Journal of Environmental Science International
28(12); 1199~1208; December 2019

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.12.1199

ORIGINAL ARTICLE

시설원예 배출 배액의 수질환경 평가 및 정화 부하량 산정

손진관 · 최덕규 · 공민재 · 윤성욱 · 박민정 · 강동현*
농촌진흥청 국립농업과학원

The Water Quality and Purification Load Assessment of Drain Water of Facility Horticulture Areas

Jinkwan, Son, Dekkyu, Choi, Minjae, Kong, Sungwook, Yun, Minjung, Park, Donghyeon, Kang*
National Academy of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract

Korea's protected horticulture is rapidly increasing in scale due to various advantages such as year-round harvesting, labor savings through automation and shortened culture period, and greater income generation. This study was conducted to investigate the impact of protected horticulture on water quality. The results of this study are expected to provide basic data contributing to improvements towards sustainable agriculture and eco-friendly design of protected horticulture complex. The average T-N and T-P loads from vinyl greenhouses were 286.55± 143.98 mg/L and 59.14±13.77 mg/L, respectively and those from glass greenhouses 380.68 ± 150.41 mg/L and 61.85±20.72 mg/L. The annual discharge of wastewater derived from the monthly discharge from the horticulture greenhouses were estimated at 2597 ton/ha, with the annual phosphorus load amounting to 155.3 kg/ha. The average T-N and T-P loads in the tested greenhouse effluents were in excess of 8.3- and 13.5-fold the standards for the Korean wastewater plant effluent. The waste nutrient solution discharged from a protected horticulture complex can cause water contamination. Therefore, there is a need to conduct follow-up research using a water purification system or a trench method to develop a eco-friendly protected horticulture complex for sustainable agriculture.

Key words : Horticulture complex, Water purification, Ecosystem services, T-N, T-P

1. 서 론

우리나라 농업 중 시설원예산업은 많은 소득을 창출하여 백색혁명으로 평가받아왔다. 이러한 시설원예가 차지하는 비중은 원예산업의 40% 이상으로 면적에서는 세계 3위권으로 농업 소득 전체에 차지하는 비중은 크게 자리 잡고 있다(Lee, 1996; Ko et al., 2013; MAFRA, 2014a, 2014b). 우리나라 시설원예농업은 연중생산, 자동화, 단시간 생산, 노동력 절감 , 고속득 창출 등 여러 장점으로 인해 면적이 계속해서 증가하는 추세이다(Jeoung and Park, 2003; MAFRA, 2017). 하지만 대규모 시설원예단지 조성으로 인한 급격한 토지이용 변경,

Received 20 November, 2019; **Revised** 4 December, 2019; **Accepted** 5 December, 2019
***Corresponding author**: Donghyeon, Kang, National Academy of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea
Phone: +82-63-238-4091
E-mail: kang6906@korea.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
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.

지하수 고갈, 폐기물 방치, 비점오염 배출 등 여러 가지 환경적, 생태적 문제점이 보고되고 있다(Heo et al., 2001; Wang et al., 2009; MOE, 2012a; Son et al. 2016a; Son et al. 2016b; Kong et al., 2017).

Son et al.(2017)의 선행연구에서 시설원예단지 조성 시 고려해야할 생태적 기능에 대해 12가지로 제시하고 있다. 주요 대상으로는 1. 수질오염물질 배출 대책, 2. 지하수고갈 대책 및 함양 방안, 3. 지표수저장 공간 확보, 4. 홍수조절 대책, 5. 식생다양성 공간 대책, 6. 탄소배출 저감 방안, 7. 수서곤충 서식처 확보 방안, 8. 양서파충류 서식처 확보 방안, 9. 경관 및 폐기물 대책, 10. 조류 서식처 확보 방안, 11. 열섬현상 완화 방안, 12. 체험/생태교육 확보 등의 순으로 분석되었다. 이 중 가장 필요성이 크게 언급 된 수질오염물질 배출 대책, 즉 양액 배출로 인한 수질오염물질 배출 현황과 재활용 및 활용기술이 전문가들로부터 가장 시급 한 시설원예 환경, 생태 분야의 연구 분야라는 것을 제시 받았다.

우리나라 시설원예 면적은 2018년 기준 53,109 ha로 통계되어 있으며, 그 중 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 양액재배는 토경에 비해 식물이 양분을 직접적으로 양분을 투입하게 되는 쉬운 영양 공급 방법이다. 하지만 양액 재배에 있어 작물이 흡수하는 것 이외 배지에 염류가 집적되지 않도록 넘쳐흐르게 하는 배액률을 최대 30% 정도까지 실시하고 있어 N, P 등의 영양물질의 외부 유출은 클 수 있다고 판단되었다(MAFRA, 2017). 최근 신규로 건설되는 온실을 중심으로 배액 재사용을 위한 순환식 양액 재처리 시설을 갖추고 있는 추세이며, 재활용을 통한 비용절감을 위해 UV살균 등의 공법이 특허로 등록되어 있다(Chungo CO.,LTD., 2016; ShinHAN A-TEC Co.Ltd., 2016). 또한 시설하우스 폐양액 처리를 위한 소형 인공습지 개발(Park et al., 2009), 폐양액의 토양 처리에 따른 질소 및 인의 이동(Yang et al., 2005), 자연정화공법에 의한 시설하우스 폐양액 처리기술(RDA, 2009) 등이 연구되어 왔다. 하지만 전체 시설면적 대비 양액의 재사용량이나 배출양은 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 도입했고, 특히 네덜란드는 온실로부터 배출되는 폐액으로부터 지하수의 오염을 막기 위해 2004년 이후 수경재배 방식을 100% 순환식 전환으로 법제화 하고 2027년 후 시설에서의 모든 물과 양액 등은 외부로 유출이 금지 될 것으로 예상되고 있다(Lee, 2015). 우리나라도 물환경에 대한 인식이 점차 증대되고 있고 비점오염을 관리하기 위해 수질오염총량제를 핵심정책으로 하천오염의 70%에 달하는 비점오염원을 국가차원에서 관리한다는 목표를 세우고 있다(MOE, 2012b; Lee and Kim, 2014; MOE, 2014; Son et al., 2018).

