

■ 대학원생부문 장려상

제주 귤자왈 지역의 토지이용변화에 따른 지하수 수문·수질 영향분석

— 골프장 개발이 미치는 영향을 중심으로

김윤성 · 김재경 · 김형찬 · 한 준 서울대학교 환경대학원 환경계획학과



목 차

- | | |
|-----------------------------|---|
| I 서론 | IV 제주 귤자왈 지역의 토지 이용
변화에 따른 지하수 함양 변화
실태 |
| II 귤자왈 개관 | V 귤자왈 개발이 지하수 수질에
미치는 영향 추정 |
| III 잠재적 교란으로서의 골프장
건설 계획 | VI 결론 |



요 약

본 연구에서는 제주도의 귤자왈 지역의 토지 이용 변화, 특히 골프장 용도로의 이용이 지하수의 함양과 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 이 지역은 제주도의 화산 활동을 통해 형성된 특유의 높은 투수성 지질구조를 지니고 있음으로 인해서, 지하수 순환 과정상 지하수 함양 및 지하수 수질에 중요한 역할을 할 것으로 예상되는 지역이다. 특히 최근 이 지역에 대한 골프장 등의 대규모 토지 개발 사업이 계획 되어 있음으로 인해서 토지 이용 변화가 미치는 지하수 순환 과정에 대한 영향은 많은 관심의 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 귤자왈 지역에서의 토지 이용 변화가 지하수 함양 및 수질에 미치는 영향을 모의 실험 및 자료 분석을 통해서 추정하였다. 분석은 실측 수문 조사 자료를 바탕으로 수문학적 모의실험을 통하여 행해졌다. 그 결과 귤자왈 삼림 10%가 초지로 전용되었을 경우 지하수 함양량은 1.5%, 50% 전용되었을 경우에는 7~9% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 강수량의 변화와 토지이용의 형태에 밀접하게 관련되어 반응하는 제주 지하수의 수질 특성과 고지대에서 해안 방향으로 뚜렷이 유동하는 지하수의 특성은 상류지역의 귤자왈 개발이 하류지역의 광범위한 지하수 수질 오염을 유발할 가능성을 확인해주었다.

I. 서론

1. 연구의 배경

경관 형성 과정은 비생물적·생물적 과정과 인간의 간섭에 의한 지피(地皮) 형성 과정으로 이루어지게 되며, 그 변화요인들의 상호작용으로 시간에 따라 다른 모습으로 나타나게 된다. 일반적인 경관 형성 과정은 시간 순으로 지질·기후 작용으로 형성된 비생물적인 틀 위에 식생발달과 함께 동물 군집이 나타나는 한편, 숲 틈 등과 같은 자연 교란이나 경작지나 골프장 등으로의 토지 전용(轉用)과 같은 인공 교란 등이 가시적 경관을 변화시킴으로서 이루어진다. 이 때 변화를 유발하는 자연적·인위적인 교란이 경관 특성을 어느 방향으로 이끌게 될지는 교란과 경관의 상호작용에 의해 결정되게 된다(이도원 2000)

한편 제주지역의 ‘곶자왈’은 이러한 경관 형성 과정의 전형적 예라 할 수 있다. 특수한 용암 지대라는 비생물적인 지질 구조 틀 위에 ‘제주도’라는 도서 특유의 기후조건의 영향으로 형성된 ‘곶자왈’은 보온성을 지닌 토양·지질 구조 때문에 심지어 겨울철에도 상록활엽수림을 유지하는 특유의 식생을 보유하고 있다(김봉찬 2004). 또한 한라산 고산지역에만 서식하는 대형 포유류인 노루의 이동 통로 겸 겨울철 서식처로서의 역할 뿐만 아니라 다양한 동물들의 서식 공간으로서 활용되고 있다.

또한 이러한 곶자왈은 경관 과정상 수문학적 순환 과정 특히 지하수 순환 과정상 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(제주도 2000, 제주도 2003, 송시태 2000). 앞서 언급한 용암에 의한 지질 구조는 다른 지역에 비해서 상대적으로 크게 투수성이 높아 지하수 함양과정에 직접적이면서도 강한 영향을 주기 때문이다. 특히 하천 발달이 미약한 관계로 주 식수원을 지하수 자원으로 삼고 있는 제주지역의 현실을 감안해 본다면, 곶자왈의 중요도와 가치는 크다고 할 수 있다.

그러나 이와 같은 곶자왈의 경관 생태학적·수문학적 함의는 최근에서야 인식되기 시작하였다. 일반적으로 곶자왈의 사전적 정의는 ‘나무와 덩굴 따위가 마구 엉클어져 수풀같이 어수선하게 된 곳’(제주어 사전 1995)으로서, 최근까지 농경지 등으로 전용이 어려운 일종의 황무지로서 인식되어 왔기 때문이다. 그러나 최근에 이르러서 일부 지역 학자들에 의해서 곶자왈 지역의 생태학적·수문학적 가치가 밝혀지기 시작하면서 관심의 대상이 되고 있다.

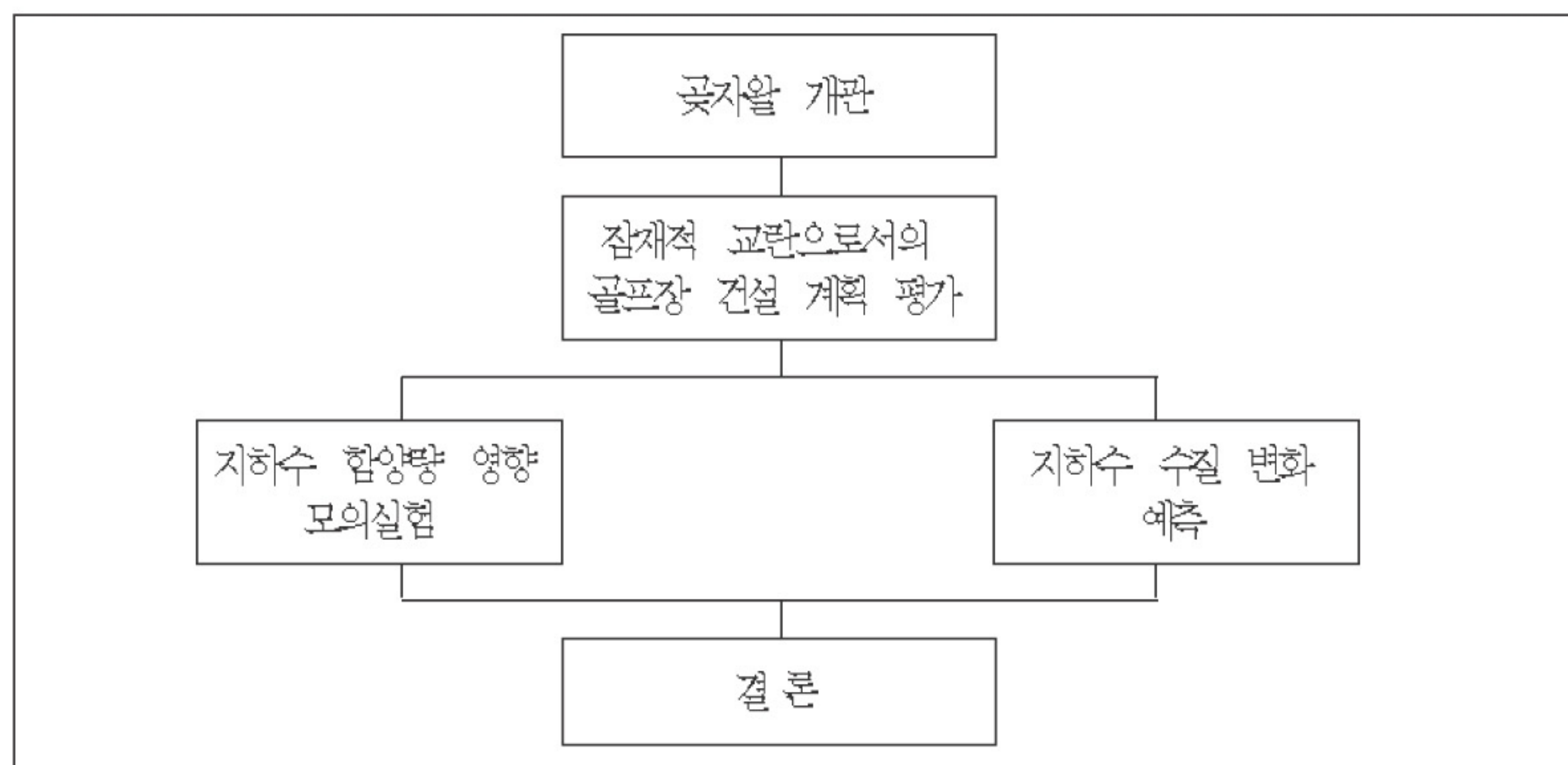
2. 연구의 목적 및 방법

본 연구의 목적은 곶자왈 지역 경관 생태학 및 수문학적 측면 중요성을 확인하기 위해서 곶

밭 지역의 토지이용 변화와 지하수 수문·수질과의 상관관계를 규명하는데 있다. 귤밭 지역의 토지이용 변화는 일종의 인공적인 교란요인 요인으로서 귤밭 지역 및 주변지역의 경관 과정 특히 지하수 수문 과정에 직간접적인 영향을 주게 된다.

한편 특히 현재 귤밭 지역 주 토지 이용 계획으로서 설정되어 있는 골프장 건설 사업은 단순히 이러한 토지 이용 형태의 변화로서의 교란만을 의미하지 않는다. 한국의 토양은 사철 푸른 외래종 잔디가 생육 환경으로 적합하지 않기 때문에 잔디를 식재·유지하기 위해 생육환경을 크게 변화시켜야 하는 한편, 잔디를 손상시키는 두더지 등을 막기 위해서 땅 밑 50cm 속까지 유독성 농약을 살포, 토양 속의 미생물과 생물들을 사멸시키는 한편, 과도한 농약 사용으로 인해서 악화된 잔디를 유지하기 위해서 화학비료를 사용해야 하는 악순환을 계속하게 된다(최미희 외 2000). 이러한 골프장의 농약사용 및 화학비료 사용은 결국 지하수질에도 영향을 주게 될 것으로 예상된다.

이러한 귤밭 지역 토지 이용 변화, 특히 골프장으로의 전용이 지하수 함양과 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 순서로 연구를 하였다. 우선 주로 산림으로 구성된 귤밭의 현황 및 2000년에 실시된 제주도 전지역 GS 등급화에 따른 귤밭 지역의 개발 허용 범위를 개괄적으로 살펴보고자 한다. 다음으로 일종의 잠재적인 교란 요인이라 할 수 있는 귤밭 지역의 골프장 개발 계획의 현황과 함께 골프장이 지닌 일반적인 환경영향을 살펴본다. 이러한 골프장 교란 즉 토지 이용 변화가 지하수 수문·수질 과정에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 먼저 지하수 함양량에 따른 토지 이용변화 영향은 모의실험을 통해서 산정하고, 다음으로 지하수 수질에 미치는 영향은 제주 지역의 지하수 수질 특성에 대한 기존 연구를 바탕으로 잠재적인 오염 가능성을 살펴보자 한다. <그림 1>은 이러한 연구과정을 도식화 한 것이다.



<그림 1> 연구 과정도

II. 꽃자왈 개관

1. 꽃자왈 지질학적 특성

일반적으로 제주도 전체는 알칼리 현무암류에서부터 조면암류에 이르는 비교적 다양한 화산암류가 산출되는 지역으로 대략 4단계에 걸친 화산활동이 나타났다. 제주도의 기반 암석은 쥐라기 대보화강암, 백악기 퇴적암류, 응회암류, 화산암류 및 화강암으로 구성된 것으로 알려져 있다(송시태 2000)

한편 습곡, 함몰지, 꽃자왈, 스코리아 등 투수성 지질구조가 넓게 분포하고 있는데, 이들은 지하수 함양에 기여하는 한편 오염에 대한 노출도 높은 지역이라 할 수 있다. 이 중 특히 꽃자왈은 중산간 지역 투수성 지질의 70% 를 차지하는 대표적인 투수성 지질이다 (제주도 1997)

꽃자왈을 형성한 용암류는 아아용암류¹⁾가 주류를 이루고 있으며 클린커층이 발달한 것이 특징이다. Williams and McBain(1979)는 아아 용암류 중에서도 주로 암피로 이루어진 것을 암피상 아아 용암류 (aa rubble flow)라 정의하였는데,

「암피상 아아 용암류란 용암류 내부의 용암관과 용암관 사이의 부분이 유동 중에 각력질 암피 크기로 파쇄되어 표면이 암설류의 양상을 이루는 것」을 말한다. 제주도에서 “꽃자왈”이라 부르는 지대는 암피상 아아 용암류의 특징을 잘 보여주고 있어 송시태 (2000)는 꽃자왈을 구성하는 암피상 아아 용암류란 용어 대신 「꽃자왈용암 (Gofawal Lava)」이라는 용어를 사용하였다 (송시태 2004). 중소력의 암피로 파쇄되어 발달한 클린커층 지질이 꽃자왈 지역의 높은 투수성을 지니게 한다.

2. 꽃자왈 형성 및 분포

가. 꽃자왈 분포

꽃자왈의 면적은 연구자와 조사 시기에 따라 다소간 차이를 보인다. 꽃자왈의 분포조사는 97년 제주도 중산간 지역 종합조사, 2000년 제주도 전지역 GS 구축작업, 2000년 송시태의 제주 아아 용암류분포연구에 따라 조사된 꽃자왈 분포 등이 있다. 제주도 GS 구축은 국토연구원과 농업기반공사가 진행하였다. 따라서 꽃자왈의 분포에 대한 자료는 농업기반공사 등이 작

1) 아아(Aa)라는 용어는 하와이 원주민 방언에서 유래된 말이다. 이 용암은 파호이호이 용암과는 달리 점성이 커서 표면이 거칠고 상부와 하부에 1~2m 두께의 클린커층을 형성하며 중앙부는 비교적 치밀한 용암 상태를 이루는 것이 특징이다 (송시태 2004 재인용)

성한 것과 송시태가 작성한 것 두 종류가 있다고 볼 수 있다. 조사자에 따라 면적과 분포가 달라지는 이유는 세 가지 정도 찾을 수 있다.

첫째, 귤밭류 용암이 지층의 최상부를 형성하고 있고 귤밭이라는 지역 자체가 돌과 나무가 엉켜있는 곳이라 자연 풍화되거나 인간의 토지이용으로 피복상황이 달라져서 식별이 어렵다는 점이다. 토양 최상층에 있는 자갈규모의 암석이 제거되고 밭으로 사용되고 있다면 사진 분석으로는 귤밭인지 아닌지 판단하기 어렵기 때문이다.

둘째, 귤밭 지역을 결정하는 기준이 다를 수 있기 때문이다. 송시태의 경우는 현장 지질조사에 따라 용암류의 분포를 보고 결정하였고 농업기반공사 등은 GS 관측으로 귤밭 여부를 결정하였다.

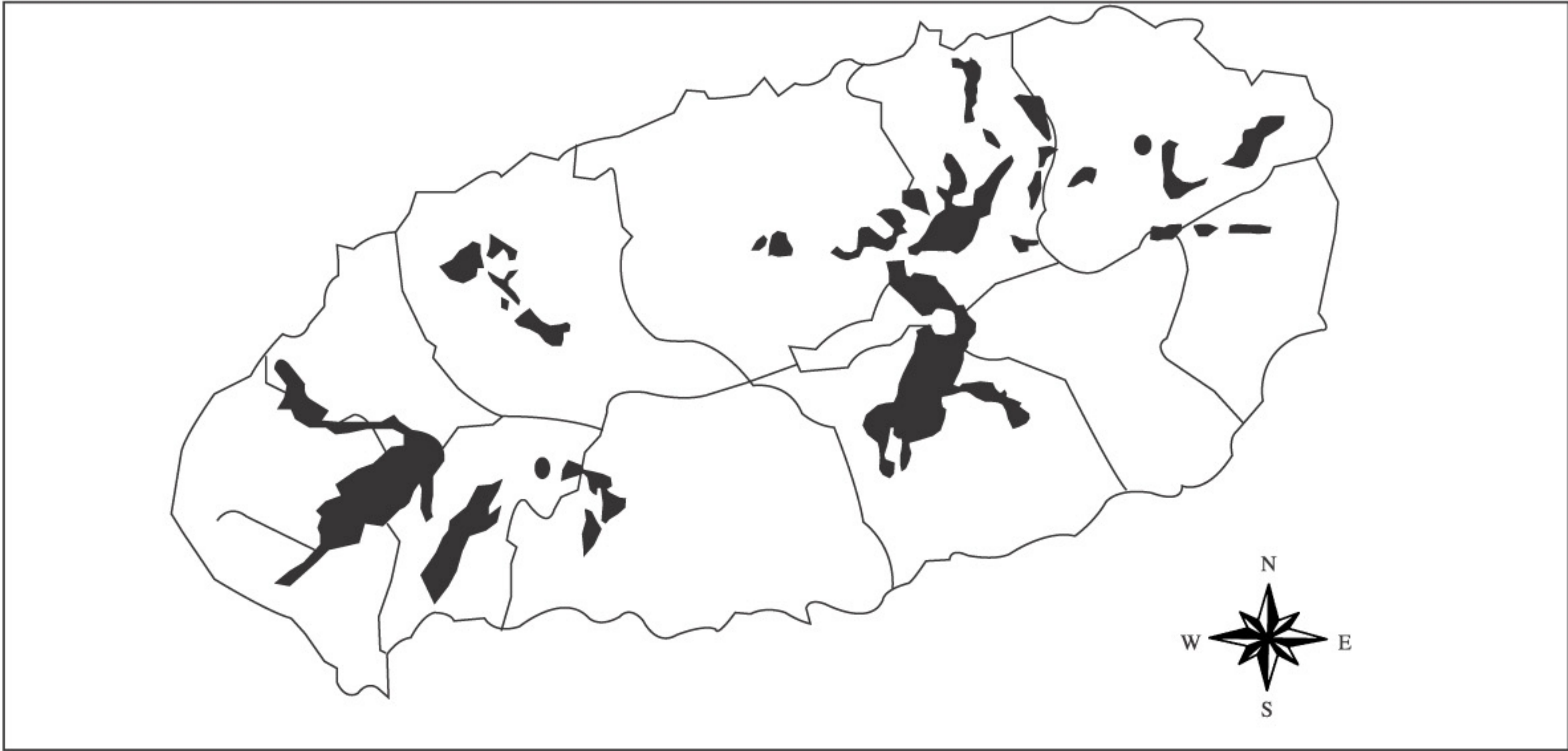
셋째, 토지소유자들의 민원가능성이다. 귤밭로 토지가 등록되면 지하수보전등급 등이 강화되어 개발 잠재성이 떨어지기 때문에 소유자들은 조사과정에서 귤밭로 등록되는 것을 바라지 않는 경향이 있다.

〈그림 2〉은 송시태 (2000) 가 연구한 제주도의 귤밭 분포지도이다. 귤밭은 섬의 동북면과 서남면에 걸쳐 크게 네 개 지역에 분포하는 것으로 표시하였다.



〈그림 2〉 송시태 (2000) 가 작성한 귤밭 분포도

다음 〈그림 3〉은 농업기반공사가 제주도의 투수성지질구조를 분석한 GS 자료에서 귤밭 부분만을 표시하였다. 송시태의 것과 비교한다면 귤밭의 파편화정도가 훨씬 크다는 점이 먼저 발견된다. 월림·신평 지역을 제외하면 다른 세 곳은 일련의 통일된 흐름을 찾아보기 어렵고 분포면적 또한 상대적으로 적다. 또 하나의 큰 차이는 송시태 (2000) 가 귤밭 지역으로 표기하지 않고 있는 한라산 우측 중산간 최상층지역을 귤밭로 인정한다는 점이다.



