

제5회 제주물세계포럼

5th Jeju Water Forum

“제주물, 지역을 넘어 세계로”

Jeju Water! To The World Beyond Jeju

2013. 5. 31.(금)
제주해비치호텔&리조트



Jeju 제주특별자치도개발공사
Jeju Special Self-Governing Province Development Corp.

 Jeju Peace Institute
제주평화연구원

Contents

행사프로그램

- 태평양 지역 도서들의 기후변화와 물관리 전략 1
William M. Tam (하와이주 수자원관리위원회 부위원장)
- 섬지역의 혁신적 물관리를 위한 과제 : 스마트워터 그리드 19
이상호 (국민대학교 교수)
- 제주특별자치도 상수도 현황과 개선방향 43
윤엄석 (제주특별자치도 수자원본부 상수도관리부장)
- 제주지하수의 지구화학적 특성과 활용 방안 59
윤성택 (고려대학교 교수)
- 제주지하수의 보전과 전략적 활용 79
고기원 (제주특별자치도개발공사 물산업연구센터장)

프로그램

(진행 : 신수경 아나운서)

- 등 록 : 안내데스크 13:00~13:30
- 개 회 / 사회자 13:30~13:35
- 개회사 / 제주특별자치도개발공사 사장 13:35~13:40
- 축 사 / 제주특별자치도지사 13:45~13:50
- 축 사 / 환경도시위원회 위원장 (하민철) 13:40~13:45
- 강연 준비(기념사진촬영 등) 13:50~14:00

Section I 기후변화와 섬지역의 물관리 전략 (Climate Change and Water Management Strategy for Island)

- 태평양 지역 도서들의 기후변화와 물관리 전략 14:00~14:50
(Climate Change and Water Resource Management: Strategies for Pacific Islands)
William M. Tam (하와이주 수자원관리위원회 부위원장)
- Coffee break 14:50~15:00

Section II 섬지역 물공급 시스템 혁신 방안 (Innovation Measures of Water Supply System in Island)

- 섬지역의 혁신적 물관리를 위한 과제 : 스마트워터 그리드 15:00~15:25
(Innovative Water Management on Islands: SmartWater Grid) / 이상호 (국민대학교 교수)
- 제주특별자치도 상수도 현황과 개선방향 15:25~15:50
(Improvement Direction and Current Status of Waterworks in Jeju Island)
윤엄석 (제주특별자치도 수자원본부 상수도관리부장)
- Coffee break 15:50~16:00

Section III 물의 보전과 전략적 활용 (Conservation and Strategic Utilization of Water Resource)

- 제주지하수의 지구화학적 특성과 활용 방안 16:00~16:25
(Hydrochemistry and Utilization Strategy of Jeju Groundwater) / 윤성택 (고려대학교 교수)
- 제주지하수의 보전과 전략적 활용 16:25~16:50
(Conservation and Strategic Utilization of Jeju Groundwater)
고기원 (제주특별자치도개발공사 물산업연구센터장)
- 토론회 준비 16:50~17:00

종합 토론 17:00~18:00

좌 장 : 강기춘 교수(제주대)

토론자 : 이재영 교수(서울시립대), 박원배 박사(제주발전연구원)

박준범 박사(미국동공병단), 함세영 교수(부산대)

태평양 지역 도서들의 기후변화와 물관리 전략

(Climate Change and Water Resource Management: Strategies for Pacific Islands)



윌리엄 탐 William M. Tam

하와이주 수자원관리위원회 부위원장

Deputy Director, Commission on Water Resource Management.
Hawaii Department of Land and Natural Resources

- ▶ 학위 : 웨슬리언 대학 졸업, 보스턴 법학전문대학 졸업
- ▶ 경력 : 천연자원 · 물 및 토지이용 전문 법률가, 하와이 토지 및 천연자원위원회 법무차관
하와이 수자원관리위원회 법률 고문, 하와이 법학대학 초빙교수 등
- ▶ 현재 : 하와이주 수자원관리위원회 부위원장

Tam is an attorney who specializes in water, natural resources and land use law and was formerly with the Honolulu law firm of Alston, Hunt, Floyd & Ing. For 17 years, Mr. Tam was a Deputy Attorney General for the Board of Land and Natural Resources (1981 to 1997) and the first legal counsel to the Commission on Water Resource Management (1987 to 1997).

He co-authored Hawaii's Water Code (1987) and taught land law at University of Hawaii Law School. Mr. Tam graduated from Wesleyan University (Conn.) and Boston University School of Law.

He is active with the Marimed Foundation, the Polynesian Voyaging Society, and the Trust for Public Lands.



발 표 요 지

섬지역은 기후변화에 매우 민감하다. 특히, 우리(하와이) 섬의 담수는 강수량 감소, 온도 상승, 그리고 물 수요 증가로 인하여 위협 받고 있다. 기후변화의 영향을 완화시키기 위해서는 총체적 관리 접근법이 요구되고 있다. 이는 지하수 관정 분포 패턴을 재구성하고, 효과적인 산림 관리를 통하여 더 많은 양의 강우와 안개비를 집수하고 보전하며, 폭우와 유출수를 집수하여 재사용하고, 폐수를 처리하여 재사용하며, 그리고 효과적인 물 절약 프로그램을 시행하는 방안들을 포함하고 있다.

강우는 하와이주 섬들의 1차적인 담수원이다. 자연에서 강우를 집수하고 보전하기 위한 모든 방안들이 강구되어야만 하며, 담수 공급방법을 보완해야 한다. 우리의 도전은 물방울이 지면에 닿는 순간부터 바다로 들어가는 순간까지 관리하고 유속을 늦추는 것이다.

역사적으로 지하수 관정은 조율이 되지 않는 상태로 개발되어 있었다. 관정 주인들은 자신들의 개별적 필요성을 충족시키기 위하여 새로운 관정 위치를 선정할 때 서로 의견을 교환하지 않았다. 이것은 관정의 수량과 이들 관정들로부터 필요로 하는 물의 양이 아주 적었을 때는 문제가 되지 않았다. 그러나 이들 수원들로부터 물 수요가 증가하면서 충돌 방지를 위해서는 적절한 관정 간격 유지가 시행될 필요가 있게 되었다. 관정 분포를 최적화하는 것은 기후변화 때문에 대수층으로 함양되는 물의 양이 감소할 때 특히 중요하다.

기후 변화의 초기 예상은 강수량이 향후 100년 동안에 걸쳐 감소할 것이라는 점을 시사하고 있다. 섬들의 경우에 이것은 심각한 문제다. 섬들 대부분은 물길의 흐름을 바꿀 강도 없다. 강수량 감소를 완화하기 위해서는 분산 유형에 대한 이해가 있어야만 하고 이로써 섬 공동체는 더 많은 양의 빗물을 효과적으로 집수할 수가 있게 된다. 예를 들면, 수계의 상류 산림지역을 보호하고 보전하는 것은 불균형적인 혜택을 가져올 수도 있다. 서로 다른 식물 종들이 어떻게 물을 빨아들이고 사용하는지(또는 증산작용으로 물을 어떻게 손실되고 있는지)를 이해하는 것은 산림 관리 업무가 수자원에 있어서 가장 중요한 역할을 하고 있는 수종들을 보호하는데 있음을 알려 주고 있다. 산림을 보호하고 관리하는데 투자하는 것의 경제학적으로 새로운 관정을 개발하는 것보다 훨씬 더 유리하다. 적극적 산림 관리는 또한 신규 고용을 창출하고 지역 경제의 체질을 강화할 수도 있다.

또 다른 효과적인 접근은 하수와 폭우의 재생 및 재사용에 있다. 이러한 조치들은 역시 근해 해양수와 산호초로의 토양 유실을 감소시키게 된다. 빗물을 집수하는 것은 대수층으로 함양될 수 있는 강우의 양에 있어서 증가를 가져 올뿐만 아니라, 근해 해양 환경으로 유입되는 육상 기인 오염물질의 감소를 가져오게 된다. 산호초는 기온 상승, 해양 산성화, 그리고 육상 기인 오염물질로 인하여 세계 전역에서 위협 받고 있다. 농부들 역시 더 많은 표토를 유지시킬 수 있다면 행복해 할 것이다.

기후변화는 또한 온도 상승의 결과로서 식물이 훨씬 더 많은 양의 물을 사용하는 것을 의미할 수도 있다. 농작물 재배에 필요한 물의 양이 증가할 것이다. 농업 부문에서의 물 수요 증가를 충족시키기 위해서는 잡용수(non-potable water) 사용 확대가 필요하다. 농업에 있어서 잠재적으로 대규모 존재하는 잡용수 원천은 하수 처리수다. 제대로만 처리된다면 그것은 다양한 응용 및 비음용 곡물에 사용될 수 있다. 이제 물은 상품으로 판매될 수 있으므로 하수 재사용은 그 처리 비용을 절감하게 된다. 하수를 처리하고 재사용하는데 들어가는 자본비용을 낮추기 위해서는 지역적 차원의 해결책들이 모색될 필요가 있다. 재활용수 생산자들과 소비자들 간 협조만이 그러한 프로젝트들을 경제적으로 실행가능하게 만드는 유일한 방법이다.

기후 변화에 대한 가장 확실한 해결책은 물 절약 프로그램을 시행하는데 있다. 섬의 한정된 담수 공급은 이들 자원의 가장 효율적인 사용을 요구하고 있다. 물 절약 프로그램들은 기술적인 효율성뿐만 아니라, 물 소비에 경제적으로 영향을 미칠 수 있는 가격책정 구조까지도 고려해야만 한다. 토지 사용 계획도 중요하다. 토지 사용 계획은 강우 패턴과 분포에 맞출 필요가 있다. 농작물 재배는 자연 강우로 필요한 관개용수를 공급할 수가 있고, 그렇게 함으로써 비효율적인 급수 시스템에 의존하는 것을 줄일 수 있는 곳에 입지해야 한다.

기후변화에 대처하는 것은 글로벌 이슈가 되고 있다. 구체적인 미래는 불확실하지만 방향은 분명하다. 다른 자원들과는 달리 수자원은 모든 생명들에게 있어서 필수적인 것이고, 그 무엇으로도 대체할 수 없는 것이기도 하다. 지역 수준의 해결책들이 논의되고 있지만 실제적인 행동은 로컬 수준에 있다. 일련의 로컬 수준의 새로운 협력 조치들을 지향하는 매우 적극적인 대처방안들이 시급하다. 우리는 국가 또는 심지어는 지방 규모의 대책들을 기다릴 수가 없다.

이중 선체로 건조된 카누를 타고 1500년 전에 중앙 태평양을 가로질러 항해했던 하와이인들(그들을 안내할 대양에 관한 지식만을 가지고 있었던)과 같이 우리는 중간 궤도 수정을 하고 앞에 다가오는 폭풍에 대처하기 위하여 항로를 변경해야만 한다. 우리는 실수를 경험하고, 배우며, 그리고 실수를 인정하는 것을 겁내지 말아야 한다.

Summary

Islands are very sensitive to climate change. Specifically, our island's fresh water supplies are threatened by decreasing rainfall, rising temperatures, and increasing water demand. To mitigate the effects of climate change, a holistic management approach is required. This includes: re-configuring well distribution patterns, capturing and retaining more rainfall and fog drip through effective forest stewardship, capturing and reusing storm water and runoff, treating and reusing wastewater, and implementing an effective water conservation program.

Rainfall is the primary source of freshwater for our islands. Everything must be done to capture and store it in the landscape and replenish freshwater supplies. Our challenge is to manage and slow down that drop of water from the moment it hits to ground until the moment it enters the sea.

Historically, wells were located in an uncoordinated manner. Well owners did not communicate with each other when choosing new well locations to service their individual needs. This was not a problem when the number of wells and the amount of water needed from those wells was minimal. However, as water demands from those sources increase, adequate well spacing needs to be implemented to prevent interference. Maximizing well distribution is especially important when recharge to the aquifer decreases due to climate change.

Initial projections of climate change suggests rainfall will decrease over the next 100 years. This is serious for islands. There are no rivers to divert. To mitigate declining rainfall, dispersion patterns must be understood so that island communities may effectively capture more rain. For example, protecting and restoring upper forested areas of the watershed may yield disproportionate benefits. Understanding how different plant species use and capture water (or how trans-evaporation loses water) will inform forest management practices to protect the species most vital to the water resources. The economics of investing in protecting and managing the forest may be much more favorable than drilling a new well. Active forest management may also create new jobs and bolster the local economy.

Another effective approach is the reclamation and reuse of wastewater and storm water.

This action also reduces soil runoff to the near shore ocean waters and coral reefs. Capturing storm water not only increases the amount of rainfall that can be recharged to the aquifers, it also reduces land based pollution into the near-shore ocean environment. Coral reefs are under threat world wide from temperature rises, ocean acidification, and land based pollution. Farmers will also be happy to keep more of their top soil.

Climate change can also mean an increase in water demand due to higher rates of water use by plants as a result of increased temperatures. The amount of water required to grow crops will increase. To meet the increasing agricultural demands, the use of non-potable water needs to be increased. A potentially large source of non-potable water for agriculture is treated wastewater. If treated correctly, it can be used on a variety of edible and non-edible crops. The reuse of wastewater also reduces the cost of its treatment as now the water can be sold as a commodity. To lower the capital costs of treating and reusing wastewater, regional solutions need to be pursued. Coordination between the producers and consumers of recycled water is the only way to make such projects economically viable.

The most obvious solution to climate change is the implementation of water conservation programs. An island's limited fresh water supplies require the most efficient use of those resources. Water conservation programs must not only consider technical efficiencies, but also pricing structures to economically influence water waste. Land use planning is critical. Land use planning needs match rainfall patterns and distributions. Crops should be placed where natural rainfall can supply the needed irrigation, thereby reducing the dependence on inefficient water delivery systems.

Addressing climate change is a global issue. The specific future is uncertain, but the direction is unmistakable. Unlike other resources, water resources are both essential and irreplaceable for life everywhere. Although regional solutions are being discussed, the real action is at the local level. Very aggressive steps toward a new coordinated set of local actions are imperative. We can not wait for national or even province wide measures.

Like the Hawaiian people who sailed across the mid-Pacific 1500 years ago in double hulled canoes (with only their knowledge of the ocean to guide them), we must make mid-course corrections and change course to navigate the coming storms. We must experiment, learn, and not be afraid to admit mistakes.



Ke Kahuna Pono

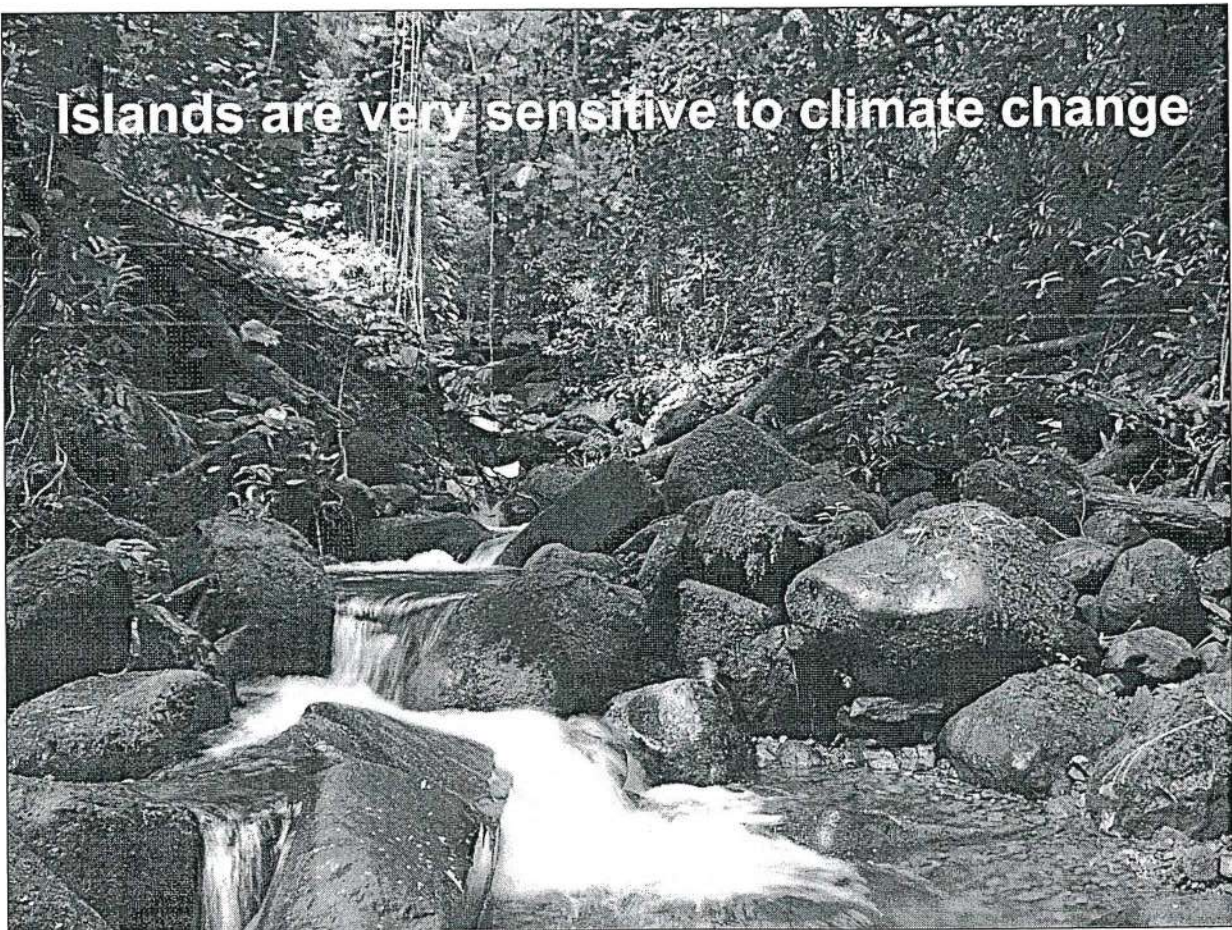
"The trustee who oversees the rightful sharing of water."

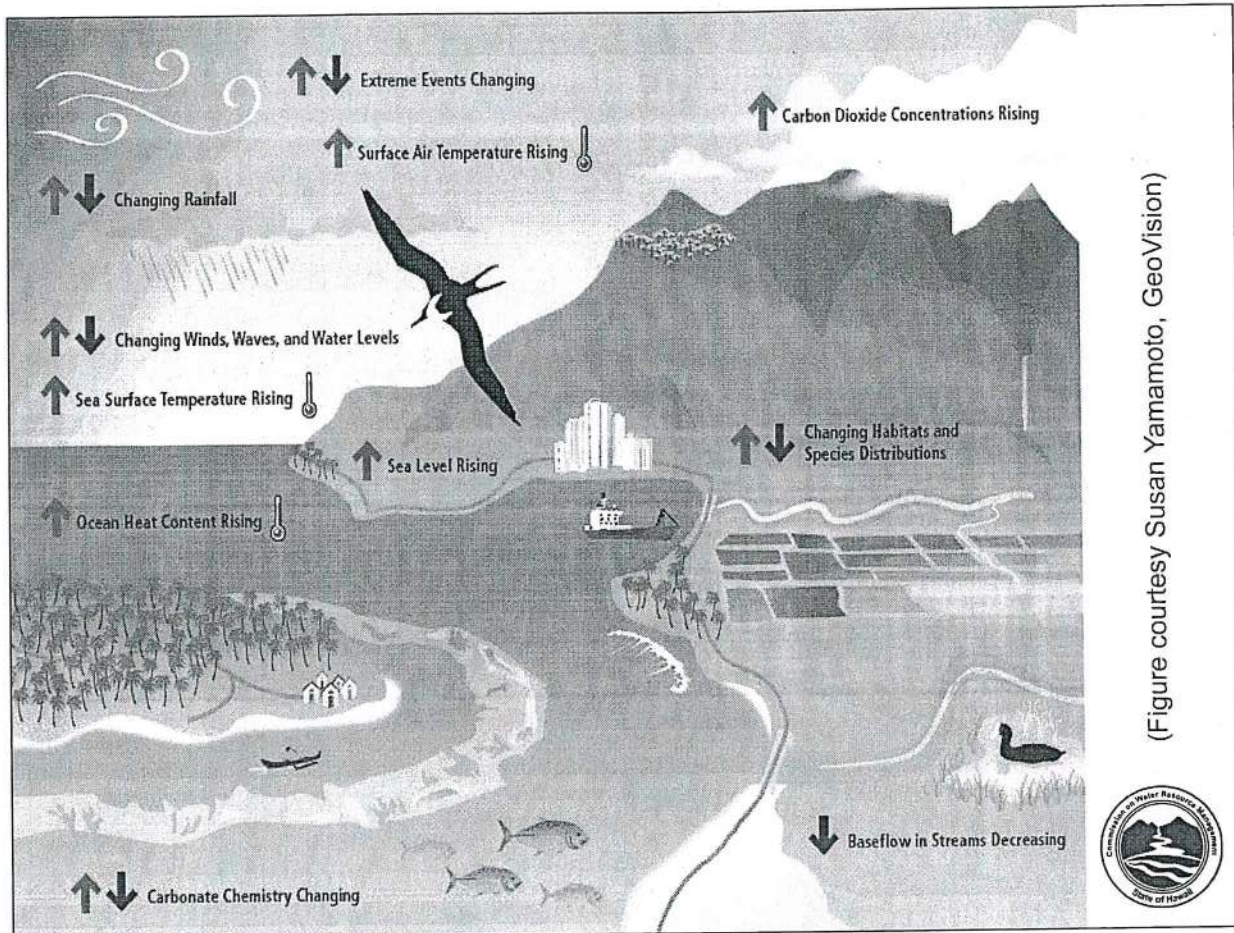
Climate Change and Water Resource Management: Strategies for Pacific Islands

May 31, 2013
Jeju Water Forum, Korea



Islands are very sensitive to climate change





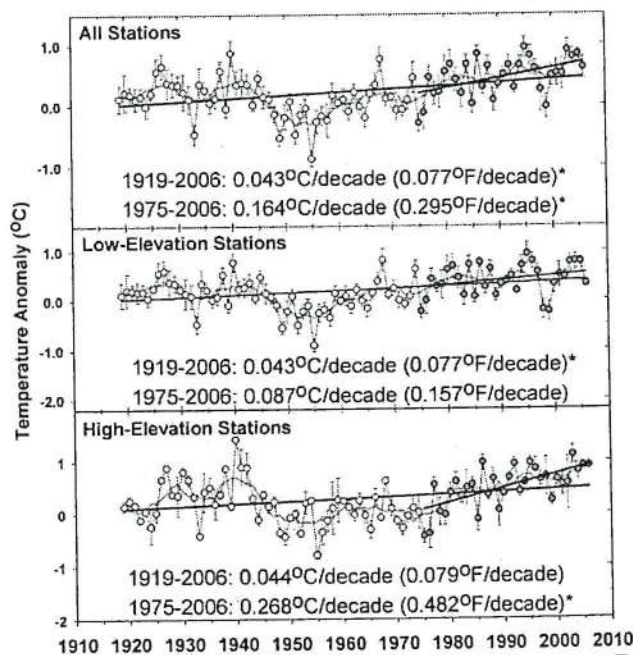
(Figure courtesy Susan Yamamoto, GeoVision)

Climate Change: Air Temperature is Rising

Average, min, and max air temperature has risen significantly in Hawai'i in the past 100 years.

This has accelerated in the past 30 years

Increasing air temperature is more rapid at high-elevations (>0.5 mile above sea level)

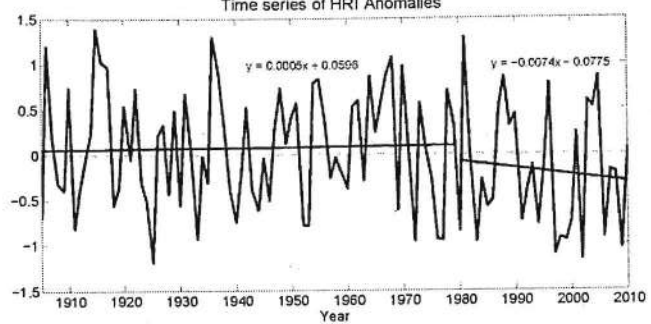


Giambelluca et al, 2008

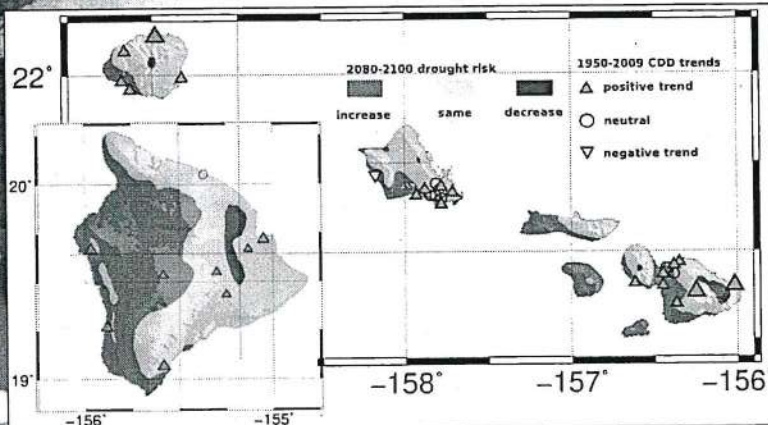


Precipitation & Drought Patterns are Changing

Annual precipitation has decreased significantly in the past 30 years in Hawai'i



updated from Chu & Chen (2005)

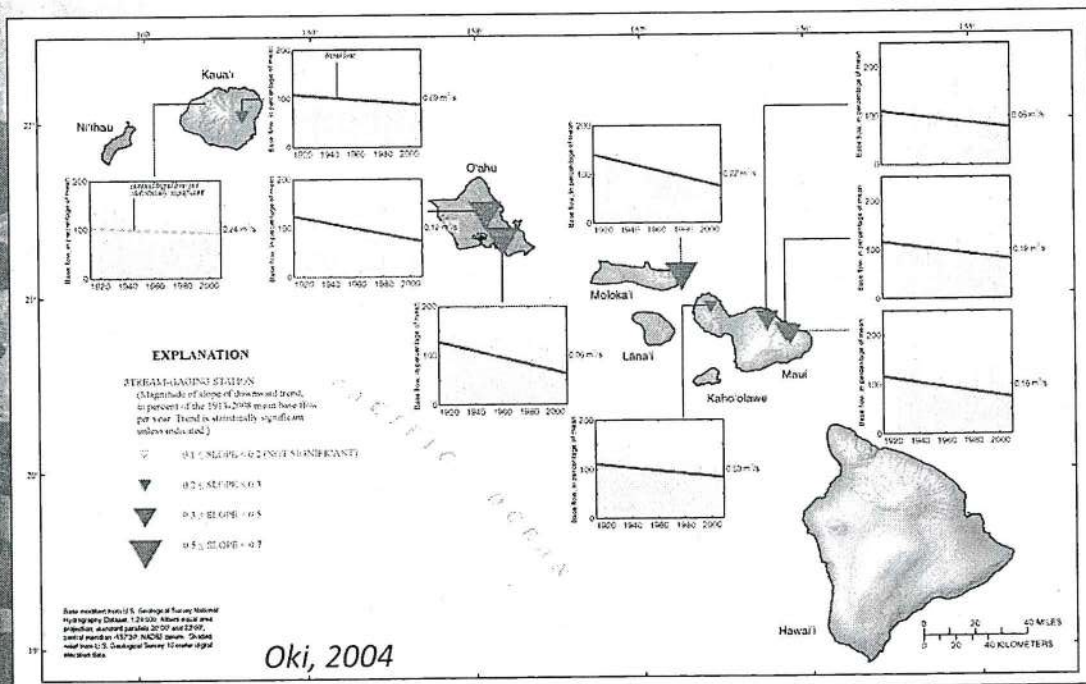


In the past 30 years, all Hawaiian Islands have experienced greater numbers of consecutive dry days, and fewer days of intense rainfall



PIRCA 2012, Courtesy Oliver Elison Timm

Base Flow in Streams is Decreasing

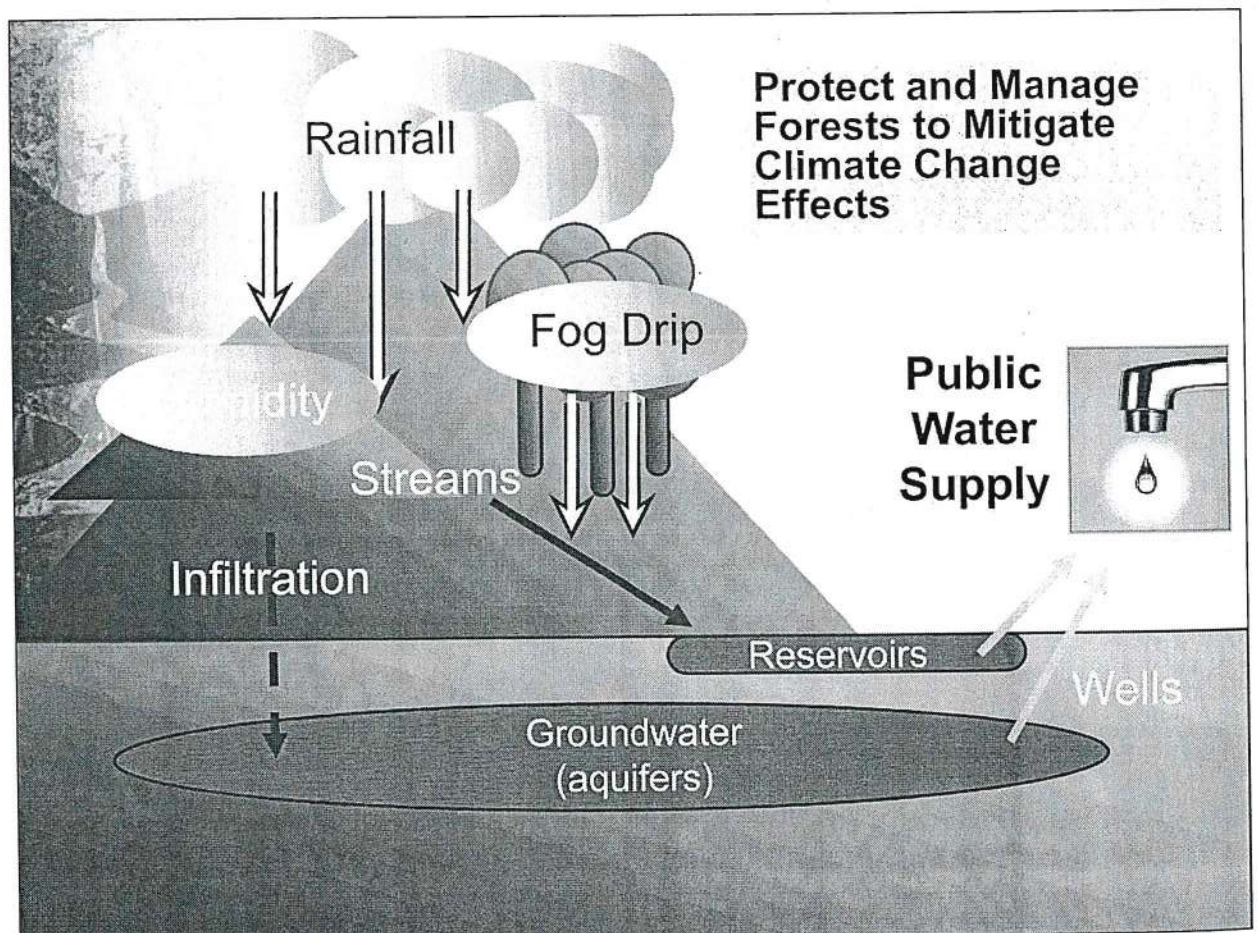
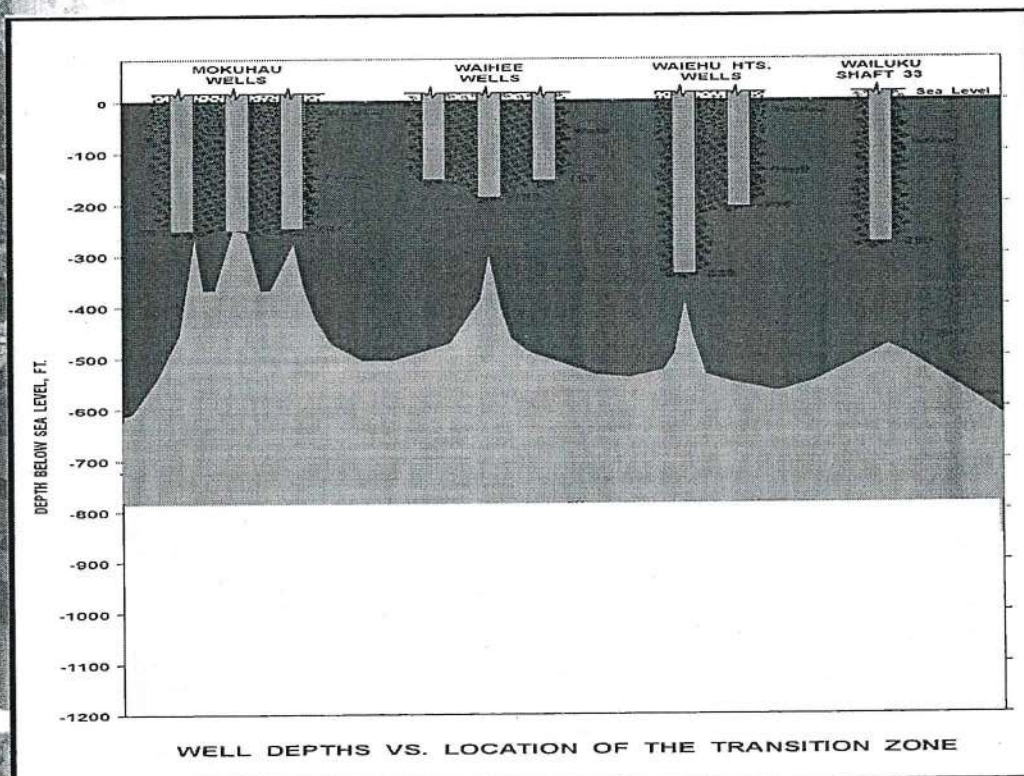


Oki, 2004

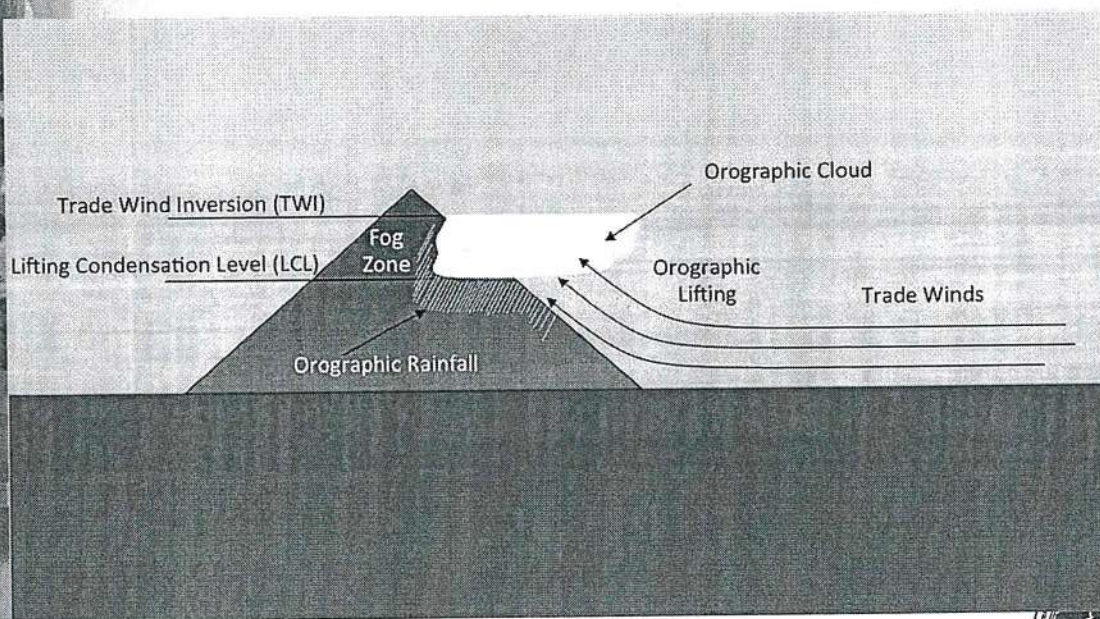
In Hawai'i, base stream flow (groundwater component of stream flow), declined significantly (20%+ in past 100 years)



Improper Well Spacing May Cause Interference and Up-coning of Brackish Water



Rainfall on the Island Mountains Trade Wind Inversion and Lifting Condensation Level

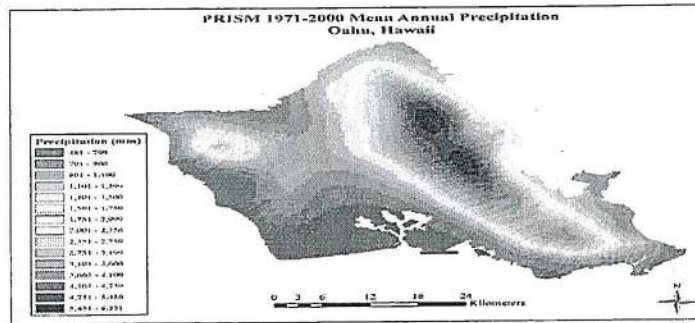


El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Pacific Decadal Oscillation (PDO)

- El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is consistently associated with lower than normal rainfall during winter months in Hawai'i.
- Pacific Decadal Oscillation (PDO) is similar to ENSO, but slower. Each phase lasts up to 30 years. During most of the base period for the 2011 Hawai'i Rainfall Atlas of Hawai'i (1978-2007), the PDO was in its positive phase, generally associated with lower rainfall in Hawai'i.
- El Niños and La Niñas recur on average about every 3 to 7 years. This gives rise to large year-to-year variability in rainfall in Hawai'i.

