

EFDC-NIER 모델을 이용한 남강유역에서의 수질 평가분석

갈병석 · 박재범⁺ · 김성민^{*} · 김현맥^{*} · 신상민^{*} · 전민재^{*}

(주)다운솔루션

^{*}국립환경과학원 낙동강물환경센터

Water quality assessment analysis in the Namgang River basin using the EFDC-NIER model

Byungseok Kal · Jaebeom Park⁺ · Seongmin Kim^{*} · Hyunmac Kim^{*} · Sangmin Shin^{*} · Minjae Jeon^{*}

Daon Solution co., Ltd.

^{*}Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 15 October 2025, Revised : 17 November 2025, Accepted : 17 November 2025)

요약

시설재배에서 사용되는 양액재배 방식은 높은 생산량과 함께 사용하는 농가의 수도 증가하고 있다. 그러나, 사용되고 버려지는 폐양액에는 다량의 비료 등 영양물질이 함유되어 있어 하천으로 바로 유입되면 하천 수질을 오염시키게 된다. 연구 대상지인 남강 유역은 많은 시설재배가 활발하게 이루어지는 곳으로서 유입되는 지천으로 인한 영향을 크게 받는 유역이다. 따라서, 지류 오염원 유입에 따른 본류의 수질오염과 영양염류로 인한 조류 성장 등 본류의 영향을 클 것으로 판단된다.

본 연구는 낙동강수계 남강 유역에 있는 지류에서의 장기 수질모니터링 자료와 수질 모델인 EFDC-NIER를 이용하여 지류에서 유입되는 수질이 남강 본류에 미치는 영향을 분석하는 것이 목적이다.

핵심용어 : Long-term monitoring, EFDC-NIER, Waste Crop

Abstract

Hydroponic farming, a method used in facility cultivation, is increasing in number of farms along with its high production capacity. However, the waste nutrient solution that is used and discarded contains a large amount of nutrients such as fertilizers, and if it flows directly into the river, it pollutes the water quality of the river. The Namgang River basin, the research area, is a place where a lot of greenhouse cultivation is actively carried out and is a basin that is greatly affected by the inflow of tributaries. Therefore, it is believed that the main stream will be significantly affected by water pollution caused by the inflow of tributary pollutants and algal growth due to nutrients.

The purpose of this study is to analyze the impact of water quality flowing from tributaries on the main stream of the Nam River using long-term water quality monitoring data from tributaries in the Nam River basin of the Nakdong River system and the water quality model EFDC-NIER.

Key words : Long-term monitoring, EFDC-NIER, Waste Crop

⁺To whom correspondence should be addressed.

Daon Solution co., Ltd.

E-mail : econeural@gmail.com

• Byungseok Kal Daonsolution Co. Ltd./General Manager (kalbs1@naver.com)

• Jaebeom Park Daonsolution Co. Ltd./CEO (econeural@gmail.com)

• Seongmin Kim Nakdong River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research/ Research Officer (frogksm@korea.kr)

• Hyunmac Kim Nakdong River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research/ Researcher (khmc11@korea.kr)

• Sangmin Shin Nakdong River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research/ Research Fellow (clicktomessm@korea.kr)

• Minjae Jeon Nakdong River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research/ Research Fellow (jmin2206@korea.kr)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

시설재배란, 인공시설을 통하여 양분 및 수분을 공급하며 인공시설을 이용하여 인위적으로 재배 환경을 조절하면서 작물을 재배하는 것을 말한다. 시설재배는 외부 환경의 영향을 적게 받으며 작물 성장에 유리한 환경을 조성할 수 있어 농가의 생산성 향상에 많이 활용하고 있다.

우리나라 경상남도의 시설재배 면적은 2023년 기준 약 11,999ha로 전국(83,037ha)의 약 14.5%를 차지하고 있으며 또한, 시설재배 중 양액재배 면적도 전국 2018년 기준 3,355ha를 차지하고 있어 경상남도는 시설재배와 양액재배가 활발하게 이루어진 곳으로 볼 수 있다(Statistics Korea, 2023). 양액재배 방식은 토양이 아닌 수용액 등일 이용하여 작물을 성장시키는 방법으로써 최근 스마트팜의 도입과 함께 지속해서 이용 형태다가 증가하고 있다. 그러나, 농업 생산력에 대한 장점과 함께 재배로 인해 발생하는 폐양액, 폐배지, 폐기작물 등은 인근 하천 및 지하수, 토양 등의 오염을 유발하는 우려가 커진다(Ahn et al., 2014). 조사된 자료에 따르면 양액재배로 인한 배출 오염원은 일반 시설재배지에서 배출되는 오염원 농도 평균 T-N 150mg/L와 T-P 18mg/L에 비해 환경부 배출기준을 각각 4배, 30배 이상 초과하고 있는 것으로 나타났다(Cho, 2017).

