증가하였고, 지하수 관정은 제주도개발특별법 제정('91. 12. 31) 이전에 약 3,800개 이상이 개발되었다. '88년을 기점으로 제주도의 상수도 보급율이 99.9%가 되므로서 물 문제가 완전 해결되는 전기는 이룩되었으나 제주지하수에 대한 재조명을 통해 『물의 재발견』을 이룩해야 한다는 시대적 과제가 다가서 있다. 그 동안 전개되어 온 양적 개발위주의 지하수정책의 과감한 전환과 함께 지하수에 관한 제반 통계와 현상을 보다 명확히 하기 위한 체계적인 조사·연구가 요구되고 있다. 지하수 관리는 『수량·수질·조직·기술(연구)』이라는 4가지 요소의 조화를 필요로 한다. 관리기술(연구)은 수량과 수질을 관리하는데 필요한 기초정보를 제공하여 줄뿐만 아니라, 관리방향을 제시하여 줄 수 있기 때문에 선행되어야 할 중요한 과제이다. 지하수의 부존실체를 보다 체계적으로 밝혀내고 지하수체의 평형을 깨뜨리지 않는 적정 범위에서 지하수를 이용하기 위한 제도를 개발하여 효율적으로 이용하는 것이 곧 지하수 관리의 궁극적인 목적이라 할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 21세기를 대비한 제주도의 주요 지하수관리 정책방향에 대하여 논의하고자 한다.

## Ⅱ. 지하수 부존 및 이용현황과 전망

### 2-1. 제주도의 물 수지

제주도는 내륙지방보다 약 600mm가 많은 연평균 1,872mm(한국수자원공사, 1993)의 비가 내리는 다우지(多雨地)이다. 농어촌진흥공사와 수자원공사의 분석결과에 의하면(표 1), 제주도에 내리는 연간 총 강수량은 3,385백만 m<sup>3</sup> ~ 3,516백만 m<sup>3</sup>의 범위이고 하천이나 지표수를 통하여 바다로 유출되는 직접유출량은 총 강수량의 19~20%에 해당하는 638백만 m<sup>3</sup>/년 ~ 703백만 m<sup>3</sup>/년이다. 또한 증발산작용을 통해 대기중으로 손실되는 증발산량은 직접유출량보다 많은 총강수량의 33~37%이고, 지하수 함양량은 총강수량의 44~46%인 1,494백만 m<sup>3</sup>/년 ~ 1,542백만 m<sup>3</sup>/년의 범위이다.

표 1. 제주도의 물 수지

| 구 분                  | 산업기지개발공사<br>(1981) | 농어촌진흥공사<br>(1989)  | 한국수자원공사<br>(1993)  |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 총 강 우 량<br>(백만톤/년)   | 3,385<br>(1,870mm) | 3,516<br>(1,918mm) | 3,388<br>(1,872mm) |
| 직 접 유 출 량<br>(백만톤/년) | 703<br>(21%)       | 703<br>(20%)       | 638<br>(19%)       |
| 증 발 산 량<br>(백만톤/년)   | 1,104<br>(33%)     | 1,183<br>(34%)     | 1,256<br>(37%)     |
| 지하수함양량<br>(백만톤/년)    | 1,542<br>(46%)     | 1,630<br>(46%)     | 1,494<br>(44%)     |

제주도 지하수의 적정개발 이용 가능량 즉, 지하수자원의 보전·관리와 지역별 균형개발, 해수침투 및 지하수위의 과도한 하강 등 지하수의 장애 없이 이용 가능한 적정 개발 가능량(sustainable yield)은 연간 지하수 함양량 1,494백만 m<sup>3</sup>의 41%에 해당하는 616백만 m<sup>3</sup>인 것으로 제시되었다(표 2). 이를 지역별로 보면 동부지역이 737천 m<sup>3</sup>/일, 서부지역 331천 m<sup>3</sup>/일, 남부지역 286천 m<sup>3</sup>/일, 북부지역 335천 m<sup>3</sup>/일으로서 동부지역이 가장 많고 남부지역이 최소치를 보이고 있다. 1998년말 현재 제주도의 지하수 개발량은 적정 개발량의 42%인 1일 711천톤이 개발되어 있다.

표 2. 제주도의 지역별 지하수 적정개발 가능량

(단위 : 천톤/일)

| 지역별  | 지하수 함양량 | 적정 개발량     | 기개발량     | 비 고         |
|------|---------|------------|----------|-------------|
| 계    | 4,093   | 1,689(41%) | 711(42%) | '98.12.31현재 |
| 북부지역 | 657     | 335        | 192      | 제주~애월       |
| 남부지역 | 820     | 286        | 113      | 서귀~안덕       |
| 서부지역 | 570     | 331        | 195      | 한림~대정       |
| 동부지역 | 2,046   | 737        | 211      | 조천~남원       |

## 2-2. 수자원개발 · 이용 현황

### 2-2-1. 지하수 관정

1998년말 현재 제주도내에는 총 4,176개소(염지하수 623공 제외)에 1일 711천 m<sup>3</sup>의 지하수가 개발되어 지하수 적정개발량의 42%가

개발되어 있다(표 3참조). 이들 지하수관정 중 상수도 등 공공목적  
으로 개발된 것이 577개소이고, 사설관정은 전체의 86%에 해당하는  
3,599개소이지만 개발량 측면에서 보면, 공공용 관정이 437천 m<sup>3</sup>/일으  
로 전체의 61%를 차지하고 있어 사설관정 대부분이 개발량이 작은  
소규모 관정임을 알 수 있다.