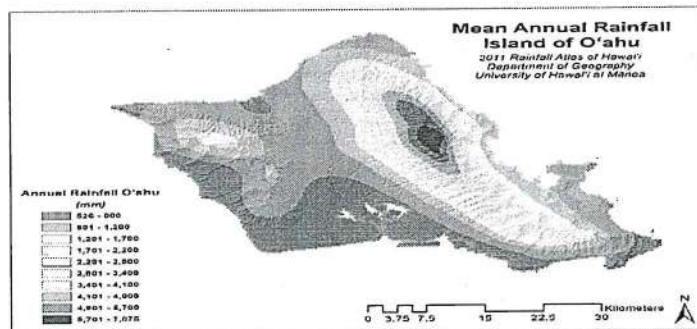


Oahu Rainfall



Oahu mean annual rainfall

Base period 1961-1990.



New 2011 Rainfall Atlas

Base 1978-2007.



The Rain Follows The Forest *Hahai no ka ua i ka ululā'au* A Plan to Replenish Hawaii's Source of Water Hawaii Department of Land and Natural Resources (Nov. 2011)



Restoring Watersheds

Hotter, drier conditions and damaged watersheds are increasing the costs and conflicts over water. While climate change is a problem on a global scale, simple, local actions can safeguard declining water sources. Protecting forest watersheds is the most cost effective and efficient way to absorb rainwater and replenish ground water. Watersheds also absorb greenhouse gases and reduce flooding, erosion, and siltation of reefs and fisheries. In addition, forests sustain irreplaceable cultural and natural values.

- Half of Hawaii's forests have been lost in the last 100 years. Alien species (feral pigs, goats and deer) trample and devour vegetation, leaving bare ground or openings for alien plants that consume more water and increase runoff. Controlling these and other threats requires a large-scale effort to protect these irreplaceable natural assets.

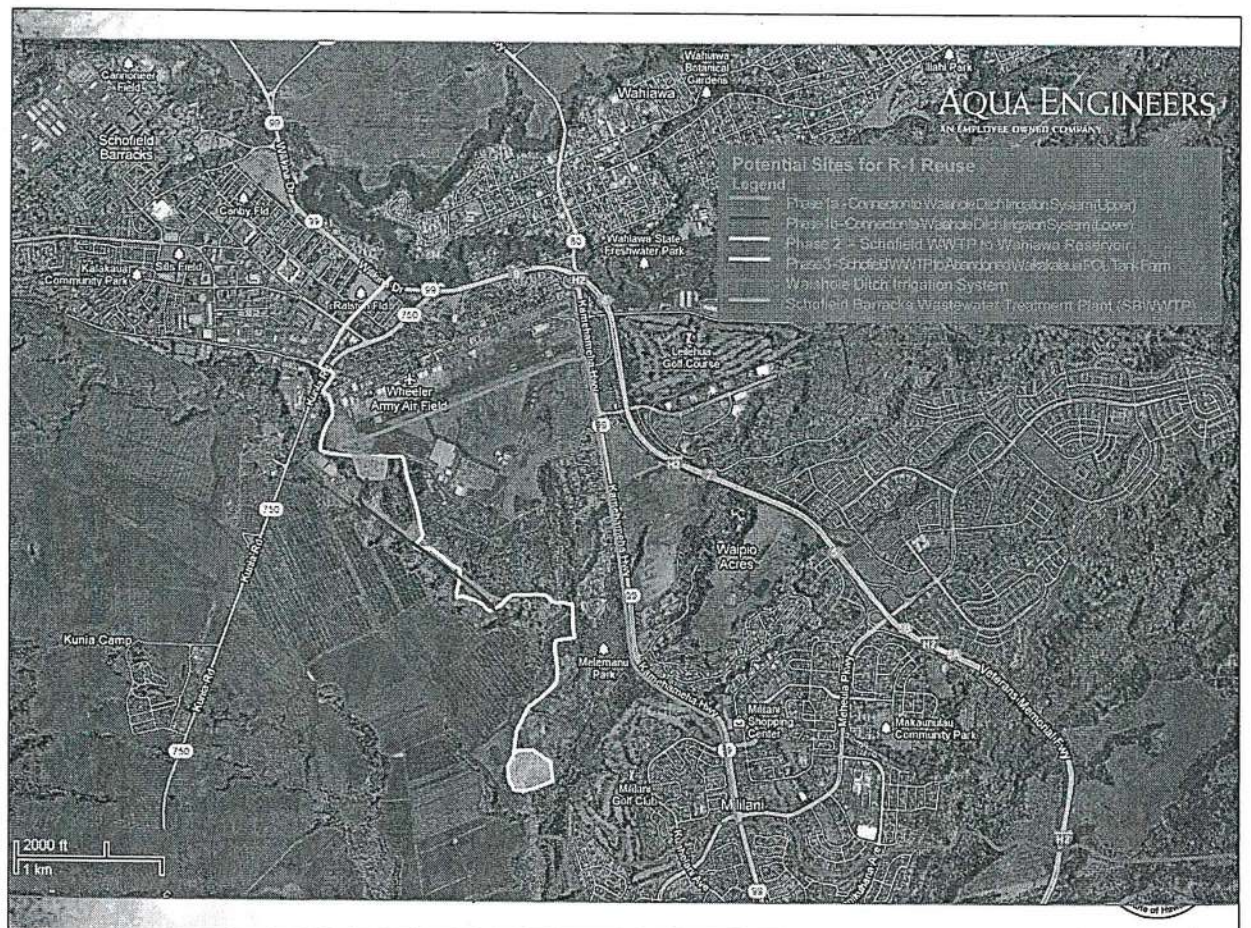
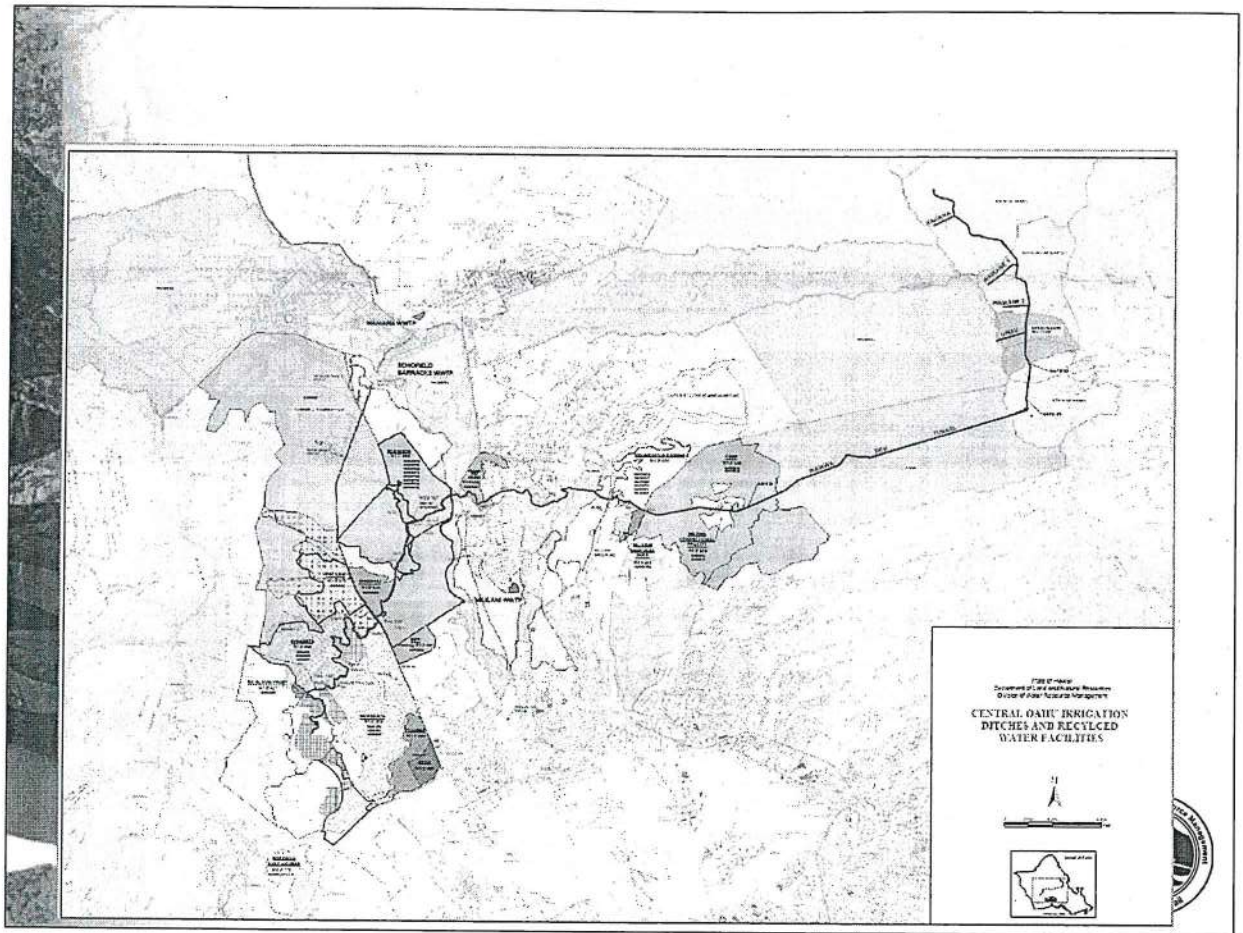
Hawai'i plan calls for the stewardship of the natural resources on which our survival, economy, and quality of life depend. Priority actions of the plan include managing invasive species, increasing Hawaii's ability to withstand impacts from climate change, and restoring funding to the Hawaii Department of Land and Natural Resources (DLNR).



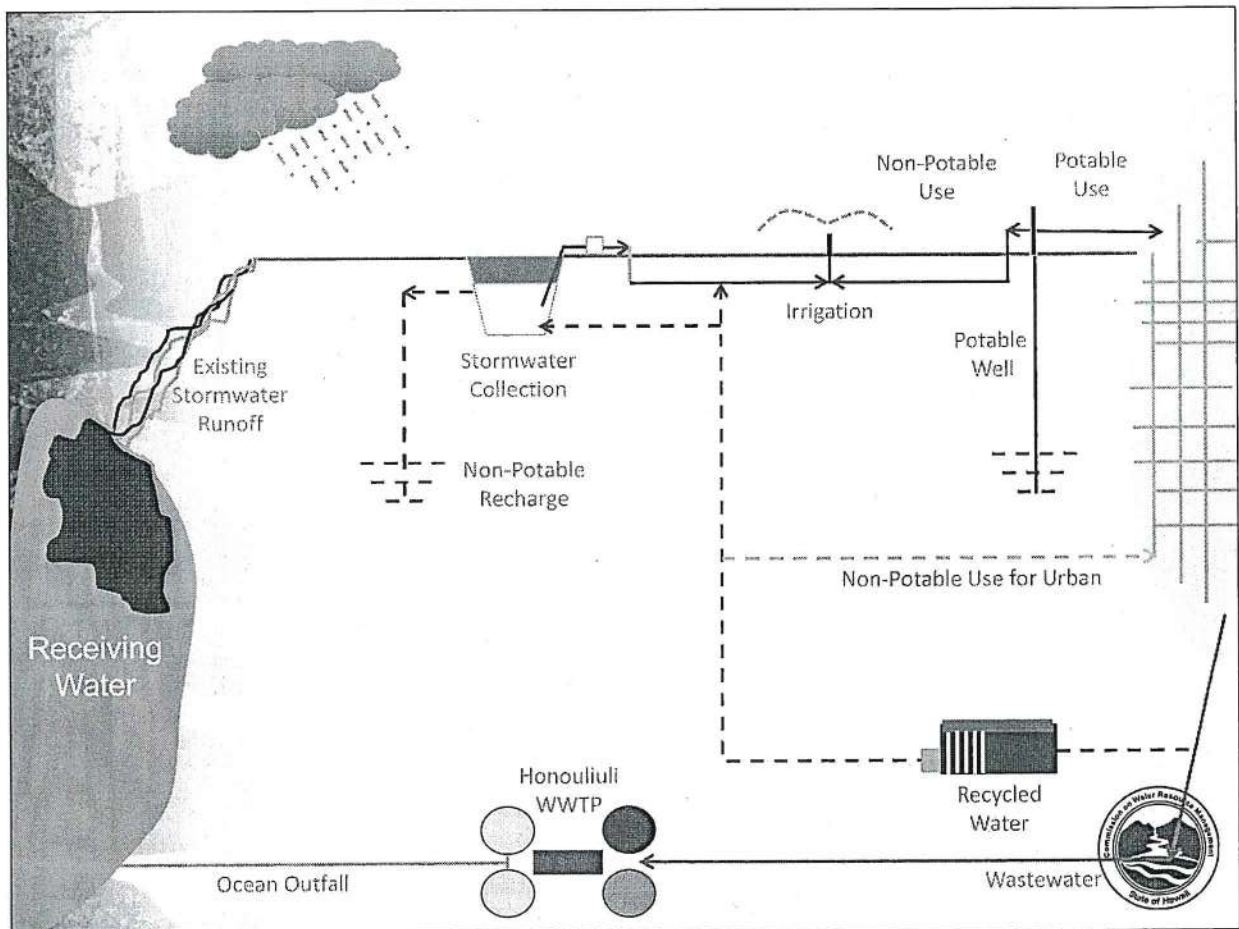
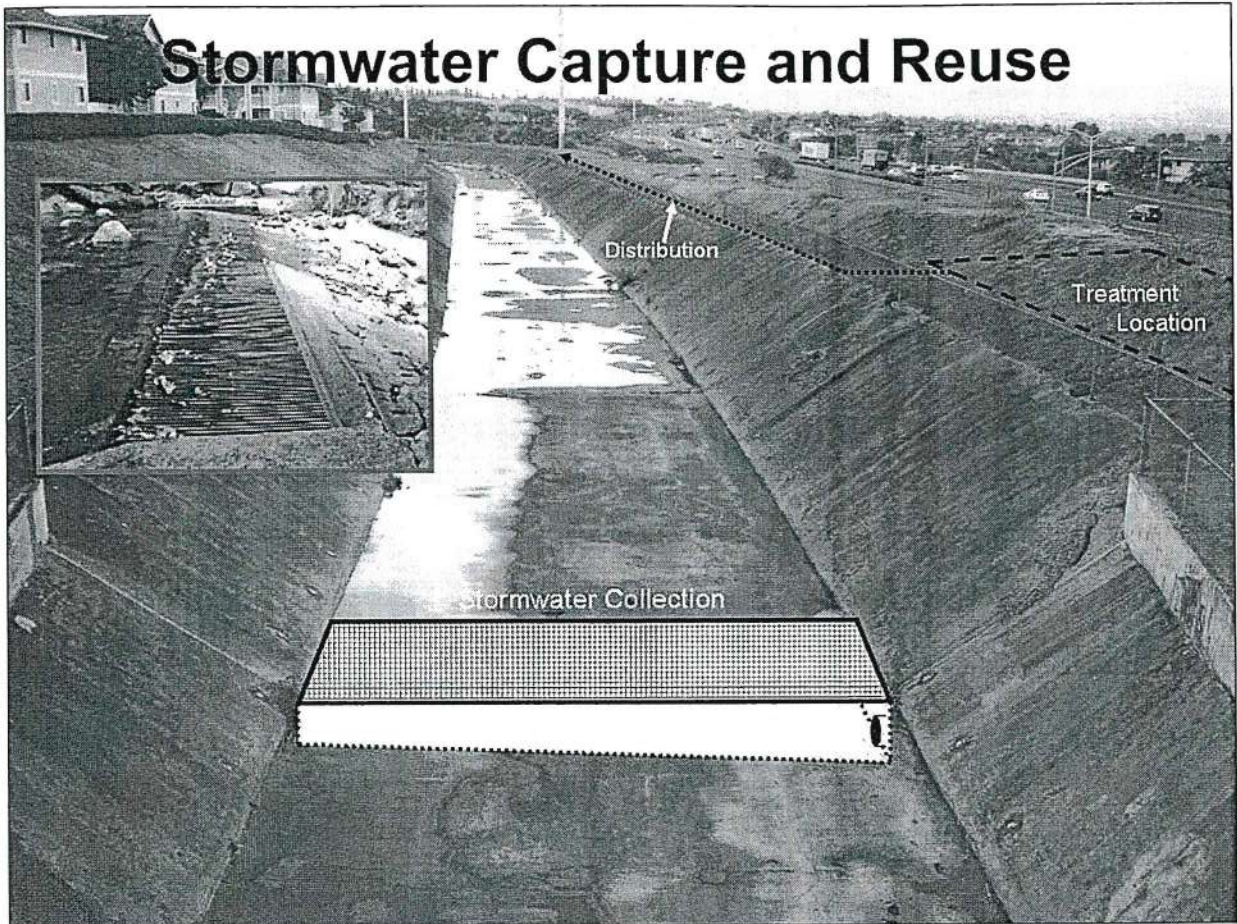
Priority Watersheds

- The Rain Follows the Forest identifies priority watersheds and outlines on-the-ground actions and projects required to protect and sustain Hawaii's critical water sources.
- To be successful, these actions must occur on a large scale across ownership boundaries, through agreements and leveraged funds provided by the statewide watershed partnerships.
- Currently, only 10% of the priority watershed areas are protected.
- This level of management has taken 40 years to achieve. The Department's of Land and Natural Resources' goal is to double the amount of protected watershed areas in 10 years.
- This will require approximately \$11 million per year, and create over 150 local jobs.
- Funding for watershed protection must be commensurate with the magnitude of the threats to Hawaii's water supply.





Stormwater Capture and Reuse



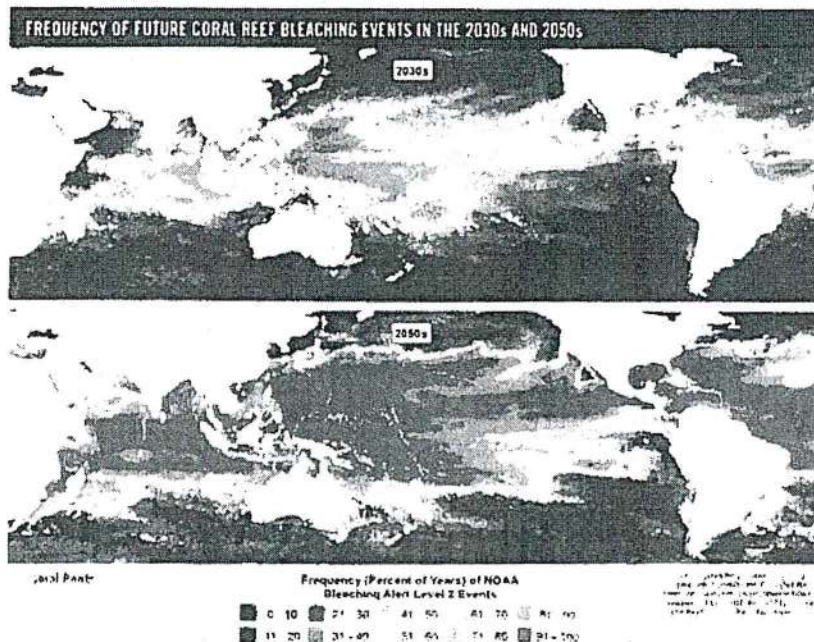
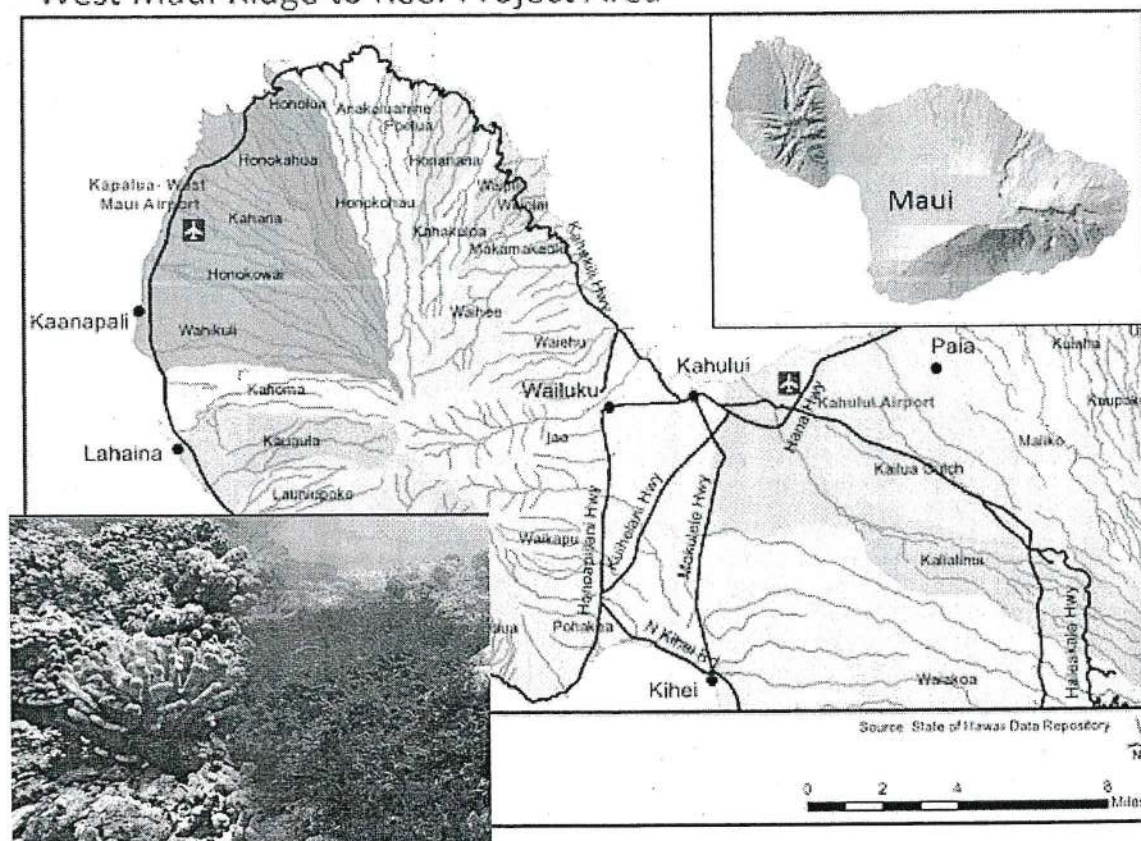


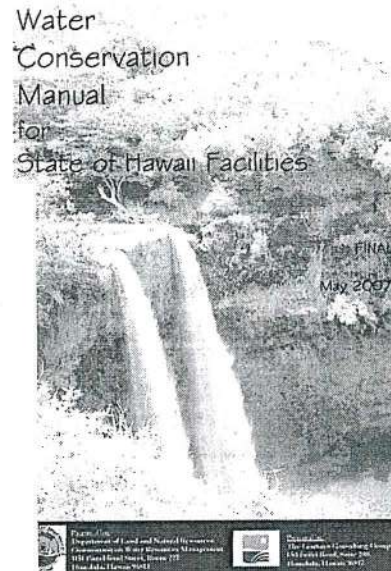
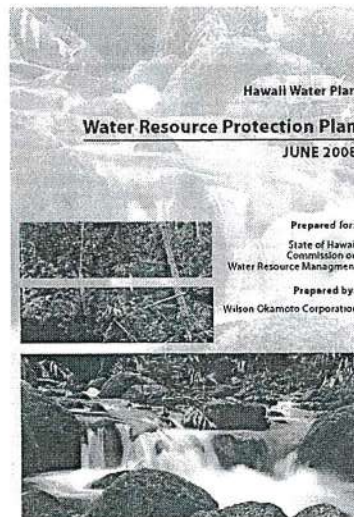
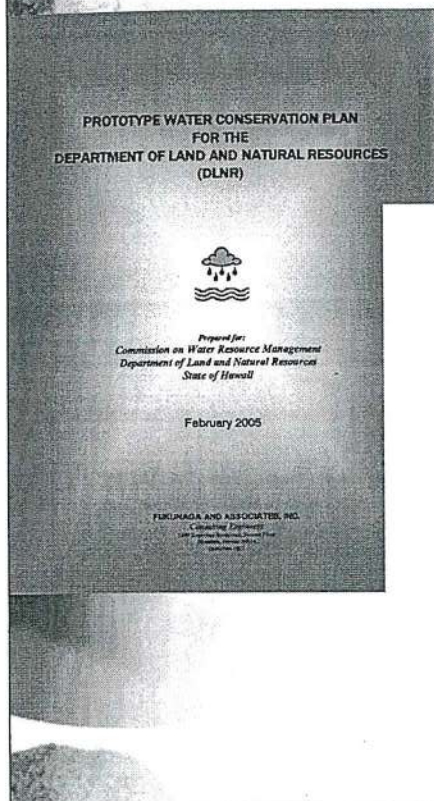
Figure 4.4 Frequency of future bleaching events in the 2030s and 2050s, as represented by the percentage of years in each decade where a NOAA Bleaching Alert Level 2 (i.e. severe thermal stress) is predicted to occur. Predictions are based on an IPCC A1B (business-as-usual) emissions scenario and adjusted to account for historical temperature variability but not adjusted by any other resistance or resilience factors. (From Burke et al. 2011. Data adapted from Donner [2009], "Coping with Commitment: Projected thermal stress on coral reefs under different future scenarios.")



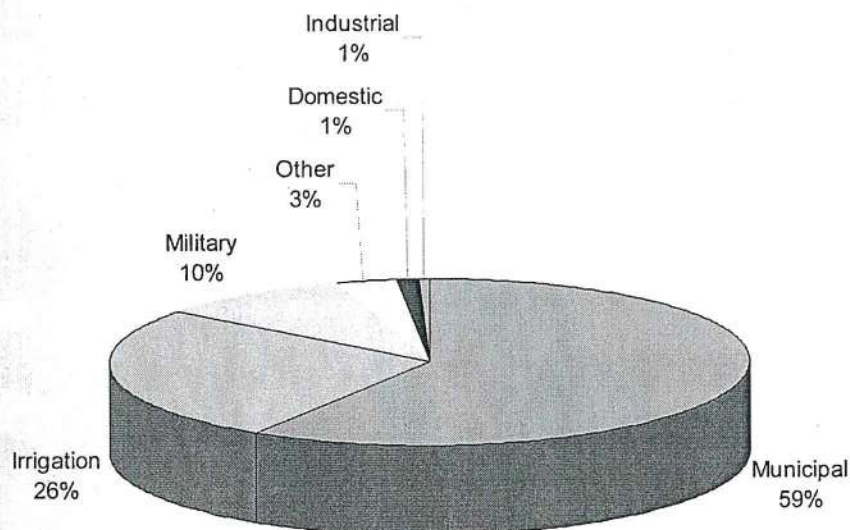
West Maui Ridge to Reef Project Area

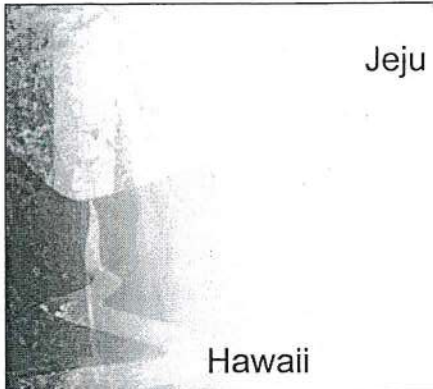


Hawaii Water Conservation Plans

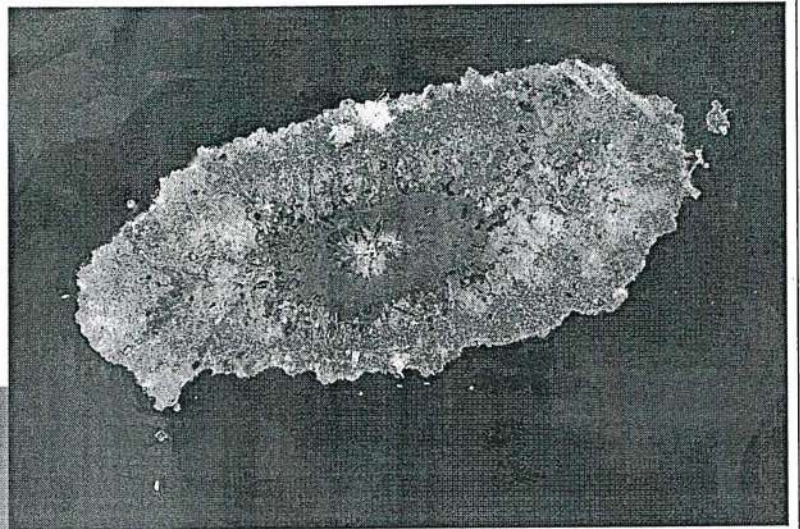


Oahu Water Use Profile – Permitted Groundwater Allocation





Jeju



Hawaii

Addressing Climate Change is a Global Issue



섬지역의 혁신적 물관리를 위한 과제 : 스마트워터 그리드 (Innovative Water Management on Islands: Smart Water Grid)

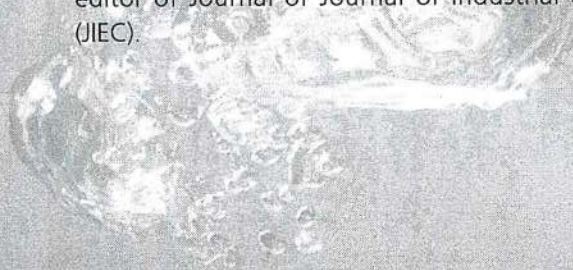


이 상 호 Sang-Ho Lee

국민대학교 교수 KOOKMIN University Professor

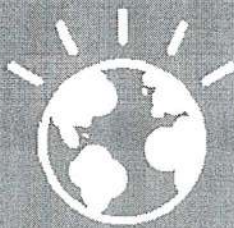
- ▶ 학위 : 서울대학교 공학박사
- ▶ 경력 : 한국건설기술연구원 연구위원, 과학기술연합대학원대학교 겸임교수
미국 노스웨스턴대학교 연구원, 환경공학회 평의원
환경산업기술원 환경융합사업 기획위원 등 역임
- ▶ 현재 : 국민대학교 건설시스템공학부 부교수, 환경부 물 재이용 포럼위원
한국건설기술연구원 연구자문위원회 자문위원
상하수도협회 공공하수도 민간위탁 성과평가 평가위원
Associate Editor, Water Science and Technology
Editor, Journal of Industrial & Engineering Chemistry

Dr. Sangho Lee is a professor of Civil and Environmental Engineering at Kookmin University in Korea. He received a PhD in Chemical Technology in 1999 at Seoul National University. He worked for Korea Institute of Construction Technology (KICT) as a senior researcher (2003-2007) and a research fellow (2007-2011). He was also an adjunct professor at the department of construction environment, University of Science and Technology, Korea. His main research topics focus on membrane technologies for drinking water production, wastewater reuse, desalination, and smart water management. He is an associate editor of Water Science and Technology (WST) and an editor of Journal of Journal of Industrial & Engineering Chemistry (JIEC).



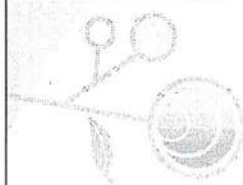
섬지역의 혁신적 물관리를 위한 과제

"스마트 워터 그리드"



발표자 이 상 호

국민대학교 건설시스템공학부



Contents



배경 및 필요성



정의 및 주요내용



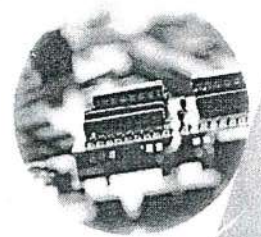
국내외 추진동향



결론 및 시사점

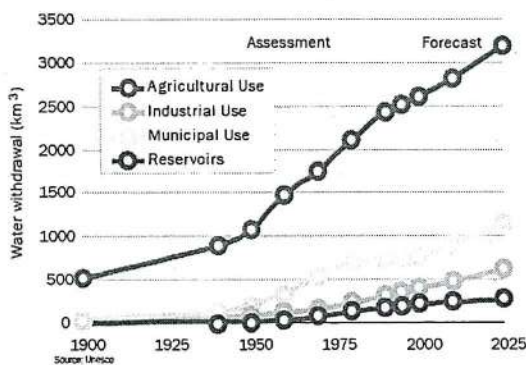


배경 및 필요성



배경 및 필요성

• 전 세계적인 물 부족 문제 심화



6배

• 1900년 이후 물 사용량의 증가

11억명

• 현재 안전한 물이 부족한 인구

66.7%

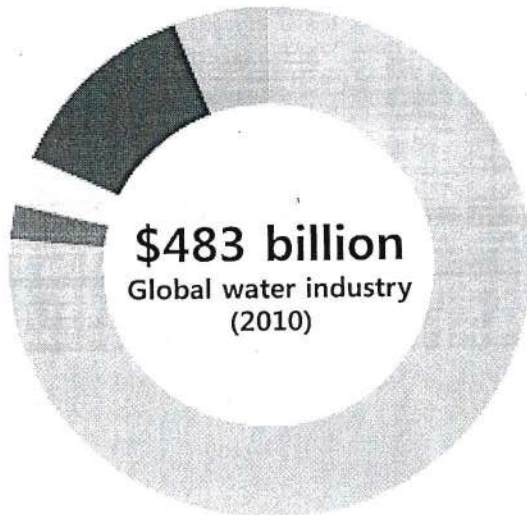
• 2025년의 예상 물 부족 인구 비율

Source: Water Security Corporation, Global Forecast 2020, 2004



배경 및 필요성

• 물 산업 시장의 성장



Industrial water	- 5.7% (about \$27.6 billion)
Bottled water	- 12.2% (about \$59 billion)
Point of use equipment	- 3.1% (about \$14.8 billion)
Irrigation equipment	- 2.1% (about \$10 billion)
Utilities	- 76.9% (about \$371.6 billion)

Source: The global water market 2011, 2010

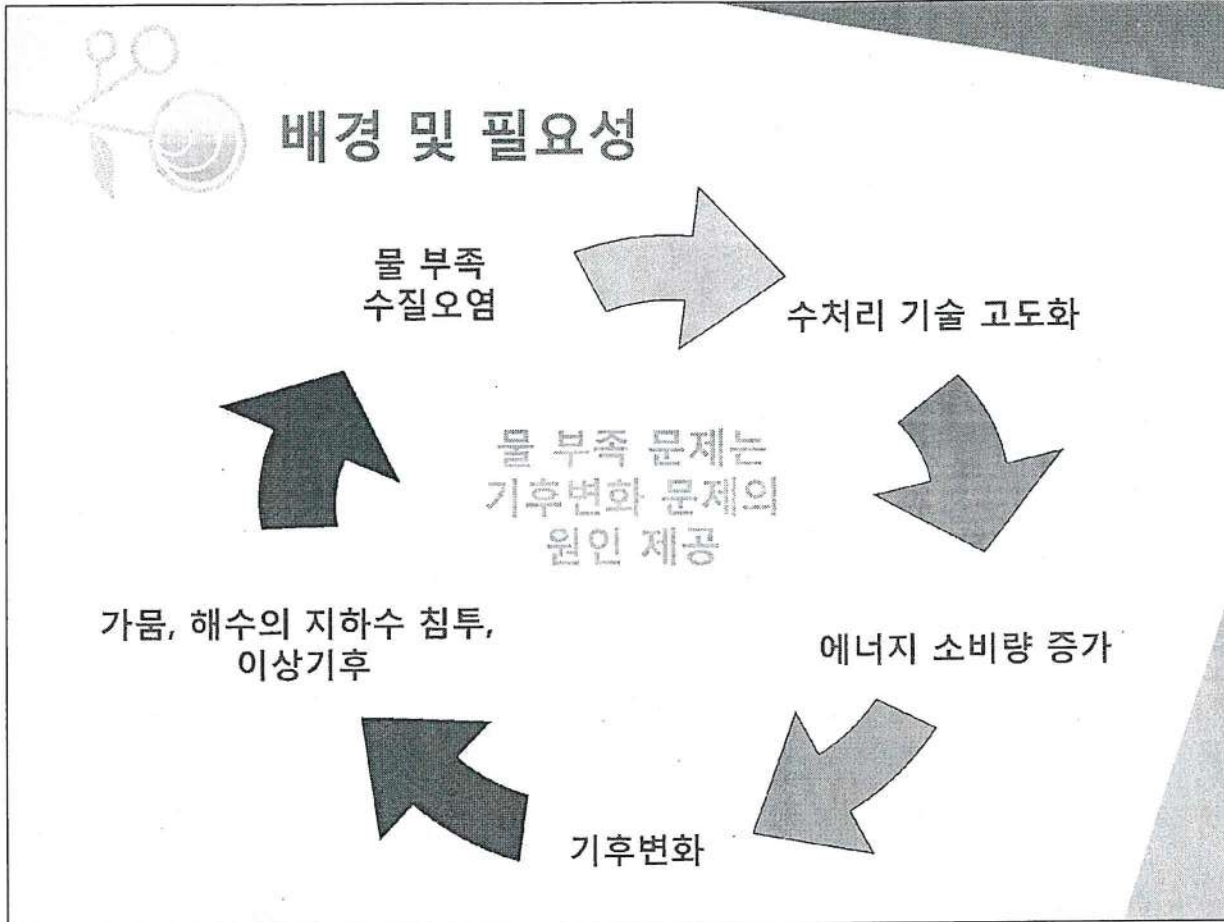


배경 및 필요성

● 기존의 물 관리 방식 (19세기 시스템)

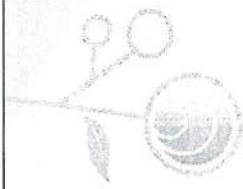
- 노후화된 시설로 인한 누수문제 발생
- 물의 확보량과 수질에 대한 실시간 정보의 제한
- 지역 내 물 관련 정보의 공유체계 부족으로 인한 하류에서의 물 부족 문제 발생
- 수동운전
- 물 관련 재난·재해에 대한 효율적인 대비 불가

- 물 관련 정보의 부재가 물 관리 효율성 제고의 가장 큰 걸림돌
(Matthew Power, 2008)

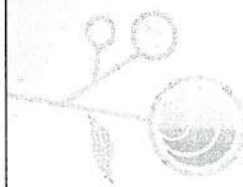
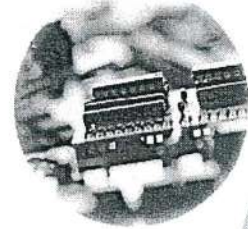


Water Energy Facts

- 미국의 경우
 - 4% of electricity usage goes towards moving and treating water and wastewater
 - In California, water treatment, storage and transportation accounts for 19% of the state's electricity usage
 - 80% of municipal costs associated with water processing and distribution are for electricity
 - In 2007, the average power plant in the United States uses about twenty-five gallons of water for every kilowatt-hour (kWh) generated. Equates to 104 trillion gallons of water used annually.



