

하천등급화 모델을 이용한 삽교호 수질관리 방안에 관한 연구

최정호^{a,†} · 김홍수^b · 조병욱^c · 박상현^d · 이무규^e

충남연구원 물환경연구센터

Water Quality Management Planning for the Lake Sapgyo by Stream Grading Method

Jeongho Choi^{a,†} · Hongsu Kim^b · Byunguk Cho^c · Sanghyun Park^d · Mukyu Lee^e

Water Environment Research Center, Chungnam Institute

(Received 21 January 2020, Revised 16 April 2020, Accepted 23 April 2020)

Abstract

Water quality improvement projects are being implemented without predicting the effect of water quality improvement on Lake Sapgyo. As the method of selecting the target stream for the effective conduct of water quality improvement projects the method of rating the streams were studied. To build a stream grading method, 60 major streams in the Lake Sapgyo system were monitored. The selection method of rivers subject to priority management for water quality improvement was applied to the stream grading method using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The analysis of importance by site by stream grading method revealed the following: water quality (36.0%), flow (26.1%), travel load (13.4%), TMDL density (12.0%), TMDL (8.9%), and area (3.7%). The pollution level of the river was scored by using the stream grading method, and the ranking of 51 streams was calculated. Based on this, the group was classified into six grades (A-F). Among the groups, the F and E groups were selected as the priority management streams. Cheonan-Cheon (Cheonan City) was selected as the first stream to establish water quality improvement measures in the Lake Sapgyo system, and Sewoo-Cheon (Dangjin City) was selected as the second site, and Oncheon-Cheon (Asan City) was selected as the third site. Each local government is expected to improve the water quality improvement effect with limited resources when establishing and implementing water quality improvement measures for the streams (F group, E group) to be managed in this study.

Key words : AHP(Analytic Hierarchy Process), Lake Sapgyo, Stream grading method, Total maximum daily load

^{a,†} Corresponding author, 책임연구원(Senior researcher), kongbi79@cni.re.kr, https://orcid.org/0000-0002-1775-8155

^b 센터장(Managing Director), adonis@cni.re.kr, https://orcid.org/0000-0002-2579-2871

^c 전임연구원(Full-time researcher), evan38@cni.re.kr, https://orcid.org/0000-0001-7124-0456

^d 전임연구원(Full-time researcher), king7302@cni.re.kr, https://orcid.org/0000-0001-9983-2752

^e 연구원(Researcher), moo1221@cni.re.kr, https://orcid.org/0000-0003-1107-2248

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.

1. Introduction

삼교호는 1979년 농업용수 공급을 위하여 조성되었으나 그간 수질이 지속적으로 악화되고 있어 수질 개선을 위한 대책이 필요한 상황이다. 삼교호 수계는 종전의 배출허용 기준 중심의 규제방식으로는 수질개선에 한계가 있어 환경부 및 지자체에서는 삼교호 수질개선을 위해 수질오염총량제를 도입하기로 하였다(Chungcheongnam-do, 2018). 그러나 삼교호 전체면적(1,632km²) 중 가장 큰 면적을 차지하는 삼교천과 무한천이 제외된 약 30%(곡교천, 천안천, 남원천)에 해당하는 면적만 제도를 시행함에 따라 삼교호 수질개선에 한계가 있을 것으로 판단된다(Choi et al., 2019).

삼교호의 수질개선을 위하여 ‘삼교천 중권역 물환경관리계획(ME, 2018)’, ‘삼교호수계 충청남도 수질오염총량관리 기본계획(Chungcheongnam-do, 2018)’, ‘삼교천 단위유역 유역하수도 정비계획(ME, 2017)’ 등이 수립되어 시행되고 있다. 또한 충청남도에서는 삼교호의 수질개선을 위해 충남도 및 시·군, 유관기관이 참여하는 ‘삼교호수계 물관리 대책협의체’를 운영하고 있으나, 삼교호에 수질개선효과에 대한 예측 없이 수질개선 사업이 시행되고 있는 문제점이 있다. 또한 수질개선사업 수립시 제한된 비용으로 최대한의 수질개선 효과를 보기 위하여 선택과 집중이 필요한 실정이다.

정부는 4대강 물관리 종합대책을 수립하고, 삭감시설을 확충하는 등의 노력을 하고 있다. 그렇지만 대부분의 지방자치단체에서는 대상 하천에 대한 정확한 진단이나 체계화된 방법이 아닌 지방자치단체의 지역적 특성이나 재정적인 측면에 의해 삭감시설이 설치되고 있어 시설에 대한 효과를 담보할 수 없는 실정이다(Kim et al., 2007).

한정된 재원으로 효율적인 수질개선 사업을 추진하기 위하여 수질개선 우선순위 하천을 결정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 삼교호수계 내 주요하천 60개소에 대하여 모니터링을 실시하고 수질, 유량, 오염부하량, 면적 등을 활용하

는 ‘하천등급화’ 방법을 사용하여 우선관리 대상하천을 선정하여, 삼교호수계 내 주요하천의 수질개선 계획수립시 우선순위 기준을 제시하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1 유역구분 및 오염부하량 산정

소유역 구분을 위하여 1/5,000 축척의 수치지형도와 1/25,000 축척 자료를 기반으로 수계망도를 백터중첩하여 흐름방향을 결정하고 흐름누적을 산정한 후 하천셀 집적도에 따라 유역을 생성하였다. DEM 자료의 공간분석은 ArcGIS와 SPATIAL ANALYST, ARCHYDRO extension을 사용하여 총 4개 단위 유역(삼교천, 무한천, 곡교천, 남원·도고천) 63개의 소유역으로 구분한 자료(Choi et al., 2019)를 활용하였다(Fig. 1). 오염원은 2017년 (<https://wems.nier.go.kr>) 자료(ME, 2019)를 사용하였으며, 오염물질 배출량은 ‘수질오염총량관리 기술지침’에 따라 배출유량과 배출부하량(BOD, T-N, T-P)으로 구분하여 배출유형별로 산정하였다(NIER, 2014).