용도별로 보면, 농축업용이 2,638개소(344천 m<sup>3</sup>/일)로 전체 개발공  
수의 63%를 차지하고 있고, 생활용은 1,307개소(326천 m<sup>3</sup>/일), 공업  
및 기타용은 231개소 41천 m<sup>3</sup>/일이다. 지역별로 보면, 제주시가 868  
개소이고 서귀포시 1,010개소, 북제주군과 남제주군지역이 각각 657  
개소와 1,641개소로서 남제주군지역이 가장 많이 개발되어 있다. 생  
활용 관정은 인구가 밀집해 있는 제주시 지역이 680개소(105천 m<sup>3</sup>/  
일)로 가장 많으며, 남제주군 지역은 168개소(83천 m<sup>3</sup>/일)로 최저치를  
나타내고 있다.

표 3. 지하수 개발·이용 현황

(단위 : 공, 천m<sup>3</sup>/일)

| 구 분    | 계     |     | 공 공 용 |     | 사 설   |     |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|        | 공수    | 개발량 | 공수    | 개발량 | 공수    | 개발량 |
| 계      | 4,176 | 711 | 577   | 437 | 3,599 | 274 |
| 생 활 용  | 1,307 | 326 | 271   | 243 | 1,036 | 83  |
| 농축업용   | 2,638 | 344 | 306   | 194 | 2,332 | 150 |
| 공업·기타용 | 231   | 41  | -     | -   | 231   | 41  |

※ 염지하수 623공 2,805천톤/일



## 2-2-2. 용천수

제주도의 해안지역과 고지대의 곳곳에 분포하고 있는 용천수는 지하의 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 지하수이다. 표 4는 제주도수자원개발사업소에서 '98. 2~'99. 10월까지 도 전지역에 분포하는 용천수에 대한 현황조사를 실시한 결과이다. 도내 용천수는 모두 911개소인데, 해발 200m 이하에 전체 용천수의 92.1%에 해당하는 839개소가 분포해 있으며, 해발 200~60m의 중산간지대에는 전체의 5.6%에 해당하는 51개소가 분포하고, 해발 600m 이상의 고지대에는 21개소(2.3%)가 분포하고 있어 용천수의 대부분은 해안저지대에 편중된 분포를 하고 있음을 알 수 있다. 681개소의 평균 용출량 합계는 1,083,669m<sup>3</sup>/일이고 최대 용출량은 1,617,356m<sup>3</sup>/일이며, '98년말 현재 상수원으로 총 20개소가 개발되어 1일 평균 112,323m<sup>3</sup>을 먹는물로 급수되고 있다.

표 4. 제주도의 용천수 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 | 142 | 109        | 25       | 8        |
| 서귀포시  | 168 | 151        | 12       | 5        |
| 북제주군  | 398 | 378        | 14       | 6        |
| 남제주군  | 203 | 201        | -        | 2        |

### 2-2-3. 상수도 현황

1970년대 이전까지만 하여도 제주도는 상수도 보급이 전국에서 가장 낙후된 지역 중의 한 곳이었으나 '70년대 초반부터 관정과 용천수개발이 본격적으로 진행되어 '98년말 현재는 상수도 보급율이 99.9%로 전국 최고를 자랑하고 있다. 상수원은 용천수원 20개소(어승생수원 포함), 지하수 관정 222개소, 저수지 5개소(추자 및 우도) 등 총 247개소이고, 전체 시설용량은 341,350m<sup>3</sup>/일이다(표 5참조). 제주도에서는 용수공급의 지역간 불균형을 해소하고 도 전역을 단일 급수체계로 구축하기 위하여 “제주도 광역상수도 건설사업”을 1·2단계로 나누어 추진하고 있다. 1단계사업에서는 1일 145천톤의 용수를 개발하여 동부지역에 공급하게 되는데 2000년까지 완료하게 된다. 2단계사업은 서부지역을 대상으로 1일 100천톤의 용수를 개발·공급하는 사업으로서 2000년부터 기본 및 실시설계용역이 추진하게 된다.

표 5. 제주도의 상수도 시설현황

(’98. 12. 31 현재)

| 수원별   | 지구수   | 총인구      | 급수인구     | 시설용량                     | 급수량                      |
|-------|-------|----------|----------|--------------------------|--------------------------|
| 계     | 247개소 | 534,715인 | 534,561인 | 341,350m <sup>3</sup> /D | 172,414m <sup>3</sup> /D |
| 용천수   | 19    | 310,491  | 310,450  | 181,550                  | 99,252                   |
| 지하수   | 222   | 201,831  | 201,749  | 137,400                  | 59,329                   |
| 어승생수원 | 1     | 17,014   | 17,014   | 21,450                   | 13,329                   |
| 저수지   | 5     | 5,379    | 5,348    | 950                      | 504                      |

'98년 현재 제주도의 1일 급수량은 172,414m<sup>3</sup>이며 1인 1일당 평균 급수량은 전국 평균 409ℓ 보다 낮은 323ℓ 이다(표 6참조). 그렇지만, 사설 지하수 관정을 포함한 실질적인 제주도의 1인 1일당 물 사용량은 전국평균보다 높을 뿐만 아니라, 영국·일본(395ℓ), 프랑스·핀란드(300ℓ), 독일(233ℓ) 등의 선진국보다도 훨씬 많은 실정이다.

표 6. 제주도의 급수현황('98. 12월 현재)

| 구 분              | 평 균   | 제 주 시 | 서귀포시 | 북제주군 | 남제주군 |
|------------------|-------|-------|------|------|------|
| 급 수 량<br>(1인 1일) | 323ℓ  | 341   | 345  | 282  | 287  |
| 보 급 율            | 99.9% | 100   | 99.9 | 99.9 | 99.9 |

※ 전국평균 : 409ℓ (특·광역시 443, 일반시 380, 군지역 308)

#### 2-2-4. 사설 지하수 이용현황

표 7는 제주도개발특별법에 의해 부과되고 있는 지하수 원수대금 부과대상 업종별 지하수 이용현황을 나타낸 것이다. 부과대상 20개 업종에서 1일 지하수 총 사용량은 약 29,000m<sup>3</sup>이다. 이들 업종 중 관광숙박업·목욕장업·골프장·숙박업·공장(연중 가동업소) 등 5개 업종이 전체 이용량의 82%에 해당하는 24,000m<sup>3</sup>을 사용하고 있다. 그렇지만, 1일 평균 사용량 측면에서 보면, 골프장·관광숙박업·먹는샘물 제조업·주류제조업·관광객이용시설업이 62~385m<sup>3</sup>/일의 지하수를 사용하고 있다.

