

# 요 약 문

## I. 제목

“ 경기도 해안지역 지하수의 해수침투 영향 조사 ”

## II. 연구의 목적 및 필요성

현재 지하수가 과도하게 개발되면서 해안지역에서는 대수층내의 담수고갈과 해수침투 현상이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이로 인해 취수정에서는 염분이 검출되고 주변의 생태계가 파괴되는 등 피해사례가 보고되고 있으며 앞으로 더욱 확산 될 것으로 판단된다. 본 연구의 주요 대상인 해수침투는 1992년 이후 제주도를 시작으로 해수침투 관측망이 해안 및 도서지역에 총 192개소가 설치되고 있으며, 향후 2011년까지 연차사업으로 추진 중에 있다. 그러나 사업시작 후 약 10년이 경과한 현재까지 관측망 시설에 대한 효과적인 운영 및 관리 지침 등이 없어 체계적인 사후 관리지원이 부족한 상태이다.

이에 따라 본 연구에서는 경기도 해안지역의 지하수 수질 모니터링을 통한 해수침투 현황조사와 과거 지하수 수질 및 대수층 자료조사를 통한 해수침투 가능성을 알아보고자 하며, 또한 대수층의 해수침투가 생활 및 생태계에 미치는 영향과 대수층의 해수침투방지를 위한 국내외 기술 및 정책에 대하여 조사할 예정이다. 이를 통해 지하수질 및 오염 정도를 규명하고, 이를 바탕으로 해수침투정도를 통해 지하수질의 적정성을 평가하여 제시함으로써, 지하수의 오염특성 및 경로를 이해하고 적정한 해수침투 방지 및 관리대책을 수립하는데 우선적으로 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## III. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 경기도를 대상으로 염수에 의한 지하수 오염 현황 및 저감방안의 마련과 염분의 제거기술의 적용 타당성 분석을 최종 목표로 하여 경기도에 화성시 서신면 제부리의 제부지구와 경기도 평택시 포승면의 포승지구를 대상으로 연구를 진행하였으며, 해수의 침투원인과 경로, 국내외 기술개발현황 및 오염사례의 조사를 통하여 해수침투의 방지 및 관리 대책을 수립하고자 한다. 또한 전기투석 및 이온교환의 실험을 통하여 기술적, 경제적 검토를 통한 오염지역의 해수의 염분을 제거 대책으로서 타당성 검토를 수행하려 한다.

#### IV. 연구결과

지구상의 물의 총량은 약 13.8억km<sup>3</sup>으로 추산되며 이 중에서 약 97.5%가 해양에 존재하고 있다. 담수는 약 4.48%로서 이 중에 대부분이 얼음으로 존재하며 그 외에 실제 이용할 수 있는 물은 담수호, 하천수 및 지하수를 포함하여 약 46.5만km<sup>3</sup>이다. 그러나 각종 용수로 사용할 수 있는 담수는 지역적, 계절적 편중이 심하여 지역에 따라 용수부족 현상을 나타내고 있다.

지하수로의 해수침투는 증발산량에 의한 지하수면의 변화, 조석의 영향, 기후 이상(지구 온난화)으로 인한 해수면 상승 등과 같은 자연적 요인과 연안지역에서 무분별한 지하수 개발에 따른 지하수 수위하강 및 지하수의 고갈 등과 같은 인위적 요인에 의해 염수가 담수 지하수계로 침입하여 발생한다. 해수침투로 인해 지하수 개발이 불가능한 경우에는 내륙에서 연안까지 각종 용수공급을 위한 관개로 시설공사가 필요하며 이는 막대한 비용과 시간이 소요된다. 더욱이, 해수침투로 염수화된 지역의 피해 개선 및 복구에는 천문학적인 비용과 장기간의 복구기간이 소요될 뿐만 아니라 해수침투는 광범위하게 발생하는 특성상 완벽히 복구는 현실적으로 불가능하다. 미국 캘리포니아 주의 경우, 해수침투대의 복원과 관련된 피해개선 사업에서 100m<sup>2</sup>당 염수제거 비용이 4,000천원이 필요한 것으로 추정한다. 해수침투에 개선에 막대한 비용이 소요되는 것을 알 수 있다.

