

수경재배 시설원예단지 작물 유형별 배액 특성 및 부하량 평가 연구

진유정·강태경·임류갑·김현우*·강동현**·박민정⁺·손진관⁺⁺

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부
*전북대학교 환경공학과
**한국농수산대학 교양공통학과

A study on drainage characteristics and load amount evaluation by crop type in a hydroponic cultivation facility of horticultural complex

Jin Yujeong·Kang Taegyong·Lim Ryugab·Kim Hyunwoo*·Kang Donghyeon**·Park Minjung⁺, Son Jinkwan⁺⁺

Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

**Dept. of Environmental Engineering, Jeonbuk National University*

***Dept. of General Education, Korea National College of Agricultural & Fisheries*

(Received : 26 October 2021, Revised : 08 November 2021, Accepted : 14 November 2021)

요약

본 연구는 시설원예단지에서 배출되는 배액 내 포함된 영양물질의 부하량을 평가하여 양액 재이용방안 및 수처리장 도입 설계 등에 활용하고자 하였다. 수경재배 대표 재배 작물을 토마토, 파프리카, 오이, 딸기로 선정하여 총 80 샘플을 수질분석하였다. 분석결과 N, P, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Si₄⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, S²⁻, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B 등의 각종 비료성분은 배액 내 매우 높은 농도로 함유되어 있어 수처리 필요성을 확인하였다. 통계분석을 통해 딸기의 배액 농도가 토마토, 파프리카, 오이보다 낮은 것으로 분석되었으며, 토마토의 경우 이러한 필수이온 농도가 가장 높으므로 비료의 재이용 측면에서는 가치 있는 자원의 대상을 확인하였다. 시설원예단지 1m²에서 배출되는 배액의 N과 P의 부하량을 분석하였다. N은 1ha 기준 일간 토마토는 4.0kg, 파프리카 3.3kg, 오이 3.0kg, 딸기 1.5kg의 처리용량이 계산되었다. P농도는 일간 토마토 0.5kg, 파프리카 0.6kg, 오이 0.4kg, 딸기 0.2kg을 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 제안하였다. 본 연구를 통해 작물별 시설온실에서 배출되는 배액에 포함된 질소와 인의 양을 평가하여 배액에서의 양분적 가치산정을 통한 경제성 분석과 지속가능한 농업을 위한 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 반영해야 할 처리용량 산정 시 이용할 수 있는 기초자료로 활용되길 기대하였다.

핵심용어 : 생태계서비스, 온실, 재이용, 폐수

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the load of nutrients contained in the drainage discharged from the facility horticultural complex and to use them for re-use of fluids and design for introduction of water treatment plants. Representative hydroponic cultivation crops were selected as tomato, paprika, cucumber, and strawberry, and the total number of samples analyzed for water quality was 80. As a result of the analysis, since various fertilizer components such as N, P, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Si₄⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, S²⁻, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo and B are contained at very high concentrations in the drainage, the need for water treatment was confirmed. Through statistical analysis, it was analyzed that the drainage concentration of strawberries was lower than that of tomatoes, paprika, and cucumbers. In the case of tomatoes, these essential ion concentrations are the highest, so it was confirmed

⁺To whom correspondence should be addressed.
Dept. of Agricultural Engineering
E-mail: mjpark0107@korea.kr, son007005@korea.kr

- Jin Yujeong Dept. of Agricultural Engineering, NIAS, RDA / Researcher(yujeong99@korea.kr)
- Kang Taegyong Dept. of Agricultural Engineering, NIAS, RDA / Senior Researcher(ttkang@korea.kr)
- Lim Ryugab Dept. of Agricultural Engineering, NIAS, RDA / Researcher(limrg11@korea.kr)
- Kim Hyunwoo Dept. of Environmental Engineering, JBNU / Professor(hyunwoo@jbnu.ac.kr)
- Kang Donghyeon Dept. of General Education, KNCAF / Professor(kang6906@korea.kr)
- Park Minjung Dept. of Agricultural Engineering, NIAS, RDA / Researcher(mjpark0107@korea.kr)
- Son Jinkwan Dept. of Agricultural Engineering, NIAS, RDA / Post-Doctoral Researcher(son007005@korea.kr)

that they are subject to valuable resources in terms of reuse of fertilizers. The load of N and P of the drainage discharged from the facility horticultural complex 1m² was analyzed. For N, the daily processing capacity of 4.0 kg of tomatoes, 3.3 kg of paprika, 3.0 kg of cucumbers, and 1.5 kg of strawberries was calculated based on 1 ha. It was suggested that the P concentration needs a scale and capacity that can handle 0.5 kg of tomatoes, 0.6 kg of paprika, 0.4 kg of cucumber, and 0.2 kg of strawberries per day. Through this study, the amount of nitrogen and phosphorus contained in the drainage discharged from the greenhouse of each crop was evaluated to analyze the economy. In addition, it was expected to be used as basic data that can be used to calculate the treatment capacity to be reflected when introducing water treatment facilities in facility horticultural complexes for sustainable agriculture.

Key words : Ecosystem Services, Greenhouse, Reuse, Waste water

1. 서 론

비점오염원이란 넓은 지역에서 발생되며, 발생량 및 배출 특성이 불규칙한 관리가 어려운 수질 오염원이다(Shin, 2004; 2010). 국내외적으로 물관리에 있어 비점오염 관리는 매우 중요한 과제이다. 한국의 통계에서는 하천, 호소 등에 유입되는 오염원 중 68% 이상이 비점오염원이며(MOE, 2012a; MOE, 2014a; Lee and Kim, 2014), 주요 강의 수질 개선을 위해 국가, 지자체, 유역단위 등에서 많은 저감사업을 시행 중에 있다. 이러한 비점오염원의 관리는 국민 식수원과 연결되어 있어 매우 중요하게 평가된다(Lee et al., 2010; Kang et al., 2011). 비점오염의 대표적 원인은 농업과 축산업을 들 수 있고 오염원 관리를 위해 농촌의 하수시설 보급 및 오염물질 배출 관리를 지속적으로 추진하고 있다(Lee, 2002; Kim, 2014; MOE, 2016; MOE, 2018, Yang, 2017).

한국은 전통적인 농업국가로 1970년대에는 농경지 면적이 국토면적의 23%를 차지할 만큼 농업 의존도가 높았다(Kang, 2009). 그 중, 쌀을 생산하는 논이 대표적 농경지 중의 하나였고, 쌀을 생산하기 위해 1,600곳 이상의 간척지를 개발하여 논으로 만들기도 했다(Kang et al., 1992; Park et al., 2009). 하지만 최근의 쌀소비는 FTA(Free Trade Agreement)로 인한 수입량 증대, 패스트푸드 섭취 확대에 의해 소비가 줄어들었다(Kang et al., 2015). 한국의 겨울은 쌀 생산을 할 수 없기 때문에 어쩔 수 없이 논은 휴식을 하게 된다. 이러한 쌀 시장 불안정과 농가 경영 어려움을 해결하기 위해 한국 정부에서는 후계인력 육성, 농가소득 증대, 지역 활성화 사업, 농촌복지 사업, 대체작물 육성, 시설원예 산업 등 농촌의 생활개선과 소득증진에 많은 지원과 투자가 이루어지고 있다(You, 2001; Choi and Hwang, 2013; Park et al., 2016; Shin, 2016; Han et al., 2017; Woo et al., 2018).

그중 시설원예 산업은 비닐하우스를 이용한 보온을 통해 겨울철에도 다양한 채소와 과일 등을 재배할 수 있게 되었다(Ko et al., 2013). 이러한 시설원예산업은 많은 소득을 창출하여 백색혁명으로 평가받아왔으며, 국내 시설원예가 차지하는 비중은 원예산업의 40% 이상으로 면적에서는 세계 3위권으로 농업 소득 전체에 차지하는 비중은 크게 자

리 잡고 있다(Lee, 1996; Ko et al., 2013; MAFRA, 2014). 시설원예 농업은 연중생산, 자동화, 단시간 생산, 노동력 절감, 고소득 창출 등 여러 장점으로 인해 면적이 계속해서 증가하는 추세이다(Jeoung and Park, 2003; MAFRA, 2017a). 하지만 대규모 시설원예단지 조성으로 인한 급격한 토지이용 변경, 지하수 고갈, 폐기물 방치, 비점오염 배출 등 다양한 환경 생태적 문제점을 지니고 있다(Wang et al., 2009; Heo et al., 2001; MOE, 2012b; Son et al. 2016a; Son et al. 2016b; Kong et al., 2017). 하지만 시설원예와 관련된 최신의 연구들은 냉난방 등 환경조절(Kim et al., 2017), 에너지 효율(Kim et al. 2016), 안정성(Yum and Lee, 2017), 양액(Choi et al. 2017) 등 농작물 생산에 초점이 이루어져 있어 친환경, 생태적 온실 단지 조성에 대한 연구는 찾아보기 힘들다.

