

시설원에 용수 공급을 위한 지하수 정수 요구도 분석

이태석, 손진관*, 진유정, 이동관, 장재경, 백이, 임류갑
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과

The Demand Analysis of Water Purification of Groundwater for the Horticultural Water Supply

Taeseok Lee, Jinkwan Son*, Yujeong Jin, Donggwan Lee,
Jaekyung Jang, Yee Paek, Ryugap Lim

Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

요약 본 연구에서는 시설원에 농가 중 지하수 수질에 문제가 있는 농가와 지하수를 원활히 사용하는 농가의 수질 성분을 분석하고 비교하였다. 이를 통해, 국내 수경재배 시설을 대상으로 지하수 수질에 따라 양액 재배용 원수로 사용 가능성을 평가하였다. 지하수 수질에 문제가 없는 농가의 지하수는 평균적으로 pH 6.61, EC 0.27 dS/m, NO₃-N 7.64 mg/L, NH₄⁺-N 0.80 mg/L, PO₄-P 0.09 mg/L, K⁺ 6.26 mg/L, Ca²⁺ 18.57 mg/L, Mg²⁺ 4.38 mg/L, Na⁺ 20.85 mg/L, Cl⁻ 18.10 mg/L, S²⁻ 7.97 mg/L, HCO₃⁻ 55.06 mg/L, Fe 0.09 mg/L, Mn 0.01 mg/L, Zn 0.04 mg/L, Cu 0.01 mg/L, B 0.04 mg/L, Si⁴⁺ 8.93 mg/L, Mo 0.01 mg/L로 나타났으며, 모두 양액 재배용 원수의 수질기준을 만족하였다. 반면, 지하수 수질에 문제가 있는 농가의 경우 대다수의 항목이 양액재배용 원수의 수질기준을 초과하였다. 이러한 성분분석 결과로 보아 작물재배에 적합하지 않은 수질의 지하수를 정수하여 원수로 사용하는 것은 지하수의 재충전, 토양정화 측면에서 효과가 있다고 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 농업용 정수시스템을 구성한다면 우선처리 대상 항목 및 연계 항목을 추출할 수 있어 설계가 용이할 것으로 판단된다. 또한 이러한 농업용 정수시스템을 정착시킨다면 시설원에 단지에서 직접 지하수를 사용하면서 재충전 및 재이용할 수 있고, 결과적으로 지속가능한 농업과 국토 정화에 이바지 할 수 있는 기본 정보를 제공한다.

Abstract This study analyzed groundwater quality in hydroponic cultivation facilities. Through this study, the possibility of groundwater use was evaluated according to the quality of the groundwater for hydroponic cultivation facilities. Good groundwater quality, on average, is pH 6.61, EC 0.27 dS/m, NO₃-N 7.64 mg/L, NH₄⁺-N 0.80 mg/L, PO₄-P 0.09 mg/L, K⁺ 6.26 mg/L, Ca²⁺ 18.57 mg/L, Mg²⁺ 4.38 mg/L, Na⁺ 20.85 mg/L, etc. All of these satisfy the water quality standard for raw water in nutrient cultivation. But in the case of farmers experiencing problems with groundwater quality, most of the items exceeded the water quality standard. As a result of the analysis, it was judged that purifying groundwater of unsuitable quality for crop cultivation, and using it as raw water, was effective in terms of water quality and soil purification. If an agricultural water purification system is constructed based on the results of this study, it is judged that the design will be easy because the items to be treated can be estimated. If a purification system is established, it can use groundwater directly in the facility and for horticulture. These study results will be available for use in sustainable agriculture and environments.

Keywords : Hydroponic, Aqueous Ion, Groundwater, Water Quality, Water purification

본 연구는 2020년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ014911)의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Jinkwan Son(NIAS, RDA)

email : son007005@korea.kr

Received September 28, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised December 1, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

시설원에 작물은 고부가가치 농산물로 높은 농가 소득을 창출했고 전국적으로 다양한 형태의 시설재배 농가가 증가하고 있다[1]. 우리나라 시설원에 기술은 네덜란드, 일본 등과 함께 세계 최고 수준으로 평가받고 국토 및 인구 대비 경영 면적 또한 매우 높은 수준이다[2]. 이러한 높은 농가소득과 기술개발 및 보급 등은 시설원에 산업을 한국 농업에서 백색혁명 불릴 수 있게 했지만[1], 대규모, 고정 집약적 재배, 토지이용 변화 등으로 인하여 다양한 환경적 문제점을 초래하게 되었다[3-5].

일반적인 시설원에는 비닐이나 유리 등을 기초 재료에 피복하여 강우로부터 작물을 보호하는 시설물로 토양 유실 및 용탈은 적은 반면, 폐쇄적인 환경에서 고농도의 비료, 퇴비, 양액 등을 지속적으로 사용하여 토양의 염류집적 및 지하수의 염분상승 현상을 초래한다고 보고되고 있다[6, 7, 8, 9]. 실제로 스페인 이베리아 지역 대규모 시설원예단지 조성과 지하수의 과도한 사용이 지하수위 저하와 염분농도 상승을 초래한다고 보고되고 있다[10].

농업용수는 토양과 수계, 유역특성 등 지역 요건과 기상에 따른 계절적 변동이 심하며, 작물의 생육기간이 한정적이기 때문에 용수 이용의 집중도가 높다[11-12]. 우리나라의 연간 이용 가능한 수자원은 댐, 하천, 지하수를 포함해 372억 m^3 /년 이며[13], 2016년 기준 약 152억 m^3 /년 이상을 농업용수로 사용했다[14]. 이 양은 하천 유지용수를 제외하고 이용 용수 대비 약 61 % 정도이며, 그 중 연간 지하수의 농업 사용량은 1.485억 m^3 /년으로 농업용수 이용에서 지하수 사용량은 약 1 %에도 미치지 못하는 것으로 분석되고 있다[15]. 우리나라는 6~8월동안 강수량의 50~60 %가 집중되며, 봄철의 강우가 적어 가뭄의 우려가 크고 지구온난화에 따른 가뭄 문제도 발생한다[16]. 이러한 이유로 댐, 저수지, 하천 등 이치수를 위한 많은 투자에도 여름철 집중적인 강우로 인해 물 부족 국가를 벗어나지 못하는 현실에 있다. 따라서 하천수, 저수지 등과 연계된 수자원이 발달 되지 않은 농어촌 지역에서는 지표수보다 양질의 지하수가 주된 농어업 용수가 될 수 있다[17-18]. 더불어 시설원예의 경우 농업용 관개수를 공급하지 않으며 강우량이 적은 겨울철에 용수 사용량이 높으므로[19], 양질의 지하수를 공급받을 수 있는 곳을 적지로 택하고 있다[20].

시설원예에서 사용하는 지하수의 대부분은 천층 지하수로 이루어져 있어 비료성분에 의한 염류이동은 지하수 오염으로 이어지며, 10년 이상의 시설원예단지 지속적인

운영으로 인해 지하수 오염이 가속화 되고 있는 실정이다[21]. 2018년 농촌지하수관리 관측망 보고서에 따르면 전국 446개 관측망 중 132개소에서 지하수위 저하와 전기전도도(EC)의 증가 추세가 보고 된 바 있다[22]. 그 중 대부분은 국내 총 경지면적의 9 %에 달하고 남서해에 1,600개소 이상, 13만5,100 ha 가 조성된 간척지로 [23-24], 해수유입으로 토양 내 염도가 높아 시설재배에서 지하수 사용이 어려워 대부분 상수도 및 지표수를 주로 이용하고 있다[25-26]. 간척지는 일반적으로 지하수의 염분농도가 높은 것으로 알려져 시설원예 운영 시 정수기술은 필수 도입 요소로 거론 할 수 있지만 일반 내륙 지역에서도 Cl, Na, Fe, HCO_3^- 등을 다량 함유하는 경우가 있으며, 간혹 Cd, Pb, Cr 등의 중금속이 함유된 경우 생산물이 중금속에 오염될 수 있으므로 이들 이온이 함유되지 않아야 한다[27-28]. 또한, 양액재배 농가에서 양액 조성 시 지하수의 성분함량을 고려하지 않을 경우 양분 과잉으로 인한 작물의 생육 장애가 발생할 수 있어 시설원예단지의 지하수 수질 상태는 반드시 분석해야 한다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 내륙지역 시설원에 농가 중 지하수 수질이 나빠 농업용 정수기를 사용하고 있는 농가의 지하수를 채취하여 수질성분을 분석하였고, 반대로 지하수의 성분상 애로가 없어 양액처방에 무관한 농가의 수질을 비교하였다. 이러한 결과를 바탕으로 지하수의 정수가 요구되는 시설원예단지의 정수 요구도를 파악하여 농업용 정수기를 개발하는데 활용하고자 하였다.