표 7. 업종별 지하수 이용량 분석

(단위: m<sup>3</sup>/일)

| 용도          | 업소수 | 년사용량<br>합계 | 일평균<br>사용량 | 1일<br>총사용량 |
|-------------|-----|------------|------------|------------|
| 관광숙박업       | 43  | 2,642,981  | 168        | 7,224      |
| 목욕장업        | 125 | 2,339,473  | 51         | 6,375      |
| 체육시설업용(골장프) | 11  | 1,543,779  | 385        | 4,235      |
| 숙박업         | 262 | 1,240,817  | 13         | 3,406      |
| 공장(일반)      | 72  | 1,011,994  | 39         | 2,808      |
| 식품접객업(염지하수) | 22  | 306,559    | 38         | 836        |
| 식품제조가공(일반)  | 28  | 299,530    | 29         | 812        |
| 식품접객업(일반)   | 101 | 295,604    | 8          | 808        |
| 관광객이용시설     | 11  | 248,044    | 62         | 682        |
| 체육시설업용(일반)  | 17  | 229,592    | 37         | 629        |
| 의료시설업       | 16  | 121,859    | 21         | 336        |
| 시장도소매업      | 12  | 97,729     | 22         | 264        |
| 주류제조업       | 3   | 87,535     | 80         | 240        |
| 세차장업        | 35  | 74,132     | 6          | 210        |
| 공장(계절)      | 8   | 74,664     | 26         | 208        |
| 세탁업         | 8   | 67,407     | 23         | 184        |
| 먹는샘물제조업     | 1   | 55,982     | 153        | 153        |
| 위생처리업       | 4   | 31,372     | 21         | 84         |
| 자동차정비업      | 12  | 18,424     | 4          | 48         |
| 식품보존업       | 1   | 994        | 3          | 3          |

### 2-3. 지하수환경 전망

#### 2-3-1. 지하수환경의 변화추세

제주도통계연보(1971, 1998)의 자료를 이용하여 지하수가 본격적으로 개

발·이용되기 시작한 '70년 이후 지하수환경에 영향을 미칠 수 있는 인자들의 변화추세를 분석하였다.

지하수의 함양에 영향을 미치는 인자의 변화 추세를 보면, 도시계획구역의 면적의 경우 '80년 320.629km<sup>2</sup> 이었으나 '97년 395.150km<sup>2</sup>로서 제주도 전체 면적의 약 22%가 도시계획구역이 차지하고 있다. 또한, 농지면적의 경우 '70년 43,625 ha이었으나 '97년 56,315 ha로 12,690 ha 증가하였다. 아울러, '70년 123.7km에 불과하던 도로 연장이 '97년 2,528.6km로 약 20배 증가하므로써 지표수의 유출율이 증가 및 유로변경, 불투수성 면적의 증가를 초래하고 하고 있다.

물 사용량에 관련된 주요인자의 변화 추세를 보면, 제주도의 인구는 '70년 365,522명에서 '97년 528,360명으로 27년 사이 약 1.4배 증가하였고, 관광객수는 '70년 244,847명에서 '97년 4,143,955명으로 약 17배 증가하므로써 상수도 급수량이 '70년 2,374톤/일에서 '97년 118,914톤/일으로서 약 50배 증가하였다. 또한, 주민의 생활수준이 향상되면서 '80년 65개소에 불과 하던 목욕장수가 '97년 165개소로 100개소 증가하였으며, 숙박업소(관광호텔 포함)는 '70년 183개소(1,820실)에서 '97년 661개소(4,751실)로 약 3.6배 증가하여 물 이용량이 급격한 증가를 가져오고 있다.

수질오염과 관련된 주요인자의 변화 추세를 보면, 가축 사육두수는 돼지의 경우, '70년 60,296마리에서 '97년 257,167마리로 약 4배 증가하였는데, 이를 분뇨 배출량으로 환산하면, '70년 301톤에서 1,286톤으로 증가한 셈이 된다. 소(한우와 젃소 포함)의 경우는 '70년 45,018두에서 '97년 39,052두로 약 6,000두 감소하였으며, 화학비료 사용량은 '70년 26,222톤에서 '97년 55,133톤으로 약 2배 증가하였다.

### 2-3-2. 21세기 지하수 전망

21세기 제주도는 국제자유도시로 비약적인 발전을 이룩할 것으로 예상되고 있어 이에 따른 물 사용량이 현저한 증가가 예상된다. 즉, 국제자유도시 조성으로 상주 및 유동인구의 증가, 관광관련 각종 편의시설의 증가 등 물 수요가 현재보다 현저히 증가할 것으로 전망된다. 참고로 하와이주 오아후도의 경우, 관광객을 포함해 인구가 908천명인데, 상수도 시설용량은 약 600천톤/일 이고, 급수량은 524천톤/일에 이르고 있다. 이에 비해 제주도는 '98년 급수인구가 528천명이며, 상수도 시설용량은 338천톤/일이고, 급수량은 186천톤/일에 불과한 수준이다.

국제인구행동연구소(PAI)의 계산방법 의해 제주도의 과거와 장래의 1인당 연간 물 이용 가능량을 산출한 결과는 표 8과 같다.