Son et al.(2017)은 선행연구에서 시설원예단지 친환경조성을 위해 수질오염물질 배출 대책, 지하수 함양 방안, 지표수저장 확보, 홍수 대책, 식생 공간 대책, 탄소배출 방안, 수서곤충 및 양서파충류 서식처 확보 등의 순으로 분석되었다.

국내 시설원예 면적은 2018년 기준 53,109 ha이며 대표적으로 양액을 이용한 반면, 코코넛 코이어 배지 등 다양한 수경재배를 이용하고 있다. 그중 최근 시설원예에서 많이 사용되는 양액재배 방법은 수경식 재배로 일컫고 '04년 609 ha에서 '18년 약 4,224 ha로 급격히 증가하고 있는 추세에 있다(MAFRA, 2019). 이러한 수경식 양액재배는 토경에 비해 식물이 양분을 직접적으로 양분을 투입하게 되는 쉬운 영양 공급 방법이다. 하지만 양액 재배에 있어 비료를 넘쳐흐르게 하는 것은 원예 특유의 기술로 최대 30% 정도까지 폐양액이 발생되고 있다. 이 버려지는 양액에는 다량의 영양물질이 포함되어 있으며(MAFRA, 2017b), N과 P는 하천을 비롯해 식수에 까지 영향을 미치는 부영양화 원인 물질로 관리는 중요한 과제이다. 최근 신규로 건설되는 온실을 중심으로 배액 재사용을 위한 순환식 양액 처리 시설을 갖추고 있는 추세이다(Chungo CO.,LTD., 2016; ShinHAN A-TEC Co.Ltd., 2016). 이 외에도 폐양액 처리를 위한 소형 인공습지(Park et al., 2009), 토양처리(Yang, 2005), 자연정화공법(Park et al., 2011) 등이 연구되어왔다. 하지만 전체 시설면적 대비 양액의 재사용량이

나 배출량은 정확히 집계되지 않고 있으며 배출 배액이 국토환경에 미치는 영향 또한 분석되지 못하고 있는 실정이다. 네덜란드 등 유럽 선진국에서는 95%, 일본에서는 45% 이상이 양액을 재사용하는 순환식 수경재배 방식을 도입했다(Lee and Kim, 2019). 특히 네덜란드는 온실로부터 배출되는 배액으로부터 지하수의 오염을 막기 위해 2004년 이후 수경재배 방식을 100% 순환식 전환으로 법제화 하고 2027년 후 시설에서의 모든 물과 양액 등은 외부로 유출이 금지될 것으로 예상되고 있다(Lee and Kim, 2019). 우리나라도 물환경에 대한 인식이 점차 증대되고 있고 비점오염을 관리하기 위해 수질오염총량제를 핵심정책으로 하천오염의 70%에 달하는 비점오염원을 국가차원에서 관리한다는 목표를 세우고 있다(MOE, 2012b; MOE, 2014b; Lee and Kim, 2014; Son et al., 2018).

따라서 본 연구에서는 시설원예단지 조성으로 배출되는 영양물질이 비점오염원 관리에서 하천환경 기준으로 어느 정도의 부하이며, 이것이 하천에 미치는 영향에 대해 분석을 실시하고 향후 추가적인 연구를 통해 수질정화 부하에 필요한 경제적 비용을 평가하고자 진행되었다. 본 연구를 통해 지속가능한 농업을 위한 시설원예의 개선점과 향후 친환경적 시설원예단지 조성 시 수질정화 시설의 투입 필요성과 당위성, 경제적 산출 근거의 기초자료로 활용할 수 있다고 판단하였다.

2. 조사 및 분석방법

수경재배로 운영되는 시설원예 단지에서 배출되는 배액의 수질환경 특성 및 배출부하를 평가하기 위한 방법은 Fig. 1과 같이 총 6단계에 걸쳐서 진행되었다.

먼저 1단계는 시설원예농업에서 수경재배방식으로 재배가 이루어지는 작물을 MAFRA(2018)에 근거하여 연구에 적합한 대상 작물을 선정하고, 2단계에서 연구 대상 작물의

주산단지 시설원예농가를 방문하여 배출되는 배액을 샘플링하였다. 이후 3단계는 샘플링한 배액을 수경재배를 위한 양액 조성 시 일반적으로 분석하는 19개 주요 분석항목의 수질분석을 실시하였고, 이후 4단계에서 선행 연구(Son et al., 2019)에서 언급된 배액의 배출량 평균을 적용하였다. 5단계에서는 배액의 수질 분석 결과와 유출량을 적용하여 시설원예단지 배액 유출 부하를 산정하였고 최종적으로 6 단계에서 연구 대상 작물별, 온실의 형태별 배액의 수질 분석 결과를 통계학적 분석을 통해 구분하였다.

2.1 연구대상 작물 선정 및 시료채취

연구 대상이 되는 작물은 MAFRA(2018)에 근거하여 수경재배가 이루어지는 시설원예농가의 주요 작물 중 토마토(Tomato), 파프리카(Paprika), 오이(Cucumber) 및 딸기(Strawberry)를 선정하였다. 연구대상지는 작물별 주산단지를 토대로 Table 1에 나타난 바와 같이 토마토 시설원예농가 20개소(김제, 홍천, 정읍, 진주, 장수, 부여, 창녕, 창원), 파프리카 시설원예농가 20개소(김제, 부여, 여수, 창녕), 오이 시설원예농가 20개소(군산, 김제, 남해, 익산, 창원, 천안), 딸기 시설원예농가 20개소(나주, 담양, 삼척, 장성, 진주)로 총 80개 대상 농가에서 배액을 샘플링하였다. 또한 연구대상지 온실 형태에 따른 배액의 수질 농도 차이를 파악하기 위해 대상지 유형(Facility Type)을 비닐온실(Vinyl Greenhouse)과 유리온실(Glass Greenhouse)로 구분하였다.

Fig. 2는 집수시설이 마련되어 배액을 집수시설 내 저장하여 배출한 집수 후 배출(Collecting after drainage)과 별도의 집수시설 없이 외부로 직접배출(Output drainage)한 시설원예온실 배액 배출 형태를 나타낸 것이다. 본 연구의 샘플 채취는 집수시설이 마련되어 있는 농가의 경우 집수 시설에서, 집수시설이 마련되어 있지 않은 농가는 외부에서 직접 샘플을 채취하였고 모든 샘플은 멸균된 채수병에 1L 씩 채수하였다.

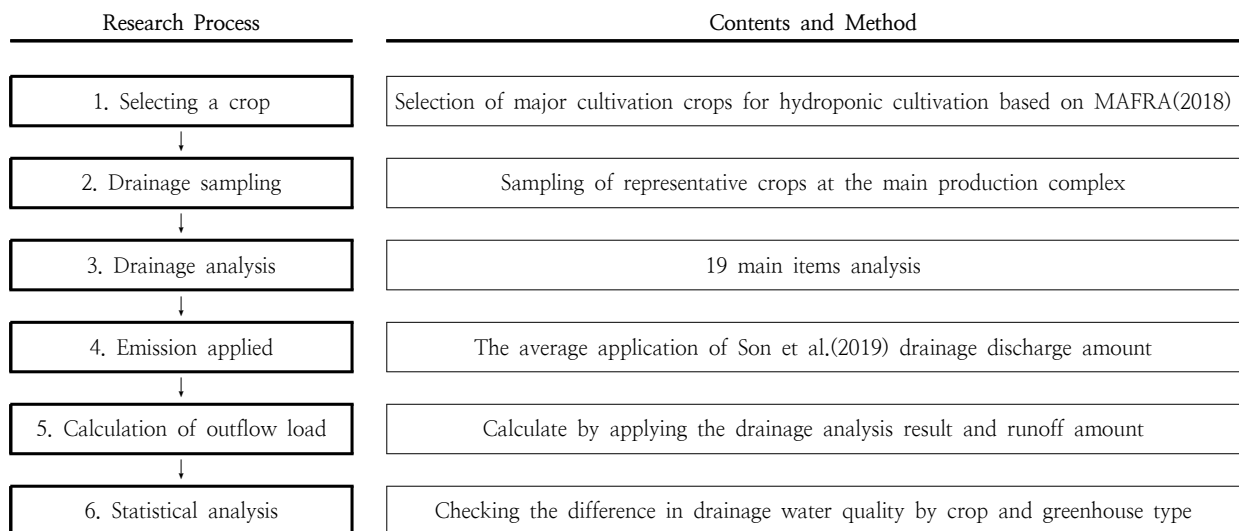


Fig. 1. The work flow of this study

Table 1. The classification of study corp and sampling location

Corps	Samples	Material Type		Location
		Vinyl	Glass	
Tomato	20	10	10	Gimje(2), Hongcheon(2), Jeongeup(2), Jinju(2), Jangsu(2), Buyeo(4), Changnyeong(4), Changwon(2)
Paprika	20	8	12	Gimje(8), Buyeo(2), Yeosu(2), Changnyeong(8)
Cucumber	20	16	4	Gunsan(4), Gimje(4), Namhae(2), Iksan(2), Changwon(4), Cheonan(4)
Strawberry	20	20	-	Naju(4), Damyang(4), Chamcheok(4), Jangseong(4), Jinju(4)
Total	80	44	36	-



