

《技術》

## 국내 지하수 수질관리체계 개선을 위한 유럽 지하수 문턱값 비교

남선화<sup>1</sup> · 이우미<sup>1</sup> · 정승우<sup>2</sup> · 김혜진<sup>3</sup> · 김현구<sup>3</sup> · 김태승<sup>3</sup> · 안윤주<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 환경과학과

<sup>2</sup>군산대학교 환경공학과

<sup>3</sup>국립환경과학원 토양지하수연구과

## Comparative Study of Groundwater Threshold Values in European Commission and Member States for Improving Management of Groundwater Quality in Korea

Sun-Hwa Nam<sup>1</sup> · Woo-Mi Lee<sup>1</sup> · Seung-Woo Jeong<sup>2</sup> · Hye-Jin Kim<sup>3</sup>  
Huyn-Koo Kim<sup>3</sup> · Tae-Seung Kim<sup>3</sup> · Youn-Joo An<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Konkuk University, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Kunsan University, Korea

<sup>3</sup>Soil and Groundwater Division, National Institute of Environmental Research, Korea

### ABSTRACT

Korean groundwater quality standards were established in 1994, and revised in 2003 and 2010. The substances for which standards have been developed are classified into two groups, general pollutants, 4, and specific pollutants, 15. The standards have been applied to household water use, agriculture, aquaculture, and industrial use. However, there is no systematic methodology for either selecting candidate substances or establishing groundwater standards. We investigated various derivation methodologies for groundwater standards used by the European Commission and 27 member states and compared their methods for determining threshold values. The European Commission presented to their member states groundwater standards for two substances and a list of required substances for derivation of threshold values along with the member states. Interestingly, they first considered national background levels and then considered other criteria for water protection, such as drinking water standards, environmental quality standards, and irrigation standards. We suggest that Korean background levels in groundwater should be included in the methodology for establishing groundwater quality standards. These results may be useful in developing a systematic methodology for establishing Korean groundwater quality standards.

**Key words :** Background level, Europe, Groundwater use, Standard

### 1. 서 론

국내 지하수는 전체 수자원 중 11%를 차지하며, 2011년 기준 3,907 백만 m<sup>3</sup>/year으로 지속적으로 이용되고 있다. 현재 지하수는 음용 37.97%, 비음용 62.03%로 사용되고 있고, 이 중 비음용 목적으로 사용되는 지하수는 농어업용수 49.4%, 생활용수 45.5%, 공업용수 4.4%, 기타 용수 0.7%를 차지하며, 지하수 이용목적별 수질기준 초과

율은 공업용수 6.3%, 생활용수 8.5%, 농어업용수 3.7%를 차지하는 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2012; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Water Resources Corporation, 2012).

국내 지하수 수질기준은 “지하수의 수질보전 등에 관한 규칙”에 따라 1994년 제정된 이래로 2003년, 2010년 두 차례에 걸쳐 개정되었다. 현행 지하수 수질기준은 생활용수, 농어업용수, 공업용수의 이용목적별 일반오염물질 4개

\*Corresponding author : anyjoo@konkuk.ac.kr

원고접수일 : 2013. 3. 14 심사일 : 2013. 6. 24 게재승인일 : 2013. 6. 24  
질의 및 토의 : 2013. 8. 31 까지

항목(pH, 총대장균군, NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup>)과 특정유해물질 15개 항목(Cd, As, CN, Hg, 유기인, Phenol, Pb, Cr<sup>6+</sup>, TCE, PCE, 1,1,1-trichloroethane, benzene, toluene, ethyl benzene, xylene)의 총 19개 항목에 대해 제시하고 있다.

음용 목적의 지하수 수질기준은 “먹는물관리법” 제5조에 따른 먹는물의 수질기준을 준용하고 있다. 먹는물의 수질기준의 경우 위해성평가법을 적용하여 수질기준 항목 및 기준치를 체계적인 설정 절차에 따라 연차별로 모니터링 및 자료 분석을 통해 개정 근거를 마련하고 있으므로(National Institute of Environmental Research(NIER), 2010), 음용 목적의 지하수는 이러한 먹는물의 수질기준에 따라 관리되어도 무방하다. 그러나 비음용 목적의 지하수 수질기준은 체계적인 설정체계가 마련되지 않은 상태에서 결정된 이용목적별 기준 항목 및 기준치를 적용함으로써 지하수를 관리하는데 한계가 있다. 특히 지하수 이용자가 지하수 수질 오염을 인식하더라도, 이용목적에 생활용수, 농업용수, 공업용수 순으로 쉽게 변경하여 사용할 수 있기 때문에 수질 악화를 방지하고 있는 실정이다. 특히 농업용수의 기준치는 생활용수와 1,1,1-트리클로로에탄을 제외하고 동일하며, BTEX 항목은 생활용수에서만 관리되고 있다. 공업용수의 기준 항목은 농업용수와 동일하나, 기준치만 대체로 2배 강화된 수치를 제시하고 있다. 지하수 이용률 중 공업용수가 차지하는 비율은 4.4%로 상당히 낮으며, 타 용수 대비 대체로 2배 강화된 수치를 적용한 명시된 근거가 없는 실정으므로 현행 이용목적별 분류 체계 개선에 대한 검토가 필요하다. 또한 산업화에 따라 오염물질 증가, 농약 및 비료 사용 증가, 군부대 및 공단지역에서 발생하는 유류, 유기용제, 폐광 및 폐기물매립장으로부터 유출되는 유독물질, 방사선 물질 등 지하수 오염물질은 지속적인 증가 추세를 보이므로, 향후 신규 항목 추가 시 적용 가능한 신규 기준설정체계가 마련될 필요가 있다. 이를 위해서는 선진국의 지하수 관리 기준 설정 배경을 조사할 필요가 있으며, 국내 지하수 오염물질 설정체계를 마련하는데 참고 자료로 활용할 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 국내 지하수 수질기준 설정체계를 마련하기 위해 유럽 지역의 지하수 기준 설정 방법을 중심으로 분석하였으며, 향후 국내 지하수 관리 체계의 정책 방향을 제안하였다. 단, 미국의 경우 발암 및 비발암 인체 위해성 기반 주정부별 차등 지하수 기준을 설정하고 있고(California resources agency, 2003; Florida Department of Environmental Protection, 2005), 호주 및 캐나다의 경우 타 수질 기준을 차용하여 지하수 기준