표 8. 제주도의 1인당 연간 물 이용 가능량 변화 추정

(톤/년)

| 구 분                         | 1970    | 1980    | 1990    | 2001    | 2010    | 2020    |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 인 구(명)                      | 365,522 | 462,755 | 514,608 | 531,450 | 551,300 | 573,340 |
| 총강수량 기준<br>(3,388백만톤/년)     | 9,269   | 7,321   | 6,584   | 6,375   | 6,145   | 5,909   |
| 총강수량 - 증발산량<br>(2,132백만톤/년) | 5,833   | 4,607   | 4,143   | 4,012   | 3,867   | 3,718   |
| 지하수 함양량 기준<br>(1,494백만톤/년)  | 4,087   | 3,228   | 2,903   | 2,811   | 2,710   | 2,606   |
| 지하수 적정개발량 기준<br>(616백만톤/년)  | 1,685   | 1,331   | 1,197   | 1,159   | 1,117   | 1,047   |

PAI는 연간 총강수량 중 증발산량을 제외한 수량을 이용 가능량으로 보고 이 양을 총인구수로 나눈 값을 1인당 이용 가능량으로 하였는데 PAI의 계산방식에 의하면, 제주도는 2020년(573,340명) 1인당 연간 물 이용 가능량이 3,718톤으로 물 풍요 국가군에 포함되지만 지하수 적정개발량을 기준으로 할 때는 1,047톤으로 물 부족 국가군에 속할 우려가 높다.

21세기 수자원 관리는 수량보다는 수질에 초점을 맞추어야 할 것으로 판단된다. 제주도의 경우, 육지부 처럼 대규모 공업단지나 폐수배출업소가 없기 때문에 유기화합물질에 의한 수질오염은 그리 우려할 바는 아니지만, 질산성질소·염소이온·일반세균·대장균군 등에 의한 오염 지하수 관정 및 용천수 점진적 증가 추세에 있어 이에 대한 대책이 요구된다. 또한, 화학비료와 농약의 과다사용에 따른 수질오염에 대해서도 특별한 관심이 요구된다. 수질오염에 효과적으로 대처하지 못할 경우, 상수원 이설(대체개발) 또는 정수처리 등 재정적 부담 증가 및 주민 위생위협 우려될 뿐만 아니라, 신규 수원개발 적지의 감소로 인한 수원개발 및 관리비용 부담이 크게 증가할 것으로 예상된다. 특히, 해발 200m 이하지역에는 지하수 관정 밀집개발 및 질산성질소 오염·염수침투 우려 등의 문제로 신규 상수원개발 적지 선정이 취약하며, 수원을 중산간지역에 설치할 경우, 관정개발 및 관리비용 증가할 수 밖에 없다. 다음으로 예상되는 문제점 중의 하나는 지하수 함양지역 면적 감소로 지하수 적정 개발량의 감소가 우려된다. 도시 확장·도로개발·초지개간 등에 의한 함양면적 감소 및 직접유출량 증가에 따른 적절한 대책이 필요하다.

### Ⅲ. 21세기 지하수 관리방향

제주도는 대륙과 격리된 지리적 특수성으로 인하여 섬내에서 발생하는 용수수요를 자체적으로 해결하지 않으면 안될 뿐만 아니라, 지속 이용 가능한 수자원도 지하수에 한정되어 있기 때문에 지하수의 합리적 개발·이용이 절대적으로 요구되는 특수한 지역이라 하겠다. 단적으로 표현해서 물이 없는 제주는 생명력을 상실한 죽은 섬이나 다름없기 때문에 지하수의 효율적 이용과 체계적 관리는 아무리 강조해도 지나침이 없을 것이다. 이 글에서는 21세기 제주도 지하수의 관리방향을 크게 수문지질에 대한 조사·연구와 지하수 관리제도의 개선에 초점을 맞춰 논의하고자 한다.

#### 3-1. 제주도 수문지질의 규명

##### 3-1-1. 수문층서의 설정

수문층서학(hydrostratigraphy)은 지층의 상대적인 투수성의 차이에 의해 암체를 세분하므로써 지하수의 부존 및 유동체계를 보다 명확하게 밝히기 위해 1964년 Maxey에 의해 처음으로 제창되었다. Maxey는 “지하수의 유동 관점에서 수리학적으로 구별되는 단위로 이루어진 암체”를 수문층서 단위(hydrostratigraphic unit)로 정의하였으며, Seaber(1998)는 “공극율과 투수성에 의해 구분되고 특성화시킬 수 있는 암체”를 수문층서 단위로 정의하였다.

광역적인 수문층서 단위를 설정하기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 조사·연구가 선행되어야 한다.

○ 지층의 전반적인 특성을 결정하기 위한 암석층서 및 퇴적층서의 정립



- 시추조사 및 지구물리검층 등을 통한 지하 지질분포 및 구조의 파악
- 대수층과 난투수층에 대한 실내 투수실험
- 대수층과 난투수층에 대한 현장 수리실험
- 암상별 유효공극율과 투수성의 비교
- 지구조운동과 속성작용 등 지사(地史)에 관한 정보

제주도의 지표 및 지하의 지질상태는 물론 구성암석의 물성에 관한 조사는 매우 미흡한 상태에 있다. 지하수가 저류(storages)할 수 있는 그릇의 규모와 질에 대한 내용이 밝혀지고, 수문층서가 정립되므로서 보다 세부적인 지하수체의 실체 규명도 가능해질 것이다.