따라서 본 연구에서는 시설원예단지 조성으로 배출되는 영양물질이 하천환경 기준으로 어느 정도의 부하이며, 이것이 하천에 미치는 영향에 대해 분석을 실시하고 향후 추가적인 연구를 통해 수질정화 부하에 필요한 경제적 비용을 평가하고자 진행 되었다. 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. 연구방법

연구대상지는 국내 수경재배 현황에 대한 RDA(2008)의 조사를 반영하여 가장 많은 비율인 파프리카와 토마토를 연구대상 작물로 선정하였다. 다음으로 많은 재배작물은 딸기, 오이, 고추, 상추 등으로 조사되었는데 본 연구에서는 연중 생산이 진행되고 있으며, 연동형 온실과 유리온실에서 동시에 대규모로 생산이 진행되는 오이를 연구대상 작물로 선정하였다. 따라서 연구대상지는 시설원예단지 유형에 따라 유리온실, 비닐온실로 구분하고 대표적 수경재배 작물인 파프리카, 토마토, 오이 재배농가로 구분하여 총 12개 대상지를 Table 1과 같이 선정하였다.

연구를 위해 먼저 각 시설원예단지에서 월 단위 용수의 사용량을 조사하였다. 조사는 각 대상지의 시설원예 제어 시스템을 확인하여 관수주기, 관수량 등을 분석하였으며, 시스템이 없는 농가는 지하수 취수부위의 유량계 및 양액 조성용 배합기의 유량계를 월단위로 조사하였다. 선정된 연구대상 시설원예단지는 양액을 작물에게

Table 1. The classification of study sites

Meteria	Crop	Lacation	Code
Vinyl	Paprika	Jinju, Gyeongnam	Vp1
		Pyeongchang, Gangwon	Vp2
	Tomato	Buyeo, Chungnam	Vt1
		Wonju, Gangwon	Vt2
	Cucumber	Cheonan, Chungnam	Vc1
		Naju, Jeonnam	Vc2
Glass	Paprika	Gumi, Gyeongbuk	Gp1
		Gimje, Jeonbuk	Gp2
	Tomato	Jeongeup, Jeonbuk	Gt1
		Jinju, Gyeongnam	Gt2
	Cucumber	Gimje, Jeonbuk	Gc1
		Iksan, Jeonbuk	Gc2

Fig. 1. The drain water emission status of study sites.

사용하고 거터(양액받이)를 통해 식물이 흡수하지 못하고 넘쳐흘러 배출되는 구조로 이루어져 있다. 조사를 통해 알아 본 시설원예단지의 배액 유출 구조는 Fig. 1과 같이 외부 수로로 연결되어 유출되는 형태로 이루어져 있으며, 내부에서 외부로 유출시키는 형태는 집수 후 펌프를 가동하거나 경사를 이용한 자연스러운 유출 등으로 다양하였다. 본 연구에서는 거터를 통해 외부로 배출되는 배액을 채취하여 수질오염공정 시험법에 따라 분석하였다.

수질환경은 총 7항목으로 수질산도(Hydrogen Exponent, pH), 전기전도도(Electric Conductivity, EC), 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 부유물질(Suspended Solid, SS), 총 질소(Total Nitrogen,

T-N), 총인(Total Phosphorus, T-P)을 수질분석 전문분석 기관에 의뢰하여 수질오염공정시험방법(MOE, 2018)에 따라 분석하였다. 채취된 시료의 하천 및 호소의 수질을 악화시키는 영양물질(T-N, T-P)을 기준으로 배출량 조사결과를 활용해 월 단위 배출량을 kg으로 환산하고 연단위로 합해서 분석하였다.

