





변화의 노력, 지하수의 새로운 미래

2023. **09.19. 0 - 09.20.** 제주국제컨벤션센터

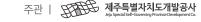




























# 자연의 손길이 빚어낸 생명력이 가득한 물

제주 천연 **화산암반수** 





청정자연 그대로의 물을 담은 제주다움 3無



















## **CONTENTS**

인사말 Greetings	02
행사개요 및 프로그램 Overview & Program	07
<b>연사소개</b> Speakers & Panelists	10
<b>기조연설</b> Keynote Speech	11
세션 1 Session 1	14
세션 2 Session 2	24
<b>특별세션</b> Special Specian	36



만족도조사

## ② 개회사

안녕하십니까, 제주특별자치도개발공사 사장 백경훈입니다.

제13회 제주물 세계포럼을 찾아주신 내외 귀빈 여러분들께 먼저 감사의 인사를 드립니다.

올해 제13회 제주물 세계포럼은 제주물의 지속가능한 발전을 위하여 제주특별자치도, 제주특별자치도개발공사, 제주연구원이 함께 공동주최하는 의미있는 행사입니다.

우리가 믿는 물 제주삼다수를 생산·판매하는 제주특별자치도개발공사에서는 지하수의 지속가능한 보전 관리 방안을 모색하고, 제주물의 우수성과 가치를 널리 알리기 위하여 2009년 1회를 시작으로 오늘 13회를 맞이합니다.

특히 제주물 세계포럼은 유네스코, 국제수리지질학회, 한국지하수토양환경학회, 한국지질자원연구원 등 국내외 기관들과 지속적인 협력체계를 유지하며 세계적인 지하수 전문 포럼으로서 자리매김해 나가고 있습니다.

오늘 포럼은 '변화의 노력, 지하수의 새로운 미래'를 주제로 몽골, 베트남, 일본 등 아시아를 넘어 유럽, 호주 등 각국의 지하수 전문가들을 모시어 전 세계가 직면한 환경변화 속에서 지하수 자원의 중요성과 가치를 공유하고 제주 지하수 보전 노력의 필요성을 알리고자 합니다.

UN에서는 2023년 세계 물의 날의 주제를 "변화의 가속화"로 정하여 전세계 환경 변화에 대응한 수자원 보전의 중요성을 알리고 국제사회 협력과 참여를 강조하고 있습니다. 수자원의 가치를 창출하여 사회적 가치를 실현하는 우리 제주특별자치도개발공사에서 제주물 세계포럼을 통해 전세계 지하수 이슈를 공유하고 지속가능한 미래환경을 위한 소통의 장을 마련하는 것은 우리공사가 해야할 중요한 역할이라고 생각합니다.

제13회 제주물 세계포럼을 통해 미래환경변화에 따른 물문제의 다양한 해법을 모색하고 제주물, 더 나아가 세계수자원의 지속가능성을 높일 수 있는 소중한 기회가 되었으면 좋겠습니다.

감사합니다.





## ② 환영사

여러분 반갑습니다.

제주특별자치도와 제주특별자치도개발공사, 제주연구원이 공동으로 주최하는 제13회 제주물 세계포럼이 열리게 되어 매우 뜻깊습니다.

제주 물의 가치를 높이고자 물심양면 힘써주고 계신 제주특별자치도개발공사 백경훈 사장님과 관계자 여러분께 각별한 감사의 마음을 전합니다.

자리를 빛내기 위해 함께해주신 내외 귀빈 여러분, 그리고 포럼을 위해 '사람과 자연이 행복한 제주'를 찾아주신 세계 각국의 물 전문가분들께는 환영의 인사와 고마운 말씀을 드립니다.

이번 포럼의 주제는 '변화의 노력, 지하수의 새로운 미래'입니다. 지하수의 가치를 지키기 위한 국제사회의 노력과 먹는샘물의 지속가능성, 그리고 제주 지하수의 미래를 위한 다양한 방안을 논의하게 됩니다.

이번 행사가 급변하는 환경에 대응해 지하수 자원의 중요성을 널리 알리고, 물 문제의 해결방안을 모색하는 의미 있는 시간이 되기를 기대합니다.

제주도정은 제주의 자랑인 제주 지하수의 보전·관리에 힘쓰며, 제주 물과 제주삼다수의 가치를 널리 알리는 데 최선을 다하겠습니다.

아울러, 제주형 물관리 통합 관리체계 구축과 지속가능한 수자원 확보에 나서며, 도민이 공감하는 물관리 체계 확립을 위해 적극 노력하겠습니다.

제13회 제주물 세계포럼에 함께해주신 모든 분들께 다시 한번 감사드리며, 늘 건강하고 행복하시기를 기원합니다.

고맙습니다.



## ② 환영사

안녕하십니까, 제주연구원장 양덕순입니다.

여느 해보다도 무더웠던 계절을 지나, 평안하고 풍요로운 9월에 「제13회 제주물 세계포럼」을 개최하며 여러분께 인사를 드립니다.

바쁘신 가운데에도 이 자리에 참석해주신 김성중 제주특별자치도 행정부지사님과 제주특별자치도의회 송창권 위원장님, 제주특별자치도개발공사 백경훈 사장님, 한국지하수토양환경학회 김형수 회장님께 감사드립니다. 그리고 영상으로 축하해주신 한화진 환경부 장관님, 김한규 의원님과 위성곤 의원님, 송재호 의원님께 감사드립니다. 일일이 호명하지 못해 송구스럽지만 오늘 기조강연과 주제발표를 해주시는 국내외 연사님들, 그리고 내일 전문가 토크 세션에 참석해주시는 분들과 이 자리에 함께하시는 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

「제주물 세계포럼」은 지하수 자원의 가치와 중요성을 널리 알리고, 물 문제에 대한 해결 방안을 모색하기 위해 2009년부터 매년 개최하고 있습니다. 13회를 맞이하는 행사에 제주연구원이 공동으로 주최를 하게 되어 더욱 뜻깊게 생각합니다. 앞으로도 정책연구를 넘어 제주의 발전을 위한 노력에 제주특별자치도개발공사와 함께하겠습니다.

「제13회 제주물 세계포럼」의 주제는 '변화의 노력, 지하수의 새로운 미래'입니다. 올해 세계 물의 날 주제인 "변화의 가속화"와 맞물려 지하수에 대한 인식의 변화와 실천적인 행동을 모색해 보고자 함입니다. 지금 우리는 현실화된 기후위기와 가속화되는 수자원의 환경 변화에 직면해 있습니다. 지구의 어느 곳에서는 가뭄이 장기화되고 있는 반면, 다른 한 곳에서는 홍수가 발생하는 등 예측하기 어려운 상황으로 인명피해와 경제적인 피해가 반복되고 있습니다. 지하수에 절대적으로 의존하고 있는 우리 제주에서도 강우의 패턴이 변하고 있고, 기후의 양극화 현상도 점점 심해지고 있습니다.

여러분도 잘 아시는 바와 같이 제주는 화산섬입니다. '섬'이라는 지리적인 위치와 '화산섬'이라는 특수한 환경에서 물은 생명수이며, 지속가능한 제주를 이끄는 원동력입니다. 우리가 '생명수'라고 일컫는 제주지하수가 위협을 받고 있는 현실입니다.

이에 우리 제주연구원에서는 지난 2020년 10월에, 제주지하수연구센터를 개소하여 많은 연구를 수행하고 있습니다. 제주지하수를 비롯한 수자원에 대한 기초연구와 정책을 뒷받침할 수 있는 연구, 수위·수질 모니터링, 각종 교육 및 홍보 등을 수행하며, 제주지하수에 대한 가치를 발굴하고, 도민들에게 널리 알리고자 노력하고 있습니다. 많은 분들의 관심과 성원을 부탁드립니다.

오늘 「제13회 제주물 세계포럼」을 통해 급변하는 수자원 환경변화에 대응하고, 미래의 제주지하수를 보전하기 위한 많은 논의가 활발히 펼쳐지길 기대합니다. 그리고 제주물의 우수성과 소중함을 널리 알릴 수 있는 기회가 되길 바랍니다.

다시 한번 「제13회 제주물 세계포럼」에 참석해 주신 모든 분들께 감사를 드리며, 이 자리가 '지하수의 새로운 미래를 위한 변화'의 시발점이 되기를 소망합니다.

감사합니다.

제주연구원장



## ⓒ 축사

여러분, 반갑습니다.

제13회 제주물 세계포럼이 열리게 된 것을 대단히 축하드립니다.

제주 물의 가치를 알리고 소중하게 가꿔나가기 위한 지혜의 자리를 마련해 주신 제주특별자치도개발공사 백경훈 사장님과 제주연구원, 제주특별자치도 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

포럼에 참여해주신 국내외 석학들과 전문가 여러분, 그리고 내빈들께 따뜻한 환영과 감사의 인사를 전합니다.

제주도 수자원의 95%가 지하수를 활용하고 있습니다.

제주에서 지하수는 생명수라 할 만큼 의존도가 높고, 없어서는 안 될 소중한 자원입니다.

제주에서는 제주특별법과 지하수관리조례를 통해 지하수를 철저히 관리해 나가고 있으며, 지하수보전구역 내에서의 개발행위를 제한하고 있습니다.

그동안 지하수 사용량이 꾸준히 증가하고 있는 반면 최근 이상기온에 따른 가뭄으로 지하수 수위가 낮아짐에 따라 지하수 보존을 위한 사용량 조절과 대체 수자원 확대 필요성 등이 제기되어 왔습니다.

여름 장마 이후 회복되었지만 변동성이 커진 지하수위를 사전에 예측하기 위한 연구뿐 아니라 지하수의 안정적 이용관리를 위한 대응도 요구되고 있습니다.

이번 포럼은 '글로벌 환경변화 대응 지하수 중요성과 현안과제', '일본 먹는샘물 시장 동향 및 먹는샘물 취수원 보전관리 방안', '제주 지하수 미래를 위한 과제'등의 세션으로 진행됩니다.

세계 각 지역의 지하수 관리 사례를 공유하고, 지하수 관리 방안에 대해서도 활발한 논의가 이뤄질 것입니다.

이 포럼을 통해 제주 지하수의 소중함을 다시 한번 일깨우며, 우리의 소중한 자산으로 가꿔나갈 수 있는 해법이 모색되길 바랍니다.

제주 지하수를 중심으로 국제사회 물문제 해결에도 힘을 모으는 자리가 되길 기대합니다.

감사합니다.

주특별자치도의회 의장 기 개 중

## ⓒ 축사

안녕하십니까? 한국지하수토양환경학회장을 맡고 있는 김형수입니다.

무엇보다 개인적으로 우리나라는 물론 아마도 세계에서 가장 지하수를 현명하게 이용하고, 아끼며 진심어린 마음으로 관리해나가는 제주특별자치도, 제주특별자치도개발공사, 제주연구원의 큰 행사인 제주물 세계포럼에서 축사를 할 수 있어 영광으로 생각합니다.

2009년부터 지금까지 꾸준하게 이어져 오는 이 행사는 제주도의 지하수 사랑을 단적으로 보여주는 증거가 아닐까 싶습니다. 이 자리를 마련하여 주신 모든 분들께 우리나라 지하수의 대표학회인 한국지하수토양환경학회의 모든 회원님들과 함께 감사의 말씀을 드립니다.

특히 이번 포럼의 주제인 '변화의 노력, 지하수의 새로운 미래'는 우리가 지금부터 직면해야 할 중요한 문제를 명확하고도 함축적으로 지적하고 있습니다. 어느 사회나 변화가 요구될 때 그 변화를 위해서는 누군가의 보이지 않는 노력이 필요합니다. 만약 지금과 같은 급격하고도 큰 기후와 환경의 변화 앞에서는 더 큰 노력이 필요할 수밖에 없으며, 이러한 노력은 한두명의 노력만으로는 충분할 수 없습니다. 따라서 이 자리는 여기 모이신 분들은 물론 이 자리에 함께하지는 못하셨지만, 물을 사랑하는 모든 분들이 머리를 맞대고 노력하자는 결의의 자리라는 생각도 하게 됩니다.

