Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2020;39(1):36-43. Korean
Published online 2020 March 9. https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.1.5

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

경상북도 위천수계의 수리화학적 특성 및 관개용수 수질평가

이기창*, 박명섭, 김재식, 장태권, 김효순, 이화성, 손진창

경상북도보건환경연구원 북부지원 환경분석과

Assessment of Hydrochemistry and Irrigation Water Quality of Wicheon Watershed in the Gyeongsangbuk-do

Gi-Chang Lee*, Moung-Sub Park, Jae-Sik Kim, Tae-Kwon Jang, Hyo-Sun Kim, Hwa-Sung Lee and Jin-Chang Son (Environmental Analysis Division, Northern Branch, Gyeongsangbuk-do Institute of Health & Environment, Andong 36621, Korea)

Received: 11 February 2020/ Revised: 19 February 2020/ Accepted: 2 March 2020
Copyright ⓒ 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture
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 the original work is properly cited.

ORCID
Gi-Chang Lee
https://orcid.org/0000-0001-8387-0981

Abstract

BACKGROUND: Wicheon watershed has the largest irrigation area among the mid-watershed of Nakdong river. However, no investigation of irrigation water quality has been conducted on the Wicheon watershed, which evaluates the effects on the soil quality and crop cultivation. Therefore, this study aims to provide various assessments of water quality of Wicheon watershed as the scientific basic data for efficient agricultural activities.

METHODS AND RESULTS: Water sampling was performed in five locations of the first tributaries of Wicheon. Wicheon watershed showed clean water quality with very low organic matters and safe water quality from metals at all points of investigation. It was estimated that the natural chemical components of Wicheon watershed were originated from water-rock interaction in Gibbs diagram. All samples were concentrated in the type of Ca-HCO_3-Cl in the Piper diagram. The quality of irrigation water was evaluated with sodium adsorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI), and percent sodium (%Na). The values of these water quality indices were in the range of 0.37-0.67, −2.11-−0.24, 41.13-84.52% and 11.28-21.84%, respectively, and were classified as good grades at all sites.

CONCLUSION: The water quality of Wicheon watershed was very low in salt, indicating good irrigation water suitable for growing agricultural products. We hope that the results of this study will be used as the basic data for the cultivation of agricultural products and promotion of their excellence.

Key words: Gibbs diagram, Irrigation, Piper diagram, SAR, Wicheon watershed

*Corresponding author: Gi-Chang Lee
Phone: +82-54-850-5332; Fax: +82-54-850-5319;
E-mail: l0k0ch7@korea.kr

서 론

최근 재배작물변화 및 기후변화에 따라 농업환경이 변화하고 있으며, 이로 인해 농업환경 보존 및 안전 농산물 생산에 대한 국민적 관심이 증가하고 있다. 토양과 물은 농업에 반드시 필요한 자원으로 활용된다. 특히 우리 생활과 밀접한 하·폐수처리 및 농업 배출수 등은 하천수에 바로 유입되어 수질오염에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 나쁜 수질은 인체 건강뿐만 아니라 토양 질과 농작물 생육에도 영향을 줄 수 있어 지속적인 수질모니터링이 요구된다[1, 2]. 관개용수 수질은 물에 존재하는 염의 종류와 양에 따라 농작물의 성장에 영향을 미칠 수 있으므로 관개용 수질평가는 토양의 물리 화학적 특성과 농작물 재배에 대해서 고려되어야 한다[2]. 하지만 우

리나라 농업용수 수질기준은 하천수, 호소수, 지하수에 대해 수원별로 다르게 적용하고 있고, 관개용 수질보다 수질오염도에 중점을 둔 수원관리 목적이 더 강하다. 따라서 토양과 농작물에 미치는 관개용수 수질정보를 확보하기 위해서는 염분과 관련된 미네랄 성분에 대해 별도의 수질조사가 필요하다. 관개용수의 수질평가는 농산물 재배와 토양 질에 미치는 영향을 평가하므로 효율적 농업경영에 기여할 것으로 판단되며, 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 잔류 탄산나트륨(Residual Sodium Carbonate, RSC), 나트륨 흡착 비(Sodium Adsorption Ratio, SAR), %Na, 투수성 지수(Permeability Index, PI) 등의 다양한 수질평가지수를 통해 결정될 수 있다[3, 4].

위천 중권역은 행정구역상 경상북도 의성군과 군위군에 각각 52.4%, 43.5%로 대부분 위치해 있고, 총 1,406 ㎢의 유역면적을 가진다. 본 유역의 지질은 퇴적암이 86.3%로 대부분을 차지하고 있으며, 산성화강암류와 각섬석화강암이 각각 6.3%, 5.5% 순으로 구성하고 있다(국가수자원관리 종합정보시스템). 최근 20년 동안 위천수계에 대한 공업 및 생활용수 이용률은 각각 약 1.4%에서 2.6%, 8.0%에서 12.5%로 다소 증가한 반면 농업용수는 약 91%에서 85%로 감소한 것으로 나타났다(국가수자원관리 종합정보시스템). 위천수계는 농업용수 중 논용수가 70% 정도 차지하고 있고, 낙동강수계 중권역 하천 중 가장 많은 양수장 시설(282 개소)과 함께 용수관개면적(8,853 ha)도 가장 넓다(국가수자원관리 종합정보시스템). 의성과 군위군의 주요 농산물은 쌀 재배가 지배적이며, 사과, 복숭아, 배, 마늘 등 다양한 농산물이 재배되고 있다. 이 중 벼는 관개용수를 가장 많이 필요로 하는 농작물임에 따라 대부분의 재배지역이 위천수계 주변에 분포하고 있다. 이 지역의 안계평야는 영남의 대표적 곡창지대로 위천을 수자원으로 활용하고 있다. 현재 위천 중권역에는 국가수질측정망 총 8개소가 지정되어 수질오염도를 관측하고 있으며, 최근 5년간(2015-2019년) 평균 BOD_5 농도는 1.5±1.0 mg/L로 하천수 생활환경기준 '좋음(Ⅰb)' 수질등급을 가져 농업용수 수질등급(Ⅳ 이상)을 충분히 만족하는 것으로 나타났다(물환경정보시스템). 하지만 위천수계에 대해 토양 질과 농작물 재배에 미치는 영향을 평가하는 관개용 수질특성 조사를 수행한 사례는 없었다. 따라서 본 연구는 위천수계를 대상으로 수리화학적 특성과 관개용수 수질을 다각적으로 평가하여 효율적 농업활동을 위한 과학적 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

