탐진호 유역 오염부하량 및 공공하수처리시설의 수질개선 기여율 평가

백병천 · 이용운*,†

전남대학교 환경시스템공학과 · *전남대학교 환경에너지공학과

(2019년 11월 6일 접수, 2019년 11월 21일 수정, 2019년 12월 3일 채택)

Evaluation of Pollutant Load and Contribution of Water Quality Improvement by Public Sewage Treatment Facilities in Tamjin Lake Watershed

Byeong-Cheon Paik · Yong-Woon Lee*,†

Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University
**Department of Environmental and Energy Engineering, Chonnam National University*

(Received 6, November 2019, Revised 21, November 2019, Accepted 3, December 2019)

Abstract

The pollutant load and the discharge load of Tamjin Lake watershed were calculated, and the treatment efficiency and contribution rate of water quality improvement facilities installed and operated in Tamjin Lake watershed was investigated in this study. The pollutant discharge load was estimated as BOD 696.5 ㎏/day, T-N 618.2 ㎏/day, T-P 38.8 ㎏/day, and the livestock pollutants accounted for the largest amount. Most of the point pollution sources in the Tamjin Lake basin are pollutants originating from the non-treated sewage in the living system, and the non-point discharge load is due to the livestock and land based pollution sources. The average removal efficincy of 13 public (point pollutant) sewage treatment facilities was BOD 83.5%, COD 65.8%, SS 75.9%, T-N 52.2%, and T-P 51.5%. The water quality improvement contribution of these treatment facilities to Tamjin Lake water quality is BOD 75.2%, T-N 57.3% and T-P 54.6%. Among the point pollutants discharge loadings, the discharge load of public sewage treatment facilities accounted for 6.5% of BOD, 25.1% of T-N and 40.2% of T-P.

Keywords : Tamjin Lake, pollutant load, improvement, facilities, contribution rate

1. 서 론

탐진강 수계에 위치한 탐진 다목적댐(탐진호)은 전라남도 서남부 지역에 대한 용수공급을 목적으로 건설되었으며, 주 공급원인 목포시, 장흥군, 강진군, 해남군을 포함한 1개시 6개군 29개 읍면에 200,000 ㎥/일의 생활용수와 대불공단, 삼호지방공단 및 영암국가공단에 75,600 ㎥/일의 공업용수, 21,000 ㎥/일의 농업용수 및 53,000 ㎥/일의 하천유지용수를

†Corresponding author E-mail: ywlee@jnu.ac.kr

공급하는 동시에 방류 유량을 활용한 전력 공급을 목적으로 하고 있어 탐진댐의 수질은 매우 중요하다[1]. 탐진호 같이 호소의 경우 하천과는 달리 오염물질이 호소에 유입되면 긴 체류시간으로 인하여 장기간 오염을 가속시킬 수 있으며, 유입된 오염물질은 호소하부의 슬러지 층에 퇴적되어 오염원으로 축적될 가능성이 있는 바, 탐진호의 물이 전남지역의 주민생활이나 공·농업활동에 기반이 되는 중요한 수자원이기 때문에 이들의 수질보전을 위해 오염원 관리 및 수질 보전 방안 마련의 필요성이 있다[1,2,3].

오염물질은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원(point source)은 하수처리장과 같이 일정한 장소나 시설에서 일정한 양의 오염물질이 지속적으로 배출되는 오염원이며, 비점오염원(non-point source)은 농경지와 같이 오염물질이 넓은 면적에 공간적으로 분포하는 오염원으로 정의된다. 점오염원은 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이고 비점오염원에 비해 오염원 관리가 용이하기 때문에 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기초시설들이 매년 확충되어 왔다. 즉, 비점오염원의 경우에는 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이 아니며 오염원이 넓게 분포하고 확인이 불분명하여 관리가 어렵기 때문에 최근까지 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질 정화에 초점이 맞추어져 왔다. 점오염원 정화사업과 관련한 기초조사 및 정화기술의 적용사례는 비점오염원에 비해 상당히 많이 있으며, 탐진호 유역은 상수원보호구역 및 수변구역으로 지정·관리되고 있어 비점오염물질 관리가 중요한 지역이나, 비점오염원 정화사업은 사업시행이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 탐진호의 경우 점오염원의 정화를 위해 마을하수도 등 공공하수처리시설들이 설치되어 운영 중에 있다[4,5]. 본 연구에서는 탐진강 수계의 주요 상수원인 탐진호의 수질 보전의 일환으로 이들 시설에 대한 운영관리상의 문제점을 도출하고 개선방안을 마련하기 위하여 이들 점오염원 수질개선 시설에 대한 효과를 평가하였다.

