



Review

Implications of European Union’s Groundwater Nitrate Management Policies for Korea’s Sustainable Groundwater Management

Junseop Oh¹, Jaehoon Choi¹, Hyunsoo Seo¹, Ho-Rim Kim², Hyun Tai Ahn¹, Seong-Taek Yun^{1,*}

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 02841, South Korea

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, South Korea

*Corresponding author : styun@korea.ac.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 11 March 2024

Received in revised form 20 March 2024

Manuscript accepted 21 March 2024

Available online 29 April 2024

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2024.57.2.271>

Research Highlights

- This study reviews the EU's comprehensive strategy to reduce groundwater nitrate pollution under relevant directives.
- The general status of groundwater quality in South Korea is discussed.
- The EU's strategies are adapted to the South Korean context, emphasizing preventive measures and collaborative efforts among stakeholders.

ABSTRACT

This study examines the European Union (EU)’s policies on managing nitrate contamination in groundwater and provides implications for the future groundwater management in South Korea. Initiated by the 1991 Nitrate Directive, the EU has pursued a multifaceted approach to reduce agricultural nitrate pollution through sustainable (‘good’) farming practices, regular nitrate level monitoring, and designating Nitrate Vulnerable Zones. Further policy integrations, like the Water Framework Directive and Groundwater Directive, have established comprehensive protection strategies, including the use of pollutant threshold values. Recently, the 2019 Green Deal escalated efforts against nitrates, aligning with broader environmental and climate objectives. This review aims to explore these developments, highlighting key mitigation strategies against nitrate pollution, and providing valuable insights for the future sustainable groundwater nitrate management in South Korea, emphasizing the importance of preventive measures and collaborative efforts to restore and improve groundwater quality.

Keywords : groundwater nitrate, sustainable management, EU policies, Nitrate Directive and Groundwater Directive, 2019 Green Deal

Citation: Oh, J., Choi, J., Seo, H., Kim, H.-R., Ahn, H.T., Yun, S.-T. (2024) Implications of European Union’s Groundwater Nitrate Management Policies for Korea’s Sustainable Groundwater Management. *Korea Economic and Environmental Geology*, v.57, p.271-280, doi:10.9719/EEG.2024.57.2.271.

✉ Journal homepage: <http://www.kseeg.org/main.html>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited. pISSN 1225-7281; eISSN 2288-7962/©2024 The KSEEG. Printed by Hanrimwon Publishing Company. All rights reserved.

해설

유럽연합의 지하수 질산염 관리정책의 우리나라 지속가능한 지하수관리에의 시사점

오준섭¹ · 최재훈¹ · 서현수¹ · 김호림² · 안현태¹ · 윤성택^{1,*}

¹고려대학교 지구환경과학과

²한국지질자원연구원 광물자원본부

*책임저자 : styun@korea.ac.kr

요약

본 연구는 지하수 내 질산염 오염관리를 위한 유럽연합(EU)의 정책 동향을 분석하고, 한국에서의 지속가능한 지하수 관리정책에의 시사점을 도출하고자 수행되었다. EU의 지하수 질산염 관리 정책은 1991년 질산염 지침 도입으로 구체화되었다. 이 지침에서는 농업활동에서 발생하는 질산염 오염 감소를 목표로 하여 회원국들에게 지속가능한 농업 적용, 질산염 농도 모니터링, 그리고 기준치 초과 지역에 대한 질산염 취약 지역 지정을 요구하였다. 2000년 수질 프레임워크 지침(WFD)은 이를 확장, 모든 수역의 좋은 상태 달성 목표를 설정했으며, 2006년 지하수 지침(GWD)은 질산염 지침을 보완하여 지하수 보호를 위한 포괄적 접근 제공과 함께 오염물질 문턱값(threshold) 설정 등을 명시하였다. 2019년에는 그린딜(Green Deal) 발표와 함께 환경 및 기후변화 대응 목표에 부합하기 위해 질산염과 관련한 조치는 더욱 강화되었다. 본 논문에서는 이러한 변천사를 살펴봄으로써 질산염 오염 감소를 위한 주요 전략과 동향을 확인하고 현재 당면한 문제를 해결하기 위해 EU는 어떠한 노력을 기울이고 있는지 파악하고자 하였다. 연구는 EU의 동향을 기반으로 국내의 질산염 오염 문제의 현황과 이를 해결하기 위한 통합 관리 방식, 규제 체계, 농업 교육 프로그램 등 주요 시사점을 도출하고자 하였다. 본 연구 결과는 예방적 조치의 강화와 이해관계자 간 협력 증진이 한국 지하수의 질산염 오염문제를 해결하고 지하수 품질을 향상시키는 단서가 될 수 있음을 제시한다.

주요어 : 지하수 질산염, 지속가능한 관리, 유럽연합의 정책, 질산염관리지침과 지하수지침, 2019 그린딜

1. 서론

지하수는 전 세계 많은 지역에서 중요한 식수원으로 활용되며, 지하수질의 변화는 공중 보건과 환경에 직접적인 영향을 미친다(Schmoll, 2006; Ricolfi et al., 2020). 특히 질산염 오염은 지하수의 질을 저하시키는 주요한 요인 중 하나로, 과도한 농업 활동, 비료 사용, 가축 분뇨 관리의 부적절함 등이 주된 원인으로 지목되고 있다(Bouchard et al., 1992; Chica-Olmo et al., 2017; Kim et al., 2019b). 유럽연합(EU)은 이러한 문제의 심각성을 일찍이 인식하여 지하수의 질산염 오염을 관리하고 통제하기 위한 다양한 정책과 규제를 시행하고 있다.

유럽연합의 질산염 관리 정책은 1991년에 도입된 질산염지침(Nitrates Directive)을 중심으로 전개되어 왔다. 이 지침에서는 농업활동으로 인한 질산염의 수질 오염을 줄이기 위해 회원국들이 취해야 할 조치들을 명시하고 있으며, 특히 농업에서의 질소계 오염물질 사용을 관리하고, 오염된 지역을 식별하여 특별한 관리 조치를 적용하도록 규정하고 있다. 또한, 해당 지침에서는 지하수의 질

산염 농도를 정기적으로 모니터링하고, 그 결과를 기반으로 적용되던 오염 방지 및 관리 전략을 재조정하도록 요구하고 있다.