2 정의 및 주요내용



Smart Water Grid란 ?

IT융합 기술

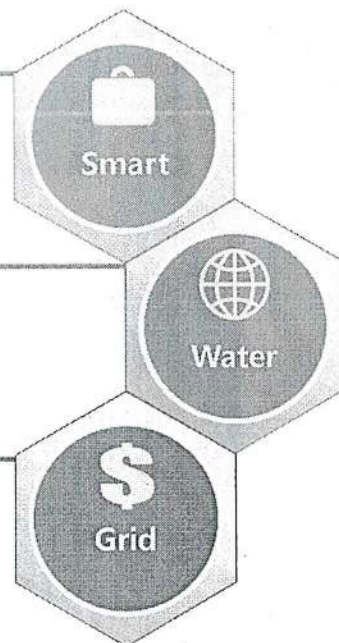
- 모니터링 및 분석
- 정보관리 및 지식기반 시스템
- 복잡한 시스템의 운영을 효율화

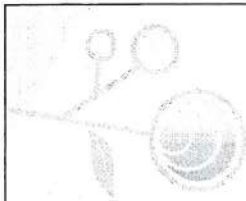
수자원 관리기술

- 다양한 수원의 활용
- 다양한 수요의 충족
- 지속가능성

인프라 기술

- 물 관련 인프라 고도화
- Mega City 개발과 연계
- Water/Energy Nexus 고려

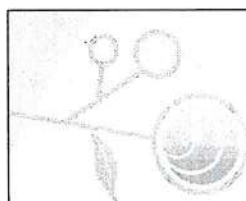




Smart Water Grid의 정의

- Smart Water Grid는 수자원 및 상하수도 관리의 효율향상 위하여 첨단 정보통신 기술(ICT: Information and Communication Technologies)을 융합하는 차세대 물 관리 시스템

A Smart Water Grid is the meters, infrastructure and software that provides real-time data on water use to consumers and utilities. It is also about intelligent management of water across the board - not just in homes but also water sources, water treatment plants, and the distribution networks. (Jaymi Heimbuch, 2010)



Smart Water Grid의 역사

- 2009 Water Innovation Alliance
Smart Water Grid Initiative 발족 (2009)



- 2009 IBM, Cisco, Intel
Smart Water Grid Initiative 참여
Intel과 IT 기반 물 관리 관련 Working group 구성



- 2009 Suez, Veolia, Siemens
Smart Water Grid Initiative 분야 진출 모색



- 2010 Smart Water Grid Technology, Industrial Forum (Chicago)



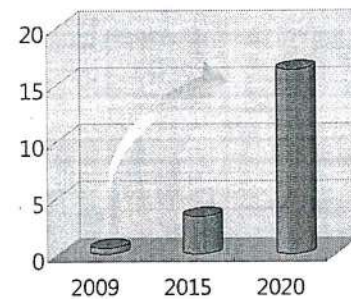


Smart Water Grid의 시장전망

- **Zpryme:** "Smart Appliance market alone at \$15.2 billion by 2015"
- **Lux Research:** "Smart water grids, currently a \$530 million market, will become a \$16.3 billion industry in the next ten years".
- **Cisco:** "Overall opportunity at \$100 billion"
- **Pike research:** "Total \$200 billion market"

◎ 세계시장 전망

(Unit : billion \$)



Smart Grid 비교: 전기(electricity) vs. 물(water)

항목	Smart Grid 구성요소	Smart Water Grid 구성요소
분산된 자원	신재생에너지(태양광, 풍력 등) 등의 다양한 에너지 자원	우수, 지하수, 하수처리수 등의 다양한 수자원
측정기기	Smart electrical meters	Smart water meters & sensors
양방향 실시간 유통	- 다양한 에너지의 생산/관리 vs. 활용목적에 맞는 에너지 공급 - Power quality vs. 실시간 가격제	- 용수의 다원적 생산/관리 vs. 활용목적에 맞는 수량/수질 공급 - Water quality vs. 실시간 가격제
서비스 패러다임	- 다수의 에너지 공급자 사이에서 에너지 거래 가능 - 전력의 생산/소비 정보를 최적화 및 통합관리	- 다수의 원수 공급자 사이에서 다양한 수원의 거래 가능 - 용수공급의 생산/소비정보를 최적화 및 통합관리

Smart Water Grid: 구성요소

Smart Water Grid

용수의 다원적
생산·관리

물 확보



IT 융합

물 생산 및
공급의 최적화

상하수도 기반시설, 정보통신 및 전력 기반시설

물 관리
고도정보화

센서 네트워크 구축
정보수집과 관리

물의 효율적
생산 및 분배

대체수원 활용
물 거래 활성화

물 생산
에너지 절감

스마트그리드 연동
에너지 효율향상

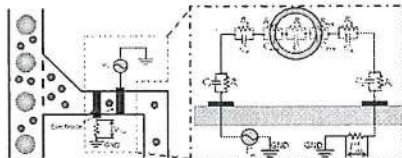
지능형
검침 인프라

AMI
사용량 모니터링

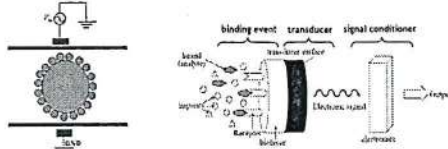
물 관리 고도정보화

More

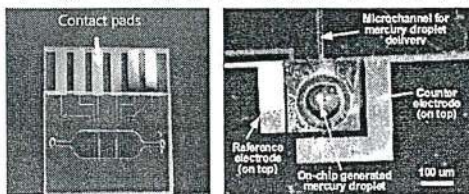
Particle 형태로 존재하는 오염물질: 입자 계수기



유기물, 미생물 오염물질: 바이오센서

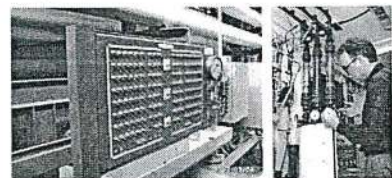


무기물, 이온 형태의 오염물질: 전기 화학 센서



Easier

기존의 방법



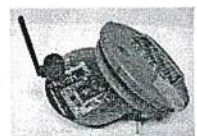
Sampling panel Manual sampling



데이터 네트워크 기반의 모니터링



Handheld /
portable sensor



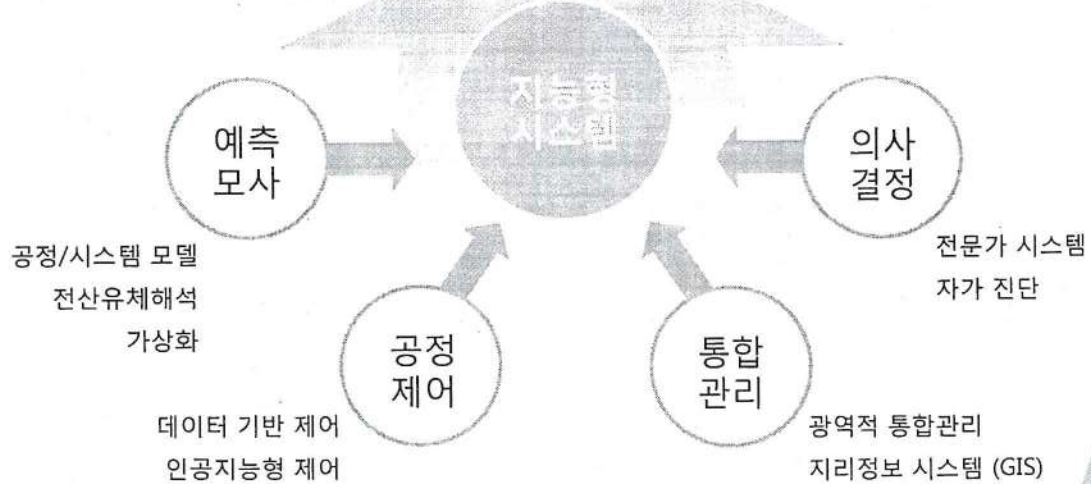
Networked sensor



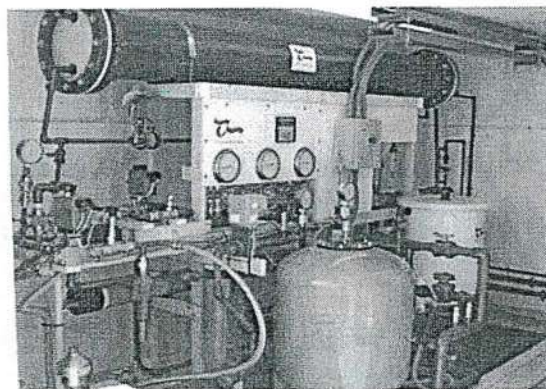
물의 효율적 생산 및 분배

물 관리 효율향상

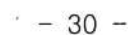
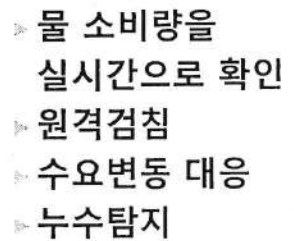
생산 및 처리효율 향상, 비용 절감, 편리성 증대,
환경부하 저감, 리스크 관리, 품질 향상 등



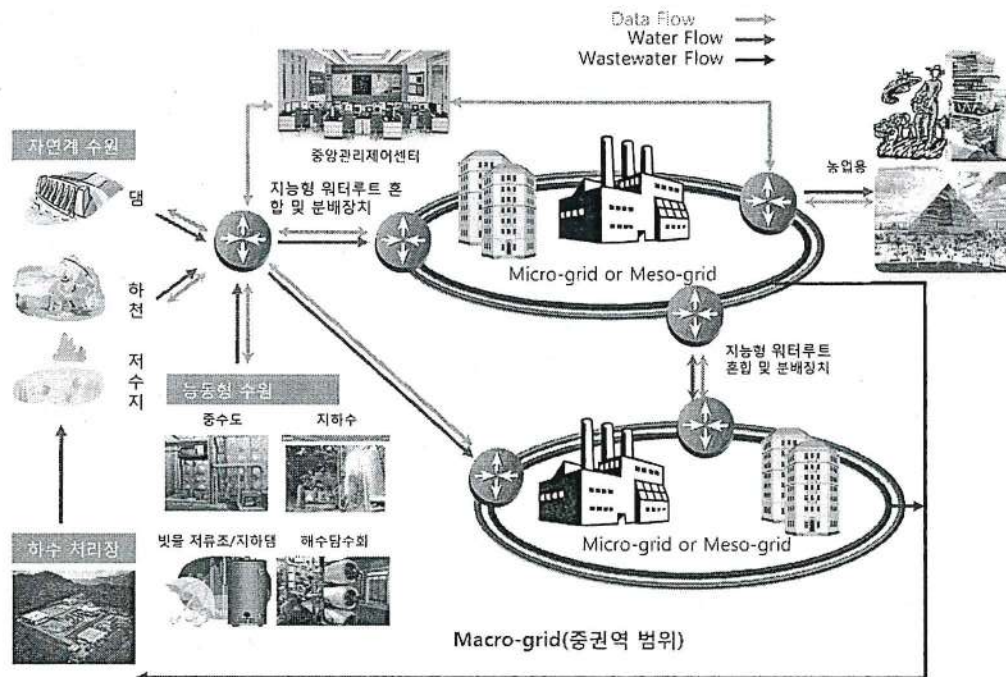
물 생산에 필요한 에너지 절감



Example: Wind/RO system in the Canary Islands

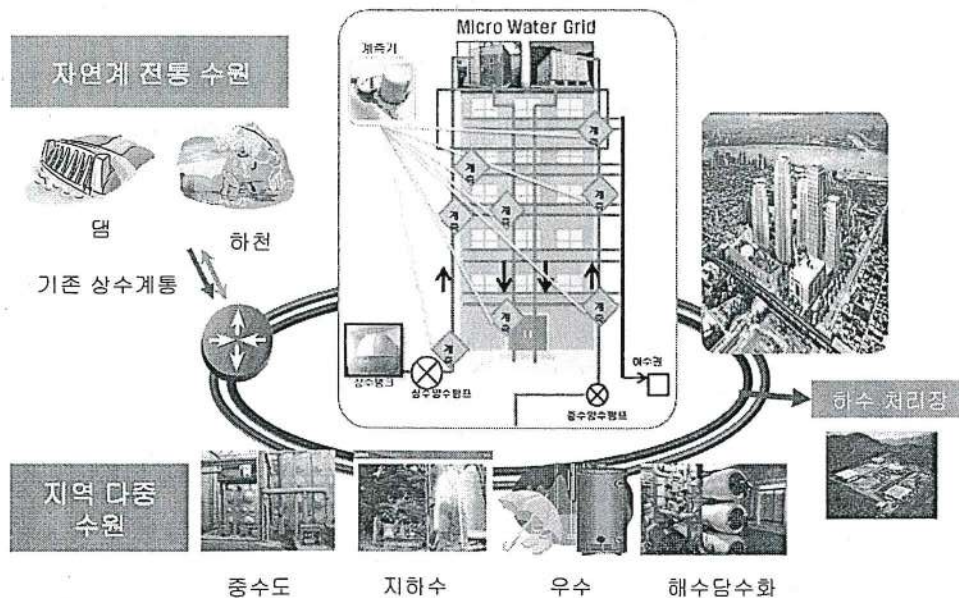


Multi-Grid: An Example



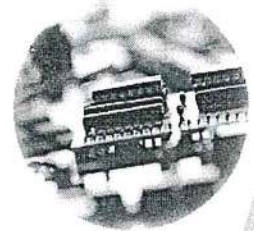
Micro Water Grid

② 건물 혹은 소규모 단지를 대상으로 한 분산기반 지능형 물관리

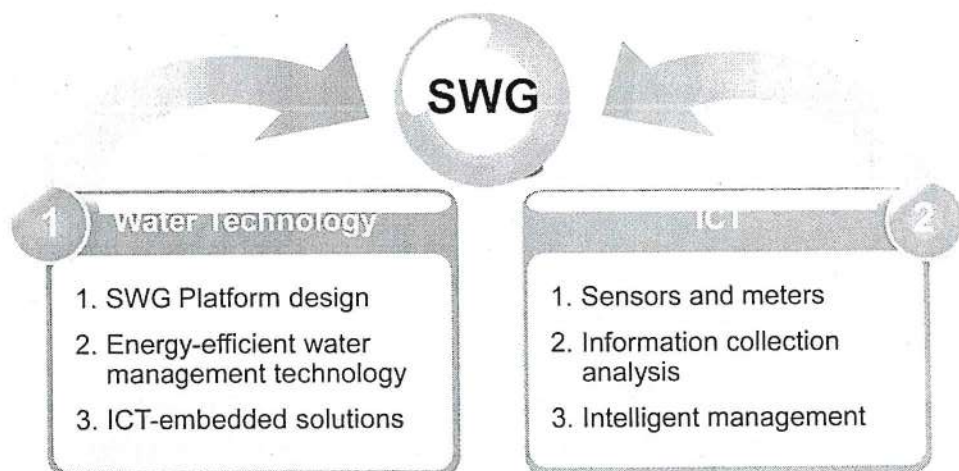




3 국내외 추진동향



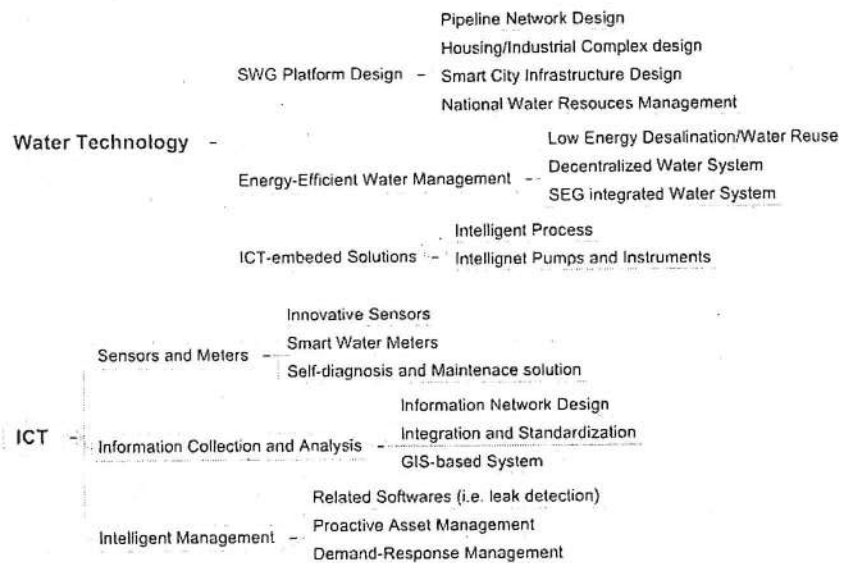
Technologies for SWG Platform





Technology Pool for SWG

SWG Technologies

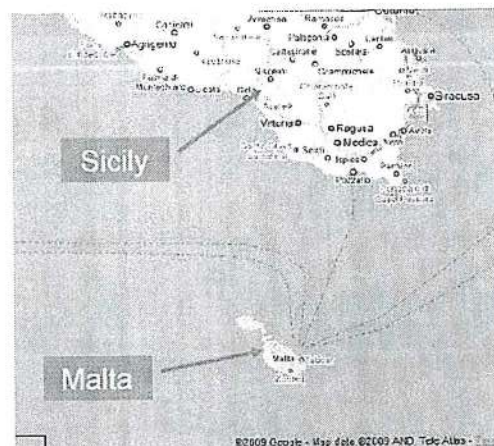


- A lot of other technologies will be incorporated into SWG platform.



Malta

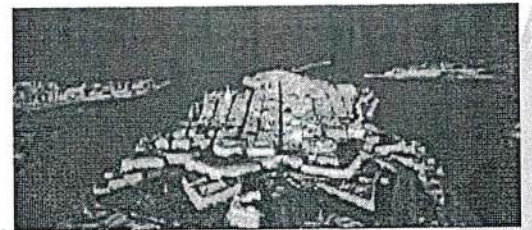
- IBM announced that the €70 million project will deliver a smart grid to Malta, an island nation in the Mediterranean.
- The project will take five years to replace a quarter-million conventional electric meters with smart meters and upgrading the water system where it can be monitored and managed remotely, according to IBM.
- Customers will be able to use the Internet to track their utility usage in real-time. They will also be able to choose the best plan and can pre-pay for their services.





Malta

- Malta의 수자원 문제
 - 지하수 난개발 (무상사용) → 지하수 고갈
 - 하수처리 후 지하수 함양
 - 3개의 해수담수화 플랜트 운영 (30% 전체) → 에너지 사용량 과다
- Smart Water/Power Grid 도입
 - 유수율 제고 / 무단사용 방지
 - 지능형 시스템 도입으로 해수담수화 비용 절감



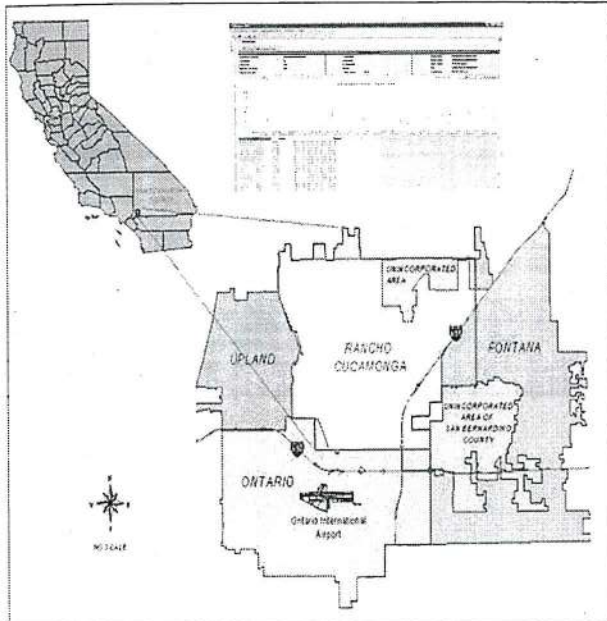
미국

산업체 중심으로 Smart Water Grid를 Leading하고 있음

- 미국에서는 2009년 5월 민간기업으로 구성된 단체인 Water Innovations Alliance에서 "Smart Water Grid Initiative"를 출범하면서 본격적으로 스마트 워터그리드의 개념이 도입되기 시작하였음
- 미국에서의 스마트 워터그리드는 크게 4가지 방향으로 진행
 - 지능형 검침인프라 (AMI: Advanced Metering Infrastructure)를 중심으로 한 상수도 관리 시스템 구축
 - 스마트 전력그리드를 이용한 물 관리시설의 에너지 사용 최적화
 - 수자원 및 수질관리를 위한 센서 네트워크 구축
 - 국가 단위의 효율적 수자원 관리시스템 구축

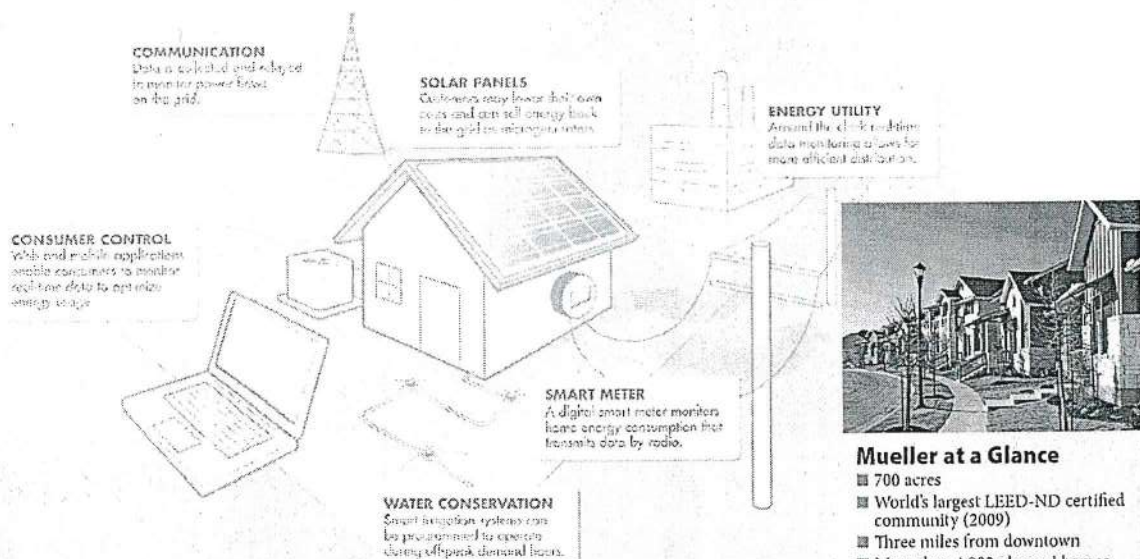
Cucamonga Valley Water District

CVWD Details – Fixed Network Deployment



- CVWD Serves 50,000 Connections
- 48 Square Miles of Service Area
- Fixed Network Customer Since 2005
- Current Installation project at 32,000 Endpoints Installed

The Pecan Street Project (Austin, Texas)



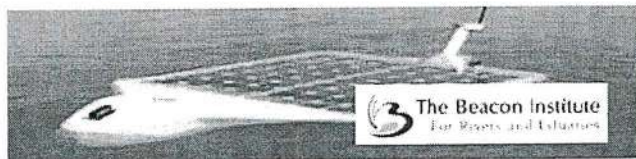
Mueller at a Glance

- 700 acres
- World's largest LEED-ND certified community (2009)
- Three miles from downtown
- More than 4,900 planned homes
- 4.5M sq. ft. planned office and retail
- Ultra Green Built
- Reclaimed water system
- Carbon-sequestering landscaping
- 25% affordable housing



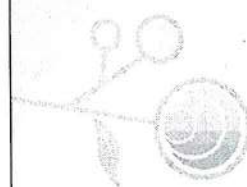
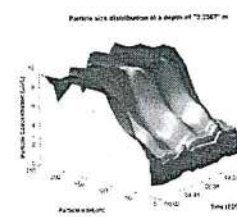
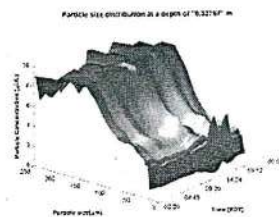
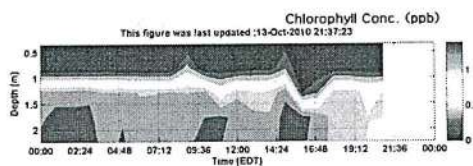
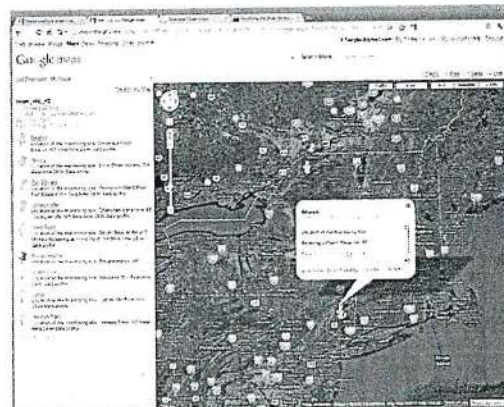
Beacon Institute

River and Estuary Observatory Network (REON)

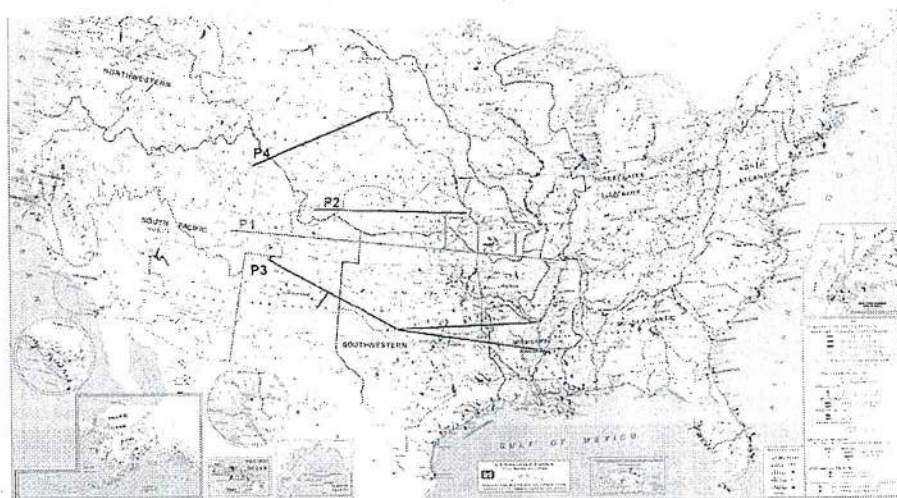


Smarter River and Estuary Protection:

Working with the Beacon Institute, IBM is helping enable minute-to-minute monitoring of New York's Hudson River via an integrated sensor network, robotics, and computational technology throughout the 315-mile river to better understand and predict the effects of global warming, the movements of migrating fish, and transport of pollutants.



National Smart Water Grid Plan



중부지역의 하천으로부터 콜로라도 강과 서부지역으로 물을 이송하는 새로운 형태의 수자원 관리방안 (Lawrence National Lab)



호주

④ 국가 차원의 수자원 관리 중점추진

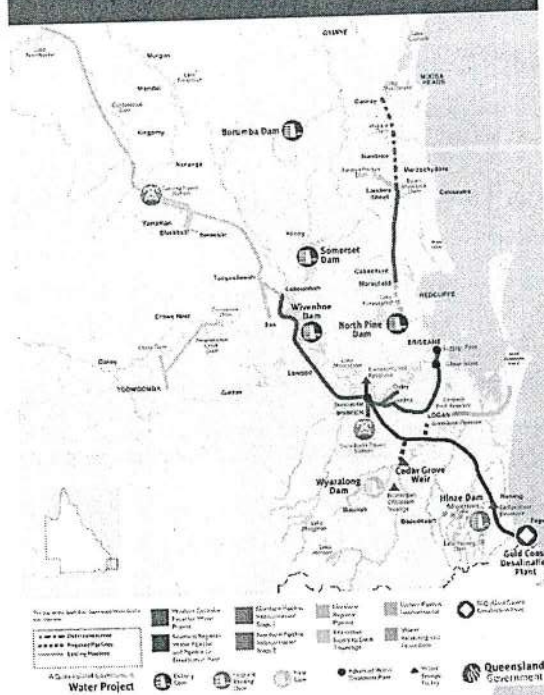
- 호주는 물 부족의 문제를 해결하기 위하여 워터그리드(Water Grid)의 개념을 최초로 도입하였음
 - 워터그리드는 물이 남는 지역과 물이 부족한 지역을 연결하기 위한 시스템
 - 워터그리드를 통해 다양한 종류의 수자원을 다수의 시설로부터 확보할 수 있음
- 아직까지 AMI의 적용이나 스마트 전력그리드와의 통합은 활발하게 진행되지 않음
 - Perth에서 일부 해수담수화와 풍력발전을 연결하여 운영

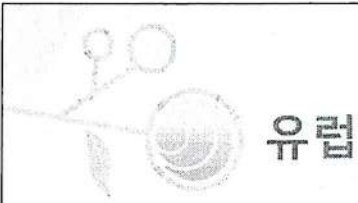


Queensland

- >2,000,000 megalitres of storage
- ~710 ML/d (~250, 000 ML/annum) water supplied
- 80% comes from largest 5 WTPs
- Indicative System Capacity ~450 000 ML/a
- North to south distance ~250 km
- ~3.2 million people

South East Queensland Water Projects

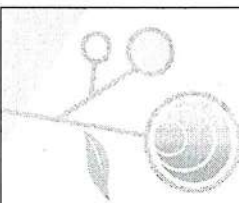




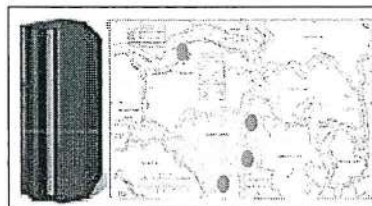
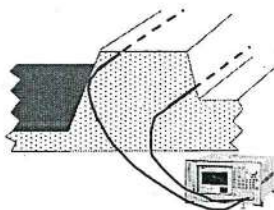
유럽

Smart Water Grid의 도입이 활발하게 시작되고 있음

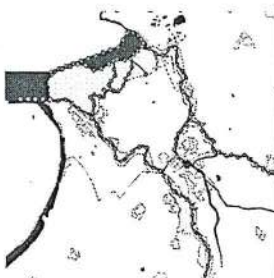
- 유럽은 미국에 비해서 Smart Water Grid의 도입이 다소 늦게 시작되었으나 최근에는 도입속도가 빨라지는 추세임
 - 영국은 에너지나 물 관리 분야 모두 스마트미터의 도입이 늦은 편이었으나, 최근에는 2020년까지 각 가정에 스마트 미터를 도입하는 것을 목표로 하는 계획을 발표함
 - 프랑스와 스페인, 네덜란드 등에 총 1100만개의 스마트 미터가 도입될 것으로 전망됨
- 유럽의 민간기업에서도 스마트 워터그리드에 대한 관심이 높아짐
 - Veolia와 Suez, Siemens 등의 기업에서도 최근 Smart Water Grid 사업에 참여



Flood Control 2015, Netherlands



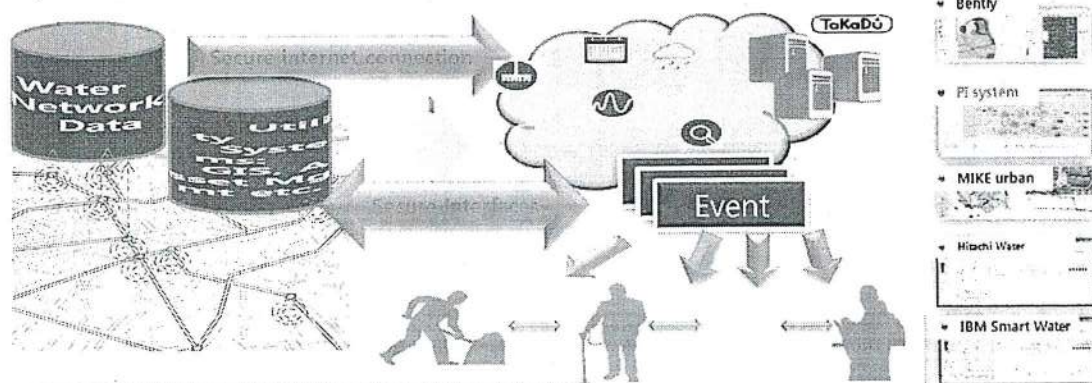
- Towards a smart flood control organization
- Improve quality of decision making during emergencies
- Fast & real time prediction of calculated risks



Smarter Levee Management and Flood Control:
In the Netherlands, IBM is working with partners to build smarter levees and flood management solutions that enable authorities to monitor infrastructure and changing flood conditions and utilize advanced decision tools to help prevent avoidable flooding incidents as well as enable better emergency response to unavoidable flooding events.

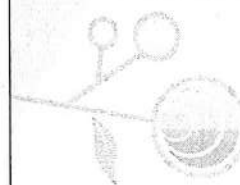


Takadu, Israel



수 운영 소프트웨어 플랫폼 기술

- 하드웨어 플랫폼과 운영 소프트웨어 플랫폼의 독립을 유지함이 특징임.
- 클라우드 컴퓨팅 기술 활용으로 전 세계적 실시간 서비스 시장 확보.
- 다년간 축적된 데이터를 활용한 휴리스틱 알고리즘의 최적 의사결정시스템 제공.
- 데이터 표준에 따른 시스템 상호 연동성 강조 및 최적의 보안 서비스 제공



싱가포르

Smart Water Grid의 본격적인 추진 준비 중

- 싱가포르는 정부주도로 물 산업 육성을 성공적으로 견인하였으며, 최근에는 Smart Water Grid 관련 단계별 추진계획을 수립
 - 1단계: Smart Asset Management
 - 2단계: Smart Process Application
 - 3단계: Smart Customer Engagement
- PUB를 중심으로 상하수도 인프라 구축과 IT 기반기술 개발을 같이 추진



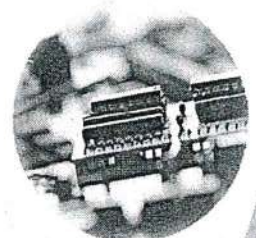
우리나라

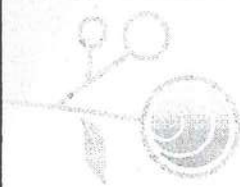
➡ Smart Water Grid R&D 추진과 도입 검토

- 공공분야 중심의 사업기획 및 추진
 - 외국과는 달리 주로 학계와 연구소 중심으로 Smart Water Grid의 개념이 확산되고 있음
 - 정부주도의 대형연구과제 진행 중 : Water Grid 지능화 연구단 (국토교통부)
- 국내 민간기업에서도 스마트 워터그리드에 대한 관심이 높아지는 추세임



결론 및 시사점





결론

② 섬 지역의 혁신적인 물 관리 방향

- 기존 상하수도 시설의 효율향상
- 다중 수자원의 활용
- 물과 에너지 관리의 통합
- 중앙제어관리에 의한 물 수요 및 생산의 최적제어
- 신재생 에너지의 활용



Smart Water Grid: 지역별 맞춤형 물 관리 지능화 솔루션

감사합니다.

- Email: sanghlee@kookmin.ac.kr

제주특별자치도 상수도 현황과 개선방향

(Improvement Direction and Current Status of Waterworks in Jeju Island)



윤 엄 석 Eum-Seok YUN

제주특별자치도수자원본부 상수도관리부장

Jeju Special Self-Governing Province Water Resources Division Director

- ▶ 학위 : 제주대학교 행정학과(행정학사)
- ▶ 경력 : 제주관광개발공사 관광개발사업단장(파견)
제주특별자치도 총무과(감찰팀장)
- ▶ 현재 : 제주특별자치도 수자원본부 상수도부장

After graduating from the department of public administration of Jeju National University in 1981, Mr. Yoon began his career as a public servant in Jeju Special Self-governing Province. Currently, he holds concurrent positions as director of waterworks and director of water resources management. Other notable areas of experience include serving as Jeju Tourism Development Corporation tourism development project director and Jeju Special Self-governing Province general affairs inspection team leader.