이러한 양액재배가 주로 경작되는 지역은 작은 소하천이나 지방하천으로서 하천 본류에 비해 유량 등 수질 변화를 크게 일으킬 수 있는 곳에 있다. 지천의 수질관리가 중요한 이유는 여기서 발생하는 오염원이 하천 본류로 직유입되거나 강우로 인한 비점오염원 형태, 토양 침투 후 유출, 지하수 유출 형태 등 다양한 경로로 하천 본류에 영향을 미칠수

있기 때문이다. 따라서, 소하천의 오염원 유입 및 수질관리는 결국 본류 수질관리로 이어지게 된다.

EFDC 모델은 하천 및 호소, 하구 등에서 수리 및 수질 모의 분석을 위해 많이 사용되고 있는 모델로서 국내에서는 아산만 연안에서의 수질 분석(Lee et al., 2015), 한강에서의 오염사고 영향 분석(Kim et al., 2018), 낙동강 성층화 분석(Choi et al., 2017), 영산강 하구에서의 물흐름 특성 분석(Shin et al., 2019) 등 4대강에 폭넓게 적용되고 있다. 또한, 조류에 대한 파라미터와 예측을 강화하기 위한 연구(Ahn et al., 2023)등 도 진행되고 있다.

이를 위해 본 연구에서는 장기간 모니터링 자료를 이용하여 구축된 EFDC-NIER 모형을 이용해 지류의 본류 영향을 분석하고자 하였다. 이 연구 분석 결과는 지류에서의 모니터링 자료에 대한 활용방안과 유역 내 수질 개선 연구 자료로 도움을 줄 수 있으리라 판단된다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지역 선정

경상남도에 있는 남강은 시설재배가 많이 이루어지는 지역으로서 이전부터 농업지역에서 유입되는 오염원이 문제 시되고 있는 지역이다(Fig. 1). 남강 본류에는 남강 1~남강 7의 물환경측정망이 운영되고 있으며 최근 10년(2014~2023년)간의 구간별 영양염류 변화율을 분석한 결과, 남강 2~남강 3구간(T-N 50.19%, T-P 43.07%)과 남강 3~남강 4구간(T-N 26.98%, T-P 5.82%)에서 가장 큰 증가가 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 여기서, 남강 2~ 남강 3구

Table 1. Water Quality Change Rate(Unit: %)

Site	TOC	T-N	T-P	EC
Namg.1~Namg.2	11.07	0.16	27.56	-1.15
Namg.2~Namg.3	7.69	50.19	43.07	43.41
Namg.3~Namg.4	10.24	26.98	5.82	19.79
Namg.4~Namg.5	-4.61	2.05	0.67	11.54
Namg.5~Namg.6	5.21	-3.13	12.47	-7.91
Namg.6~Namg.7	11.31	2.70	-6.36	5.79

Table 2. Facilities Crop Cultivation Area

Streams	Facilities Crop Cultivation Area(km ²)	Rate(%)	Total Area(km ²)
Hachoncheon	0.66	21.92	3.01
Jinecheon	1.38	25.00	5.53
Hyangyangcheon	1.50	20.36	7.39
Hyunjicheon	1.35	77.12	1.76
Degokcheon	0.57	10.03	5.64
Banseongcheon	1.64	9.78	16.74
Sangjeongcheon	0.24	10.60	2.26
Jisucheon	0.22	14.19	1.53
Summury	7.56	17.24	43.84
Namgang mid watershed	37.12	3.13	1,185.08

간은 진주시 시내를 지나는 하천 구간으로서 진주시에서 발생하는 생활하수 등 환경기초시설 방류량 영향이 높을 것으로 판단되며 이 구간을 제외하면 남강 3~남강 4구간의 영양염류 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다. Table 1.에서 남강 3~남강 4구간의 Chl-a 증가율은 100.45%로서 전 구간에서 가장 높게 나타나고 있다.

남강 3~남강 4구간에서 유입되는 지천은 하촌천, 지내천, 향양천, 현지천, 대곡천, 반성천, 상정천, 지수천 8개 하천이 있으며 Table 2.에서 하천별 시설재배 면적을 검토한 결과, 8개 하천 총면적 43.84km²의 17.24%로 나타났으며 전체 남강중권역 시설재배 면적 37.12km²의 20.37%로 나타났다.