분석결과는 연구대상지 12개소를 피복재료 유형(유리, 비닐)으로 구분하고 작물은(파프리카, 토마토, 오니)로 구분하여 SPSS 19.0 이용 그룹 간 차이분석(t-Test)을 실시하여 배출 농도의 경향을 분석하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연구대상지 배출 배액의 수질환경 분석

연구대상지에서 배출되는 배액을 채취하여 수질분석 항목에 대해 분석 한 결과는 Table 2에 제시 한 바와 같다. 수질산도(pH)는 4.98~7.18의 범위로 평균 6.50±0.67로 분석되었다. 환경정책기본법 하천의 수질환경기준에서 기준이 6.0~8.5이므로 Vt2, Gt2 두 곳의 온실에서 기준을 초과하는 용수를 배출하고 있는 것으로 분석되었다. 전기전도도(EC)는 온실 작물 관리에서 가장 중요하게 거론하는 항목의 하나로 알려져 있다. 농민들이 기타 다른 양액성분을 분석하지 못하는 실정이므로 이 EC에 대해 측정 장비를 확보하고 실시간으로 측정해 다른 영양물질의 농도와 비료투입 정도를 파악하고 있는 실정이다. 일반적으로 EC는 해안에 가까워 Na, Cl 등이 염분농도에 영향을 미쳐 높은 농도도 측정되며(Hwang et al., 2007), 비료성분에 해당 원소가 함유되어 있는 작물재배 시 토양 집적 등의 영향을 받아 EC 농도가 높아지는 것으로 보고되어 있다(Sanchez et al., 2011). 본 연구대상지에서 배출되는 배액의 EC농도는 자연하천이나 지하수를 분석한 선행연구의 결과와 비교했을 때 매우 높은 수치임을 확인 할 수 있다(Choi et al., 1997). 이것은 배액에 다량의 미량원소가 함유되어 있음을 의미 할 수 있고 시설원예에서 배출되는 배액의 농도 범위가 높다는 것을 의미한다.

생물학적 산소요구량(BOD)는 하천환경에서 가장 중요하게 거론되는 지표로 3 mg/L 이하일 때 좋음으로 평가하고 10 mg/L를 넘으면 매우 나쁨으로 평가한다. 더불어 하수종말처리장에서 폐수를 처리하고 방류 할 때도 BOD를 10 mg/L 이하로 방류하도록 법으로 제정되어 있다. 본 연구대상지 12개소의 BOD 농도는 평균 3.62±2.39 mg/L로 평가등급으로 보면 보통 등급 정도에 해당하는 농도로 평가되었다. 반면 화학적 산소요구량(COD)는 8.54~32.22 mg/L로 평균 19.25±8.11의 농도로 분석되었다. 이 농도는 하천환경에서 매우나쁨의 수준에 해당하는 수치이다. 하지만 하수처리장에서 처리 후 배출되는 용수의 COD를 40 mg/L로 규정하는 것을 볼 때 연구대상지는 수처리가 필요하지 않다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 부유물질량(SS) 또한 평균 6.10±4.98 mg/L로 하수처리장 방류수 기준인 10 mg/L에 미치지 않지만 일부 대상지에서 12.24 mg/L, 18.80 mg/L의 농도로 배출되므로 기준을 넘지 않도록 관리 할 필요가 있다고 판단된다.

총 질소(T-N)은 하천환경에서 수질환경기준으로 삼지 않는 항목이지만 호소에서는 기준으로 삼고 있는 항목으로 1.5 mg/L를 초과하면 매우나쁨으로 평가한다. 더불어 하수처리장 방류기준에서도 소규모(1일 하수처리용량 50㎥ 미만) 처리장에서 40 mg/L 이하, 중규모(1일 하수처리용량 500 ㎥ 미만 50 ㎥ 이상) 처리장에서 20 mg/L 이하로 배출하도록 규정하고 있다. 본 연구대상지인 시설원예단지 12곳에서 배출되는 배액의 평균 T-N농도는 333.62±148.74로 호소의 매우나쁨 수질기준 222배, 중규모 하수처리장 방류수 기준 16.5배 이상의 농도로 분석되었다. 농촌의 소하천에서 T-N 농도는 홍성군 홍동천에서 2.17~11.28 mg/L 이며, 담수되어 있는 연못에서 평균 2.24 mg/L 정도로 분석 된 것에 미루어 볼 때 매우 높은 농도이며(Son et al. 2010; Kang and Son, 2011), 수처리가 필요한 상태임을 확인 할 수 있다. 더불어 농촌지역에서 정화되지 않는 생활하수의 평균이 111.40±111.77 mg/L 임을 감안 할 때 생활하수보다 더 높은 농도의 T-N이 처리 없이 하천으로 유입되고 있는 것을 확인 할 수 있었다(Son et al., 2018). 총인(T-P) 함량도 같은 맥락으로 하천의 수질환경기준에서는 0.5 mg/L를 초과하면 매우나쁜 수질로 보고 있고 하수처리장에서 소규모는 4 mg/L이하, 중규모는 2 mg/L이하로 배출하도록 규정하고 있다. 연구대상지 12개소에서 배출되는 양액의 T-P농도는 평균 60.49±16.83 mg/L로 수질환경기준 매우나쁨 기준 120배, 소규모와 중규모 처리장 방류수 기준 각각 12.5배, 30배의 높은 농도로 배출되고

