

정책연구 2006-2

제주도의 지역별 농업용수 개발 · 이용방안

2006. 12

제주발전연구원

발 간 사

제주도 농업용수의 개발·이용 역사는 그리 긴 편은 아니지만, 지하수 관정이 본격적으로 개발되기 시작한 1970년 이후 현재까지 약 30여간 기본적인 틀이 그대로 이어져 내려오고 있습니다. 농업형태의 변화가 빠르게 진행되고 있으나 농업용수 개발·이용 정책은 이를 앞질러가지 못하고 있는 것이 오늘의 현실입니다. 섬이라는 한정된 면적에 부존하고 있는 지하수를 농업용수는 물론 청소용으로까지 개발해 이용하고 있는 실정이다 보니, 개발된 지하수 관정 수가 하와이주 오아후섬의 3배에 이르고 있습니다. 전체 지하수 관정의 약 65%가 농업용 지하수 관정이지만 아직도 농업용수 문제는 해결되지 못한 채 가뭄이 들면, 물과의 전쟁을 치르고 있음은 그동안 전개해 온 농업용수 개발·이용시스템에 문제가 있음을 암시해 주고 있습니다.

농업용수에 대한 기본자료를 체계적으로 관리하고, 기초연구를 꾸준히 추진해 과학적인 조사결과에 기초를 둔 농업용수의 개발과 공급이 이루어져야 할 것입니다. 전국에서 1차 산업종사자 비율(22.1%)이 가장 높은 제주도의 현실을 고려하면, 농업용수 문제의 해결이 곧, 제주도민의 복지와 삶의 질을 향상시키는 것과 같으며, 나아가 제주의 생명수인 지하수 자원을 보다 합리적으로 이용할 수 있는 초석이 될 것이라고 생각합니다.

2006. 12

제주발전연구원
원장 고 부 언

<제 목 차 례>

I. 서 언	1
II. 지하수 부존형태 및 산출특성	3
1. 지하수 부존형태	3
2. 지하수 산출특성	6
3. 지하수 수질특성	8
4. 지하수 부존형태와 지하수위	10
5. 담·염수 경계면에 대한 특성	14
6. 강수량 분포 특성	16
7. 용천수	18
III. 지역별 농업특성	21
1. 경지면적	21
2. 지목별 현황	22
IV. 하와이주의 농업용수 개발 및 관리	30
1. 사탕수수 농업과 관수시스템의 변천	30
2. 하와이주의 농업현황	36
3. 농업용수 공급체계	41
4. 주요 농업용수 공급시스템	45
5. 농업용수 이용 및 개발계획의 주요내용	56
V. 농업용수 개발·이용 현황	58
1. 농업용수 개발현황	58
2. 농업용수 이용현황	65
3. 농업용수 이용량 분석 및 이용 특성	66

VI. 농업용수 개발·이용상 문제점 및 개선방향	77
1. 농업용수 개발·이용상의 문제점	77
2. 농업용수 개발·이용체계의 개선방향	82
참고문헌	91

〈표 차례〉

<표 2-1> 제주도의 지역별 강수량 현황	17
<표 2-2> 제주도의 지역별 강수기록 현황	17
<표 2-3> 지역별 연간 무강우 일수(1996~2005년)	18
<표 2-4> 제주도 용천수의 표고별 분포	19
<표 3-1> 경지면적 현황	21
<표 3-2> 시·군별 경지면적 현황(2004년)	22
<표 3-3> 지역별 지목별 농지면적 현황	23
<표 3-4> 연도별 농지면적 현황	23
<표 3-5> 제주도 주요작물 재배면적 현황	25
<표 3-6> 시·군별 식량작물 재배면적(2004년)	26
<표 3-7> 시·군별 채소류 재배면적(2004년)	27
<표 3-8> 시·군별 과실류 재배면적(2004년)	28
<표 3-9> 시·군별 특용작물과 화훼류 재배면적(2004년)	29
<표 4-1> 사탕수수 플랜테이션 시대 때 개발된 농업용수 공급시스템	32
<표 4-2> 하와이주 전체 및 주요 섬별 토지이용 현황	37
<표 4-3> 하와이주의 주요 작물별 재배면적, 농장수, 판매액	38
<표 4-4> 하와이주의 연도별 주요 작물별 재배면적, 농장수, 판매액	40
<표 4-5> 하와이주 농업국에서 관리하고 있는 농업용수 시설 및 공급현황	42
<표 4-6> 하와이주의 농업용수 사용에 따른 사용료 부과기준	43
<표 4-7> 오아후섬에 있는 주요 사설 물 공급시스템 현황	45
<표 4-8> 하와이주 농업국이 제시하고 있는 작물별 단위 용수량	57
<표 5-1> 지역별 지하수 개발·이용현황(2005년)	58

<표 5-2> 유역별 지하수 개발현황(2005년)	59
<표 5-3> 개발주체별 지하수 개발·이용현황(2005년)	60
<표 5-4> 농축산용 지하수 관정의 표고별 분포 현황	61
<표 5-5> 농축산용수의 지역별·개발주체별 개발공수와 양수능력 현황	62
<표 5-6> 지역별 공공용 농업용수공급 의존도	62
<표 5-7> 공공 농업용 저수지 현황	64
<표 5-8> 지역별 농업용 지하수 이용현황(2005년)	65
<표 5-9> 농업용 관정 지하수 이용특성(2004~2006년)	66
<표 5-10> 시기별 평균 지하수 이용량(2004~2006년)	67
<표 5-11> 지역별 작물유형별 단위면적당 평균이용량 원단위	70
<표 5-12> 주요작물별 농업용수 사용량 측정결과(2002.8~2003.7)	71
<표 5-13> 작물유형별 단위면적당 평균이용량 원단위 비교	72
<표 5-14> 2004년 작물별 재배면적 현황	73
<표 5-15> 농업용수의 수요량 및 보장량	74
<표 6-1> 공공용 관정의 양수량별 분포	79

〈그림 차례〉

〈그림 2-1〉	제주도의 지하수 부존형태	6
〈그림 2-2〉	기저지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계	11
〈그림 2-3〉	준기저지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계	13
〈그림 2-4〉	상위지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계	14
〈그림 2-5〉	제주도 동부지역 담·염수 경계면의 분포	16
〈그림 3-1〉	지목별 농경지 분포도(제주도, 2004)	24
〈그림 4-1〉	오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 취수 및 도수시설 위치도	48
〈그림 4-2〉	오아후섬 Waimanalo Irrigation System의 취수 및 도수시설 위치도	49
〈그림 4-3〉	마우이섬 East Maui Irrigation System의 취수 및 도수시설 위치도	50
〈그림 4-4〉	마우이섬 남부에 위치한 Kihei 방류수 재처리시설 조감도	55
〈그림 5-1〉	농축산용 지하수개발 현황도	63
〈그림 5-2〉	남부지역 의귀 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포	68
〈그림 5-3〉	서부지역 동일 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포	68
〈그림 5-4〉	서부지역 덕수 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포	69
〈그림 5-5〉	지역별 농지면적과 농업용수 수요량 및 보장량과의 관계	76
〈그림 6-1〉	다수의 취수정에서 지하수 양수에 의한 수위변화(서부지역)	84
〈그림 6-2〉	다수의 취수정에서 지하수 양수에 의한 수위변화(북부지역)	87

〈사진 차례〉

〈사진 4-1〉	오아후섬 중부지역 파인애플 농장에 관수하는 모습	35
〈사진 4-2〉	비행기에서 바라본 Maui섬의 사탕수수 경작지의 모습	35
〈사진 4-3〉	오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 저수지 모습	51
〈사진 4-4〉	오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 수로 모습	51
〈사진 4-5〉	오아후섬 Waimanalo Irrigation System의 저수지 모습	52
〈사진 4-6〉	오아후섬 Waimanalo Irrigation System	52
〈사진 4-7〉	마우이섬 East Maui Irrigation System의 저수조 모습	53
〈사진 4-8〉	마우이섬 East Maui Irrigation System의 수로 모습	53
〈사진 4-9〉	마우이섬 Kihei 하수처리장 방류수를 옥수수 농장에 살수하는 모습	56
〈사진 4-10〉	마우이섬 Kihei 하수처리장 방류수를 이용해 녹조류를 배양하는 모습	56

1. 서 언

생물체가 생명을 유지하는데 물을 절대적으로 필요로 하는 것처럼 농업에 있어서도 물은 필수 불가결한 요소이다. 농업이 하늘에 의존하던 상태에서 스프링 쿨러와 같은 현대식 관수시설에 의해 작물을 재배하는 형태로 발전하면서 농업용수의 확보는 곧 농업생산성 향상과 소득증대, 그리고 농업 경쟁력 문제와 직결되고 있다. 이처럼 농업에 있어서 농업용수의 확보가 큰 비중을 차지하고 있음에 따라 농업용수 개발·이용사업은 오래 전부터 정책사업으로 추진되어 오고 있다.

시대변화에 따라 제주도의 농업형태도 빠른 변화를 거듭하여왔다. 1950년대까지는 천수(天水)나 용천수에 의존한 전작(田作)과 답작(畓作)이 주를 이루었으나 1960년대에 들어오면서 저수지와 용천수 수리시설을 중심으로 결성된 수리조합에 의한 답작이 크게 번성하였다. 또한, 1970년대에 와서는 지하수 관정개발이 본격적으로 이루어진데 힘입어 답작과 전작이 중심 농업으로 자리를 잡았다. 그러나 1980년대에는 사설 지하수 관정 개발에 의한 바나나·파인애플·감귤 등 특작 중심의 형태로 변화하면서 답작은 거의 모습을 감추었으며, 1990년대로 접어들어서는 공공용 및 사설 지하수 관정에 의한 시설하우스·유리온실·전작 형태로 변화하는 과정을 밟아 왔다.

이러한 농업형태의 변화는 인문·사회적인 여건변화에 대응하기 위한 농민들의 자구노력의 결과라고도 할 수 있지만, 그 이면에는 농업용수의 개발과 밀접한 관계가 있다. 농업용수를 해결할 수 없었던 토지에 물 문제가 해소됨으로써 경작이 이루어지고, 한밭에 시달리던 토지에 농업용수가 충분히 공급됨으로써 하우스를 지어 특작물의 재배가 가능하였음을 감안 할 때, 농업용수 개발이 농업형태의 변화를 주도하고 있다고 해도 과언은 아닐 것이다. 그러나, 1950년대부터 시작된 행정기관의 농업용수 개발사업은 농업형태의 변화를 선도할 수 있는 기반시설로

서의 기능과 역할을 다하지 못하여왔음을 인정하지 않을 수 없다. 다시 말해서, 하늘에 의존하던 전근대적인 농업에서 전천후 경작이 가능한 영농기반을 조성하기 위해 많은 예산과 노력이 투자되었지만, 농민들은 아직도 가뭄이 들면 물과의 전쟁을 치르고 있음을 놓고 볼 때, 농업용수의 개발과 이용체계에 적지 않은 문제가 있음을 말해주고 있다. 본 연구에서는 제주도의 농업용수 개발 및 관리측면에서 안고 있는 문제점을 도출하고, 그러한 문제를 해결해 나가기 위한 개선방향을 모색해 보고자 한다.

II. 지하수 부존형태 및 산출특성

1. 지하수 부존형태

제주도의 지하수 부존형태는 담-염수 경계면의 형성 및 변동특성, 서귀포층의 분포상태, 지하수의 수리경사, 지하수위 분포 및 변동특성, 지하수의 수질, 지하 지질분포 등을 고려하여 기저지하수, 준기저지하수(상부 및 하부준기저지하수), 상위지하수, 기반암지하수의 4가지 형태로 분류할 수 있다(그림 2-1).

1-1. 기저지하수

기저지하수란 염수와 담수의 비중 차에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈형태로 부존하는 즉, Ghyben-Herzberg원리(이하 “G-H원리”라 한다)에 의해 부존하는 지하수를 말한다. 일반적으로 담수의 밀도는 1.000g/cm^3 이고 해수의 밀도는 1.025g/cm^3 이므로 담수지하수는 해수면 상부 지하수위 높이의 40배 만큼의 깊이까지 부존할 수 있다(1:40의 비율을 “G-H비”라 한다). G-H원리가 적용되는 지하수가 부존하기 위해서는 해안변 지역 지층의 투수성은 좋아야 한다. 다시 말해서, 투수성이 양호한 해안변 지층의 틈을 통해 내륙 쪽으로 들어온 해수는 고지대에서 바다 쪽으로 흘러내려오는 담수지하수와 만나 혼합이 되고, 담수와 해수의 중간정도의 조성을 갖는 저염지하수로 부존하게 되는데, 저염지하수가 부존하는 층을 “점이대” 또는 “혼합대”라고 하고, 혼합대 상부에 존재하는 담수지하수를 “담수렌즈”, “G-H렌즈” “기벤-헤르쯔버그 렌즈”라 부른다. 담수렌즈는 모든 지역에 항상 일정한 두께로 존재하는 것이 아니라, 지하수 함양량·조석·지하수 채수량 등의 요인에 따라 확장과 수축 또는 형성과 소멸하는 현상을 반복한다.

제주도에서 기저지하수는 조천읍 북촌리에서 남원읍 위미리에 이르

는 동부의 해안지역과 서부지역의 한림읍 수원리-귀덕리에 이르는 해안지역, 그리고 모슬포 하모리-산이수동의 해안지역을 따라 부존하고 있다. 동부지역에서 기저지하수체는 해안으로부터 내륙 8km에 이르는 지역에 부존하고 있으며, 담수렌즈의 두께는 내륙 쪽으로 갈수록 점차 두터워지는 경향을 보인다. 그러나, 동부지역의 담수렌즈 두께는 일반적인 G-H비보다 훨씬 얇은 1:19 정도이다(고기원외 3인, 2003).

1-2. 준기저지하수

준기저지하수란 지하에 투수성이 낮은 서귀포층이 분포하고 있음으로 인하여 담수지하수체가 해수와 직접 접하고 있지 않을 뿐만 아니라, 통상적인 G-H비가 적용되지 않는 지하수체를 말한다. 준기저지하수는 서귀포층의 지하 분포심도에 따라 상부준기저지하수와 하부준기저지하수로 구분할 수 있다. 상부준기저지하수는 서귀포층의 상부면을 따라 빠른 선형유속으로 유동함으로서 풍수기와 갈수기간에 수위변동 폭이 크게 나타나며, 채수에 의한 수위 강하량이 최대인데 반해 공당 평균 채수량은 낮은 편이다. 대체로 안덕에서 서귀포에 이르는 지역은 서귀포층이 해수면 상부에 위치하고 있기 때문에 상부준기저지하수체가 발달하고 있다. 하부준기저지하수는 서귀포층이 해수면 하부에 분포하고 있는 제주도 서부 및 북부지역에 광범위하게 부존하고 있으며, 일반적으로 선형유속이 상부준기저지하수보다 느리고 총고형물질 함량 및 전기전도도도 G-H비 이상 심도까지도 수직적으로 큰 변화가 없다. 자연 수위 변동은 강우에 의해 지배되어지고 있지만 서귀포층이 해수면아래 약 60m 이하에 분포하는 일부지역에서는 조석의 영향이 미약하게 나타난다.

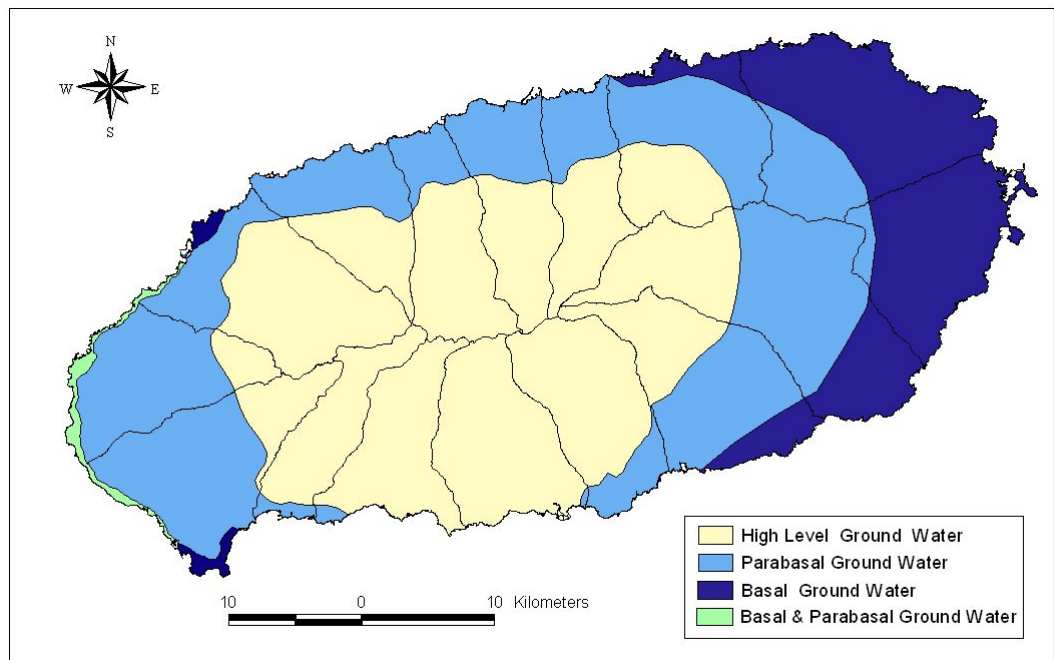
1-3. 상위지하수

상위지하수란 비포화대(非飽和帶) 내의 치밀질 화산암류나 고동양

층·퇴적층 등의 저투수성 지층 상부를 따라 비교적 빠른 선형유속으로 유동하거나 고여 있는 일종의 부유지하수체(Perched Water)를 말한다. 상위지하수는 대부분 중산간 및 고지대지역에 편중되어 있다. 영실, Y계곡, 돈내코, 입석 등지의 용천수들은 상위지하수가 지표로 용출하고 있는 대표적인 예들이다. 상위지하수는 비포화대 내의 다른 대수층과 수리적으로 연결되어 있지 않은 단속적인 지하수체이기 때문에 강우량에 따라 유량변화의 폭은 크지만 해수와 직접 접촉하지 않으므로 수질은 매우 양호한 편이다.

1-4. 기반암지하수

해수면아래 300~400m 이하에 분포하는 기반암(화강암, 용결응회암) 내에 발달된 파쇄대나 절리 등과 같은 1, 2차 유효공극에 부존하는 강우기원의 심부지하수를 말한다. 1980년대 말부터 온천개발을 목적으로 일부 지역에서 심부시추가 이루어지면서 기반암 지하수에 대한 정보들이 조금씩 알려지기 시작하였는데, 기반암 상부의 지질구조와 지하수 부존 형태에 따라 수질과 채수 가능량에서 차이를 나타내고 있다. 이미 개발된 12개 온천공의 평균 지온 증온율은 $2.06^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 이고, 최대 $2.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 최소 $1.63^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로서 내륙지방보다 낮은 편이다.



<그림 2-1> 제주도의 지하수 부존형태

2. 지하수 산출특성

지하수의 산출특성을 파악하기 위해서 2002년 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3)에서 유역별 비양수량, 투수량계수 및 수리전도도에 대해 광역상수도 조사 및 취수정 자료, 해수침투 감시 관측망 자료, 농업용 공공관정 자료를 이용하여 기본 통계분석을 실시한 결과임을 밝혀 둔다.

광역상수도 및 해수침투 감시 관측망 자료를 토대로 통계분석한 결과, 제주도 전체 평균 비양수량은 10,861.2m³/일, 투수량계수는 17,573m³/일, 수리전도도는 552.2m/일로 추정되었다. 유역별로 보면, 북부유역은 비양수량과 투수량계수, 수리전도도 모두 제주도 전체 평균과 비슷한 값을 보였으며, 남부유역은 비양수량과 수리전도도가 제주도 전체 평균과 비슷하거나 약간 높게 나타났다. 특히 투수량계수는 4개 유역 중에

서 가장 높은 값을 보여 전반적으로 수리성이 양호한 것으로 분석되었다. 동부유역의 경우에도 북부유역과 유사하게 비양수량, 투수량계수, 수리전도도 모두 제주도 전체 평균과 비슷한 값을 보이거나 약간 높게 나타난 반면, 서부유역의 경우에는 비양수량을 제외하고는 투수량계수와 수리전도도가 4개유역 중 가장 낮은 것으로 분석되었다.

한편, 농업용 공공관정의 경우 제주도 전체 평균으로 비양수량은 $283.8\text{m}^3/\text{일}$, 투수량계수는 $1,953.9\text{m}^3/\text{일}$, 저류계수는 0.12로 분석되었다. 유역별로 살펴보면 북부유역은 비양수량, 투수량계수, 저류계수가 대체로 전체 평균과 비슷한 값을 보였으며, 남부유역의 경우에는 투수량계수가 가장 높은 것으로 분석되었다. 동부유역은 수리상수 값들이 대체로 전체 평균값을 상회하고 있어 비교적 수리성이 양호한 것으로 나타난 반면, 서부유역의 경우에는 광역상수도 및 해수침투 감시 관측망 자료의 분석 결과와 유사한 결과를 보이고 있다.

유역별 지하수의 산출특성을 보면, 북부유역의 경우 애월 및 서제주 유역은 대부분이 낮은 산출특성을 나타냈으며, 조천유역은 전반적으로 비교적 높은 산출특성이 나타났다. 그리고 서제주, 중제주 및 동제주 유역은 해안 쪽에서 더 높은 산출특성을 보이고 있는 것으로 분석되었다. 남부유역의 경우 안덕, 서서귀, 중서귀유역 등은 대부분 $1,000\text{m}^3/\text{일}$ 의 비교적 낮은 비양수량 값을 보이다가 동서귀유역의 해안지역부터 증가하여 남원유역에 이르러서 최대 $12,960\text{m}^3/\text{일}$ 까지 나타나며, 동부지역으로 향할수록 지하수 산출특성이 증가하는 양상이 나타나고 있다. 기저지하수체가 넓게 분포하는 구좌, 성산, 표선의 동부유역은 대체로 양호한 산출특성을 보이고 있다. 표선유역의 경우 남원유역과의 경계부를 제외하고는 대부분이 $500\text{m}^3/\text{일}$ 이하의 값을 보이며, 내륙 쪽보다는 해안지역에서 더 큰 값을 보이고 있다. 성산유역은 몇몇 관정을 제외하고는 해안을 따라 차츰 산출특성이 커지는 경향을 띄며, 구좌유역은 전반적으로 산출특성이 크게 나타나고 있으나 부분적으로 낮은 산출특성을

보이는 지역도 있어 산출특성의 편차가 심한 것으로 나타났다. 서부유역의 경우 한경유역은 일부지역을 제외하고는 전반적으로 모두 매우 낮은 산출특성이 나타나고 있다. 대정유역은 전반적으로 산출특성이 양호하고 국부적으로 3,000~5,000m³/일 정도의 높은 비양수량 값을 보이며 한경유역과의 내륙 경계부에서 25,000m³/일까지 매우 큰 비양수량 값이 나타나는 경우도 있다. 한편, 한림유역은 유역의 북부와 남동부 지역에서 2,000m³/일 이상으로 산출특성이 크게 나타나고 있으며, 나머지 지역에서는 1,000m³/일 이하로 다양한 분포가 나타나고 있다.

지하수 부존형태별 지하수 산출특성을 살펴보면, 기저지하수체에서 개발 관정의 산출특성이 가장 양호하며, 상부준기저 및 상위지하수에서 개발된 관정의 산출특성이 가장 낮은 것으로 나타났다.