으로 적용하고 있으므로(Canadian Council of Ministers of the Environment, 2010; National Environment Protection Council, 2010), 유럽 위원회 및 회원국에서 European Groundwater Directive (2006/118/EC) (EC, 2006)를 통해 협력체제로 구축하고 있는 지하수 문턱값 산출 방법을 중심으로 분석하였다.

## 2. 국내 지하수 기준 설정 배경 연구

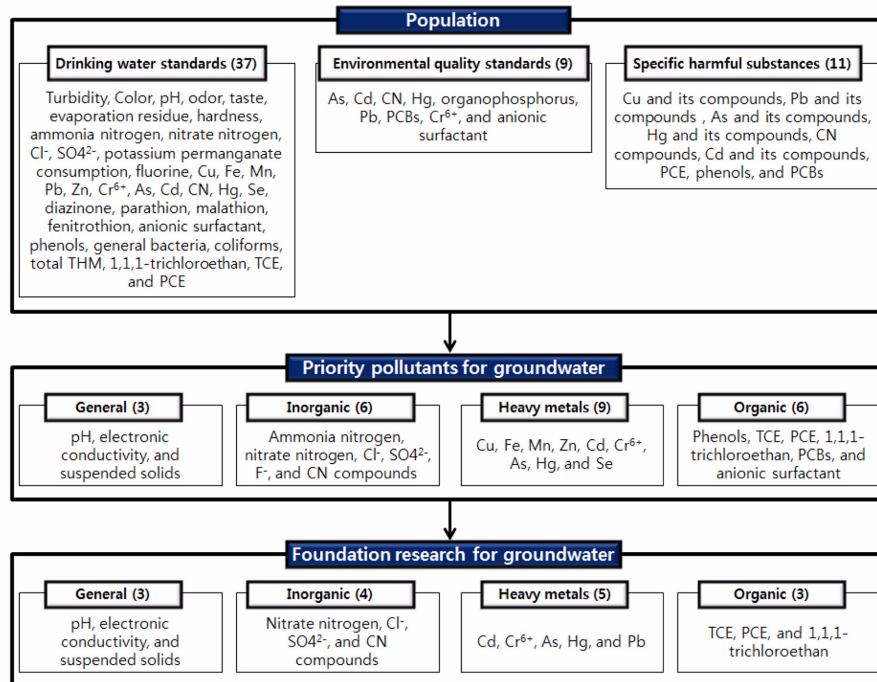
국내 지하수 수질기준은 1994년 “지하수의 수질보전 등에 관한 규칙”으로서 신규 제정되었으며, 제정된 이래로 2003년 1차, 2010년 2차 개정되었다(Table 1). 그러나 지하수 수질기준 제개정 시 적용된 절차가 명확하게 제시된 자료가 미비하여 기준 설정 체계에 대한 분석이 불가하였다. 이에 본 연구에서는 기존 지하수 관련 보고서를 바탕으로 제개정 관련 근거를 분석하였다.

Council for Environmental Science(1993)에 따르면, 사람의 건강에 미치는 영향을 고려하기 위해 음용수 수질 기준 37종, 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준 9종, 특정수질유해물질 11종을 모집단으로 설정한 후, 일반적인 지하수 개발 시 수행하는 수질조사에서 적용할 수 있도록 지하수 우선관리항목 26종을 선정한 바 있다. 지하수 우선관리항목 26종은 일반수질항목 3종, 무기물질류 6종, 중금속류 9종, 유기물질류 6종이 포함된다. 또한 현실성을 감안하여 기초조사로 실시해야 할 조사 항목 15종을 제안한 바 있으며, 일반수질항목 3종(pH, 전기전도도, 부유물질량), 무기물질류 4종(질산성질소, 황산이온, 염소이온, 시안화합물), 중금속류 5종(납, 카드뮴, 6가크롬, 비소, 수은), 유기물질류 3종(트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1,1-트리클로로에탄)이 이에 해당한다(Fig. 1). 1994년 제정된 지하수 수질기준 20종 항목 중 COD, 유기인, 납을 제외한 대부분의 물질들이 1993년 보고서에서 제시한 지하수 우선관리 26종 항목 및 지하수 기초조사 15종 항목에 포함된다.