Table 2. The water quality analysis of study sites

Site			pH (1:5)	EC (ds/m)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Vinyl	Paprika	Vp1	6.25	4.04	1.83	18.25	6.85	390.441	55.134
		Vp2	6.17	4.02	2.97	25.02	4.40	431.399	85.091
	Tomato	Vt1	6.17	4.02	2.23	24.81	8.84	369.574	63.180
		Vt2	4.98	3.65	3.68	11.05	12.24	306.888	53.061
	Cucumber	Vc1	6.71	1.54	1.42	12.31	3.24	146.519	50.993
		Vc2	7.09	2.11	6.98	30.63	2.75	74.504	47.369
Glass	Paprika	Gp1	6.75	2.78	2.37	16.21	3.63	295.957	37.924
		Gp2	7.12	6.19	0.66	20.26	3.68	649.929	8.451
	Tomato	Gt1	6.95	3.66	1.02	8.88	3.64	345.646	45.637
		Gt2	5.73	4.04	6.99	32.22	18.80	403.913	80.509
	Cucumber	Gc1	7.18	2.69	5.87	8.54	2.31	202.783	46.276
		Gc2	6.12	3.85	3.02	22.84	2.82	385.831	76.230
	Average		6.50±0.67	3.58±1.20	3.62±2.39	19.25±8.11	6.10±4.98	333.62±148.74	60.49±16.83

Table 3. The average and classification of study sites types

Site		pH	EC (ds/m)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
C 1 (Meterial)	Vinyl	6.23±0.71	3.23±1.11	3.19±2.03	20.35±7.78	6.39±3.68	286.55±143.98	59.14±13.77
	Glass	6.64±0.59	3.87±1.27	3.32±2.58	18.16±9.02	5.81±6.39	380.68±150.41	49.17±26.53
	T-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C 2 (Corp)	Paprika	6.57±0.45	4.26±1.42	1.96±0.98	19.94±3.77	4.64±1.51	441.93±149.82	46.65±32.07
	Tomato	5.96±0.82	3.84±0.22	3.48±2.58	19.24±11.16	10.88±6.35	356.51±40.82	60.60±15.10
	Cucumber	6.78±0.48	2.55±0.99	4.32±2.55	18.58±10.06	2.78±0.38	202.41±133.08	55.22±14.15
	T-test	NS	NS	NS	NS	5.044* (T > P, C)	NS	NS

있는 것이 확인되었다. 농촌에서 처리되지 않은 생활하수의 농도가 평균 10.02±10.09 mg/L 임을 볼 때 설거지, 빨래, 화장실 등의 생활하수 보다 더 나쁜 농도의 수질이 하천으로 배출되고 있다고 평가 할 수 있다. 농어촌지역에서 하수관거의 보급률은 2014년 기준 65.9% 수준이지만(MOE, 2016), 계속해서 보급을 추진하고 있고 시설을 개선한다는 목표로 추진하고 있으므로 농어촌 지역에 신규로 추진되는 하수처리장 및 하수관거를 정비 할 때는 시설원예를 고려한 설계가 무엇보다도 중요하다고 판단된다. 하수처리장의 설계를 위해서는 해당 지역에서 배출되는 유량과 농도를 산정하는 것이 무엇 보다 중요한 일로 평가받는다(Son et al., 2018). 배출 농도 및 유량에 대한 설계가 잘못 되면 해당 시설이 제 역할을 하지 못 할 뿐 아니라 추가적인 시설이 투입되어야 하는 부담이 가중된다. 실제로 소규모 정화시설 3,160개소 중 설계착오로 인한 유입용량 초과가 전체의 15.6%에 달할 정도로 수처리에 필요한 용량 파악은 중요하다고 할 수 있다(Yang, 2017; MOE, 2018).

따라서 본 연구에서 시설형태 및 작물에 따른 배출 배액의 농도를 확인하고자 Table 3과 같이 평균으로 산출하고 그룹 간 차이분석에 사용되는 t-Test 통계분석을 통해 차이를 확인하고자 하였다.

Table 4. The mount of using water (unit: L/m^2)

Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Vp1	45.4	24.8	38.7	73.9	40.9	29.8	46.2	60.5	93.0	157.0	147.8	148.3	906.2
Vp2	66.3	68.8	98.5	118.5	135.3	88.7	45.3	68.5	84.5	75.4	75.5	63.3	988.5
Vt1	25.6	31.1	44.5	38.3	29.1	25.0	50.2	71.8	90.9	151.3	115.6	172.2	845.4
Vt2	73.0	71.5	77.0	75.0	79.5	81.7	67.8	19.0	29.2	69.7	57.9	62.8	764.2
Vc1	101.5	115.8	84.9	80.7	94.8	72.7	44.1	23.3	69.7	102.9	94.4	90.4	975.2
Vc2	91.3	81.1	102.3	103.5	108.7	99.9	82.7	48.1	65.6	84.2	85.8	99.3	1052.4
Gp1	54.9	46.8	45.7	97.1	95.3	105.9	103.8	33.5	73.4	64.8	48.7	43.6	813.4
Gp2	56.0	73.3	106.0	118.8	167.0	137.9	75.6	27.6	46.8	58.9	48.7	42.5	958.9
Gt1	55.4	81.6	111.7	127.5	172.3	143.2	84.2	33.6	42.4	61.2	45.4	39.6	998.0
Gt2	90.3	77.1	65.4	64.8	76.9	78.6	32.2	6.8	37.6	61.4	67.1	53.7	711.8
Gc1	96.1	92.7	131.0	140.4	142.5	125.2	38.5	68.9	113.4	113.0	128.5	132.7	1322.9
Gc2	91.2	104.4	102.3	140.3	157.3	137.3	82.7	48.1	65.6	90.9	93.4	98.4	1211.8
Ave.	70.6	72.4	84.4	98.2	108.3	93.8	62.8	42.5	67.7	90.9	84.1	87.2	962.4

