

팔당호 상류의 단위유역별 오염물질 유출특성 분석을 통한 중점관리 오염원 선정 Determination of Focused Control Pollutant Source by Analysis of Pollutant Delivery Characteristics in Unit Watershed Upper Paldang Lake

김동우*** · 장미정* · 한인섭**,*

Dong Woo Kim*** · Mi Jeong Jang* · Ihn Sup Han**,*

*경기도 팔당수질개선본부 · **서울시립대학교 환경공학부

*Gyeonggido Paldang Water Quality Improvement Headquarters

**Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(2014년 4월 9일 접수, 2014년 5월 13일 수정, 2014년 5월 16일 채택)

Abstract : Paldang lake which is the most important water resource in Korea is classified as a stream type reservoir and water quality of Paldang lake can be significantly influenced by external pollutant source. So this study was aimed to determine focused control BOD and TP sources of each unit watershed upper Paldang lake through analysis of pollutant source distribution and pollutant runoff characteristics. Generated load, discharge load, delivery load and each load density of 11 unit watersheds upper Paldang lake were calculated using data of water quality and flow rate from pollutant sources and 74 small streams. As a result of generated load, discharge load and delivery load of BOD and TP from pollutant sources, the most BOD generated load was taken by livestock with 66% of total BOD discharge load and domestic had the most BOD discharge load, 42.7%. The ratio of delivery load of livestock and domestic was 36.4% and 34.3%, respectively. Livestock occupied high ratio of TP generated load, discharge load and delivery load with 82.5%, 44.4% and 46.7%, respectively. Gyeongan watershed which had high population density showed the highest BOD delivery load density of 14.6 kg/km²/d and the highest TP delivery load density with 1.23 kg/km²/d was analyzed in Cheongmi watershed including the biggest number of livestock. From these results, management of domestic sewer and livestock excrement was determined as a focused control pollutant source. And intensive management about domestic sewer in Gyeongan stream and livestock excrement in Cheongmi stream is required for water quality improvement of Paldang lake.

Key Words : Paldang lake, Watershed, Generated load, Discharge load, Delivery load, Focused control pollutant source

요약 : 국내 최대 상수원인 팔당호는 하천형 호소로 분류되며, 팔당호 수질은 외부오염원의 영향이 크다. 이에 본 연구에서는 팔당호 상류지역의 오염원 분포와 오염물질 유출특성을 분석하여 BOD와 TP 관리를 위한 중점관리 오염원을 선정하고자 하였다. 이를 위해 11개 단위유역에 대한 오염원별 발생부하량과 배출부하량을 조사하고, 74개 소하천의 수질·유량 측정결과를 이용하여 유달부하량과 유역면적당 유달부하 밀도를 분석하였다. 오염원별 BOD, TP 발생부하량과 배출부하량, 유달부하량을 분석한 결과, BOD 발생부하량은 축산계가 66.0%로 가장 높은 비율을 차지하였고, BOD 배출부하량은 생활계가 42.7%를 차지하였으며, BOD 유달부하량은 축산계와 생활계가 각각 36.4%, 34.3%를 차지하는 것으로 나타났다. TP 발생부하량과 배출부하량, 유달부하량 모두 축산계에서 가장 높은 비율을 차지하였으며, 각각 82.5%, 44.4%, 46.7%로 나타났다. 또한 BOD 유달부하밀도는 인구밀도가 높은 경안천 유역이 14.6 kg/km²/d로 가장 높았고, TP 유달부하밀도는 가축사육두수가 많은 청미천 유역이 1.23 kg/km²/d가 가장 높게 나타났다. 이러한 연구결과를 통해 팔당호 수질개선을 위해서는 생활오수와 가축분뇨를 중심으로 오염원관리가 필요하며 경안천 유역은 생활오수에 대한 관리가 필요하고 남한강 유역, 특히 청미천 유역은 가축분뇨에 대한 관리가 필요한 것으로 판단되었다.

주제어 : 팔당호, 단위유역, 발생부하량, 배출부하량, 유달부하량, 중점관리 오염원

1. 서론

수도권 2,500만 주민이 상수원으로 이용하는 팔당호는 형태학적으로 호소의 형상을 띠고 있지만 연평균 체류시간이 5.4일로 짧고 평균 수심도 6.5 m로 낮아 하천의 특성이 커서 하천형 호소로 알려져 있다. 이러한 수리학적 특성 때문에 소양호나 대청호와 같이 체류시간이 긴 호소형 호소에 비해 수체 내 유기물질의 내부생산량이 적고 상류 오염원에서 배출되는 오염물질에 의해 더 큰 영향을 받는다. 강우에 의한 팔당호 유기물질 변화에 관한 기존 연구결과에 따르면, 강우시 팔당호 내 총 유기물질 중 유역에서 들어오는 유기

