

학술세미나

# 제주 지하수 영원한 자원인가?

1999년 3월 24일

홀리데이 인 크라운 프라자호텔(2층)

주최 : 제주 발전 연구원

제주대학교 환경연구소

후원 : 제 주 도

학술세미나

# 제주 지하수 영원한 자원인가?

1999년 3월 24일

홀리데이 인 크라운 프라자호텔(2층)

주최 : 제주발전연구원

제주대학교 환경연구소

후원 : 제 주 도

## 세 미 나 일 정

### □ 제1부 : 제주발전연구원 · 제주대학교 환경연구소 업무협약 조인식(14:00~14:40)

- 개식 / 국민의례
- 업무제휴협약서 낭독(고성보 제주발전연구원 연구실장)
- 업무제휴협약서 서명 및 교환(제주발전연구원장 · 제주대학교 환경연구소장)
- 인사말 / 제주발전연구원 이 문 교 원장
- 인사말 / 제주대학교 환경연구소 현 영 진 소장
- 축 사 / 우 근 민 제주도지사
- 축 사 / 조 문 부 제주대학교 총장
- 폐 식

### □ 제2부 : 공동학술세미나(14:40~18:00)

#### “제주 지하수 영원한 자원인가?”

- 기조연설(14:40 ~15:00)
  - 주 제 : 21세기를 대비한 제주도의 물관리 정책방향
  - 발표자 : 우근민 제주도지사
- 제1주제 : 21세기 지구촌의 물 현황과 전망(15:10~16:00)
  - 사회자 : 고유봉(제주대 교수)
  - 발표자 : 김 승(한국건설기술연구원 수자원환경부장)
  - 토론자 : 정광옥(탐라대 교수)  
김대윤(제주발전연구원 연구원)
- 제2주제 : 지하수 보전을 위한 환경영향평가의 발전방향(16:10~17:00)
  - 사회자 : 정대연(제주대 교수)
  - 발표자 : 홍준석(환경부 환경평가과장)
  - 토론자 : 윤창훈(제주대 교수)  
오경애(제주YWCA 회장)
- 제3주제 : 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 연혁과 지하수의 합리적 이용을 위한 과제 (17:10~18:00)
  - 사회자 : 김희열(제주대 교수)
  - 발표자 : 고기원(제주도수자원개발사업소 연구원)
  - 토론자 : 고병련(제주산업정보대 교수)  
양해석(제주일보 정경부장)

### □ 제3부 만 찬 (18:00~19:30)

## 제주발전사에 기록될 학문적 연대

평소 존경하는 우근민 제주도지사님과 조문부 제주대학교 총장님이 함께 참석해주신 자리에서 저희 제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소간에 업무제휴를 위한 협약을 체결하게 됨을 감격스럽게 생각합니다.

아울러 이 자리에 참석하여 주신 여러 교수님과 각계 전문가를 비롯한 모든 분께 감사의 말씀을 드립니다.

특히, 연구업무협약을 쾌히 승낙해 주신 현영진 제주대학교 환경연구소장님께 이 자리를 빌어 고마운 뜻을 전합니다.

저는 제주의 청정환경이야말로 21세기 제주발전을 위해서 꼭 필요한 요건이며 고귀한 자원이라고 믿고 있습니다. 제주의 청정환경이 오염되거나 훼손되는 날 제주의 발전은 그 생명력을 잃게 될 것입니다.

비록 경제적인 힘에 의해서 가시적 발전을 이룩했다 하더라도 환경자체가 열악하거나 파괴되어 있다면 진정한 의미의 발전이라고 할 수 없을 것입니다.

제주의 청정환경을 보전하는 일이야말로 우리 세대가 책임져야할 가장 중요한 시대적 사명이며 매우 보람있는 일일 것입니다.

미래세대의 욕구를 저해하거나 감소시키지 않으면서 우리 세대에서 필요한 욕구를 충족할 수 있는 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 발전’(Environmental sound and sustainable development)을 실현하는 것은 현대를 살아가는 지구촌 전체 인류의 꿈이요 목표인 것입니다.

이 목표를 달성하기 위해서는 개발과 보전의 문제를 비롯하여 지역의 환경 문제에 대한 보다 깊이 있고 체계적인 연구가 뒷받침되어야 할 것입니다.

이러한 의미에서 제주대학교 환경연구소와 제주발전연구원이 업무제휴협약을 체결하는 일은 제주발전사에 오래 기록될 학문적 연대일 것입니다.

두 기관은 제주의 청정환경이 영원한 유산임을 공동인식하고 그 보전과 효율적 관리방안을 연구하여 지역발전에 기여하기로 합의하였습니다.

앞으로 두 기관은 제주의 청정환경을 보전하기 위한 방안들을 체계적으로 연구하여 실행 가능한 대안들을 제시하게 될 것입니다.

특히 오늘 업무협약 조인식과 더불어 <제주 지하수 영원한 자원인가?>라는 주제로 공동학술세미나를 개최하게 되었습니다.

두 기관이 합의하여 세미나 주제로 <지하수>를 선정한 것은 제주 지하수의 귀중함에 대하여 대중적인 관심을 불러 일으키고, 물을 낭비함으로써 초래될 수 있는 불행을 예방하자는 뜻에서 비롯되었습니다.

3월 22일은 <제7회 세계 물의 날>이었습니다.

지구촌이 물의 날을 정한 이유도 물에 대한 가치를 제대로 인식하고, 효율적으로 이용하자는 취지를 내포하고 있습니다.

제주 지하수가 영원한 자원이 되기 위해서는 우리 모두의 공동노력이 필요합니다. 지하수 문제와 관련하여 도민의 최대 관심사항인 품질 좋은 지하수를 보전하고, 이를 합리적으로 이용하기 위한 보다 구체적인 방안들이 이 세미나를 통해 모색되어 지기를 기원합니다.

오늘 세미나에서 주제 발표를 해주실 발표자, 사회자, 토론자 여러분께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.

감사합니다.

1999년 3월 24일

제 주 발 전 연 구 원  
원 장 이 문 교

## 청정국제 도시로 발돋움하기 위한 청정 인프라 구축

오늘 제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소간 업무제휴협약을 체결하는 동시에 우리 고유의 청정자원인 물에 대한 공동학술세미나를 개최하게 되었습니다.

매우 바쁜 일정에도 불구하고 뜻깊은 행사를 빛내주시기 위해 참석하여 주신 우근민 제주도지사님, 제주대학교 조문부 총장님, 내외귀빈과 관련교수님, 환경에 관심을 갖는 지역주민과 공무원 여러분께 고마움을 표합니다. 아울러 세미나에서 주제를 발표해주실 발표자, 사회자와 토론자 여러분께도 깊은 감사를 드립니다.

환경은 지역이나 국가의 문제를 넘어서 지구촌의 이데올로기로 변모했습니다. 21세기에서는 용수부족에 따른 물 전쟁이 일어날 수도 있다는 보고서가 나온 지도 오래되었습니다. 이미 서방 선진국들은 청정기술을 무역 규제 수단으로 활용하는 환경패권주의에 돌입하였습니다.

지금, 우리는 경제난국에 처해있다 하더라도 이에 대처하지 않으면 경쟁력 확보는 커녕 국제 미아가 될 위기에 처해 있습니다.

이의 연장선에서 민선2기 도정의 핵심과제도 청정에 근간을 둔 국제자유도시지정과 그 개발입니다.

이 중차대한 과제를 효과적으로 수행하기 위해서는 기존의 환경틀에서 과감히 탈피하여 실효성 있는 정책을 제시해야 합니다.

새로운 환경패러다임에 따른 기본 인프라는 지역내 관련 연구기관과의 상호업무제휴로 구축되리라 믿습니다. 이런 취지가 두 연구기관에 업무제휴협약체결의 동기를 부여했을 것이라 생각합니다.

주지하다시피 제주도의 청정자원은 물, 곧 지하수입니다.

이에 대한 합리적 조사·추정의 결여로 지하수에 대한 논쟁은 항상 잠복 상태에 있습니다. 본 공동 학술세미나를 통해 이런 논쟁사항들이 하나씩, 둘씩 해소될 것입니다. 이러한 노력이 지역의 발전을 가져올 것이라 믿습니다.

제주발전연구원은 본 도의 핵심산업인 관광, 농·축·수산과 지역경제, 환경분야의 정책수립 및 이들의 각종 대안을 제시하는 기관으로 자리 매김 되었습니다. 이에 따라 지역발전을 위한 훌륭한 연구업적을 쌓으리라 봅니다.

제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소가 각기 업무를 제휴하여 지역과제를 수행한다면 제주의 청정자원은 어느 선진국보다 못지 않게 보전·관리되어 지역의 국제경쟁력 확보는 물론이거니와 후손들에게 쾌적한 환경을 물려줄 수 있다고 생각합니다.

그리고 두 기관의 상호이익을 증대시키는 사업을 수행함으로써 도외 지역출신의 인재를 최대한도로 유치하는 긍정적 효과도 나타나리라 봅니다. 특히 청정자원을 잘 보전·관리하는 대안을 제시하기 위한 두 기관의 업무제휴가 청정국제자유도시로 가는 환경인프라를 구축하는데 촉매 역할을 수행하리라 믿습니다.

아무쪼록 업무제휴 협약이 제주의 환경보전에 기여할 것으로 기대하면서 바쁘신 가운데도 참석하여주신 여러분께 다시 한번 고마움을 전합니다.

감사합니다.

1999. 3. 24

제주대학교 환경연구소  
소 장 현 영 진

## 청정환경은 제주발전의 초석

「新천년」을 여는 「희망의 섬」 제주미래 설계를 하고 있는 중요한 시기에, 오늘 제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소간 연구업무제휴 협약을 체결함을 진심으로 축하합니다.

그리고 자리를 함께 해주신 존경하는 조문부 제주대학교 총장님을 비롯한 각계 인사와 교수, 전문인 그리고 공직자 여러분께도 감사의 말씀을 드립니다.

저는 평소 제주발전연구원이 연구기반 확충에 깊은 관심을 가져 왔으며, 이문교 원장님과도 기회가 있을 때마다 제주발전연구원의 연구기능을 충실하게 할 수 있는 방안에 대하여 여러 가지 협의를 하여 왔습니다.

그 뜻은 제주발전연구원이 제주발전을 위한 정책연구를 수행함에 있어서 중추적인 연구기관으로서의 위상을 확립하고 그 실행력을 키우기 위한 것이었습니다.

제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소가 업무제휴를 하는 일은 두 연구기관이 보다 충실하고 전문적인 연구를 하는데 도움이 될 뿐만 아니라 제주도 발전을 위한 환경분야의 연구수준을 한 차원 높이는 의미있는 연대라고 생각합니다.

21세기는 환경의 세기라고 합니다. 이 말의 의미는 결국 21세기에 가장 소중한 자원은 청정한 환경이라는 뜻이라 하겠습니다.

제주도가 국제적인 관광지로 각광을 받고 있는 것도 제주의 청정한 환경 때문이며, 제가 역점을 두고 추진하고 있는 국제자유도시 건설도 청정한 환경이 조성돼 있음으로 해서 가능한 것입니다.



국제자유도시는 21세기 제주 생존을 위한 제주의 기본 설계입니다.

우리가 홍콩 등 다른 경쟁도시와 확실히 차별화 할 수 있는 것은 친환경적인 국제도시를 건설할 수 있다는 것입니다.

제주의 청정환경은 도민의 생활과 관광, 산업, 제주의 미래 등 모든 부문에 걸쳐 제주의 경쟁력을 높이는 가장 중요한 자원이며, 현재보다도 미래에 더 큰 진가를 발휘하게 될 것입니다.

저는 제주의 청정환경을 보전하며, 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이 실현될 수 있도록 최선을 다할 것입니다.

그 일환으로 이미 제주도의 특성에 적합하고, 제주도가 지향하는 청정환경을 보전하기 위하여 제주도의 환경기준을 환경 선진국인 EU와 스위스 수준으로 강화하였고, 도민과 함께 환경정책을 수립하고 시행하기 위하여 늘푸른 제주 21을 수립중에 있습니다.

두 연구기관이 업무제휴협약을 체결하는 목적에서 밝혔듯이 제주의 청정환경이 우리 모두의 영원한 자산으로 보전될 수 있도록 체계적인 연구와 정책대안들을 제시하여 주실 것을 당부드립니다.

그리고 오늘 제주발전연구원과 제주대학교 환경연구소가 공동주최하는 <제주 지하수 영원한 자원인가?>라는 본 세미나의 주제도 매우 시의 적절한 것으로 생각하며, 지하수를 자원으로 인식하게 하는 새로운 시각을 갖는데 도움이 될 것입니다.

이 행사 준비를 위하여 애쓰신 이문교 제주발전연구원장님과 현영진 제주대학교 환경연구소장님을 비롯한 관계자 여러분께 다시 한번 감사를 드립니다.

1999년 3월 24일

제주도지사 **우근민**

## 새로운 천년 시대의 대비

지역의 주요 현안들에 대하여 정책대안을 제시하는 제주발전연구원과 저희 대학의 환경연구소간에 업무제휴협약을 조인하는 행사를 거행하게 된 것을 진심으로 축하드립니다.

아울러 조인식이 끝난 후 열리는 공동학술세미나는 수자원 관리의 알찬 대안을 제시할 것으로 믿습니다.

1760년 산업혁명이후 인간은 끊임없이 경제적 욕구를 충족시키는 노력을 하였습니다. 그 결과 산업사회가 도래하였고, 이로 말미암아 문명의 이기를 누리면서 삶이 편리해졌습니다. 그러나 이에 상응하는 환경오염이 도처에서 발생하고 있습니다.

몇 개월 후이면 20세기가 접히고 새로운 천년시대가 펼쳐집니다. 흔히들 21세기에는 지식·정보·환경산업이 시대를 이끌어 갈 것이라고 합니다.

특히 오염이란 글로벌이슈를 어떻게 해결하느냐의 환경이데올로기가 지구촌을 뜨겁게 달굴 것으로 생각됩니다.

지금 우리는 대내외적 난국에 처해있습니다. 그렇지만 이에 대비해야 합니다. 그것은 바로 환경기초인프라를 확보하는 것입니다. 군살을 빼는 구조조정도 이 방향으로 나가야 합니다.

이럴 때 도정의 핵심사업인 국제자유도시 와 메가리조트개발의 필요충분조건들이 충족됩니다. 뿐만 아니라 새로운 천년시대에 친환경개발이란 경쟁력도 확보됩니다.

이런 면을 고려한다면, 두 기관의 업무제휴는 시의적절하다고 생각합니다.

이로 인해 개발과 보전의 논쟁을 거두어드리는 계기도 마련될 것으로 생각합니다. 결국 이런 계기는 개발에 대한 사회적 연대감을 조성합니다.

이것이 곧 국제자유도시로 가는 첩경이라고 봅니다.

이제 제주도 산하의 연구원과 대학연구소의 실질적인 협동연구체제 구축이라는 사업의 첫 걸음을 내디뎠습니다. 지도 환경연구소장에게 타 기관과의 업무를 제휴하라는 제안을 해왔습시다만 이렇게 빨리 성사되리라고는 생각하지 못했습니다.

이를 시작으로 환경뿐만 아니라 그 외 분야로도 업무제휴가 확대되었으면 합니다. 그래야만 모든 면에서 열악한 지역의 자구력이 배양될 것입니다. 우리 모두 이해관계 여부를 떠나 이 행사에 격려와 용기를 불어넣읍시다.

오늘 조인되는 협약으로 제주도의 환경보전·관리에 근간을 둔 국제자유도시와 메가리조트 건설이라는 새로운 개발모델이 창출될 것입니다. 이런 환경을 중시하는 패러다임이 새로운 천년시대에 개발의 경쟁력을 확보할 것입니다.

끝으로 이문교 원장님의 업무제휴제안을 흔쾌히 승낙하여 바쁘신 일정에도 행사에 참석하신 우근민지사님께 감사를 드립니다.

본 행사준비에 애쓰신 제주발전연구원 이문교원장님과 연구원·사무직여러분, 제주대학교 환경연구소 관계자여러분께 사의를 표합니다. 또한 공동학술세미나에서 주제를 발표하실 발표자·사회자·토론자, 그리고 여러 내외귀빈과 관련 교수님께도 거듭 고마움을 표합니다.

이것으로 축사에 가름하겠습니다.

고맙습니다.

1999. 3. 24

제주대학교 총장 조 문 부

주 제 발 표

제주 지하수 영원한 자원인가?

기초강연 **21세기를 대비한 제주도의 물관리 정책방향**  
우근민 / 제주도지사

제1주제 **21세기 지구촌의 물 현황과 전망**  
김 승 / 한국건설기술연구원 수자원환경부장

제2주제 **제주도 지하수보전을 위한 환경영향평가의 발전방향**  
홍준석 / 환경부 환경평가과장

제3주제 **제주도 수문지질에 관한 조사·연구 연혁과  
지하수의 합리적 이용을 위한 과제**  
고기원 / 제주도수자원개발사업소 연구원

## 21세기를 대비한 제주도의 물 관리정책 방향

우    근    민  
(제 주 도 지 사 )

오늘 다가오는 21세기 전략자원으로서 제주 지하수의 보전과 관리방안을 모색하는 토론의 장이 마련된 것을 매우 뜻깊게 생각합니다. 고대 그리스 철학자 탈레스는 “물은 만물의 근원”이라고 말한 바 있습니다. 굳이 이 말을 빌지 않더라도 물은 인간 생존의 필수 요소이며, 인류의 문화·문명생활에 있어 가장 기본적인 요소라는 것은 누구도 부인할 수 없는 사실입니다. 인간의 몸은 70%가 물로 이루어졌으며, 인류 4대 문명의 발상지가 모두 물이 풍족한 지역이라는 데서도 이는 여실히 증명된다 하겠습니다. 과학이 발달하고 인간의 생활이 현대화하면서 삶의 질에 대한 관심이 그 어느 때보다 높아지고 있습니다. 하지만 “물 문제”의 해결은 “삶의 질” 이전에 “삶” 그 자체의 문제라는 점을 강조하고 싶습니다.

전문가들은 “20세기가 석유자원으로 인한 분쟁의 시대였다면 21세기에는 물이야말로 엄청난 분쟁의 씨앗이 될 것”이라고 경고하고, “물 문제의 해결을 위한 국가간 공조체제 구축”의 필요성까지 제기하고 있습니다. 특히, 물인 경우 석유와는 달리 대체할 수 있는 재원이 전혀 없기 때문에 물로 인해 빚어진 분쟁의 파장은 인류가 맞는 최대의 재앙이 될 수 있습니다. 이러한 조짐은 이미 가시화 되고 있습니다. 메소포타미아 문명의 발상지인 유프라테스강 유역 시리아, 터키, 이라크 등이 이 강의 수자원 이용을 둘러싸고 갈등을 빚고 있습니다. 또 싱가포르에 대부분의 용수를 공급하고 있는 말레이시아 조후바루지역 주민들은 싱가포르의 경제적 풍요에 대해 “우리가 물을 주지 않으면 하루아침에 무너질 모래성”이라고 냉소적인 반응을 보입니다. 이는 바로 물이 분쟁의 발미가 되고, 가공할 무기가 될 수 있음을 극명하게 보여주는 사례입니다.

UN이 1992년 “리우환경회의”의 건의를 수용하여 1993년부터 매년 3월 22일을 세계 물의 날로 지정·선포하고 기념하는 것도 다가올 재앙의 싹을 잘라내야 한다는 절실한 요구 때문입니다. 사실, 인류가 물의 중요성을 인식하고 물 부족 사태를 심각하게 우려하게 된 것은 그리 오래된 일이 아닙니다. 물은 필요하면 언제, 어디서나 얻을 수 있는 것으로 여겨 온 것입니다. 20세기 막바지에 이르러 물의 소중함을 일깨우기 위한 범 지구적인 노력이 시작됐다는 것은 미래 인류의 생존에 있어 수자원 보전과 개발이 그만큼 절박해졌음을 말해 주는 것이며, 또 한편으로는 지금까지의 무지와 오만을 이제 비로소 뼈저리게 느끼게 되었음을 보여주는 것에 다름 아닙니다. 이미 지구상 10억 이상의 인구가 물 부족으로 인한 고통을 감수하고 있으며, 2025년에 가면 세계 30여 개국 25억 이상의 인구가 물 기근에 시달리게 될 것이라는 암담한 예측도 나오고 있습니다. 이것은 결코 먼 나라의 이야기도, 남의 이야기도 아닙니다. 바로 우리 발등에 떨어진 불입니다. 더 이상 물 문제를 안이하게 방치한다면 우리도 그러한 절체절명의 위기를 맞이하게 될 가능성이 큼니다.

UN산하 국제인구행동연구소(PAI)는 벌써 우리 나라를 “물 부족 국가”로 분류하고 있습니다. 이 보고서는 지속적으로 수자원을 개발하고 물 소비량을 줄이지 않으면 21세기에는 물 기근 국가로 전락할 것이라고 지적하고 있습니다. 특히 주목할 것은 전국적으로 용수 공급능력이 한계에 육박했다는 점입니다. 우리 나라의 연간 용수 공급능력은 310억 톤인데 비해 현재 사용량은 290억 톤으로 물 공급 예비율이 아직까지는 7%의 여유가 있으나, 2006년에 가면 이 수치가 1.7%로 크게 떨어질 것이라는 분석입니다. 게다가 우리 나라는 강수량의 2/3 이상이 바다로 유출되거나 대기 중으로 증발하여 유실되고 있는 실정입니다. 이에 따라 우리 나라는 세계 평균보다 많은 강수량에도 불구하고 인구 1인당 사용가능량은 세계 평균치에 현저히 밀리고 있습니다. 이는 새로운 수자원 개발과 기존 수자원의 합리적 이용 방안 마련이 대단히 시급한 국가적 정책과제임을 응변해 주고 있습니다.

이러한 상황은 제주도라고 해서 예외일 수 없습니다. 돌이켜 보면 우리 제주 선인들의 역사에는 물을 얻기 위한 치절한 노력이 점철돼 있습니다. 멀리 갈 것도 없이 1970년대 이전까지만 해도 제주도민들은 식수마저 봉천수·용천수·빗물을 이용해야 하는 비참한 형편이었습니다. 물을 구하는 일은 맑고 깨끗한 물이라는 지금으로서는 지극히 당연한 조건이 아니라, 당장의 목마름이라는 본능적 생존욕구를 충족하는 일이었습니다. 제주의 물 문제 해결에 서광이 비친 것은 전국적인 개발연대인 1970년대에 들어 적극적인 지하수 개발사업이 추진되고 지하수 개발 기술이 발전되

면서부터입니다. 그것은 어떤 의미에서 도민의 생활에 혁명적인 변화를 가져왔습니다. 고난의 세월을 뒤로하고 제주 지역사회에 활력과 도약의 기반을 제공해 주었습니다. 그러나 그 아픈 기억, 가슴 저린 과거는 이제 먼 옛날의 일로 잊혀지고 있습니다. 한 그릇의 물을 얻기 위해 삶의 터전마저 옮겨 다녀야 했던 아픈 기억들은 잊혀지고 있으며, 오히려 우리 고향 제주에는 더 이상 물을 구하기 위해, 맑은 물을 찾기 위해 애를 태우는 일이 없을 것이라는 안이한 의식이 팽배해 있는 것 같습니다. 이는 대단히 우려할 만한 상황입니다. 최근에 와서 지하수위 하강, 해수침투, 수질오염에 대한 우려가 간헐적으로 제기되고 있지만, 아직도 물 보전을 위한 공동의 의지가 확고하게 뿌리내리지 못하고 있습니다. 저는 이러한 현실을 직시하여 21세기에 대비한 수자원 정책의 방향을 설정하고, 이를 강력히 추진해 나가고자 합니다.

제주의 지하수는 세계적인 수질을 지닌 화산암반수로서 우리고장 유일의 지하자원입니다. 제주의 지하수는 제주의 자랑이자 제주도민 모두의 공동자산이며 생명수인 것입니다. 이러한 관점에서 볼 때 무엇보다도 중요한 것은 지하수의 공개념 확립입니다. 이것은 저의 확고한 의지이자 21세기에 대비하는 수자원 보전·관리정책의 최우선 과제라고 확신합니다.

제주도에는 1980년대 들어 관광 관련시설 및 감귤원·비닐하우스·어류양식장 등의 급격한 증가에 따른 용수를 지하수로 충당하면서 소규모 지하수 관정시설 개발이 폭발적으로 늘어났습니다. 특히, 제주도개발특별법이 제정·공포되고 여기에 지하수 개발과 이용에 관한 규제가 법제화되기 이전까지는 사용자의 편의에 의해 무분별한 지하수 개발이 이루어져 왔습니다. 물과 관련한 제주의 역사와 오늘의 수자원 관리 실태 그리고, 필요한 용수를 자체적으로 해결할 수 밖에 없는 지역 특성 등 제반 상황을 종합적으로 고려할 때 지하수의 공개념적 관리체계 확립은 21세기를 대비한 제주도 지하수자원 관리의 첫 단추가 될 수 밖에 없습니다. 여기에는 지하수의 효율적 개발·이용, 체계적 보전·관리, 최적 관리기법 개발 등이 핵심사항으로 포함될 것입니다. 이러한 인식의 바탕 위에서 제주도는 몇 가지 중요한 정책을 시행중이거나 계획하고 있습니다. 광역용수 공급체계 구축, 도 전역 지리정보시스템(GIS) 구축, 지표수 및 용천수의 개발·이용 확대, 지하수 환경조사의 지속적 추진, 지하수 수질 보전을 위한 환경기초시설 조기 완비, 물 관리 업무의 일원화 등이 바로 그것입니다.

첫째, 광역용수 공급체계의 구축은 용수 공급 능력과 관리체계의 효율성을 확보

하고자 합니다. 현재 제주도가 추진하고 있는 1단계 제주시 및 동부권, 2단계 서부권 사업이 완료되면 도 전역의 안정적 용수공급 체계의 확보로 사설관정 이용자들을 상수도 이용자로 전환시킴으로써 지하수 낭비 요인을 제거하고 공공적·총량적 지하수 관리체계를 조기에 구축할 수 있는 기반이 마련될 것입니다. 아울러 지하수 공개념 정신에 입각하여 소규모 관정 개발을 지양하고, 지하수 공동이용의 원칙에 충실함은 물론, 용수 공급체계의 불균형도 해소함으로써 “제 2의 물혁명”을 가져오게 될 것입니다.