재료 및 작물 유형에 따른 배출 배액의 농도에 대한 통계적 차이분석은 Table 3에 제시 한 바와 같다. 재료유형으로 구분 한 C1에서는 비닐하우스(vinyl-house)와 유리온실(glass-house)로 구분하여 수질분석 결과의 통계적 차이를 확인해 보았다. 분석결과 모든 항목에서는 통계적 차이를 확인하지 못하였다. C2는 작물별로 차이가 있는지를 통계적으로 확인하고자 했다. 파프리카, 토마토, 오이 등 세 가지 작물에서 서로간의 통계적 차이는 부유물질량이 토마토가 높고 파프리카나 오이가 낮다는 것을 유의 수준에서 확인 할 수 있었다. 앞선 결과분석에서 밝힌 바와 같이 하수처리시설의 용량 설계 시 시설원예에서 배출되는 수질의 농도는 본 연구의 결과만으로 봤을 때 T-N기준 500 mg/L, T-P기준 100 mg/L 정도로 크게 설계하는 것이 바람직하다고 판단된다. 하지만 1회성 분석결과라는 점과 작물별, 혹은 재료유형별 특성에 따른 심층적인 조사를 통해 설계용량에 투입할 농도 값을 찾을 필요가 있다고 판단된다.

3.2. 연구대상지 연간 용수사용량 및 배액 배출량

시설원예단지 1 m^{2}에서 사용되는 용수의 양은 Table 4, 시용 후 배출 되는 배액의 양은 Table 5에 제시 한 바와 같다. 시설원예단지의 연간 물 사용량은 1 m^2 면적에서 적게는 711.8 L, 많게는 1322.9 L를 사용하는 것으로 분석되었으며, 이것을 1 ha의 면적에 사용되는 용수의 양으로 환산해 보면 7,118 ton~13,229 ton으로 12개 대상지 평균 연간 9,624 ton의 용수를 사용하고 있는 것으로 분석되었다. 월단위로 분석해 보면 평균적으로 5월에 용수사용량이 1,083 ton/ha(108.3 L/m^2)로 가장 많고 8월에 425 ton/ha(42.5 L/m^2)로 가장 적게 분석되었다. 이것은 시설원예 작물의 생육과 밀접히 관련이 있는데 온도가 올라가기 시작하는 5월경에 호흡이 늘어나 용수의 사용도 많아지는 것을 알 수 있다. 반면 7월과 8월의 경우에는 너무 더운 날씨 때문에 시설원예 작물을 철거하고 다음 작기를 준비하는 시기로 작물의 재배가 많이 없어서 나타난 분석결과로 볼 수 있다.

시설원예단지에서 발생하여 배출되는 배액의 양을 Table 5에 월단위로 조사하여 제시하였으며, 연 단위 합과 월 단위 평균을 분석하여 기입하였다. 시설원예단지 1 ha를 기준으로 배출되는 배액의 연간 총량은 가장 적은 곳이 1,867 ton/ha 이며, 많은 곳은 3,428 ton/ha로 12개 대상지 전체의 평균은 연간 2,597 ton/ha로 배출되는 것으로 분석되었다. 월단위로 분석해 보면 5월에 276 ton/ha(27.6 L/m^2)로 가장 높았으며, 7월에 153 ton/ha (15.3 L/m^2)로 가장 낮게 분석되었다. 이것을 1일단위로 계산해 보면 시설원예 1ha에서 배출되는 양액은 평균 9.2 ton이 발생하는 것으로 분석되었다. 하지만 일부 대상지에서 월 단위 484 ton이 발생해 해당 달의 전체 합을 1일 기준으로 나누면 16.1 ton이 되므로 처리시설 용량을

Table 5. The mount of drain water (unit: L/m^2)

Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Vp1	18.5	5.8	16.5	28.1	12.8	8.6	16.1	21.9	31.9	49.3	45.9	48.6	303.9
Vp2	17.3	19.4	23.2	24.6	31.3	28.3	23.9	29.4	28.1	23.2	20.1	19.4	288.0
Vt1	18.9	18.1	10.9	9.3	26.1	2.3	13.8	28.3	27.6	47.4	41.1	58.9	302.5
Vt2	19.4	20.0	20.5	20.9	21.3	19.9	15.9	9.6	16.6	24.5	16.0	19.4	223.8
Vc1	26.4	31.4	29.1	27.3	28.3	28.5	12.0	14.9	33.5	28.5	26.1	24.1	310.2
Vc2	18.0	17.7	21.6	23.9	21.0	20.3	19.1	18.9	25.1	19.4	17.8	19.9	242.7
Gp1	11.1	11.9	14.6	23.7	24.2	27.1	26.6	13.2	28.2	19.8	12.4	11.0	223.9
Gp2	11.5	16.5	26.8	32.3	41.9	28.0	9.5	11.8	9.5	9.2	7.4	11.6	216.1
Gt1	13.4	19.7	30.4	32.5	48.4	28.1	7.8	14.4	8.6	9.4	6.9	5.4	224.9
Gt2	22.9	19.4	18.3	16.2	18.4	17.8	8.5	2.8	14.0	18.3	15.8	14.2	186.7
Gc1	23.9	26.0	35.0	35.4	29.9	21.4	12.0	21.9	39.4	34.3	32.3	31.4	342.8
Gc2	19.9	20.6	22.2	26.0	27.6	27.4	18.1	14.0	19.6	17.8	18.3	19.4	250.9
Ave.	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