제주도의 물은 지하수고 그 물의 현명한 개발·이용과 보전·관리는 제주도민의 생존과 직결되는 절대 가치라는 것은 이 자리에 계신 모든 분이 동의하여 주시리라 믿습니다. 제주도의 물, 지하수는 모든 사람, 그리고 제주도의 모든 생명의 시작이며 끝이라고 저는 생각합니다. 그럼에도 불구하고 제주도의 물, 지하수는 다양한 위협에 직면하고 있고 이 위협을 슬기롭게 해결하기 위한 자리가 바로 이 자리, 제주물 세계포럼일 것입니다. 따라서 우리 모두는 한마음으로 이 문제에 대한 공통 가치 인식과 협조 그리고 필요하다면 양보를 통한 해결 방안을 찾아야 할 것이며, 여기 계신 모든 분들은 충분히 이를 수행해 나가실 것이라고 생각합니다.

우리가 여기서 하는 발표와 토론 그리고 지식의 공유와 기관 단체의 협력을 통해 제주도의 물, 지하수의 가치와 중요성이 재조명되기를 진심으로 기원합니다. 이 포럼은 제주삼다수와 같은 우수한 청정 수자원에 대한 인식과 사랑을 넓혀갈 계기가 되고 제주도의 발전과 제주도민의 행복에 지하수가 항상 함께 할 수 있는 방안을 찾아내는 싱크 탱크가 되기를 진심으로 기대합니다. 오늘 이 자리가, 제주도민들께서 지구상에서 가장 순수하고 생명력 넘치는 제주도의 물, 지하수를 현명하게 이용하고 보전 관리해 나갈 수 있도록 이 자리의 모든 분들이 귀한 지식과 의견을 제공하여 주시길 다시 한번 기대합니다. 또한 이번 행사가 마지막까지 한순간 한순간 의미있는 일들로 채워져 돌아가시는 모든 분들이 흐뭇하고, 제주도민들도 이 행사를 감사해하는 성공적인 자리가 되기를 마음을 모아 기원합니다.

모든 행사는 무대 뒤에서 노심초사 행사를 준비해 주시는 분들의 노고를 통해 이루어집니다. 다시 한번 저는 이 행사를 위해 보이지 않는 곳에서 땀 흘리시고, 고생하신 분들께 누구보다 감사하다는 말씀을 전하고 싶습니다.

다시 한번 이번 행사를 진심으로 축하드리며, 이번 포럼이 모두에게 유익하고 생산적인 시간이 되길 바랍니다.

감사합니다.

한국지하수토양환경학회장



### 행사개요

행사명	제13회 제주물 세계포럼
일 시	2023. 9. 19.(화) ~ 20. (수)
장 소	제주국제컨벤션센터 5층 탐라홀
주 최	제주특별자치도, 제주특별자치도개발공사, 제주연구원
주 관	제주특별자치도개발공사
후 원	환경부, 유네스코 파리본부, 국제수리지질학회(IAH), 한국지질자원연구원(KIGAM),
	한국지하수토양환경학회(KOSSGE), 한국환경공단
주 제	변화의 노력, 지하수의 새로운 미래

## Overview

Title The 13th Jeju Water World Forum

**Date** 2023. 9. 19.(Tue) ~ 20.(Wed)

Venue Jeju International Convention Center(ICC JEJU) 5F Tamna Hall

Host Jeju Special Self-Governing Province

Jeju Special Self-Governing Province Development Co.(JPDC)

Jeju Research Institute(JRI)

Organizer Jeju Special Self-Governing Province Development Co.(JPDC)

**Support** Ministry of Environment

**UNESCO** 

International Association of Hydrogeologists(IAH)

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM) Korean Society of Soil and Groundwater Environment(KOSSGE)

Korea Environment Corporation

**Theme** Efforts of Change, New Future of Groundwater

## **ৣ제주물**세계포럼

### 프로그램



DAY1 09. 19@ 14:00~14:30 개회식

14:30~14:55

기조강연

글로벌 환경변화 대응 지하수의 중요성과 현안과제

윤성택 고려대학교 교수

14:55~16:15 세션 1 | 글로벌 지하수 보전을 향한 가속

국제사회 지하수의 미래가치와 역할

**크리스토프 벤던버그** 유네스코 세계지질공원 사무국 지구과학·지질공원 과장

물 문제 극복을 위한 몽골 지하수의 중요성과 지속가능성

부얀히식 네멜 몽골국립과학기술대학교 교수

미래 환경변화에 따른 호주의 지하수 및 수자원 관리 기술

프란시스 츄 호주연방과학연구기구(CSIRO) 수문학 그룹 리더

몰타 섬지역 지하수의 가치 및 지속가능한 지하수 보전· 관리 방안

마이클 샘브리 에너지수자원청 최고 정책 책임자(물)

16:15~16:30 휴식

일본 먹는샘물 시장 동향 및 먹는샘물 취수원 보전관리 방안

**가와사키 마사토시** 산토리 글로벌 이노베이션 수석연구원

베트남 먹는샘물 시장 동향과 전망

**따이 딴 뚜이 오앙** 호치민 시티대학교 학과장/부교수

먹는샘물 지속가능성 확보를 위한 지하수 보전 관리 기술

김용철 한국지질자원연구원 책임연구원

인공지능 기법을 활용한 제주삼다수 먹는샘물 취수원 보전 관리 기법

신문주 제주특별자치도개발공사 선임연구원

DAY2 09. 20⊕

09:30~11:20 특별세션 | 제주지하수 미래를 위한 전문가 토크

제주 지하수 미래를 위한 과제

**좌장** 박원배 제주연구원 제주지하수연구센터 센터장

패널 황세호 한국지질자원연구원 부원장 | 고기원 제주곶자왈연구소 곶자왈연구소장

이강근 서울대학교 교수 | 서상기 한국농어촌공사 농어촌연구원장

11:30~12:00 고객감사이벤트 | 고객 공모전 시상

13:00~17:00 필드트립



### **Program**



DAY1 09.

14:00~14:30 Opening Ceremony

14:30~14:55 Keynote Speech

The Importance of Groundwater in Response to Global Environmental Change Seong-Taek Yun Professor, Korea University

14:55~16:15 Session 1 Acceleration towards Global Groundwater

The Future Value and Water Management Partnership of Groundwater
Kristof Vandenberghe Chief of Earth Science and Geoparks Section, UNESCO Global Geoparks Secretariat

The Importance and Sustainability of Groundwater in Mongolia to Overcome Water Problems Buyankhishig Nemer Professor, Mongolian University of Science and Technology

Climate Change, Water Resources Management, and Groundwater in the Murray-Darling Basin, Australia Francis Chiew Hydrology Group Leader, CSIRO Australia

Value of Groundwater in Malta Island Sustainable Groundwater Management Michael Schembri Chief Policy Officer(Water), Energy and Water Agency

16:15~16:30 Break Time

16:30~17:50 Session 2 | Acceleration towards Sustainability of Bottled Water

Trend of Bottled Water Market in Japan and Sustainable Water Source Conservation Management Masatoshi Kawasaki Principal Researcher, Suntory Global Innovation Center Ltd.

Trends and Forecasts of Vietnam Bottled Water Market

Thi Thanh Thuy Hoang Dean/Assoc. Prof, Hochiminh City University

Groundwater Conservation Management Technology for Sustainability of Bottled Water Yong-Cheol Kim Principal Researcher, KIGAM

Jeju Samdasoo Bottled Water Source Management Techniques of Using Ensemble Artificial Intelligence Mun–Ju Shin Senior Researcher, JPDC

DAY2 09. 20®

09:30~11:20 Special Session | Expert Talk for Jeju Groundwater Future

Finding Tasks for the Future of Jeju Groundwater

Chairman Won-bae Park Head of Center, Groundwater Research Center, JRI

Panelists Seho Hwang Vice President, KIGAM

Giwon Koh Gotjawal Research Director, The Gotjawal Trust of Jeju

Kang-kun Lee Professor, Seoul National University

Sangkee Seo Director-General of Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

11:30~12:00 Side Event | Jeju Samdasoo Custom Award

13:00~17:00 Field Trip

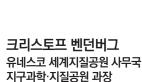
## 연사소개 | Speakers & Panelists





**윤성택** 고려대학교 교수

Seong-Taek Yun
Professor, Korea University







부**안히식 네멜** 몽골국립과학기술대학교 교수

**Buyankhishig Nemer**Professor, Mongolian University
of Science and Technology



프란시스 츄 호주연방과학연구기구(CSIRO) 수문학 그룹 리더

Francis Chiew Hydrology Group Leader, CSIRO Australia



마이클 샘브리 에너지수자원청 최고 정책 책임자(물)

**Michael Schembri** Chief Policy Officer(Water), Energy and Water Agency



**가와사키 마사토시** 산토리 글로벌 이노베이션 수석연구원

Masatoshi Kawasaki Principal Researcher, Suntory Global Innovation Center Ltd.



따이 딴 뚜이 오앙 호치민 시티대학교 학과장/부교수

Thi Thanh Thuy Hoang Dean/Assoc. Prof., Hochiminh City University



<mark>김용철</mark> 한국지질자원연구원 책임연구원

Yongcheol Kim Principal Researcher, KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)



신문주 제주특별자치도개발공사 선임연구원

Mun-Ju Shin Senior Researcher, JPDC (Jeju Special Self-Governing Province Development Co.)



**박원배** 제주연구원 지하수연구센터장

Won-bae Park
Head of Center, Groundwater Research
Center, JRI(Jeju Research Institute)



황세호 한국지질자원연구원 부원장

Seho Hwang Vice President, KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)



고기원 제주곶자왈공유화재단 곶자왈연구소장

**Giwon Koh** Gotjawal Research Director, The Gotjawal Trust of Jeju



이강근 서울대학교 교수

Kang-kun Lee Professor, Seoul National University



서상기 한국농어촌공사 농어촌연구원장

Sangkee Seo Director-General of Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation





## 글로벌 환경변화 대응 지하수의 중요성과 현안과제

The Importance of Groundwater in Response to Global Environmental Change



**윤성택** 고려대학교 교수

**Seong-Taek Yun**Professor, Korea University

#### 학력

· 고려대학교 이학사, 이학석사, 이학박사

### 경력

- · (2020-) 한국환경한림원 정회원
- · (2019-) Journal of Hydrology 부편집장
- · (2013-) 환경부 중앙환경정책위원
- · (1996-) 고려대학교 교수
- · (2019-2020) 한국지하수토양환경학회장

### 수상

- · (2018, 2020) 고려대학교 석탑연구상
- · (2018) 환경부장관표창
- · (2013) 대통령표창

### Education

· B.S., M.S., Ph.D, Korea University

### Professional Experience

- · (2020-) Member, Korean Academy of Environmental Science
- · (2019-) Associate Editor, Journal of Hydrology
- · (2013-) Member, Environment Policy Steering Committee
- · (1996-) Professor, Korea University
- · (2019–2020) President, Korea Society of Soil and Groundwater Environment(KOSSGE)

### Awards

- $\cdot$  (2018, 2020) "Seoktap" Research Award of Korea University
- · (2018) Korea Minister of Environment Award
- $\cdot$  (2013) Korea President Award

### 글로벌 환경변화 대응 지하수의 중요성과 현안과제

전 세계 많은 국가에서 지하수는 쉽게 구할 수 있는 가장 큰 담수 공급원이다. 전 세계 약 50억명의 인구가 지하수에 의존하고 있다. 추출된 지하수의 70% 이상이 관개에 사용되며, 많은 국가에서 지하수는 가정용 물 수요의 약 80%를 공급한다. 이 러한 지하수에 대한 의존도는 토지 이용의 변화와 인구 증가로 인해 앞으로 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그러나, 지하수 자원에 대한 문제와 오염 및 과도한 개발에 대한 취약성이 점점 더많이 인식되고 있다.