2.2 주요하천 수질·유량 모니터링

삼교호수계 내 주요하천에 대하여 수질·유량 모니터링을 실시하였다. 측정위치는 흐름을 저해하는 구조물이 없고, 흐름이 안정되며, 특정시기(갈수기, 홍수기)에도 동일한 위치에서 측정이 가능한곳으로 삼교천 18개소(본류 3개소, 유입지류 15개소), 무한천 18개소(본류 2개소, 유입지류 16개소), 곡교천 20개소(본류 3개소, 유입지류 17개소), 남원·도고천 4개소(본류 1개소, 유입지류 3개소)로 총 60개 지점을 선정하였다(Fig. 2). 측정횟수 및 측정주기는 2018년 1월~12월까지 월 1회 주기로 총 12회를 측정하였다. 수질분석 항목은 6개(BOD₅, COD_{Mn}, TOC, T-N, T-P, SS)이며, 현장측정 항목은 5개(유량, 수온, pH, DO, 전기전도도)로 현장에서 직접 측정하였다.

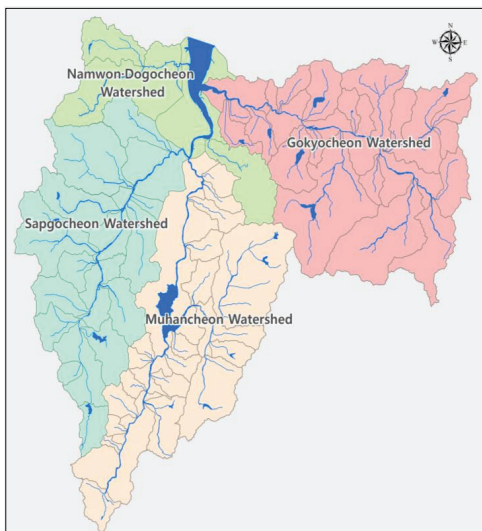


Fig. 1. Unit watershed at Lake Sapgyo.



Fig. 2. Tributary monitoring points.

2.3 우선관리 대상하천 선정

유역 내 오염원의 제어 및 하천의 수질 개선을 효과적으로 달성하기 위해서는 해당 하천유역을 정확히 진단하고, 개선이 필요한 하천유역을 선정하여 제한된 재정여건에서 선택과 집중을 통한 방법이 중요하다. 더불어 하천의 수질을 유지관리하기 위해서는 무엇보다도 체계적이고 정확한 하천의 평가가 이루어져야 한다. 따라서 하천을 관리하기 위하여 다양한 관점에서 과학적이고 체계적인 하천 평가에 대한 지표 및 지수화가 필요하며, 하천 수질개선의 우선순위를 결정하기 위한 등급화 기준을 마련할 필요가 있다(Kim et al., 2007).

우선관리 대상하천을 선정하기 위한 등급화 연구사례로는 수질 및 유량을 활용하여 4개 그룹으로 분류한 하천그룹화(Kim et al., 2007)방법, 하천 자연도 및 토지이용도 등을 사용하여 하천 환경기능에 초점을 두는 하천평가등급화(Kim et al., 2004)방법, 하천집도, 경사도, 비점배출부하밀도(BOD, T-N, T-P)을 활용하여 등급을 분류하는 비점오염원관리(Park, 2010)방법, 수질, 유량, 면적, 오염부하량등의 자료를 사용하여 계층적 의사결정방법에 적용한 하천등급화(Park, 2012)방법 등이 있다.

본 연구에서는 우선관리 대상하천을 선정하는 방법으로 ‘하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 등급화 모델 개발(Park, 2012)’에서 사용한 ‘하천등급화’ 방법을 사용하였다. ‘하천등급화’ 방법은 하천의 다양한 인자(수질, 유량, 오염부하량, 면적, 유달부하량)을 고려하여 모델을 구축하고 계층적 의사결정방법 (Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 검증절차를 통해 각 항목별 가중치 산정 및 중요도를 평가하여 우선관리 대상하천을 선정하였다.

Table 1. Si-Gun watered area

Si-Do	Si-Gun	Total area(km ²)	Area in Watershed (km ²)	Si · Gun share(%)	Area in Watershed(km ²)			
					Sapgyo -cheon	Muhan -cheon	Gokyo -cheon	Namwon · Dogo-cheon
Sejong-Si	Sejong-si	464.9	23.0	1.4%	0.0	0.0	23.0	0.0
Chungcheongnam-do	Cheonan-si	646.1	191.7	11.8%	0.0	0.0	191.7	0.0
	Asan-si	542.2	397.3	24.4%	0.0	13.5	323.2	60.6
	Dangjin-si	704.3	191.4	11.8%	49.0	0.0	0.0	142.4
	Cheongyang-gun	479.2	122.3	7.5%	0.0	122.3	0.0	0.0
	Hongseong-gun	444.0	186.7	11.5%	164.1	22.6	0.0	0.0
	Yesan-gun	542.6	513.4	31.6%	212.6	300.8	0.0	0.0
Total		3,823.3	1,625.9	100.0%	425.8	459.2	537.9	203.0

Table 2. Current status and evaluation ratings for the water quality at Lake Sapgyo

Year	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-P (mg/L)	Evaluation Class	
				TOC	T-P
2009yr	4.5	5.3	0.210	IV	VI
2010yr	3.4	4.9	0.245	III	VI
2011yr	6.1	6.0	0.210	IV	VI
2012yr	4.5	5.6	0.163	IV	VI
2013yr	3.5	4.9	0.192	III	VI

Year	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-P (mg/L)	Evaluation Class	
				TOC	T-P
2014yr	4.4	5.8	0.164	IV	VI
2015yr	4.9	5.8	0.132	IV	V
2016yr	5.5	7.2	0.154	V	VI
2017yr	5.2	7.3	0.194	V	VI
2018yr	4.6	4.8	0.184	III	VI

3. Results and Discussion

3.1 유역현황

삼교호수계의 총 유역면적은 1,625.9km²이며 이중 충청남도가 1,602.9km²로 전체면적의 98.6%, 세종특별자치시 23.0km²로 1.4%를 차지하고 있다. 각 시 · 군별로는 예산군 31.6%, 아산시 24.4%, 천안시 11.8%, 당진시 11.8%, 홍성군 11.5%, 청양군 7.5%, 세종특별자치시 1.4% 순이다. 삼교호수계의 유역현황을 Table 1에 간략히 나타내었다(Choi et al., 2019).