조사지점 및 시료채취

본 연구는 위천수계 중 본류 및 제1지류에 위치한 양수장을 대상으로 위천 5개소, 곡정천 1개소, 남천 1개소, 구천 1개소, 쌍계천 2개소를 합한 총 10개 지점을 조사지점으로 선정하였으며, 이에 대한 상세한 내용은 Fig. 1에 나타내었다. 시료는 3-11월 동안 월 1회 채취하였으며, 아이스박스에 냉암보관하여 실험실로 운반하였다.

분석항목 및 방법

현장 측정항목은 pH, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO), 수온, 총용존고형물(Total Dissolved Solids, TDS), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC) 성분으로 현장수질분석기(Professional Plus, YSI)를 이용하여 측정하였다. 총유기

Sampling sites	GPS coordinates
Paldeum	N 36° 24' 5.7024", E 128° 21' 25.9272"
Jangsong	N 36° 19' 36.9012", E 128° 31' 11.892"
Sari	N 36° 18' 48.0852", E 128° 27' 52.9956"
Sobo	N 36° 16' 43.7124", E 128° 29' 5.0856"
Songwon	N 36° 15' 14.9292", E 128° 28' 35.4648"
Museong	N 36° 11' 23.1792", E 128° 33' 59.4684"
Changpyeong	N 36° 5' 25.5768", E 128° 39' 56.1348"
Unsan1	N 36° ' 6' 45.792", E 128° 41' 31.6716"
Bongdeum	N 36° ' 17' 55.8744", E 128° 34' 58.5084"
Sanun	N 36° 14' 29.0148", E 128° 41' 45.2184"

Fig. 1. Sampling sites selected in Wicheon watershed.

탄소(Total Organic Carbon, TOC) 분석은 TOC 분석기(TOC-L, SHIMADZU)를 이용하였고, 생물화학적산소요구량(Biological Oxygen Demand, BOD_5), 부유물질(Suspended Solids, SS), 총인(Total Phosphorous, T-P), 총질소(Total Nitrogen, T-N)와 HCO_3^-, CO_3^{2-} 이온 분석은 수질오염공정시험기준과 Standard Method 절차에 따라 수행하였다. 금속류인 Cu, Pb, Ni, Mn, Ba, As, Zn, Sb, Al, Sn, Fe, Cd, Cr, B 항목과, 양이온 성분인 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ 항목, 그리고 음이온 성분인 F^-, Cl^-, NO_3^--N, SO_4^{2-} 항목에 대한 분석은 각각 유도결합플라즈마분광광도계(Optima7300DV, PerkinElmer)와 이온크로마토그래피(844 UV/Vis Compact IC, Metrohm)를 사용하였다.

관개용수 수질평가

위천수계의 관개용수에 대한 적합성은 SAR, %Na, RSC, PI 지수 적용과 전기전도도와 나트륨 함량을 근거로 수질을 분류한 Wilcox 및 U.S. Salinity laboratory diagram을 이용하여 종합적으로 평가하였다[3, 5, 6]. SAR과 %Na은 관개용수의 나트륨 영향을 평가하기 위함이며, 아래의 식 1)과 2)에 따라 계산된다.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad 1)$$

$$\%Na = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad 2)$$

RSC 지수는 토양에 대한 알칼리성 위험도를 나타내며, 계산식은 아래의 식 3)과 같다.

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad 3)$$

PI 지수는 장기간 관개용수 사용 시 미치는 토양 투수성 수준을 분류한 것으로 아래의 식 4)에 의해 계산된다.

$$PI(\%) = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad 4)$$

모든 식에 사용된 이온 농도 단위는 meq/L로 표현된다. 또한 위천수계 이온성분의 수질근원 분석을 위해 Gibbs diagram을 이용하였다[7].