가장 큰 관심사 중 하나는 미래 환경 변화가 수자원에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 이해하고 예측하는 것이다. 특히, 전세계 기후 변화는 수문 순환에 영향을 미쳐, 지표수 수위와 지하수 재충전을 변화시켜 자연 생태계와 인간 활동에 다양한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 유엔 세계 물 개발 보고서(UNWWAP, 2016)는 2030년까지 전 세계가 40%의 물 부족에 직면할 것으로 예상했다. 지구 기온 상승, 도시화 확대, 인구 증가로 인해물 부족이 더욱 심화될 것으로 예상된다. 글로벌 물 위기는 시급한 사안이며, 글로벌 솔루션을 식별하고, 우선순위를 정하며, 가속화하기 위한 혁신이 필요하다. 하지만, 지하수의 양과 질이인간 활동과 결합된 기후 변화에 어떻게 반응할지에 대한 지식

은 여전히 충분치 않다. 그럼에도 불구하고, 물 관리자 및 정책 입안자들은 식수, 농업 및 산업 활동에 대한 수요를 충족하고, 생태계를 유지하며, 기후 변화와 인간 활동의 영향을 완화하는 데 있어서 지하수 자원의 중요한 역할을 인식하고 있다. 지하수 에 대한 기후변화의 가장 중요한 잠재적 영향 가운데 하나는 지 질학적 및 인위적 오염물질에 의한 오염 증가이며, 이는 토지 이 용 변화가 뚜렷한 지역에서 더 분명하게 나타날 수 있다. 특히, 기후변화는 전 세계적으로 시급한 문제가 되고 있는 지하수 질 산염 오염에 큰 영향을 미칠 것입니다. 토지 사용과 더불어 무 기 및 유기 비료의 사용을 지속 가능하게 관리하지 않으면, 미 래 기후 변화는 특히 농업 지역에서 지하수 수질에 심각한 영 향을 끼칠 것으로 예상된다. 대수층에 미칠 수 있는 장기적 영 향을 고려할 때, 보호조치는 주로 예방에 초점을 맞춰야 한다. 이번 논의에서, 우리는 기후변화, 토지 이용 변화, 인구 증가 등 지구적 또는 지역적 (특히 제주도) 규모의 미래 환경 변화에 대 응하기 위하여, 지속가능한 지하수 관리를 위한 방향과 수자원 관리에서 지하수의 중요성에 대해 다룬다.



# The Importance of Sustainable Groundwater in Response to Global Environmental Change

In many countries around the world, groundwater is the largest source of readily available freshwater supply. Around 5 billion people worldwide depend on groundwater. More than 70% of extracted groundwater is used for irrigation, and groundwater supplies approximately 80% of domestic water needs in many countries. This dependence on groundwater is expected to increase further in the future due to land use changes and population growth. However, problems with groundwater resources and their vulnerability to pollution and over-exploitation are increasingly recognized.

One of the biggest concerns is understanding and predicting the potential impacts of future environmental changes on water resources. In particular, global climate change is expected to affect the hydrological cycle, altering surface water levels and groundwater recharge to aquifers, resulting in a variety of impacts on natural ecosystems and human activities. The UN World Water Development Report (UNWWAP, 2016) projected that the world could face a 40% global water deficit by 2030. The water deficit is projected to increase with increasing global temperatures, expanding urbanization, and population growth. The Global Water Crisis is urgent and requires innovation to identify, prioritize and accelerate global solutions. However, knowledges are still lacking on how groundwater quantity and quality will respond to climate change combined with human

activities. Nevertheless, water managers and policy makers are recognizing the important role of groundwater resources in meeting demands for drinking water, agriculture and industrial activities, maintaining ecosystems, as well as mitigating the impacts of climate change and human activities. One of the important potential impacts of climate change on groundwater is increased contamination by geological and anthropogenic contaminants, which may be more evident in areas with pronounced land use changes. In particular, climate change will have a significant impact on groundwater nitrate contamination, which has become an urgent problem worldwide. If the use of inorganic and organic fertilizers along with land use is not managed sustainably, future climate change is expected to have a serious impact on groundwater quality, especially in agricultural areas. Considering the possible long-term impacts on aquifers, protective measures should primarily focus on prevention.

In this talk, we discuss the importance of groundwater in water resource management and directions for sustainable groundwater management in order to respond to future environmental changes on a global or regional scale (especially Jeju Island) such as climate change, land use change, and population growth.



### 국제사회 지하수의 미래가치와 역할

The Future Value and Water Management Partnership of Groundwater



**크리스토프 벤던버그** 유네스코 세계지질공원 사무국 지구과학·지질공원 과장

### Kristof Vandenberghe

Chief of Earth Sciences and Geoparks Section, UNESCO Global Geoparks Secretariat

현재 지구과학·지질공원 과장으로 재직 중이며, 이전에는 유네 스코 자연과학부문 사무국장 및 유네스코 사무총장실 과학 고 문으로 있었다.

2011년 전략기획부서에 들어오며 유네스코에 합류하였다. 벨기에 플란더스 정부 농수산부 연구개발국을 시작으로 유네스코, OECD, 유럽평의회에서 플란더스 정부 대표 외교관으로 일하며 경험을 쌓았다. 겐트대학교에서 생명공학 전공으로 학위를 받았다.

Chief of the Earth Sciences and Geoparks Section. Before that he was Chief of the Executive Office of the Natural Sciences Sector of UNESCO and science advisor in the cabinet of the Director-General of UNESCO.

Kristof joined UNESCO in 2011 in the Bureau for Strategic Planning. He started his career in the Research and Development Department of the Ministry of Agriculture and Fisheries of the Government of Belgium and Flanders, and worked as a diplomat representing the Flemish Government to UNESCO, the OECD and the Council of Europe. He obtained a degree in bioscience engineering at the University of Ghent.





### 물 문제 극복을 위한 몽골 지하수의 중요성과 지속가능성

The Importance and Sustainability of Groundwater in Mongolia to Overcome Water Problems



**부얀히식 네멜** 몽골국립과학기술대학교 교수

### Buyankhishig Nemer

Professor, Mongolian University of Science and Technology

### 회원자격

- · 자연환경관광부 과학기술위원회 위원
- · 자연환경관광부 수자원 및 기술위원회 위원
- · 국립지질조사국 편집위원
- · 국제 수문지질학자협회 회원
- · 몽골 수문지질학자협회 설립자 겸 회원

#### 이전 학계 경력

- · (2020.04-) 몽골과학기술대학교(MUST) 지질학 및 광업공학 부 지질학 및 수리지질학과 교수
- · (2014.08-2020.04) 지질학 및 광업공학부 부학장

### 이전 관련 연구

- · (2019.08-2020.01) 몽골 에르데넷 광업 자금지원을 받은 "광 산 광미댐 정밀 수문지질학 연구" 프로젝트의 연구책임자, 몽 골 에르데넷 지역
- · (2019.06-2019.09) 자연환경관광부 광업기반시설 투자지원 사업 "고비사막 남부지역 솜 센터(Soum Center) 및 취락지역 식수 수질조사" 프로젝트 연구책임자
- · (2019.04-2020.03) 미 국무부 울란바토르 주재 미국 대사관 공보과에서 스몰펀드로 지원한 "UB 지하수 VOC 오염 조사" 프 로젝트 연구책임자

### Membership

- · Member, Water Resources and Technical Council at Ministry of Nature, Environment and Tourism
- Member, International Association of Hydrogeologists
- · Member and founder, Mongolian Association of Hydrogeologists

#### Previous Academic Experience

- · (2020.04–) Professor, Department of Geology and Hydrogeology, School of Geology and Mining Engineering, MUST
- $\cdot$  (2014.08–2020.04) Deputy director, School of Geology and Mining Engineering

#### Relevant Previous Research

- · (2019.08–2020.01) Principle investigator at "Detailed hydrogeological research for mine tailing dam" project funded by Erdenet Mining Corporation, Erdenet, Mongolia.
- · (2019.06-2019.09) Principle investigator at "Drinking water quality research of the soum centers and settled areas in the south Gobi region" project funded by Ministry of Nature, Environment and Tourism, Mining Infrastructure Investment Support Project
- · (2019.04–2020.03) Principle investigator at Investigate VOC contamination of UB groundwater project funded by Small fund, United States Department of State, U.S. Embassy Ulaanbaatar, Public Affairs Section.

### 물 문제 극복을 위한 몽골 지하수의 중요성과 지속가능성

몽골은 중앙아시아 북동부, 중국과 러시아 사이에 위치한 내륙국입니다. 평균 해발 1580m의 고지대에 위치하고 있으며시베리아 타이가와 중앙아시아 사막 사이의 전이대(transition zone)를 형성하고 있습니다. 또한 형태학적 다양성이 매우 높아 평원, 언덕, 높은 산까지 다양한 지형이 있습니다. 지리적 조건 때문에 몽골의 수자원은 제한적이고 전국적으로 고르지 않게 분포되어 있습니다. 몽골의 총 수자원은 599km³로 추정되며 83.7%는 3500곳의 호수에, 10.5%는 262개의 빙하에, 5.8%는 3811곳의 강에 있습니다. 몽골의 총 지하수 자원은 약 12km³로 추정됩니다(몽골의 지표수, 1999).

몽골의 기후는 극도의 대륙성 기후로 일교차가 크고 연간 강수량이 적습니다. 주요 연간 강수량은 고비 사막 남부의 경우 50mm 미만에서 몽골 북서부 산악 지역의 경우 400mm 이상 입니다. 지표수는 기후 조건에 취약합니다. 지하수는 강 흐름의 변동성과 겨울철 강 결빙으로 인해 몽골의 주요 식수 및 공업용수 공급원입니다(몽골 수자원 시스템 및 관리 개요, 2020). 소비되는 물의 80%가 지하수에서 공급되며, 지하수는 몽골에서 가장 중요한 수자원입니다. 모든 사회경제 부문은 지하수의 가용성에 의존하고 있습니다.

지하수의 양과 질은 국가의 지질 환경에 따라 달라집니다. 몽골의 지질학은 시생대 말기 대륙괴(craton) 사이에서 중앙아시아가 어떻게 형성되었는지를 잘 보여주고 있습니다. 기반(basement complex)은 선캄브리아의 변성암과 결정암으로 구성되어 있고 대부분이 고생대의 해양 퇴적물과 화산암이며, 대(platform)는 페름기, 중생대 또는 신생대의 '밀폐 혹은 피복' 층으로 덮여 있습니다. 지하수 공급의 대부분은 북부 지역의 제4기 충적 퇴적물에서 나옵니다. 이러한 퇴적층이 존재하지 않거나 충전이 불충분한 곳에서는 다른 대수층이 많이 사용되고있습니다. 몽골의 많은 지역에서 백악기 퇴적물이 가장 중요한 대수층이며, 특히 몽골 남부에서는 목축업자들이 이 대수층에 의존하고 있습니다. 몽골 전 지역에 대해 1:1,000,000 및 1:500,000 축척의 수문지질학적 매핑이 완료되었으나, 지하수 수량과 수질에 지하수 조사가 불완전하여 국가 차원에서의

1:200,000 축척 수문지질 매핑은 이루어지지 못했습니다. 몽 골의 지하수 시스템에 대한 전반적인 이해와 잠재력을 보완하기 위해 추가 측량과 조사가 필요합니다.

몽골의 물 사용자는 지하수에 의존하고 있으며, 지하수의 흐름과 가용성은 지표수보다 본질적으로 더 안정적입니다. 몽골의지하수 자원에 대한 평가는 경제 및 사회 활동을 계획하는 데중요합니다. 물 부문에서는 모니터링, 연구, 데이터 수집, 정보관리가 극도로 분산되어 있고 제대로 관리되지 않고 있습니다. 인구가 계속 증가하고 수자원에 대한 수요가 증가함에 따라 의사결정자들이 다양한 수요를 지속적으로 충족시키는 충분한 양의 물을 공급할 수 있고 신뢰할 수 있는 수원을 개발하는 데 어려움이 있습니다.

현재 몽골에는 물 관리 문제에 대한 통합된 제도적 인프라가 완전하게 구축되어 있지 않습니다. 자연환경부는 자연 보전을, 농림축산식품부는 농촌 용수 공급을 담당하는 등 여러 정부 부처에서 물 문제를 각각 담당하고 있습니다. 물 부족 문제는 지하수에 대한 인간 수요와 이를 양적, 질적으로 만족시키지 못하는 지하수의 가용성 사이의 격차로 인해 발생하고 있으며, 이는 몽골의 물 공급과 지속 가능성에 대한 근본적인 문제입니다.