3.2 삼교호 수질현황

『수질 및 수생태계 목표수질 평가 규정』에 따라 삼교호의 수질을 연도별로 평가한 결과 삼교호 중권역 목표수질인 생활환경기준 III등급(보통)을 목표수질 평가항목인 T-P, TOC 모두 초과하고 있어(Table 2) 목표수질 달성을 위하여 삼교호로 유입되는 오염하천에 대하여 수질개선이 필요한 실정이다.

3.3 주요하천 수질 · 유량 모니터링

삼교호로 유입되는 60개소 지류하천에 대하여 수질 및 유량 모니터링을 실시하였다. 삼교천, 무한천, 곡교천, 남원천의 생활환경기준 BOD는 III등급(보통), T-P는 III ~ IV등급(보통 ~ 약간나쁨)수준으로 나타났다. 개별하천에 대하여 온천천 및 천안천이 BOD 기준 IV등급(약간나쁨)수준이며, 천안천, 대천천은 T-P기준 V ~ VI등급(나쁨 ~ 매우나쁨) 수준으로 나타났다(Table 3), (Fig. 3).

Table 3. Water quality and flow monitoring results

Watershed	Stream	Flow (m ³ /s)	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-P (mg/L)
Sapgyocheon	Deogsan	0.292	1.5	2.7	0.067
	Sapgyo1	0.851	3.5	3.9	0.182
	Sapgyo2	1.603	2.4	3.4	0.120
	Sapgyo3	-	3.1	3.8	0.130
	Sangsong	0.088	4.2	4.9	0.225
	Seogwo	0.540	3.0	4.6	0.119
	Seongri	0.292	3.2	3.4	0.116
	Singyeong	0.164	0.9	2.7	0.041
	Yongbong	0.177	1.3	2.7	0.062
	Jangseong	0.044	2.8	3.6	0.050
	Jonghyeon	0.016	3.0	3.6	0.186
	Hapo	0.057	2.8	5.2	0.096
	Hongseong	0.124	1.3	2.3	0.106
	Hwayang	0.133	1.9	2.8	0.065
	Hyogyo	0.308	2.1	3.8	0.057
	Daecheon	0.533	2.8	3.2	0.375
	Gangchon	0.261	1.3	2.1	0.032
	Gulye	0.038	1.7	3.2	0.059
Muhancheon	Gungpyeong	0.028	1.1	2.5	0.157
	Gideog	0.048	0.9	1.9	0.032
	Nojeon	0.041	1.0	2.4	0.052
	Masa	0.017	2.6	5.4	0.130
	Muhan1	0.765	1.6	2.7	0.037
	Muhan2	-	2.9	4.3	0.199
	Bongnong	0.053	1.9	4.3	0.130
	Sanjeong	0.107	2.1	2.3	0.077
	Sujeong	0.050	0.8	2.1	0.031
	Simog	0.048	1.2	2.5	0.098
	Sinyang	1.793	1.4	2.4	0.047
	Sinheung	0.054	1.0	2.1	0.255

Watershed	Stream	Flow (m ³ /s)	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-P (mg/L)
Muhancheon	Yesan	0.090	1.5	2.2	0.153
	Yonggul	0.038	1.8	2.4	0.085
	Jangjeon	0.039	0.9	2.0	0.043
	Tanbang	0.182	1.6	2.9	0.053
	Haengjeong	0.075	1.6	2.8	0.023
	Hwasan	1.054	1.9	2.5	0.041
	Gokyo1	0.219	1.7	2.7	0.043
Gokyocheon	Gokyo2	4.495	3.9	4.1	0.242
	Gokyo3	-	4.1	4.9	0.213
	Maegok	0.236	3.1	3.6	0.127
	Maenggok	0.492	2.2	3.4	0.105
	Samlyong	0.076	2.3	3.0	0.112
	Sinchang	0.181	3.4	5.0	0.212
	Omok	0.217	4.0	5.0	0.115
	Onyang	1.071	1.9	2.9	0.048
	Oncheon	0.091	7.1	11.6	0.298
	Wacheon	0.083	3.3	3.7	0.120
	Yonggu	0.185	3.7	7.2	0.128
	Wonseong	0.128	3.2	3.9	0.262
	Eumbong	0.214	3.1	4.7	0.115
Jangjae	0.222	2.7	3.1	0.057	
Cheonan	2.881	6.1	5.5	0.419	
Pungseo	0.432	1.0	1.5	0.028	
Hagseong	1.525	3.8	4.3	0.162	
Hoelyong	0.222	1.2	2.1	0.089	
Yongdu	1.237	0.8	5.4	0.039	
Namwon · Dogocheon	Dogo	0.395	3.0	4.3	0.095
	Obong	0.462	3.4	4.6	0.206
	Namwon1	0.477	3.5	4.5	0.110
	Namwon2	0.939	3.6	4.6	0.140



BOD



T-P

Fig. 3. Water quality class at Lake Sapgyo tributaries.