### 3-1-2. 지하수 적정 개발량의 보완

이전에 실시된 제주도의 물 수지분석은 연구기관 마다 당시의 상황에서 가용할 수 있는 자료의 충분한 활용과 전문적인 판단 및 분석과정을 통하여 산출되었다고 할 수 있지만 물 수지분석에 필요한 기본자료(예 : 고지대 강수량, 하천유출량 관측자료 등)가 부족한 상태에서 이루어졌다는 지적이 나오고 있다. 제주도에서는 1994년 3월 지하수환경에 대한 조사계획을 수립하고, 이 계획에 따라 물 수지분석에 필요한 기본자료 수집을 위한 조사 및 관측사업 등을 지속적으로 추진하고 있어 보다 진일보한 물 수지 분석결과의 산출을 기대할 수 있게 되었다. 일례로 고지대 강수량 자료를 확보하기 위하여 중산간지역은 물론 1,100고지, 영실, 윗세오름 지역에서도 관측하고 있으며, 하천유출량도 '97년부터 9개 하천 14개소에 관측소를 설치하여 꾸준한 관측이 이루어지고 있다. 따라서, 제주도에서 추진하고 있는 기본조사 자료가 일정기간 축적되는 시점(최소 5년 이상)에서 1

차적인 물 수지분석을 실시하고, 2차적으로 10년 이상 관측된 자료를 이용하여 보완한다면 분석결과의 신뢰도를 크게 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 물 수지 분석을 실시함에 있어서는 다음과 같은 사항도 고려하므로써 현실적인 여건의 변화도 충분히 반영되어야 할 것이다.

- 토지이용 형태의 변화 및 적설량
- 콘크리트·아스팔트(도시지역, 도로 등) 등 불투수성 지역의 면적
- 지하수 인공함양 시설이 있는 경우, 인공 함양량
- 상수도 및 하수도 누수율
- 지하수 함양에 기여할 수 없는 해안변 지역의 면적

지하수 적정 개발량은 다음과 같은 공식에 의해 산출할 수 있다. 이 공식은 하와이 오아후도에서 지하수 적정 개발량을 산출하기 위해 사용하고 있는데, 1993년 한국수자원공사 제주도에 처음으로 적용하여 제주도 지하수의 적정개발량을 1일 1,689천톤인 것으로 제시한 바 있다.

$$D = I \{ 1 - (h/h_o)^2 \}$$

여기서 D : 양수량,                      I : 지하수 함양량

h : 개발 후 평형수두    h<sub>o</sub> : 개발 이전의 원래 수두

이 공식에 의거 지하수 적정 개발량을 산출할 때, 지하수 함양량이 변경되거나 지하수위 자료가 보완되는 경우에는 적정 개발량의 조정이 불가피하게 된다. 지하수위에 대한 자료는 제주도가 '91년부터 장기관측망을 연차적으로 증설하면서 운영('98년 현재 65개소 운영)하여 오고 있기 때문에 보다 신뢰할 수 있는 자료가 축적되고 있다고 할 수 있다.

### 3-1-3. 지하수위·수질·이용량에 대한 지속적인 모니터링

지하수의 양적 및 질적인 변화 상황뿐만 아니라, 지하수 이용량에 대한 모니터링이 꾸준히 이루어져야 한다. 지하수위 변화는 지하수 함양량과 저류량의 증감을 나타내 주는 잣대라 할 수 있으며, 수질변화는 지하수환경의 명암을 보여주는 리트머스시험지와 같다고 할 수 있다. 또한, 지하수 이용량은 제주도민의 생활수준과 산업경제, 물에 관한 의식수준을 가늠할 수 있는 척도라 할 수 있다. 지하수의 수위·수질·이용량에 대한 모니터링 자료는 지하수의 현주소를 진단하는데 뿐만 아니라, 미래의 후세들에게 제주도 지하수가 걸어온 길을 알려 주는데 가장 좋은 이력(履歷)이 된다는 점을 강조하고 싶다. 모니터링 대상 관정(위치)의 선정과 방법 등에 관해서는 지하수 관련 문헌들에서 자세히 소개되어 있기 때문에 여기에서의 언급은 생략한다.

#### 3-1-4. 지하수 순환시스템 규명

지하수는 순환속도 측면에서 현생지하수(modern groundwater)와 고지하수(old groundwater)로 나눌 수 있다. 현생지하수란 지하수위와 수질의 변화가 강우에 의해 지배를 받는 순환속도가 매우 빠른 지하수체를 일컫는 말이며, 고지하수란 강우의 영향을 받기는 하지만 순환속도가 매우 느린 지하수체를 말한다. 제주도 지하수는 수위와 수질이 강수량의 다소에 의해 민감한 반응을 나타내고(고기원외, 1992; 박원배외, 1992; 고기원, 1997 등) 있어 현생지하수의 범주에 속한다.

제주도 지하수의 절대연령과 순환속도를 밝히기 위한 연구들이 몇몇 연구자에 의해 수행되어 기초적인 정보는 제공되었다고 할 수 있으나 제주도 전역을 대상으로 한 『강우 → 지하침투 → 지하수(이동) → 배출(바

다)』의 과정은 아직까지 체계적으로 밝혀져 있지 않다. 지하수 순환시스템에 관한 조사결과를 지하지질구조, 지하수위 및 수질변화에 대한 자료와 연결시킬 때, 제주도 수문층서의 확립에 매우 중요한 정보로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 지하수함양 및 유동속도를 고려한 개발·이용방안 마련에도 더할 나위 없는 귀중한 정보가 될 것이다.

### 3-1-5. 지하수 정보관리시스템의 구축·운영

지하수와 관련된 제반 자료들의 체계적 관리는 지하수 분야의 기초조사·연구 못지 않게 중요한 부분이다. 제주도의 자연환경 관련 자료뿐만 아니라, 지질, 지형, 기상, 수문, 토양, 토지이용, 오염원, 관정, 용수공급, 수위, 수질 등에 관한 자료들이 하나의 시스템 안에서 관리되므로써 지하수자원의 평가는 물론, 지하수의 흐름이나 지하수계를 따라 이동하는 물질들의 상태에 대한 공간적·시간적 분포의 분석이 가능하다. 아울러, 체계적으로 정리된 자료(DB)를 활용하므로써 지하수의 어제를 돌아볼 수 있을 뿐만 아니라, 현재의 상태에 대한 정확한 진단과 미래의 상황을 예측할 수 있다.