둘째, 현재 해발 200~600m 사이의 중산간지역에 구축된 지리정보시스템을 도 전 지역으로 확대하고자 하는 것은 도 전역의 지하수·생태계·경관의 합리적 보전·관리방안을 마련하는데 목적을 두고 있습니다.

전국 최초로 추진되고 있는 도 전역 지리정보시스템 구축사업이 완료되면 보전해야 할 지역과 개발이 가능한 지역이 명확하게 구분됨으로써 “선 보전, 후 개발”의 환경보전 체계가 완성될 것입니다. 또한 환경적합성 사전 평가시스템이 동시에 구축되어 각종 개발사업 계획수립과 시행이 보다 친환경적으로 이뤄질 수 있음은 물론, 토지이용현황 등 각종 지리정보의 통합관리로 행정의 효율성이 극대화될 것입니다.

셋째, 도내 지표수·용천수 이용을 확대해 나가는 것도 중요한 정책과제의 하나입니다. 지금까지 제주도는 지하수 일변도의 수자원 개발정책을 펴왔다고 할 수 있습니다. 제주도는 지형·지질·토양 특성상 지속적으로 이용 가능한 수자원이 지하수자원에 한정돼 있습니다. 지하수 개발이 활발히 전개되면서 용천수나 봉천수에 매달려야 했던 고통에서 벗어난 도민들의 입장에서 보더라도 이는 지극히 당연한 일이기도 했습니다. 그러나 이러한 정책은 장기적 안목에서 볼 때 안정적 물 공급 능력을 잠식할 우려가 큼니다. 실제로 도내 지하수 관정들은 대부분 도심지역이나 감귤원 밀집지역 등 해발 200m 이하 지역에 개별 편의에 의해 난개발됨으로써 일부 지역에서는 해안 용천수의 용출량 감소, 지하수위 하강, 시공 부실로 인한 오염물질 유입 등 부작용을 초래하고 있습니다. 특히, 지하수 공동이용의 원칙조차 정립되지 않은 상태에서 무리하게 개발했다는 데에 문제의 심각성이 있습니다. 따라서 용천수 및 지표수 현황을 정확히 조사하고 저수지 건설을 포함한 이들 수자원의 개발·이용을 확대하는 것은 지하수의 난개발 방지와 오염 예방, 더 나아가 21세기 물부족 사태에 적극적으로 대처하기 위해서도 반드시 필요한 조치라 하겠습니다.

넷째, 지하수를 둘러싸고 있는 수문지질 환경에 대한 조사의 지속적인 추진은 지리정보시스템 구축과 함께 지하수 부존량 등 지하수의 실제 규명을 위해 반드시 필



요한 작업입니다. 이를 통해 수문지질도 및 수자원정보 종합관리 시스템을 완성함으로써 지하수 관리의 과학화, 부존 수자원 개발의 극대화 및 이용의 합리화가 도모될 것입니다.

다섯째, 지하수질 보전을 위한 환경기초시설을 조기에 완비함으로써 수질오염을 미연에 방지하는 것도 뒤로 미룰 수 없는 일입니다. 지하수 오염은 지표에서 시작됩니다. 지하수 오염은 토지 이용과 각종 시설물에서 발생한 오염물질이 지하로 침투하는데서 비롯되고 있는 것입니다. 따라서 광역쓰레기 소각장과 축산폐수 및 생활하수 처리시설 등 환경기초시설을 확충하여 오염을 차단하는 것은 수질 보전을 위한 최소한의 조치입니다.

여섯째, 수자원 보전·개발체계의 확립 못지 않게 중요한 것이 이를 지속적이고 일관되게 관리할 수 있는 수자원 업무체계의 일원화입니다. 이것은 도민 모두의 공동자산인 지하수관리 시스템을 개인의 개발·이용 체계에서 공공적·총량적 관리체계로 전환하는 작업의 일환입니다. 지난번 행정조직 구조조정시 지금까지 다원화되어 있던 수자원 업무를 수자원개발사업소로 일원화한 바 있습니다만, 앞으로 광역상수도 1단계 사업이 완료되는 시점에서는 제주도의 수자원 개발·공급·관리업무를 총괄할 수 있는 조직을 설치하는 것도 고려해야 할 것으로 판단하고 있습니다.

그러나 제도적 장치가 완비된다 하더라도 주민의식의 바탕이 형성되지 않는다면 이는 빛 좋은 개살구에 지나지 않습니다. 앞으로의 시대에 있어 물이 얼마나 중요한 것인지, 물 절약을 통한 지하수 보전의식이 얼마나 절실한 것인지에 대한 주민 공감대의 조성이야말로 수자원 정책의 알파요, 오메가라해도 지나침이 없습니다. 굳이 재론할 필요도 없이 오늘날 우리가 처한 물 부족과 오염에 의한 생존의 위기는 천재(天災)가 아니라 인재(人災)입니다. 마치 쓰고 또 써도 무한대로 나오는 화수분이라도 되는 것처럼, 아무리 오·폐수를 버려도 오염되지 않는 자기정화 기능을 가지고 있거나 한 것처럼, 우리들은 지하수자원을 무원칙·무계획하게 이용해 왔습니다. 이러한 그릇된 사고와 물에 대한 무관심에서 깨어나도록 하는 주민 계도·홍보활동의 강화는 한시도 늦출 수 없는 일입니다. 우리는 이미 무분별한 산업폐수·생활하수의 방류와 무계획한 지하수 관정의 개발로 적지않은 수질오염의 피해를 입고 있습니다. 최근 도내 지하수의 주된 오염물질로 대두되고 있는 질산성질소는 화학비료 과다사용에 그 원인이 있는 것으로 밝혀지고 있습니다. 또한, 현재 도내 전체 지하수 개발량의 불과 50% 이하만이 실제 이용되고 있다는 사실은 지금까지 사전·사후 관리

체계와 주민의식 계도가 얼마나 허술했는지를 명확히 증명하고 있습니다. 이는 이 시대를 살아가는 우리들 자신의 피해에 그치지 않고 미래 우리 후손들에게 재앙과 환난을 잉태한 죽음의 땅을 유산으로 남겨주는 것에 다름 아닙니다. 바꿔 말하면 수자원의 보전과 합리적 이용체계의 확립은 우리 세대에게 부여된 역사적 책무라는 것입니다.

오늘의 현실이 개선되지 않고 이어진다면, 그것은 우리 세대의 역사적 과오로 남김없이 후세에 전해질 것입니다. 후손들로부터 저주받은 땅을 남겨준 부끄러운 조상의 오명을 쓸 것인가 아니면, 희망과 복지의 땅을 남겨준 조상으로 존경과 추앙을 받을 것인가를 이제 우리 스스로 결정해야할 시점입니다. 그리고 그것은 선택의 문제가 아니라 우리의 의식과 행위에 의해 저절로 규정지워질 것입니다. 따라서 그 누구라도 제주의 지하수를, 수자원을 무분별하게 개발하고 오염시킨다면 전 도민의 이름으로 이를 응징하고 그에 상응하는 댓가를 치르게 해야 합니다. 그것은 잘못된 일이 재발하지 않도록 사회구성원 모두에게 경종을 울려주는 의미에서도 중요합니다. 새로운 시대의 주역인 우리 후손들에게 새로운 천년, 이천년의 제주를 위해 우리가 물려줄 수 있는 것 중에 깨끗한 환경과 맑은 물 만큼 크고 소중한 것은 없습니다. 이를 바탕으로 친환경적 개발정책을 시행할 때 비로소, 우리는 “삶” 그 자체와 “삶의 질”을 동시에 물려줄 수 있습니다.

현재 제주도는 공기업 “제주도지방개발공사”를 설립하고 “삼다수” 상표의 먹는샘물을 개발·시판하고 있습니다. 제주지방개발공사는 당초 도의 재정에 크게 기여할 새로운 경영수익사업이라는 명분과 함께 의욕적인 출범을 했으나, 기대와는 달리 경영상 많은 어려움에 시달리고 있습니다. 현재 전문경영인을 공개채용하고 경영의 일대 쇄신을 꾀하고 있는 만큼 좋은 성과가 있을 것으로 기대하고 있습니다만 결과는 좀 더 시간을 두고 지켜보아야 할 것입니다. 그러나 그보다 더 중요한 것은 인체로 치면 피와 같은 지하수, 제주도민의 생명수가 상업적 이윤 추구의 대상이 되는 것이 과연 바람직한가 하는 점입니다. 저는 어떤 명분으로도 더 이상은 수익을 목적으로 하는 사업의 대상으로 제주의 지하수가 개발되어서는 안 된다고 생각합니다. 이것은 저의 일관된 소신이며 철학입니다. 지구상 어디를 둘러보아도 이 제주도를 제외하고는 섬에서 대륙으로 물을 파는 곳은 없습니다. 이 사실은 우리에게 많은 무언의 메시지를 전달해 주고 있습니다. 그 중에는 우리가 질 좋은 물을 풍부하게 갖고 있다는 자부심 이전에, 이 물의 소중함을 알고 다시없이 귀한 보석으로 다듬어 나가야 한다는 교훈도 담겨 있습니다.

물이 없는 섬은 생명이 없는 섬, 죽음의 섬입니다. 물이 없었다면 오늘의 제주는 없었을 것입니다. 이것은 물이 없다면 제주의 미래도 없음을 의미합니다. 거듭 강조 하거니와 저는 21세기를 여는 민선 도지사로서 모든 수자원 정책의 수립과 추진의 기본 방향을 미래 제주의 건설, 동북아 거점도시의 지향이라는 원대한 구상에 맞춰 설정하고 추진해 나갈 것임을 분명히 밝힙니다. 부디 오늘 이 시간이 제주도의 물 관리정책 수립에 단단한 초석을 놓을 수 있도록 알찬 결실을 기대합니다.

감사합니다.



# 21세기 지구촌의 물현황과 전망

김 승

(한국건설기술연구원 수자원환경부장)

## < 목 차 >

- I. 머리말
- II. 세계의 물사용 현황 및 2025년 전망
- III. 세계 작은 섬의 수자원 현황
- IV. 요약 및 맺음말

## I. 머리말

국제연합 산하의 UNESCO가 1998년에 발간한 'World Water Resources'란 보고서에는 세계의 수자원 문제를 두가지로 구분하여 기술하고 있다. 첫째는 물의 분포가 지역과 국가에 따라 천차만별이라는 것이다. 비교하는 지표로서 1년동안의 평균 강수량에서 평균증발산량을 제외한 재생가능한 수자원량을 인구수로 나눈 값을 사용하였는데, 물이 풍부한 캐나다나 알래스카 같은 지역에서는 이 값이 17만~18만  $m^3/year$ 인 반면에 물이 부족한 북아프리카나 아라비아 반도 국가들은 200~300  $m^3/year$ 수준이었다. 그러니까 물이 부족한 국가와 물이 풍족한 국가 사이에는 900배의 차이가 있는 셈이다.

두 번째 문제는 인구증가로 1인당 사용할 수 있는 물의 양이 날로 줄어간다는 것이다. 세계인구가 1945년에 25억명, 현재는 55억명 그리고 2050년에는 100억명으로 1945년부터 2050년까지 105년동안에 인구가 4배로 불어난다는 것이다. 따라서 우리가 쓸 수 있는 절대적인 물의 양은 그대로 있으므로 1인당 쓸 수 있는 물이 1/4로 줄어든다는데 문제가 있다는 것이다. 1인당 5000 m<sup>3</sup>/year미만이면 충분하다고 할 수 없는데 현재 세계인구의 76%가 여기에 해당된다. 더욱이 35%는 2000 m<sup>3</sup>/year 미만으로 물부족을 심각하게 느끼고 있거나 핍박을 받고 있다. 그런데 2025년이 되면 세계인구의 대다수가 이러한 상황에 놓이게 된다는 것이다.

우리나라의 현재 1인당 재생가능한 수자원량은 약 1500 m<sup>3</sup>/year이다. 따라서 물 부족 국가로 분류되며 인구증가에 따라 갈수록 상황은 어려워질 전망이다. 제주도 는 인구를 57만명으로 강수량의 44%를 재생가능한 수자원량으로 가정할 때, 1인당 재생가능한 수자원량은 약 2600 m<sup>3</sup>/year이다. 따라서 지표상으로는 전국평균보다는 양호한 수준이라고 할 수 있다.

제주도는 면적이 1845km<sup>2</sup>로서 국제연합의 분류에 따르면 작은 섬(small island) (면적이 2000km<sup>2</sup>미만인 섬)으로 분류된다. 작은 섬의 수자원 이용은 주로 생활용수이며 수원은 주로 지하수이다. 세계적으로 작은 섬의 지하수는 양적으로나 질적으로 매우 취약하며, 일부 섬들은 이미 지속가능한 생산량을 초과하여 사용되고 있는 실정이다.

본 원고에서는 세계의 수자원 현황과 2025년의 전망을 살펴보고자 한다. 또한 제주도의 수자원 현황을 인식하는 데 도움을 주고자 세계 작은 섬의 수자원 사용 현황을 파악하여 제시하고자 한다. 이 원고의 내용이 지속가능한 제주도의 수자원 관리 계획을 수립하는 데 조금이라도 도움이 되기를 바란다.

## II. 세계의 물사용 현황 및 2025년 전망 (Shiklomanov, 1998)

수자원현황과 전망을 평가하기 위해서는 자연하천의 유출과 수문 자료만으로는 미흡하다. 인간에 의한 변화를 충분히 고려해야 한다. 최근 몇 십년간 인간활동은 수량과 수질 측면에서 재생가능한 수자원에 큰 변화를 유발하였다. 이러한 인간활동으로 발생하고 있는 심각한 환경오염문제는 사실 피할 길이 없으며, 수자원 전망

에 큰 영향을 끼칠 것이다. 또한, 이산화탄소 농도의 증가로 발생하고 있는 지구온난화는 기온과 강수량을 변화시키므로 수자원전망을 더욱 어렵게 하고 있다. 더욱이 이러한 변화는 지역에 따라 큰 편차를 보이는 것으로 보고되고 있으며, 아직 충분한 신뢰성을 가지고 있는 것도 아니다. 지구기후변화에 의한 인간활동의 영향은 2030~2040년 이후가 되기까지는 예상되지 않는 것으로 평가되고 있다. 따라서 현재의 전망에서는 이러한 기후변화영향을 고려하고 있지 않다. 다시 말하면, 현재의 전망은 가능성이 충분히 있는 지구기후변화를 무시하고 예전처럼 지구기후가 정상성(stationarity: 시간에 따른 경향의 변동이 없음)을 유지한다고 가정하여 작성되었다.

## 2.1 도시용수

도시용수 사용은 도시, 읍면, 부락, 가정에 있는 인구와 그리고 공공서비스 기관이 취수하는 용수량과 직접 관련되어 있다. 이와 같은 공공용수는 도시인구가 직접 관련되어 있는 산업용수도 포함한다. 이같은 공공용수는 도시의 용수공급시스템에서 높은 수질의 물을 필요로 한다. 많은 도시에서 도시용수의 상당 부분이 상업용 채소 또는 가정용 채소를 재배하는 데 사용된다.

공공용수의 양은 도시인구와 제공되는 서비스와 시설에 따라 좌우된다. 예를 들면, 급수 및 배수 관망의 확장정도 또는 지역난방 공급여부에 따라 공공용수의 사용량이 다를 수 있다. 물론, 기후에 따라 큰 차이가 있을 수 있다. 많은 대도시의 현재 취수량은 1인당 하루에 약 300~600 리터이다.

금세기말 유럽이나 북아메리카의 선진국에서는 1인당 도시취수량이 하루에 500~1000 리터까지 증가할 예정이다. 반면에, 주로 농업국가인 아시아, 아프리카 그리고 라틴아메리카 등 개발도상국에서는 공공용수의 1인당 취수량은 하루에 50~100리터에 그치고 있다. 그 중에는 10~40리터에 불과한 곳도 있다.

도시용수 공급시스템으로 취수된 물은 사용된 후 대부분이 수문시스템으로 회귀된다. 따라서 실제로 없어지는 물의 대부분은 상수도와 하수도의 누수, 정원과 공원의 관개 그리고 도로청소에 따른 증발에 의한 것이다. 따라서 용수사용에 따른 순수 소모량은 기후에 달려있다. 덥고 건조한 지역의 순수 소모량은 춥고 습한 지역보다 당연히 많다. 개개인에 의한 순수 소모량은 증발에 비하면 미미하다.

소모량을 상대적으로 나타내는 지표는 대개는 용수사용에 대한 퍼센트로 나타낸

다. 물론 용수사용은 공공용수의 취수와 긴밀하게 관련되어 있다. 따라서, 중앙집중적인 용수공급 및 하수관망 시스템을 갖춘 현대 도시의 1인당 단위 취수량은 하루에 400~600리터이며, 순수 소모량은 대개는 전체 사용량의 5~10%를 넘지 않는다. 중앙집중 시스템과 연결이 안된 개별주택이 많은 소도시의 경우 단위취수량이 하루에 100~150리터 정도일 수도 있다. 이 경우에는 순수 소모량이 40~60%로 상당히 높을 수도 있는데, 지구상에서 이 비율이 습한 북쪽은 낮고 건조한 남쪽은 상대적으로 높다.

세계의 공공용수 공급 개발 추세는 대도시나 소도시를 막론하고 중앙집중적인 용수공급 및 하수처리 시스템을 건설하고, 좀더 많은 빌딩과 많은 인구지역을 연결하는 것이다. 멀지 않은 장래에 1인당 용수취수량이 증가하고 순수 소모량 비율은 더욱 낮아질 것으로 예상된다.

## 2.2 공업용수

공업용수는 냉각, 운송, 세척, 용해 또는 최종생산물의 내용물로 사용된다. 화력 또는 원자력 발전에서 냉각용수로 상당량이 사용된다. 공업용수는 산업의 분류, 생산품의 종류에 따라 큰 차이가 있으며, 같은 특성을 가지고 있다고 해도 기술수준과 생산공정에 따라 크게 좌우된다.

공업용수의 순수 소모율은 사용량(intake)에 비하면 미미하다. 화력발전의 경우는 0.5~3%이며, 다른 산업의 경우 30~40%까지 될 수도 있다.

공업용수의 개발은 세계적으로 수질악화의 원인이다. 많은 국가에서 급격한 산업 발달에 따라 공업용수 사용이 증가하고 그 중의 상당부분이 처리되지 않고 폐수로서 자연하천으로 유입되고 있다. 이와 같은 수질오염에 대한 대비책으로 많은 국가들은 공업용수의 취수와 배수를 줄이기 위한 노력을 적극적으로 기울이고 있다. 1970~80년대부터 공업용수 수요는 안정 추세에 들어갔으며 심지어는 감소현상도 관측되고 있다. 따라서 머지 않은 장래에는 대부분의 국가들이 재이용 용수공급시스템의 사용 추세에 돌입하게 될 것이며, 많은 산업들은 water-free 또는 dry 기술로 전이하게 될 전망이다.

## 2.3 농업용수



토지의 관개는 인류의 식량 공급을 최대화하기 위하여 천년동안이나 사용되어 왔지만 현재와 같은 획기적인 관개면적의 확대는 20세기이후 진척된 것이다. 이와 함께 관개는 여러 국가에서 주요 용수사용 목적이 되었다. 실제로 농업용수는 전체 용수사용의 80%를 점유하고 있다. 1970년대 후반까지 관개가 생산 증가를 보장함에 따라 관개면적의 확대가 강요되었으며 모든 대륙에서는 대규모 관개개발 사업이 추진되었다. 그러나 1980년대에 이르러서는 개발국가나 개발도상국가 모두에서 관개면적의 증가율은 상당히 감소하였다.

현재는 경작지의 약 15%가 관개되고 있다. 하지만 관개지역의 식품생산은 가격으로 볼 때 전체의 약 반을 차지한다. 따라서 관개는 세계인구의 2/3가 고통을 받고 있는 식량부족 문제를 해소하는 데 지대한 역할을 담당하고 있다.

단위 면적에 대한 취수량은 상당히 다르다. 향후 이 값은 관개시스템의 발전과 재배기술의 발전에 따라 변할 것으로 전망된다.

## 2.4 지구 용수사용의 예보

세계 용수사용에 대한 양적 특성을 파악하기 위한 여러 개의 인자가 있다. 이 인자들은 사회-경제적 개발 수준, 인구수, 식생과 기후 그리고 서비스 면적이다. 이러한 인자들의 조합은 용수사용에 대한 총량뿐만 아니라 역동성과 미래의 개발패턴까지도 결정한다.

1995년을 기준으로 지구 전체의 취수량은  $3750\text{km}^3/\text{year}$ 이며 순수 소모량은  $2270\text{km}^3/\text{year}$ 이다. 따라서 취수량 중 61%가 소모된다. 미래에는 전체 용수 취수량은 매 10년마다 10~12% 증가할 것이며, 2025년에는 약  $5100\text{km}^3/\text{year}$ 으로서 현재보다 38%가 증가할 전망이다. 순수 소모량 증가는 취수량 증가보다 약간 낮게 26%가 증가할 전망이다.

현재에는 지구 전체 취수량의 57%, 전체 순수 소모량의 70%가 세계의 주요 관개지역이 위치한 아시아에서 발생된다. 향후 수 십년간은 가장 높은 취수의 증가는 아프리카와 남아메리카(현재보다 1.5~1.6배)에서 그리고 유럽과 북아메리카에서는 가장 낮은 증가(1.2배)가 예상된다.

현재 농업은 전체 취수의 67%를 사용하며 전체 순물소모량의 86%를 차지한다. 1995년의 지구관개면적은 2억5천4백만 ha였으며, 2010년까지 2억9천만 ha로, 2025년에는 3억3천만 ha로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 미래에는 농업용수로 사용되

는 상대적인 비율이 약간 감소할 것으로 예상된다. 왜냐하면 공업용수나 생활용수가 좀더 강하게 증가할 것으로 예상되기 때문이다. 요약하면, 농업용수는 1.3배, 공업용수는 1.5배 그리고 지구 공공용수 공급은 1.8배 증가할 것으로 예상되기 때문이다.

용수사용패턴은 유럽이나 북아메리카 대륙의 경우 현재와 크게 다르지 않은 양상을 보일 것으로 예상된다. 그러나 변동하는 방향은 서로 다를 것으로 예상된다. 1995년을 기준으로 유럽은 공업용수가 전체 취수량의 44%를 차지하는데 2025년에는 50%로 증가할 것으로 예상된다. 북아메리카에서는 현재 40%를 유지하고 있는데 2025년에는 37%로 감소할 것으로 예상된다. 그 이유는 북아메리카로 분류되는 중앙아메리카에서 집중적인 관개가 이루어질 것으로 예상되기 때문이다. 농업용수의 소모량은 유럽이나 북아메리카에서 전체 소모량의 70%를 차지한다.

아시아나 아프리카 그리고 남아메리카에서 용수사용패턴의 주는 농업이다. 1995년에 농업은 취수로 볼 때 전체의 60~82%를 차지했으며, 전체 소모량의 64~92%를 차지하였다. 2025년에는 이러한 지표들은 약간씩 변동될 것으로 예상된다. 2025년에는 공업용수가 현재보다 두 세배로 증가할 것이지만, 남아메리카에서는 20%, 아시아에서는 13% 그리고 아프리카에서는 6%를 초과하지 않을 것으로 예상되기 때문이다. 특이할 만한 것은 아프리카의 경우 전체 순물소모량의 33%는 저수지의 증발로 인해 발생한다는 사실이다.

2025년의 용수사용 증가는 지역에 따라 크게 다를 것으로 전망된다. 제한된 수자원을 가지고 있는 개발국가들은 2025년에 용수사용이 15~35% 정도 증가할 것으로 예상된다. 그러나 충분한 수자원을 가지고 있는 개발도상국의 용수사용량은 아마도 200~300%는 증가할 전망이다.

### III. 세계 작은 섬의 수자원 현황

Falkland(1991)는 작은 섬(small island)을 면적이 2000km<sup>2</sup>미만이거나 폭이 10km 미만인 섬으로 정의하고 작은 섬의 수자원 개발과 관리에 대한 지침서를 발간하였다. 작은 섬을 따로 분류한 이유는 작은 섬은 수문특성, 수자원 평가, 개발 그리고 관리 측면에서 큰 섬 또는 중간 크기의 섬과는 다른 독특한 문제를 가지고 있다고

판단했기 때문이었다. 작은 섬에는 ‘꼬마 섬’(very small island)도 포함될 수 있는데, 꼬마 섬은 면적이 100km<sup>2</sup>미만이거나 폭이 3km미만인 섬으로 정의하였으며, 작은 면적 때문에 담수자원의 개발 사량이 극히 제한된다고 기술하였다. 다음은 UNESCO 사업으로서 수행된 Falkland(1991)의 보고서 내용 중에서 작은 섬의 수자원 개발과 관리에 관련된 내용을 정리한 것이다.

세계적으로 작은 섬의 수자원 개발과 관리의 특징은 기후, 정치, 사회경제, 종족 그리고 기술 측면에서 다양하다는 것이다. 기술 수준에서 용수사용과 관련하여 간단한 방법에서부터 매우 정교하고 복잡하여 고도의 기술과 지원을 필요로 하는 시스템까지 사용되고 있다.

일반적으로 작은 섬의 물사용은 섬이 아닌 다른 곳과 비슷하다. 개개의 섬 또는 몇 개의 그룹으로 묶여진 섬들은 섬의 크기, 기후, 인구, 수자원의 종류와 가용도 그리고 사회경제적 그리고 정치환경과 같은 현지 인자들에 따라 물사용이 제한될 수 있다. 작은 섬의 물사용은 다음과 같이 구분될 수 있다.

- 농촌과 도시의 용수공급
- 농업 특히 작물의 관개
- 공업용수
- 수력발전

### 3.1 생활용수

대부분의 섬에서는 생활용수가 물사용의 대부분을 차지한다. 특히, 인구밀도가 높은 도시화된 섬일 경우 그렇다. 많은 섬에는 관개를 할만한 충분한 땅이나 수자원이 없으며, 고도차가 별로 없는 섬에서는 수력발전의 여지도 거의 없다.

용수 공급은 다음과 같은 사용처를 대상으로 한다.

- 일반 주거 주택
- 관광객 숙소
- 사무실, 상점 그리고 관공서
- 공장

작은 섬에서는 생활용수 사용이 상대적으로 가장 많으며, 개발도상국의 경우 특히

많다. 일부 작은 섬에서는 관광업으로 인한 용수사용이 큰 부분을 차지한다. 작은 섬에서는 일반적으로 대규모 상업지역이나 관공서 또는 공업단지가 개발되지 않기 때문에 이와 관련된 용수수요는 대체로 적은 편이다.