주요하천의 수질분석 결과 BOD 기준 I 등급 하천이 27개소(45%)로 가장 많았으며, T-P는 III등급 하천이 22개소로(37%)로 가장 많은 것으로 나타났다. 삼교천 증편역 목표기준 III등급(보통) 이상인 하천비율은 BOD 기준으로 남원·도

고천 100%, 곡교천 60%, 삼교천 25% 조사 되었다. T-P의 경우 남원·도고천 75%, 곡교천 70%, 삼교천 56%, 무한천 30%로 조사 되었다(Table 4)(Fig. 4).

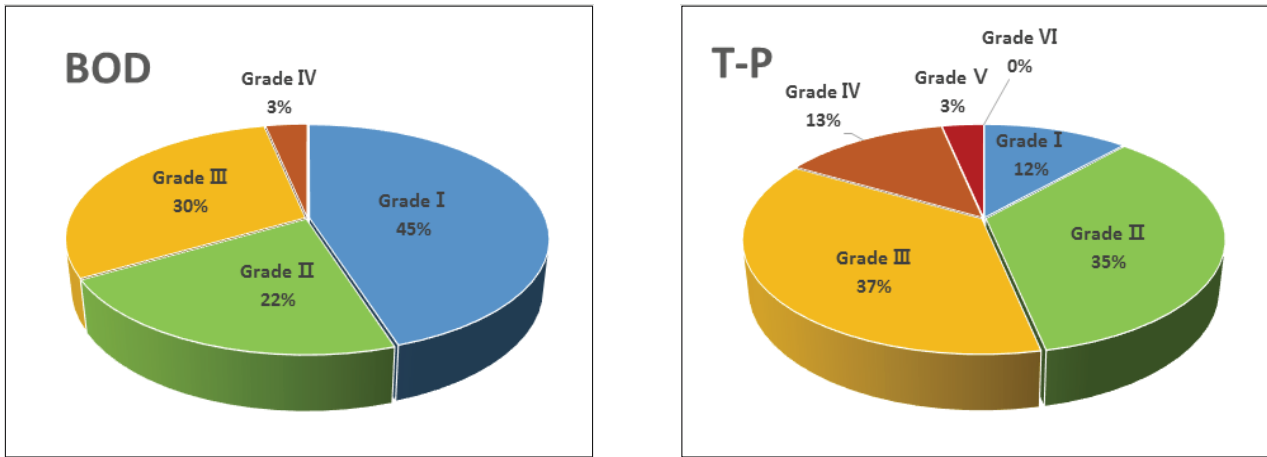


Fig. 4. Water quality class summaries(BOD, T-P).

Table 4. Water quality and flow monitoring results

Watershed	Water quality class(BOD)						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
Sapgyocheon	5	7	4	0	0	0	16
Muhancheon	17	3	0	0	0	0	20
Gokyocheon	5	3	10	2	0	0	20
Namwon · Dogocheon	0	0	4	0	0	0	4
Total	27	13	18	2	0	0	60

Watershed	Water quality class(T-P)						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
Sapgyocheon	0	7	7	1	1	0	16
Muhancheon	5	9	5	1	0	0	20
Gokyocheon	2	4	8	5	1	0	20
Namwon · Dogocheon	0	1	2	1	0	0	4
Total	7	21	22	8	2	0	60

Table 5. Results for total maximum daily load of pollutants

Parameters	Pollution	TMDL(kg/d)				Total
		Sapgyocheon	Muhancheon	Gokyocheon	Namwon · Dogocheon	
BOD	Population	2,422.59	1,367.01	9,173.02	1,051.79	14,014.41
	Livestock	6,248.34	3,054.63	2,974.64	2,131.37	14,408.98
	Industry	12.93	28.93	264.97	10.00	316.83
	Land use	2,149.48	1,595.64	2,928.24	1,008.49	7,681.85
	Fish farm	173.81	78.61	130.10	38.94	421.46
	Landfill	9.80	0.22	68.77	0.00	78.79
	Total	11,016.95	6,125.04	15,539.74	4,240.59	36,922.32
T-P	Population	83.26	84.90	365.62	39.93	573.71
	Livestock	591.49	252.73	240.59	202.28	1,287.09
	Industry	2.03	4.15	29.93	0.93	37.04
	Land use	203.09	142.49	208.80	88.89	643.27
	Fish farm	9.04	4.15	6.77	2.03	21.99
	Landfill	0.28	0.02	0.39	0.00	0.69
	Total	889.19	488.44	852.10	334.06	2,563.79

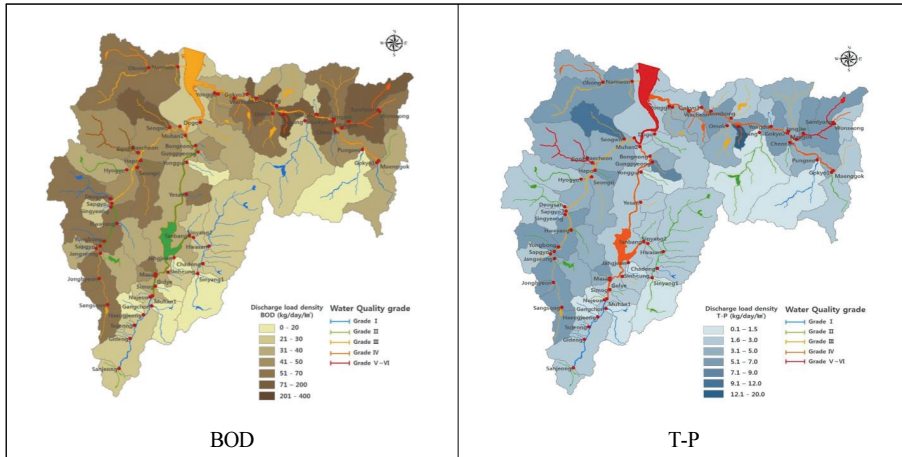


Fig. 5. Total maximum daily load by unit watersheds.