한편, 국내 지하수의 질산염 오염에 대한 우려는 여러 연구에서 제기되어왔다(Choi et al., 2007; Chae et al., 2009; Koh et al., 2009; Ki et al., 2015; Kim et al., 2019b). 환경부 조사·연구 자료에 따르면 농축산지역 내 지하수의 질산염 먹는물수질기준 초과율은 약 30%에 달하는 것으로 보고되었다(ME, 2016). 이러한 상황에도 불구하고, 제한된 국토 면적 내에서의 토지이용의 복잡성, 화학비료와 가축분 퇴비의 과다 사용, 그리고 지하수 오염관리 등에 대한 주민의 이해 부족 등은 여전히 지하수 내 질산염 오염에 대한 적극적인 대처를 어렵게 하고 있다.

이에, 본 논문에서는 EU의 질산염 관리 정책의 배경, 구현, 그리고 정책 적용 효과를 탐구함으로써, 지하수 질산염 오염 문제에 대한 대응 전략의 모범 사례를 제시하고자 한다. 이를 통해 지하수질 관리에 있어서의 정책적 접근법과 실행 전략의 중요성을 강조하고, 앞으로 한국이 지하수 내 질산염 오염과 관련하여 직면한 문제를 해

결하는데 고려해야 할 시사점을 도출 제시하고자 한다.

2. EU의 지하수 질산염 관리 정책

2.1. 의사결정 과정

EU의 환경관리 정책은 일반적으로 유럽연합의 시민을 대표하는 유럽 의회, EU 정부를 대표하는 유럽연합 이사회, 그리고 유럽연합의 전반적인 이익을 대표하는 유럽연합 집행위원회의 공동 결정 절차를 통해 결정된다(EU, 2024). 법률의 초안을 작성할 때 위원회는 반드시 해당 계획이 미칠 수 있는 잠재적인 경제적, 사회적, 환경적 영향을 평가하는데, 그 결과는 영향평가 보고서 작성의 형태로 진행된다. 이 과정에서 개인, 기업 및 조직은 위원회에서 제공하는 웹사이트인 ‘Have your say portal’에 제시된 공개 설문지를 통하여 피드백을 제공할 수 있으며, 각 회원국의 국회는 제출된 법안에 대하여 자국 내에서 문제를 다루는 것이 더 낫다고 생각하면 공식적으로 유보를 표명할 수 있다. 의회와 이사회는 위원회가 제안한 법안에 대하여 검토하고 필요에 따라 수정 제안을 할 수 있다. 이때 수정안에 대한 동의 여부를 결정하기 위해 협의를 진행하는데, 세 기관의 의견이 일치하지 못하여 합의에 도달하지 못하면 조정위원회가 구성되어 해결책을 찾고 최종 동의를 거쳐 합의에 도달하면 법안이 채택된다.

EU의 입법 종류는 다양한 형태가 있으나, 구속력이 있는 종류로는 크게 규제(Regulations), 결정(Decisions), 그리고 지침(Directives)으로 분류할 수 있다. ‘규제’는 모든 세부 사항을 포함하여 EU 전체에 직접 적용되는 구속력이 있는 입법 행위로서 추가 법률 없이 회원국에 바로 적용된다. ‘결정’은 특정 사안, 개인, 또는 회원국에만 적용되며, 목표로 하는 대상에게만 직접적인 효력이 있다. ‘지침’은 특정 목표를 설정하되, 달성 방법은 회원국이 결정할 수 있으며, 회원국은 지침의 목표를 달성하기 위해 국내 법률을 조정하는 방식으로 시행한다. 후술할 지하수 질산염 관리 정책들을 포함한 대부분의 환경 정책은 지침의 형식을 따르고 있다.

2.2. 지하수 질산염 관리 정책 추이

EU의 지하수 수질관리 역사는 환경보호 및 지속가능한 자원관리에 대한 점진적 인식 증가와 함께 발전해 왔다. 초기 수질 관련 정책은 1970년대 초반부터 시작되었다(Giakoumis and Voulvoulis, 2018). 이 시기에는 주로 대기 및 지표수 오염 문제에 관심이 집중되었고, 지하수 보호는 간접적으로만 다루졌다. 당시의 환경 정책은 주로 오염 방지 및 수질기준 설정에 따른 제한이 주요 관

심사였으며, 구체적인 지하수 보호 조치보다는 지하수의 오염물질 배출에 대한 제한이 주요 사항이었다.

EU에서 지하수 내 질산염에 대한 수질관리가 본격적으로 부각된 계기는 1991년 질산염 지침[Nitrate Directive (ND), 91/676/EEC]의 도입이다(EU Commission, 1991). 서론에서 언급하였듯이, 이 지침은 농업활동으로 인한 수질오염, 특히 질산염 오염을 방지하고, 개선된 농업 관행을 권장함으로써 유럽 전역의 지하수 수질을 보호하는 것을 목표로 도입되었다. 이 지침에서 회원국들은 수권의 질산염 농도를 의무적으로 모니터링해야 하며, 유럽의 질산염 수질기준치(50 mg/L NO₃)를 초과하는 지역에 대해서는 ‘질산염 취약지역[Nitrate Vulnerability Zone (NVZ)]’을 지정하는 조치를 취할 것을 명시하였다. 이와 함께 NVZ로 설정된 구역 내의 농민들이 의무적으로 실행할 조항도 마련되었다. 조항에 따라 구역 내 농민들은 1) 작물이 질소를 필요로 하는 기간 동안만 질소 비료의 사용이 가능하고, 2) 가파른 경사지, 얼거나 눈이 덮인 땅이나 물가 등에서의 비료 사용을 금지하며, 3) 축산분뇨에 의한 질소 부하는 170 kg/ha/year로 제한하여야 한다. 이러한 농업지침을 달성하기 위해 질산염 지침에서는 이 해당자, 즉 농민들이 지속가능한 농업 방식을 채택하고, 질산염 오염을 줄이는데 필요한 지식과 기술을 습득할 수 있도록 회원국들이 교육프로그램을 개발하여 시행할 것을 요구하고 있다. 이와 같은 내용으로 진행되어 온 질산염 지침은 환경에 대한 관심 증가와 함께 다양한 정책들이 도입됨에 따라 점차 변경 및 보완을 거치게 된다(Fig. 1).

이후 수계의 수질 관리에 대한 필요성이 지속적으로 증가함에 따라 2000년 EU에서는 수역관리 기본지침[Water Framework Directive(WFD), 2000/60/EC]를 도입하였다(EU Commission, 2000). WFD는 질산염 지침을 포함한 기존의 EU 수질 관련 법규를 통합하고 보완하는데 중점을 두고, 수질 상태를 평가하여 모든 수역이 ‘좋은 상태(Good Status)’를 달성하고 유지하는 것을 목표로 하였다. WFD의 도입과 함께 ‘질산염 지침’의 적용 범위는 기존의 농업이라는 특정 오염원에 초점을 맞춘 것에서 발전하여 모든 유형의 수체 및 오염원을 고려하는 것으로 확장되었다. 이에 따라 ‘좋은 화학적 상태’ 및 ‘좋은 생물학적 상태’라는 명확한 환경 목표의 설정 필요성이 대두되었다. 기존의 오염원 중심의 접근법도 지역별 특성에 맞는 맞춤형 해결책 개발을 위한 유역 기반 접근법의 도입으로 변경되었다. 최종적으로 모든 회원국들은 ‘관리대상 오염물질의 추세 분석을 수행하고 관리 대상 물질의 감소 추세를 달성하는 것을 목표로 하고 4년마다 수질 현황을 보고할 것을 명시’하였다.