이러한 지하수 정수 및 사용 연구는 고농도로 집적된 지하수 이용을 제고시켜 재충전-순환-수질개선 의 조절 기능을 향상 시킬 수 있으며, 물이 부족한 시기에 양질의 지하수를 사용함으로써 국가 또는 세계적 물 부족에 대응하고 지속가능한 농업을 구현 할 수 있다고 기대한다.

2. 실험재료 및 방법

내륙지역 시설원에 지하수 사용 농가의 정수 요구도 파악을 위한 연구는 Fig. 1과 같이 총 6단계에 걸쳐서 진행되었다.

먼저 1단계는 시설원에 운영에 있어 지하수 사용 필요성과 지하수의 농도변화 등을 거론함으로써 시설원에 정수 시스템 기술개발과 본 연구와 같은 지하수 조사의 필요성을 언급하였다. 2단계에서 시설원에 농가에서 지하수 사용에 어려움을 겪고 있는 내륙지역 대상지와 비교하기 위한 일반 지하수사용 농가를 선정하였다. 3단계에

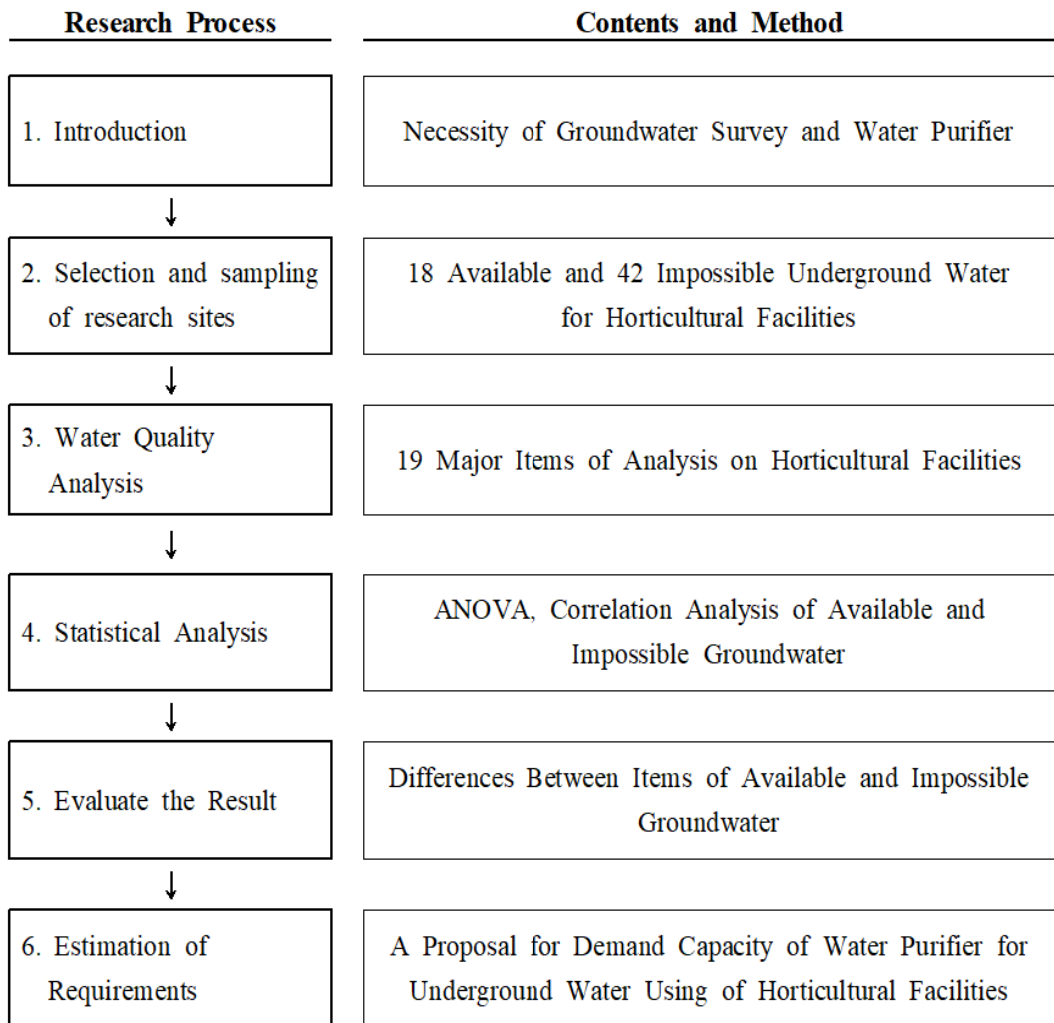


Fig. 1. The main flow structure of this study

서는 선정된 대상지를 바탕으로 지하수 샘플을 채취하여 일반적으로 양액 조성 시 분석하는 항목을 바탕으로 수질분석을 실시하였다. 이후 4단계에서는 분석된 결과를 바탕으로 통계분석을 통해 지역별, 작물별 등으로 비교했으며, 5단계에서 사용 가능 지하수와 불가 지하수의 농도 차이를 바탕으로 정수에 필요한 저감 농도를 제시하였다. 연구결과를 바탕으로 6단계에서 시설원에 지하수 애로 지역에서 지하수를 사용하기 위한 정수기 기술개발의 필요성과 정수 요구도를 제안하였다.

2.1 연구대상지 및 시료채취

연구대상지는 먼저 농업용 정수기를 사용하거나 수질

에 문제가 있는 농가를 42개소를 선정하였다(Table 1.) 선정 기준은 농업용 정수기 보급업체 P사의 시공 목록과 지하수 수질 문제로 양액 조성에 어려움을 겪고 있는 농가 목록을 시설원에 컨설팅 업체 M사와 정수기 설치업체 H사로부터 제공 받았다. 시설원예에 사용하기 어려운 지하수의 조사장소는 Table 1과 같이 강원도 삼척, 영월, 평창에서 4개소, 경남 진주, 함안, 창녕, 합천에서 18개소, 전북 김제, 익산에서 4개소, 충남 부여, 논산에서 12개소로 총 42개 샘플을 채취하였다. 시료 채취는 농가를 방문하여 지하 관정에서 5분 정도 원수를 퍼낸 후 채취하였다.

Table 1. The number and location of impossible using groundwater samples.

Province	Location	Number of sample	Code
Gangwon	Samcheok, Yeongwol, Pyeongchang	4	GWs
Gyeongnam	Jinju, Haman	10	GNj
	Changnyeong, Hapcheon	8	GNc
	Namhae, Geoje, Changwon	4	GNn
Jeonbuk	Gimje, Iksan	4	JBg
Chungnam	Nonsan, Buyeo	12	CNn
Total		42	

시설원예에서 지하수 수질에 문제가 있는 농가의 지하수 수질환경과 비교하기 위해 반대로 사용에 문제가 없는 농가의 수질환경을 알아보았다. 대상지와 샘플 확보는 Table 2와 같이 총 18개 대상지를 선정하였다. 지역 선정은 작물별로 구분하여 채취하였으며, 토마토의 경우 화순, 완주, 장수, 홍천, 장성, 파프리카는 창녕, 진주, 김제, 부여, 장흥, 딸기는 진주, 삼척, 부여, 논산으로 선정하였다.

Table 2. The number and location of available using groundwater samples.