〈그림 3〉 농업기반공사 (2000) 에서 작성한 곳자왓 분포도

〈표 1〉 곳자왓 면적 분포 비교

프로그램명	농업기반공사 (km ²)	송시태 (km ²)
전체면적 (제주도면적 대비율)	1 249(69)	1734(95)
조천 함덕	263(14)	627(34)
구좌 성산	90(5)	378(21)
애월	818(45)	1811(10)
월림 신평	504(27)	547(34)
기타지역	309(17)	-

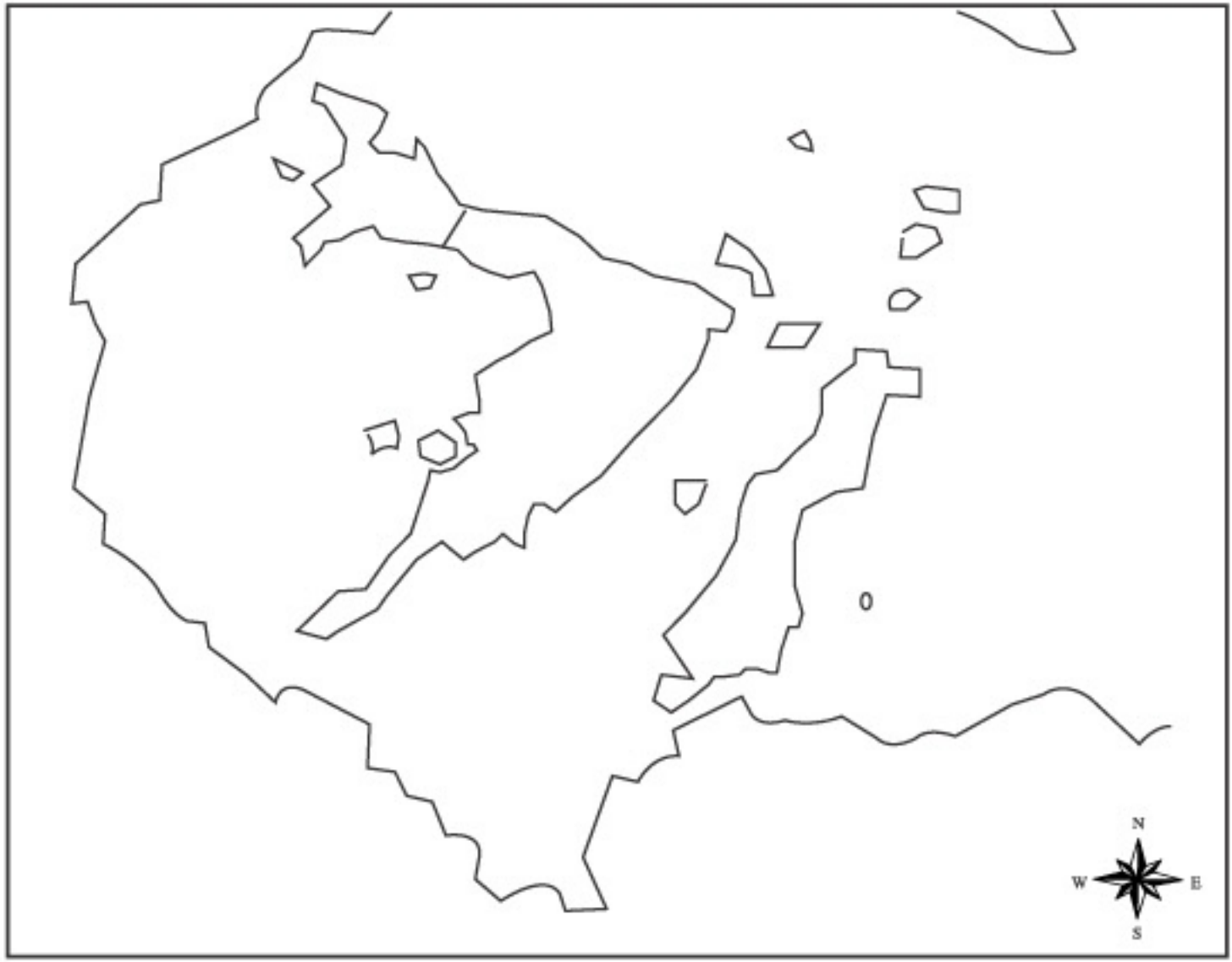
(제주도 200, 송시태 200)

나. 곳자왓의 지역별 개관 및 면적 비교

본 장에서는 현재 분포하는 곳자왓의 위치와 지질적 특징을 송시태의 연구에 기초하여 개관 하고 초기 형성된 용암층과 현재 남아있는 용 암층의 면적을 비교하여 본다.

1) 한경·안덕 곳자왓

한경·안덕 곳자왓은 제주도의 서남부에 위 치하며 월림·신평 곳자왓과 상창·화순 곳자 왓 두 흐름을 볼 수 있다. 제주도에 분포된 곳



〈그림 4〉 한경·안덕 곳자왓 (송시태 2000)

밭 중 가장 뚜렷하게 그 흐름을 볼 수 있다. 월림·신평 귤밭은 한림읍 금악리 지경의 해발 326m 에 위치한 도너리오름에서 시작되어 한림읍 월령리와 대정읍 영락리의 해발 20m 지역까지 두 갈래로 나뉘어져 분포하고 있으며 상창·화순 귤밭은 해발 492m인 병악에서 시작되어 화순리 방향으로 총 9km에 걸쳐 분포하고 있다(송시태 2004). 중산간 지역 개발로 체육시설(골프장)이 집중적으로 건설되는 곳이기도 하다. 귤밭 용암류가 해안방향으로 흐르며 형성한 중소령 암괴의 클린커층이 깊이 1~3m의 깊이를 이루고 있다. 용암층이 초기 형성되었을 때 그 면적은 925 km²이었을 것으로 추정되며 현재 면적은 547 km²으로, 약 59% 정도가 남았다.

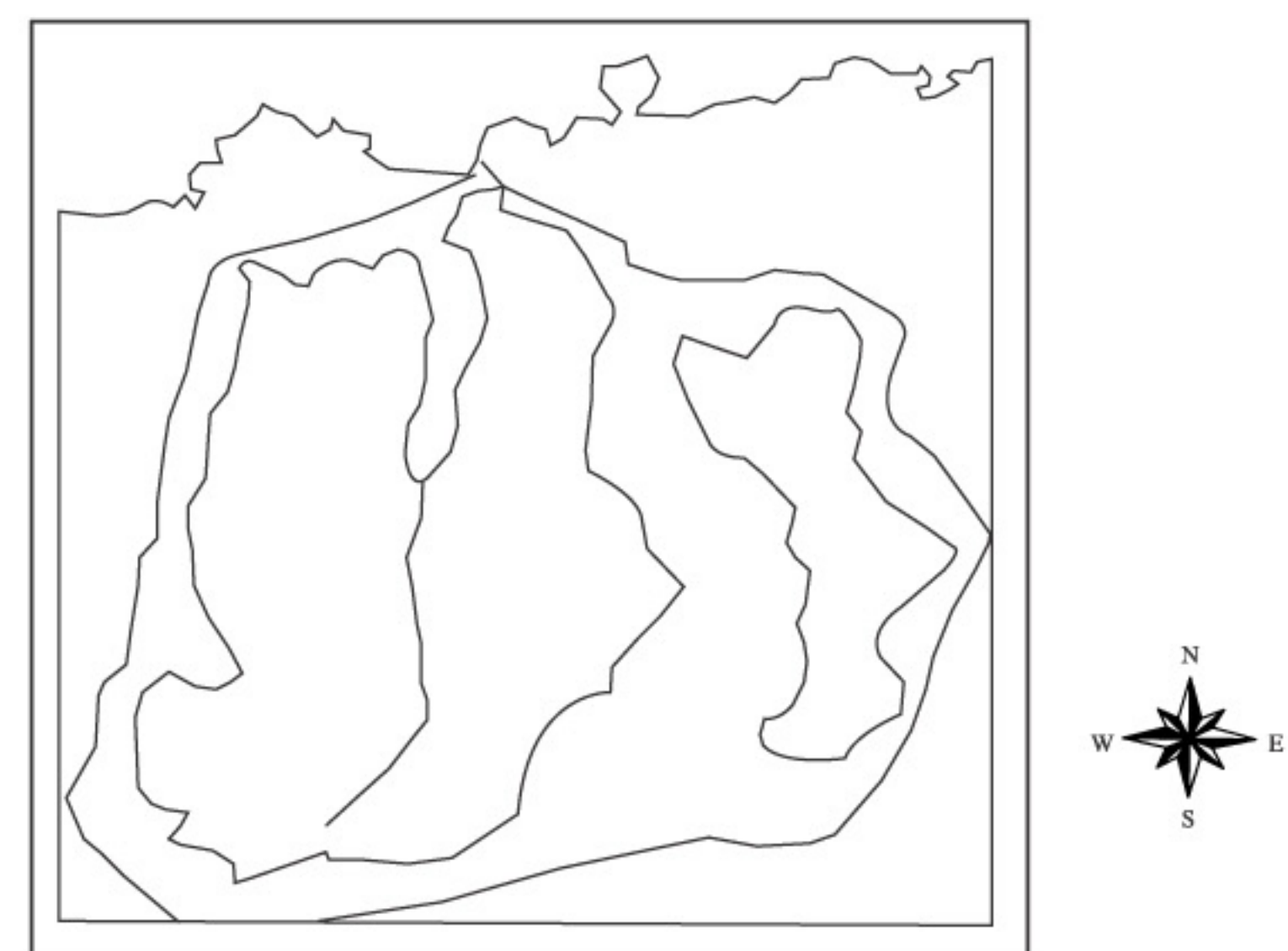
〈표 2〉한경·안덕 귤밭 면적 변화

귤밭	현재 면적 (km ²)	분출시 형성 (추정) (km ²)
월림·신평	495	
상창·화순	132	
계(잔존비율)	547(59%)	925

송시태 (2004) 으로부터 계산

2) 조천·함덕 귤밭

조천·함덕 귤밭은 제주도의 동북면에 위치한다. 조천-대흘 귤밭 용암류, 함덕-외산 귤밭 용암류, 선흘 귤밭 용암류로 구분되며 대략 세 개의 분출흐름이 보인다. 조천-대흘 귤밭은 해발 500m에 위치한 민오름 주변에서부터 시작되어 큰지그리오름, 작은지그리오름 그리고 비늘 오름 주변을 거쳐 조천리 해발 20m 지점까지 총 11km에 걸쳐 분포한다. 함덕-외산 귤밭은 돛대오름의 북측 해발 486m 지점에서부터 시작되어 함덕해수욕장 부근까지 평균 2~3km의 폭으로 총 연장 12km 지역에 걸쳐 분포하고 있다.



〈그림 5〉조천·함덕 귤밭 (송시태 2004)

해발 454m인 서거문리오름에서 시작되어 일밤오름과 북오름 사이를 지나 해발 80~100m 지점에 있는 속칭 “선흘곶”까지 약 7km 정도 1~2km 폭으로 이어지고 있다(송시태 2004). 모두 장식회석감람석현무암 (FACB) 로 이루어져 있으며 암괴상으로 이루어진 클린커층이 발달, 위의 귤밭과 비슷한 귤밭 용암류 특성을 보여준다. 그러나 해안가 근처의 귤밭은 파호

이호이용암류²⁾의 특성을 보이며 투수성이 낮아 습지가 발달하고 상록수림이 형성되어 있다. 농업기반공사의 조사에서는 매우 파편화가 많이 진행되었던 곳으로 나타나기도 했다. 조천함덕 갯지왓은 초기 형성되었을 때는 18 km² 정도의 규모였을 것으로 추정한다. 이 때 현재 남아 있는 면적은 약 58%가 된다.

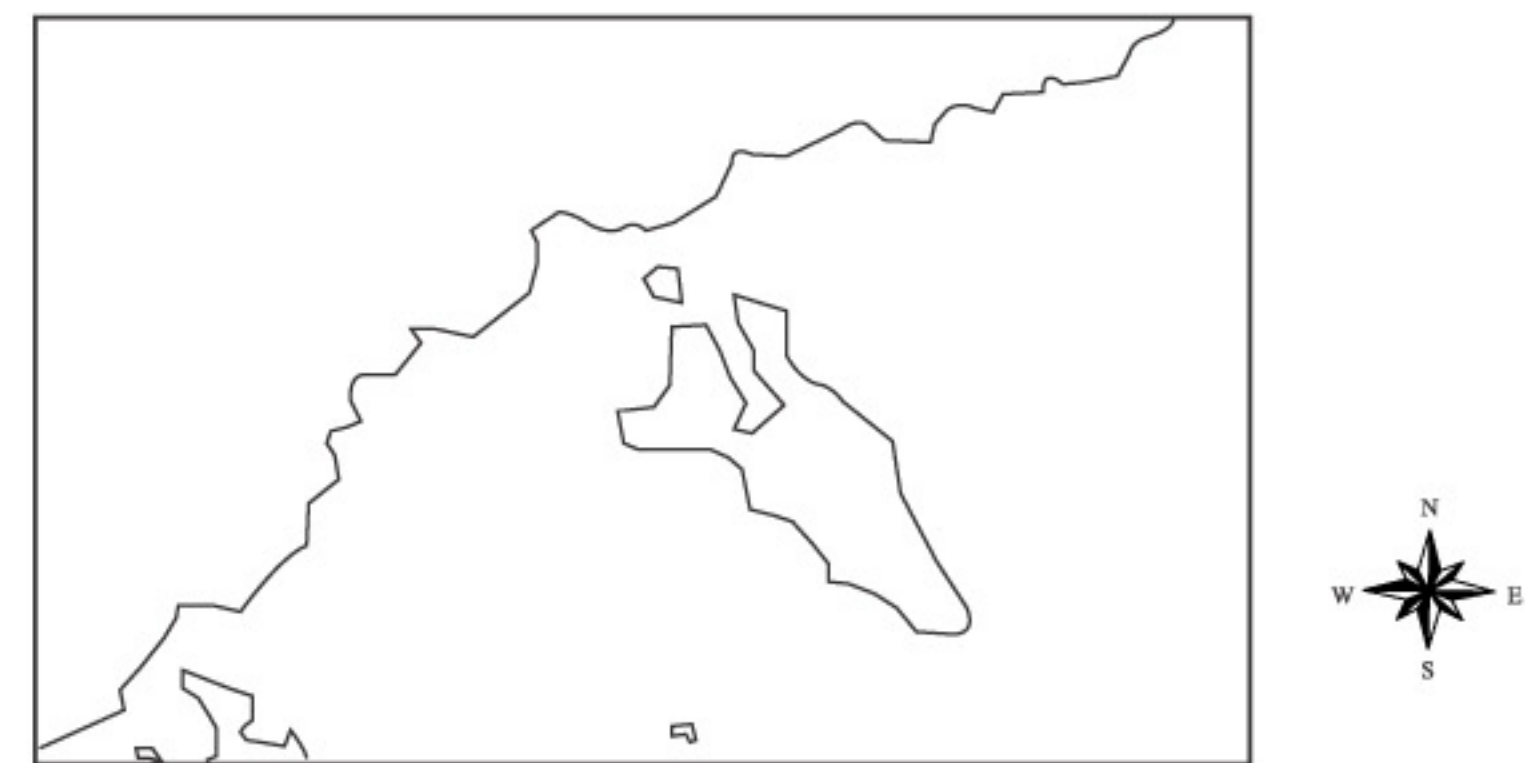
〈표 3〉 조천·함덕 갯지왓 면적 변화

갯지왓	현재 면적 (km ²)	분출시 형성 (추정 (km ²))
조천·함덕 (잔존비율)	6.75(58%)	18.3

송시태 (2000) 으로부터 계산

3) 애월 갯지왓

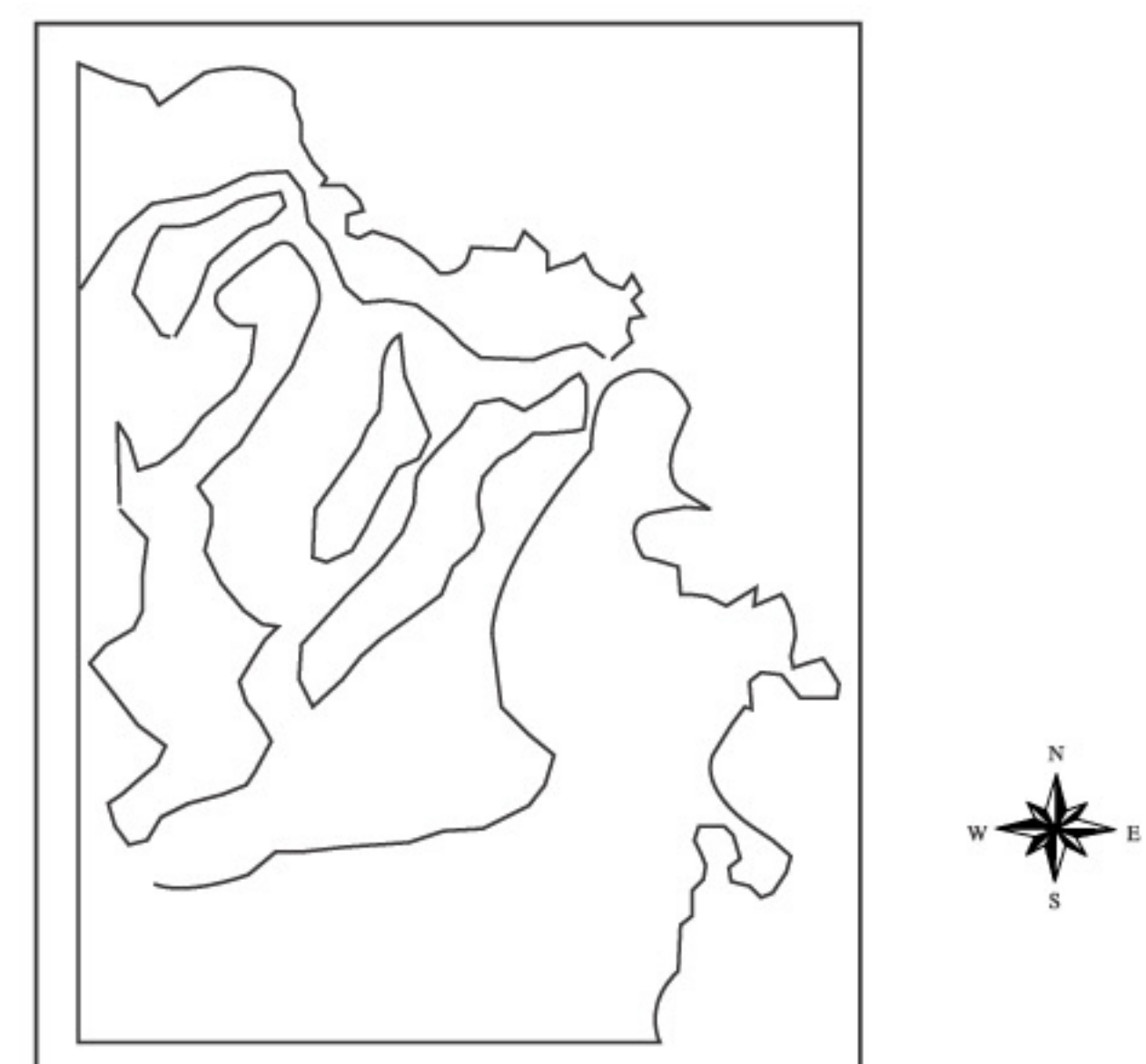
제주도의 북서면에 자리하는 애월 갯지왓은 현재 남읍원동 지역에서 위치를 발견할 수 있다. 해발 838m 인 노꼬메오름에서 시작되어 해발 90m의 애월읍 남읍리와 원동지역까지 총 9.0km 에 걸쳐 분포하며, 갯지왓류 용암류가 평균두께 15~2m의 중소력 압괴로 이루어진 모습 을 보이고 있으며 다양한 크기의 클린커층 압괴가 발달하였고 용암판, 스코리아층도 발견된 다(송시태 2000)



〈그림 6〉 애월 갯지왓 (송시태 2000)

4) 구좌·성산 갯지왓

제주도의 북동쪽에 자리하는 구좌성산 갯지왓은 파편 화가 가장 많이 진행된 곳으로, 농업기반공사의 조사에 서는 9.03 km²으로 나타나, 송시태의 조사와 차이가 많이 나타나는 지역이다. 종달-한동 갯지왓용암류, 세화 갯지왓용암류, 상도-하도 갯지왓용암류 및 수산 갯지왓용암 류로 구분되며 초기 형성되었을 당시 면적은 111915km² 을 것으로 추정되며 현재 면적은 34.7% 가량이 남아있다.



〈그림 7〉 구좌·성산 갯지왓 (송시태 2000)

2) 파호이호이 용암류는 점성이 작아 유동성이 크며, 용암류의 표면이 편평하고 매끄러우며, 새끼줄 구조(copy structure) 등이 발달하는 것이 특징이다 (송시태 2004 재인용 : Macdonald, 1953, pl60 Smith, 1994) 표면이 편 평하고 조밀하여 투수성은 매우 낮으나 굳는 과정에서 안의 가스가 분출하며 이루어지는 용암 동굴과 가스가 분 출하지 못한 상태로 굳은 표면이 볼록한 류블러스 지형이 발달한다.

〈표 4〉 귤밭·성산 귤밭 면적 변화

귤밭	현재면적 (km ²)	분출시형성 (추정 (km ²))
귤밭·성산 (잔존비율 %)	37.83(47%)	11.95

출처 : (2000) 으로부터 계산

다. 귤밭 지역의 현재 GB 지하수 보전 등급

제주도의 경우 대수층 조사가 이루어지지 않아, 토양요소와 투수성지질요소로 지하수 보전 등급이 설정되었다. 이 중 투수성 지질구조 요소에 의한 등급구분은 강수가 직접 지하에 유입 되는 지역이므로 모두 I, II 등급을 부여했고, 습곡, 함몰지 등 암석만 있는 지역은 I 등급으로, 용암류 접촉역, 귤밭 등 토양이 미약하나마 존재하는 지역은 II등급으로 지정하였다 (제주도 1997). 이는 귤밭 지역에 대한 대규모 시설 개발이 가능하게 하는 제도적 요인이 되고 있다.