결과 및 고찰

위천수계의 수리화학적 특성

현장 측정항목에 대한 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 송원지점(곡정천)의 평균 pH 값은 7.8로 다른 지점보다 비교적 낮았고, 이외 조사지점의 평균 pH는 다소 높은 8.0-8.5 범위로서 위천수계의 pH 특성은 약알칼리성인 것으로 나타났다. 평균 DO 농도는 8.4-11.7 mg/L 범위로 하천수 생활환경기준의 농업용수 적용대상 기준(pH 6.5-8.5, DO 2 mg/L 이상)에 적합하였다. 각 지점별 평균 수온범위는 18.6-20.7℃로 비슷하였으며, 8월에 32.6℃로 가장 높았다. EC와 TDS 수질인자는 상호 밀접한 관계를 가지는 지표이다. 위천의 상류지점인 무성은 위천의 제1지류인 남천(창평지점)과 구천(운산1지점)이 합류하는 곳으로 평균 EC 값은 304 μS/cm를 나타내었다. 창평지점에서 EC는 조사지점 중 가장 낮은 157 μS/cm를 보였고, 운산1지점은 470 μS/cm로 가장 높았다. 위천은 하류로 갈수록 제1지류인 곡정천(송원지점: 387 μS/cm)과 쌍계천(봉듬지점: 459 μS/cm)이 합류하면서 EC 값은 점차 증가하였다. 쌍계천의 봉듬지점은 산운지점 대비 EC 값이 약 23%가 증가하였으며, 이는 의성하수종말처리장 방류수가 유입되어 영향을 미친 것으로 사료된다. 각 조사지점에 대한 TDS 농도의 분포 흐름은 EC와 유사하였으며, 평균농도는 102-304 mg/L 범위로 나타났다.

Table 1. Values of parameters measured in the fields

	pH			Water Temperature (℃)			DO (mg/L)			EC (μS/cm)			TDS (mg/L)		
	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
Museong	8.5	7.9	9.1	20.4	7.7	30.1	10.1	6.9	14.8	304	237	339	197	151	221
Bongdeum	8.4	7.7	8.8	19.7	7.7	30.3	9.5	6.3	13.2	459	413	503	299	269	327
Sari	8.1	7.3	8.8	20.5	7.0	31.0	8.4	6.6	11.1	329	281	391	214	183	254
Sanun	8.3	7.9	8.7	19.4	10.3	29.0	10.9	7.5	13.1	353	323	393	230	216	255
Sobo	8.2	7.3	8.6	20.7	6.0	31.0	9.2	6.9	12.7	322	203	381	216	184	248
Songwon	7.8	7.3	8.5	19.7	6.2	29.6	8.6	6.6	11.9	387	289	468	251	188	304
Unsan1	8.0	7.3	8.4	20.7	9.6	32.6	11.7	8.7	15.8	470	394	551	304	256	356
Jangsong	8.1	7.5	8.5	20.4	7.9	31.3	8.8	6.4	13.2	363	314	417	236	204	271
Changpyeong	8.3	7.4	9.1	18.6	9.9	27.6	9.7	7.7	12.9	157	132	181	102	85	118
Paldeum	8.2	7.7	8.5	20.7	8.5	31.6	9.4	6.4	12.8	351	306	416	228	198	270

각 조사지점의 일반오염성분에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 쌍계천 봉듬지점의 평균 BOD_5 농도는 산운지점보다 0.9에서 1.2 mg/L로 약간 증가하여 하수처리방류수로부터 유입되는 유기물의 영향은 크지 않았다. 곡정천의 송원지점과 위천의 말단인 팔듬지점에서 평균 BOD_5 농도는 각각 1.6, 1.7 mg/L로 다른 조사지점에 비해 비교적 높았으나 하천수 생활환경기준의 '좋음(Ⅰb, 2 mg/L이하)'등급의 깨끗한 수질을 유지하였다. 남천의 창평지점은 평균 BOD_5 농도가 0.5 mg/L로 매우 청정한 수질로 나타났다. 구천지점의 생물학적 분해 가능한 유기물(BOD_5/TOC) 비율은 0.5로 난분해성 유기물 분포와 비슷하였고, 나머지 하천에서는 0.3-0.4 비율로 다소 낮게 나타났다. 위천수계의 조사지점별 평균 BOD_5 농도범위는 0.5-1.7 mg/L로 '좋음(Ⅰb, 2 mg/L이하)'이상, 평균 TOC 농도범위는 1.7-4.7 mg/L로 '약간좋음(Ⅱ, 4 mg/L이하)'이상, 평균 SS 농도는 1.0-3.4 mg/L 범위로 '매우 좋음(Ia, 25 mg/L이하)'의 수질등급으로 나타나 농업용수 기준(IV등급 이상)을 충분히 만족하였다. 하천수 생활환경기준에 T-P 농도에 대한 농업용수 적용은 0.3 mg/L 이하로 설정되어 있지만 농업용수 활용 측면에서는 크게 고려하지 않아도 될 것으로 사료된다. 인(Phosphorus, P)은 농작물 생장에 필수 영양요소로서 인위적으로도 농경지 시비에 많이 사용하는 성분이기 때문에 하천수에 총인 농도가 높다고 해서 관개용수로 부적합한 것은 아니다. 오히려 하천수에 총인 농도가 높으면 농경지에 인(P) 시비량을 줄이는 효과를 볼 수도 있다. 조사지점 중 무성, 소보, 송원의 경우 T-P 농도는 0.148-0.285 mg/L로 비교적 높게 나타나 농지에 관개용수 공급 시 인(P) 시비량 조절을 고려해 볼 수 있을 것으로 사료되며, 나머지 지점은 평균 0.022 mg/L로 낮은 농도분포를 보였다. 물 중에 과다한 총인 농도는 부영양화를 일으켜 녹조현상 등 수질오염을 초래할 수 있으므로 농경지에 효율적인 시비를 통해 점·비점오염원으로부터 총인을 제어하는 것은 매우 중요할 것으로 사료된다. 각 조사지점에 대한 평균 T-N 농도는 1.173-6.259 mg/L 범위로 운산1지점에서 가장 높게 나타났으며, T-P 농도분포와 상관성은 없었다.