Plant	Location	Number of sample	Code
Tomato	Hwasun, Wanju, Jangsu, Hongcheon, Jangsu, Jangseong,	6	Tw
Paprika	Changnyeong, Jinju, Gimje, Buyeo, Buyeo, Jangheung	6	Pw
Strawberry	Jinju, Samcheok, Buyeo, Nonsan	6	Sw
Total		18	

2.2 수질 측정항목 및 분석방법

주요 분석 항목은 산도(pH), 전기전도도(EC), 인산염 인(PO_4-P), 음이온(질산태질소(NO_3^-), 염소이온(Cl^-), 중탄산이온(HCO_3^-), 황화이온(S_2^{2-})), 양이온(암모늄태질소(NH_4^+), 칼륨이온(K^+), 칼슘이온(Ca^{2+}), 마그네슘이온(Mg^{2+}), 규소이온(Si^{4+}), 나트륨이온(Na^+)), 미량원소(철(Fe), 망간(Mn), 구리(Cu), 아연(Zn), 몰리브덴(Mo), 붕소(B)) 등 19항목을 분석하였다. pH와 EC는 각각 항목 측정기 pH meter (MP220, Germany), EC meter (S30, Germany)를 사용하였으며, HCO_3^- 는 Bicarbonate법

을 이용하였다. Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ 은 이온크로마토그래피법(Sykam GmbH 135, Germany)으로 분석하여 NO_3^- 는 질산태질소(NO_3-N), NH_4^+ 는 암모늄태질소(NH_4^+-N)의 농도로 환산하여 나타내었다. PO_4-P 는 아스코르빈산환원법을 이용하였고, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Si^{4+} , Na^+ 은 유도결합플라즈마분석기(ICP-OES, USA) 기기를 이용하여 분석하였다.

2.3 통계 및 분석방법

지하수 수질에 문제가 있는 농가와 문제가 없는 농가의 각 수질분석 항목은 우리나라 양액재배용 원수의 적정 수질기준[29]과 비교하였고, 그 기준은 Table 3과 같다. 그리고 두 집단 간의 유의미한 차이가 있는지 확인하기 위해 SPSS 20.0을 이용해 통계 분석을 수행하였고, 통계 분석은 ANOVA와 t검정으로 수행하였다.

Table 3. The number and location of available using groundwater samples.

content	ionic concentration
pH	5.0 ~ 8.0
EC(dS/m)	<0.5
N(mg/L)	<10
PO_4-P	<2
K^+	<10
Ca^{2+}	<40
Mg^{2+}	<15
S^{2-}	<40
HCO_3^-	<100
Na^+	<30
Cl^-	<30
Fe	<0.5
Mn	<0.6
Zn	<0.5
Cu	<0.01
B	<0.1
Si^{4+}	-
MO	-

3. 연구결과

3.1 지하수 애로농가의 수질환경 분석결과

농업용 정수기를 사용하고 있는 농가들의 지하수 성분

분석결과는 Table 4와 같다. pH의 평균값은 7.35였으며, 수질기준 5.0~8.0을 만족하였다. pH가 가장 높은 지역은 강원지역으로 평균 7.83였다. 전북지역에서는 pH 7.12로 제일 낮게 나타났으며, 모든 지역에서 양액재 배용 원수의 수질기준을 만족하여 지역 간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 강원지역 pH의 높은 분석결과는 대상지역이 삼척, 평창, 영월로 우리나라의 대표적 섬회암 지질 지역으로 선행연구 조사결과와 유사하게 분석되었다[30]. EC는 평균 0.90 dS/m으로 수질기준 0.5 dS/m을 초과하였으며, 진주와 함안지역의 평균 EC가 1.42 dS/m로 가장 높았고 그 다음으로는 전북지역이 1.17 dS/m로 높게 나타났다. 가장 낮은 지역은 강원지역으로 평균 0.46 dS/m이었으며, 강원을 제외한 전 지역이 수질기준을 초과하였다. EC 값의 지역 간 차이를 살펴보면 강원과 전북지역이 다른 지역보다 더 높게 나타났다. 가장 낮은 지역은 강원지역으로 평균 0.46 dS/m이었으며, 강원을 제외한 전 지역이 수질기준을 초과하였다. EC 값의 지역 간 차이를 살펴보면 강원과 전북지역이 다른 지역보다 더 높게 나타났다. 경남의 진주, 함안과 전북의 김제 익산지역의 높은 EC 분석결과는 해안에 인접한 하구역의 특성으로 경남 섬석강[31], 경남지역[32], 전북 만

경강[33]의 조사결과와 유사하다.

NO₃-N의 평균값은 8.21 mg/L로 수질기준 10 mg/L보다 낮았으며, 강원지역, 창녕과 함천에서 각각 11.40 mg/L, 12.13 mg/L로 수질기준을 초과하였다. 나머지 지역의 NO₃-N 값은 수질기준을 만족하여 지역 간 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. NH₄⁺-N의 평균값 2.23 mg/L이었고, 논산과 부여에서 4.31 mg/L으로 가장 높았으며, 강원지역에서 가장 낮은 수치 0.43 mg/L를 나타냈다. PO₄-P의 평균값은 0.31 mg/L로 수질기준보다 2 mg/L보다 낮았으며 전 지역에서 수질기준을 만족하여 지역 간 차이는 없는 것으로 나타났다. K⁺의 평균값은 6.06 mg/L로 수질기준 10 mg/L보다 낮았으나 논산과 부여에서 11.68 mg/L로 수질기준을 초과하여 다른 지역과 비교하여 높은 수치를 나타내었다. Ca²⁺의 평균값은 71.24 mg/L으로 수질기준 40 mg/L을 초과하였다. 진주와 함안에서 171.92 mg/L로 가장 높았는데 이것은 하류역 또는 해수 영향 지역임을 추측 할 수 있다 [30]. 반면 논산과 부여에서 14.17 mg/L로 분석되어 두 지역 간 차이도 큰 것으로 나타났다. Mg²⁺의 평균값은 17.54 mg/L로 수질기준 15 mg/L보다 높게 나타났다. 함안, 진주에서 31.85 mg/L로 가장 높았으며 남해, 거

Table 4. The water analysis result of 42 impossible using groundwater.

Contents	Gs (N=4)	Gj (N=10)	Gc (N=8)	Gn (N=4)	Jg (N=4)	Cn (N=12)	Average (N=42)	F-value	Post-huc.
pH	7.83±0.41	7.38±0.22	7.38±0.73	7.59±0.47	7.12±0.26	7.15±0.42	7.35±0.48	1.768	N.S
EC	0.46±0.15a	1.42±0.39b	0.68±0.21a	0.58±0.27a	1.17±0.12b	0.78±0.26a	0.90±0.43	12.395***	Gs, Gc, Gn, Cn < Gj, Jg
NO ₃ -N	11.40±8.15	6.20±4.54	12.13±12.03	4.73±4.06	4.02±2.90	8.78±5.00	8.21±7.12	1.345	N.S
NH ₄ ⁺ -N	0.43±0.59	0.98±1.38	2.10±1.38	2.03±2.75	1.36±2.58	4.31±5.73	2.23±3.97	1.066	N.S
PO ₄ -P	0.04±0.06	0.01±0.02	0.03±0.06	0.02±0.04	0.03±0.04	1.04±1.44	0.31±0.88	2.809*	N.S
K ⁺	1.95±0.73a	5.39±5.20a	4.11±4.88a	1.02±0.77a	3.94±4.16a	11.68±6.50b	6.06±6.11	4.652**	Gs, Gj, Gc, Gn, Jg < Cn
Ca ²⁺	52.79±25.3ab	171.92±58.99c	50.24±35.18ab	50.47±8.79ab	72.02±24.83b	141.17±12.15a	71.24±68.21	24.226***	Cn < Gs, Gc, Gn < Jg < Gj
Mg ²⁺	5.47±2.20a	31.85±9.02c	17.41±11.48b	4.56±1.86a	7.93±2.49ab	17.26±10.71b	17.54±12.72	8.937***	Gs, Gn < Jg < Gc, Cn < Gj
Na ⁺	6.12±2.52a	72.99±26.48c	54.30±35.67ab	33.88±31.67ab	84.65±28.70bc	129.81±68.13c	76.68±57.85	6.577***	Gs < Gc, Gn < Gj < Jg < Cn
Cl ⁻	8.42±0.79	48.61±20.10	42.21±34.57	17.57±18.43	84.19±59.47	76.42±57.24	51.94±50.19	2.242	N.S
S ²⁻	4.22±2.92a	148.99±87.41b	18.65±17.41a	15.49±8.40a	6.50±5.05a	11.76±11.61a	44.88±72.53	14.166***	Gs, Gc, Gn, Jg, Cn < Gj
HCO ₃ ⁻	162.12±19.97a	174.14±59.64a	224.41±78.59b	141.21±43.11a	339.05±98.43c	291.50±121.01bc	228.67±104.35	4.612**	Gs, Gj, Gn < Gc < Cn < Jg
Fe	0.01±0.02	0.01±0.01	0.02±0.06	0.05±0.08	0.12±0.13	0.83±1.19	0.26±0.72	2.500*	N.S
Mn	0.00±0.00	0.00±0.00	0.46±1.16	0.10±0.21	0.33±0.34	0.59±0.58	0.30±0.63	1.402	N.S
Zn	0.03±0.03	0.03±0.02	0.03±0.06	0.01±0.01	0.00±0.01	0.01±0.04	0.02±0.04	0.648	N.S
Cu	0.00±0.00	0.01±0.01	0.02±0.03	0.01±0.01	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.957	N.S
B	0.02±0.01a	0.36±0.14c	0.08±0.04ab	0.04±0.01a	0.05±0.03a	0.21±0.13b	0.17±0.16	11.849***	Gs, Gn, Jg < Gc < Cn < Gj
Si ⁴⁺	1.70±0.53a	6.76±2.97ab	3.12±3.75a	9.31±7.84b	15.30±5.42c	11.03±4.01bc	7.86±5.68	7.954***	Gs, Gc < Gj < Gn < Cn < Jg
Mo	0.00±0.00	0.00±0.01	0.02±0.03	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.02	1.168	N.S