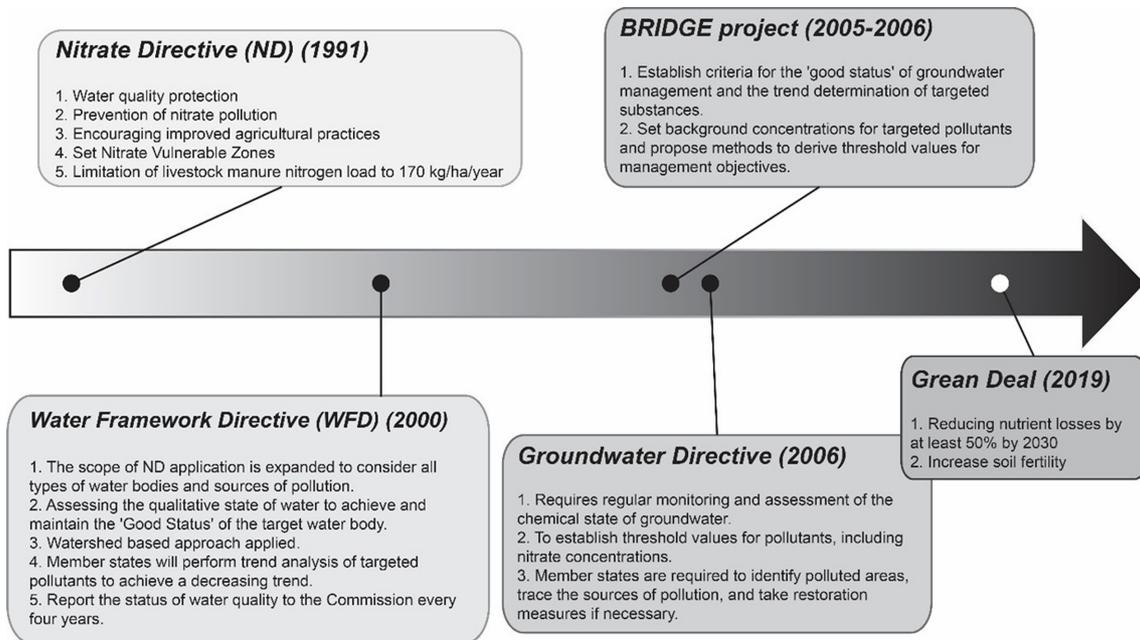


Fig. 1. Timeline of EU directives aimed at managing nitrate pollution of water, from the 1991 Nitrate Directive to the 2019 Green Deal, illustrating evolving strategies for groundwater protection and sustainable agricultural practices.

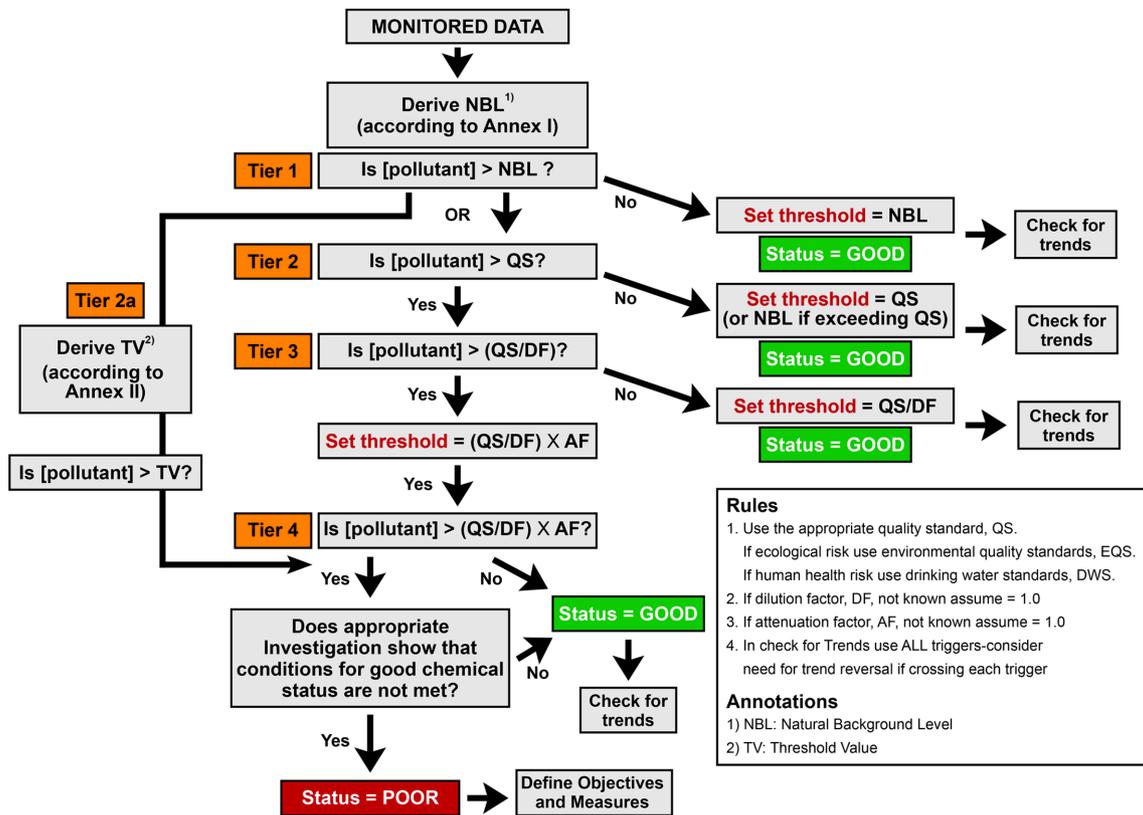


Fig. 2. A schematic diagram showing the process for determining threshold values (modified from Müller et al., 2006).