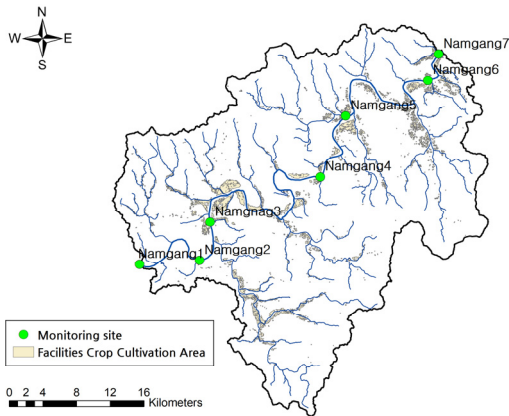


Fig. 1. Water Quality Monitoring site in Namgang Watershed

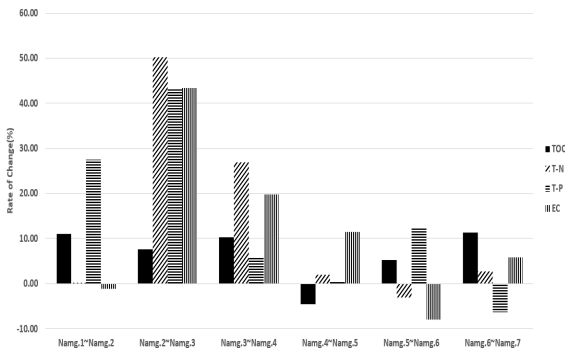


Fig. 2. Rate of change in Namgang Watershed

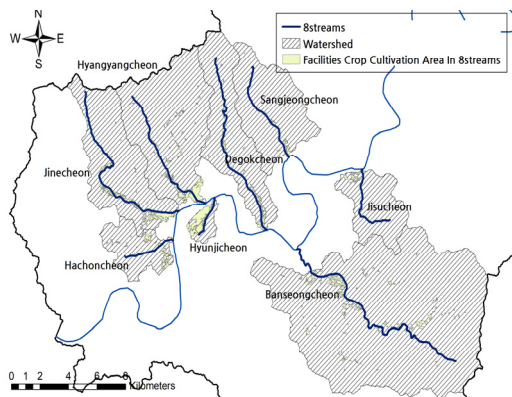


Fig. 3. Target watershed

따라서, 연구 대상 지역은 물환경측정망 남강 3~남강 4구간으로 선정하였으며 해당 구간은 남강 유역에서 시설재배지가 많이 분포하고 하천 수질에 영향이 큰 환경기초시설이 본류에 직접 유입하는 곳이 없어 지천에서의 유량 및 수질 영향을 파악하기에 적절한 곳으로 판단된다(Fig. 3).

2.2 모니터링 현황

낙동강물환경센터에서는 지난 2011년부터 낙동강 198개 지류·지천에 대하여 중점 관리지점에서는 월 1회, 일반 관리지점에서는 분기별 1회 유량 및 수질을 측정하고 있다. 측정되는 자료는 지방하천 및 소하천에서의 수질 및 하천환경을 관리하는 기초자료로서 중요한 자료이다. 측정되고 있는 자료는 기온, 수온, pH, 유량, 전기전도도, BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC, Chl-a, 분원성 대장균 수, 총 대장균이다. 대상 지역에는 하촌천 등 8개 하천이 유입되고 있으며 하촌천은 중점 관리지점이고 나머지 7개 하천은 일반관리지점으로 관리되고 있다.

2.3 EFDC-NIER 모델 구축

EFDC 모델은 1990년대 미국 Virginia Institute of Marine Science에서 개발되었으며 연안 및 하구, 호소, 하천 등의 수리 및 물질 이송을 모의할 수 있는 3차원 수치모델이다. EFDC 모델은 수리 및 수질, 유사 이송, 독성물질 등을 모의할 수 있다(Shin et al., 2017).

EFDC-NIER 모델은 국립환경과학원에서 EFDC 모델을 기초로 하여 대기능 보 운영 및 다중 조류 기작, 조류의 수직 이동 기작 등을 모의할 수 있도록 개선한 모델이며, 대기능 보 모듈은 보의 주요 수리구조물인 고정보, 가동보, 어도, 소수력발전을 통한 물 흐름을 모의할 수 있도록 개발되었다(Shin et al., 2019). 특히, EFDC는 수심이 얇은 수체에 대한 젖음/마름 현상을 모의할 수 있어 인공습지 등에서의 수체 거동을 가능하게 한다. 또한, 유동 및 확산 등의 물리적인 이동기작에 대한 정보는 비반응성 또는 반응성 수질 변수들의 모의를 위해 사용될 수 있다(Choi et al., 2017).

현재 EFDC-NIER 모델은 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)에서 프로그램 및 사용 지침서를 공개하고 있어 해당 자료를 이용하여 모형을 구축하였다.

3. 연구결과

3.1 8개 유입지천 수질 분석 결과

유입 지천에서의 10년간(2014~2023) 측정된 수질 현황을 분석하였다(Table 3., Fig. 4).

수질 평가 결과, 8개 하천의 평균 수질은 TOC 4.017mg/L (0.600~10.800mg/L), T-N 4.331mg/L (0.522~32.995mg/L), T-P 0.148mg/L(0.008~1.586 mg/L), EC 357 μ s/cm(75~1,179 μ s/cm)로 나타났다. 같은 기간 남강 3지점에서는 TOC 3.205mg/L, T-N 1.765mg/L, T-P 0.036 mg/L, EC

165 μ s/cm로 나타나고 남강 4지점에서는 TOC 3.267mg/L, T-N 2.206 mg/L, T-P 0.039mg/L, EC 186 μ s/cm가 나타나 지류에서의 수질이 본류보다 높게 나타났다. 구간의 상류 지점인 남강 3지점보다 하류인 남강 4지점 수질이 높게 나타나는 것은 유입 지천의 영향으로 판단된다.