* p<0.05 = *, p<0.01 = **, p<0.00 = ***, N.S = Not significant result.

제, 창원에서 4.56 mg/L로 가장 낮게 나타나 지역 간 차이도 크게 나타났다. 진주와 함안 지역에서 31.85 mg/L로 가장 높았으며 강원지역에서는 5.47 mg/L로 가장 낮게 나타났다. Na⁺의 평균값은 76.68 mg/L로 수질기준 30 mg/L보다 높게 나타났고 부여와 논산에서 129.81 mg/L로 가장 높았으며, 강원지역에서 6.12 mg/L로 가장 낮은 수치를 보였다. 강원 외의 지역은 모두 수질기준을 초과하였으며 지역 간 차이도 큰 것으로 나타났다. Cl⁻의 평균값은 51.94 mg/L로 수질기준 30 mg/L보다 높게 나타났고 김제와 익산에서 84.19 mg/L로 가장 높았으며 강원지역 8.42 mg/L로 가장 낮았다. 강원지역과, 남해, 거제, 창원을 제외한 다른 지역은 모두 수질기준을 초과하였다. S²⁻의 평균값은 44.88 mg/L로 수질기준 40 mg/L보다 높았으며 진주와 함안에서의 농도가 148.99 mg/L로 가장 높게 나타났고, 강원지역에서 4.22 mg/L로 가장 낮았다. 진주와 함안을 제외한 모든 지역에서 수질기준을 만족하여 다른 지역에서 비해 진주, 함안이 S²⁻ 농도가 높다는 것을 확인할 수 있었다. HCO₃⁻ 농도의 평균값은 228.67 mg/L로 수질기준 100 mg/L보다 높게 나타났고 김제와 익산에서 339.05 mg/L로 가장 높았으며 남해, 거제, 창원에서 141.21 mg/L로 가장 낮게 나타났다.

HCO₃⁻는 모든 지역에서 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며 지역 간 차이도 크게 나타났다. Fe의 평균값은 0.26 mg/L로 수질기준 0.5 mg/L보다 낮았으며 부여, 논산에서 0.83 mg/L로 가장 높게 나타났고 그 외의 지역은 모두 수질기준 보다 낮은 농도였다. Mn의 평균값은 0.30 mg/L로 수질기준 0.6 mg/L보다 낮았으며 모든 지역이 수질기준을 초과하지 않았다. Zn의 평균값은 0.02 mg/L로 수질기준 0.5 mg/L보다 낮았으며 모든 지역이 수질기준을 만족하였다. Cu의 평균값은 0.01 mg/L로 수질기준 0.01 mg/L과 같은 값으로 나타났고 진주와 함안, 김제와 익산 지역에서 수질기준을 초과하지 않았다. B의 평균값은 0.17 mg/L로 수질기준 0.1 mg/L보다 높게 나타났으며 진주와 함안에서 0.36 mg/L로 가장 높게 나타났고 강원지역에서 0.02 mg/L로 가장 낮게 나타났다. B는 진주와 함안, 부여와 논산에서 다른 지역에 비해 농도가 높게 나타났다. Si⁴⁺의 평균값은 7.86 mg/L로 가장 높은 곳은 김제와 익산으로 15.30 mg/L였으며 가장 낮은 곳은 강원지역으로 그 농도는 1.70 mg/L였다. Mo의 평균값은 0.01 mg/L였으며 창녕과 함천에서 0.02 mg/L로 가장 높았다. Mo는 김제와 익산에서 0.01 mg/L였고 그 외 나머지 지역에서는 0.00 mg/L였다.

Table 5. The water analysis result of 18 available using groundwater.

Contents	Tw (N=6)	Pw (N=6)	Sw (N=6)	Average (N=18)	F-value	Post-huc.
pH	6.85±0.30	6.74±0.39	6.24±0.75	6.61±0.56	2.414	N.S
EC	0.24±0.07	0.28±0.09	0.29±0.11	0.27±0.09	0.436	N.S
NO ₃ -N	5.87±3.47	7.69±6.17	9.35±5.09	7.64±4.95	0.716	N.S
NH ₄ ⁺ -N	0.50±1.22	1.88±1.95	0.01±0.02	0.80±1.49	3.202	N.S
PO ₄ -P	0.01±0.01	0.04±0.06	0.24±0.42	0.09±0.26	1.627	N.S
K ⁺	3.96±2.37	7.12±13.05	7.71±10.14	6.26±9.21	0.262	N.S
Ca ²⁺	17.69±4.38	21.35±12.15	16.66±10.22	18.57±9.17	0.404	N.S
Mg ²⁺	3.79±0.74	5.41±2.15	3.93±1.97	4.38±1.80	1.599	N.S
Na ⁺	15.54±5.42a	20.23±7.04ab	26.77±7.06b	20.85±7.77	4.446*	Tw < Pw < Sw
Cl ⁻	18.86±13.72	21.80±8.66	13.64±19.90	18.10±14.35	0.466	N.S
S ²⁻	2.78±1.98	6.32±8.51	14.80±13.30	7.97±10.07	2.716	N.S
HCO ₃ ⁻	58.87±17.55	74.92±32.74	31.38±34.75	55.06±33.21	3.373	N.S
Fe	0.01±0.02	0.07±0.15	0.19±0.27	0.09±0.19	1.570	N.S
Mn	0.00±0.00	0.00±0.01	0.03±0.08	0.01±0.04	0.961	N.S
Zn	0.02±0.05	0.04±0.03	0.07±0.15	0.04±0.09	0.415	N.S
Cu	0.01±0.02	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.412	N.S
B	0.02±0.01a	0.03±0.03a	0.07±0.03b	0.04±0.03	5.927*	Tw, Pw < Sw
Si ⁴⁺	8.40±7.19	15.82±6.29	3.56±2.22	8.93±7.13	5.969	N.S
Mo	0.00±0.01	0.01±0.03	0.01±0.01	0.01±0.02	0.352	N.S

* p<0.05 = *, p<0.01 = **, p<0.00 = ***, N.S = Not significant result.

3.2 지하수 사용 가능 농가의 수질환경 분석결과

지하수의 성분 중 과도한 성분이 없어 양액재배가 가능한 농가들의 지하수 성분 분석결과는 Table 5와 같다. pH의 평균값은 6.61이었고, 수질기준 5.0~8.0을 만족하였으며, 재배작물별로 큰 차이는 없었다. EC는 평균 0.27 dS/m으로 수질기준 0.5 dS/m보다 낮았으며, 재배작물 간 큰 차이는 없었다.