본 연구에서는 조사기간 동안 14개의 금속성분에 대해 분석하였다. 특히 중금속류는 용해도가 낮은 안정화 상태로 토양에 장기간 축적될 수 있으므로 농작물의 생육장애와 가축과 사람에게 직·간접적으로 피해를 줄 수 있다[5]. 관개용수 중 높은 Pb 농도는 토양과 식물체 함량에 직접적 영향을 주고, Cd은 농작물 수확량, Cu와 Zn은 토양오염과 상관성이 높은 것으로 알려져 있다(농림부, 2006). 본 연구대상지역인 위천수계는 유해중금속 물질인 Cu, Pb, Ni, As, Zn, Sb, Cd, Cr 성분은 모두 불검출로 나타나 중금속으로부터 안전하였다. 검출된 금속류의 평균농도는 B 0.013, Mn 0.008, Ba 0.111, Al 0.021, Sn 0.072, Fe 0.025 mg/L로 먹는 물 수질기준에 적합하게 나타났다.

위천수계의 이온성분 특성 및 기원

양이온과 음이온 성분은 수리화학적 특성을 파악하는데 매우 중요한 매개 변수 중 하나이다. 위천에 대한 Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+} 성분의 평균농도는 각각 14, 8, 7, 33 mg/L로 나타났으며, 무성 대비 팔듬지점의 Na^+과 Ca^{2+} 농도는 각각 33%, 19%가 증가하여 하류로 갈수록 쌍계천을 포함한 주변지류의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 쌍계천에 대한 Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}의 평균농도는 각각 17, 11, 5, 43 mg/L로 나타났고, 상류 대비 하류지점(봉듬)에 대한 농도는 하수처리방류수의 영향으로 각각 54%, 20%, 50%, 15%가 증가하였다.

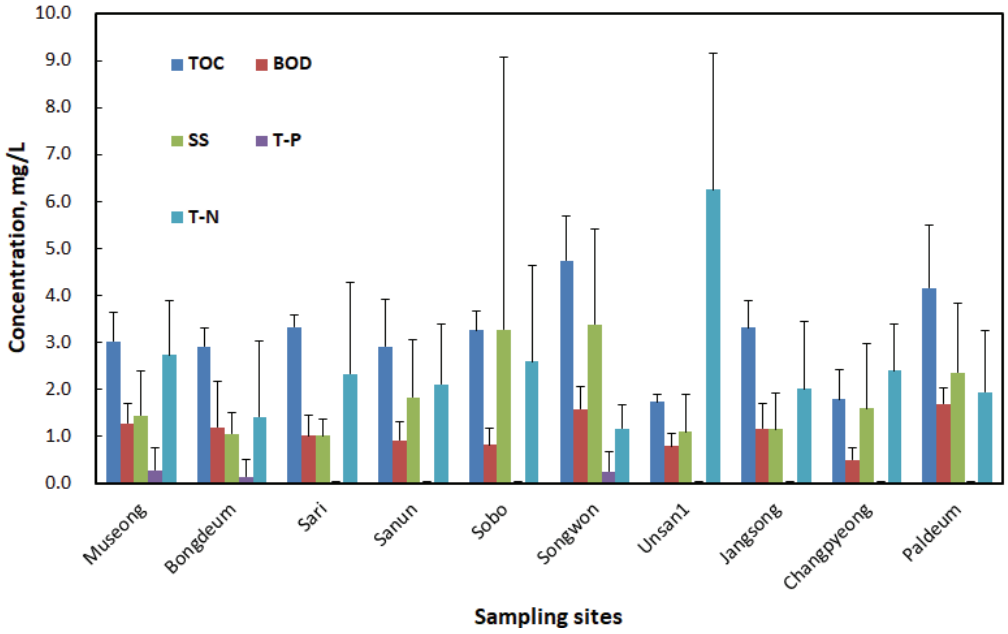

Fig. 2. Concentration distribution of TOC, BOD_5, SS, T-P and T-N in Wicheon watershed.

남천에 대한 Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}의 평균농도는 각각 7, 3, 2, 17 mg/L로 다른 하천에 비해 2배 이상 낮았고, 구천은 Ca^{2+}의 평균농도가 55 mg/L로 조사지점 중 가장 높았다. 위천에 대한 F^-, Cl^-, SO_4^{2-} 성분의 평균농도는 각각 0.088, 20.6, 36.7 mg/L로 쌍계천의 합류 이후 각 성분농도가 다소 상승하였다. 쌍계천의 상류지점에서 F^-, Cl^-, SO_4^{2-}의 평균농도는 각각 0.096, 15.3, 44.9 mg/L 이었고, 하수처리방류수 유입으로 인해 각각 6.2%, 73.2%, 47.1%가 증가하였다. 남천은 Cl^-와 SO_4^{2-} 성분에 대해 다른 하천보다 2배 이상 낮았고, 모든 조사지점 중 유기물과 염분의 함량이 가장 낮은 수질을 나타내었다. 구천은 Ca^{2+} 농도와 함께 SO_4^{2-}의 평균농도도 86.2 mg/L로 가장 높아 Ca^{2+}과 SO_4^{2-}에 대한 상관성이 있었다. 각 위천수계의 주요 이온성분에 대한 Piper diagram (1944)[8]을 Fig. 3에 도시하였다. 위천수계의 수질형태는 Ca^{2+}, HCO_3^-, Cl^- 이온을 포함하는 Ca-HCO_3-Cl 유형으로 모든 조사지점이 이에 집중 분포하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여러 문헌에서 보고한 하천수의 일반적인 수질유형과 부합하며, 다양한 수질유형을 띠는 지하수 특성과 다르게 하천수는 수리화학적 반응시간이 짧아 대체로 비슷한 수질유형을 많이 가지는 것으로 여겨진다[9-11].