3. 지하수 수질특성

지하수의 수질은 자연적으로 강우나 지표수로부터 함양된 물이 대수층내의 지질 매체와 지구화학적으로 반응하면서 변화하게 되고 인위적인 영향에 의해서 변화하기도 한다. 제주도는 토양층이 얇고 배수성이 크고, 대수층을 이루는 화산암류의 투수성이 크며, 또한 강수량이 내륙에 비해 상대적으로 많아 지하수의 용존 성분들의 변화가 다른 수리지질학적인 조건을 갖는 지역 보다 적다. 또한 내륙지역과는 구성암석의 종류와 암석화학적 특징이 다르므로 지하수의 수질 역시 많은 차이를 나타내고 있다. 용천수는 5.4~7.4 범위의 pH를 가지며 평균 pH는 6.3이다. 대체로 표고가 낮아지면서 지질매체와의 반응을 통해 pH가 증가하는 경향을 나타낸다. EC(전기전도도)는 39~338 μ S/cm범위이며 평균 152 μ S/cm이고, 중간 값은 127 μ S/cm이다. 표고가 낮아지면서 지질매체와의 반응, 오염, 해수의 영향 등으로 EC가 증가하는 경향을 보인다. 수온은 4.5~16.5℃의 범위이며 평균 12.9℃이다.

관정 지하수는 5.6~9.0의 pH 범위를 가지며 평균 7.3이다. 용천수에

비해 지질매체와의 반응 정도가 크고 오염에 덜 취약하므로 상대적으로 pH가 높은 것으로 해석된다. EC는 61~2,930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위이고 평균 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이다. 그러나 EC 값의 분포가 비대칭이고 일부 높은 EC에 의해 평균값은 크게 영향을 받으므로 자료의 대표 값으로는 중간 값이 더 의미가 있으며 그 값은 131 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이다. EC가 높은 지점들은 자연적인 영향 보다는 오염 등의 인위적인 영향이 큰 것으로 보인다. 수온은 9.8~17.4 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위이며 평균 14.3 $^{\circ}\text{C}$ 이다.

제주도 지하수의 수질은 크게 세 가지 군으로 나눌 수 있다. 즉, 해수에 의해 영향을 받는 군과 NO_3^- 에 의해 영향을 받는 군, 해수나 NO_3^- 에 의해 영향을 받지 않은 배경수질을 가지는 군으로 구분할 수 있다. 지하수의 수질유형은 주요 양이온 및 음이온의 상대적인 당량 농도에 따라 Ca- HCO_3 , Ca-Cl, Na- HCO_3 , Na-Cl의 4가지로 분류할 수 있다. 유역별 수질유형을 살펴보면, 동부유역은 Na^+ , 서부지역은 Cl^- , 남부와 북부유역은 HCO_3^- 가 우세한 것으로 나타났다. 동부유역의 성산과 표선유역은 Ca- HCO_3 유형과 Na- HCO_3 유형이 우세하고, 서부유역의 한경과 대정유역은 Ca-Cl 유형 및 Na-Cl 유형이 우세한 것으로 나타났다. 또한 남부유역의 동서귀와 서서귀유역은 Ca- HCO_3 유형과 Na- HCO_3 유형, 남원유역은 Ca-Cl 유형이 우세하며, 북부유역의 서제주와 중제주 및 애월유역은 Ca- HCO_3 유형과 Na- HCO_3 유형이 우세한 수질유형을 보이고 있다. Na-Cl 수질유형은 동부유역의 구좌와 성산유역, 서부유역의 한경과 대정유역, 남부유역의 동서귀와 중서귀유역, 북부유역의 조천유역 일부지역에 분포한다.

수질항목별 분포 및 특성을 살펴보면, 제주도 전역에 걸쳐 염소이온 농도는 먹는물 수질기준 이하의 양호한 수질을 보이고 있다. 중산간 지역은 대체로 도전체 평균 염소이온 농도(30mg/l) 이하의 농도 분포를 보이는 반면, 해안 저지대의 경우 평균 농도 이상의 값을 보이는 지역도 있으며, 특히, 서부유역의 한경과 대정유역, 남부유역의 남원유역, 동

부유역의 표선·구좌유역 등의 일부 지역에서 $250\text{mg}/\ell$ 이상의 염소이온 농도가 나타나고 있다. 질산성질소 농도는 지역별, 고도별로 큰 편차를 보이고 있는데 해안저지대인 경우 먹는물 수질기준을 초과하는 관정이 많이 분포하고 있으며, 특히, 서부유역의 한경과 대정유역, 북부유역의 동제주와 조천유역, 남부유역의 동서귀와 남원유역에서 질산성질소 농도가 비교적 높게 나타나고 있다.

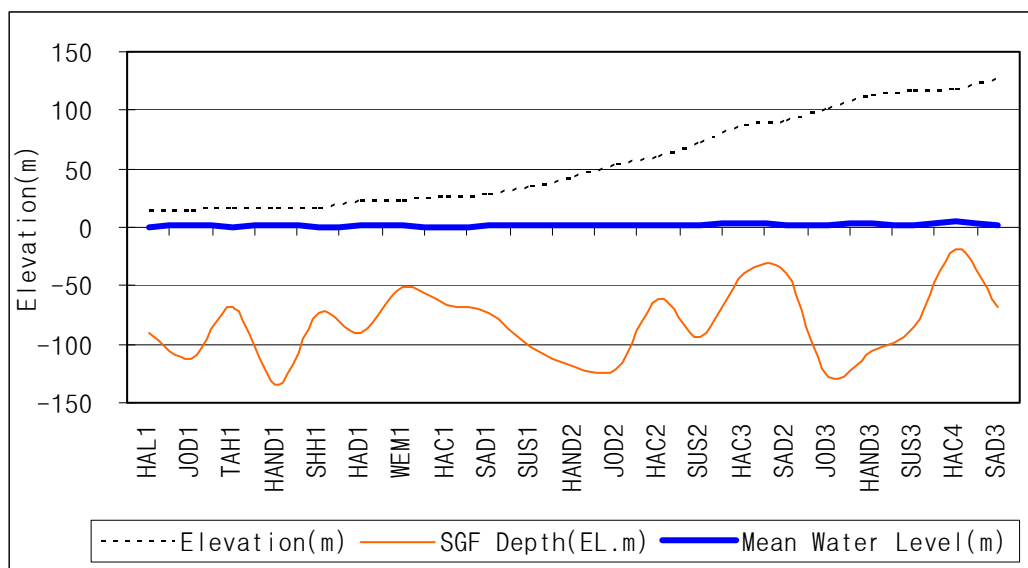
4. 지하수 부존형태와 지하수위

4-1. 기저지하수 분포지역

기저지하수 분포지역의 지하수위를 보면, 평균 수위는 3.04m 이하이고 수위변동 범위(최대수위-최저수위)는 4.7m 이하이며, 표준편차 또한 1m 이하를 나타내고 있다. 일평균 수위가 높고, 해발 100m 이상 지역의 수위변동 범위는 대체로 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 해발 100m 이상 지역에 위치한 관측정들은 강우에 의한 수위변화가 $2\sim 4\text{m}$ 의 범위에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 최저 수위를 보면, 대부분의 관측정들은 $0\sim 2\text{m}$ 내외를 유지하고 있다. 기저지하수 분포지역에 위치한 21개 관측정의 표고, 서귀포층(SGF : Seogwipo Formation) 분포심도, 일평균 수위와 관계를 <그림 2-2>에 나타낸 것이다. 서귀포층은 사암·이암·역암 등으로 이루어진 투수성이 낮은 퇴적층으로서 제주도 형성초기에 분출한 화산암류 하위에 광범위하게 분포하고 있어 지하수의 부존형태와 산출특성을 결정짓는 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(고기원, 1997). 그렇지만, 이들 관측정에서 확인된 서귀포층의 평균 분포심도는 평균 해수면아래 $83\text{m}(\text{EL.}-83\text{m})$ 이며, 최대 깊이는 $\text{EL.}-135\text{m}$ 이다. 다시 말하면, $\text{EL.}-83\text{m}$ 까지 투수성이 좋은 용암누층으로 이루어져 있고, 그 하부에 서귀포층이 분포하고 있다. 21개 관측정의 평균수위는 $\text{EL.}+1.63\text{m}$ 이며, G-H원리에 의한 담수렌즈체가 존재할 수 있

는 깊이는 EL.-65m이지만 서귀포층은 이 보다 더 깊은 EL.-83m 이하에 분포하고 있기 때문에 기저지하수 분포지역에서 서귀포층은 수문지질학적 방벽(hydrogeological barrier)의 역할을 못하고 있다.

상기와 같은 지질구조적인 특이성으로 인하여 기저지하수 분포지역의 수위는 표고의 증감은 물론 서귀포층의 지하 분포심도와 관련성 없이 해수면 근처에 근접해 매우 낮게 형성되고 있다. 강우량이 연평균 2,000mm에 달하는 지역임에도 불구하고 지하수위가 해수면에 근접해 있을 뿐만 아니라, 계절적 변동 폭도 작게 나타나는 것은 포화대의 체적이 강우량보다 훨씬 크고, 대수층의 저류성도 낮기 때문인 것으로 해석된다.



<그림 2-2>기저지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계

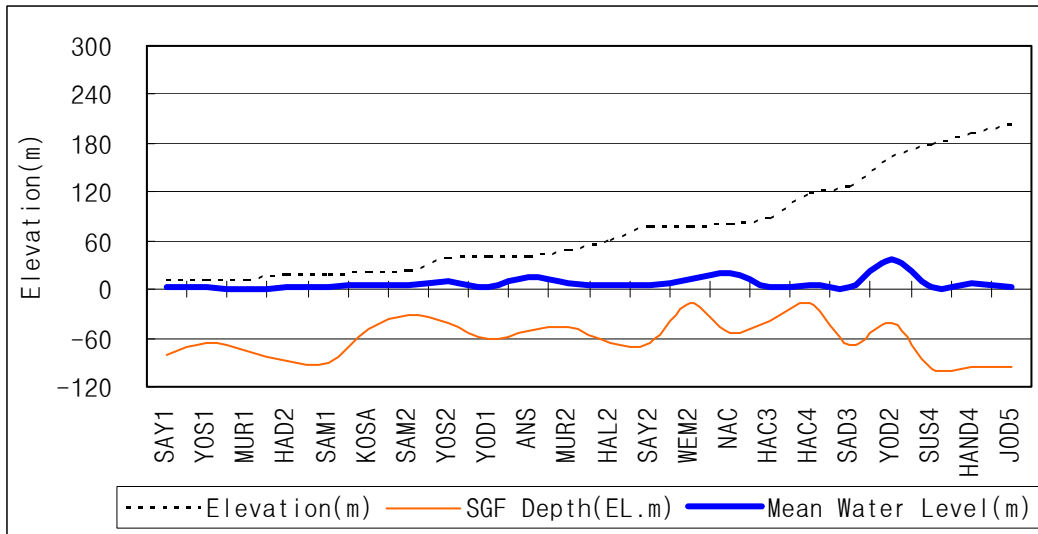
4-2. 준기저지하수 분포지역

준기저지하수는 제주도의 서부와 북부, 그리고 중산간 지역에 광범위하게 분포하고 있다. 준기저지하수 분포지역에 설치된 관측정의 지하수위는 1.68~25.2m 범위이나 평균수위는 7.52m으로서 기저지하수 분포

지역보다 훨씬 높게 형성되고 있다. 수위변동(최대수위-최저수위) 범위 또한 최대 45m까지 기록되고 있는데, 대체로 북부지역에 위치한 관측정들은 수위변동 범위가 10m 이상이고, 서부지역 관측정들은 5~10m 범위의 수위변동을 나타낸다.

이처럼, 준기저지하수 분포지역의 평균 지하수위와 변동범위가 기저지하수 분포지역과 큰 차이를 나타내는 가장 큰 이유는 지하지질구조의 차이로 해석되고 있다. 준기저지하수 분포지역에서 저투성 퇴적층인 서귀포층의 지하 분포심도를 보면 최대 EL.-98m, 평균 EL.-61m로서 기저지하수 분포지역보다 최대심도는 37m가 얕고, 평균심도는 22m가 얕은 위치에 분포하고 있다. 또한, 용암누층 사이에는 2~5m의 두께를 갖는 퇴적층(고토양층, 화산회층, 응회질 퇴적층)이 2~3매 존재하고 있다.

<그림 2-3>은 준기저지하수 분포지역에 위치한 22개 관측정의 표고, 서귀포층(SGF : Seogwipo Formation) 분포심도, 일평균 수위와 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 때, 표고와 지하수위와의 상관성은 찾아볼 수 없으나 서귀포층의 분포심도와 지하수위 간에는 비례적인 상관성이 있음을 알 수 있는데, 서귀포층의 분포심도가 깊을수록 지하수위는 낮은 반면 이 층의 분포심도가 높으면 높을수록 지하수위도 높아지는 경향을 나타내고 있다. 이 같은 현상은 준기저지하수 분포지역에서 서귀포층의 분포심도는 지하수위 형성에 결정적인 역할을 하는 요인이 되고 있음을 시사해 주는 것이다. 다시 말해서, 서귀포층은 투수성이 좋은 화산암류를 통해 함양된 지하수를 하부로 침투하는 것을 방해하는 차수막과 같은 역할을 하는 수문지질 단위가 되고 있다.



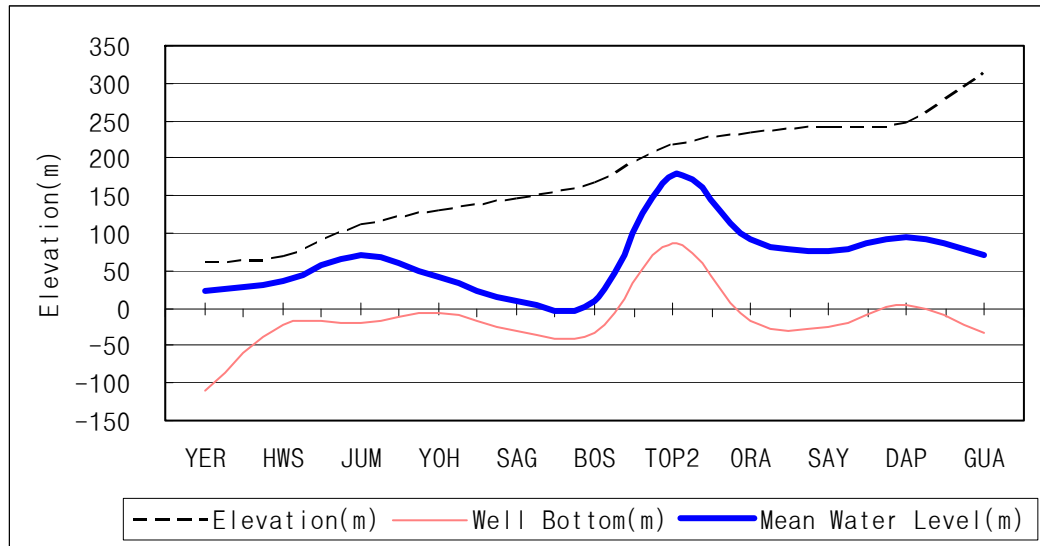
<그림 2-3> 준기저 지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계

4-3. 상위지하수 분포지역

상위지하수는 남부지역과 한라산 고지대를 포함하는 제주도 중양부에 분포하고 있다. 상위지하수 분포지역의 지하수위는 9.61~177.32m 범위이고 평균수위는 60.11m로서 기저지하수나 준기저지하수 분포지역과는 매우 다른 양상을 나타내고 있다. 수위변동(최대수위-최저수위) 범위 또한 최대 83.62m까지 기록되고 있다.

<그림 2-4>은 상위지하수 분포지역에 위치한 11개 관측정의 표고, 굴착심도, 일평균 수위와 관계를 나타낸 것이다. 관측정의 굴착심도는 대체로 EL.-50m 이내로서 전술한 기저지하수(평균 EL.-95m) 및 준기저지하수(평균 EL.-82m) 분포지역에 위치한 관측정보다 훨씬 얕으며, 지하수위는 굴착심도와 비례적인 상관성을 나타내고 있다. 상위지하수 분포지역은 지형경사가 급할 뿐만 아니라, 강우량이 풍부하고 아아(Aa) 용암류가 지배적으로 분포하고 있다. 특히, 서귀포층이 평균 해수면 상부 10~80m 범위에 분포하고 있으며, 서귀포층까지의 용암류 단위는 5~9매에 불과하기 때문에 포화대의 두께가 매우 얇다. 이러한 수문지질

학적 특징으로 인하여 상위지하수 분포지역은 타 지역에 비해 수위가 매우 높은 위치에 형성되고 있을 뿐만 아니라, 수위변동도 상당히 크게 발생하고 있다.



<그림 2-4> 상위지하수 부존지역의 서귀포층 분포심도, 평균수위, 표고와의 관계

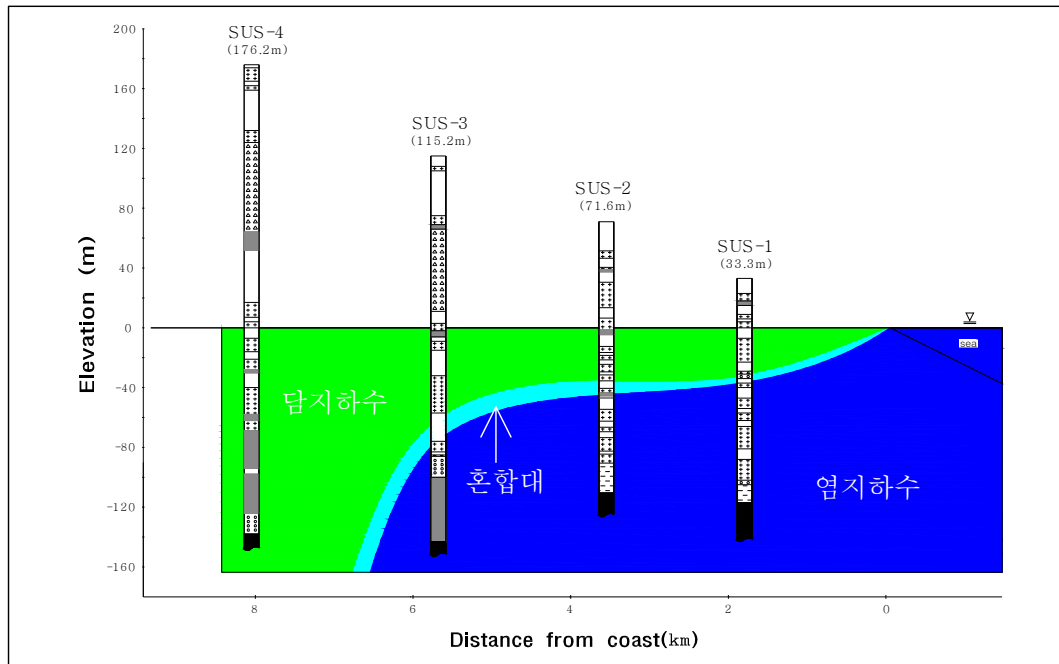
5. 담·염수 경계면에 대한 특성

제주도에서 담·염수 경계면을 갖는 지하수는 기저지하수 부존지역에 한정되어 분포하고 있다. 기저지하수는 동부지역에 광범위하게 분포하고 있으며, 제주도에서는 이 지역에 해수면아래 150m에 이르는 심부 관측정을 19개소에 설치해 담·염수 경계면의 분포와 변동상태를 지속적으로 모니터링하고 있다.

제주도 동부지역에서 담수 지하수체(또는 담수렌즈)의 수직적인 분포 두께는 해안에서의 거리에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 즉, 해안선에서 약 0.9km 내륙 쪽에 위치한 한동1호공에서는 평균 해수면아래 33.6m까지 담수 지하수체가 형성되어 있으나 약 2.5km 내륙 쪽에 위치한 한동2호공에서는 평균 해수면아래 35.3m로 다소 두터워지며, 내륙

쪽 5.2km 지점에 위치한 한동3호공에서는 평균 해수면아래 68.2m를 나타내어 내륙 쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 담수 지하수체의 두께가 두꺼워지는 현상을 나타내고 있다.

또한, 수산지역에서도 담수지하수는 1호공(해안에서의 거리 1.4km)의 경우는 평균 해수면아래 26.84m까지, 2호공(해안에서의 거리 3.2km)은 평균 해수면아래 28.95m, 3호공(해안에서의 거리 5.5km)은 48.34m까지 각각 분포하고 있다(그림 2-5). 그러나, 한동4호공(해안에서의 거리 8.8 km)과 수산4호공(해안에서의 거리 8.1km)에서는 담·염수 경계면을 갖는 지하수체 즉, “담수렌즈(freshwater lens)”는 형성되지 않고 자연수위에서 공저까지 담수지하수로 이루어져 있다. 지금까지 조사한 바에 의하면, 제주도 동부지역은 일반적인 G-H비가 적용되지 않고 있다. 한동1호공의 경우, 해수면 상부에 위치하는 수위가 1.8m이기 때문에 평균 해수면아래 72m까지 담수지하수체가 형성되어야 하지만 관측된 값은 평균 해수면아래 33.6m 깊이까지만 담수렌즈가 형성되어 있어 약 38m의 차이를 보이고 있다. 이처럼, 제주도 동부지역에서 담수렌즈가 형성되고 있는 수직적 비율(G-H비)은 최소 1 : 13, 최대 1 : 31, 평균 1 : 19의 값을 나타내어 일반적인 G-H비에 의한 담수지하수체 보다 두께가 훨씬 얇은 담수렌즈가 형성되고 있다.



<그림 2-5> 제주도 동부지역 담·염수 경계면의 분포

6. 강수량 분포 특성

제주도는 우리나라에서 비가 가장 많이 내리는 지역 중의 한 곳이다. 해안저지대에 위치한 기상청 관할 4개 기상대 및 기상관측소에서 측정된 30년 평균 강수량은 1,567mm이지만, 중산간 및 한라산 지역을 포함한 도 전역의 10년 평균(1993-2002) 강수량은 1,975mm(제주도, 2003)이다.

지역별 무강수지속일수는 서귀포지역이 36일로 가장 길며 고산지역이 26일로 가장 짧은 것으로 조사되었다. 평년강수량의 지역적 편차를 보면, 남부·동부·북부지역은 연간 1,430~1,856mm의 비가 내리지만 서부지역은 1,121mm에 불과하다. 2005년도의 강수량은 평년 기준에 비해 약 270~570mm 적게 내린 것으로 분석되었다. 특히, 마늘과 같은 채소류는 8월~9월에 과중하고, 9~10월에 발아가 이루어지는 시기에 서부지역의 강수량인 경우 평년에 비해 10%, 북부지역은 4%의 매우 적은 비가 내려 가뭄으로 인한 농작물 피해가 발생하였다. 또한 농업용수 공급

을 위해 집중적으로 많은 지하수관정이 동시에 가동되면서 지하수위가 해수면 하로 급격히 내려가는 상황도 발생하였다.