〈표 5〉 지하수 보전등급 설정 기준

등급	등급설정기준		분포	
	토양요소	투수성지질요소	면적 (km ²)	비율 (%)
I	위험지수 5이상 농출농도 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상	습곡, 용암동굴, 함몰지, 주상절리계발달역, 클링커층	52.6	9.0
II	위험지수 4~5 농출농도 100 ~3000 $\mu\text{g}/\text{l}$	절리구조발달역, 파쇄대발달역, 귤밭, 스크리아층, 용암류접촉역	130	23.4
III	위험지수 3~4 농출농도 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이하	—	246	41.5
IV	위험지수 2이하 농출농도 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ 미만	—	158	26.1

※출처 : 중산간 지역 종합조사 (1997)

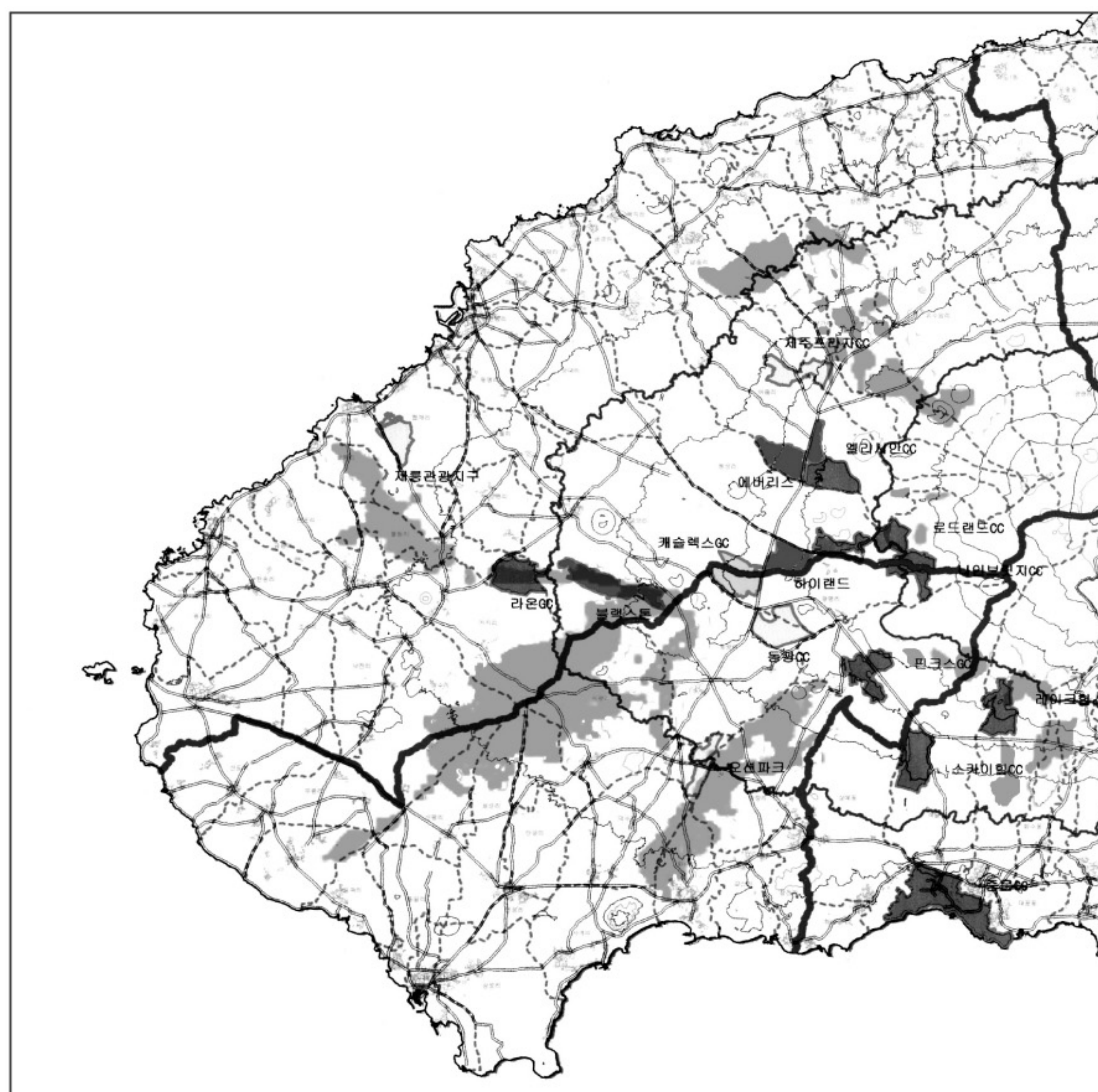
이를 기반으로 국토개발연구원에서 1997년 결정한 제주지역 지하수 보전 등급을 보면 〈표 5〉와 같다. 여기에서는 제주도의 중산간 지역은 지하수 보전 등급 1~2등급으로 지정하였고, 나머지 지역에 대해서는 4등급으로 지정하였다.

III. 잠재적 교란으로서의 골프장 건설 계획

1. 제주도 내 골프장 현황

현재 제주도내에는 2004년 3월 현재 운영중인 골프장이 10개 소, 건설이 승인되어 공사 중인 곳이 12개 소, 절차이행중인 곳이 10개 소, 그리고 건설예정인 곳이 7개소이다. 이에 대한 자세한 사항은 부록의 <부록 표 1> 과 <부록 그림 1> 에 나와 있다.

2. 연구대상지역의 골묘장 현황



〈그림 8〉 서부지역의 꽃지월 지도와 골프장 지도(■ : 기존 골프장, ■ : 꽃지월 지역)

위 〈그림 8〉을 보면 골프장 라온 CC나 블랙스톤 등이 이미 꽃지왈 지역에 들어서있음을 확인할 수 있다. 현재 지도에서 보이는 꽃지왈 지역도 이미 예전의 개발에 의해 파편화되어 버린 것을 감안하고, 건설 중이거나 향후 건설 예정인 골프장에 의해 잠식당할 꽃지왈 면적을 고려해 볼 때 지하수 유입구로서의 꽃지왈의 특성에 비추어 무분별한 골프장 개발은 지하수 수질에 상당한 타격을 기할 수 있는 상황이라 할 수 있다.

3. 제주도내 골프장에서의 농약사용 현황

환경부에서 2003년에 발표한 골프장 농약사용실태 조사결과 보고서에는 제주도내 골프장에서의 농약 사용량이 〈부록 표 2〉와 같다. 이 자료를 토대로 제주 지역에서의 각 항목의 평균과 전국 평균을 비교하면 〈표 6〉과 같다. 이를 보면 제주 지역 1ha당 농약 사용 성분량이 58g으로 전국 골프장 평균량 40g에 비해 더 높음을 볼 수 있다.

〈표 6〉 2003 년 전국평균과 제주지역의 농약사용량 비교

구분	홀수	총면적 (m ²)	총 농약사용량 (kg)		1ha당 농약사용량 (kg)	
			총실물량	총성분량	실물량	성분량
전국 평균	342	1842544	2527	746	122	40
제주 지역	231	114089	238	691	191 (16 배)	58 (14 배)

※출처 : 환경부 2003

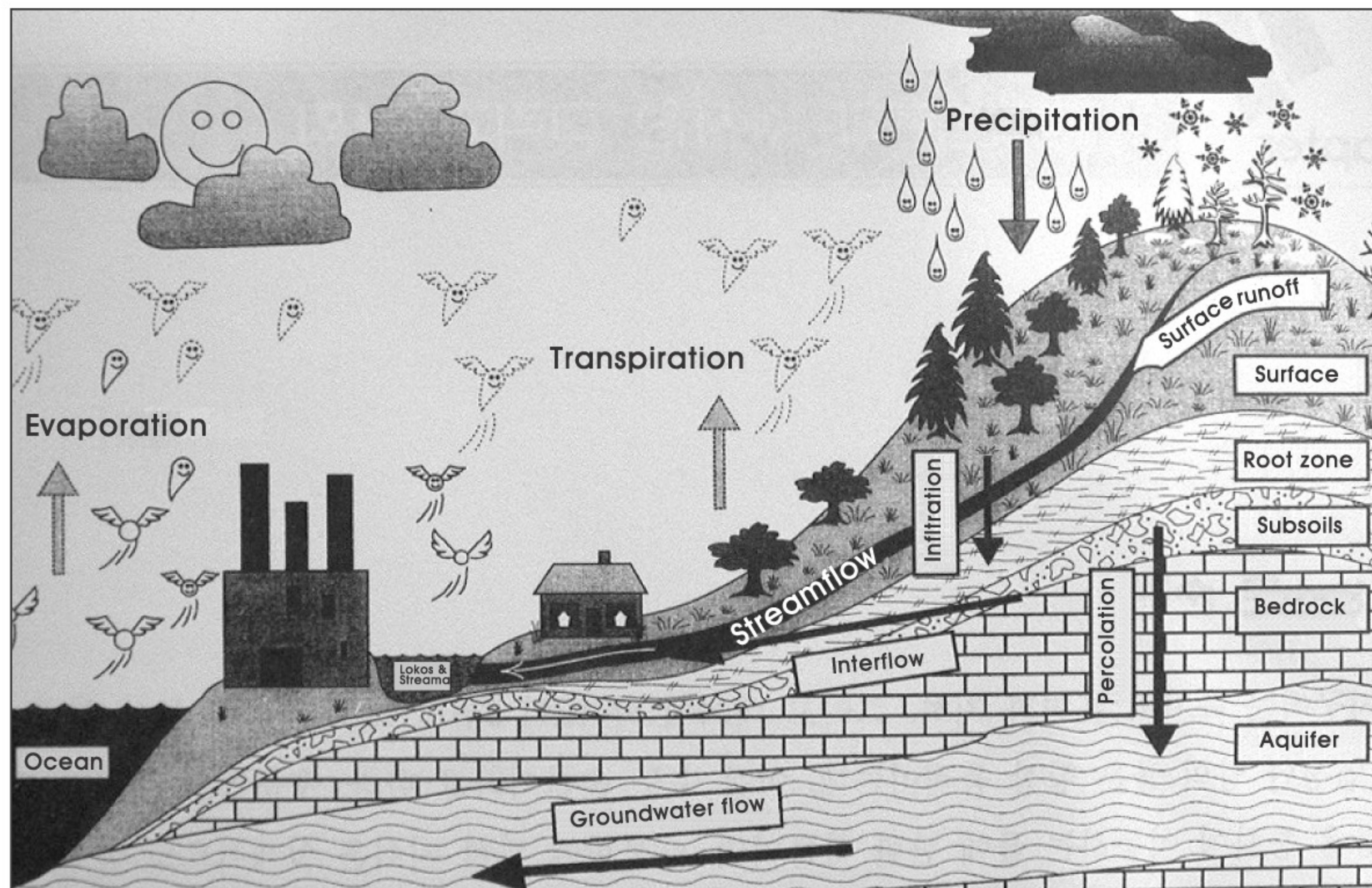
제주도 지형의 특수성 때문에 지하수 보호를 위해 골프장 지하에 1등급 활성탄을 사용하도록 환경영향평가협의를 받고 있다. 그러나 블랙스톤에서 적발된 사례처럼 제대로 점토층을 깔지 않거나 (제주일보 2004 4 20) 전체면적을 깔지 않음으로 인해 지하수 오염 위험 가능성은 상당히 높은 편이다. 또한 전국적으로 매년 골프장에 대한 감시 결과만 보더라도 50% 이상이 규정을 위반하고 있는 실정이다.

IV. 제주 꽃자왈 지역의 토지 이용 변화에 따른 지하수 함양 변화 산정

1. 개관

일반적으로 경관의 토지이용형태 및 피복상태는 수문현상과 밀접한 관계를 가진다. 예를 들어 토지 이용 형태가 변화되는 경우 증발산과 토양 수분 보유 능력이 변화됨으로서 수문 현상에도 영향이 있게 된다(이도원 2001). 특히 이러한 수문 현상에 대한 경관 변화 영향은 산림 지역에서 뚜렷하게 볼 수 있다. 가령 벌목을 통해서 산림 지역이 경작지나 초지 등으로 바뀌게 되면, 수목을 통한 증발산량이 줄어드는 한편, 지표 및 지하에서 일어나는 물 흐름도 바뀌게 된다. 이는 표면 거칠기가 감소됨으로써 지상에서 차단 및 보유되는 물 양이 감소되며, 또한 유기물 분해로 토양 입단(scl aggregate)이 훼손되어 토양 공극이 감소되고 그에 따라 침투되

는 물의 양과 토양 수분 보유력도 줄어들게 되기 때문에 지표 유출수량이 급격히 늘어나는 경향이 생기게 되기 때문인데 (이도원 2001) 앞서 언급한 증발산량 변화와 이러한 유출량 변화의 상대적 크기는 결국 지하수 함양에 영향을 미치게 된다.



〈그림 9〉 수문 순환 모식도 (김경하 외 2002)

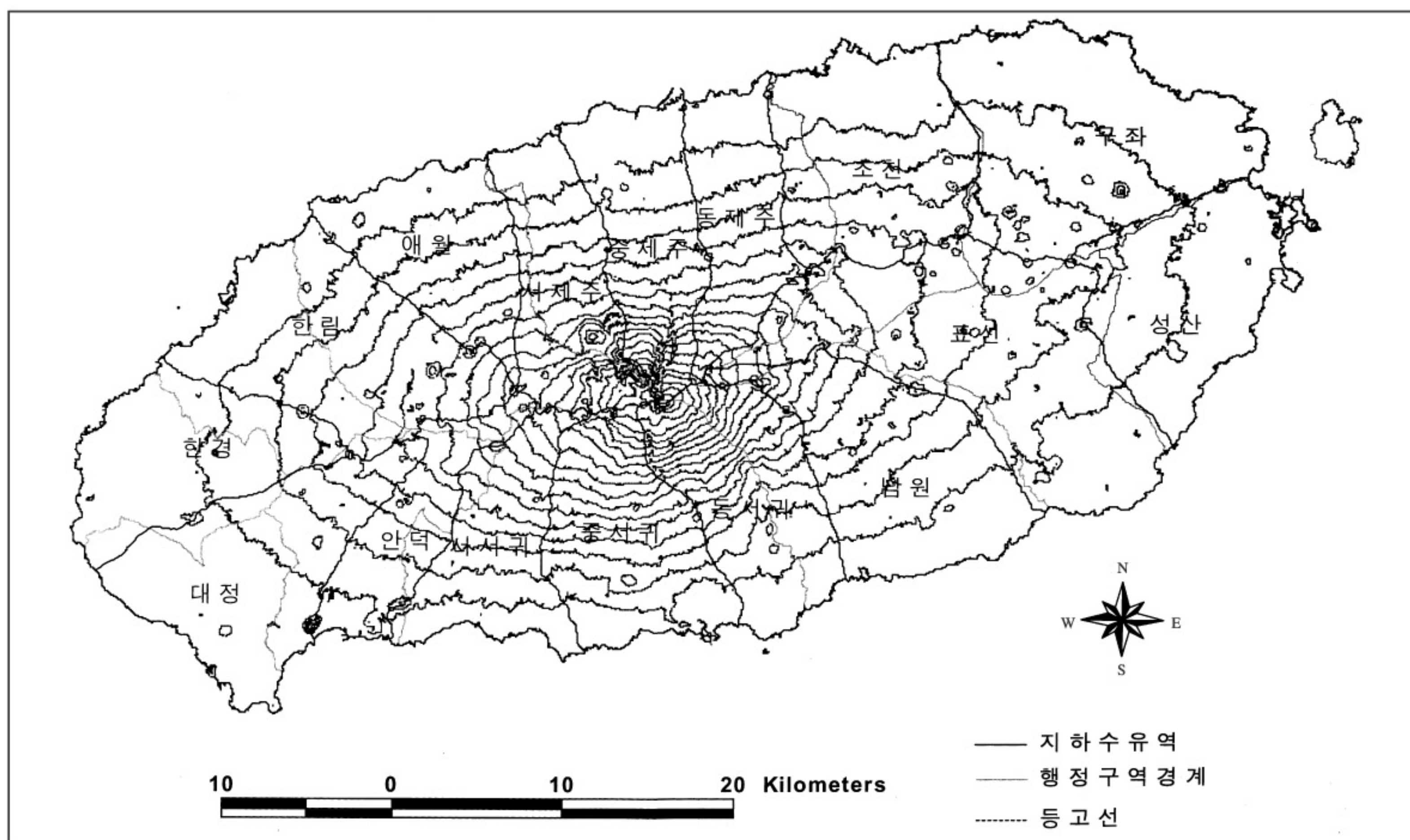
본 연구 대상지역인 제주도의 경우 상대적으로 높은 투수성 토양 및 지질 구조로 인해서 육지와는 달리 하천 발달이 미약하며, 존재하는 대부분의 하천도 우기에만 물이 흐르는 건천(乾川)이다. 반대로 이러한 투수성 지질 구조는 지하수 함양을 촉진시켜, 풍부한 지하수 자원을 유지할 수 있게 해준다. 이로 인해서 제주 지역 주민들은 대부분의 식수를 지하수로 삼고 있다.

본 장에서는 이러한 지하수 함양과 관련하여 토지 이용 변화의 영향, 그중에서도 앞서 살펴본 귤자왈 지역의 토지 이용 변화의 영향을 분석하고자 한다. 특히 이 귤자왈 지역은 다른 제주 지역에 비해서 비교적 투수성이 높은 토양 및 지질 구조를 가지고 있어서, 지하수 함양에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 귤자왈 지역은 현재 대부분 삼림으로 구성되어 있기 때문에 토지 이용 변화 특히 골프장 등으로의 변화를 분석하기 위해서는 귤자왈이 뚜렷한 경관 요소로 자리잡고 있는 지역이 필요한데, 이는 본 연구의 목적이 단순한 산림지역을 대상으로 하는 것이 아니라 귤자왈이라는 특수한 지질 구조를 지닌 지역에서의 변화를 분석하기 위한 것이기 때문이다. 이를 위해서 귤자왈이 잘 발달되어 뚜렷한 경관을 형성하고 있는 제주 서부지역을 중심으로 분석하고자 한다.

2 제주 서부 지역의 지하수 물수지 분석

가. 제주 서부 지역 지하수 유역 구분

앞서 언급한 바와 같이 제주 지역은 하천의 발달이 미약하며, 존재하는 하천도 건천(乾川)이 대부분이다. 이와 같은 특수한 하천 환경으로 인해서 일반적인 유역 개념을 제주 지역에 그대로 적용하기는 어려움이 있다. 반면 상대적으로 풍부한 지하수 자원으로 인해서 제주 지역에서는 오히려 ‘지하수 유역’이라는 개념을 적용이 분석에 용이하다. 〈그림 10〉는 제주도청과 한국수자원공사에서 1500 수치지형도를 기반으로 지형, 하천, 지표 분수령 등을 고려하여 작성한 제주도 지하수 유역구분도이다. 이 유역구분도에 따르면 제주도는 크게 4개 유역(동부, 서부, 남부, 북부 유역)과 이를 기반으로 한 16개 소유역(구좌, 성산, 표선(이상 동부유역), 대정, 한경, 한림(이상 서부유역), 남원, 동서귀, 중서귀, 서서귀, 안덕(이상 남부유역), 애월, 동제주, 중제주, 서제주, 조천(이상 북부)으로 구분된다.



〈그림 10〉 제주지역 지하수 유역구분도 (제주도, 한국수자원공사 2008)

한편 본 장의 분석 대상 지역은 〈그림 11〉에서 제시한 바와 같은 지하수 유역 구분으로 서부 유역의 대정, 한경 소유역 지역이다.



〈그림 11〉 한경·대정 지하수 소유역 구분도 (제주도, 한국수자원공사 2008)

나. 지하수 함양 분석 개관

곶자왈 지역의 토지 이용 변화에 따른 지하수 함양 변화를 분석하기 위해서 본 연구에서는 먼저 제주 서부지역 두 소유역의 지하수 수지 분석을 하였다. 우선 이 지역의 지하수 함양량 산정을 위해서 일정 유역내의 강우량과 직접 유출량, 증발산량, 지하수 함양량 간의 수문 평형 유지를 전제로 하는 다음과 같은 수문학적 물수지 분석 방법을 사용하였다.

$$I = P - DR - ET \pm IU$$

- | | | |
|-----------------|---------------------------|----------------|
| • I : 지하수 함양량 | • P : 강우량 | • DR : 직접유출량 |
| • ET : 증발산량 | • IU : 다른 유역과의 지하수 유출입량 | |

위의 식은 지하수 함양량은 지표에 내린 총 강우량에서 직접 유출과 증발산에 의한 손실량을 제외하여 산정하게 되는데, 이 때 다른 유역과의 지하수 유출입량을 가감하게 된다. 그러나 다른 유역과의 지하수 유출입량은 제주 지역의 지하수의 흐름 방향이 한라산에서 해안으로 향하는 방향이 우세하게 나타남으로 인해서 없는 것으로 가정하였다.

〈표 7〉은 수지 분석 방법을 사용하여 제주도와 한국수자원공사가 2002년에 계측한 대정·한경 소유역 지역의 지하수 함양량 산정 자료이다.