MOE(1999)에 따르면, 2003년 1차 개정된 지하수 수질 기준 20종 항목 중 COD 삭제 및 BTEX 추가 근거에 대해 제시하고 있다. COD의 경우 지하수 모니터링 자료에서 직접적인 인체 영향을 미치지 않는 수준으로 미량 검출되었으며, 지하수 자체 자정 능력으로 무의미한 항목이므로 기준 설정 시 오히려 오염을 조장할 개연성이 높기 때문에 삭제를 제안한 바 있다. 반면 대표적인 토양오염유발시설인 석유류의 제조 및 저장시설과 관련된 유류오염물질인 BTEX는 토양 오염과 지하수 오염을 연계하

**Table 1.** Revision history of Korean groundwater standards

Enforcement	Law	Pollutants		Uses	Revision history
		General	Specific		
1994.8.9	The Prime Minister Decree No. 461	5 (pH, COD, coliforms, nitrate nitrogen, Cl <sup>-</sup> )	10 (Cd, As, CN, Hg, organophosphorus, phenol, Pb, Cr <sup>+6</sup> , TCE, PCE)	household, agriculture, and industrial	New establishment
2003.6.18	The Ministry of environment Decree No. 140	5 (pH, coliforms, nitrate nitrogen, Cl <sup>-</sup> , general bacteria)	15 (Cd, As, CN, Hg, organophosphorus, phenol, Pb, Cr <sup>+6</sup> , TCE, PCE, 1,1,1-TCE, BTEX)	household, agriculture, aquaculture, and industrial	1 <sup>st</sup> revision - Deletion of COD - Addition of general bacteria, 1,1,1-TCE, and BTEX - Addition of aquaculture use
2010.2.16	The Ministry of environment Decree No. 362	4개 (pH, total coliforms, nitrate nitrogen, Cl <sup>-</sup> )	15 (Cd, As, CN, Hg, organophosphorus, phenol, Pb, Cr <sup>+6</sup> , TCE, PCE, 1,1,1-TCE, BTEX; Only change of values for CN, Hg, organophosphorus)	household, agriculture, aquaculture, and industrial	2 <sup>nd</sup> revision - Deletion of coliforms and general bacteria - Addition of total coliforms - Change of values for CN, Hg, organophosphorus



**Fig. 1.** Flow chart for establishing of groundwater quality standards and groundwater pollution judgement standards presented by Council for Environmental Science (1993).

기 위해 추가되었다.

MOE(2007)에 따르면, 2010년 2차 개정된 지하수 수질 기준 19종 항목 중 일반세균 삭제 및 CN, Hg 기준치 완화 근거에 대해 제시하고 있다. 일반세균의 경우 인체 위해성이 낮은 지표로, 대장균과 같은 다른 미생물 항목으로 충당되므로 삭제를 제안한 바 있으며, CN 및 Hg의 경우 먹는물 기준보다 강화된 불검출로 규정되어 있기 때문에 완화 차원에서 먹는물 기준치 0.01 및 0.001 mg/

L로 제시한 바 있다. 상기 3가지 보고서를 바탕으로 국내 지하수 수질기준 항목 및 기준치 설정 근거에 대해 분석 하였으나, 1994년 개정 시 항목별 기준치 설정 근거, 2003년 1차 개정 시 일반세균, 1,1,1-트리클로로에틸렌 추가 근거, 어업용수 목적 추가 근거, BTEX 기준치 설정 근거, 2010년 2차 개정 시 유기인 기준치 설정 근거에 대한 분석은 명문화된 자료 부재로 인해 불가하였다.

### 3. 유럽 지역의 지하수 기준 설정 체계 연구

#### 3.1. 유럽 위원회(European Commission, EC)

유럽위원회는 European Water Framework Directive (2000/60/EC) (EC, 2000)와 European Groundwater Directive(2006/118/EC) (EC, 2006)를 통해 2015년 말까지 지하수의 화학적 상태를 good chemical status로 충족시키기 위해 유럽 지역 지하수의 오염 및 악화를 전체적으로 관리하고 있다. 지침 조항 3에 따르면 지하수의 화학적 상태를 평가하기 위해 부록 I에서 2개 기준치와 부록 II에서 10개 문턱값(Threshold value, TV) 물질 목록을 제시하고 있다. 부록 I에 따르면, 질산염 50 mg/L, 살충제 0.1 µg/L(개별 물질) 및 0.5 µg/L(전체 물질)에 대한 기준을 제시하고 있으며, 부록 II에 따르면, 문턱값을 제시하기 위해 유럽 회원국에서 고려해야 할 물질 목록 물질/이온 또는 자연적/인위적 활동의 대표성 물질(As, Cd, Pb, Hg, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 인공합성물질(TCE, PCE), 염 또는 기타 침투영향(전기전도도)을 제시하고 있다. 단, TV는 부록 II에 제시된 10개 물질 중 자국의 정당한 사유가 제공될 경우 TV를 제시하지 않아도 무방하다.