Fig. 2. The collecting(Left) and output(Right) of horticulture facility drainage water

2.2 수질 항목 분석 방법

주요 분석 항목은 산도(pH), 전기전도도(EC), 인산염인(PO₄-P), 질산태질소(NO₃⁻), 암모늄태질소(NH₄⁺), 염소이온(Cl⁻), 중탄산이온(HCO₃⁻), 황화이온(S²⁻), 칼륨이온(K⁺), 칼슘이온(Ca²⁺), 마그네슘이온(Mg²⁺), 규소이온(Si₄⁺), 나트륨이온(Na⁺), 철(Fe), 망간(Mn), 구리(Cu), 아연(Zn), 몰리브덴(Mo), 붕소(B) 등 19항목을 분석하였다. pH와 EC는 각각 항목측정기 pH meter (MP220, Germany), EC meter (S30, Germany)를 사용하였으며, HCO₃⁻는 Bicarbonate법을 이용하였다. S²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺은 이온크로마토그래피법(Sykam GmbH 135, Germany)으로 분석하여 NO₃⁻는 질산태질소(NO₃-N), NH₄⁺는 암모늄태질소(NH₄⁺-N)의 농도로 환산하여 나타내었다. PO₄-P는 아스코르빈산환원법을 이용하였고, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Si₄⁺, Na⁺은 유도결합플라즈마분석기(ICP-OES, USA) 기기를 이용하여 분석하였다.

2.3 배출량 조사 및 부하량 분석 방법

수경재배로 운영되는 원예시설의 작물별 배출부하는 질소(N)와 인(P)을 중심으로 연 단위로 평가하였다. 배출 부하는 연간 배출되는 배액의 총량에 1L당 포함된 질소와 인 성분 분석결과값을 대입하여 평가하였다. 수경재배 시설원에 1ha에서 배출되는 배액의 연간 배출량은 Son et al. (2019)의 조사결과를 반영하였다. 선행연구(Son et al., 2019)에서는 12개소에서 연간 배출되는 총량을 가장 적은 곳이

1,867 ton/ha, 많은 곳은 3,428 ton/ha로 조사하였으며, 12개 대상지 전체의 평균을 연간 2,597ton/ha로 계산하였다. 따라서 본 연구에서는 수경재배 1ha에서 배출되는 배액의 총량을 2,597ton/ha로 설정하고 작물별 평균 분석결과를 대입하여 작물별 배출부하를 평가하였다.

2.4 통계분석 및 평가

분석결과는 연구대상지에서 채취한 80개소의 배액 분석결과를 작물별(파프리카, 토마토, 오이, 딸기), 피복재료 유형(유리, 비닐)으로 구분하여 통계분석 하였다. 분석은 SPSS 20.0을 이용하여 작물은 ANOVA 분석 재료는 t-Test를 통해 배출 농도의 경향 차이를 분석하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시설원에 작물별 배출 배액 특성 분석

토마토, 파프리카, 오이, 딸기의 각 작물별 배액 주요항목 분석 결과는 Table 2와 같다. 산도(pH)는 평균 6.31±0.60로 분석되었다. 이는 환경정책기본법 하천의 수질환경기준인 6.0~8.5 범위 내에 해당 되므로 본 연구 내 대상 시설원에 작물에서 기준을 초과하지 않는 용수를 배출하고 있는 것으로 분석되었다. 전기전도도(EC)는 수경재배 작물관리에서 가장 중요하게 거론 되는 항목 중 하나로 알려져 있다(Son et al., 2019). 실제 농업에 종사하는 농민들은 기타 양액성분을 분석하지 못하는 실정이다. 따라서 EC 측정

Table 2. The analysis result of drainage water at 80 study samples by corp type

Classification	Tomato (N=20)	Paprika (N=20)	Cucumber (N=20)	Strawberry (N=20)	Total (N=80)
pH	6.31±0.68	6.15±0.59	6.38±0.28	6.39±0.77	6.31±0.60
EC	4.43±0.99 ^a	3.85±0.85 ^{ab}	3.32±1.02 ^b	1.50±0.76 ^c	3.27±1.42
NO ₃ -N	430.61±139.02 ^a	344.66±115.36 ^b	299.31±117.93 ^b	143.87±86.29 ^c	304.61±154.78
NH ₄ ⁺ -N	10.63±4.78	9.76±14.22	10.34±17.83	12.40±14.88	10.78±13.60
PO ₄ -P	52.31±23.60 ^{ab}	69.82±56.49 ^a	40.15±19.07 ^{bc}	20.25±15.00 ^c	45.63±37.06
K ⁺	520.76±137.21 ^a	501.01±398.15 ^a	333.78±115.22 ^b	148.16±103.79 ^c	375.93±267.01
Na ⁺	89.15±57.19 ^a	107.76±66.23 ^a	98.07±80.27 ^a	31.54±23.33 ^b	81.63±66.43
Mg ²⁺	133.38±45.81 ^a	114.96±50.35 ^a	108.17±68.76 ^a	32.00±26.00 ^b	97.13±62.71
Ca ²⁺	341.10±128.49 ^a	446.56±329.00 ^a	213.79±96.77 ^b	125.56±70.19 ^b	281.75±220.35
Si ⁴⁺	36.39±21.82 ^{ab}	46.02±29.09 ^a	24.74±13.05 ^{bc}	12.75±7.13 ^c	29.97±23.00
Cl ⁻	82.82±80.29 ^{ab}	92.65±58.19 ^a	51.32±32.54 ^{bc}	36.00±42.05 ^c	65.70±59.82
S ²⁻	177.21±88.81 ^a	199.63±137.13 ^a	114.27±78.08 ^b	46.45±48.57 ^c	134.39±109.80
HCO ₃ ⁻	35.76±48.39	23.36±40.87	37.05±38.25	27.13±23.78	30.82±38.55
Fe	1.10±0.79 ^{ab}	1.02±1.16 ^{ab}	1.58±1.23 ^a	0.70±0.91 ^c	1.10±1.07
Mn	0.15±0.09 ^b	0.11±0.13 ^b	0.41±0.57 ^a	0.19±0.30 ^b	0.21±0.34
Zn	0.32±0.20	0.26±0.28	0.45±0.36	0.36±0.36	0.35±0.31
Cu	0.07±0.08	0.05±0.05	0.08±0.06	0.11±0.28	0.08±0.15
B	0.76±0.41 ^{ab}	0.61±0.31 ^b	0.89±0.45 ^a	0.27±0.28 ^c	0.63±0.43
Mo	0.03±0.01 ^{ab}	0.01±0.03 ^b	0.04±0.07 ^a	0.03±0.03 ^{ab}	0.03±0.04

장비를 통해 농도를 실시간으로 측정하여 양액 내 다른 영양물질의 농도와 비료투입 정도를 계산하여 유추한다. 일반적으로 EC는 Na, Cl 등이 영향을 미쳐 해안에 가까이 위치할수록 높은 농도도 측정되며(Hwang et al., 2007), 작물 재배시 사용되는 비료성분에 해당 원소가 포함될 경우 토양 집적 등 영향으로 EC 농도가 높아지는 것으로 알려졌다(Sanchez et al., 2011). 본 연구대상지에서 배출되는 배액의 EC농도는 평균 3.27±1.42 dS/m으로 수질기준 0.5dS/m을 초과하였으며, 토마토가 4.43±0.99 dS/m으로 가장 높고 딸기가 1.50±0.76 dS/m으로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 선행연구의 결과에서 하천과 지하수를 분석한 결과와 비교했을 때 높은 수치에 해당하는 것을 알 수 있다(Choi et al., 1997). 또한 배액 내 미량원소가 다량으로 함유되어 있으며, 시설원예단지 내에서 배출되는 배액의 농도가 높은 범위에 속한다고 결론지을 수 있다.