제주도의 경우, 수자원정보종합관리시스템을 구축할 수 있는 좋은 여건을 지니고 있다고 할 수 있다. 축척 1/5,000을 기본도로 하는 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)이 이미 '97년도에 구축되어 운영하고 있기 때문에 지형·토양·토지이용·식생 등 지하수 관련 지리정보들의 속성 및 도면정보가 체계화되어 있는 상황이다. 따라서, 지질·기상·수위·수질·용천수·지하수 이용량·지하수 관정·대수층의 수리성·오염원 등의 가용자료를 GIS시스템과 연계시킬 때 현재의 지하수 상태를 진단할 수 있는 1차적인 기반이 마련될 수 있다고 하겠다. 이와 같은

시스템이 구축되면, 지하수의 개발·이용과 관련된 지하수영향조사를 비롯한 각종 개발사업 계획시 이루어지는 환경 및 재해영향평가에도 양질의 자료를 제공할 수 있음은 물론, 평가기간의 단축과 경비의 절약을 도모할 수 있는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 3-2. 지하수의 체계적 개발·이용

#### 3-2-1. 장기적인 지하수 이용계획의 수립

하와이주 수자원법(State Water Code)에는 영토내의 수자원을 합리적으로 개발·이용하고 체계적으로 보전·관리하기 위하여 주는 다음과 같은 4가지 계획으로 구성되는 『하와이 물 계획(Hawaii Water Plan)』을 수립하도록 규정하고 있다.

- Water Resources Protection Plane
- Water Quality Plane
- Water Use and Development Plane
- Water Projects Plane

이 계획은 최종적으로 수자원관리위원회(Commission on Water Resources Management)의 심의를 거쳐 확정되며, 주 내에서 이루어지는 모든 물의 개발·이용과 보전·관리에 지침으로 활용된다.

제주도의 경우, 1993년에 수립된 수자원종합개발계획이 있으나 하와이와 같은 체계성은 미흡한 편이며, 계획이 수립된지 5년이 경과되었기 때문에 보완이 필요한 실정이다. 제주도의 수자원을 공공적·총량적 관점에서 관리하기 위해서는 지하수 개발·이용계획에서부터 『통합관리』의 원칙이 반영되어야 하기 때문에 제주도의 전체적인 수자원 현황을 집대성함과

아울러 2020년을 목표로 하는 개발·이용계획을 포함하는 『제주물, 2020 계획』이 수립되어야 할 것이다

### 3-2-2. 지표수 및 용천수의 이용확대

지하수 일변도의 수자원개발·이용을 개선하여 부존 수자원의 효율적 이용으로 지하수의 수량적인 보전을 도모하여야 한다. 연간 제주도에 내리는 총 강우량(33억 8천만 $m^3$ ) 중 19%에 해당하는 6억4천만 $m^3$ 의 수자원이 일시에 하천을 통하여 바다로 유출되고 있어 저수지 및 저류지를 건설하여 농업용수로 활용하여야 한다. 또한, 이미 건설되어 있는 저수지(수산, 광령, 서부)의 시설을 보강하거나 개수하여 저수율을 높임은 물론, 도내 도처에 산재되어 있는 연못(연화못 등)을 대대적으로 정비하여 농업용수로 이용할 수 있도록 하여야 한다. 골프장의 경우는 저류조를 의무적으로 건설하도록 하여 현재 지하수로 이용하고 있는 관개용수를 지표수로 대체하도록 하여야 한다. 또한, 용천수 중 1일 용출량이 1,000톤 이상되는 것을 대상으로 용출량과 수질의 변화를 모니터링하고, 그 결과를 근거로 개발 가능한 용천수를 선정, 적극적으로 이용하여야 한다. 특히, 고지대에 위치한 용천수는 자연유하식으로 급수가 가능하다는 이점이 있기 때문에 저수지 또는 저수조를 확대하는 방안도 검토하여야 할 것이다.

### 3-2-3. 지하수 함양량 증대사업의 추진

신시가지 조성, 구획정리, 도로개발 등 각종 개발사업이 진행으로 초지·농지 등이 콘크리트 또는 아스팔트화 되므로써 빗물이 지하로 침투할 수 있는 면적이 점차 줄어들거나 자연적으로 형성된 지표수의 유로가 변

경되고 있다. 또한, 비닐하우스 및 유리온실 등 시설원예농업의 확산과 배수개선사업에 의한 인공하천의 조성 등도 빗물을 바다로 일시적으로 유출시켜버리고 있다. 이와 같은 현상은 곧 지하수 함양량 및 지하수 적정개발량의 감소를 초래할 뿐만 아니라, 기저지하수 부존지역에서는 담·염수 경계면이 내륙쪽으로 이동하는 현상이 발생할 수 있기 때문에 지하수 함양량을 증대시킬 수 있는 방안을 지속적으로 강구하여야 한다.

지하수 함양량을 증대시키는 방안으로는 비닐하우스 및 유리온실 시설 지역에 우수 주입공의 설치(예: 일본 구마모토시), 도심지 대형빌딩에 내리는 빗물을 지하 침투시키는 시설의 설치(예: 일본 동경시), 골프장 저류지 시설의 확대, 하천 저류지 건설, 저수지 건설 등 여러 가지 방안을 생각할 수 있으나 제주도의 여건에 어떠한 방식이 적합한지에 대하여는 충분한 조사와 연구가 선행되어야 할 것이다.