유럽위원회의 TV는 지하수와 지하수에 의존하는 수서 및 육상생태계의 상관성, 실질적/적절한 용도(예, 음용수, 농업용수 등) 또는 지하수의 기능, WFD Article 4에 제시된 목적을 위반하는 지하수체에 대해 위대한 영향을 미치는 모든 오염물질, 지하수체의 수리지질학적, 수리 화학적 특성을 바탕으로 산출된 배경농도, 오염물질의 원인, 오염물질의 자연적 발생 가능성, 독성과 분포 경향, 잔류성과 생물축적의 잠재성, 데이터의 질과 분석적 정밀도를 고려하여 산출한다. TV는 용도 및 수용체에 따른 관련 준거치(Criteria value, CV) 도출, 배경농도(Background level, BL)와 CV 간 비교, 관련 시험법별 TV 적용에 따라 상이하게 산출된다(EC, 2009; 2010).

용도 및 수용체에 따른 관련 CV 도출 단계에서 CV는 환경 준거치(Environmental criteria)와 사용 준거치(Usage criteria)로 분류된다. 환경 준거치는 염 침투나 수생태 및 지하수에 의존하는 육상생태계 보호 시 적용되며, 사용 준거치는 식수원 보호구역에서 음용수 보호 및 기타 지하수의 합법적 사용(예, 농업, 산업 등) 시 적용된다. 이 때 해수침투 인지를 위한 염 침투 목적시 TV는 인위적 활동에 의한 영향을 고려하지 않으므로 배경농도를 주요 인자로 평가한다. 또한 수생태 및 지하수에 의존하는 육상생태계 보호 목적 시 TV는 지하수와 지표수가 연결되어 있고, 특히 지표수나 관련 육상 생태계가 지하수에 의해 먹

이를 공급받을 경우 준거치는 지표수에 대한 환경질기준(Environmental quality standards, EQS)을 바탕으로 산출(CV = EQS × AF / DF)된다. 대수층(Aquifer)과 강(River) 사이의 상관성을 고려하기 위해 희석계수(Dilution factor, DF) 또는 저감계수(Attenuation factor, AF)가 고려되며, 지하수-지표수 상호 작용에 대한 정보, 수용체 관련 지하수 개념 모델, 모니터링 지점의 상태에 따라 상이하게 적용된다. 단, 가용한 자료 부재 시 DF 및 AF에 대한 고려를 배제하며, 준거치는 환경질기준과 동일하게 적용한다(EC, 2009, 2010).

다음으로 음용수 보호 목적 시 TV는 자국, EC, WHO 먹는물 기준을 고려하며, 농업용수나 공업용수 보호 목적 시 TV는 상황에 따라 각 조건에 맞는 기준을 고려한다. BL과 CV 간 비교 단계에서 자국의 지하수 모니터링 자료의 다양한 대표값(예, 50, 90, 95, 97.7%)인 BL과 국내의 먹는물기준 또는 환경질기준인 CV 간 상관관계를 고려하여 Case 1과 Case 2로 분류하여 TV를 산출하게 된다. Case 1은 BL가 CV보다 낮을 경우에 해당되며, 이 때 TV는 위해성 및 기능을 고려하여 BL < TV < CV 범위 내 설정된다. Case 2는 BL가 CV보다 높을 경우에 해당되며, 이 때 TV는 배경농도와 유사한 수준에서 TV ≥ BL 설정된다(EC, 2009, 2010).

#### 3.2. 유럽 회원국

유럽 회원국 27개국은 2008년 말 EC 지침에 따라 지역 특성, 모니터링 자료, 과학적 정보를 바탕으로 자국의 상황에 맞게 최대 62개까지 TV를 마련하였으며(Table 2), 총 158개 오염물질에 대한 TV가 EC에 보고되었다. 단, 덴마크는 TV 산출 과정만 제출하였고, 그리스는 TV 관련 자료를 제출하지 않았으며, 포르투갈은 위해성이 미약한 사유를 근거로 TV를 제시하지 않았다(EC, 2009; 2010).

오염물질은 12 Core substances(Groundwater directive Annex II part B에 제시된 10개 물질을 말하며, ammonium은 nitrogen으로, TCE와 PCE는 총합으로 나타냄), 39개 농약류, 8개 영양물질(예, nitrate, nitrite, phosphorus 등), 21개 금속류, 92개 합성 물질, 10개 기타 물질(예, boron, calcium, bromate, cyanide 등), 6개 indicators(예, acid capacity, hardness, pH 등)으로 분류되며, 물질 중 3분의 2가 농약류 또는 합성 물질이며, 3분의 1은 자연적으로 발생하는 물질이다(EC, 2009; 2010).