〈표 7〉 유역별 지하수 함양량 산정 (1993 ~ 2002년 평균)

유역	면적 (km ²)	강수량 (mm)	수문총량 (백만 m ³ /년)	증발산량 (백만 m ³ /년)	직접유출량 (백만 m ³ /년)	지하수 함양량		지하수 함양율 (%)
제주도	1,883	1,975	309	126	740	1,638	456	45.8
대정	138	1,314	172	82	12	78	213	45.4
한경	108	1,175	120	65	8	47	128	39.2

(제주도, 한국수자원공사 2003)

1993년부터 2002년까지의 평균 지하수 함양량은 대정 유역의 경우 연당 약 7천 8백만 m³, 한경 유역의 경우 약 4천 7백만 m³으로서 각각 수문 총량(강수량 면적) 대비 약 40%, 45%를 나타내었다. 다시 말해서 이 지역에 내리는 연 강우의 40~45%가 지하수로 직접 전환됨을 의미한다. 〈표 7〉에서 두 유역의 증발산량과 직접유출량의 크기를 비교해 보면, 증발산에 의한 손실은 경우 대정 유역이 수문 총량 대비 40%, 한경유역은 54%인데 반해서 직접 유출에 의한 손실은 두 유역 모두 약 7% 정도로 나타나 상대적으로 증발산에 의한 손실이 큰 것으로 나타났다.

한편 〈표 8〉은 제주도와 한국수자원공사가 〈표 7〉의 결과를 산정한 방법이다. 본 연구에서는 이를 이용하여 귤밭 지역에서의 토지 이용 변화가 지하수 함양에 미치는 영향을 모의실험을 통해서 재분석하고자 한다.

〈표 8〉 지하수 함양량 산정 분석 방법

구 분	내 용
면적	<ul style="list-style-type: none"> - 1,883.3km² - 국가수치기본도 (1:50,000) 를 토대로 GIS 분석으로 산정 (제주도 중산간 지역 종합조사 (1997, 제주도))
물수지 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 기본적으로 수문학적 물수지 분석 방법 적용 - 지하수위 관측자료 해석 및 강우와 지하수의 염소 이온 농도를 이용하여 지하수 함양율을 산정, 비교 검토
강수량	<ul style="list-style-type: none"> - 29개 관측소 자료 이용 (기상청 관할 4개 관측소, 제주도소방방재본부 25개 관측소) - GIS 분석 및 Cching 에 의한 등우선도 작성, 분석 (1:50,000)
증발산량	<ul style="list-style-type: none"> - Penman-Monteith 공식 적용, 토지 이용별 잠재증발산량 산정. - 토양수분평형법 적용, 지점별 토지 이용별 실제증발산량 산정. - 토지이용현황을 토대로 GIS 분석에 의한 소유역별 실제증발산량 산정.
직접유출량	<ul style="list-style-type: none"> - 6개 하천에 대한 홍수, 유출측정, 분석 - SCS 모형을 이용하여 14개 관측소 지점별 직접유출율을 산정하고, 이를 토대로 소유역별 직접유출을 추정. (제주도, 한국수자원공사 2003)

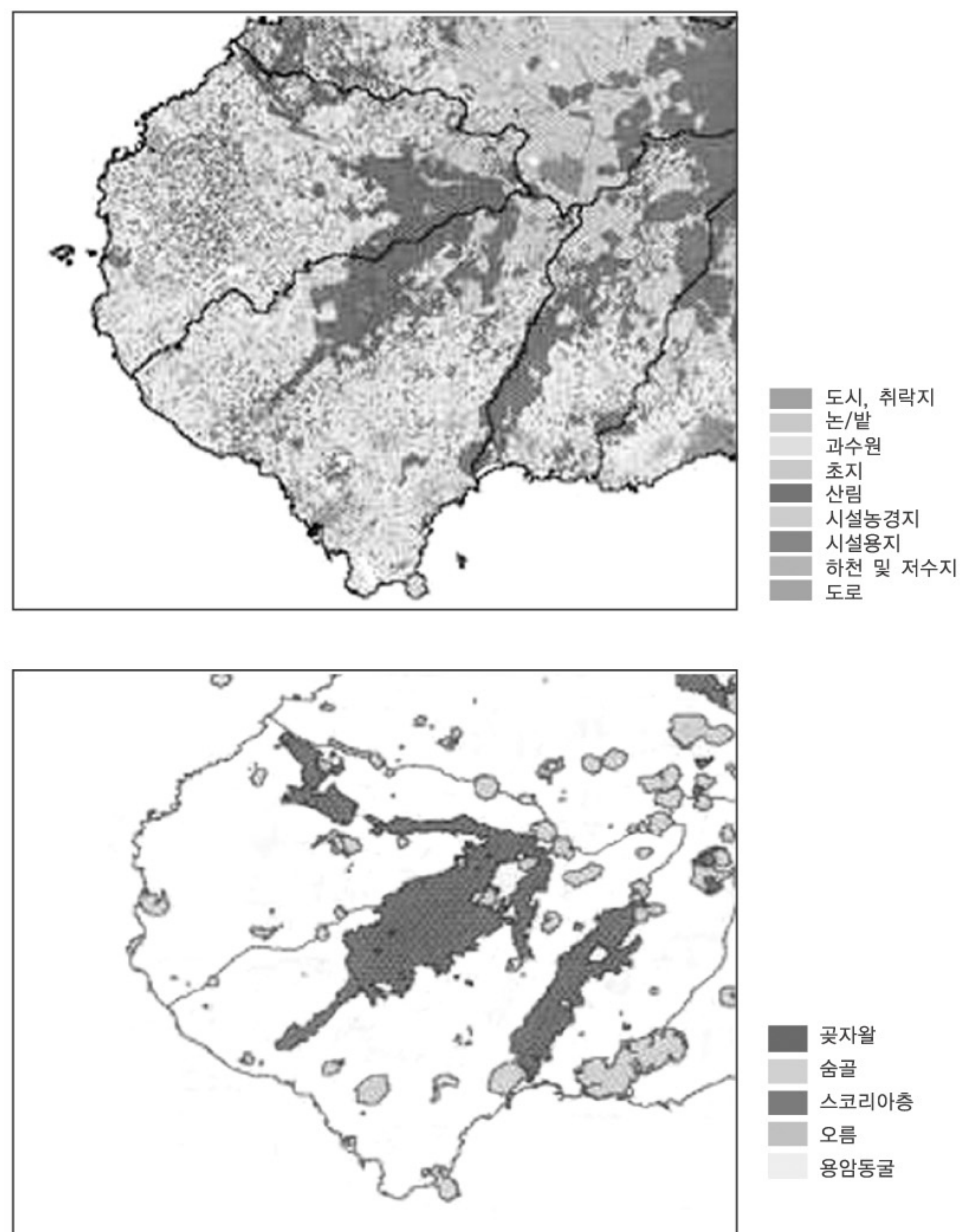
(제주도, 한국수자원공사 2003)

3. 귤자왈 지역의 토지 이용 변화가 지하수 함양에 미치는 영향 추정

가. 모의실험 개관

본 장에서는 귤자왈 지역의 토지 이용 변화가 지하수 함양에 미치는 영향을 모의실험을 통해서 분석하고자 한다. 모의실험을 사용하는 이유는 크게 두 가지이다. 우선 귤자왈 지역을 중심으로 토지 이용 변화에 대한 축적된 시계열 자료가 미비하다는 점이며, 다른 하나는 2002년 제주도 개발 특별법 발효 이후 귤자왈 지역 내 대규모 골프장 건립 등의 토지이용 형태의 큰 변화가 예상되고 있다는 점으로서, 이와 같이 계획된 토지 이용의 변화의 경관 과정에 대한 영향은 모의실험을 통해서만이 가능하다.

앞서 언급한 바와 같이 모의실험의 대상은 귤자왈 조각이 뚜렷한 제주 서부 지역 대정·한경 소유역이다. 〈그림 12〉는 2002년을 기준으로 제주 서부 지역의 토지 이용 현황을 나타내고 있다. 〈그림 12〉를 통해서 대정·한경 소유역의 경우 산림지역의 약 90% 이상이 귤자왈 지역



〈그림 12〉 제주 서부 지역 토지 이용도와 투수성 지질도 (제주도, 한국수자원공사 2003)

에 분포하며, 또한 분명한 조각을 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 사실을 바탕으로 이 두 소유역의 산림을 귤밭의 산림으로 잠정적으로 규정하여 분석하고자 한다.

나. 모의실험 방법

본 연구에서 사용된 시나리오는 귤밭 내 산림이 초지(또는 개활지)로 10% 50%로 전용되는 경우를 상정하였다. 이 때 초지로의 변화는 골프장에 대한 증발산 및 유출량 관련된 자료가 전무한 관계로 특성상 가장 유사할 것으로 예상되는 초지로의 변화를 선택했다.

이러한 시나리오를 바탕으로 한 모의실험은 다음과 같은 순서로 진행되었다.

- (1) 실제 증발산량에서의 변화 산정
- (2) 직접 유출량의 변화 산정
- (3) 지하수 함양량 및 함양 비율에서의 변화 산정

시나리오 분석을 위한 자료는 앞서 언급한 바 있는 제주도와 한국수자원공사가 2002년에 제주 전역의 지하수 함양량 계측을 위해서 사용했던 자료를 사용하였다.

다. 실제 증발산량 변화

증발산(Evapotranspiration)이란 수면으로부터의 증발(Evaporation)과 식물로부터의 증산(Transpiration)을 합한 것으로서 물이 기체 상태로 변화하여 대기로 환원되는 모든 작용을 포함한다. 증발산량의 산정에 있어 자연 상태에서의 실제 증발산량은 측정하기가 불가능하므로 경험공식과 모형을 이용하여 산정하게 되는데(김경하 외 2002), 본 연구에서는 평균온도, 상대습도, 평균풍속, 일조시간 등의 기상자료를 모두 보유하고 있는 기상청 관할 기상관측소의 1993년~2002년 평균 기상자료를 이용하는 한편, 토지이용별 작물계수가 제시되어 토지이용 형태별로 증발산량 산정이 가능한 Penman-Monteith 공식을 사용하였다.

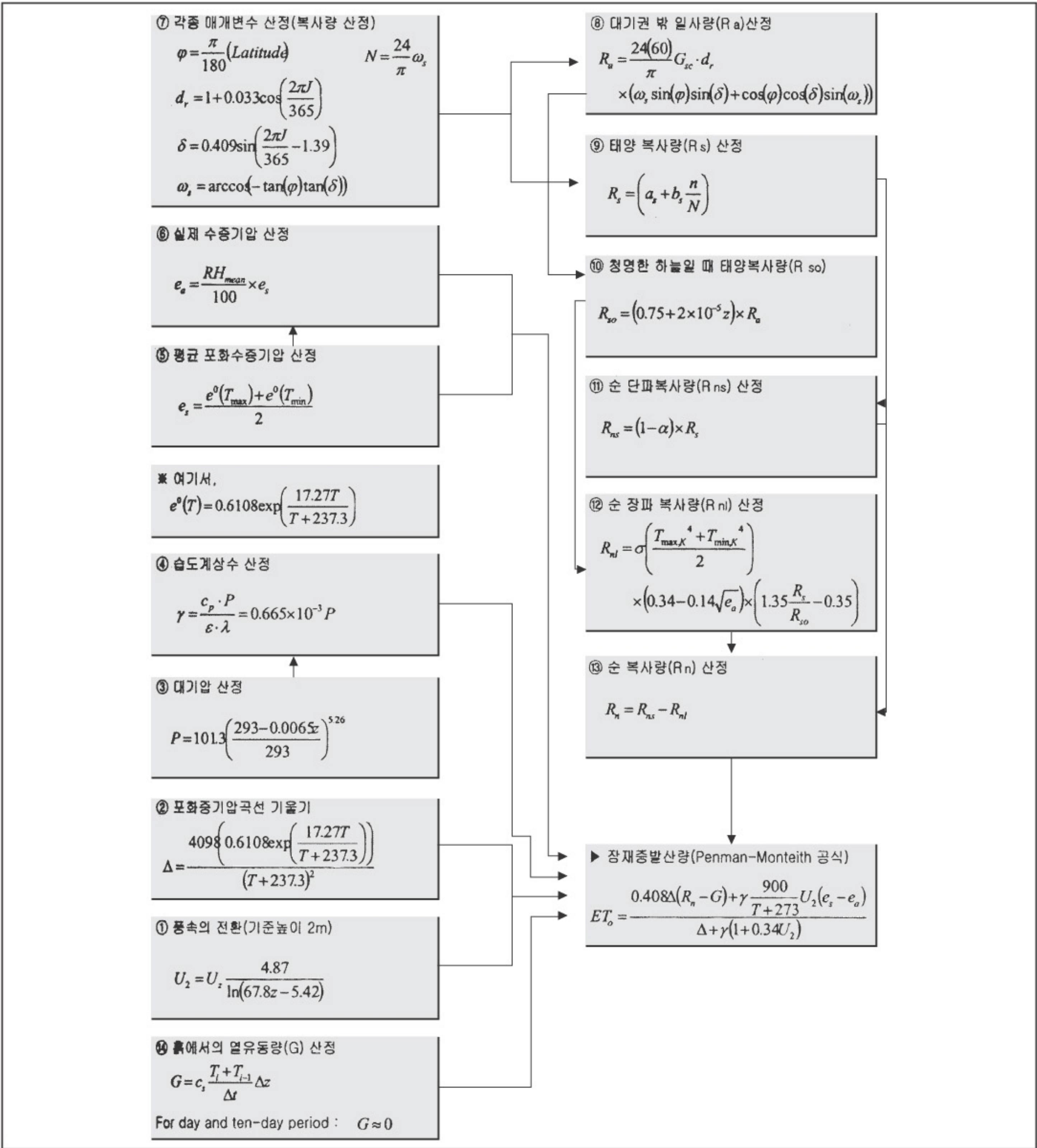
우선 Penman-Monteith 공식을 이용하여 잠재증발산량 산정하게 된다. 〈그림 13〉은 Penman-Monteith 공식을 이용한 잠재증발산량 산정절차이다. 이와 같은 방법으로 산정된 잠재증발산량에 〈표 9〉와 같은 작물계수를 곱하여 실제 증발산량을 산정하며, 이를 다시 유역 면적대비 토지 이용 별 면적의 비중으로 가중 평균하여 각 유역의 최종적인 실제 증발산량을 산정하게 된다.

〈표 9〉 토지 이용별 작물계수

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
산림	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
과수원	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09
초지	08	08	08	05	05	05	05	05	05	05	05	08
경작지	08	08	08	05	05	15	15	15	09	0.85	0.85	08

(제주도, 한국수자원공사 2008)

본 연구에서는 이렇게 산정된 실제 증발산량에 대해서 토지 이용 면적 비중을 산림을 10% (50%) 감소, 초지를 10(50%) 증가시키는 방법을 통해서 모의실험을 실시하였다 . 이 때 이용 된 작물계수는 전월 평균치이다 .



〈그림 13〉 Penman-Monteith 공식을 이용한 잠재증발산량 산정절차 (제주도, 한국수자원공사 2008)

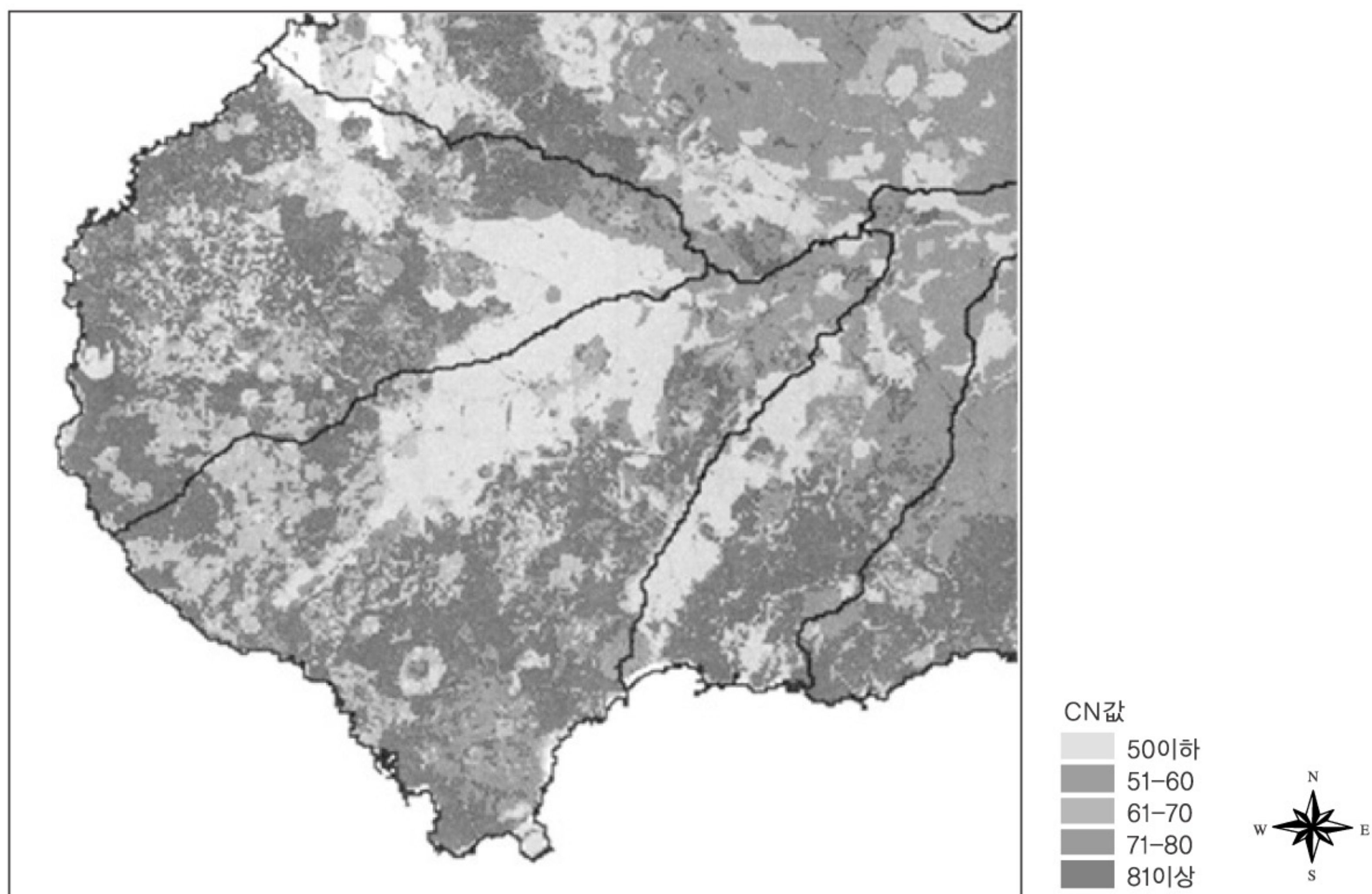
〈표 10〉 모의실험 결과

시나리오	유역	실제 증발산량 (mm)	변화량 (mm)	변화율 (%)	최 종 실제증발산량 (mm)
10% 변화 산림 초지	대정	670	84	10	686
	한경	618	84	10	634
50% 변화 산림 초지	대정	670	40	70	550
	한경	618	40	70	598

모의실험 결과 10% 변화 시 약 1%, 50% 변화 시 약 7%의 실제 증발산량에서의 변화가 있는 것으로 계측되었다. 이러한 결과는 상대적으로 증산 작용이 왕성한 목본 위주의 식생에서 증산량이 적은 초본 식생으로 변화되어 생긴 감소인 것으로 추측된다.

라. 직접 유출량의 변화

직접 유출량은 하천 유량 측정에 의한 유출을 분석 결과와 강우-유출모형인 SCS 모형을 적용한 지점별 유출을 토대로 유역별 직접 유출을 산정하였다. 이중 모의실험과 관련해서는 하천 유량 측정에 의한 분석의 경우 변화가 없는 것으로 가정하고, 지점별 유출의 변화만을 계측하였다. 지점별 유출을 산정을 위해서 사용한 지점별 유출량 산출 공식인 SCS 모형은 다음과 같다.



〈그림 14〉 유출곡선지수 (CN) 분포도 (제주도, 한국수자원공사 2008)

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \qquad S = \frac{2540}{CN} - 254$$

• Q : 직접유출량 (mm)

• P : 강우사상별 강우량 (mm)

• Ia : 초기 강우손실 (mm)

• S : 최대잠재보유수량

• CN은 SCS 유출곡선 지수

이와 같은 모형과 자료를 이용하여 실제 증발산량 모의실험과 유사한 방법으로 모의실험을 실시하였다 . 모의실험 결과는 다음과 같다 .