<표 2-1> 제주도의 지역별 강수량 현황

(단위 : mm)

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
제 주	평 년	62	68	75	88	91	169	219	243	212	76	71	56	1,430
	2004년	41	48	58	56	125	66	56	405	349	25	52	55	1,334
	2005년	47	98	85	34	53	12	121	218	9	18	93	79	865
고 산	평 년	46	46	74	83	117	139	166	211	112	38	58	31	1,121
	2004년	16	70	73	118	169	85	48	364	240	25	27	35	1,270
	2005년	33	53	97	54	82	36	165	130	11	45	93	31	828
서 귀 포	평 년	31	76	114	181	218	266	290	256	163	72	78	46	1,821
	2004년	16	97	87	258	421	180	53	421	326	36	81	44	2,018
	2005년	33	105	195	136	138	96	195	244	17	53	137	43	1,391
성 산 포	평 년	79	79	123	143	168	229	283	305	201	94	90	60	1,856
	2004년	69	45	108	143	291	114	61	553	412	46	76	48	1,963
	2005년	58	110	168	97	119	42	374	256	64	65	124	113	1,588

<표 2-2> 제주도의 지역별 강수기록 현황

구 분	제 주	서귀포	성 산	고 산
무강수지속일수	28일	36일	29일	26일
평균강우량(년)	1,430mm	1,821mm	1,856mm	1,121mm
최대강우량(년)	2,526mm	3,244mm	3,194mm	1,875mm
최저강우량(년)	865mm	1146mm	1,070mm	736mm
20년빈도 최저강우량	865mm (2005년)	1,369mm (2000년)	1,275mm (1988년)	736mm (1988년)

※ 제주·서귀포 : 1961~2005년, 성산 : 1973~2005년, 고산 : 1988~2005년

최근 10년간(1996~2005년) 지역별 연간 무강우 일수는 4개 기상관측소에서 235~251일로 나타났다(표 2-3 참조). 지역별로 보면 제주기상관측소가 평균 235일, 서귀포기상관측소가 239일, 고산기상관측소가 242일, 성산포기상관측소가 251일로 성산에서 연간 무강우 일수가 가장 길게 나타나는 것으로 분석되었다.

<표 2-3> 지역별 연간 무강우 일수(1996~2005년)

(단위:일)

지 역	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	평균
제 주	247	249	245	214	248	221	231	210	244	243	235
서귀포	257	256	250	239	247	227	219	222	233	240	239
성 산	257	257	246	241	261	246	242	231	269	258	251
고 산	249	267	258	240	238	232	226	224	243	242	242

7. 용천수

제주도의 해안과 고지대의 곳곳에 분포하고 있는 용천수는 지하의 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 지하수이다. 용출위치가 멸실·매립되거나 훼손된 것을 포함한 용천수의 분포 현황을 보면, 200m이하의 저지대에 전체의 92.3%에 달하는 841개소가 대부분 분포하고 있으며 중산간지대에 49개소, 600m 이상의 고지대에도 21개소가 분포하고 있었다. 지역별로는 북부지역에 317개소로 가장 많은 용천수 분포하고 있으며, 남부지역, 서부지역, 동부지역 순서로 분포 개소수가 많다(표 2-4 참조).

용천수의 분포상태를 보면, 지형경사가 완만하고 현무암질 용암류가 대지상으로 분포하는 동·서부의 중산간지역에는 10여 개소에 지나지 않는 반면, 대부분의 용천수들은 지형경사가 급하고 조면암과 조면질현무

암류가 주로 분포하는 남·북지역의 중산간 및 고지대에 집중적으로 분포하고 있다. 특히, 남·북사면에 분포하는 용천수들은 주로 하천변이나 그 주변 지역에 위치하는데 비하여 동·서부지역에서는 분석구의 주변이나 기슭에서 용출하고 있다. 용천수들은 하천의 절벽이나 벼랑, 요철지형의 오목지(凹), 산기슭 등에 위치하고 있는데, 이는 중력의 지배를 받으며 유동하던 지하수가 지형변화로 인하여 지하수면이 지표로 노출됨으로서 생겨나는 현상이다.

<표 2-4> 제주도 용천수의 표고별 분포

지 역		개소	200m 이하	200~600m	600m 이상
합 계		911	841(92.3%)	49(5.4%)	21(2.3%)
동부지역	소계	150	146(16.0%)	4(0.4%)	-
	구좌읍	88	84	4	-
	성산읍	45	45	-	-
	표선면	17	17	-	-
서부지역	소계	181	177(19.4%)	4(0.4%)	-
	한림읍	94	90	4	-
	한경면	41	41	-	-
	대정읍	46	46	-	-
남부지역	소계	263	244(26.8%)	12(1.3%)	7(0.8%)
	안덕면	52	52	-	-
	(구)서귀포시	168	151	12	5
	남원읍	43	41	-	2
북부지역	소계	317	274(30.1%)	29(3.2%)	14(1.5%)
	애월읍	92	80	6	6
	(구)제주시	142	111	23	8
	조천읍	83	83	-	-

1998~1999년에 걸쳐 제주도에서 701개소의 용천수에 대한 용출량을 측정한 결과, 1일 평균 1,083천 m^3 , 최대 1,608천 m^3 으로 시기에 따라 용출량 변화가 큰 것으로 조사되었다(제주도, 1999). 전체 용천수의 용출량 변동량(최대 용출량 - 평균 용출량)은 523,570 m^3 /일으로서 평균 용출량의 48%에 해당하여 강우량에 따른 용출량의 변동 폭이 매우 크다. 용천수의 수질은 지역별로 차이를 나타내는데, 대체적으로 해발 200m 이상의 지역에 위치한 용천수들은 강우의 구성에 가까운 수질조성을 보이고 있는데, 이 같은 현상은 지하수의 순환속도가 매우 빠름으로써 지층 내에서 물-암석반응이 거의 이루어지지 않고 있음을 의미하는 것이다.

Ⅲ. 지역별 농업특성

1. 경지면적

본 연구에서 농업관련 농지면적, 지목별 현황 및 작목별 재배면적은 2005년도 자료 취득이 용이하지 않아 2004년도 자료를 이용하였다. 제주도의 경지면적은 내륙지역에서 점진적으로 감소하고 있는 것과 달리 1971년 49,836ha에서 2004년말 현재 58,951ha로 지속적으로 증가하고 있다. 농가 호당 경지면적 또한 매년 증가하여 1971년 0.87ha에서 2004년 1.56ha로 증가하고 있다. 경지면적의 변화를 보면, 논은 1995년을 기점으로 큰 폭으로 감소한 반면, 밭은 꾸준히 증가하고 있는 것으로 조사되었다(표 3-1참조).

2004년말 기준 시·군별 경지면적을 보면, (구)북제주군이 제주도 전체 경지면적의 42%인 24,764ha를 차지하고 있고, (구)남제주군 36%(21,766ha), (구)서귀포시 12%(6,974ha), (구)제주시 10%(5,477ha)로서 (구)북제주군과 (구)남제주군 지역에 집중되어 있음을 알 수 있다.

<표 3-1> 경지면적 현황

구분	경지면적(ha)			농가 호당 경지면적(a)		
	합 계	논	밭	계	논	밭
1971	49,836	1,033	48,803	87.0	1.8	85.2
1975	49,498	1,063	48,436	88.8	1.9	86.9
1980	50,116	1,003	49,113	94.9	2.5	92.4
1985	51,028	1,038	49,990	120.7	2.5	118.2
1990	54,788	886	53,902	136.5	2.2	134.3
1995	56,829	206	56,623	142.8	0.5	142.3
2000	59,207	195	59,012	151.4	0.5	150.9
2001	58,965	194	58,771	145.0	0.5	144.5
2002	59,167	194	58,973	156.3	0.5	155.8
2003	58,503	194	58,309	154.4	0.5	153.9
2004	58,951	171	58,780	155.6	0.5	155.1

자료 : 제주통계연보(제주도, 각연도)

<표 3-2> 시·군별 경지면적 현황(2004년)

구분	경지면적(ha)			농가 호당 경지면적(a)		
	합 계	논	밭	계	논	밭
제주도 전체	58,951	171	58,780	155.6	0.5	155.1
(구)제주시	5,447	0	5,447	15.0	0.0	15.0
(구)서귀포시	6,974	25	6,949	101.3	0.4	101.0
(구)북제주군	24,764	97	24,667	347.4	1.4	346.1
(구)남제주군	21,766	49	21,717	195.1	0.4	194.7

자료 : 제주통계연보(제주도, 2005)

2. 지목별 현황

지목별(전·과·답) 농지면적을 분석한 결과, 2004년말 현재 제주도의 총 농지면적은 541.3km²이며, 이중 전(田)이 전체의 63.7%인 344.7km²를 차지하고 있으며, 과수원이 34.8%(188.5km²), 답이 1.5%(8.1km²)를 차지하고 있다.

지역별 지목별 농지면적을 보면, 전(田)은 구좌읍(41.3km²), 대정읍(41.1km²), 애월읍(40.2km²), 한경면(33.8km²)순으로 분포하고 과수원은 남원읍이 (구)북제주군 전체 과수원 면적과 유사한 45.1km²를 차지하고 있다. 답(畓)은 서귀포시 지역과 한경면 지역에 매우 소규모의 경작이 이루어지고 있다.

연도별 지목별 변화추세를 살펴보면, 농지면적은 전체적으로 1971년 500.5km²에서 2004년말 현재 541.3km²로 40.8km²가 증가한 것으로 나타났다. 지목별 농지면적을 보면, 전과 답의 비율은 지속적으로 감소하는 반면, 과수원은 꾸준히 증가하여 1980년에는 제주도 전체 면적 5.0%를 차지하다가 2000년에 10.1%까지 증가하고 그 이후 10.2%를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 표고별 농지면적 분포도를 보면, 100m 이하지역은 54.7%, 100~200m 지역은 38.4%, 200~300m 지역은 15.7%로 대부분 표고 200m 이하지역에 분포하고 있다(제주도 2004).

<표 3-3> 지역별 지목별 농지면적 현황(2004년말 현재) (단위 : km², %)

구분		총면적 (km ²)	계		전		답		과수원		기타	
			면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
제주도		1848.2	541.3	29.3	344.7	18.7	8.1	0.4	188.5	10.2	1306.9	70.7
(구)제주시		255.5	58.7	23.0	28.2	11.0	0.6	0.2	29.9	11.7	196.7	77.0
(구)서귀포시		254.9	67.5	26.5	32.2	12.6	3.5	1.4	31.9	12.5	187.4	73.5
(구) 북 제 주 군	소 계	722.3	218.2	30.2	170.1	23.5	2.6	0.4	45.5	6.3	504.1	69.8
	한림읍	91.2	35.6	39.1	29.3	32.1	0.2	0.2	6.1	6.7	55.6	60.9
	애월읍	202.2	55.4	27.4	40.2	19.9	0.9	0.4	14.4	7.1	146.7	72.6
	구좌읍	186.0	43.8	23.5	41.3	22.2	0.4	0.2	2.1	1.1	142.2	76.5
	조천읍	150.7	35.1	23.3	19.8	13.2	0.0	0.0	15.3	10.2	115.5	76.7
	한경면	79.1	42.4	53.7	33.8	42.8	1.1	1.4	7.6	9.6	36.6	46.3
	추자면	7.1	1.6	22.8	1.6	22.2	-	-	-	-	5.5	77.2
	우도면	6.2	4.2	67.2	4.1	67.1	-	-	-	-	2.0	32.8
(구) 남 제 주 군	소 계	615.5	196.9	32.0	114.2	18.6	1.4	0.2	81.3	13.2	418.6	68.0
	대정읍	78.6	47.8	60.8	41.1	52.3	0.6	0.8	6.1	7.7	30.8	39.2
	남원읍	188.5	54.6	29.0	9.4	5.0	0.0		45.1	24.0	133.9	71.0
	성산읍	107.7	33.9	31.5	22.6	20.9	0.1	0.1	11.2	10.4	73.8	68.5
	안덕면	105.5	27.1	25.7	19.7	18.7	0.7	0.6	6.7	6.4	78.5	74.3
	표선면	135.2	33.5	24.8	21.4	15.8	0.0	0.0	12.1	8.9	101.6	75.2

자료 : 제주통계연보(제주도, 2005)

<표 3-4> 연도별 농지면적 현황 (단위 : km², %)

구분	합계	농지면적								기타	
		계		전		과 수 원		답			
		면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
1971	1,819.8	500.5	27.5	490.5			27.0	10.0	0.5	1,319.3	72.5
1975	1,820.0	505.7	27.8	496.0			27.3	9.7	0.5	1,314.3	72.2
1980	1,824.9	520.4	28.5	420.0	23.0	91.0	5.0	9.4	0.5	1,304.5	71.5
1985	1,824.8	519.0	28.4	417.8	22.9	91.8	5.0	9.4	0.5	1,305.8	71.6
1990	1,825.6	519.9	28.5	387.4	21.2	123.4	6.8	9.1	0.5	1,305.7	71.5
1995	1,845.4	532.8	28.9	365.3	19.8	158.7	8.6	8.8	0.5	1,312.6	71.1
2000	1,846.3	541.2	29.3	346.2	18.7	186.8	10.1	8.3	0.4	1,305.1	70.7
2001	1,847.1	543.4	29.4	347.5	18.8	187.7	10.2	8.2	0.4	1,303.7	70.6
2002	1,847.2	541.6	29.3	345.7	18.7	187.7	10.2	8.2	0.4	1,305.6	70.7
2003	1,847.8	541.4	29.3	344.8	18.7	188.5	10.2	8.1	0.4	1,306.3	70.7
2004	1,848.2	541.3	29.3	344.7	18.7	188.5	10.2	8.1	0.4	1,306.9	70.7

자료 : 제주통계연보(제주도, 각 연도)

2. 작물재배

제주도 주요작물 재배면적에 대한 변화를 보면 식량작물의 재배면적은 점차 감소하고 있는 반면, 과실류와 채소류는 재배면적이 점차 증가하고 있는 것으로 조사되었다. 과실류 중 감귤 재배면적은 노지감귤의 간벌로 인해 감소가 예상되나 시설감귤 재배면적은 당분간 증가될 것으로 사료된다.

주요작물 재배면적의 변화에서 농업용수 수요량이 작은 식량작물의 재배면적은 줄어드는 반면, 농업용수 수요량이 많은 채소류와 시설과실류, 화훼류의 재배면적이 증가되는 것으로 전망되고 있어 향후 농업용수의 수요량 또한 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

<표 3-5> 제주도 주요작물 재배면적 현황

(단위 : ha)

구 분	식량작물 ¹⁾	과실류 ²⁾	채소류 ³⁾	특용작물 ⁴⁾	화훼류 ⁵⁾
1971년	49,874	5,842	2,612	12,860	-
1975년	47,751	10,935	2,783	17,615	-
1980년	39,143	14,163	3,425	14,617	-
1985년	30,023	17,255	10,660	10,086	-
1990년	28,772	20,237	9,404	7,132	-
1995년	22,662	21,958	11,176	3,957	-
2000년	19,269	26,295	12,058	5,463	408
2003년	15,668	25,021	12,927	4,867	416
2004년	18,378	22,488	13,538	4,562	433

자료 : 각 시군 통계연보(각 연도)

- 1) 식량작물 : 미곡(논벼, 밭벼), 맥류(겉보리, 맥주보리 등), 잡곡(조, 메밀 등), 두류(통, 팔, 등), 서류(고구마, 감자)
- 2) 과실류 : 감귤, 파인애플, 단감 등
- 3) 채소류 : 과채류(수박, 참외 등), 엽채류(배추 양배추 등), 조미채소(양파, 마늘, 파 등), 근채류(무우, 당근 등)
- 4) 특용작물 : 유채, 참깨, 땅콩, 약용작물 등
- 5) 화훼류 : 절화류(장미, 국화 등), 분화류, 난류, 조화류, 관상수류, 화목류 등

2-1. 식량작물

2004년말 현재 제주도 식량작물의 총 재배면적은 18,378ha이며 대정읍 지역이 4,254ha(23.1%)로 가장 넓고, 구좌읍(3,002ha), 한경면(2,457ha), 안덕면(2,297ha) 순으로 조사되었다. 식량작물 중에서 두류 재배면적이 7,077ha로 가장 넓고, 서류(6,246ha), 맥류(3,757ha) 재배 순으로 나타났다.

미곡의 지역별 재배면적 비중은 표선지역이 19.3%(154ha)으로 가장 높았고, 대정(148ha), 한경(144ha), (구)제주시(90ha) 순으로 나타났다. 맥류는 한경지역이 27.2%(1,023ha)로 가장 높았고, 대정(619ha), 한림(566ha) 순으로 나타났으며, 잡곡류는 애월지역이 25.1%(126ha), 두류는 구좌지역이 1,564ha, 서류는 대정지역 2,140ha로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-6> 시·군별 식량작물 재배면적(2004년)

(단위 : ha)

구분		합계	미곡	맥류	잡곡	두류	서류
제주도 전체		18,378	796	3,757	502	7,077	6,246
(구)제주시		1,108	90	450	37	493	38
(구)서귀포시		134	15	19	-	50	50
(구)북제주군	소계	7,958	342	2,309	308	2,988	2,011
	한림읍	956	52	566	106	127	105
	애월읍	1,053	35	254	126	183	455
	구좌읍	3,002	75	296	14	1,564	1,053
	조천읍	348	35	30	2	269	12
	한경면	2,457	144	1,023	60	845	385
	우도면	142	1	140	-	-	1
(구)남제주군	소계	9,178	349	979	157	3,546	4,147
	대정읍	4,254	148	619	97	1,250	2,140
	남원읍	107	2	-	-	79	26
	성산읍	1,583	36	44	-	734	769
	안덕면	2,297	8	310	60	1,072	847
	표선면	936	154	6	-	411	365

자료 : 각 시·군 통계연보(2005)

2-2. 채소류

2004년말 현재 채소류의 총 재배면적은 13,538ha이며, 채소류 중에서 마늘을 포함한 조미채소류의 재배면적이 5,311ha로 가장 넓고, 근채류(4,976ha), 엽채류(2,724ha) 순으로 재배되고 있는 것으로 조사되었다. 채소류는 매년 점진적으로 증가하는 추세를 나타내고 있다(표 3-5 참조).

과채류의 지역별 재배면적 비중은 애월지역이 67.4%(355ha)로 가장 높고 조천(9.5%), 구제주시(5.7%), 한림지역(4.4%) 순으로 조사되었다. 조미채소류는 대정지역이(39.1%) 가장 높고 한경, 구좌, 한림지역 순이며, 엽채류는 애월(32.2%), 성산(20.9%), 한림(16.5%)순으로 조사되었다. 근채류는 동부지역인 성산지역(39.8%)과 구좌지역(33.2%)에서 제주도 전체 73%가 재배되고 있는 것으로 나타났다.

<표 3-7> 시·군별 채소류 재배면적(2004년)

(단위 : ha)

구분		합계	과채류	조미채소	엽채류	근채류
제주도 전체		13,538	527	5,311	2,724	4,976
(구)제주시		415	30	90	91	204
(구)서귀포시		89	14	63	10	2
(구)북제주군	소계	7,173	450	2,843	1,683	2,197
	한림읍	1,037	23	509	449	56
	애월읍	1,772	355	380	877	160
	구좌읍	2,421	4	740	26	1,651
	조천읍	617	50	214	84	269
	한경면	1,188	18	862	247	61
	우도면	138	-	138	-	-
(구)남제주군	소계	5,861	33	2,315	940	2,573
	대정읍	2,400	16	2,079	240	65
	남원읍	46	2	-	3	41
	성산읍	2,560	-	10	570	1,980
	안덕면	324	12	226	64	22
	표선면	531	3	-	63	465

자료 : 각 시·군 통계연보(2005)

2-3. 과실류

2004년말 현재 과실류의 총 재배면적은 22,488ha이며, 감귤류의 재배면적이 과실류 전체 면적 98%인 22,048ha를 차지하고 있으며, 그 뒤를 이어 단감과 키위 순으로 조사되었다. 감귤류의 지역별 재배면적을 보면, 남원지역이 23.3%(5,146ha)로 가장 높았고, (구)서귀포시 23.1%(5,127ha), (구)제주시 12.0%(2,647ha), 조천지역 8.1%(1,795ha) 순으로 나타났다. 시설감귤류 재배면적 또한, 남원과 (구)서귀포시를 중심으로 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 단감류의 지역별 재배면적을 보면, (구)제주시가 52.9%로 가장 높았고, 애월읍(16.7%), 한림읍(9.2%) 순으로 나타났으며, 키위는 구제주시가 20.8%로 가장 높고, 남원(19.0%), 표선(13.7%) 순으로 조사되었다.

<표 3-8> 시·군별 과실류 재배면적(2004년)

(단위 : ha)

구분	합계	감귤			파인애플	키위	단감	기타
		소계	노지	시설				
제주도 전체	22,488	22,048	19,789	2,259	10	168	174	88
(구)제주시	2,785	2,647	2,541	106	0	35	92	11
(구)서귀포시	5,116	5,085	4,521	564	8	5	5	13
(구)북제주군	소계	5,256	5,127	4,723	404	0	48	14
	한림읍	700	679	595	83	0	5	1
	애월읍	1,723	1,671	1,563	109	0	19	4
	구좌읍	111	103	86	17	0	2	1
	조천읍	1,723	1,795	1,732	63	0	11	3
	한경면	900	880	747	133	0	11	5
(구)남제주군	소계	9,329	9,132	8,848	1,185	0	80	50
	대정읍	697	688	611	77	0	3	3
	남원읍	5,217	5,146	4,423	723		32	36
	성산읍	1,029	1,006	955	51	2	18	2
	안덕면	996	989	918	71	0	4	1
	표선면	1,394	1,361	1,097	263	0	23	9

자료 : 각 시·군 통계연보(2005)

2-4. 특용작물과 화훼류

2004년말 현재 특용작물의 총 재배면적은 4,562ha이며, 지역별 재배면적의 비중을 보면, 구좌지역이 22.3%(1,019ha)으로 가장 높고, 애월읍 16.5%(755ha), 성산읍 12.1%(554ha) 순으로 재배되고 있는 것으로 조사되었다.

화훼류의 총 재배면적은 433ha이며, 지역별 재배면적의 비중을 보면, (구)서귀포시가 26.4%(114ha)로 가장 높았고, 구좌읍 18.3%(79ha), 표선면 14.3%(62ha), (구)제주시 11.8%(51ha), 안덕면 5.6%(24ha) 순으로 조사되었다.

<표 3-9> 시·군별 특용작물과 화훼류 재배면적(2004년)

(단위 : ha)

구분		특용작물	비율(%)	화훼	비율(%)
제주도 전체		4,562	100.0	433	100.0
(구)제주시		358	7.8	51	11.8
(구)서귀포시		90	2.0	114	26.4
(구)북제주군	소계	2,795	61.3	138	31.8
	한림	296	6.5	12	2.8
	애월	755	16.5	7	1.7
	구좌	1,019	22.3	79	18.3
	조천	235	5.2	34	7.8
	한경	323	7.1	5	1.2
	우도	167	3.7	0	0
(구)남제주군	소계	1,319	28.9	130	30.0
	대정	165	3.6	2	0.4
	남원	88	1.9	18	4.2
	성산	554	12.1	24	5.5
	안덕	203	4.4	24	5.6
	표선	309	6.8	62	14.3

자료 : 각 시·군 통계연보(2005), 친환경농업과

IV. 하와이주의 농업용수 개발 및 관리

1. 사탕수수 농업과 관수시스템의 변천

거의 1세기 동안 하와이주의 경제를 주도해 왔던 농업은 1959년, 제트 비행기가 취항하면서부터 관광산업으로 대체되는 변화를 보이기 시작하였다. ‘사탕의 왕국’이라 불리울 정도로 사탕수수 경작은 1980년대 중반까지 하와이주의 생명산업이었다. 1835년, 카우아이섬 콜로아(Koloa)에 최초로 사탕수수 경작이 성공하였고, 1837년에는 2톤의 생사탕을 수확하여 200달러에 팔린 것이 계기가 되어 사탕수수 경작은 하와이섬·마우이섬·오아후섬으로 빠르게 확대되었다. 초창기 사탕수수 경작에는 농업용수 및 노동력의 부족, 시장개척, 운송 등 여러 가지 문제를 지니고 있었으나 1852년부터 유럽, 북아메리카, 아시아 등지로부터 계약노동자를 불러와 용수 및 노동력 부족문제를 해결하였다. 한때, 계약노동자 수는 385,000명에 이르기도 하였는데, 이들은 우선적으로 부족한 농업용수를 확보하기 위한 도수관 매설, 터널굴착, 산악지대 관정개발 등 관개시스템 구축에 투입되었다.