제주특별자치도 상수도 현황과 개선방향

제주특별자치도는 본도와 8개의 유인도 및 55개의 무인도로 구성된 부속도서가 있으며, 이 중 유인도는 상추자도, 하추자도, 우도, 비양도, 횡간도, 추포도, 가파도, 마라도가 있다.

전체 면적은 1,848.4km²이며, 제주시 52.9%, 서귀포시 47.1%를 차지하며, 하천수계는 한라산을 중심으로 남·북방향으로 발달되어 있으며, 동부와 서부에는 하천 발달이 빈약한 것이 특징이다.

강우량은 2,061mm(20년 평균)로 우리나라 1,300mm인 것에 비교하여 매우 높은 실정이나, 하천의 대부분은 건천을 이루고 있고 평상시에 물이 흐르는 하천은 소수에 불과하여 지표수 확보는 어려운 실정이다.

상수도의 시작은 지역특성에 따라 언덕 또는 해안변 등에서 솟아나는 용천수를 중심으로 자연부락을 형성하면서 물을 자체 공급하여 왔으나, 용천수가 없거나 부족한 지역에서는 빗물에 의존할 수 밖에 없어 식수공급에 많은 어려움을 겪어 왔다.

상수도의 역사는 1961년부터 추진된 애월읍 수산리에서 심정굴착사업을 시작으로 1972년 어승생 저수지가 준공되었는데, 이는 도 전역에 매일 급수 체계의 초석이 되었다. 상수도 운영관리는 2006년 7월 제주특별자치도가 출범하면서, 4개 시군에서 수자원본부 단일체제로 통합되어 현재에 이르고 있으며, 본 보고서에서는 제주특별자치도의 상수도현황, 주요사업 및 향후 추진 방향을 중심으로 간략히 소개하였다.

1. 상수도 현황

상수도는 2011년 12월말 현재 시설용량 508천m³/일에 1일 급수량 208천m³으로 전국 급수량 16,398천m³/일에 비하여 약 1.2% 정도를 차지하나 1인1일급수량은 357ℓ로 전국평균 335ℓ보다 다소 높은 편이다.

취수원은 지하수 314천m³/일(61.8%), 용천수 177천m³/일(34.8%), 저수지(어승생) 15천m³/일(3.0%), 담수장(도서지역) 2천m³/일(0.4%)으로, 크게보면 용천수를 포함하여 지하수 이용이 97%로 전국 1.6%인 것과 비교하여 지하수 의존도가 절대적이라 할 수 있다.

〈취수원별 시설용량(천^m³/일)〉

(2011, 환경부 통계)

구분 \ 취수원	하 천 표류수	하 천 복류수	댐	기 타 저수지	지하수	계
제주특별자치도	-	-	-	17 (3.4%)	491 (96.6%)	508 (100.0%)
전국	18,571 (50.0%)	1,567 (4.2%)	16,048 (43.2%)	372 (1.0%)	602 (1.6%)	37,160 (100.0%)

정수장은 2012년 12월 말 현재 총 18개로 광역상수도 9개, 지방상수도 9개 및 100여 개의 마을상수도가 있으며, 정수처리방식은 소독만의 방식이 319천^m³/일(60.8%), 완속여과방식 119^m³/일(32.4%) 그리고 급속여과방식 68천^m³/일(13.3%) 및 기타 막여과 2천^m³/일(0.4%)이다.

소독만의 방식은 환경부로부터 정수처리기준 적용배제인증(지하수 인증)에 따른 것으로 우리도의 지하수 수질이 안전하고 깨끗한 것을 의미한다.

〈정수장 현황〉

지역별	정수장명	시설용량(^m ³/일)	정수방식	비고
계		508,825		
소계	18개소	410,500		
광역1	5개소	135,000		
	조천정수장	37,000	지하수 인증소독	
	구좌정수장	19,000		
	남원정수장	37,000		
	애월정수장	23,000		
	토평정수장	19,000		
광역2	4개소	88,000		
	유수암정수장	32,000	지하수 인증소독	
	금악정수장	7,500		
	서광정수장	32,500		
	회수정수장	16,000		
제주시	7개소	147,500		
	월산정수장	24,000	완속 및 급속여과	
	오라정수장	15,000	급속여과	
	사라봉정수장	18,500	완속여과	유타
	별도봉정수장	35,000	완속여과	
	도련정수장	20,000	완속여과	
	한림정수장	20,000	완속/급속여과	
	어승생정수장	15,000	완속/급속여과	
서귀 포시	2개소	40,000		
	강정정수장	25,000	급속여과	
	서림정수장	15,000	완속/급속여과	유타
지하수	마을상수도	96,100	염소소독	
도서지역	담수화시설	2,225	막여과	

상수도 보급율은 2011년 12월말 현재 전국 97.9%인 것에 반하여, 제주도는 2000년대 중반 거의 100%를 달성하였다. 그렇지만 상수원이 마을 단위로 분산되어 있고, 용수공급 체계의 연계성도 미흡하여 갈수기 및 여름철 물 사용량이 많은 최대용수 수요기에는 일부지역에서 물 부족 현상이 종종 발생하고 있다.

〈지역규모별 상수도 보급〉

구분	총인구 (천명)	급수인구(천명)	급수보급률(%)	직접급수량 (천m ³ /일)	1인1일당 급수량 (L)
전국	51,717	50,638(48,938)	97.9(94.6)	16,398	335
특·광역시	23,658	23,639(23,558)	99.9(99.6)	7,253	308
시지역	18,833	18,657(18,608)	99.1(98.8)	7,879	423
읍지역	4,210	3,994(3,825)	94.9(90.9)	1,265	187
면지역	5,016	4,348(2,947)	86.7(58.8)		

※ () 안 수치는 마을상수도 및 소규모 급수시설 이용인구를 포함하지 않은 수치임 (2011, 환경부 통계)

광역상수도건설사업은 지역간 물 공급의 불균형을 극복하기 위하여 계획하였으며, 1996년부터 시작하여 2000년까지 I 단계 건설사업(동부지역), 2008년 12월 II 단계 건설사업(서부지역) 및 2013년 2월 III 단계 건설사업(어승생 제2저수지)이 마무리되었다. 그 결과 광역상수도과 지방상수도 간 관로 연계공사가 지역적으로 추진되면서 중산간 지역을 포함한 도 전역에 보다 안정적인 물 공급이 가능해졌다.

우리도의 상수도 관로는 총연장 5,345km이며 이중 도수관로가 72km(1.3%), 송수관로 425km(8.0%), 배수관로 1,827km(34.2%), 급수관로 3,020km(56.5%)로 전국 수도관로 총연장(173,014km) 대비 약 3%를 차지하고 있다. 이는 한라산을 중심으로 동서남북으로 이뤄지는 농어촌복합도시 형태에 따른 결과로 급수량 전국 대비 1.2%에 비하여 2배 이상 큰 수치로 유수율 관리를 어렵게 하는 주요 요인이 되고 있다.

〈수도관 연장 현황 비교〉

(2011, 환경부 통계)

구분	전 국	제주특별자치도	비고
도수관(km)	3,257 (1.9%)	72 (1.3%)	
송수관(km)	10,717 (6.2%)	425 (8.0%)	
배수관(km)	89,903 (52.0%)	1,827 (34.2%)	
급수관(km)	69,137 (40.0%)	3,020 (56.5%)	
계(km)	173,014 (100.0%)	5,345 (100.0%)	

상수도 재정현황은 2011년도 상수도사업특별회계 예산현액 규모는 83,441백만원이며, 경영성과를 보면 손익계산서상 총수익은 45,850백만원 대비 총비용 48,501백만원으로 당기순손실 2,651백만원이 발생하였다. 전년도 손실액은 1,416백만원으로 1,235백만원의 손실액이 증가하였는데, 광역상수도 수탁자산 지방비 부담분 감가상각비 25억원이 포함됨으로써 전년대비 손실액이 증가한 것으로 분석된다.

총괄원가계산서에 의한 우리도의 요금현실화율은 69.6%로 급수수익은(수도요금) 총 36,531백만원이며 총괄원가는 총52,504백만원으로 원가손실액이 연간 15,973 백만원이며, 1입방미터($m^3=1,000\ell$)당 생산원가는 2012년 현재 883.1원, 공급단가는 667.0원으로 전국요금현실화율 76.1%보다 다소 낮은 수준이다. 주요원인으로 농촌형 도시구조에 따른 상수도관 연장이 길뿐만 아니라 지하수를 원수로 하는 생산구조로 동력비 비중이 커서 생산원가가 타 지역보다 다소 높은데 기인하고 있다.

요금 현실화 부분에 있어 2013년도 5월 사용료 고지분부터 9.5% 인상됨에 따라 현실화율이 전국평균보다 다소 높아질 것으로 분석되고 있으며, 요금수입 증가 및 비용측면의 다각적인 원가절감 노력으로 경영성과 면에 있어서 2013년도에는 이익이 발생하는 원년이 될 것으로 전망된다.

〈수도요금 변화 추이〉

구 분	전국 평균					제주도					
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011	2012
요금 (원/ m^3)	603.9	613.2	609.9	610.2	619.3	597.3	593.8	592.9	598.3	626.1	667.0
생산원가 (원/ m^3)	715.4	730.7	761.6	777.2	813.4	960.0	990.6	984.9	965.4	899.9	883.1
현실화율 (%)	84.4	83.9	80.1	78.5	76.1	62.2	59.9	60.2	62.0	69.6	75.5

2. 수도의 구분 및 정의

수도란 음용, 공업용, 소방용 등에 사용되는 용수를 관을 통하여 보내 주는 설비를 총칭하며, 일반적으로 수도라고 하나 하수도, 공업용 수도와 구별할 때는 상수도라고 한다. 상수도는 취수-도수관-정수장-송수관-급수관 등으로 구성되어 있으며, 취수원에서 원수를 취수하여 도수관을 통하여 정수장까지 보내고, 정수장에서 원수를 정수처리하여 송배수관 및 급수관을 통하여 이송 및 가정에 공급 된다. 수도에는 일반수도, 공업용수도 및 전용수도로 크게 나눌 수 있으며, 일반수도에는 광역상수도, 지방상수도, 마을상수도 및 소규모급수시설이 있다. 또한 전용수도에는 전용상수도 및 전용공업용수도가 있다.

〈수도의 구분 및 정의〉

구 분	종 류	정 의
일반수도	광역상수도	국가·지방자치단체·한국수자원공사 또는 건교부장관이 인정하는 자가 2이상의 지방자치단체에 원수 또는 정수를 공급하는 일반수도
	지방상수도	지방자치단체가 관할지역 주민·인근지방자치단체 또는 그 주민에게 원수 또는 정수를 공급하는 일반수도로써 지방상수도 및 마을상수도의외의 수도
	마을상수도	지방자치단체가 대통령령이 정하는 수도시설에 의하여 급수인구 100인 이상 2천5백인 이내에게 정수를 공급하는 일반수도로써 1일공급량이 20세제곱미터 이상 500세제곱미터 미만인 수도 또는 이와 비슷한 규모의 수도로서 시장·군수·구청장이 지정하는 수도
	소규모 급수시설	주민이 공동으로 설치·관리하는 급수인구 100인 미만 또는 1일 공급량 20세제곱미터 미만인 급수시설 중 시장·군수·구청장이 지정하는 급수시설
공업용수도		공업용수도사업자가 원수 또는 정수를 공업용에 적합하게 처리하여 공급하는 수도
전용수도	전용상수도	100인 이상을 수용하는 기숙사·사택·요양소 기타의 시설에서 사용되는 가정용의 수도와 수도 사업에 제공되는 수도외의 수도로서 급수인구 100인 이상 5천인 이내에게 원수 또는 정수를 공급하는 수도
	전용공업용수도	수도 사업에 제공되는 수도외의 수도로서 원수 또는 정수를 공업용에 적합하게 처리하여 사용하는 수도

2.1 제주도 상수도 변천사

상수도 효시는 일본 강점기를 제외하고, 1953년 금산수원을 개발하여 공급한 것이 최초이며, 1960년대 이후 지하수 개발 및 어승생수원지를 개발하면서 본격적인 근대식 상수도 공급이 시작되었다. 1950년대 상수도는 봉천수 또는 용천수를 물 허벅으로 운반하여 생활용수로 이용하여 왔으나, 1960년대 들어 어승생저수지 등 건설사업이 추진되면서 1970년대에는 공동수도에서 개인상수도가 보급되었다.

특히, 어승생 저수지는 시설용량 106,800m³, 제방길이 250m, 최대 수심 18.6m의 표면차수벽형 록필댐으로 도수관로 7.6km, 송수관로 48.17km를 포함하여 총사업비 약 3,233백만원이 투자되었으며 1967년 4월 착공하여 1971년 12월 준공되었다. 또한 어승생 정수처리시설은 2005. 8월부터 2006.12월까지 총사업비는 6,826백만원(국비5,000·도비 1,826)을 투자하여 1일 15천m³의 급속 및 완속여과시설을 포함하는 어승생 정수장이 건설되었다.

광역상수도건설사업은 지역간 균형과 안정적인 물 공급을 위하여 1996년 처음 시작하여 2013년까지 3단계로 나누어 추진되었으며, 1단계 동부지역, 2단계 서부지역 및 Ⅲ단계 어승생 2저수지건설사업이 추진되었다.

〈상수도 변천사〉

구분	60년도 이전	60년대	70년대	80~90년대	2000년대
생활 환경	봉천수, 용천수를 물 허벅 등 운반 도 구를 이용한 생활용 수의 사용	농업사회 산업 미 발달 낮은 용수 수요	산업화, 도시화 양적 용수 수요 증대	복지사회, 단위 급수량 증대 수질에 관심 질적 용수 수요 증대 수질오염인식증대	수질중요성 가중 고도의 질적 용수 수요 정보화 시대도래 양질의 서비스 요구 오염원차단요구
상수도 시설 변화	정방(1926), 돈내코·서흥· 호근(1927) 자연 유하 이용 서귀포시 급수개시	정방, 천제연, 도순, 속골수원 동력 설비 도입 서림수원 개발(1962) 일과리 공동수도 개설 모슬봉배수지 신설 가시악 배수지 신설(1968)	강정수원 개발 (1971~1975) 서림수원 공급 구역 확대(1978.12)	정수 처리 시설, 강정수원 개발완료 (ADB 차관도입) 가시악배수지 확장 (1985) 서림정수장 1,2단계 확장 추진 (1990~1999)	누수 방지 사업 노후관 교체 구역 개량 사업 누수탐사 마라도 담수화시설 (2003) 가파도 담수화시설 (2005)
	금산수원 개발 및 제주시 상수도 급수 개시(1957)	사라봉정수장 준공 최초로 관정식 지하 수개발(1961) - 애월 수산 한림지역 상수도 공급 개시(1962) 한림수원 시설용량 증설 간이상수도시설 수원 조사(1959~1965) 어승생수원 개발사업 추진(1967~1971)	월산정수장 준공 외도 수원 개발 (1971~1972) 지하수 관정 개발 시작	삼양1,2 수원 준공 이호수원 준공 삼양3 수원 준공 용담 수원 준공 별도봉정수장 준공 오라정수장 준공 도련정수장 준공 우도 담수화시설 추진(1997~1999) 한림정수장 제1단계 공사 시행 (1986~ 1997) 광역1단계사업 추진(1996~1999)	추자 담수화시설 증설(2003) 추자 해수담수화 증설 및 고도정수처리시설 사업 추진 (2010~2012) 우도 담수화시설 증설(2001) 우도 해저상수도 준공(2010.12) 한림정수장 고도정수 처리시설사업 실시 계획 착수 (2011) 광역1단계 공급개시 (2000) 광역2단계사업 완료(2002~2008) 광역3단계 어승생 제2저수지건설사업 추진 (2007~2012)

2.2 수질관리 변천사

우리나라의 먹는물 수질기준은 보건사회부령으로 1963년에 처음 제정되어 운영하다가, 1994년 1월에 발생한 낙동강 수질오염사건을 계기로 환경부로 이관되어 1995년 1월 먹는물관리법으로 통합되었으며, 수질기준은 1963년 30개 항목에서 2013년 현재 58개 항목으로 지정 운영되고 있다.

제주특별자치도에서도 먹는물 수질기준은 법정 58개 항목 외에도 자체 감시대상으로 38개 항목을 추가하여 2013년 현재 총 96개 항목에 대하여 수질검사를 실시하고 있으며, 향후에는 수질기준 미규제 유해물질까지 수질검사를 확대할 계획이다.

〈먹는물 수질기준 변천〉

연도별	기준설정 현황	수질기준 항목	추가항목
1963. 03	최초 설정	30	
1984. 07	카드뮴, 세제	28	2 (4항목 제외)
1990. 01	총트리할로메탄	29	1
1991. 07	다이아지논, 파라티온, 말라티온, 세레늄, 페니트로티온	33	5
1992. 12	카바릴, 1,1,1-트리클로로에탄, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌	37	4
1994. 04	알루미늄	38	1
1994. 07	디클로로에탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌	43	5
1996. 05	사염화탄소, 1,1-디클로로에틸렌	45	2
2000. 07	클로로포름, 보론	47	2
2002. 06	분원성대장균군, 대장균, 잔류염소, 1,2-디브로모-3-클로로프로판	50	4 (1항목 제외)
2003. 07	클로랄하이드레이트, 디브로모아세트니트릴, 디클로로아세트니트릴, 트리클로로아세트니트릴, 할로아세틱에시드	55	5
2009. 01	브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄	57	2
2011. 01	1,4-다이옥산	58	1

〈자체 감시항목 현황〉

연도별	자체 감시항목	확대 항목수	비 고
2008	우라늄, 바나듐, 니켈, 나트륨, 칼륨	5	
2009	스틸렌, 염화비닐, 칼슘, 마그네슘	4	
2010	퍼클로레이트, 브롬산염, 1,1-디클로로에탄, 1,2-디클로로에탄, 1,2-디클로로프로판, 1,3-디클로로프로펜, 1,2-디브로모에탄, 바륨, 베릴륨	9	
2011	브로모포름, 클로레이트, 디에틸헥실프탈레이트, 브로마실, 메토라클로르, 탈륨, 안티몬, 몰리브덴, 스트론튬	9	
2012	1,2-디클로로벤젠, 1,3-디클로로벤젠, 1,4-디클로로벤젠, 모노클로로벤젠, 아질산성질소, 디브로모아세틱에시드, 디클로로아세틱에시드, 트리클로로아세틱에시드, 브로모벤젠, 세슘, 은	11	

수질검사 종류, 대상시설, 항목, 지점 등 매년 상수도 수질검사 및 관리계획을 수립하여 법정 수질검사를 실시하고, 법정 검사 이외에 자체 감시항목을 추가적으로 지정하여 검사를 실시하고 있다.

수질검사는 취수에서 공급에 이르는 단계별로 수질기준 적합여부를 확인하고 있다. 또한, 상수도가 공급되는 각급학교, 공원, 체육시설, 관광지 등 242개소에 설치된 음수대 수질검사를 실시하여 수질 이상이 없음을 확인하는 수질인증스티커를 부착 홍보하고 있으며, 상수원, 정수장, 배수지 등에 탁도, 전기전도도 등 모두 233대의 수질자동측정기를 설치하여 24시간 수질감시를 실시하는 등 도민들이 안심하고 수돗물을 음용할 수 있도록 노력하고 있다.

〈상수도 수질검사 현황〉

구 분		검 사 항 목	검사주기	비 고
정수장	일일검사	탁도, 잔류염소 등 6개 항목	일 1회	
	주간검사	일반세균, 질산성질소 등 14개 항목	주 1회	
	월간검사	53항목	월 1회	
	분기검사	58항목(자체검사항목 38항목)	분기 1회	
수도꼭지	일반지역	일반세균 등 5항목	월 1회	
	노후관지역	철, 아연 등 11항목	월 1회	
급수과정별	분기검사	총트리할로메탄 등 12항목	분기 1회	
마을상수도	분기검사	질산성질소 등 14항목	분기 1회	
	매년검사	59항목(먹는물 수질기준 58항목 및 노로바이러스)	연 1회	
상수원수	지하수	카드뮴 등 19항목	반기 1회	용천수포함
	호소수	수소이온농도 등 5항목	월 1회	추자도
		카드뮴 등 25항목	분기 1회	
	해수	수소이온농도 등 5항목	분기 1회	추자도
		카드뮴 등 6항목	연 1회	

3. 주요 시설사업

3.1 광역상수도 건설사업

광역상수도란 “국가·지방자치단체·한국수자원공사 또는 국토교통부장관이 인정하는 자가 둘 이상의 지방자치단체에 원수나 정수를 공급하는 일반수도”를 말한다. 우리도의 경우 관광지 개발 등에 따른 지역별 물 수요가 증가, 중산간 등 지역에서 물 공급 불균형 문제가 발생을 예측하고 제주도수자원종합개발계획수립('92.11~'93.11)시 광역상수도 공급방안이 처음 제시 되었다.

광역상수도 I 단계 건설사업은 제주도 동부지역을 대상으로 '94~2000년까지 총 1,310억원을 투자하여, 1일 14만5천톤의 지하수를 취수할 수 있는 6개 지구의 수원시설(수산, 신촌, 조천, 구

좌, 표선, 자굴이)과 1일 13만5천톤의 공급능력을 갖춘 5개소의 정수장(애월, 조천, 구좌, 남원, 토평)과 총연장 137km의 송수관로 시설사업을 추진하였다.

Ⅱ단계 건설사업은 제주도 서부지역을 대상으로 '00~2008년까지 총 996억원을 투자하여 1일 96천톤의 지하수를 취수할 수 있는 9개지구 수원시설(장전,상가,납읍,어음,금악,서광,저지,회수,상예)과 1일 88천톤이 공급능력을 갖춘 4개소 정수장(유수암, 금악, 서광, 회수)및 총연장 94.3Km의 송수관로 시설사업이 추진되었다.

또한 중산간지역을 중심으로 지속적인 개발이 예상됨에 따라 안정적인 물 공급을 위하여 광역상수도 Ⅲ단계 시설사업으로 어승생 제2저수지 건설사업이 2009년부터 2013년 2월까지 총사업비 45,875백만원(국비 22,937, 지방비 22,937)을 투자하여 시설용량 50만톤(L=373m H=18.55m) 규모의 저수지, 정수시설 1만톤 및 도·송수관 20.5km가 신설됨에 따라 제주도의 “제2의 물 혁명”을 이룩하는 역사적인 사업으로 기록되고 있다.

〈광역상수도 건설사업〉

(단위 : 천톤/일, 백만원)

단계별	사업기간	사업비	시설별	시설용량		시 설 위 치
				개소	사용용량	
1단계 (동부지구)	'96.4 ~'00.11	131,046 (국 99,641 지 31,405)	정수장	5	135	조천, 구좌, 애월, 남원, 토평
			취수장	14	145	신흥2, 의귀, 자굴이, 토평, 상귀, 외도, 삼양, 회천, 함덕, 선흘, 행원2
			가압장	4	80	조천2, 애월, 토평
2단계 (서부지구)	'02.1 ~'08.12	99,611 (국 79,302 지 20,309)	정수장	4	88	유수암, 금악, 서광, 회수
			취수장	9	96	장전, 상가, 납읍, 어음, 금악, 저지, 서광, 상예, 회수
			가압장	1	17	오라
3단계 (어승생제2 저수지건설)	'07.2 ~'13.2	45,875 (국 22,937 지 22,938)	정수장	1	25	해안
			취수장	1	500	해안
			가압장	1	6	광평

3.2 도서지역식수원개발사업

추자도, 우도, 가파도, 마라도 등 도서지역의 물 문제는 과거에서부터 빗물과 우물에 의존하면서 가뭄시에는 선박으로 운반 급수하는 등 급수에 큰 어려움을 겪어왔다. 현재의 급수시설은 1997년부터 도서지역식수원개발사업으로 국비 70%를 지원받아 해수담수화 및 해저관로시설이 추진되면서 안정적인 급수가 이뤄지고 있는 실정이다.

추자도는 1991년까지 건설된 빗물저수지 4개소(시설용량 172천m³)를 이용하여 월 1회 제한급수가 이뤄졌으며, 2000년 10월부터 1,000톤의 해수담수화시설이 도입되면서 급수주기가 약 10일 정도로 단축하는 효과가 있었다. 이후 매일 급수를 위하여 총사업비 92억원(국비 64, 도비 28)을 투자하여 2010년부터 2012년까지 해수담수화시설 1,500m³/일 및 빗물저수지 고도정수처리(막여과)시설 1,000m³/일을 도입 완료하고, 2013년 현재 매일 급수를 시범적으로 추진하고 있는 실정

으로 1인1일급수량은 사업 전 191ℓ에서 현재는 본도와 동일하게 345ℓ를 공급하고 있다.

우도는 해수담수화시설 도입 이전까지는 생활용수는 염지하수, 식수는 빗물저수지에 의존하여 왔으나, 1999년부터 500m³/일의 염지하수 담수화시설 운영을 시작으로 2007년까지 3단계 증설·개량사업을 통하여 1,300m³/일의 담수화시설에 4,299 (국비 2,295, 도비 2,004)백만원을 투자하여 매일 급수를 하고 있다. 그렇지만 하절기에는 관광객이 2007년 50만명이 넘는 등 유동인구가 급증함에 따라 장기적으로 물 부족이 예상됨에 따라 근본적인 물 문제를 해결하기 위하여 2008년부터 120억원(국84, 도36)을 투자하여 본도와 우도 섬을 연결하는 종달 ~ 우도간 해저상수도시설을 완공하여 2010년 12월말부터 남원정수장 광역상수도를 안정적으로 공급함으로써 설촌이래 겪어온 물 문제는 완전히 해결 되었다.

우도 해저상수도 시설사업은 2007년부터 계획하여 2008년에 기본 및 실시설계용역을 실시하고, 2009년 1월 착공하여 2010년 12월말 준공 하였다. 주요시설은 육·해상 관로는 연장 15.96km(육상 12.93, 해상 3.03× 2열, D=200mm)로 제주시 구좌읍 상도리에서 종달항 인근 해저로 매설된 후 우도면 하우목동항을 경유 우도 담수장의 배수지(4,000톤)에 송수된 후 주민 급수가 이뤄지고 있다.

마라도는 국토 최남단이라는 지역 특성이 널리 알려지면서 2007년 18만 명이 방문하는 등 관광객이 매년 증가 추세에 따라 물 부족을 미연에 방지하고자 2009년에 7억원(국비 4.9, 도비 2.1)을 투자하여 기 운영하고 있는 담수화시설(50톤/일)을 75톤으로 증설 개량과 함께 배수지를 50톤에서 100톤으로 증설함으로써 현재는 물 문제가 해소된 상황이다.

또한 가파도에는 2006년부터 150톤의 담수화시설을 완공하여 매일 급수가 이뤄져 왔으나 담수 지하수 수위강하로 인하여 염지하수량의 도수관로 등을 확장하였으며, 2011년에는 기존 담수용 역삼투 시설 75톤/일을 해수용으로 교체함으로써 가문시에도 안정적으로 150톤/일 생산이 가능하여 보다 안정적인 급수가 유지되고 있다.

3.2 농어촌 생활용수 개발사업

농어촌 생활용수 개발사업은 광역상수도과 지방상수도 또는 마을 상수도를 연계시켜 도 전역에 광역상수도공급체계를 구축함으로써, 지역간 용수공급의 불균형을 극복하기 위한 사업이다.

주요사업으로 2005년부터 2012년까지 19개 지구, 배수지 17지, 관로 90.7Km를 시설 완료하였고, 2013년도에는 한림 상대지구, 애월 하귀지구, 구좌 평대지구에 배수지 2지, 관로 1.8Km를 시설할 것으로 추진중에 있다.

이러한 생활용수개발사업을 시행함으로써, 광역상수도 I.Ⅱ단계 시설의 가동율을 높이고, 읍·면지역에 송·배수관로 연계 및 배수지시설 등을 확충하여 광역상수도 공급량을 증대하여 농어촌 지역주민에게 안정적 수돗물을 공급할 수 있게 되었다. 특히, 상대적으로 급수환경이 취약한 중산간 지역까지 광역상수도를 확대하여 안정적으로 용수공급을 함으로써, 농어촌지역이 발전의 가속화 하는 등 삶의 질 개선에 큰 효과를 가져왔다.

3.3 유수율 제고사업

유수율 제고(有收率 提高)란 “수돗물의 누수를 최소화함으로써 수돗물의 생산비용 손실액을 줄이고, 수도요금 수입을 증대시키기 위한 사업 등을 총칭”하며, 이를 통하여 건전재정을 도모하고 상수도의 경영합리화를 이루는데 지대한 영향을 준다. 또한 상수도 중장기 수요 및 공급계획, 시설정비계획 등 주요 정책을 수립하는데 필수 지표로서 매우 중요할뿐만 아니라, 상수도 생산비용 절감 및 요금 수입과 직결된 것이다.

이러한 유수율 제고를 위하여 관망정비 및 노후관 교체, 관망블록화사업 및 누수탐사, 노후계량기 교체 등을 지속적으로 추진해 오고 있다.

관망정비 및 노후관 교체는 도민이 만족하는 고품질의 수돗물 공급을 위하여 추진하는 사업으로 유수율 개선에 큰 영향을 주는 사업 중 하나이다. 관망정비란 다발관 등 사용하지 않는 관을 정비하는 것을 말하며, 노후관 교체는 일반적으로 “아연도강관, 비내식성 금속관, 매설 후 16년 이상 경과한 수도관 및 회주철(보통주철), 아연도 강관, 비내식성관으로 누수가 잦은 관, 구조적 강도가 저하된 관 및 관 내부에 녹이 발생하여 녹물이 많이 나오는 관 등 수도관중 관석(스케일링) 및 부식이 심한 수도관 등”을 교체하는 것으로 유수율과 위생적인 문제 개선 효과가 있다.

〈노후관 교체 계획〉

(단위 : km, 백만원)

지역별	수도관 총연장	노후관 연장	추진실적 (’93 ~ ’10)		2011년		2012년		향후계획	
			사업량	사업비	사업량	사업비	사업량	사업비	사업량	사업비
계	5,048	1,784	2,857	80,727	141	7,395	137.5	6,807	1,444.8	165,118
제주시	2,769	1,022	1,723	41,238	78	4,877	87.3	4,171	1,022	134,667
서귀포시	2,279	762	1,134	39,489	63	2,518	50.2	2,636	422.8	30,451

노후관은 1,784km로 총연장 5,048km 대비 약 35% 정도이며, 특히 1970년대 후반~1980년대 초반 시설된 상수도관로의 경우는 주철관, HI-3P관, PE관 등으로 중점 교체하고 있다. 또한 누수다발지역 및 출수불량으로 수량과 수압이 불균등한 지역을 중점적으로 교체하여 도민들에게 안정적인 상수도 공급을 위하여 관경확장 병행 시행을 통해 안정적인 상수도 공급에 기여하고 있다.

관망블록화란 “상수도 관로 및 급수관리의 효율적인 위하여 급수구역을 일정 규모로 분할하여 관로에 수압계, 유량계, 수질측정장치 등을 설치하고 수압, 수량, 수질을 감시·제어함으로써 최적의 관망 조건을 유지하여 균등한 수압으로 적정량을 공급하고 상수도 관련 사고발생시 신속한 대처로 누수를 최소화하기 위한 사업”을 말한다.

도 전역을 대블록 19개, 중블록 66개, 소블록 247개로 상수관망을 구역화하는 “상수도 관망 최적관리시스템 기본계획”을 2011년 8월 수립하였다. 현재 시범사업으로 오라중블럭인 제주시 용담2동 일원을 대상으로 상수도관망 최적관리시스템 구축 시범사업을 2014년 완료 목표로 추진하고 있으며, 시범사업이 완료된 후에는 도 전역으로 점차 블록시스템을 확대 구축해 나갈 계획으로 있다.

3.4 제주 물사랑 홍보관 개관

우리 도의 생명수인 “물”의 소중함과 중요성에 대한 인식을 새롭게 하는 장소로 활용하고자 제주시 건입동 소재 금산수원지내에 ‘제주 물사랑 홍보관’을 지난 3월 22일 개관하였다. 이번 개관한 홍보관은 국비 20억원 등 총 28억원의 사업비를 투자하여 금산수원지 내 관리동 건물을 리모델링(2층, 485㎡)하고 견학시설 등을 갖추었다.

금산수원지는 우리 도의 근대적 상수도 공급의 발원지라는 역사적인 시설로 내부에는 그동안 사용했던 펌프시설 등이 그대로 전시되어 있으며, 물의 생성과정, 제주 물의 역사, 제주의 용천수 및 문화 그리고 물절약 의식 고취를 위한 내용 등 물관련 자료를 풍부하게 갖춰 놓고 있다.

4. 향후과제

인구 증가 및 도시화, 산업화에 따른 도시의 양적 팽창 등의 환경 변화와 더불어 상수도 사업도 시설 확충을 건설단계에서 시설의 효율적인 운영관리 및 시설개량 단계로 접어 들었다.

우리 도는 지하수(마을상수도), 지방상수도 및 광역상수도를 합하면 인구대비 현재 시설용량은 충분한 규모라 할 수 있다. 다만 관광객 증가와 대규모 개발에 따른 지역적인 불균형 해소를 위하여 일정량의 개발사업이 지속될 전망이다.

이처럼 유지관리의 중요성이 커지면서 최근 이슈화되고 있는 첫 번째 과제는 유수율 향상 문제로, 관망 현대화를 통한 지능형 관망구축사업, 즉 Smart Water Grid 구축사업을 꼽을 수 있다. “스마트 워터 그리드”는 상수도관망에 사람의 눈과 귀 그리고 뇌와 같은 신경망을 주어 수자원관리에서부터 정수 생산 및 공급 계통을 과학적이며 효율적으로 관리하여 최적의 수질을 유지하면서 경제적으로 운영이 가능하도록 하는 기술을 말한다. Smart Water Grid는 미래의 상수도관망 관리시스템으로 구축에 따른 비용이 막대하여 국가적 차원의 접근이 필요한 사업이며, 새롭게 건설되는 신도시의 경우 적용이 용이하나 기존도시에 적용하기에는 민원 등에 의한 어려움이 예상된다.

우리 도에서도 관망블럭화 사업 등을 통한 유수율 제고사업이 절실하며, 재정 등을 고려하여 국가 R&D 사업의 Test Bed, BTL 사업을 통한 일시적 시설 개량 등 관망 현대화가 반드시 필요한 실정이다.

〈유수율 현황〉

(2012년 말 현재)

시설용량	연총생산량	연간부과량	유수율	누수율	비 고
508,825㎥/일	76,066,890㎥	58,343,564㎥	76.7%	14.8%	

두 번째 과제는 수질 관리 문제이다. 중산간 지역의 대규모 개발, 농작물 재배에 따른 화학비료 사용, 대규모 축산분뇨의 등에 의한 토양 오염으로 인하여 일부지역에서 질산성 질소 농도가 조금씩 증가추세로 깨끗한 지하수질 보존이 주요한 과제로 대두되고 있다. 지하수 보존과 같은 환경문제는 도민 모두가 함께 참여해야 성과를 이룰 수 있는 사업으로, 지속가능한 지하수 이용을 위해서는 개발된 지하수의 체계적인 관리뿐만 아니라 오염원의 효율적인 관리가 필요한 실정이다. 또한 지역별로 해수 침투 등에 의한 지하수 오염 발생에도 관심을 가지고 지하수 개발 억제와 함께 해안에서 용출되는 용천수 이용방안, 하수 재이용 등이 장기적인 과제로 남아 있다.

세 번째 과제로는 에너지 절감을 들 수 있다. 지하수를 원수로 사용함에 따라 원수 확보를 위한 동력비 비중이 높을 뿐만 아니라 점차 수질문제를 고려하여 지하수 개발이 중산간 지역으로 이용되면서 더욱 많은 동력비가 요구되고 있다. 동력비는 상수도 생산원가 중 2011년 17.7%로 서울시 4.9%에 비하여 매우 높은 실정으로, 전기요금 1%를 절감하면 약 142백만원 정도가 절약될 정도로 경영개선 효과가 큰 분야이다. 이를 위해서는 노후 펌프시설 개량, 적정용량 설치를 통한 고효율화, 적정 위치 배수지를 설치 및 수용가 인입관경을 15mm에서 20mm로 확대 설치하여 이송 중에 소비되는 에너지 절감이 필요한 실정이다.

네 번째 과제는 국내외적으로 상수도가 식수 공급원만이 아니라 물산업으로 변화되고 있음에 따른 대응 문제이다. 지금까지는 물은 누구나 함께 공유해야 하는 공공재로서의 성격이 강하였으나, 향후에는 물부족 현상 등으로 물의 경제적인 가치가 상승하면서 산업재로의 변화를 요구받을 것으로 전망된다.

이밖에도 정수장 가동율 제고, 소규모시설 폐쇄, 검침방법 개선 등이 필요하다. 가동율(%)은 시설용량(m³/일)을 1일 최대생산량(m³/일)으로 나눈 비율로, 우리 도의 경우 2011년 기준으로 53.24%, 전국 가동률 71.5%에 비하여 낮은 실정으로 향후에는 가동이 중단된 시설을 친수환경 시설, 농업용, 관측용 등으로 전환, 폐쇄하는 등 적극적인 개선으로 수자원 보호 및 생산원가 절감이 필요하다.