〈표 11〉 모의 실험 결과 (유출곡선지수 , 최대 잠재보유수량)

시나리오	지수	유역	CN	최 종 CN	변 화%
10%	유출곡선 지수 (CN)	대정	702	73 5	5.0
		한경	703	73 6	5.0
	최대잠재보유수량 (S)	대정	1078	915	15.0
		한경	1073	911	15.0
50%	유출곡선 지수 (CN)	대정	702	867	24.0
		한경	703	868	24.0
	최대잠재보유수량 (S)	대정	1078	339	64.0
		한경	1073	336	64.0

〈표 12〉 모의 실험 결과 (직접유출율 , 직접유출량)

시나리오	유역	직접유출율 (%)	최종 직접 유출율 (%)	직접유출량 (백만㎥ /년)	최종 직접유출량 (백만㎥ /년)
10%	대정	70	70.7	12,000.8	12,035
	한경	70	70.8	8,453.0	8,468.1
50%	대정	70	70.1	12,000.8	12,012.6
	한경	70	70.5	8,453.0	8,470.9

모의실험 결과 토양의 최대 잠재 보유수량이 10% 변화의 경우 15%, 50% 변화인 경우 64% 감소하는 효과를 보였으며 , 직접유출율의 경우 10% 변화인 경우 0.07 ~ 0.08% 정도 상승 , 50% 변화인 경우 0.01 ~ 0.05% 정도 상승하는 것으로 나타나 삼림에서 초지으로 토지 이용 변화가 직접 유출에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다 .

다. 지하수 함양량 및 함양 비율의 변화

〈표 10〉 와 〈표 12〉 에 제시된 모의실험 결과를 바탕으로 지하수 함양량의 변화를 추정했 다.

〈표 13〉 모의실험 결과(지하수 함양량 및 함양율 변화)

사 나 리 오	유 역	총수문량 (백만㎥ / 년)	지하수 함양량 (백만㎥ / 년)	함양율 (%)	최종 증발산량 (백만㎥ / 년)	최종 직접 유출량 (백만㎥ / 년)	최종 지하 수함양량 (백만㎥ / 년)	변화율 (%)	최종 함양율
10%	대정	17,872	7,886	43	8,912	12,962	7,952	14	49
	한경	12,700	4,357	32	6,355	8,448	4,397	18	39
50%	대정	17,872	7,886	43	7,518	12,843	8,290	70	45
	한경	12,700	4,357	32	6,361	8,471	5,115	90	42

4. 소결론

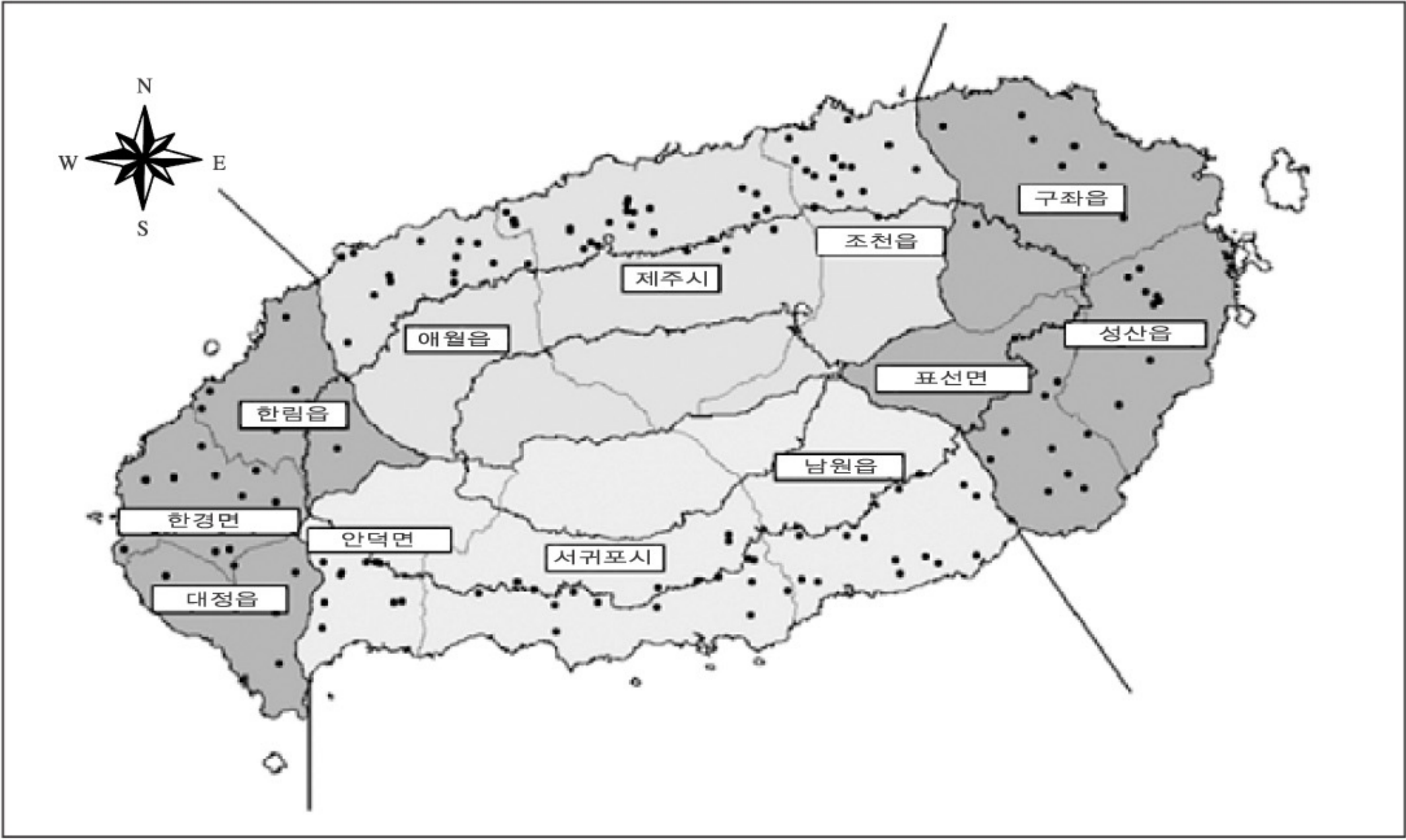
본 장에서는 귤밭 지역의 토지 이용 변화 중에서도 삼림 지역을 골프장 등의 초지로 전용했을 때 지하수 함양에 미치는 영향을 모의실험을 통해서 계측하였다. 계측 결과 10% 전용을 기준으로 증발산량은 약 1% 정도 감소한 반면, 유출량은 0.007 ~ 0.008% 증가한 것으로 나타났다. 50% 변화 시에는 증발산량과 유출량이 각각 7%, 0.031 ~ 0.035%로서, 상대적으로 증발산으로 인한 손실이 큰 폭으로 감소할 것으로 예상되었다. 그리고 상대적으로 늘어난 증발산량으로 인해서 지하수 함양량은 14~18% 정도 증가한 것으로 나타났다. 결국 귤밭 지역의 토지 이용 변화는 지하수 함양량을 증가 시킬 것으로 전망되었으나, 그 정도는 크지 않을 것으로 나타났다.

V. 귤밭 개발이 지하수 수질에 미치는 영향 추정

이 장에서는 귤밭이 지하수 수질에 대해 미치는 영향을 알아 보기위해 전반적인 제주도 지하수 수질의 특성을 알아보고 토지 이용 변화와 그에 따른 수질 변화 양상에 대한 이해를 통해 귤밭 개발이 가져올 결과를 예측해보고자 한다.

1. 제주도 지하수 수질 현황 및 추세

1993년부터 2001년까지 상수원으로 사용되고 있는 지하수 관정 144개소(그림 15)에 대한 장기 관측을 토대로 한 김태현 등(2002)의 연구에 의하면 최근 9년간 제주도 지하수의 지역별 수질 특성을 아래 〈표 14〉로부터 알 수 있다. 동부지역에서 Cl^- 가 4~30mg/L, 평균 30mg/L,



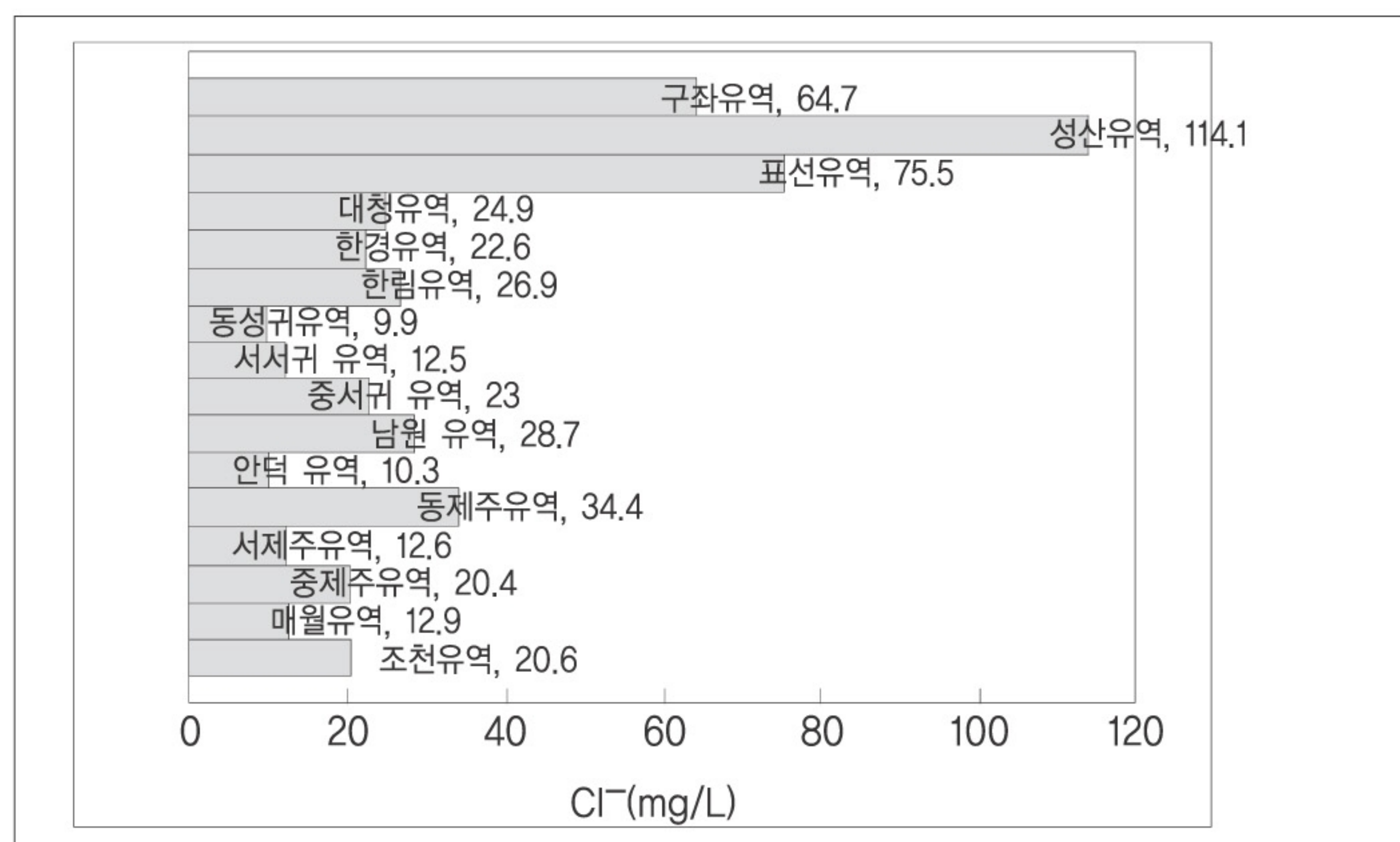
〈그림 15〉 지역 구분 및 조사 관정 위치(김태현 등 2002)

서부지역에서는 NO_3N 가 0~35mg/L, 평균 6mg/L 로 가장 높은 값을 보였다. Cl^- 과 NO_3N 은 식수 수질기준 (수질기준 Cl^- :150mg/L, NO_3N :10mg/L) 을 초과하였는데 제주도 지하수의 주된 오염인자로 나타났다 (김태현 등 2002)

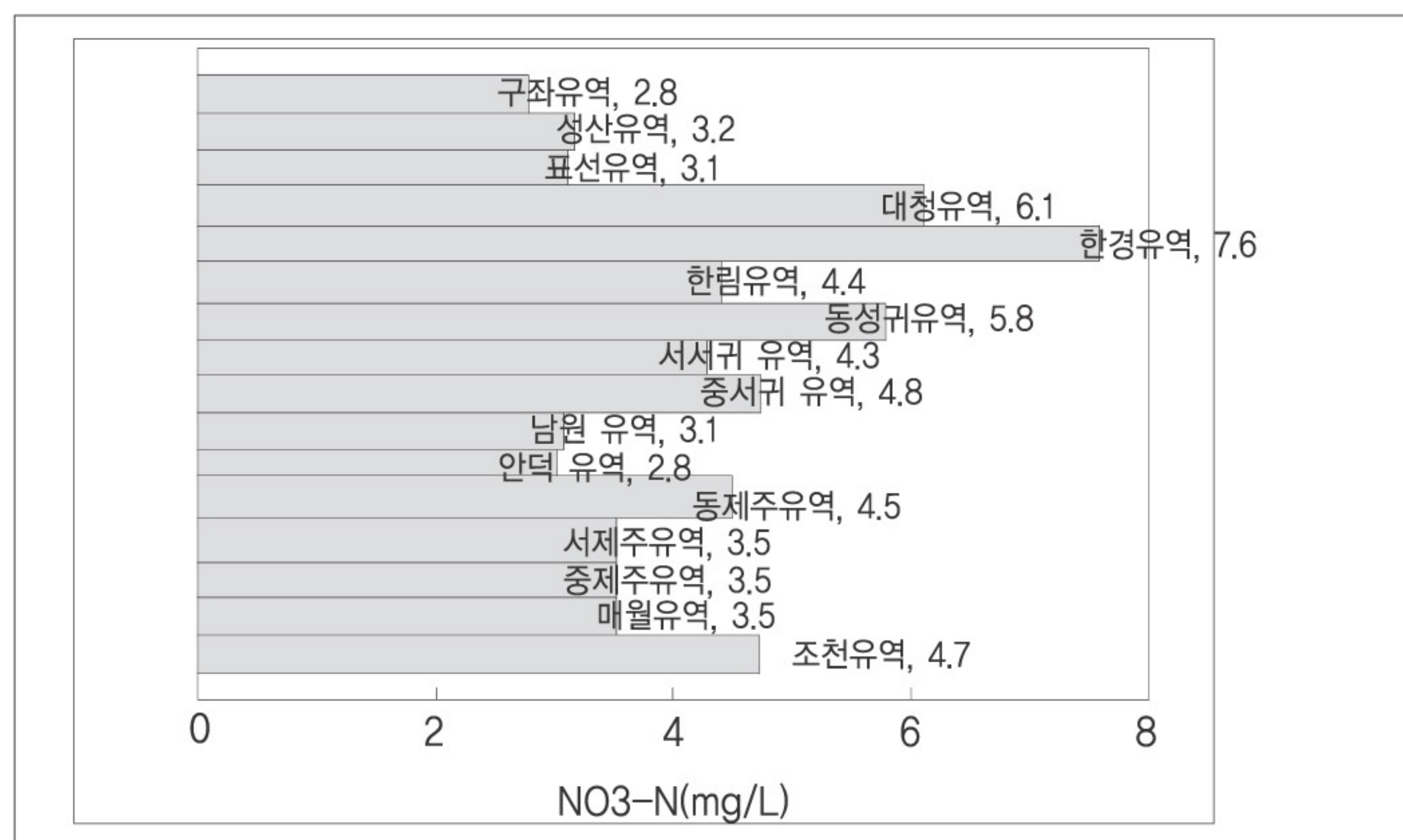
〈표 14〉 1993 ~2001 년 지역별 지하수 특성 (김태현 등 2002)

지역		pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^-	NO_3N	SO_4	HCO_3^-	K^+	Na^+	Ca^+	Mg^{2+}
				mg/L^{-1}							
동부	최소	67	79	4	00	0	27.4	100	540	100	080
	최대	85	130	380	17.2	47	886	1420	1530	286	360
	평균	78	287	58	25	8	467	368	221	627	720
서부	최소	67	45	3	00	1	25.6	099	257	057	090
	최대	90	519	67	39.5	34	911	840	2790	2438	2650
	평균	79	209	20	67	7	524	397	1416	614	668
남부	최소	68	54	3	00	0	17.5	100	320	070	020
	최대	88	580	50	38.0	18	166	1790	2320	2760	2440
	평균	77	142	10	37	2	337	255	840	516	455
북부	최소	68	44	3	00	0	18.6	070	339	060	080
	최대	90	552	59	28.7	28	125	986	3121	2650	2717
	평균	78	151	14	49	3	411	301	954	545	499
전체	최소	68	44	3	00	0	17.5	070	257	060	020
	최대	90	130	380	39.5	47	166	1790	1530	286	360
	평균	78	183	22	46	4	468	328	1341	568	545

2002년 2월 ~ 2003년 12 월까지 기간 동안 한국수자원공사의 제주도 수문지질 및 지하수 자원 종합조사 (2003) 의 결과도 위와 비슷한 결과를 보여주고 있다. 제주도를 16개 소유역으로 나누어 지하수 관정 139 공에서 532 건의 샘플을 수집하여 분석하였는데 다른 항목들은 수질 상한선보다 낮게 나왔으나 염소이온과 질산성 질소이온은 수질 상한선에 근접하는 것으로 나타나고 있다(성산유역 염소이온 1141mg/L, 한경유역 질산이온 7.6mg/L, 대정유역 질산이온 6.1mg/L) 역시 동부지역은 Cl^- 이, 서부유역은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 우세함을 보여준다 (그림 16, 그림 17) .



〈그림 16〉 유역별 염소이온 농도 분포 (제주도 등 2003)



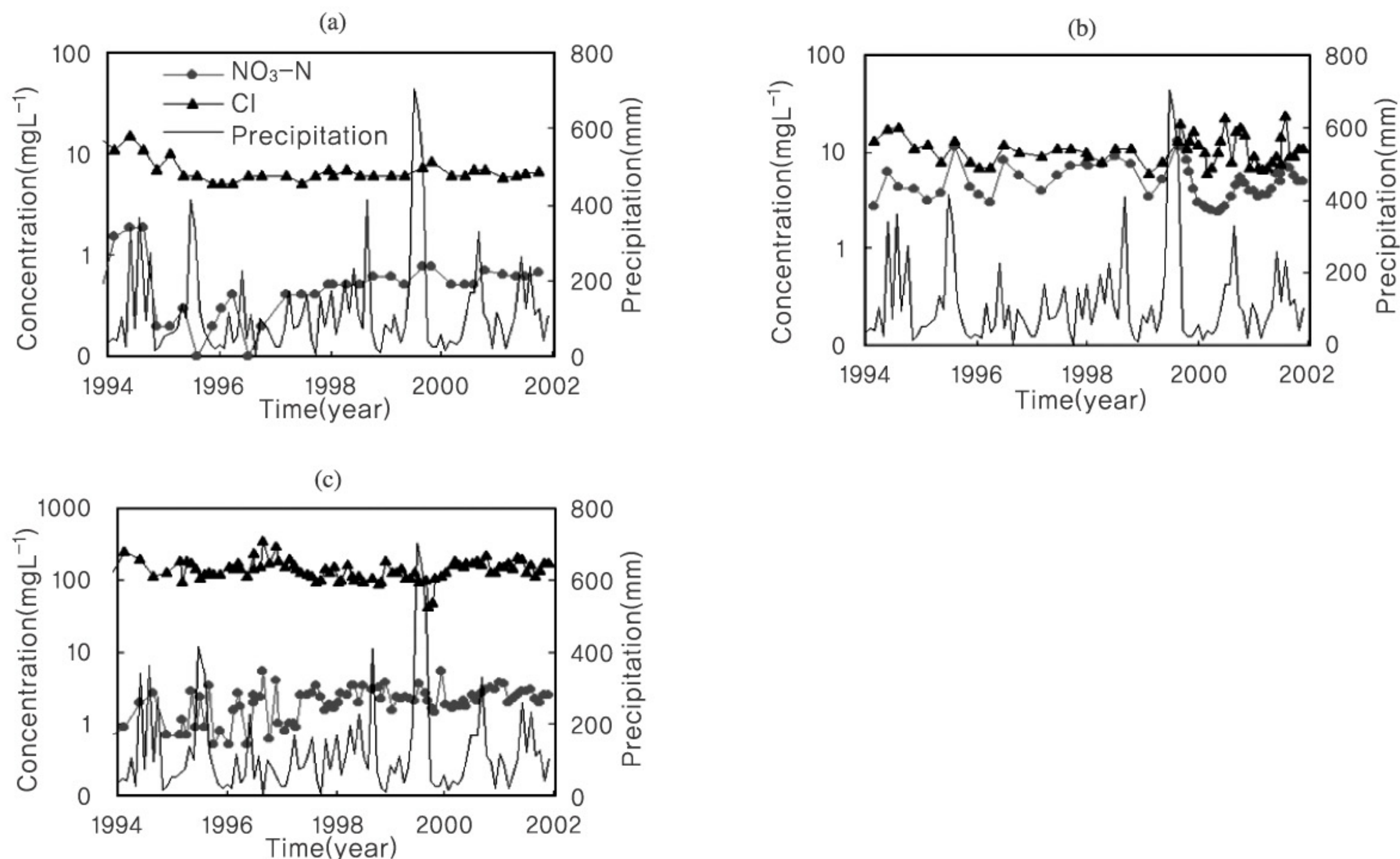
〈그림 17〉 유역별 질산성 이온 농도 분포 (제주도 등 2003)



서부유역에서 질산성 질소 농도가 높은 것은 주로 화학비료와 축산폐수 때문인 것으로 조사되었고 (강봉래 등 2002) 동부유역의 높은 염소이온 농도는 해수와 직접 경계를 이루는 기저 지하수대가 육지 깊숙이 들어와 있는 수문지질적 구조의 영향인 것으로 보인다 (김태현 등 2002) 이로부터 서부유역은 인간에 의한 토지 이용 (농업, 축산업)을 통한 수질 오염이 두드러짐을 볼 수 있다. 〈그림 19〉에서 보듯이 한경유역과 대정유역에서 질산성 질소가 5mg/l 이상 검출된 관정이 타 유역에 비해 월등히 많다.