1856년 카우아이섬의 리후에(Lihue) 사탕수수 농장은 연장 16km에 달하는 관개수로 시스템을 완성하는 등 사탕수수 경작에 필요한 물 공급시스템이 갖춰지면서 그 동안 쓸모없이 버려졌던 광활한 건조지역의 땅이 사탕수수 밭으로 변하였는데, 1920년경에는 제주도 면적의 55%에 해당하는 약 1,012km²(250,000에이커¹⁾)의 토지에 사탕수수가 재배되었다. 1837년, 2톤에 불과했던 사탕수수 수확량은 1876년 13,000톤, 1898년 225,000톤, 1932년 100만 톤으로 놀라울 만큼 증가하였으며, 1980년대 중반까지 연평균 100만 톤의 사탕수수가 수확되었다. 그러나, 전 세계적인 사탕소비량의 감소와 관광산업의 급속한 성장으로 사탕수

1) 1에이커는 0.4047ha임(약 1,225평임)

수 경작은 점점 쇠퇴해져 1996년 오아후섬과 하와이섬에서는 마지막 사탕수수 수확이 이루어졌고, 현재는 카우아이섬과 마우이섬에서만 사탕수수가 재배되고 있다.

비록, 하와이주에서 사탕산업이 1860년대부터 시작되었다고 할지라도, 대부분의 관수시스템은 1990년대 초반에 들어와서부터 개발되기 시작하였다. 대규모의 지표수를 강우량이 풍부한 고지대의 상시 유출 하천에 댐이나 보를 시설하여 취수한 후 수십 km에 이르는 도랑이나 수로/파이프를 통해 토지가 비옥한 건조지역(leeward)의 사탕수수 경작지로 도수되었다. 1920년에 사탕수수 경작이 최고조에 달했는데, 이때 약 250,000에이커의 토지에 1일 평균 3백만 톤에 이르는 농업용수가 사용되었다.

<표 4-1>은 사탕수수 플랜테이션 시대 때 개발된 하와이주 섬별 농업용수 공급시스템을 나타낸 것으로서 총 100개의 시스템에 달하였다. 카우아이섬에는 Lihue Plantation Co/East Kauai Water Co.에서 건설한 농업용수 공급 시스템을 비롯한 10개의 시스템이 건설돼 이용되었으며, 오아후섬에는 Waiahole Irrigation Co/Oahu Sugar Co.를 비롯한 4개의 회사에서 건설한 용수공급 시스템이 이용되었다. 또한, 마우이섬에는 East Maui Irrigation Co.를 비롯한 3개 회사의 농업용수 공급시스템이 건설되었고, 하와이섬에도 2개 회사에 의한 농업용수 공급시스템이 운영되었다.

상기와 같은 사탕수수 플랜테이션에 의해 건설된 용수 공급시스템은 농업용수뿐만 아니라, 사탕수수 공장용수, 수력발전 용수, 사탕수수 경작 농가의 생활용수, 사탕수수 수확물 운송용(운하) 등 다양한 용도로 이용되었다.

사탕수수와 파인애플을 주 작물로 하는 단일작물(monocrop) 농업은 1950년대까지 하와이주의 경제를 주도하여 왔으나, 1950년대 말부터 관광산업이 새로운 산업으로 부각되었다. 관광산업은 사탕수수 경작에 비

해 고된 노동을 필요로 하지 않을 뿐만 아니라, 노동조건과 임금도 상대적으로 좋기 때문에 많은 노동자들은 관광업계로 이직하였다. 특히, 전 세계적으로 설탕 소비량이 급감하면서 하와이주의 사탕산업은 1970년대 초반부터 사양길로 접어들게 되었다. 관광산업이 확대되면서 농경지가 리조트, 골프장, 레크리에이션, 공원, 유원지 등의 관광지와 신도시로 개발되기 시작하였다. 이에 따라, 농업용수 공급시스템도 폐기되거나 망치되었다.

<표 4-1> 사탕수수 플랜테이션 시대 때 개발된 농업용수 공급시스템

Plantation and ditches	Date	Ave. Flow (mgd)*	Capacity (mgd)
KAUAI PLANTATIONS			
Lihue Plantation Co/East kauai Water Co.	1856	140**	60-90
Rice Ditch	ca. 1870	(23)	
Lower Lihue Ditch			
Upper Lihue Ditch			
Hanamaulu Ditch			
Kapaia Ditch	1915		
Waiahi-Kuia Aqueduct(Koloa Ditch)	1926		
Waiahi-Iliiliula-N. Wailua ditches			
N. Wailua Ditch			
Stable Storm	1926		
Hanalei Tunnel	1928		
Kaapoko Tunnel			
Wailua Ditch			
Kapahi Tunnel and Makaleha system	1922-1929		
Makee Sugar Co.	ca 1880-1900		
Anahola, Kaneha, Kapaa ditches			
Grove Farm	1865-1868		
Several small ditches	1884		
Halenanahu Ditch	1893		
Huleia Ditch	1917	20**	
Upper Ditch	1928-1948		
Main Ditch(later Lower Ditch)			
Koloa Sugar Co.	1869		
Dole's "Water lead"	1885, 1893		
Wilcox Ditch	1902		
Mill Ditch	1906		
Waita(Koloa) Reservoir			

Plantation and ditches	Date	Ave. Flow (mgd)*	Capacity (mgd)
McBryde Sugar Co.		95**	
Kamooloa Ditch	1907		
Wainiha Powerplant	1906	50	65
Pump 3	ca. 1908	34	
Alexander Reservoir	1932	10	
Kilauea Sugar Co.			
System of reservoirs and ditches	ca. 1880-1900		
Reservoirs: Kalihiwai, Stone Dam, Puu Ka Ele, Morita, Waiakalua, and Koloko			
Ditches: Mill, Koolau, Puu Ka Ele, Koloko and Moloaa, Hanalei			
Hawaiian Suga co/Olokele Sugar Co.		100**	
Hanapepe Ditch	1891	35	42
Olokele Ditch	1904	66	
Gay & Robinson			
Koula Ditch Tunnel(Hanonui Tunnel)	1948	40	
Waimea Sugar Mill Co.			
Waimea(Kikiaola) Ditch	1903	5	
Kekaha Sugar Co.		50**	
Kekaha Ditch	1907	30	40
Kokee Ditch	1927	15	55
OAHU PLANTATIONS			
Waiahole Irrigation Co/Oahu Sugar Co.		32**	
Waiahole Ditch		42-27	100
Waialua Sugar Co.		30**	
Oahu Ditch(Mauka Ditch Tunnel), Wahiawa, Helemano, Tanada ditches	1902 ca. 1902		
Opaaula Ditch	1903		
Kamananui Ditch	1904		
Ito Ditch	1911		
Kahuku Plantation Co.		10**	
Puanluu Ditch	ca. 1906	10	
Waimanalo Sugar Co.			
Kailua Ditch			
Maunawili Ditch			

Plantation and ditches	Date	Ave. Flow (mgd)*	Capacity (mgd)
MAUI PLANTATIONS			
East Maui Irrigation Co.		160**	440
(Old) Hamakua Ditch	1878	(4)	
(Old) Haiku(Spreckels) Ditch	1879		
Lowrie Ditch(Lowrie Canal)	1900	(37)	60
New Hamakua Ditch	1904	(84)	
Koolau Ditch	1905	(116)	85
New Haiku Ditch	1914	25	100
kauhikoa Ditch	1915	(22)	110
Wailoa Ditch	1923	(170)	160-195
Wailuku Sugar Co.		30**	
Waihee (Spreckels) Ditch	1882	10-2	
Waihee (Ditch) Canal	1907	27	
Nine other smaller ditches			
Honolua Ranch & Pioneer Mill Co.		50**	
Honokohau Ditch	1904	20	35
Honolua (honokohau) Ditch	1913	30-18	50-70
Honokowai Ditch	1918	6	50
Kahoma Ditch		3	
Kanaha Ditch		3.8	
Kauaula Ditch		4.5	25.5
Launiupoko Ditch		0.8	
Olowalu Ditch		4	11
Ukumehame Ditch		3	15
HAWAII PLANTATIONS			
kohla Ditch Co.		30**	
Kohala Ditch	1906		
Kehena Ditch	1914	(6)	
Hamakua Sugar Co/HIC		50**	
Upper Hamakua Ditch	1907	8	
Lower Hamakua Ditch	1910	30	60-45

* Average flows are based on the historical record except for those in parentheses, which are from USGS records.

** Estimated average total surface water diverted.

Source: Modified after Wilcox, carol, 1977.



<사진 4-1> 오아후섬 중부지역 파인애플 농장에서 관수하는 모습



<사진 4-2> 비행기에서 바라본 Maui섬의 사탕수수 경작지의 모습

사탕수수 폐작에 따라 폐기된 주요 농업용수 공급시스템은 다음과 같다.

- (1) 하와이섬 North Kolala의 Kohala & Kahena Ditch
 - (2) 하와이섬 Mauna Loa 동부의 Olaa Flume(용수로)
 - (3) 카우아이섬 북부해안의 Kilauea Plantation System(6개 ditch)
 - (4) 오아후섬 동부의 Maunawili System
 - (5) 오아후섬 진주만 북부지역 Oahu Sugar Co.의 Kalauao-Aiea Ditch System
 - (6) 나나이섬의 Lanai Irrigation System
 - (7) 오아후섬 북동부 Kahuku Plantation의 ditch system과 지하수 관정
- 1990년대 말 무렵에는 약 15~20개의 ditch system만이 운영되었으며, 이것들도 취수능력의 일부만이 가동되었다. 특히, 1970년대 초반에는 drip irrigation 기술이 개발되어 종전의 furrow irrigation 방식을 대체함으로써 사탕수수 재배에 필요한 농업용수 양을 줄이는 계기가 되기도 하였다.

2. 하와이주의 농업현황

하와이주 토지이용위원회에서 분류한 2005년도 현재 토지이용현황을 보면, 도시지역이 797.6km², 보전지역 7,986.9km², 농업지역 7,813.5km², 전원지역 44.0km²로서 보전지역이 주 전체 토지의 48%를 차지하고 있으며, 농업지역도 47%나 되고 있다. 섬별로 보면, 하와이섬이 보전지역과 농업지역의 면적이 가장 넓고, 다음으로 마우이섬, 카우아이섬의 순서이다 (표 4-2).

재배 작물별 면적을 보면<표 4-3>, 카우아이섬과 마우이섬에 각각 8,200에이커(3,318ha)와 34,800에이커(14,083ha)의 토지에 사탕수수가 재배되고 있으며, 파인애플도 오아후섬과 마우이섬에 각각 7,500에이커와 5,500에이커의 토지에 재배되고 있다. 또한, 채소류와 멜론은 총 6,700에

이커의 토지에 재배되고 있고, 파인애플을 제외한 과일류 재배면적은 6,000에이커에 이르고 있다(표 4-3). 이처럼, 하와이주의 농업에 있어서 사탕수수과 파인애플이 차지하는 비중은 아직까지도 여전히 높은 편이다. 주요 작물별 재배농장 수를 살펴보면(50에이커 이하는 제외), 사탕수수는 카우아이섬과 마우이섬에 각각 1개 농장씩 2개소가 있고, 파인애플은 하와이섬을 비롯한 4개 섬에 30개 농장이 있다. 또한, 채소류와 멜론 재배농장은 620개소이고, 과일농장은 1,290개소, 커피농장은 하와이섬에만 710개가 있으며, 토란농장 130개소, 화훼농장 920개소가 있다.

<표 4-2> 하와이주 전체 및 주요 섬별 토지이용 현황

(단위 : km²)

Island	Total area	Classification by State Land Use Commission			
		Urban	Conservation	Agricultural	Rural
State total	16,642.0	797.6	7,986.9	7,813.5	44.0
Hawaii	10,414.0	217.4	5,278.4	4,913.0	5.2
Maui	1,885.0	90.2	788.5	990.0	16.4
Kahoolawe	116.5		116.5		
Lanai	366.2	13.2	154.6	188.7	9.7
Molokai	671.0	10.3	201.4	451.7	7.6
Oahu	1,562.8	407.6	633.8	521.4	
Kauai	1,432.2	58.9	804.4	563.8	5.1
Niihau	184.9			184.9	
Kaula and Lehua	1.6		1.6		
Other islands	7.7		7.7		

자료 : The State of Hawaii Data Book, 2005, State of Hawaii

<표 4-3> 하와이주의 주요 작물별 재배면적, 농장수, 판매액

Subject	Hawaii	Honolulu	Kauai	Maui
Acreage in crop (1,000 acres)				
Sugarcane			8.2	34.8
Pineapples (land used for pineapple)		7.5		5.5
Vegetables and melons (harvested acreage)	1.7	3.8	0.3	0.9
Fruits, excluding pineapples	3.8	0.8	0.9	0.5
Coffee	3.8			
Macadamia nuts				
All other crops	3.0	2.9	1.9	1.9
Number of crop farms				
Sugar			1	1
Pineapples	15	2	8	5
Vegetables and melons	253	188	72	107
Fruits (excluding pineapples)	687	147	196	260
Coffee	710			
Macadamia nuts				
Taro	30	10	65	25
Flowers and nursery products	425	235	80	180
Value of crop sales (\$1,000)				
Sugar (unprocessed cane)			15,300	46,200
Pineapples (fresh equivalent)		51,957		27,977
Vegetables, ginger root, herbs, and melons	18,859	37,661	1,740	9,632
Fruits (excluding pineapples)	18,666	2,605	1,992	1,473
Coffee (parchment)	14,880			
Macadamia nuts (in shell)				
Taro	288		2,079	
Seed crops				
Flowers and nursery products	50,455	31,658	2,865	9,547

자료 : The State of Hawaii Data Book, 2005, State of Hawaii

한편, 연도별 주요 작물의 재배면적과 농장수, 그리고 판매액은 <표 4-4>와 같다.

주요 작물별 판매액을 보면, 사탕수수의 경우 61,500천 달러로 집계되었고, 파인애플이 79,934천 달러, 채소류가 67,892천 달러, 과일류 24,736천 달러, 화훼류 94,525천 달러를 각각 나타내고 있다.

사탕수수의 경우 1994년도에 재배면적은 121,100에이커에 달했으나 2004년도에는 43,000에이커로 축소되었고, 재배 농장수도 1994년에는 24개소에 달했으나 2004년도에는 2개에 불과하다. 또한 사탕수수 판매액은 1994년도에 160,100천 달러로 농업 판매액의 1위를 차지하였으나 2004년도에는 61,500천 달러로 파인애플이나 화훼류보다도 적게 기록되고 있다.

파인애플의 경우, 재배면적은 1994년도(22,300에이커) 대비 2004년도(13,000에이커)에 약 9,300에이커가 축소되었지만 판매액은 1994년도에 78,890천 달러에서 2004년도에 79,934천 달러 비슷한 수준을 유지하고 있다. 사탕수수와 파인애플 농업이 축소되는 것과는 달리 채소류와 화훼농업은 조금씩 확대되어 재배면적과 농장수, 그리고 판매액도 꾸준한 성장세를 보이고 있다.

<표 4-4> 하와이주의 연도별 주요 작물 재배면적, 농장 수, 판매액

Subject	1994	2002	2003	2004
Acreage in crop (1,000 acres)				
Sugarcane	121.1	47.5	47.8	43.0
Pineapples (land used for pineapple)	22.3	19.1	16.0	13.0
Vegetables and melons (harvested acreage)	5.3	6.8	6.4	6.7
Fruits, excluding pineapples	6.6	6.6	6.4	6.0
Coffee	6.8	7.2	7.3	7.7
Macadamia nuts	20.2	18.0	18.0	18.0
All other crops	5.7	8.2	9.0	9.7
Number of crop farms				
Sugar	24	2	2	2
Pineapples	15	25	25	30
Vegetables and melons	580	600	570	620
Fruits (excluding pineapples)	836	1,099	1,426	1,290
Coffee	585	710	715	750
Macadamia nuts	650	650	650	650
Taro	180	150	150	130
Flowers and nursery products	660	870	865	920
Value of crop sales (\$1,000)				
Sugar (unprocessed cane)	160,100	64,300	64,400	61,500
Pineapples (fresh equivalent)	78,890	100,616	101,470	79,934
Vegetables and melons	36,105	61,659	64,173	67,892
Fruits (excluding pineapples)	23,611	25,267	26,819	24,736
Coffee (parchment)	12,040	23,250	24,070	19,880
Macadamia nuts (in shell)	36,225	30,210	32,330	40,115
Taro	2,806	3,294	2,700	2,808
Seed crops	9,640	48,145	49,160	60,200
Flowers and nursery products	67,005	95,715	95,601	94,525

3. 농업용수 공급체계

하와이주의 농업용수 공급은 주정부, 수도회사, 사설로 분류할 수 있는데, 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

3-1. 주정부 농업국

하와이주 농업국(Department of Agriculture)에서는 대규모 농장과 주립 농업공원에 용수를 공급해 주고 물 값을 징수하고 있다. 주정부 농업국에서 개발/관리하고 있는 농업용수 공급시스템은 모두 5개 시스템으로서 오아후섬과 하와이섬에 각각 2개, 몰로카이섬에 1개 시스템이 있으며, 그 현황은 다음과 같다.

Oahu섬

① Waimanalo Irrigation System

- length: 15 miles(24.135km)
- acres served: 1,174 acres(447.5ha)
- transports: 150.0 million gallons per year(567,600m³/년)

② Kahuku Irrigation System

- length: 3 miles(4.827km)
- acres served: 445 acres(180ha)

Hawaii섬

① Waimea Irrigation System

- length: 15 miles(24.135km)
- acres served: 566 acres(229ha)
- transports: 307.2 million gallons per year(1,162,444m³/년)

② Honokaa-Paauilo Irrigation System

- length: 26 miles(41.834km)
- acres served: 4,755 acres(1,924ha)

Molokai섬

① Molokai Irrigation System

- length: 25 miles(40.225km)
- acres served: 3,160 acres(1,289ha)
- transports: 1.2 billion gallons per year(4,540,800m³/년)

<표 4-5> 하와이주 농업국에서 관리하고 있는 농업용수 시설 및 공급현황

	Waimea	Waimanalo	Molokai	Honokaa-Paauilo**	Kahuku
Tunnels, Ditches, Pipeline, Flumes(miles)	14.5	17.5	32.6	24.5	4
Farms Served	117	162	256	101*(Ag) 69*(Pasture)	23
Farm Land Supported(acres)	613	1,153	3,102	791*(Ag) 6,820*(Pasture)	161
Approximate Gallons Served in FY 2003(thousands)	378,703	183,772	1,203,102	10,002*(Ag)	39,408

* Estimate for FY 2004 based on first four months of FY 2004.

** The Honokaa-Paauilo System Started Service in FY 2004.

농업용수 사용료는 하와이주 정부 농업국 농업자원관리과에서 징수하고 있는데, 토지면적의 징수 기준이 되고 있다. 농업용수 사용료 부과를 위해 주정부에서는 토지를 우선 목장용지와 경작지로 구분하고 있다. <표 4-6>은 하와이 농업국에서 부과하고 있는 농업용수 공급시스템별, 공급주체별 부과기준을 나타낸 것이며, 농업국에서는 2006년도부터 인상된 요금을 부과하고 있다.

<표 4-6> 하와이주의 농업용수 사용에 따른 사용료 부과기준

Irrigation System	Fiscal Year													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011*
County Water Toll Rates (dollars per 1000 gallons)														
Kauai < 25,000					2.10									
Kauai > 25,000					0.70									
Honokaa-Paauilo					1.90	1.84	1.84	1.88						
Kahuku < 13,000						1.77	1.77	2.00	2.17	2.47				
Kahuku > 13,000						0.75	0.75	0.77	0.79	0.81				
Waimanalo < 13,000						1.77	1.77	2.00	2.17	2.47				
Waimanalo > 13,000						0.75	0.75	0.77	0.79	0.81				
Waimea					1.90	1.84	1.84	1.88						
Molokai		0.66	0.69	0.72	0.76	0.76	0.76	0.76						
DOA Water Toll Rates (dollars per 1000 gallons)														
Honokaa-Paauilo			0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	Annual increase:			0.02		
Kahuku	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.40	0.46	0.52	0.58	0.60	0.62
Waimanalo	0.160	0.160	0.215	0.235	0.255	0.275	0.295	0.315	0.45	0.51	0.57	0.63	0.65	0.67
Waimea	0.160	0.160	0.215	0.235	0.255	0.275	0.295	0.315	0.40	0.46	0.52	0.58	0.60	0.62
Molokai	0.160	0.160	0.215	0.235	0.255	0.275	0.295	0.315	0.40	0.46	0.52	0.58	0.60	0.62
											Proposed Water Rates			

* An increase of up to \$0.02 per year is proposed after Fiscal Year 2009 based upon the financial condition of the Program.

3-2. 수도회사(Quasic-Public Water System)

하와이주 공익시설위원회(Public Utilities Commission ; PUC)는 마우이, 카우아이, 하와이, 몰로카이, 나나이섬에 다음과 같은 8개의 물 공급 시스템을 가지고 있다.

- Kaanapali Water Company(마우이섬)
- Kilauea Irrigation(하와이섬)
- Kohala Ranch Water Company(하와이섬)
- Lanai Water Company(나나이섬)
- Miller & Lieb Water Company(하와이섬)
- Molokai Public Utilities(몰로카이섬)
- Princeville Water System(카우아이섬)
- Waikolao Water Company(하와이섬)

이들 수도회사들은 숙박시설, 상업용 시설, 호텔, 콘도미니엄, 단독주택, 농장 등에 물을 공급하고 있을 뿐만 아니라, 하수처리까지 대행해주고 있다. 이들 중 Kaanapali Water Company, Princeville Water System, Waikolao Water Company는 골프장에 물을 공급하고 있다. 수도요금은 숙박시설, 상업용 시설, 단독주택, 콘도미니엄, 농장으로 구분해서 징수하고 있다.

공익시설위원회 위원은 3명으로 구성되고 임기는 6년이며, 주지사가 임명한다. 이 위원회에서는 각 수도회사별 수도요금의 요율을 결정할 뿐만 아니라 회사별 물 공급규정을 제정하는 업무를 하고 있다. 수도회사를 만들어 물을 공급하기 위해서는 공익시설위원회 위원의 검증을 받은 후 급수인구 및 수도요금 등에 관한 서류를 구비하고 위원회에 신청해야 한다. 수도회사가 수도요금을 변경하거나 인상하고자 할 때에는 사전에 공익시설위원회와 수혜자를 대상으로 한 공청회를 반드시 거쳐야 한다.

3-3. 사설 물 공급시스템

하와이주 공익시설위원회에 의해 관리되고 있지 않는 사설 물 공급시스템은 하와이주 전역에 약 52개가 있다. 이들은 우리나라 수도법상의 전용상수도에 해당하는 시설이라 할 수 있다. 지금까지는 주 정부 보건국에서 이들 시스템에 대해 주기적으로 수질검사를 실시해 오고 있지만 조만간 시스템 소유자(관리자)가 수질검사용 시료를 채수해서 주보건국에 검사를 의뢰하는 체계로 변경할 계획이다. <표 4-7>는 오아후섬에 있는 사설 물 공급시스템을 소유한 주요 업체의 현황을 정리한 것이다.