지하수는 숨겨진 자원이고 눈에 잘 띄지 않기 때문에, 사회와 의사결정자가 관련 문제를 해결하기 위해 함께하는 것이 쉽지 않습니다. 훌륭한 관리는 훌륭한 과학을 기반으로 해야 합니다 (예: 상파울루-브뤼셀 지하수 선언).



# The Importance and Sustainability of Groundwater in Mongolia to Overcome Water Problems

Mongolia is a landlocked country located in Northeast Central Asia, between China and Russia. It is situated at a high elevation, with an average altitude of 1580m above sea level, and forms the transition zone between the great Siberian taiga and the Central Asian desert. There is a great morphological diversity ranging from hilly and flat plains to high mountains. Due to the geographic conditions, the water resources of Mongolia are limited and unevenly distributed around the country. The total water resource of Mongolia is estimated as 599km³: 83.7% is in 3500 lakes, 10.5% in 262 glaciers, and 5.8% in 3811 rivers. The total groundwater resource of Mongolia is estimated to be almost 12km³ (Surface Water of Mongolia, 1999).

The climate of Mongolia is extremely continental with high daily and annual temperature fluctuations and low precipitation. The main annual precipitation ranges from less than 50mm in the southern Gobi to more than 400mm in the mountainous area of northwestern Mongolia. Surface water is vulnerable to climatic conditions. Because of the variability of river flows and the freezing of rivers in winter, groundwater is Mongolia's main water source for drinking and industrial water (Overview of Mongolia's water resources system and management, 2020). Eighty percent of the water consumed is provided from groundwater. Groundwater is the most important water source in the country. All socio-economical sectors depend on the availability of groundwater for their activities.

Groundwater quantity and quality depend on the geological setting of the country. The Geology of Mongolia reflects the development of Central Asia between the cratons formed at the end of the Archean. Basement complexes consist of metamorphic and crystalline rocks of the Precambrian, and mainly oceanic sediments and volcanic rocks of the Paleozoic. Platform cover with "enclosed or covering layers" of Permian, and Mesozoic or Cenozoic age. Most of the groundwater supply is from Quaternary alluvial sediments in the northern part. Where these do not exist or where the recharge is inadequate, a large number of other aquifers are

being used. In a large part of the country, cretaceous deposits are the most important aquifers—especially in the southern part of Mongolia—as livestock herders depend on them. Hydrogeological mappings with scales of 1:1,000,000 and 1:500,000 have been completed for the entire area. However, due to an incomplete groundwater survey of groundwater quantity and quality, hydrogeological mapping with a scale of 1:200 000 has not been done at the national level. We need to formulate additional surveys and investigations to complement the overall understanding and potential of the groundwater system in Mongolia.

Water users of Mongolia are dependent on groundwater, of which the flow and availability are inherently more stable than that of surface water. The assessment of the groundwater resources in Mongolia is important for enabling the planning of economic and social activities. Monitoring, research, data collection, and information management are highly dispersed and poorly managed in the water sector. As populations continue to grow and demands on water resources increase, decision—makers face challenges in developing reliable sources with sufficient water to continue to meet all the diverse needs.

At present, there are no fully developed integrated institutional infrastructures on water management issues in Mongolia. Also, different governmental ministries take responsibility for water issues e.g. the Ministry of Nature and the Environment is responsible for conservation and the Ministry of Agriculture and Food is responsible for rural water supply. Water scarcity, arising due to the gap between human demand for and the availability of groundwater in the required quantity and qualities, is the fundamental issue of the water supply and sustainability in Mongolia.

Groundwater is a hidden resource largely out of sight, which makes it difficult for society and decision-makers to be engaged in developing solutions to groundwater-related problems. Good management must be based on good science (São Paulo-Brussels Groundwater Declaration).



### 미래 환경변화에 따른 호주의 지하수 및 수자원 관리 기술

Climate Change, Water Resources Management, and Groundwater in the Murray-Darling Basin, Australia



**프란시스 츄** 호주연방과학연구기구(CSIRO) 수문학 그룹 리더

Francis Chiew Hydrology Group Leader, CSIRO Australia

프란시스 츄 박사는 연구, 교육 및 컨설팅, 과학 리더십, 인력 및 프로젝트 관리 분야에서 30년의 경력을 보유하고 있다. 멜버른 대학교에서 15년간의 학계 경력을 쌓은 후 2006년 캔버라에서 과학 리더로 CSIRO에 합류했다. 지난 10년간 수자원 평가, 전 망 및 예측, 기후 변화 적응, 통합 유역 관리 분야에서 30~40명의 수문학자들을 이끌어 연간 총 1천만 호주 달러 이상의 프로젝트를 수행했다.

수문기후 및 수자원, 학제간 연구 분야의 전문 지식으로 국제적으로 높은 평가를 받고 있다. 수문학에 대한 뛰어난 공헌, 특히 사회 이익을 위한 연구 적용에 대한 공로로 국제 수문학 협회(및 유네스코와 WMO)로부터 2022년 볼커 메달(Volker Medal)을 비롯한 다양한 상을 수상하였으며, 프란시스 츄 박사의 연구는 널리 채택되고 인용되고 있다(Google Scholar 인용 횟수 20,000회 이상, h-지수 71).

여러 글로벌 및 국가 물 전문가 위원회의 위원으로 활동하고 있으며, IPCC AR5 및 AR6 평가 보고서의 주 저자이다. 최근에는 호주에서 큰 영향력을 가지는 기후 및 수자원 모델링 이니셔티브와수자원 평가를 주도했으며 남아시아, 중국, 남미에서 협력 프로젝트와 컨설팅을 진행했다.

Dr Francis Chiew has 30 years of experience in research, teaching and consulting, and in science leadership and people and project management. Francis joined CSIRO as a Science Leader in Canberra in 2006, after a 15-year academic career at the University of Melbourne. In the past ten years, Francis has led 30-40 hydrologists working on water resources assessment, forecasting and prediction, climate change adaptation, and integrated basin management, in projects totaling more than AUD\$10m per year.

Francis is highly regarded internationally for his specialist expertise in hydroclimate and water resources and inter-disciplinary research. Francis has received various awards including the 2022 Volker Medal from the International Association of Hydrological Sciences (and UNESCO and WMO) for outstanding contributions to hydrology, particularly the application of research for the benefit of society. His research is widely adopted and cited (more than 20,000 Google Scholar citations and h-index of 71).

Francis is a member of several global and national water expert committees including lead author of the IPCC AR5 and AR6 assessment reports. More recently, Francis has led high impact climate and water modelling initiatives and water resources assessments in Australia, and collaborative projects and consultancies in South Asia, China and South America.



### 미래 환경변화에 따른 호주의 지하수 및 수자원 관리 기술

프란시스 츄 박사는 "호주 머리-달링 분지의 기후 변화, 수자원 관리 및 지하수"에 대해 발표한다.

발표는 세 부분으로 구성되며, 첫 번째는 전 세계의 지표수 및 지하수 특성에 대한 개요이다. 지표수와 지하수의 차이점, 특히 지하수에 비해 상대적으로 풍부한 지표수 데이터와 지하수의 국지적인 규모와 대비되는 수문기후의 지역적, 세계적 특성에 대해 다루고, 기후 변화에 따른 전 지구적 및 지역적 수문기후 의 예상되는 변화에 대해 논의한다. 예상되는 강수량 변화(지중 해, 중앙아메리카, 남반구 중위도 지역의 건조화, 이외 세계 대 부분 지역의 습윤화)는 하천 흐름에서 증폭되고 잠재 증발량의 증가에 따라 완화 또는 강화된다. 연도 간 변동성도 증가할 것 으로 예상되며, 이로 인해 지표수 확보는 감소하지만 지하수에 는 거의 영향을 미치지 않는다.

두 번째로 호주의 주요 수문기후 특성과 호주 남동부의 머리-달 링 분지(Murray-Darling Basin)의 수자원 관리 과제를 소개한 다. 호주의 독특한 수문기후는 세계 다른 지역에 비해 유출 계수가 낮고 경년 변동성이 높으며 강수량 변화에 대한 민감도나 반응이 높으며, 가장 중요한 수문기후 추세는 호주 남부의 하천 유량 감소이다. 이로 인해 호주 남동부가 가진 과제인 인구밀도 가 높고 중요한 농업 지역에서 과도하게 할당된 수자원을 관리해야 하는 상황을 더욱 악화시키고 있다. 또한 기후 변화와 관개, 지역 사회 및 환경 간의 물 공유를 해결하기 위한 물 개혁 및 정책 변경에 대해 설명한다.

세 번째는 호주의 지하수 특성과 이용이다. 회복력, 스트레스 및 지속 가능성을 기반으로 한 지하수 평가 프레임워크를 제시하고 이는 머리-달링 분지의 주요 충적 대수층을 관리하는 데 있어 어려움과 기회를 평가하는 데 사용될 수 있다. 이러한 프레임워크는 다양한 추세, 즉 지하수 관측 수위, 지하수 충전 및 취수, 지속가능 한계, 수질, 지하수 의존 생태계와의 연결성 및 충전/저장 완충 용량을 고려한다. 강수량에 대한 충전 탄력성의 개념을 설명하고 충전 확산에 대한 예상 기후 변화 영향을 제시하며, 지하수 사용을 향상시킬 수 있는 기회에 대하여 관리된 대수층 충전을 통한 물 은행 및 지표수와 지하수의 결합 관리를 통해 논의한다.

# Climate Change, Water Resources Management, and Groundwater in the Murray-Darling Basin, Australia

Dr Francis Chiew will deliver a talk on "climate change, water resources management, and groundwater in the Murray–Darling Basin, Australia".

There will be three parts to the presentation. The first part will provide an overview of surface water and groundwater characteristics globally. Differences between surface water and groundwater will be discussed, in particular the relative abundance in surface water data when compared to groundwater and the regional and global nature of hydroclimate compared to the more local scale of groundwater. Projected changes to global and regional hydroclimate under climate change will be discussed. Projected changes in precipitation (drying in the Mediterranean, central America and mid-latitudes of the Southern Hemisphere, and wetting in most other parts of the world) will be amplified in streamflow, moderated or enhanced by the increase in potential evaporation. The interannual variability is also projected to increase, and this will reduce surface water security but has little impact on groundwater.

The second part will present key hydroclimate characteristics in Australia and water resources management challenges in the Murray–Darling Basin in southeastern Australia. Australian hydroclimate is unique, with low runoff coefficient, high interannual variability, and high sensitivity or response to rainfall change, compared to elsewhere in the world. The most significant hydroclimate trend is the declining streamflow in southern Australia. This exacerbates the already complex challenge of managing overallocated water resources in the highly populated and important agricultural areas in southeastern Australia. Water reforms and policy changes to address climate change and water sharing between irrigation, communities and the environment will be described.

The third part will discuss groundwater characteristics and use in Australia. A groundwater assessment framework based on resilience, stress and sustainability will be presented and used to assess challenges and opportunities in managing key alluvial aquifers in the Murray-Darling Basin. The framework considers trends in observed groundwater levels, groundwater recharge, groundwater extraction, sustainable limits, water quality, connectivity to groundwater dependent ecosystems and recharge/storage buffering capacity. The concept of recharge elasticity to precipitation will be described and projected climate change impact on diffused recharge will be presented. Opportunities to enhance groundwater use, through water banking via managed aquifer recharge and through conjunctive management of surface water and groundwater will be discussed.





### 몰타 섬지역 지하수의 가치 및 지속가능한 지하수 보전·관리 방안

Value of Groundwater in Malta Island Sustainable Groundwater Management



**마이클 샘브리** 에너지수자원청 최고 정책 책임자(물)

**Michael Schembri** Chief Policy Officer(Water), Energy and Water Agency

마이클 샘브리 박사는 몰타 환경에너지기업부 산하 에너지수자 원청(EWA)의 물 관련 최고 정책 책임자로, 국가 물 관리 정책 개 발 및 시행기관과 국가 물 관리 계획 개발기관 내 부서를 조정하 는 역할을 맡고 있다.