물질이 80.0%를 차지하는 반면 내부생산 유기물질은 약 7.0%에 불과하며, 식물성 플랑크톤의 일차생산작용이 활발한 초여름(6월)에도 상류 오염원에서 유입되는 유기물질의 비율이 65.6%이고 내부생산 유기물질은 34.4%로 상류 유입 오염원의 영향이 큰 것으로 나타나, 상류 오염원 관리의 중요성이 부각되고 있다.¹⁾

하천이나 호소로 오염물질을 배출하는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원은 하·폐수처리시설이나 분뇨처리시설 등을 설치·운영하여 인위적 제어가 가능한 반면, 비점오염원은 배출지점이 명확하지 않고 강우 유출수와 함께 다량 유입되며, 처리시설 설치 및

* Corresponding author E-mail: ishan@uos.ac.kr Tel: 02-6490-2867 Fax: 02-6490-2859

운영이 곤란하여 관리상 어려움이 있다.²⁾ 팔당호 상류지역의 전체 오염물질 중 비점오염물질이 차지하는 비중은 약 44.5%에 달하며, 비점오염물질의 비중은 2020년에 약 54.3%까지 증가할 것으로 예측되고 있다.³⁻⁵⁾ 또한, 단위면적당 토지이용형태별 오염물질 기여도를 보면 도시지역이 가장 높고 산림지역이 가장 낮으며, 유역별로는 남한강 69.0%, 북한강 26.0%, 경안천 5.0%로 남한강 유역의 기여도가 가장 높은 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 또한 비강우시에도 여름철 집중강수로 인한 기저유량 증가 등의 영향으로 팔당호로 유입되는 유기물의 약 74.0%가 6월~8월에 유입되고 있는 것으로 조사되었다.⁷⁾ 하지만 이러한 연구결과는 오염원별 원단위를 이용하여 산정된 배출부하량 중 비점오염원이 차지하는 비율로, 유역의 기후, 지형, 토지이용형태, 토양특성과 같은 지역특성과 유역형상에 따른 오염물질 유출특성이 반영되지 않아 실제 하천으로 유입되는 유달부하량을 의미하는 것은 아니다.^{5,8)}

따라서 본 연구에서는 팔당 상수원에 대한 보다 효율적인 관리 방안을 도출하기 위해서 상류지역의 오염물질 배출현황과 실제 하천 유량과 수질을 이용한 유역별 오염물질 유달 특성을 분석하여 상수원 수질관리에 필요한 중점관리 오염원을 선정하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상 유역

연구대상 유역인 팔당호는 1973년 남한강, 북한강, 경안천이 합류하는 지점에 댐을 축조하면서 형성된 인공호로, 총 유역면적은 남한면적의 24.0%인 23,800.0 km²이고 이중 북한강 유역이 37.0%, 남한강 유역이 60.0%, 경안천 유역이 3.0%를 차지한다.⁹⁾ 형태학적으로는 호소의 형태를 보이나, 수심이 얇고 체류시간이 짧아 하천형 호소로 알려져 있으며 상류 지역에서 일평균 3,200백만m³이 유입되고 있으며, 유입유량의 비율은 남한강 유역 57.0%, 북한강 유역 40.5%, 경안천 유역이 2.5%를 차지한다.^{10,11)}

본 연구에서는 경기도 소재의 팔당호 상류지역을 공간적 범위로 설정하였고, Fig. 1에 유역도를 나타내었다. 남한강 유역은 남한강과 섬강이 합류하는 지점부터 팔당호 구간까지, 북한강 유역은 의암댐 직하류인 춘성교 지점부터 팔당호까지, 그리고 경안천은 전체 유역을 대상지역을 설정하였다. 남한강 유역면적 12,355.0 km² 중 경기도 지역의 면적은 3,626.4 km²로 전체 유역면적의 29.0%를 차지하지만, 남한강 수질은 섬강이 합류한 이후, 청미천, 양화천, 북하천, 흑천 등이 합류되면서 악화되며, 북한강 유역은 최근 조류 대량증식으로 인한 녹조현상이 빈번하게 발생하고 있어, 오염원 그룹별 오염물질 유달특성을 분석하였다. 또한 팔당호에 기여하는 유량은 상대적으로 적지만 인구밀도가 높고 도시화가 진행된 경안천 유역에 대해서도 함께 고려하였다.