<표 4-7> 오아후섬에 있는 주요 사설 물 공급시스템 현황

업 체 명	급수인구	수 원
Waialua Sugar Company	350	지하수
Del Monte Corporation	750	"
Punahou School	4,000	"
Zion Securites	7,000	"
Kamehameha School	3,700	"
Dole Cannery	1,200	"
Queens Medical Center	1,200	"
Sheraton Hotel	2,830	"
Oahu Sugar Company	1,356	"
Hawaii Country Club	840	"

4. 주요 농업용수 공급시스템

4-1. 오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System

오아후섬 중부 Kunia, Waipahu 등의 지역에 급수되는 Waiahole Ditch Irrigation System(WDIS)은 1913년 Waiahole Water Co.에 의해

운영되기 시작했는데, 강우량이 풍부한 오아후섬 동부 쿨라우산맥의 지표수와 상위지하수를 개발하여 서부 건조지역의 사탕수수 농경지로 급수하는 시스템을 갖추었다. 이 시스템은 Kahana 계곡 해발 241m 지점에서 취수하여 연장 35.4km에 이르는 수로(개수로, 터널수로, 싸이펀 등)를 통해 물을 도수하였다. 도수되는 물은 오아후 중부지역에 155개의 저수지를 경유하도록 시설되었으며, 1925년경에는 쿨라우산맥에서 6개의 상위지하수 터널을 추가적으로 개발하여 도수하였다.

2003년 현재 이 시스템은 37개의 지표수 취수시설은 폐기되었으나 4개의 상위지하수 터널수원은 정상적으로 가동되고 있다. 취수된 물은 시멘트 콘크리트로 만들어진 개수로로 따라 저수지로 운반되고 있는데, 1일 도수 가능량은 $374,400\text{m}^3/\text{일}$ 이나 현재 도수되는 수량은 1일 평균 $105,952\text{m}^3$ 에 이르고 있다(그림 4-1).

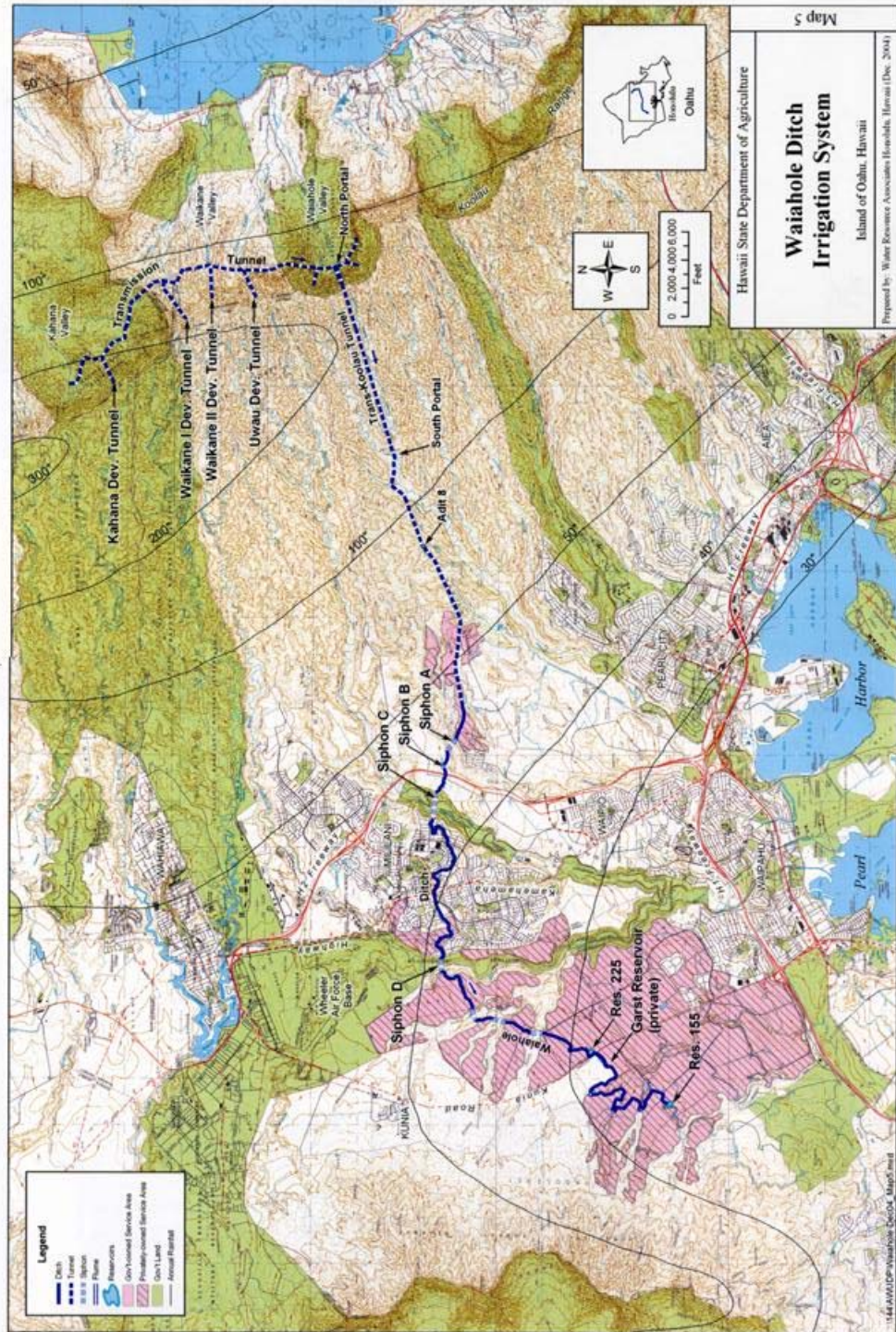
4-2. 오아후섬 Waimanalo Irrigation System

이 시스템은 오아후섬 남동부에 위치해 있으며, 하와이주 정부의 소유로서 주 농업국에서 관리하고 있다. 이 시스템은 Maunawili 계곡에서 취수되고 있으며, 2003년 현재 1일 평균 $1,514\text{m}^3$ 의 물을 473ha의 농경지에 공급하고 있다. 이 지역은 대부분 화훼, 조경수, 관상수 등을 재배하는 지역이다(그림 4-2).

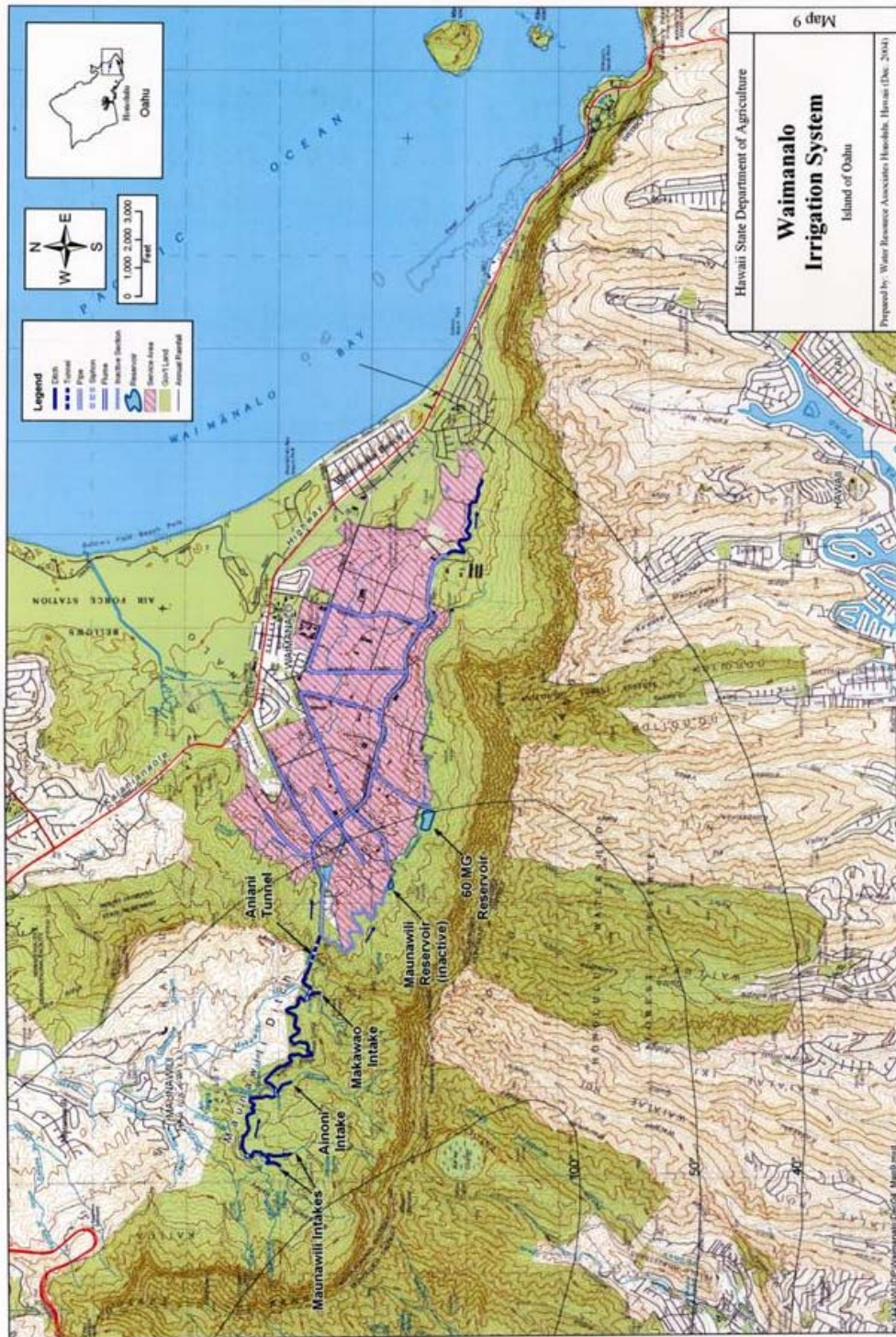
4-3. 마우이섬 East Maui Irrigation System

East Maui Irrigation System은 1898년 Hawaiian Commercial & Sugar Co.(HC & C)에 의해 개발된 시스템으로서 마우이섬 중부지역의 사탕수수 농장에 급수를 목적으로 개발되었다(그림 4-3). 이 시스템은 355개 하천의 물을 취수하기 위한 119km에 이르는 도수로, 도수를 위한 80km에 달하는 터널수로, 16개 지점의 싸이펀, 7개의 저수지(총 저수용량 $1,036,816\text{m}^3$) 99.7km에 달하는 비포장 도로상의 수로로 이루어져 있

다. 이 시스템은 Wailoa Ditch(시설용량 737,880m³/일), New Hamakua Dutch(시설용량 378,400m³/일), Lowerie Ditch(시설용량 264,880m³/일), Haiku Ditch(시설용량 264,880m³/일)의 4개의 ditch system으로 이루어져 있다.



<그림 4-1> 오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 취수 및 도수시설 위치도



<그림 4-2> 오아후섬 Waimanalo Irrigation System의 취수 및 도수시설 위치도



<사진 4-3> 오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 저수지 모습



<사진 4-4> 오아후섬 Waiahole Ditch Irrigation System의 수로 모습



<사진 4-5> 오아후섬 Waimanalo Irrigation System의 저수지 모습



<사진 4-6> 오아후섬 Waimanalo Irrigation System



<사진 4-7> 마우이섬 East Maui Irrigation System의 저수조 모습



<사진 4-8> 마우이섬 East Maui Irrigation System의 수로 모습

2003년 현재 이 시스템의 총 시설용량은 1,646,040m³/일이며, 1일 평균 도수량은 624,360m³/일이다. Hawaiian Commercial & Sugar Co.(HC & C)를 비롯하여 마우이 수자원국의 상수원, Maui Pineapple Company에서 이 시스템으로부터 급수를 받고 있으며, 수력발전을 하여 자체 이용 및 마우이 전력회사에 팔고 있다.

4-4. Maui Kihei 하수처리장 방류수 재이용

Kihei 지역은 건조한 마우이섬의 남부지역에 위치하고 있으며, 이 지역의 상수도는 Wailuku 근처에 있는 Iao 대수층에 개발된 관정으로 부터 채수된 지하수를 16km가 넘는 송수관을 통해 공급받고 있다. Kihei 하수종말처리장은 활성슬러지 처리방식의 처리장으로서 건기 피크시 처리용량은 1일 34,056m³이다. 이 처리시설은 응집조, 화학물질 투입조, 방류수 여과장치, 자외선 소독장치, 운전동 등에 대한 개수와 시설보완이 이루어져 하와이주 보건국의 R-1수 수질기준에 적합한 고수질의 방류수를 생산하고 있다.



<그림 4-4> 마우이섬 남부에 위치한 Kihei 방류수 재처리시설 조감도

과거에 마우이군은 Kihei 하수처리장으로부터 생겨나는 방류수를 개별 사용자에게까지 운송해 주는데 많은 비용이 소요되기 때문에 사용자를 찾는데 많은 어려움을 겪었으나 고지 저류조와 송수시설 등을 포함하는 방류수 재이용시스템이 건설되어 이를 이용하고자 하는 사람들의 요구를 충족시킬 수 있게 되었다.

현재 Kihei 하수종말처리장에서 처리되는 하수 중 18,920m³/일은 골프장 관개용수 및 조경용수, 옥수수 농장, 공동주택 단지 및 상가의 조경·비음용 생활용수(화장실 세척수 등), 호텔 비음용 생활용수, 비산방지 용수 등으로 재이용되고 있다. 겨울철 풍수기에는 재이용량이 50% 수준으로 감소하는데, 이 때에는 하수처리장 부지에 설치된 주입정(injection wells)을 통해 지하로 배출시키고 있다(그림 5-4).



<사진 4-9> 마우이섬 Kihei 하수처리장 방류수를 옥수수 농장에 살수하는 모습



<사진 4-10> 마우이섬 Kihei 하수처리장 방류수를 이용해 녹조류를 배양하는 모습

5. 농업용수 이용 및 개발계획의 주요내용

1998년 하와이주 의회법(Session Laws of Hawaii) 제101조에 주 정부는 하와이주 농업용수 이용 및 개발계획을 수립하여 2002년 정기회 회기 시작 전 20일까지 입법부에 제출하도록 규정함에 따라 2003년 12월에 이 계획을 수립하고, 2004년 12월에 일부 보완하였다.

하와이주 농업용수 이용 및 개발계획(2004년도 수정판)은 모두 5편으로 구성되어 있으며, 하와이주의 주요 13개 농업용수 공급시스템에 대한 목록화, 현황, 평가, 보수비용, 유지관리 비용에 대해 서술하고 있을 뿐만 아니라, 향후 농업용수 수요 전망에 대해서도 서술하고 있다.

이 계획에서 눈여겨 볼만 한 사항은 농업용수 단위 용수량 원단위로서 12.86m³/1,225평/일(3,400gpd/acre)을 채택하고 있다. 또한, 하와이주 농업국에서는 22개 작물별로 단위용수량 기준을 다음과 같이 제시하고 있다(표 4-8).

<표 4-8> 하와이주 농업국이 제시하고 있는 작물별 단위 용수량

Crop	Water Use Rate (gpd/Acre)	Crop	Water Use Rate (gpd/Acre)
Alfalfa(feed & forage)	7,700	Orchids(난초)	3,700
Aquaculture	145,000	Papaya	5,000
Dendrobium(덴드로븜)	4,000	Passion Fruit	10,000
Field crop(grass & seed)	6,700	Pineapple	1,350
Foliage Plants(군엽식물)	4,000~6,000	Protea	2,000~2,500
Forage Crops	7,400	Sugarcane(drip)	6,700
Guava	4,400	Sugarcane(furrow)	10,000
Leafy Vegetables(drip)	4,050	Taro(Asian)	4,000~8,000
Leafy Vegetables(스프링쿨러)	5,400	Taro(dryland)	5,400
Macadamia nuts	4,400	Taro(wetland)	80,000~100,000
Nursery(potted plants) 종묘원(화분에 심은 것)	6,000	Vegetables	6,700

※ gpd : gallon per day(1 gpd : 3.784 리터), 1Acre : 1,225평(0.4070ha)

V. 농업용수 개발·이용 현황

1. 농업용수 개발현황

제주도에 있어서 농업용수 개발은 1950년대로 거슬러 올라간다. 상수도 시설도 변변치 않았던 당시였지만 식량문제를 해결하기 위한 수리시설사업은 서두르지 않으면 안 되는 시급한 상황이었다. 1952년 5월에 효돈·무릉 수리조합이 결성된 것을 비롯하여 1956년 4월에는 서부 수리조합이, 1957년 2월에는 동부 수리조합이 결성되었고, 저수지나 해안면 용천수를 수원으로 하는 수리시설 건설사업이 추진되었다. 1970년부터는 지하수 관정에 의한 농업 및 생활용수 개발사업이 본격적으로 전개되었고, 1980년대에 들어와서는 사설 지하수 관정개발이 급속히 진행되었다. 이러한 결과로 인해 먹는물은 물론 농·축산업에 필요한 용수까지 모두 지하수를 이용하고 있는 관계로 2005년 12월말 현재, 도내 개발된 지하수 관정은 총 4,976공이다.

<표 5-1> 지역별 지하수 개발·이용현황(2005년 12월 기준)

(단위 : m³/일)

구 분	합 계		제 주 시		서귀포시	
	공수	개발량 (m ³ /일)	공수	개발량 (m ³ /일)	공수	개발량 (m ³ /일)
합 계	4,976	1,609,440	1,874	792,909	3,102	816,531
생활용수	1,380	644,364	865	376,205	515	268,159
농수축산	3,306	915,723	830	384,739	2,476	530,984
공업·기타	180	49,353	114	31,965	66	17,388
조사용	110	-	65	-	45	-

※ 염지하수 1,110공 7,362천톤/일 제외

유역별 지하수 적정개발량과 개발량과의 관계를 살펴보면, 2005년말 현재 제주도 전체 적정개발량은 1,768천m³/일이고, 지하수 개발율은 90.9%(1,607.4천m³/일)로 적정개발량 80%를 훨씬 초과하고 있는 것으로 분석되었다. 유역별 개발율이 적정개발량에 비해 100%를 초과한 유역은 애월유역으로 190.2%로 나타났으며, 그 다음으로 한경유역(185.9%), 대정유역(178.2%), 중제주유역(142.6%), 남원유역(112.8%) 순으로 분석되었다.

<표 5-2> 유역별 지하수 개발현황(2005년말 현재)

구 분	면적 (km ²)	적정개발량 (천 m ³ /일)	개발량 (천 m ³ /일)	공수 (공)	개발율 (%)
계	1,719.0	1,768	1,607.4	4,970	90.9
구 좌	156.6	121	77.0	125	63.6
조 천	119.6	192	141.1	269	73.5
동제주	72.5	100	56.3	153	56.3
중제주	85.2	105	149.7	592	142.6
서제주	87.4	105	41.7	79	39.7
애 월	79.0	51	97.0	167	190.2
한 경	94.7	69	128.3	267	185.9
한 림	134.4	129	97.5	205	75.6
대 정	120.3	114	203.2	778	178.2
안 덕	60.1	45	27.5	66	61.1
서서귀	76.2	65	57.5	211	88.5
중서귀	100.4	105	110.4	520	105.1
동서귀	103.1	126	111.1	527	88.2
남 원	126.4	161	181.6	646	112.8
표 선	202.1	198	82.4	250	41.6
성 산	101.0	82	45.1	115	55.0

※ 도서지역 6공 2,000m³/일 제외

제주도내 개발·이용되고 있는 지하수 관정 중 농수축산용 관정은 전체 개발된 관정의 66%(3,306공)이고, 또한, 전체 관정의 76%가 개인에 의해 개발된 사설관정이다. 지하수 개발량(양수능력) 측면에서 보면, 농업용수가 전체의 57%(916천³/일)을 차지하고 있고, 공공기관에서 개발한 공공용 관정의 양수능력은 전체의 58%를 차지하고 있다.

<표 5-3> 개발주체별 지하수 개발·이용현황(2005. 12 기준)

(단위 : 공, 천³/일)

구 분		합 계	생활용수	농수축산	공업용수	조사관측용
합 계	공 수	4,976	1,380	3,306	180	110
	양수능력	1,609	644	916	49	-
공공	공 수	1,172	355	710	4	103
	양수능력	941	399	539	3	-
사설	공 수	3,804	1,025	2,596	176	7
	양수능력	668	245	377	46	-

※ 염지하수 1,110공 · 7,362천톤/일 제외

농축산용 지하수 관정의 지역별 분포를 보면(표 5-4), 서귀포시가 810공으로 가장 많으며 남원읍이 715공, 대정읍이 637공 순으로 분포하고 있다.

표고별 분포를 보면, 해발 100m 이하지역에 분포하는 지하수 관정은 2,639공으로 전체의 79.8%를 차지하고 있으며, 해발 100m~200m 지역은 491공(14.6%), 해발 200m~300m 지역은 139공(4.2%), 해발 300m 이상 지역은 37공(1.1%)으로 농업용 지하수 관정 대부분이 해발 200m 이하 지역에 집중적으로 분포하고 있음을 알 수 있다.

<표 5-4> 농축산용 지하수 관정의 표고별 분포 현황

(단위 : 공)

구분	합 계	표고별			
		100m이하	100~200m	200~300m	300m 이상
합 계	3,306	2,639	491	139	37
(구)제 주 시	168	102	39	22	5
애 월 읍	144	72	43	22	7
한 립 읍	109	64	37	6	2
한 경 면	203	163	40	-	-
대 정 읍	637	616	21	-	-
안 덕 면	92	43	39	8	2
(구)서귀포시	810	644	112	47	7
남 원 읍	715	606	95	12	2
표 선 면	148	120	23	3	2
성 산 읍	74	62	12	-	-
구 좌 읍	62	49	9	4	-
조 천 읍	144	98	21	15	10

농업용수의 98%이상을 차지하고 있는 지하수관정의 지역별·개발주체별 개발공수와 양수능력을 비교 분석해 보면, 공공용 지하수관정은 710공이며, 양수능력은 1일 539천 m^3 으로 평균 1일 761 m^3 이다. 이에 비해 사설용 지하수관정은 2,596공으로 1일 377천 m^3 으로 공당 양수능력(평균 144 m^3 /일)이 적은 사설 지하수관정이 많고 또한 개발공수에 비해 이용효율이 낮다(표 5-5).