Table 6. The nitrogen purification load assessment of year-round drain water (unit: kg/ha)

Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Vp1	72.0	22.6	64.5	109.8	49.9	33.6	62.7	85.4	124.6	192.5	179.3	189.6	1186.4
Vp2	74.4	83.5	100.2	105.9	134.8	122.2	103.0	126.6	121.4	100.1	86.9	83.5	1242.5
Vt1	57.8	55.6	33.3	28.4	80.2	7.1	42.4	86.7	84.7	145.6	126.1	180.6	928.4
Vt2	14.4	14.9	15.2	15.6	15.9	14.8	11.8	7.1	12.3	18.2	11.9	14.4	116.7
Vc1	97.7	116.2	107.7	100.9	104.6	105.2	44.5	54.9	123.6	105.2	96.6	89.1	1146.2
Vc2	26.4	25.9	31.6	35.0	30.8	29.7	27.9	27.7	36.8	28.5	26.0	29.1	355.6
Gp1	38.4	41.1	50.4	82.0	83.7	93.8	91.8	45.6	97.4	68.6	42.8	38.0	773.8
Gp2	46.5	66.6	108.4	130.4	169.3	113.2	38.4	47.7	38.5	37.2	29.9	46.7	872.7
Gt1	27.1	39.9	61.7	65.9	98.2	56.9	15.8	29.1	17.5	19.0	14.0	10.9	456.0
Gt2	88.5	75.0	70.7	62.4	71.0	68.8	32.9	10.8	53.9	70.5	61.0	54.9	720.3
Gc1	70.8	77.0	103.4	104.7	88.6	63.5	35.4	64.7	116.6	101.5	95.6	92.9	1014.7
Gc2	129.2	134.0	144.1	169.2	179.1	178.3	117.7	90.7	127.3	115.8	119.2	125.8	1630.4
Ave.	61.9	62.7	74.3	84.2	92.2	73.9	52.0	56.4	79.5	83.5	74.1	79.6	874.5

산정 할 때는 지역적으로 더 심층적인 조사가 필요하다고 판단된다.

3.3. 연구대상지에서 발생하는 질소와 인의 부하량 산정

시설원예단지의 연간 배액 배출량과 분석한 T-N값을 기준으로 외부로 유출되는 질소(N)의 총량을 Table 6와 같이 산정하였다. 분석결과 1년 동안 외부로 유출되는 질소의 총량은 1ha 단위에서 적게는 166.7 kg, 많게는 1630.4 kg으로 대상지 12개소의 평균은 874.5 kg으로 분석되었다. 이것을 일단위로 분석해 보면 5월에 1일간 3.07 kg의 질소가 외부로 유출되는 것으로 분석되었다. 이 농도는 Son et al.(2018)이 조사한 농촌 자연마을에서의 1가구당 1일 배출 생화하수 평균 인 272.5L에 배출농도 평균 111.77 mg/L를 환산 한 1일 T-N 배출량 0.03 kg의 100배 이상에 해당하는 수치로 볼 수 있다. 같은 방법으로 시설원예단지의 연간 배액 배출량과 분석한 T-P 값을 기준으로 외부로 유출되는 인(P)의 총량을 Table 7과

Table 7. The phosphorus purification load assessment of year-round drain water(unit: kg/ha)

Site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Vp1	10.2	3.2	9.1	15.5	7.0	4.7	8.8	12.1	17.6	27.2	25.3	26.8	167.5
Vp2	14.7	16.5	19.8	20.9	26.6	24.1	20.3	25.0	23.9	19.7	17.1	16.5	245.1
Vt1	10.0	9.6	5.8	4.9	13.9	1.2	7.3	15.0	14.6	25.2	21.8	31.2	160.5
Vt2	9.2	9.5	9.7	9.9	10.1	9.4	7.5	4.5	7.8	11.6	7.6	9.2	106.0
Vc1	16.7	19.9	18.4	17.3	17.9	18.0	7.6	9.4	21.1	18.0	16.5	15.2	196.0
Vc2	9.2	9.0	11.0	12.2	10.7	10.4	9.7	9.6	12.8	9.9	9.1	10.1	123.7
Gp1	5.1	5.4	6.6	10.8	11.1	12.4	12.1	6.0	12.9	9.1	5.7	5.0	102.2
Gp2	9.3	13.3	21.6	26.0	33.7	22.6	7.6	9.5	7.7	7.4	6.0	9.3	174.0
Gt1	6.2	9.1	14.1	15.0	22.4	13.0	3.6	6.6	4.0	4.3	3.2	2.5	104.1
Gt2	17.5	14.8	14.0	12.3	14.0	13.6	6.5	2.1	10.6	13.9	12.0	10.8	142.3
Gc1	9.1	9.9	13.3	13.4	11.4	8.1	4.5	8.3	14.9	13.0	12.3	11.9	130.0
Gc2	16.8	17.4	18.7	22.0	23.3	23.2	15.3	11.8	16.6	15.1	15.5	16.4	212.0
Ave.	11.2	11.5	13.5	15.0	16.8	13.4	9.3	10.0	13.7	14.5	12.7	13.7	155.3