2.2. 유역 구분

연구대상 유역은 수질오염 총량관리 단위유역을 기준으로 11개로 구분하였고, 소하천별 유량·수질 측정지점과 행정구역 경계 등 고려하여 63개 소유역, 302개 세유역으로 세분화하였다. Fig. 1과 Table 1과 같이 팔당호 유역을 1개 단

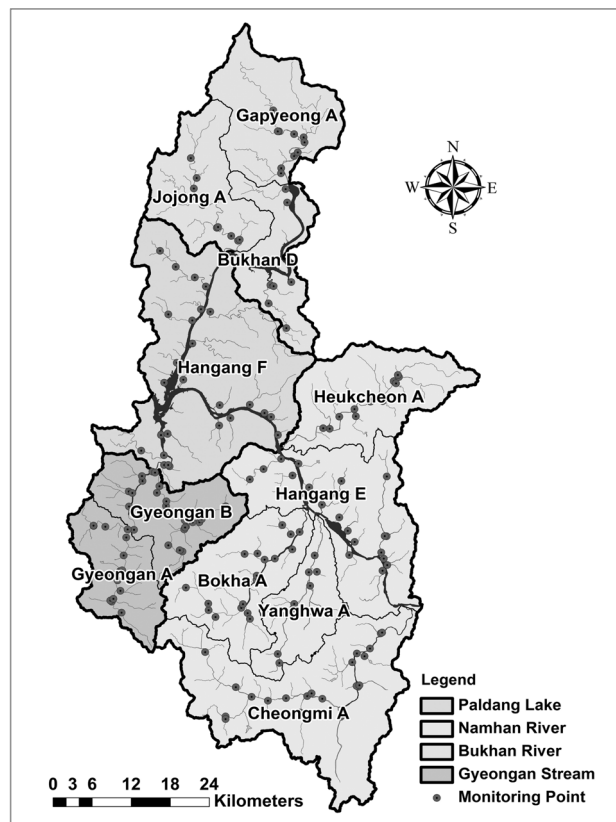


Fig. 1. Data monitoring points of watersheds.

Table 1. Selected river basins and watersheds

River basin	Unit watershed		No. of watershed		
			Unit watershed	Sub watershed	Catchment
Paldang lake	Hangang F	H,G-F	1	12	73
	Cheongmi A	C,M-A	1	9	41
	Yanghwa A	Y,H-A	1	3	14
Namhan river	Bokha A	B,H-A	1	8	27
	Hangang E	H,G-E	1	7	45
	Heukcheon A	H,C-A	1	3	17
	Total		5	30	144
Bukhan river	Gapyeong A	G,P-A	1	3	17
	Bukhan D	B,H-D	1	4	13
	Jojong A	J,J-A	1	5	12
	Total		3	12	42
Gyeongang stream	Gyeongang A	G,A-A	1	5	22
	Gyeongang B	G,A-B	1	4	21
	Total		2	9	43
	Total		11	63	302

위유역, 12개 소유역, 73개 세유역으로 구분하였고, 유역면적이 가장 넓은 남한강 유역은 5개 단위유역, 30개 소유역, 144개 세유역으로, 북한강 유역은 3개 단위유역, 12개 소유역, 42개 세유역, 경안천 유역은 2개 단위유역, 9개 소유역, 43개 세유역으로 나누었다. 유역을 세분화하는 과정에서는 격자 크기 30 m × 30 m로 구축된 DEM (Digital Elevation Model) 자료를 활용하였고 유역 공간정보 구축을 위해서 ESRI 사의 ArcGIS 10.0을 사용하였다. 각 단위유역별 하천 길이, 유역 면적, 경사도 등 지형인자는 ArcGIS 10.0의 Geo-processing 기능을 이용하여 DEM에서 격자별 표고분석 및 보정, 격자별 흐름방향 결정, 하천의 흐름방향에 따른 하천의 누적량 산정 등의 절차를 거쳐 추출하였다.

2.3. 오염원 조사 및 오염부하량 산정

오염원 조사는 2011년 1월부터 2011년 12월까지 대상지역의 행정구역 단위 중 가장 최소 단위인 법정동·법정리 단위로 조사를 수행하였으며, 공공하수처리장이나 2,000 m³/d 이상 폐수를 발생하는 산업시설 등은 지번별로 추가 조사를 실시하였다. 조사한 오염원들은 크게 생활계, 축산계, 산업계, 매립계, 양식계, 토지계의 6개 그룹으로 구분하였고, 인구, 음식점 등의 영업시설은 생활계, 한우, 젓소, 돼지, 가금류 등은 축산계, 산업폐수 배출시설은 산업계, 매립장에서 발생하는 침출수는 매립계, 양어장 등은 양식계, 대지 및 농경지 등은 토지계로 분류하였다.

토지이용현황에 대해서 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 광천지, 염전, 대지, 공장용지, 학교용지, 주차장, 주유소용지, 창고용지, 도로, 철도용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 양어장, 수도용지, 공원, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지, 골프장의 29개 지목으로 분류하여 분석하였다.