지역별 공공용 농업용수공급 의존도를 보면(표 5-6), 애월읍, 구좌읍, 한림읍, 한경면 지역은 공공용 농업용수 의존율이 매우 높은 반면, (구)서귀포시 및 남원읍 지역은 공공보다는 사설 지하수관정 의존율이 높은

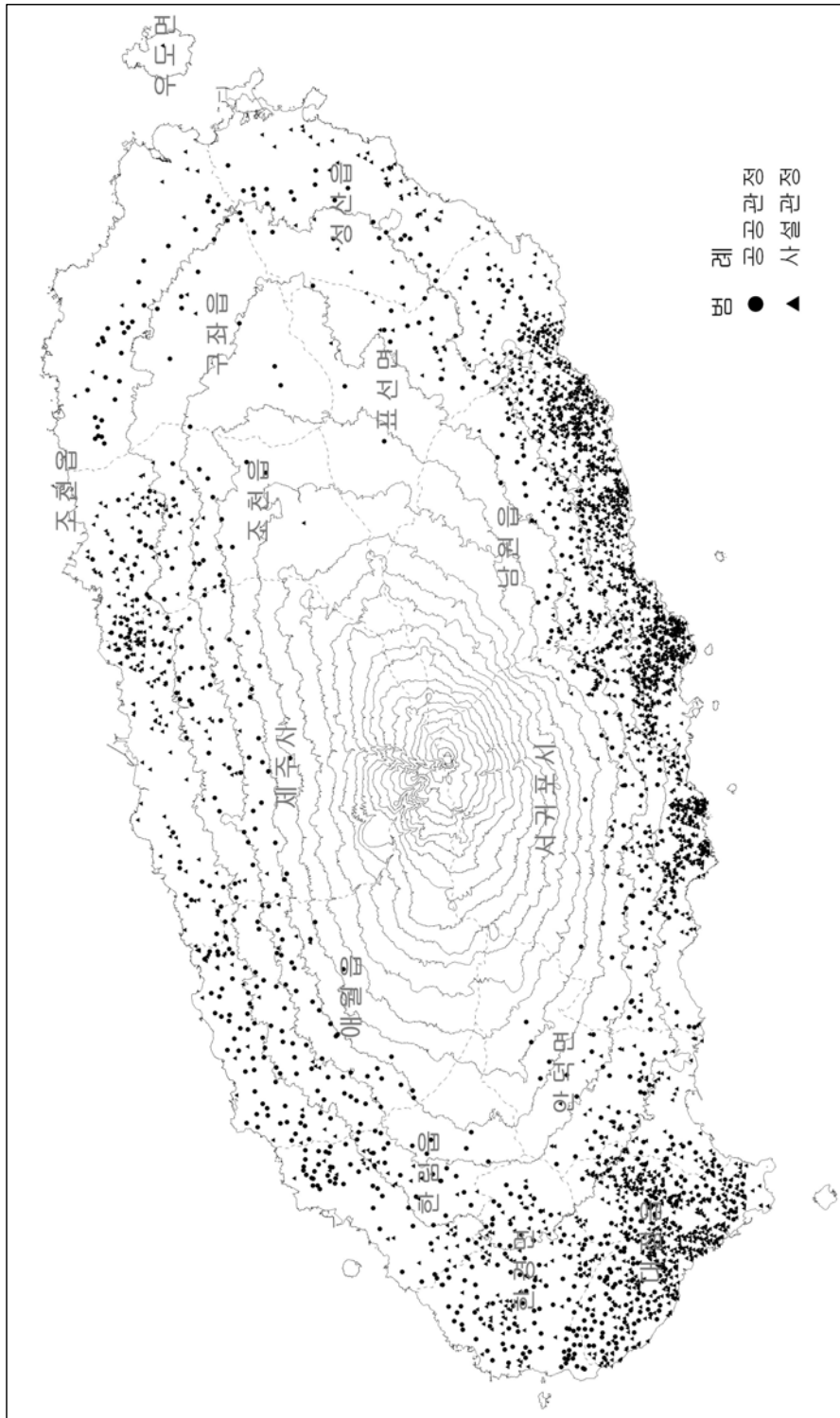
것으로 파악되었다. (구)제주시, 성산읍, 안덕면, 조천읍, 대정읍, 표선면 등의 지역은 지하수 관정수는 사설관정이 많지만, 지하수 개발량은 공공관정이 많거나 비슷한 수준을 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

<표 5-5> 농축산용수의 지역별·개발주체별 개발공수와 양수능력 현황
(단위 : 공, m³/일)

구분	합계	공공	양수능력	평균	사설	양수능력	평균
제주도 전체	3,306	710	538,416	761	2,596	377,207	144
(구)제주시	168	61	44,526	730	107	14,157	132
애월읍	144	106	82,132	775	38	5,495	145
한림읍	109	61	50,965	836	48	6,663	139
한경면	203	105	80,926	771	98	13,764	140
대정읍	637	108	81,795	772	529	79,402	150
안덕면	92	28	20,334	726	64	11,818	185
(구)서귀포시	810	55	32,590	593	755	105,214	139
남원읍	715	50	39,145	783	665	100,532	151
표선면	148	21	16,083	766	127	17,743	140
성산읍	74	22	18,665	848	52	7,663	147
구좌읍	62	44	33,158	754	18	2,368	132
조천읍	144	49	38,197	780	95	12,388	130

<표 5-6> 지역별 공공용 농업용수공급 의존도

구분		공공용 농업용수공급 의존도			
		매우 높음	높 음	중 간	낮 음
분류 기준	공 수	공공 > 사설	공공 < 사설	공공 < 사설	공공 < 사설
	개발량	공공 > 사설	공공 > 사설	공공 ≒ 사설	공공 < 사설
지 역 별		애월읍, 구좌읍, 한림읍, 한경면	(구)제주시, 성산읍, 안덕면, 조천읍	대정읍, 표선면	남원읍, (구)서귀포시



<그림 5-1> 농축산용 지하수개발 현황도

농업용 저수지는 용수·수산·광령저수지 3개소가 한국농촌공사에 의해 관리되고 있는데 저수용량은 1,159천 m^3 이며, 관개가능 면적은 101ha이다. 이들 저수지들은 모두 1950~1960년대에 건설되어 벼농사에 이용되어 왔으나 벼농사가 쇠퇴한 이후에는 거의 활용이 안 되고 있는 실정이다. 또한, 축조된 후 누수방지 및 유로관리 등이 제대로 이루어지지 않아 저수량 확보가 어려운 상태에 있어 2001년 용수 저수지를 시작으로 개·보수사업이 진행되고 있다. 상기 3개소의 공공용 저수지 외에 제동목장에서 시설한 농업용 저수지 2개소가 있는데, 저수용량은 150천 m^3 이다.

<표 5-7> 공공 농업용 저수지 현황

구 분	저수용량 (천 m^3)	수해면적 (ha)	시설년도	비고
합 계	1,159	101		
용수저수지	335	41	1957	한국농어촌공사 관리
귀엄저수지	724	30	1960	"
광령저수지	100	30	1954	"

한편, 도내에 분포하고 있는 용천수 중 농업용수로 이용 중인 용천수는 122개소이며, 이들 용천수는 소규모 개수로 시설과 원동기를 이용하는 등 매우 취약한 용수시설이 대부분이고 용천수 인근 일부 지역에서 제한적으로 이용하고 있는 실정이다. 용천수 중 이용시설을 설치하여 농업용수로 이용하고 있는 곳은 구좌읍 하도리의 하도양수장 1개소로 시설용량은 1일 9,800 m^3 이며, 관개가능 면적은 30ha이다.

2. 농업용수 이용현황

2005년말 현재 농업용수 지하수관정은 3,306공으로 일 최대 542,552 m³/일, 일평균 204,790m³/일이다. 지역별로 보면, 지하수관정이 가장 많이 분포하고 있는 (구)남제주군 지역이 일 최대 244,285m³/일(62.1%)로 가장 많이 이용하고 (구)제주시는 일 최대 31,773m³/일(54.1%)로 가장 적게 이용하고 있는 것으로 분석되었다.

일 최대 이용량은 양수능력의 59.3% 수준이나 일평균 이용량은 양수능력의 22.4% 수준으로 분석되었는데, 이는 농업용수의 이용이 연중 고르게 이루어지는 것이 아니라 작물과종 및 생육시점에 집중되는데서 생겨나는 현상으로 판단된다.

<표 5-8> 지역별 농업용 지하수 이용현황(2005년말 기준)

구분	공수 (공)	양수능력 (m ³ /일)	일 최대이용량 (m ³ /일)	일 평균이용량 (m ³ /일)
제주도 전체	3,306	915,623	542,552(59.3%)	204,790(22.4%)
(구)제주시	168	58,683	31,773(54.1%)	13,137(22.4%)
(구)서귀포시	810	137,807	93,980(68.2%)	42,055(30.5%)
(구)북제주군	662	326,056	172,514(52.9%)	57,464(17.6%)
(구)남제주군	1,666	393,080	244,285(62.1%)	92,134(23.4%)

주 : ()는 개발량에 대한 이용량의 비율임.

3. 농업용수 이용량 분석 및 이용 특성

3-1. 농업용수 이용량 분석

재배면적과 농업용수 수요량을 감안하여 주요작물인 감귤, 채소류(마늘, 양배추, 당근) 및 감자 등을 위주로 농업용수 이용량을 분석하였으며, 재배작물 중 농업용수 수요량이 적은 작물들은 본 연구에서는 제외시켰다.

농업용수 이용량 분석을 위해 제주특별자치도수자원본부에서 운영 중인 지하수 이용량 모니터링 자료와 제주도 농업용수 종합계획수립(제주도·농업기반공사제주도본부, 2004) 및 제주도 발관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(농업기반공사·농어촌연구원, 2003)의 분석 자료를 이용하여 분석하였다.

제주도는 농업용수 이용량을 분석하기 위해 지하수 관정 이용량 원격검침 시스템 장치를 제주도내 지하수관정 45개소에 설치·운영하고 있으며, 본 연구에서는 노지감귤(7개소), 밭작물(4개소) 및 시설하우스(13개소)에 설치되어 운영하고 있는 모니터링 3년간(2004~2006년) 자료를 이용하여 분석하였다.

재배작물 유형별 지하수 이용특성을 평가하기 위해 재배작물별 평균 급수면적, 평균 가동 일수, 평균 이용량 등을 <표 5-9>에 정리하였다.

<표 5-9> 농업용 관정 지하수 이용특성(2004~2006)

재배작물 유형별	급수면적 (ha)	평균 가동 일수	평균이용량			월최대 이용량 (m ³ /월)	단위면적당 평균이용량 (m ³ /d/ha)
			일평균 (m ³ /일)	월평균 (m ³ /월)	년평균 (m ³ /년)		
노지감귤	2.07	19.8	31	98	810	1,174	15.0
시설감귤	1.08	124.2	45	625	6,876	3,102	41.7
밭작물	2.25	64.8	60	470	4,426	4,352	26.7

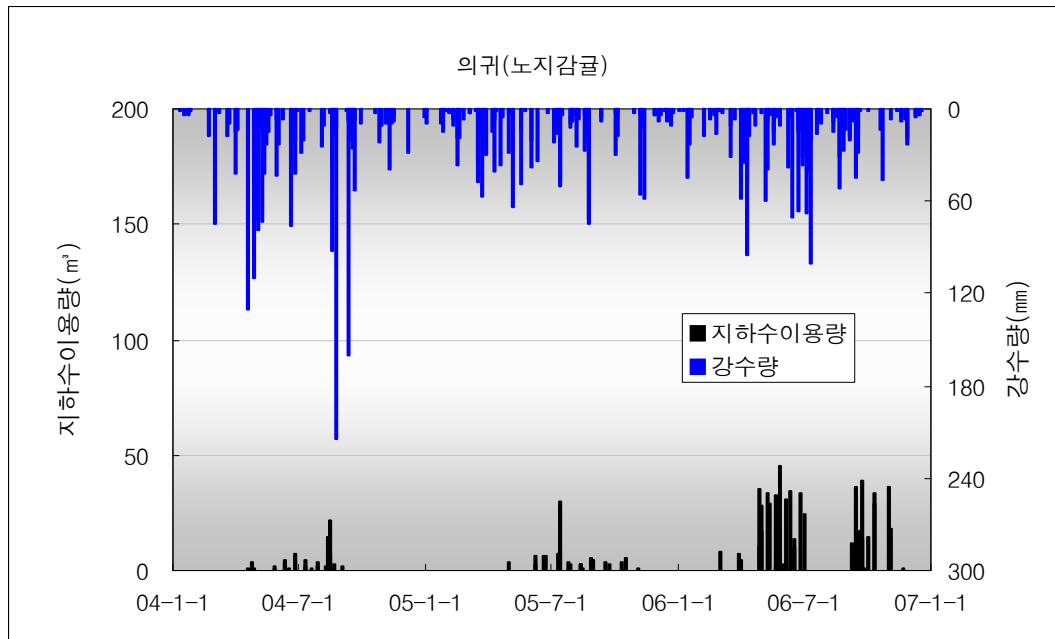
연간 평균 지하수 관정 가동 일수를 보면 시설하우스는 124일로 최대를 나타냈으며, 밭작물이 65일, 노지감귤이 20일로 이는 농약살포와 관수를 합산한 결과이다. 연간 지하수 평균이용량은 노지감귤이 810m³/년, 시설감귤이 6,876m³/년, 밭작물이 4,426m³/년이며, 일평균 이용량은 밭작물이 60m³/일로 최대치를 나타냈다. 시설하우스의 단위 면적당 지하수 일평균 이용량은 제주도 농업용수 관정의 양수량 산정과 지하수 이용특성연구(제주발전연구원, 2003)에서 분석한 결과(73.9m³/d/m³)보다 훨씬 적은 41.7m³/d/m³이며, 또한 밭작물은 1/2정도 적은 26.9m³/d/m³로 조사되었으나, 노지감귤이 약 2배정도 많은 15m³으로 조사되었다.

시기별 평균이용량을 보면, 시설감귤은 특정시기에 관계없이 연중 고르게 지하수를 이용하고 있으나, 밭작물은 대체로 9월에서 11월 초순까지 집중적으로 지하수를 이용하고 있는 것으로 분석되었다. 노지감귤은 가뭄이 아닌 경우에는 농약살포시 매우 소량의 지하수를 이용하고 있으며, 이용시기도 매우 불규칙한 것으로 조사되었다.

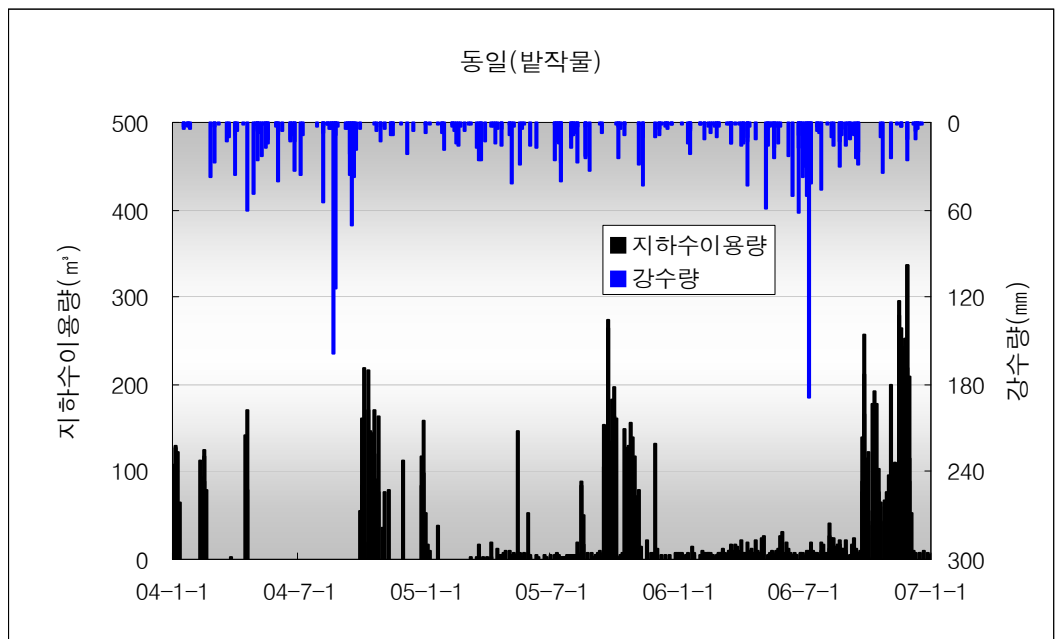
<표 5-10> 시기별 평균 지하수 이용량(2004~2006)

구분	평균 이용량(m ³ /일)			
	3월~5월	6월~8월	9월~11월	12월~2월
노지감귤	9	41	25	7
시설감귤	52	60	49	38
밭작물	9	17	103	39

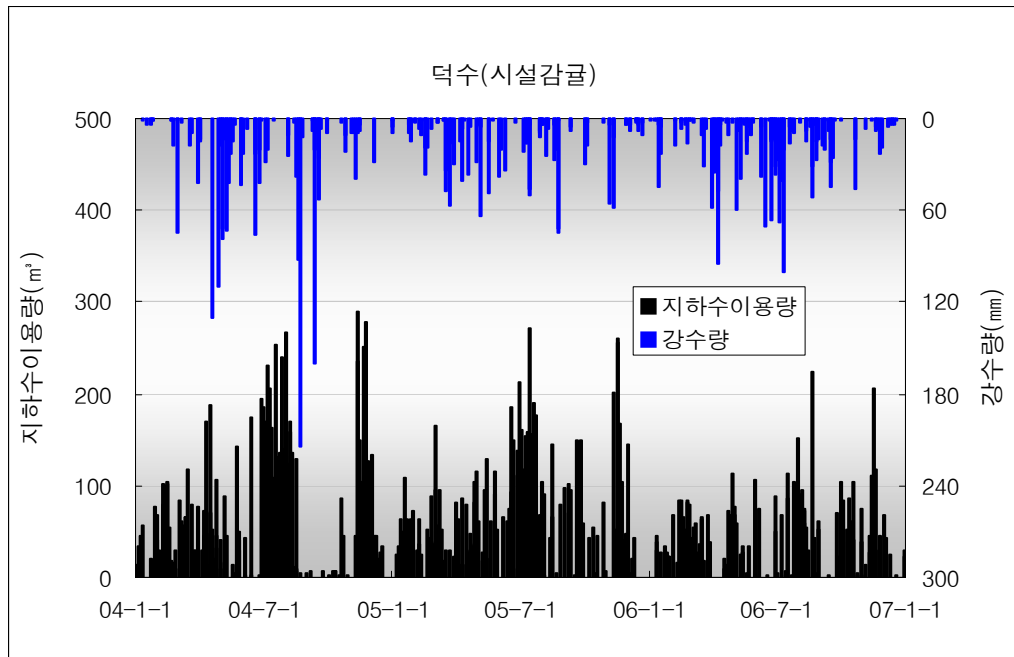
제주도 농업용수 종합계획수립(제주도, 2004)을 통해 지역별 재배작물별 단위 면적당 일평균 지하수 이용량 결과를 보면, 지역별 토양, 기후, 강수량 등의 차이로 같은 작물이라도 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 노지감귤은 평균 35.7m³/일/ha이며, 남부지역이 35.0m³/일/ha로 가장 적은반면, 북부지역이 38.1m³/일/ha로 높은 것으로 조사되었다.



<그림 5-2> 남부지역 의귀 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포



<그림 5-3> 서부지역 동일 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포



<그림 5-4>서부지역 덕수 모니터링 관정의 지하수 이용량 분포

시설감굴의 1일 용수 필요량은 평균 $43.6\text{m}^3/\text{ha}$ 이며, 지역별 차이도 거의 없는 것으로 조사되었다. 마늘은 파종 후 발아·생육기에 용수를 집중적으로 이용하고 있어 단위면적당 1일 평균이용량은 약 $42.2\text{m}^3/\text{ha}$ 이며, 동부지역이 $38.5\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 으로 적은 반면, 서부지역은 동부지역보다 약 $9\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 이 많은 $47.4\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 으로 분석되었다. 양파는 평균 $33.3\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$, 양배추는 평균 $47.6\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 이며, 강우량이 많은 동부지역이 $43.4\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 로 가장 적은 반면, 강우량이 적은 서부지역이 $53.5\text{m}^3/\text{일}/\text{ha}$ 으로 가장 많은 것으로 나타났다.

감자, 무우, 당근 등은 가뭄시에 1~2회 정도 관수하고 있는 것으로 조사되었는데, 감자, 무우, 당근의 단위면적당 1일 평균이용량은 각각 $46.4\text{m}^3/\text{ha}$, $31\text{m}^3/\text{ha}$, $58.8\text{m}^3/\text{ha}$ 로 분석되었다. 그렇지만 용수수요가 가장 많이 필요로 하는 5월과 10월을 전후하여 가뭄이 되면 단위면적당 1일 평균이용량은 이보다 더 많아질 것으로 예상된다.

<표 5-11> 지역별 작물유형별 단위면적당 평균이용량 원단위^{주)}

(단위 : m³/일/ha)

지역	양배추	양파	마늘	가을 감자	감귤		당근	가을 배추	무우	미곡
					노지	시설				
제주, 애월, 조천	44.2	32.0	39.2	42.3	38.1	44.6	58.3	38.3	29.1	71.2
대정, 한림, 한경	53.5	36.3	47.4	49.8	34.9	41.9	58.1	43.8	38.3	64.3
서귀포, 안덕, 남원	49.2	33.5	43.5	48.1	35.0	44.2	59.0	40.3	29.6	64.7
성산, 구좌, 표선	43.4	31.5	38.5	45.3	34.9	43.7	56.5	36.7	26.9	64.6
평균	47.6	33.3	42.2	46.4	35.7	43.6	58.0	39.8	31.0	66.2

주) 제주도 농업용수 종합계획수립(제주도, 2004)

제주도 발판개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(농업기반공사·농어촌연구원, 2003)의 발작물 농업용수 사용량 측정을 위해 2002년 8월부터 2003년 7월까지 마늘, 양배추, 양파, 노지감귤, 시설감귤, 노지채소, 시설채소, 시설화훼 등 8개 작물을 대상으로 분석한 결과는 <표 5-12>와 같다.

재배작물별 농업용수 이용특성을 보면, 노지감귤은 관수를 목적으로 사용한 농가는 없었으며, 농약을 약 11회 정도 살포하기 위해 4.1m³ 사용한 것으로 조사되었다. 시설감귤은 평균 35일정도 관수가 이뤄지고 있으며 10a당 관수량은 연간 571m³을 사용하고 농약살포는 약 6회정도로 10a당 농약살포량은 3.9m³내외로 조사되었다.

마늘인 경우는 파종후 발아기까지인 8월하순부터 9월하순까지 평균 5일정도 관수가 이루어지며 10a당 관수량은 71m³, 농약은 평균 6.3회, 10a당 살포량은 1.9m³으로 나타났다. 양배추는 약 10일정도 관수하며, 파종후 유효기인 9월초순부터 11월까지 10a당 관수량은 102m³, 농약살

포는 평균 3회, 10a당 살포량은 0.6m³으로 나타났다. 양파는 약 6일정도 관수하며, 10a당 관수량은 4.6m³, 농약은 평균 3회 살포하는 것으로 조사되었다.

<표 5-12> 주요작물별 농업용수 사용량 측정결과(2002.8~2003.7)

구분	재배 면적 (m ²)	총괄				10a당		
		총 관수 횟수	관수량 (m ³)	농약 횟수	농약살 포량(m ³)	관수량 (m ³)	농약량 (m ³)	총사용량 (m ³)
노지감귤	8,745.0	0.0	0.0	10.8	41.0	0.0	4.8	4.8
시설감귤	2,170.7	34.7	1247.1	8.3	7.8	571.1	3.9	575.0
마늘	3,671.3	5.0	251.6	6.3	6.2	71.4	1.9	73.3
양배추	2,172.2	10.3	214.9	3.0	1.3	102.2	0.6	102.9
양파	4,090.0	6.7	100.2	6.7	5.0	32.8	1.2	34.1
노지채소	2,668.7	14.0	166.1	4.7	3.9	62.9	1.4	64.3
시설채소	2,340.0	98.0	938.5	8.0	3.3	178.9	1.5	180.4
시설화훼	3,193.3	111.7	432.8	14.3	2.3	141.4	1.9	143.3

3-2. 농업용수 수요량 분석

본 연구에서 농업용수 수요량을 분석하기 위해 수자원본부에서 운영 중인 지하수이용량 원격검침 모니터링 자료와 제주도 농업용수 종합계획수립(제주도·농업기반공사, 2004)에서 분석하여 계산된 원단위를 적용하여 수요량을 산정하였다.

