

Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2024.57.4.426>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Chemical characteristics of agricultural groundwater with different land use type, period, and season in Gangwon province from 2021 to 2023

Bo-Min Kim^{1*}, Dong-Min Kim¹, Seong-Yu Hong¹, Soo-Young Hong¹, Ki-Sun Kim², Young-Ho Seo²¹Researcher, Gangwon State Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24203, Korea²Senior Researcher, Gangwon State Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24203, Korea*Corresponding author: Kim BM (Email: bominis@korea.kr)

ABSTRACT

Received: October 21, 2024
Revised: November 12, 2024
Accepted: November 13, 2024

Edited by

Hyuck Soo Kim,
Kangwon National University,
Korea

ORCID

Kim BM
<https://orcid.org/0000-0002-0027-8972>

Kim DM
<https://orcid.org/0009-0005-2577-6651>

Hong SY
<https://orcid.org/0009-0002-2113-3972>

Hong SY
<https://orcid.org/0009-0004-2845-7763>

Kim KS
<https://orcid.org/0009-0009-8453-2832>

Seo YH
<https://orcid.org/0000-0003-3939-6877>

From 2021 to 2023, the water quality of agricultural groundwater in Gangwon State was investigated. pH, EC, total nitrogen (T-N), total phosphorus (T-P), NO₃-N, Cl, Na, Mg, K, and Ca were measured in April and July every year and analyzed by land use type, season, and year. pH, EC, and T-P showed little differences regardless of the type of land use and season. Total nitrogen was low in paddy fields compared with the other land use type and showed greater value in July than in April, and tended to increase from 2021 to 2023. The concentrations of Cl, Na, Mg, K, and Ca in groundwater were highest in the greenhouse fields and were slightly greater in July than in April, but there was no clear pattern by year. Groundwater pH exceeded the water quality standard by 10 - 20% in paddy fields, and NO₃-N concentrations in groundwater exceeded by 20 - 40% in upland fields and by 10-20% in greenhouse fields. The results obtained in the study implying that agricultural groundwater in Gangwon State was generally suitable for agricultural purpose.

Keywords: Agricultural groundwater, Gangwon, Groundwater quality

Ratio (%) of exceeded water quality standard of agricultural groundwater in Gangwon State, Korea.

Year	pH (%)			NO ₃ -N (%)			Cl (%)		
	Paddy	Upland	Green house	Paddy	Upland	Green house	Paddy	Upland	Green house
2021	10.0	0.0	0.0	0.0	20.0	10.0	0.0	0.0	0.0
2022	20.0	0.0	0.0	0.0	40.0	20.0	0.0	0.0	0.0
2023	10.0	0.0	0.0	0.0	30.0	15.0	0.0	0.0	0.0



Introduction

우리나라 지하수법에 따르면 지하수란 지하의 지층이나 암석 사이의 빈틈을 채우고 있거나 흐르는 물을 의미한다. 지하수 오염은 지하수의 물리적, 화학적, 생물학적 특성의 변화이며 그 결과로 지하수의 사용이 제한되거나 정지되는 상태를 말하며 (Chon, 1998) 사업폐수, 축산폐수, 가정하수 등과 같이 오염물의 유출이 명확한 점오염원과 농경지, 쓰레기 매립지 등과 같이 오염물의 유출이 명확하지 않은 비점오염원에 의해 오염이 일어난다. 오염된 지하수는 완벽하게 복원되기 어려우며 회복하기 위해 많은 시간과 비용이 필요하기 때문에 지하수 보전을 위해 체계적이고 지속적인 노력이 요구된다 (Yoon et al., 2012).