〈상수도 가동률〉

(2011년말 결산 기준)

시설용량	가 동 량	가 동 율	비 고
508,825m ³ /일	270,923m ³ /일	53.24%	전국 가동률 71.5% (‘10년말 기준)

5. 맺음말

“제주도의 상수도는 지하수”라고 해고 과언이 아닐 정도로 지하수 의존도가 매우 높다. 상수도의 경영합리화를 위한 유수율 제고, 수질 개선 등의 사업은 지하수를 효율적으로 이용함과 동시에 지하수를 보존하는 것을 의미한다. 우리 지역은 지하수를 대체할 수 있는 수자원은 없는

실정으로, 지하수는 도민 모두가 함께 향유해야 할 공공의 자산이며, 후손에게 깨끗한 상태로 물려주어야 할 생명수이다.

우리 지역이 “춤으로 빗물을 받고 생활하던 물이 귀한 섬에서 물이 풍부한 섬”으로 변화시킨 것은 1960년대 초반 양질의 지하수가 개발되면서부터이다.

지하수는 빗물이 토양을 흐르며 통과하는 동안 자연정화 되어 형성되는 것으로 강우량이 많아 유량은 풍부하며, 화산암 지질 특성으로 여과효율이 우수하여 깨끗한 수질을 유지하고 있다. 우리도의 지하수는 짧게는 1년에서 길게는 100년에 이르는 동안에 함양되는 것으로 지속가능한 지하수 이용을 위해서는 적정량을 개발하고, 효율적으로 이용하는 것이 바람직하다. 특히 토양이 한번 오염되면 지하수 수질에 영향을 미쳐 수질은 보증할 수 없게 될 뿐만 아니라, 인위적으로 회복시키는 것은 거의 불가능 하거나 막대한 비용이 투입되어야 하는 것으로 맑고 깨끗한 지하수를 유지하기 위해서는 우리 모두가 수자원을 아끼고 사랑하는 마음이 필요하다. 상수도를 운영관리하는 수자원본부에서는 지속가능한 지하수 이용을 위하여 상수도 운영관리과정에서 드러난 문제점 해결을 위하여 중장기적인 개선책을 마련하는 등 깨끗하고 안전한 수돗물이 지속적으로 공급될 수 있도록 최선을 다할 것이다.

제주지하수의 지구화학적 특성과 활용 방안

(Hydrochemistry and Utilization Strategy of Jeju Groundwater)



윤 성 택 Seong-Taek YUN

고려대학교 교수 Korea University Professor

- ▶ 학위 : 고려대학교 이학박사
- ▶ 경력 : 세명대학교 자원공학과 교수
학술진흥재단 자연과학단 Project Manager
환경부 먹는물자문회의 위원, 환경부 중앙환경보전자문위원
국가연구개발사업 중기예산편성자문위원 등 역임
- ▶ 현재 : 캐나다 캘거리대학교 Adjunct Professor
서울특별시 지하수 및 물 재이용 관리위원회 위원
고려대학교 그린스쿨대학원 및 지구환경과학과 교수

Prof. Yun has been working as a Professor of Geochemistry at Department of Earth and Environmental Sciences of Korea University for about 20 years. He is jointly appointed as a professor at Korea Institute of Science and Technology (KIST) and University of Calgary, Canada. His main research interests include 1) hydrogeochemical and stable isotopic studies on bedrock and alluvial groundwaters, 2) geochemistry related to geologic carbon sequestration, 3) groundwater contamination, 4) geochemical exploitation and potential evaluation of geothermal resources, 5) heavy metal contamination of water, soil, sediment and biota, 6) hydrochemical monitoring on the source and natural attenuation of nitrate and sulfate in alluvial groundwaters, and 7) remediation of aquatic contaminants using geomaterials. He published 190 papers in periodicals (104 papers in international journals and 86 papers in domestic (Korean) journals.

International Jeju Water Forum (제주물세계포럼)
(해비치 호텔&리조트; May 31, 2013)

제주지하수의 지구화학적 특성과 활용 방안 (Hydrochemistry and utilization strategy of Jeju groundwater)

Seong-Taek YUN, Kyoung-Ho KIM, Hee-Won JUNG,
(Korea University, e-mail: styun@korea.ac.kr)
Soo-Hyung Moon, Sang-Hyup Lee, and Gi-Won Koh (JPDC)



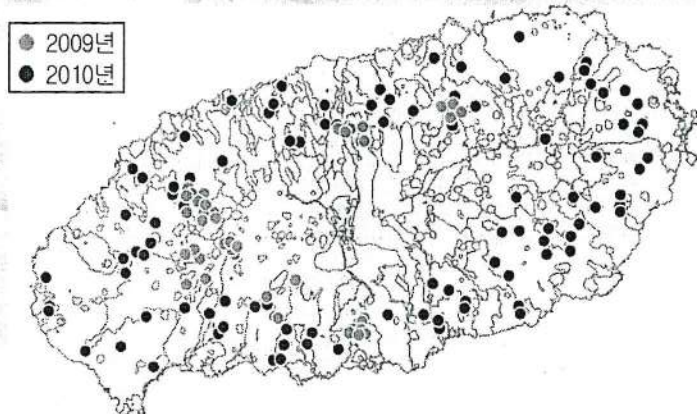
목차(Contents)

- 1) 제주 지하수의 지구화학적 특성
(Geochemical characteristics of Jeju Groundwater)
- 2) 제주 지하수의 활용 방안
(Strategic utilization of Jeju Groundwater)
- 3) 요약 및 제언 (Summary and suggestion)



주제 1) 제주지하수의 지구화학적 특성 (Geochemical characteristics of Jeju Groundwater)

- 1) 제주지하수의 지구화학적 특성
(Geochemistry of Jeju GW)
- 2) 국내 먹는샘물과의 수화학 특성 비교 (Bottled Water in Korea)
- 3) 해외 먹는샘물과의 수화학 특성 비교 (Bottled water in abroad countries)

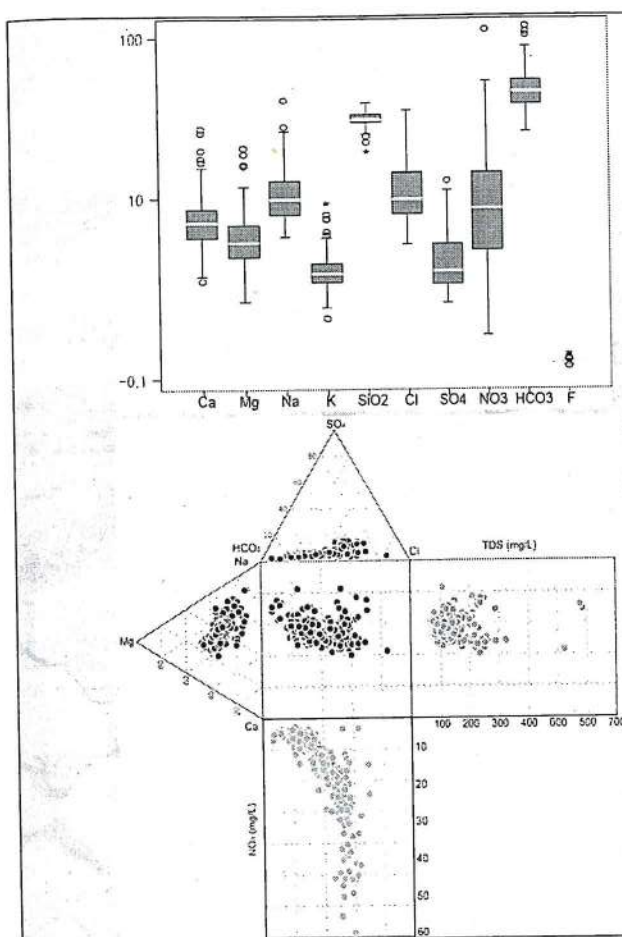


1) 제주 지하수의 수화학적 특성 (Hydrochemistry and quality status of Jeju GW)

- 제주도 지하수 수질관측망 자료 해석

(Yun et al., in prep.)

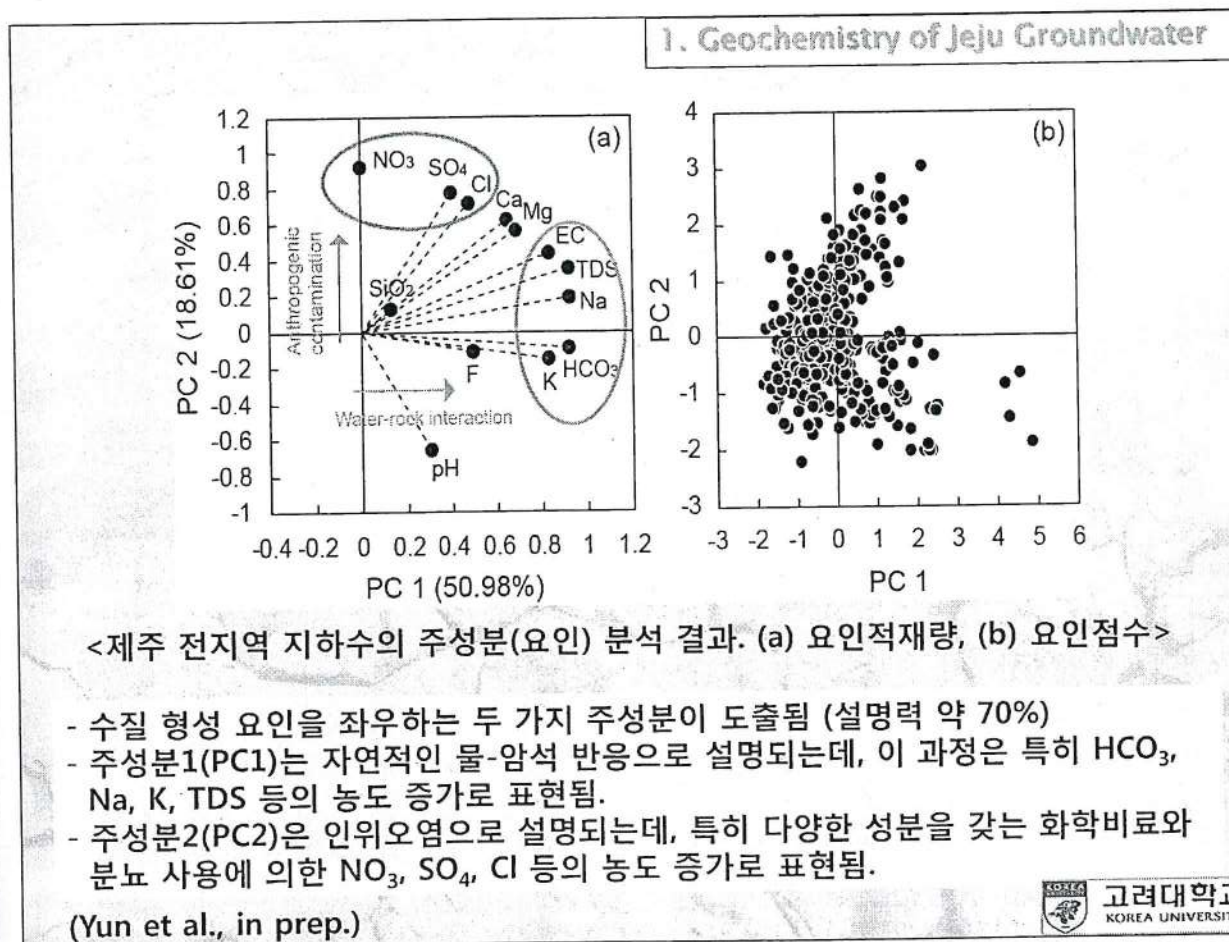
2009~2010 Total (N=392)							
Variables	Unit	Mean	Std.Dev	Maximum	Median	Minimum	C.V (%)
pH	-	7.7	0.5	8.8	7.7	6.3	7.0
EC	μs/cm	139.0	93.8	965.0	117.0	8.6	67.5
TDS	mg/L	138.7	69.0	691.1	123.0	64.0	49.8
Ca	mg/L	7.0	4.4	55.0	6.0	2.0	62.1
Mg	mg/L	5.5	4.3	33.8	4.5	1.4	78.3
Na	mg/L	11.5	9.1	83.1	9.0	4.2	79.0
K	mg/L	3.5	3.0	42.8	2.8	0.9	84.4
SiO ₂	mg/L	32.0	4.6	51.8	32.1	1.8	14.4
F	mg/L	0.1	0.1	0.6	0.1	0.0	49.4
Cl	mg/L	11.0	8.7	85.3	8.1	4.0	79.7
NO ₃	mg/L	10.3	17.7	250.2	5.1	0.1	172.5
SO ₄	mg/L	3.4	3.1	23.2	2.4	0.6	88.6
HCO ₃	mg/L	53.9	41.1	460.3	45.0	20.0	76.2



1. Geochemistry of Jeju Groundwater

- 1) 수화학 특성은 전반적으로 Na(-Ca-Mg)-HCO₃ 유형으로부터 Ca-Mg(-Na)-Cl(-HCO₃) 유형에 걸쳐 폭넓게 변화
- 2) TDS는 대체적으로 낮아 90% 이상의 지하수에서 250 mg/L 이하
- 3) 일부 지역 시료에서는 인위오염에 의해 특히 NO₃의 농도 증가가 나타남. 따라서 지하수 수질관리를 위하여 농업활동과 관련한 비료와 분뇨 사용의 효율적 관리가 요망됨

(Yun et al., in prep.)



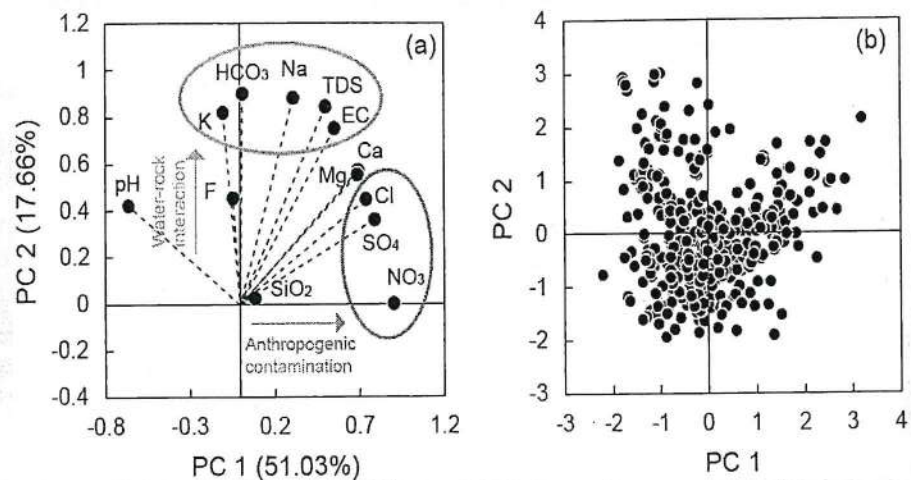
1. Geochemistry of Jeju Groundwater

<제주 전지역 지하수의 주성분(요인) 분석 결과. (a) 요인적재량, (b) 요인점수>

- 수질 형성 요인을 좌우하는 두 가지 주성분이 도출됨 (설명력 약 70%)
- 주성분1(PC1)는 자연적인 물-암석 반응으로 설명되는데, 이 과정은 특히 HCO₃, Na, K, TDS 등의 농도 증가로 표현됨.
- 주성분2(PC2)은 인위오염으로 설명되는데, 특히 다양한 성분을 갖는 화학비료와 분뇨 사용에 의한 NO₃, SO₄, Cl 등의 농도 증가로 표현됨.

(Yun et al., in prep.)

1. Geochemistry of Jeju Groundwater

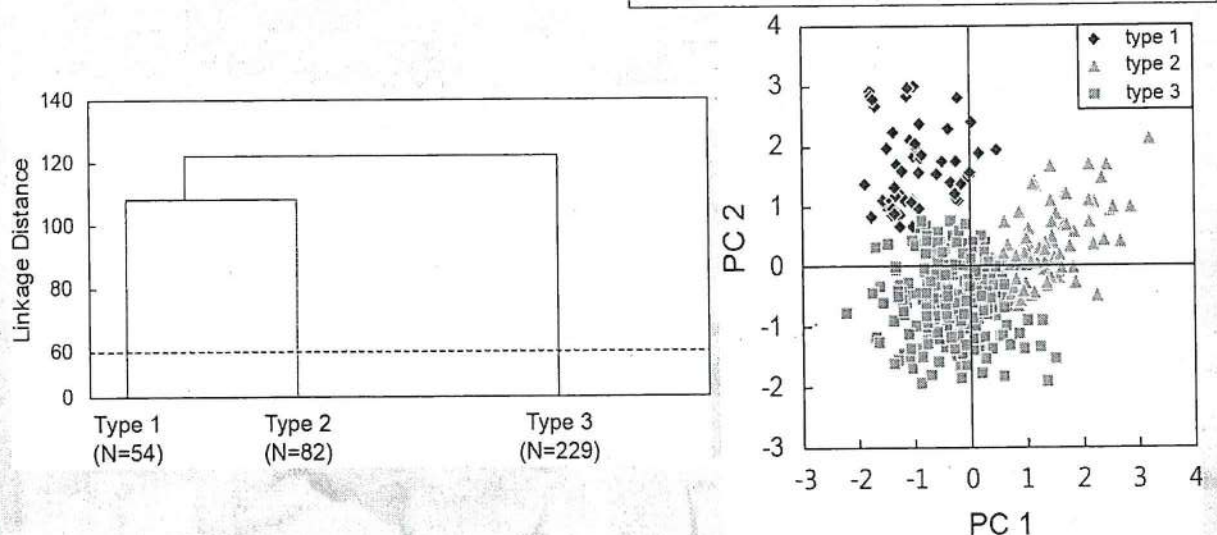


<이상치를 제외한 제주 전지역 지하수의 주성분(요인) 분석 결과. (a) 요인적재량, (b) 요인점수>

- 수질 형성 요인을 좌우하는 두 가지 주성분이 도출됨 (설명력 약 69%)
- 주성분1(PC1)은 인위오염으로, 주성분2(PC2)는 자연기원(물-암석 반응)으로 설명됨.

(Yun et al., in prep.)

1. Geochemistry of Jeju Groundwater

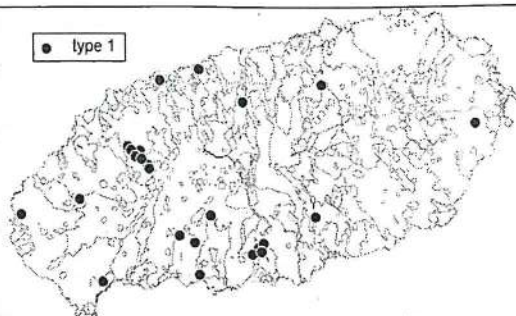


<제주 전지역 지하수의 계층적 군집분석 결과>

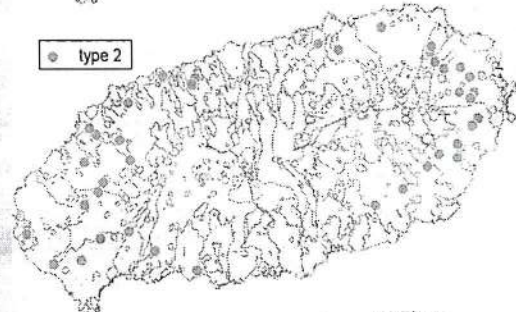
- Type 1: 주성분 2에 많은 영향을 받는 시료들로 Na 사장석의 풍화로 수질 특성이 결정되는 물
- Type 2: 주성분 1에 많은 영향을 받는 시료들로 인위적 오염에 의해 수질 특성이 결정되는 물
- Type 3: 주성분 1과 2 각각에 대해 큰 영향을 받지 않는 물들로 제주 지역의 청정한 지하수(Fresh water)를 나타냄

(Yun et al., in prep.)

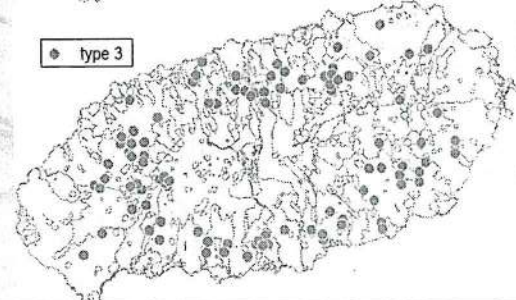
- type 1



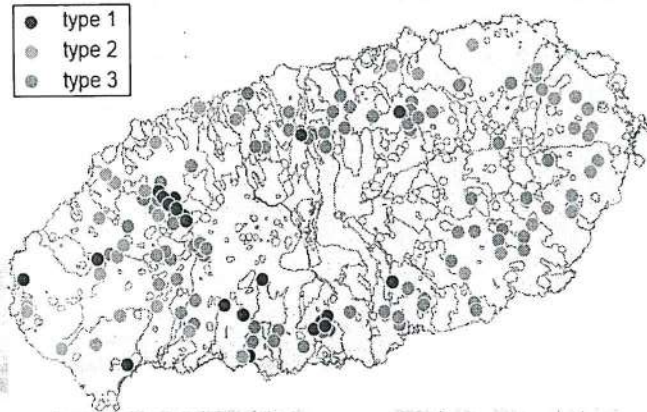
type 2



type 3



- type 1
- type 2
- type 3



<제주 전지역 지하수의 수화학 그룹 및 분포를 보여주는 계층군집 분석 결과>

- 유형 1과 3: 자연적인 물-암석반응에 영향을 받는 지하수 (청정성)
 - * 유형 1은 사장석 용해반응이 지배
 - * 유형 3은 상류에 우세하게 분포하며, 물-암석 반응 정도가 상대적으로 낮음.
- 유형 2: 인위적인 오염 영향을 나타내는 지하수로 하류에 우세 분포 (수질관리가 필요)

(Yun et al., in prep.)



고려대학교
KOREA UNIVERSITY

2) 국내 먹는샘물과의 수화학 특성 비교 (Hydrochemistry of bottled waters in Korea)



그림 1-1. 전국 먹는샘물 양지의 위치도

국내 먹는샘물의 화학조성 (n=60)

Unit: mg/L	K	Na	Ca	Mg	SiO ₂	Cl	SO ₄
Mean	1.01	7.35	17.36	3.55	18.41	4.10	10.05
Maximum	2.91	21.10	43.40	15.00	45.50	15.10	42.50
Minimum	0.07	1.63	3.15	0.36	2.09	1.06	0.96

F	NO ₃	HCO ₃	Al	TDS	EC (μS/cm)	pH
0.36	0.87	77.42	0.00	114.8	151.4	7.35
1.91	4.33	207.4	0.10	221.0	314.0	8.17
0.00	0.00	24.4	0.00	35.0	43.9	6.08

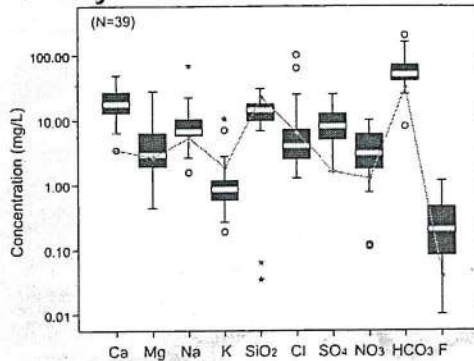
From MOE & KIGAM (2000)



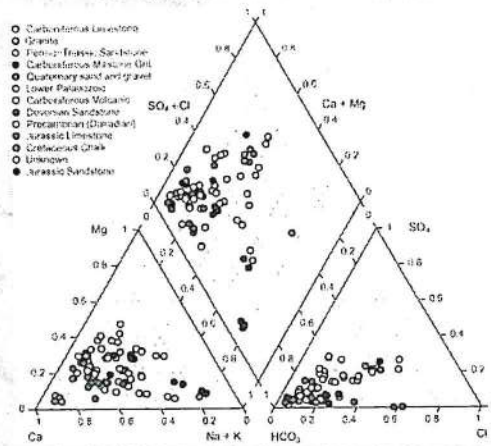
고려대학교
KOREA UNIVERSITY

1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater

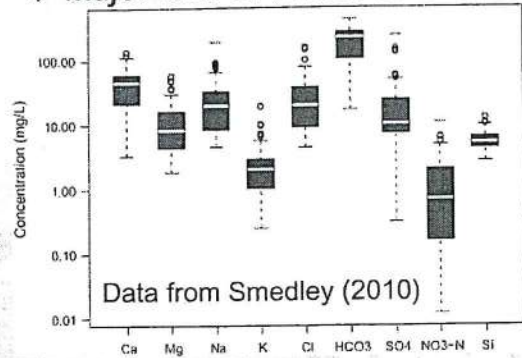
◆ Major ions in BMWs of Korea



- Carboniferous Limestone
- Permian
- Permian-Triassic Sandstone
- Carboniferous Massif Unit
- Quaternary sand and gravel
- Lower Palaeozoic
- Carboniferous Volcanic
- Devonian Sandstone
- Permian Sandstone (Daejeon)
- Jurassic Limestone
- Cretaceous Gneiss
- Unknown
- Jurassic Sandstone



◆ Major ions of BMWs of UK



Data from Smedley (2010)

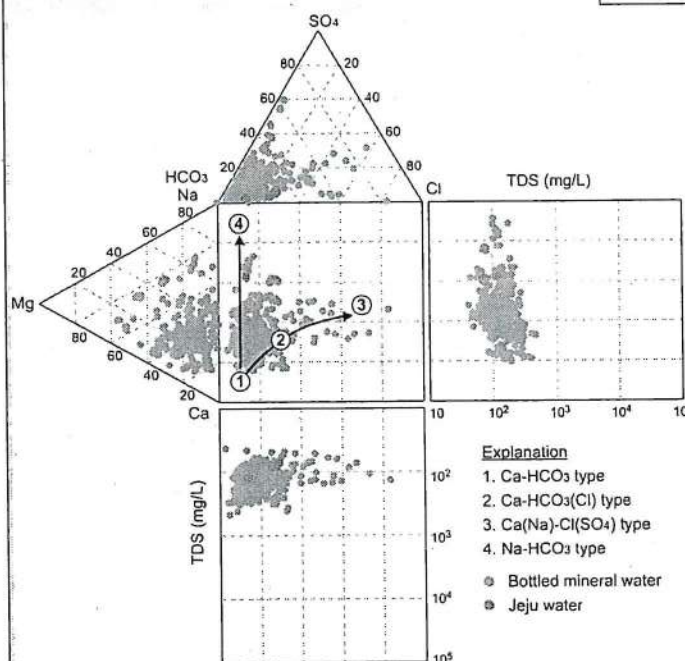
국내 병입수는 영국의 병입수와 유사한
조성을 보여주나, TDS와 alkalinity는
다소 낮다.

Piper plot of bottled mineral waters
of the British Isles (Smedley, 2010)

(Yun et al., in prep.)

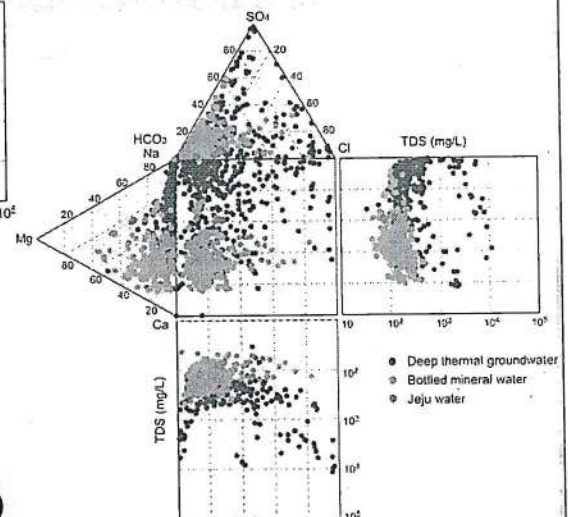


1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



국내 병입수의 화학 조성 (Yun et al., in prep.)

- 국내 병입수는 심부 지하수에 비해
용질 함량이 현저히 낮으며, 대부분
Ca-HCO₃ 유형
- 제주워터(삼다수)는 특징적으로
Na-HCO₃ 유형

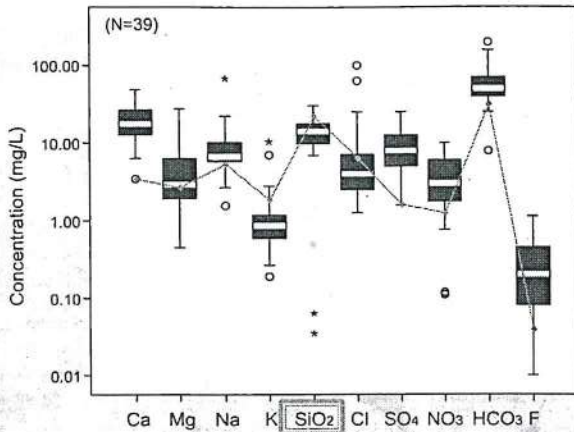


국내 심부지하수(온천수)와 병입수의
화학 조성 (Yun et al., in prep.)

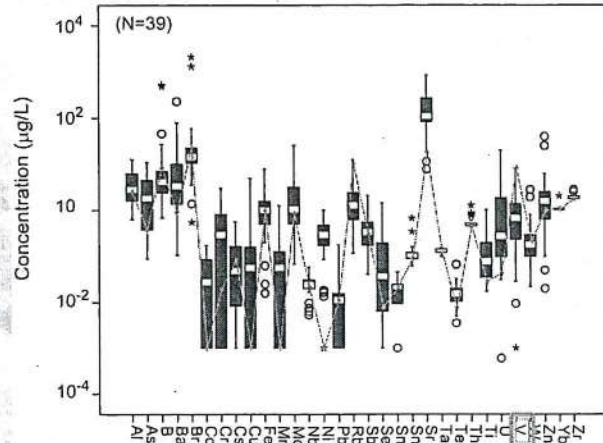


1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater

◆ Major ions



◆ Minor and trace elements



<국내 병입수의 주성분 이온 및 미량원소 조성 (Yun et al., in prep.)>

- 붉은 선은 제주워터(삼다수) 자료임

제주워터(삼다수)의 수화학 특징 요약

- 양이온: Lower Ca & Higher K and SiO_2
- 음이온: Lower SO_4 & NO_3 (청정성)
- 미량원소: Higher V, Rb & Br

(Yun et al., in prep.)



고려대학교
KOREA UNIVERSITY

1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater

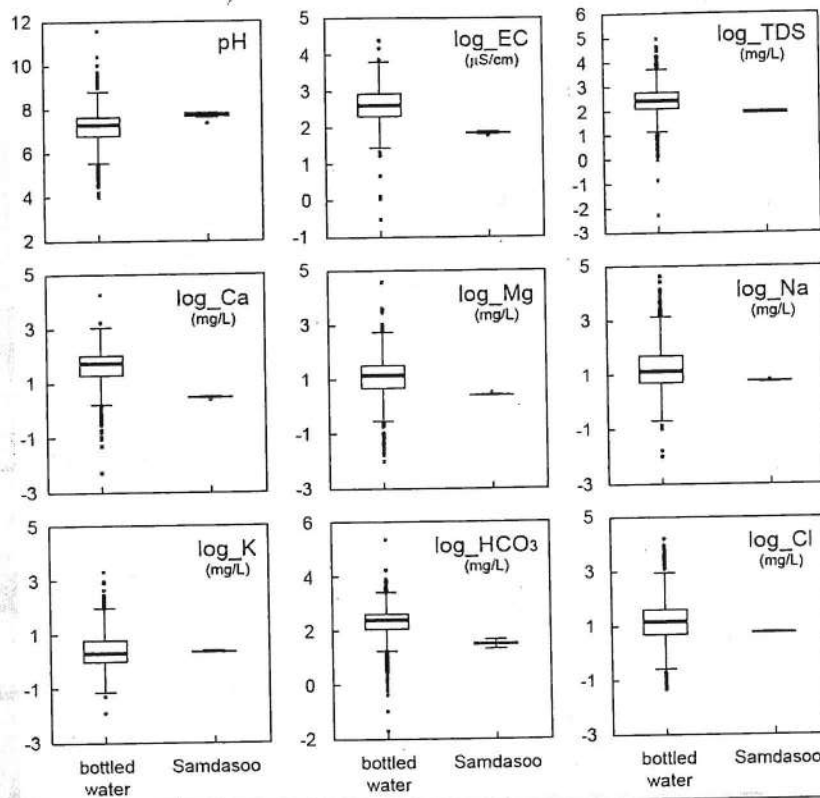
3) 해외 먹는샘물과의 수화학 특성 비교 (Hydrochemistry of bottled water in abroad countries)



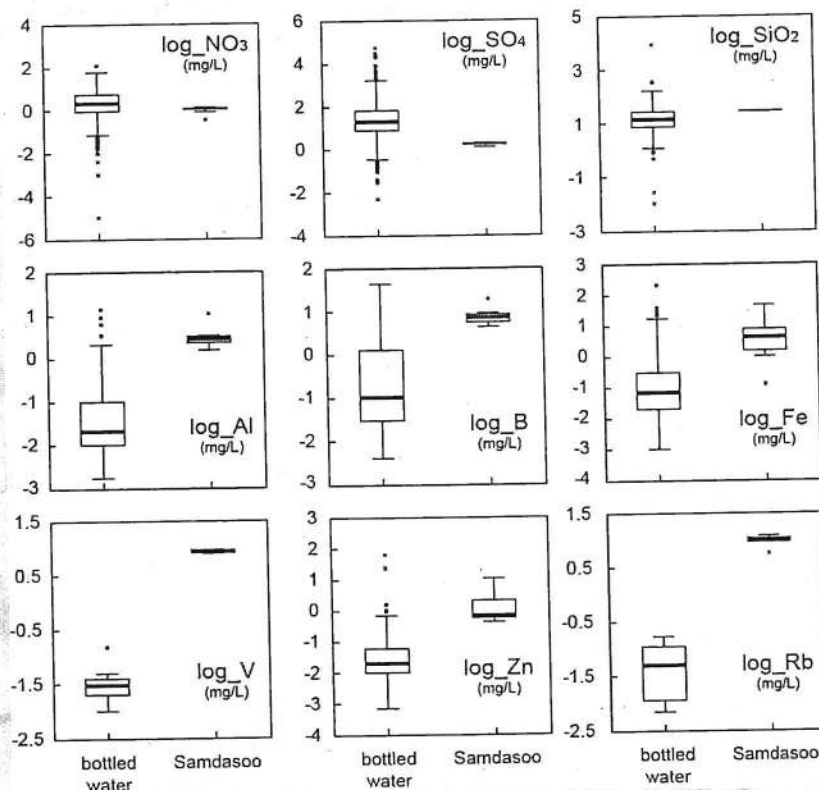
고려대학교
KOREA UNIVERSITY

1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater

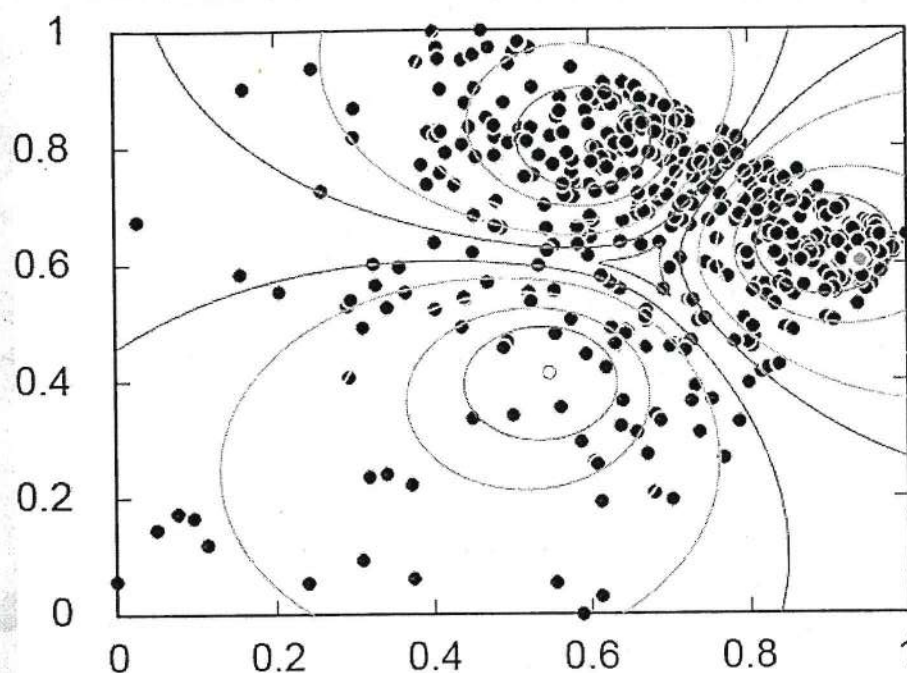
1) 시판 중인 해외 병입수의 수화학(수질) 특성 분석 (Yun et al., in prep.)