해수침투 조사 계획 중 경기도 권역은 20개 지점의 관측시설이 계획되어 있으며, 2006년까지 강화도 6개, 안산 2개, 화성 4개, 평택 2개 지점 등 총 14개 지점에 설치되었으며, 2006년 경남 거제 신월 관측정을 시흥 관측정으로 이전하여 현재 15개 관측정이 운영 중에 있으며 2007년 김포, 웅진에 각각 1개 관측정을 신규로 설치하였다. 그 중 제부지구의 경우 제부1 관측정의 2007년 평균전기전도도가 1,323 $\mu$ S/cm로 미약한 해수 침투의 영향이 나타났지만, Cl/HCO<sub>3</sub> 몰 비를 분석한 결과 2006년의 42.5에서 2007년에 43.7로 약간 증가하였다. 몰 비에 의한 분류 결과 심각한 해수의 영향을 지시하고 있으므로 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 나타났다.

포승지구의 경우에는 포승1관측정의 2007년 평균 전기전도도가 심도에 따라 각각 2,938과 3,333 $\mu$ S/cm로 해수침투의 영향이 나타나며, Cl/HCO<sub>3</sub> 몰 비를 분석한 결과 2007년에 23.0로 매우 심한 해수침투 현상이 나타남에 따라 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 국내 해안 일대의 해수 침투의 범위는 현황자료 자체가 거의 없으므로 정확하게 설정하는 것이 불가능하나, 대략 해안선 기준 최대 5km까지 침투한 지역이 있을 것으로 유추된다. 현행과 같이 기초지자체 단위의 지하수 관리계획이나 기초조사를 수행할 경우, 해안 지하수 수자원의 관리 차원에서 그 범위가 매우 광역적이므로, 해안지역 지하수 관리 자체가 주요 요점 대상에서 제외될 확률이 크며, 주요 이슈로 부각되지 않을 수 있는 잠재적인 오류를 지니고 있다.

## v. 연구결과의 활용계획

본 연구를 통해 경기도 해안지역 지하수의 해수침투 대상지점을 선정하여 오염에 따른 영향 조사 및 체계적인 관리를 통해 지속가능한 지하수자원 확보 및 관리방안을 제시함으로써 깨끗하고 안전한 물을 제공하고자 한다. 또한 이들 지역에 있어서 지하수를 개발하고 유지 관리하는데 지하수 수질오염에 대한 기본적인 현황을 조사함으로써 현재 및 장래 문제가 될 수 있는 오염물질에 대한 대책 마련에 중요한 기초자료가 될 것이다.

그리고 해수침투에 의해 오염된 지하수의 처리기술의 조사와 실험을 통하여 가장 효율적인 운전조건을 찾아 선정 지점에 적합한 처리기술의 도입에 있어 정보를 제공함으로써 기술 적용에 대한 타당성의 근거자료를 제시하고자 한다.

# SUMMARY

## I. Title

“ Investigation of seawater intrusion in underground water of Gyeonggi Province coastal area ”

## II. Objectives and Importance

Groundwater and seawater desalination face a serious problem in the development of coastal areas due to water intrusion phenomenon that causes aquifer depletion. As a result, surrounding ecosystem is being destroyed and damaged. Also detection of salt water in wells was reported and believed to spread further. This research started since 1992 where the first seawater intrusion system was installed in Jeju Island. After then series of installations were conducted in 192 locations. And by 2011, an annual business planning will be conducted. However, after nearly 10 years have elapsed, investigation for systematic management showed that there's an insufficient support from the state for the operation of the current business and effective management of network facilities.

The research focuses in groundwater intrusion by monitoring the water quality of both seawater and groundwater in coastal areas. Previous research showed different possible causes of seawater intrusion in aquifer as well as the effect in the ecosystem and in the organisms that live there. To prevent intrusion of seawater, technological investigations and plans are needed, and also, domestic and foreign policy should be made. This study aims to identify the different contaminants present in underground water as well as the degree of seawater intrusion. In addition, assessment of underground water quality is necessary to understand the principles behind seawater intrusion. Through this, a reasonable measure will be formulated and a system management will be established. This research is intended to provide basic materials and knowledge on how to prevent intrusion of seawater.