총질소(T-N)는 하천의 수질환경기준에 속하지는 않지만, 호소의 기준에 해당하며 총질소의 농도가 1.5 mg/L를 초과할 경우 해당 수질을 매우나쁨으로 평가한다. 또한 하수처리장 방류기준에 의하면 1일 하수처리용량이 50m³ 미만에 해당하는 소규모처리장에서 기준은 40 mg/L 이하, 1일 하수처리용량 500 m³ 미만 50 m³ 이상에 해당하는 중규모처리장에서 20 mg/L 이하로 배출하도록 명시되어 있다. 본 연구대상지 시설원예단지 80곳에서 배출되는 배액의 평균 N농도는 315.40 mg/L로 호소의 매우나쁨 수질기준 210배, 중규모 하수처리장 방류수 기준 15.8배 이상의 농도로 분석되었다. 농촌의 소하천의 예로 살펴보면 홍성군 홍동천에서 총질소(T-N)의 농도는 2.17~11.28 mg/L이며, 담수의 경우 평균 2.24 mg/L 농도로 분석된 것에 비교

할 때 매우 높은 농도이다(Kang and Son, 2011; Son et al. 2010). 따라서 수처리가 필요하다는 것을 알 수 있으며 농촌지역 내 정화처리 되지 않은 평균 111.40±111.77 mg/L의 생활하수와 시설원예단지의 배액을 비교할 때 더 높은 농도의 N이 별다른 처리 없이 하천으로 유입되고 있는 상황임을 알 수 있다(Son et al., 2018).

시설원예단지 배출 배액 내 총인(T-P) 함량 또한 하천의 수질환경기준으로 살펴볼때 0.5 mg/L를 초과할 경우 매우나쁨으로 분류하고 있으며, 하수처리장 배출기준은 소규모 처리장의 경우 4 mg/L이하, 중규모 처리장의 경우 2 mg/L이하로 배출하도록 명시 되어 있다. 연구대상지 80개소에서 배출되는 양액의 T-P농도는 평균 45.63 mg/L로 수질환경기준 매우나쁨 기준 91배, 소규모와 중규모 처리장 방류수 기준 각각 11.4배, 22.8배의 높은 농도로 배출되고 있는 것이 확인되었다. P농도 또한 농촌지역 내 정화되지 않은 생활하수의 평균 농도가 10.02±10.09 mg/L 임을 감안할 때 각종 생활에서 발생하는 오염수보다 더 높은 고농도의 폐수가 시설원예단지에서 하천으로 배출되는 것을 알 수 있다.

K⁺의 평균값은 375.93±267.01 mg/L로 작물 중 토마토가 520.76±137.21 mg/L의 높은 값을 보였으며 딸기가 148.16±103.7 mg/L로 가장 낮은 값으로 나타났다. Na⁺의 평균값은 81.63±66.43 mg/L로 파프리카 107.76±66.23 mg/L로 가장 높은값을, 딸기가 31.54±23.33 mg/L로 가장 낮은 값이 분석되었다. Mg²⁺의 평균은 97.13±62.71 mg/L로 파프리카가 가장 높은 농도를, 딸기가 가장 낮은 농도를 보였다. 파프리카와 딸기의 농도는 각각 114.96±50.35 mg/L, 32.00±26.00 mg/L이다. Ca²⁺의 평균값은 281.75±220.35 mg/L로 가장 높은 농도는 파프리카 446.56±

329.00 mg/L, 가장 낮은 농도 딸기 125.56±70.19 mg/L로 분석되었다. Si₄⁺의 평균은 29.97±23.00 mg/L로 가장 높은 농도를 나타낸 작물은 파프리카 46.02±29.09 mg/L, 가장 낮은 농도는 딸기 12.75±7.13 mg/L로 분석되었다. Cl⁻의 평균농도는 65.70±59.82 mg/L로 가장 높은 농도를 보인 작물은 파프리카 92.65±58.19 mg/L, 가장 낮은 농도를 보인 작물은 딸기 36.00±42.05 mg/L이다. S²⁻의 평균값은 134.39±109.80 mg/L로 가장 높은 농도를 보인 작물이 파프리카 199.63±137.13 mg/L, 가장 낮은 농도를 보인 작물이 딸기 46.45±48.57 mg/L로 분석되었다. HCO₃⁻의 평균 농도는 30.82±38.55 mg/L로 오이가 37.05±38.25 mg/L로 가장 높은 농도를 나타냈으며 파프리카가 23.36±40.87 mg/L의 가장 낮은 농도를 보였다. Fe의 평균값은 1.10±1.07 mg/L로 가장 높은 농도를 보인 작물은 1.58±1.23 mg/L의 오이이며, 가장 낮은 농도를 보인 작물은 딸기로 0.70±0.91 mg/L로 분석되었다. Mn과 Zn의 평균값은 각각 0.21±0.34 mg/L, 0.35±0.31 mg/L로 나타났다. Cu의 평균값은 0.08±0.15 mg/L로 가장 높은 농도를 보인 작물은 딸기 0.11±0.28 mg/L, 가장 낮은 농도를 보인 작물은 파프리카 0.05±0.05 mg/L로 분석되었다. B의 평균농도는 0.63±0.43 mg/L로 오이에서 가장 높은 농도가 딸기에서 가장 낮은 농도가 나타났다. Mo의 평균농도는 0.03±0.04 mg/L로 오이에서 0.04±0.07 mg/L의 가장 높은 값이 분석되었고 파프리카에서 0.01±0.03 mg/L의 가장 낮은 값이 나타났다.

이와 같은 결과를 미루어볼 때 시설원예단지에서 배출되는 배액에는 매우 높은 비료 성분이 함유되어있어 처리가 필요하며, 이것의 재이용은 비점오염물질의 유출 방지와 더불어 가치 있는 비료의 절약에 도움이 될 수 있다. 따라서 상지에서 분석한 농도를 바탕으로 농업적 재이용에 필요한 농도를 설정하고 배출수 관리에 있어서는 처리용량 파악에 활용할 수 있는 자료가 될 수 있다고 기대한다.

수질 분석 결과의 작물별 통계적 차이는 Table 3에 제시한 ANOVA 분석 결과와 같다. 분석 결과 EC, NO₃-N, PO₄-P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Si₄⁺, S²⁻, B에서 99.9%, Na⁺, Cl⁻는 99%의 신뢰수준으로 분석되었으며 Mn은 95% 신뢰수준으로 작물별 차이가 나타났다. 대체적으로 딸기의 배액 농도가 토마토, 파프리카, 오이보다 낮은 것으로 분석되었으며 EC와 NO₃-N에서는 토마토가 제일 높은 배액 농도를 보였고, PO₄-P, Si₄⁺, Cl⁻는 파프리카가 가장 높은 농도로 나타났으며, 특히 Mn과 B는 오이가 가장 높은 농도로 분석되었다. 망간(Mn)과 붕소(B)는 미량이지만 비닐유형이 많은 오이재배로부터 많은 유출 부하가 확인되었으므로 중금속으로부터 안전한 국토환경을 위해 보다 세밀한 관리가 요구된다고 할 수 있다. K⁺, Ca²⁺, S²⁻는 토마토와 파프리카의 농도가 가장 높은 것으로 나타났다. 토마토의 경우 이러한 필수이온 농도가 가장 높으므로 비료성분의 유출 또한 높다고 가정할 수 있으며, 비료의 재이용 측면에서는 가치 있는 자원의 대상이라고 판단 할 수 있다.

Table 3. The statistical analysis of analysis results by crop type

Classification	F-value	Post-huc.
pH	0.672	N.S
EC	37.667***	St<Cu<Pa<To
NO ₃ -N	21.410***	St<Pa,Cu<To
NH ₄ ⁺ -N	0.135	N.S
PO ₄ -P	8.020***	St<Cu<To<Pa
K ⁺	11.953***	St<Cu<To,Pa
Na ⁺	6.408**	St<To,Pa,Cu
Mg ²⁺	15.928***	St<To,Pa,Cu
Ca ²⁺	11.449***	Cu,St<To,Pa
Si ₄ ⁺	10.762***	St<Cu<To<Pa
Cl ⁻	4.439**	St<Cu<To<Pa
S ²⁻	10.794***	St<Cu<To,Pa
HCO ₃ ⁻	0.585	N.S
Fe	2.492	N.S
Mn	3.088*	To,Pa,St<Cu
Zn	1.342	N.S
Cu	0.575	N.S
B	10.578***	St<Pa<To<Cu
Mo	1.766	N.S

* Test result is statistically significant level at the P = 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***), N.S = Not significant, ** P : Paprika, T : Tomato, S : Strawberry.