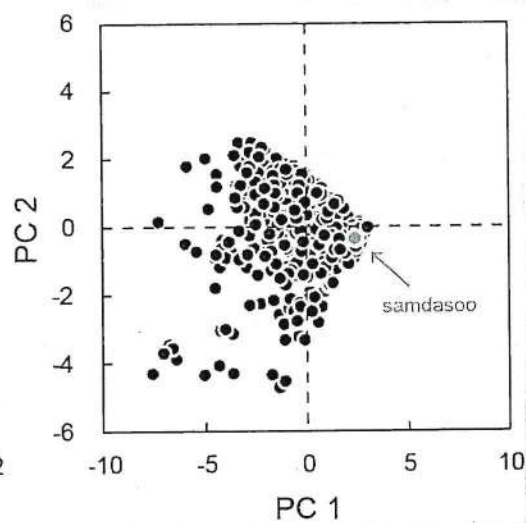
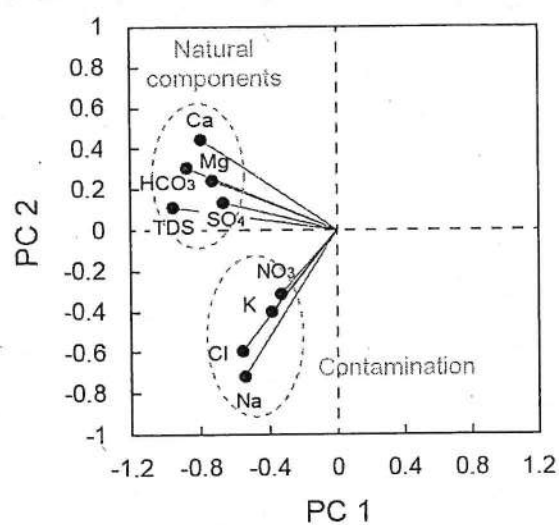
1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



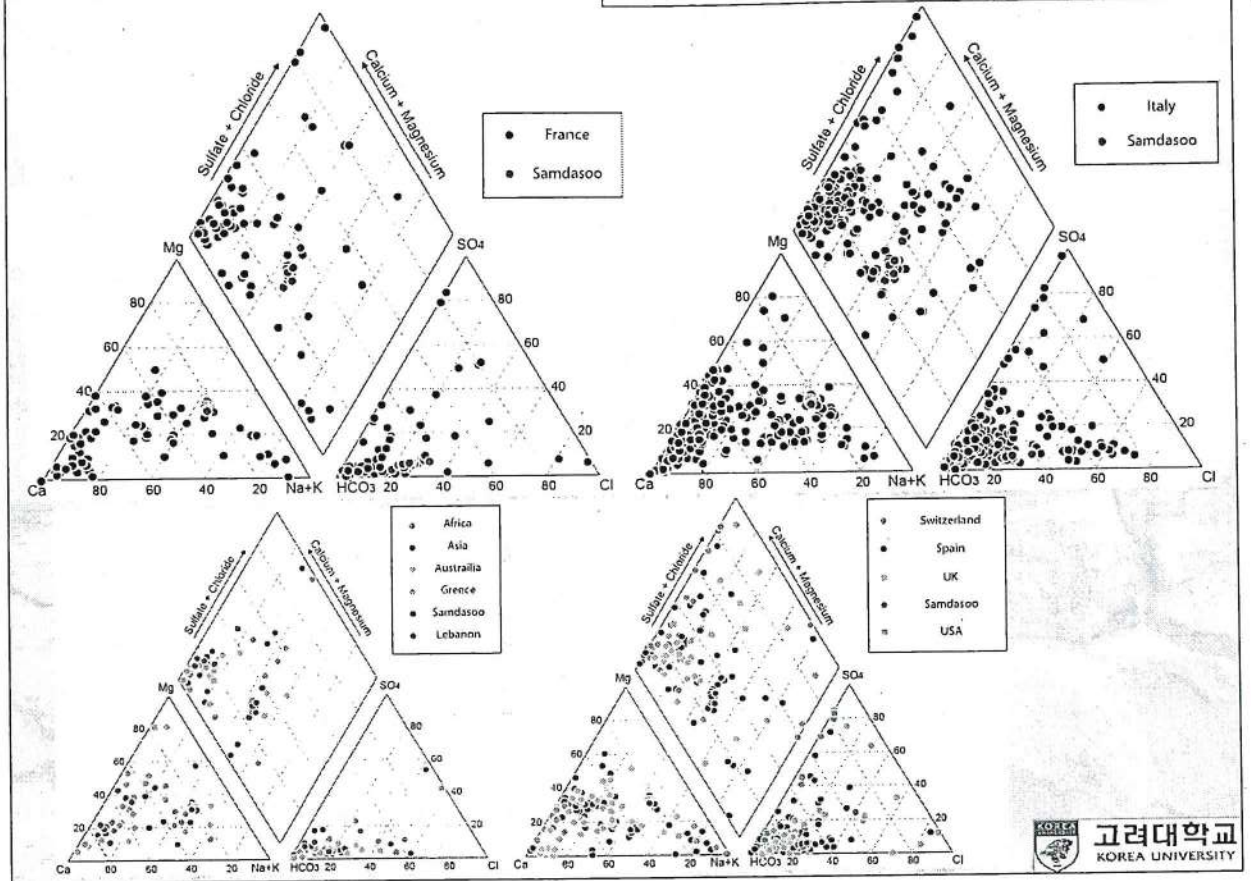
1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



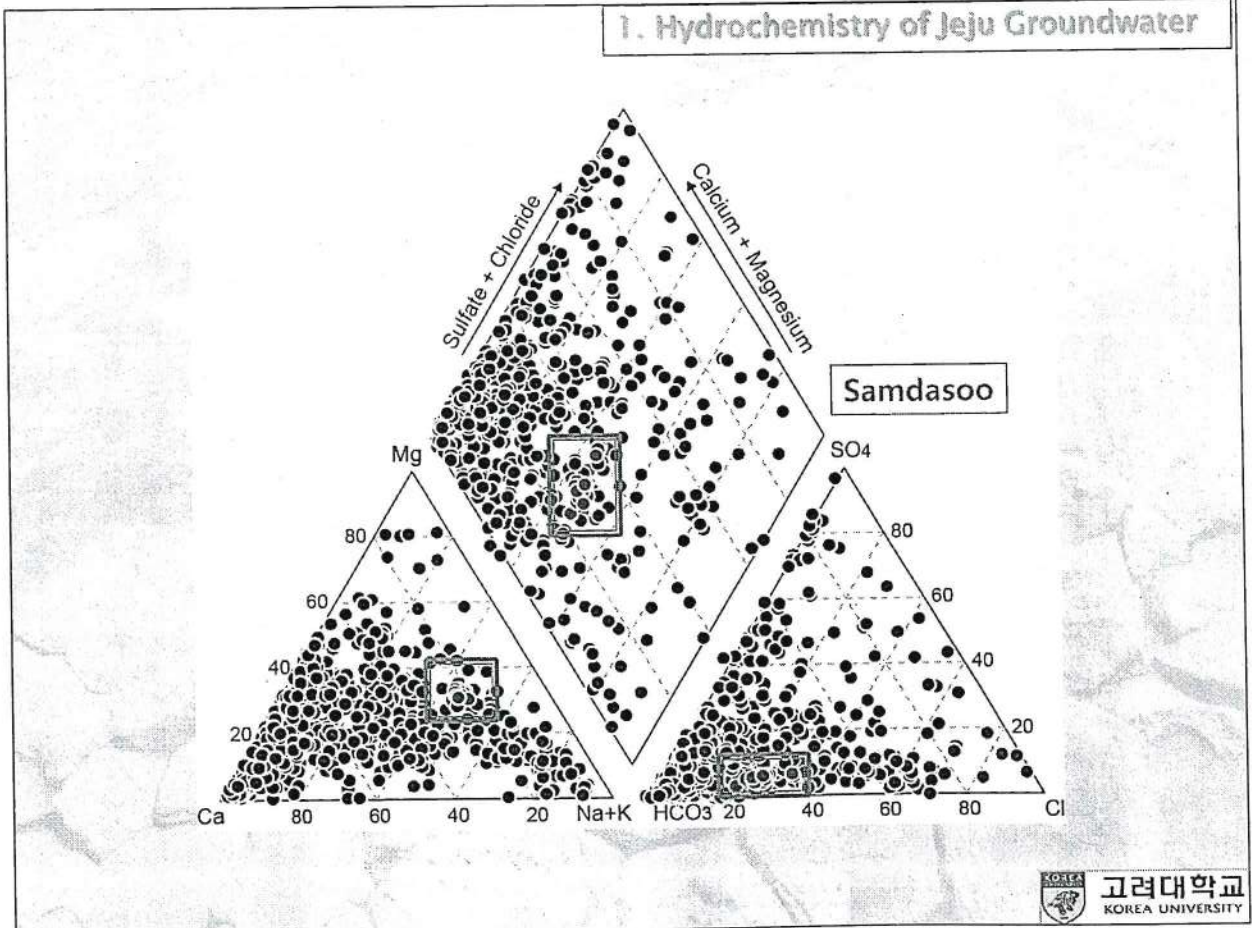
1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater



1. Hydrochemistry of Jeju Groundwater

	Minimum			Maximum		
	Brand	Country	Value (mg/L)	Brand	Country	Value (mg/L)
pH	Aquaplus	Brazil	4	Aqua Alca	Bosnia and Herzegovina	11.6
EC	Glenelg	Grenada	0.29	Hunyadi Janos	Hungary	24600
TDS	Hawaii Water	USA	0.005	Agua de Carabaña	Spain	86550
Ca	O18 Organic Water	Australia	0.005	Uspenovskaya	Russia	18537
Mg	Ibira	Brazil	0.01	Mayskaya Khrustalnaya	Russia	37987
Na	Água Mineral Kaiary	Brazil	0.01	Severnaya Zhemchuzhina	Russia	42278
	Fonte Dinha	Brazil				
K	Fontaine de la Reine Naturelle	France	0.012	Polyana Kupel	Ukraine	2000
HCO ₃	Fontaine de la Reine Naturelle	France	0.02	Cigelka	Slovak Republic	216461.1
Cl	Santa Barbara	Brazil	0.048	Bad Mergentheimer Albertquelle	Germany	16590
NO ₃	Água Mineral Kaiary	Brazil	0.001	Bio vive	France	126
	Rakwon Kumgangsán Mineral Water	North Korea				
SO ₄	Adalsan	North Korea	0.005	Agua de Carabaña	Spain	54980
SiO ₂	Fontaine de la Reine Naturelle	France	0.01	Mount Franklin	Australia	8651
Al	Tauferer Badl-Quelle	Italy	0.0017	Flitz	Italy	14.35
B	Bad Lad	Italy	0.004	Essentuky No 17	Russia	44.2
Fe	Bratzigovo	Russia	0.001	Flitz	Italy	219.4
	Gorska	Montenegro				
	Smeraldina	Italy				
V	Eau Finé Natural Artesian Water	Japan	0.01	Asagiri Heights Super-Vanadium	Japan	0.15
Zn	Schwefelquelle Kasteiruth	Italy	0.0007	Sansu	South Korea	65
Rb	Eiszeitquell	Germany	0.007	Vratislavicka Kyselka	Czech Republic	0.17

Yun et al. (in prep.)



고려대학교
KOREA UNIVERSITY

2. Utilization strategy

주제 2) 제주지하수의 활용방안 (Strategic utilization of Jeju Groundwater)

1) 차별성이 있는 기능성 성분(functional constituents)의 도출: 해외 병입수와의 비교

	No. of samples	Median	Minimum	Maximum	Percentile		Std.Dev.	Coef.Var.	Samda-soo
					75	25			
pH	1273	7.3	4.0	11.6	7.6	6.8	0.8	11.0	7.8
EC	337	401.0	0.3	24600.0	832.0	202.0	2177.1	247.6	69.7
TDS	1425	270.0	0.0	86550.0	565.0	125.0	3184.3	384.8	83.0
Ca	2475	55.0	0.0	18537.0	103.4	19.6	391.2	393.2	3.1
Mg	2427	14.2	0.0	37987.0	32.1	4.8	783.4	1561.3	2.6
Na	2397	13.2	0.0	42278.0	48.3	5.0	1192.7	753.8	5.6
K	2072	2.0	0.0	2000.0	6.0	1.0	59.7	529.7	2.3
HCO ₃	2082	244.0	0.0	216461.1	400.0	113.0	4791.9	898.5	31.5
Cl	2167	14.8	0.0	16590.0	40.7	5.0	606.5	585.1	5.7
NO ₃	1059	2.1	0.0	126.0	5.4	0.9	7.9	163.8	1.1
SO ₄	2065	20.0	0.0	54980.0	66.8	7.8	1602.5	803.9	1.7
SiO ₂	719	14.0	0.0	8651.0	26.9	7.4	322.9	928.1	27.9
Al	86	0.0	0.0	14.4	0.1	0.0	2.0	377.7	2.8
B	46	0.1	0.0	44.2	1.3	0.0	7.0	308.4	7.2
Fe	274	0.1	0.0	219.4	0.3	0.0	13.7	697.6	3.9
V	9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	103.5	8.8
Zn	107	0.0	0.0	65.0	0.1	0.0	7.0	610.5	0.6
Rb	8	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	91.4	9.8

시판 중인 병입수의 물리화학적 특성 요약(Yun et al., in prep.)

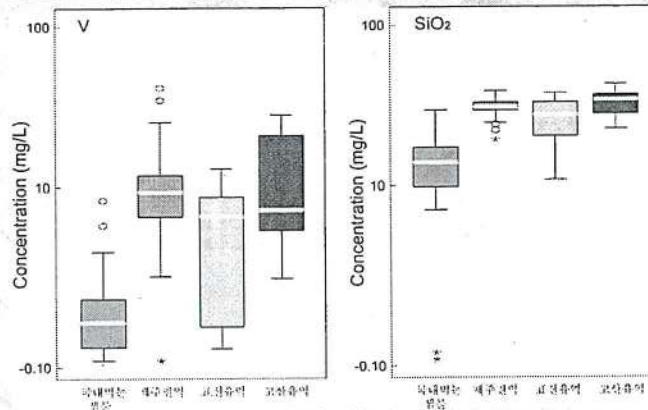


고려대학교
KOREA UNIVERSITY

용존 실리카와 바나듐의 농도 비교

SiO ₂ (ppm)			
	Min	Max	Median
국외 병입수	6.2	26.53	10.95
국내 병입수	0.47	30.33	7.07
제주 전역 지하수	31.53	39.85	31.62
표선 지역 지하수	32.87	38.69	33.77
고산 지역 지하수	35.03	43.7	33.98
제주워터(삼다수)	평균 28.52		

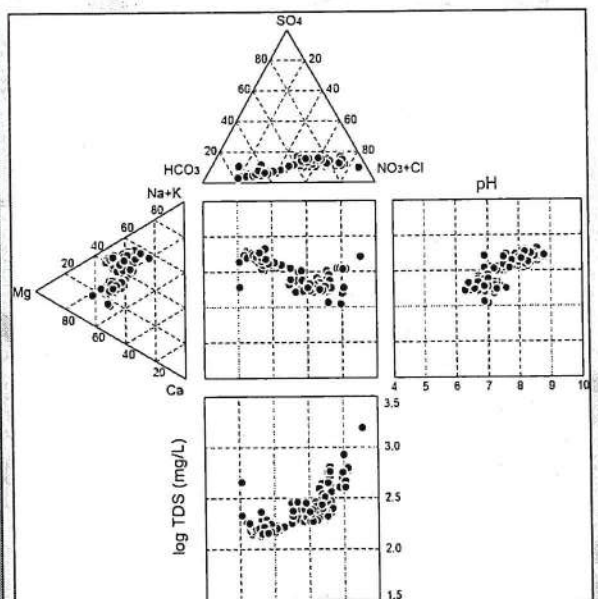
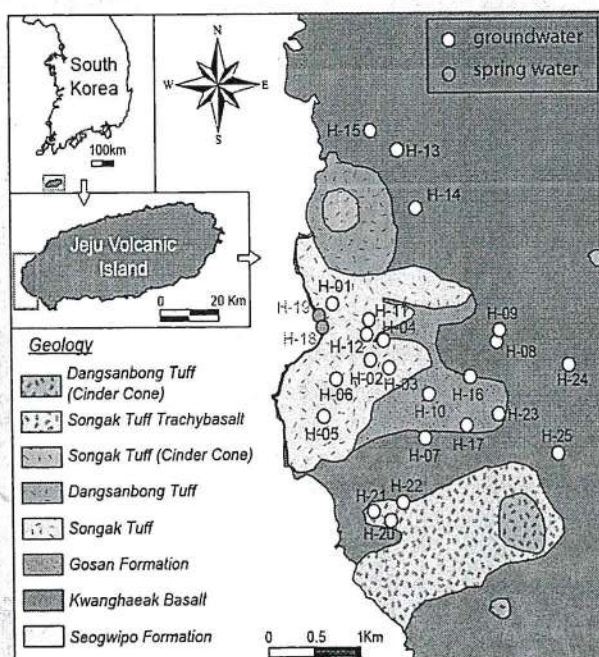
V (ppb)			
	Min	Max	Median
국외 병입수	<0.02	13	0.113
국내 병입수	0.41	5.51	0.71
제주 전역 지하수	0.01	0.04	0.01
표선 지역 지하수	N.A		
고산 지역 지하수	7.01	28.78	12.22
제주워터(삼다수)	평균 8.14		



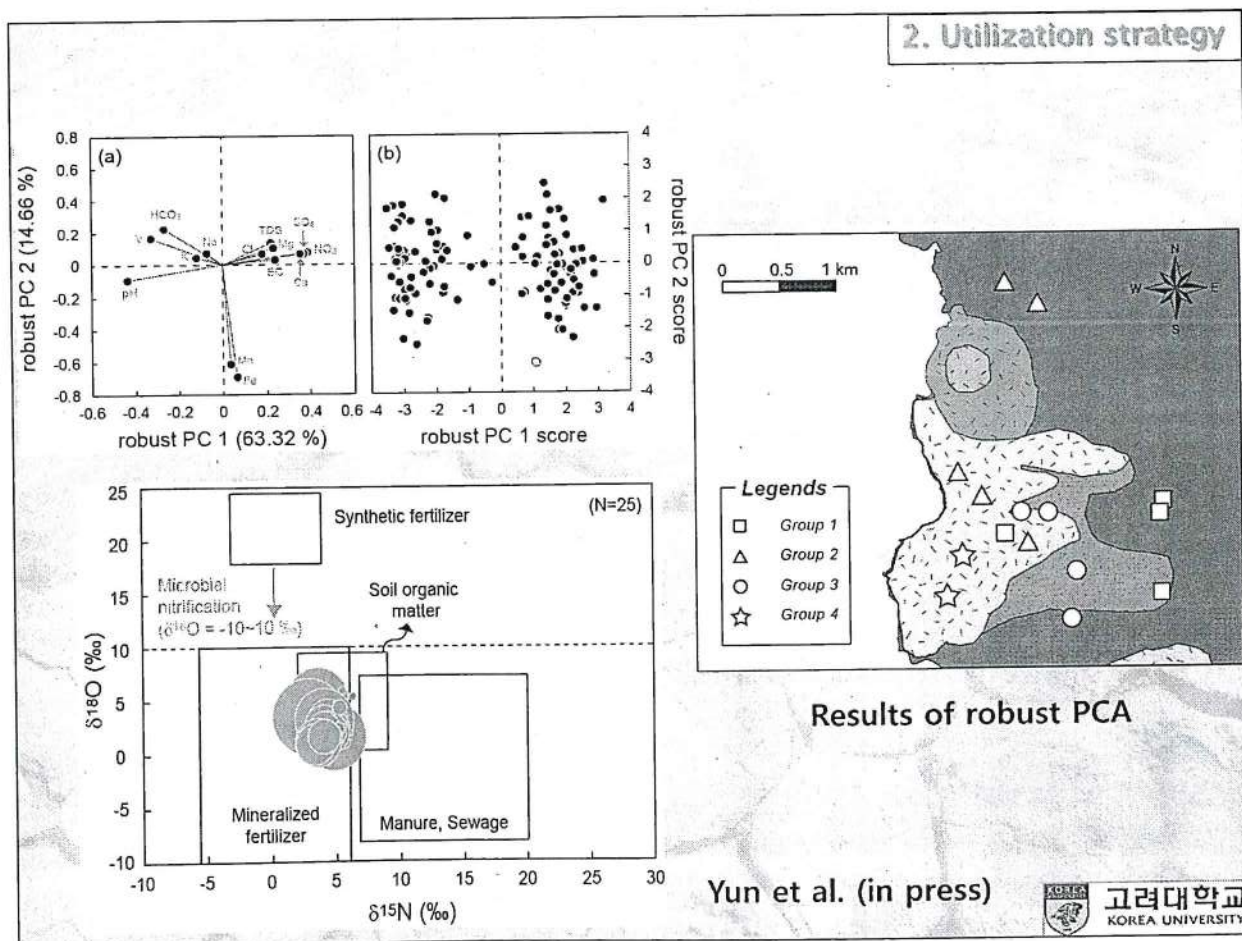
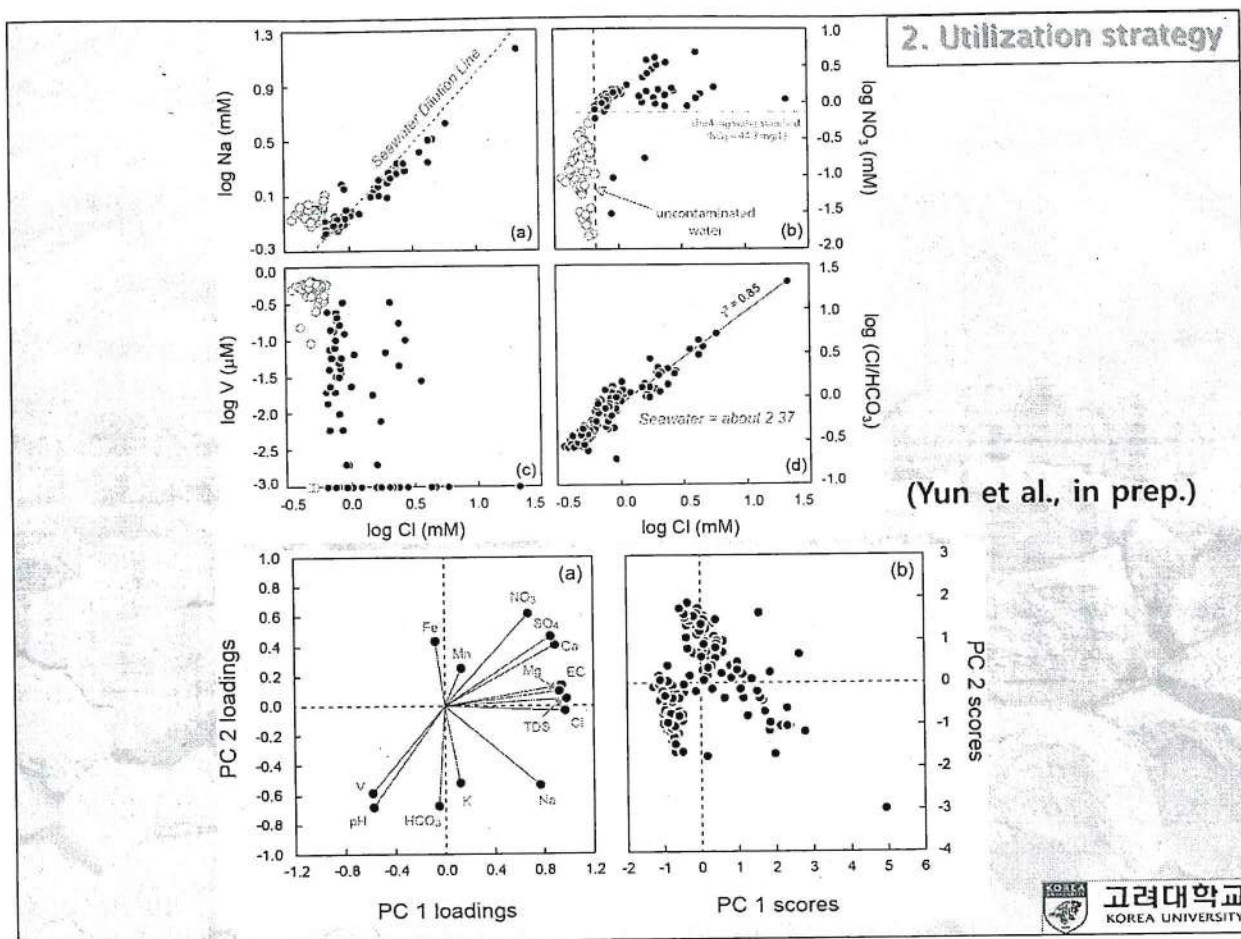
- 용존 실리카는 골격의 칼슘화에 작용하여 뼈의 생성을 돕고 혈관을 강하게 하여 고혈압 예방에 좋다고 알려져 있음.
- 바나듐은 제주워터 내에 현저히 높는데, 당뇨질환에 관련되는 인슐린 조절에 관련된다고 보고되고 있음.

(Yun et al., in prep.)

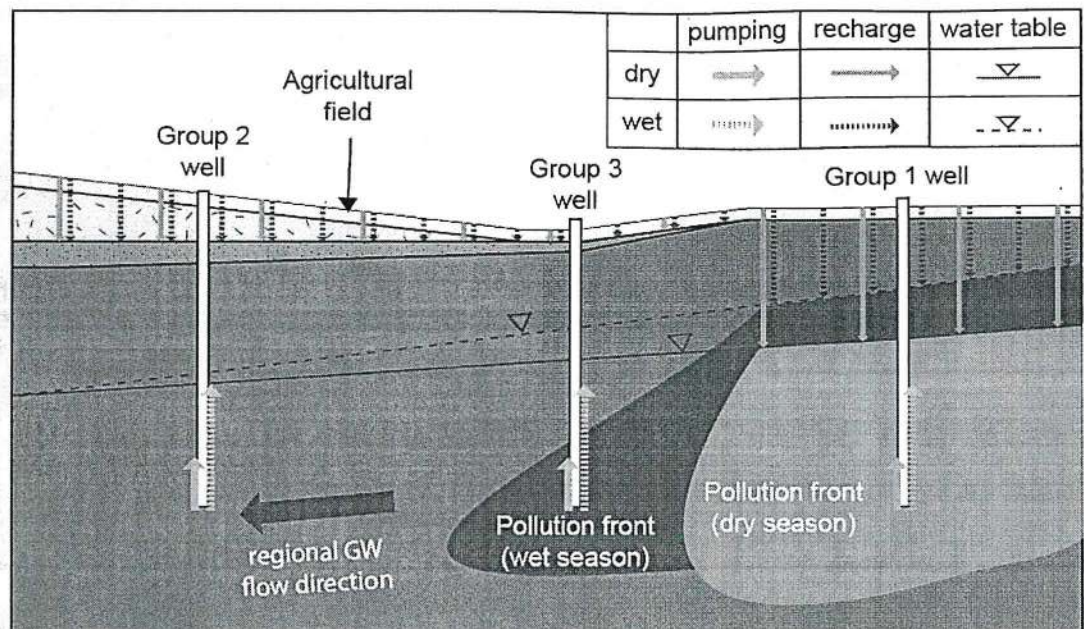
2) 함 바나듐 지하수 연구: 고산지역 연구 사례



(Yun et al., in press)

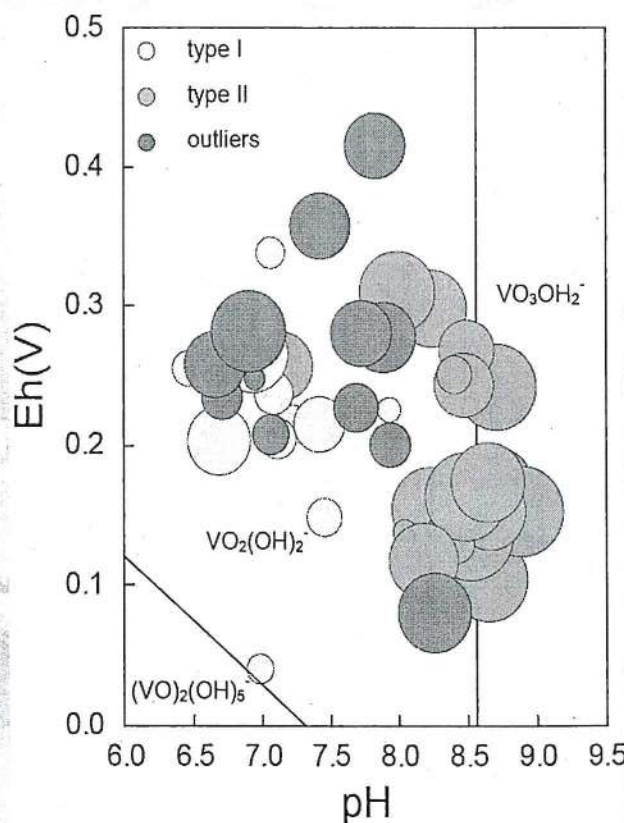


2. Utilization strategy



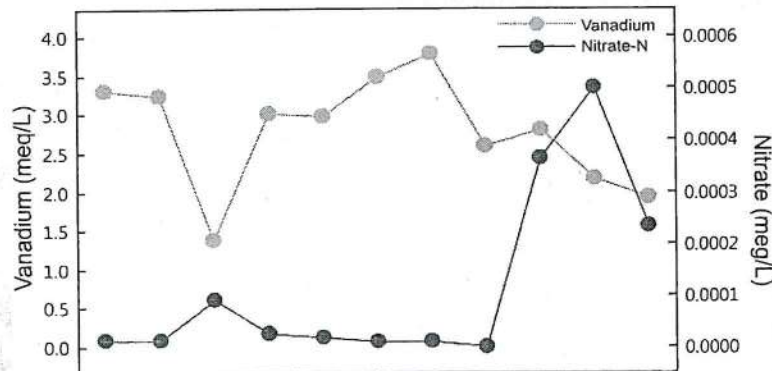
Yun et al. (in press)

2. Utilization strategy



Yun et al. (in prep.)

2. Utilization strategy



고산지역 지하수의 바나듐 분석 결과:

- V 농도가 20 $\mu\text{g/L}$ 이상으로 매우 높을 때는 대부분의 시료는 최저 수준의 질산성질소 농도 (0.1 ~ 1.8 mg/L)를 나타냄. 이는, 농업활동 지역에서 직접 함양되는 지하수의 유입량이 증가하는 경우에 바나듐의 농도는 감소함을 지시
- 고함량 바나듐 지하수는 광역 순환을 하는 전형적인 지하수(다분히 환원 상태가 큼)이며, 이 지하수계에 농업지역 토양을 통해 직접 함양되는 지하수의 유입량이 증가할수록 바나듐 함량은 희석에 의해 감소함.
- 따라서 고농도 바나듐 지하수의 부존지를 확인하여 경제적으로 개발 이용하기 위해서는 본 지역 지하수계의 수리 혼합 특성을 자세히 고찰해야 함.

Yun et al. (in prep.)



고려대학교
KOREA UNIVERSITY

3. Summary and Suggestion

3. 요약 및 제언

- 1) 국제시장 개척을 위한 차별적 특성 지속 발굴 및 홍보 강화
(Marketing on the Excellency of Jeju Water)
- 2) 지속적인 연구개발 - 수화학 특성과 기능성, 용기 등
(Continued R&D)
- 3) 과학적 자료에 기반한 최적 지하수 수질보전 대책 마련 및 시행
(Management of groundwater quantity and quality to sustainably exploit groundwater)

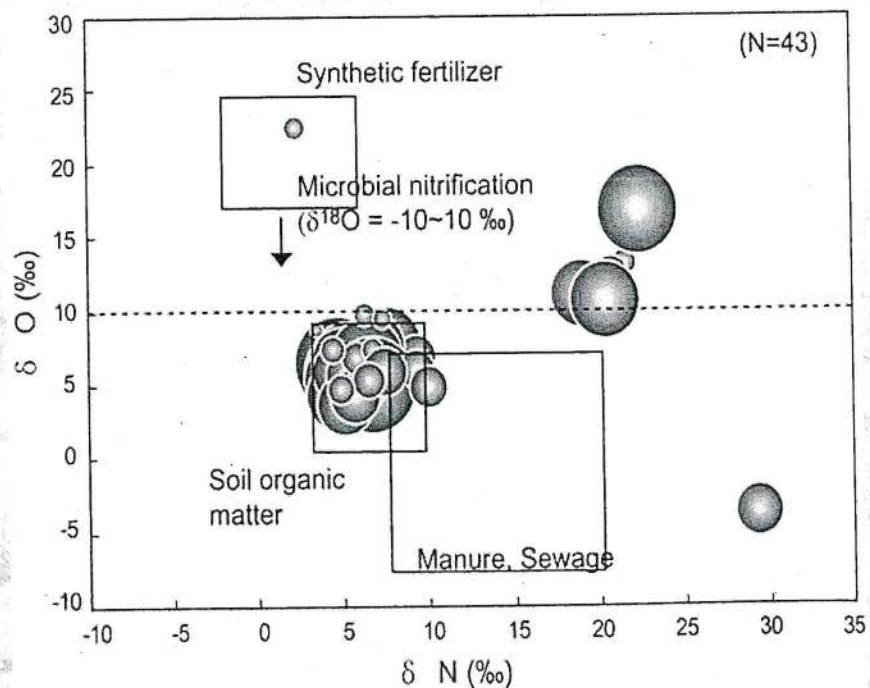
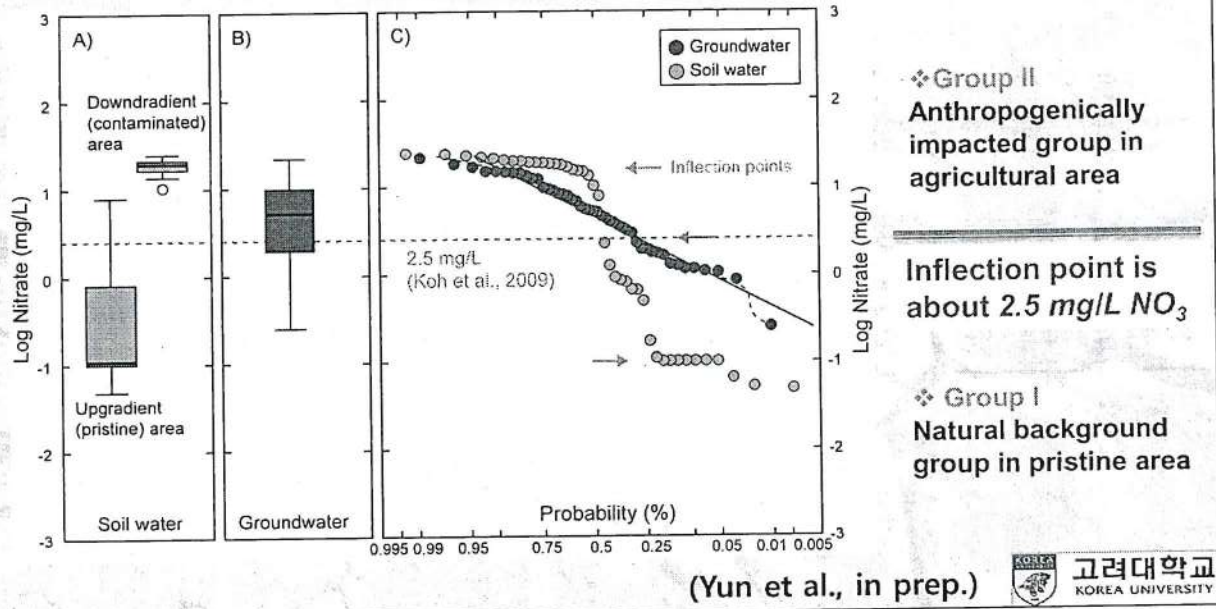


고려대학교
KOREA UNIVERSITY

Nitrate management: 표선유역 연구사례

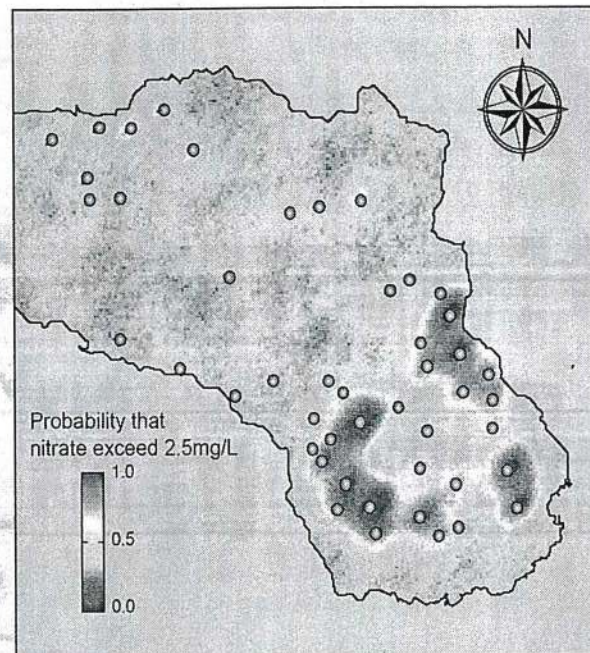
The cumulative probability curves for nitrate concentrations in groundwater and soil water

- To estimate the nitrate levels as a guideline for GW quality management



(Yun et al., in prep.)

2. Pyosun Groundwater

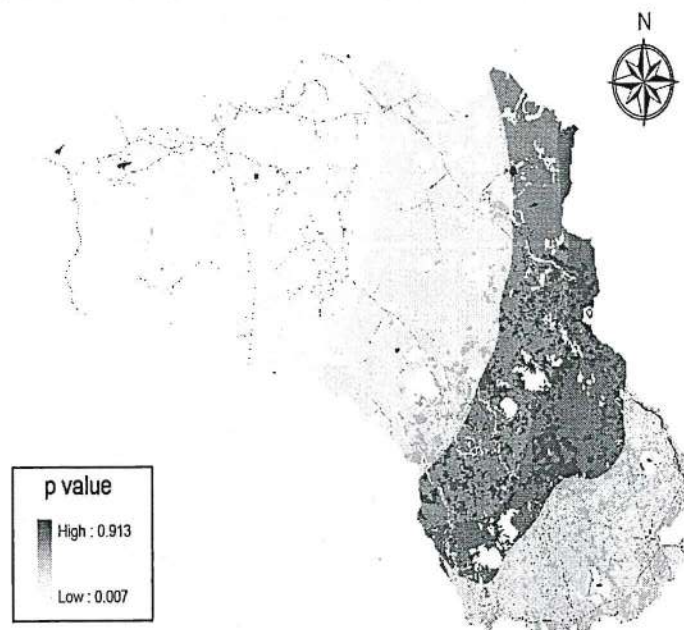


질산염이 발생할 확률맵 (2.5 mg/L 이상일
확률, SGS 적용)

(Yun et al., in prep.)