Fig. 4는 위천수계의 수리화학적 과정을 이해하기 위해 Gibbs diagram을 나타낸 것이다. Gibbs diagram은 TDS에 대한 $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$과 $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$의 비율을 각각 도시하여 수중의 수리화학적 과정이 증발, 강수, 암석풍화 중 어느 것으로부터 기원하였는지 평가한다[7]. 위천수계는 'Rock Dominance' 범주에 분포하여 수중 이온성분은 주로 물-암석 교환에 의해 형성된 것으로 조사되었으며, 이는 기존 보고된 바와 같이 수리화학적 과정이 Rock Dominance로부터 가장 많이 비롯된 것과 부합하였다[3, 6, 7]. Fig. 5는 위천수계 중에 포함된 HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} 성분을 이용하여 탄산염암 풍화가 어느 암석으로부터 기원하였는지 나타낸 것이다. 우선 조사지점 중 운산1을 제외한 모든 지점이 HCO_3^-와 Ca^{2+} 이온 관계에서 1:1 라인에 근접하게 잘 도시되어 탄산염암의 풍화와 용해로부터 유래된 것으로 추정되었다(Fig. 5(a))[10, 12]. 탄산염 광물 중에서도 백운석(dolomite)보다 방해석(calcite)이 좀 더 우세한 것으로 나타났으며(Fig. 5(b)), 일반적으로 Ca^{2+}와 Mg^{2+} 이온은 백운석과 방해석과 같은 탄산염암의 용해로부터 생성되는 것으로 알려져 있다[10].

관개용수 수질지수 평가

농업용 관개수로서 적절성은 수중에 미네랄 성분의 영향에 따라 결정될 수 있다. 특히 토양에 대한 염분은 토양의 구조, 투수성 및 산소공급성에 직·간접적으로 영향을 미친다[6]. SAR, %Na, RSC, PI 지수는 관개용수의 수질을 평가하는데 중요한 수리화학적 도구로 사용되며 수질분류기준과 위천수계에 대해 적용한 결과를 Table 2에 나타내었다. 교환성 나

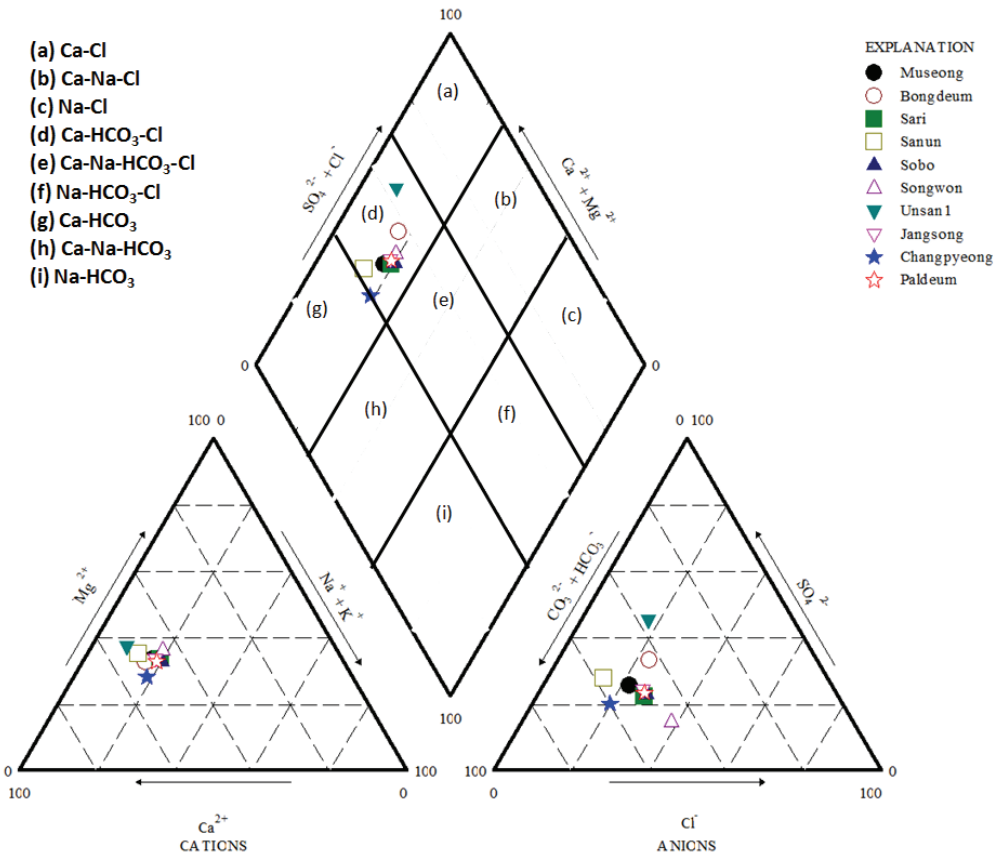

Fig. 3. Piper diagram of Wicheon watershed.