지하수법 시행규칙에 따른 지하수의 농업용수 수질기준에는 수소이온농도 (pH), 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 염소이온 등 일반오염물질 3종과 카드뮴, 비소 등 특정유해물질 12종이 있다. 질소는 무기화작용을 통해 작물이 흡수할 수 있는 무기태 질소 이온으로 변환되어 토양 내에 존재한다. 식물이 흡수하지 못한 질소 이온은 지표수 및 지하수로 유입되어 부영양화를 발생시키며 산소 부족 등의 문제를 일으킬 수 있는 수질오염원으로 작용한다. 일반적으로 지하수 중의 질산태질소는 자연 상태에서 3 mg L^{-1} 이하로 존재하며 그 이상의 농도는 폐수, 생활하수 등으로부터 생기는 유기질소가 유입되어 발생된다 (Woo et al., 2001). 특히 비료와 퇴비 등에 포함된 암모니아태 질소가 불포화층을 통과하면서 질산화 미생물에 의해 질산태질소로 분해되어 지하수를 오염시킬 수 있다. 염소이온은 염수 침입, 규산염 광물의 수화반응, 생활하수, 제설제, 농약 등 각종 오염원에 의해 지하수에 유입되기도 한다 (Kim et al., 2009). 지하수의 염분농도가 증가하면 지하수면 상부의 불포화토양에서도 염분 농도가 증가할 수 있으며 이는 작물에 피해를 일으킬 수 있다 (Jung et al., 2017).

친환경농업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 및 농업 자원과 농업환경의 실태조사 및 평가기준에 따라 매년 강원지역 농경지의 화학성 (Yoon et al., 2023), 물리성, 농업용수 등에 대한 변동조사를 실시하고 있다. 본 연구는 2021년부터 2023년까지 강원지역의 농업용 지하수에 대해 지하수법에 따른 수질관리기준 항목 중 pH, 질산태 질소, 염소 (Cl) 등 3가지 항목과 부영양화의 지표가 될 수 있는 EC (electrical conductivity), 총질소 (T-N), 총인 (T-P), 칼륨 (K), 칼슘 (Ca), 마그네슘 (Mg), 나트륨 (Na)을 분석하여 강원지역 농업용 지하수의 수질을 효율적으로 관리하는 데 활용하고자 한다.

Materials and Methods

조사 대상지역 및 시기 강원지역에서 논, 밭, 시설재배지 관개용으로 사용하고 있는 농업용 지하수를 대상으로 조사하였다. 시료 채취 지점 (Table 1)은 총 20지점으로 논 5지점, 밭 5지점, 시설재배지 10지점을 선정하였으며, 2021년부터 2023년까지 매년 4월과 7월에 시료를 채취하여 분석하였다.

시료채취 및 분석방법 지하수 시료 채취 시 관정 펌프를 이용하였고 불순물을 제거하기 위해 충분히 물을 빼낸 후 2 L 폴리에틸렌 용기에 채수하였다. 시료는 분석 전까지 4°C 이하로 보관하였고 pH, EC, T-N, T-P, $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl 총 6항목은 수질오염공정시험기준 (NIER, 2023)에 준하여 분석하였다. pH는 pH meter (SevenCompact™ Conductivity, Mettler Toledo, Switzerland)를, EC는 EC meter (Seven Direct SD30, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. T-N 함량은 자외선흡광도법, T-P는 아스코르빈산환원 흡광도법을 이용한 수질자동분석

Table 1. Location of sampling site.

Land use	Location	
	Street address	City
Paddy (n = 5)	Balsan-ri, Sinbuk-eup	Chuncheon-si
	Hwangdun-ri, Sillim-myeon	Wonju-si
	Dongdeok-ri, Yeongok-myeon	Gangneung-si
	Geomyul-ri, Hongcheon-eup	Hongcheon-gun
	Hakjo-ri, Yanggu-eup	Yanggu-gun
Upland (n = 5)	Gamjeong-ri, Dong-myeon	Chuncheon-si
	Hwajeon-dong	Taebaek-si
	Wadong-ri, Hongcheon-eup	Hongcheon-gun
	Jaesan-ri, Yongpyeong-myeon	Pyeongchang-gun
	Gwangdeok-ri, Sanae-myeon	Hwacheon-gun
Green house (n = 10)	Sancheon-ri, Sinbuk-eup	Chuncheon-si
	Geondeung-ri, Munmak-eup	Wonju-si
	Mangsang-dong	Donghae-si
	Daepo-dong	Sokcho-si
	Sangmaengbang-ri, Geundeok-myeon	Samcheok-si
	Yuchi-ri, Nam-myeon	Hongcheon-gun
	Sinil-ri, Jucheon-myeon	Yeongwol-gun
	Bangnim-ri, Bangnim-myeon	Pyeongchang-gun
	Wasu-ri, Seo-myeon	Cheorwon-gun
	Samil-ri, Sanae-myeon	Hwacheon-gun