### III. Research scope

Reduction of contaminants in groundwater is the main objective of this study by conducting a proper plan preparation and technical feasibility study analysis in Pyeongtaek, Jebu and Poseung in Gyeonggi Province, particularly focusing in the latter two regions. The research determined causes of seawater intrusion and its routes by investigating domestic and international technology development status for contaminated seawater and establishing administrative measures for the prevention of intrusion. For the evaluation of the feasibility study in the said regions, technical and economic analysis for removing contaminants in seawater was made by conducting experiments through dialysis and ion exchange.

### IV. Results

Earth's water is approximately 13.8 billion km<sup>3</sup>, and 97.5% of this is occupied by marine water. Furthermore, 4.48% is designated for freshwater ice that can be added to the total volume of freshwater of 46.5 x 10<sup>5</sup> km<sup>3</sup>, which includes rivers and groundwater. Shortage in freshwater at various regions depends on the location and change in climate in a specific area.

Moreover, intrusion of seawater is not just affected by climate, like global warming, but also influenced by other natural factors such as the rising of sea level and coastal areas that allow the intrusion of salt to the underground water system. Due to the enormous cost and time-consuming process for the construction of water supply system for irrigation and other facilities, the development in preventing seawater intrusion in groundwater is somehow difficult. Even though, a long-term recovery is improved and the cost is minimized, the intrusion of salt that occurs widely in nature is still impossible to completely recover. In California, USA, the restoration for the damage and the project improvement in removing salt due to intrusion costs 4 million won per 100m<sup>2</sup>. This huge amount is needed to improve the system for preventing seawater penetration.

Planning for preventing seawater intrusion in 20 points at Kyonggi-Do area was investigated. In 2006, monitoring facilities are installed in 14 points including 6 at Kanghwa-Do, 2 at Ansan, 4 at Hwasung and 2 at Pyongtaek. But the facility in Kyongsang-Namdo Guejea Island was moved to Siheung. Therefore, 15 points for monitoring facilities are currently processing. In 2007, a new regulation was established at Gimpo and Ongjin. Also in 2007, data showed that the effect of

seawater intrusion in Jeabu 1 is weak having an average conductivity of 1,323  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . In addition,  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  mol ratio increased from 2006 to 2007 resulting to a value of 42.5 and 43.7, respectively. This indicates that seawater intrusion is getting more serious, the basis for pursuing a more stringent monitoring.

Seawater intrusion was also observed in Poseung 1. In 2007, it was recorded that the conductivity ranges from 2,938 to 3,333  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Also, the result of  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  mol ratio, with the value of 23, revealed that a serious seawater intrusion occurred in this area, therefore, stricter monitoring is needed.

It was observed that 5 km away from the coastline, seawater intrusion is still detected. Revision in the current management plan is required to avoid further problems that can emerge from the continuous contamination of groundwater due to seawater penetration.

## VI. Application plan

This research is about seawater intrusion to groundwater in coastal areas with the specific objective to determine the systematic impact on the sustainable management of groundwater resources management plan and to provide clean and safe water. However, the current and long-term impact of groundwater contamination will also be investigated in this research. This research focuses on the development and testing of the most efficient means of technology for the alleviation of groundwater pollution caused by seawater intrusion.

# CONTENTS

Summary (Korean) .....	i
Summary (English) .....	iv
Contents .....	vii
<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	1
1.1 Objectives and Importance .....	2
<b>Chapter 2. Technology status</b> .....	4
2.1 Domestic technology status .....	5
2.2 International technology status .....	6
<b>Chapter 3. Research Performed</b> .....	10
3.1 Aim and method of research .....	11
3.1.1 Investigation of the present condition of contaminated underground water and preparation for reduction plan .....	11
3.1.2 Investigation of the removal technique of contaminants in underground water and its application .....	12
<b>Chapter 4. Research Results</b> .....	13
4.1 Cause and principle of seawater intrusion .....	14
4.1.1 Properties of seawater, brackish water and underground water .....	14
4.1.2 Properties of seawater in the seacoast area .....	18
4.1.3 Source of Seawater intrusion .....	21
4.2 Present condition of seawater intrusion in Gyeonggi Province .....	28
4.2.1 Jebu zone .....	32
4.2.2 Poseung zone .....	39
4.3 Present condition in domestic and foreign underground water management and law .....	46
4.3.1 Provisions of the existing law .....	46
4.3.2 Standards for seawater intrusion .....	59