같이 산정하였다. 분석결과 1년 동안 외부로 유출되는 인의 총량은 1 ha 단위에서 적게는 104.1 kg, 많게는 245.1 kg으로 대상지 12개소의 평균은 155.3 kg으로 분석되었다. 이것을 배출부하가 가장 높았던 5월의 평균을 대상으로 일단위로 분석해 보면 1일간 0.56 kg/ha의 인이 외부로 유출되는 것으로 평가되었다. 하지만 Gp2 대상지의 5월 배출량을 확인해 보면 하루 동안 1ha에서 1.12 kg이 배출되는 것을 알 수 있으므로 수처리 시설설계를 위한 배출농도 산정은 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 시설원예단지 조성으로 인한 수질 부하 물질 배출 대책에 대한 연구하고자 진행하였다. 시설원예단지가 수질에 미치는 영향에 대해 분석을 실시하고 수질정화에 필요한 부하량을 평가하였다. 본 연구를 통해 지속가능한 농업을 위한 개선점과 향후 친환경적 시설원예단지 조성을 위한 기초자료로 제공되기를 기대한다.

연구대상지는 국내 대규모로 조성되어 있는 시설원예단지로 유형에 따라 유리온실, 비닐온실로 구분하여 12개 대상지를 선정하였다. 시설원예단지 작물에게 사용하고 최종적으로 배출되는 배액을 채취하여 수질오염공정시험법에 따라 분석하였다. 채취된 시료의 하천 및 호소의 수질을 악화시키는 영양물질(T-N, T-P)을 기준으로 분석하였다.

연구대상 시설원예단지에서 배출되는 배액을 채취하여 분석한 결과 BOD는 12곳의 평균이 3.62±2.39 mg/L로 평가등급으로 보통 정도에 해당하는 농도로 평가되었다. 반면 COD는 평균 19.25±8.11 mg/L의 농도로 분석되어 매우나쁨의 수준에 해당하였다. SS는 평균 6.10± 4.98 mg/L이지만 일부 대상지에서 12.24 mg/L, 18.80 mg/L의 농도로 배출되므로 기준을 넘지 않도록 관리 할 것을 제안하였다. 시설원예단지 12곳에서 배출되는 배액의 평균 T-N농도는 333.62±148.74로 호소의 매우나쁨 수질기준 222배로 분석되어 수질정화의 필요성을 제안하였다. T-P도 평균 60.49±16.83 mg/L로 수질환경기준 매우나쁨 기준 120배의 농도로 배출되고 있는 것이 확인되어 시설원예 배출 배액의 관리 필요성이 언급되었다. 따라서 이러한 현황을 정책에 반영하여 하수처리장 및 하수관거를 정비 할 때는 시설원예를 고려한 설계 필요성을 언급하였다. 또한 본 연구만으로 시설원예 배액 배출 정도를 파악하기에는 통계적으로 결과를 해석하기 어려운 한계점을 언급하고 이에 따른 추가연구의 필요성을 제안하였다.

시설원예단지의 연간 물 사용량은 1 m^2 면적에서 적게는 711.8 L, 많게는 1,322.9 L를 사용하는 것으로 분석되어 1 ha의 면적에 사용되는 용수의 양은 연간 9,624 ton로 분석되었다. 용수사용량에서 작물에 사용하고 배출

되는 배액의 양은 1 ha를 기준으로 적은 곳이 1,867 ton/ha, 많은 곳은 3,428 ton/ha로 12개 대상지 전체의 평균은 연간 2,597 ton/ha로 배출되는 것으로 분석되었다. 전체 합을 1일 기준으로 나누면 높은 곳은 16.1 ton이 배출 되므로 처리시설 용량을 산정 할 때는 지역적으로 더 심층적인 조사가 필요 할 것을 제안하였다.

시설원예단지의 연간 배액 배출량과 분석한 T-N값을 기준으로 외부로 유출되는 질소(N)의 총량을 분석 한 결과 1년 동안 외부로 유출되는 질소의 총량은 1 ha 단위에서 평균은 874.5 kg으로 분석되었고 인은 1 ha 단위에서 평균은 155.3 kg으로 분석되었다. 일단위로 분석해 보면 편차가 크다는 것을 알 수 있어 심층적인 조사를 추가해 설계에 필요한 용량을 산정할 필요가 있음을 제시하였다.

본 연구를 통해 지속가능한 농업을 위한 시설원예의 개선점과 향후 친환경적 시설원예단지 조성 시 수질정화 시설의 투입 필요성과 당위성, 경제적 산출 근거의 기초 자료로 활용 되 길 기대한다.

감사의 글

연구는 2019년도 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ014190)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Chungo Co., Ltd., 2016, Recycle supplying systems of nutrient solution of cultivation under structure used ICT, Korea Konzession, Application, 10-2016-0183339.

Heo, J., Moon, S. C., Song, M. R., 2001, A Study on the Problem of Rural Sohd Waste in Korea, ECO, 1, 92-121.

Hwang, S. H., Park, K. G., Shin, J. H., Lee, S. K., 2007, Relationship between the groundwater resistivity and NaCl equivalent salinity in western and southern coastal areas, Kor. Mulli-Tamsa, 10(4), 361-368.