또한 현재 수자원 정책 부서에서 시행 중인 정책 지원 프로젝트를 조정하는 일을 하고 있으며, 여기에는 몰타의 강 유역 관리 계획 최적화를 위한 1,700만 유로 규모 LIFE 통합 프로젝트, 기존 수문 모니터링 인프라 업그레이드에 관한 2,100만 유로 결속기금 지원 프로젝트 및 일반 대중에게 지속 가능한 방식으로 수자원을 보존하고 사용해야 할 필요성을 알리기 위한 전국적인 인식 제고 캠페인 개발 등이 포함된다.

지구과학과 지리 정보 시스템 응용 분야를 전공했다. 전략 조정 그룹에서 국가를 대표하고 있으며 물 프레임워크 및 홍수 지침의 구현에 관한 공통 구현 전략 실무 그룹에 대한 몰타의 참여를 조 정하고 있다. Dr. Michael Schembri is the Chief Policy Officer(Water) at the Energy and Water Agency(EWA) within Malta's Ministry for Environment, Energy and Enterprise. In this role, he coordinates the unit within the Agency responsible for the development and implementation of national water management policies and the development of national water management plans.

He also coordinates the policy supporting projects currently being implemented by the Water Policy Unit, including the 17 Million Euro LIFE Integrated Project on the optimisation of Malta's River Basin Management Plan and a 21 Million Euro Cohesion Funded project on the upgrading of the existing hydrological monitoring infrastructure and the development of a nationwide awareness raising campaign to inform the general public on the need to conserve and use our water resources in a sustainable manner.

Dr. Schembri's academic background is in earth sciences and the application of geographic information systems. He fulfils the role of national representative on the Strategic Coordination Group and also coordinates Malta's participation in the Common Implementation Strategy working groups on the implementation of the Water Framework and Floods Directive.

### 몰타 섬지역 지하수의 가치 및 지속가능한 지하수 보전·관리 방안

지하수는 생활 용수, 경제 활동 용수, 농업 용수를 안정적으로 공급할 수 있는 전략적 담수 자원이다. 몰타에서도 지하수를 이용하여 국내 물수요를 60% 이상 해결한다. 공공 상수도 공급의 약35%도 지하수의 몫이다.

그러나 지난 수십 년간 양적으로도 질적으로도 부담에 시달리면 서 수자원에서 지하수가 차지하는 위치가 흔들리고 이에 따라 향후 몰타에서 담수가 안정적으로 공급될지 우려스럽다. 과도한 지하수 개발로 주요 평균해수면대수층(MSLA)계에 염수가 침투하여 지하수 매장량이 점차 염수화되었고, 질산염 등 지표 오염 물질의 용탈로 거의 모든 지하수가 EU 지침에 따라 설정된 수질 기준을 초과하게 되었다.

몰타 공화국의 여러 섬에는 크기와 유형이 다양하고 수문지리학 적으로 뚜렷하게 다른 지하수역 15곳이 존재한다. 가장 중요한 두 곳은 몰타섬과 곤조섬에 있는 평균해수면 대수층계로 몰타에 서 지속가능한 지하수 생산량의 80% 이상을 담당한다. 실질적 으로 몰타의 모든 섬이 그 위에 있다고 할 수 있는 지하수역으로, 해수면에 자리 잡고 있기 때문에 깊은 불포화대로 감싸여 지표 오염 물질로부터 상대적으로 안전하다. 규모가 좀 더 작은 부유 지하수역(PA)은 지표 오염에 더 많이 노출되어 질적으로 열악한 상태이다. 실제로 1990년대까지는 공공 지하수 공급을 담당하 다가 질산염 및 기타 농약 함량이 특히 높아 사용이 중단되었다. 몰타의 입장에서는 높은 곳에 있어 중력만 있으면 자연스럽게 흘 러내리므로 제로 에너지로 수급(생산)할 수 있는 안정적인 수자 원을 오염 탓에 잃게 된 것이다. 공공 지하수 채취소에서 채취하는 지하수 총량이 수년간 내내 감소하는 가운데 특히 대수층계의 전반적인 수질도 하락하여 기존 지하수원 관리 방법은 개선해야 한다. 지하수를 추출하는 비용은 해수 담수화 같은 대체원을 개발하여 물을 생산하는 비용보다 훨씬 낮기 때문에 지하수를 담수 처리한 물로 대체하려면 비용이 발생할 수밖에 없다. 에너지 소비 기준으로 보면, 담수처리로 1㎡의 물을 생산할 때 지하수에서 같은 양을 추출하는 것보다네 배의 에너지가 든다.

지하수가 음용수 공급의 일부를 담당하게 되면 담수 처리된 물에서는 함량이 낮은 중요 미네랄을 공급하기 때문에, "음용수 지침"에 따른 수질을 달성하려고 담수화 과정에 쓰는 에너지를 늘릴 필요가 없다. 따라서 운영 측면에서 보아도 지하수를 계속 사용할 수 있으면 식수 생산에 필요한 비용과 에너지를 아끼게 되므로, 미래를 위해 이러한 전략적 역할을 하는 지하수는 보호해야 마땅하다. 지하수 추출 활동 관리를 개선하여 장기적인 함양률과 연간 지하수 추출 수준 사이 균형을 맞추는 방식으로 평균해수면 대수층계의 저장 능력이 떨어지는 하방 추세를 멈추기 위해 노력해야 한다. 특히 기후 변화가 강우량과 지하수 함양 과정의 변화에 미치는 가시적인 영향을 고려하면 더욱 노력해야할 문제이다.



# Value of Groundwater in Malta Island Sustainable Groundwater Management

Groundwater is undeniably a strategic resource of freshwater for ensuring security of supply for our population, economic activities and agriculture. Groundwater forms an important part of the water resources used to address the national water demand in Malta, accounting for over 60% of the total resource base. Groundwater helps address around 35% of the public water supply.

However, this resource has in the last decades suffered from quantitative and qualitative pressures which have threatened its status, and hence capacity for sustaining Malta's freshwater supply in the future. Over abstraction has resulted in the intrusion of saline waters in the main mean sea level aquifer systems, contributing to the gradual salinization of these important groundwater reserves, whilst the leaching of surface contaminants such as nitrates has resulted in almost all of our groundwaters exceeding quality standards established under EU Directives.

The Maltese islands sustain fifteen hydro-geologically distinct bodies of groundwater of different sizes and typologies. By far the two most important bodies of groundwater are the mean sea level aguifer (MSLA) systems in Malta and Gozo which together provide over 80% of the sustainable yield of groundwater in Malta. These groundwater bodies practically underlie all the islands and are relatively protected from surface contaminants being located at sea-level and hence covered by a deep unsaturated zone. The smaller perched groundwater bodies (PA) which are more exposed to surface contamination exhibit a poor qualitative status. These were utilized for public groundwater supply up to the 1990's following which their use was discontinued due to their particularly high content of nitrates and other agrochemicals. This contamination resulted in the loss for Malta of a reliable water supply which due to its higher elevation could be sourced (produced) at zero energy, since distribution would be only by gravity.

The total volume of groundwater abstracted from public groundwater abstraction statins has also been progressively reduced throughout the years to ensure the better management of existing groundwater sources, but also reflecting the general degradation in the quality of the aquifer systems. Replacement of groundwater by desalinated water comes at a cost for the national water utility, since the cost of abstracting groundwater is significantly lower than that of producing water from alternative sources such as sea—water desalination. In terms of energy consumption, producing 1 cubic meter of desalinated water requires around 4 times the energy required to abstract the same volume of groundwater.

Groundwater is an important component in the drinking water blend, providing important minerals as well as reducing levels of specific parameters in desalinated water, which would otherwise require a more energy intensive desalination process to ensure the achievement of the quality levels required under the Drinking Water Directive. Hence from an operational perspective the continued use of groundwater limits the cost and the energy requirements to produce potable water and therefore has a strategic role which needs to be safeguarded for the future. Efforts are required to curb this downward trend in the reduction of the storage capacity of these mean sea level aquifer systems through the better management of abstraction activities in order to achieve a balance between the long-term rate of recharge and annual abstraction levels. This is particular important with the tangible impacts of climate change on the alteration of rainfall and groundwater recharge processes.



### 일본 먹는샘물 시장 동향 및 먹는샘물 취수원 보전 관리 방안

Trend of Bottled Water Market in Japan and Sustainable Water Source Conservation Management



**가와사키 마사토시** 산토리 글로벌 이노베이션 수석연구원

Masatoshi Kawasaki Principal Researcher, Suntory Global Innovation Center Ltd.

### 학력

· (2005) 교토 대학교 농학 박사

### 경력

· 산토리 글로벌 이노베이션 물 과학 연구소 수석연구원

#### 직무 요약

대학에서 산림수문학을 전공하였으며, 박사 학위 논문은 '산림 상류 유역의 용존 유기 탄소 역학에 대한 수문학 및 생지화학적 제어'이다. 졸업 후 산토리(주) 물과학연구소에서 근무하며 신규 광천수 플랜트의 수원 탐색, 현 공장의 지하수 관리, 수원지 보존의 유효성 평가 방법 개발 등을 담당하고 있다.

### Education

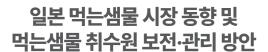
· (2005) Doctor of Agriculture, Kyoto University

### Work Experience

 Principal Researcher, Institute for Water Science, Suntory Global Innovation Center Ltd.

#### **Professional Summary**

I studied forest hydrology in the university. The title of my doctoral dissertation is Hydrological and biogeochemical controls on dissolved organic carbon dynamics in forested headwater catchments. After graduation, I worked for Suntory Ltd. at the Institute for Water Science, where I am engaged in the search for water sources for new mineral water plants, groundwater management at current factories, and the development of methods to evaluate the effectiveness of water source conservation.



물은 순환하는 자원이며 고갈될 가능성은 거의 없습니다. 그렇 다면 왜 물 위기가 발생할까요? 그 이유는 우리가 필요할 때. 필 요한 곳에, 필요한 수질의 물 공급이 필요하기 때문입니다. 이 러한 요구를 충족하는 시스템을 구축하려면 막대한 투자가 필 요하지만 물은 매우 저렴하기 때문에 그러한 투자를 뒷받침할 수 없습니다. 이것이 바로 물 위기가 발생하는 이유입니다. 또 한, 최근 기후변화로 인해 강우량의 시공간적 분포가 급격하게 변화하여, 원래 건조했던 지역에서는 가뭄이 점점 심해지고, 원 래 습했던 지역에서는 폭우가 늘어나는 현상이 발생하고 있습 니다. 물 위기는 앞으로 더욱 심각해질 것으로 예상됩니다. 이 러한 장기적인 변화 뿐만 아니라 지진이나 홍수와 같은 재난이 발생했을 때에도 우리는 물 위기에 직면합니다. 이는 인프라가 잘 발달한 선진국에서도 마찬가지입니다. 이러한 배경을 바탕 으로 일본 생수 시장은 각종 재해나 물 공급 중단의 위험에 직 면할 때마다 성장해 왔습니다. 생수는 음료로서의 매력 뿐만 아 니라 인프라로서의 필요성도 존재할 가능성이 높습니다. 또한 최근에는 환경에 미치는 영향을 줄이기 위해 생수에 대한 수요 가 증가하고 있습니다. 이러한 추세는 특히 Z세대 사이에서 두 드러집니다.

이런 맥락에서 볼 때, 우리는 지하수 이용의 의미와 영향을 이해하고 있으며, 이를 고객과 지역사회에 전달하고 있습니까? 우리의 지하수 사용은 지하수 균형에 약간의 변화를 일으키고, 이러한 변화에는 충전 증가, 배출 감소, 지하수 수위 저하(저장량 감소) 등이 포함됩니다. 지하수 사용으로 인해 이러한 변화가 어떻게 발생하는지 실제 데이터로 보여주는 것은 쉽지 않은데, 지하수의 반응이 매우 느리기 때문입니다. 물 순환 모델은 자연의물 순환을 컴퓨터로 재현한 것으로, 현재 지하수 균형을 이해하고 미래를 예측하며 그 결과를 고객과 지역사회에 알기 쉽게 전달하는 데 사용할 수 있습니다.