2. Pyosun Groundwater



<최신의 오염취약성 평가기법으로부터 도출된
표선유역의 지하수 오염취약성 도면>

(Yun et al., in prep.)



제주지하수의 보전과 전략적 활용 (Conservation and Strategic Utilization of Jeju Groundwater)



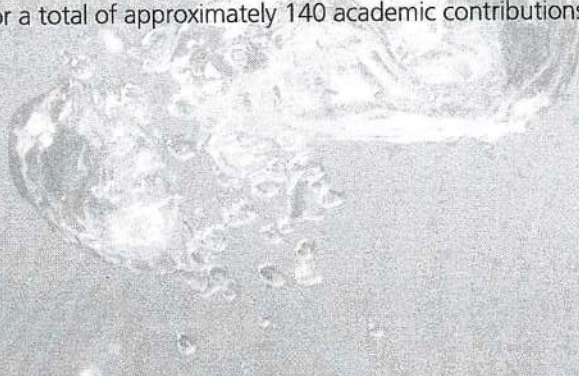
고 기 원 Gi-Won Koh

제주특별자치도개발공사 물산업연구센터장

Jeju Special Self-Governing Province Development Corp. Research Center Director

- ▶ 학위 : 부산대학교 수문지질 이학박사
- ▶ 경력 : 하와이주 호놀룰루시 파견연구원, 한국지하수협회 전문위원
한국지하수토양환경학회 제주지부장, 행정자치부 전문위원
제주특별자치도물산업육성부장, 제주광역경제권선도산업지원단장
제주특별자치도 수자원본부 수자원개발부장
- ▶ 현재 : 제주특별자치도개발공사 물산업연구센터장

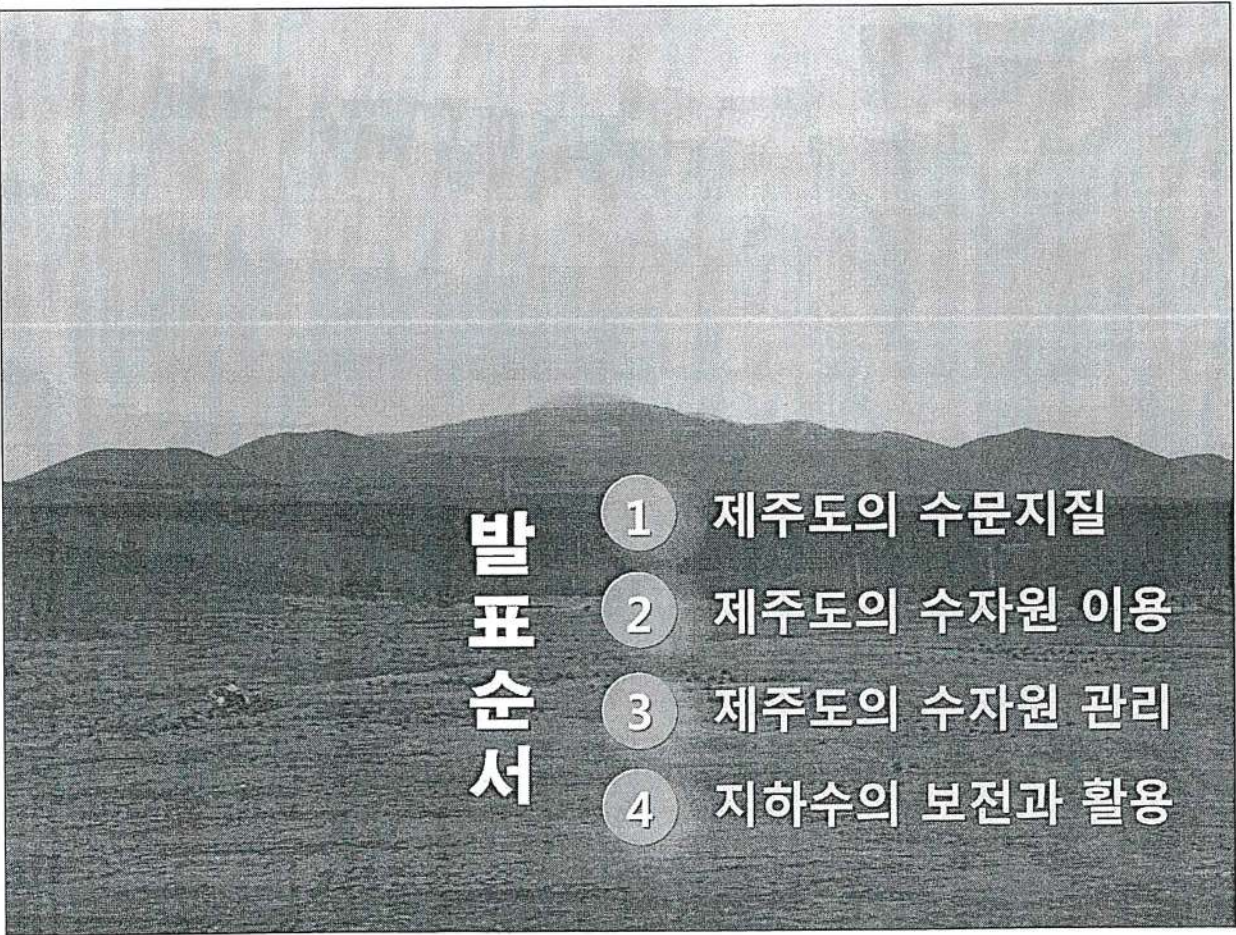
Mr. Koh received his Ph.D. from Pusan National University in hydrogeology in 1997, and while working as a professional in public service for 20 years in the area of Jeju groundwater, he successfully established the first basic regulations in Jeju regarding groundwater management and completed projects on regional waterworks construction and general development plans for water resources. For six months, from August 2000 to February 2001, Mr. Koh was dispatched as a researcher to the waterworks department of Honolulu, Hawaii, and taking Hawaii's advanced groundwater management law as a model, he established Jeju's groundwater management law. Through his focused academic research in 'Jeju geology and groundwater', Mr. Koh has also given 34 papers, 64 conference presentations, 18 academic reports, and 20 contributions to academic research institute collections, for a total of approximately 140 academic contributions and publications.





제주지하수의 보전과 전략적 활용

고 기 원
(JPDC 물산업연구센터장)



발표 순서

- 1 제주도의 수문지질
- 2 제주도의 수자원 이용
- 3 제주도의 수자원 관리
- 4 지하수의 보전과 활용

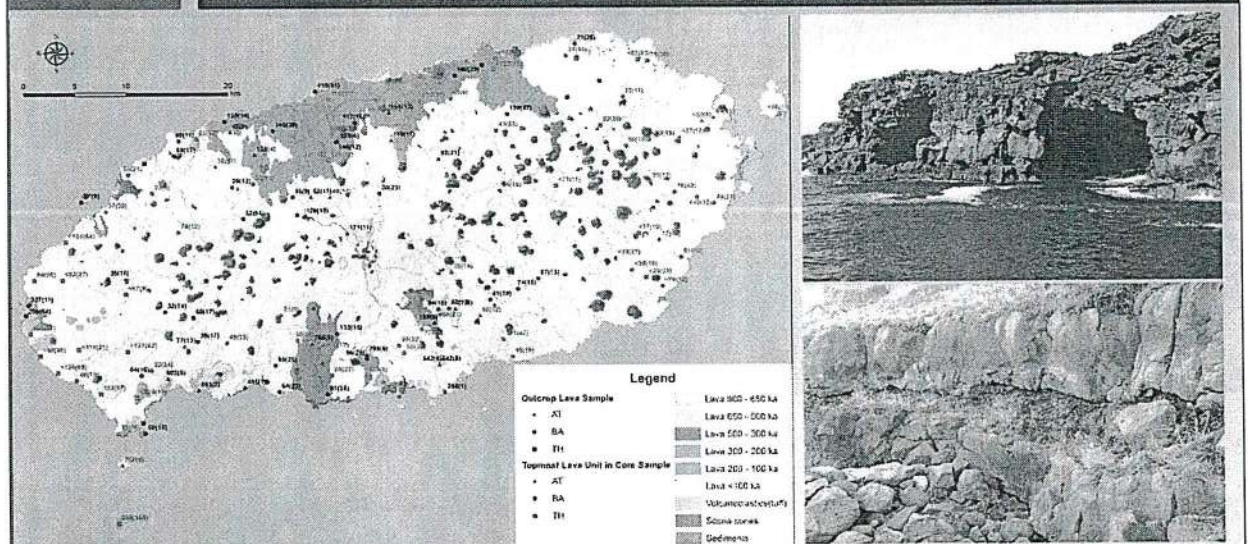
1

제주도의 수문지질



1-1

젊은 화산암으로 이루어진 섬



- 제주도 화산활동 : 1.8 ~ 0.02 Ma
 - ✓ 육상에 노출된 화산암류 거의 대부분은 10만년 이내의 젊은 연대(조면암 제외)
 - ✓ 제주시를 포함한 북부 해안지역 10~20만년 사이 화산암류 분포
- 울릉도와 백두산 화산활동 시기
 - 울릉도 : $1.43 \pm 0.27 \sim 0.17 \pm 0.12$ Ma(황상구 등, 2013)
 - 백두산 : 28 Ma ~ 1,100년

1-2 용암누층으로 이루어진 섬



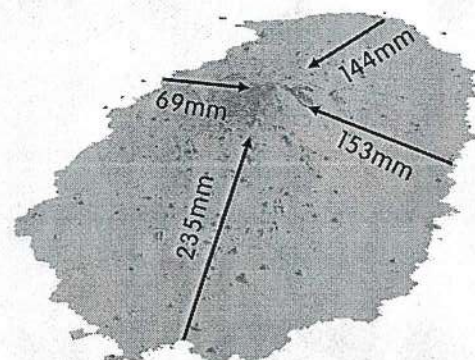
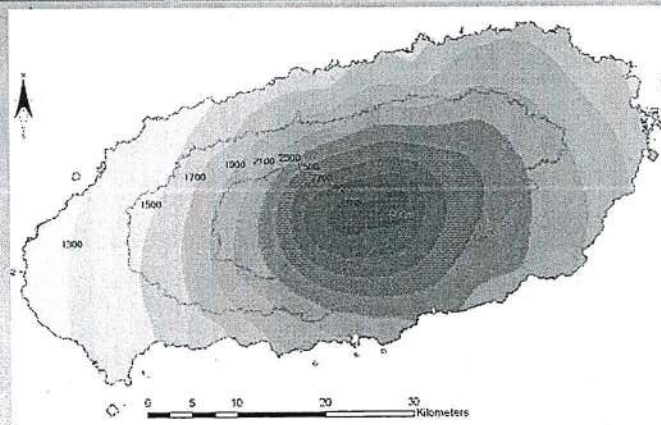
➤ 용암류 매수(No. of lava flow unit)

- ✓ 동 부(성읍, EL. 145m) : 14회
- ✓ 서 부(금악, EL. 365m) : 60회
- ✓ 남 부(서흥, EL. 321m) : 9회
- ✓ 북 부(회천, EL. 233m) : 24회

➤ 해수면 하 용암류 분포 깊이(평균)

- ✓ 동 부 : EL. - 135m
- ✓ 서 부 : EL. - 111m
- ✓ 남 부 : EL. - 41m
- ✓ 북 부 : EL. - 82m

1-3 강수량이 많은 섬



해발 100m 증가시 강수량 증가량

➤ 연평균 강수량(1992~2011) : 2,061mm

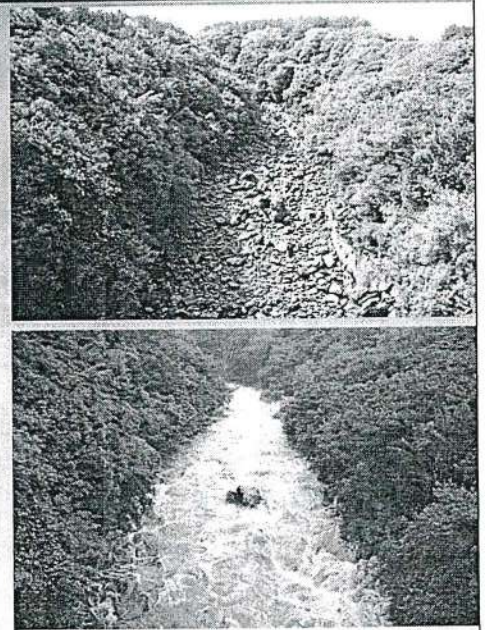
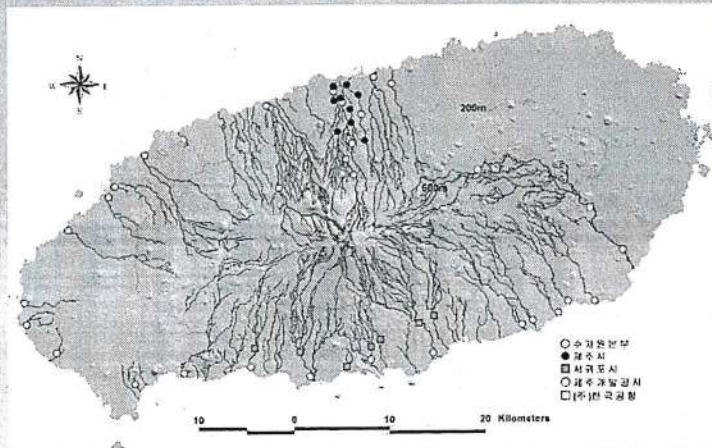
- ✓ 해안지역 : 제주시 1,498mm, 서귀포 1,923mm, 성산 1,967mm, 고산 1,143mm
- ✓ 중산간지역 : 교래 2,735mm, 선흘 2,567mm, 돈내코 2,589mm
- ✓ 고지대지역 : 성판악 4,598mm, 엇세오름 5,290mm, 진달래밭 5,552mm

➤ 우리나라 평균(1978~2007) : 1,277.4mm

❖ 세계 3대 다우지

- ✓ 인도 메갈라주 Mawsynram 11,873mm, 하와이 카우아이 Waialeale 11,680mm, 인도 메갈라주 Cherrapunji 11,430mm

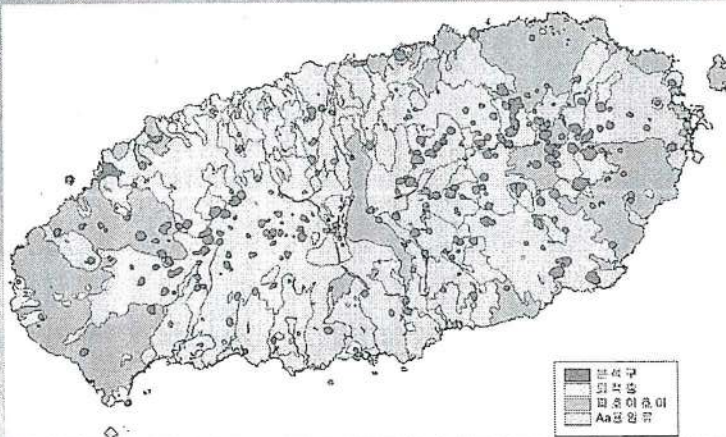
1-4 연중 물 흐르는 하천이 없는 섬



➤ 유출 임계 강수량 : 일평균 45mm

강정천	효례천	송천	가마천	천미천	용포천	금성천	외도천	한천
63mm	38mm	53mm	47mm	64mm	20mm	41mm	43mm	36mm

1-5 지하수 함양률이 높은 섬



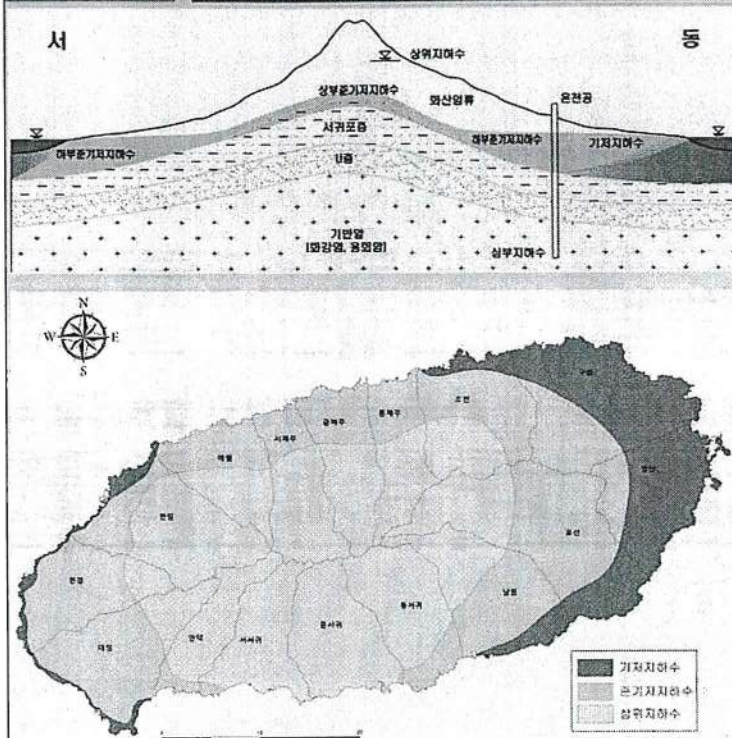
- 투수성 지질구조 발달
 - ✓ 절리, 클린커층, 용암동굴 등
 - ✓ 360 여 개에 달하는 오름
- 지하수 함양율이 높음
 - ✓ 제주도 평균 : 44 ~ 46%
 - ✓ 내륙지역 평균 : 14.4%
 - ✓ 일본 오키나와 : 5%
 - ✓ 하와이주 오아후섬 : 36.4%



구분	1993년	2003년	2012년
수문총량 (평균강수량)	3,388 (1,872mm)	3,427 (1,975mm)	3,769 (2,061mm)
직접유출량	638 (19%)	708 (20.7%)	833 (22.1%)
증발산량	1,256 (37%)	1,138 (33.2%)	1,260 (33.4%)
지하수 함양량	1,494 (44%)	1,581 (46.1%)	1,676 (44.5%)



1-6 지하수 부존형태가 다양한 섬



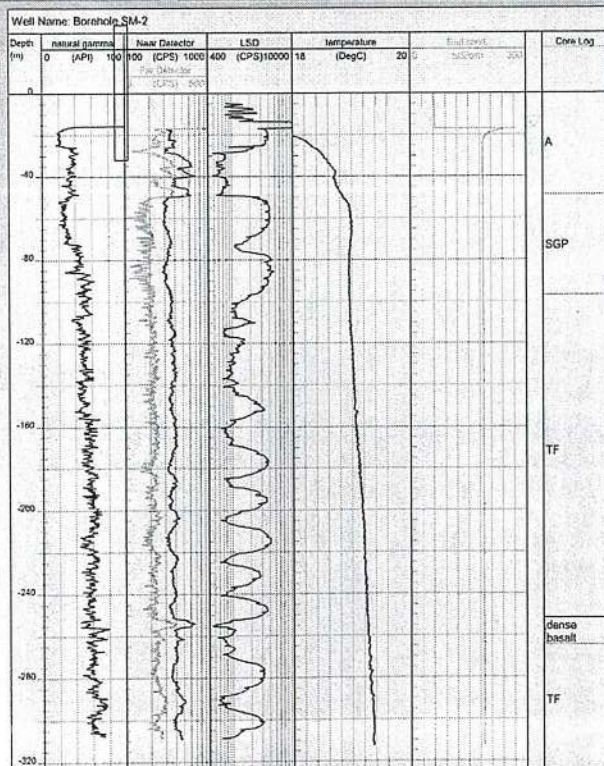
지하수 부존형태 (Groundwater Occurrence)

- 기저지하수(Basal)
- 준기저지하수(Parabasal)
- 상위지하수(High Level)
- 기반암지하수(Basement)

지하수 수질유형 (Groundwater Quality)

- 담수지하수(Fresh Groundwater)
 - 연수지하수(Low Hardness)
 - 천연탄산수(Carbonated)
 - 고미네랄수(High Minerals)
 - 바나듐수(Vanadium Rich)
- 염지하수(Saline Groundwater)
 - 저염분 지하수(Brackish)
 - 고염분 지하수(Saline)

1-7 지하수 산출률이 높은 섬

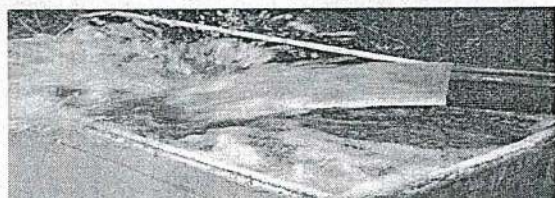


공극률이 높은 용암누층 (Thin lava sequence with high porosity)

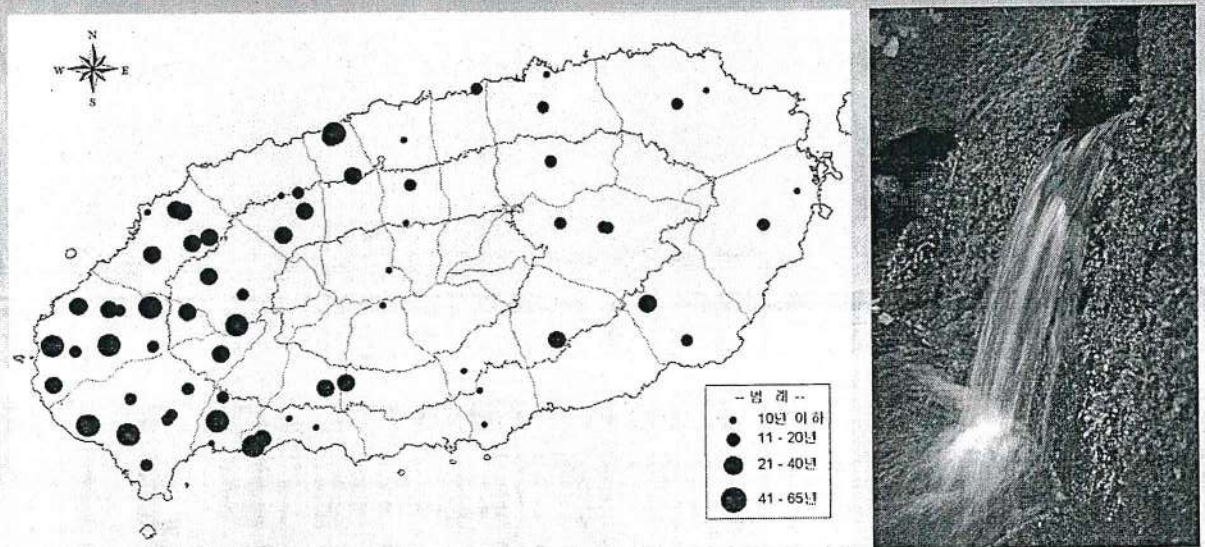
- 평균 공극률 25%(Average Porosity 25%)
- Hyaloclastite porosity : 30~71%(Av. 49%)
- Trachbasalt porosity : 14~58%(Av. 31%)

양호한 대수층 수리특성 (Good aquifer properties)

- Yield per Well : av. 2,400m³/day
 - Eastern : 2,268m³/d(max. 2,871m³/d)
 - Western : 2,246m³/d(max. 3,050m³/d)
 - Southern : 2,310m³/d(max. 3,057m³/d)
 - Northern : 2,780m³/d(max. 3,539m³/d)
- Specific yield : av. 30,300m³/d
- Transmissivity : av. 6,067m³/d

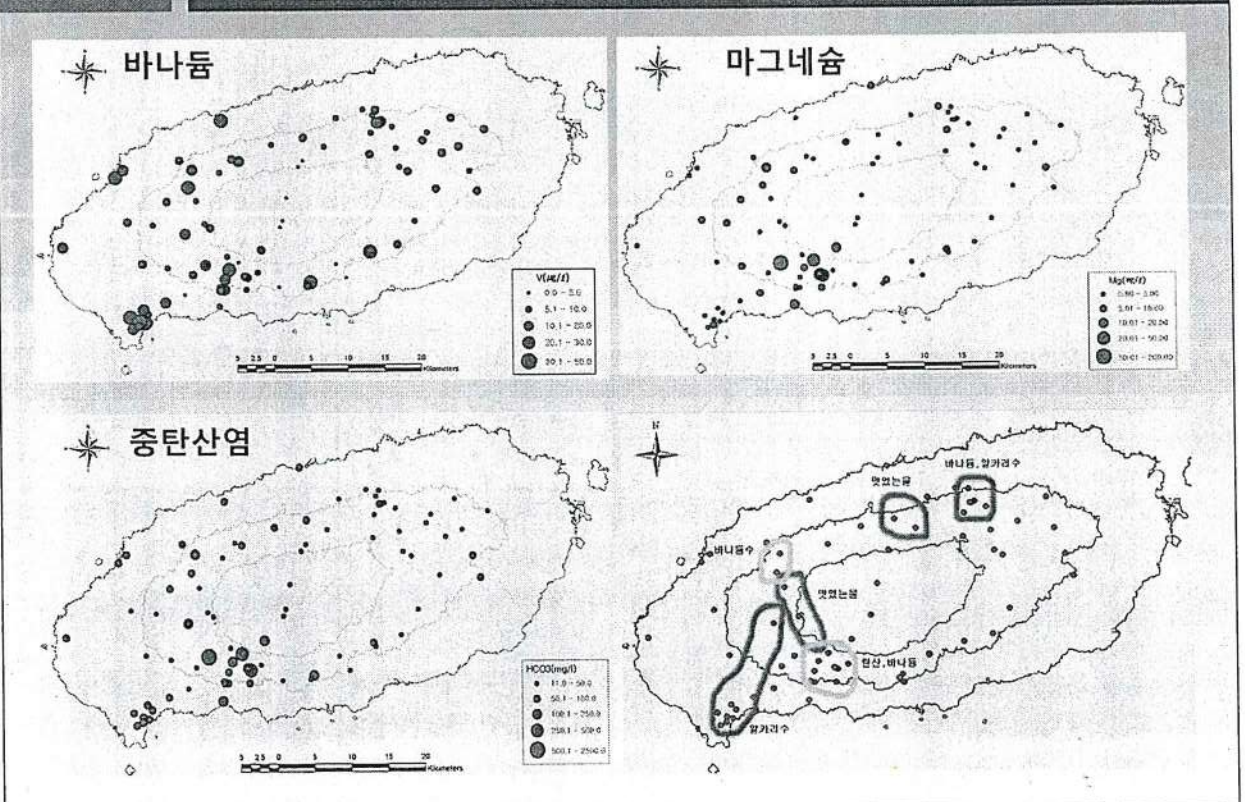


1-8 지하수 순환속도가 빠른 섬

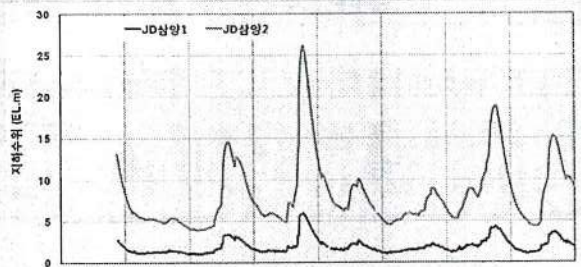
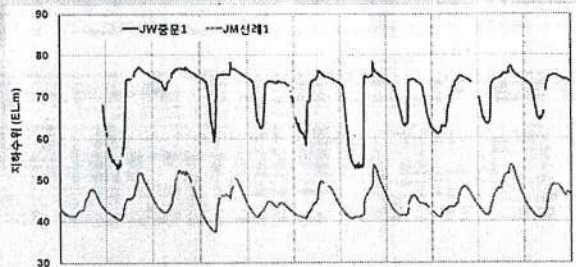
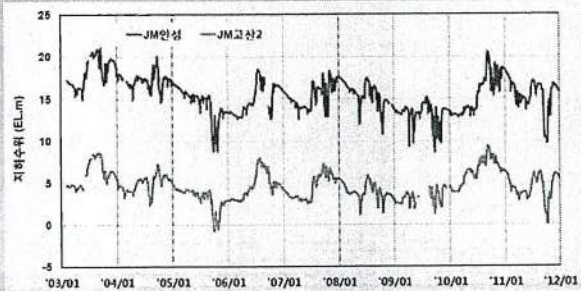
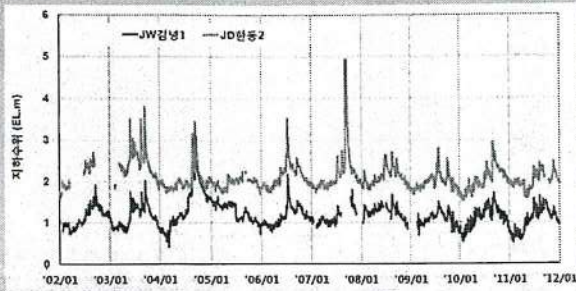


▶ 제주지하수 평균 체류시간(75개소, CFCs 및 ^3H 측정) - 22년
 ✓ 서부 : 30년 북부 : 21년 동부 : 19년 남부 : 13

1-9 지하수 수질특성이 독특한 섬

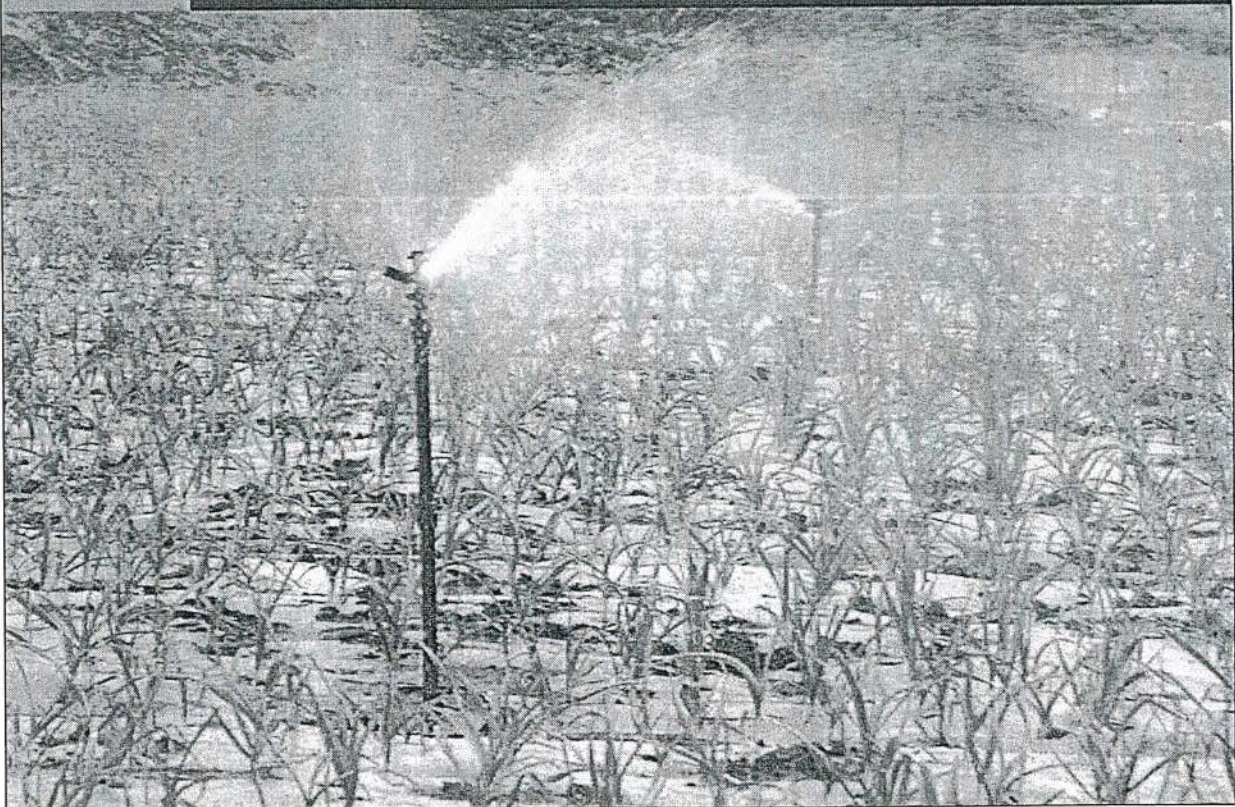


1-10 강수에 의한 지하수위 변동이 큰 섬



- 지하수위 변동 : 여름철에 높고 겨울철에 낮음 - 강수량의 계절적 분포 반영
- ✓ 고수위기(high level) : 9~10월, 저수위기(low level) : 3~4월
- 지하수위 변동폭(평균) : 동부 9.7m, 서부 11.8m, 남부 14.6m, 북부 14.8m

2 제주도의 수자원 이용



2-1

수자원 개발량의 대부분을 지하수가 차지

[제주도 수자원 개발 현황(2011년 기준)]

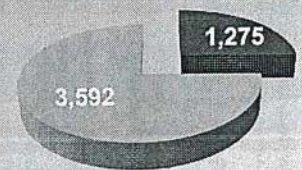
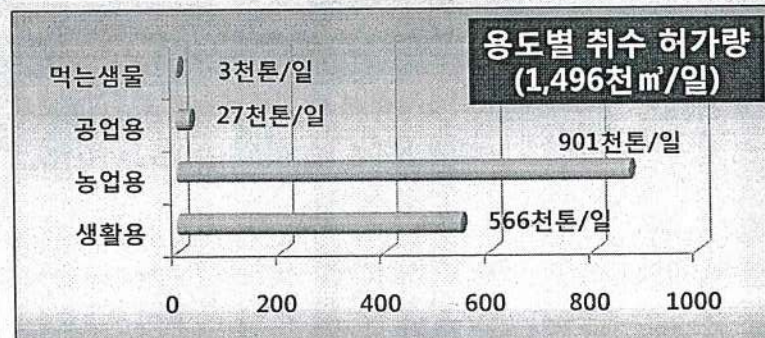
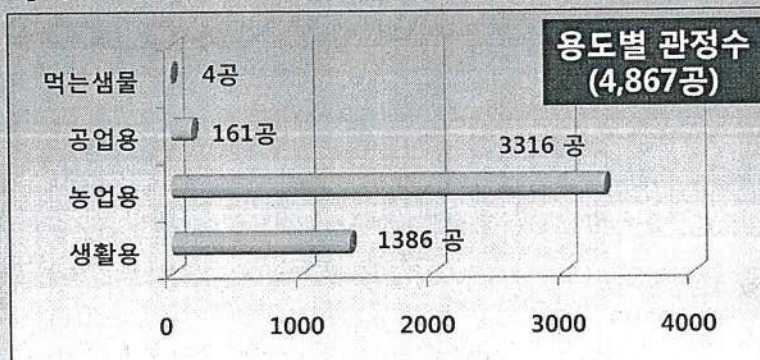
수 원 별		시설수(개소)	시설용량(천㎥/년)	구성비(%)
합 계		5,223	633,751	100
지하수		4,851	532,137	84.0
용천수		14	68,255	10.8
어승생저수지		1	5,475	0.9
지표수(저수지)		5	5,383	0.8
대 체 수자원	소 계	246	16,500	2.6
	빗물이용시설	236	13,624	2.1
	하수재이용시설	1	1,825	0.3
	해수담수화	4	812	0.1
	중 수 도	5	239	0.0
도서지역 저수지		5	172	0.0
인공함양		101	5,829	0.9
염지하수		1,166	2,692,970	

(자료 : 제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013)

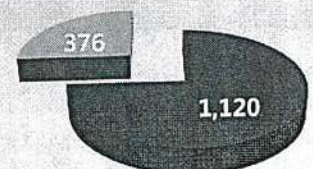
2-2

지하수 지속 이용 가능량의 84.5% 허가

[지하수 개발 현황(2012년 기준)]



■ 공공용 ■ 사설용



■ 공공용 ■ 사설용

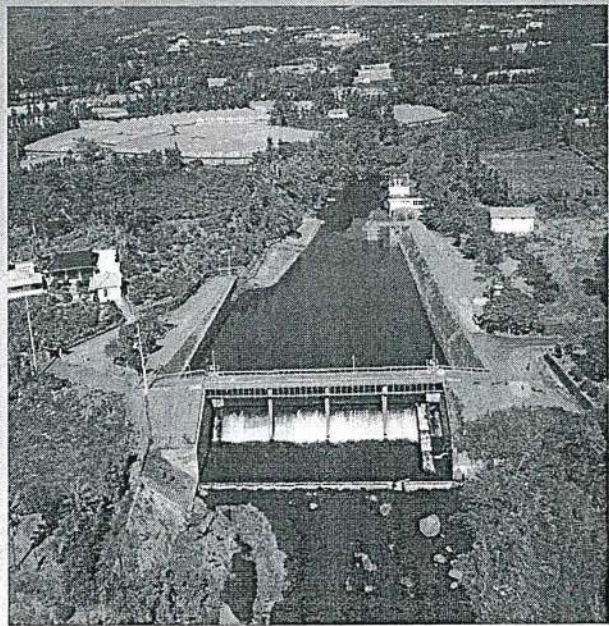
※ 지하수 지속 이용 가능량
1일 1,768천 m^3

2-3 수자원 이용량은 개발량 대비 28% 수준

수 원 별	시설수 (개소)	시설용량 (천 ^m /년)	이용량 (천 ^m /년)	시설용량 대비 이용률(%)
합 계	5,223	633,751	179,980	28.3
지하수	4,851	532,137	151,030	28.4
용천수	14	68,255	15,321	23.7
어승생	1	5,475	2,010	36.7
지표수(농업용 저수지)	5	5,383	744	13.8
대 체 수자원	소계	246	16,500	48.5
	빗물이용	236	13,624	57.1
	하수재이용	1	1,825	-
	해수담수화	4	812	201
	중수도	5	239	104
도서지역 저수지	5	172	129	75.0
인공함양	101	5,829	2,664	45.7