2. 범위 및 방법

2.1. 연구대상 범위

연구 대상 유역인 탐진호의 유역면적은 193.00 ㎢, 만수면적은 10.3 ㎢, 총저수량 191.00 백만㎥, 유효저수량 171.00 백만㎥, 댐 높이 53.00 m 이며, 행정구역 점유율(탐진호 유역/행정구역, %)은 강진군 6%, 영암군 7%, 장흥군 20% 이다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 오염원 조사

오염원은 최근 5년간(2013-2017년)의 환경부 전국오염원조사 자료를 이용하여 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계, 환경기초시설로 구분하여 행정구역별로 정리하고, 탐진호 댐 수문의 상류유역에 포함되는 수질오염총량관리 소유역을 대상유역으로 선정하여 오염원을 산정하였다. 탐진호 유역은 탐진호 유역은 탐진A(탐진A 01-03, 05-09, 11-13) 단위유역 일부가 해당된다.

2.2.2. 오염부하량 산정

오염부하량 산정은 오염원 조사 자료를 이용하여 『수질오염총량관리기술지침』[6]에 따라 산정하였으며, 일부 『4대강수계 수질오염총량관리 관리기준 설정연구(II)(영산강·섬진강수계)』[7]에 포함된 내용(토지계 발생부하원단위 변경)을 인용하여 산정하였다.

2.2.3. 수질개선시설 조사

탐진호 유역에 설치된 공공하수처리시설 현황을 조사하고, 각각의 시설에 대한 처리효율 평가를 위해 2018년 10월부터 12월 사

이에 처리장의 유량 및 방류수를 2회에 걸쳐 현장에서 채취하여 수질을 측정하였다. 수질 분석 항목은 BOD, COD, SS, T-N, T-P 이며, 수질오염공정시험방법[8]에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 오염원 현황, 발생부하량 및 배출 부하량

3.1.1. 오염원 현황

Table 1은 탐진호 유역의 2013년도부터 2017년까지의 오염원 현황을 보여준다. 탐진호 유역의 인구는 2013년 2,558명에서 2017년 2,338명으로 감소하였으며 지속적으로 감소추세에 있는 것으로 나타났다. 2017년 인구는 2,338명으로 강진군이 770명, 영암군이 369명, 장흥군 1,199명 이었다. 가축사육두수 현황 중 한우는 2013년 4,714마리에서 2017년 2,451마리로 약 48% 감소하였다. 돼지 사육두수는 돼지 사육두수는 2013년 2,944마리에서 2017년 2,238마리로 감소하였다. 가금 사육두수는 2013년 280,774수에서 2017년 266,806수로 약간 감소하였다. 폐수발생량 및 배출량은 2013년 4.1㎥/일로 2017년까지 변동 없는 것으로 나타났으며, 토지이용 면적 중 대지면적은 지속적으로 증가하고 있는 것으로 조사되었다.

3.1.2. 발생부하량 현황

Table 2는 2017년 탐진호 유역의 오염원별 발생부하량을 보여준다. 2017년 탐진호 유역의 발생부하량은 BOD 2,420.7 kg/일, T-N 953.1 kg/일, T-P 158.2 kg/일 으로 산정되었으며, BOD 기준으로 강진군에서 약 46%, 영암군에서 약 32%, 장흥군에서 23%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염원별로는 축산계가

Table 1. Status of Pollution Source

대상유역	오염원		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
탐진호	생활계	인구(인)	2,558	2,505	2,527	2,407	2,338
	축산계 (두수)	젖소	-	-	-	-	-
		한우	4,714	4,909	3,597	3,597	2,451
		돼지	2,944	2,944	2,238	2,238	2,238
		가금	280,774	282,469	270,952	270,952	266,806
	산업계 (㎥/일)	폐수발생량	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
		폐수배출량	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
	토지계 (㎢)	전	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
		답	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
		임야	151.9	151.9	151.9	151.9	151.9
		대지	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8
		기타	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
		계	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2

Table 2. Pollutant Load Status

대상유역	오염원	발생부하량 (kg/day)		
		BOD	T-N	T-P
탐진호	생활계	155.7	43.0	4.7
	축산계	1,749.8	387.7	124.4
	산업계	0.2	0.1	0.0
	토지계	514.8	522.3	29.1
	양식계	0.0	0.0	0.0
	매립계	-	-	-
	소계	2,420.6	953.1	158.2