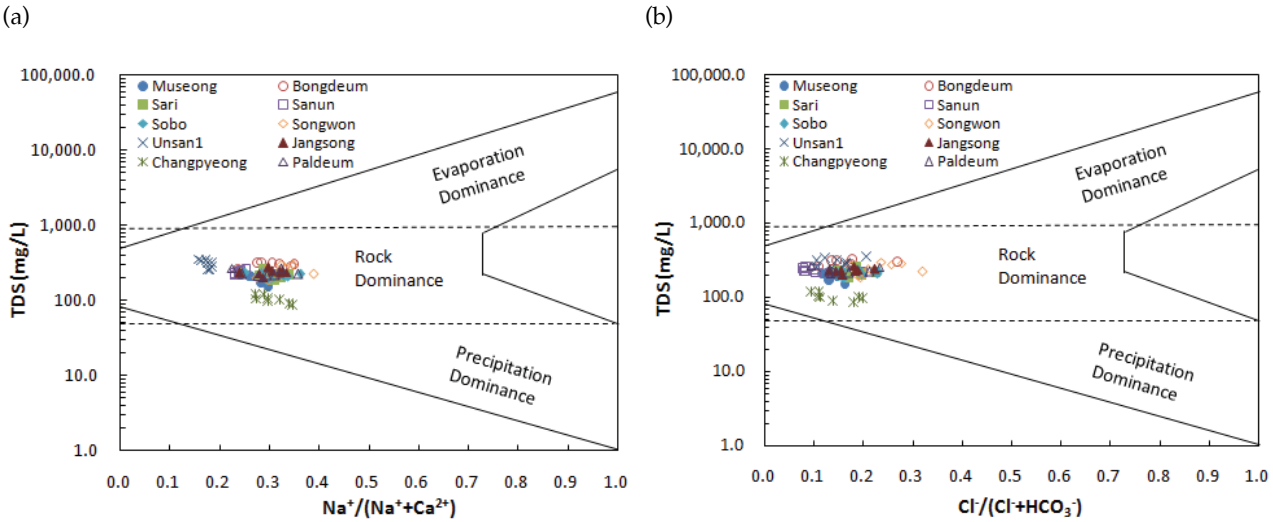

Fig. 4. Gibbs diagram showing hydrochemical processes of Wicheon watershed: (a) TDS vs. $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$, (b) TDS vs. $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$.

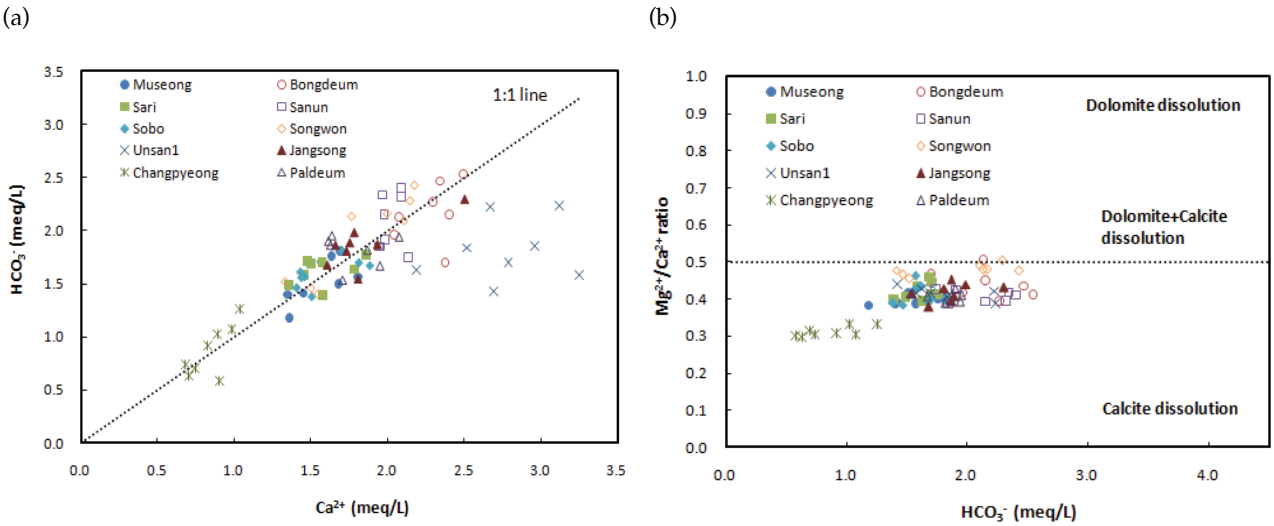

Fig. 5. Scatter plots of (a) HCO_3^- vs. Ca^{2+} and (b) HCO_3^- vs. Mg^{2+}/Ca^{2+} in Wicheon watershed.

Table 2. Classifications of water quality with SAR, %Na, RSC and PI for irrigation water

	SAR	RSC	PI	%Na
Classifications	0-6 (Good)	<1.25 (Good)	>75% (Good)	<20 (Excellent) 20-40 (Good)
	6-9 (Doubtful)	1.25-2.5 (Doubtful)	25-75% (Suitable)	40-60 (Permissible) 60-80 (Doubtful)
	>9 (Unsuitable)	>2.5 (Unsuitable)	<25% (Unsuitable)	>80 (Unsuitable)
Wicheon watershed	0.37-0.67 (Good)	−2.11–−0.24 (Good)	41.13-84.52% (Suitable)	11.28-21.84% (Excellent)