NO₃-N의 평균값은 7.64 mg/L로 수질기준 10 mg/L보다 낮았으며, 딸기 재배 농가에서 9.35 mg/L로 가장 높았고, 토마토 재배 농가에서 5.87 mg/L로 가장 낮았다. NH₄⁺-N의 평균값 0.80 mg/L이었고, 파프리카 재배 농가에서 1.88 mg/L로 가장 높았으며, 딸기 재배 농가에서 가장 낮은 수치 0.01 mg/L를 나타냈다. 나머지 분석 항목들의 평균값을 살펴보면 PO₄-P는 0.09 mg/L, K⁺는 6.26 mg/L, Ca²⁺는 18.57 mg/L, Mg²⁺는 4.38 mg/L, Na⁺는 20.85 mg/L, Cl⁻은 18.10 mg/L, S²⁻는 7.97 mg/L, HCO₃⁻는 55.06 mg/L, Fe는 0.09 mg/L, Mn은 0.01 mg/L, Zn은 0.04 mg/L, Cu는 0.01

mg/L, B는 0.04 mg/L, Si⁴⁺는 8.93 mg/L, Mo는 0.01 mg/L이었다. 모든 항목이 양액재배용 원수의 수질기준을 만족하였으며 각 항목별로 재배작물 간 차이는 없는 것으로 나타났다.

3.3 통계분석을 통한 정수요구도 산정

Table 6은 양액재배용 원수로 사용이 불가능한 지하수와 사용 가능한 지하수의 통계학적 분석 결과로 각 분석 항목별 평균, 표준편차, 상하위 5 % 값, 시설원예용 원수의 수질기준을 벗어나는 농가 수, t 검정 통계값을 나타내고 있다. 본 연구에서 정수요구도는 양액재배 원수로 사용 가능한 지하수의 상위 5 %에 해당하는 값과 양액재배 원수로 사용이 불가능한 지하수의 하위 5 %에 해당하는 값의 차로 정의하였다. 각 분석 항목의 평균값은 양액재배용 원수로 사용이 불가능한 지하수가 사용 가능한 지하수에 비해 높게 나타났으며 사용 가능한 지하수는 모두 양액재배용 수질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 6. The water analysis result of 42 impossible using groundwater.

Contents	Iuw (N=42)						Auw (N=18)						F-value	Post-huc.	P.R
	Mean	S.D	95% Confidence Mean		Over Range		Mean	S.D	95% Confidence Mean		Over Range				
			Lower Bound	Upper Bound	N	%			Lower Bound	Upper Bound	N	%			
pH	7.35	0.48	7.20	7.50	3	7.14	6.61	0.56	6.33	6.89	0	0.00	0.132	N.S	1.17
EC	0.90	0.43	0.77	1.03	34	80.95	0.27	0.09	0.22	0.31	0	0.00	19.681***	Iuw > Puw	0.81
NO ₃ -N	8.21	7.12	6.00	10.43	14	33.33	7.64	4.95	5.18	10.10	6	33.33	0.295	N.S	5.25
NH ₄ ⁺ -N	2.23	3.97	0.99	3.47	-	-	0.80	1.49	0.05	1.54	-	-	5.982*	Iuw > Puw	3.42
PO ₄ -P	0.31	0.88	0.04	0.59	3	7.17	0.09	0.26	0.00	0.22	0	0.00	4.372*	Iuw > Puw	0.62
K ⁺	6.06	6.11	4.16	7.96	11	26.19	6.26	9.21	1.68	10.85	2	11.11	0.207	N.S	6.28
Ca ²⁺	71.24	68.21	49.99	92.50	27	64.29	18.57	9.17	14.00	23.13	1	5.56	18.138***	Iuw > Puw	78.50
Mg ²⁺	17.54	12.72	13.58	21.50	22	52.38	4.38	1.80	3.48	5.27	0	0.00	49.117***	Iuw > Puw	18.02
Na ⁺	76.68	57.85	58.65	94.71	32	76.19	20.85	7.77	16.98	24.71	5	27.78	19.607***	Iuw > Puw	77.73
Cl ⁻	51.94	50.19	36.30	67.58	28	66.67	18.10	14.35	10.96	25.24	4	22.22	5.743*	Iuw > Puw	56.62
S ²⁻	44.88	72.53	22.28	67.49	11	26.19	7.97	10.07	2.96	12.97	1	5.56	12.416**	Iuw > Puw	64.53
HCO ₃ ⁻	228.67	104.35	196.15	261.19	40	95.24	55.06	33.21	38.54	71.57	1	5.56	10.140**	Iuw > Puw	222.65
Fe	0.26	0.72	0.04	0.48	4	9.52	0.09	0.19	0.00	0.18	1	5.56	3.294	N.S	0.48
Mn	0.30	0.63	0.10	0.49	9	21.43	0.01	0.04	0.00	0.03	0	0.00	11.610**	Iuw > Puw	0.50
Zn	0.02	0.04	0.01	0.03	0	0	0.04	0.09	0.00	0.09	0	0.00	4.769	N.S	0.03
Cu	0.01	0.01	0.00	0.01	7	16.67	0.10	0.01	0.00	0.01	1	5.56	0.019	N.S	0.01
B	0.17	0.16	0.12	0.22	23	54.76	0.04	0.03	0.03	0.05	1	5.56	24.174***	Iuw > Puw	0.19
Si ⁴⁺	7.86	5.68	6.09	9.63	-	-	8.93	7.13	5.38	12.47	-	-	3.373	N.S	4.25
Mo	0.01	0.02	0.00	0.01	-	-	0.01	0.02	0.00	0.02	-	-	0.637	N.S	0.01

* P.R (Purification Requirement) = Iuw 95% Upper Bound - Auw 95% Lower Bound, Iuw = impossible using groundwater, Auw : available using groundwater.

pH는 양액재배용 원수로의 사용이 불가능한 지하수의 중 7.14 %가 수질기준을 벗어났으나 원수로의 사용이 가능한 지하수는 모두 수질기준을 만족하였다. 두 집단 간의 통계적으로 유의미한 차이는 없었으며, pH의 정수 요구도는 1.17이다. EC는 양액재배로 사용이 불가능한 지하수 중 80.95 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용이 가능한 지하수는 모두 수질기준을 만족하였다. 또한 유의수준 0.1 %를 기준으로 두 집단 간에는 유의미한 차이가 있다고 판단된다. EC의 정수요구도는 0.81 dS/m이다. [34]은 우리나라 농작물의 피해 농도를 1.00 dS/m로 보고하고 있으며, 시기와 사용량에 따라 농도가 변화하는 폭이 크므로 본 연구 대상지와 같은 지하수 사용 애로농가는 시기별 변화 정도를 추가로 파악 할 필요가 있다고 판단된다[35].

NO₃-N는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 33.33 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 33.33 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었으며 NO₃-N 정수요구도는 5.25 mg/L이다. 선행연구에서도 NO₃-N이 3 mg/L 이상의 경우 인간 활동에 의한 것으로 보고 있는데 본 연구대상지 전체적으로 7 mg/L를 초

과하므로 농업활동을 원인으로 추측해 볼 수 있다[36]. 하지만 복잡한 질소의 이동을 고려한다면 지속적인 조사가 필요하며[37], 시설원으로 인한 추가적인 농도의 상승은 지양시킬 필요가 있다고 판단된다.

NH₄⁺-N는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수의 평균값은 2.23 mg/L, 사용이 가능한 지하수의 평균값은 0.80 mg/L로 유의수준 5%를 기준으로 두 집단 간에 유의미한 차이가 있다고 판단된다. NH₄⁺-N의 정수요구도는 3.42 mg/L이다. PO₄-P는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 7.17 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수는 모두 수질기준을 만족하였다. 유의수준 5 %에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 있었으며 PO₄-P의 정수요구도는 0.62 mg/L이다.