### 3-3. 지하수 관리체계의 강화

#### 3-3-1. 지하수 개발·이용허가제도의 보완

제주도내에서 이루어지는 모든 지하수개발·이용은 제주도개발특별법의 규정에 의해 통제를 받고 있다. 그러나 지하수영향조사제도가 생활용의 경우 1일 양수능력 30m<sup>3</sup> 이하, 국방군사시설업용·농축수산업용·학교체육시설용의 경우에는 1일 양수능력 150m<sup>3</sup>이하에 대해서는 면제하도록 되어 있어 소규모 지하수개발이 급증하는 문제점을 낳고 있다. 따라서, 지하수영향조사서 작성 대상을 모든 지하수개발사업으로 확대함과 아울러 변경허가 및 연장허가를 신청할 때에도 조사서의 제출을 의무화하여야 할 것이다. 다만, 조사의 범위 및 방법은 지하수 개발계획량의 규모에 따라 달

리하도록 규정함으로써 주민의 조사비 부담을 경감할 수 있는 방안이 검토되어야 할 것이다.

지하수를 개발·이용하는 대부분의 주민들은 지하수관정의 착정 및 시공·우물자재 설치·동력장치 등에 대한 기술적인 내용을 거의 모르는 상태에 있기 때문에 관정개발이 개발업체의 임의대로 진행되기 쉬운 실정이다. 아울러, 지하수 개발업체 또한 전문적인 기술을 보유하지 못하고 있는 실정이므로 개발·이용시설 공사가 완료될 때까지 공사의 전반적인 사항에 대하여 유자격자로 하여금 공사감리를 실시하도록 하여 부실시공을 방지하여야 한다.

관정의 부실시공 및 폐공이 부적절한 되메움으로 인하여 발생할 수 있는 지하수자원의 오염과 낭비를 미연에 방지하고, 제주도의 수문지질 특성에 적합한 시공을 위해 다음과 같은 사항을 포함한 「제주도의 관정시공 및 동력장치 설치기준」이 마련되어 관정시공이 체계적으로 이루어져야 한다.

- 관정시공 및 공사감리
- 우물자재 및 설치
- 양수시험 및 관정검층
- 관정의 개수 및 보수
- 폐공의 되메움
- 동력장치의 설치 및 보수

### 3-3-2. 지하수의 공동이용

지하수의 공동이용은 지하수 공개념 제도의 가장 핵심적인 사항이다. 공공용 관정을 제외한 관정에 대하여 양수능력의 범위내에서 주변 시설물이나 농경지 등에서 지하수를 필요로 하는 때에는 지하수를 공동이용하도록 의무를 부여하여 지하수를 효율적으로 이용함은 물론 소규모 관정의 급증현상을 방지하여야 한다. 특별한 사유 없이 공동이용을 거부하거나 기피하는 경우에는 당해 지하수개발·이용시설의 양수능력을 감량하거나 지



하수개발·이용기간의 연장허가 불허 등의 조치를 취하고, 공동이용에 협조하는 경우에는 원수대금 감액 등의 혜택을 주는 등 이 제도의 효과를 높일 수 있는 방안을 다각적으로 검토하여야 할 것이다.

### 3-3-3. 지하수 과다개발지역의 특별관리

지하수자원의 고갈, 염수침입, 수질저하 등을 방지하기 위해 다음의 경우에 해당하는 지역을 「지하수 특별관리구역」으로 지정·관리할 필요가 있다. ① 지하수 개발량이 적정개발량의 80%를 초과한 지역 ② 지하수의 과다한 이용으로 지하수위 하강이 현저하게 발생하고 있거나 발생할 우려가 높은 지역 ③ 지하수의 개발·이용으로 수원고갈 또는 염수침입의 우려가 높거나 현재 지하수중의 염분함량이 높은 지역 ④ 지하수의 수질이 저하될 우려가 높은 지역 ⑤ 장래 용수수요를 위하여 지하수의 개발·이용을 규제할 필요가 있는 지역 등이다. 지하수 특별관리구역으로 지정된 지역안에서는 신규 지하수개발을 불허하고, 필요에 따라서는 이미 개발된 지하수관정의 채수량도 감량하도록 하므로써 그 효과를 높여야 한다.

### 3-3-4. 지하수 원수대금제도의 개선

지하수 원수대금 부과징수제도는 제주도개발특별법의 규정에 의해 우리나라에서는 제주도내에서만 적용되고 있는 유일한 제도이다. 무분별한 지하수의 개발·이용을 억제하고, 지하수의 낭비를 줄이기 위한 취지에서 도입된 이 제도는 현재 부과대상이 영리를 목적으로 하는 지하수이용 업소(체)에 한정되어 있고, 원수대금이 상수도 요금에 비해 매우 저렴하기 때문에 근본 취지를 충분히 살리지 못하고 있다. 따라서, 지하수 원수대금

을 모든 지하수 이용자에게 부과하여 지하수 절약 및 보전의식을 고취함과 아울러, 세입금은 수문지질도 작성 및 지하수 오염방지사업 등 지하수 보전·관리 재원으로 사용하여야 한다.

### 3-3-5. 지하수 이용자의 의무사항 확대

지하수의 수질상태를 파악하기 위하여 지하수 이용자에게 정기적인 수질검사를 받도록 하고 수질검사 결과, 수질기준을 계속 초과하는 불량 관정에 대하여는 그라우팅 및 자갈충진 시공 등을 통하여 관정을 정비토록 조치하고, 정비 이후에도 수질이 개선되지 아니하는 때에는 원상복구 조치하여야 한다. 특히, 지하수 이용자가 지하수위, 지하수 이용량, 수질검사결과 등을 기록하고, 지하수 관리부서에 정기적으로 보고하도록 의무화 하므로써 지하수 관리의 주체가 되도록 하여야 한다.