가. 강수량에 따른 수질 변화

다음 〈그림 20〉은 강수에 따른 염소이온과 질소이온의 연도별 변화를 나타낸 것이다.



〈그림 20〉 강수에 따른 염소이온과 질소이온 농도의 연도별 변화(김태현 등 2002)

김태현 등(2002) 이 강수량에 따른 질산이온과 염소이온 농도 변화의 상관관계를 조사한 결과 상류 지역에 오염원이 없는 저지대의 지하수는 강수량에 따른 수질변화의 유의한 규칙성을 찾기 어려운 반면, 상류지역에 오염원이 산재해 있는 서부, 남부, 북부 지역에서는 오염물질농도가 건기에 낮고, 우기에는 높게 나타났다. 그리고 동부지역의 질소이온은 강수량과 같은 방향으로 움직이는데 비해 염소이온은 부의 상관관계를 보이고 있다(그림 20).

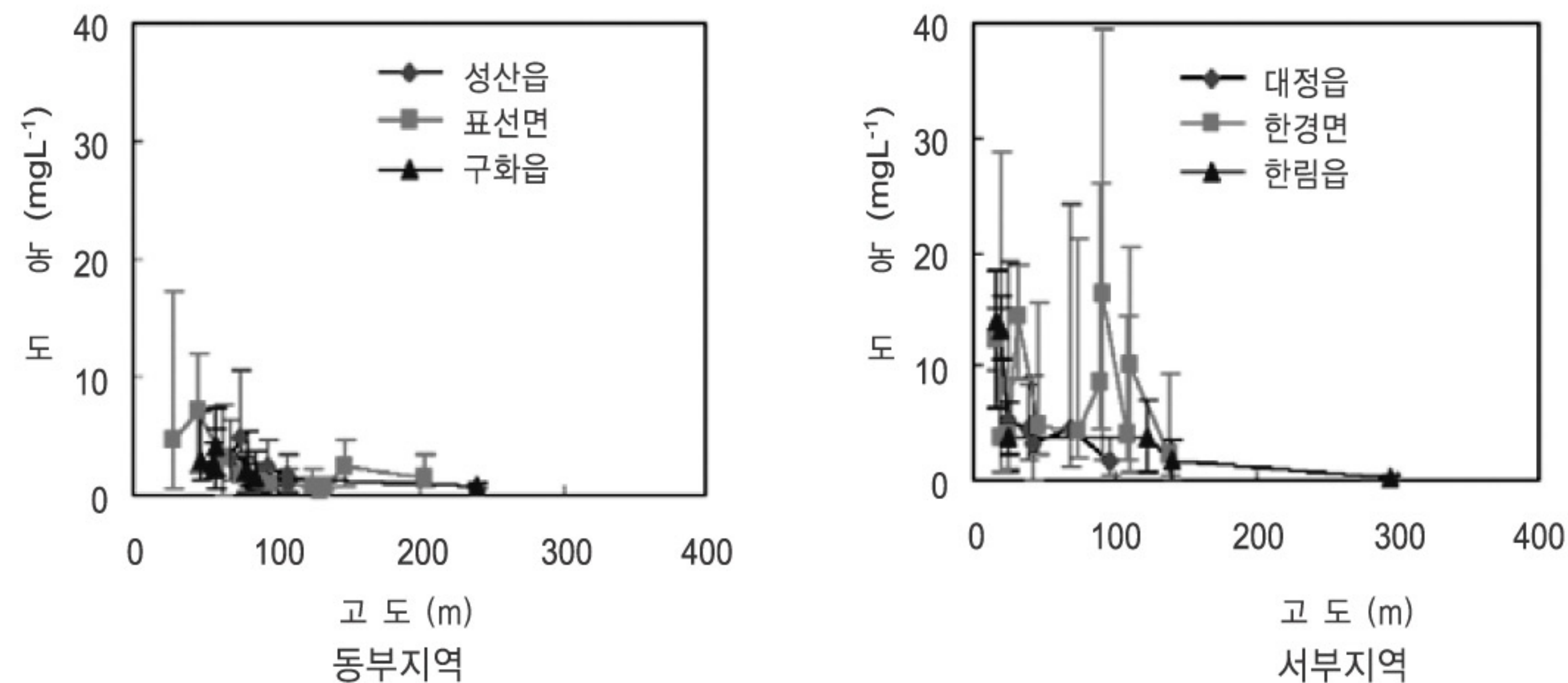
이는 강수에 의해 지표나 토양의 물질이 빠르게 지하수대에 유입되어 수질에 영향을 주고 있다는 것이며, 동부지역의 경우 기저지하수대가 육지 깊숙이 들어와 있으므로 해서 강수 시 희석효과로 염소이온이 감소하는 것으로 추정할 수 있다(김태현 등 2002).

이러한 경향은 다른 연구에서도 비슷하게 드러나고 있다(김태현 등 2003, 송성준 등 1998, 김성홍 등 1998).

나. 고도에 따른 수질 변화

고도가 낮아질수록 질소이온의 농도가 낮아지고 변화폭이 커지는 경향이 있다(그림 21) 이는 해발 200m 이하에 농경지와 거주지가 집중되어 분포하기 때문에 이들 토지이용 특성이 반

영된 것으로 보이며 지하수의 상류지역에 축산폐수시설 등과 같은 질소오염원이 산재되어 있는 서부, 남부, 북부 지역이 동부 지역에 비해 높은 값과 큰 폭의 변화를 나타내었다 (김태현 등 2002). 또한 염소이온의 경우에도 동일한 경향을 보여주고 있다. 중산간 지역 개발이 수질에 악영향을 미칠 수 있음을 암시해 주는 것이다.



〈그림 21〉 고도에 따른 질소이온 농도 변화 (김태현 등 2002)

다. 연도별 질산이온 농도 추세

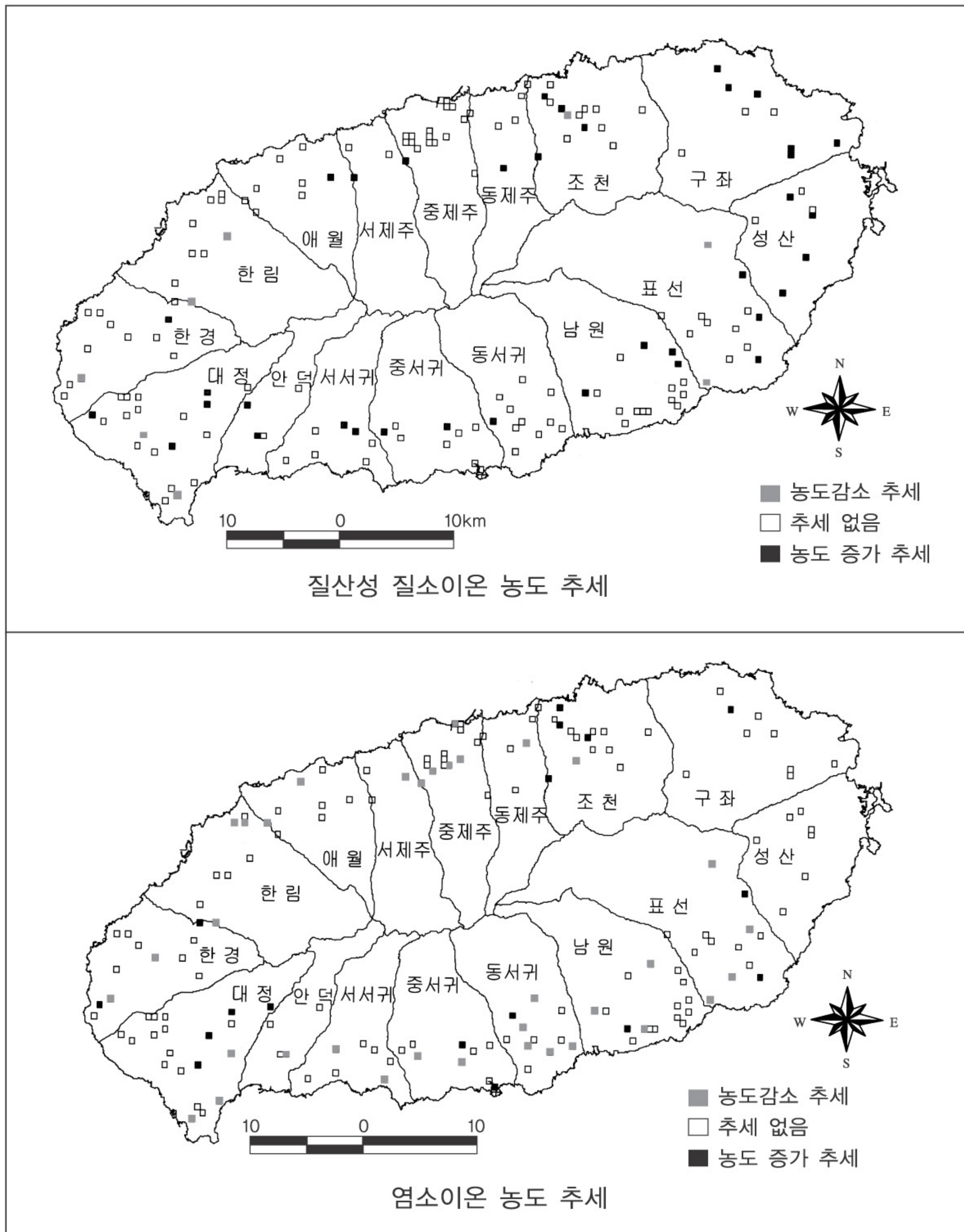
제주도 등(2003) 은 1993년 ~ 2002년까지 시간이 흐름에 따른 뚜렷한 질산이온 농도 증가 추세를 보여주고 있다 (그림 22). 특히, 농경지, 과수원, 축산단지 등이 밀집된 지역을 중심으로 질산성 질소의 농도가 증가하는 경향이 있으며 제주도 등(2003) 은 염소이온도 질소 이온의 농도 증가 추세와 상관관계가 있는 것으로 분석하고 있다.

위의 결과들을 종합해보면, 제주도 지하수의 수질은 주로 질산성 질소이온과 염소 이온에 의해서 영향을 받고 있는데, 지질 및 토양 특성상 강수에 의해 위의 물질들이 빠르게 지하수대로 흡수 되고 있으며 농업, 축산업을 위한 토지이용에 따른 영향을 강하게 받고 있는 것으로 보인다.

2. 대정 유역의 오염 사례와 그 적용

가. 대정 유역의 토지 이용에 따른 오염사례와 오염인자 이동방향

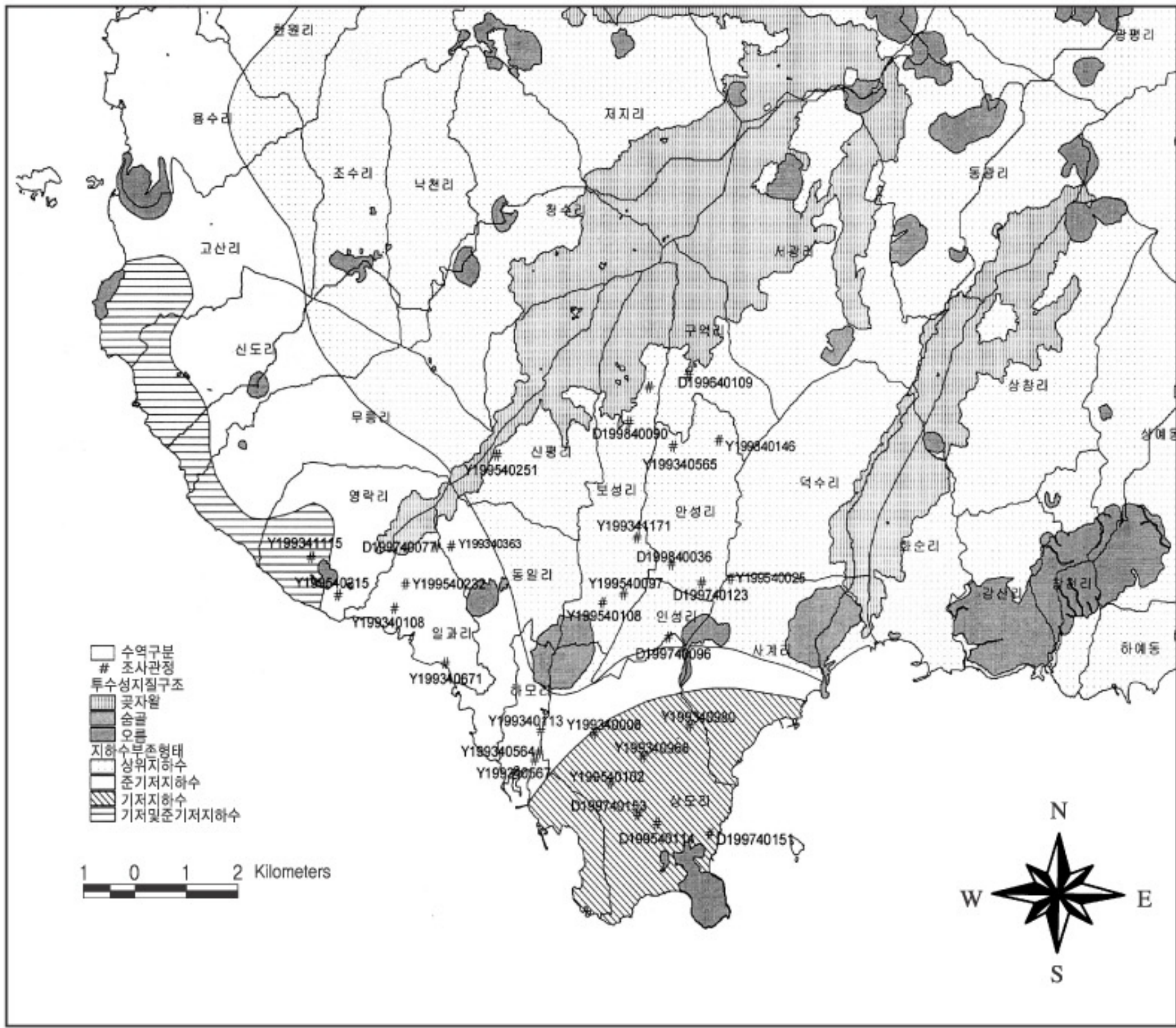
대정유역은 월림-신평곶자왈을 포함하는 지역으로 다양한 토지 이용 형태를 가지고 있으며 제주도 내에서 질산성 질소에 의한 오염이 가장 높은 지역이다 (김태현 등 2003). 강봉래 등



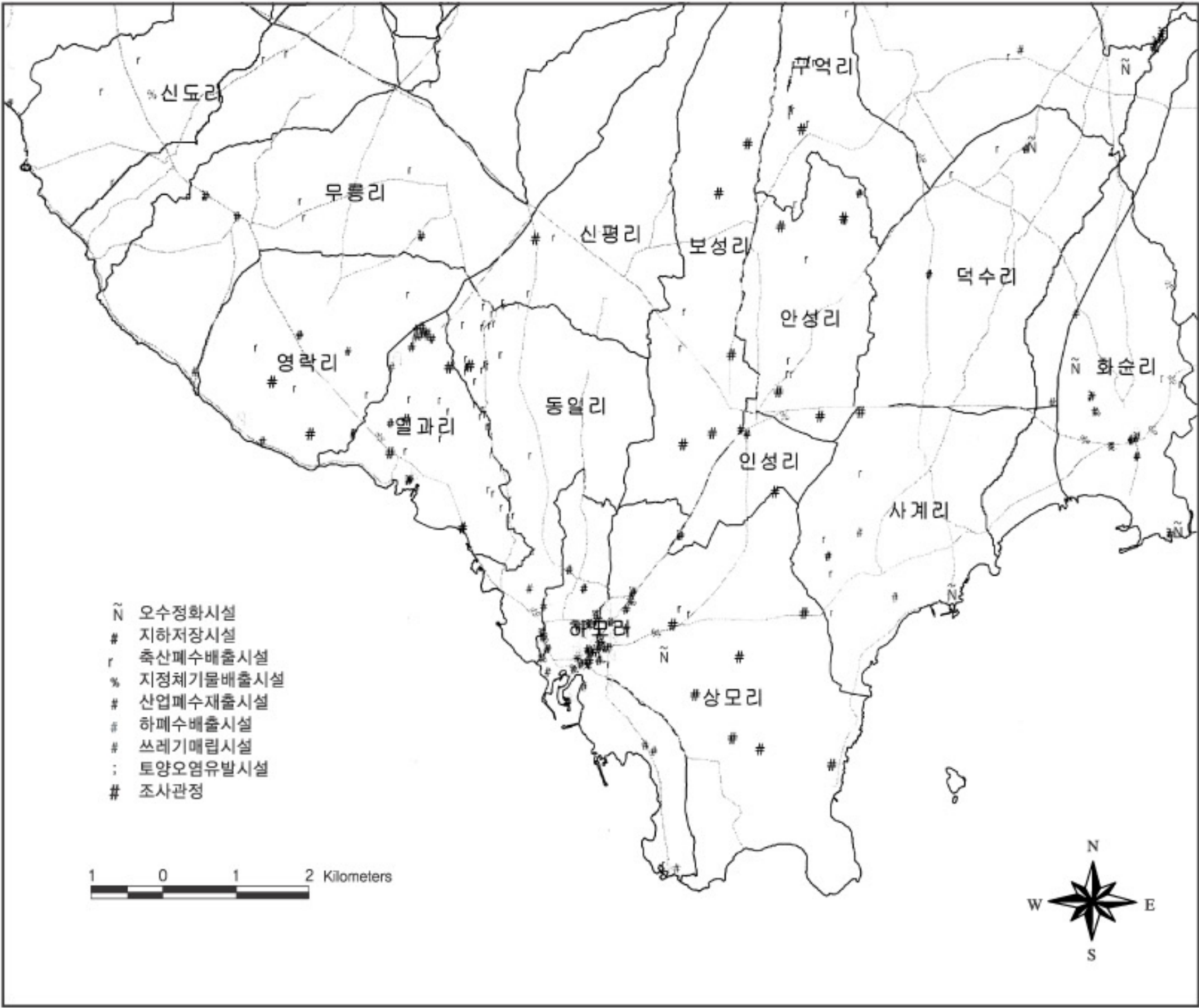
〈그림 22〉 주요 오염물질 농도 추세 변화(제주도 2008)

(2002) 은 방사성동위원소를 이용한 방법으로 수질 오염원에 대한 추적을 시도하였는데 그 결과 토지이용과 잠재오염원 그리고 오염물질 간의 관계가 높은 상관관계가 있음도 확인하였다. 아래 〈그림 23〉은 대상지역의 투수성 지질 구조 및 지하수대 분포도이며 〈그림 24〉는 잠재오염원 분포도이다.

조사 구역별 결과를 간단히 요약하면, 아래 〈표 15〉와 같다.