WFD 설정 이후 유럽위원회에서는 WFD와 후속할 지하수 지침(Groundwater Directive)에서 제시하는 지하수

관리의 '좋은 상태'와 관리대상 물질의 추세를 판별하는 기준을 마련하기 위하여 2005년부터 2006년까지 '지하수

문턱값 식별을 위한 배경기준[Background cRiteria for the IDentification of Groundwater thrEsholds(BRIDGE)]' 프로젝트를 수행하였다(Müller et al., 2006). 본 연구 프로젝트에서는 관리 대상 오염물질의 배경농도 설정 및 관리 대상 목표치인 문턱값(threshold)을 도출하는 방법을 제안하였다(Fig. 2).

위 프로젝트를 기반으로 2006년에 도입된 지하수 지침 [Groundwater Directive(GWD), 2006/118/EC]에서는 '질산염 지침'의 몇 가지 중요한 부분을 보완하였다(EU Commission, 2006). GWD는 지하수의 오염을 방지하고 지하수질을 보호하는데 중점을 두고 '질산염 지침'과 함께 연계 운용함으로써 지하수 보호를 위한 포괄적 접근 방식을 제공하였다. GWD에서는 지하수의 화학적 상태를 정기적으로 모니터링하고 평가하는 것을 요구하였고, 질산염 농도를 포함한 관리 대상 오염물질의 문턱값을 설정할 것을 명시하였다. 해당 지침에서 문턱값은 지하수 수질 관리를 위한 구체적인 목표로 활용되며, '질산염 지침'이 명시한 수질 보호를 위한 목표와 더불어 보완적으로 작동할 수 있게 되었다. 또한, GWD는 오염된 지역의 식별과 오염원 추적, 그리고 필요한 경우 복원 조치를 취할 것을 회원국에 요구함으로써, 지하수 오염 문제에 대하여 보다 적극적인 대응을 가능케 하였다. 이와 함께 WFD와 GWD에서는 공통적으로 농민을 포함한 모든 이해관계자가 수질 보호에 기여할 수 있도록 유도하기 위해 공공 참여와 인식 제고를 강조하고 있다.

시간이 지난 2019년, EU는 여러 환경 및 기후변화와 관련한 문제에 대응하기 위해 그린딜(Green Deal)을 발표하였다(EU Commission, 2019). 그린딜은 2050년까지 유럽을 기후 중립적인 대륙으로 만들기 위한 성장 전략으로서 깨끗한 환경, 저렴한 에너지, 스마트한 교통수단, 새로운 일자리 창출 및 경제적 성장과 함께 온실가스 배출량을 최소 55%까지 감소하는 것을 목표로 하고 있다. 그린딜에서는 온실가스, 에너지, 산업, 건물, 교통, 식품, 생태계, 그리고 오염과 관련하여 다양한 전략들을 제시하였다. 특히, 그린딜에서 제시한 식품 분야의 추진 방향, 즉 농장에서 식탁까지의 전략(Farm to Fork Strategy)에 따라 수계의 오염원으로 작용하는 영양분(nutrients) 손실을 최소 50% 줄이면서 토양의 비옥도를 높이기 위한 방향으로 '질산염 지침'의 목표가 강화되었다. 이러한 목표에 따라 유럽의 공동농업정책[Common Agricultural Policy(CAP)]에서는 유기농업을 권장하고, 화학 농약과 비료 사용을 줄임과 동시에 농경지의 휴경 의무를 지시함으로써 생물 다양성을 증진시키기 위한 정책을 시행하게 되었다.

3. EU의 지하수 질산염 오염 현황과 현안 과제

3.1. EU의 지하수 질산염 오염 현황

1991년 '질산염 지침'을 도입한지 30년을 넘어선 현재, 하천수 내 질산염의 농도는 정책이 도입된 이래 2009년까지 꾸준히 감소하여 온 반면, 지하수 내 질산염의 농도는 동일한 수준에서 변동하면서 뚜렷한 추세를 보이지 않고 있다(EU Commission, 2021; EEA, 2023b). 실제로 2016년부터 2019년까지 수집된 지하수 수질 자료를 기반으로 위원회에서 작성하여 이사회 및 유럽의회에 보고한 '질산염 지침' 이행에 관한 보고서에서는 '질산염이 여전히 EU에서 수질에 유해한 오염을 일으키고 있음'을 경고하였다. 해당 보고 내용을 세부적으로 살펴 보면, 해당 기간 중 회원국 전체에서 식수로 사용되는 지하수의 수질기준 초과율은 14.1%로서 이전 자료 수집 기간인 2012-2015년에 보고된 초과율(13.2%)에 비하여 오히려 높아진 것으로 확인되었다. 이 결과에 따라 회원국에서 설정한 NVZ도 14.4% 증가하였다. 국가별로 보면, 벨기에, 체코, 덴마크, 독일, 핀란드, 헝가리, 라트비아, 룩셈부르크, 몰타, 네덜란드, 폴란드, 스페인에서는 농업으로 인한 영양 오염 문제가 매우 심각하며, 특히 몰타의 경우에는 지하수의 수질 기준 초과율이 무려 60%를 넘어선 것으로 나타났다.

3.2. EU의 지하수 질산염 오염을 극복하기 위한 노력과 현황

상기한 수질 오염 현황에 대하여 유럽 환경청[European Environment Agency(EEA)]의 2023년 지표 보고에서는 '현재의 지하수 질산염 농도 추세로는 그린딜에서 제시하는 영양분 손실 50% 감소라는 목표에 도달할 것이 어려울 것'이라고 전망하였다(EEA, 2023a). 또한, 공동연구센터[Joint Research Centre(JRC)]는 시행 중인 정책을 기반으로 수행한 시나리오 모델링을 통하여 '질소의 영양 부하를 최대 30%까지만 줄일 수 있을 것'으로 전망하였다. 이러한 보고들은 EU의 정책 결정권자에게 좀 더 강력한 환경정책을 제안할 수 있는 근거가 되었다.