K⁺는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 28.19 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 11.11 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었으며 K⁺의 정수요구도는 6.28 mg/L이다. Ca²⁺은 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 64.29 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 차이는 유의수

Table 7. Correlation coefficient among components in the groundwater used for hydroponic.

	pH	EC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si ⁴⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N ⁺	Cl ⁻	S ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ -P	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	
pH																					
EC	.230																				
K ⁺	-.159	.039																			
Na ⁺	.140	.534**	.388**																		
Ca ²⁺	.212	.815**	-.200	.064																	
Mg ²⁺	.114	.793**	.062	.283*	.746**																
Si ⁴⁺	-.151	.073	.124	.221	-.147	-.009															
NH ₄ ⁺ -N	.040	.145	.131	.269*	-.091	.204	.324*														
NO ₃ -N	-.199	-.017	.111	.046	-.028	.079	-.314*	.185													
N ⁺	-.146	.049	.149	.156	-.063	.154	-.115	.590**	.902**												
Cl ⁻	-.070	.414**	.199	.456**	.136	.385**	.228	.465**	.200	.368**											
S ²⁻	.119	.770**	-.067	.168	.925**	.755**	-.142	-.040	-.085	-.088	.052										
HCO ₃ ⁻	.426**	.507**	.244	.777**	.047	.255*	.237	.246	-.022	.090	.267*	.005									
PO ₄ -P	.092	.070	.453**	.711**	-.258*	-.137	.021	-.076	.123	.068	.030	-.151	.549**								
Fe	-.075	.009	.425**	.348**	-.229	.122	.178	-.039	.041	.017	.065	-.116	.308*	.353**							
Mn	-.272*	.168	.072	.178	-.034	.274*	.079	.256*	.497**	.520**	.385**	-.043	.123	-.013	.136						
Zn	-.126	-.006	-.095	-.125	.039	.080	-.133	.028	.102	.096	.031	.030	-.205	-.147	-.118	.041					
B	.152	.783**	.291*	.646**	.657**	.701**	-.035	.023	.003	.013	.197	.777**	.413**	.416**	.252	-.017	-.040				
Cu	-.052	-.032	.114	.056	-.021	.081	-.209	-.075	.090	.041	.012	.037	-.112	.126	.022	.081	.339**	.139			
Mo	-.244	-.215	.532**	-.138	-.154	-.186	.089	-.061	.029	-.003	-.084	-.142	-.134	-.052	-.062	-.093	-.095	-.155	-.072		

* p<0.05 = *, p<0.01 = **, p<0.00 = ***

준 0.1 %에서 유의미한 차이가 있다고 판단되며 Ca^{2+} 의 정수요구도는 78.50 mg/L이다. Mg^{2+} 는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 52.3 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수는 모두 수질기준을 만족하였다. 유의수준 0.1 %에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 있다고 판단되며 Mg^{2+} 의 정수요구도는 18.02 mg/L이다. Na^+ 는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 94.71 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 27.78 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. Na^+ 도 두 집단 간의 차이는 유의수준 0.1 %에서 유의미한 차이가 있다고 판단되며 Na^+ 의 정수요구도는 77.73 mg/L이다.

Cl^- 은 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 66.67 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 22.22 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 차이는 유의수준 5 %에서 유의미한 차이가 있다고 판단되며 Cl^- 의 정수요구도는 56.62 mg/L이다. S^{2-} 는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 26.19 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 유의수준 1 %에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 있다고 판단되며 S^{2-} 의 정수요구도는 64.53 mg/L이다.

HCO_3^- 는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 95.24 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 유의수준 1 %에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 있다고 판단되며 HCO_3^- 의 정수요구도는 222.65 mg/L이다.

Fe은 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 9.52 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었으며 Fe의 정수요구도는 0.48 mg/L이다. Mn은 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 21.43 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수는 모두 수질기준을 만족하였다. 두 집단 간의 차이는 유의수준 1 %에서 유의미한 차이가 있다고 판단되며 Mn의 정수요구도는 0.50 mg/L이다. Zn는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수와 양액재배로 사용 가능한 지하수 모두 수질기준을 만족하였으며 두 집단 간 유의미한 차이는 없다고 판단된다. Zn의 정수요구도는 0.03 mg/L이다. Cu는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 16.67 %가 수질기준을 초과하였고 양액

재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었으며 Cu의 정수요구도는 0.01 mg/L이다.

B는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수 중 54.76 %가 수질기준을 초과하였고 양액재배로 사용 가능한 지하수 중 5.56 %가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 유의수준 0.1 %에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 있다고 판단되며 B의 정수요구도는 0.19 mg/L이다. Si^{4+} 는 양액재배에 사용이 불가능한 지하수의 평균값 7.86 mg/L, 양액재배로 사용 가능한 지하수의 평균값 8.93 mg/L로 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었다. Si^{4+} 의 정수요구도는 4.25 mg/L이다. Mo은 양액재배에 사용이 불가능한 지하수의 평균값 0.01 mg/L, 양액재배로 사용 가능한 지하수의 평균값 0.01 mg/L로 두 집단 간의 유의미한 차이는 없었다. Mo의 정수요구도는 0.01 mg/L이다.

본 연구에서 조사한 농가의 정수시스템은 모두 역삼투압(Reverse Osmosis) 시스템으로 우리나라 농업용 정수 시스템의 일반적인 사용 형태에 해당된다[38, 39]. 역삼투압법은 압력이 낮을수록 정수 효과가 좋으나 유량이 감소한다는 단점이 있다[40, 41]. 유량확보가 중요한 농가의 입장에서 모든 성분을 제거한 완벽히 정수된 수질 보다는 시설원예가 가능한 정도의 수질을 빠른 시간에 확보하는 것이 효율적일 수 있다. 이에 본 연구에서 산정한 정수요구도를 기초자료로 하여 역삼투압 정수시스템의 적정 압력을 설정하고 시스템 설계 또는 이용 시 활용한다면 보다 효율적으로 시스템을 운용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 분석 항목별 상관분석

Table 7은 지하수 성분 분석항목 간 상관분석 결과이다. 양액재배용 원수로 사용이 불가능한 지하수의 분석 항목 중 수질기준을 초과하는 농가수가 60 % 이상인 EC, Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- 를 중심으로 결과를 살펴보면 EC는 Na^+ (0.534^{***}), Ca^{2+} (0.815^{***}), Mg^{2+} (0.793^{***}), Cl^- (0.414^{**}), S^{2-} (0.770^{**}), HCO_3^- (0.507^{**}), B(0.783^{***})와 큰 상관관계가 있다고 판단된다. [42]과 [43]에 따르면 EC가 높다는 것은 원수 내에 NO_3^- N을 비롯한 Na^+ , Cl^- 등 무기 이온의 농도가 높다는 것을 의미하므로 이들 농가는 배양액 조성 시 원수 내에 포함된 이온의 농도를 좀 더 세심하게 고려해야 한다. 또한 [28]에 따르면 EC는 T-N, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Na^+ , Mn과 상관관계가

있다고 하였다. 따라서 EC가 Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- 등의 농도와 높은 상관관계 있다는 본 연구의 결과는 사전 연구 결과와 유사하다고 판단된다.

Ca^{2+} 는 EC(0.815**), Mg^{2+} (0.746**), S^{2-} (0.925**), $\text{PO}_4\text{-P}$ (-0.258*), B(0.657**)과 연관이 있다. 이는 일반적으로 원수 내 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 함량이 고농도인 경우 EC뿐만 아니라 pH를 높이는 원인이 될 수 있다고 한 [42]의 연구결과, Ca^{2+} 의 농도가 EC, Mg^{2+} , HCO_3^- , Na^+ 등의 농도와 상관관계 있다는 [28]의 연구결과와 의미가 유사하다. Na^+ 는 EC(0.534**), K^+ (0.388**), Mg^{2+} (0.283*), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (0.269*), Cl^- (0.456**), HCO_3^- (0.777**), $\text{PO}_4\text{-P}$ (0.711**), Fe(0.348**), B(0.646**)과 연관이 있다. 이는 Na^+ 가 pH, Mg^{2+} , HCO_3^- 가 상관관계가 있다는 [28]의 연구결과와 유사하다. Cl^- 은 EC(0.414**), Na^+ (0.456**), Mg^{2+} (0.385**), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (0.465**), N^+ (0.368**), HCO_3^- (0.267**), Mn(0.358**)와 상관관계가 있다. HCO_3^- 는 pH(0.426**), EC(0.507**), Na^+ (0.777**), Mg^{2+} (0.255*), Cl^- (0.267*), $\text{PO}_4\text{-P}$ (0.549**), Fe(0.308*), B(0.413**)과 상관관계 있다. 이러한 결과는 HCO_3^- 가 pH, EC, Mg^{2+} , Na^+ 와 상관관계가 있다는 [28, 44, 45]의 연구결과 유사하다.

4. 결론

본 연구에서는 시설원에 농가 중 지하수 수질 부적합 농가와 적합 농가의 수질 성분을 분석, 비교하여 정수시스템 필요성 언급과 정수 요구량을 파악하고자 하였다.