식수는 대개는 음용, 취사, 목욕, 세탁과 청소용으로 사용된다. 식수의 다른 사용으로는 화장실 용수, 냉방, 난방, 냉각, 그리고 가축용수이다. 그러나 바닷물 또는 염수와 같은 비음용수 공급이 위와 같은 목적으로 쓰일 수도 있다. 특히, 일부 섬에서는 비음용수를 화장실용수, 정원용수, 소방용수, 발전소 냉각용수 그리고 수산업에 쓰이는 얼음생산용수로 사용하고 있다. 일부 꼬마섬에서는 염수(brackish water)를 음용 및 취사를 제외한 나머지 목적으로 사용하고 있다.

가정용수

가정용수의 총 사용량은 서비스를 제공받는 인구수와 개인별 단위 사용량에 달려 있다. 표1에는 1인당 하루에 사용하는 가정용수의 양을 리터로 표시하였다.

표1에 제시된 것처럼 1인당 가정용수 사용량은 섬에 따라 큰 차이가 있다. 이 것은 누수와 소비, 물질약 태도 그리고 소비자들이 가지고 있는 물사용기기의 종류가 서로 다르기 때문이다.

<표1> 1인당 생활용수 사용량 (Falkland, 1991) (표내 참고문헌 생략)

Island, Country	Water Use (l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )*	Reference
<b><u>Pacific Ocean</u></b>		
Aitutaki, Cook Is	100	Edworthy(1985)
Cheju(Jeju), R.e.p. Korea	250	Edworthy(1985)
Kosrae(Kusaie), Federated States of Micronesia	40	Heggen(1982)
Majuro, Marshall Is	160	Majuro case study
Nauru	140 <sup>a</sup>	Hadwen(1986)
Rarotonga, Cook Is	1090	Edworthy(1985)
Tahiti, French Ploynesia	1000	French Polynesia country paper(1984)
Tarawa, Kiribati	20-40	AGDHC(1982)
<b><u>Atlantic Ocean</u></b>		
Bermuda	110 <sup>b</sup>	Waller(1982)
Canary Islands, Spain	50-350 <sup>c</sup>	Canary Is case study
Scottish islands, U.K.	400-510	Scottish Is case study

Island, Country	Water Use (l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )*	Reference
<b><u>Indian Ocean</u></b>		
Christmas Island, Australia	1130 <sup>d</sup>	Falkland(1986)
Male, Maldives	60-90 <sup>e</sup>	West and Arnell(1976)
Male, Maldives	180-220 <sup>f</sup>	Edworthy(1985)
Mauritius	270	Rogbeer(1984)
Seychelles	150	Seychelles case study
<b><u>South China Sea</u></b>		
Hong Kong	400	Chan and Chan(1989)
<b><u>Caribbean Sea</u></b>		
Barbados	350 <sup>g</sup>	Goodwin(1984)
Dominica	270 <sup>g</sup>	Goodwin(1984)
St. Lucia	140 <sup>g</sup>	Goodwin(1984)
St. Croix, U.S. Virgin Is	150-270 <sup>h</sup>	Torres-Sierra(1986)
<b><u>Mediterranean Sea</u></b>		
Gozo, Malta	160 <sup>i</sup>	Unesco(1981a)
Menorca, Spain	250	Fayas(1989)
Ibiza, Spain	280	Fayas(1989)
English Channel		
Jersey	140	James(1989)
a	:	includes some industrial usage.
b	:	about 95 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> , or over 85 percent, is from rainwater catchments.
c	:	low valuse in rural areas, high values in urban areas.
d	:	partly due to a high leakage rate from the piped distribution system.
e	:	59 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> (no toilet), 88 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> (with toilet).
f	:	175 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> (bailed wells), 220 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> (pumped wells).
g	:	lowest use of these three islands is on St. Lucia where metering is universal compared to partial metering on the other two islands.
h	:	lower limit for self-supplied from rainwater, groundwater and private water haulers; upper limit for public water supply system.
i	:	1977 value, includes leakage from pipes.
*	:	values are rounded to nearest 10 l.c <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>

### 관광 용수

관광객의 경우 일반 가정보다 용수 사용이 많다. 일반 가정보다 많은 정도는 관광업의 종류에 따라 다르다. 다양한 서비스를 제공하는 특급 호텔의 경우 용수사용은 월등히 많다. 관광객의 용수사용 예를 들면 다음과 같다. (1인당 하루 사용량을 리터로 나타냄)

- Barbados : 500
- Dominica : 300
- St. Lucia : 460
- Seychelles : 550
- Canary Islands : up to 700

관광 용수는 자주 계절에 따라 크게 차이가 난다. 세계적으로 작은 섬에서의 가정용수와 관광용수는 증가 일로에 있다. 그 이유는 1인당 용수 사용량이 증가 추세에 있고 관광객의 수도 증가하고 있기 때문이다.

### 3.2 농업용수

농업용수의 사용은 작물관개와 가축용수 공급이 주 목적이다. 일반적으로 작은 섬에서 가축용수는 극히 적다. 상대적으로 적은 양의 물을 사용하는 관개 작물로서는 양, 카사바 또는 고구마와 같은 뿌리 작물이 경작되며, 용수사용량이 많은 작물로서는 사탕수수과 같은 현금작물(cash crop)을 들 수 있다. 하와이 섬의 경우, 최대 용수사용은 농업이다. 1975년 자료이기는 하지만, 하루에 440만 m<sup>3</sup>의 물을 농업에 사용하였는데 이 양은 전체 수자원 생산량의 66%에 해당되었다.

### 3.3 공업용수

대부분의 작은 섬에서 공업용수 수요는 거의 없다. 특히, 꼬마섬의 경우는 그렇다. 그러나, 상대적으로 크기가 큰 작은 섬의 경우 상당한 공업용수 사용도 있을 수 있다. 하와이섬의 경우는 하루에 150만 m<sup>3</sup>의 물이 공업용으로 사용되고 있으며, 전체 중에서 23%를 차지한다. Mauritius 섬에서는 하루에 93만 m<sup>3</sup> 또는 60%의 물이 공업용수와 관개용으로 사용되고 있다.

### 3.4 기타 용수

많은 수의 작은 섬, 특히 인구가 집중된 곳, 에서는 현존하는 담수자원은 거의 완전히 개발되었거나 초과 개발되었다 (예: Male in the Republic of Maldives). 따라

서 가용한 담수자원을 양질의 물이 필요한 가정용수로 보전하기 위하여 비음용수를 다른 목적으로 사용할 필요가 있을 수 있다. 일반적으로 비음용수는 바닷물, 염도가 높은 지하수 그리고 처리된 폐수에서 얻어진다. 작은 섬에서 비음용수의 일반적인 용도를 나열하면 다음과 같다.

- 화장실 용수
- 소방 용수
- 목욕 및 세탁
- 레크리에이션(예를 들면, 바닷물 수영장)
- 냉각, 특히 화력전기발전과 에어컨디션 플랜트의 용수
- 냉동

### 3.5 비교 및 분석

#### 인구밀도

인구밀도가 높은 섬에서는 대부분의 용수사용은 생활용수 공급 목적이다. 양호한 기후와 지질 그리고 토양 조건을 가진 큰 섬에서는 농업을 개발할 수도 있다. 물 때문에 스트레스를 가장 많이 받는 섬은 대체로 면적은 좁으나 인구가 많은 즉 인구밀도가 높은 섬이다. 표2에는 선정된 작은 섬의 인구밀도를 제시하였다.

표2에 제시된 작은 섬의 인구밀도는 섬에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 적게는 평방 km당 10명미만에서 많게는 30,000명까지 분포되어 있다. 제시된 자료와 비슷한 1989년도의 세계인구밀도가 33인/km<sup>2</sup>이었으므로 대부분의 섬이 상당히 높은 인구밀도를 가지고 있다고 할 수 있다.

섬으로 이루어진 국가안에서도 섬에 따라 인구밀도가 전혀 다를 수 있으며, 같은 섬내에서도 지역에 따라 전혀 다를 수 있다. 대개는 꼬마섬의 인구밀도가 높는데, 이 경우 지하수대 위에 사람들이 살게되므로 지하수가 오염될 가능성이 높다. 특히, 지표층이 얇을 경우 오염을 막기 어렵기 때문에 문제가 심화될 수 있다.

&lt;표2&gt; 선정된 작은 섬의 인구밀도 (Falkland, 1991)

Island, Country	Area (km <sup>2</sup> )	Population [Year]	Population density (persons.km <sup>-2</sup> )
<b><u>Pacific Ocean</u></b>			
Kiritimati, Kiribati	320	2500[1989]	<10
Majuro, Marshall Is	9	7500[1988]	830
Oahu, Hawaiian Is, U.S.A.	1574	**1000000[1989]	640
Tarawa, Kiribati(all)	31	24500[1985]	790
Tarawa, Kiribati(Betio island)	**1	**12000[1985]	12000
Tuvalu(all islands)	24	8200[1985]	340
<b><u>Atlantic Ocean</u></b>			
Bermuda	50	57300[1987]	1150
Fuerteventura, Canary Is., Spain	1729	31000[1988]	20
Gran Canaria, Canary Is., Spain	1558	653000[1988]	420
<b><u>Indian Ocean</u></b>			
Mauritius	1845	**1000000[1988]	540
Maldives(all islands)	298	181000[1985]	610
Male, Maldives	1.3	40000[1984]	30770
<b><u>South China Sea</u></b>			
Hong Kong island	75	1184000[1981]	15790
Singapore	543	2590000[1986]	4770
<b><u>Caribbean Sea</u></b>			
Grand Cayman, Cayman Is	196	25000[1989]	130
New Providence, Bahamas	208	160000[1988]	770
<b><u>Mediterranean Sea</u></b>			
Menorca, Spain	702	67000[1989]	100
Malta	316	340000[1986]	1080
Salamina, Greece	95	28600[1988]	300
Syros, Greece	84	19700[1988]	230
<b><u>East China Sea</u></b>			
Zhoushan Island	472	393000[1988]	830
Cheju, Rep Korea	1840	203000[1985]	110
<b><u>Baltic Sea</u></b>			
Aland, Finland	685	19000[1988]	30
Makassar Strait			
Barrang Lompo, Indonesia	0.185	2400[1986]	**12980
Pulau Kodingareng, Indonesia	0.17	3000[1986]	**17650
<b><u>Strait of Malacca (between Malaysia and Indonesia)</u></b>			
Langkawi, Malaysia	376	29000[1980]	80
Penang, Malaysia	293	583000[**1988]	1990

\* : Population densities are shown to the nearest 10 persons.km<sup>-2</sup>



사용목적별 비교

표3에는 몇 개의 섬에 대한 용수사용을 목적별로 구분하여 제시하였다. 용수사용 목적별 비율의 차이는 주로 기후, 지질 및 토양 조건, 면적, 인구, 경제개발 현황과 사회 요인 등 많은 인자에 좌우된다. 일부 섬에서는 염수를 공업용 또는 냉각용으로 사용하고 있는데, 이들을 포함할 경우 제시된 표의 일부는 수정되어야 한다.

<표3> 작은 섬의 순물소모량 비교 (WS=생활용수, IND=공업용수, AGR=농업용수, OTH=기타용수) (Falkland, 1991)

Island/Country	Total usage ( $m^3 \times 10^3 \cdot d^{-1}$ ) [Year]	WS (%)	IND (%)	AGR (%)	OTH (%)
<b><u>Pacific Ocean</u></b>					
<u>Hawaiian Is., U.S.A<sup>a</sup></u>					
Lanai	11.5 [1985]	14	-	86	-
Maui	1768 [1985]	5	95	<1	-
Oahu	1279 [1985]	42	55	3	-
<b><u>Atlantic Ocean</u></b>					
<u>Canary Is., Spain<sup>b</sup></u>					
Gran Canaria	373 [1985]	29	(WS+IND)	71	-
Tenerife	597 [1985]	33	(WS+IND)	67	-
<b><u>Caribbean Sea</u></b>					
St. Croix, U.S. Virgin Is. <sup>c</sup>	20 [1985]	68	32	-	-
<b><u>Mediterranean Sea</u></b>					
Malta <sup>d</sup>	86 [1986]	77	10	4	9

- a : Hawaiian Islands case study
- b : Canary Islands case study
- c : Torres-Sierra(1986)
- d : Spiteri Staines(1989) : no explanation of 'other' uses given

주) 참고문헌은 Falkland (1991)를 참고바람.

수원별 비교

표4에는 개발된 수자원을 수원의 특성에 따라 분류하였다. 섬에 따라 수원의 구성은 크게 차이가 있으나 대체로 지하수에 수원의 상당분을 의존하고 있다.

<표4> 선정된 작은 섬의 담수 생산량과 수원 (GW=지하수, SW=지표수, RW=빗물, D=제염, I=수입) (Falkland, 1991)

Island/Country	Total usage ( $m^3 \times 10^3 \cdot d^{-1}$ ) [Year]	GW (%)	SW (%)	RW (%)	D (%)	I (%)
<b><u>Pacific Ocean</u></b>						
<u>Hawaiian Is., U.S.A<sup>a</sup></u>						
Lanai	11.5 [1985]	100	-	-	-	-
Oahu	1279 [1985]	87	13	-	-	-
Maui	1768 [1985]	32	68	-	-	-
Nauru <sup>b</sup>	1.3 [1988]	15	-	54	-	31
<b><u>Atlantic Ocean</u></b>						
<u>Canary Is, Spain<sup>c</sup></u>						
Gran Canaria	373 [1985]	84	4	-	12	-
Tenerife	597 [1985]	99	1	-	-	-
Lanzarote	5 [1985]	16	5	-	79	-
<b><u>Caribbean Sea</u></b>						
<u>U.S. Virgin Islands</u>						
St. Croix <sup>d</sup>	20 [1985]	25	-	9	66	-
St. Thomas <sup>e</sup>	13.5 [1985]	19	-	10	71	-
New Providence, Bahamas <sup>f</sup>	30 [1987]	69	-	-	-	31
Montserrat <sup>g</sup>	2.2 [1987]	13	87	-	-	-
<b><u>Mediterranean Sea</u></b>						
Malta <sup>h</sup>	86 [1986]	67	-	-	32.5	0.5

- a : Hawaiian Is case study
- b : Jacobson and Hill(1988)
- c : Canary Islands case study
- d : Torres-Sierra(1986)
- e : Smith(1987)
- f : Swann and Peach(1989)
- g : Montserrat case study
- h : Spiteri Staines(1989)

주) 참고문헌은 Falkland (1991)를 참고바람.

#### 현재의 개발량과 잠재개발 가능량과의 비교

일부 섬에서는 이미 개발된 수자원의 양은 안전한 또는 지속가능한 생산량에 거의 육박하였거나 이를 초과하였다. 극한적인 예는 Male, Republic of Maldives에서 찾아볼 수 있는데, 지하수 채수가 이미 담수 렌즈의 지속가능한 생산량을 초과하여 결과적으로 렌즈의 저장량을 고갈시켰다. 다른 섬에서도 지속가능한 생산량에 육박하고 있거나 거의 같은 수준에 이르고 있다. 예를 들면, 오후와 하와이 섬의 지하수는 현재 지속가능한 생산량의 약 87%를, 버뮤다에서는 약 80%에 이르고 있으며, Tarawa, Republic of Kirribati에서는 거의 같은 수준에 이르고 있다.

### IV. 요약 및 맺음말

지구의 도시용수 사용 현황과 전망은 지역에 따라 큰 차이를 가지고 있다. 선진국은 1인당 하루에 500~1000리터이상 취수할 것으로 예상되지만 개발도상국은 50~100리터에 그치고 있다. 공업용수의 사용은 수질오염을 유발하게 되므로 장래에는 대부분의 국가들이 공업용수 사용량을 줄이고 용수 사용없이 공장을 가동하기 위한 water-free 또는 dry 기술을 개발하고 있다. 농업용수는 전세계 용수사용의 80%를 차지하고 있으며, 1970년대 후반까지는 급격하게 증가하였으나 1980년대 이후로는 증가추세가 상당히 감소하였다. 농업용수는 관개기술과 경작기술의 발전에 따라 사용량이 변할 것으로 예상된다.

1995년을 기준으로 전지구 용수취수량은  $3750\text{km}^2/\text{year}$ 이며, 2025년까지 38%가 증가할 전망이다. 같은 기간동안 농업용수는 1.3배, 공업용수는 1.5배 그리고 공공용수 공급은 1.8배 증가할 전망이다.

세계적으로 작은 섬의 용수사용 목적은 주로 생활용수이며 수원은 지하수이다. 1인당 생활용수 사용량은 섬에 따라 차이가 심하며, 일부 섬에서는 관광용수를 특별히 고려할 필요가 있다. 농업용수나 공업용수는 일부 규모가 큰 섬을 제외하고는 비중이 크지 않다. 작은 섬에서는 담수자원이 부족하기 때문에 바닷물이나 염도가 높은 지하수 또는 처리된 폐수를 화장실 용수나 세탁 용수 등으로 다양하게 사용한다.

제주도는 섬으로서 독특한 수자원 특성을 가지고 있을 것으로 판단되며, 제주도의 수자원개발사업은 수자원을 보호하고 보전하며 합리적으로 사용하기 위한 종합적인 수자원계획의 일부로 추진되어야한다고 판단된다. 특히 제주도의 수자원은 고갈이나 오염에 쉽게 노출될 수 있기 때문에 충분한 조사와 평가가 개발에 필히 선행되어야한다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

Falkland, A. (Editor), Hydrology and Water Resources of Small Islands: A Practical Guide, UNESCO, 1991, pp. 201-208.

Shiklomanov, I. A., World Water Resources--A New Appraisal and Assessment for the 21st Century, UNESCO, 1998, pp. 16-25.



# 제주도 지하수 보전을 위한 환경영향평가제도의 발전방향

홍 준 석

(환경부 환경평가과장)

## < 목 차 >

- I. 머리말
- II. 제주도의 환경영향평가제도의 현황과 문제점
- III. 제주도 환경영향평가의 발전방향
- IV. 맺는 말

## I. 머 리 말

환경영향평가는 개발사업이나 개발계획의 시행으로 인하여 발생하는 환경상의 영향을 예측, 분석하여 이의 영향을 최소화하는 대안을 모색하는 의사결정과정 내지는 기법이라 정의할 수 있다. 여타의 환경관리 수단과는 달리 환경오염과 훼손을 사전에 예방하는 수단으로서 환경영향평가제도의 중요성이 부각되고 있다. 특히 세계 어느 나라에서도 찾아보기 힘든 특이한 자연환경을 자랑하고 있고 21세기 최첨단의 국제자유도시를 지향하는 제주도로서는 환경영향평가와 같은 사전예방적 환경관리 수단을 보다 적극적으로 그리고 내실있게 운영할 필요성이 크다고 하겠다.

제주도는 현재 사용하고 있는 물의 대부분을 지하수에 의존하고 있다. 주민의 대부분이 이 지하수를 마시고 있고 각종 생활용수와 산업용수도 이 지하수를 이용할 수 밖에 없다. 앞으로 제주도의 발전을 위하여 이루어질 관광사업등 각종개발사업에도 많은 지하수가 필요하기 때문에 한정된 지하수의 양과 질을 합리적으로 유지·보전하면서 지하수를 차질없이 공급할 수 있게 하는 『지속가능한 개발(sustainable development)』의 원칙이 철저히 지켜져야 할 것이다. 무질서한 개발과 이용에 따른 지하수 자원의 고갈, 생활하수 및 폐기물의 불법처리에 의한 수질오염 그리고 과잉 이용에 의한 지반 침하 등의 문제가 되풀이된다면 제주주민의 삶의 질 하락은 물론, 제주도 발전자체가 위협을 받기 때문에 지하수 관리의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없을 것이다.

제주도의 지하수는 지하수법, 먹는물관리법등의 지하수 관련법령외에 제주도개발특별법에 의해서 관리되고 있다. 지하수의 굴착·이용할 때에는 반드시 도지사의 허가를 받아야 하고 허가시에는 환경영향조사의 실시가 의무화되어 있어 개별 지하수 개발 project 별로는 비교적 철저한 관리가 이루어지고 있다. 그러나 이것만으로는 지하수의 지속가능한 개발을 위한 조건을 충족시킬 수 없다. 개별사업 하나하나 는 안전하고 적정한 개발일지는 몰라도 이것을 집합적으로 본다면 지하수 주입량보다도 더 많은 이용을 함으로써 지하수 자원의 고갈을 초래할 수도 있는 것이다. 따라서 지하수는 이제 자원의 개념으로 관리하여야 하며 지하수 개발단계에서 보다는 그러한 개발수요를 유발시키는 각종 사업계획이나 정책입안단계에서 관리가 되고 그 타당성이 검토 되어야 할 것이다. 또 지하수 자원의 공공성을 증진시키기 위하여 이러한 사업의 초기검토단계에서 제주도민과 전문가의 의견을 폭 넓게 반영시킴으로써 친환경적이고 합리적인 대안의 선택할 수 있어야 한다. 지하수 관리문제에서도 환경영향평가의 철학과 기법이 적용될 여지가 있는 것이다.

제주도내의 환경영향평가는 지리적 특수성을 반영하여 제주도개발특별법에 의하여 환경영향평가법의 많은 특례를 인정하고 있으며 많은 세칙을 제주도지사에 위임하고 있다. 따라서 현행 제도하에서 제주도의 의지 여하에 따라서는 지하수와 같은 중요한 환경요소에 대하여 사전예방적 환경관리수단으로서 환경영향평가제도를 보다 탄력적으로 운용할 수 있다고 본다. 물론 1977년에 우리나라에 도입되어 운영중인 현행의 환경영향평가제도도 적지 않은 현실적 한계와 문제점을 안고 있다. 본고에서는 현행 환경영향평가제도를 포함하여 제주도의 환경영향평가제도를 개관하여 평가하고 지하수 자원의 보전을 위한 수단으로서 환경평가제도의 발전방향을 제시해 보고자 한다.



## Ⅱ. 제주도의 환경영향평가제도의 현황과 문제점

### 2-1. 환경영향평가 제도의 현황

제주도개발특별법에서 정한 제주도의 환경영향평가제도는 환경영향평가법에 의한 환경영향평가제도와 몇 가지 차이가 있다.

먼저 환경영향평가서의 심사협의기관은 환경영향평가법에서는 환경부장관이나 제주도개발특별법에서는 도지사로 되어 있다. 도지사가 사업주체인 공공사업인 경우 평가서작성자(사업자)와 평가서 협의기관이 동일하여 공정성에 문제가 있다는 지적이 있을 수 있으나, 도지사의 의지에 따라서는 오히려 환경성을 고려한 사업계획 결정과정으로서 환경영향평가제도의 장점을 살릴 수 있다. 환경부장관이 환경영향평가서를 검토함에 있어서는 한국환경정책평가연구원의 검토와 전문가의 의견을 듣도록 하고 있으나 제주도 환경영향평가의 경우에는 비상설기구인 제주도 환경보전자문위원회의 심의를 거치도록 하고 있다. 심도있는 환경영향평가제도의 검토를 위하여는 상설 전문기관에 의한 검토가 바람직하다.

둘째, 제주도의 환경영향평가의 대상사업은 환경영향평가법에 의한 대상사업보다 작은 규모의 사업까지 평가대상으로 하고 있다. 제주도의 우수한 자연환경과 특수성을 감안할 때 대상사업의 범위를 넓게 잡은 것은 당연하다.

셋째, 제주도특별개발법에는 사업자가 평가서를 작성하여 평가서 심사기관인 도지사와 직접협의를 하도록 규정되어 있다. 환경영향평가법에 의한 환경영향평가는 사업자가 당해 사업의 승인기관의 장에게 환경영향평가서를 제출하여 간접적으로 환경부장관과 협의를 하도록 하고 있다. 제주도내의 개발사업의 경우 국가에서 허가해야 하는 사업이 아닌 한 도지사가 승인기관의 지위에 서기 때문에 사업자가 평가서를 도지사에게 직접 제출하여 협의하는 것이 가능하다. 물론 도지사의 환경에 대한 인식에 따라 다를 수 있지만, 평가서심사기관과 사업승인기관이 일원화됨으로써 협의된 환경영향평가결과를 보다 확실하게 이행시킬 수 있을 것이다.

기타 환경영향평가대행자에 관련사항과 환경영향평가서 작성에 관한 사항은 논점과 관련이 적으므로 기술을 생략한다. 결론적으로 제주도개발특별법에 의한 환경영향평가제도는 운용하기에 따라서는 환경영향평가법에 의한 그것보다 강력한 사전

예방수단으로서 가능성이 있다고 하겠다.

## 2-2. 환경영향평가제도의 문제점

제주도개발특별법과 환경영향평가법의 공통된 문제점은 다음과 같다.

첫째, 환경영향평가의 시기 문제이다. 평가서가 대부분 실시계획 승인단계에서 제출되어 협의가 진행되기 때문에 경제성과 기술성을 갖추고 환경적으로 건전한 대안을 선택하는 사업계획과정으로서의 환경영향평가가 아니라, 이미 다른 경로를 통하여 확정된 사업계획안에 대하여 환경오염저감방안을 강구하는 정도의 기능으로서 사업을 정당화(justification)하는 수단으로 잘못 이용되고 있다는 지적이다. 사업의 초기단계 내지는 구상단계에서 평가가 이루어져야 사업계획의 변경이 용이하고 비용을 최소화할 수 있다.

둘째, 환경영향평가가 개별사업(project) 단위로 이루어지고 있어 유사하거나 연계된 사업의 누적시행으로 인한 영향에 대한 고려가 미흡하다는 것이다. 개별사업 단위로 평가시에 무시되거나 작은 영향들이 이를 집합적으로 평가하였을 때 영향은 개별사업의 합보다 더 크거나 복잡한 형태로 나타날 수 있다는 것이다.

셋째, 사회경제적 영향에 대한 평가가 미흡한 점이다. 각종 개발사업을 시행하게 되면, 자연환경 및 생활환경등 협의의 환경요소뿐만 아니라 사회경제적인 측면에서도 큰 영향을 줄 수 있다. 예를들면 인구, 교통, 주거 공동체, 교육, 문화재, 산업등 각 방면에 다양한 영향을 미친다. 인구와 교통 그리고 재해에 대해서는 환경영향평가와는 별개의 영향평가제도로 시행되고 있어 오히려 사업자들에게 이중삼중의 부담을 주고 있다. 이보다는 위에서 열거한 사회경제환경요소를 광의의 환경의 개념에 포함시켜 환경영향평가 과정에서 종합적으로 검토하는 것이 바람직할 것이다.