지천 중에서는 현지천에서 수질 평균값이 가장 높게 나타나고 있고 편차도 크게 나타나 수질 변동성이 가장 크다고 볼 수 있다. 이는 유량 변화에 따라 수질 변화가 가장 심하다고 판단되며 계절별 변화가 클 것으로 예상된다. 현지천은 앞서 조사한 시설재배 면적 비율(77.12%)이 타 하천들(9.78~25.00%)에 비해 높아 시설재배지로부터의 영향이 클 것으로 예상된다.

Table 3. Water quality status

Site	Division	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	EC (μ s/cm)
Hachoncheon	MAX.	10.8	10.696	0.606	472
	MIN.	1.6	1.535	0.056	122
	AVG.	4.4	4.069	0.187	359
	STDEV.	1.5	1.956	0.121	80
Jinecheon	MAX.	7.4	7.343	0.266	463
	MIN.	2.0	0.561	0.031	108
	AVG.	4.0	2.328	0.103	261
	STDEV.	1.2	1.515	0.051	84
Hyangyancheon	MAX.	7.4	5.633	0.231	386
	MIN.	2.2	0.522	0.025	96
	AVG.	4.0	2.091	0.081	217
	STDEV.	1.1	1.179	0.048	62
Hyunjicheon	MAX.	9.3	32.995	0.919	752
	MIN.	2.2	1.257	0.047	75
	AVG.	4.9	7.743	0.229	381
	STDEV.	1.4	5.597	0.151	145
Deokgokcheon	MAX.	8.5	5.155	0.153	1179
	MIN.	2.1	0.775	0.017	120
	AVG.	3.6	2.069	0.065	463
	STDEV.	1.2	0.905	0.034	232
Banseongcheon	MAX.	7.2	10.800	1.586	1107
	MIN.	2.0	0.815	0.018	133
	AVG.	3.6	2.153	0.114	462
	STDEV.	1.3	1.631	0.248	242
Sanjeongcheon	MAX.	3.7	5.094	0.130	950
	MIN.	0.6	0.900	0.008	96
	AVG.	1.8	2.256	0.048	327
	STDEV.	0.8	1.020	0.026	228
Jisucheon	MAX.	7.3	4.804	0.214	939
	MIN.	1.0	0.602	0.008	104
	AVG.	2.7	1.697	0.056	307
	STDEV.	1.5	0.769	0.040	147
Namgang 3	MAX.	6.5	7.056	0.205	198
	MIN.	1.6	0.438	0.001	137
	AVG.	3.2	1.765	0.036	165
	STDEV.	0.8	1.162	0.031	18
Namgang 4	MAX.	8.0	6.805	0.157	231
	MIN.	1.7	0.665	0.007	152
	AVG.	3.3	2.206	0.039	186
	STDEV.	0.9	1.111	0.021	25

Table 4. Correlation analysis for each water quality

Site	TOC	T-N	T-P	EC
Hachoncheon	0.344	0.656	0.474	0.049
Jinecheon	0.789	0.944	0.652	0.675
Hyangyancheon	0.721	0.713	0.570	0.539
Hyunjicheon	0.203	0.879	0.222	0.820
Degokcheon	0.228	0.496	0.455	0.741
Bansungcheon	0.520	0.588	-0.152	0.597
Sangjungcheon	0.673	-0.255	0.561	0.680
Jisucheon	0.785	0.484	0.401	0.361

3.2 본류와 지천 간의 오염원 상관성 분석

유입 지천과 유출지점인 남강4 지점과의 오염원별 상관성을 분석하였다. 오염원별 영향을 주는 요소가 많아 단순 지점에 따른 상관성 분석은 직접적인 상관성을 판단하기에 근거가 부족하다고 볼 수는 있지만 평상시(청천시) 측정자료에서는 기저유출이나 지하수 영향 등을 간접적으로 영향을 볼 수 있다고 판단된다. 상관성 분석 방법은 Pearson 상관계수 방법을 적용하였다. 아래 Table 4.는 오염물질 간의 상관성 분석 결과이다.

분석 결과, 오염원별 상관성은 TOC, T-N, EC가 T-P보다 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 특히 T-N(최대 0.944)과 EC(최대 0.820)의 상관성이 높게 나타나 영양물질과 기저유출 등 지하수로부터의 연관성이 하천 본류에 영향을 미치고 있다고 판단된다. EC로 인한 지하수 상관성 영향은 지하수 내 이온 용해도에 의해 영향을 받아 용해된 물질이 지하수를 통해 하천수로 유입되어 전기전도도가 높게 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 지류별로 상관성을 분석해 보면 TOC는 지내천과 향양천, 지수천에서 높은 상관성을 나타내고 있으며 T-N은 지내천과 현지천, T-P는 지내천과 향양천, EC는 현지천과 덕곡천에서 높은 상관성을 나타내고 있다.