농업용수 수요량 산정에 앞서, 지하수 관정 이용량 원격검침 모니터링 3년간(2004~2006년) 자료를 이용하여 분석한 작물유형별 단위면적당 평균이용량 원단위와 제주도 농업용수 종합계획수립(제주도·농업기반공사, 2004)에서 계산한 원단위를 <표 5-13>에 나타내었다.

재배작물별로 단위면적당 평균이용량 원단위를 살펴보면, 농업용수 종합계획에서 산출한 원단위가 대체적으로 원격검침 모니터링 자료에 의해 분석된 평균이용량보다 많게 산정된 것으로 분석되었다. 재배작물

중 마늘인 경우 원격검침 모니터링에 의해 계산된 평균이용량은 2004년도 종합계획에서 산출한 평균이용량보다 15.5m³/일/ha보다 적은 26.7m³/일/ha로 분석되었으며, 또한 노지감귤은 모니터링 자료에 의해 계산된 원단위가 농업용수 종합계획에서 계산한 평균이용량(35.7m³/일/ha)보다 2.5배나 적은 15.0m³/일/ha로 큰 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 그러나, 시설감귤은 모니터링 자료에 의해 계산된 원단위는 41.7m³/일/ha이고, 종합계획에서 산출된 원단위는 43.6m³/일/ha로 거의 유사한 결과를 보였다.

<표 5-13> 작물유형별 단위면적당 평균이용량 원단위 비교

(단위 : m³/일/ha)

지역	양배추	양파	마늘	가을 감자	감귤		당근	가을 배추	무우	미곡
					노지	시설				
모니터링 분석자료	-	-	26.7	-	15.0	41.7	-	-	-	-
종합계획	47.6	33.3	42.2	46.4	35.7	43.6	58.0	39.8	31.0	66.2

농업용수 수요량 산정을 위해 각 시·군별 통계연보(2005)의 지역별 작물재배면적을 이용하였으며, 급수대상작물중 내한성이 강한 두류(콩 등), 맥류(보리 등), 잡곡(수수 등), 고구마 등을 제외하고 채소류, 감귤, 감자, 논벼(미곡) 만을 대상으로 용수 수요량을 계산하였다. 식량작물, 채소류 및 감귤 등에 대한 수요량은 모니터링 분석에 의한 원단위와 농업용수 종합계획 원단위를 적용하여 계산한 결과를 <표 5-15>에 나타내었다. 본 연구에서 계산한 제주도 전체 수요량은 1,144,248m³/일이 필요한 반면, 종합계획(2004) 원단위를 적용하여 계산된 수요량은 약 460,000m³/일이 많은 1,605,598m³/일이 필요한 것으로 분석되었다.

지역별로 보면 북부지역인 조천읍, (구)제주시, 애월읍의 수요량은

49,869~106,733m³/일(평균 72,887m³/일) 범위로 타 지역보다 가장 작게 나타났다. 남부지역인 안덕면, (구)서귀포시, 남원읍의 수요량은 65,960~98,959m³/일(평균 87,236m³/일), 동부지역인 구좌읍, 성산읍, 표선면의 수요량은 69,712~135,500m³/일(평균 112,294m³/일), 서부지역인 애월읍, 한경면, 대정읍의 수요량은 54,177~191,337m³/일(평균 108,999m³/일)로 산정되었다. 특히, 제주도 주요 재배작물인 감자와 마늘을 가장 많이 재배하는 대정읍지역이 수요량이 가장 높게 나타났다.

<표 5-14> 2004년 작물별 재배면적 현황

구분	합계 (ha)	식량작물(ha)		채소류(ha)				감귤류(ha)	
		미곡	감자	조미채소	엽채류	양배추	근채류	노지	시설
제주도 전체	41,682	795	5,966	5,173	994	1,730	4,975	19,789	2,259
(구)제주시	3,142	90	20	90	54	37	204	2,541	106
애월	3,560	35	437	380	87	790	160	1,563	109
조천	2,427	35	30	214	68	16	269	1,732	63
(구)서귀포시	5,225	15	50	63	10		2	4,521	564
남원	5,212	8	20	226	42	22	22	918	71
안덕	2,155	2	846	0	2	1	41	4,423	723
한림	1,786	75	41	740	25	1	1,651	86	17
한경	2,597	36	403	10	418	152	1,980	955	51
대정	5,409	154	2,189	0	61	2	465	1,097	263
구좌	3,528	52	933	509	34	415	56	595	83
성산	4,273	144	671	862	19	228	61	747	133
표선	2,369	148	326	2,079	174	66	65	611	77

자료 : 각 시·군 통계연보(2005)

농업용수의 수요량과 2005년말 기준 농업용수를 공급할 수 있는 기존의 수리시설의 공급능력을 지역별로 비교하여 <표 5-15>에 나타내었다. 보장량은 2005년말 현재 농업용수로 개발·이용 중인 공공·시설관정의 및 지표수를 포함한 것이다.

<표 5-15> 농업용수의 수요량 및 보장량

구분	급수면적 (ha)	수요량(m ³ /일)		보장량(2005) (m ³ /일)	과부족(m ³ /일)	
		금회연구	종합계획 ^{주)}		금회연구	종합계획 ^{주)}
제주도 전체	41,682	1,144,248	1,605,598	928,823	215,425	676,775
(구)제주시	3,142	62,059	115,849	58,683	3,376	57,166
(구)서귀포시	5,225	96,789	192,138	137,804	-41,015	54,334
소계	13,897	423,932	542,747	326,056	97,876	216,691
한림읍	1,786	54,177	72,257	57,628	-3,451	14,629
애월읍	3,560	106,733	143,469	88,627	18,106	54,842
구좌읍	3,528	131,669	132,175	45,326	86,343	86,849
조천읍	2,427	49,869	88,165	50,585	-716	37,580
한경면	2,597	81,483	106,682	96,690	-15,207	9,992
소계	19,418	561,469	754,864	393,080	168,389	361,784
대정읍	5,409	191,337	227,004	161,197	30,140	65,807
남원읍	5,212	98,959	191,879	139,677	-40,718	52,202
성산읍	4,273	135,500	155,473	26,328	109,172	129,145
안덕면	2,155	65,960	87,579	32,052	33,908	55,527
표선면	2,369	69,712	76,086	34,226	35,486	41,860

주) 제주도 농업용수 종합계획수립(제주도·농업기반공사 2004)

제주도 전체의 농업용수 보장량은 928,823m³/일로서 총 수요량(1,144,248m³/일)의 81.2% 수준인 것으로 분석되었다. 시·읍·면별로 살펴보면, 동부지역인 구좌읍, 성산읍, 표선면과 남부지역인 안덕면이 19.4~41.9% 범위로 매우 낮은 보장량을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 구좌읍과 성산읍에서 생산되는 근채류(무우, 당근)가 제주도 전체 생산량의 73%를 차지하고 이 작물에 관수해야할 농업용수 수요량도 구좌읍이 60,300m³/일, 성산읍이 61,000m³/일로 수요량의 50%를 차지하고 있는 관계로 분석된다. 또한, 안덕면인 경우는 감자에 관수하는 수요량이 39,254m³/일로 이 지역에 필요한 수요량에 60%를 차지하

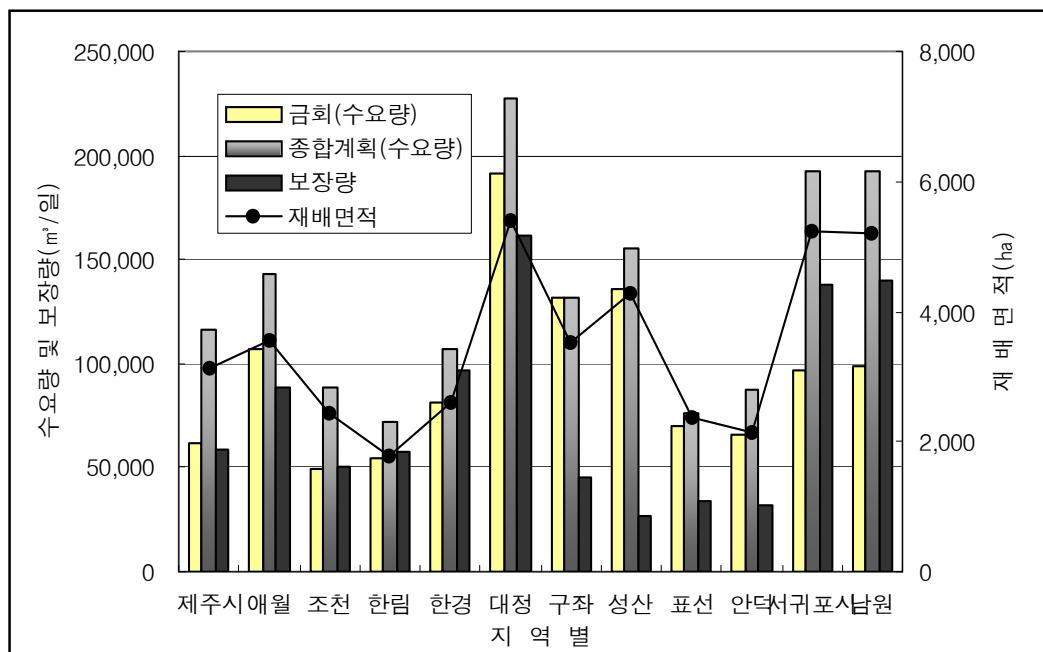
고 있으며, 표선면은 감자($15,126\text{m}^3/\text{일}$)와 근채류($14,415\text{m}^3/\text{일}$)가 차지하는 수요량 비율이 43%를 차지하고 있기 때문에 보장량이 부족한 것으로 판단된다. 앞에서 서술한 서류와 근채류는 가뭄이 발생하는 특정시기에 관수하는 작물이지만 단위면적당 평균이용량 원단위가 크기 때문에 수요량 산정에 있어서 큰 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 향후 추가적인 농업용 수원 개발과 감자, 당근 등과 같은 재배작물에 대해서 모니터링을 실시하여 단위면적당 평균이용량 원단위에 대해 검토가 요구되고 있다. 북부지역의 제주시, 애월읍과 서부지역의 대정읍에 있어서 보장량은 수요량의 83.0~94.6% 수준으로 기 개발된 농업용수 이용시설에 대한 정비사업 및 군집형 지하수개발, 배수지용량 확대 등이 필요한 것으로 판단된다. 그러나, 북부지역의 조천읍, 서부지역의 애월읍, 한림읍, 남부지역의 서귀포시, 남원읍은 101.4~142.4%로 수요량보다 보장량이 많은 것으로 분석되었다. 수요량보다 보장량이 많은 지역인 경우는 공공관정의 의존도가 높거나 사설관정 의존도가 높은 지역인 것으로 조사되어 기 개발된 사설관정의 정비, 관로연계 이용체계 구축 등이 필요한 것으로 판단된다.

제주도 전체적으로 볼 때 농업용수 총 보장량은 총 수요량의 81.2%로 높은 수준이나 농업용수 공급시설간 관로연계 이용체계가 미흡할 뿐만 아니라, 사설관정이 차지하는 비율이 높아 실제 농업용수 수요량을 충족시킬 수 있는 순 보장총량은 이 보다 훨씬 적을 것으로 판단된다. 따라서 기존 공공 농업용 관정시설의 배수조용량 확대, 송배수관로 연장확장, 관정간 연계체계 구축, 관정별 양수능력 재조정, 사설관정의 대폭적인 정비와 지표수, 용천수를 이용한 대체 수자원 개발을 추진해야 할 것으로 판단된다. 또한, 현재 수리계별로 관리하던 방식을 리단위로 통합하여 전문기관에 위탁 관리함으로써 전문화된 조직에 의해 효율적인 용수 관리가 운영되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 산정된 수요량과 농업용수 종합계획의 원단위를 적

용하여 산출한 수요량과 많은 차이를 보이고 있어, 작물유형별 단위면적당 이용량 원단위를 산출하기 위한 지하수 이용량 모니터링을 노지채소, 감자, 양배추, 특용작물(녹차), 화훼류 등으로 확대할 필요가 있다.

또한, 농업용수 실제이용량은 농경지의 관수방법에 따라 달라지는데 농업용수이용량을 절감시키고 수자원을 보호하기 위해 제주도의 작물재배특성, 토양특성, 지형조건에 적합한 고효율의 관수방법에 대한 지속적인 연구개발과 보급이 필요할 것으로 판단된다.



<그림 5-5> 지역별 농지면적과 농업용수 수요량 및 보장량과의 관계

Ⅵ. 농업용수 개발 · 이용상 문제점 및 개선방향

1. 농업용수 개발 · 이용상의 문제점

1-1. 지하수 관정 위주의 농업용수 개발

1970년부터 시작된 제주도 지하수 개발사업은 낙후된 지역경제를 발전시키고 더불어 조상 대대로 이어져 내려온 심각한 물 부족문제를 해결하는 전기가 되었음은 주지하는 바와 같다. 특히, 제주도의 물 문제를 해결하는데 한국농촌공사(과거 농업기반공사) 기술진이 크게 기여했음은 간과할 수 없는 사실이다. 그러나, 지하수개발 초창기에는 공공 관정 중심으로 지하수 개발이 이루어졌으나 1980년대에 들어와서는 시추기술의 발전과 농업용수 수요의 급속한 증가로 인하여 사설 농업용 관정개발이 도 전역에서 성행하면서 사설관정 수가 공공용 관정 수를 크게 앞서기 시작하였다. 이처럼 사설 지하수 관정개발이 급속한 증가를 가져온 가장 큰 원인은 물을 필요로 하는 토지에 공공용수를 공급할 수 있는 능력과 시스템을 갖추고 있지 못했기 때문이며, 지하수 개발 · 이용의 간편성과 편리성을 들 수 있다.

1980년 이전까지만 해도 지표수 또는 해안변 대규모 용천수를 이용한 수리시설이나 빗물을 받아두었다가 농업용수로 이용하는 것이 보편적이었으나, 지하수 관정개발이 본격적으로 이루어지면서부터 지표수나 용천수 활용은 점점 낮아져 현재는 대부분 지하수관정에 의존하고 있다. 1950~1960년대 사이에 대평 · 두모 · 용수 · 수산 · 광령 · 효돈 등 8개소에 저수지가 건설되었으나 현재는 용수 · 광령 · 수산저수지 3개소만 남아있고 나머지는 모두 매립되어 토지로 이용되고 있음을 보더라도 지표수를 활용한 농업용수 공급정책이 뒷전으로 밀렸음을 알 수 있다.

지하수 관정을 통한 농업용수 공급은 그 나름대로의 장점이 있기 때문에 관정 중심의 농업용수 개발정책이 근본적으로 잘못되었다는 것은

아니다. 다만 관정개발 기술발전과 모터펌프 능력의 향상, 농업형태의 변화, 지하수 개발추세, 지하수자원 보전의 중요성, 지표수와 용천수의 활용, 폐쇄 또는 대체되는 상수원의 활용 등을 고려해 최소한의 관정개발을 통해 넓은 지역에 급수할 수 있는 방향으로 정책을 전환하고자 하는 노력이 부족했음을 지적하고자 하는 것이다.

1-2. 공공 농업용 관정 개발방식의 미개선

2005년까지 개발된 농업용 공공 관정은 710개소이며, 이들 공공용 관정은 농림부가 시행하는 “제주도 지하수개발사업”, “밭 용수 및 밭 기반 정비사업”, “농어촌 생활용수 개발사업”, “가뭄대비 지하수 개발사업” 등의 사업에 의해 개발된 것이다. 지하수 관정개발에 따른 사업비는 제주도 지하수개발사업은 국비와 지방비가 각각 50%씩 투자되었고, 밭 기반 정비사업과 가뭄대비 지하수 개발사업은 국비 80%와 지방비 20%가 투자되며, 농어촌 생활용수 사업은 국비 50%, 교부금 50%로 시행되고 있다.

제주도 내에 개발된 농업용을 포함한 공공용 지하수 관정의 시설내용을 보면, 착정구경이 200~250mm이고, 지하수를 끌어올리는 토출관(압상 파이프라고도 함)의 구경은 80~100mm이며, 1일 평균 양수능력은 760m³ 안팎이다. 지하수 관정개발 초기인 1970년대에는 관정 당 양수능력을 당해 관정의 능력(수리성)에 맞게 결정함으로서 공당 4,100m³/일까지 시설되었으나 2000년대 중반이후에는 700~1,000m³/일/공 수준에 맞춰 시설되고 있다. 이러한 사실은 한국농촌공사에 의해 개발된 710개 공의 양수능력 분포에서도 잘 나타나고 있다. 즉, 전체 710공중에서 1일 양수능력 1,000m³ 이하가 전체의 94.1%(668공)에 이르고 있어 지금까지 개발된 공공용 관정 대부분이 소용량임을 알 수 있다.

특히, 지하수 관정들이 분산되어 개발됨으로써 개발된 지하수를 효율적으로 이용할 수 없을 뿐만 아니라, 관정간 연계 이용체계를 구축하

기도 곤란한 형편이며, 기존에 개발된 공공 농업용 관정 인근에 새로운 관정을 다시 개발해야 하는 비합리적인 현상이 계속 이어져 오고 있다. 더욱이, 사설관정이 많이 개발되어 이용되고 있는 지역에 공공용 관정을 개발함으로써 사설관정과 공공관정이 혼재하는 현상도 생겨나고 있다. 이처럼, 관정 당 양수능력을 대수층의 수리성에 맞게 결정하지 않고, 사전에 결정해 놓고 관정을 개발함으로써 관정수는 증가하고 있으나 농업용수 부족문제 해결은 요원한 상태이다. 즉, 관정개발과 이용시설 설치에 투자되는 투자비에 비해 효율성이 낮다는 문제점을 안고 있는 것이다.

<표 6-1> 공공용 관정의 양수량별 분포

(단위 : 공)

합계	599m ³ /일 이하	600~ 799m ³ /일	800~1,000 m ³ /일	1,001~ 1,500m ³ /일	1,501m ³ /일 이상
710	47 (6.6%)	349 (49.1%)	272 (38.3%)	41 (5.8%)	1 (0.1%)

1-3. 공공 농업용 관정 이용 · 관리상의 문제

국가와 지방정부의 예산에 의해 개발되는 공공 농업용 관정은 개발이 완료되면, 당해 관정 이용자로 결성되는 수리계로 관리 · 운영이 넘겨진다. 현재 제주도 내에는 약 350여 개의 수리계 조직이 결성되어 있는 것으로 파악되고 있다. 이들 조직에서는 관정 가동에 따른 전기료와 수리비를 계원들로부터 정기적으로 일정액을 받아 해결하고 있다.

한편, 현재 관정 1개소 당 몽리면적은 35ha(350,000m²) 내외인데, 급수를 위해 100m³ 규모의 고지 또는 고가배수지를 시설하고 있다. 고가배수지의 경우, 지상으로부터 10m 높이에 시설해 배수지에서의 수압은 1kg/cm² 정도가 되며, 관말 지역에서는 1.5kg/cm²의 수압이 유지되도록 설계시 고려하고 있으나 실제 가뭄상황에서는 배수지 인근과 관말 지역

토지에는 수압이 약해 관수에 큰 불편을 겪고 있다. 따라서, 계원들 간에는 격일제 또는 시간제로 밭에 관수하는 것이 관례화 되어 있다.

이렇듯 공공 농업용 관정의 이용·관리 주체가 수리계의 자생조직에 의해 이루어지고 있음에 따라 구성원(계원)의 배타적·독점적 지하수 이용현상이 발생하고 있다. 즉, 공공 용수원임에도 불구하고 가뭄이 들어 인근 비조합원의 토지에 물을 사용하고 싶어도 계원이 아니기 때문에 물 이용이 사실상 불가능하다. 특히, 수리계에서는 수자원의 부족에 대한 우려로 인해 새로운 수리계원 가입을 거부하는 경우가 발생하며, 기존 급수구역과 급수구역 사이에서 제외된 소규모 농지에도 불필요한 용수원 개발 수요가 형성된다. 또한, 관리비를 자체적으로 해결하다보니, 태풍, 홍수, 벼락 등의 자연재해 및 잘못된 기계작동 등에 의한 이용시설의 고장이나 수위저하, 공내붕괴 등 관정 자체의 이상 또는 관로 파손 등에 의해 급수구역에서 물 이용이 불가능한 사고는 항상 잠재되어 있다. 그리고 기반시설을 관리하는 수리계에 기계·전기·지하수에 관한 전문지식을 보유한 기술자가 없음에 따라 이러한 물 이용이 불가능한 사태에 대한 즉각적인 대응이 제대로 이루어지지 않는 경우가 많이 발생한다.

또한, 내용연한의 초과로 인한 노후관 교체는 물론 누수방지, 수중 모터펌프의 수리 및 교체 등 비용이 많이 소요되는 부분에 대한 즉각적인 대응이 제대로 이루어지지 못하고 있다. 특히 수리계가 관리하는 급수구역은 대부분 작부체계가 비슷한 영농을 시행하고 있으며, 작물의 파종기 및 생식기 또는 가뭄시기에는 일시적으로 물 수요가 급증하게 된다. 따라서 가뭄이 들면, 격일제 또는 시간제로 관수를 해야 하므로 계원들 간에 물 이용을 놓고 적지 않은 마찰이 발생해 주민들 간에 반목현상까지도 생겨나고 있다.

1-4. 기초자료 관리의 미흡

상수도를 포함한 농업용수 공급체계를 외국에서는 "Water Supply System" 이라고 한다. 이는 물 공급을 하나의 시스템으로 간주하고 있는 것이다. 다시 말해서, 수원개발에서부터 관로매설 및 수압조절에 이르기까지 체계화·계통화한 하나의 네트워크 개념으로 간주하는 것이라 할 수 있다. 그만큼 과학적 사고를 기초로 하고 있다는 것이다.

그렇지만 우리의 경우, 상수도는 물론 농업용수 이용에 있어 “물만 잘 나오면 된다”는 식의 관념이 깊게 뿌리내려져 있다고 해도 과언이 아니다. 수원(관정) 개발이 언제, 어떻게 시작되었고, 시설내용과 변경(교체) 내력은 어떠한가, 그 수원을 통해 급수혜택을 받는 사람 또는 지역의 구역은 어떻게 이루어지고 있는가?, 하루에 얼마나 한 양의 물을 끌어올려 사용하고 있는가? 등등의 이력을 정리하고 관리하는 데에는 매우 무관심하여온 것이 사실이다. 일례로 공공 농업용 관정별 물리구역이 어떻게 이루어져 있는지에 대한 도면자료는 물론, 관망도도 없는 실정이다. 따라서 도 전체적으로든, 읍·면·동 단위별로든 농업용수 개발·이용현황이 제대로 파악하기가 어려워 중·장기적인 농업용수 개발·이용계획을 수립한다는 것이 불가능할지도 모른다. 현재 개발·이용되고 있는 공공 농업용 관정에 대해서라도 기초자료 관리가 제대로 이루어져야 한다.

1-5. 농업용수 개발·이용관련 기초연구의 미흡

제주도는 지역은 협소하지만, 63개의 특성을 달리하는 토양통으로 이루어져 있을 뿐만 아니라, 지역별 강우량과 온도도 큰 차이를 나타낸다. 이러한 농업조건으로 말미암아 재배작물도 지역별로 차이를 나타내고 있다. 따라서, 토양통별·재배작물별·시기별·지역별 농업용수 필요수량은 차이를 나타낼 수밖에 없다.