대상지역내 오염원의 배출부하량은 각 오염원에서 오염물질을 처리하는 방법이나 처리수준, 강우시와 비강우시 하수관로에서 누수 또는 월류되는 양, 공공하수처리장이나 가축분뇨처리장의 월별 유량과 수질 자료를 이용하여 산정하였다. 생활계 오염원의 경우에는 가정이나 영업시설에서 발생한 생활오수의 공공하수처리장 또는 개인하수처리시설 처리 여부와 공공하수처리장에서 처리하는 경우, 합류식 또는 분류식의 하수 배제방식을 고려하여 각 배출경로에 따라 배출되는 오염물질을 산정하였다. 축산계는 발생한 가축분뇨의 농가 개별 퇴비화 및 농지 살포 여부, 개별 폐수처리 시설에 의한 처리 또는 공공처리시설 위탁처리 여부 등을 고려하였고, 산업폐수의 경우에는 사업장별 폐수처리시설 설치·운영 또는 인근 공공하수처리시설로 연계처리 여부에 따라 발생량과 배출량을 산정하였다.

2.4. 수질 및 유량 조사

수질 및 유량조사 시기는 2011년 1월부터 2011년 12월까지 연중 8일 간격으로 조사지점별로 36회 조사하였으며, 조

사지점은 Fig. 1에 제시한 바와 같이 총 74지점으로 남한강 유역 38지점, 북한강 유역 17지점, 경안천 유역 19지점을 조사하였다. 조사항목은 유량과 오염총량관리제의 관리항목인 BOD (Biochemical Oxygen Demand)와 TP (Total Phosphorus)이며 항목별 수질분석은 수질오염공정시험법에 의거하여 수행하였다. 유량조사는 ISO 2425의 단일측정방법 중 유량-면적법(velocity-area method)을 따랐다. 유속은 AEM 1-D (JFE, Japan) 유속계를 이용하여 측정하였다.

2.5. 유달부하량 산정

대상지역 주요 하천 74지점의 수질과 유량 측정결과를 활용하여 식 (1)과 (2)를 이용해, 월별 BOD와 TP의 유달부하량을 산정하고, 각 오염원의 월별 BOD와 TP의 배출부하량을 활용하여 세유역별 유달률을 도출하였다. 수질과 유량이 조사되지 않은 세유역의 경우에는 유역의 토지이용형태, 오염원 분포현황, 하상경사도 등을 고려하여 인접 세유역의 유달률을 활용하였다.

$$\text{Delivery ratio} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/sec)} \times C \text{ (mg/L)}}{\text{Discharged load (kg/day)}} \times 86.4 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Pollution source delivery load (kg/day)} \\ = \text{Discharged load (kg/day)} \times \text{Delivery ratio} \end{aligned} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 유역별 토지이용특성

연구대상 유역 3,626.4 km² 중 팔당호, 남한강, 북한강, 경안천 유역이 각각 20.9%, 46.0%, 20.8%, 12.3%로 조사되었고 토지이용형태별로는 임야가 63.9%로 가장 넓고 논이 11.2%, 밭과 과수원이 8.8%, 불투수층인 대지가 7.9%, 하천 등 기타면적이 8.2%를 점유하는 것으로 나타났다(Fig. 2).

Table 2의 유역별 토지이용형태를 살펴보면, 팔당호 유역은 임야가 72.8%이고 밭과 논이 각각 6.0%, 6.2%로 임야의 비율을 높였으나, 남한강 유역은 임야가 차지하는 비율이 51.9%, 밭과 논의 면적인 각각 11.9, 17.7%로 농경지의 비율이 30%에 육박하는 것으로 조사되었다. 북한강 유역은 전체 면적의 82.7%가 임야로 이루어져 있고 농경지나 불투수층인 대지의 비율이 각각 8.8, 3.1%에 불과한 반면, 경안천의 경우에는 임야 비율이 62.1%인 반면, 대지면적인 15%로 대지가 차지하는 비율이 타 지역에 비해 1.7배~4.8배 큰 것으로 나타났다.

이러한 유역별 토지이용형태를 통해 남한강은 농경지가 발달하였고 경안천은 도시화가 진행된 것을 알 수 있으며 남한강의 경우 비점오염원, 경안천의 경우 점오염원이 중점 관리가 필요할 것으로 예상된다.

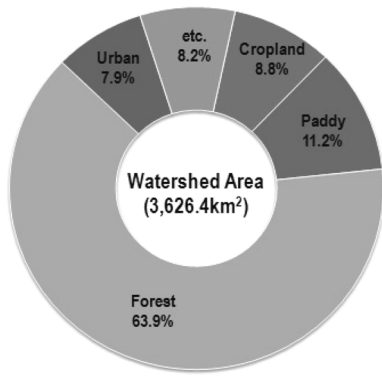


Fig. 2. Land use ratio of the upper watershed.