그러나 현재 유럽의 정세는 굉장히 복잡한 상황에 놓여있다. 특히, 2022년 우크라이나 전쟁이 발발한 이후 우크라이나산 농작물 수입에 관련된 이해당사자들과 정책 결정권자 간의 갈등이 격화되었다. 이에 따라 2024년 현재 유럽 전역에는 농민 시위가 진행되고 있으며, 유럽 내 다수의 언론매체는 연일 해당 사건을 중점적으로 보도하고 있다. EU 농민들의 시위의 목적은 대체로 농산물 시장 경쟁력 확보를 통한 농민의 생존권 보장에 집중되어 있으나, 일부 국가 농민들은 강력한 환경정책이 생산성

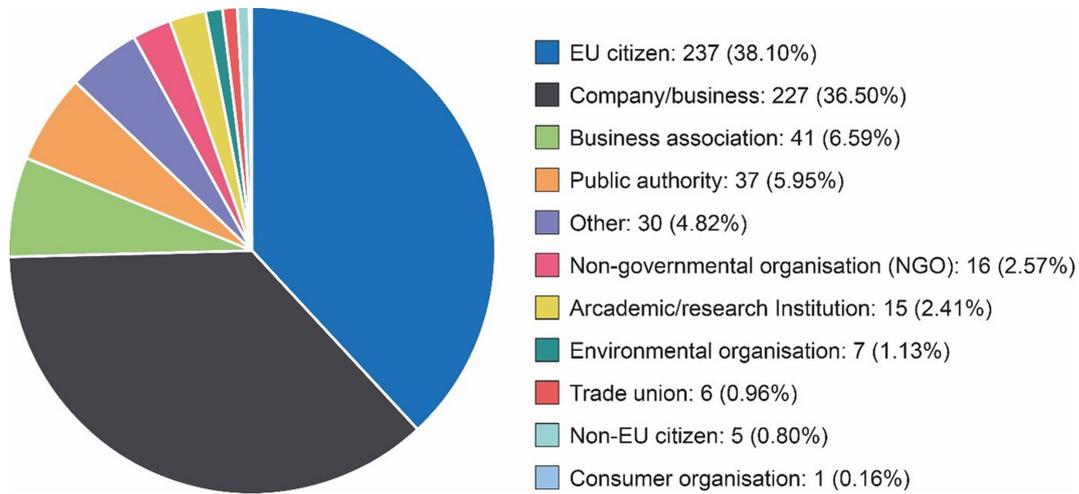


Fig. 3. Proportion of participants by category involved in the feedback on the Nitrate Directive (March 7, 2024; modified from EU Commission, 2024).

저하로 이어지고 있다며 대안을 요구하고 있다. 특히, 농업 비중이 큰 네덜란드, 벨기에, 불가리아, 크로아티아, 체코, 헝가리, 슬로바키아 및 아일랜드에서는 직접적으로 ‘질산염 지침’과 CAP에서 제시하는 환경정책에 대해 강한 반발을 표하고 있다.

EU 회원국들은 이러한 상황에 대해 각 국 농민들의 요구사항에 응답하여 CAP에서 명시된 환경 보호를 위한 요구 조건을 간소화하기 위한 협의를 진행 중에 있으며, 농민 대상의 보상금 지원 확충 등 다방면의 노력을 기울이고 있다. 한편, 유럽위원회는 ‘질산염 지침’의 적절한 반영을 위해 농민, 산업계, 시민, NGO 및 공직자를 포함하여 모든 의견을 수집하는 공개 컨설팅을 진행하고 있으며, 현재 직접적인 이해 당사자인 관련 회사 및 시민들이 공개 컨설팅에 적극 참여하고 있다(Fig. 3; EU Commission, 2024). 이러한 노력을 통하여 현재 유럽위원회에서는 ‘질산염 지침’이 목적에 적합하게 적용되고 있는지, 그리고 지속가능하고 탄력적인 농업 및 식량 안보에 기여하고 있는지를 평가하고 보완하려는 노력을 기울이고 있다.

4. 한국의 지하수 질산염 오염 및 관련 정책 현황과 EU 정책의 시사점

4.1. 한국의 지하수 질산염 오염 현황

2021년 기준으로 국내에서 사용되는 지하수의 과반은 농어업용으로 사용되고 있다(K-Water, 2023). 앞서 서론에서 언급하였듯이, 여러 연구에서 국내 농축산지역의 지하수 질산염 오염에 대한 우려가 지속 제기되어 왔다(Choi et al., 2007; Chae et al., 2009; Koh et al., 2009;

Ki et al., 2015; Kim et al., 2019b). 이들 연구에서는 질산염 오염의 원인으로 농업활동에 기인하는 비료, 축분 및 생활하수를 지목하고 있으며 이에 대한 조치가 서둘러 시행되어야 함을 강조하고 있다. 이처럼 다수의 연구에서 지하수 질산염의 농도 수준과 오염원 간의 연관성을 규명하고 있음에도 불구하고, 질산염과 관련한 수질 현황을 광역적 규모에서 직접적으로 언급한 연구 사례는 드물다. 이에, 본 절에서는 국내 질산성질소의 먹는물 수질기준(10 mg/L NO₃-N)을 기준으로 지하수 수질 현황을 직접적으로 기술한 제주도와 내륙의 연구 사례를 통하여 수질 현황을 보고한다.

Kim et al.(2018)은 1993년부터 2015년까지 제주도 전역에 분포한 4835개 지하수 관정에서 획득한 21568개 지하수 자료를 기반으로 지하수 내 질산성질소의 시공간적 변화를 평가하였다. 해당 연구에서는 제주도 지하수의 질산성질소 중앙값이 2.5 mg/L NO₃-N으로서 국내 다른 지역에 비해 유사하거나 약간 높은 수준임을 보고하였다. 특히, 저지대의 농업 및 주거지역에서 질산성질소 농도가 높게 나타나며, 중산간지역에서는 농업지역 확장으로 인해 오염 증가 경향이 있음을 제시하였다. 또한, 제주도 행정구역별 질산성질소의 먹는물수질기준(10 mg/L NO₃-N) 초과율을 평가한 결과, 환경, 한림, 대정, 조천 및 안덕지역의 초과율이 10%를 넘음을 확인하였다. 더불어 제주 모든 행정구역에서 수질기준을 초과하는 관정이 확인되었으며, 따라서 EU의 ‘질산염지침’ 기준을 적용하면 모든 지역이 NVZ에 속하게 될 것임을 보고하였다.

한편, 환경부에서는 2012년부터 2016년까지 전국 100개 축산단지를 대상으로 19000개의 지하수 자료를 수집하고 지하수 질산염 오염 실태를 조사한 바 있다(ME, 2016).