10개 이상의 회원국에서 공통적으로 TV를 제시하고 있

**Table 2.** Approaches presented by Member States of European Commission (EC) according to relation of background levels (BL) and criteria value (CV) (EC, 2010)

Approaches		Member states of European Commission (EC)
Case I (BL < CV)	TV = BL	Bulgaria, Czech Republic (for metals), Latvia (for ammonium and BTEX) and Romania
	TV = between BL and CV or $0.5 \times (CV + BL)$	Belgium (Flanders) and Slovak Republic
	TV = between BL and CV	Spain, Malta (TV = percentage of CV)
	TV = CV	Germany, Denmark and the Netherlands
Case II (BL > CV)	TV = BL	Belgium (Flanders), Cyprus (for sulfates, chloride and conductivity), Czech Republic, Germany, Denmark, Spain, Ireland, Italy, Malta, Slovak Republic
	TV = BL + small addition	The Netherlands
	TV = BL + small addition of 10%	Bulgaria
	TV = BL + small addition of 20%	Romania
	TV = 2BL	Finland

는 물질은 13개(chloride, arsenic, sulphate, ammonium, lead, cadmium, mercury, conductivity, nickel, copper, TCE, PCE, TCE와 PCE의 총합)이며, 물질 중 chloride가 가장 많은 회원국에서 관리하고 있는 물질인 것으로 나타났다. Chloride의 경우 22개국에서 24~12,300 mg/L로 설정하고 있으며, Arsenic, Sulphate, Ammonium의 경우 21개국에서 각각 0.75~189 µg/L, 129.75~4,200 mg/L, 0.084~52 mg/L로 설정하고 있다. Lead의 경우 20개국에서 5~320 µg/L, Cadmium의 경우 19개국에서 0.08~27 µg/L로 설정하고 있으며, Mercury의 경우 18개국에서 0.03~1 µg/L로 설정하고 있다. Nickel의 경우 11개국에서 10~60 µg/L로 설정하고 있으며, Copper, TCE, PCE, TCE와 PCE의 총합의 경우 10개국에서 각각 10.1~2000 µg/L, 1.1~50 µg/L, 1.5~50 µg/L, 5~40 µg/L로 설정하고 있다.

TV 설정 시 스페인, 아일랜드, 몰타공화국, 네덜란드는 염수 침투를 고려하였고, 오스트리아 등 14개 회원국은 지하수와 연계된 수생태계 및 관련 육상생태계를 고려하였으며, 주로 음용수 목적으로 TV를 설정하였다(Table 3). 자연발생물질의 경우 회원국마다 자국의 상황을 고려하여 BL과 CV의 상관관계를 통해 TV를 산출하였으며, 핀란드가 가장 완화된 TV 산출 수식을 적용하고 있다. 이 때 불가리아, 루마니아 등은 지속 개발 및 경제 성장을 위해 인위적 활동에 의한 영향을 관련 수용체를 보호할 수 있는 수준까지 고려하여 배경농도보다 약간 완화하여 TV를 설정하였다. 또한 벨기에, 루마니아, 영국의 경우 배경농도 산출 시 Baseline과 Background criteria for the identification of groundwater thresholds (BRIDGE)를 고려하였다. Baseline과 BRIDGE는 지하수

의 배경수질을 고려하기 위해 1999~2004년과 2005~2006년에 각각 진행된 사업으로, 지질학적 특성을 기초로 자연 발생하는 화학물질의 지하수질을 파악하고, 지하수의 화학적 상태를 평가하기 위해 적용되는 방법론이다(Table 4). 문턱값 산출 시 주로 먹는물기준 및 지표수 환경질기준을 준거치로 사용하였으며, 키프로스 공화국 및 몰타공화국의 경우 관개용수기준을, 독일의 경우 인체 및 생태 독성치를 고려한 바 있다(Table 5) (EC, 2009, 2010).

한편 아일랜드는 EC(2006) 지침에 근거하여, 염 침투, 지하수에서 지표수로의 유입, 음용, 비음용 목적에 따라 4가지로 분류하여 40개 물질에 대해 TV를 제시하고 있다. 염 침투의 경우 Chloride과 전기전도도에 한해 각각 24 mg/L와 800 µS/cm로 제시되었다. 이 때 TV 설정 시 배경농도가 고려되었으며, 배경농도는 O'Callaghan Moran and Associates(2007)에 제시된 배경농도의 상한값이 적용되었다. 지표수에서 지하수로의 유입으로 인한 영향 평가의 경우 Ammonium과 Molybdate reactive phosphorus에 한해 각각 65 µg/L와 35 µg/L로 제시되었으며, TV 설정 시 Minister for the environment heritage and local government Ireland(2009)에 제시된 지표수 기준이 고려되었다. 음용 목적의 경우 Nitrate 37.5 mg/L, Ammonium 175 µg/L, 전기전도도 1,875 µS/cm, Nitrite 375 µg/L, Chloride 187.5 mg/L, Sulphate 187.5 mg/L, Sodium 150 mg/L, Boron 750 µg/L, 총 농약 0.375 µg/L, 개별 농약(Atrazine, Simazine, MCPA, Lindane, Diuron, 4,4-DDT, Dieldrin, Cypermethrin, Bentazone, Glyphosate, Chlortoluron, Mecoprop, Isoproturon, 2,4-Dichlorophenoxy acetic acid) 0.075 µg/L로 제시되었다. 또한 비음용 목적의 경우 음용 목적의 항목과 그 수치가 동일하