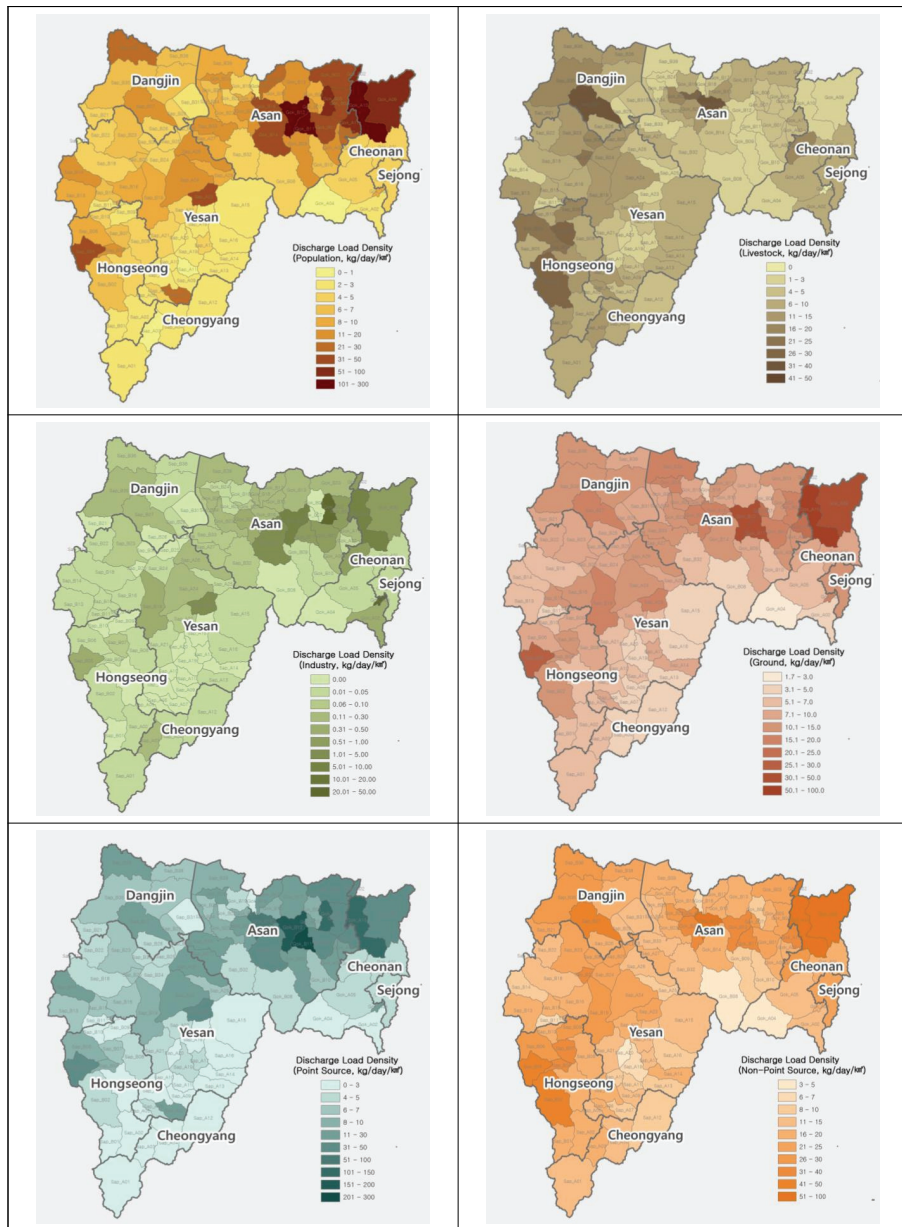


Fig. 6. Total maximum daily Density load with respect to pollution sources(BOD).

3.4 오염부하량 산정

단위유역별 오염부하량 산정결과 BOD, T-P 모두 축산계 배출부하량이 가장 큰 것으로 나타났으며, 그 뒤로 생활계, 토지계, 산업계 순으로 나타났다. 단위유역별로는 천안, 아산을 관류하는 곡교천유역에서 생활계 배출부하량이 가장 크게 나타났으며, 가축사육을 많이 하는 홍성, 예산을 관류하는 삼교천유역에서는 축산계 배출부하량이 크게 나타났다.

산업시설에 의한 오염물질 배출량은 곡교천유역(아산 탕정지구, 천안 산업단지)에서 가장 높게 나타났다. 특히 삼교호로 유입되는 주요하천 중 수질이 높은 곡교천이 위치한 곡교천유역의 경우 생활계(인구)에 의한 오염물질 배출량이 전체 배출부하량의 약 60%를 차지했다(Table 5), (Fig. 5).

3.5 하천등급화 모델 구축

본 연구에서는 우선관리 대상하천을 선정하기 위하여 1.수질(6), 2.유량(1), 3.면적(1), 4.배출부하량(3), 5.배출부하밀도(3), 6.유달부하량(6)을 고려하여 대분류 6개 항목, 소분류 20개 항목으로 구분하여 계층모형을 구축(Fig. 7)하였다. 평가항목간의 정량적인 분석의 기준이 없이 평가항목간의 상대적인 비교에 따라 가중치 값을 결정해야 하므로 평가항목별 쌍대비교를 통한 상대적인 중요도를 효과적으로 획득할 수 있는 AHP 기법을 활용하여 평가항목 가중치를 산정하였다. 각 항목별 점수는 하천을 오염시키는 정도에 따라 영향이 적으면 1점 영향이 크면 7점으로 구분하였다. 각 점수대별 분포는 7점(상위 5%), 6점(5~15%), 5점(15~35%), 4점(35~65%), 3점(65~85%), 2점(85~95%), 1점(95~100%)이며, 지표구간별 배점 및 범위는(Fig. 7)과 같다.