본 발표에서는 구마모토 지역의 이와 같은 접근 방식을 적용한 사례를 소개합니다. 구마모토는 산토리의 생수, 맥주, 청량음료를 생산하는 공장이 있는 곳입니다. 구마모토 지역은 수돗물을 100% 지하수에 의존하고 있어 지역 사회에서 지하수에 대한 관심이 높습니다. 우리는 이 지역의 지하수에 어떤 일이 일어날수 있는지 예측하기 위해 분산형 물 순환 모델을 개발하고 민감도 분석을 실시했습니다. 이러한 결과를 바탕으로 우리는 지역이해관계자들과 협력하여 당사 뿐만 아니라 지역사회의 지하수사용의 지속가능성을 확보하기 위해 노력하고 있습니다. 이러한 접근 방식을 통해 유역에서 수자원의 책임 있는 사용을 달성하는 활동에 부여되는 국제 인증을 획득할 수 있었습니다. 산토리 그룹은 고객의 요구에 지속적으로 부응하기 위해 유역 단위의 수자원 지속 가능성 보호 활동의 중요성을 인식하고 있습니다. 지역 사회와 함께 유역 단위의 물 지속 가능성을 위해 노력하는 여러 기업들의 활동이 확대되기를 희망합니다.

# Trend of Bottled Water Market in Japan and Sustainable Water Source Conservation Management

Water is a circulating resource and is unlikely to be depleted. But why is there a water crisis? The reason is that we need water when we need it, where we need it, and in the quality we need. And to build a system to meet these needs requires a great deal of investment, but water is extremely inexpensive and cannot support such an investment. This is why we have a water crisis. In addition, recent climate change has drastically changed the spatiotemporal distribution of rainfall, with areas that were originally dry experiencing increasingly severe droughts, and areas that were originally wet experiencing increasingly heavy rains. The water crisis is expected to become even more severe in the future. Not only such longterm changes, but also we face water crises during disasters such as earthquakes and floods. This is equally true even in advanced countries with well-developed infrastructures. With this background, the Japanese bottled water market has grown every time it faces the risk of some kind of disaster or water supply stops. In addition to its attraction as a beverage, there is likely to be a need for bottled water as infrastructure. Furthermore, in recent years, there has been an increasing demand for bottled water to reduce environmental impact. This trend is particularly noticeable among Generation Z.

In this context, do we understand the meaning and impact of using groundwater, and are we communicating this to our customers and the local community? Our use of groundwater causes some changes in groundwater balance. These changes include increased recharge, decreased discharge, and lower groundwater levels (reduced storage). It is not easy to actually show with data how these changes occur as a result of our use of groundwater. This is because the response of groundwater is extremely slow. A water cycle model is a computergenerated reproduction of the natural water cycle that can be used to understand the current groundwater balance, predict the future, and communicate the results to customers and the local community in an easy—to—understand manner.

In this presentation, I will present an example of such an approach in the Kumamoto region. Kumamoto is located in a plant that produces Suntory's mineral water, beer, and soft drinks. The Kumamoto region depends 100% on groundwater for its tap water source, and the local community is highly interested in groundwater. We have developed a distributed water cycle model and conducted sensitivity analysis to predict what could happen to groundwater in this area. Based on these results, we are working with local stakeholders to ensure the sustainability of groundwater use not only for our own use, but also for that of the local community. These approaches have led to the acquisition of international certification, which is given to activities that achieve responsible use of water resources on a catchment. We, the Suntory Group, recognize the importance of activities to protect water sustainability at the catchment scale in order to continue to meet the needs of our customers. I hope to expand the activities of companies to work with local communities toward water sustainability on a catchment scale.





### 베트남 먹는샘물 시장 동향과 전망

**Trends and Forecasts of Vietnam Bottled Water Market** 



**따이 딴 뚜이 오앙** 호치민 시티대학교 학과장/부교수

Thi Thanh Thuy Hoang
Dean/Assoc. Prof.,
Hochiminh City University

### 최근 연구보조금

- · (2017-2020) 국립과학기술진흥재단, 베트남 남부 연안지역의 다환방향족 탄화수소의 생물축적
- · (2017-2018) 천연자원환경부, 호치민시 지하수 내 독성 중금 속 분포에 대한 인위적 요인의 영향

### 대표출판물 3편

- · (2021, 28:11962-11975) 따이 딴 뚜이 오앙 외. 베트남 깐지 오 습지 하구 및 연안의 표층 퇴적물에서 PAH의 공간적 및 시간 적 변화. 환경과학 및 오염 연구
- · (2014, 225:1940) 따이 딴 뚜이 오앙, 뚜 티 깜 로언: 연안 습지 수질 및 퇴적물에서 일부 약품의 분해, 수질 대기 토양 오염
- · (2012, 20:399-408) 따이 딴 뚜이 오앙 외. 베트남 연안 습지 생태계에서 플루오로퀴놀론계 항생제의 운명. 습지 생태 및 관리

### 수상 경력

· 독일 학술 교류 상, 박사 학위 과정

### Research Grants

- · (2017–2020) National Foundations for Science and Technology Development, Bioaccumulations of polycyclic aromatic hydrocarbons in southern Vietnam coastal area
- · (2017–2018) Ministry of Natural Resources and Environment, The impacts of anthropogenic sources on the distribution of toxic heavy metals in groundwater, Hochiminh City

### 3 best Publications

- · (2021, 28:11962–11975) Thuy HTT et al. Spatial and temporal variations of PAHs in surface sediments of estuarine and coast of CanGio wetland, Vietnam. Environmental Science and Pollution Research
- · (2014, 225:1940) Thuy HTT, Loan TTC: Degradation of Selected Pharmaceuticals in Coastal Wetland Water and Sediments, Water Air Soil Pollution
- · (2012, 20:399-408) Thuy HTT et al. Fate of fluoroquinolone antibiotics in Vietnamese coastal wetland ecosystem. Wetlands Ecology and Management

#### Awards

· The German Academic Exchange Award to pursue PhD studies

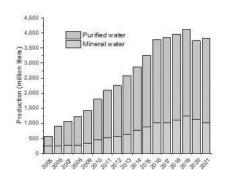
### 베트남 먹는샘물 시장 동향과 전망

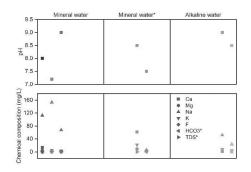
따이 딴 뚜이 오앙, 후인 티엔 닷, 팜 칸 후옌 | 호치민시 천연자원환경대학 | 이메일: thuyhoang.geo@gmail.com

베트남에서 생수(Bottled water)라는 용어는 크게 광천수(Mineral water)와 정수(Purified water) 두 가지로 나눌 수 있습니다. 그러나 많은 경우 고객들은 이 두 가지를 구분 없이 사용하며, 광천수(Mineral water)가 모든 종류의 생수를 통칭하는 일반 용어입니다. 최근에는 생수가 대중화되어 노점, 편의점, 슈퍼마켓, 온라인 쇼핑 플랫폼 등 어디서나 쉽게 구입할 수 있습니다.

베트남 생수 시장은 지난 몇 년 동안 꾸준히 성장해 2022년까지 약 7억 달러에 도달했습니다". 고객들은 '뉴 라이프 트렌드', 특별한 맛, 편리함, 오염되지 않은 상태, 건강상의 이점 등 다양한 이유로 생수를 선택합니다. 베트남에서는 국산 및 수입 생수를 모두 찾아볼 수 있고, 베트남 생수 또한 여러 국가로 수출되고 있습니다. 그러나 두가지 유형의 생수 간에는 시장 점유율에 상당한 차이가 있습니다. 광천수가 가장 큰 부분을 차지하는 반면 정수는 여전히 미미한 수준입니다(그림 1a). 실제로 베트남 광천수의 품질은 수입 브랜드와 동등하며 알칼리수보다 더 우수합니다(그림 1b).

그림 1: (a) 2005년부터 2021년까지 베트남 광천수 및 정수 생산량<sup>2)</sup>;





(b): 알칼리수와 국산 및 수입 광천수의 품질 비교(\*)3)

앞으로도 생수 시장은 베트남에서 가장 역동적인 시장 중 하나일 것이며 2032년에는 연평균 성장률(CAGR) 10%를 기록할 것으로 예상됩니다<sup>4)</sup>. 생수 시장의 동인은 도시와 농촌 지역에 따라 크게 다릅니다. 코로나19 팬데믹으로 인해 고객들이 건강을 중요시하게 된 것이 도시 지역의 생수 시장 성장을 이끄는 주요 요인 중 하나입니다. 농촌 지역에서는 주로 수돗물 공급 인프라가 제한되어 있기 때문에 생수 시장이 발전하고 있습니다. 또한 생수의 '순수성'을 홍보하는 마케팅 캠페인이 소비자들 현혹시키기도 합니다. 그러나 지하수 취수 및 지반 침하와 같은 지하수 자원과 관련된 환경 문제는 베트남 생수 부문에서 여전히 중요한 과제로 남아 있습니다. 지하수로부터 지속 가능한 방식으로 광천수와 정수를 취수해야 하며, 지하수 거버넌스를 더욱 강화하고 국가 의제에 통합해야 합니다.

<sup>1)</sup> https://viracresearch.com/tong-quan-va-trien-vong-thi-truong-nuoc-giai-khat-viet-nam-nam-2022/

<sup>2)</sup> www.gso.gov.vn

<sup>3)</sup> TDS 및 HCO3 는 g/L 단위로 표시됩니다

<sup>4)</sup> https://www.researchandmarkets.com/reports/5806819/vietnam-bottled-water-industry-research-report



### **Trends and Forecasts of Vietnam Bottled Water Market**

Hoang Thi Thanh Thuy, Huynh Tien Dat, Pham Khanh Huyen | Hochiminh City University of Natural Resources and Environment Email; thuyhoang.geo@gmail.com

The term "bottled water" in Vietnam can be divided into two large categories – mineral and purified types. However, in many cases, customers do not differentiate between them, and "mineral water" is the general term used for all types of bottled water. Recently, bottled water has become popular and can easily be purchased everywhere, from sidewalk vendors, convenience stores, supermarkets, and online shopping platforms.

The market for bottled water in Vietnam has been growing steadily over the past few years and has reached around \$700 million USD by 2022<sup>1)</sup>. Customers select bottled water for a variety of reasons, including "new life trend," specific taste, convenience, contamination–free status, and supposed health benefits. Both local and imported bottled waters can be found in Vietnam. In another way, Vietnamese bottled water has been exported to several countries. There is, however, a significant disparity in market share between the two types of bottled water. Purified water appears to be the most significant component, while mineral water remains minor (Fig. 1a). In fact, the quality of Vietnamese mineral water is equivalent to that of imported foreign brands and even better than alkaline water (Fig. 1b).

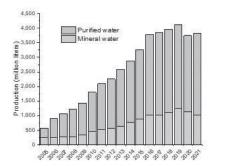
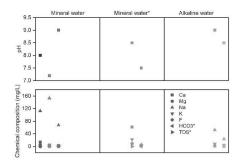


Figure 1: (a) Mineral and purified water production in Vietnam from 2005 to 2021<sup>2)</sup>;



(b): The quality of local and imported mineral waters (\*) in comparison to alkaline water3)

In the future, the bottled water market will continue to be one of the most dynamic in Vietnam and is expected to register a CAGR of 10% in 2032<sup>4)</sup>. The drivers of the bottled water market differ significantly between urban and rural regions. The COVID-19 pandemic has influenced customers to become health-conscious, which is one of the major factors driving the growth of this market in urban areas. In rural areas, the bottled water market develops primarily due to the limited infrastructure for tap water delivery. In addition to that, consumers are manipulated by marketing campaigns that promote the "purity" of bottled water. However, environmental issues concerning groundwater resources, such as groundwater withdrawal and land subsidence, continue to be significant challenges for the Vietnamese bottled water sector. Mineral water and purified water must be extracted from groundwater in a sustainable manner. Furthermore, better groundwater governance must be strengthened and integrated into the national agenda.