대부분의 양액 성분 분석결과에서 딸기보다 토마토나 파프리카의 농도가 높게 분석되었다. 배출 배액의 농업적 재이용에 있어서 작물별로 극명한 차이가 확인되었으므로 배출 농도에 적합한 재활용 및 처리방안이 수립되어야 할 필요성이 인정되었다.

3.2 시설원에 유형별 배출 배액 특성 분석

온실의 피복 재료 형태에 따른 배액의 농도를 확인하고자 Table 4와 같이 형태별 평균으로 산출하고 t-Test 통계분석을 통해 그룹 간 차이를 확인하여 Table 5에 제시하였다.

온실 형태별 수질분석 농도의 통계적 차이는 Table 5에 제시한 바와 같다. 온실 형태는 재료에 따른 유리(Glass)와 비닐(Vinyl)온실로 구분하였다. 온실형태에 따른 차이는 배액의 재이용 및 처리시설 도입 시 지구단위에서의 용량 산정 등에 활용하고자 분류 및 통계분석을 실시하였다. 분석 결과 토마토의 경우 Si₄⁺, Cl⁻, Fe, Cu에서 95%의 신뢰수준으로 농도 차이가 나타났으며, Si₄⁺, Cl⁻에서는 비닐 온실이 더 높은 농도를 보였고 Fe와 Cu에서는 유리온실의 배액이 더 높은 농도로 분석되었다. 통계적 차이가 확인된 항목 중 N, P, K와 같은 중요 작물 필수원소는 포함되지 않았다. 다만 Fe, Cu와 같은 미량 원소에서 유리온실 배액에서 높은 함량이 확인되었다. 유리온실은 비닐온실에 비해 비교적 스마트한 운영이 이루어지고 있으며, 배액에 포함되는 원소의 함양 또한 비닐온실에 비해 정밀하게 관리하며, 다양한 미량원소를 추가하는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 Fe는 유리온실에서 1.35±0.93 mg/L인데반해 비닐 온실에서 0.85±0.54mg/L로 차이가 확인되는 경향이 확인

Table 4. The analysis result of drainage water at 80 study samples by material type

Classification	Tomato		Paprika		Cucumber		Strawberry		Total	
	Glass (N=10)	Vinyl (N=10)	Glass (N=12)	Vinyl (N=8)	Glass (N=4)	Vinyl (N=16)	Glass (N=0)	Vinyl (N=20)	Glass (N=26)	Vinyl (N=54)
pH	6.19±0.65	6.43±0.72	6.34±0.64	5.86±0.35	6.23±0.22	6.41±0.29	-	6.39±0.77	6.27±0.58	6.33±0.61
EC	4.87±0.88	3.98±0.94	3.85±0.80	3.85±0.98	4.57±0.46	3.00±0.91	-	1.50±0.76	4.35±0.89	2.75±1.33
NO ₃ -N	481.29±139.57	379.93±124.94	294.54±99.74	419.85±98.60	393.65±17.10	275.72±120.80	-	143.87±86.29	381.61±135.39	267.54±148.31
NH ₄ ⁺ -N	10.62±4.85	10.64±4.98	10.62±17.44	8.46±9.23	5.22±1.51	11.62±19.84	-	12.40±14.88	9.79±11.87	11.26±14.21
PO ₄ -P	53.19±20.35	51.43±27.57	46.60±33.94	104.66±67.38	45.91±11.21	38.71±20.61	-	20.25±15.00	49.03±25.62	44.00±41.05
K ⁺	548.92±165.59	492.60±102.78	372.34±243.32	694.01±516.04	408.19±72.25	315.18±118.02	-	148.16±103.79	445.77±204.79	342.30±283.95
Na ⁺	78.40±38.90	99.91±71.65	103.02±62.59	114.86±75.19	183.68±46.74	76.67±72.67	-	31.54±23.33	105.96±60.49	69.91±65.36
Mg ²⁺	149.41±37.76	117.36±49.34	100.25±42.02	137.03±56.39	174.16±14.04	91.67±67.06	-	32.00±26.00	130.53±46.00	81.05±62.75
Ca ²⁺	403.88±104.09	278.32±123.54	334.10±124.33	615.25±464.01	337.04±9.05	182.97±82.35	-	125.56±70.19	361.39±106.9	243.41±246.99
Si ⁴⁺	35.49±12.60	37.28±29.06	41.56±18.74	52.71±40.73	33.73±7.53	22.49±13.32	-	12.75±7.13	38.02±14.87	26.10±24.92
Cl ⁻	73.07±50.02	92.57±104.39	84.36±40.01	105.07±79.88	70.37±12.56	46.56±34.48	-	36.00±42.05	77.87±39.98	59.84±66.03
S ²⁻	237.33±56.81	117.08±73.40	205.82±157.52	190.34±109.04	240.49±63.71	82.72±39.99	-	46.45±48.57	223.28±111.11	91.59±77.82
HCO ₃ ⁻	35.28±57.98	36.25±39.76	35.37±49.09	5.35±11.30	34.17±7.16	37.77±42.90	-	27.13±23.78	35.15±46.79	28.74±33.27
Fe	1.35±0.93	0.85±0.54	1.13±1.38	0.85±0.79	2.01±0.24	1.47±1.36	-	0.70±0.91	1.35±1.09	0.98±1.02
Mn	0.16±0.09	0.15±0.10	0.13±0.14	0.10±0.12	0.20±0.05	0.46±0.63	-	0.19±0.30	0.15±0.11	0.25±0.41
Zn	0.36±0.20	0.28±0.19	0.32±0.33	0.16±0.16	0.43±0.12	0.45±0.40	-	0.36±0.36	0.35±0.25	0.34±0.33
Cu	0.09±0.11	0.05±0.02	0.05±0.04	0.06±0.07	0.17±0.08	0.05±0.03	-	0.11±0.28	0.08±0.09	0.07±0.17
B	0.96±0.43	0.56±0.29	0.74±0.18	0.41±0.38	1.33±0.15	0.78±0.43	-	0.27±0.28	0.92±0.35	0.49±0.40
Mo	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.04	0.01±0.01	0.07±0.04	0.03±0.07	-	0.03±0.03	0.03±0.03	0.03±0.04

Table 5. The statistical analysis of analysis results by material type

Classification	Tomato		Paprika		Cucumber		Total	
	F-value	Post-huc	F-value	Post-huc	F-value	Post-huc	F-value	Post-huc
pH	0.012	N.S	9.889**	G>V	0.278	N.S	0.014	N.S
EC	0.002	N.S	0.044	N.S	1.674	N.S	4.689*	G>V
NO ₃ -N	0.438	N.S	0.014	N.S	3.930	N.S	0.983	N.S
NH ₄ ⁺ -N	0.002	N.S	0.370	N.S	2.466	N.S	1.222	N.S
PO ₄ -P	2.906	N.S	4.993*	G<V	2.095	N.S	0.852	N.S
K ⁺	3.300	N.S	2.944	N.S	0.666	N.S	0.415	N.S
Na ⁺	2.263	N.S	0.241	N.S	0.931	N.S	0.071	N.S
Mg ²⁺	0.974	N.S	3.120	N.S	6.293*	G>V	2.321	N.S
Ca ²⁺	0.173	N.S	11.706**	G<V	4.395	N.S	2.019	N.S
Si ⁴⁺	4.553*	G<V	5.474*	G<V	3.643	N.S	1.397	N.S
Cl ⁻	7.911*	G<V	4.331	N.S	3.075	N.S	2.146	N.S
S ²⁻	0.627	N.S	0.617	N.S	1.352	N.S	3.916	N.S
HCO ₃ ⁻	0.075	N.S	13.535*	G>V	4.283	N.S	1.718	N.S
Fe	5.888*	G>V	1.173	N.S	14.388**	G>V	0.417	N.S
Mn	0.043	N.S	0.375	N.S	4.631*	G<V	6.606*	G<V
Zn	0.027	N.S	2.157	N.S	4.765*	G<V	1.000	N.S
Cu	5.079*	G>V	0.487	N.S	10.351**	G>V	0.031	N.S
B	2.676	N.S	2.412	N.S	3.271	N.S	0.222	N.S
Mo	1.834	N.S	5.352*	G>V	0.296	N.S	0.032	N.S

* Test result is statistically significant level at the P = 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***), N.S = Not significant, ** G : Glass, V : Vinyl.

되었다.

파프리카는 pH, Ca²⁺에서 99%, PO₄-P, Si⁴⁺, HCO₃⁻, Mo에서 95% 신뢰수준으로 온실 형태별 배액 농도 차이가 검출되었다. pH와 HCO₃⁻, Mo는 유리온실의 배액농도가 더 높게 분석되었으며 PO₄-P, Ca²⁺, Si⁴⁺는 비닐온실의 농도가 더 높게 분석되었다.