본 연구에서 관심을 많이 갖는 영양물질의 경우 T-N은 지내천과 현지천에서 높은 상관성을 보이고 있으며 현지천은 EC 상관계수도 높게 나타나고 있어 지하수 혹은 기저유출을 통한 양이온 영향이 남강 본류에도 영향이 있다고 볼 수 있다. T-P는 지내천과 향양천에서 상관성이 높게 나타나고 있으며 TOC와 상관성이 높은 지역에서 높은 상관성을 나타내고 있다.

3.3 지류의 유달부하량의 본류에서의 기여율 분석

유달부하량을 분석하여 하천 본류에서의 기여율을 분석하였다. 지류에서의 영향 시기를 파악하기 위해 계절별로 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 구분하여 분석하였으며 유입 지류와 연구지역에서의 남강본류 말단지점의 남강4 지점에서의 유달부하량을 비교하였다 (Table 5.~Table 7.).

오염원별 분석 결과, TOC는 봄철이 11.83%로 가장 높고 여름철이 4.13%로 가장 낮게 나타났으며 T-N은 봄철 비율이 13.31%로 가장 높게 나타났고 가을철이 5.71%로 가장 낮게 나타났다.

T-P는 봄철 비율이 24.47%로 가장 높게 나타났고 가을철이 6.17%로 가장 낮게 나타났다. 오염원별 기여율은 봄철의 T-P와 T-N이 가장 높게 나타나는 것으로 검토되었다. 계절별로는 봄철이 8.38~24.47%, 겨울철이 4.31~21.05%의 기여율이 나타나고 여름철 3.36~7.06%, 가을철 3.14~6.17%로 나타나 상대적으로 봄과 겨울철 기여율이 여름과 가을보다 큰 것으로 나타났다. 유량이 상대적으로 많은 여름과 가

을은 지천과 같은 작은 유역에서 유입되는 오염원에 비해 상류에서 유입되는 오염원 영향이 더 큰 것으로 파악되며 유량이 적은 시기에는 유입되는 지천에서의 영향이 커지는 것으로 파악된다. 따라서, 본류의 수질을 관리하기 위해서는 지류의 영향이 큰 봄과 겨울철 저·갈수기시 유량 구간에서의 관리가 필요하다.

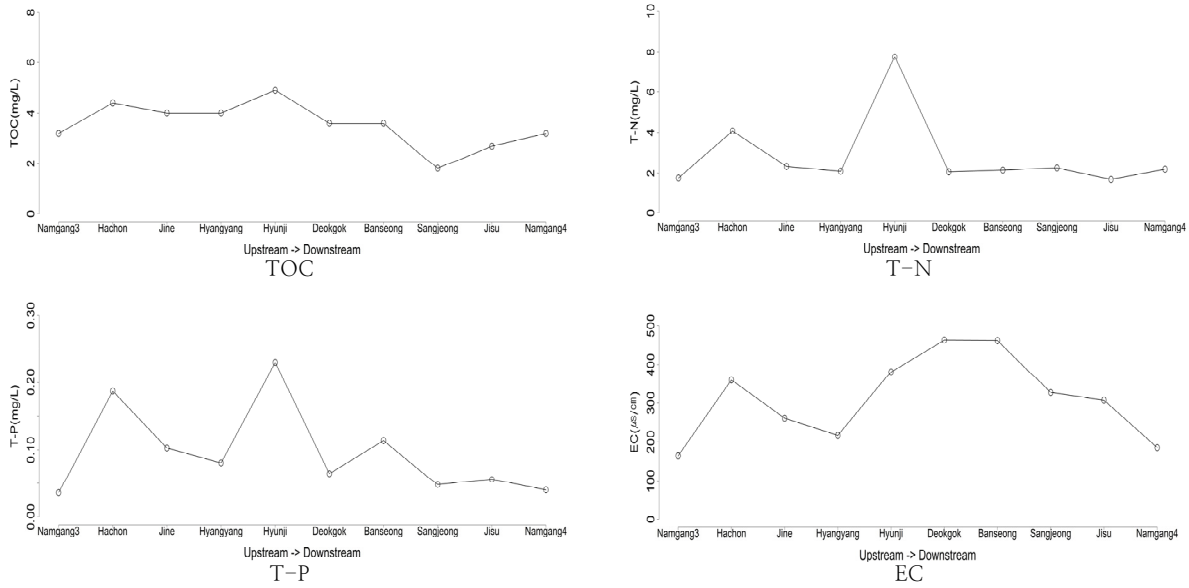


Fig. 4. Water quality status from upstream to downstream

Table 5. TOC Rate of Tributary(Unit: %)