(자료 : 제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013)

2-4 용천수 의존도는 여전히 높음



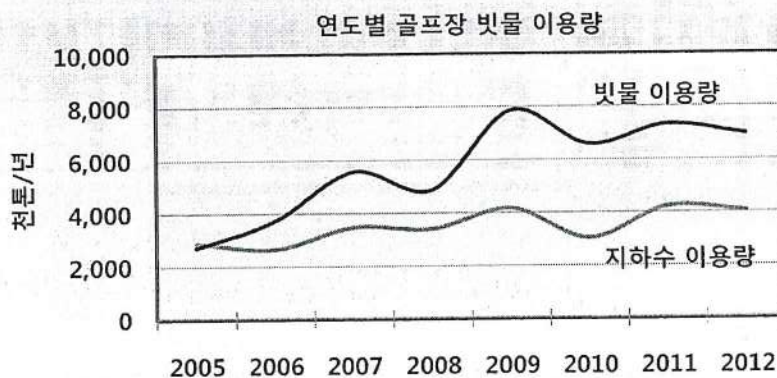
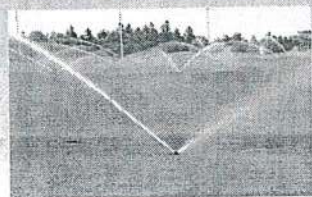
➤ 상수원으로 이용 중인 용천수 - 시설용량 177천톤/일, 전체 수자원 개발량의 11% 외도(14천톤/일), 삼양(35천톤/일), 강정(25천톤/일), 용포(20천톤/일) 등 13개소

2-5 빗물 이용량은 꾸준히 증가

[빗물 이용 현황(2012년 기준)]

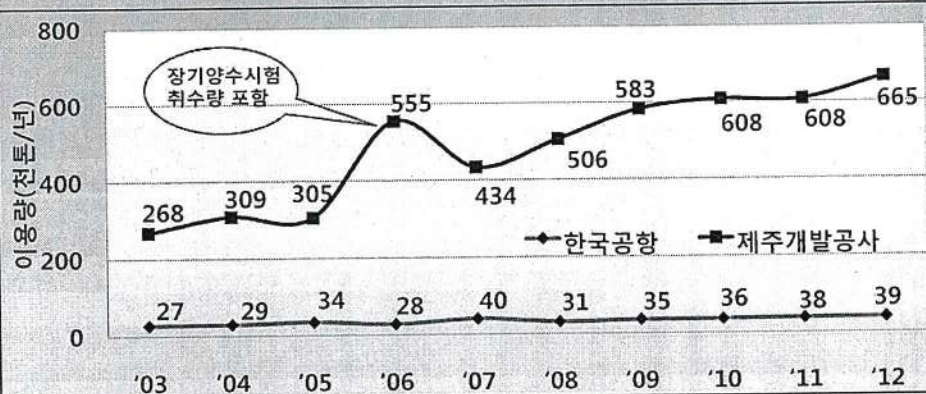
구분	합계	의무적시설	권장시설
시설수	328	29	299
개소	328	29	299
시설용량	4,023	3,982	41
용수 사용량	합계	13,783	11,017
	지하수	4,052	4,052
	빗물	9,731	6,965
		2,766	2,766

골프장 빗물
이용율 63.2%

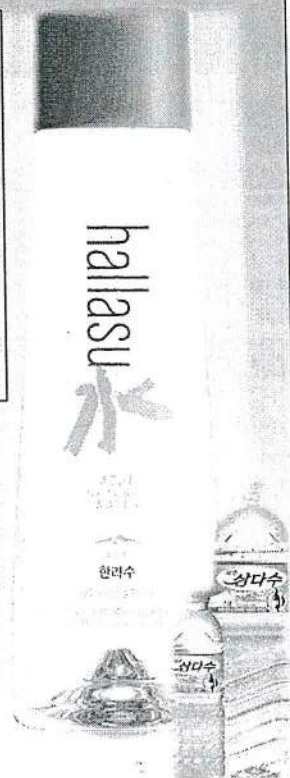
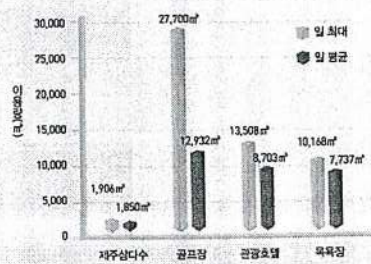
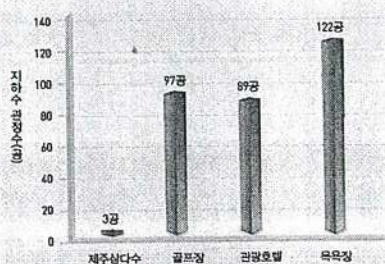


빗물이용
활성화 정책의
성과

2-6 먹는샘물용은 전체 취수허가량의 0.3%



[주요 업종별 관정수 및 지하수 이용량 비교(2012)]

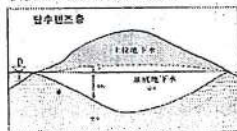


제주도의 지하수 관리



지하수 관정 개발실태, 지하수 함양량 및 지속 이용 가능성, 동부지역 지하수 고염분 원인, 지하수 수질실태 등이 파악되지 않은 상태에서 무분별한 지하수 개발 성행

지하수의 "海水化" 우려



담수층 공간에 바닷물流入
일단 잔물되면 회복 어려워

무분별지하수개발 수원고갈 부채질

철저한 자원조사 후 착정규제 바람직



3-2

‘특별법’에 의한 지하수 관리

제주도개발특별법 (1991. 12.)

- ✓ 지하수 굴착/이용허가
- ✓ 지하수 원수대금 부과
- ✓ 먹는샘물 허가제한
- ✓ 지하수영향조사제
- ✓ 지하수관리위원회

제주국제자유도시특별법 (2002. 2.)

- ✓ 지하수특별관리구역지정
- ✓ 기준 수위관측정 운영
- ✓ 지하수 인공함양정 설치
- ✓ 빗물이용시설 설치
- ✓ 농약 사용/공급 제한
- ✓ 원수대금 부과체계 개선
- ✓ 허가제한 규정 강화
- ✓ 지하수 관정 시설기준

제주특별자치도 특별법 (2006. 7.)

- ✓ 지하수의 공공적 관리
- ✓ 수자원종합계획수립
- ✓ 지하수/온천 통합관리
- ✓ 지하수관리특별회계
- ✓ 지하수 관측망 운영
- ✓ 농업용수종합계획수립
- ✓ 지하수오염방지 특례

3-3

지하수를 ‘공공의 자원’으로 관리

➤ 지하수의 공공적 관리(법 제310조)

- ✓ 제주자치도 안에 부존하는 지하수는 공공의 자원으로서 도지사가 관리
- ✓ 도지사는 지하수 적정관리, 오염예방, 용수의 안정적 공급, 지하수 기초조사, 대체수자원 개발 및 이용 등에 최선을 다하여야 함

➤ 수자원관리종합계획의 수립 등(법 제311조)

- ✓ 수자원의 체계적 개발이용 및 효율적 보전관리를 위한 10년 단위 계획수립
- ✓ 물산업을 성장동력산업으로 육성하기 위한 물산업클러스터 조성, 재정지원 등에 관한 사항을 포함
- ✓ 가축전염병으로 인한 수자원의 오염을 방지하기 위한 수질검사의 주기, 방법 등 수자원 오염방지대책을 수립(2011. 5. 23 개정)

➤ 지하수 개발 이용허가 특례(법 제312조)

- ✓ 지하수법, 먹는물관리법에 불구하고 이 법에 의해 허가(긴급지하수 개발은 신고)
- ✓ 먹는샘물 및 지하수 100분의 98이상 제품 공기업에 한해 제조 판매 허용
- ✓ 지하수 영향조사, 취수량 제한, 공동이용, 특별관리구역 지정

➤ 빗물이용시설 등의 설치 및 관리(법 제316조)

- ✓ 도 조례가 정하는 일정 규모 이상 시설 또는 토지형질변경이 수반되는 시설물 등을 설치하고자 하는 자는 빗물이용시설 또는 지하수 인공함양시설 설치 운영
- ✓ 빗물이용시설 설치비를 도 조례가 정하는 바에 따라 보조(시설비의 80%)

※ 2013년 현재 총 238개소 설치 운영 중

- 의무적 설치대상 29개소 3,982천톤 규모 - 빗물 연간 6,965천톤 이용(63%)
- 권장대상 빗물이용시설 299개소 41천톤

➤ 지하수 원수대금 부과 징수(법 제317조)

- ✓ 지하수 보전관리에 필요한 재원조성을 위해 지하수원수대금 부과징수
 - ✓ 원수대금을 면한 자는 원수대금 및 그 원수대금의 5배 범위 부가금 징수
- ※ 2012년 987개 업체 8,670백만원 부과(부과량 17,955천톤)

➤ 지하수관리특별회계의 설치(법 제318조)

- ✓ 지하수원수대금, 일반회계/다른 특별회계 전입금 등으로 세입
 - ✓ 지하수 기초조사, 관정 원상복구, 오염 지하수 정화사업, 관측망 설치 등에 사용
- ※ 2013년 예산액 11,441백만원(원수대금 8,000, 일반회계 전입금 1,300 등)

➤ 지하수 오염방지 명령 등(법 제313조)

- 오폐수 등 지하수를 오염시킬 수 있는 물질 지하로 주입, 배수, 처리 금지
 - 지하수 개발 이용시설 설치기준 및 시설공사의 감리
 - 오염위험성 평가 후 지하수를 오염시킬 우려가 있는 농약의 공급 및 사용 제한
- ※ 메타실 입제 및 수화제, 브로실수화제 사용금지 농약으로 고시(2004. 9. 8)

➤ 지하수 관측망 설치 운영(법 제314조)

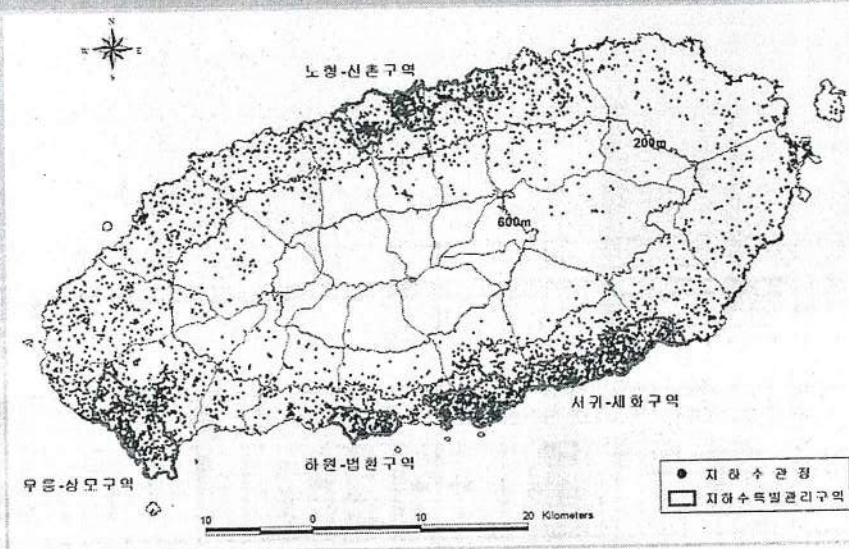
- 지하수위, 해수침투 감시, 수질관측, 지하수 이용량 관측망 설치 운영
 - 기준수위 관측정 지정 운영 및 단계적 취수량 제한, 일시적 이용중지 조치
- ※ 2012년 현재 425개소 설치 운영 중
지하수위 135(해수침투 53), 지하수 이용량 156, 수질 100, 하천유출량 29 등

➤ 지하수 관리위원회 구성(법 제315조)

- 지하수 기초조사 및 수자원관리종합계획수립/변경 자문
 - 지하수영향조사서 및 환경영향조사서 심사
 - 지하수특별관리구역 지정/변경, 농업용수 종합계획 수립 자문 등
- ※ 15명의 위원으로 구성 운영(위촉직 10명, 당연직 5명)

3-5

지하수 과다개발 지역 특별관리



[지하수자원특별관리구역 지정 관리]

- 최초지정 : 4개 구역 160.065km²(제주도 면적의 8.7%) - 2002. 6. 25
- 1차 연장 : 2008년 - 5년간 관리 및 실적 평가(2013)
- 지하수 신규 개발이용 엄격히 제한 및 기존 관정 정비 등

3-6

제주도가 지하수 관정 원상복구 시행

년도	합 계		제주특별자치도			시.군/ 소유주		비고
	공수	개발량 (톤/일)	공 수	사업비	개발량 (톤/일)	공수	개발량 (톤/일)	
계	717	135,172	276	1,080	34,046	441	101,126	
'92~' 04년	283	45,796	55	281	5,161	228	40,635	
2005년	110	26,101	55	139	8,484	55	17,617	
2006년	31	5,665	15	48	1,621	16	4,044	
2007년	32	4,844	21	73	2,763	11	2,081	
2008년	94	22,637	42	146	4,192	52	18,445	
2009년	38	7,128	29	100	3,484	9	3,644	
2010년	62	9,945	15	78	1,532	47	8,413	
2011년	31	5,722	27	128	4,758	4	964	
2012년	36	7,334	17	87	2,051	19	5,283	염지하수 3공

[자료 : 제주특별자치도 수자원본부, 염지하수 관정 95공 미포함]

3-7 지하수 관정 사후관리

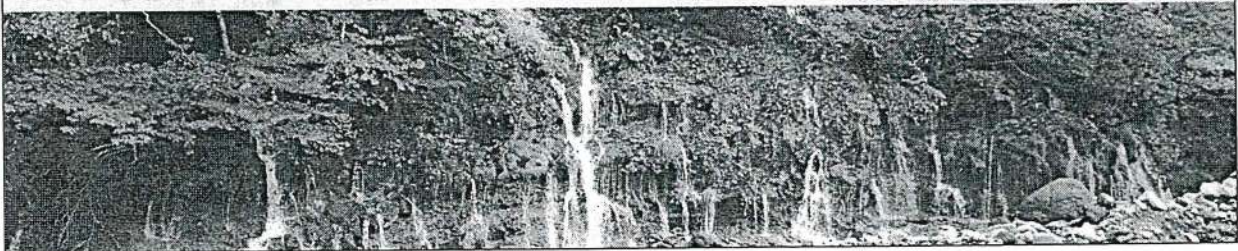
➤ 사후관리 대상

구 분	합 계	전문기관	자 체	도지사	기 타
계	6,017	1,550	4	3,305	1,158
담지하수	4,851	1,542	4	3,305	
염지하수	1,166	8 (담수화용)	-		1,158

※ 전문기관에 의한 사후관리 : 1일 양수능력 500m³ 이상 관정
 자체 사후관리 : 먹는샘물 제조용 관정

➤ 도지사에 의한 사후관리

- ✓ 1일 양수능력 500m³ 미만 관정
- ✓ 도지사(수자원본부)가 매년 전문업체 위탁하여 관리
- ✓ 관정 보호시설, 수질실태 등을 조사하고, 조치가 필요한 관정에 대해서는 개선명령



4 지하수의 보전과 전략적 활용



4-1 제주지하수의 성격

제주의 생명력

- ✓ 제주도민의 삶과 건강을 지탱하는 생명수
- ✓ 제주의 자연생태계를 유지시켜주는 생명력

지속 이용 가능 자원

- ✓ 제주의 유일한 지하자원
- ✓ 합리적 이용시 지속 이용이 가능한 자원

제주의 성장동력

- ✓ 제주의 산업경제를 견인하는 원동력
- ✓ 미래 제주의 핵심적 성장 동력

제주지하수는
단순한 「물」이 아니라 제주의 생명이자, 성장동력

4-2 지하수 관리 기본 원칙

지하수 관리의 궁극적 목표는 “보전과 이용의 균형유지” ■ 통해
지속 이용성을 유지하면서 주민의 생활과 경제활동에 유익하게 이용하기 위한 것

Systematic
Conservation

Reasonable
Use

Sustainability

Beneficial Use

Groundwater Resource

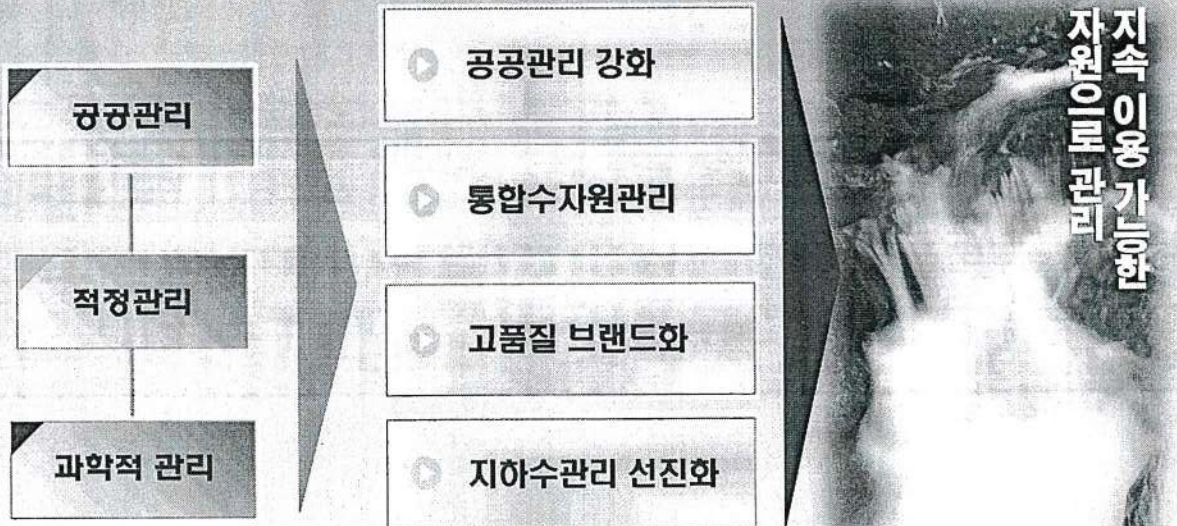
4-3

제주특별자치도의 지하수 관리정책

3대 관리원칙

지하수관리 정책

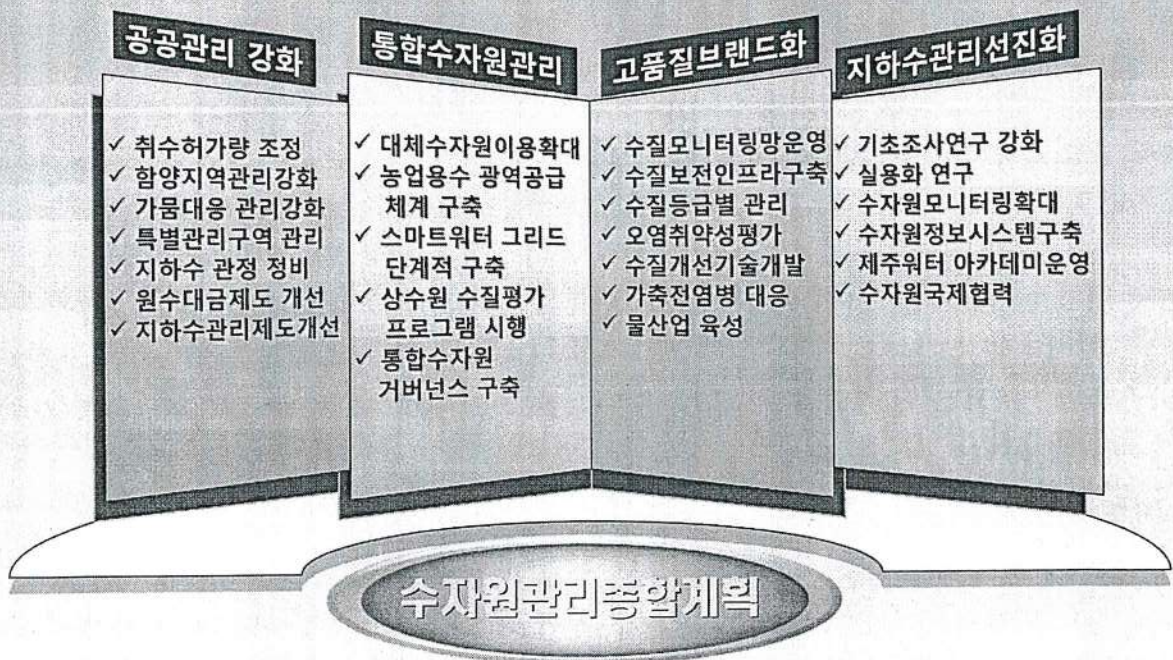
제주의물, 세계의물



4-4

제주지하수 관리 주요 추진과제

2013 - 2022년까지 총 1조 1,972억원 투자, 22개 과제(세부 과제 111개) 추진



4-5 물에 대한 인식의 변화

▪ 물은 생명의 근원이다

물은 만물의 생존을 위한 필수 자원

▪ 물은 대체제가 없다

물을 대체할 수 있는 근본적 대안은 없음

▪ 물은 유한하다

이용할 수 있는 물의 양은 한정돼 있음

▪ 물은 흐른다

물은 저장/저류하지 않으면 이용할 수 없음

▪ 물은 시스템이다

물은 순환하는 시스템

▪ 물은 공공재 · 경제제이다

물은 생태계 유지와 사회적 및 경제적 재화

Dublin Principles,
1992, ICWE

Global Water
Partnership, 1997

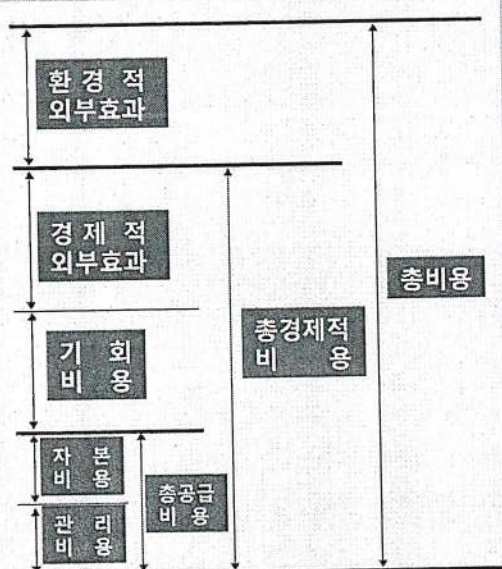
Water as a
Free Good

Water as an
Economic Good

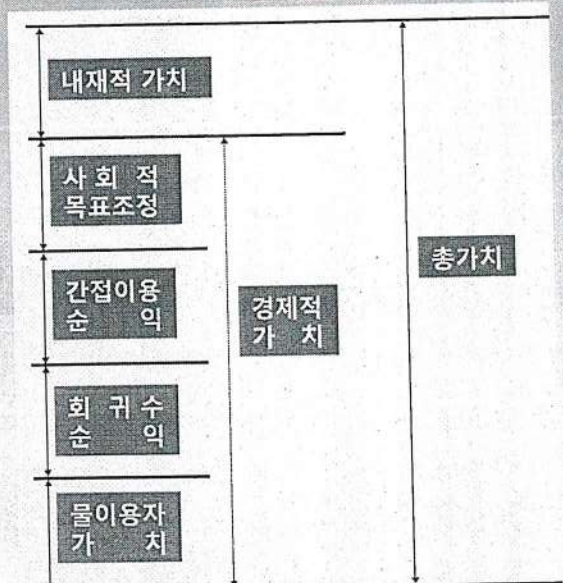
Water as a Social and
Economic Good

4-6 물 이용 비용과 가치 구성요소

물 이용 비용(Cost)

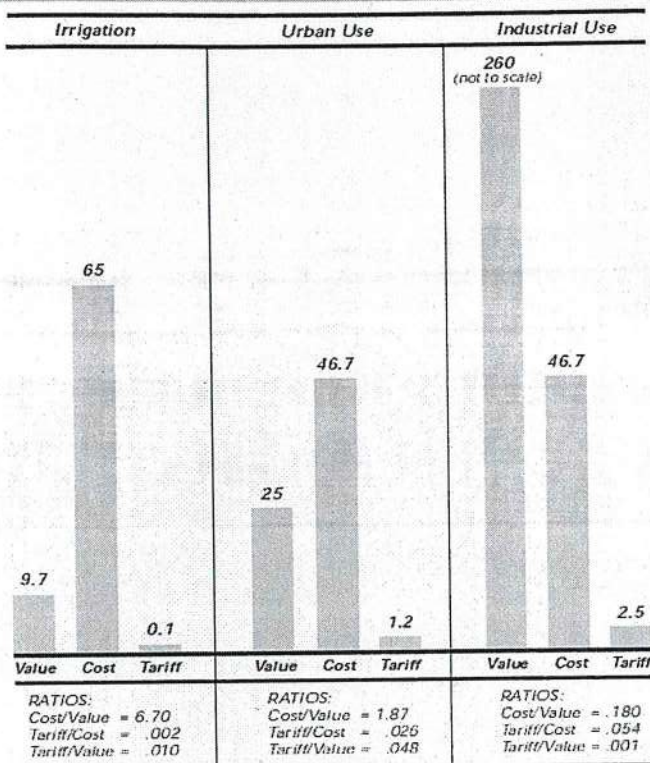


물 이용 가치(Value)



(Rogers P. et. al., 1997. "Water as a Social and Economic Good: How to Put the Principle into Practice." TAC Background Papers No.2. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.)

4-7 물의 가치와 비용분석 사례



인도 Subernarekha Basin 사례

- ✓ 공업용수로 이용하는 경우, 물의 가치가 비용의 6배 정도 높음
- ✓ 생활용수의 경우, 가치가 비용보다 낮으며
- ✓ 농업용수의 경우에는 비용보다 가치가 훨씬 낮음(약 7배)

부가가치가 높은
경제활동일 수록
물의 가치는 높음

4-8 제주지하수의 경제적 가치 추정

[제주도 지하수 지속이용 가능량 ¹⁾ 경제적 가치 추정]

적용기준	톤당 가격	경제적 가치	비 고
원수대금 최저원가	443.88원	2,863억	443.88원 * 645백만톤
원수대금 최고원가	786.88원	5,075억	786.88원 * 645백만톤
상수도 생산원가 ²⁾	899.9원	5,804억	899.9원 * 645백만톤
제주도 GRDP ³⁾	65,712원	42조원	65,712원 * 645백만톤
제주도 GRDP 중 농업총생산 ⁴⁾	16,259원	10조	16,259원 * 645백만톤
제주삼다수 출고가 ⁵⁾	250천원	161조원	250천원 * 645백만톤

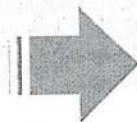
1. 지하수 지속 이용 가능량 : 연간 645백만톤 적용
2. 상수도 생산원가(2010) : 톤 당 899.9원 적용
3. 제주도 GRDP(2011) : 11조 1,290억, 연간 지하수 이용량 169,360천톤(일 464천톤) 적용
4. 제주도 GRDP(2011) 중 농업총생산 11,335억원, 농업용 지하수 이용량 69,715천톤(일 191천톤) 기준
5. 2012년 제주삼다수 판매량(574,938톤)과 매출액(144,994백만원) 기준

4-9

지하수 이용량 대비 경제적 가치

적용기준	지하수 지속이용 가능량(645백만톤/년)			비 고
	1% 활용시 (6,450천톤)	5% 활용시 (32,250천톤)	10% 활용시 (64,500천톤)	
상수도 생산원가	58억	290억	580억	
제주도 GRDP	4,238억	2조 1,119억	4조 2,384	
제주도 GRDP중 농업총생산	105억	524억	1조 487억	
제주삼다수 출고가 적용 (추정손익)	1조 6,125억 (3,700억)	8조 625억 (1조 8,000억)	16조 1,250억 (3조 7,000억)	

※ 2013년 제주특별자치도 예산액 : 3조 3,667억(지방세 수입 6,646억)



지속 이용 가능량의 5%만을 물산업 분야에 이용하더라도
제주자치도 예산의 3배에 달하는 막대한 경제적 가치 창출 가능

4-10

제주지하수의 전략적 활용방향

지하수자원 부가가치 극대화

물산업 활용

- ✓ 먹는샘물(연수, 바나듐수, 탄산수 등)
- ✓ 혼합음료 및 기능성음료
- ✓ 맥주, 특산주, 고급얼음, 화장품 등
- ✓ 스파테라피 등 "물+건강" 비즈니스

도민의 생활과 경제활동에 이용

- ✓ 상수도를 포함한 생활용수
- ✓ 농업용수, 공업용수
- ✓ 관광위락시설 용수 등

자연생태계 유지

- ✓ 용천수, 폭포 등 물환경 유지
- ✓ 해안빈 하천 흐름 유지
- ✓ 자연생태계 유지

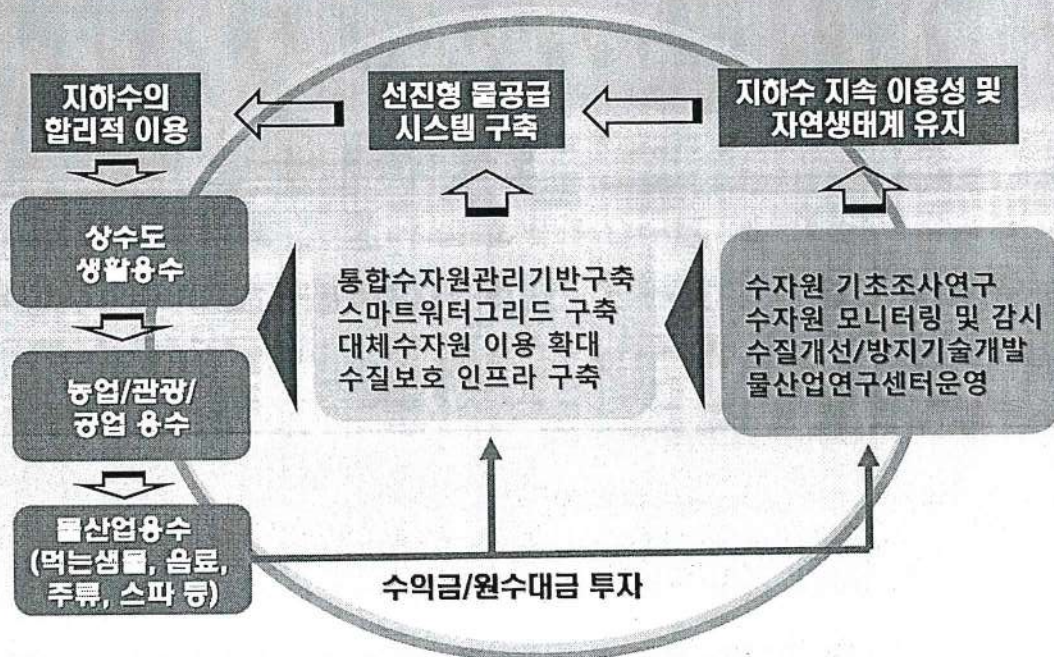
4-11

제주지하수 관리 패러다임의 전환

--- 지하수로 지하수를 관리한다 ---

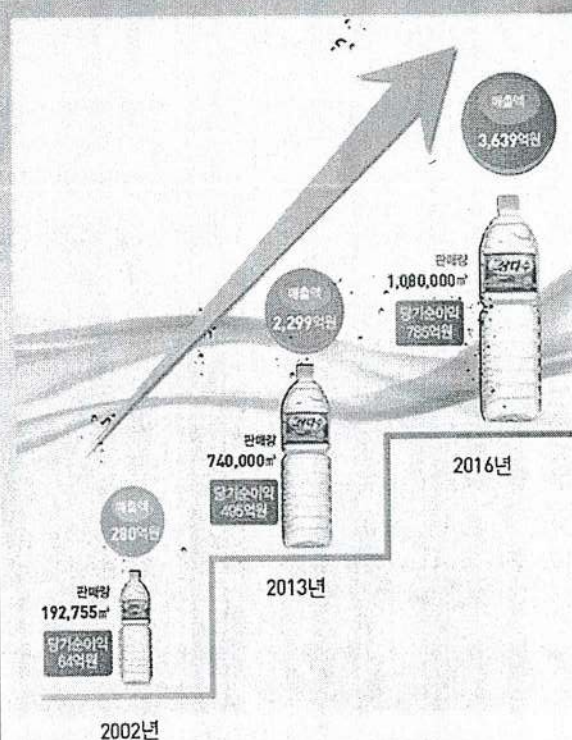
UNESCO
(2012)

- ✓ Unvalued water leads to an uncertain future
- ✓ Investment and financing in water for a more sustainable future



4-12

제주개발공사의 역할



제주개발공사는

물산업연구센터 기능 강화를 통해 지하수의 합리적 이용과 체계적 보전에 기여

제주지하수의 부가가치 극대화할 수 있는 물산업 응용연구와 사업화 주도

제주특별자치도 지방재정 확충과 지역경제 견인 기업으로 지속적 성장

대한민국을 대표하는 물전문기업에 걸맞는 사회적 봉사 및 기여에 앞장



강 기 춘 Gi-Choon Kang

제주대학교 경상대학 교수 (Jeju National University)

- ▶ 학위 : 경제학박사
- ▶ 경력 : 동양증권 책임연구원, 미국 워싱턴대/아이오와주립대 방문교수
한국은행 금융경제연구원 객원연구원, 감사원 감사연구원 사회행정평가연구팀
장 등 역임
- ▶ 현재 : 제주대학교 경제학과 교수, 제주대학교 관광과경영경제연구소 소장
감사원 감사연구원 자문위원, 한국은행 제주본부 자문교수
제주테크노파크 운영위원회 위원, 제주특별자치도 물가대책위원회 부위원장
제주특별자치도 공약실천 자문위원회 부위원장, 국제지역학회 이사



이 재 영 Jae-Young Lee

서울시립대학교 환경공학부 교수 (University Of Seoul)

- ▶ 학위 : 미국 웨인주립대학교 토목환경공학 박사
- ▶ 경력 : 국토해양부 중앙건설기술심의위원회 설계심의분과의원
토양·지하수 산업발전 포럼, 공동위원장
한강유역한강청 환경영향평가 검토·자문단 위원
서울특별시 지하수 및 물 재이용 관리위원회 위원
서울특별시 환경영향평가 심의위원회 위원
인천항건설사무소 설계자문위원회 자문위원
한국수자원공사 일반기술심의위원회 위원
토양·지하수 산업발전 포럼 제도발전 분과위원회 위원
Journal of cycles and waste management(SCI-E), 편집위원장 편집위원
ISEG (International Society of Environment Geotechnics), 이사
- ▶ 현재 : 서울시립대학교 환경공학과 정교수, 한국지하수토양환경학회 회장
서울녹색환경지원센터 센터장, 녹색환경지원센터 연합회 부회장



박 준 범 Chun-Pom Park

미육군국동공병단 박사 (US Army Corps of Engineers)

- ▶ 학위 : 이학박사(연세대학교 대학원 화산암석학 전공)
- ▶ 경력 : 한국기초과학지원연구원 박사후 연구원, 대한지질학회 전문위원
한국암석학회 이사, 한국지질자원연구원 기본사업 평가위원 등 역임
- ▶ 현재 : 주한 미육군국동공병단 지반환경공학부, 자료관리팀장





박 원 배 Won-Bae Park

제주발전연구원 연구실장 (Jeju Development Institute)

- ▶ 학위 : 수리수문학박사
- ▶ 경력 : 제주지역혁신협의회 사무국장, 제주지역인적자원개발지원센터 센터장
지역자율방재단중앙지원단 총괄팀 등 역임
- ▶ 현재 : 제주발전연구원 연구실장, 제주특별자치도 지하수관리위원회 위원
제주특별자치도 하천관리위원회 위원, 제주지역 과학기술정보 클러스터협의회
위원 및 한국과학기술정보연구원 자문위원



함 세 영 Se-Yeong Hamm

부산대학교 자연과학대학 교수 (Pusan National University)

- ▶ 학위 : 몽펠리에2대학교(프랑스) 박사
- ▶ 경력 : 한국지질자원연구원 선임연구원, 충북대학교 겸임교수
행정안전부 정책자문위원회 위원, 환경부 지하수정책자문위원
부산광역시 지하수관리위원회 위원 등 역임
- ▶ 현재 : 부산대학교 지구환경시스템학부 교수, 부산광역시 건설기술심의위원회 위원
대한온천학회 회장, 한국지하수토양환경학회 부회장
한국지하수·지열협회 전문위원회 위원, Editorial Board, Geosciences Journal





제주특별자치도개발공사
Jeju Special Self-Governing Province Development Corp.



Jeju Peace Institute

제주평화연구원

Jeju 제주특별자치도개발공사
Jeju Special Self-Governing Province Development Corp.

<http://www.jpdc.co.kr> Tel. 064-780-3300 Fax. 064-784-5020