넷째, 주민참여와 공개의 불완전성 문제다. 환경영향평가법 규정에는 평가서 초안에 대한 공고나 공람이 의무화 되어 있지만 본 평가서의 공개에 대하여는 아무런 규정이 없다. 또 지역주민에 대한 의견수렴만 규정되어 있고 환경단체등 공익을 대변하는 집단의 의견수렴이 제한되어 있다는 지적도 있다. 제주도개발특별법에는 제주도개발종합계획 및 실시계획수립시 공청회 개최에 관한 사항이 규정되어 있으나 환경영향평가서 의견수렴에 대하여는 특례규정을 정하지 않고 있다.

### Ⅲ. 제주도 환경영향평가의 발전방향

환경영향평가가 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발을 위한 정책수단으로 자리잡기 위해서는 지금과 같은 project 단계의 환경평가에서 벗어나 각종 정책이나 계획, 프로그램의 수립단계에서 환경평가가 이루어지는 전략영향평가의 개념이 도입되어야 한다. 사실 전략영향평가의 필요성은 인정하면서도 현재로서는 국가차원에서 도입하기 어려운 것이 우리나라의 현실이다. 그러나 제주도는 지리적 특수성이나 우수한 자연환경이 비교적 좋은 여건을 만들어 주고 있고 또 이러한 좋은 자연적 조건을 잘 보전하여야 한다는 제주도민의 열망이 또한 높은 수준에 있기 때문에 이러한 요소를 반영할 여지가 많다.

첫째로 환경영향평가지기를 계획이나 정책의 수립단계로 앞당겨야 할 것이다. 예를 들어 지하수 보전측면에서 본다면 지하수 개발(지하수 굴착이용허가)단계에서 아니라 지하수 개발의 전제가 되는 상위의 개발계획이나 정책의 수립단계에서 환경평가가 이루어져야 한다는 것이다. 여기에는 어떠한 개발대안이 지하수 보전 등 환경영향을 최소화시키면서 경제성과 기술성을 갖춘 대안인지 비교·검토하는 과정이 필요하며 No Action의 대안(사업이나 계획을 포기하는 대안)도 여러 가지 대안 중에 하나로서 포함하는 것이 바람직하다. 어떤 경우에는 No Action의 환경상 영향이 다른 대안의 그것을 훨씬 능가하기 때문이다.

제주도개발계획법에 의한 제주도종합개발계획의 수립내용 중의 하나는 자연환경의 보전과 오염방지대책 등 몇 가지 환경대책이 포함되어 있다. 그러나 이러한 환경대책이 다른 부문의 대책과 연계됨이 없이 독립적으로 수립된다면 전체계획에 대한 환경성 검토는 형식적이 될 것이다. 다른 부문의 개발계획을 시행함에 따른 환경영향을 예측·평가하고 바람직한 몇 개의 대안을 제시하며, 악영향을 최소화하는 내용으로 환경부문의 계획이 작성되어야 할 것이다.

둘째로 누적평가(Cummulative EA) 내지는 지역평가(Regional EA)의 개념이 적용되어야 한다. 특히 지하수 보전을 위하여 개별 지하수 개발허가시 실시하는 환경영향조사는 당해 지역의 국부적인 오염영향만을 예측할 수 있다. 과거에 개발된 지하수를 포함하여 당해 개발사업이 미치게 될 영향을 조사하여야 하고 조사지역의 범위도 당해 개발지역만을 한정할 것이 아니라 제주도 전역 또는 몇 개의 영향권별로 묶어서 분석예측하는 기법을 개발할 필요가 있다.

셋째로 지하수 보전과는 거리가 있는 사항이기는 하지만, 사회경제환경분야에 대한 평가를 강화시켜야 한다. 특히 제주도는 아름다운 자연환경과 생활환경뿐만 아니라 본토와는 다른 독특한 역사와 문화유산, 그리고 사회환경이 있다. 이러한 것들은 제주도의 도시화와 개발사업으로 변화를 해가면서 부지불식간에 잃어버릴 수가 있는 귀중한 자산이며, 어느 것 하나도 소홀히 해서 놓칠 수 없는 것이므로 모든 사업계획과 정책의 입안과정에서 이들에 대한 고려를 철저히 해야 할 것이다. 그렇다고 교통, 인구, 재해, 경관등의 평가항목을 개별적으로 평가를 하여 사업자들에게 부담을 주는 것은 여러 가지로 비효율적이고 자원의 낭비를 초래한다. 다행히 제주도에서는 '95년부터 통합영향평가를 실시하고 있고 정부에서도 통합영향평가를 위한 작업을 서두르고 있다.

넷째로 주민의견수렴의 확대와 투명성 보장이다. 어떠한 개발사업이나 정책을 막론하고 그 입안과정에서 주민의 참여와 이를 이끌어내기 위하여 입안의 내용과 과정을 투명하게 하는 것은 그 계획이나 정책의 성공적인 수행을 위하여 무엇보다도 필요한 요소이다. 시민 참여의 기회를 확대함으로써 시행착오를 크게 줄일 수 있어 불필요한 시간과 자원의 낭비를 막을 수 있다. 또 지역주민들의 참여가 확대되면 정책의 민주성과 지속성을 증진시키며, 주민들간의 형평성도 높일 수 있다.

환경영향평가가 개별사업 단계에서 발전하여 전략평가 성격이 강해지면 투명성 보장 문제가 더욱 중요성을 갖게 된다. 이렇게 되면 영향범위내에 있는 지역주민뿐만 아니라 공익을 대변할 수 있는 시민단체나 전문가의 목소리도 반영시켜야 한다.

마지막으로 환경영향평가서 작성 또는 검토의 전문성을 제고하는 일이다. 비상설기관인 제주도 환경보전자문위원회나 도 소속 전문공무원으로 구성된 환경평가기획단만으로는 전문적인 검토가 어렵다고 생각한다. 한국환경정책평가연구원이 설립된 이후 환경부와 환경관리청에 접수되는 평가서의 수준이 한 단계 높아진 사실은 제주도에서 참고할 만하다. 평가서 작성이나 검토를 할 수 있는 공공기관을 설립하는 방안이나 한국환경정책평가연구원에 검토를 의뢰하는 방안을 검토할 필요가 있다.

## IV. 맺는 말

21세기 세계화 시대에 대비하여 최적의 자연환경을 갖추고 동아시아의 관광 및 국제무역의 중심도시로 발돋움할 제주도로서는 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발을 추구하여야 한다. 단기간의 성과에 급급하여 이를 도외시한 무리한 개발정책을 고집한다면 머지 않아 세계인들은 등을 돌릴 것이다. 각종 개발계획과 정책 그리고 사업에 대하여 철저한 환경성 검토와 함께 제주도민은 물론 관계전문가와 관련기관이 정책입안과정에 적극 참여하여야 한다. 이러한 의사결정과정을 체계화하고 제도화한 것이 환경영향평가이다.

제주도는 이러한 환경영향평가의 이념과 취지를 실현하여야 하며 그렇게 할 수 있는 여건과 능력을 갖추고 있다. 제주도개발특별법에 개발계획의 수립이나 환경영향평가의 특례가 인정되어 있으므로 관련제도를 탄력적으로 운용할 수 있다. 제주도 지하수와 같은 소중한 환경자원을 우리의 자손만대까지 지속가능하게 이용할 수 있는지의 여부는 개발계획과 환경영향평가에 참여하는 관계기관과 제주도민 그리고 전문가의 환경보전의지와 노력에 달려 있다. “새로운 천년을 여는 희망의 제주도”는 결국 제주도민의 선택이다.



# 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 연혁과 지하수의 합리적 이용을 위한 과제

## 고 기 원

(제주도수자원개발사업소 연구원)

### < 목 차 >

- I. 서 언
- II. 조사연구연혁
- III. 조사·연구의 주요 성과와 문제점
- IV. 향 후 과 제
- V. 제주도가 추진하고 있는 일
- VI. 결 언

## I. 서 언

미국 하와이주 호놀룰루시 수도국(Board of Water Supply) 청사 입구에는 다음과 같은 글귀가 새겨져 있다.

### **“하늘이 올어야 땅이 산다(Uwe Ka Lani Ola Ka Honua)”**

이 글은 지구상의 모든 생명체는 생명을 유지하는데 물을 필요로 하며 그 물은 하늘에서부터 비롯된다는 의미를 내포하고 있는 하와이의 속담이다.

오늘날 제주인들은 물의 풍요 속에서 살아가고 있다. 선조들이 겪어야 했던 물에

대한 고통과 처절함을 전혀 느끼지 못하면서 우리들이 살아갈 수 있는 것은 그 동안 물을 찾아내고 그 것을 용수(用水)화 하기 위해 노력하여 온 선인들이 있었기 때문에 가능한 일이라고 생각한다. 빗물을 받아먹던 시대를 불과 20~30년 사이에 뒤로하고 제주가 연간 400만명에 가까운 관광객들이 찾아오는 관광지로 급속한 성장을 이룩할 수 있었던 것도 멀리는 1920년대부터, 가깝게는 1960년대 초반부터 시작된 수문지질에 관한 조사·연구의 누적된 성과라 하겠다. 아울러, 제주도의 열악한 물 문제를 해결하기 위한 정부 및 지방자치단체 차원에서의 꾸준한 행정적·재정적 뒷받침은 조사·연구자들의 열정을 꽃피우게 해주고, 열매를 맺게 해준 촉진제로 작용하였음을 간과하여서는 안될 것이다.

우리가 원하던 원하지 않든 간에 세계의 조류는 물 보전시대로 이미 들어섰다. UN을 비롯한 국제기구와 세계적인 물 연구기관들이 내다보는 21세기 지구촌의 수자원 전망은 그리 밝은 편이 아니다. 물론, 현재도 세계 여러 나라가 물 기근과 부족에 시달리는 상황이지만 21세기가 되면 이 같은 현상은 더욱 심각해질 것으로 전망하고 있다. 21세기를 『물 전쟁시대』가 될 것이라고 예단하는 이유 중의 하나도 물이 곧 만물의 근원이며, 국가 경쟁력을 좌우하는 근본 에너지이기 때문일 것이다.

목마름의 원초적인 문제가 해소된 지금, 제주지하수에 대한 재조명을 통해 『물의 재발견』을 이룩해야 한다는 시대적 과제가 제주인에게 다가서 있다. 그 동안 전개되어 온 양적 개발위주의 물 정책의 과감한 전환과 함께 제주지하수에 관한 제반 통계와 현상을 보다 명확히 하기 위한 체계적인 조사·연구가 요구되고 있다. 제주지하수에 대한 재조명을 하기 위해서는 무엇보다도 그 동안 진행되어 온 수문지질에 관한 조사·연구 내용의 체계화를 통하여 이들 조사·연구의 성과와 미흡한 점에 대한 고찰이 이루어져야 한다. 지하수 관리정책은 이와 같은 바탕 위에 수립되고 시행되어야 한다. 따라서 이 글에서는 1920년대부터 시작된 제주도의 지질과 지하수에 관한 조사·연구의 진행 과정과 주된 내용에 대하여 고찰하고, 앞으로 제주 지하수를 21세기 전략자원으로서 항구적·합리적으로 이용하기 위한 과제에 대해 논의하고자 한다. 이 글의 내용은 제주도의 공식적인 견해가 아니고 개인 연구자의 주관임을 밝혀둔다.



## II. 조사·연구 연혁

제주도의 지질과 지하수 분야에 관한 조사·연구의 진행 과정에 대하여 최순학(1994)은 1964년~1994년까지 수행된 지하수 관련 논문과 보고서 64편을 종합하여 ‘제주도 지하수의 조사 연구 발달사’를 발표한 바 있으며, 고기원(1997)은 1921년~1996년까지 수행된 지형·지질 및 지하수 분야의 논문과 보고서 302편을 분야별로

표 1. 제주도 수문지질에 관한 조사·연구분야별 및 시대별 분류(1921~1998)

분야별	계	조사·연구 편수				
		1921-1939 (여명기)	1940-1960 (침체기)	1961-1972 (태동기)	1973-1989 (발달기)	1990-1998 (성숙기)
계	432	16	-	37	128	251
고생물학	31	2	-	4	9	16
광물학	7	1	-	1	5	0
지구 물리학	36	0	-	1	9	26
수문 지질학	152	1	-	24	62	65
암석학	34	8	-	4	5	17
층서학	58	4	-	2	22	30
지형학· 기타	21	0	-	1	16	4
학술 심포지움	93	0	-	-	-	93

분류함과 아울러 조사·연구의 발달과정을 5단계로 구분한 바 있다. 이 글에서는 고기원(1997)의 연구결과를 일부 보완함과 아울러 1996년~1998년까지 진행된 연구내

용을 추가하여 제주도의 수문지질에 관한 조사 및 연구 진행과정을 체계화하였으며, 조사·연구목록을 부록에 수록하였다.

## 2-1. 개 요

1921~1998년까지 77년간을 시대적 상황과 조사·연구의 성격 등을 고려하여 여명기(1921~1939), 침체기(1940~1960), 태동기(1961~1972), 발달기(1973~1989), 성숙기(1990~1998)의 5단계로 구분하고, 각 단계별 기간동안에 수행된 조사·연구실적을 정리하였다. 이 기간 동안에 발표된 총 432편의 내용을 분야별로 살펴보면, 수자원 분야가 152편이고 층서학 분야 58편, 고생물학 분야 31편, 광물학 분야 7편, 지구물리학 분야 36편, 암석학 분야 34편, 지형학 및 기타분야 21편, 학술심포지움 93편(19회)으로서 수자원 및 층서학분야가 전체의 49%를 차지하고 있는데 이는 제주도의 물 문제 해결과 지하수자원의 제반특성 및 복잡 다양한 화산층서를 규명하고자 하는 연구가 집중된 결과로 해석된다.

## 2-2. 단계별 조사·연구의 흐름

### 2-2-1. 여명기(1921~1939)

1921~1939년까지의 기간 동안에는 모두 16편의 논문과 보고서가 발표되었다. 1921과 1923년 Yokoyama가 서귀포층의 패류화석에 대한 연구를 실시한 것을 선두로 하여 中村新太郎(1925), 原口九萬(1928~1931), 富田達(1929) 등의 연구자들이 고생물을 비롯한 암석, 광물, 지질구조, 화산층서 등에 대한 조사·연구를 수행하였으며, 1938년에는 일본중앙공업시험소의 室井渡의 2인에 의해 성읍, 송당, 모슬포지역에서 3개소의 시추조사와 63개소의 용천수 및 정호수에 대한 수질조사 등 수자원에 대한 개괄적인 조사가 최초로 수행되었다.

Yokoyama(1921, 1923)는 서귀포층에서 산출되는 패류화석을 최초로 연구한 사람으로서 27종의 연체동물화석을 감정하여 이 층의 지질시대를 상부 플라이오세로 추정하였다. 原口九萬(1928~1931)은 제주도에 대한 광역적인 지질조사를 최초로 실시한 연구자로서 서귀포시 천지연 서쪽 절벽에 노출된 패류화석층을 ‘서귀포층(Seikiho Formation)’으로 명명하였으며, 본 도의 화산지질구조선 및 화산활동사를 제시하였다. 또한 그는 서귀포층의 지질시대를 플라이스토세로 추정하였을 뿐만 아니라, 이 층 중에는 3매의 패류화석층이 존재하고 있고 조면질안산암류가 서귀포층의 상부를 덮고 있으며 경사가 거의 수평에 가깝지만 동서방향으로 완배사를 이루는 곳에 따

라 소단층이 발달한다고 기재하였다. 아울러 그는 제주도의 화산활동 과정을 조면암류(플라이오세 중기) → 조면질안산암류(플라이스토세 전기) → 현무암류(플라이스토세 후기)로 구분하였을 뿐만 아니라, 7개의 화산구조선(중앙선, 삼도선, 남해안선, 북해안선, 마라도-비양도선, 김녕-토산리선, 한라산-김녕선)을 제시하였다.

### 2-2-2. 침체기(1940~1960)

1940~1960년까지 약 20년 동안은 특이할만한 조사·연구가 이루어지지 않았던 침체기였다.

### 2-2-3. 태동기(1961~1972)

1961~1972년까지는 모두 37편의 논문과 보고서가 발표되었다. 이 기간은 우리나라 학자들에 의해 자력으로 조사·연구가 이루어졌을 뿐만 아니라, 제주도의 지질과 지하수 분야에 대한 광역적인 기초조사가 진행된 시기이다. 1963~1965년까지 국립지질조사소(현 한국자원연구소)는 당시 심각한 물 곤란을 겪고 있던 제주도의 물 문제를 해결하기 위하여 제주도 남부와 남동부지역에 대한 지하수원조사와 아울러 지질조사를 실시하였으며, 1965~1966년에는 (주)한국지하자원조사소가 건설부와 의 용역계약에 의하여 제주도 전역에 걸쳐 전반적인 지질 및 지하수조사를 실시하였고(김옥준외 7인, 1965; 김옥준외 3인, 1966), 건설부에서는 1965년에 제주도 산업지 기초조사 및 고지대 용수이용계획수립을 위한 조사용역을 실시하였다. UNDP/FAO는 1968~1971년까지 제주도의 신촌, 고산, 사계지역을 관정에 의한 관개사업 대상지역으로 선정하고 이 지역에 대해 지하수와 지질조사를 실시하였다. 농업진흥공사는 1970~1971년에 제주도 전역에 대한 광역지질조사와 더불어 전기탐사, 시추(120공) 및 착정조사(30공)를 실시하고 1/10만의 제주도 지질도(축척 1/10만)를 최초로 발간하였다. 이와같이 1963년부터 시작된 제주도의 지질과 지하수에 대한 일련의 조사사업에 참여했던 남기영(1966), 김옥준(1969), 윤선(1970), 이상만(1966), 이당훈외 3인(1968), 김찬국·김무송(1970) 등의 연구자들은 조사결과를 논문으로 발표하기도 하였다.

남기영(1966)은 제주도에는 상층부 지하수(high-level groundwater)와 기저지하수(basal groundwater)의 두 종류의 지하수가 발달하는 것으로 제시하였다. 즉, 상층부 지하수는 기저지하수 상부에 존재하는 지하수로서 불투수층암이나 반투수층암에 의하여 기저지하수와 분리되는 지하수이고, 기저지하수는 상층부 지하수와 구별되어 더 깊은 곳에 발달하는 일명 「Ghyben-Herzberg 렌스」라 하였다. 그러나 그는 기저

지하수는 양적으로는 비교적 풍부하지만 전도(全島)에 걸쳐 어느 곳이나 존재하는 것이 아니고 수리지질학적 조건에 따라 지역적으로 있는 곳도 있고 없는 곳도 있기 때문에 제주도의 지하수조사에 있어서는 Ghyben-Herzberg 렌즈를 지배하는 수리지질학적 조건에 대하여 특히 중점을 두어야 한다고 강조하였다.

김옥준(1969)은 제주도의 지하수를 상부유동 지하수(high level groundwater)와 기저지하수(basal groundwater)로 구분하고, 기저지하수를 얻을 수 있는 최소의 심도를 계산하여 제시한 바 있다. 농업진흥공사(1971)는 제주도의 지하수 부존형태를 상위지하수와 기저지하수로 구분하고, 기저지하수는 도 전역의 200m 이하지역에 부존하고 있으며 상위지하수는 서귀·남원·제주지역 중산간 일부에 부존하는 것으로 제시하였다. 또한 농업진흥공사는 제주도의 지하수 포장량은 약 340억 $m^3$ 에 달하며 그 중 이용 가능한 포장량은 약 123억 $m^3$ (해발 100m 이하지역)인 것으로 제시하였다.

김봉균(1965)은 국내 학자로서는 최초로 서귀포층을 연구한 사람으로서 그는 유공충화석을 연구하여 51속 120종에 달하는 목록을 발표하였을 뿐만 아니라 그후 수차례의 연구(1972, 1977, 1984a, 1984b)를 통하여 서귀포층의 지질시대, 층서 및 고생물상 정립에 많은 공헌을 하였다. 그에 의하면, 서귀포층의 층후는 약 52m이고, 사암, 사질세일, 세일, 이암 등으로 구성되어 있으며 다량의 연체동물, 완족류, 개형류, 산호 및 유공충이 산출된다고 보고하였다. 특히 그는 유공충과 완족류에 대한 연구로부터 본 층의 지질시대를 플라이오세라 하였으며, 3매의 패류화석대와 소규모의 3회의 퇴적소극(diastem)을 기재하였고, 전반적인 퇴적환경은 난류의 영향을 받은 천해환경인 것으로 해석하였다.

윤선(1970)은 표선면 성읍리~대륙산 지역에 대한 지질조사를 실시하고 그 지역의 용암류 분출과 기생화산구 형성 순서를 밝혔다. 種子田定勝·中村眞人(1970)은 제주도의 화산암류에 대한 암석학적 및 고지자기학적 연구를 실시하고, 제주도는 플라이오세부터 플라이스토세 기간동안에 조면암 → 조면질안산암 → 조면질현무암 순의 용암을 분출시킨 화산활동에 의해 형성되었으며, 조면질안산암(산방용암)이 역자기를 나타내는 것으로 미루어보아 Matuyama Reversed Epoch에 해당할 것으로 추정하였다.

#### 2-2-4. 발전기(1973~1989)

이 기간 동안에는 128편의 논문과 보고서가 발표되었다. 분야별로 살펴보면, 지하수를 포함한 수자원 분야가 62편으로 전체의 48%를 차지하며 층서학분야 22편, 지

형학 및 기타 분야 16편, 고생물 분야 9편, 지구물리학 분야가 9편이고, 광물학 및 암석학 분야가 10편 등이다.

원종관(1975)은 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구라는 제하의 논문에서 본 도의 화산활동사를 5단계로 구분하고 지질계통을 수립하였으며, 이문원(1982)은 본 도의 화산암류에 대한 암석화학적 분석을 실시하여 암석화학적 측면에서 지질계통을 수립하였다. 김동학외 3인(1986)을 비롯하여 윤상규외 2인(1987)과 김동학외 3인(1988)은 제주도의 화산활동과 제4기 지질에 대한 조사를 실시하였는데 윤상규외 2인(1987)은 K-Ar 연대 및 고지자기 측정결과를 근거로 서귀포층을 해침의 과정에서 형성된 천해성 퇴적층으로 규정하였을 뿐만 아니라, 0.71~0.41 Ma 사이의 플라이스토세 중기의 지층으로 해석하였다.

Won et al.(1986)은 제주도 조면암류의 고지자기 및 절대연대 측정 연구를 실시하여 산방산 그룹 조면암의 평균 연령은  $0.733 \pm 0.056$  Ma를 나타내는 반면, 백록담 그룹 조면암의 경우는  $0.025 \pm 0.008$  Ma를 나타내어 이들 두 조면암류의 그룹이 9'의 위도차이를 두고 분포하고 있지만 0.71 Ma의 연대차이를 나타내는 것으로 볼 때 제주도를 포함한 암석권(lithosphere)은 신생대 제4기 동안에 약 2.3cm/y 속도로 남쪽으로 이동한 것으로 추정하였다.

민경덕외 2인(1986)은 제주도에 분포하는 화산암류와 퇴적암류에 대한 고지자기 연구를 실시한 결과, 서귀포층은 모두 Gauss Normal Epoch에 해당되어 주로 플라이오세에 퇴적된 것으로 해석하였다. 이의형(1983)과 Paik and Lee(1984)는 서귀포층의 개형층군집에 관한 연구를 통하여 지질시대를 플라이오-플라이스토세라 추정하였으며, 6매의 패류화석층과 사층리, 연흔 등의 퇴적구조를 기재하였다. 박근배외 2인(1986)은 서귀포층의 개형층 군집분석과 고환경 해석에 관한 연구를 실시하고 하위로부터 상위로 4개의 고생물장(paleobiotope)으로 구분하였다. 즉, 고생물장 A(제 1단계)는 만 혹은 50m 이하의 수심을 갖는 근해환경, 고생물장 B(제 2단계)는 난류의 영향을 강하게 받았던 50m 이상의 수심을 갖는 원해환경, 고생물장 C(제 3단계)는 퇴적분지의 수심은 급격히 얕아지면서 외해와 다소 격리된 기수의 만환경 혹은 이와 유사한 근해환경, 고생물장 D(제 4단계)는 간혹 한류의 영향을 받은 수심 50m 이상의 원해환경으로 구분하였다.

유환수외 2인(1986, 1987)은 서귀포층의 초미화석과 퇴적암석학적 연구로부터 본 층을 플라이오-플라이스토세의 온난한 천해환경하에서 퇴적된 층으로 규정하였을 뿐만 아니라, sub-lithic arenite, quartz-wacke 및 lithic wacke에 해당하는 사암이라

하였다.

Yoon(1987)은 서귀포층의 연체동물상에 관한 연구에서 6매의 패류화석층을 기재하고, 산출되는 연체동물화석 감정을 통해 본 층에는 일본열도의 Omma 동물군과 동일한 26종이 포함되어 있을 뿐만 아니라, Kakegawa 동물군에 속하는 것도 5종이 함유되어 있음을 밝힘과 동시에, 본 층을 난류와 한류가 혼합된 sublittoral shallow water 환경하에서 퇴적된 층으로 해석하였다. Okamoto and Ibaraki(1988)는 초기 플라이스토세 동안 고-쓰시마 해협을 통해 동지나해로 유입되었던 한류에 의해 Omma-Manganji 동물상의 연체동물이 제주도로 운반되었으며, 간헐적으로 난류(고-쿠로시오)가 고-쓰시마 해협을 통해 동해로 유입되면서 난류를 대표하는 Kakegawa 동물상도 공존하게 되었다고 하였다.

한편, 이 기간 동안에 수행된 수자원 분야의 주요한 조사·연구로는 산업기지개발공사(현 한국수자원공사)의 제주도 수자원조사 보고서(1981)와 제주도 및 울릉도 수자원개발 조사보고서(1989), 농어촌진흥공사의 제주도 지하수 장기개발계획조사 보고서(1989), 최순학과 조병욱(1986), 최순학과 김영기(1989), 안종성(1986), 안종성의 3인(1989) 등이 있다. 산업기지개발공사(1981, 현 한국수자원공사)는 제주도의 지하수 부존형태를 상위지하수(high level groundwater), 기저지하수(basal groundwater) 및 준기저지하수(parabasal groundwater)의 3가지 형태로 구분하여 종전까지 제시되지 않았던 “준기저지하수”라는 개념을 도입하였다. 윤정수(1986)는 동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한 연구를 실시하고, 이 지역 일대에 분포하는 사구층내에 많이 포함된 염분이 강우시 빗물이 지하로 하류하는 과정에서 지하수에 용해되어 기저지하수의 염분도를 증가시킨다고 하였다.