Site	Delivery Load(kg/day)				Rate of Tributary by Namgang4(%)			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Hachoncheon	90.07	32.51	31.05	38.60	0.67	0.08	0.14	0.75
Jinecheon	209.41	189.54	185.22	49.20	1.55	0.48	0.81	0.95
Hayangcheon	836.99	137.19	280.27	19.38	6.21	0.34	1.23	0.38
Hyunjicheon	23.47	252.23	67.87	10.73	0.17	0.63	0.30	0.21
Degokcheon	235.59	62.10	142.64	26.32	1.75	0.16	0.62	0.51
Bansungcheon	152.80	775.71	264.59	141.59	1.13	1.94	1.16	2.75
Sangjeongcheon	11.64	145.19	7.29	6.44	0.09	0.36	0.03	0.13
Jisucheon	35.63	53.96	4.31	7.12	0.26	0.14	0.02	0.14
Namgang4	13,486.65	39,887.99	22,841.22	5,154.49	11.83	4.13	4.30	5.81

Table 6. T-N Rate of Tributary(Unit: %)

Site	Delivery Load(kg/day)				Rate of Tributary by Namgang4(%)			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Hachoncheon	75.99	20.49	30.00	33.14	0.88	0.14	0.27	0.54
Jinecheon	123.21	51.93	105.43	128.10	1.43	0.36	0.94	2.09
Hayangcheon	615.55	49.11	160.00	16.12	7.13	0.34	1.43	0.26
Hyunjicheon	24.99	128.88	47.82	33.67	0.29	0.90	0.43	0.55
Degokcheon	188.85	31.22	97.20	22.50	2.19	0.22	0.87	0.37
Bansungcheon	62.59	504.50	185.63	164.41	0.73	3.51	1.66	2.69
Sangjeongcheon	17.26	86.02	8.46	8.80	0.20	0.60	0.08	0.14
Jisucheon	40.41	32.95	5.38	8.58	0.47	0.23	0.05	0.14
Namgang4	8,629.72	14,377.99	11,211.38	6,116.07	13.31	6.30	5.71	6.79

Table 7. T-P Rate of Tributary(Unit: %)

Site	Delivery Load(kg/day)				Rate of Tributary by Namgang4(%)			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Hachoncheon	2.55	2.15	1.19	1.05	1.42	0.31	0.25	1.81
Jinecheon	5.54	7.04	5.68	1.40	3.08	1.01	1.17	2.41
Hayangcheon	25.00	4.40	8.28	0.18	13.90	0.63	1.71	0.32
Hyunjicheon	0.99	12.28	3.14	0.44	0.55	1.77	0.65	0.75
Degokcheon	5.66	1.74	3.86	0.44	3.14	0.25	0.80	0.77
Bansungcheon	3.18	17.45	7.30	8.46	1.77	2.51	1.51	14.59
Sangjeongcheon	0.21	2.93	0.22	0.10	0.12	0.42	0.05	0.16
Jisucheon	0.90	1.07	0.17	0.14	0.50	0.15	0.03	0.24
Namgang4	179.93	694.57	483.78	57.94	24.47	7.06	6.17	21.05

오염원 중에서는 T-P > T-N > TOC 순으로 기여가 높게 나타나고 있어 농업 경작 및 가축에서 발생하는 오염원은 지류로부터의 영향이 크고 생활계 영향의 탄소계 유기물질은 환경기초시설의 방류 등으로 본류 상류의 영향이 큰 것으로 판단된다.

3.4 EFDC 모형 구축

모형은 2019년부터 2023년까지 기간을 구축하였다. 모의에 필요한 수질 요소는 수온, 조류 3항목(남조류, 규조류, 녹조류), 유기 탄소계 3항목(RPOrg-C, LPOrg-C, DOrg-C), 인 4항목(RPOrg-P, LPOrg-P, DOrg-P, PO4-P), 질소 5항목(RPOrg-N, LPOrg-N, DOrg-N, NH4-N, NO3-N), COD, DO 등을 입력하였으며 유량과 수위 자료를 함께 구축하였다.

대상 구간의 상류는 남강3 지점에서의 수질과 유량은 덕오리 관측자료를 사용하였으며 하류 경계조건은 남강4 지점의 장박교 수위 관측자료를 사용하였다. 본 연구의 공간적 범위는 남강 중류의 수질측정망 남강3 지점부터 남강4 지점 사이로서 모형에는 1,321개의 격자와 10개 층으로 해당 수체 구간을 구축하였다(Fig. 5).

3.5 지천 수질 개선에 따른 수질변화 모의

유입되는 수질에 대한 모의는 계절별로 구분하여 모의하였으며 유입되는 오염원을 20% 저감 했을 경우 남강 본류에서의 변화를 분석하였다. 대표 하천으로 현지천을 대상으로 분석하였으며 분석항목은 TOC, T-N, T-P이고 비교 수질은 남강4 지점을 대상으로 모의하였다.