오이는 Mg²⁺, Mn, Zn에서 95%, Fe, Cu에서 99%의 신

뢰수준으로 농도 차이가 검출되었다. Mg²⁺, Fe, Cu에서는 유리온실이 Mn과 Zn은 비닐온실의 농도가 더 높게 나타났다.

온실의 재료 형태에 따른 배출 부하 차이를 통계적으로 확인해 보았다. 이상의 결과로 미루어 봤을 때 유출 배액의 재이용 및 처리를 위한 온실 형태별 반영 여부는 본 연구결과에서는 확인이 불가능 하였다. 토마토와 파프리카, 오이

의 형태별 차이가 일관성이 없이 단순한 통계적 차이로 확인된 결과를 설계 및 재이용 대상 작물 선정 등에 활용하기에는 다소 무리가 있으므로 추가적인 연구를 통해 온실 형태에 따른 차이를 다시 한번 확인해 볼 필요가 있다고 판단된다.

3.3 배액 분석결과 반영 유출 부하량 평가

시설원예단지 1 m²에서 배출되는 배액의 양은 선행연구(Son et al., 2019)에 근거하여 Table 6에 제시하였으며, 연간 배출되는 배액의 양을 월별로 살펴본 결과 1 m² 면적에서 적게는 15.3 L, 많게는 27.6 L를 사용하는 것으로 분석되었고, 총 배출량은 259.7 L/m² 으로 나타났다. 이것을 1 ha의 면적에서 배출되는 배액에 포함된 원소의 양(kg)으로 환산해 보았다.

분석 결과 N농도의 경우 토마토가 총 1145.900 kg/ha로 가장 많은 양을 배출하는 것을 알 수 있으며, 딸기가 405.833 kg/ha로 가장 단위면적당 가장 적은 양의 N을 배출하는 것으로 나타났다. 토마토 1ha에서 연간 배출되는 질소의 총량은 1145.900 kg/ha이며, 5월에 121.782 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 3.139 kg/ha, 4.059 kg/ha로 계산된다. 토마토 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 4.0kg의 질소를 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다. 파프리카 1ha에서 연간 배출되는 질소의 총량은 920.429 kg/ha이며, 5월에 97.820 kg/ha로 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 2.522 kg/ha, 3.261 kg/ha로 계산된다. 파프리카 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 3.3kg의 질소를 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다. 오이 1ha에서 연간 배출되는 질소의 총량은 804.161 kg/ha이며, 5월에 85.463 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 2.203 kg/ha, 2.849 kg/ha로 계산된다. 오이 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 3.0kg의 질소를 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필

요하다고 할 수 있다. 딸기 또한 1ha에서 연간 배출되는 질소의 총량은 405.833 kg/ha이며, 5월에 43.131 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 1.112 kg/ha, 1.438 kg/ha로 계산된다. 딸기 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 1.5kg의 질소를 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다.

P농도는 파프리카가 181.323 kg/ha로 가장 많은 양의 농도를 배출하며, 딸기가 작물 52.589 kg/ha로 가장 적은 농도를 배출하는 것으로 분석되었다. 월 단위로 분석해 보면 평균적으로 N과 P모두 5월에 가장 많은 양이 배출되며, 7월에 1ha당 가장 적은 양의 배액이 배출되는 것으로 나타났다. 작물별 P농도를 살펴보면 토마토 1ha에서 연간 배출되는 인의 총량은 135.849 kg/ha이며, 5월에 14.438 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 0.372 kg/ha, 0.481 kg/ha로 계산된다. 토마토 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 0.5kg의 인을 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다. 파프리카 1ha에서 연간 배출되는 인의 총량은 181.323 kg/ha이며, 5월에 19.270 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 0.497 kg/ha, 0.642 kg/ha로 계산된다. 파프리카 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 0.6kg의 인을 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다. 오이 1ha에서 연간 배출되는 인의 총량은 104.270 kg/ha이며, 5월에 11.081 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 0.286 kg/ha, 0.369 kg/ha로 계산된다. 오이 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 1ha 기준 최대 약 0.4kg의 인을 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다. 딸기 또한 1ha에서 연간 배출되는 인의 총량은 52.589 kg/ha이며, 5월에 5.589 kg/ha로 가장 높은 배출부하가 확인되었다. 이 양을 연(365일)과 월(30일)로 나눠보면 0.144 kg/ha, 0.186 kg/ha로 계산된다. 딸기 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시

Table 6. The purification load assessment result of nitrogen and phosphorus

Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Drainage Mount (L/m ²)													
	18.4	18.9	22.4	25.0	27.6	21.5	15.3	16.7	23.5	25.1	21.7	23.6	259.7
Nitrogen (kg/ha)													
Tomato	81.188	83.394	98.838	110.310	121.782	94.867	67.510	73.687	103.691	110.751	95.749	104.133	1145.900
Paprika	65.213	66.985	79.390	88.605	97.820	76.200	54.226	59.188	83.289	88.959	76.909	83.643	920.429
Cucumber	56.976	58.524	69.362	77.413	85.463	66.575	47.376	51.712	72.768	77.722	67.194	73.077	804.161
Strawberry	28.754	29.535	35.004	39.068	43.131	33.598	23.909	26.097	36.723	39.224	33.911	36.880	405.833
Phosphorus (kg/ha)													
Tomato	9.625	9.887	11.717	13.078	14.438	11.247	8.003	8.736	12.293	13.130	11.351	12.345	135.849
Paprika	12.847	13.196	15.640	17.455	19.270	15.011	10.682	11.660	16.408	17.525	15.151	16.478	181.323
Cucumber	7.388	7.588	8.994	10.038	11.081	8.632	6.143	6.705	9.435	10.078	8.713	9.475	104.270
Strawberry	3.726	3.827	4.536	5.063	5.589	4.354	3.098	3.382	4.759	5.083	4.394	4.779	52.589

1ha 기준 최대 약 0.2kg의 인을 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 할 수 있다.

이상의 작물별 시설온실에서 배출되는 배액에 포함된 질소와 인의 양을 평가한 결과는 비료의 경제성 평가와 같은 경제성 분석에 이용될 수 있으며, 수처리 시설 도입 시 반영해야 할 처리용량 산정에도 활용 가능하다고 판단된다. 처리가 필요한 물질로서 시설원에 배액을 관리 시에도 작물별 차이가 확인된 본 연구결과를 활용하여 주산단지의 면적을 고려하여 적절한 처리장 도입 및 설계가 이루어지도록 할 필요가 있다고 판단한다.

4. 결 론

본 연구는 시설원예단지에서 배출되는 영양물질이 하천 환경 기준으로 어느 정도의 부하이며, 이것이 하천에 미치는 영향에 대해 분석을 실시하였다. 이를 활용하여 수질정화 부하에 필요한 경제적 비용을 평가하고 배출되는 양액의 재이용에 활용하고자 하였다.

수경재배 대표 재배 작물을 토마토, 파프리카, 오이, 딸기로 선정하고 각 작물별 배액 샘플을 20개씩 확보하여 분석에 사용하였다. 분석 결과 산도는 모든 작물에서 배출수 환경기준으로 안정적으로 분석되었다. EC의 경우 80샘플의 평균이 3.27 dS/m 수준으로 수질기준을 초과하였으며, 토마토가 4.43 dS/m으로 가장 높고 가장 낮은 딸기도 1.50 dS/m 정도로 관리가 필요함을 알 수 있었다. 하천 및 호소의 수질 환경을 측정하고 관리하는 중요항목인 질소의 경우 하수처리장 방류수 기준이 20~40 mg/L 인데 본 연구대상 80곳 샘플의 배출 배액 평균이 315.40 mg/L로 분석되어 관리가 필요한 공간임을 확인하였다. 인의 함량 또한 하수처리장 방류수 수질기준이 2~4 mg/L로 규정되어 있는 것에 비해 연구대상지 80곳 샘플의 인 농도는 평균 45.63 mg/L로 고농도의 폐수가 시설원예단지에서 하천으로 배출되는 것을 확인하였다.

K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Si_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , S_2^- , Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B의 각종 비료성분을 분석한 결과 시설원예단지에서 배출되는 배액 내 매우 높은 농도로 함유되어 있으므로 배액의 수처리가 필요성을 제안했다. 또한 배출 배액의 재이용은 비점오염물질의 유출방지와 가치 있는 비료의 절약에 도움이 될 수 있으며, 본 연구에서 분석한 농도를 바탕으로 농업적 재이용에 필요한 농도를 설정하는 기초자료로 제안하였다.