모든 평가항목을 쌍대비교 해야 하므로 설문에 대한 구체적인 이해와 집중이 필요하다. 따라서 전문가(교수, 박사, 연구원 등)들에게 하천 등급화 모델의 적합성, 평가부분 지표적합도, 평가부분 중요도, 평가부분별 항목의 중요도로 각각 쌍대비교를 통하여 그 중요도를 설문 조사하였으며, 설문지는 ‘하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 등급화 모델 개

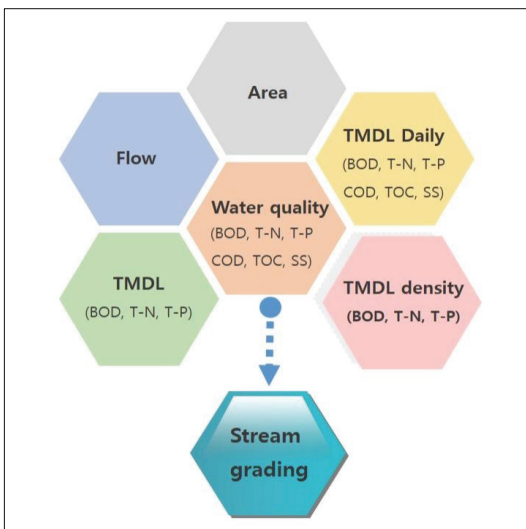
발(Park, 2012)’의 방법을 차용하여 실시하였다. AHP를 적용하기 위해 필요한 문제에 대한 전문적 경험이 있는 집단의 규모는 집단의 특성이 동질적일 때 10명 이내에도 충분하다고 제시하였다(Gwon, 2008).

본 연구에서는 총 100여명의 동질적인 전문가(수질관리·유역관리)들에게 전자우편 및 대면설문 등을 활용하여 설문을 실시한 결과 총 26명의 설문지를 회수하였다. AHP 기법에 의한 세부 항목 간 가중치는 각 항목간 쌍대비교를 통해 산정하였다. 일관성비율의 값이 0.1이내이면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고 각 항목별 쌍대비교 결과 일관성지수가 0.1을 초과하는 경우에는 중요도 산정값에서 제외하였다.

일관성지수 검증 후 6개 대분류(면적, 유량, 수질, 부하량, 부하밀도, 유달부하량)에 대한 중요도 산정결과 수질이 36.0%로 가장 높게 나타났으며, 유량(26.1%), 유달부하량(13.4%), 부하밀도(12.0%), 배출부하량(8.9%), 면적(3.7%)순으로 나타났다. 20개 소분류에 의한 중요도 산정결과 유량이 26.1%로 가장 높게 나타났으며, 유달부하량 중 SS가 0.6%로 가장 낮게 나타났다. 대분류별 항목별 중요도는 수질은 TOC가 10.5%로 가장 높고, T-P(7.4%), BOD(6.3%), T-N(5.9%), COD(3.8%), SS(2.1%) 순으로 나타났다. 배출부하량은 BOD(4.9%), T-P(3.6%), T-N(3.5%)순으로 나타났으며, 부하밀도 및 유달부하량은 각각 배출부하량과 수질의 각 항목별 중요도와 유사하게 나타났다(Fig. 8).

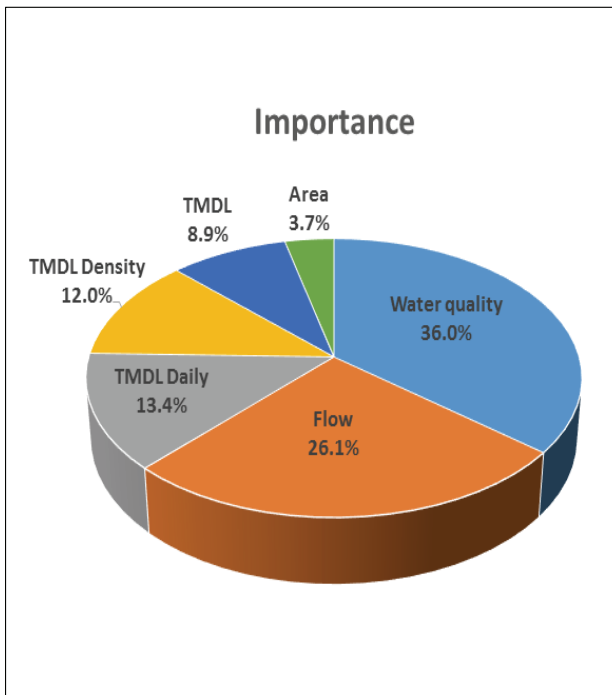
3.6 우선관리 대상하천 선정 결과

삼교호 수계내 모니터링 대상 60개소 중 주요하천(삼교천, 무한천, 곡교천, 남원천)의 분류는 유입되는 지류에 따라 수질이 변화되기 때문에 주요하천 분류에 해당하는 9개(삼교천 1~3, 무한천1~2, 곡교천1~3, 남원천2) 지점은 우선관리 대상하천 선정시 제외하고 나머지 지류하천 51개소에 대하여 앞서 구축한 하천등급화 방법에 따라 점수화하여 1위부터 51위까지 순위를 산정하였으며, 총 6등급(A~F)등급으로



Site	Number	Parameter
Area(km ²)	1	1~7
Flow(m ³ /s)	1	1~7
Water quality(mg/L)	6(BOD, T-N, T-P COD, TOC, SS)	1~7
TMDL(kg/day)	3(BOD, T-N, T-P)	1~7
TMDL Density(kg/day/km ²)	3(BOD, T-N, T-P)	1~7
Travel Load(kg/day)	6(BOD, T-N, T-P COD, TOC, SS)	1~7
Total	20	20~140

Fig. 7. Grading method for selecting priority management stream.