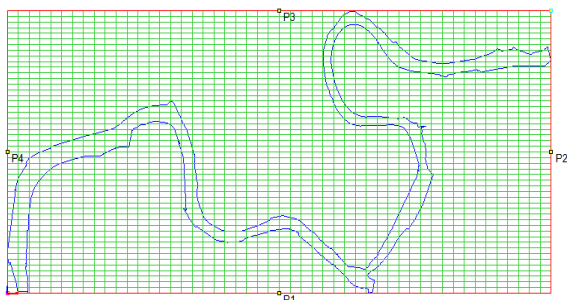


Fig. 5. EFDC Target basin grid

분석 결과, Table 8.~Table 10.에서 TOC, T-N, T-P 모두 겨울철의 저감률이 가장 높고 가을철 저감률이 낮은 것으로 나타났다. 이는 앞서 하천에서의 기여율의 결과와 같은 것으로서 하천유량이 적은 계절에 저감효과가 더 큰 것으로 나타난다(Fig. 7).

Table 8. Comparison of TOC changes

Season	Present	After reduction	Rate of Change
Spring	7.136	7.122	-0.201
Summer	2.269	2.266	-0.131
Fall	1.798	1.797	-0.081
Winter	6.251	6.236	-0.249

Table 9. Comparison of T-N changes

Season	Present	After reduction	Rate of Change
Spring	2.375	2.333	-0.963
Summer	0.626	0.625	-0.166
Fall	0.589	0.587	-0.210
Winter	4.843	4.762	-1.662

Table 10. Comparison of T-P changes

Season	Present	After reduction	Rate of Change
Spring	0.117	0.116	-0.199
Summer	0.051	0.051	-0.161
Fall	0.048	0.048	-0.005
Winter	0.113	0.113	-0.209

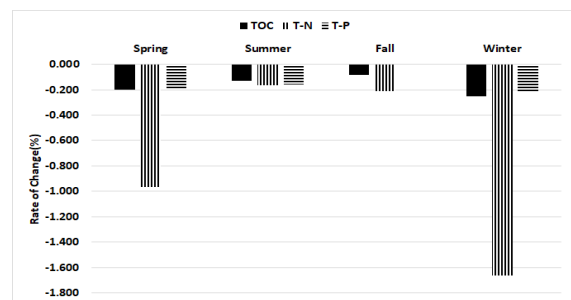


Fig. 6. Water quality Status

겨울철 TOC는 -0.249% , T-N은 -1.662% , T-P는 -0.209% 로 로서 가장 저감이 많이 되고 있으며 가을철 TOC -0.081% , T-N -0.210% , T-P -0.005% 로 가장 적게 감소되는 것으로 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 낙동강 지류에서의 수질모니터링 자료를 이용하여 지천에서의 수질 변화를 평가하고 EFDC-NIER 모델을 이용하여 남강 본류에서의 수질 영향을 평가하였다.

- 1) 분석 대상 지역에 유입되는 8개 하천에서의 수질을 검토하였다. 검토 결과, T-N 등 유입 지천에서의 수질 농도가 본류보다 높게 형성되어 있는 것으로 확인되었고 남강3 지점에서 남강4 지점으로 하류로 수질 농도가 높게 나타나 유입 지천으로의 오염 영향이 있다고 판단된다. T-N 농도가 가장 높게 나타난 지천은 현지천으로서 시설재배 면적 비율도 가장 높은 것으로 확인되었다.
- 2) 남강4 지점과 8개 하천에서의 수질 간의 상관성을 검토하였다. 검토 결과, 오염원별로는 T-N과 EC의 상관성이 높게 나타나는바 지류에서의 영양물질과 지하수, 기저유출 등의 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한, 지류와의 상관성을 보면 T-N과 EC의 상관성이 높은 현지천은 기저유출 및 지하수를 통해 오염물질이 배출되는 것으로 판단되며 현지천의 시설재배 면적 비율이 타 지천보다 높아 시설재배로부터의 영향이 있다고 판단된다.
- 3) 유입 지천에서의 유달부하량과 남강4 지점에서의 유달부하량을 비교하여 지천의 하천 본류에 대한 기여율을 산정하였다. 계절별 검토 결과, 봄철과 겨울의 기여율이 큰 것으로 나타났고 여름철이 상대적으로 낮았다. 이는 유량이 상대적으로 적은 지천에서는 유량의 영향을 큼으로 강우가 적은 겨울철과 봄철에 지천의 유입으로 인한 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한, 오염원 중에서는 T-P와 T-N의 기여율이 높게 나타나고 있어 지류로부터 농업 경작 및 가축에서 발생하는 오염원의 영향이 높은 것으로 판단된다.
- 4) 모형은 2019년부터 2023년까지 기간을 구축하였으며 탄소계 및 영양염류 등이 모의 가능하도록 모형을 구축하였다. 대상 구간의 상류는 남강3 지점에서의 수질과 유량자료를 사용했으며 하류 경계조건은 남강4 지점의 장박교 수위 관측자료를 사용하였다.
- 5) 지천에서의 유입 오염물질 저감에 따른 하천 본류에서의 영향을 계절별로 평가하였다. 대표 하천으로 현지천을 대상으로 분석하였으며 분석 결과, TOC, T-N, T-P 모두 겨울철의 저감률이 가장 높고 가을철 저감률이 낮은 것으로 나타났다. 이는 앞서 하천에서의 기여율의 결과와 같은 것으로서 하천유량이 적은 계절에 저감효과가 더 큰 것으로 나타난다.