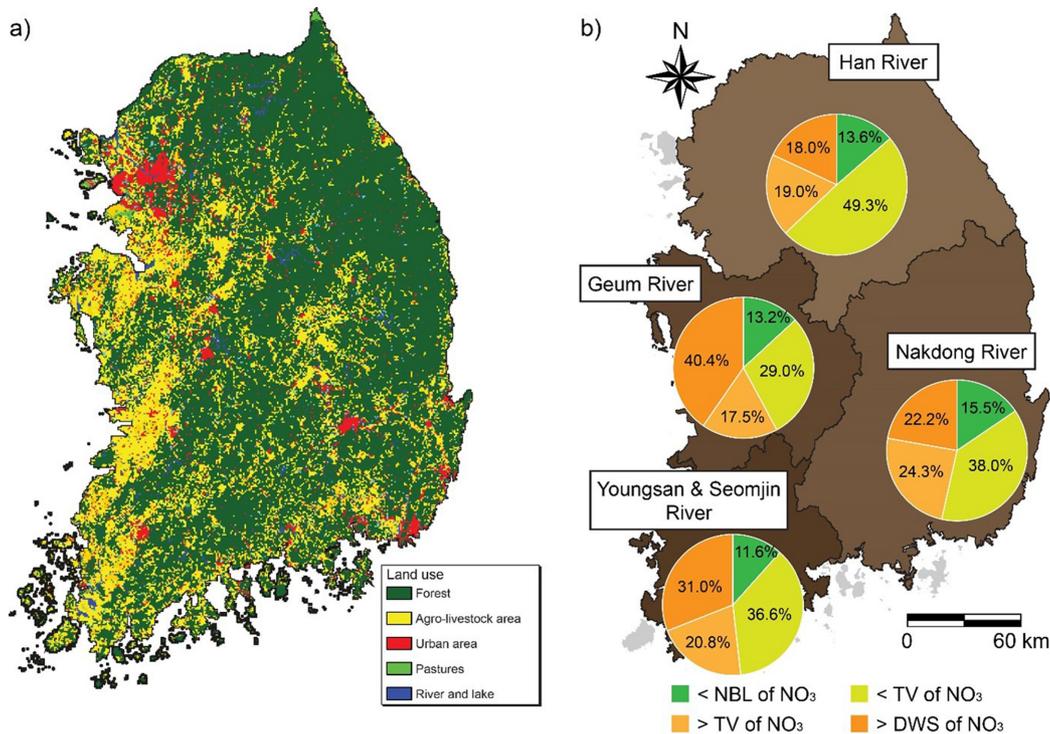


Fig. 4. a) Land use in South Korea, b) Proportion of groundwater types in four major watersheds of South Korea. Groundwater types are classified into four groups based on natural background concentrations, threshold values, and drinking water quality standards.

연구보고서에 따르면 조사 대상 지하수 시료 중 약 30%가 질산성질소의 먹는물 수질기준(10 mg/L NO₃-N)을 초과한 것으로 나타났다. 유역별로 수질현황을 보면, 한강 유역, 낙동강 유역, 금강 유역, 그리고 영산·섬진강 유역의 초과율은 각각 18.0%, 22.2%, 40.4% 및 31.0%로 나타났으며, 특히 농축산지역이 집중 분포하는 금강 유역과 영산·섬진강 유역의 초과율이 높은 것으로 나타났다 (Fig. 4). EU의 BRIDGE 프로젝트에서 제안한 문턱값 설정 방법에 따라 유역별로 질산염 문턱값을 계산해 보면 각 유역 별로 지하수의 약 20%가 잠재적인 오염 영향 하에 있음을 알 수 있다. 아울러, 축산 기원의 질산성 질소 부하량이 308.69 kg/ha/year를 초과할 때 먹는물 수질기준을 초과하는 심각한 오염이 발생함을 산정하였다. 이 연구에서 보고된 수질기준 초과율과 질소부하량 수치는 EU에서 보고된 2019년 수질기준 초과율(14.1%)과 권장 질소부하량(170 kg/ha/year)에 비해 매우 높다. 요약하면, 국내 지하수는 농축산활동으로 인한 수질오염이 심각한 수준이며, 따라서 오염원에 대한 적절한 관리가 제대로 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

4.2. 한국의 지하수 질산염 오염 관리의 난점

한국에서 지하수의 질산염 오염 관리는 여러 난점에 직면해 있다. 주요 난점으로는 지하수 관정의 용도별로 각

기 다른 수질기준, 농업 활동으로 인한 과도한 질산염 배출, 효과적인 모니터링 및 관리 체계의 부재, 그리고 농민 및 일반 대중의 인식 부족 등이 있다.

국내 지하수 관리를 위한 수질기준은 음용, 생활용, 공업용의 세 용도에 따라 서로 다른 기준을 적용하고 있다. 질산성질소(NO₃-N)의 경우, 음용 지하수의 수질기준은 10 mg/L, 생활용은 20 mg/L, 그리고 공업용은 40 mg/L로서 용도별로 큰 폭으로 차이가 나는 기준치를 채택하고 있다. 이러한 현황에 대하여 Lee and Kim(2007)은 현행 지하수 수질기준은 과학적 근거가 부족하고, 관련 환경 매체와의 연계성을 고려하지 않고 있으며, 지하수 수자원의 용도 변경이 가능하기에 수질기준을 초과하는 경우에 적극적인 수질관리에 대한 노력 없이 용도 변경을 통한 계속 이용이 가능함으로써 지속적인 수질 악화를 야기할 수 있음을 우려하였다. 또한, 음용 이외의 기준치는 단순히 음용 기준의 2~3배 수준으로 높여 설정되어 있어 합리성을 띄지 못하며, 따라서 음용 이외의 지하수 이용에 대해서도 인체 위주의 위해성에 중점을 두고 용도에 상관없이 동일한 수질기준치를 설정하는 것이 장기적 지하수 수질 관리의 측면에서 타당할 것임을 강조하였다.

위에서 언급한 바와 같이, 국내 농축산 지역에서의 과도한 질소 부하는 매우 심각한 수준이다. 이 문제와 관련하여 Kim et al.(2019a)은 한국 전역의 농축산 지역에

서 2012-2014년 사이에 수집한 대규모 수질자료(n = 4000)에 대해 분위회귀(Quantile regression)를 적용하여 농축산 기원 질소 부하와 지하수 내 질산염 오염 수준 간의 관계를 구체적으로 규명하였다. 그 결과, 농지 기원의 질소 부하가 증가함에 따라 지하수 내 질산염 농도가 모든 분위에서 증가하며, 특히 높은 분위에서 질소 부하와 오염도 간의 상관성이 큰 폭으로 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 연구 결과를 근거로 농축산활동으로 인한 질소 부하가 높은 지역에서는 질산염의 오염이 더욱 강하게 나타나고 있음을 강조하였다.