Table 2. Land use area of the upper watershed

River basin	Unit watershed	Land area (km ²)					
		Total	Cropland	Paddy	Forest	Urban	etc.
Paldang lake	H,G-F	758,6	45,5	46,9	552,4	44,8	69,0
	C,M-A	408,7	53,8	90,9	184,2	37,8	42,0
	Y,H-A	181,3	33,0	46,8	61,1	20,4	20,0
Namhan river	B,H-A	309,5	40,9	68,3	131,5	42,1	26,7
	H,G-E	454,1	48,9	64,0	250,3	39,0	51,9
	H,C-A	313,8	21,8	25,8	237,6	11,6	17,0
	Total	1,667,4	198,4	295,8	864,7	150,9	157,6
Bukhan river	G,P-A	307,0	12,9	6,3	272,1	4,9	10,8
	B,H-D	185,6	12,3	10,0	139,5	7,7	16,1
	J,J-A	260,4	16,0	8,6	210,9	10,9	14,0
	Total	753,0	41,2	24,9	622,5	23,5	40,9
Gyeongan stream	G,A-A	198,4	15,2	18,0	120,4	30,0	14,8
	G,A-B	249,0	19,2	19,8	157,5	36,9	15,6
	Total	447,4	34,4	37,8	277,9	66,9	30,4
Total		3,626,4	319,5	405,4	2,317,5	286,1	297,9

Table 3. Distribution of pollution sources of the upper watershed

River basin	Unit watershed	Population (Person, Person/km ²)			Livestock (Head)			Industry (No., m ³ /day)	
		Resident	Density	Dairy cattle	Cattle	Pig	Fowl	Plant	Wastewater
Paldang lake	H,G-F	188,688	249	3,310	9,307	9,210	1,065,686	161	3,466
	C,M-A	61,880	151	15,133	26,874	436,240	3,813,227	243	13,724
	Y,H-A	42,185	233	8,829	9,600	164,347	3,013,766	129	7,506
Namhan river	B,H-A	170,430	551	11,332	11,573	171,752	2,294,260	266	50,406
	H,G-E	87,261	192	4,776	13,351	67,050	2,488,139	149	8,986
	H,C-A	25,963	83	2,020	7,313	11,815	1,568,130	34	549
	Total	387,719	233	42,090	68,711	851,204	13,177,522	821	81,172
Bukhan river	G,P-A	16,929	55	335	2,739	3,220	930,173	23	184
	B,H-D	13,708	74	492	2,383	5,717	673,659	25	780
	J,J-A	25,161	97	2,436	3,220	5,558	188,804	60	3,460
	Total	55,798	74	3,263	8,342	14,495	1,792,636	108	4,424
Gyeongan stream	G,A-A	182,220	918	108	1,973	62,324	406,344	265	15,715
	G,A-B	217,998	875	985	4,982	1,513	610,251	332	10,788
	Total	400,218	895	1,093	6,955	63,837	1,016,595	597	26,504
Total		1,032,423	285	49,756	93,315	938,746	17,052,439	1,687	115,565

3.2. 오염원 현황

Table 3의 연구대상지역 오염원 현황 결과에서, 연구대상 지역의 총 거주인구는 1,032,423명으로 조사되었다. 유역별로는 도시화가 진행된 경안천 유역이 전체 인구의 38.8%를 차지하는 것으로 나타났고, 농경지가 발달한 남한강 유역이 37.6%, 수도권과 가장 가까운 팔당호 유역 18.3%, 산지가 대부분인 북한강 유역은 5.4%를 차지하였다. 또한 인구 밀도는 경안천 유역이 895 인/km²으로 가장 높았고 팔당호 유역 249 인/km², 남한강 유역 233 인/km², 북한강 유역이 74 인/km²인 것으로 파악되어, 경안천 유역이 북한강 유역에 비해 12배, 팔당호와 남한강 유역의 4배로 인구밀집도가 매우 큰 것으로 파악되었다.

가축사육현황에서 팔당호 유역은 상수원 보호를 위해 대규모 가축사육시설 입지가 금지되어 왔고, 북한강 유역은 대부분 산지인 관계로 가축사육이 어려우며, 경안천 유역은 도시화가 진행되어 대부분의 축산농가가 남한강 유역에 밀집되어 있는 것으로 파악되었다. 대상 유역 전체 가축사육두수에서 남한강 유역이 차지하는 축종별 비율은 젖소는 84.6%, 한우는 73.6%, 돼지는 90.7%, 닭 등 가금류는 77.3%를 차지하는 것으로 조사되었다.