수질 분석 결과의 작물별 통계적 차이는 EC, NO_3-N , PO_4-P , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Si_4^+ , S_2^- , B에서 99.9%, Na^+ , Cl^- 는 99%의 신뢰수준으로 분석되었으며 Mn은 95% 신뢰수준으로 작물별 차이가 나타났다. 대체적으로 딸기의 배액 농도가 토마토, 파프리카, 오이보다 낮은 것으로 분석되었으며, 토마토의 경우 이러한 필수이온 농도가 가장 높으므로 비료의 재이용 측면에서는 가치 있는 자원의 대상임을

확인하였다. 또한 농업적 재이용에 있어서 작물별로 극명한 차이가 확인하여 배출 농도에 적합한 재이용 및 처리방안의 수립 필요성을 제안했다.

유리(Glass)와 비닐(Vinyl)온실 형태별 수질분석 농도의 통계적 차이 결과 토마토의 경우 Si_4^+ , Cl^- , Fe, Cu에서 95%의 신뢰수준으로 농도 차이가 나타났으며, Si_4^+ , Cl^- 에서는 비닐온실이 더 높은 농도를 보였고 Fe와 Cu에서는 유리온실의 배액이 더 높은 농도로 분석되었다. 파프리카는 pH, Ca^{2+} 에서 99%, PO_4-P , Si_4^+ , HCO_3^- , Mo에서 95% 신뢰수준으로 온실 형태별 배액 농도 차이가 검출되었다. pH와 HCO_3^- , Mo는 유리온실의 배액농도가 더 높게 분석되었으며 PO_4-P , Ca^{2+} , Si_4^+ 는 비닐온실의 농도가 더 높게 분석되었다. 오이는 Mg^{2+} , Mn, Zn에서 95%, Fe, Cu에서 99%의 신뢰수준으로 농도 차이가 검출되었다. Mg^{2+} , Fe, Cu에서는 유리온실이 Mn과 Zn은 비닐온실의 농도가 더 높은 것으로 나타났다. Fe, Cu와 같은 미량 원소에서 유리온실 배액에서 높은 함량이 검출된 것으로 보아 유리온실은 비닐온실에 비해 비교적 스마트한 운영이 이루어지고 있으며, 배액에 포함되는 원소의 함양 또한 비닐온실에 비해 정밀하게 관리하며, 다양한 미량원소를 추가하는 것과 일치하는 결과임을 확인 할 수 있다. 온실의 재료 형태에 따른 배출 부하 차이를 통계적으로 확인한 결과로 미루어 봤을 때 유출 배액의 재이용 및 처리를 위한 온실 형태별 반영 여부는 본 연구결과에서는 확인이 불가능 하였다. 토마토와 파프리카, 오이의 형태별 차이가 일관성이 없이 단순한 통계적 차이로 확인된 결과를 설계 및 재이용 대상 작물 선정 등에 활용하기에는 다소 무리가 있으므로 추가적인 연구를 통해 온실 형태에 따른 차이를 다시 한번 확인해 볼 필요가 있다고 판단 된다.

시설원예단지 1m²에서 배출되는 배액의 양을 선행연구에 근거하여 연간 배출되는 배액의 양을 월별로 살펴본 결과 N농도의 경우 토마토가 1ha 기준 최대 약 4.0kg의 질소를 일간 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 제안하였다. 파프리카 1ha는 일간 최대 약 3.3kg 오이는 3.0kg, 딸기는 1.5kg의 처리용량이 계산되었다. P농도는 토마토가 최대로 일간 0.5kg, 파프리카, 0.6kg, 오이 0.4kg, 딸기 0.2kg을 처리할 수 있는 규모와 용량이 필요하다고 제안하였다.

본 연구를 통해 작물별 시설온실에서 배출되는 배액에 포함된 질소와 인의 양을 평가하여 경제성 분석과 지속 가능한 농업을 위한 시설원예단지의 수처리 시설 도입 시 반영해야 할 처리용량 산정 시 이용할 수 있는 기초자료로 활용되길 기대하였다.

사 사

연구는 2021년 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ01419001)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Choi, G.L, Rhee H.C, Yeo, K.H, Lee S.C, Kang, N.J and Choi, H.G. 2017. Protected horticulture and plant factory, 26(1) : 1-6. DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC>
- Choi, Y.J. and Hwang, J.I. (2013). A Study on the Welfare Service for Rural Elderly, The Korea Society of Community Living Science Conference Catalog, 130-130. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02393573>
- Chungo CO.,LTD, 2016, Recycle supplying systems of nutrient solution of cultivation under structure used ICT. Korea Konzession, Application No. 10-2016-0183339. DOI : <http://kpat.kipris.or.kr/kpat/biblioa.do?method=biblioFrame&start=biblio&searchFg=N>
- Han, K.H., Cho, H.J., Cho, H.R., Lee, H.S., Ok, J.H., Seo, M.J., Jung, K.H., Zhang, Y.S. and Seo, Y.H. (2017). Effects of Alternative Crops Cultivation on Soil Physico-chemical Characteristics and Crop Yield in Paddy Fields, Korean journal of environmental agriculture, 36(2) : 67-72. DOI : <https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.2.11>
- Heo, J., Moon, S.C. and Song, M.R., 2001, A Study on the Problem of Rural Solid Waste in Korea, ECO. 1, 92-121. DOI : <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE00503061>
- Hwang, S.H , Park, K.G, Shin, J.H and Lee, S.K., 2007, Relationship Between the Groundwater Resistivity and NaCl Equivalent Salinity in Western and Southern Coastal Areas, Korea, Mulli-Tamsa, 10(4), 361-368. DOI : <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200722034015592.page>
- Jeoung, J.H., and S.K. Park., 2003, Calculation of Pumping Rate Considering the Change of Groundwater Level, KCID Journal, 10(1), 64-72. DOI : <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200373606655493.page>
- Kang, D.H, Lee, S.Y, Kim, J.K, Choi, H.K, Park, M.J, Yeon, J.S and Son, J.K. 2015. The Meteorological Themes Selection for the Site Selection of Protected Horticulture Complex in Saemanguem. Protected Horticulture and Plant Factory, 24(4), pp. 1-9. DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.4.287>
- Kang B.H and Son J.K, 2011, The Study on the Evaluation of Environment Function at Small Stream : In the Case of Hongdong Stream in Hongsung-gun, J. Korean Env. Res. Tech., 14(5), 81-101. DOI : <https://doi.org/10.13087/kosert.2011.14.5.081>
- Kang, B.H, Kim, N.C, Son, J.K, Kim, M.H, Cho, S.J and Lee, S.Y. 2011. The Study on Ecological Function Assessment at Streams in Rural Area : The Focus of Han-River Basin. Journal Of The Korean Society Of Rural Planning. 17(2) : 23-32. (in Korean with English summary) DOI : <https://doi.org/10.7851/ksrp.2011.17.2.023>
- Kang, B.H. 2009. The Characteristics of Carabid Beetle (Coleptera: qCarabidae) Community in Four Different Habitat Types of Rural Landscapes. Seoul National University, Doctorate thesis. DOI : <http://doi.org/10.1007/s00442-002-1174-3>
- Kang, Y.M., Ku, J.U., Kwon, S.K., Cho, B.J., Cho, S.J. and Hwang. E. 1992. Reclaimed land engineering, ed. Hyangmunsa. Seoul, Korea. p. 13-24.
- Kim, S.J, Bok, G.J, Lee, G.I and Park, J.S. 2017. Growth Characteristics of Lettuce under Different Frequency of Pulse Lighting and RGB Ratio of LEDs. Protected horticulture and plant factory, 26(2) : 123-132. DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.2.123>
- Kim, H.M, Kim Y.J and Hwang, S.J. 2016. Optimum Wattage and Installation Height of Nano-Carbon Fiber Infrared Heating Lamp for Heating Energy Saving in Plug Seedling Production Greenhouse in Winter Season. Protected horticulture and plant factory, 25(4) : 302-307. DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.4.302>
- Kim, H.J. 2014. Roles and Responsibilities of Landowners or Occupiers to Effectively Manage Non-point Source Pollution, Korea Environment Institute. (in Korean with English summary) DOI : <http://repository.kei.re.kr/handle/2017.oak/21672>
- Ko, D.K., Kwon, J.K. and Lee, E.H., 2013, Starting and development of the horticulture industry, Korea. Korean society for Horticultural Science, Separate, 458-489. DOI : https://scholar.google.co.kr/scholar?hl=ko&as_sdt=0%2C5&q=Starting+and+development+of+the+horticulture+industry&btnG=
- Kong, M.J., Lee, S.Y., Kang, D.H., Park, M.J., Yun, S.W., Shin, J.H., and J.K. Son., 2017, A Study on the Image Evaluation for the Improvement of the Landscape of Horticultural Complex in Rural Area, Protected horticulture and plant factory, 26(2), 78-86. DOI : <http://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.2.78>
- Lee, S.Y., Kim, Y.C. 2019, Water Treatment for Closed Hydroponic Systems, J. Korean Soc. Environ. Eng., 41(9): 501-513. DOI : <http://doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.9.501>
- Lee, S.J and Kim, Y.I. 2014. Improvement on Management of Non-point Source Pollution for Reasonable Implementation of TMDL : Focusing on Selection of Non-point Source Pollution Management Region and Management of Non-point Source Pollutant, J. Kor.