기 (QuAAtro39 AutoAnalyzer, SEAL Analytical, France)로 측정하였다. NO₃-N와 Cl은 IC (940 professional IC, Metrohm, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. Na, Mg, K, Ca은 농업용수 수질 분석 이론 및 실무 (NAS, 2006)에 준하여 ICP (Integra 600, GBC SCIENTIFIC EQUIPMENT, Australia)를 이용하여 측정하였다. SPSS statistics (ver. 12, USA)를 이용하여 통계분석을 진행하였다.

Results and Discussion

토지이용 형태에 따른 수질 현황 토지의 이용 형태에 따른 강원지역 농업용 지하수의 평균 수질은 Table 2와 같다. 평균 pH는 논 6.5, 밭 6.9, 시설재배지 6.9로 토지 이용 형태별로 큰 차이는 없었으며 농업용수 수질기준 (pH6.0 이상, 8.5 이하)에도 적합하였다. EC는 논 0.26 dS m⁻¹, 밭 0.34 dS m⁻¹, 시설재배지 0.38 dS m⁻¹로 조사됐다. 우리나라 논 관개용 지하수의 평균 EC는 0.29 dS m⁻¹ (Kim et al., 2003)로 강원지역 논 지하수와 비슷한 수준으로 조사됐다. 우리나라 지하수의 연평균 NO₃-N는 5.30 - 6.68 mg L⁻¹의 범위를 나타냈으나 (Kim et al. 2020) 강원지역의 NO₃-N는 논 4.74 mg L⁻¹, 밭 12.83 mg L⁻¹, 시설재배지 10.00 mg L⁻¹로 밭과 시설재배지에서는 전국 평균보다 높은 수치를 보였다. T-N은 밭 14.39 mg L⁻¹, 시설재배지 10.91 mg L⁻¹, 논 5.30 mg L⁻¹로 NO₃-N와 동일하게 논에서 가장 낮은 수치를 보였다. 이는 밭에 비하여 시비량이 적고 (Jang et al., 2011), 논토양의 탈질 작용에 의한 현상 (Yun et al., 2017)으로

Table 2. Chemical properties of agriculture groundwater in Gangwon State according to land use type.

Land use		pH	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (mg L ⁻¹)	Cl (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)
Paddy (n = 30)	Min.	5.9	0.20	0.1	0.2	0.00	8.1	19.8	0.5	2.5	4.5
	Max.	7.7	0.52	9.1	9.9	0.03	113.1	41.4	5.5	12.0	38.0
	Mean	6.5	0.26	4.7	5.3	0.01	22.9	28.6	1.8	5.2	14.5
	SE ¹	0.1	0.01	0.5	0.6	0.00	3.7	1.2	0.2	0.4	1.4
Upland (n = 30)	Min.	6.3	0.12	1.1	1.3	0.00	1.8	10.2	0.2	2.6	1.4
	Max.	7.7	0.49	33.2	35.8	0.03	33.5	67.7	7.7	16.9	16.4
	Mean	6.9	0.34	12.8	14.4	0.01	10.1	43.9	2.0	9.3	8.5
	SE	0.1	0.02	1.9	2.1	0.00	1.8	3.3	0.3	0.9	0.9
Green house (n = 60)	Min.	6.0	0.07	0.0	0.0	0.00	6.7	5.6	0.6	1.0	2.5
	Max.	8.0	0.75	60.8	61.8	0.07	123.2	118.1	7.2	27.8	46.6
	Mean	6.9	0.38	10.0	10.9	0.01	32.4	45.7	2.7	8.8	14.1
	SE	0.1	0.03	1.3	1.4	0.00	4.1	3.7	0.2	0.8	1.4

¹SE, standard error.