공장 등 산업폐수 배출시설 현황을 살펴보면, 총 1,687개 사업장에서 115,565 m³/d의 산업폐수가 발생되고 있으며, 사업장수는 남한강 유역이 821개소로 48.7%를 차지하고, 경안천 유역 35.4%, 팔당호 유역 9.5%, 북한강 유역 6.4%를 차지하는 것으로 조사되었다. 특히 남한강 유역의 경우에는 사업장수는 48.7%인데 산업폐수 발생량은 대상지역 전체 발생량의 70.2%인 81,172 m³/d로 가장 많은데, 이는 상수원 보호를 목적으로 팔당상류지역의 상수원보호구역, 특별대책지역내에 대규모 사업장의 입지를 금지하고 있기 때문이다.

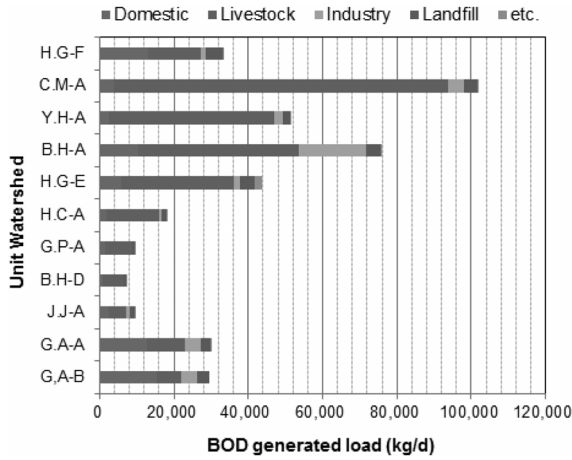


Fig. 3. BOD generated load of the watershed.

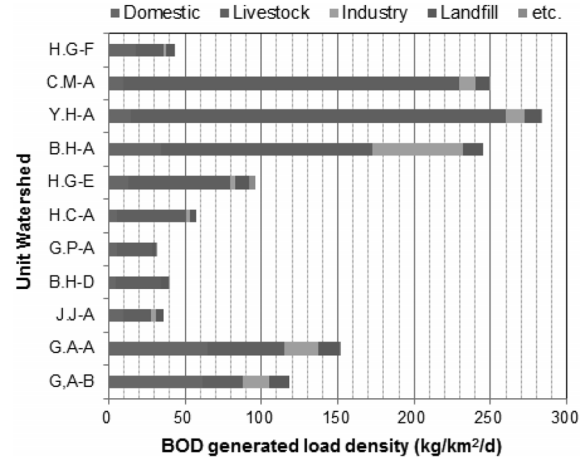


Fig. 4. BOD generated load density of the watershed.

Table 4. BOD generated load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	BOD generated load (kg/d)					Total	BOD generated density (kg/km ² /d)					Total
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	
Paldang lake	H.G-F	13,172	13,989	1,205	4,629	2	32,997	17.4	18.4	1.6	6.1	0.0	43.5
	C.M-A	3,822	89,928	4,247	3,740	21	101,758	9.4	220.0	10.4	9.2	0.1	249.1
	Y.H-A	2,609	44,447	2,246	2,002	14	51,318	14.4	245.2	12.4	11.0	0.1	283.1
Namhan river	B.H-A	10,481	43,025	18,266	4,014	4	75,790	33.9	139.0	59.0	13.0	0.0	244.9
	H.G-E	5,751	30,476	1,516	3,846	2,027	43,616	12.7	67.1	3.3	8.5	4.5	96.1
	H.C-A	1,699	14,324	575	1,304	10	17,912	5.4	45.6	1.8	4.2	0.0	57.0
	Total	24,362	222,200	26,850	14,906	2,076	290,394	75.8	716.9	86.9	45.9	4.7	930.2
Bukhan river	G.P-A	1,641	7,061	67	781	71	9,621	5.3	23.0	0.2	2.5	0.2	31.2
	B.H-D	875	5,455	46	842	17	7,235	4.7	29.4	0.2	4.5	0.1	38.9
	J.J-A	2,384	4,704	988	1,195	5	9,276	9.2	18.1	3.8	4.6	0.0	35.7
	Total	4,900	17,220	1,101	2,818	93	26,132	19.2	70.5	4.2	11.6	0.3	105.8
Gyeongan stream	G.A-A	12,776	10,021	4,464	2,748	10	30,019	64.4	50.5	22.5	13.9	0.1	151.4
	G.A-B	15,315	6,627	4,210	3,353	0	29,505	61.5	26.6	16.9	13.5	0.0	118.5
	Total	28,091	16,648	8,674	6,101	10	59,524	125.9	77.1	39.4	27.4	0.1	269.9
Total	70,525	270,057	37,830	28,454	2,181	409,047	238.3	882.9	132.1	91.0	5.1	1,349.4	