그러나, 지금까지 농업용수 필요수량에 따른 기초연구는 매우 미흡한

실정이다. 동일한 작물을 재배할 때, 토양통에 따라 필요수량이 어떻게 차이가 있는지? 하는 사항을 비롯하여 토양수분에 따른 관수 주기와 관수량, 강수량을 고려한 지역별 단위면적 당 농업용수 필요수량 등에 대한 기초적인 연구가 걸음마 단계에 있다. 특히, 주요 밭작물·특작물·노지감귤·시설하우스(한라봉·감귤·화훼·방울토마토 등)별 농업용수 이용량에 대한 꾸준한 모니터링이 이루어지고, 이를 기초로 필요수량을 결정해 농업용수 개발·이용계획수립을 할 때에 활용하여야 할 것이다.

2. 농업용수 개발·이용체계의 개선방향

2000년 11월 완공된 동부지역의 1단계 사업에 이어 서부지역의 2단계 사업추진으로 도 전역 광역상수도체계로 전환되는 글자 그대로 “제2의 물 혁명”이 이룩될 것으로 전망되고 있다. 이처럼 상수도 공급은 광역상수도체계로 기본 틀이 구축되고 있으나 농업용수의 개발·공급에 대해서는 개선방향이 매우 부족한 실정이다.

진술한 바와 같이 현재의 농업용수 개발·이용체계에는 여러 가지 문제점들을 내포하고 있기 때문에 이를 개선함과 아울러, 농민이 필요로 하는 장소와 시기에 물을 공급할 수 있는 체계적인 물 공급시스템을 구축하고, 한정된 지하수자원의 효율적 이용을 도모하기 위해서는 농업용수 정책의 과감한 전환이 요구되고 있다. 제주도 농업용수를 효율적으로 개발·이용하는데 필요한 몇 가지 사항을 제시하고자 한다.

2-1. 수자원 부존특성을 고려한 농업용수 개발

제주도는 면적은 작지만 지하수 부존 및 산출상태 뿐만 아니라, 강우량과 지하수 함양량도 지역에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 중산간 및 고지대 지역은 해안 지역보다 훨씬 많은 비가 내리고 있으며, 해안 곳곳에는 크고 작은 용천수들이 분포하고 있다. 지하수 부존특성·강우량·용천수의 분포·지하수 함양량 등을 종합적으로 고려한 농업용수

해결방안이 강구되어야 할 것이다.

동부지역은 지하수 부존형태는 기저지하수가 광범위하게 부존하고 있는 지역이다. 이러한 관계로 2005년말 현재 지하수 개발율이 51%로 조사되었으며, 또한 공공용 농업용수 공급의존도도 매우 높게 나타났다. 농업용수의 수요량과 보장량을 검토한 결과, 수요량에 비해 보장량이 부족한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 동부지역의 구좌읍과 성산면은 근채류의 생산량이 제주도 전체의 70%를 차지하고, 특히, 특정시기에 가뭄이 발생할 경우 단위면적당 1일 평균이용량이 $31\sim58.0\text{m}^3/\text{ha}$ 를 관수하는 것으로 조사되었으며, 근채류의 용수 수요량이 차지하는 비율이 높기 때문에 부족한 것으로 판단된다.

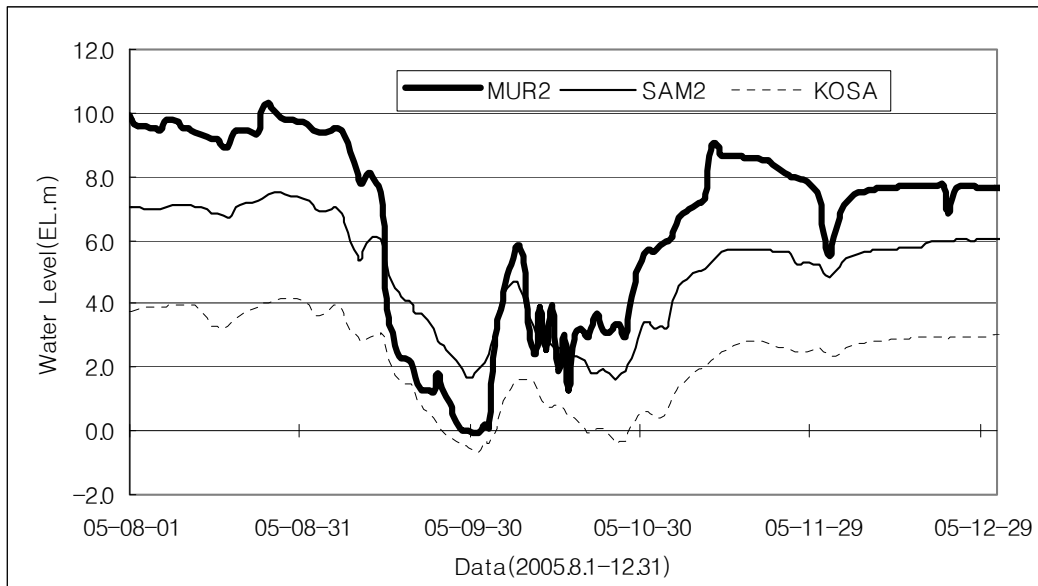
전술한 내용을 정리하면 동부지역은 담·염수 경계면을 갖는 기저지하수가 광범위하게 부존하고 있기 때문에 지하수를 과다하게 개발·이용하는 경우, 염수침입의 위험이 상존하고 있다. 따라서 지하수의 개발·이용은 제약을 받고 있지만 연평균 강우량이 서부지역보다 훨씬 많은 2,077mm를 나타내고 있기 때문에 지표수(성읍지구)를 개발·이용하는 것이 효과적인 지하수관리 정책이 될 수 있다.

서부지역은 작부체계가 비슷한 영농을 시행하고 있으며, 주요 재배작물인 마늘, 감자, 파 등의 밭농사가 집중적으로 이루어지는 농경지역으로서 농업용수 수요가 제주도내에서 가장 많은 지역이다. 그러나, 연평균 강우량이 1,100~1,200mm 범위로서 제주도 내에서 가장 적을 뿐만 아니라, 파종기인 9월~11월 사이에 가뭄이 자주 발생함으로써 농업용수 확보를 위해 한경지역에는 공공용을 포함해 모두 207개의 지하수 관정이 개발되어 있고, 대정지역에는 672개의 관정이 개발되어 있다.

이와 같이, 특정시기에 집중적으로 지하수를 양수하는 경우에는 지하수위 하강이 광범위한 지역에 걸쳐 크게 발생할 수 있다. <그림 6-1>은 제주도 서부지역의 무릉2(MUR2), 상모2(SAM2), 고산(KOSA) 관측정에서 2005년 8월 1일~12월 31일까지 4개월 동안 관측된 지하수

위를 나타낸 것이다. 이 지역에서는 대체로 8월말부터 마늘 파종이 시작되고 밭아가 되는 11월까지 약 3개월 동안 많은 양의 농업용수를 사용하고 있는데, 2005년 9월과 10월에 각각 11mm와 45mm에 불과한 비가 내림으로써 거의 모든 지하수 관정에서 지하수 양수가 진행되었다. 한경지역의 경우, 1일 지하수 적정개발량은 $114 \times 10^3 \text{m}^3$ 인데 비해 1일 약 $160 \times 10^3 \text{m}^3/\text{d}$ 의 지하수 양수가 진행됨으로써 고산관측정(KOSA)의 수위가 약 4.5m 하강하였다. 또한, 대정지역의 경우는 지하수 적정개발량($69 \times 10^3 \text{m}^3/\text{d}$)보다 $50 \times 10^3 \text{m}^3/\text{d}$ 나 많은 지하수 양수가 진행됨으로써 무릉2(MUR2) 관측정의 수위가 약 10m 하강하는 현상이 발생하였다. 그러나, 2005년 10월 초에 비가 내려 지하수 양수가 일시적으로 중단된 때에는 수위가 회복국면으로 반전되다가 다시 집중적인 지하수 양수의 진행으로 2005년 10월말까지 저수위 상태를 유지하다가 회복되기 시작하였다.

서부지역의 유역별 지하수 적정개발량과 개발량과의 관계를 살펴보면, 한경유역, 대정유역의 개발율은 각각 186%, 178%으로 적정개발량인 80%를 훨씬 초과하고 있으며, 서부유역의 평균 개발율은 137.5%(429천 $\text{m}^3/\text{일}$)로 분석되었다. 공급의존도를 보면, 한림읍, 한경면지역의 공공용 농업용수 공급의존율도 매우 높게 나타났고 대정읍지역은 사설관정은 많으나 지하수 개발량은 공공관정과 비슷한 수준을 유지하고 있다. 또한 농업용수의 수요량 및 보장량을 검토할 결과 한림읍과 한경면지역은 수요량보다 보장량이 많지만 대정읍지역은 수요량이 부족한 것으로 분석되었다.



<그림 6-1> 다수의 취수정에서 지하수 양수에 의한 수위변화(서부지역)

따라서 서부지역은 도내에서 강우량이 가장 적은 지역이기 때문에 지하수와 용천수(옹포지구) 위주의 농업용수 개발정책이 필요하다. 특히, 이 지역에 이미 개발된 지하수 관정의 이용시설간 연계체계 구축, 저수조 규모 확대사업, 사설관정정비 사업을 추진해야 한다. 아울러, 특정 시기 집중 이용시 지하수위가 현저하게 하강하고 있기 때문에 지하수의 인공함양 사업도 동시에 이루어져야 한다. 또한, 하수종말처리장 방류수와 광역상수도 공급에 따른 기존 상수원의 활용 등을 효과적으로 추진할 때, 새로운 수원을 개발하지 않더라도 농업용수 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

남부지역의 유역별 지하수 적정개발량과 개발량과의 관계를 살펴보면, 안덕유역이 61%, 서귀유역과 남원유역의 개발율은 각각 94%, 113%으로 적정개발량 80%를 훨씬 초과하고 남부유역의 평균 개발율은 91.4%(279천 m^3 /일)로 분석되었다. 공급의존도를 보면, 남원읍, (구)서귀포시지역의 공공용 농업용수 공급의존율도 매우 낮게 나타났고 안덕면

지역은 공공용 농업용수공급 의존율이 높은 것으로 조사되었다. 또한 농업용수의 수요량 및 보장량을 검토할 결과 남원읍과 (구)서귀포시지역은 수요량보다 보장량이 많지만 안덕면지역은 감자 재배에 필요한 수요량으로 인해 부족한 것으로 분석되었다.

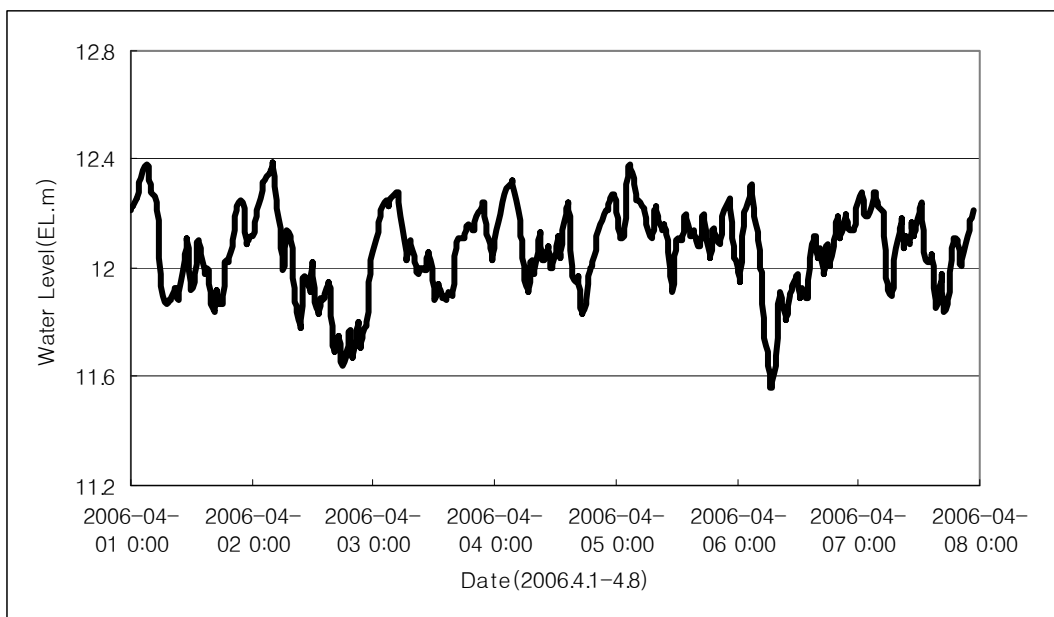
따라서 남부지역은 지하수의 순환이 매우 빠르게 이루어지는 상위지하수가 부존하고 있을 뿐만 아니라, 지질특성으로 인해 지하수 관정에 서 세사(細砂)가 토출하는 경우가 많고, 수위 강하량이 커 대용량 지하수 개발여건이 취약한 지역이다. 따라서, 남부지역은 지하수와 용천수를 주 수원으로 이용하되 풍부한 강우량을 이용한 소규모 저수지 건설과 지하수 인공함양 사업이 필요한 지역이다. 특히, 이 지역에는 시설하우스에 의한 특작물 재배가 광범위하게 이루어지고 있고 이들 시설 대부분이 사설관정을 개발·이용하고 있으며, 향후 광역상수도가 공급되면 강정수원 등 기존 용천수 상수원의 취수량 감량이 이루어질 전망이므로 추가적인 관정개발을 하지 않더라도 농업용수의 해결이 가능할 것으로 판단된다.

북부지역은 강우량도 비교적 많고, 지하수 개발조건도 비교적 양호한 편이나 인구 및 관광관련 시설의 집중으로 지하수 이용량이 도내에서 가장 많고, 특정 시간대에 집중적으로 지하수를 양수하는 경우에는 지하수위 하강이 발생할 수 있다.

신제주 지역은 관광호텔을 비롯한 숙박업소, 목욕장, 공동주택, 업무용빌딩, 식당 등에 이용할 목적으로 약 220여개의 지하수 관정이 개발되어 있으며, 지하수 이용량도 1일 평균 37,000m³에 이를 만큼 협소한 지역에서 지하수를 집중적으로 이용하고 있다. <그림 6-2>는 지하수 관정이 밀집된 상류지역에 위치한 연동관측정(YOD)에서 2006년 4월 1일~4월 8일까지 관측된 지하수위를 나타낸 것이다. 이 관측정의 수위 그래프를 보면, 지하수 양수에 의해 전반적으로 70~75cm의 수위강하가 지속적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히, 수위 그래프가 펄스

형태를 보여주고 있는데, 이는 하류지역에 설치된 다수의 관정에서 지하수를 불규칙하게 양수하기 때문에 생겨나는 현상이다. 또한, 오전 3~4시부터 오후 4~6시까지는 수위가 하강했다가 오후 4~6시부터 오전 3~4시까지 시간에는 수위가 회복되는 비교적 규칙적인 패턴을 보여주고 있는데, 이는 지하수를 일정 시간대에 일정량을 양수해 이용하는 생활용 관정의 지하수 이용특성에서 비롯된 것이다.

도시화로 인한 지하수 함양지역 면적이 점차 감소하고 있기 때문에 지하수의 인공함양 사업이 우선적으로 이루어져야 하며, 하수처리장 방류수의 재활용과 광역상수도에 의해 대체되는 기존 상수원 활용방안이 강구되어야 할 것이다.



<그림 6-2> 다수의 취수정에서서 지하수 양수에 의한 수위변화(북부)

2-2. 농업용수 권역화 사업의 추진

제주도의 농업용수 공급시스템을 어떤 형태로 구축할 것이냐 하는 문제는 매우 신중하게 고려해야 할 사항이다. 농업용수 공급체계구축

방안으로는 다음과 같이 크게 3가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째, 광역상수도 건설사업과 같이 환상의 관로(幹線)에 의해 도 전역을 하나의 용수공급체계로 구축하는 방안이며, 둘째, 현행처럼 소용량 지하수 관정을 분산 개발하여 필요로 하는 농지에 용수를 공급하는 방안이다. 셋째, 마을이나 읍·면 단위로 권역화하여 기존 수원과 신규 수원을 통합해 공급하는 방안이 있다. 이들 3가지 방안은 나름대로의 장·단점을 지니고 있으나 부존 수자원의 효율적 이용 및 지하수의 난 개발 방지, 기존 수원시설 이용의 극대화, 사업비 확보, 시설의 유지·관리 등의 측면을 고려할 때, 농업용수를 권역별로 공급하는 방안이 가장 유리하다고 판단된다. 권역을 마을 단위로 할 것인지, 아니면 읍·면 단위로 하는 것이 좋은지에 대해서는 용수 수요량, 기존 시설의 용수보장 능력, 대체수자원 개발·이용의 가능성, 지형적 여건 등을 분석한 후 결정하는 것이 좋을 것이다.

2-3. 농업용수 이용량 모니터링

아쉽게도 아직까지 농업용수가 도 전체적으로 얼마나 이용되고 있으며, 시기별·지역별·작물별로 어떠한 변화를 나타내고 있는지에 대해 현재 수자원본부에서 기초자료를 확보하기 위해 지하수 이용량을 모니터링을 하고 있다. 현재 운영되고 있는 이용량 모니터링은 시설감귤, 노지감귤, 밭작물(마늘) 등으로 사설지하수 관정에 대해서 모니터링을 실시하고 있다. 제주도 전체의 수요량을 산정하기 위해서는 소수 재배작물에 한정하여 모니터링 하는 것보다 제주도의 주요 작물인 감자, 당근, 양배추, 녹차, 화훼 등과 같은 재배작물들을 추가적으로 선정하여 지속적인 농업용수 이용량에 대해 모니터링을 실시하여 농업용수 수요량에 대한 불확실성을 하루 빨리 극복해야 한다. 또한, 공공 농업용 관정은 이용량이 많기 때문에 공공 농업용 관정에 대한 모니터링도 함께 이루어지는 것이 요구된다.

2-4. 농업용수 이용과 관련한 기초연구

상수도에 비해 농업용수의 이용과 관련한 부분에 대해서는 기본적인 연구가 미흡한 실정이다. 농업용수 필요수량 산정을 비롯하여 관수방법과 주기, 작물의 성장 과정별 관수량, 지역별 강우량을 고려한 농업용수 필요수량, 농업용수의 수질 등 기초연구가 꾸준히 실시되어야 한다. 특히, 제주도는 지역별로 토양의 특성이 다르고 강우량과 재배작물이 다르기 때문에 이러한 기초연구의 성과는 지하수 관리정책 수립은 물론 농업용수 관리에 귀중한 정보로 활용할 수 있다.

2-5. 농업용수와 관련한 기본 자료의 체계적 관리

전술한 바와 같이, 농업용수의 개발·이용에 따른 기본 자료의 관리가 체계적으로 이루어지지 않고 있다. 다행스럽게도, 도 전역 GIS 구축사업이 완료되어 지하수 관정 위치도를 비롯한 약 50여 가지 항목에 대한 기본 자료가 잘 정리되어 있을 뿐만 아니라, 최근에 와서는 제주도 전역의 수치지적도도 작성이 완료되었다. 이러한 기본적인 틀을 바탕으로 공공 농업용 관정의 물리구역을 비롯하여 배수지·송배수관·물리구역 필지별 주 재배작물 등 기본적인 사항을 DB화하면 농업용수와 관련된 현황분석은 물론 신규 수원개발 지역의 선정, 송·배수관 연결 등을 신속하게 결정할 수 있어 행정의 생산성을 크게 높일 수 있다.

2-6. 농업용수 개발 및 관리주체의 검토

공공 농업용 관정의 관리와 농업용수 공급 주체에 대해 다각적으로 검토할 시점이라고 생각한다. 오래 전부터 시행해 오고 있는 관습에서 벗어나 이 문제를 전향적으로 접근할 필요가 있다는 것이다. 정부는 기존의 농어촌진흥공사·농지개량조합·농지개량조합연합회를 통합해 농업기반공사를 만들고, 2006년도에 한국농촌공사로 명칭을 변경하여 다음과 같은 사업을 하도록 규정하고 있다(한국농촌공사및농지관리기금법 제10조).

- ① 농어촌정비법에 의한 농어촌정비사업(농업기반정비사업지구안에서의 하천정비사업을 포함한다)
- ② 농업기반시설의 유지·관리 및 이용에 관한 사업
- ③ 농어촌용수 및 지하수자원의 개발·이용 및 보전·관리에 관한 사업
- ④ 농지의 조성 및 이용증진사업, 영농규모적정화를 위한 농지의 매매·임대차·교환·분합에 관한 사업 및 농지 등의 재개발사업
- ⑤ 농어촌의 도로의 개발 및 정비, 지역균형개발및지방중소기업육성에 관한법률에 의한 복합단지의 조성, 산업입지및개발에관한법률에 의한 농공단지의 개발 등 농어촌지역개발사업
- ⑥ 농어촌의 수질오염방지시설·하수도시설 및 오수·폐수처리시설의 설치 및 지원 사업
- ⑦ 제1호 내지 제6호의 사업을 위한 시험·연구·조사·측량·환지·설계·공사감리 및 시설물안전진단사업
- ⑧ 해외농업개발 및 기술협력사업
- ⑨ 국가·지방자치단체 또는 기타의 자로부터 위탁받은 사업
- ⑩ 다른 법령의 규정에 의하여 공사가 시행할 수 있는 사업
- ⑪ 기타 공사의 설립목적을 달성하기 위하여 필요한 사업

따라서, 한국농촌공사는 농업기반시설의 유지·관리 및 이용을 비롯하여 농어촌용수 및 지하수자원의 개발·이용 및 보전·관리에 관한 사업을 하도록 법으로 정해져 있다. 제주도의 농업용수 개발·이용은 물론 그 시설의 관리에 대한 부분도 한국농촌공사가 관리할 수 있는 근거가 마련되어 있는 것이다.

농업용수 개발·관리주체를 검토한다고 해서 행정기관이 방임한다는 취지는 결코 아니다. 행정조직은 시대 변화에 맞춰 계속 변화하고 있으며, 그러한 구조조정의 틀 속에서 소수의 직원에 의해 농업용수 개발·이용과 관련된 업무를 처리하는 것보다 전문화된 조직에 의해 용수 관리를 하는 것이 더 효율적이라고 판단된다.

참고문헌

- 고기원, 1997, 제주도 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 대학원 박사학위 논문, p.1~325
- 고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수 관리, 제주도광역수자원관리본부
- 고기원, 박윤석, 박원배, 문덕철, 2003, 제주도 동부지역의 수문지질과 지하수 부존특성(1),
- 농업기반고사 농어촌연구원, 2002, 제주도 발판개 용수량 산정법 정립에 관한 연구
- 제주도, 1999, 제주의 물·용천수
- 제주발전연구원, 2003, 제주도 농업용 관정의 양수량 산정과 지하수 이용특성 연구.
- 제주도, 2001, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(1)
- 제주도, 한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(3)
- 제주도, 농업기반공사제주도본부, 2004, 제주도 농업용수 종합계획수립
- 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

연 구 책 임	박 원 배	제주발전연구원 연구위원
연 구 원	고 기 원	제주특별자치도수자원본부 연구실장
연 구 원	문 덕 철	제주특별자치도수자원본부 연구원

제주도의 지역별 농업용수 개발·이용방안

인 쇄 일	2006. 12
발 행 일	2006. 12
발 행 인	고 부 언(제주발전연구원장)
발 행 처	제주발전연구원
인 쇄 처	경신인쇄사(☎064-746-2044)

ISBN 978-89-6010-002-2 93530

□ 이 책에 실린 내용은 출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 無斷 轉載나 複製는 금합니다.