**Table 3.** Considered elements in the establishment of groundwater threshold values by Member States of European Commission (EC) (EC, 2010)

Member State	Saltwater intrusion	Uses and functions of groundwater	Associated aquatic and dependent terrestrial ecosystems	At risk considered*
Austria	No intrusion	Drinking water (main receptor)	Considered. TV for phosphate although no ecosystem endangered.	
Belgium		Drinking water, mineral water, industrial use	Considered for each groundwater body	
Bulgaria		Drinking water		
Cyprus		Drinking water, irrigation		
Czech Republic		Drinking water	No ecosystem endangered and not considered at the moment.	Yes
Germany		Drinking water	Considered	
Denmark		Drinking water	Limitations in knowledge of both state and processes. Not included in TV establishment.	
Estonia		Drinking water	No substantial impacts on ecosystems.	Yes
Spain	Considered	Drinking water where relevant	All relevant criteria considered.	Yes
Finland		Drinking water	All relevant criteria considered.	Yes
France		Drinking water	Considered	Yes
Greece				
Hungary		Drinking water	Considered	
Ireland	TVs for conductivity and chloride	Drinking water	Considered. TV for ammonium and phosphorus	
Italy		Drinking water	Considered	
Lithuania		Drinking water	Considered	
Luxemburg		Drinking water		
Latvia				
Malta	Considered	Drinking water, irrigation	Considered	
The Netherlands	TV for chloride	Considered	Considered	
Poland		Drinking water (main receptor)	Considered	
Portugal		No groundwater body at risk, no threshold values established.		
Romania		Drinking water	Limitations in knowledge of both state and processes. Not included in TV establishment.	
Sweden		Drinking water		
Slovenia		Drinking water (main receptor)		Yes
Slovak Republic		Drinking water		
United Kingdom		Considered	Considered	Yes

\* Member States that explicitly mentioned that all substances posing a risk to groundwater bodies were considered within the threshold value establishment.

며, 이 외에도 Chromium 37.5 µg/L, Arsenic 7.5 µg/L, Cadmium 3.75 µg/L, Copper 1500 µg/L, Aluminium 150 µg/L, Lead 18.75 µg/L, Nickel 15 µg/L, Mercury 0.75 µg/L, Cyanide 37.5 µg/L, 1,2-Dichloroethane 2.25

**Table 4.** Relationship between threshold values and background levels by Member States of European Commission (EC) (EC, 2010)

Member State	Relationship between threshold values and background levels	Background levels
Austria	BLs are considered in the status assessment and not in the TV establishment.	Country wide assessment for each groundwater body and for a considerable number of parameters.
Belgium	BL have been considered only in Flemish region according to EC (2009): $EQS > BL \rightarrow TV = 0.5(EQS + BL)$ , $EQS < BL \rightarrow TV = BL$	BLs were derived according to the BRIDGE approach.
Bulgaria	For $SO_4$ , Cl, EC $\rightarrow TV = BL$ , $CV > BL \rightarrow TV = BL$ , $TV < BL \rightarrow TV = 1.1BL$	-
Cyprus	For $SO_4$ , Cl, EC $\rightarrow TV = BL$	BLs usually $< DWS$ except $SO_4$ , Cl, EC
Czech Republic	For Metals, $DWS > BL \rightarrow TV = BL$ , For Sulphates, $DWS < BL$ and anthropogenic source was not known $\rightarrow TV = BL$	BLs calculated for natural occurring metals and sulphates as 95% (monitoring data between 2000 and 2005)
Germany	$EQS > BL \rightarrow TV = EQS$ , $EQS < BL \rightarrow TV = BL$ (Only for the groundwater body concerned)	-
Denmark	$EQS > BL \rightarrow TV =$ the strictest $EQS$ , $EQS < BL \rightarrow TV = BL$	-
Estonia	-	Consideration of BL was reported for chloride.
Spain	For salt intrusion, $TV = BL$ , For drinking water, $CV > BL \rightarrow BL < TV \leq CV$ , $CV \leq BL \rightarrow TV = BL$	BLs were defined for each groundwater body at risk, based on either the 50, 90, 97.7% of each parameter. Elevated BLs are not considered as pollution and are not taken into account in the status assessment.
Finland	$TV = 2 \times BL$	For Hg, Cd, Cr, Cu, and Zn the BL is calculated as the 90% of monitoring data from pristine groundwater body.
France	The origin of substances is in France either completely natural (no TV established) or completely human (DWS)	-
Greece	-	-
Hungary	-	BLs for ammonium, sulfate and EC were calculated as the 90% of monitoring data from unpolluted water. For these substances/indicators the BL was above the DWS.
Ireland	$EQS < BL \rightarrow TV = BL$	A study on BLs has been undertaken recently.
Italy	National TVs $< BL \rightarrow TV = BL$	-
Lithuania	-	BLs for ammonium and hydrochemical anomalies of chloride and sulphate considered.
Luxemburg	-	-
Latvia	For all, $TV > BL$ , For ammonium and BTEX, $TV = BL$	-
Malta	$CV > BL \rightarrow TV =$ percentage of $CV$ , $CV < BL \rightarrow TV = BL$	-
The Netherlands	$CV > BL \rightarrow TV = CV$ , $CV < BL \rightarrow TV = BL$ A maximum permissible addition was considered except for chloride.	BLs need to be derived for each groundwater body.
Poland	-	BLs where considered in status assessment.
Portugal	No groundwater at risk, no threshold values established.	-
Romania	$CV > BL \rightarrow TV = BL$ , $CV < BL \rightarrow TV = 1.2BL$	BLs were derived as 50, 90% considering the BRIDGE methodology.
Sweden	-	National reference values must be considered when establishing regional or individual TVs.
Slovenia	Not needed.	No BLs needed. TVs only established for anthropogenically induced substances.
Slovak Republic	$CV > BL \rightarrow TV = 0.5 \times (CV + BL)$ , $CV < BL \rightarrow TV = BL$	For synthetic substances the $BL = 0$
United Kingdom	$TV \geq BL$	Ranges of BL determined according to the methodology of Baseline and BRIDGE.