- Soc. Environ. Eng., 36(10), 719–723. DOI : <https://doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.10.719>
- Lee, S.S, Lee, D.S, Park, S.R, Choi, S.M, Kim, H.J, Lee, H.N and Kim, I.S (2010). Field Study for Tributaries of Water Shed in City of Cheongju, Journal of the Institute of Construction Technology. 29(2), pp. 81–86. (in Korean with English summary) DOI : <https://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=2887861>
- Lee, C.K, Kim, J.S, Jung, K.H, Park, J.J, Kim, J.S, Lee, B.C, Koo, J.H and Lim, B.S. 2002. Characteristics and Treatment Efficiency of Rural Sewage Treatment Facilities, Korean Water and Wastewater Society · Korean Water Environment Society. pp. 407–411. (in Korean with English summary) DOI : https://kiss13.kstudy.com/kiss3/download_viewer.asp
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA), 2019, 2018 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance. DOI : <https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/131/322442/artclView.do>
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017a, 2016 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance. DOI : <https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/131/276221/artclView>
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017b, The organic law about agriculture, farming village & food industry. DOI : <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=206522#0000>
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA), 2014, 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance. DOI : <https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/71/304119/artclView>
- Ministry of Environment (MOE), 2018, Korea Sewer Information System. DOI : <https://www.hasudoinfo.or.kr>
- Ministry of Environment (MOE), 2016, 2014 Sewage statistics. DOI : http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10264&seq=6671
- Ministry of Environment (MOE). 2014a. White paper of environment, 160–168. DOI : <https://library.me.go.kr/#/search/detail/5577671>
- Ministry of Environment (MOE), 2014b, 2013 Public sewage treatment operation management status analysis result. DOI : http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=900&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=92&orgCd=&condition.orderSeqId=6311&condition.rnSeq=904&condition.deleteYn=N&seq=637
- Ministry of Environment (MOE). 2012a. Nonpoint pollution source management II, 9–16. DOI : http://water.nier.go.kr/mobile/contents/contentView/?pMENU_NO=172
- Ministry of Environment (MOE), 2012b, Research on appropriate management of rural waste. DOI : <https://me.go.kr/home/web/board/read.do?jsessionid=ZtT-AOBCL4rObmEFMbgYO7k.mehome1?pagerOffset=3550&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=290&orgCd=&boardId=181117&boardMasterId=39&boardCategoryId=52&decorator=>
- Park, S.K., Kim, S.H., Lee, S.Y., Back, C.G., Kang, I.K., Jung, H.Y. 2016, Twig Blight on Chinese Magnolia Vain Caused by Botryosphaeria Dothidea in Korea, The Korean Society of Plant Pathology. 22(1), 44–49. DOI : <https://doi.org/10.5423/RPD.2016.22.1.44>
- Park, S.H., Eom, J.Y. and Lim, J.E. 2016, Plans to Enhance Farm Income Through Village Community Revitalization, Korea Rural Economic Institute, 1–199. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07251549>
- Park, J.H., Seo, D.C., Kim, A.R., Kim, S.H., Lee, C.H., Lee, S.T., Jeong, T.U., Lee, S.W., Ha, Y.R., Chom J.S. and Heo, J.S. 2011, Treatment efficiencies and Decomposition velocities of pollutants in constructed wetlands for treating hydroponic wastewater, Korean journal of Soil science and Fertilizer, 44(5), 937–943. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02038956>
- Park, S.D., Hwang, U.S., Sung, J.I., Chae, K.S., Kim, C.H., Jun, G.Y., Son, Y.M. and Song, J.D. 2009. A study on the effective agricultural utilization of reclaimed land. ed. Korea Rural Economic Institute, Seoul, Korea. p. 1–6. DOI : https://scholar.google.co.kr/scholar?hl=ko&as_sdt=0%2C5&scioq=a+study+on+the+effective+agricultural+utilization+of&q=A+study+on+the+effective+agricultural+utilization+of+reclaimed+land&btnG=
- Sanchez-Picon. A., J. A. Aznar-Sanchez and J. Garcia-Latorre, 2011, Economic cycles and environmental crisis in arid southeastern Spain. A historical perspective, Journal of Arid Environment, 75, 1360–1367. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.014>
- Shin, D.C. 2016. “Industrial Trend of Domestic and International Controlled Horticulture,” HORTICULTURE ABSTRACTS, 36. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07055496>
- Shin, MH, Choi, JW, Lee, JJ, Lee, JA, Choi, JD. 2010. Runoff Characteristics of NPS in small watershed, Journal of Hydro Environment Research. 1134–1138. DOI : <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO201030533376073.page>
- Shin, HJ, Park, GA and Kim, SJ. 2004. Simulation of Hydrological Behavior and Water Quality Using AnnAGNPS in Gyeongan-Cheon Watershed, Korean

- Society of Civil Engineers Conference., pp. 2209–2213. DOI : <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200473606658822.page>
- ShinHAN A-TEC Co.Ltd., 2016, Sterilizing method of waste nutrient solution using uv lamp., Korea Konzession, Application No. 10-2016-0147011. DOI : <https://sh1000.co.kr/>
- Son, JK, Kim, CH, Yun, SW, Kong, MJ, Choi, DK, Kang, DH, Park, MJ and Kand, BH., 2018, A Study on the Emission Characteristic and Improvement Plan of Domestic Sewage(NPS) in Rural Area, Journal of The Korean Society of Rural Planning, 24(4), 37–46. DOI : <https://doi.org/10.7851/ksrp.2018.24.4.037>
- Son, JK, Shin, MJ, Shin, YK, Yun, SW, Kang, DH, Park, MJ and Lee, SY., 2017, A Function and Weight Selection of Ecosystem Service Function for the Eco-friendly Protected Horticulture Complex in Agricultural Landscape, Journal of Wetlands Research, 19(4), 533–541. DOI : <https://doi.org/10.17663/JWR.2017.19.4.533>
- Son, JK, Kong, MJ, Kang, DH, Kang, BH, Yun, SW and Lee, SY., 2016b, The Comparative Studies on the Terrestrial Insect Diversity in Protected Horticulture Complex and Paddy Wetland, Journal of Wetlands Research, 18(4), 395–402. DOI : <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.4.386>
- Son, JK, Kong, MJ, Kang, DH, Park, MJ, Yun, SW and Lee, SY., 2016a, The Change Analysis of Plant Diversity in Protected Horticulture of Agricultural Ecosystems, Journal of Wetlands Research, 18(2), 173–182. DOI : <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.2.173>
- Son JK, Kang BH and Kim NC., 2010, The Analysis of Water and Soil Environment at Farm Pond Depression, J. Korean Env. Res. Tech., 13(3), 46–62. DOI : <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201035356352570.page>
- Wang, Y.L., Fan, P., Kim, D.B. and K.S. So., 2009, A Study on the Problems and Countermeasures of Environmental Pollution Caused by China's Rural Development : Enlightened from the Semaul movement in Korea, The Korean Journal of Local Government & Administration Studies, 23(1), 159–178. DOI : <http://www.earticle.net/Article/A111402>
- Woo, B.J., Lee, H.Y. and Han, B.H. (2018), Agricultural Structure and Farming Economy, How It's Changing?, Korea Rural Economic Institute and other research reports, pp. 69–93. DOI : <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07315806>
- Yang, NI., 2017, The Study on Capacity of Small Scale Sewerage Facilities in Korea, Yonsei University Master's Thesis. DOI : https://kiss18.kstudy.com/kiss10/download_viewer.asp
- You S.O. 2001, A Study on the Development of Rural Areas and Methods of Environmental Equipment according to Green Tourism, Journal of Rural Tourism, 8(2), 32–56.
- Yum, SH and Lee, WB. 2017. Evaluation of Structural Stability of Plastic Greenhouses with Steel Spiral Piles on Reclaimed Lands. Protected horticulture and plant factory, 26(1) : 27–34. DOI : <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.1.27>