〈그림 23〉 투수성 지질 구조 및 지하수대 분포도 (강봉래 외 2002)



〈그림 24〉 잠재오염원 분포도 (강봉래 외 2002)

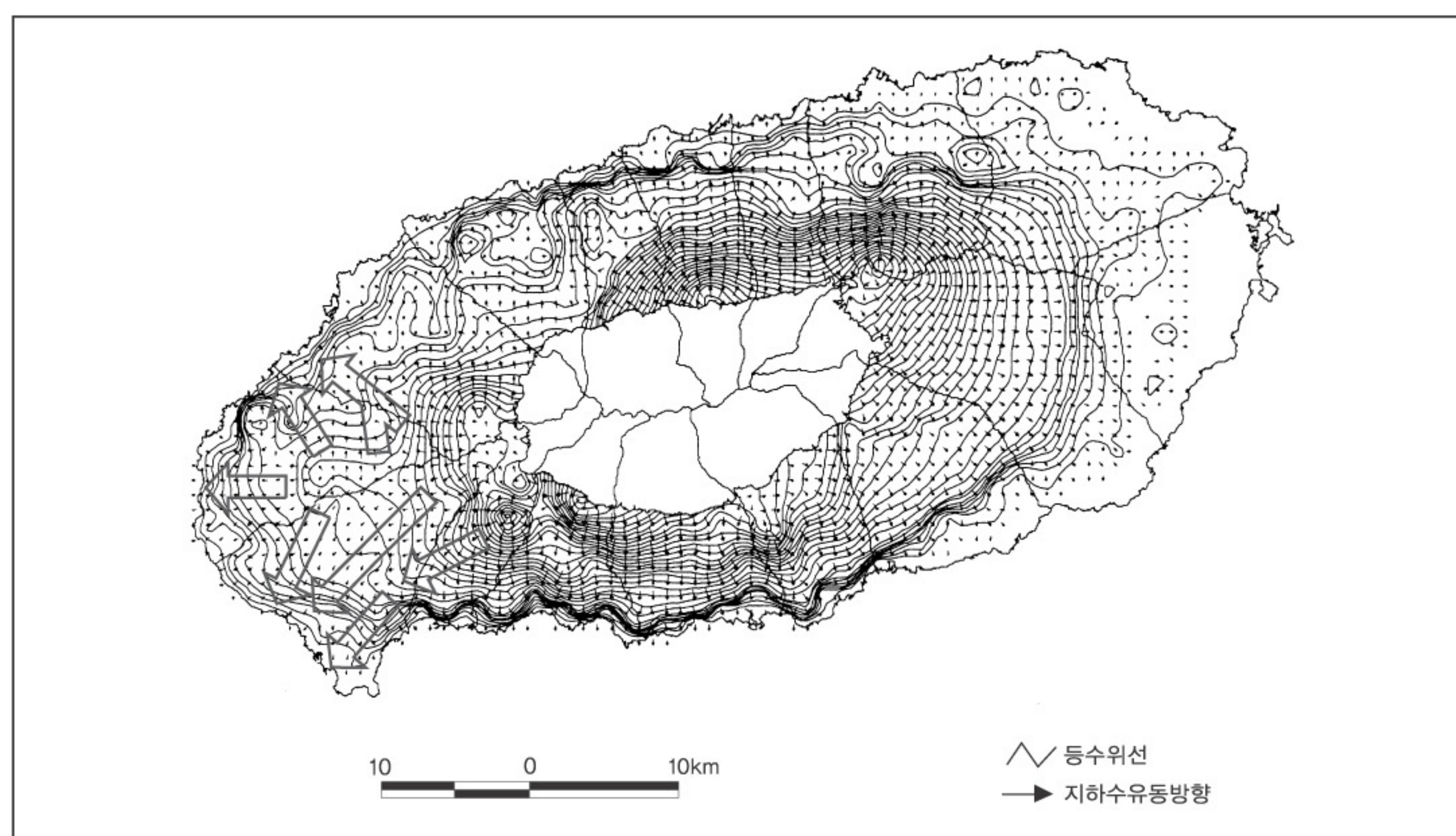
고도가 낮을수록 대체적으로 농도가 커지는 경향은 표고 100m 이하에 잠재 오염원이 집중되어 있는 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 갯자왈 내에 있는 구역리의 지하수 오염은 다른 지역보다 훨씬 작은 수준으로 나타났는데 이는 이 갯자왈 지역이 아직 본격적으로 개발되지 않고 남아 있기 때문인 것으로 보인다. 또한 강수량에 따라 질산성 질소 농도가 증가하는 뚜렷한 경향을 보여주고 있다(강봉래 등 2002 〈그림 43〉 참조) 질소 공급원 종류에 따라

〈표 15〉 대정유역 조사 구역별 질산성질소 검출 현황 및 오염원 추적(강봉래 등 2002)

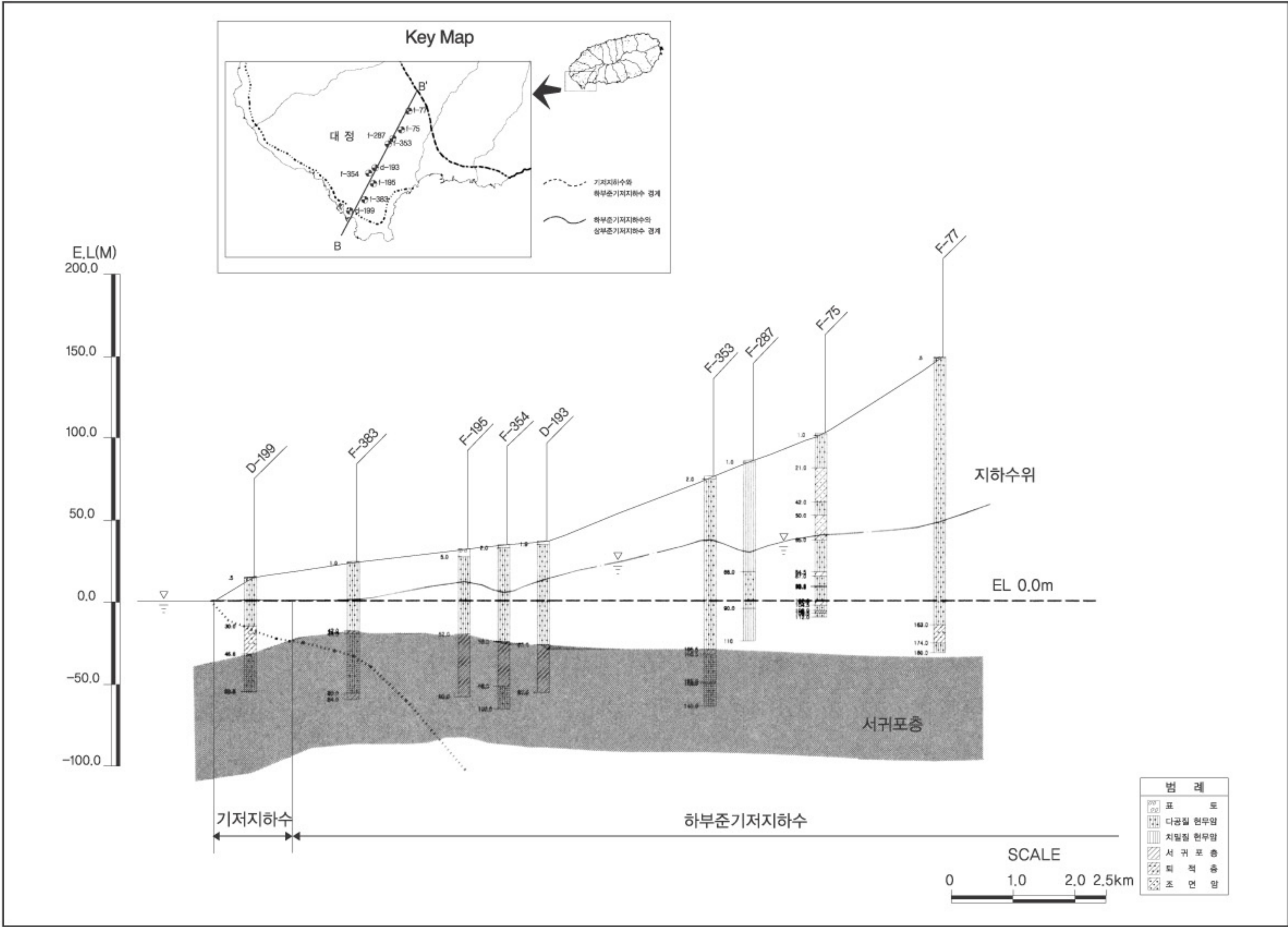
구역	관정 수	토지이용특성	평균농도 (단위 : mg/l)	우세 오염원	지질
구역리	5	감귤과수원 (양돈축사)	24	토양유기물	꽃자왈
보성리 ,안성리 ,인성리	7	감귤과수원	44	화학비료 , 토양유기물	
상포리 , 산이수동	5	밭	74	화학비료	
대정읍 시가지	4	시가지	45	화학비료 , 토양유기물	
일과리 ,영락리	5	축 산, 밭	57	화학비료 , 토양유기물 , 동물성유기물	습골
동일리 , 천미동	3	축 산	34	화학비료 , 토양유기물 , 동물성유기물	

질소의 두 가지 안정동위원소의 존재비가 일정한 값을 가지는 성질을 이용하여 질산성질소 오염원을 추적한 결과는 토지이용과 매우 밀접한 관련을 가지고 있는 것으로 나타나고 있다(강봉래 등 2002 〈표 55〉 참조) 그리고 대정유역의 지하수 유동 방향이 지하수 오염에 미칠 영향을 지하수 유동도를 통하여 예상해볼 수 있다. 먼저 제주 서부지역의 풍수기 지하수 유동도를 보면 지하수의 지하흐름의 방향을 짐작할 수 있다. 아래 〈그림 25〉를 보면 대정 유역에서 지하수 흐름이 내륙에서 해안 쪽을 향하고 있음을 확인할 수 있다.

이는 아래 〈그림 26〉의 대정 유역 지질 단면도를 통해 중력에 의한 지하수 흐름의 방향이 해안 쪽으로 가게 됨을 다시 한번 확인할 수 있다.

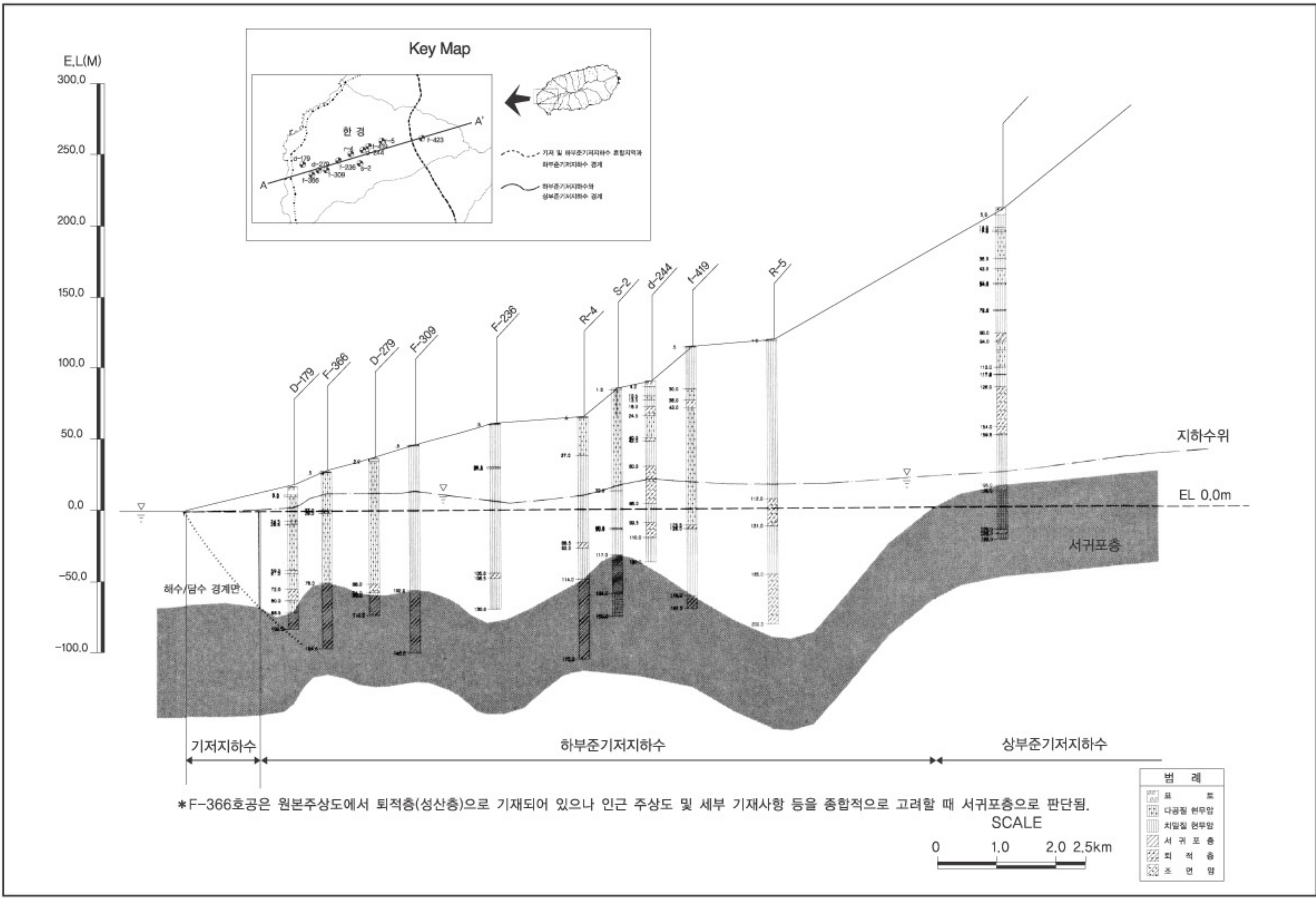


〈그림 25〉 풍수기 지하수 유동도(제주도 등 2003)



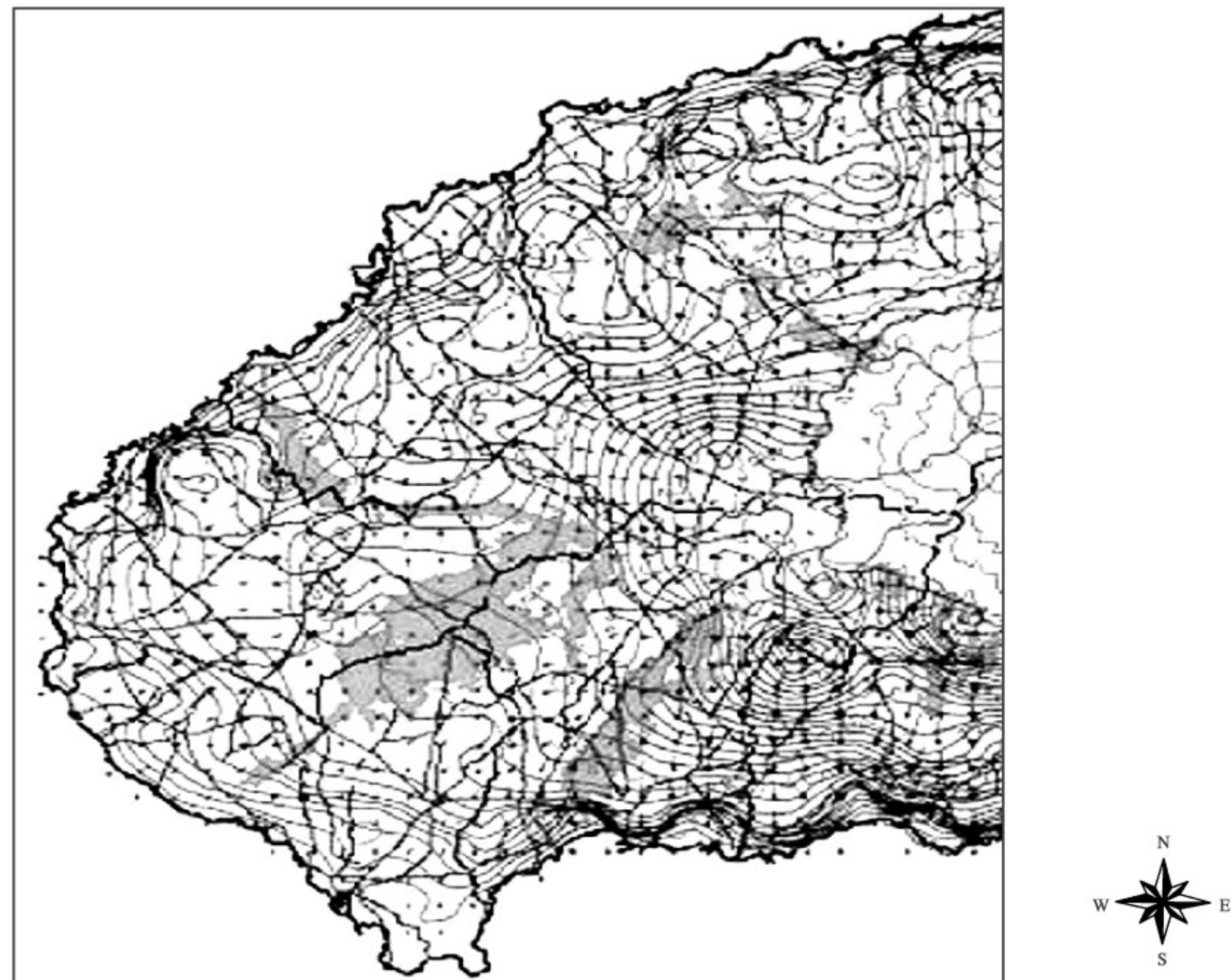
〈그림 26〉 대정유역 지질단면도 (제주도 등 208)

나. 한경유역에로의 적용과 오염 가능성



〈그림 27〉 한경 유역 지질 단면도 (제주도 등 208)

한경귤자왈의 분포와 지하수 유동도를 같이 보면 〈그림 28〉과 같다.



〈그림 28〉 서부지역의 귤자왈지도와 지하수유동도

이를 통해 한경 귤자왈 내륙 쪽에서 골프장 같은 오염원이 들어서게 되면 대정유역의 질산성 질소 오염 사례처럼 지하수 유동방향에 따라 지하수가 오염되고 해안관정에서의 오염이 검출될 것임을 분명하게 예상할 수 있다.

3. 소결론

제주도의 전반적인 수문지질 특성과 수질 특성을 살펴 본 결과 토지 이용과 관련하여 질산성 질소에 의한 오염이 가장 큰 비중을 차지하고 있었으며, 강수량 변화에 즉각적으로 반응하고 있고 토지이용 양태와 밀접한 관련을 가지고 있는 것으로 드러났다. 특히 지하수 수문 지질 구조에 의한 지하수 유동방향이 고지대에서 해안지역으로 향하는 것으로 나타남에 따라 상류 지역의 오염물질 유입은 하류, 해안 지역의 지하수대에 대한 광범위한 오염을 야기 할 것이다.

또한 3절의 지하수 함양량 모의실험에서 밝혀졌듯이, 귤자왈 지역에 골프장 등으로의 토지 이용의 변화가 지하수 함양량을 약간 증가시킬 것이다. 그리고 골프장 등에서의 농약이나 비료의 사용이 지하수 오염을 유발할 가능성이 커진다고 볼 수 있다. 산림 식생이 가지고 있는 오염 정화 기능을 인위적인 개발을 통해서 저감시킨 상태에서 초지(잔디)의 보호를 위해 살포된 농약 및 비료가 빗물에 유출되기보다 오히려 지하수로 스며드는 비중이 더 커질 것을 의미하기 때문이다.

VI. 결론

본 연구에서는 제주도의 귤밭 지역의 토지 이용 변화가 지하수의 함양과 수질에 어떠한 영향을 주게 될 것인지에 대하여 살펴보았다. 귤밭은 지금까지 돌과 잡목이 우거져 쓸모없는 땅으로 인식되어져 왔으나 제주도의 화산활동을 통한 지질 형성과정이 독특한 식생을 만들어내고 있으며 높은 투수성은 지하수의 수질에 유의한 영향을 미칠 수 있음을 알게 되었다. 그러나 ‘쓸모 없는 땅’이라는 것은 농업이나 축산업의 관점에서 보았을 때 그런 것이지 예부터 나무나 고사리 등 생활에 필요한 수단들을 이곳으로부터 얻어왔다는 것으로 볼 때 전통 경관에서 귤밭은 결코 불모지가 아니었다고 볼 수 있다. 그리고 최근 지질적, 수문학적 조사 연구에 의해 밝혀진 사실들은 귤밭의 생태적 가치에 대한 연구가 필요함을 말해준다.

여기서는 귤밭의 생태적 가치들 중에서 제주도의 수자원으로서 절대적인 가치를 가지고 있는 지하수의 함양과 수질 특성에 미치는 영향을 주목하였다. 기존 수문학적 조사 자료를 바탕으로 하여 귤밭 지역의 토지 이용 변화가 지하수의 함양에 미치는 영향을 수문학적 모의실험을 통하여 계산한 결과 귤밭 숲의 10%가 초지로 바뀌었을 때 함양량은 15% 늘어나고, 50%가 초지로 바뀌었을 때는 7~9% 늘어나는 것으로 나타났다. 그리고 강수량의 변화와 토지이용의 형태에 밀접하게 관련되어 반응하는 제주 지하수의 수질과 고지대에서 해안방향으로 유동하는 특성은 상류지역의 귤밭 개발이 하류지역의 광범위한 지하수 수질 오염을 유발할 위험 가능성을 보여주고 있다. 그러므로 귤밭은 세간의 인식처럼 결코 쓸모없는 땅이 아니라 제주도의 생명수인 지하수의 보존과 관련하여 중요한 생태적 가치를 지니고 있음을 알 수 있다.

이 연구의 한계는 귤밭 숲이 골프장 등의 용도로 전환되었을 때 지하수질에 얼마나 영향을 미치는 지에 대한 정량적 결과를 보여주지 못하고 있으며, 제주도의 고유한 수문지질구조와 수질 특성을 통한 개연성만을 이야기 하고 있다. 따라서 이 부문에 대한 정량적인 후속 연구가 필요하다.