효과적인 모니터링 및 관리 체계의 미흡도 해결해야 할 주요한 난점의 하나이다. 현재 시행 중인 지하수 관리 방안에서는 지역 특성과 오염 현황을 충분히 반영하지 못하고 있다. Kim and Hyun(2021)은 금강 유역을 대상으로 2017년 국가 지하수 수질측정망 자료와 지역 지하수 수질측정망 자료를 활용하여 지하수의 수질 등급을 평가하였다. 해당 연구에서는 먹는물 수질기준을 만족하는 청정수의 경우 1등급, 생활용수 수질기준을 만족하며 청정상태에 근접하여 약간의 처리 후 음용이 가능한 수준이면 2등급, 특정유해물질에 대한 생활용수 수질기준을 만족하지만 일반 오염물질의 수질기준을 만족하지 못해 별도의 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있는 경우 3등급, 그리고 생활용수 수질기준을 초과하는 경우 4등급으로 정의하였다. 제안된 등급을 적용한 결과, 질산성질소 농도에 따른 금강 유역 지하수의 수질은 3등급으로 평가된 부남 방조제 지역을 제외하고는 1등급 및 2등급으로 양호한 것으로 평가되었다. 반면, 똑같이 2017년에 금강 유역에 속하는 충남 보령, 예산, 당진 및 홍성에 위치한 7개 농축산지역에서 696개 음용 지하수와 1184개 생활용 지하수를 채취하여 수행한 연구 결과(ME, 2017)를 보면, 해당 지역에서 음용 지하수의 20.5%, 생활용 지하수의 5.2%가 현행 수질기준을 초과하는 것으로 보고하였다. 두 평가 결과는 매우 상이하다. 이는 국가 및 지역 지하수 측정망이 지역 별로 특히 농업 등 인위활동에 따라 변화하는 지하수 수질 특성을 제대로 반영하지 못하고 있음을 시사한다. 모니터링과 관련한 이러한 문제는 결국 지하수 오염 문제에 대한 신속하고 정확한 대응을 어렵게 하여 지역의 오염 상태를 악화시키거나 나아가 관리 소홀로 이어질 수 있다.

농민 및 일반 대중의 지하수 수질관리에 대한 인식 부족도 중요한 난점이다. 특히, 농민들 사이에서는 작물 생산을 최대화하기 위해 과도한 비료와 농약 사용이 흔하며, 이는 결국 지하수 질산염 오염을 악화시킬 수 있다. 그럼에도 불구하고 농민들은 이러한 전통적인 농업 관행이 지하수 수계의 수질에 미치는 부정적 영향에 대하여

충분히 인식하지 못하는 경우가 많다. 일반 대중도 지하수의 중요성과 적절한 사용에 대한 인식이 여전히 부족하여, 과도한 지하수 사용과 질산염 오염 문제에 대해 무관심한 상황이다. 이러한 현상에 대하여 Lee and Kim(2021)은 지하수의 직접적 이용 여부에 따라 인식 격차가 매우 크기 때문에 해석하였는데, 지하수 의존도가 매우 큰 제주도에서는 지하수에 대한 전반적 관심이 큰 반면 상수도를 주로 이용하는 내륙에서는 지하수에 대한 관심이 상대적으로 낮은 것을 해석 근거로 제시하였다. 따라서, 국내 지하수의 지속가능한 관리와 보호를 위해서는 농민들에게는 환경친화적 농업 관행의 중요성을, 그리고 일반 대중에게는 지하수 보존의 필요성을 널리 교육 및 홍보하는 포괄적 접근이 매우 필요하다.

4.3. EU 정책의 한국의 지하수 질산염 관리에의 시사점

EU ‘질산염 지침’은 WFD, GWD 및 최근의 그린딜에 이르기까지 지속적 보안을 통해 체계 보완 및 범위 확장을 추진함으로써, 질산염 오염을 효과적으로 관리하기 위한 종합적 접근 방식을 제공하고 있다. 이러한 정책에는 지속가능한 농업 관행 촉진, 질산염 수준의 정기적 모니터링, 오염된 지역에 대한 특별 관리 조치 적용 및 이해당사자 간 협력 강화를 핵심사항으로 포함하고 있다. 과학 기반의 이러한 정책 설정 및 집행에도 불구하고 특히 지하수의 경우에는 EU에서 목표하는 지점에 도달하기까지는 아직 요원해 보이는 것이 현실이지만, 지속적 토의와 합의를 거치는 꾸준한 노력과 합리적 절충은 언젠가 최종 목표에 도달하는데 있어 충분한 밑거름이 될 것으로 보인다.

상술한 국내 지하수 내 질산염 관리에 있어서의 난점들을 극복하기 위해서는 EU의 이러한 정책적 접근 방식을 참고하여 지하수의 질산염 오염 관리 정책을 적극 개선할 필요가 있다. 이러한 측면에서 국내 지하수의 지속가능한 수질관리 방향에 대한 EU 물관리 정책들의 시사점을 도출하면 다음과 같다. 첫째, 지속가능한 농업 관행의 적극적 촉진과 함께, 지하수 수질 관련 농업활동에 관한 체계적이고 지속적인 교육을 통하여 농민들이 환경친화적 방식으로 작물을 재배하도록 적극 유도해야 한다. 이에는 비료와 농약 사용의 최소화 및 효율적 물 사용을 포함한다. 둘째, EU의 NVZ 지정 방식과 유사하게 한국에서도 질산염 오염이 높은 지역을 식별하고, 이 지역에 대하여 관리와 모니터링을 강화하는 관리체계가 필요하다. 이를 위해서는 지하수 수질오염 평가 기준의 일원화와 더불어 지역 특성을 올바르게 반영할 수 있는 정확하고 체계적인 데이터 수집 및 분석 체계의 구축이 필수적이다. 셋째, 이해당사자 간 협력 강화는 EU 정책의 핵심

요소 중 하나이다. 국내에서도 정부, 농민, 시민사회, 학계 등 다양한 이해당사자가 지하수 질산염 오염 문제의 해결을 위하여 상호 긴밀히 소통하고 협력할 수 있는 플랫폼을 마련하고, 공동의 목표 달성을 위하여 부단한 노력을 기울여야 할 것이다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 유럽연합(EU)에서의 수계(특히, 지하수) 질산염 오염 문제에 대한 정책 동향을 분석하고, 이를 바탕으로 한국의 지하수 관리정책 프레임워크에 대한 시사점을 도출하였다. EU에서는 1991년 ‘질산염 지침’을 시작으로 지속가능한 농업 관행, 질산염 오염 수준 모니터링, 질산염 취약 지역(NVZ) 지정에 중점을 두고 수질을 관리해왔다. 이후 다양한 정책의 도입과 함께 이러한 조치는 점차 확대 및 체계화되었으며, 현재는 포괄적으로 지하수 보호와 농업 관행을 환경 목표에 일치시키는데 초점을 맞추고 있다. EU의 정책 결정 과정에서는 질산염 오염을 완화하기 위한 예방 조치, 정기적 모니터링과 같은 주요 관리체계가 잘 구성되어 있으며, 이해관계자 참여도 적극 이루어지고 있음을 확인하였다. 이들 주요 방향은 우리나라의 지하수 질산염 오염 관리가 당면한 도전과제들, 즉 제한된 모니터링 및 관리 시스템, 공공의식 부족, 관련 지침 미비 등과는 확연한 차이를 보이고 있다. 결론적으로 지하수 내 질산염 오염을 관리하는데 있어 EU와 유사한 접근 방식을 따르게 된다면, 한국의 지하수 질산염 관리 체계도 크게 개선될 수 있을 것이다. EU의 질산염 오염 문제에 대처하기 위한 지속가능한 농업 관행 촉진, 모니터링 및 관리 시스템 강화, 이해관계자 간 협력 증진과 같은 포괄적이고도 선제적인 정책 프레임워크는 앞으로 국내에서 지하수 보호 노력을 강화하는데 있어 중요한 교훈을 주고 있다.