트륨은 토양 속 칼슘 및 마그네슘과 대체하면서 토양입자를 분산시켜 토양의 투수성을 감소시키며, SAR은 이러한 교환성 나트륨 함량이 얼마나 되는지 평가하는 도구로 사용된다[6]. 따라서 SAR과 %Na 지수의 산정 값이 높으면 토양의 통풍성, 투수성을 감소시켜 농작물의 삼투성을 줄이고 수분이 뿌리에 도달하는 것을 방해하여 부정적인 영향을 미친다. 위천수계에 대한 SAR과 %Na 값은 각각 0.37-0.67, 11.28-21.84% 범위로 나트륨의 영향이 매우 낮은 수질등급을 보였다. RSC 지수는 토양에 대한 알칼리성 위험도를 나타내며, 탄산염과 중탄산염의 농도가 칼슘과 마그네슘 보다 높으면 물의 나트륨 비율을 증가시켜 문제가 될 수 있다. 위천수계의 RSC 값은 −2.11-−0.24 범위로서 좋은 수질등급을 보여 토양에 대한 알칼리성 위험도는 낮았다. PI 지수는 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}의 미네랄이 풍부한 물을 장기간 사용하였을 때 토양의 투수성 감소에 영향을 미치는 정도를 평가하는 지수로 사용된다. 모든 조사지점에서 PI 값은 41.13-84.52% 범위로 관개용수에 적합한 수질을 보였으며, 남천이 가장 좋은 등급을 나타내었다.

EC와 Na 농도는 관개용수의 적합성을 결정하는데 중요한 인자이며, 이를 이용한 관개용 수질분류를 Fig. 6에 나타내었다[3]. 높은 EC는 염분 토양의 형성을 초래할 수 있으며, 이는 농작물 생산량을 감소시키는 주요 원인이다. Na 성분 또한 토양과 반응하여 투수성을 감소시키기 때문에 관개용수 평가에 반드시 적용된다. Wilcox diagram은 EC와 %Na 함량을 근거로 관개용 수질적합성을 분류한 것이며(Fig. 6(a)), 위천수계는 'Excellent to good' 범주에 속하여 토양에 미치는 염분의 영향이 매우 낮았다. Fig. 6(b)는 U.S. Salinity diagram에 EC와 SAR를 도시한 것으로 위천수계는 대체로 토양에 대한 Na 교환 확률이 낮은 관계수질을 가졌다. 특히 창평지점의 수질은 EC와 SAR에 대한 위험도가 가장 낮은 S1-C1 범주에 속하여 어느 토양환경에서도 관개용수 사용이 가능한 것으로 평가되었고, 나머지 조사지점은 S1-C2 범주에 속해 배수가 좋은 토양에 적합한 관개수질을 가지는 것으로 나타났다.

국제연합식량농업기구(FAO)는 특정 농작물의 수확량에 미치는 토양과 관개용수에 함유된 염분 허용농도를 제시하고 있다. 벼의 한 종류인 *Oryza sativa* 종의 경우 100% 수확량을 달성하는데 관개용수 염분 허용농도를 2.0 dS/m 이하로 제안하고 있고, 또한 염분 허용농도가 0.7 dS/m 이하이면 모든 농작물의 재배 및 수확에 영향을 미치지 않는 것으로 설명하고 있다(Water Quality for Agriculture, 29 Rev.1, FAO). 이 보고서에 준하면 위천수계는 EC가 0.16-0.47 dS/m 범위를 가지므로 지역 대표농업인 벼농사에 적합한 관개용수일 뿐 아니라 다른 농작물 생산에도 전혀 피해가 없는 우수한 수질을 갖는 것으로 나타났다. 그리고 *Oryza sativa L.*를 대상으로 수행한 국내 연구결과에 따르면, 관개용수의 염분농도는 벼의 수확량에 매우 높은 영향을 미치고 용량-반응 평가에 의한 염분의 최대허용농도는 612.4 μS/cm 이하일 때 벼 재배에 가장 적합한 것으로 보고하고 있다(농업용수 수질오염이 벼 생육에 미치는 영향연구, 농림부). 위천수계의 염분농도는 FAO 보다 엄격하게 제안된 상기 최대허용농도 기준에도 충분히 적합한 수질을 보여 벼 농업활동에는 아무런 제약이 없는 것으로 조사되었다.

요 약

본 연구는 낙동강수계 중권역 중 최대의 농업용수 관개면적을 가지는 위천수계를 대상으로 관개용수에 대한 기초자료 마련을 위해 수리화학적 특성과 관개용 수질특성을 평가하였다. 위천수계의 유기물 오염도와 염분 함량을 나타내는 평균 BOD_5 농도와 EC는 각각 1.1 mg/L, 350 μS/cm로 좋은 수질