**Table 5.** Relationship between threshold values and environmental quality objectives and other standards for water protection by Member States of European Commission (EC) (EC, 2010)

Member State	Relationship between threshold values and environmental quality objectives and other standards for water protection
Austria	- All TVs except for ortho-PO <sub>4</sub> are based on national drinking water standards. - ortho-PO <sub>4</sub> are based on the existing national decree on groundwater threshold values.
Belgium	- In Brussels Capital region, all TVs are based on the EQS for surface water and the existing norms existing in the Brussels area for water protection. - In Flemish region, TVs are partly based on the standards for drinking water or mineral waters and source water (Cl, Ba, B), limit between fresh and brackish water (Ec), clean-up values for groundwater (Cu, Zn, As, Ni, Pb), and expert judgement. - In Walloon region, TVs are based on national drinking water standards, adding specific values for several parameters such as 2,6-dichlorobenzamide, total phosphorus, and Zn.
Bulgaria	- For groundwater used as drinking water supplied, background levels are compared with quality standards in Annex I from Directive
Cyprus	- All TVs except for conductivity, SO <sub>4</sub> , and Cl are based on drinking water standards.
Czech Republic	- For synthetic substances, TVs were equal to drinking water standards.
Germany	- The methodology for deriving TVs follows the concept of so called insignificance thresholds. TVs are always laid down according to the lower values of the human-toxicological and ecotoxicological derivation. Groundwater ecosystems were considered. If no ecotox values are available then PNEC values were taken.
Denmark	- For polluting substances are based on EQS Directive (2008/105/EC). - For non-EQS directive polluting substances, national statutory orders were considered.
Estonia	- TVs based on national decrees.
Spain	- Drinking water standards from Directive 98/83/EC were considered.
Finland	- For organic substances, 0.5 × national drinking water standard, lowest odor or taste limit values, 0.5 × TVs for groundwater used in risk assessment for contaminated soil sites, 0.5 × WHO drinking water guideline values, maximal concentrations in surface water used as raw water for drinking water production were considered. - For inorganic substances, 0.5 × drinking water standards were considered. - For Cl, national legislation were considered.
France	- In case of significant contribution from groundwater to surface waters, the EQS directive was considered.
Greece	- Not presented.
Hungary	- Nitrate are based on DWS, but nitrate in cold karstic are based on EQS.
Ireland	- For ammonium and molybdate reactive phosphorus → surface water EQS - For EC and chloride → salt intrusion - For other substances → 75% of relevant drinking water standards
Italy	- In case of interaction with surface water bodies, EQS Directive were considered.
Lithuania	- Main groundwater body → national drinking water - Shallow part of aquifers → EQS
Luxemburg	- National drinking water
Latvia	- TVs for Cl, TCE + PCE, As, Cd, Pb, trichloromethane, 1,2-dichloroethane, ammonium and BTEX were more stringent than EQS.
Malta	- Water quality standards related to potable water and 'good' irrigation water standards
The Netherlands	- For naturally occurring substances (chloride, metals, phosphate), environmental risk levels were considered
Poland	- Human being is treated as a main receptor.
Portugal	- No groundwater at risk, no threshold values established.
Romania	- Drinking water standards were considered. - Surface water standards were not considered due to limited knowledge of connections between groundwater and surface water.
Sweden	- National objectives and drinking water standards were considered. - EQS on regional level not yet considered.
Slovenia	- TVs more stringent than DWS and EQS
Slovak Republic	- Drinking water standards were considered.
United Kingdom	- TVs based on national and European EQS taking into account dilution and attenuation in groundwater. - For usage protection, TVs are based on 75% of drinking water standards.



µg/L, Vinyl chloride 0.375 µg/L, TCE와 PCE의 총합 7.5 µg/L, Benzene 0.75 µg/L, Benzo(alpha)pyrene 7.5 ng/L, 총 다환방향족탄화수소 0.075 µg/L, 총 트리할로메탄 75 µg/L가 포함된다. 이 때 음용 및 비음용 목적의 TV 설정 시 먹는물 기준이 고려되었으며, 먹는물 기준의 75%에 상응하는 수치가 적용되었다(Environmental Protection Agency, 2010).