Site	Importance	Parameter	Importance	Total
Area(km ²)	3.7%	-	100.0%	3.7%
Flow(m ³ /s)	26.1%	-	100.0%	26.1%
Water quality(mg/L)	36.0%	BOD	17.5%	6.3%
		COD	10.6%	3.8%
		T-N	16.4%	5.9%
		T-P	20.5%	7.4%
		TOC	29.3%	10.5%
TMDL (kg/day)	8.9%	BOD	40.2%	3.6%
		T-N	28.1%	2.5%
		T-P	31.7%	2.8%
TMDL Density (kg/day/km ²)	12.0%	BOD	40.6%	4.9%
		T-N	29.2%	3.5%
		T-P	30.2%	3.6%
Travel Load (kg/day)	13.4%	BOD	17.2%	2.3%
		COD	10.8%	1.4%
		T-N	16.9%	2.3%
		T-P	20.0%	2.7%
		TOC	30.4%	4.1%
SS	4.8%	0.6%		
Total	100.0%	-	-	100.0%

Fig. 8. Importance of evaluation after consistency verification.

Table 6. Selection of streams subject to priority management

Class	Rank	Watershed	Stream	Score
'F' class	1	Gokyo	Cheonan	6.730
	2	Sapgyo	Seogwo	5.709
	3	Gokyo	Oncheon	5.282
	4	Gokyo	Hagseong	5.245
	5	Namwon	Namwon	5.079
'E' class	6	Sapgyo	Daecheon	4.977
	7	Namwon	Obong	4.968
	8	Gokyo	Omok	4.803
	9	Sapgyo	Seongri	4.683
	10	Muhan	Hwasan	4.668
	11	Gokyo	Sinchang	4.664
	12	Gokyo	Onyang	4.626
	13	Muhan	Sinyang2	4.624
	14	Namwon	Dogo	4.610
	15	Gokyo	Yonggu	4.504
'D' class	16	Gokyo	Maenggok	4.504
	17	Sapgyo	Hyogyo	4.496
	18	Gokyo	Yongdu	4.415
	19	Gokyo	Maegok	4.403
	20	Sapgyo	Deogsan	4.394
	21	Gokyo	Eumbong	4.368
	22	Gokyo	Wonseong	4.340
	23	Sapgyo	Sangsong	4.324
	24	Sapgyo	Yongbong	4.180
	25	Gokyo	Jangjae	4.159
	26	Sapgyo	Hwayang	4.073

Class	Rank	Watershed	Stream	Score
'C' class	27	Sapgyo	Hapo	3.897
	28	Muhan	Bongnong	3.821
	29	Gokyo	Wacheon	3.793
	30	Muhan	Tanbang	3.698
	31	Muhan	Yesan	3.693
	32	Sapgyo	Hongseong	3.683
	33	Gokyo	Hoelyong	3.625
	34	Gokyo	Samlyong	3.589
	35	Muhan	Sanjeong	3.506
	'B' class	36	Muhan	Masa
37		Sapgyo	Singyeong	3.379
38		Muhan	Gangchon	3.308
39		Sapgyo	Jonghyeon	3.269
40		Gokyo	Pungseo	3.240
41		Sapgyo	Jangseong	3.139
42		Muhan	Sinheung	3.018
'A' class	43	Muhan	Gungpyeong	2.906
	44	Muhan	Gulye	2.887
	45	Muhan	Simog	2.842
	46	Muhan	Yonggul	2.799
	47	Muhan	Haengjeong	2.658
	48	Muhan	Nojeon	2.281
	49	Muhan	Sujeong	1.975
	50	Muhan	Gideog	1.974
	51	Muhan	Jangjeon	1.724

구분하였다. 수질개선을 위하여 가장 우선관리 하여야 하는 F등급(5점 이상)은 천안천, 석우천, 온천천, 학성천, 남원천 상류로 5개소로 나타났다. 다음 E등급(4.5점 이상)은 11개소, D등급(4.0점 이상) 10개소, C등급(3.5점 이상) 9개소, B등급(3.0 이상) 7개소, 오염도가 가장 적은 A등급(3.0점 미만)은 9개소로 나타났다.

본 연구에서는 하천등급화 방법에 의해 구분된 F등급(5개소)과 E등급(11개소) 하천의 수질개선을 위하여 오염원인을 분석하였다. 환경기초시설 확충 및 방류수 수질개선 등 인구에 의한 오염부하량을 저감해야 하는 하천이 4개소, 가축분뇨에 의한 오염부하량을 저감해야 하는 하천이 5개소, 생활 및 축산을 모두 관리해야 하는 하천이 개소로 나타났다(Table 7).

4. Conclusion

4.1 결론

현재 지자체에서는 다수의 수질개선사업을 추진하고 있으나, 대상하천에 대하여 정확한 진단 및 수질개선 사업 추진에 따른 삼교호의 수질변화에 예측이 없어 사업효과가 반감되는 실정이다. 또한 지자체에서는 수질개선 대상하천 선정시 단편적인 수질자료와 재정적인 측면에서 삭감계획을 추진하고 있어 효율적인 수질개선 사업이 추진되지 않고 있다.

본 연구에서는 삼교호로 유입되는 주요 하천(삼교천, 무한천, 곡교천, 남원천)에 대하여 모니터링을 실시하고, 수질개선을 위한 우선관리 대상하천 선정방법은 계층적 의사결정 방법(AHP)을 활용한 하천등급화 방법을 적용하였다. 하천등급화 방법에 의한 항목별 중요도 분석결과 수질(36.0%), 유량(26.1%), 유달부하량(13.4%), 배출부하밀도(12.0%), 배출

부하량(8.9%), 면적(3.7%)로 나타났다.