<sup>1)</sup> https://viracresearch.com/tong-quan-va-trien-vong-thi-truong-nuoc-giai-khat-viet-nam-nam-2022/

<sup>2)</sup> www.gso.gov.vn

<sup>3)</sup> TDS and HCO3 are shown in g/L

<sup>4)</sup> https://www.researchandmarkets.com/reports/5806819/vietnam-bottled-water-industry-research-report



### 먹는샘물 지속가능성 확보를 위한 지하수 보전관리 기술

Groundwater Conservation Management Technology for Sustainability of Bottled Water



**김용철** 한국지질자원연구원 책임연구원

Yong-Cheol Kim
Principal Researcher, KIGAM
(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

김용철은 대한민국 서울대학교에서 수문지질학 박사학위(2004)를 취득하였다. 2003-2005년, 그는 미국 콜로라도에 위치한 콜로라도 광업대학(Colorado School of Mines)의 CESEP(지표하환경 프로세스 실험 연구 센터)에서 방문학자 겸 박사후 연구원으로 연구하였다. 2005년부터, 그는 대한민국 대전에 위치한 한국지질자원연구원(KIGAM) 지하수환경연구센터에서 연구원으로 재직중이다. 그의 연구 분야는 화산섬 수문지질학, 관리 대수층 재충전(MAR), 연안 대수층 관리, 포화/불포화 다공성/파쇄 매질의 흐름 및 이동, DNAPL문제, 추적자 시험, 현장 특성파악을 위한 수문학적 검사 등이다.

그는 제주 MAR 프로젝트(2007-2011), 온실단지 MAR(2011-2016), 재생수를 활용한 MAR(2019-2020) 등 2007년부터 관리 대수층 충전에 대한 다양한 경험을 가지고 있다. 그는 또한 EU FP6의 ASEMWATERNet 프로젝트에 참여하였고, MAR 전문 가로 MARSOL 프로젝트 국제 자문위원회에 참여하였다. 그는 담수-염수 계면의 동적 변화를 모니터링하기 위한 특별한 센서를 발명하여, 연안 대수층에 염수 침입에 대한 조기 경보 시스템으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

Yongcheol Kim received PhD (2004) in hydrogeology from Seoul National University, South Korea. In 2003–2005, he researched at CESEP (Center for Experimental Study of Subsurface Environmental Processes) in Colorado School of Mines, Colorado, USA as a visiting scholar and post–doctoral researcher. Since 2005, he has been a researcher at department of groundwater, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon, Korea. His research interests include volcanic island hydrogeology, managed aquifer recharge, coastal aquifer management, flow and transport in saturated/unsaturated porous/fractured media, DNAPL problems, tracer tests and hydraulic tests for site characterization.

He has many experiences in managed aquifer recharge (MAR) since 2007 including the Jeju MAR project (2007–2011), MAR in greenhouse complex (2011–2016), MAR with reclaimed water (2019–2020). He also participated in the ASEMWATERNet project of EU FP6 and participated with the international advisory board of MARSOL project as a MAR specialist. He invented a unique sensor for monitoring the dynamic change of freshwater—salt water interface which is expected to be applied for early warning system against salt water intrusion at coastal aquifer.



### 먹는샘물 지속가능성 확보를 위한 지하수 보전관리 기술

제주도민들을 만날 때 종종 "지하수 고갈되지 않아 마씸?" 이런 질문을 받는다. 지하수 고갈은 지속가능하지 않다는 것이고, 그 만큼 제주도민들의 지하수의 지속가능성에 대한 궁금증이 많다 는 것을 반증하는 것이다.

지하수 지속가능성이라 함은 수용할 수 없는 환경적 또는 사회 경제적 결과를 초래하지 않으면서 무한한 시간 동안 그 상태 를 유지될 수 있는 방식으로 지하수 자원을 개발하고 사용하 는 것이라고 미국지질조사소 보고서에서 정의하였다. (USGS Circular 1186, 1999)

지하수는 지하 지질 매체를 흐르는 물이고, 지질매체는 제주 도처럼 화산암으로 구성되기도 하고, 에비앙의 수원지처럼 석회암으로 구성되기도 하며, 변성암일 수도 있고, 아직 고화되지 않은 모래나 자갈로 구성된 빙하 및 하상 퇴적층일 수도 있다. 따라서 먹는샘물의 수원인 지하수의 부존 특성과 물리/화학적 특성을 알려면 지하수가 흐르는 지질매체의 특성을 함께 알아야 한다.

제주도를 예를 들면, 제주도는 지난 2백만년동안 100회 이상 의 화산활동으로 만들어진 화산암 대수층이며, 투수성과 저투수성 화산암층과 퇴적층이 시루떡처럼 교호하지만 공간적 상관성이 작아 불균질성이 매우 높다. 지하수면까지의 불포화대는 매우 두꺼워서, 땅속으로 침투된 빗물이나 눈녹은 물이 지하수면에 도달하는 데 오랜 시간이 걸리지만, 전반적으로 투수성이좋은 성질로 인해 지하수의 전체적인 이동속도는 빠르고, 따라서 물암석 반응 시간이 작아 용존 이온의 농도는 타 지역에 비해 낮은 편이다.

이러한 제주도의 지하수를 지속가능하게 이용하려면 물의 순 환과정 즉 강수, 침투 및 함양, 지표유출, 해저유출 및 증발산 의 전 순환 과정의 각 프로세스에서 보전관리 노력을 해야한다. 취수정의 상류지역에서는 함양량 평가 및 함양지역의 잠재오 염원 관리, 물암석 반응 기작 규명 및 필요에 따라서는 인공함 양 기법을 적용할 수도 있다. 취락지역과 해안지역에서의 지하 수 과잉사용은 상류지역의 지하수 유출속도를 증가시키고, 해 안지역의 해수침투를 유발하여 사용가능한 지하수량이 감소될 수 있다. 따라서 취락지역과 해안지역에서는 지하수 이용량의 총량관리, 지하수 이용량의 시공간적 관리와 해안 대수층의 해 수침투에 대한 모니터링과 예방, 인공함양을 통한 해수침투 저 감, 그리고 염지하수 이용 육상양식장의 이용량 모니터링과 관 리가 필요하다.

삼다수 취수정이 위치한 국립공원 관리 구역 바로 하류의 중산 간 지역은 심도별 대수층의 부존과 투수성질에 대한 과학적 평 가와 삼다수 수질의 기원에 대한 물암석반응 기작 규명, 3개의 취수원의 최적 운영방법, 두꺼운 불포화대의 지중공기열 신재 생에너지 활용 등 수량/수질에 대한 지속가능성 확보 뿐만 아니 라 탄소중립을 향한 노력에 동참하여 전 지구적 기후변화에 대한 지속가능성도 확보하는 노력도 기울어야 할 시간이다.

제주도는 물이 귀한 섬이고, 물 확보가 제일 우선 이슈였다. 제주도에는 척박한 물 이용 환경을 극복하기 위해서 "참항"과 같은 지혜로운 빗물 이용 문화가 있었다. 이제 기후변화의 도전속에서 지속가능성을 확보하기 위해서 "21세기 참항" 기술들을 개발하고 지하수 보전관리에 적용해야 할 때이다.

# Groundwater Conservation Management Technology for Sustainability of Bottled Water

When meeting Jeju residents, I often receive questions like "Aren't you worried about groundwater depletion?" Groundwater depletion is unsustainable, which reflects the strong curiosity of Jeju residents about the sustainability of their groundwater.

Groundwater sustainability is defined as development and use of ground water in a manner that can be maintained for an indefinite time without causing unacceptable environmental, economic, or social consequences (USGS Circular 1186, 1999). Groundwater is water that flows through subsurface geological mediums, which can be composed of materials such as volcanic rock, as found in places like Jeju Island, or limestone, as in the case of Evian's source area. It can also be found in metamorphic rock or in unconsolidated porous medium of sand and gravel in glacial and alluvial sedimentary deposits. Therefore, to understand the characteristics and physical and chemical properties of natural mineral water, the characteristics of the geological medium through which groundwater flows must be taken into consideration.

Taking Jeju Island as an example, it is composed of volcanic rock aquifers formed by over 100 volcanic activities in the past two million years. These aquifers consist of alternating layers of permeable and impermeable volcanic rocks, resulting in high heterogeneity with limited spatial correlation. The unsaturated zone, which is the part from the ground surface to the groundwater table, is quite thick, causing rainwater or melted snow that infiltrates the ground to take a long time to reach the groundwater table. However, due to the overall good permeability characteristics, the groundwater's overall flow rate in Jeju is fast, resulting in shorter reaction times for waterrock interactions. Consequently, the concentration of dissolved ions is relatively low compared to other regions.

To sustainably utilize groundwater in Jeju Island, conservation and management efforts are required at each stage of the water cycle, including precipitation, infiltration and recharge, surface runoff, submarine discharge, and evapotranspiration. In the upstream areas, efforts may involve evaluating recharge rates, managing potential sources of contamination in recharge

areas, and potentially applying artificial recharge techniques as needed. Excessive groundwater use in downstream and coastal areas can increase groundwater discharge rates in upstream regions and induce seawater intrusion in coastal areas, potentially leading to a reduction in available groundwater quantity. Therefore, in downstream and coastal areas, comprehensive management of groundwater pumpage, spatial and temporal management of groundwater pumpage, monitoring and prevention of seawater intrusion into coastal aquifers, reduction of seawater intrusion through artificial recharge, and monitoring and management of groundwater usage in coastal aquaculture facilities are necessary.

The Samdasoo's water intake area, where is mountainous region immediately downstream of the National Park management zone, requires scientific assessment of the depth and permeability characteristics of multiple aquifers, elucidation of the water-rock interaction mechanisms for the origin of Samdasoo's water quality, optimized operation methods for all the Samdasoo's production wells, and utilization of geothermal energy from the thick unsaturated zone. It is imperative to engage in efforts towards carbon neutrality to ensure sustainability in the face of global climate change. It is high time to devote efforts not only to securing sustainability in terms of quantity and quality but also to secure sustainability in the context of global climate change.

Jeju Island was a water scarce island and securing water was the top priority issue. To overcome the challenging water utilization environment on Jeju Island, there has been a wise culture of rainwater harvesting, such as 'Chomhang.' Now, in the face of the challenges posed by climate change, it is time to develop and apply '21st-century Chomhang' technologies to secure sustainability in groundwater conservation and management.





### 인공지능 기법을 활용한 제주삼다수 먹는샘물 취수원 보전 관리 기법

Jeju Samdasoo Bottled Water Source Management Techniques of Using Ensemble Artificial Intelligence



**신문주** 제주특별자치도개발공사 선임연구원

### Mun-Ju Shin Senior Researcher, JPDC

(Jeju Special Self-Governing Province Development Co.)

### 학력

- (2014) 호주국립대학교 수문학 박사
- · (2006) 서울대학교 수문학 석사
- · (2004) 인하대학교 토목공학 박사

#### 경력

- · (2018-2023) 제주개발공사 선임연구원
- · (2015-2018) 한국건설기술원 신진연구원
- · 국제수문지질학회 회원
- · 한국수자원학회 종신회원
- · 대한토목학회 정회원

#### 수상

- (2016, 한국수자원학회) 우수발표 논문상
- · (2015, 서울대학교) 우수논문상

### Education

- · (2014) Ph.D. in Hydrology, Australian National University
- · (2006) M.S. in Hydrology, Seoul National University
- · (2004) B.S. in Civil Engineering, Inha University, Korea

### Professional Experience

- · (2018–2023) Senior Researcher, Jeju Special Self-Governing Province Development Co.
- $\cdot$  (2015–2018) Postdoctoral Researcher, Korea Institute of Civil  $\cdot$  Engineering and Building Technology
- · Member of the International Association of Hydrogeologists(IAH)
- · Member of Korea Water Resources Association
- · Member of Korean Society of Civil Engineers

#### Awards

- · (2016, Korea Water Resources Association) Excellent Research Paper Award
- $\cdot$  (2015, Seoul National Univ.) Excellent Research Paper Award

### 인공지능 기법을 활용한 제주삼다수 먹는샘물 취수원 보전·관리 기법

지하수는 지표수와 더불어 사용가능한 중요한 수자원이며 특히 섬 지역의 경우 대부분 용수를 지하수에 의존하기 때문에 지하 수에 대한 연구는 중요하다. 제주도의 경우 지하수는 전체 수자 원 이용량의 96%(제주도 통합물관리 기본계획 보고서, 2022) 를 차지하는 매우 중요한 수자원이기 때문에 지속적이고 안정 적인 지하수 이용을 위해 과학적 기법을 이용한 지하수 관리는 특히 중요하다. 제주특별자치도개발공사는 제주삼다수 취수원 지하수의 보전 및 관리를 위해 인공지능을 활용하여 제주삼다 수 생산을 위한 취수가 주변지역 지하수위의 변동에 미치는 영 향을 분석하고 있으며 해당 연구내용을 소개하고자 한다.