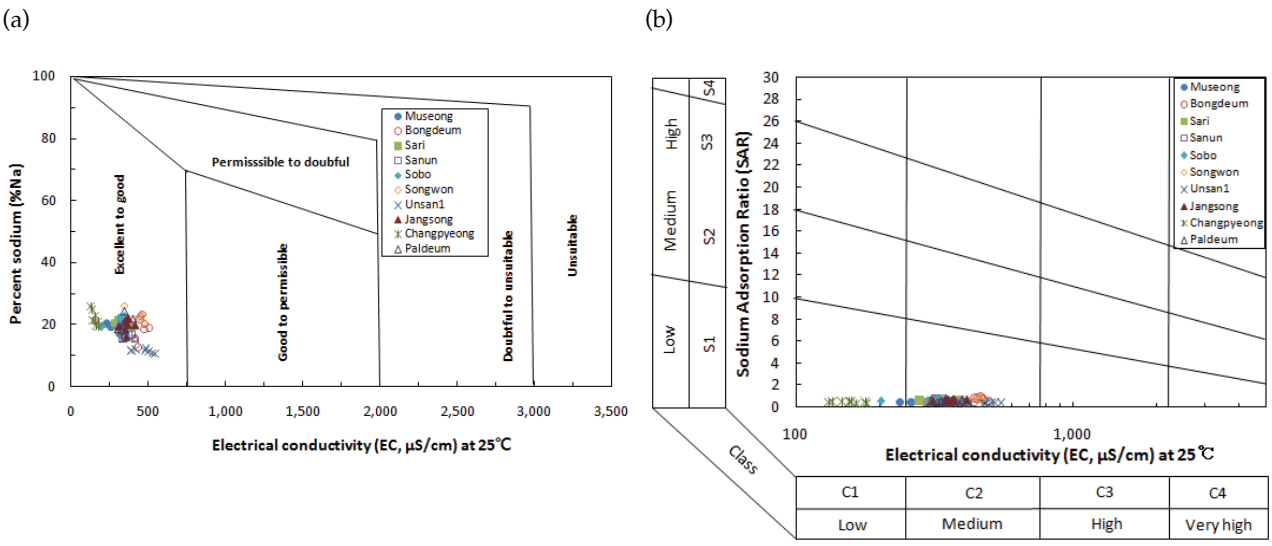

Fig. 6. (a) Wilcox diagram based on percent sodium vs. electrical conductivity, (b) U.S. Salinity laboratory diagram based on SAR vs. electrical conductivity.

을 보였고, 이 중 남천은 BOD_5 0.5 mg/L, EC 157 μS/cm로 가장 낮아 매우 깨끗한 수질을 나타내었다. 위천은 각 지류와 하수처리방류수가 유입되는 쌍계천의 합류로 인해 하류로 갈수록 염분 농도가 미미하게 증가하였으나 영향은 크지 않았다. 금속류에 대해서도 매우 안전한 수질을 보여 토양과 농산물 재배에 미치는 유해성은 없는 것으로 나타났다. 위천수계의 미네랄 형성은 탄산염암 풍화로 인한 물-암석 교환작용의 영향이 우세한 것으로 나타났고, Ca-HCO_3-Cl 수질유형에 집중분포 하였다. 위천수계의 양이온과 음이온에 대한 분포농도는 각각 Ca^{2+}>Mg^{2+}>Na^{+}>K^{+}, HCO_3^{-}>SO_4^{2-}>Cl^{-}> F^{-} 순으로 존재하였다. 이들 성분에 대해 남천은 다른 하천에 비해 2배 이상 낮은 농도분포를 보였다. 구천의 경우 Ca^{2+}과 SO_4^{2-} 농도는 다른 하천보다 각각 1.2-3.2배, 1.6-3.1배 높게 형성하고 있었다. SAR, %Na, PI, RSC 지수를 평가한 결과 위천수계 수질은 염분의 영향이 매우 낮아 농산물 재배에 적합한 관개용수로 나타났다. 특히 염분농도는 벼 수확량에 미치는 영향이 크므로 위천수계의 대표 농작물인 벼 재배를 위한 매우 중요한 수질인자이다. 위천수계는 FAO와 국내 연구자료에서 제시한 벼 재배에 대한 염분 허용농도기준을 충분히 만족하였고, 다른 농작물 생산에도 전혀 피해가 없는 우수한 수질을 갖는 것으로 나타났다. 앞으로 본 연구결과가 농산물 재배 및 우수성 홍보 등에 기초자료로 활용되어 지역 농업활동에 도움이 되길 기대한다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by a grant (NIER-2019-01-03-001) from the National Institute of Environmental Research, and a grant from Gyeongsanbuk-do in 2019.

References

1. Misaghi F, Delgosha F, Razzaghmanesh M, Myers B (2017) Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. Science of the Total Environment, 589, 107-116.
2. Bouaroudi S, Menad A, Bounamous A, Ali-Khodia H, Gherib A, Weigel D, Chenchouni H (2019) Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. Chemosphere, 219, 76-88.
3. Barik R, Pattanayak SK (2019) Assessment of groundwater quality for irrigation of green spaces in the Rourkela city of Odisha, India. Groundwater for Sustainable Development, 8, 428-438.
4. Shah M, Sircar A, Varsada R, Vaishnani S, Savaliya U, Faldu M, Vaidya D, Bhattacharya P (2019) Assessment of geothermal water quality for industrial and irrigation purposes in the Unai geothermal field, Gujarat, India. Groundwater for Sustainable Development, 8, 59-68.
5. Khanoranga, Khalid S (2019) An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. Journal of Geochemical Exploration, 197, 14-26.
6. Hwang JY, Park S, Kim HK, Kim MS, Jo HJ, Kim JI, Lee GM, Shin IK, Kim, TS (2017) Hydrochemistry for the assessment of groundwater quality in Korea. Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 6(1), 1-29.
7. Gibbs RJ (1970) Mechanisms controlling world water chemistry. Science, 170, 1088-1090.
8. Piper AM (1944) A graphical interpretation of water analysis. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25, 914-928.
9. Ryu HS, Lee JY, Lim CW, Kim KT (2019) Hydrochemical characteristics of groundwater and stream water in a karst area of Samcheok, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 55, 117-129.
10. 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, Journal of the Geological Society of Korea, 53, 727-742.
11. Kim H, Kaown D, Mayter B, Lee JY, Hyun Y, Lee KK (2015) Identifying the sources of nitrate contamination of groundwater in an agricultural area (Haean basin, Korea) using isotope and microbial community analyses. Science of the Total Environment, 533, 566-575.
12. Pu J, Yuan D, Xiao Q, Zhao H (2015) Hydrogeochemical characteristics in karst subterrane an streams: a case history from Chongqing, China. Carbonates and Evaporates, 30, 307-319.