하천등급화 방법을 활용하여 하천의 오염도를 점수화하여 51개 대상하천의 순위를 산정하였으며 이를 기초로 총 6등급(A~F)으로 그룹을 구분하였다. 이중 F그룹과 E그룹을 우선관리 대상하천으로 선정하였다. 삼교호수계 내 가장 우선적으로 수질개선 대책을 수립하여야 하는 1위 하천으로 천안천(천안시)이 선정되었으며 2위는 석우천(당진시), 3위는 온천천(아산시)이 선정되었다. 각 지자체에서는 본 연구에서 제시한 우선관리 대상하천(F그룹, E그룹)에 대하여 수질개선 대책을 수립·이행 할 경우 한정된 재원으로 보다 수질개선 효과를 제고할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 우선관리 대상하천별 오염원인(생활, 축산, 기타 등)에 따라 맞춤형 수질개선 방안(기초시설 확충, 관거정비 및 확대, 가축분뇨처리장 연계처리, 방류수 수질강화, 생태하천 및 저류지 조성, 친환경비료 사용, 도로청소 등)을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

4.2 향후 연구과제

본 연구는 시간적·자료조사의 한계 등으로 인하여 연구의 범위가 제한된 바, 이를 보완하기 위하여 향후 연구내용의 확장을 위해 다음의 내용을 제안하고자 한다.

- 1) 현재 충청남도에서는 삼교호의 수질관리를 위하여 60개소 하천에 대하여 월1회 수질·유량 모니터링을 실시하고 있다. 그에 따라 매년 모니터링 자료를 확보해서 구축된 수질모델을 수정 및 검증 절차를 거쳐 신뢰도를 더욱 향상 시킬 필요성이 있다.
- 2) 수질오염의 원인 및 개선방안을 도출하기 위하여 오염원 현황조사가 가장 중요하나, 본 연구에서 활용한 전

Table 7. Selection of target streams by grading

Class	Stream	Pollutant load(BOD, kg/day)				Sewage treatment rate	Pollution
		Population	Livestock	Industry	Land use		
'F' class	Cheonan	3,397.4	47.7	29.4	772.1	90.2%	Population
	Seogwo	313.8	935.3	0.8	176.6	69.3%	Population&Livestock
	Oncheon	852.5	0.0	48.7	57.3	93.6%	Population
	Hagseong	106.3	103.6	0.9	64.7	20.9%	Population&Livestock
	Namwon	333.8	1,342.2	7.9	367.6	36.3%	Livestock
'E' class	Daecheon	216.2	704.7	0.1	265.7	9.7%	Population&Livestock
	Obong	176.2	445.1	0.4	142.6	88.8%	Livestock
	Omok	580.6	126.3	20.1	140.6	88.7%	Population
	Seongri	177.9	414.3	3.4	188.8	19.8%	Population&Livestock
	Hwasan	163.4	769.0	0.2	236.8	5.7%	Population&Livestock
	Sinchang	100.7	204.0	1.0	72.7	88.9%	Livestock
	Onyang	886.2	79.1	1.1	311.9	89.4%	Population
	Sinyang	125.5	405.2	0.0	229.8	23.8%	Population&Livestock
	Dogo	276.0	184.9	1.0	143.0	39.3%	Population&Livestock
	Yonggu	29.0	125.2	0.2	21.7	44.3%	Livestock
	Maenggok	67.0	233.2	0.3	73.3	79.3%	Livestock

국오염원조사(2017년)와 하천모니터링 자료(2018년)의 시기가 불일치하고 있어 정확한 수질을 예측하고 수질개선방안을 도출하는데 한계가 있다. 하지만 본 연구의 대상인 삽교호는 수질오염총량제가 시행됨에 따라 ‘삽교호 수질오염총량관리 시행계획 2019년 이행평가’ 이후 이행평가에서 검증된 오염원을 바탕으로 개정된 ‘오염총량관리기술지침(19.03)’을 따라 오염부하량을 재산정이 필요할 것으로 판단된다.

- 3) 본 연구에서 예측된 우선관리 대상하천별 맞춤형 수질개선방안에 대하여 수질개선효과를 검증할 필요성이 있다. 또한 현재 지자체에서 시행중인 수질개선사업 하천에 대하여 수질개선효과를 분석하여 우선관리 대상하천 선정에 대한 설득력을 높이는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

- Choi, J. H., Kim, H. S., Cho, B. G., Park, S. H., Lee, M. K., and Kim, C. G. (2019). Forecasting of changes in the water quality in Sapgyo-Lake in accordance with implementation of total water pollutant load management system, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(3), 210-211. [Korean Literature]
- Chungcheongnam-do. (2018). *Basic plan of total maximum daily load*, Research Report, Chungcheongnam-do, 1-4. [Korean Literature]
- Gwon, T. I. (2008). *Study on drawing priority of the influence factors of tourist resort remodeling business: Delphi technic & analytic hierarchy process*, Doctoral thesis, Sejong University, Seoul-si, Korea, 126. [Korean Literature]
- Kim, H. S., Kim, Y. I., Oh, H. J., and Lee, S. J. (2007). Demonstration of methodology for priority selection of water quality management of stream in the watershed, *Proceedings of the 2007 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment, C-11, C-15. [Korean Literature]
- Kim, J. O., Kim, O. S., and Kim, S. H., (2004). *A study on the quantified evaluation and application of stream environment*, *Journal of wetlands research*, 6(3), 83-93. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2017). *Basin sewage maintenance plan by Sapgyo-cheon*, Research Report, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2018). *Middle watershed water environment management plan by Sapgyo-cheon*, Research Report, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2019). *Water environment information system (WEIS)*, <http://water.nier.go.kr/waterData/generalSearch.do> (accessed Jan. 2019). [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2014). *Technical guidelines for water pollution management*, Research Report, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- Park, J. S. (2012). *Development of classification model for decision on priority for river water quality improvement*, Doctoral thesis, Chonnam National University, Gwangju-si, Korea, 3. 41-42. [Korean Literature]
- Park, S. H. (2010). *The research regarding the Selection method for management area of the nonpoint source pollution*, Master thesis, Daejeon University, Daejeon-si, Korea, 66-67. [Korean Literature]