4.3.3 List of places for system installation for preventing Seawater intrusion and management results .....	62
4.3.4 Observation of the existing nationwide underground water in coastal areas .....	67
4.4 Study of the current problems in domestic coastal area underground water management .....	70
4.4.1 Evaluation of excess and shortage in data and budget .....	70
4.4.2 Role of non-government organization in underground water management .....	71
4.4.3 Data generated at various places .....	71
4.5 Case study of Domestic and foreign Seawater intrusion and management .....	72
4.5.1 Types of Seawater intrusion at domestic area .....	72
4.5.2 Selection of similar domestic area for comparison .....	79
4.5.3 Underground water management plan at coastal area .....	81
4.6 Case study of Domestic and foreign installation of ground water impermeable wall .....	99
4.6.1 examples of Water impermeable wall installation .....	99
4.6.2 Method of installation for water impermeable wall .....	105
4.7 Check artificial recharge applicability .....	108
4.7.1 Ground water artificial recharge .....	108
4.6.2 Installations' present condition .....	110
4.8 Lab scale experiment for the treatment of contaminants (electrodialysis) .....	112
<b>Chapter 5. Achievements and Contribution .....</b>	<b>136</b>
1. Expectation .....	137
2. Future plan of applications and Feasibility of commercialization .....	137
<b>Chapter 6. Reference .....</b>	<b>138</b>



# 목 차

요약문 .....	i
SUMMARY .....	iv
CONTENTS .....	vii
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 필요성 .....	2
제 2 장 국내·외 기술개발 현황 .....	4
2.1 국내의 기술개발 현황 .....	5
2.2 국외의 기술개발 현황 .....	6
제 3 장 연구수행 내용 .....	10
3.1 연구의 목표 및 방법 .....	11
3.1.1 지하수 오염 현황 조사 및 저감방안 마련 .....	11
3.1.2 지하수의 오염물질의 제거기술 및 적용사례 조사 .....	12
제 4 장 연구결과 .....	13
4.1 해수침투의 원인 및 원리 .....	14
4.1.1 해수, 기수, 지하수의 성분 .....	14
4.1.2 우리나라의 연안해역의 해수성분 .....	18
4.1.3 해수침투의 원인 .....	21
4.2 경기도 권역 해수침투 현황 .....	28
4.2.1 제부지구 .....	32
4.2.2 포승지구 .....	39
4.3 국내외 지하수 관리 현황 및 법규 .....	46
4.3.1 법·제도 현황 .....	46
4.3.2 해수침투 분류 기준 .....	59
4.3.3 해수침투 관측망 설치 내역 및 운영 결과 .....	62
4.3.4 전국 해안지역 지하수 이용량 관측 .....	67
4.4 국내 해안지역 지하수 관리현황 문제점 분석 .....	70

4.4.1	현황 자료 및 예산의 과부족 .....	70
4.4.2	지자체 단위의 지하수 관리 .....	71
4.4.3	자료의 다양성 부족 .....	71
4.5	국내·외 해수침투사례 및 관리사례조사 .....	72
4.5.1	국내 해수침투 유형 .....	72
4.5.2	국내 여건과 유사한 사례지역 선정 .....	79
4.5.3	해안지역 지하수의 관리방안 .....	81
4.6	국내·외 지하차수벽 적용성 검토 .....	99
4.6.1	해수침입 오염확산 방지를 위한 차수벽 설치 사례 .....	99
4.6.1	해수침입 오염확산 방지를 위한 차수벽 설치 기법 .....	105
4.7	지하수 인공함양 적용성 검토 .....	108
4.7.1	지하수 인공함양 .....	108
4.7.2	지하함양시설의 시공현황 .....	108
4.8	지하수 중의 염분처리 실험(전기투석) .....	112
<b>제 5 장</b>	<b>연구결과의 활용계획 .....</b>	<b>136</b>
5.1	기대효과 .....	137
5.2	향후 연구계획 및 사업성과 활용방안 .....	137
<b>제 6 장</b>	<b>참고문헌 .....</b>	<b>138</b>