해석된다. T-P은 토지 이용형태에 상관없이 0.01 mg L⁻¹로 매우 낮은 농도로 조사됐으며 Jang et al. (2011)은 이를 무기성 인이 침투수와 함께 이동하면서 토양에 흡착되기 때문이라 해석했다. Cl, Ca, K은 시설재배지에서 가장 높았으며 이는 시설 내에서 작물을 집약적으로 재배 (Lee et al., 2012)하고 작물 생산량을 높이기 위해 비료를 과다하게 사용 (Lee et al., 2023)하고 있는 우리나라 농업 특성에 기인한 것으로 판단된다. Mg은 밭에서, Na은 논에서 가장 높은 수치를 보였으나 시설재배지와 큰 차이가 없었다.

시기별 수질 현황 강원지역 농업용 지하수의 계절별 수질 현황은 Table 3과 같다. 갈수기인 4월과 홍수기인 7월의 평균 pH는 6.8로 동일했다. EC는 4월 0.33 dS m⁻¹, 7월 0.35 dS m⁻¹로 0.02 dS m⁻¹ 증가하였으나 Ayers and Westcot (1985)는 EC 농도가 0.7 dS m⁻¹ 이하면 작물에 영향이 없다고 보고하였다. T-P는 계절에 상관없이 0.01 mg L⁻¹로 매우 낮은 수치를 보였다. T-N, NO₃-N, Cl, Ca, K, Mg, Na 총 7항목은 4월보다 7월에 소폭 상승하는 경향을

Table 3. Chemical properties of agriculture groundwater in Gangwon State in April and July.

Land use		pH	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (mg L ⁻¹)	Cl (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)
April (n = 60)	Min.	5.9	0.07	0.0	0.0	0.00	2.2	5.6	0.5	1.0	1.8
	Max.	7.8	0.73	33.2	33.6	0.06	107.5	118.1	6.2	27.8	44.1
	Mean	6.8	0.33	8.7	9.5	0.01	24.0	40.1	1.9	7.7	12.6
	SE ¹	0.1	0.02	1.1	0.2	0.00	3.3	3.1	0.2	0.7	1.1
July (n = 60)	Min.	5.9	0.14	0.0	0.1	0.00	1.8	12.9	0.2	2.6	1.4
	Max.	8.0	0.75	60.7	61.8	0.07	123.2	118.1	7.7	27.8	46.6
	Mean	6.8	0.35	10.1	11.2	0.01	24.8	41.9	2.7	8.4	13.1
	SE	0.1	0.02	1.3	1.4	0.00	3.6	3.0	0.2	0.7	1.2

¹SE, standard error.

보였다. 이는 2000년부터 2004년까지의 시설재배지 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 4월보다 7월 또는 10월에 높았다는 결과 (Kim et al., 2008)와 유사한 경향을 보였다. EC는 Mg, Na 등의 양이온과 높은 양의 상관관계를 보인다는 결과 (Kim et al., 2005; Kim et al., 2008)로 미루어 볼 때 양이온 농도 증가로 인해 EC도 증가한 것으로 생각되며 이는 농번기 비료 사용의 증가에 따른 현상으로 추정된다.

연도별 수질 현황은 Table 4와 같다. 연도에 상관없이 pH와 T-P는 비슷한 수치를 보였다. K은 2021년 2.89 mg L^{-1} 였고 2022년 1.99 mg L^{-1} 로 약 1 mg L^{-1} 정도 감소했으나 2023년 2.09 mg L^{-1} 로 소폭 증가하였다. EC, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, Ca, Mg, Na은 매년 증가하는 추세를 보여 적절한 비료 사용이 필요하다고 생각된다.

Table 4. Chemical properties of agriculture groundwater in Gangwon State from 2021 to 2023.