Jeoung, J. H., Park, S. K., 2003, Calculation of pumping rate considering the change of groundwater level, J. of KCID, 10(1), 64-72.

Kaneki, R., 2003, Reduction of effluent nitrogen and phosphorus from paddy fields, Paddy Water Env., 1, 133-138.

Kang, B. H., 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. Kor. Env. Res. Tech., 14(5), 81-101.

Kim, J. H., Lee, J. S., Ryu, J. S., Lee, K. D., Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. T. Kwun, S. K., 2005, Characteristics of non-point pollurants discharge in a small agriculrural watershed during farming season, Kor. J. Environ. Agri., 24(2), 77-82.

Ko, D. K., Kwon, J. K., Lee, E. H., 2013, Starting and development of the horticulture industry, Korea. J. of Korean soc. for Hor. Sci., Separate, 458-489.

Kong, M. J., Lee, S. Y., Kang, D. H., Park, M. J., Yun, S. W., Shin, J. H., Son, J. K., 2017, A Study on the image evaluation for the improvement of the landscape of horticultural complex in rural area, J. of Pro. hor. and pla. fac., 26(2), 78-86.

Korea Environment Corporation, 2011, The sludge situation on-site investigation report generated from a public sewage treatment plant, KECO.

Lee, J. H., 2004, The optimum schemes for the removal of Nitrogen and Phosphorus in industrial wastewater, Graduate School of Ajou University, Master thesis, Suwon, Korea.

Lee, S. J., 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.

Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs, 2014a, 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance, MAFRA.

Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs, 2014b, 2013 Greenhouse Status and Vegetable Production Performances, MAFRA.

Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2017, The organic law about agriculture, farming village & food industry, MAFRA.

Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs, 2019, 2018 Greenhouse Status and Vegetable Production Performance, MAFRA.

Ministry of Environment, 2012a, Research on appropriate management of rural waste, MOE.

Ministry of Environment, 2012b, Nonpoint pollution

source management II, 9-16, MOE.

Ministry of Environment, 2014, 2013 Public sewage treatment operation management status analysis result, MOE.

Ministry of Environment, 2014, White paper of environ -ment, 160-168, MOE.

Ministry of Environment, 2016, 2014 Sewage statistics, MOE.

Ministry of Environment, 2018, Korea Sewer Information System, MOE. https://www.hasudoinfo.or.kr.

Rural Development Administration, 2006, Mitigation Effect on Non-point Source Pollution by Rice Cultivation in Paddy Field, RDA.

Rural Development Administration, 2008, Nongsaro Homepage, RDA. https://www.nangsaro.go.kr.

Sanchez-Picon, A., Aznar-Sanchez, J. A., Garcia-Latorre, J., 2011, Economic cycles and environmental crisis in arid southeastern Spain. A historical perspective, J. of Arid Env., 75, 1360-1367.

ShinHAN A-TEC Co., Ltd., 2016, Sterilizing method of waste nutrient solution using uv lamp., Korea Konzession, Application, 10-2016-0147011.

Son, J. K., Kang, B. H., Kim, N. C., 2010, The analysis of water and soil environment at farm pond depression, J. Korean Env. Res. Tech., 13(3), 46-62.

Son, J. K., Kim, C. H., Yun, S. W., Kong, M. J., Choi, D. K., Kang, D. H., Park, M. J., Kand, B. H., 2018, A Study on the emission characteristic and improvement plan of domestic sewage (NPS) in Rural Area, J. of The Korean So. of Rural Planning, 24(4), 37-46.

Son, J. K., Kong, M. J., Kang, D. H., Kang, B. H., Yun, S. W., Lee, S. Y., 2016b, The comparative studies on the terrestrial insect diversity in protected horticulture complex and paddy wetland, J. of Wet. Res., 18(4), 395-402.

Son, J. K., Kong, M. J., Kang, D. H., Park, M. J., Yun, S. W., Lee, S. Y., 2016a, The change analysis of plant diversity in protected horticulture of agricultural ecosystems, J. of Wet. Res., 18(2), 173-182.

Son, J. K., Shin, M. J., Shin, Y. K., Yun, S. W., Kang, D. H., Park, M. J., Lee, S. Y., 2017, A Function and weight selection of ecosystem service function for the eco-friendly protected horticulture complex in agricultural landscape, J. of Wet. Res., 19(4), 533-541.

Takeda, I., Fukushima, A., Tanakab, R., 1997, Non-point pollutant reduction in a paddy-field watershed using a circular irrigation system, Water Res., 31(11), 2685 -2692.

Wang, Y. L., Fan, P., Kim, D. B., So, K .S., 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 J. of Local Gov. & Admin. Studies, 23(1), 159-178.

Yang, N. I., 2017, The study on capacity of small scale sewerage facilities in Korea, Yonsei University Master`s Thesis, Seoul, Korea.

• 손진관, 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후연구원
son007005@korea.kr
• 최덕규, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관
chdukk@korea.kr
• 공민재, 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후연구원
alswogud@korea.kr
• 윤성욱, 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후연구원
wookswooks@korea.kr
• 박민정, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
mjpark0107@korea.kr
• 강동현, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
kang6906@korea.kr