### 3-4. 지하수의 수질관리

지하수가 주로 함양되는 지역으로서 토지이용으로 인하여 지하수의 질과 수량보전에 악영향이 초래될 것으로 우려되는 지역을 지하수 보전구역」으로 지정·관리하되 지하수 환경조사의 결과에 따라 지정된 구역을 변경하거나 해제하여 주민의 불편을 덜어주어야 한다. 지하수 보전구역은 당해 지역의 기상·수문, 지하수위, 지질분포, 토양, 지하수의 오염취약성, 생태계 등의 특성에 따라 등급화하고, 보전구역안에서의 행위규제는 보전등급에 따라 차등 적용하는 방안을 마련하므로써 토지소유권의 행사에 불이익을 최소화하여야 한다.

아울러, 지하수의 오염원이 되고 있는 오폐수 배출업소에 대한 관리강화와 더불어 축산폐수 및 생활하수 처리시설을 확충하여 지하수오염을 방지

하여야 한다. 특히, 개별법령에서 규제할 수 없는 소규모 오염원(예 : 시설 농업용 소규모 유류탱크 및 저장시설 등)에 대한 정기적인 점검을 실시하여 오염물질의 누출 및 배출여부를 철저히 감독하여야 한다. 최근 도내 지하수의 주된 오염물질로 대두되고 있는 질산성질소는 화학비료가 그 원인이 되고 있는 것으로 밝혀지고 있기 때문에 주민을 대상으로 화학비료의 적량 사용을 지속적으로 계몽하여 한다. 특히, 농약의 과다사용에 따른 지하수 오염을 규명하기 위한 체계적인 조사·연구가 매우 미흡한 상태에 있기 때문에 이에 대한 조사가 시급히 이루어져야 한다. 토양통별 주요 농약의 흡착·분해능에 대한 연구가 착실히 추진되어 이를 근거로 한 농약에 의한 오염방지대책 수립되고 시행되어야 할 것이다.

### 3-5. 지하수 보전프로그램의 시행

물 절약은 제주도에만 한정된 문제는 아니다. 물 절약의 필요성과 시책은 수자원 부존여건과 공급상황 및 주민의식 등에 따라 나라마다 정도의 차이는 있겠으나 지구촌 전체가 안고 있는 범 지구적인 문제라 하겠다. 물 절약시책이 가시적인 결실을 맺기 위해서는 물 절약의 필요성과 당위성, 그리고 물 절약을 실천하였을 때 직접적으로 얻어지는 이익과 효과 등에 대한 사항이 충분히 홍보되고, 물 절약 인식이 사회적 공감대가 형성되어야 한다.

지하수의 보전은 주민들의 협력 없이는 달성할 수 없다. 지하수를 보전하여야 한다는 그 필요성은 누구나 인정하지만 지하수 보전을 위한 교육이 체계적으로 이루어지지 않기 때문에 습관화되지 않아 실천에 옮기지 못하는 실정이다. 유치원생부터 일반주민에 이르기까지 전 도민을 대상으로 지하수 보전교육을 정기적이고 체계적으로 실시하여야 하며, 이를 위한 다양한 지하수 보전 교육프로그램 개발에 주력하여야 한다.

## VI. 결 언

미국의 Water Resources Council은 물 보존(water conservation)을 “물 보존이란 물의 수요를 감소시키고, 물의 낭비와 손실을 줄여 물의 효율성을 증진시키며, 물 보존을 위해 토지의 관리시책을 개선하는 것”이라 정의하고 있다. 또한, 물 보존시책으로서 ○ 물의 안정적인 확보를 위한 수역의 보호 ○ 물 공급시스템에서의 누수와 손실량 줄이기 ○ 물 사용량의 계량 절수용구의 설치 ○ 물 보존 교육 프로그램의 시행 ○ 물 값의 계절적 차등화 등을 제시하고 있다.

지하수는 순환자원으로서 재생이 가능한 자원이지만 땅 아래 존재하고 있으므로 인하여 지상에서 이루어지는 온갖 활동과 변화의 영향을 민감하게 받는다. 또한, 지하의 지층과 암석의 틈 사이를 유동하는 물이기 때문에 직접 목격할 수 없을 뿐만 아니라, 지하의 지질구조에 따라 산출양상을 달리하므로 많은 불확실성을 내재하고 있는 자원이다. 지하수에 전적으로 의존할 수 밖에 없는 특수한 여건을 지니고 있는 제주도의 실정에서 물 절약의 필요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 물을 절약하는 것이 곧 한정된 지하수를 고갈로부터 보호하는 길 일 뿐만 아니라, 깨끗한 수질을 보전할 수 있는 첩경이 된다는 것을 우리 모두는 깊게 인식하여야 할 것이다. 지하수는 제주도민의 생명수이며, 제주도가 보유하고 있는 가장 귀중한 자원으로서 『제주의 물이 곧 세계의 물』이 되도록 지혜를 모아야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 제주도 통계연보, 1971, 제주도
- 제주도 통계연보, 1998, 제주도
- Armstrong, R. W., 1983, Atlas of Hawaii, second edition, University of Hawaii Press.
- Maxey, G.B., 1964, Hydrostratigraphic units: Journal of Hydrology, 2, p. 124~129.
- Seaber, P.R., 1988, Hydrostratigraphic units: in Back, W., Rosenschein, J.R., and Seaber, P.R., Hydrogeology, The Geology of North America, Geological Society of America, Volume O-2, p. 9~14.
- State of Hawaii, 1992, Water resources protection plan
- 산업기지개발공사, 1981, 제주도 수자원개발 종합보고서, P. 388.
- 농림수산부, 제주도, 농업진흥공사. 1989, 제주도 지하수장기개발계획 조사 보고서, P. 396.
- 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 1993, 제주도 수자원종합개발계획수립 보고서
- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 대학원 박사학위논문, p. 1~325
- 고기원, 1999, 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 연혁과 지하수의 합리적 이용을 위한 과제, 제주발전연구원·제주대학교환경연구소 공동주최 학술세미나집(제주지하수 영원한 자원인가?), p. 47~97
- 박원배, 1993, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, P. 1~49.