지하수 수질에 애로가 있는 농가의 지하수는 양액 재배용 원수기준 및 지하수 사용 농가 수질에 비해 EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , B가 큰 차이로 확인되었으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Cl^- , S^{2-} , HCO_3^- , Mn도 차이가 확인되어 정수 필요성이 있음을 거론하였다. 각 항목별 평가된 정수요구도는 pH 1.17, EC 0.81 dS/m, $\text{NO}_3\text{-N}$ 5.25 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 3.42 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.62 mg/L, K^+ 6.28 mg/L, Ca^{2+} 78.50 mg/L, Mg^{2+} 18.02 mg/L, Na^+ 77.73 mg/L, Cl^- 56.62 mg/L, S^{2-} 64.53 mg/L, HCO_3^- 222.65 mg/L, Fe 0.48 mg/L, Mn 0.50 mg/L, Zn 0.03 mg/L, Cu 0.01 mg/L, B 0.19 mg/L, Si^{4+} 4.25 mg/L, Mo 0.01 mg/L이었다. 양액재배 농가에서 정수시스템을 사용할 경우 상기 요구도를 충족할 필요가 있다.

부적합 농가 지하수 분석 항목을 중심으로 상관분석을

실시한 결과 EC는 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , S^{2-} , HCO_3^- , B와 상관성이 인정되었다. Ca^{2+} 는 EC, Mg^{2+} , S^{2-} , $\text{PO}_4\text{-P}$, B와, Na^+ 는 EC, K^+ , Mg^{2+} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Cl^- , HCO_3^- , $\text{PO}_4\text{-P}$, Fe, B와, Cl^- 은 EC, Na^+ , Mg^{2+} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Na^+ , HCO_3^- , Mn와, HCO_3^- 는 pH, EC, Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , $\text{PO}_4\text{-P}$, Fe, B와 유의한 상관관계로 평가되었다. EC를 제어하기 위해 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 정수를 제안하였고 Fe, Mn 등은 필수 제거 항목으로 도출하였다.

본 연구결과를 바탕으로 농업용 정수시스템을 구성하도록 우선 처리 대상을 상기 항목으로 선정하였다. 연계 항목을 판단하여 설계에 활용하도록 하였으며, 이러한 연구 결과를 활용하여 우리나라 농가에서 주로 사용하고 있는 역삼투압 정수 시스템을 사용 가능 농도까지만 정수하도록 효율적인 압력을 설정하여 시간단축 및 에너지 소비량을 줄일 수 있다고 판단하였다.

시설원에 단지에서 직접 지하수를 사용하고 순환을 통한 우수의 재충전은 지속가능한 농업환경 보전과 직접 지하수의 정화에 이바지 할 수 있으므로 지하수 사용과 재충전, 지하수 및 토양에 미치는 영향 등을 분석하는 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] J. K. Son, D.G. Choi, S.Y. Lee, D.H. Kang, M.J. Park, S.W. Yun, N.C. Kim, M.J. Kong, "Comparative Analysis of Groundwater-Ecosystem Service Value of Protected Horticulture Complex and Paddy Fields", *J. The Korean Society of Rural Planning*, Vol.24, No.2, pp.47~58, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.7851/Ksrp.2018.24.2.047>
- [2] J.W. Lee, C.H. Baek, H.W. Lee, S.W. Chung, "Current status and development of greenhouse models for oriental melon cultivation in Seongju region", *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol.23, No.2, pp.95-108, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2014.23.2.95>
- [3] J.K. Son, M.J. Kong, D.H. Kang, M.J. Park, S.W. Yun, S.Y. Lee, "The Change Analysis of Plant Diversity in Protected Horticulture of Agricultural Ecosystems", *Journal of Wetlands Research*, Vol.18, No.2, pp.173~182, 2016a.
DOI : <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.2.173>
- [4] J.K. Son, M.J. Kong, D.H. Kang, B.H. Kang, S.W. Yun, S.Y. Lee, "The Comparative Studies on the Terrestrial Insect Diversity in Protected Horticulture Complex and Paddy Wetland", *Journal of Wetlands Research*, Vol.18, No.4, pp.395~402, 2016b.
DOI : <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.4.386>

- [5] M.J. Kong, S.Y. Lee, D.H. Kang, M.J. Park, S.W. Yun, J.H. Shin, J.K. Son. "A Study on the Image Evaluation for the Improvement of the Landscape of Horticultural Complex in Rural Area", *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol.26, No.2, pp.78~86, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.2.78>
- [6] S.U. Jo, D.H. Kim, J.S. Yang, K.Y. Cung, K. Baek, "Electrokinetic Restoration of Saline Agricultural Land", *Journal of soil and groundwater environment*, Vol.17, No.4, pp.19~26, 2012.
DOI : <https://doi.org/10.7857/JSGE.2012.17.4.019>
- [7] A. Pulido-Bosch, P. Pulido-Lebeuf, L. Molina-Sanchez, A. Vallejos, W. Martin-Rosales, "Intensive agricultura, wetlands, quarries and water management. A case study (Campo de Dalias, SE Spain)", *Environmental Geology*, Vol.40, pp.163~168, 2000.
DOI : <https://doi.org/10.1007/s002540000118>
- [8] F. Sanchez-Martos, A. Pulido-Bosch, L. Molina-Sanchez, A. Vallejos-Izquierdo, "Identification of the origin of salinization in groundwater using minorions (Lower Andarax, Southeast Spain)", *The Science of the Total Environment*, Vol.297, pp.43~58, 2002.
DOI : [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01011-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01011-7)
- [9] D. Tout, "The horticultura industry of Almeria province, Spain", *The Geographical Journal*, Vol.156, No.3, pp.304~312, 1990.
DOI : <https://www.jstor.org/stable/635531>
- [10] Q. S. Cristina, J.C. Antonio, C. Hermelindo, G.L. Marina. "Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands", *Land Use Policy*, Vol.54, pp.534~548, 2016.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.011>
- [11] Y.J. Lee, S.J. Kim, P.S. Kim, U.J. Joo, Y.S. Yang, "Study on the Effective Calculation Method of Irrigation Water in a Paddy Fields Area", *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineeres*, Vol.48, No.3, pp.11~20, 2006.
DOI : <https://doi.org/10.5389/KSAE.2006.48.3.011>
- [12] W.H. Nam, J.Y. Choi, E.M. Hong, J. T. Kim, "Assessment of Irrigation Efficiencies using Smarter Water Management", *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineeres*, Vol.55, No.4, pp.45~53, 2013.
DOI : <https://doi.org/10.5389/KSAE.2013.55.4.045>
- [13] K-water. 2020.
<https://www.water.or.kr/wstatic/easy/easys030101.do?gubun=34>
- [14] J.Y. Park, Y.J. Kim, "The Effects of Renewable Energy in Agricultural Sector", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.20, No.1, pp.224~235, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.224>
- [15] Ministry of Environment(MOE) and K-water, "2019 Annual Report of Groundwater Investigation", 2019.
<http://me.go.kr/home/web/index.do?menuId=10272>
- [16] M.S. Jeong, C.H. Lee, J.H. Lee, I.P. Hong, "Analysis of hydrological drought considering MSWSI and precipitation", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.18, No.12, pp.668~678, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.668>
- [17] L.J. Won, M.H. Koo, H.S. Kim, "Simulation of Groundwater Flow and Sensitivity Analysis for a Riverbank Filtration Site in Koryeong, Korea", *J. Soil Grounw. Environ*, Vol.11, No.2, pp.45~55, 2006.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200615651244329.pdf>
- [18] B.S. Lee, Y.L. Kim, K.J. Choi, S.H. Song, J.H. Kim, "Rural Groundwater Monitoring Network in Korea", *J. Soil Grounw. Environ*, Vol.19, No.4, pp.1~11, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.7857/JSGE.2014.19.4.001>
- [19] J.K. Son, D.K. Choi, M.J. Kong, S.W. Yun, M.J. Park, D.H. Kand, "The Water Quality and Purification Load Assessment of Drain Water of Facility Horticulture Areas", *Journal of Environmental Science International*, Vol.28, No.12, pp.1125~1234, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.12.1225>
- [20] D.H. Kang, S.Y. Lee, J.K. Kim, H.K. Choi, M.J. Park, J.S. Yeon, J.K. Son, "The Meteorological Themes Selection for the Site Selection of Protected Horticulture Complex in Saemanguem", *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol.24, No.4, pp.287~295, 2015.
DOI : <https://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.4.287>
- [21] J.H. Kim, J.S. Lee, W.J. Kim, S.G. Jung, Y.T. Yun, S.K. Kwun, "Groundwater and Soil Environment of Plastic Film House Fields around Central Part of Korea", *Korean J. Environmental Agriculture*, Vol.21, No.2, pp.109~116, 2002.
DOI : <https://doi.org/10.5338/KJEA.2002.21.2.109>
- [22] B.S. Lee, Y.I. Kim, K.J. Choi, S.H. Song, J.H. Kim, D.K.Woo, M.K. Seol, K.Y. Park, "Rural groundwater monitoring network in Korea", *Journal of Soil and Groundwater Environment*, Vol.19, No.4, pp.1~11, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.7857/JSGE.2014.19.4.001>
- [23] J.H. Kim, T.J. Cheong, J.S. Ryu, R.H. Kim, "Characteristics of Fe Reduction Process of Shallow Groundwater in a Reclaimed Area, Kim-je", *Econ. Environ. Geol*, Vol.46, No.1, pp.39~50, 2013.
DOI : <https://doi.org/10.9719/eeg.2013.46.1.39>
- [24] C.H. Kang, I.S. Lee, S.J. Kwon, "Screening for Fittest Miscellaneous Cereals for Reclaimed Land and Functionality Improvement of Sorghum bicolor Cultivated in Reclaimed Land", *Korean J. Crop Sci*, Vol.64, No.2, pp.109~126, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.7740/kics.2019.64.2.109>
- [25] S.Z. Lari, N.A. Khan, K.N. Gandhi, T.S. Meshram, N.P. Thacker, "Comparison of pesticide residues in surface water and ground water of agriculture intensive areas", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, Vol.12, No.1, p.11, 2014.