정창조외 4인(1985), 정창조외 3인(1986) 및 안종성외 3인(1989)은 제주지역 지하수(관정) 및 용천수에 대하여 Tritium, Deuterium, Oxygen-18의 환경동위원소를 이용한 연구를 실시하였다. 조진동외 2인(1989)은 남제주군 성산읍 일대지역을 대상으로 해수오염 파악을 위한 과도전자파 수직탐사(TEM sounding)조사를 시험적으로 실시하고, 해수에 의한 직간접적인 오염영역은 지표상에서는 해안으로부터 내륙으로 약 3k m 정도이며, 심도가 깊어질수록 그 거리가 짧아져서 그 경계면은 해안쪽으로 완만하게 경사져 있는 것으로 해석하였다.

#### 2-2-5. 성숙기(1990~1998)

이 기간 동안에는 수자원 분야의 65편을 비롯하여 층서학 분야 30편, 지구물리학

분야 26편, 지질 및 지하수관련 심포지움 93편 등 총 250편의 논문과 보고서가 발표되었다.

1980년대 말부터 지하수 문제가 제주도 지역사회의 주요한 현안으로 부각되면서 지하수와 관련된 학술 심포지움 및 세미나가 제주도내의 학계와 언론기관을 중심으로 활발히 개최되었다. 1991년 제주대학교 사회발전연구소의 주최로 열린 ‘제주도 수자원의 합리적인 개발과 보전방향에 관한 심포지움’을 비롯하여 1998년까지 지하수 관련 학술 심포지움과 세미나가 19회 개최되었다.

‘90년대에 들어와서 지하수의 효율적인 개발·이용과 체계적 관리의 필요성을 인식한 제주도(濟州道)에서는 1992~1993년까지 사업비 7억원을 투자하여 제주도 수자원의 부존특성, 보전대책 및 광역상수도 기본계획 마련을 위한 제주도수자원종합개발계획수립용역을 한국수자원공사에 의뢰하여 실시한 바 있으며, 이 사업의 일환으로 추진된 지질조사는 원종관의 3인(1993)과 원종관의 4인(1995)이 한국수자원공사와 용역계약에 의해 축척 1/5만의 성산도폭과 표선도폭의 지질도를 작성하였다. 또한, 한국자원연구소(연구책임자 박기화)는 제주도의 의뢰에 의하여 1997~1998년까지 제주·애월 지질도(축척 1/50,000)를 작성하였다.

고기원(1991b)은 시추코아에 대한 지질검층 및 기존자료 분석을 통하여 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수와의 관계에 대한 연구를 실시하였으며, 고기원(1991a)은 북제주군 구좌와 표선을 연결한 선의 동쪽지역에는 서귀포층이 결층되어 있으며, 동부지역의 해수침투는 이와 관련이 있는 것으로 해석하였다. 또한, 고기원의 5인(1992)은 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 및 수질특성에 관한 연구를 실시하여 동부지역 지하수의 고염분 원인을 수문지질구조적인 관점에서 해석하였다. 고기원의 3인(1992)과 고기원의 4인(1992) 및 박원배외 2인(1994)은 강우와 조석에 의한 지하수위 변동에 관한 연구를 실시한 바 있을 뿐만 아니라, 고기원의 5인(1993)은 지하지질구조와 지하수의 산출상태에 따라 상위지하수, 기저지하수, 준기저지하수(상부준기저, 하부준기저), 기반암지하수의 5가지 형태로 구분하고 그 각각의 특성에 대하여 설명한 바 있다.

김중훈·안중성(1992)은 제주도 용천수의 수질화학적 특성과 Tritinium 에 의한 연대측정 연구를 실시한 결과, 삼양과 중문 및 일파리 용천수의 평균 이동시간은 약 1.2개월이고, 제주시 외도동의 용천수는 5.6개월, 한경면 청수리 관정(심도 125m) 지하수의 경우는 평균 이동시간이 약 4년인 것으로 나타났다. 또한, 용천수의 연령은 삼양·중문·일파리의 경우는 1.7년, 제주시 용담동의 용천수는 8.36년, 한경면 청수리의

관정 지하수는 28.9년인 것으로 제시하였다.

고기원의 7인(1993)과 고기원의 2인(1994) 및 윤선의 2인(1994)은 제주도 동·서부 지역 지하수의 수질과 지질조사(시추코아 검층)를 실시하여 동·서부지역의 지하수 부존특성의 차이점을 비교 분석한 바 있으며, 송시태의 2인(1996)은 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 숨골구조와 곳자왈지대에 관한 연구를 실시한 바 있다. 이희순(1994)은 중력, 자력, MT, Schlumberger sounding, SP탐사로 이루어진 복합물리탐사를 실시하여 제주도의 지질구조를 해석하였다. 이상규외 27인(1994, 1995, 1996)은 제주도 지열자원 탐사 및 최적활용방안 마련을 위한 연구를 3년간 수행하였다. 고기원(1997)은 1921~1996년까지 실시된 제주도 수문지질에 관한 조사·연구목록을 집대성하여 조사·연구의 발달과정을 5단계로 분류함과 아울러, 132개소의 온천 및 지하수 시추공에 대한 지질검층, 27개소에 대한 지하수위조사(1993. 10~1996. 12), 35개소에 대한 지하수관정에 대한 수질조사(1992. 7~1993. 11), 5개소에 대한 지하수의 수질적인 수질검층 등을 실시하고, 제주도의 거시적인 지하지질구조를 포함하여 서귀포층과 지하수 부존형태와의 관계를 밝힌 바 있다. 고병련(1998)은 제주도 동부지역의 관정 32개소와 용천수 15개소에 대한 수질분석을 실시하고 수질조성 분포 특성과 해수침입에 따른 이온성분의 상관관계, 담·염수의 밀도차에 의한 수치 모형실험을 실시하여 해안대수층에서 해수침입으로 인한 지하수체내의 해수의 이송·확산에 따른 수질오염을 예측하였다.

Tamanyu(1990)는 한라산현무암을 비롯한 5개지점의 암석시료에 대한 K-Ar 연대측정을 실시하고, 제주도의 형성단계를

stage I : Early Pliocene basic-intermediated volcanism

stage II : Middle Pliocene basic volcanism

stage III : Late Pliocene-Holocene basic-intermediate volcanism 의 3단계로 제시하였다.

Miyake et al.(1990)은 노두 및 시추코아의 화산암 시료 18개를 채취하여 암석화학적 분석과 함께 절대연대를 측정하고 제주도 화산암의 화학조성과 시대적변화에 관한 연구를 실시하였다. 특히, 이들은 시추코아에 대한 절대연대를 최초로 측정함으로써 지표 노두암석과의 시대를 대비하는데 귀중한 정보를 제공하였다. 박준범·권성택(1991), 박준범·권성택(1993a), 박준범·권성택(1993b), 박준범(1994)은 제주도 화산활동의 진화과정을 밝히기 위한 암석학적 및 암석화학적 연구를 실시하고, 북부와 남부지역에서는 전반적으로 하위에서부터 고도가 상승함에 따라 함패류화석 퇴



적층 → 하와이아이트 → 뮤저라이트 → 하와이아이트(알카리 현무암 협재) → 조면암 → 뮤저라이트의 수직층서를 나타내는 것으로 제시하였을 뿐만 아니라, 제주도의 알카리 현무암과 솔리아이트는 지구조 관별 그림에서 모두 ‘관내부 현무암’의 성격을 띠는 해양도 현무암의 특징을 나타내는 것으로 제시하였다. 또한, 제주도는 관내부 환경에서 열점과 관련된 화성활동에 의해 형성된 화산도로서 태평양의 섭입은 제주도 하부에서 맨틀 플룸이 상승할 수 있는 요인을 제공하여 주었으나 제주도 하부의 맨틀은 섭입된 판으로부터 오염되지 않은 것으로 해석하였다. 원종관외 3인(1998)은 제주도 남동부 표선지역 화산암류의 지구화학적 특징에 관한 연구를 실시하였고, 원종관외 2인(1998)은 제주도 동북사면에 분포하는 화산암류에 대한 암석학적 연구를 실시하였으며, 윤성효외 2인(1998)은 제주도 하부 기반암 중의 화강암에 대한 암석학적인 연구를 실시하였다. 손인석(1997)은 제주화산도의 암석층서 및 연대층서에 대한 연구를 실시하였을 뿐만 아니라, 손인석외 2인(1998)은 제주화산도의 해수면하의 층서에 관한 연구를 실시하였다. 권병두외 3인(1998)은 복합 지구물리탐사 기법을 만장굴에 적용하는 연구를 실시하였을 뿐만 아니라, 권병두와 이희순(1997)은 제주도와 하와이제도에 대한 지구물리학적 및 환경지질학적 특성에 대한 비교 연구를 실시한 바 있다.

손영관(1992)은 제주도 현무암질 응회환 및 응회구의 퇴적기구에 관한 연구를 실시하고, 깊은 심도를 가진 응회환이 주로 화쇄난류에 의해 퇴적되는 반면, 얕은 폭발 심도를 갖는 응회구는 수지상의 쇄설물 제트, 입자류 그리고 재동작용에 의해 주로 퇴적됨으로써 응회환 및 응회구의 형태상의 변화를 초래한 것으로 해석하였다.

서귀포층 및 신양리층 노두와 용수리 시추코아로부터 산출되는 개형층화석에 대한 연구를 실시한 Lee(1990)는 농어촌진흥공사에 의해 서귀포층으로 기재된 용수리 시추코아(1985, D-179) 시료에서 서귀포층의 특징적인 한류종들이 나타나지 않는 점을 들어 서귀포층보다 후기에 퇴적된 지층으로 추정하였다. 허원혁(1993)은 서귀포층의 흔적화석과 퇴적환경에 관한 연구를 실시하여 14종의 흔적화석을 기재하고, 이들 생흔화석을 4개의 생흔상으로 구분하였다. 정규귀외 2인(1997)은 제주도 서남부 지역 시추코아의 퇴적층에서 산출되는 저서성유공충 화석군집에 대한 연구를 실시하여 서귀포층 노두와 대비하였다.

### Ⅲ. 조사·연구의 주요 성과와 문제점

이미 앞장에서 서술한 바와 같이 제주도의 지질에 대한 조사·연구는 1921년 (Yokoyama)부터 시작되었으며 지하수 및 수자원 조사는 1938년(일본중앙공업시험소)부터 이루어지기 시작하였다. 77년동안 진행된 총 342편의 조사·연구의 전반적인 성과에 대한 토의는 다음 기회에 하기로 하고 이 글에서는 지하수와 관련된 조사·연구 중 주요 부분에 대해서만 살펴보고자 한다.

#### 3-1. 지질분야

수문지질학적 측면에서 지하수는 암석과 함께 지각(地殼)을 이루는 구성요소이다. 지하수는 지각을 형성하고 있는 암석이나 지층의 대수층을 따라 유동하거나 저류되는 유체이기 때문에 지하수에 대한 올바른 이해와 제반 현상을 파악하기 위해서는 구성지질과 지질구조에 관한 체계적인 규명이 선행되어야 한다.

본 도의 지질에 관한 조사·연구는 주로 제주도의 화산활동 과정(형성과정), 층서, 고생물, 암석학적 특징, 응회구 및 응회환의 퇴적작용 등을 주제로 한 분야에서 활발하게 이루어져 왔다. 이러한 연구를 통하여 제주화산도의 지질현상을 이해하는데 필요한 기초적인 정보들이 상당히 축적된 것도 사실이지만 이들 연구들은 학술적인 성격이 짙기 때문에 지하수 분야에 응용하는 데는 어려움이 있음도 사실이다. 또한, 지금까지 진행된 조사·연구의 대부분은 개인 연구자의 학술연구나 연구기관의 목적연구 과제로 수행되어 왔기 때문에 조사범위가 한정되어 있을 뿐만 아니라, 개별적으로 수행된 조사·연구 결과들을 종합화·체계화를 하기 위한 노력도 미흡하여 제주도의 세부적인 지질현상에 대한 밑그림이 작성되지 못하고 있는 실정이라 하겠다.

실례로 수문지질도의 기초가 되는 지질도는 1971년 당시 농림수산부의 지원에 의하여 농업진흥공사(현 농어촌진흥공사)가 작성(축척 1/1000,000)한 이후 현재까지 수정되거나 또는 축적을 달리하는 지질도가 완성되어 있지 않은 상태이다. 따라서, 제주도에서는 1992년부터 제주도 지질도(축척1/5만)를 작성하기 위한 사업을 추진하여 1992~1995년까지 성산·표선도역을 완성하고, 1997~1998년까지 제주·한림도역을 완료하므로써 전체 6개 도역 중 4개 도역이 완료되었으며, 나머지 서귀포·모슬포도역을 2001년까지 마무리 할 계획으로 용역 시행 중에 있다.

지하수의 부존형태와 산출특성 등 지하수의 제반 현상을 올바르게 이해하기 위해서는 지하지질구조의 파악이 선행되어야 한다. 농어촌진흥공사는 1970~1971년의 지하수조사 과정에서 개발된 관정을 포함하여 1972년부터 연차적으로 시행해 온 지하수 개발공에 대한 지질주상도를 보고서에 꾸준히 수록하고 있다. 또한, 관계법령에 의한 허가과정에서도 시추공에 대한 지질주상도를 제출하도록 하고 있어 공공용 관정은 물론 사설관정에 대한 자료도 모아지고 있다고 할 수 있다. 그렇지만, 이들 지질주상도는 야외 암석명 기재 기준이 불명료로 암석명 기재의 일관성 결여, 용암류 단위 경계면 설정의 불명료, 스코리아층과 클링커층의 혼동 기재, 층서개념의 미흡, 관입암체의 기재 부재 등 여러 가지 문제점이 내재하고 있어 제주도의 지하지질구조 정립에 혼선을 초래할 수 있음을 지적하고 싶다. 특히, 1990년 중반 이후에 작성되고 있는 공공용 관정의 지질주상도에는 암석명이 기재되어 있지 않거나 제주도의 전반적인 층서를 고려하지 않고 지층명이 기재되어 있어 지질주상도 작성에 보다 신중을 기해야 할 것이다.

학문적으로 어느 한 지역의 지질계통을 확립하고 지질현상을 체계화하는 것은 학술연구의 근본 목적 이외에 연구결과가 산업·경제에 직·간접적으로 응용되고 자원의 효율적 이용을 도모하는데 필수 불가결한 요소가 되기 때문일 것이다. 결국, 제주도의 지질에 관한 조사·연구의 결과는 부존자원을 합리적으로 이용할 수 있는 최적의 방안을 도출하는데 활용되어야 한다. 이와 같은 맥락에 볼 때, 제주도의 지질 분야에 대한 제반 조사·연구결과는 수문층서(hydrostratigraphy)의 확립에 귀결되어야 한다. 이미 외국에서는 1960년대(Maxey, 1964)부터 수문층서에 관한 개념이 도입되어 지질과 지하수와의 상호관계를 체계화 하기 위한 연구들이 활발하게 진행되어 오고 있다. 일례로 미국 켄사스주 지질조사소에서는 켄사스주 Dakota 대수층에 대한 수문층서를 설정하여 지하수관리에 적용하고 있다. 수문층서에 관한 보다 구체적인 내용은 다음 장에서 소개하기로 한다.

### 3-2. 지하수 부존 형태와 부존량

#### 3-2-1. 지하수의 부존 형태

제주도 지하수의 부존 형태에 대하여 그 동안 논의되어 온 사항을 정리하면 표 2와 같다. 제시된 표에서 보는 바와 같이 용천수의 유형분류는 지금까지 일본중앙공업시험소(1938)와 고기원외(1998)에 의해서만 이루어졌는데, 일본중앙공업시험소는

표 2. 제주도 지하수(용천수 포함)의 부존형태

연구자 및 연구기관(연도)	지하수 유형 분류
일본중앙공업 시험소(1938)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 噴火口湖</li> <li>○ 馬蹄型 요철지를 이루는 지역의湧水</li> <li>○ 熔岩水路에 의한湧水</li> <li>○ 熔岩流 말단지형의 급구배를 이루는 지역의湧水</li> <li>○ 해안의湧水</li> </ul>
남 기 영(1966)	○ 상층부지하수      ○ 기저지하수
김 옥 준(1969)	○ 상부유동 지하수      ○ 기저지하수
농업진흥공사 (1971)	○ 상위지하수      ○ 기저지하수
산업기지개발 공사(1981)	○ 상위지하수      ○ 준기저지하수      ○ 기저지하수
고기원외(1993) 및 고기원(1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 상위지하수</li> <li>○ 준기저지하수(상부준기저지하수, 하부준기저지하수)</li> <li>○ 기저지하수      ○ 기반암지하수</li> </ul>
고기원외(1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 용출 위치에 따른 유형 상위용천수, 기저용천수, 해중용천수</li> <li>○ 용출 지점의 지질구조에 따른 유형 용암류경계형, 파쇄·절리형, 퇴적층-용암류경계형, 퇴적층형</li> </ul>

용출지점의 지질구조와 지형을 기준으로 분류하였으며, 고기원외는 용출지점의 위치와 지질구조에 근거하여 7가지 유형으로 분류하였다. 제주도 지하수의 전반에 대한 유형 분류는 남기영(1966)에 의해 최초로 제시되었으며, 이 결과는 표현에 차이만 있을 뿐 1971년까지 이어져 내려오다가 1981년 산업기지개발공사(현 한국수자원공사)에 의해 『준기저지하수』라는 새로운 개념이 도입되었다. 또한, 고기원외(1993)과 고기원(1997)은 준기저지하수를 상부준기저지하수와 하부준기저지하수로 세분하였을 뿐만 아니라, 『기반암지하수』라는 심부지하수의 유형을 새로이 제시한 바 있다.

하와이주의 오아후도(Oahu Island)에서는 지질상태를 비롯하여 수위 및 수질,

지하수의 산출상태 등에 따라 그 지역의 지하수를 기저지하수(basal groundwater), 암맥이나 피복암(cap rock)에 의한 피압지하수, 기수지하수(brackish groundwater), 퇴적암층내의 기저지하수 등으로 분류하고, 지하수 부존특성에 따라 관정이나 경사 터널 등의 방식으로 지하수를 개발하여 이용하고 있다(Armstrong, 1983). 또한, 괌(Guam)의 경우도 수문지질학적 특성에 따라 지하수 부존형태를 기저지하수(basal groundwater)와 준기저지하수(parabasal groundwater)로 분류하고 있다(Guam E.P.A., 1990). 향후 제주도의 경우도 축적되는 조사자료를 활용하여 지질구조, 수질 특성, 지하수 부존 위치 등을 근거로 지하수 부존형태를 분류하고 특성화시켜 부존 특성에 알맞는 개발과 이용을 하므로써 지하수를 보다 합리적으로 관리할 수 있을 것이다.

### 3-2-2. 지하수 부존량

표 3은 제주도 지하수의 부존량에 대하여 그 동안 개인 연구자와 연구기관에 의해 연구된 결과를 요약한 것이다. 지하수 부존량으로 표현된 지하수 총량은 작게는 113억톤에서 많게는 724억톤까지 제시되고 있다. 이들 연구 중 농업진흥공사(1971), 농어촌진흥공사(1989), 최순학(1990), 한정상(1991)은 제주도 지하수가 G-H원리에 의해 부존하고 있다는 것을 전제로 지하수 총량을 산출한 것이며, 산업기지개발공사(1981)는 기저지하수 부존지역의 총량만을 산출하였다. 또한, 한정상외(1994)는 제주도의 기저가 저투수성의 세화리층(U층)으로 구성되어 있다고 가정하고, 현무암 대수층의 공극율을 0.2로 적용하여 기저 및 준기저지하수의 총량을 440억톤으로 제시하였다.

『지하수 부존량』이란 지층이나 암석의 공극이 완전히 지하수로 채워졌을 때의 총량을 의미한다. 따라서, 지하수 부존량을 산출하기 위해서는 지하지질구조, 암석의 분포상태, 구성암석의 수리특성, 지하수위의 변동 등에 관한 기초적인 정보가 충분히 축적되어 있어야 한다. 그렇지만, 아직까지도 제주도의 지하지질구조는 거시적인 윤곽만이 제시되고 있을 뿐이며, 지하의 암석분포 상태와 대표적인 암석들의 수리특성에 관한 제주도적인 자료는 전무한 실정일 뿐만 아니라, 부존량을 산출함에 있어 지하 몇 m까지를 하한으로 할 것인지(물 그릇의 깊이)에 대한 정보도 매우 부족한 실정이다. 따라서, 이전에 실시된 연구 결과에서 매우 큰 오차를 보이는 것이 당연한 일인지도 모른다.

지하수 부존량이 제시되고 이를 근거로 지하수를 관리하기 위해서는 막대한 비용부담은 물론 장기간의 시간을 소요하지 않을 수 없다. 더욱이, 시간과 돈을 투자한

다고 할지라도 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있을지도 미지수이다. 그렇다고 해서 지하수 부존량이 산출될 때까지 지하수를 이용하지 못하도록 할 수도 없는 문제이다. 이와 같은 현실적인 어려움 때문에 선진국에서는 지하수 부존량의 개념을 굳이 고집하지 않고 있다. 오히려 지하수 함양량에 근거한 지속 이용가능량 또는 적정 개발량(sustainable yield)의 개념을 도입하여 지하수 관리를 하고 있다.

표 3. 제주도 지하수 부존량에 대한 조사·연구결과

조 사 자 (조사기관)	연 구 내 용
농업진흥공사 (1971)	○ 지하수 포장량 : 340억톤 ○ 이용가능량 : 123억톤(해발 100m 이하지역)
산업기지개발공사 (1981)	○ 기저지하수 포장량 438억톤 ○ 지하수함양량 : 15억 4천만톤/년
농어촌진흥공사 (1989)	○ 기저지하수 부존량 : 75억톤 ○ 지하수함양량 : 16억 3천만톤/년 ○ 지하수 이용한계량 : 9억 1천만톤/년
최 순 학 (1990)	○ 지하수 부존량 : 113억톤 ○ 지하수 함양량 : 8억 3천만톤/년 ○ 적정개발량 : 7억 7천만톤/년
한 정 상 (1991)	○ 지하수 부존량 : 724억톤 ○ 지하수 함양량 : 16억 3천만톤/년 ○ 적정개발량 : 8억 2천만톤/년
한정상외 (1994)	○ 지하수 부존량 : 440억톤 ○ 최적 개발가능량 : 6억 4천만톤/년

### 3-3. 물 수지분석 및 적정 개발량

#### 3-3-1. 물 수지분석

제주도는 내륙지방보다 약 600mm가 많은 연평균 1,872mm(한국수자원공사, 1993)의 비가 내리는 다우지(多雨地)이다. 1980년 이전까지 제주도의 물 수지에 대하여 보고된 바는 없었으나 '80년대에 들어와서 농어촌진흥공사(1980, 1989)와 산업기지개발공사(1981)에 의해 물 수지분석 결과가 보고되었다. 표4에 제시되어 있는 바와 같이 농어촌진흥공사와 수자원공사의 분석결과에 의하면, 제주도에 내리는 연간

총 강수량은 3,385백만 $m^3$ ~3,516백만 $m^3$ 의 범위이고 하천이나 지표를 통하여 바다로 유출되는 직접유출량은 총 강수량의 19~21%에 해당하는 638백만 $m^3$ /년~703백만 $m^3$ /년이다. 또한 증발산작용을 통해 대기중으로 손실되는 증발산량은 직접유출량보다 많은 총 강수량의 33~37%이고, 지하수 함양량은 총강수량의 44~46%인 1,494백만 $m^3$ /년~1,542백만 $m^3$ /년의 범위이다.

이와 같이 제주도의 지하수 함양율이 44~46%로 높은 비율을 나타내는 것은 섬 대부분의 지역이 투수성이 높은 다공질 현무암류와 절리 및 균열이 발달한 조면질 현무암류 등으로 이루어져 있을 뿐만 아니라, 토양도 토심이 얇은 화산회토가 주를 이루고 있는데서 비롯되는 것으로 해석되고 있다. 제주도의 지하수 함양율은 우리나라 내륙지역 평균 18%(한국수자원공사, 1993)보다 훨씬 높을 뿐만 아니라, 제주도 와 지형·지질조건이 유사한 미국 하와이주 오아후도의 함양율(36%)보다도 높은 수치이다.

표 4. 연구기관별 제주도 물 수지분석 결과

구 분	산업기지개발공사 (1981)	농어촌진흥공사 (1989)	한국수자원공사 (1993)
총강수량 (년)	33억8천5백만톤 (1,870mm)	35억천6백만톤 (1,918mm)	33억8천8백만톤 (1,872mm)
직접유출량 (년)	7억3백만톤 (21%)	7억3백만톤 (20%)	6억3천8백만톤 (19%)
증발산량 (년)	11억4백만톤 (33%)	11억8천3백만톤 (34%)	12억5천6백만톤 (37%)
지하수 함양량 (년)	15억4천2백만톤 (46%)	16억3천만톤 (46%)	14억9천4백만톤 (44%)

그러나 지금까지 이루어진 물 수지분석 결과는 고지대 강우자료를 비롯하여 하천유출량 및 증발산량 자료 등이 절대적으로 부족하거나 거의 없는 상태에서 외국의 사례 또는 평균치를 적용하여 산출한 결과이기 때문에 신뢰성을 충분히 갖고 있지 못하고 있다. 따라서, 제주도의 물 수지는 분석에 기초가 되는 장기간의 기상·수문 관측자료의 축적이라는 근본적인 문제점을 지니고 있다.

### 3-3-2. 지하수 적정 개발량

제주도 지하수의 적정 개발량에 대해서는 농어촌진흥공사(1989)를 비롯하여 한국수자원공사(1993), 최순학(1990), 한정상외(1994)에 의해 제시된 바 있다(표3 참조). 적정 개발량 또는 지속 이용가능량(sustainable yield)이란 지하수자원의 보전·관리와 지역별 균형개발, 해수침투 및 지하수위의 과도한 하강 등 지하수의 장해 없이 이용 가능한 적정량을 의미한다.