#### 4. 향후 정책방향 및 결론

유럽 지역의 지하수 문턱값은 주로 음용수 목적으로 정립되어 있으며, 벨기에의 농업용수, 키프로스공화국 및 몰타공화국의 관개용수를 제외하고 우리나라의 생활용수, 농어업용수, 농업용수와 같은 비음용 목적으로 명확히 구분되어 정립된 사례는 거의 없는 것으로 나타났다. 기준 설정 배경을 살펴보면, 자국의 배경농도 및 수질관련기준을 고려하여 지하수 문턱값을 설정하고 있다. 유럽 위원회의 경우 염 침투, 수용체, 이용목적에 따라 준거치를 차등 적용하였으며, 준거치 존재 시 배경농도와의 상관성을 고려하여 문턱값을 산출할 필요가 있는 오염물질 10개를 제시하였다. 유럽 회원국의 경우 유럽 위원회의 지침에 따라 자국의 상황을 고려하여 문턱값을 제시하였으며, 준거치와 배경농도 간의 상관성에 따라 문턱값 산출 방법을 상이하게 적용하여 최소 준거치 및 배경농도 중 강화 수치에서 최대 배경농도의 2배로 설정한 바 있다.

현행 지하수 수질 기준의 이용목적별 사원화(음용수, 생활용수, 농어업용수, 농업용수) 분류 체계는 용도 변경이 용이한 현 실정에서 지속적인 지하수 수질 악화의 주요 요인이 되고 있다. 또한 생활용수와 농어업용수 간 기준치는 1,1,1-트리클로로에탄을 제외하고 동일하며, BTEX 항목만 생활용수에서 추가적으로 제시하고 있다. 농업용수의 경우 농어업용수 기준 항목과 동일하나, 기준치는 대체로 2배 강화된 수치를 제시하고 있다. 그러나 현행 이용목적별 분류 체계는 국내 지하수 관련 9개 부처 간 이용목적별 분류 체계가 상이하고, 기준 적용 시 이용목적 구분이 불분명하여 혼란을 초래하며, 유럽 지역에서도 음용수 이외 목적으로 지하수 수질기준을 마련하는 사례가 드문 실정이므로, 이용목적별 이원화(음용수, 비음용수) 분류 체계를 제안하는 바이다.

단, 지하수 오염물질 중 자연적으로 유래할 수 있는 물질의 경우, 지하수 수질기준 설정 시 국내 여건에 맞는 배경농도를 고려하여 실효성 있는 기준치를 설정하는 것이 전체 조건이므로, 유럽 위원회 및 회원국에서

European Groundwater Directive(2006/118/EC) (EC, 2006)를 통해 협력체제로 구축하고 있는 지하수 문턱값 산출 방법을 지하수 기준 설정체계 구축 시 활용할 것을 제안하는 바이다. 이를 위해서는 적용된 배경농도 및 준거치의 적정성 검토가 선행되어야 할 것이다. 즉 배경농도의 경우 모니터링 자료의 대표성을 증대시키기 위해 모니터링 지점, 시기, 빈도, 대표값 등을 고려해야하며, 준거치의 경우 수용체 및 이용목적에 따라 어떤 수치를 적용할 것인지 평가할 필요가 있다.

#### 사 사

본 연구는 국립환경과학원 ‘신규 지하수 오염물질 기준 설정체계 확립 연구(NIER, 2012)’사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

California Resources Agency, 2003, California's groundwater Bulletin 118.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 2010, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality.

Council for Environmental Science, 1993, A study on establishment of groundwater quality standards and groundwater pollution judgement standards.

EC, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy

EC, 2006, Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration.

EC, 2009, Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC) Guidance document No. 18 Guidance on groundwater status and trend assessment.

EC, 2010, Commission staff working document accompanying the report from the commission in accordance with article 3.7 of the groundwater directive 2006/118/EC on the establishment of groundwater threshold values.

Environmental Protection Agency, 2010, Methodology for establishing groundwater threshold values and the assessment of chemical and quantitative status of groundwater, including an assessment of pollution trends and trend reversal.

Florida Department of Environmental Protection, 2005, Technical report: Development of cleanup target levels (CTLs) for chapter 62-777, F.A.C.

Minister for the environment heritage and local government ireland, 2009, S.I. No. 272 of 2009 European communities environmental objectives (surface waters) regulations.

MOE (Ministry of Environment), 1999, A study on examination of adequacy and control scheme for groundwater quality standards.

MOE (Ministry of Environment), 2007, A study on preceding scheme for improvement of groundwater quality standards.

MOE (Ministry of Environment), 2012, 2011 Groundwater quality monitoring network.

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), KWRC (Korea Water Resources Corporation), 2012, Groundwater

annual report.

National Environment Protection Council, 2010, Guideline on investigation levels for soil and groundwater.

NIER (National Institute of Environmental Research), 2010, A study on management of unregulated trace hazardous compounds in drinking water.

NIER (National Institute of Environmental Research), 2012, A study on establishment system for standards of new groundwater pollutants.

O'Callaghan Moran and Associates, 2007, Establishing natural background levels for groundwater in Ireland.