Table 3. Pollutant discharge load status

대상유역	오염원	배출부하량 (kg/day)								
		BOD			T-N			T-P		
		점	비점	계	점	비점	계	점	비점	계
탐진호	생활계	24.1	0.0	24.1	14.5	0.0	14.5	1.6	0.0	1.6
	축산계	-	157.5	157.5	-	81.3	81.3	-	8.1	8.1
	산업계	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
	토지계	0.9	514.8	514.8	-	522.3	522.3	-	29.1	29.1
	양식계	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
	매립계	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	소계	24.2	672.3	696.5	14.6	603.7	618.2	1.6	37.1	38.8

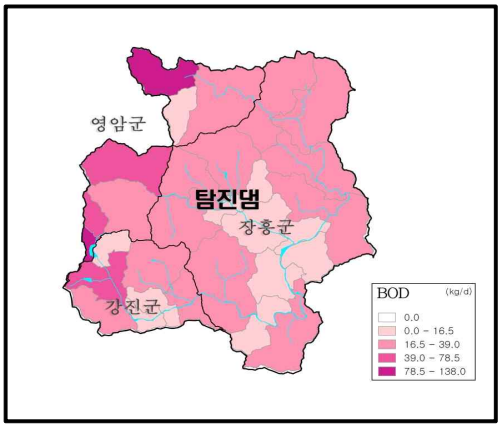

Fig. 1. Distribution of BOD discharge load in 2017 year.

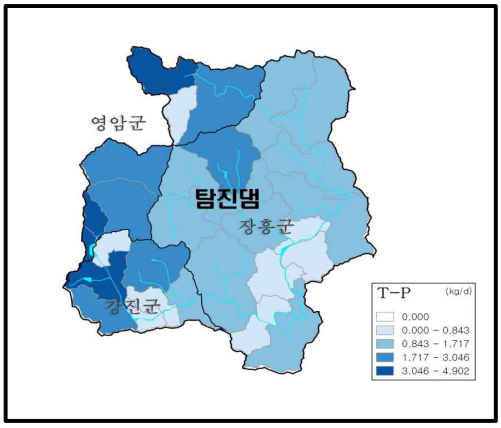

Fig. 2. Distribution of BOD discharge load in 2017 year.

가장 많은 양을 차지하고 있으며, 다음으로 토지계, 생활계, 산업계, 양식계이며, 매립계 오염원은 없는 것으로 조사되었다. 탐진호 유역의 점오염원은 대부분이 생활계에서 발생하는 오염원이며, 비점발생부하량이 차지하는 비율이 BOD 기준 93.6% 으로 대부분을 차지하였다. 비점발생부하량은 축산계 및 토지계 오염원에 의한 것으로 나타났다.

3.1.3. 배출부하량 현황

Table 3은 2017년 탐진호 유역의 오염원별 배출부하량을 보여준다. 2017년 탐진호 유역의 배출부하량은 BOD 696.5 kg/일, T-N 618.2 kg일, T-P 38.8 kg/일으로 산정되었으며, BOD 기준으로 강진군에서 약 25%, 영암군에서 약 36%, 장흥군에서 40%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염원별로는 토지계가 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 다음으로 축산계, 생활계, 산업계, 양식계이며, 매립계 오염원은 없는 것으로 조사되었다. 탐진호 유역의 점오염원은 대부분이 생활계 하수미처리구역에서 발생하는 오염원이며, 비점발생부하량이 차지하는 비율이 BOD 기준 96.5%, T-N 기준 97.7%, T-P 기준 95.6% 으로 대부분을 차지하였다. 비점발생부하량은 축산계 및 토지계 오염원에 의한 것으로 나타났다. Fig.1 과 2에 2017년 탐진호 유역에서 배출되는 BOD와 T-P 의 배출부하량 분포 현황을 나타내었다. 탐진호 유역의 BOD 배출부하량은 강진군 173.1 kg/일, 영암군 247.8 kg/일, 장흥군 275.7 kg/일 이었으며, T-P 배출부하량은 강진군 10.1 kg/일, 영암군 12.5 kg/일, 장흥군 16.1 kg /일 으로 나타났다.