표 5. 제주도 지하수의 지역별 적정 개발량과 지하수 개발현황

(단위 : 천톤/일)

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

표 3에 제시되어 있는 바와 같이 기존 연구결과에 의하면, 제주도 지하수의 적정 개발량은 연간 6억톤~9억톤(1일 169만톤~250만톤) 수준이다. 이와 같은 양은 지하수 함양량의 41~93%에 해당한다. 특히, 한국수자원공사(1993)는 하와이의 적정 개발량 산정방식을 도입하여 제주도 지하수의 적정 개발량을 지역별로 산출하였다. 즉 동부지역이 737천m<sup>3</sup>/일, 서부지역 331천m<sup>3</sup>/일, 남부지역 286천m<sup>3</sup>/일, 북부지역 335천m<sup>3</sup>/일 으로서 동부지역이 가장 많고 남부지역이 최소치를 보이고 있다(표 5참조). 1998년말 현재 제주도의 지하수 개발량은 적정 개발량의 42%인 1일 711천톤이 개발되어 있다.

### 3-4. 제주도와 오아후도(하와이)의 비교

표 6과 7은 제주도와 오아후도의 지하수 함양량과 적정 개발량, 그리고 개발현황을 비교하기 위하여 두 지역의 일반 현황과 지하수 관련 사항을 비교한 것이다. 먼



저 일반 현황을 비교해 보면, 면적은 제주도가 오아후도보다 254km<sup>2</sup>가 넓지만 상주인구와 연간 관광객수는 오아후도가 제주도보다 훨씬 많다. 즉, 상주인구는 오아후도가 제주도보다 약 30만명이 더 많으며 연간 관광객수도 약 2,600만명으로서 제주도보다 6.6배나 많다.

표. 6 제주도와 오아후도의 일반현황 비교

구 분	제 주 도	오 아 후 도	비 고
면 적(km <sup>2</sup> )	1,828	1,574	
거 주 인 구	528,360명	836,231명('95)	908,238명 (관광객포함)
연간관광객수 (1일평균)	4,000,000명 (11천명)	26,282,555명 (72천명)	

표 7. 제주도와 오아후도와의 지하수 현황 비교

구 분	제 주 도	오 아 후 도
연평균 강수량	1,872mm	1,746mm
총 강 우 량	3,388백만톤/년	2,748백만톤/년
지하수 함양량	1,494백만톤/년 (총강우량의 44%)	989백만톤/년 (총강우량의 36%)
지하수적정개발량	1,689천톤/일 (함양량의 41%)	1,759천톤/일 (함양량의 65%)
지하수 개발량	710천톤/일 (적정개발량의 42%)	1,395천톤/일 (적정개발량의 80%)

지하수 현황을 보면, 연평균 강수량은 제주도가 오아후도보다 126mm가 많아 연간 총강우량도 6억4천만톤 정도가 많을 뿐만 아니라, 지하수 함양량에 있어서도 연간

약 5억톤이 많은 편이다. 그렇지만, 지하수 적정 개발량은 오아후도가 제주도보다 1일 약 7만톤이 많으며, 지하수 개발량도 적정 개발량의 80% 수준인 1일 139만톤이 개발되어 있어 제주도보다 지하수가 훨씬 많이 개발·이용되고 있음을 알 수 있다. 여기서 주목할 사항은 오아후도의 경우 지하수함양량을 총강우량의 36%로 설정하고 있지만 지하수 적정 개발량은 함양량의 65%이며, 개발량도 또한 적정 개발량의 80%에 이르고 있다는 점이다.

#### IV. 향 후 과 제

주지하는 바와 같이 제주도는 대륙과 격리된 지리적 특수성으로 인하여 섬내에서 발생하는 용수수요를 자체적으로 해결하지 않으면 안될 뿐만 아니라, 지속 이용 가능한 수자원도 지하수에 한정되어 있기 때문에 지하수의 합리적 개발·이용이 절대적으로 요구되는 특수한 지역이라 하겠다. 단적으로 표현해서 “물이 없는 제주는 생명력을 상실한 죽은 섬”이나 다름없기 때문에 지하수의 합리적 이용과 체계적 관리에 대한 관심도가 우리 나라에서 으뜸이라 하여도 결코 지나침이 없을 것이다.

지하수 관리는 『수량·수질·조직·기술(연구)』이라는 4가지 요소의 조화를 필요로 한다. 이 4가지 요소 중에서도 『관리기술(연구)』은 수량과 수질을 관리하는데 필요한 제반 정보를 제공하여 줄 뿐만 아니라, 관리방향을 제시하여 줄 수 있다는 점에서 선행되어야 할 사항이라 하겠다. 지속적인 조사·연구를 통하여 지하수의 부존실체를 보다 체계적으로 밝혀내고 지하수체의 평형을 깨뜨리지 않는 적정 범위에서 지하수를 이용할 뿐만 아니라, 오염되지 않는 상태로 보전하는 것이 곧 지하수 관리의 궁극적인 목적이라 할 수 있을 것이다. 이와 같은 관점에서 이 글에서는 지하수관리의 제도적인 사항보다는 지하수를 보다 합리적으로 이용하는데 필요한 향후의 조사·연구 방향에 대하여 살펴보고자 한다.

##### 4-1. 수문층서의 설정

수문층서학(hydrostratigraphy)은 지층의 상대적인 투수성의 차이에 의해 암체를 세분하므로써 지하수의 부존 및 유동체계를 보다 명확하게 밝히기 위해 1964년

Maxey에 의해 처음으로 제창되었다. Maxey는 “지하수의 유동 관점에서 수리학적으로 구별되는 단위로 이루어진 암체”를 수문층서 단위(hydrostratigraphic unit)로 정의하였으며, Seaber(1998)는 “공극율과 투수성에 의해 구분되고 특성화시킬 수 있는 암체”를 수문층서 단위로 정의하였다. 광역적인 수문층서 단위를 설정하기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 조사·연구가 선행되어야 한다.

- 지층의 전반적인 특성을 결정하기 위한 암석층서 및 퇴적층서의 정립
- 시추조사 및 지구물리검층 등을 통한 지하 지질분포 및 구조의 파악
- 대수층과 난투수층에 대한 실내 투수실험
- 대수층과 난투수층에 대한 현장 수리실험

표 8. 미국 켄사스주의 수문층서

ERA	SYSTEM	ROCK STRATIGRAPHIC UNITS	HYDROSTRATIGRAPHIC UNITS
Cenozoic	Quaternary	Unconsolidated Sediments	High Plains & Alluvial Valley aquifers
	Tertiary	Ogallala Fm.	
Mesozoic	Cretaceous	Colorado Group	Upper Cretaceous aquitard
		Dakota Ss./Dakota Fm.	Upper Dakota aquifer
		Purgatoire Fm./Kiowa Fm.	Kiowa Shale aquitard Lower Dakota aquifer
	Jurassic/Triassic	Morrison Fm. Dockum Group	Morrison-Dockum aquifer
Paleozoic	Permian/Pennsylvanian	Permian Undiff.	Permian-Pennsylvanian aquitard
		Cedar Hills Ss.	Cedar Hills Sandstone aquifer
		Permian/Pennsylvanian Undiff.	Permian-Pennsylvanian aquitard

- 암상별 유효공극율과 투수성의 비교
- 지구조운동과 속성작용 등 지사(地史)에 관한 정보

제 3장에서 언급한 바와 같이, 제주도의 지표 및 지하의 지질상태는 물론 구성암석의 물성에 관한 조사는 매우 미흡한 상태에 있다. 지하수가 저류(storages)할 수 있는 그릇의 규모와 질에 대한 내용이 밝혀지고, 수문층서가 정립되므로써 보다 세부적인 지하수체의 실체 규명도 가능해질 것이다.

표 8은 남부 콜로라도에서 켄사스 서부 및 중부지역의 지질학적 층서와 수문층서를 보여주고 있는 사례이다.

## 4-2. 물 수지분석과 지하수 적정 개발량에 대한 재조명

### 4-2-1. 물 수지분석

이전에 실시된 제주도의 물 수지분석은 연구기관 마다 당시의 상황에서 가용할 수 있는 자료의 충분한 활용과 전문적인 판단 및 분석과정을 통하여 산출되었다고 할 수 있지만 물 수지분석에 필요한 기본자료(예 : 고지대 강우량, 하천 출량 관측 자료 등)가 부족한 상태에서 이루어졌다는 지적이 나오고 있다. 제주도에서는 1994년 3월 지하수환경에 대한 조사계획을 수립하고, 이 계획에 따라 물 수지분석에 필요한 기본자료 수집을 위한 조사 및 관측사업 등을 지속적으로 추진하고 있어 보다 진일보한 물 수지 분석결과의 산출을 기대할 수 있게 되었다. 일례로 고지대 강우량 자료를 확보하기 위하여 중산간지역은 물론 1,100고지, 영실, 윗세오름 지역에서도 관측하고 있으며, 하천유출량도 '97년부터 9개 하천 14개소에 관측소를 설치하여 꾸준한 관측이 이루어지고 있다. 따라서, 제주도에서 추진하고 있는 기본조사 자료가 일정기간 축적되는 시점(최소 5년 이상)에서 1차적인 물 수지분석을 실시하고, 2차적으로 10년 이상 관측된 자료를 이용하여 보완한다면 분석결과의 신뢰도를 크게 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 물 수지 분석을 실시함에 있어서는 다음과 같은 사항도 고려하므로써 현실적인 여건의 변화도 충분히 반영되어야 할 것이다.

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

#### 4-2-2. 지하수 적정개발량

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

$$D = I \{ 1 - (h/h_0)^2 \}$$

여기서 D : 양수량, I : 지하수 함양량

h : 개발 후 평형수두 ho : 개발 이전의 원래 수두

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

#### 4-3. 지하수위 · 수질 · 이용량에 대한 지속적인 모니터링

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

#### 4-4. 『제주물 2020계획』의 수립

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

○ Water Resources Protection Plan

- Water Quality Plan
- Water Use and Development Plan
- Water Projects Plan

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

제주도의 경우, 1993년에 수립된 수자원종합개발계획이 있으나 하와이와 같은 체계성은 미흡한 편이며, 계획이 수립된지 5년이 경과되었기 때문에 보완이 필요한 실정이다. 제주도의 수자원을 공공적·총량적 관점에서 관리하기 위해서는 물 개발·이용계획에서부터 『통합관리』의 원칙이 반영되어야 하기 때문에 제주도의 전체적인 수자원 현황을 집대성함과 아울러 2020년을 목표로 하는 개발·이용계획을 포함하는 『제주물, 2020계획』이 수립되어야 할 것이다.

#### 4-5. 지하수 순환시스템조사

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

제2장에서 서술한 바와 같이 제주도 지하수의 절대연령과 순환속도를 밝히기 위한 연구들이 몇몇 연구자에 의해 수행되어 기초적인 정보는 제공되었다고 할 수 있으나 제주도 전역을 대상으로 한 『강우 → 지하침투 → 지하수(이동) → 배출(바다)』의 과정은 아직까지 체계적으로 밝혀져 있지 않다. 지하수 순환시스템에 관한 조사결과를 지하지질구조, 지하수위 및 수질변화에 대한 자료와 연결시킬 때, 제주도 수문층서의 확립에 매우 중요한 정보로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 지하수함양 및 유동속도를 고려한 개발·이용방안 마련에도 더할 나위 없는 귀중한 정보가 될 것이다.

#### 4-6. 수자원 정보종합관리시스템 구축

물과 관련된 제반 자료들의 체계적 관리는 다른 분야의 조사·연구 못지 않게

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

제주도의 경우, 수자원정보종합관리시스템을 구축할 수 있는 좋은 여건을 지니고 있다고 할 수 있다. 축척 1/5,000을 기본도로 하는 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)이 이미 '97년도에 구축되어 운영하고 있기 때문에 지형·토양·토지이용·식생 등 지하수 관련 지리정보들의 속성 및 도면정보가 체계화되어 있는 상황이다. 따라서, 지질·기상·수위·수질·용천수·지하수 이용량·지하수 관정·대수층의 수리성·오염원 등의 가용자료를 GIS시스템과 연계시킬 때 현재의 지하수 상태를 진단할 수 있는 1차적인 기반이 마련될 수 있다고 하겠다. 이와 같은 시스템이 구축되면, 지하수의 개발·이용과 관련된 지하수영향조사를 비롯한 각종 개발사업 계획시 이루어지는 환경 및 재해영향평가에도 양질의 자료를 제공할 수 있음은 물론, 평가기간의 단축과 경비의 절약을 도모할 수 있는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4-7. 지하수의 수질보전

지하수가 양적으로 아무리 풍부하다고 할지라도 용수로서 이용할 수 없는 상태로 오염되어 있다면, 그 물은 수자원으로서의 가치를 상실하였다고 밖에 말할 수 없다. 지하수는 지상에서 이루어지는 토지이용에 사용되거나 그 과정에서 발생하는 각종 물질의 영향을 직·간접적으로 받을 수 밖에 없기 때문에 수질을 보전하는 문제가 수량을 보전하는 문제보다 더 어렵다 하겠다. 따라서, 제주도 지하수가 지니고 있는 당면문제도 바로 수질보전이라고 하여도 지나친 표현은 아닐 것이다.

표 9는 토지이용 형태에 따른 지하수자원에 대한 위험도를 나타낸 것이다. 농업 활동의 경우는 중간정도의 위험도를 지니는데 반하여 석유류 및 화학물질 지하저장 탱크와 각종 폐기물 매립지의 경우는 지하수의 수질에 미치는 위험도가 가장 크다는 것을 보여주고 있다. 지하수의 수질을 보전하는데는 크게 규제적인 방안과 비규제적인 방안(김광묵과 최지용, 1994)이 있다 규제적인 방안으로서는 지하수 보전지

역 설정 및 관리를 비롯하여 오염원 입지 규제, 토지이용규제와 오염원 입지 규제의 동시 시행, 시설물의 용적과 밀도규제, 시설물의 시설기준의 강화 등을 들 수 있다. 또한, 비규제적인 방안으로서는 지하수의 수질보전에 대한 주민교육, 지하수 보전지역 토지의 매입, 오염행위를 감시하기 위한 감시장치의 설치, 물 아껴쓰기 홍보 등이 있다.

표 9. 토지이용에 따른 지하수의 수질에 미치는 위험도

위험도	토지이용형태
위험도 작음	1. 위락활동이 별로 이루어지지 않는 산지
↓	2. 국립·도립·개인 공원
↓	3. 목재생산을 위해 운영되는 산지
↓	4. 위락활동이 적극적으로 이루어지는 개방된 공간
↓	5. 목초, 곡물, 야채 재배지
↓	6. 저밀도 주거지
↓	7. 교회 및 공공건물
↓	8. 농업활동 : 낙농, 가축사육, 과수원, 온실
↓	9. 골프장, 채석장
↓	10. 중밀도 거주지
↓	11. 학교, 병원, 요양원, 교도소, 차고, 하수처리장
↓	12. 고밀도 주거지
↓	13. 일반상업지역
↓	14. 소매상업지역 : 세탁소, 사진현상소, 자동차 판매·수리등
↓	15. 공업지역
위험도 큼	16. 석유 및 화학물질의 지하저장탱크
	17. 폐기물 처리 웅덩이, 각종 폐기물 매립지



#### 4-8. 수자원 공동연구 네트워크의 구축

제주도 지하수에 관한 제반 문제는 제주도 자체에서 해결할 수 있어야 한다. 지역성이 강조되고 있는 학문 연구의 추세와 제주도 수문지질 현상의 독특성을 고려할 때, 수자원 분야의 우수한 연구인력을 육성하고 지속적으로 조사·연구할 수 있는 여건이 마련되어야 한다. 제주발전연구원-대학-제주도(수자원개발사업소 및 보건환경연구원)로 구성된 공동연구 네트워크의 구축이 필요하다고 생각한다. 이러한 협력체계를 통하여 제주도의 수문층서를 비롯한 지하수자원의 정량적·정성적 평가라는 지역현안이 해결됨은 물론 인력양성, 일자리 마련, 고가의 분석장비 상호활용, 정보·기술의 교환 및 공유, 제주도의 지역실정에 알 맞는 물 관리정책의 개발과 집행 등이 이루어질 수 있을 것이다. 공동연구 네트워크는 결국 지하수와 관련된 제반 문제의 해결과 더불어 제주도의 지하수 관리수준을 선진국 수준으로 끌어올리는 중요한 발판이 될 것으로 생각한다.

### V. 제주도가 추진하고 있는 일

제주도가 지하수에 대한 조사를 본격적으로 시작한 것은 1994년부터이다. 1993년 한국수자원공사는 제주도수자원종합개발계획수립 보고서에서 향후 제주도가 지하수 관리를 위해 추진해야 할 과제를 제시하였으며, 제주도에서는 1994년 3월 동 보고서의 건의를 수용하여 부서별로 추진해야 할 과제를 분담한 바 있다. 이 계획에 따라 제주도에서는 지질도 작성을 비롯한 조사 사업들을 지속적으로 추진해 오고 있다. 이 글에서는 제주도에서 수립한 지하수환경조사와 지리정보시스템 구축분야에 대한 5개년계획(1998~2002)을 소개함과 아울러, 지금까지 추진해 온 실적에 대하여 간략하게 알리고자 한다.

5-1. 계획의 개요

5-1-1. 지하수 분야('98~2002년)

(금액 : 백만원)

사 업 명	기 간	사업비
합 계		5,237
○ 지하수 보전·관리계획 수립	'98 ~ '99	300
○ 지하수환경조사의 지속적 추진	'98 ~ 2002	<b>4,637</b>
· 지질도 작성(1/5만) 완료		(600)
· 수문지질구조 조사		(600)
· 지하수 순환체계 조사		(500)
· 지하수위 관측망 설치 및 조사		(1,600)
· 하천유출량 관측소 설치 및 조사		(410)
· 수문지질도 작성(1/5만 6매)		(600)
· 용천수 현황조사 및 자료발간		(27)
· 도서지역 물 종합조사 및 대책수립		(300)
○ 수자원정보종합관리시스템 구축	2000	300

5-1-2. 지리정보시스템 분야

(금액 : 백만원)

사 업 명	기 간	사업비
합 계		3,400
○ 도 전역 지리정보시스템(GIS) 확대 구축	'99 ~ 2000	400
· 지하수·생태계·경관조사 및 GIS 구축		(200)
· 환경적합성 사전평가시스템 개발		(200)
○ GIS 5개년 발전계획 수립·시행		3,000
· 기 구축자료 보완 및 변동자료 갱신	'99 ~ 2002	(400)
· 도 전지역 지번별 토지종합관리시스템 구축	2001 ~ 2002	(1,000)
· 상수도관리시스템 구축	2002	(800)
· GIS 관련업무부서 활용 프로그램 개발	'99 ~ 2000	(400)
· GIS 시스템(장비) 보강	'99 ~ 2001	(400)

## 5-2. 지금까지 추진 실적

- 수문지질조사
  - 하천유출량 관측 : 11개 하천 14개소 설치·운영
  - 지질도 작성(1/5만, 6매) : 4매 완료, 2매 작성 중
  - 용천수 조사 : 제주시 및 애월읍 지역 231개소 완료
  - 강우량 자료 관리 : 25개소
  - 지하지질조사 : Nx구경 22공, 12인치 구경 22공
  - 전기비저항 탐사 : 369개 지점
- 지하수 산출특성조사 - 1,410백만원
  - 물리검층 및 양수시험 : 광역상수도 개발관정
  - 수질감시망 운영 : 85개소
  - 지하수위 관측망 설치 및 운영 : 자동 42개소 수동 23개소
  - 지하수위 관측 전용공 착정 : 6개소
- 지하수 오염취약성 조사
  - 오염원조사 526개소
  - 토양특성 조사 100개소
  - 오염저감능 조사 224개소
  - 질산성질소 오염원 조사 8개소
  - 중산간지역 투수성 지질구조 조사
- 중산간지역 종합조사 및 GIS 구축
  - 16개 분야 42개 주제도 구축(1/5,000, 5,880매)
  - 중산지역을 지하수 보전을 위한 1~4 등급지역으로 구분 관리
- 지하수 조사 장비 구입
  - 지하수관리 소프트웨어 5종 구입
  - 지하수조사 장비 4종 구입

## 5-3. 현재 추진하고 있는 일

제주도가 '99년에 추진하고 있는 지하수조사 및 지리정보시스템 분야의 사업들을 소개하면 다음과 같다.

- 지질도 작성(1/5만) : 서귀도폭('98. 11 ~ '99. 11)

※ 모슬포 도염은 국가기본사업에 의해 한국자원연구소에서 자체 조사중임

- 지하수 보전·관리계획 수립('98. 6 ~ '99. 12)
- 지하수 순환시스템 조사('99. 4 ~ 2001. 3)
- 도 전지역 GIS 확대구축('99. 1 ~ 2000. 3)
- 지리정보시스템 구축자료 갱신
- 지하수위 관측망 설치 및 운영 : 2개소 증설 및 기존 65개소 운영
- 하천유출량 관측소 설치 및 운영 : 2개소 증설 및 기존 14개소 운영
- 용천수 현황조사 및 현황집 발간('98. 2 ~ '99. 12)
- 지하수 수질관측망 운영 : 85개소

## VI. 결 언

지하수는 순환자원으로서 재생이 가능한 자원이지만 땅 아래에 존재하고 있으므로 인하여 지상에서 이루어지는 온갖 활동과 변화의 영향을 민감하게 받는다. 또한, 지하의 지층과 암석의 틈 사이를 유동하는 물이기 때문에 직접 목격할 수 없을 뿐만 아니라, 지하의 지질구조에 따라 산출양상을 달리하므로 많은 불확실성을 내재하고 있는 자원이다.

지하수에 전적으로 의존할 수 밖에 없는 특수한 여건을 지니고 있는 제주도의 실정에서 지하수를 가장 효율적으로 개발·이용하기 위해서는 지하수를 둘러싸고 있는 환경에 대한 꾸준한 조사·연구가 이루어지고, 이를 바탕으로 지하수 관리정책이 수립·시행되어야 하며, 조사결과 얻어진 모든 자료들은 체계적으로 관리되어야 한다. 특히, 제주도 지하수에 대한 제반 현상의 규명은 제주도에서 자체 해결할 수 있는 능력을 함양하기 위한 여건 조성이 필요하다.

지하수는 도민 모두의 공동자산이므로 공개념적 관리체계의 정착을 위한 제도적 장치가 보완되어야 한다. 아울러, 지하수 관리정책을 행정의 최상위 정책으로 책정하고, 제주도내에서 이루어지는 모든 토지이용 행위는 지하수의 수량과 수질관리에 현저한 지장을 주지 아니하는 범위 안에서 허용하므로써 지하수의 양과 질의 보전에 적극 노력하여 한다. 지하수는 제주도민의 생명수이며, 제주도가 보유하고 있는 가장

귀중한 자원으로서 『제주의 물이 곧 세계의 물』임을 우리 모두는 인식하고, 지하수 보전을 위한 지혜를 모아야 하겠다.

## 참고문헌

- 김광묵, 최지용, 1994, 지하수원 보호구역의 지정에 관한 연구, 국토연구22권, p.1~18
- Armstrong, R. W., 1983, Atlas of Hawaii, second edition, University of Hawaii Press.
- Guam E.P.A., 1990, Non-point source management program, p. 1~58.
- Maxey, G.B., 1964, Hydrostratigraphic units: Journal of Hydology, 2, p. 124~129.
- Seaber, P.R., 1988, Hydrostratigraphic units: in Back, W., Rosenschein, J.R., and Seaber, P.R., Hydrogeology, The Geology of North America, Geological Society of America, Volume O-2, p. 9~14.
- State of Hawaii, 1992, Water resources protection plan

※ 제주도와 관련된 참고문헌은 부록에 수록되어 있으므로 생략함

## 부 록

1921 ~ 1998

### 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 목록

- 고 생 물 학 분 야
- 광 물 학 분 야
- 지 구 물 리 학 분 야
- 수 자 원 분 야
- 암 석 학 분 야
- 층 서 학 분 야
- 지 형 학 및 기 타 분 야
- 심 포 지 움 및 세 미 나 분 야

주1) 본 부록에 수록된 문헌목록은 제주도수자원개발사업소 고기원 박사가 주제발표 자료로 조사한 것으로 관계 연구자들이 활용할 수 있도록 하였습니다.

주2) 본 부록에 수록된 목록은 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 전체를 의미하는 것은 아니며, 본 목록에 포함되지 않은 내용이 있을 수 있습니다.





## 【고생물학 분야】

1921. 横山又次郎, 濟州島の 貝化石, 日本地質學雜誌, 28-339, P.465~467.
- 1923, Yokoyama Matajiro, On some fossil shells from the island of Saishu in the strait of Tsushima. Imp. Univ. Tokyo Coll. Sci. Jour., vol. 44, Art.7.
- 1965, Kim Bong-Kyun, The stratigraphic and paleontologic study on the Tertiary(Miocene) of the Pohang area, Seoul Nat. Univ. Jour. Sci. and Techno. Ser., vol. 15, P. 32~121.
- 1967, 윤형대, 제주도 서귀포층의 화석유공충에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, P. 1~49.
- 1970, 김봉균, 제주도 신양리 및 고산리 지구 신양리층에 대한 층서 및 고생물학적 연구 (영문), 지질학회지 제15권 제2호, P. 103~121.
- 1972, 김봉균, 서귀포층의 층서 및 고생물학적 연구, 손치무교수 회갑기념 논문집, P. 1~18.
- 1974, 김봉균, 제주도에 발달하는 사구층의 고생물학적 연구, 지질학회지 제10권 제2호, P.95~108.
- 1981, Yoon Sun, The Seoguipo fauna(Mollusca) of the Jeju Island, Korea(abstract), Proc. 6th International Work Group Meet, IGCP-114, P. 149.
- 1984, Kim Bong Kyun, Pliocene Brachiopods from the Seogwipo Formation of Cheju Island, Korea, Jour. Natl. Acad. Sci. Korea Natu. Sci. Series Vol. XXIII, P.1~20.
- 1986, 박근배, 이의형, 백광호, 제주도 서귀포층(플라이오-플라이스토세)산 개형층의 군집분석 및 고환경 해석, 고려대학교 이학논집 제27집, P. 133~147.
- 1986, 유환수, 고영구, 김주용, 제주 서귀포층의 미고생물학 및 퇴적암석학적 연구, 전남대학교 논문집 자연과학편 제31집, P. 127~136.
- 1987, 유환수, 고영구, 김주용, 제주 서귀포층의 미고생물학 및 퇴적암석학적 연구, 전남대학교 논문집 자연과학편 제32집, P. 23~35.
- 1988, Yoon Sun, The Seoguipo Molluscan Fauna of Cheju Island, Korea, Saito Ho-on Kai Special Publication, P. 539~545.
- 1988, 김동주, 서귀포층의 유공충에 관한 미고생물학적 연구, 전남대학교 석사학위논문, P. 1~30.
- 1989, 김주용, 제주 신양리에서 산출되는 초미화석에 관한 연구, 전남대학교 논문집 제34집, P. 105~117.
- 1990, Lee Eui-Hyeong, Pleistocene Ostracode from the Marine Sedimentary Strata of the Cheju Island, Korea, Korea University Thesis for the Degree of Ph.D., P. 1~400.
- 1990, 서귀포시, 서귀포층의 패류화석 학술조사 보고서, P. 83.
- 1993, 정규귀, 윤 선, 고기원, 제주도 시추코아의 저서성 유공충 연구(요약), 지질학회 제48차 학술발표집 P. 71.
- 1993, 허원혁, 제주도 서귀포층의 생흔화석과 퇴적환경에 관한 연구, 한국 교원대학교 석사학위논문 P.1~83.
- 1994, 박병권, 이의형, 이광식, 서귀포층 개형층의 안정동위원소 성분, 지질학회지, 제30권 제2호, P. 153~158.