3.3. 오염부하량

3.3.1. 발생부하량

유역별 BOD 발생부하량을 Fig. 3과 Table 4에 비교하였다. 대상지역의 일평균 BOD 발생부하량은 409,047 kg/d으로, 이중 남한강 유역이 차지하는 비율은 전체 71.0%인 290,394 kg/d로 가장 많았고, 다음으로 경안천 유역이 14.6%인 59,524 kg/d, 팔당호 유역이 8.1%인 32,997 kg/d, 북한강 유역이 6.4%인 26,132 kg/d로 산정되었다.

4개의 유역면적과 각 유역의 BOD 발생부하량을 이용하여 면적당 BOD 발생부하 밀도를 산정한 결과(Fig. 4, Table 4), 남한강 유역이 930.2 kg/km²/d로 가장 크고, 경안천이 269.9 kg/km²/d, 북한강 105.8 kg/km²/d, 팔당호 유역이 43.5 kg/km²/d인 것으로 나타났다. 팔당호 유역의 BOD 발생부하량은 북한강 유역에 비해 많지만 대부분 상수원 보호구역으로 설정되어 있어서, 발생부하밀도는 산지가 많은 북한강 유역보다 적음을 알 수 있었다.

전체 BOD 발생부하량을 오염원 그룹별로 살펴보았을 때, 축산계에서 발생하는 양이 전체 66.0%로 가장 많았고, 생활계 17.2%, 산업계 9.2%, 토지계 7.0%, 기타 매립장이나 양식장 0.5% 순으로 나타났다. 특히 남한강 유역은 축산계와 생활계, 산업계가 각각 전체 BOD 발생부하량의 82.3%, 34.5%, 52.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

팔당호 유역 등 4개 유역의 TP 발생부하량도 BOD 발생부하량과 유사한 패턴을 보였다. Fig. 5와 Table 5에서, 일평균 TP 발생부하량은 총 29,875.2 kg/d로 산정되었는데 이중 남한강 유역이 전체 77.3%인 23,098.5 kg/d이 발생하는 것으로 나타났으며 경안천 유역, 북한강유역, 팔당호 유역 순으로 각각 2,791.7 kg/d, 2,254.8 kg/d, 1,730.2 kg/d이 발생되었다.

Fig. 6과 Table 5에 나타난 바와 같이, TP 발생부하밀도는, 남한강 유역이 74.67 kg/km²/d로 가장 발생부하 밀도가 컸으며, 이는 TP 발생부하밀도가 가장 적은 팔당호 유역 2.28

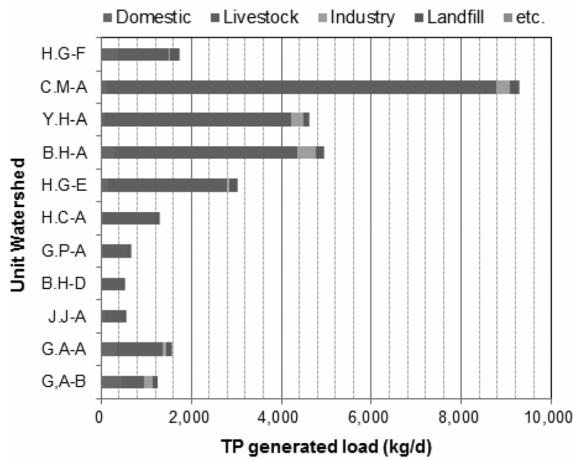


Fig. 5. TP generated load of the watershed.

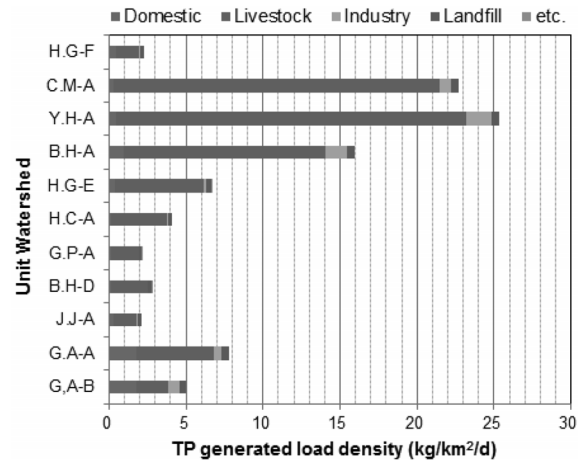


Fig. 6. TP generated load density of the watershed.