3.2. 수질개선시설 현황 및 처리효율

3.2.1. 점오염저감시설

2017년 기준 탐진호 유역에는 점오염저감시설로 총 13개소의 공공하수처리시설이 설치·운영되고 있으며, Fig. 3에 나타난 바와 같이 영암군에 1개소, 강진군에 6개소, 장흥군 6개소가 위치해 있다. 1차 현장 조사 결과 탐진호 유역 공공하수처리시설 유입수의 평균값은 BOD 27.7 ㎎/L, COD 25.7 ㎎/L, SS 45.5 ㎎/L, T-N 16.803 ㎎/L, T-P 2.867 ㎎/L로 조사되었으며, 유입 유량은 4~159.2 ㎥/day 범위를 보였다. 탐진호 유역 방류수 측정결과 평균값은 BOD 2.6 ㎎/L, COD 5.5 ㎎/L, SS 9.2 ㎎/L, T-N 6.874 ㎎/L, T-P 1.233 ㎎/L로 조사되었으며, 방류 유량은 4~159.2 ㎥/day 범위를 보였다. 1차 조사에서 탐진호 유역 항목별 제거율(부하량 기준)은 BOD 84.1%, COD 62.5%, SS 63.8%, T-N 55.7%, T-P 54.0% 으로 나타났다. 2차 현장 조사 결과 탐진호 유역 유입수의 평균값은 BOD 27.9 ㎎/L, COD 25.9 ㎎/L, SS 103.7 ㎎/L, T-N 16.100 ㎎/L, T-P 3.420 ㎎/L로 조사되었으며, 유입 유량은 4~113 ㎥/day 범위를 보였다. 방류수 평균값은 BOD 3.2 ㎎/L, COD 6.4 ㎎/L, SS 5.3 ㎎/L, T-N 8.462 ㎎/L, T-P 1.754 ㎎/L로 조사되었으며, 방류 유량은 4~113 ㎥/day 범위를 보였다. 2차 조사에서 탐진호 유역 항목별 제거율(부하량 기준)은 BOD 82.8%, COD 69.1%, SS 87.9%, T-N 48.7%, T-P 49.7% 으로 나타났다. 1, 2차 조사 항목별 평균 제거율은 BOD 83.5%, COD 65.8%, SS 75.9%, T-N 52.2%, T-P 51.9%로 BOD가 가장 높고, T-P가 가장 낮게 나타났다.한편, 탐진호 유역 내에 위치한 처리시설에서 사용되는 공법은 총 7개로, 이중 많이 사용되고 있는 공법은 KHBNR(반송슬러지를 이용한 하수고도처리) 공법 5개소에서 사용되고 있다. 이 공법의 평균 처리효율은 BOD 79.4%, COD 51.1%, SS 64.1%, T-N 51.7%, T-P 49.0%으로 나타났다.

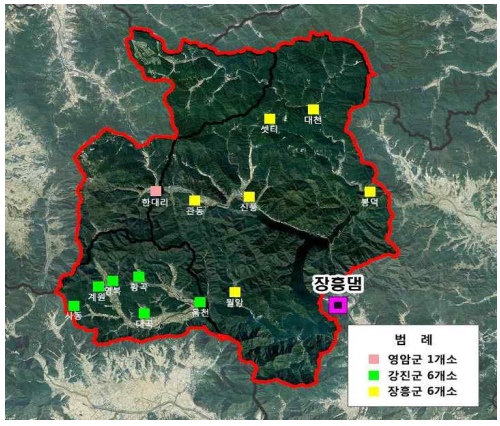

Fig. 3. Point pollutant treatment facilities (public sewage treatment facility) in Tamjin Lake Basin.

3.3. 수질개선시설의 기여율

3.3.1. 점오염저감시설 기여율

탐진호 유역내 공공하수처리시설 설치 전·후 점배출부하량 차이에 따른 공공하수처리시설 삭감량을 산정하여 수질개선 기여율을 평가하였다. 공공하수처리 대상 인구 및 부하량은 2017년 생활계 오염원을 기준으로 하였으며, 설치 전 배출부하량 산정은 하수미처리(단독정화조) 인구로 가정하여 배출부하량을 산정하였다. 또한, 삭감기여율은 다음과 같은 식에 의해 산정되었다.

$$\text{삭감 기여율}(\%) = \frac{\text{시설 설치에 따른 공공하수처리시설 삭감량}}{\text{시설 설치전(하수미처리) 대상유역 점배출부하량}} \times 100$$

Table 4에서 보여주듯이 탐진호 유역 공공하수처리시설 설치·운영에 따른 2017년 기준 수질개선 기여율은 BOD 75.2%, T-N 57.3%, T-P 54.6% 으로 산정되었다. 점오염저감시설에 의한 기여율은 BOD 저감율이 75.2%으로 가장 높게 나타났으며, 장흥군에 설치된 공공하수처리시설에 의해 삭감되는 양이 강진군보다 높은 것으로 조사되었다.