## 부 록

- 1995, Kang Soon-Seok, Reconstruction of the paleoenvironment and molluscan assemblage of the Lower Pleistocene Sogwipo Formation, Cheju Island, Korea, Niigata University Thesis for the Degree of Ph. D.,
- 1995, 우경식, 정대교, 박병권, 제주도 플라이스토세 서귀포층에서 산출되는 석회질화석을 이용한 고해양학적 연구, 한국해양학회지 제30권 제3호, P. 216~226.
- 1995, 이성숙, 윤혜수, 윤선, 제주도 신양리층에서 산출된 제4기 석회질초미화석, 한국고생물학회지 제11권, P. 146~158.
- 1995, 이성숙, 윤선, 윤혜수, 고기원, 제주도 신생대 지층에서 산출된 석회질 초미화석, 고생물학회 제11차 학술발표집, P. 14~16.
- 1995, 현대근, 제주도의 시추코아로부터 채취된 개형층화석 군집에 대한 연구, 고려대학교 교육대학원 석사학위논문, P. 1~57.
- 1997, 정규귀, 강소라, 윤선, 제주도 서남부지역 시추코아의 저서성 유공층 화석군집, 고생물학회지, 13(1), P. 69~85.
- 1998, 강소라, 정규귀, 윤선, 제주도 서귀포층의 저서성 유공층 화석군집, 한국고생물학회 제14차 학술발표회 요약집, 6.
- 1998, 이성숙, 윤혜수, 최덕근, 윤선, 고기원, Calcareous nannoplankton from the Seoguipo Formation of cheju Island, Korea and its paleoceanographic implications, 한국고생물학회 제14차 학술발표회 요약집, 4. (영문)
- 1998, Yi, S., Yun, H. and Yoon, S., Calcareous nannoplankton from the Seoguipo Formation of cheju Island, Korea and its paleoceanographic implications, Paleont. Res., 2 (4), P.253~265. (영문)
- 1998, 이성숙, 윤혜수, 최덕근, 윤선, 고기원, 제주도 서귀포층으로부터 산출되는 석회질초미화석과 고해양학적 의의, 한국석유지질학회 학술발표회 발표 논문집, p. 22~28.
- 1998, 강소라, 제주도 서귀포층의 저서성 유공층 화석군집, 부산대학교 대학원 석사학위논문, p. 1~73

## 【광물학 분야】

- 1929, 富田達, 濟州島産 엔놀더소사이트, 日本地質學雜誌 36-242, 435, P. 123~124.
- 1968, 김봉태, 최대웅, 신용화. 제주도 화산회토의 점토광물에 관한 연구. 농사시험연구보고 제15집(식물환경편) P. 15~28.
- 1978, Shin Jae-Sung, Composition and genesis of volcanic ash soils derived from basaltic material in Cheju Island, Korea. Dr. Thesis State Uni. Ghent.
- 1988, 권선영, 제주도 일원에 분포하는 점토광물에 대한 광물학적 특성 연구. 연세대학교 석사학위논문, P. 1~66.
- 1988, 신제성과 George Stoops, 제주도 화산회 토양의 특성 및 생성에 관한 연구 I. 이학화 및

- 형태학적 특성(영문). 광물학회지 제1권 제1호, P. 32~39.
- 1988, 신제성과 Rene Tavernier, 제주도 화산회 토양의 특성 및 생성에 관한 연구 II 사·미사·점토의 광물학적 특성(영문). 광물학회지 제1권 제1호, P. 40~47.
- 1989, 권선영, 문희수, 제주도 일원에 분포되는 근원암의 차이에 따른 점토광물조성, 연세 대학교 기초과학연구소 연구보고 제22권 P. 61~68.

## 【지구물리학 분야】

1968. 이당훈, 김철민, 함대린, 김창기. 제주도 지하수 광역전기탐사 보고서.  
국립지질조사소물리탐사보고 제2권, P. 65~92.
- 1981, Lee Sung-Kug, A study of gravity, crustal structure and isostasy of Cheju Island Korea,  
서울대학교 석사학위논문
- 1982, 한현철, 제주도 동쪽해역의 지구조 연구, 연세대학교 석사학위논문
- 1983, Lee Kieh-Hwa, Jeong Bong Il, Choi Kwang Sun, Lee Sung Kug, A Study of Gravity and  
Geomagnetism of Jeju Island, Jou. of Geo. Soc. of Korea, Vol. 19 No. 1, P. 1~10.
1983. 윤정수, 제주도 지열상태에 관한 지질학적 고찰. 체대논문집 제15집 P. 95~103
- 1984, Michael A. Clyne, Geologic and Geothermal Reconnaissance Cheju-Do, R.O.K., USGS(IR) KS-17
- 1984, 원준선, 제주도에 분포하는 화산암류에 대한 고지자기 연구, 연세대학교 석사학위논문, P. 1~59.
1984. 한국동력자원연구소. 제주지역 지열조사 연구. 83-국토기본지질-5-08, P. 109~140.
- 1986, 민경덕, 원준선, 황석연, 제주도에 분포하는 화산암류 및 퇴적암류에 대한 고지자기 연구,  
광상지질학회지 제19권 제2호, P. 153~163.
- 1987, 이병조. 제주도 표선리 Alkali현무암에 대한 고지자기학적 연구, 전북대학교 교육대학원  
석사학위논문, P. 1~51.
- 1990, 한국동력자원연구소, 동위치 송·수신루프 배열에 의한 과도전자파 수직탐사 자료의 비선형  
최소자승 역해, KR-89-2A-2
- 1990, 한국동력자원연구소, 북제주지구 온천공(북제주군 구좌읍 세화리) 조사보고서, 온천조사보고서  
90-23(No. 52), P. 1~73.
- 1990, 한국동력자원연구소, 북제주지구 온천공(북제주군 구좌읍 종달리 3478번지) 조사 보고서,  
온천조사보고서 90-23(No. 52), P. 1~73.
- 1991, 김형수, 이기화, 제주지역 지하수 조사를 위한 지구물리탐사 연구(요약), 지질학회지 제27권, P. 551.
- 1991, 천광희, 이기화, 제주도 지하수분포 탐지를 위한 쌍극자 배열 지전류탐사 연구(요약), 지질학회지  
제27권, P. 551.
- 1992, 한국자원연구소, 성장작목 종합시범단지 심층 지하(열)수 물리탐사(북제주지구)
- 1992, 한국자원연구소, 제주 성읍지구 온천공(남제주군 표선면 성읍리 392번지) 조사보고서, 온천조사

## 부 록

- 보고서 92-26(No. 108), P. 1~44.
- 1992, 한국자원연구소, 제주(세화·송당)지구 온천자원 조사보고서 [온천조사 보고서 92-13(N0. 95)]
- 1992, 한국자원연구소, 제주도에서의 MT탐사: 전기, 전자탐사 연구, KR-92-1G-5, P. 31~69.
- 1993, 권병두, 오석훈, 이희순, 정현기, 제주도 기생화산의 자연전위(SP) 이상, 한국자원공학회지 Vol. 30, p. 352~360
- 1993, 권병두, 정호준, 이희순, 제주도에 분포하는 화산암류의 물리적 특성, 지구과학 회지 제14권, P. 348~357.
- 1993, 이기화, 김형수. 제주도의 심부전기탐사. 지질학회지, 제29권 제1호 P. 30~38.
- 1993, 최광선, 김진후, 제주도 일원의 정밀 지오이드, 지구과학회지 제14권, P. 219~224.
- 1993, 한국자원연구소, 제주중달지구 온천자원 조사 보고서 [온천조사 보고 93-25(N0. 133)]
- 1993, 伊藤晴明, 한국 울릉도 및 제주도의 신선세-사신세 화산암의 고지자기, 서남일본내대와 한반도의 지질대비, 문부성 과학연구비보조금 연구성과보고서(평성4년), p. 95~105
- 1994, 상공자원부, 제주도 지열자원탐사 및 최적활용 방안 연구(I). 931K101-113API, P. 1~235.
- 1994, 이기화, 김형수, 제주도 해안지역의 전기비저항 탐사. 지하수환경학회지 제1권 1호, P. 33~50.
- 1994, 이희순, 제주도 지질구조의 지구물리학적 연구(영문), 서울대학교 박사학위논문, P. 1~172.
- 1994, 황재하, 이병주, 송교영, 제주도의 제4기 지구조운동, Econ. Environ. Geol. 제27권 제2호, P. 209~212.
- 1995, 통상산업부, 제주도 지열자원 탐사 및 최적 활용 방안 연구(II)
- 1995, 서귀포시 색달지구 온천공 조사보고서, 한국자원연구소(95-7)
- 1996, 통상산업부, 제주도 지열자원 탐사 및 최적 활용 방안 연구(III)
- 1997, 권병두, 이희순, 화산섬의 지구물리학적 및 환경지질학적 특성 비교연구 : 제주도와 하와이제도. 한국지구과학회지, 18 (3), P. 217~237.
- 1998, 권병두, 이희순, 오석훈, 이준기, 제주도 만장굴에 대한 복합 지구물리탐사 기법, 자원환경지질, 31 (6), P. 535~545.
- 1998, 이동호, 제주도 시추코어와 서귀포층 노두의 자기층서, 부산대학교 대학원 석사학위 논문, p. 1~90
- 1998, 이동호, 김인수, 제주도 육상 서귀포층의 자기층서 및 대자율 연구, 대한지질학회 학술발표회 초록집, p. 63~64

## 【수자원 분야】

- 1988, 室井渡, 塚本正夫, 西野松雄, 제주도 수원조사 개보(공업용수조사 제4보). 일본중앙시험소 17-11, P. 1~38.
- 1964, 서해길, 조한익, 남기영, 제주도 남부 지하수원. 국립지질조사소 지하수원조사보고 제1호 P. 77~95.
- 1965, 건설부, 제주도 고지대 용수 이용계획 조사 보고서, P. 1~119.
- 1965, 건설부, 제주도 지하수 탐색 지질조사 보고서

제주도 수문지질에 관한 조사·연구 목록

- 1965, 건설부, 제주도(동북부) 지하수원 지질조사 보고서, 지하수원지질조사 보고서
- 1965, 건설부, 제주도산업지 기초조사 보고서
- 1965, 남기영, 김동숙. 제주도 남동부 지구의 지하수원. 국립지질조사소 지하수원조사보고서 제2호, P. 33~64.
- 1966, 건설부, 제주도 한림지역 공장 분산을 위한 지하수원 탐색 지질조사보고서, P. 21~33.
- 1966, 남기영, 제주도의 지질과 지하수. 국립지질조사소 지하수원 조사 보고서 제3호, P. 109~137.
- 1966, 남기영, 화산암지역 지하수의 특징(제주도를 중심으로), 지질·광상 제3권, P. 16~23.
- 1968, 대한민국, 농업용수 개발계획, 제주도 남제주군(code N0.11-169), P. 20.
- 1968, 대한민국, 농업용수 개발계획, 제주도 북제주군(code N0.11-168), P. 25.
- 1968, 대한민국, 농업용수 개발계획, 제주도 제주시(code N0.11-167), P. 12.
- 1968, 제주도, 어승생용수시설 급수관로 동부지선 및 강정천개발 기본계획 보고서
- 1968, 제주도, 어승생용수시설 급수관로 서부지선 및 외도천개발 기본계획 보고서
- 1969, Yoram Eckstein, Hydrogeology of a Volcanic Island Cheju-Do, Korea, International Association of Scientific Hydrology, XIV, 4. 12/1969
- 1969, 김옥준, 제주도 수자원의 특수성과 개발방안, 광산지질학회지 제2권 제1호P. 71~80.
- 1970, 농림부, 농어촌진흥공사, 70년도 농업용수개발 지하수조사 중간보고서
- 1970, 제주도, 강정천 용수개발 기본계획 보고서
- 1971, 농림수산부, 농업진흥공사. 제주도 지하수보고서, P. 1~382.
- 1971, 제주도, 강정천 용수개발 조사설계 실시설계 자료 조서
- 1972, Misson to KIGAM, ROK, Tube well irrigation project: groundwater resources of selected area of Cheju Island and the mainland, U.N.D.P. & F.A.O. Rome.vol. I, UNDP/ROK/68/524
- 1972, 제주도, 강정천 용수개발사업 기본계획서
- 1972, 해외기술협력사업단, 제주도 관광개발계획 조사보고서(제5장 수자원)
- 1972~1998, 농어촌진흥공사, 제주도 지하수개발 보고서
- 1973, 농수산부, 농업진흥공사, 제주도와 OAHU도의 지하수(도서지방 수자원개발현황). P. 1~167.
- 1976, 강용식. 제주도 지하수 수량의 표고와 지구별 분석, 제주전문대학 논문집 제1집, P. 19~28.
- 1977 이문원, 한규언, 제주도의 지질과 지하수와의 연구(1)-자연수위와 대수층과의 관계. 제주대학교 논문집, 제8집, P. 23~29.
- 1978, 제주도지방국토관리청, 제주도용수개발 기본계획 보고서
- 1979, 제주도. 강정천 용수개발사업 기본계획 보고서
- 1980, 농림수산부, 농업진흥공사, 제주도 지하수개발 현황과 전망(평가분석과 장기계획안). P. 1~179.
- 1981, M.J. Wilson, 정창조, 제주도 중산간지대 초지권내 지표수원 조사. 제주대학교 논문집. P. 157~167.
- 1981, 산업기지개발공사. 제주도 수자원개발 종합보고서, P. 388.
- 1981, 특정지역종합개발추진위원회. 제주도 중산간지대 용수개발 기본계획(제1차년도) 보고서
- 1983, Ahn, J.S., Han, J.S. and Lee,C.K., Studies on Isotope Hydrology of Korea, Fourth Pacific

부 록

- Basin Nuclear Conference, Vancouver, Canada
- 1984, Amos Ecker, Cheju Island Water Potential Study, KIER and UNDTCD
- 1984, 고병련, 제주도의 지하수 부존형태와 지하수위 변동에 관한 연구. 건국대학교산업대학원 석사학위논문, P. 1~53.
- 1984, 안종성, 한정상, 이정호, 정창조, 유장걸, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 수문학회지 제17권 P. 72~79.
- 1985, 정창조, 박양문, 유장걸, 유기중, 안종성, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구. 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고 제1호, P. 33~46.
- 1985, 최순학, 제주도의 지하수 유동, 경북대학교 대학원 석사학위논문
1985. 한국동력자원연구소, 제주지역 수리지질 조사 연구. P. 165~242.
- 1986, 윤정수, 제주동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한 연구. 제주도연구 제3집, P. 43~53.
- 1986, 정창조, 유장걸, 안종성, 송성준. 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구, 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고 제 2집, P. 29~44.
- 1986, 한국동력자원연구소, 제주지역 수리지질조사연구, KR-86-2-8, P. 83~158.
- 1986, 한국에너지연구소, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구, KAERI/RR 527/86.
- 1987, 고병련, 제주도 지하수의 용출현상에 의한 용천분석 연구(I)- 수리·수문학적 측면에서-, 제주전문대학 논문집 제 8집, P. 319~334.
- 1987, 고창종. 제주도 강수량의 잠재증발산량에 대한 고찰, 제주전문대학 논문집 제8집, P. 297~302.
- 1987, 농림수산부, 농업진흥공사, 제주도 서귀포시 호근지구 수맥도조사보고서, P. 1~34.
- 1987, 한국동력자원연구소, 제주지역 영향권 조사연구(I). KR-87-29, P. 189~231.
- 1988, Misson to KIGAM, ROK, Groundwater resources development, UNDTCD DP/UN/ROK/014/1, New York
- 1988, 고병련. 제주도 지하수의 용출현상에 의한 용천분석 연구(II)-지질·지형학적 측면에서-, 제주전문대학 논문집 제 9집, P. 273~293.
- 1988, 농림수산부, 농업진흥공사, 제주도 서귀포시 범호천지구 수맥도조사보고서, P. 1~44.
- 1988, 제주도 수자원개발 예비 타당성조사 연구 보고서
- 1988, 최순학, 제주도의 형성과 지하수 특성, 제주도연구 제5집, P. 59~77.
- 1989, 농림수산부, 농업진흥공사, 제주도 서귀포시 회수지구 수맥도조사보고서, P. 1~29.
- 1989, 농림수산부, 제주도, 농업진흥공사. 제주도 지하수장기개발계획 조사 보고서, P. 396.
- 1989, 안종성, 유장걸, 정창조, 송성준, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구(IV), 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고 제 4집, P. 35~59.
- 1989, 조진동, 구성분, 이상규, 해수오염조사를 위한 TEM Sounding의 시험, 지질학회지 제24권, P. 71~81.
- 1989, 최순학, 김영기, 제주도 지하수의 수질 특성, 지질학회지 제25권, P. 230~238.
- 1989, 한국수자원공사, '89 제주도 및 울릉도 수자원개발 조사보고서, P. 276.
- 1989, 한국수자원공사, 제주도 및 울릉도 수자원개발 타당성 지질조사 보고서, P. 272.

- 1990 Choi Soon Hak, Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Cheju Island. Kyungpook National University, P. 1~169.
- 1990, 고병린, 해안대수층에서 담·염수 경계면의 위치에 관한 연구, 제주전문대학 논문집 제11집, P. 241~255.
- 1990, 농림수산부, 농어촌진흥공사, 남안지구 농어촌 용수 구역 조사 보고서(제주도 남제주군 안덕면), P. 1~95.
- 1990, 한국동력자원연구소, 제주도 수자원의 특성과 수질오염 연구(II),KR-90-(B)-10
- 1990, 한국수자원공사, 제주도수자원조사보고서
- 1991, Choi Soon Hak, Kim Young Ki, Lee Dong Young, Sea Water Intrusion in the Coastal Area Of Cheju Volcanic Island, Korea, Jour. of Inst. Mining Geol. Vol. 24 No. 3, P. 319~327.
- 1991, 고기원, 제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수와의 관계(요약), 지질학회지 제27 권 5호, P. 528.
- 1991, 농림수산부, 농어촌진흥공사, 제한지구 농어촌 용수 구역 조사 보고서(제주도 북제주군 한경면), P. 1~95.
- 1991, 농림수산부, 제주도, 농어촌진흥공사, 제주도 '91 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서
- 1991, 이기화, 제주도 지하수의 Ghyben-Herzberg 관계 소고(요약), 지질학회지 제27권, P. 551.
- 1991, 한국수자원공사, 북제주지역 수리지질계 분석에 관한 연구보고서
- 1992, 건설부, 한국수자원공사, 제주도 중산간 용수개발 기본계획 및 실시설계 보고서
- 1992, 건설부, 한국수자원공사, 제주도 중산간 용수개발 실시설계 지질조사 보고서, P. 176.
- 1992, 고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤 선, 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보제3권 P. 15~43.
- 1992, 고기원, 박원배, 김호원, 채종일, 제주도의 지하지질구조와 지하수위 변동과의 관계(I) - 강우에 의한 지하수위 변동-(요약), 지질학회지 제28권 5호, P. 540.
- 1992, 고기원, 양성기, 박원배, 감상규, 제주도의 지하지질구조와 지하수위 변동과의 관계(II) - 조석에 의한 지하수위 변동-(요약)지질학회지 제28권 5호, P. 540~541.
- 1992, 김종훈, 안종성, 제주도 용천수의 수질화학적 특성과 연대측정에 관한 연구, 한국화학학회지 제36권 제5호, P. 727 ~ 737.
- 1992, 농림수산부, 제주도, 농어촌진흥공사, 제주도 '92 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서
- 1992, 이기화, 제주도의 담수-해수간의 유체동력학적 평형, 지질학회지, 제28권 제6호, P. 649~664.
- 1993, 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 제주도수자원종합개발계획수립보고서
- 1993, 고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승중, 송영철, 윤 선, 제주도 동·서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보 제4권 P. 191~222.
- 1993, 농림수산부, 제주도, 농어촌진흥공사, 제주도 '93 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서
- 1993, 박원배, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, P. 1~49.
- 1993, 정상용, 제주도 기저지하수 분포에 관한 연구(요약), 대한지질학회 제48차 학술 발표집, P. 47~48.
- 1993, 한국수자원공사, 해수의 지하수 침투 예상모형 연구, WRII-WR-93-5 연구보고서, P. 1~90.
- 1993, 고기원, 윤 선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남중, 정구원, 제주도의 지하수 산출특성(요약), 지질학회 제48차 학술발표집 P. 48.

## 부 록

- 1994, 고기원, 고용구, 윤정수, 제주도 동·서부지역의 지하수 수질특성과 표고별 및 계절별 수질변화 양상에 관한 연구(요약). 대한지질학회 제49차 학술발표집, P. 40~41.
- 1994, 김성홍, 신승중, 오상실, 송영철, 오순미, 이신숙, 고정녀, 고현정, 고용구, 제주도 동·서부지역 지하수의 염분변화에 대한 조사연구, 제주도보건환경연구원보 제4권, P. 153~168.
- 1994, 김성홍, 신승중, 오상실, 송영철, 오순미, 이신숙, 고정녀, 고현정, 고용구, 제주도 용천수의 위생학적 조사 연구, 제주도 보건환경연구원보 제4권, P. 169~176.
- 1994, 김성홍, 신승중, 오상실, 송영철, 오순미, 이신숙, 고정녀, 고현정, 고용구, 제주도 지하수의 염분변화에 대한 조사 연구, 제주도보건환경연구원보 제3권, P. 201~215.
- 1994, 농림수산부, 제주도, 농어촌진흥공사, 제주도 '94 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서
- 1994, 박관석, 제주도 해안에서의 지하해수에 대한 화학적 특성에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문
- 1994, 윤 신, 고기원, 박원배, 제주도 서귀포층의 지하분포 상태와 지하수 부존특성과의 관계. 제주대학교 수자원연구회 학술심포지엄, P. 97~132.
- 1994, 윤정수, 박상운, 제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화, 제주대학교 해양연구소 연구보고, 18, P. 59~83.
- 1994, 제주도, 제주의 지하수 이렇게 보호합시다
- 1994, 한정상, 제주도 지하수 자원의 보호전략에 관한 연구. 지질학회지, 제30권 제3호, P. 325~340.
- 1994, 한정상, 한규상, 김창길, 김남중, 한찬, 제주도 지하수자원의 최적 개발 가능량, 지하수환경학회지 제1권 1호, P. 33~50.
- 1994, 현해남, 오상실, 고승학, 제주도 지하수 중 오염물질의 농도와 토양 중 그의 행동에 관한 연구, 한국환경농화학회지, 13(1), P. 19~30.
- 1995, 고기원, 문영석, 양성기, 제주도 동북부지역 지하수의 수위변동과 수질조성에 관한 연구, 제주대학교 환경연구소 환경연구논문집 제3권 1호, P. 101~126.
- 1995, 고기원, 문영석, 최영찬, 고용구, 제주도 지하수의 전기비전도도와 염소이온의 지역별 변화양상, 제주대학교 해양연구소 연구보고 제19권, P. 115~127.
- 1995, 농림수산부, 제주도, 농어촌진흥공사, 제주도 '95 장기관측망 설치 및 조사실적 보고서
- 1995, 농림수산부, 제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구 중간보고서, P.1 ~130.
- 1995, 한국수자원공사, 제주도 광역상수도 1단계 기본 및 실시설계 용역보고서
1995. 건설교통부, 한국수자원공사, 제주도 광역상수도 1단계 기본 및 실시설계 지질 조사 보고서
- 1996, 농림수산부, 제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구 중간보고서, P.1 ~231.
- 1996, 제주도, 제주도 지하수를 이용한 광역상수도 정수처리방안, P. 1~155.
1996. 박상운, 제주도 용천수의 수량변화와 수리화학적 연구, 제주대학교 대학원, 석사학위논문, P. 1~115.
1996. 송시태, 고기원, 윤신, 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 습곡구조와 꽃자왈지대에 관한 연구(1), 대한지하수환경학회 학술발표회 요지집,
1996. 현익현, 질산성질소로 오염된 지하수의 오염원에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, P. 1-44
- 1996, 김경찬, 제주도 서귀포지역 용천수의 수질특성에 관한 연구, 한국교원대학교 대학원



- 석사학위논문, p. 1~47
- 1997, 고기원, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 대학원 박사학위논문, p. 1~325
- 1997, 오윤근, 현익현, 815N값을 이용한 제주도 지하수중의 질산성질소 오염원 추정에 관한 연구, 대한지하수환경학회지 제4권 제1호, p. 1~4.
- 1997, 박남식, 이용두, 중-동 제죽수역의 지하수개발로 인한 해수침투, 대한지하수환경학회지 제4권 제1호, p. 5~13.
- 1998, 고기원, 문영석, 강봉래, 송시대, 박윤석, 제주도 해안지역에서 담·염수 혼합대 하부에 발달한 담수 대수층에 관한 사례연구, 대한자원환경지질학회·대한지하수환경학회 공동 학술발표논문집, p.155~156
- 1998, 고기원, 문영석, 강봉래, 송시대, 박윤석, 제주도의 용천수 분포와 용출유형에 관한 연구(1)-제주시 및 애월읍지역에 대하여-, 대한지질학회 학술발표회 초록집, p. 25~26
- 1998, 고병련, 지하수 수질 및 오염 예측 모델에 관한 연구, 영남대학교 대학원 박사학위 논문, p. 1~187