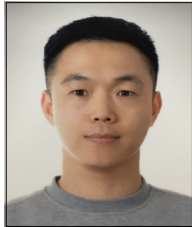
- DOI : <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-11>
- [26] Korea Rural Community Corporation(KRCC), "Development of Alternative Water by Desalination Technology", Rural Research Institute Knowledge Sharing, p.5, 2017.
<https://www.ekr.or.kr/homepage/main.krc>
- [27] J.H. Bae, Y.B. Lee, "Analysis of well water quality for hydroponic farms in Chollbuk-do area", *J. Bio. Fac. Env.* Vol.5, No.2, pp.131~137, 1996.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR9701438>
- [28] K.Y. Choi, J.S. Oh, S.C. Lee, S.T. Park, N. Gantumur, H.J. Yoo, Y.B. Lee, "Ion characteristic of the ground water in hydroponic farms of paprika for export", *Journal of Bio-Environment Control*, Vol.19, No.2, pp.70~76, 2010.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201030853097081.pdf>
- [29] Rural Development Administration(RDA), "Symposium for development direction of greenhouse adaptive in land", RDA, Suwon, Korea, pp.4-30, 2012.
DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEK.2015.24.2.085>
- [30] H.S. Ryu, J.Y. Lee, C.W. Lim, K.T. Kim, "Hydrochemical characteristics of groundwater and stream water in a karst area of Samcheok, Korea", *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol.55, No.1, pp.117~129, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.14770/jgsk.2019.55.1.117>
- [31] S.B. Lee, C.O. Hong, J.H. Oh, G. Jessie, P.J. Kim, "Effect of Irrigation Water Salinization on Salt Accumulation of Plastic Film House Soil around Sumjun River Estuary", *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol.27, No.4, pp.349~355, 2008.
DOI : <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.4.349>
- [32] N.C. Mondal, V.P. Singh, V.S. Singh, V.K. Saxena, "Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry", *Journal of Hydrology*, Vol.388, No.1-2, pp.100-111, 2010.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.032>
- [33] K.B. Lee, D.B. Lee, J.G. Kang, J.D. Kim, "Seasonal Variation in Water Quality of Mankyong River and Groundwater at Controlled Horticulture Region", *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* Vol.32, No.3, pp.223~231, 1999.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO199919262656843.pdf>
- [34] J.H. Kim, C.M. Choi, J.S. Lee, S.G. Yun, J.T. Lee, K.R. Cho, S.J. Lim, S.C. Choi, G.J. Lee, Y.S. Kwon, K.C. Kyung, M.J. Uhm, H.K. Kim, Y.S. Lee, C.Y. Kim, S.T. Lee, J.S. Ryu, "Characteristics of Groundwater Quality for Agricultural Irrigation in Plastic Film House Using Multivariate Analysis", *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol.27, No.1, pp.1~9, 2008.
DOI : <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.1.001>
- [35] Y.J. An, W.M. Lee, C.G. Yoon, "Evaluation of Korean water quality standards and suggestion of additional water parameters", *Kor. J. Limnol.* Vol.39, No.3, pp.285~295, 2006.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200618317187389.pdf>
- [36] S.J. Lim, "Design and implementation of agriculture system for Internet of Things", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.12, pp.8896-8900, 2015.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8896>
- [37] E. Knox, D.W. Moody, "Influence of hydrology, soil properties, and agricultural land use on nitrogen in ground water. In managing nitrogen for ground water quality and farm profitability", *Soil Sci. Soc. Am.* Vol.55, No.1, pp.19~57, 1991.
DOI : <https://doi.org/10.2136/1991.managingnitrogen.c3>
- [38] G.T. Kim, K.Y. Chung, J.K. Park, "Recent water treatment technology for unconventional natural resource development", *Korean Chemical Engineering Research*, Vol.52, No.2, pp.154-165, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.9713/kcer.2014.52.2.154>
- [39] Y. Choi, S. Kim, S. Lee, "Comparison of performance and economics of reverse osmosis, membrane distillation, and pressure retarded osmosis hybrid systems", *Desalination and Water Treatment*, Vol.77, pp.19-29, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20660>
- [40] C.A. Quist-Jensen, F. Macedonio, E. Drioli, "Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse", *Desalination*, Vol.364, pp.17-32, 2015.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001>
- [41] P. Gopinath, I. Vethamoni, M. Gomathi, "Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops", *Chem. Sci., Rev. Lett.*, Vol.6, No.22, pp.838-849, 2017.
https://chesci.com/wp-content/uploads/2017/01/V6i2_2_30_CS072048042_Irene_838-849.pdf
- [42] J.H. Bae, Y.R. Cho, Y.B. Lee, "Field survey for well water quality in hydroponic farms", *J. Bio. Fac. Env.* Vol.4, No.1, pp.80~88, 1995.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR9504357>
- [43] G.J. Lee, B.G. Kang, K.Y. Lee, T. Yun, S.G. Park, C.H. Lee, "Chemical characteristic of ground water for hydroponics and wate nutrient solution after hydroponics in Chungbuk Area", *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol.26, No.1, pp.42~48, 2007.
DOI : <https://doi.org/10.5338/KJEA.2007.26.1.042>
- [44] G. Sappa, S. Ergul, F. Ferranti, "Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes", *Applied Water Science*, Vol.4, No.2, pp.115~128, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0135-9>
- [45] I.D. Sasowsky, C.T. Dalton, "Measurement of pH for

field studies in karst areas", *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol.67, No.2, pp.127~132, 2005.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.554.188&rep=rep1&type=pdf>

이 태 석(Taeseok Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 서울대학교 지역시스템공학과(공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

<관심분야>

농업시설, 농업에너지

손 진 관(Jinkwan Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 단국대학교 녹지조경학 습지생태전공(농학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 박사후연구원

<관심분야>

농업환경, 시설원예, 습지생태

진 유 정(Yujeong Jin)

[정회원]



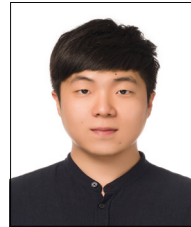
- 2016년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 연구원
- 2020년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 환경공학과(공학석사과정)

<관심분야>

시설원예, 에너지환경, 신재생에너지

이 동 관(Dongguan Lee)

[정회원]



- 2019년 2월 : 전북대학교 환경공학과(공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 전문연구원

<관심분야>

폐수처리, 에너지환경, 바이오에너지

장 재 경(Jae-Kyung Jang)

[정회원]



- 2006년 2월 : 이화여자대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 11월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

<관심분야>

미생물연료전지, 바이오에너지

백 이(Yee Paek)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경상대학교 농기계공학과(공학박사)
- 2000년 6월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

<관심분야>

바이오매스, 지열, 신재생에너지

임 류 갑(Ryugap Lim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스과(공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 책임연구원

<관심분야>

농업시설, 신재생에너지