Table 4 Water quality improvement contribution rate of point pollutant treatment facilities

유역	시군	시설 설치 전 점배출부하량(kg/일)			시설 설치에 따른 처리장 삭감량(kg/일)			처리장 삭감 기여율(%)		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
탐진호	강진군	34.7	10.7	1.1	26.1	7.3	0.8	76.1	68.4	67.2
	영암군	12.2	5.4	0.6	5.0	1.5	0.2	40.5	28.2	28.6
	장흥군	51.0	18.0	1.9	42.3	10.7	1.0	83.0	59.5	55.0
	계	97.6	34.1	3.6	73.4	19.6	2.0	75.2	57.3	54.6

Table 5. Point pollutant discharge load share

유역	오염원	대상유역 점배출부하량 (kg/일)			점유율 (%)		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
탐진호	생활계	22.4	10.6	1.1	93.2	74.6	59.3
	축산계	-	-	-	-	-	-
	산업계	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4
	토지계	-	-	-	-	-	-
	양식계	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	매립계	-	-	-	-	-	-
	공공하수처리시설	1.6	3.6	0.7	6.5	25.1	40.2
	소계	24.0	14.2	1.8	100.0	100.0	100.0

3.3.2. 오염원별 점배출부하량 점유율

Table 5에서 보여주듯이 탐진호 유역의 점배출부하량 중 공공하수처리시설 방류부하량이 차지하는 비율은 BOD 6.5%, T-N 25.1%, T-P 40.2% 으로 나타나 생활에 비하여 낮게 나타났다. Table 5에서 보여주듯이 탐진호 유역의 점배출부하량은 대부분 생활계의 미처리 구역에서 발생하며, 그 점유율은 BOD 93.2%, T-N 74.6%, T-P 59.3% 으로 나타나, 향후 탐진호의 수질을 개선하기 위해서는 생활계 처리 구역을 확대하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

탐진호 유역의 오염원 조사 및 오염부하량을 산정하고 탐진호 유역에 설치 운영 중인 수질개선시설에 대한 처리 효율을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2017년 탐진호 유역의 오염원 배출부하량은 BOD 696.5 kg/일, T-N 618.2 kg/일, T-P 38.8 kg/일 으로 산정되었으며, 오염원별로는 축산계가 가장 많은 양을 차지하였고, 다음으로 토지계, 생활계, 산업계, 양식계이며, 매립계 오염원은 없는 것으로 조사되었다.

2. 탐진호 유역의 점오염원은 대부분이 생활계 하수미처리구역에서 발생하는 오염원이며, 비점발생부하량이 차지하는 비율이 BOD 기준 96.5%, T-N 기준 97.7%, T-P 기준 95.6% 으로 대부분을 차지하였으며, 비점발생부하량은 축산계 및 토지계 오염원에 의한 것으로 나타났다.

3. 탐진호 유역에 설치·운영 중인 공공하수처리시설의 2017년 기준 13개소의 항목별 평균 제거율은 BOD 83.5%, COD 65.8%, SS 75.9%, T-N 52.2%, T-P 51.9%로 나타났으며, 처리시설로 사용되는 공법은 총 7개로 이중 KHBNR(반송슬러지를 이용한 하수고도처리)

공법이 5개소에서 사용되었다.

4. 탐진호 유역에 설치·운영 중인 공공하수처리시설의 수질개선 기여율은 BOD 75.2%, T-N 57.3%, T-P 54.6% 으로 산정되었으며, 점배출부하량 중에서 공공하수처리시설 방류부하량이 차지하는 비율은 BOD 6.5%, T-N 25.1%, T-P 40.2% 으로 나타났다.

사 사

본 연구과제는 영산강·섬진강수계 2018년도 환경기초 조사사업의 연구비 지원에 의해 수행한 연구과제입니다.

References

1. Jeollanam-do Province, Establishes Water Quality Preservation Measures for Tamjin Dam (2000).
2. Paik, B. C., Lee Y. W., Technology development of Juam Lake (Gwangju Jeonnam water supply source) watershed management, JeTEC (2008).
3. Jo, J. S., Analysis and optimal management of abatement efficiency of artificial wetland in upstream area of Juam Lake water source, Yeongsan River Water Environment Research Institute (2008).
4. Kim, D. H., Yoon, K. S., A Study on management of non-point source pollution in upstream area for improvement of water quality in Juam Lake, Chonnam National University (2008).
5. Environmental Preservation Association, Operation result report of 2018 year integrated operation and management of non-point pollution reduction facility, (2018).
6. National Institute of Environmental Research, Technical guidelines for total water pollution (2014).
7. National Institute of Environmental Research, Establishment of management standards for water pollution total water management in four major precipitation systems (Ⅱ) (Youngsan and Sumjin Precipitation Systems) (2017).
8. Ministry of Environment, Water pollution process test method, Ministry of Environment Notice 2007-147 (2007).