## 【암석학 분야】

- 1925, 中村新太郎, 濟州火山島 雜記, 地球 4, P. 325.
- 1928, 原口九萬, 濟州島 알카리 岩石. 地球 10, P. 416~422.
- 1928, 原口九萬, 제주도 화산암 중의 반정 및 제3기 화석, 지구 10-5, P. 34~40.
- 1929, Kozu, S., and Seto, K., The chemical microscopical studies of some Korean rocks, Proceedings of the Pan-Pacific Science Congress II-B, P. 1067.
- 1929, 原口九萬, 제주도의 화산암에 대하여, 일본지질지 36-429, P. 281~283.
- 1929, 原口九萬, 제주도 별도봉 서북해안의 화산암설층 중에 포획된 화강암에 대하여, 지구 12-2, P. 94~99.
- 1930, 原口九萬, 濟州 火山岩의 岩漿分化에 對하여, 地球 13-4, P. 9~34.
- 1937, 岩崎岩次, 本邦 火山의 地球化學的 研究(其八)-本邦火山帶의 溶岩의 化學組成, 日本化學會誌 58-5, P. 482~506.
- 1966, 이상만, 제주도의 화산암류(영문), 지질학회지 제2권2호, P. 1~7.
- 1969, 松本正付, 제주도 화산암류의 암석화학 초보,
- 1970, 김찬국, 김무송, 제주도 화산암의 화학조성 연구, 국립지질조사소 지구물리화학 탐사 보고4-1, P. 187~198.
- 1970, 種子田定勝, 中村眞人, 濟州島 火山의 地質學的.岩石學的.古磁氣學的 性格. 火山, 第15卷 第2號 P. 96~108.
- 1976, 원종관, 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적 연구, 지질학회지 제12권 제4호, P. 207~226.
- 1982, Lee Moon Won, Petrology and Geochemistry of Cheju Volcanic Island Korea, The Science Reports of the Tohoku University, Series III. Vol. XV, No.2

## 부 록

- 1982, 이문원, 한국 제주도의 암석학(I), 일본 암석광물광상학회지 제77권, P. 203~214.
- 1982, 이문원, 한국 제주화산도의 지질, 일본 암석광물광상학회지 제77권 P. 55~64.
- 1984, 이문원, 제주화산암류에 포획된 mafic 포획암, 지질학회지 제20권 P. 306~313.
- 1991, 박준범, 권성택, 제주도 화산암의 암석화학적 진화(II)(요약), 지질학회지 제27권, P. 531.
- 1993, 박준범, 권성택, 제주도 화산암의 암석화학적 진화: 남-북과 동-서지역의 차이(요약), 대한광상지질학회 제26차 학술발표집, P. 33.
- 1993, 박준범, 권성택, 제주도 화산암의 지화학적 진화(II): 제주 북부지역 화산암류의 미량원소적 특징. 지질학회지, 제29권 제5호, P. 447~492.
- 1993, 박준범, 권성택, 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주 북부지역의 화산층서에 따른 암석기재 및 암석화학적 특징, 지질학회지, 제29권 제1호, P. 39~60.
- 1993, 박준범, 권성택, 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주도 북부지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석학적 특징. 지질학회지 제29권 제1호, P. 39~60.
- 1993, Miyake, Y., Furuyama, K., Yoon, S., Koh, G. W., and Nagao, K., Temporal chemical variation of Pliocenes volcanic rocks from Cheju Island Korea., In geological correlation of southwest Japan and Korea Peninsular-tectonics for spreading of active continental margin. Sci. Report, Shimane Univ., P. 106~111.
- 1994, 길영우, 원종관, 이문원, 제주도 동북사면 일대에 분포하는 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구(요약), 대한지질학회 제49차 학술발표집, P. 20.
- 1994, 박준범, 제주도 화산암의 지화학적 진화, 연세대학교 박사학위논문, P. 1~303.
- 1994, 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구, 지질학회지 제30권 제6호, P. 521~541.
- 1995, 박준범, 권성택, 제주 북부 화산암류의 분화 : 질량득실 평가, 지질학회지 제31권제2호, P. 151~161.
- 1997, 장광화, 제주 화산도의 조면암류에 대한 암석 성인적 연구, 연세대학교 대학원 박사학위논문, p. 1~188
- 1998, 최성희, 이민성, 이한영, 좌용주, 제주도의 알카리현무암내에 포획되어 있는 초염기성암에 대한 지구화학적 연구, 대한지질학회 학술발표회 초록집, p. 10
- 1998, 최성희, 제주도의 현무암내에 포획되어 있는 초염기성암에 대한 지구화학적 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문, p. 1~203
- 1998, 원종관, 길영우, 이문원, 제주도 동북사면에 분포하는 화산암류의 암석학적 연구, 한국지구과학회지, 19 (3), P. 329~342.
- 1998, 윤성호, 이윤동, 정원우, 제주도 하부 기반암 중의 화강암에 대한 암석화 및 저어콘 결정형태 연구: (1) 백악기 화강암. 한국지구과학회지, 19 (5), P.486~494.
- 1998, 원종관, 이문원, 윤성호, 고보균, 제주도 남동부 표선지역 화산암류의 지구화학적 특징, 지질학회지, 34 (3), P. 172~191.
- 1998, 윤성호, 고정선, 안지영, 제주도 동부 알칼리 현무암내 스피넬-레졸라이트 포획체의 연구, 자원환경지질, 31 (5), P. 447~458.

**【층서학 분야】**

- 1925, 中村新太郎, 濟州火山島 雜記, 地球 4. P. 325.
- 1929, 原口九萬, 濟州島 遊記(1). 地球 12-1, P. 25~39.
- 1930, 原口九萬. 濟州火山島, 小川博士還歷 記念論文, P. 595~649.
- 1931, 原口九萬, 濟州島의 地質, 朝鮮地質調查要報 第10卷 第1號, P. 1~34.
- 1965, 한국지하자원조사소, 제주도 지하수 심부지질 조사 보고서
- 1970, 윤 선, 제주도 성읍리-대륙산 지역의 용암류 분출 및 기생화산구 형성의 순서에 관하여.  
지질학회지 제6권 제4호 P. 205~212.
- 1975, 원종관, 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대 부설 응용과학연구소 이학논집 제1권 P.1~46
- 1976, 원종관, 제주도에 분포하는 火山丘의 구조해석에 관한 연구, 건국대 이학논집 제2집, P. 33~43.
- 1977, 이문원, 제주도 해안지대에 분포하는 퇴적암에 관한 연구. 제주대학교 논문집, 제8집 P. 23~29.
- 1983, 이문원, 손인석, 제주도는 어떻게 만들어진 섬일까?, 춘광, P. 1~134.
- 1984, 이문원, 손인석, 제주 화산도의 용기지형과 구조운동에 관하여, 제주대학교 논문집 제17권, P. 221~228.
- 1985, 윤정수, 제주 연안의 해빈퇴적물에 관한 연구. 광산지질학회지 제18권 제1호, P. 55~63.
- 1985, 이 문원, 제주화산도, 지구과학회지 제6권 P. 49~53.
- 1986, Kim Dong Hak, Hwang Jae Ha, Hwang Sang Koo, Malcolm Fletcher and Antony Jon Reedman. Tuff Rings and Cones on Jeju Island, Korea. Jou. of Geo. Soc. of Korea, Vol. 22 No.1, P. 1~9.
- 1986, Won Chong Kwan, Matsuda J., Nagao K., Kim K.H. and Lee M.W. Paleomagnetism and radiometric age of trachytes in Jeju Island, Korea. Juor. Korea Inst. Mining Geol., Vol. 19, P. 25~33.
- 1986, 한국동력자원연구소, 제주도 화산활동 연구, KR-86-(B)-4, P. 1~35.
- 1986, 한국동력자원연구소, 제주도서남부지역 응용지질도(S:1/25,000)
- 1987, 이은일, 서귀포층의 퇴적구조 및 퇴적환경 연구, 충남대석사학위논문
- 1987, 한국동력자원연구소, 제주도 남부지역의 제4기 지질조사 연구, KR-86-2-(B)-2,
- 1987, 한국동력자원연구소, 제주도 중남부지역 응용지질도(S:1/25,000)
- 1987, 한상준, 윤호일, 박병권. 제주도 신양리층의 연안퇴적환경, 해양학회지 제22권 제1 호 P. 1~8.
- 1988, 손영관, 제주도 수월봉 응회구의 퇴적 모델(영문). 서울대학교 석사학위논문
- 1988, 윤 선, 홍경선, 이진명, 제주도 서귀포층의 층서적 위치(요약), 대한지질학회 제43차 학술발표집
- 1988, 한국동력자원연구소, 제주도 화산활동 연구(II)-제주도 서부지역의 화산층서와 분출사,  
KR-88-(B)-4, P.1~49.
- 1988, 황제하, 제주도 두산봉 일대의 지질과 화산활동 연구, 전남대학교 대학원 석사학위논문, P. 1~38.
- 1988, 고기원, 윤정수, 김성복, 제주 동부 우도의 해빈퇴적물에 관한 연구, 제주대학교 해양연구소  
연구보고 제12권 P. 43~53.
1988. 박일진, 제주도 서해안의 응회구에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문

부 록

- 1989, 이상목, 제주도 일출봉의 구조와 성인 및 그 주변의 층서에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, P. 1~24.
- 1990, 玉生志郎, 韓國濟州島の 火山岩의 K-Ar年代와 層序學的 解釋. 日本地質調査所月報 第41卷 第10號, P. 527~537.
- 1990, 윤석훈, 조성권, 제주도 서귀포층 야외답사 안내서(영문), 한림출판사, P. 42.
- 1991, 고기원, 제주도 서귀포층의 지하분포상태, 제주대학교 해양연구소연구보고 제15권, P. 81~92.
- 1991, 이동영, 김주용, 제주도의 화산활동사와 층서 고찰(요약), 지질학회지 제27권, P. 538.
- 1992, Sohn Young Kwan, Depositional Models of Basaltic Tuff Ring and Tuff Cones in Cheju Island, Korea. Seoul National University Thesis for the Degree of Ph. D., P. 1~210.
- 1992, 윤 선, 고기원, 박원배, 김호원, 채종일, 제주도 동부지역의 지하지질구조(요약). 지질학회지 제28권 5호, P. 39~40.
- 1992, 윤 선, 고기원, 영실분화구와 고제주화산체(요약). 지질학회지 제28권 제5호 P. 528~529.
- 1992, 황상구, 황재하, 김동학, M.F.Howells, 제주도 송악산 응회환·분석구의 화산과정. 지질학회지, 제28권 제1호, P. 110~120.
- 1992, 황상구. 우도응회구의 분출기구와 분출과정. 암석학회지, 제1권 제1호, P. 91~103.
- 1993, Sohn Young Kwan, Chough Sung Kwun, The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone, Sedimentology, Vol. 40,P.769~786.
- 1993, Sohn Young Kwan, Chough Sung Kwun, The Udo tuff cone, Cheju Island, Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and grain flow on a steep volcanic cone slope, Sedimentology, Vol. 40.
- 1993, 원종관, 이문원, 김문섭, 이동영, 박계현, 제주도 남사면 일대에 분포하는 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구(요약), 지질학회 제48차 학술발표집, P. 63.
- 1993, 원종관, 이문원, 이동영, 손영관, 제주도 동부지역 화산암류의 화산층서 및 암석학(요약), 지질학회 제48차 학술발표집, P. 63~64.
- 1993, 황상구, 우도 분화구에서의 일윤회 화산과정, 대한광상지질학회지 제26권 제1호, P. 55~65.
1993. S. K. Chough, Sohn Young Kwan. Depositional processes of the Suwolboing tuff ring, Cheju Island(Korea), Sedimentology, Vol. 36, P. 837~855.
- 1993, 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 제주도 성산도폭 지질 설명서
- 1994, 윤 선, 고기원, 제주도 구조발달사(요약). 지질학회 제49차 학술발표집 P. 40~41.
- 1994, 윤정수, 고기원, 제주도 연안 해빈퇴적물의 계절적 변화에 관한 연구, 지구과학회지 제15권, P. 46~ 59.
1995. 손영관, 제주도 용머리 응회환의 구조와 층연속체 : 이동하는 화구로부터의 순차퇴적(영문), 지질학회지 제31권 제1호, P. 57~71.
1995. 윤선, 고기원, 김인탁, 제주도 형성사, 제주도지 제98호, P. 148~164.
- 1995, 한국수자원공사, 제주도 표선도폭 지질 설명서
- 1995, Kazumi Matsuoka, Moo-Hon Kim, Keiji Takemura, Shinji Nagaoka, Jun-Baek Lee, Geologic ages and facies of the core sediments from Cheju Island, Korea, Bull. Faculty of Liberal Arts,

- Nagasaki Univ.(Natural Science), 35(2), p. 135~145
- 1997, Yoon, S. Koh, G.W. and Song, S., Subsurface geologic structure of Cheju Island, Abstract Volume, International Conference on Neogene Evolution of Pacific Ocean Gateway, final Meeting of IGCP-355, Kyongju, Korea, P. 36~37. (영문)
- 1997, 윤정수, 정덕상, 제주도 연안 어장의 지질환경 특성 (I)-제주항 주변 연안 해역의 퇴적환경, 한국지구과학회지, 18 (5), P. 387~400.
- 1997, 손인석, 제주화산도의 암석층서 및 연대층서, 제주대학교 대학원 박사학위논문
- 1997, Yoon Sun, Miocene-Pleistocene volcanism and tectonics in southern Korea and their relationship to the opening of the Japan Sea, Tectonophysics Vol. 281, p. 53~70
- 1998, 손인석, 이문원, 윤정수, 제주화산도의 해수면하의 층서, 한국지구과학회지, 19 (6), P. 581~589.
1998. 제주도, 제주·에월도폭 지질보고서
- 1998, 한국과학재단, 제주도종합층서와 지하지질구조
- 1998, Kim Kyu Han, Toshio Nakamura, Hiroshi Aoki, Yoon Jeong Soo, Kim Kyong Ryeol, Yun Mi Yong, Palaeoclimatic and chronostratigraphic interpretations from strontium, carbon and oxygen isotopic ratios in molluscan fossils of Pleistocene Seoguiipo Formation and Shinyangri Formation, Cheju Island, Korea, 대한지질학회 학술발표회 초록집, p. 22~23

## 【지형학 및 기타 분야】

- 1963, 김상호, 제주도의 자연지리, 대한지리학회지 제1호, P. 1~14.
- 1976, 원종관, 제주도에 분포하는 火山丘의 구조해석에 관한 연구, 건국대 이학논집 제2 집, P. 33~43.
- 1979, 강상배, 제주도 남북사면 지형의 비교 연구, 건국대학교 석사학위 논문, 제주교육대학논문집 제9 집, P. 126~133.
- 1979, 원종관, 강상배, 제주도 남·북사면에서의 지형발달의 비교연구, 건국대 이학논집, P. 89~107.
- 1981, 박동원, 오남삼, 제주도 파식대에 대한 지형학적 연구, 지리학논업 제8집, P. 1~10.
- 1981, 박병수, 제주도 용암동굴의 성인과 특성, 동굴학회지 제6권 제7호, P. 15~16.
- 1981, 손인석, 제주도에 분포하는 기생화산의 유형분류에 관한 연구, 고려대학교 교육대학원 석사학위 논문
- 1981, 신유영, 만장굴의 微地形考, 동굴학회지 제6권 제7호 P. 55~56.
- 1981, 오남삼, 신양리 해안지형 연구, 고려대학교 교육대학원 석사학위 논문
- 1981, 이수진, 제주도의 기생화산 형성과 분포에 관한 연구, 동굴학회지 제6권 P. 8~14.
- 1981, 홍시환, 세계 최장의 빌레못 용암동굴 한일합동 조사로 확인, 동굴학회지 제6권 제7호 P. 62~65.
- 1981, 홍시환, 제주도 만장굴 동굴계 학술조사보고, 동굴학회지 제6권 제7호 P. 32~48.
- 1982, 한일합동조사반, 제주도 용암동굴 조사 보고.

## 부 록

- 1984, 박동원, 오남삼, 박승필, 가파도와 마라도의 지형·제주도연구 제1집, P. 365~82.
- 1985, 경북대학교, 제주도 기생화산의 분포 형태
- 1985, 박승필, 제주도 기생화산에 관한 연구-지형과 분포를 중심으로- 제주도연구
- 1986, 박승필, 제주도 측화산에 관한 연구, 전남대학교 논문집, P. 159~166.
- 1991, 북제주군, 북제주군지역 기생화산(오름)에 관한 학술조사보고서
- 1991, 윤정수, 손인석, 제주시 3대 하천지대의 지질구조와 지형발달, 제주대 해양연구소보 제15권, P. 45~60.
- 1993, 북제주군, 만장굴 학술조사 보고서, P. 1~236.
1997. 제주도, 제주의 오름, p. 1~483

## 【심포지움 및 세미나 분야】

- 1991 제주대 사회발전연구소, 제주도 수자원연구회 제주도 수자원의 합리적인 개발과 보전 방향에 관한 심포지움. P. 1~107.
1. 이기화: 제주도 수자원 문제의 지구물리학적 접근
  2. 유재근: 제주도 수질관리의 기술과 전망
  3. 한원규: 제주도와 오아후섬의 수자원
  4. 손인석, 고용구: 제주 화산도의 하천과 수자원의 이화학적 특성
  5. 윤정수: 제주도 동부지역 지하수의 고염도에 관한 지질학적 고찰
- 1991, 한라일보사, 제주도 지하수 함양·보전을 위한 심포지움, P. 1~156.
1. 김영용: 제주도의 지하수 부존과 해수침투 방지대책 방안
  2. 김영기: 제주도의 지질환경에 대한 영향평가
  3. 한정상: 제주도 지하수자원의 오염현황과 관리보존대책
  4. 현해남: 제주도 중산간지대 토양의 특성
- 1992, 대한광상지질학회, 대한지질학회, 지하수자원의 활용과 보전(1992년도 제8회 공동학술 강연회). P. 1~114.
1. 김천수: 제주도 지하수환경의 오염취약성
- 1992, 충북대 수자원·수질연구센터, 수자원·수질 종합관리와 제주도 지하수자원 종합개발 및 보전('92학·연·산·정부·국제협력 특별 심포지움). P. 1~127.
1. John F. Mink: Groundwater Occurrence, Development and Sustainable Yields : Cheju Island, Korea
  2. 최순학: 제주도 지하수의 수리지질학적 특성과 개발 및 보전
- 1992 제주대학교 지역개발연구소, 제주대학교 사회발전연구소, 제주대학교 수자원연구회, 제주도 수자원의 보전과 이용. P. 1~70.
1. 이태섭: 해안지대 지하수자원 조사를 위한 항공원격탐사

제주도 수문지질에 관한 조사·연구 목록

2. 류재근: 우리나라 호소 부영양화 방지기술의 현황과 전망
  3. 윤양수: 지하수 관리정책상의 기본과제
  4. 진성원: 제주지하수 보전과 활용을 위한 장기관측(2차년도 중간보고)
  5. 강경선: 주요 선진국의 농업과 환경정책 동향(지하수를 중심으로)
- 1992, 제주국제협의회, 제주지구청년회의소, 제주대환경연구소, 제주의 인간과 환경, p. 1~117.
1. 김용호: 제주도 상수도와 환경오염
  2. 최순학: 제주도 지하수자원의 보전과 개발방향
- 1993, 한라산-백두산 화산비교 연구회, 제주도 화산지질에 대한 심포지움,
1. 원종관: 제주 화산지질 연구사
  2. 권성택, 박준범, 정광화: 제주 화산도 조면암의 지화학적 특징
  3. 박준범, 권성택: 제주도 화산암의 암석학적 진화
  4. 윤정수: 제주도 주변 대륙붕 지질에 대한 Pb-210, Cs-137 및 대자율 연구
  5. 이동영, 김주용: 제주도의 화산활동사
  6. 박창고: 서귀포층의 도움상 구조여부에 대한 고지자기학적 규명 및 제주도 화산암체 형성과정에 대한 암시
  7. 이문원, 원종관, 이동영, 박계현: 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구
- 1994, 제주도수자원연구회, 지하수자원의 농업용수 활용방안과 수질보전, P. 1~132.
1. 김용우: 매립지에서의 지하수 오염 및 방지시설의 최적화 기술
  2. 진성원: 제주지역의 농업용수 개발방향에 대한 소고
  3. 고용구: 제주도 해안용출수의 수질특성
  4. 윤정수: 제주도 지하수의 장기개발에 따른 문제점 고찰
  5. 윤선, 고기원, 박원배: 제주도 서귀포층의 지하분포상태와 지하수 부존특성과의 관계
- 1994, 대한지하수환경학회, 전략광물자원 연구센터, 제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발 이용, P. 1~217.
1. 최순학: 제주도 지하수의 조사연구 발달사
  2. 현해남, 오상실: 제주도 토양의 오염물질 흡착능과 지하수 오염
  3. 이문원: 제주도의 형성사와 지질구조
  4. 원종호: 제주도 수자원 부존특성 및 개발방향
  5. 진성원: 제주지하수 장기 관측조사
  6. 이상호: 제주도 해안 지하수의 염수침입 개연성
  7. 함세영: 수리상수 산출을 위한 새로운 Fractal 모델의 기법
  8. 한정상, 김창길, 김남중, 한규상: 제주도 지하수자원의 최적 개발가능량 산정에 관한 수리지질학적 연구
- 1994, 제주도연구회, 제주의 물과 환경(제10차 전국학술대회), P. 1~180.
1. 현길언: 물에 대한 제주 사람들의 인문학적 인식: 물에 대한 효율적 논의를 극복하기 위해
  2. 전경수: 용수문화, 공용재, 그리고 지하수: 제주도 지하수개발의 반생태성을 중심으로

## 부 록

3. 조성윤: 물의 위기와 주민 운동
  4. 윤정수, 박상운: 제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화
  5. 이용두: 제주 식수 확보 방안과 중수도
  6. 현해남: 동부지역 흑색화산회 토양의 오염물질 흡착능과 지하수 수질
  7. 최순학: 지하 저장시설에 있어서 수리지질학의 역할
  8. 강승삼: Hawaii 화산지형 연구
1994. 한라일보사, 1994년도 제주지역개발과 환경보전(제주도문제학술심포지엄), P. 1~157.
1. 최순학: 지하수 보전과 이용 방안
1996. 제주대학교(아열대 원예산업 연구센터), 환경친화형 농업을 위한 국제심포지움
1. Mary E. Exner : 미국의 지하수중의 질산성질소 오염현황
  2. Kikuo Kumazawa : 일본의 지하수중의 질산성질소 오염현황 및 대책
  3. 신찬기 : 우리 나라 지하수의 질산성질소 오염현황
  4. 김성홍 : 제주 지하수의 수질특성
1996. 벽천학술연구회, 국제수자원학회, 제주도 지하수 심포지움
1. I. Kayane : 화산섬의 지하수 특성
  2. 이순택 : 제주 화산섬에서의 지하수 유동
1997. (사) 대한지하수환경학회, 연세대학교 지하수·토양환경연구소
1. M. Knight : Changes in Water Use and Management Over Time and significance for Australia and South-East Asia
  2. Caijun : Self Sealing/Self Healing in Landfill Liner
  3. 류영창 : 개정 지하수법과 지하수 정책 방향
  4. 김원민 : 먹는물 관리법에 관하여
  5. 최정찬 : 수리지질도 작성 기법
  6. 고기원 : 제주도 서귀포층의 지하분포 상태
  7. 양하백 : 제주도 중산간지역의 환경보전적 토지 이용계획
1997. (사)한국토양환경학회, 제주대학교
1. 서효원 : 자원 재활용 “토양환경과 폐기물 자원화”
  2. 박준범 : Remediation Modeling of Solvent Extraction for Contaminated Soils by hazardous Waste Organic Compounds
  3. 이용두 : 제주도 지하수의 현황과 보전방향
  4. 현해남 : 제주도 토양의 물질흡착 특성
  5. 조현구 : 토양환경보전법 해설
  6. 오상실 : 골프장 농약오염 저감방안에 대한 흡착제 성능시험
  7. 김명성 : 현재 미국에서 실시 중인 지하저장탱크와 배관시설의 보호정책 및 누출검사 기구



제주도 수문지질에 관한 조사·연구 목록

1998. 한국토양환경학회 제주지부

1. 박남식 : 중-동 제주수역의 지하수 개발로 인한 해수침투
2. 고기원 : 제주 지하수의 수위변동
3. 内藤信二 : 일본에 있어서 축산폐수 처리기술
4. 김승희 : 흡수성 Biofilter 시스템을 이용한 오수처리
5. Charlies Barebo : Water Quality Management of Golf Course Lake and Ponds Using Ozone
6. 현해남 : 제주도 토양의 농약 흡착 특성
7. 강순석 : 제주오름(기생화산)의 특성에 관하여

1998. 지하수질 환경보전연구회, 제주대 환경연구소

1. 김동열 : 미국-캐나다에서의 단독건물 및 마을 단위 오·폐수처리 기술동향
2. 강운환 : 펜톤시약을 사용한 침출수 처리
3. 유장걸 : 제주자연수의 환경동위원소 함량과 이화학적 수질특성과의 관계
4. 오윤근 : 제주도 지하수와 용천수의 THM 생성특성
5. 현영진 : 수자원 정책의 문제점과 그 대책
6. 고기원 : 담·염수 혼합대 하부에 발달한 담수대수층에 관한 사례 연구
7. 윤정수 : 제주도 용천수의 고도별 수질특성

1998. 제주대학교 환경연구소

1. Roger Ben Aim : Clean Unit Operations for Low Waste Processes with Emphasis on Membrane Technology
2. 이정학 : 식품산업에서의 청정기술
3. 현영진 : 환경에 관한 OECD의 논의
4. Ronald G. Dzhamalov : 바다로의 지하수 유출에 관하여
5. 최순학 : 한국의 지하수자원 현황과 제주도의 수문지질학적 특성
6. 고기원 : 제주도 서귀포층 하부의 지하지질구조
7. 윤정수 : 제주도 용천수 수질의 계절적 변화

1998. 벽천학술연구회, 탐라대학교 산업기술연구소, 국제수자원학회(IWRA)

1. Isamu Kayyane : Groundwater and Conservation in the Island
2. 유명창 : 한국의 지하수 정책방향
3. 이순택, 최윤영 : 제주도 지하수 유동해석
4. 김중근 : 제주도 지하수의 현황과 관리방향



(주) 우성엔지니어링

대표이사 김 호 원

- 지하수영향조사
- 지하수 조사·개발·계획 등

제주시 연동 306-7(향군회관 2층)

☎ 746-7461, 745-1011

(주) 진 산

대표이사 김 봉 상

- 지하수영향조사
- 지하수 조사·개발·계획 등

제주시 오라1동 2444-7

☎ 756-8868

※ 본 학술세미나 원고 인쇄는 (주)우성엔지니어링·(주)진산에서 협찬하여 주셨습니다.