최신 딥러닝 인공지능(Long Short-Term Memory, LSTM) 을 사용하여 삼다수 취수가 주변지역 2개 관측정 지하수위의 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 인공지능 학습을 통해 관측지하수위의 모의능력을 분석한 결과 매우 높은 모의능력을 나타내어 LSTM의 적용가능성을 확인하였다. 개발한 LSTM을 사용하여 현재 취수량과 취수량이 없다고 가정한 상태에서 취수량이 주변지역 지하수위 변동에 미치는 영향을 분석한 결과 지하수위 변동폭은 미미하였다. 이것은 지하수 영향조사(2023) 및 신문주 등(2020)이 발표한 삼다수 취수원 주변지역 지하수위 변동성은 삼다수 취수량보다 주변지역 강수의 계절적 변동성에 큰 영향을 받는다는 결과를 뒷받침한다.

이와 더불어 취수원 지하수위를 엄격히 관리하기 위해 지난 20년 동안 전세계 다양한 지역의 인공지능 연구결과를 종합적으로 분석하여 인공지능의 지하수위 예측결과의 적절성을 판단할수 있는 평가기준을 개발 및 적용하고 있다. 또한 인공지능 예측결과의 객관성 및 정확성을 확보하기 위해 LSTM 뿐만 아니라최적 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)과 인공지능 앙상블 모델을 개발하여 취수원 지하수위 예측 및 관리에 활용하고 있다. 제주특별자치도개발공사는 고객에게 제주삼다수를 안정적으로 공급하기 위해 향후 지속적으로 과학적 기법을 사용하여 취수원 및 주변지역을 보전 및 관리해 나아갈 것이다.



# Jeju Samdasoo Bottled Water Source Management Techniques of Using Ensemble Artificial Intelligence

Groundwater, akin to surface water, constitutes a crucial water resource. Investigating groundwater holds particular importance in island regions where it predominantly caters to water needs. This is exemplified in the case of Jeju Island, where groundwater represents a substantial 96% of total water consumption (Jeju Island Integrated Water Management Basic Plan Report, 2022). Consequently, employing scientific methodologies for groundwater management is pivotal to ensure its sustainable and stable utilization. Notably, Jeju Special Self–Governing Province Development Co.(JPDC) employs artificial intelligence to conserve and manage the Jeju Samdasoo groundwater source. This includes a meticulous analysis of how water extraction impacts groundwater level fluctuations in and around surrounding areas. Herein, we present an overview of this research endeavor.

This research utilizes cutting-edge deep learning technology, specifically the Long Short-Term Memory (LSTM) model, to meticulously examine the consequences of Samdasoo water extraction on shifts in groundwater levels. This rigorous inquiry focused on two observation wells in the nearby region. Through the application of Al-driven learning, a thorough evaluation of the predictive capacity of observed groundwater levels was undergone. The outcomes of this assessment demonstrated an impressive degree of fidelity, thereby validating the utility of LSTM within this domain. Having established the enhanced LSTM model, a comprehensive analysis of the effects of

water extraction on groundwater level fluctuations within the immediate surroundings was conducted. This investigation encompassed two distinct scenarios: one involving the ongoing water extraction and the other postulating a cessation of these activities. The empirical evidence underscored that variations in groundwater levels were negligible under both conditions. These findings are consistent with the conclusions drawn from the 2023 Groundwater Impact Study and previous research by Shin Moonjoo et al. (2020). Both studies assert that fluctuations in groundwater levels around the Samdasoo water source are predominantly influenced by temporal shifts in regional precipitation patterns, rather than the volume of Samdasoo water subjected to extraction.

A comprehensive analysis of AI research results in various regions of the world over the past 20 years in managing groundwater water levels by developing and applying evaluation criteria to judge the adequacy of AI groundwater level prediction results was then carried out. To ensure objectivity and accuracy of AI prediction results, the Artificial Neural Network (ANN) as well as a number of AI ensemble models for predicting and managing groundwater levels of water sources were developed. JPDC will continue its endeavor to use scientific techniques to conserve and manage the Jeju Samdasoo water source and surrounding areas for secure and stable supply of useable water to its users.

## <sup>줿</sup>제주물 세계포럼



좌장 Moderator



**박원배** 제주연구원 지하수연구센터장

# Won-Bae Park Head of Center, Groundwater Research Center, JRI(Jeju Research Institute)

### 학력

- · (1999) 일본 나가사키대학 수리수문학 박사
- · (1996) 일본 나가사키대학 수리수문학 석사
- · (1994) 제주대학교 이학석사

### 경력

- · (2023-) 제주연구원 연구부원장
- (2020-) 제주연구원 제주지하수센터 센터장
- · (2020-2023.8) 영산강섬진강유역 및 제주권 물관리위원회 위원
- · 한국습지학회 제주지회장
- · 한국지하수토양환경학회 이사
- 대한지질학회 회의 회원
- · 한국수자원학회 회의 회원
- · 한국환경과학회 정회원

#### 수상

- · (2022, 한국지하수토양환경학회) 기술상
- · (2020, 제주학회) 학술상 논문상
- · (2017, 환경부) 환경부장관 표창장

### Education

- $\cdot$  (1999) Ph.D. of Hydrology, Nagasaki University, Japan
- · (1996) Master of Hydrology, Nagasaki University, Japan
- · (1994) Master of Science, Jeju National University

### Professional Experience

- · (2023-) Head of Research Planning, Jeju Research Institute
- · (2020-) Deputy Director, Jeju Research Institute
- $\cdot$  (2020–2023.8) Member of the Presidential Water Commission, Yeongsan and Sumjin River Basin, Jeju Region
- · President of the Jeju Chapter of the Korean Wetlands Society
- Director of the Korean Society of Soil and Groundwater Environment
- · Member of the Geological Society of Korea
- · Member of the Council of the Korea Water Resources
  Association
- · Regular Member of the Korean Environmental Science Society

#### Awards

- · (2022, Korean Society of Soil and Groundwater Environment)
  Technology Award
- · (2020, Jeju Society) Academic Award
- · (2017, Ministry of Environment) Minister of Environment Citation





패널 Panelist



**황세호** 한국지질자원연구원 부원장

# Seho Hwang Vice President, KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

### 학력

- · (1993) 한양대학교 물리탐사 박사
- · (1987) 한양대학교 자원공학 석사
- · (1985) 한양대학교 자원공학 학사

### 경력

- · (2022-) 한국지질자원연구원 부원장
- · (2005-) 한국지질자원연구원 책임연구원
- · (2013-) 과학기술연합대학원대학교 석유자원공학과 교수
- · (2019-2020) 한국지구물리·물리탐사학회 학회장

### 수상

- · (2019) 환경부장관 표창
- · (2018) 한국지구물리·물리탐사학회 학술상

### Education

- · (1993) Ph.D(Exploration Geophysics), Hanyang University, Korea
- $\cdot$  (1987) Msc.Eng(Exploration Geophysics), Hanyang University, Korea
- · (1985) Bsc.Eng(Mining Engineering), Hanyang University, Korea

### Professional Experience

- · (2022-) Vice President, KIGAM
- · (2005-) Principal Research Scientist, KIGAM
- · (2013-) Professor, UST(University of Science and Technology), Korea
- $\cdot$  (2019–2020) President, Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists

#### Awards

- · (2019) Minister of Environment Commendation
- · (2018)Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists, Academic Award

## <sup>줿</sup>제주물 세계포럼



패널 Panelist



**고기원** 제주곶자왈공유화재단 곶자왈연구소장

**Giwon Koh** Gotjawal Research Director, The Gotjawal Trust of Jeju

지난 40여 년 간 제주도의 지하지질구조, 화산활동, 수리지질 등에 관한 연구를 진행하여 60여 편의 학술논문을 발표했고, 단행본 10 권을 저술했다. 2021년 6월 정년퇴직을 한 후, 현재는 제주곶자왈 공유화재단 연구소장으로 재직 중이며, 「영산강·섬진강·제주권」물 관리위원으로 활동 중이다.

대통령직속 지속가능발전위원회 전문위원(2004-2006)과 제주특별자치도 문화재위원(2010-2012) 등을 역임했고, 국무총리표 창(1999), 과학기술우수논문상(2013), 제주도문화상(학술부문, 2020) 등을 수상했다.

Over the past 40 years, I have conducted research on Jeju Island's subsurface geologic structure, volcanic activity, hydrogeology, etc., published over 60 academic papers and authored 10 books. After I retired in June 2021, I am currently serving as the research director of the Jeju Gotjawal Foundation, and I am active as a water management committee member for the Yeongsan River, Seomjin River, and Jeju area.





패널 Pa<u>nelist</u>



**이강근** 서울대학교 교수

Kang-kun Lee Professor, Seoul National University

#### 하려

- · (1992) 미국 Purdue University 박사
- · (1986) 서울대학교 석사
- · (1984) 서울대학교 학사

### 경력

- · (2020-) BK21 서울대학교 지구환경교육연구단 단장
- · (2018-) 한국과학기술한림원 정회원
- · (2018-) Journal of Contaminant Hydrology, Editorial Board
- · (2015-) (재)카오스 과학위원회 위원 및 카오스 재단 이사
- $\cdot$  (1997–) IAHS(International Assoc. of Hydrological Sci.) National Rep.
- · (1993-) 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 조교수, 부교수, 교수

#### 수상

- · (2018) 서울대학교 학술연구상
- (2011, 2016) 국가연구개발 우수성과 100선

### Education

- · (1992) Ph.D.Purdue University, USA
- · (1988) M.S. Seoul National University
- · (1984) B.S. Seoul National University

### Professional Experience

- · (2020–) Director, BK21 SNU School of Earth and Environmental Sciences
- · (2018–) Member, The Korean Academy of Science and Technology
- · (2018–) Editorial Board, Journal of Contaminant Hydrology
- · (2015-) Member, KAOS Science Advisory Board)
- · (1997-) National Rep. IAHS(International Assoc. Hydrological Sci)
- · (1993-) Professor, Seoul National University(SNU)

#### Awards

- · (2018) Seoul National University Academic Research Award
- $\cdot$  (2011, 2016) 100 Outstanding Research Achievements from National R&D Program



패널 Panelist



**서상기** 한국농어촌공사 농어촌연구원장

# Sangkee Seo Director-General of Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

### 학력

- · 광운대학교 지하수환경 박사
- · 서울대학교 지질학 석사, 학사

### 경력

- · (2022.1-) 대한지질학회 이사
- · (1992.3-) 한국농어촌공사 연구원장
- · (2020.10-2022.12) 대한지질공학회 부회장
- · (2020.10-2022.10) 국가물관리위원회 자문위원
- · (2019.1-2021.12) 한국지하수토양환경학회 부회장

### Education

- · Ph.D in Environmental Engineering, Kwangwoon University
- · M.S, B.S in Geology, Seoul National University

#### Professional Experience

- · (2022.1-) Director, The Geological Society of Korea(GSK)
- · (1992.3-) Director-General of Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation
- $\cdot$  (2020.10-2022.12) Vice President, The Korean Society of Engineering Geology(KSEG)
- · (2020.10-2022.10) Consultative Committee, Presidential Water Commission
- · (2019.1–2021.12) Vice President, Korea Society of Soil and Groundwater Environment(KOSSGE)

### The 13th **Jeju Water** World Forum

### MEMO



### MEMO

### MEMO