Year		pH	EC (dS m^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg L^{-1})	T-N (mg L^{-1})	T-P (mg L^{-1})	Cl (mg L^{-1})	Ca (mg L^{-1})	K (mg L^{-1})	Mg (mg L^{-1})	Na (mg L^{-1})
2021 (n = 40)	Min.	5.9	0.12	0.0	0.0	0.00	2.0	10.2	0.6	2.6	1.8
	Max.	8.0	0.72	25.2	30.1	0.07	98.8	111.9	7.2	24.1	42.5
	Mean	6.8	0.33	8.2	9.7	0.01	22.2	39.7	2.9	7.4	11.9
	SE ¹	0.1	0.02	1.1	1.3	0.00	3.9	3.4	0.3	0.7	1.3
2022 (n = 40)	Min.	5.9	0.07	0.0	0.1	0.00	2.2	5.6	0.2	1.3	1.4
	Max.	8.0	0.73	32.4	33.6	0.05	115.7	116.5	6.5	27.8	44.3
	Mean	6.8	0.34	9.8	10.7	0.01	27.4	41.2	2.0	8.4	12.9
	SE	0.1	0.03	1.4	1.5	0.00	4.8	3.7	0.2	0.8	1.5
2023 (n = 40)	Min.	5.9	0.08	0.0	0.1	0.00	1.8	5.6	0.5	1.0	1.9
	Max.	7.9	0.75	60.7	61.8	0.07	123.2	118.1	7.7	26.1	46.6
	Mean	6.8	0.35	10.1	10.7	0.01	23.6	42.0	2.1	8.4	13.6
	SE	0.1	0.03	1.9	2.0	0.00	3.9	4.1	0.3	0.9	1.5

¹SE, standard error.

연도별 수질기준 초과율 강원지역 지하수의 2021년부터 2023년까지 수질기준 초과율은 Table 5와 같다. 논은 pH는 10 - 20%의 초과율을 보였다. 초과 지점 중 한 지점은 매년 pH 5.9로 기준치인 pH 6.0 이하의 수치를 보였다. 밭과 시설재배지는 모두 기준치 내의 수치를 보여 농업용수에 적합하였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우 논에서 기준치 (20 mg L^{-1} 이하)를 초과한 지역은 없지만 밭은 20 - 40%, 시설재배지는 10 - 20% 정도의 초과율을 보였다. 매년 동일한 지역에서 기준치를 초과했기에 해당 지역에 대한 관리가 필요한 것으로 생각된다. Cl은 연도와 지역에 상관없이 모두 기준치 (250 mg L^{-1} 이하) 내의 수치를 보여 농업용수로서 적합하였다.

Table 5. Ratio (%) of exceeded water quality standard of agricultural groundwater for irrigation.

Year	pH (%)			$\text{NO}_3\text{-N}$ (%)			Cl (%)		
	Paddy (n = 10)	Upland (n = 10)	Green house (n = 20)	Paddy (n = 10)	Upland (n = 10)	Green house (n = 20)	Paddy (n = 10)	Upland (n = 10)	Green house (n = 20)
2021	10.0	0.0	0.0	0.0	20.0	10.0	0.0	0.0	0.0
2022	20.0	0.0	0.0	0.0	40.0	20.0	0.0	0.0	0.0
2023	10.0	0.0	0.0	0.0	30.0	15.0	0.0	0.0	0.0

Conclusions

지속 가능한 농업을 위한 농업용수 관리의 중요성은 증대되고 있다. 점오염원 및 비점오염원에 의한 농업용수 오염을 최소화하고 깨끗한 수질을 유지하기 위해 지속적인 모니터링이 필요한 상황이다. 2021년부터 2023년까지 강원지역 농업용 지하수의 이용 형태 및 시기에 따른 수질을 조사한 결과 강원지역 농업용 지하수는 대체로 농업용수로서 적합하였다. 그러나 특정 지역의 경우 기준치 이상의 수치가 조사되어 해당 지역에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다고 생각되며 본 연구 결과를 강원지역 농업용 지하수 수질 관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Funding

This study was conducted by support of NAS research and development project (Project No. RS-2021-RD009748).