지류 지천은 유역내 하천 본류에 영향을 미치는 영향 요소로서 해당 유역에서의 오염원에 따라 본류 수질에 영향을 미친다. 본 연구 대상지역에서의 유입 하천에서는 기초시설 외 농업 경작 및 축산 등의 오염 발생이 이루어지는 곳으로서 유량이 적은 봄, 겨울철 본류에 영향을 많이 미치고 있다. 또한 토지이용 형태로 볼 때 시설경작 면적이 다른 지역보다 넓게 분포되어 있어 시설경작 형태에 따른 오염원 관리가 필요한 곳이며 최근 생산력 제고를 위한 양액재배가 많이 이루어지고 있어 해당되는 영농에 따른 영향이 클 것으로 판단된다. 본 연구에서는 본류에 영향을 미치는 유입 지류-지천에 대하여 장기간 모니터링 자료를 통해 지천에서의 특성을 분석하고, 하천 본류 구간과의 상관성 및 기여율 등을 평가하였다. 또한, EFDC-NIER 수질 모형을 구축하여 지천에서의 수질개선에 따른 하천 본류 구간에서의 계절별 변화율을 검토하였다. 본 연구를 통해 유입 지천에 대한 관리 방향 등을 검토하는데 유용한 자료로 판단되며 향후 시나리오별 저감대책 등을 통해 본류에서의 수질개선 효과를 통해 관리대책 수립에도 활용할 수 있다. 또한 1년 및 장기간의 모의를 통해 하천 수질개선을 위한 종합적인 관리틀로 활용될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 낙동강수계관리기금 환경기초조사사업 “낙동강수계 지류-지천 장기 모니터링 및 목표수질 달성도 평가(8차년도)” 연구과제를 통해 수행되었습니다.

References

- Ahn, T. I., Kim, D. Y. and Son, J. E., 2014. Investigation of colony forming unit (CFU) of microorganisms in the aprika-grown greenhouses using open and closed soilless culture systems. *Horticultural Science and Technology* 32(1): 46-52. doi:10.7235/hort.2014.13103.
- Ahn, J. M., Kim, J. W.m Kwak, S. H. and Kang, T. G., 2023. Optimized Microcystis Prediction Model Using EFDC-NIER and LH-OAT Method, *Journal of Civil Engineering*, 27(3), 1066-1076. doi: 10.1007/s12205-023-1886-y.
- Choi, H. G., Han, K. Y., and Park, J. H., 2017. Reproducibility evaluation of stratification using EFDC model in Nakdong river, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 37(3), 561-573. doi: https://doi.org/10.12652/Ksce. 2017.37.3.0561
- Cho, J. Y., 2017. Development of application technology for reuse of hydroponic waste solution. *Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET)*: 1-5.

- Kim, E. J., Park, C. M., Na, M. J., Park, H. Y., and Kim, B. S., 2018. Impact analysis of tributaries and simulation of water pollution accident scenarios in the water source section of Han River using 3-D hydrodynamic model, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(4), 363-374. doi: 10.15681/KSWE.2018.34.4.363
- Lee, H. D., Ahn, T. J., and Kim, K. S., 2015. Simulations of the water temperature & circulation in the Assan Bay using EFDC Model, *Journal of Korean Society of Environmental Technology*, 16(6), 566-573. doi: 10.15681/KSWE.2019.35.6.580
- Lee, S. Y., Y. C. Kim, 2019. Water treatment for closed hydroponic systems. *Journal of Korean Soc. Environ. Eng.*, 41(9): 201-213. doi:10.4491/ksee.2019.41.9.501
- Shin, C.M., Min, J.H., Park, S.Y., Choi, J.K., Park, J.H., Song, Y.S., Kim, K.H., 2017. Operational water quality forecast for the Yeongsan River using EFDC model, *J. of Korean Society on Water Environment*, 33(2), pp. 219-228. doi: 10.15681/KSWE.2017.33.2.219
- Shin, C. M., Kim, D., and Song, Y., 2019. Analysis of hydraulic characteristics of Yeongsan river and estuary using EFDC model, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(6), 580-588. doi: 10.15681/KSWE.2019.35.6.580
- Statistics Korea(KOSIS) https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0017&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE (accessed Jul. 2024)