참고 문헌

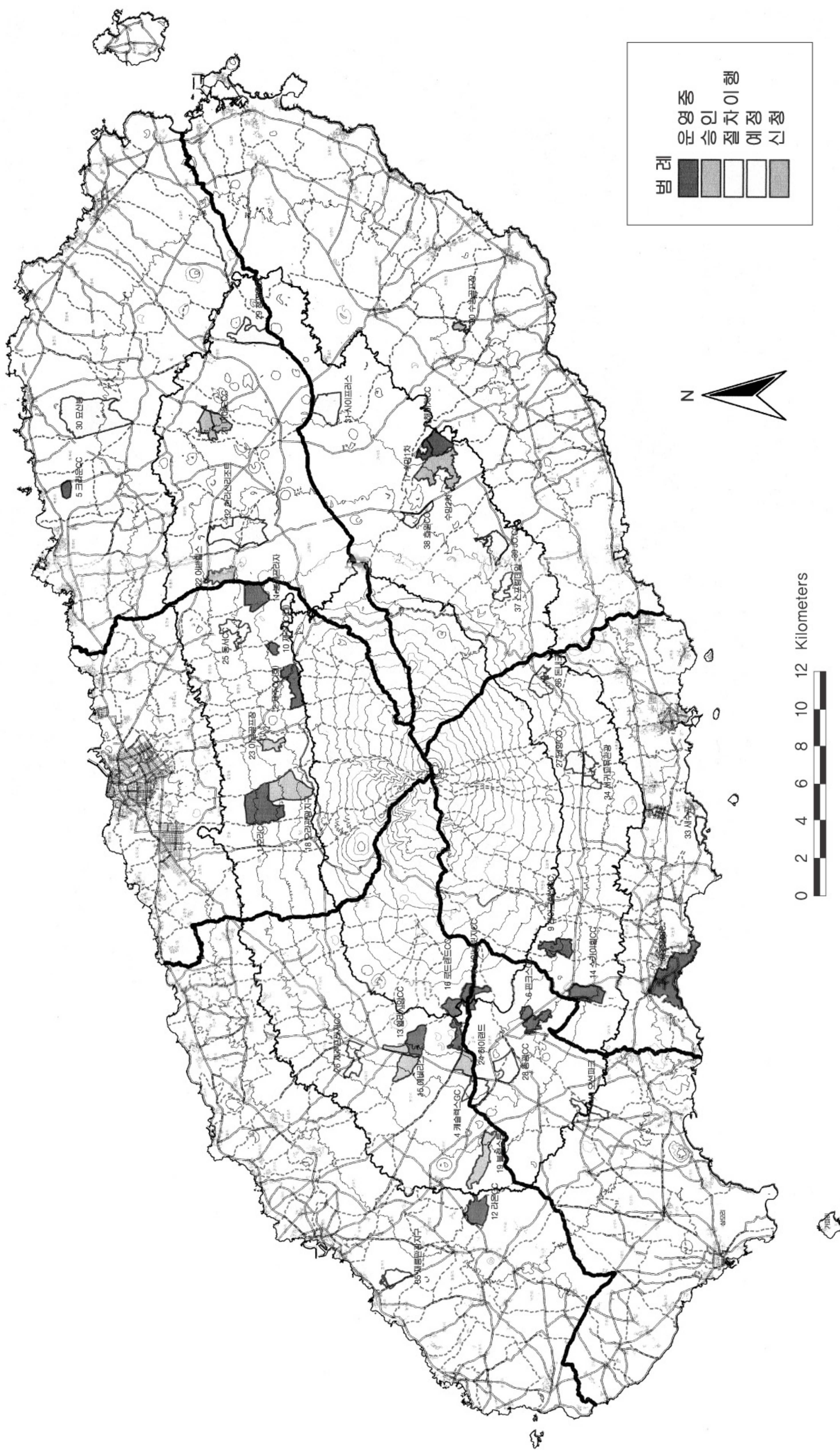
- 1 강봉래, 박윤석, 고기원 (2002) 동위원소를 이용한 제주도 서부지역 지하수의 질산성 질소 오염원 연구, 제10회 세계 물의 날 기념 학술세미나
- 2 김경하, 김재수, 김종섭, 마호섭, 박인보, 박재현, 이현호, 장인수, 정용호, 최형태 (2002) 최신 수문학, 동화기술교역
- 3 김봉찬 (2004) 제주 귤밭의 생태적 의미와 가치, 귤밭 보전을 위한 토론회, 제주환경

운동연합

- 4 김태현, 김성홍, 김길성, 김세라, 객인철, 고용구 (2002) 제주도 지하수 수질특성, 제주도 보건환경연구원 제13권 pp125 ~141
- 5 김태현, 김성홍, 김길성, 김세라, 객인철 (2003) 제주도 지하수 수질특성, 제주도 보건환경연구원 제14권, pp131 ~150
- 6 송성준, 강태우, 박원배, 강봉래 (2003) 제주도 서부지역 지하수 수질실태와 오염예방을 위한 농업적 실천방향, 제11회 세계 물의 날 기념 학술대회
- 7 송시태 (2004) 제주도 귤밭의 분포 및 지질학적 특성, 귤밭 보전을 위한 토론회, 제주환경운동연합
- 8 송시태 (2000) 제주도 임피상 아아용암류의 분포 및 암질에 관한 연구, 부산대학교 박사 학위논문
- 9 이도원 (2001) 경관생태학, 서울대학교 출판부
- 10 제주도. 중산간지역 종합조사 (1997) 국토개발원
- 11 제주도. 한국수자원공사 (2003) 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 III, 제주도
- 12 최미희, 김원학, 맹지연, 정연경, 최요왕 (2001) 환경분쟁 해소 가이드라인 -학제간 의사 결정통합 모형, 교보교육문화논총 제4집(환경편) pp339 ~383
- 13 환경부 (2003) 2003년도 골프장 농약사용실태 조사결과 보고서
- 14 인터넷 골프장건설반대, <http://nogolfkfm.or.kr/>
- 15 인터넷 제주도 광역수자원 관리본부, <http://www.jjuwater.go.kr/jewater/index.html>
- 16 인터넷 제주국제자유도시개발센터, <http://www.jdcntr.com>
- 17 인터넷 제주도 보건환경연구원, http://www.provin.jju.kr/junet/home14/home_00.php
- 18 인터넷 참여환경연대, <http://www.jjungonet>
- 19 인터넷 한국잔디연구소, <http://www.kti.or.kr>

부록

〈부록 그림 1〉 골프장 지도(※출처 : 제주도청 GIS 자료실에서 촬영촬영)



〈부록 표 1〉 제주 골프장 현황, 2004 년 3월 현재(단위 : m²)

구 분	골프장명	사업체	소재지	부지면적 계	홀수		국번	평가	승인	공기	등록 및 공정률
		업체명			회원	대중					
계	39개 소			466,481	738	192					
운 영 중	오라 CC	오라관광 (주)	오라 289	2,083,000	36	-	-	-	770420		79810
	제 주 CC	(주)제주cc	영평 2238-2	1,427,711	18	-	-	-	841230		83331
	중문 CC	한국관광공사	색달 3125-1	920,500	18	-	-	-	860410		85530
	캐슬렉스 제주 CC	사조레저 (주)	광평산 125, 금악산 41	1,534,600	18	9	-	900406	891230		9548
	크라운 CC	(주)크라운	북촌 산63	996,240	18	9	-	901217	900628		9863
	핀크스 CC	(주)핀크스	상천산 623	1,244,888	18	9	980802	981012	940406		99114
	해비치 CC	제주다이너스티 (주)	신흥 산30	1,099,627	18	9	950809	951230	960227		99918
	나인브릿지 CC	G개 발(주)	광평 산3, 봉성 산16	1,217,738	18	6	980802	981012	940412		01728
	레이크힐스 CC	(주)레이크힐스	중문 산5	1,202,541	27	-	970906	010528	010709		02123
	제주 CC	(주)제주cc	용강 산5	283,520	-	9	971230	010106	010411		03210
	소계	10개 소		1158,882	189	51					
승 인	엘리시안 CC	LG건설(주)	어음 산17	1,581,100	27	9	950415	970503	970628	97812 03125 ~	73.8%
	서귀포 CC	(주)호텔롯데	색달 산24	1,666,022	27	9	950617	970626	970801	9711 04104 1~	55.0%
	신 안 CC	신안관광 (주)	어음 산5	1,107,482	18	9	970624	980616	000710	01528 0343 0~	1%
	로드랜드 CC	(주)로드랜드	봉성 산5	1,228,888	27	-	981228	000313	000727	02730 041130 ~	55.2%
	라운 CC	천미개발 (주)	저지 산18	1,344,429	27	-	970916	980616	001220	021120 0553 1~	77.9%
	수망 1차	남광건설산업 (주)	수망 산1	1,483,741	27	9	981110	980907	000315		1%
	오라관광지구	유일개발 (주)외 2	오라2동 산91	815,666	18	-	980806	991103	991230	02126 041231 ~	1.2%
	봉개관광지구	한화국토 (주)	봉개 산53	390,470	-	9	970806	961220	961228	0325 0443 0~	82.4%
	블랙스톤	(주)블랙스톤	금악 산67-1	1,553,241	18	9	080506	080704	080821	0339 0608 ~	61.4%
	수농골프장	(주)수농	가시 205	263,196	-	9	021209	080704	080825	0339 0411 0~	55.0%
	이어도 CC	이어도 (주)	덕천 산84	933,689	18	6	970624	021111	080917		
	뉴제주 CC	남해관광 (주)	와흘 산26	959,076	18	-	951209	980223	031216		
	소계	12개 소		1330,166	225	69					
절 차 이 행	동 서 CC	동서개발 (주)	봉개 237-5	1,074,888	18	-	960425	980417			
	제주칼 CC	(주)한일레저	교래 산16	1,341,000	18	9	970906	980619			
	프라자 CC	한화국토 (주)	상가 산94	915,642	18	-	951117	000619			
	태 양 CC	(주)남양개발	서흥 산3	1,278,899	18	6	980629				
	동 광 CC	(주)삼흥개발	동광 산14, 광평 산44	1,581,000	18	9	970510				
	챔피언 CC	한국해양개발 (주)	송당 산178	1,988,822	27	9	980109				
	묘산봉	(주)에니스	감녕 산1-1	1,788,100	36	-	980221				
	이글골프장	(주)부건	오동 산57	616,015	18	-	080324	040312			
	하이랜드	G개 발(주)	금악 산32	671,423	18	-	081025				
	제주리조트	제주리조트 (주)	성읍 3196-1	1,881,000	27	9	040211				
	소계	10개 소		1371,339	216	42					
예 정 사 지 정	한라산리조트	(주)더원	대흘 산38-1	1,092,000	18	-					020819
	새수포	새수포 (주)	강정 763	568,804	18	-					030401
	수망 2차	남광건설산업 (주)	수망 산5	904,628	18	9					030514
	서귀교육관광	(주)남양, 우정학원	서흥 산3	597,427	9	3					030529
	재령관광지구	보훈복지의료공단	협재 산149-6	684,346	-	18					030710
	돈내코	(주)돈내코레저	상호 산26	1,524,455	27						031216
	스포팅데일	(주)동국개발	위미 산21	759,374	18						040212
	소계	7개 소		6,103,041	108	30					

※출처 : 인터넷 제주국제자유도시개발센터 <http://www.jidater.com>

〈부록 표 2〉 환경부 2003 년도 골프장 농약사용실태 조사결과 보고서

골프장명	형태	소재지	홀수	면적(m ²)	2003 년도 농약사용량 (kg)		품목 종류	ha당 사용량 (kg)	
					실물량	성분량		실물량	성분량
파라다이스	회원제	제주 북제주	18	875,800	2,3510	7280	3	262	8.33
파라다이스	대중	제주 북제주	9	279,715	7680	2850	27	249	8.71
크라운	회원제	제주 북제주	18	825,058	2,5215	10980	22	357	13.8
크라운	대중	제주 북제주	6	143,506	1220	684	13	9.00	4.31
핀크스	회원제	제주 북제주	18	874,000	1,71100	4022	24	198	5.27
핀크스	대중	제주 남제주	9	380,150	8910	3210	5	210	6.11
해비치	회원제	제주 남제주	18	797,000	9808	2457	19	118	3.02
해비치	대중	제주 남제주	9	302,000	3972	791	16	119	2.64
나인브릿지	회원제	제주 북제주	18	1,08100	15025	6241	11	145	5.88
중문	회원제	제주 서귀포	18	920,500	2,5970	7651	27	282	8.10
오라	회원제	제주 제주	36	2,0839	39580	13642	21	192	6.62
제주	회원제	제주 제주	18	1,44271	29330	678	19	150	4.56
제주	대중	제주 제주	9	283,520	3170	1589	12	118	4.09
레이크힐스	회원제	제주 서귀포	27	1,20100	28830	292	9	196	0.21
합계			231	총면적 14,4089	총실물량 23880	총성분량 63102		평균실물량 109	평균성분량 5.78

2003 골프장 농약사용 품목					
구분	농약명	용도	구분	농약명	용도
살균제	가벤다(수)	잔디용	살균제	터부코나졸(유,수화제)	잔디용
살균제	가벤다 가스신(수)	잔디용	살균제	토로스(수)	잔디용
살균제	농용신(수)	기타	살균제	타디폰(수)	잔디용
살균제	농용신쿠퍼(수)	잔디용	살균제	파모(액,유제)	잔디용
살균제	다찌밀(액)	잔디용	살균제	펜시쿠론 터부코나졸(액)	잔디용
살균제	다찌카텐(액)	잔디용	살균제	펜시쿠론(수)	잔디용
살균제	디니코나졸(수)	기타	살균제	포리동	기타
살균제	디페노코나졸(유)	잔디용	살균제	포리옥신(수)	기타
살균제	리프졸(수)	잔디용	살균제	포리옥신치람	잔디용
살균제	마이탄(수)	잔디용	살균제	포리옥신디 에트리디아졸(수)	잔디용
살균제	만코지(수)	잔디용	살균제	포리옥신디 지오판(수)	잔디용
살균제	만프로(수)	기타	살균제	포리옥신디(수)	잔디용
살균제	메로닐(수)	잔디용	살균제	포세칠알(수)	잔디용
살균제	메로닐프로피코나졸(수)	잔디용	살균제	프로피수화제	잔디용
살균제	메타락실 엠(유)	잔디용	살균제	프로피코나졸(유)	잔디용
살균제	메타실(수)	잔디용	살균제	프루토닐(유)	잔디용
살균제	메타실엠(수)	잔디용	살균제	헥사코나졸(액,수화제)	잔디용
살균제	비리신(액)	잔디용	살균제	휘나리(유,수)	잔디용
살균제	베노필(수)	기타	살충제	그로메(유)	잔디용
살균제	비타놀(수)	기타	살충제	그로포주론(수)	기타
살균제	사프롤(유)	기타	살충제	기계유	잔디용
살균제	석회유황합제	기타	살충제	나크 포시론(수)	잔디용
살균제	이족시스트로빈(입,수,액)	기타	살충제	나크(수)	잔디용
살균제	에디졸(유)	잔디용	살충제	다수진(유)	기타
살균제	에디졸 지오판(수)	잔디용	살충제	다프(수)	기타
살균제	에브리놀	잔디용	살충제	델타린(유)	잔디용
살균제	에트리디아졸(수)	잔디용	살충제	디메토(유)	잔디용

2003 골프장 농약사용 품목					
구 분	농 약 명	용 도	구 분	농 약 명	용 도
살균제	옥사실엠 (수)	잔디용	살충제	메프(유)	잔디용
살균제	옥사프로	잔디용	살충제	밀베멕틴 (유)	기타
살균제	이미벤코나졸 (수)	잔디용	살충제	벤셀탑 (수)	기타
살균제	이미녹타린트리스알베실레이트치람 (수)	잔디용	살충제	부프로페진프라치오카브 (수)	기타
살균제	이프로 (수)	잔디용	살충제	비페나제이트 (액 상)	잔디용
살균제	이프로지오판 (수)	잔디용	살충제	싸이스린	잔디용
살균제	이프로치람 (수)	잔디용	살충제	아미트 (유) 마이탁	잔디용
살균제	지오람 (수)	잔디용	살충제	아세퀴노실 (액,수)	기타
살균제	지오판 (도,수)	잔디용	살충제	아시트 (수,캡슐)	잔디용
살균제	지오판리프졸 (수)	기타	살충제	아씨틴 (수)	기타
살균제	차람(수)	잔디용	살충제	알파스핀 (유)	기타
살균제	치푸루자마이드 (입)	잔디용	살충제	에스펜발테레이트 (유)	기타
살균제	쿠퍼(수)	기타	살충제	에이카를	기타
살충제	에토펜프록수 (수)	기타	제초제	벤셀라이드 (유)	잔디용
살충제	에토펜프록스디수진 (수)	잔디용	제초제	벤 프루리핀	잔디용
살충제	에토펜프록스테부페노자이드 (유)	기타	제초제	벤프루리핀이속사벤 (액,수)	잔디용
살충제	에토프 (입)	기타	제초제	벤프 + 캐치폴	잔디용
살충제	이미다클로프리드 (액)	기타	제초제	싸이크론설파무론	기타
살충제	장원	기타	제초제	아슬람 (입,수)	잔디용
살충제	치아메톡삼 (입,수)	기타	제초제	오리지진	잔디용
살충제	치아스 (수)	잔디용	제초제	옥사지크로메본폰 (액)	잔디용
살충제	카루사포스 (입)	잔디용	제초제	이마지퀸 (수)	잔디용
살충제	테부페리드 (수)	잔디용	제초제	이속사벤 (액)	잔디용
살충제	테부페리드포스 싸이플루스린 (입)	기타	제초제	카펜트라존에칠 (입)	잔디용
살충제	테부페리드포스 (액)	기타	제초제	크로닐 (입)	잔디용
살충제	테트라디폰 피리핀 (유)	잔디용	제초제	트리클로피르 (유)	잔디용
살충제	테트라디폰 (유)	기타	제초제	트리클로피르티이에이 (액)	잔디용
살충제	트리무론 (수)	기타	제초제	파미드 (수)	잔디용
살충제	트랄로메스린 (유,액,수)	잔디용	제초제	페녹사프로프피에칠 (유)	잔디용
살충제	파리핀오일 (유)	기타	제초제	펜디 (수,유)	잔디용
살충제	페나지퀸 (유)	기타	제초제	펜디메탈 린 (수,액,입)	잔디용
살충제	펜프로 (수,유)	기타	제초제	프로디아민 (액 상,수)	잔디용
살충제	펜피록시메이트액상 (수)	잔디용	제초제	피라조설파론 에틸 (수)	잔디용
살충제	프로지 (수)	기타	제초제	피리브티카브 (수)	잔디용
살충제	피라크로포스 (수)	잔디용	제초제	후라자설파론 (수)	잔디용
살충제	파리모 (수)	기타	제초제	MCPR(액,유)	잔디용
살충제	할로스린 (수,유)	잔디용	생장조정제	아토닉 (액)	기타
제초제	길론 (유)	기타	생장조정제	트리네사파에칠 (미탁)	잔디용
제초제	글라신 (액)	잔디용	전착제	실록세인 (액)	잔디용
제초제	디치오퍼 (유,수)	잔디용	전착제	전착제 (유)	기타
제초제	디캄바 (액)	잔디용	전착제	카바(액)	기타
총 136개 품목 : 살균제 58, 살충제 46, 제초제 27, 기타 5					
사용용도 별 : 잔디용 98개 품목, 기타 48개 품목					
2003년 말 기준 등록된 농약 총 품목수 106 개 품목					

WHO분류(원제독성기준) 맹·고독성 농약중 국내사용 농약

농 약	분 류	대표적 농약	외국 등록 현황				
			미국	일본	영국	독일	프랑스
Azinphosmethyl	b	아진포 25WP	○	×	○	○	○
Azoxystrobin	b	아씨틴 25WP	×	×	×	○	○
Bifenthrin	b	벤츠 30EC	×	○	○	×	○
Flutrials	b	부라에스 2SL	×	○	×	×	×
Carbofuran	b	카보 3GR	○	×	○	○	○
DemetonS-methyl	b	메타 25EC	○	×	○	○	×
Dithion	b	디디브이피 50EC	○	○	○	○	○
Ethion	b	에디펜 30EC	×	○	×	×	×
EPN	Ia	이피엔 45EC	×	○	×	×	×
Ethion	b	에토프 5GR	○	×	○	○	○
Fenitro	b	펜치온 50EC	×	○	×	○	○
Fenitrate	b	푸루시 3EC	○	○	×	×	×
Fenfos	b	다이포 5GR	○	×	○		○
Fenitrocarb	b	푸라치오카브 10EC	×	×	×	×	○
Metam	b	메카람 25EC	×	×	×	×	×
Methidathion	b	메타포 40SL	○	×	×	○	○
Methidathion	b	메치온 40EC	○	○	○	○	○
Methomyl	b	메소밀 24.1SL	×	○	×	×	○
Monoethion	b	모노포 24SL	○	×	○	○	○
Omethate	b	오메톤 50SL	○	×	×	○	○
Parathion	b	파라치온 17EC	○	×	○	×	×
Phorate	b	포레이트 5GR	○	×	○	×	×
Phosphamidon	b	포스팜 50SL	○	×	×	○	○
Pirimiphosmethyl	b	프리미 5GR	○	×	○	×	○
Tebufo	b	타보 3GR	○	×	×	○	○
Tiazophos	b	아조포 40EC	×	×	○	○	×

I: 맹독성, b: 고독성

※출처 : <http://mgdl.kem.go.kr/>