사 사

본 연구 결과는 오랫동안 이루어진 국내 지하수 조사·연구과제의 지원에 의한 산물이며, 이에 제주보건환경연구원, 국립환경과학원, K-Water 등의 지원에 감사드린다.

References

- Bouchard, D.C., Williams, M.K. and Surampalli, R.Y. (1992) Nitrate contamination of groundwater: sources and potential health effects. *J. Am. Water. Works. Assoc.* v.84, p.85-90. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1992.tb07430.x>.
- Chae, G.T., Yun, S.T., Mayer, B., Choi, B.Y., Kim, K.H., Kwon, J.S. and Yu, S.Y. (2009) Hydrochemical and stable isotopic assessment of nitrate contamination in an alluvial aquifer underneath a riverside agricultural field. *Agric. Water. Manag.* v.96, p.1819-1827. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.001>.
- Chica-Olmo, M., Peluso, F., Luque-Espinar, J.A., Rodriguez-Galiano, V., Pardo-Igúzquiza, E. and Chica-Rivas, L. (2017) A methodology for assessing public health risk associated with groundwater nitrate contamination: a case study in an agricultural setting (southern Spain). *Environ. Geochem. Health.* v.39, p.1117-1132. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9880-7>.
- Choi, W.J., Han, G.H., Lee, S.M., Lee, G.T., Yoon, K.S., Choi, S.M. and Ro, H.M. (2007) Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in unconfined groundwater in rural areas of Korea. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.120, p.259-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.002>.
- EU (2024) How EU policy is decided. Accessed at 17 February 2024. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/how-eu-policy-decided_en.
- EU Commission (1991) Directive 91/676/EEC. Council Directive of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of European Community*.
- EU Commission (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of European Community*.
- EU Commission (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. *Official Journal of European Community*.
- EU Commission (2019) The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind. Accessed 18 February 2024. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691.
- EU Commission (2021) Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2016-2019. *Official Journal of European Community*.
- EU Commission (2024) Protecting waters from pollution caused by nitrates from agricultural sources - Evaluation. Accessed at 7 March 2024. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14051/public-consultation_en.
- European Environment Agency (2023a) Nitrate in groundwater. Accessed 18 February 2024. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/nitrate-in-groundwater-8th-eap>.
- European Environment Agency (2023b) Nutrients in freshwater in Europe. Accessed 18 February 2024. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/nitrate-in-groundwater-8th-eap>.
- Giakoumis, T. and Voulvoulis, N. (2018) The transition of EU water policy towards the Water Framework Directive's integrated river basin management paradigm. *Environ. Manage.* v.62, p.819-831.

- <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1080-z>.
- K-water. (2023) Statistics on Groundwater Usage by Purpose. Accessed 20 February 2024. https://www.bigdata-environment.kr/user/data_market/detail.do?id=7a5297f0-1404-11eb-bc79-3b11eb915d6d#!.
- Ki, M.G., Koh, D.C., Yoon, H. and Kim, H. (2015) Temporal variability of nitrate concentration in groundwater affected by intensive agricultural activities in a rural area of Hongseong, South Korea. *Environ. Earth Sci.* v.74, p.6147-6161. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4637-7>
- Kim, H.R., Oh, J., Do, H.K., Lee, K.J., Hyun, I.H., Oh, S.S., Kam, S.K. and Yun, S.T. (2018) Spatial-temporal variations of nitrate levels in groundwater of Jeju Island, Korea: evaluation of long-term (1993-2015) monitoring data. *Econ. Environ. Geol.* v.51, p.15-26. <https://doi.org/10.9719/EEG.2018.51.1.15>.
- Kim, H.R., Yu, S., Oh, J., Kim, K.H., Oh, Y.Y., Kim, H.K., Park, S. and Yun, S.T. (2019a) Assessment of nitrogen application limits in agro-livestock farming areas using quantile regression between nitrogen loadings and groundwater nitrate levels. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.286, p.106660. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106660>.
- Kim, H.R., Yu, S., Oh, J., Kim, K.H., Lee, J.H., Moniruzzaman, M., Kim, H.K. and Yun, S.T. (2019b) Nitrate contamination and subsequent hydrogeochemical processes of shallow groundwater in agro-livestock farming districts in South Korea. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.273, p.50-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.010>.
- Kim, J.J. and Hyun, Y. (2021) Assessment of groundwater quality on a watershed scale by using groundwater quality monitoring data. *J. Soil Groundwater Environ.* v.26, p.2021. <https://doi.org/10.7857/JSGE.2021.26.6.186>
- ME (2016) Investigation of the Contamination Status Including the Background Concentration of Groundwater in Livestock Complex Areas (16'). Ministry of Environment, Sejong-si, Korea.
- ME (2017) Improvement Project for Nitrate Nitrogen Water Quality Management in Groundwater of Agricultural and Livestock Areas (I). Ministry of Environment, Sejong-si, Korea.
- Koh, D.C., Chae, G.T., Yoon, Y.Y., Kang, B.R., Koh, G.W. and Park, K.H. (2009) Baseline geochemical characteristics of groundwater in the mountainous area of Jeju Island, South Korea: Implications for degree of mineralization and nitrate contamination. *J. Hydrol.* v.376, p.81-93. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.016>.
- Müller, D., Blum, A., Hart, A., Hookey, J., Kunkel, R., Scheidleder, A., Tomlin, C. and Wendland, F. (2006) Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe. Report to the EU project “BRIDGE” 2006, Deliverable D18 006538, 63.
- Ricolfi, L., Barbieri, M., Muteto, P.V., Nigro, A., Sappa, G. and Vitale, S. (2020) Potential toxic elements in groundwater and their health risk assessment in drinking water of Limpopo National Park, Gaza Province, Southern Mozambique. *Environ. Geochem. Health* v.42, p.2733-2745. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00507-z>.
- Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J. and Chorus, I. (2006) Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources. World Health Organization.