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author Contribution

Kim BM: Data curation, Writing-original draft, Visualization, Formal analysis, **Kim DM:** Data curation, **Hong SY:** Data curation, **Hong SY:** Data curation, **Kim KS:** Project administration, **Seo YH:** Writing-review & editing

Data Availability

Data will be provided on reasonable request.

References

- Ayers RS, Westcot DW. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper. pp. 8. FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), Rome, Italy.
- Chon HT. 1998. Groundwater contamination. J. Korean Water Works Assoc. 25:25-35.
- Jang H, Kim JS, Kim YH, Song CM. 2011. Characteristics of nutrient concentrations in groundwater under paddy and upland fields. J. Korean Soc. Agric. Eng. 53:67-74. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2011.53.6.067>
- Jung ET, Park NS, Cho KW. 2017. Composite model for seawater intrusion in groundwater and soil salinization due to sea level rise. J. Korea Water Resour. Assoc. 50:387-395. <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2017.50.6.387>
- Kim HJ, Hamm SY, Kim NH, Cheong JY, Lee JH, Jang S. 2009. Characteristics of groundwater contamination caused by seawater intrusion and agricultural activity in sacheon and hadong areas, Republic of Korea. Econ.

- Environ. Geol. 42:575-589.
- Kim JH, Cho KR, Lim SJ, Lee KJ, Kyung GC, Eum MJ, Kim HK, Kim CY, Lee YH, Lee SC, et al. 2003. Characteristic of the groundwater quality for paddy fields in Korea. Korean J. Environ. Agric. 22:241-245. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2003.22.4.241>
- Kim JH, Kim RH, Lee JH, Cheong TJ, Yum BW, Chang HW. 2005, Multivariate statistical analysis to identify the major factor governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea. Hydrol. Process. 19:1261-1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.5565>
- Kim JH, Choi CM, Lee JS, Yun SG, Lee JT, Cho KR, Lim SJ, Choi SC, Lee GJ, Kwon YS, et al. 2008. Characteristics of groundwater quality for agricultural irrigation in plastic film house using multivariate analysis. Korean J. Environ. Agric. 21:1-9. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.1.001>
- Kim JH, Choi SK, Yeob SJ, Hong SC, Kim MW, Kwon SI. 2020. Agricultural water quality monitoring of stream and groundwater. Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference.
- Lee ST, Kim ES, Song WD, Kim JH, Kim MK, Lee YH. 2012. Characteristics in chemical properties of agricultural groundwater in Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:698-703. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.5.698>
- Lee JG, Park MH, Kim MS, Lee TG, Jung HI, Lee SG, Baek SH, Lee EJ. 2023. Temporal trends in available phosphorus across four types of agricultural fields from 2013 to 2020. Korean J. Soil Sci. Fert. 56:365-374. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.365>
- NAS. 2006. Theory and practice of water quality analysis for agricultural water. National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea.
- NIER. 2023. The test methods of pollutions process in water quality. National Institute of Environmental Research, Sejong, Korea.
- Woo NC, Kim HD, Lee KS, Park WB, Koh GW, Moon YS. 2001. Interpretation of groundwater system and contamination by water-quality monitoring in the Daejung watershed, Jeju Island. Econ. Environ. Geol. 34:485-498.
- Yoon BS, Lim SJ, Heo SJ, Kim DM, Kim KD, Seo YH. 2023. Status and changes in chemical properties of orchard soils in Gangwon State. Korean J. Soil Sci. Fert. 56:440-448. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.440>
- Yoon HS, Bae GO, Lee KK. 2012. Quantification and evaluation of groundwater quality grade by using statistical approaches. J. Soil Groundwater Environ. 17:23-32. <https://doi.org/10.7857/JSGE.2012.17.1.022>
- Yun SW, Jeon WH, Lee JY. 2017. Evaluation of hydrochemical characteristics of groundwater and stream water in a heavy agricultural region of the Haean basin. Korea. J. Geo. Soc. Korea. 53:727-742. <https://doi.org/10.14770/jgsk.2017.53.5.727>