Table 5. TP generated load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	TP generated load (kg/d)					Total	TP generated density (kg/km ² /d)					Total
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	
Paldang lake	H,G-F	369,7	1,120,8	26,3	213,3	0,1	1,730,2	0,49	1,48	0,03	0,28	0,00	2,28
	C,M-A	113,3	8,672,7	302,3	174,0	1,1	9,263,4	0,28	21,22	0,74	0,43	0,00	22,67
	Y,H-A	76,9	4,131,4	294,6	88,9	0,7	4,592,5	0,42	22,79	1,62	0,49	0,00	25,32
Namhan river	B,H-A	303,9	4,058,3	410,9	160,1	0,1	4,933,3	0,98	13,11	1,33	0,52	0,00	15,94
	H,G-E	164,7	2,613,0	75,2	168,2	15,2	3,036,3	0,36	5,75	0,17	0,37	0,03	6,68
	H,C-A	49,0	1,139,0	6,4	78,1	0,5	1,273,0	0,16	3,63	0,02	0,25	0,00	4,06
	Total	707,8	20,614,4	1,089,4	669,3	17,6	23,098,5	2,20	66,50	3,88	2,06	0,03	74,67
Bukhan river	G,P-A	45,5	547,4	1,6	57,7	3,7	655,9	0,15	1,78	0,01	0,19	0,01	2,14
	B,H-D	25,3	438,0	1,7	45,1	1,0	1,055,0	0,14	2,36	0,01	0,24	0,01	4,85
	J,J-A	67,7	403,3	10,7	61,9	0,3	543,9	0,26	1,55	0,04	0,24	0,00	2,09
	Total	138,5	1,388,7	14,0	164,7	5,0	2,254,8	0,55	5,69	0,06	0,67	0,02	6,99
Gyeongan stream	G,A-A	348,0	1,004,6	94,3	94,0	0,1	1,541,0	1,75	5,06	0,48	0,47	0,00	7,76
	G,A-B	444,0	507,6	184,5	114,6	0,0	1,250,7	1,78	2,04	0,74	0,46	0,00	5,02
	Total	792,0	1,512,2	278,8	208,6	0,1	2,791,7	3,53	7,10	1,22	0,93	0,00	12,78
Total		2,008,0	24,636,1	1,408,5	1,255,9	22,8	29,875,2	6,77	80,77	5,19	3,94	0,05	96,72

kg/km²/d의 32.8배에 달하는 것으로 나타났다. 특히 남한강 유역의 축산계 TP 발생부하밀도는 66.5 kg/km²/d로 남한강 전체 TP 발생부하밀도의 89.0%를 차지하는데, 이 또한 팔당호 유역에 비해 남한강 유역에 축산 농가를 비롯한 다수의 오염원이 입지해 있기 때문이다.

3.3.2. 배출부하량

대상지역의 BOD 발생부하량 409,047 kg/d 중 73.3%에 달하는 299,627 kg/d는 발생원이나 공공하수처리시설과 같은 환경기초시설에서 처리되고, 약 26.7%인 109,420 kg/d만 배출되는 것으로 조사되었다(Fig. 7, Table 6).

오염원 그룹별 BOD 발생량 대비 배출량의 비율을 살펴보면, 생활계는 66.2%, 축산계는 12.4%, 산업계는 2.0%, 토지계는 99.6%, 기타 침출수 등은 7.6%가 배출되는 것으로 파악되었고 전체 배출부하량 중 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 기타가 차지하는 비율은 각각 42.7%, 30.6%,

0.7%, 25.9%, 0.2%로 생활계의 비율이 비교적 높은 것을 알 수 있었다.

단위유역별 BOD 배출부하량은 복하A 단위유역의 배출부하량이 18,133 kg/d로 가장 많고, 북한D 단위유역이 가장 적은 것으로 나타났다. 특히 BOD 발생부하량이 가장 많은 청미A에서는 BOD 발생부하량 101,758 kg/d 중 14,201 kg/d만 배출하여 전체 11개 단위유역 중 4순위로 BOD 배출부하량이 많은 것으로 나타났고, 경안B 단위유역의 경우에는 BOD 발생부하량은 11개 단위유역 중 7순위이나, BOD 배출부하량은 2순위로 많아지는 등 유역별 처리특성에 따라 BOD 배출부하량이 크게 변하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8에서 각 단위유역의 면적별 BOD 배출부하를 나타내는 BOD 배출부하밀도를 살펴보면, 경안B 단위유역이 67.9 kg/km²/d로 가장 BOD 배출부하밀도가 높았고, 이후 경안A, 복하A, 양화A 순으로 파악되었다. 특히 경안B는 BOD 발생부하밀도가 전체 4번째이었으나 배출부하밀도는 가장

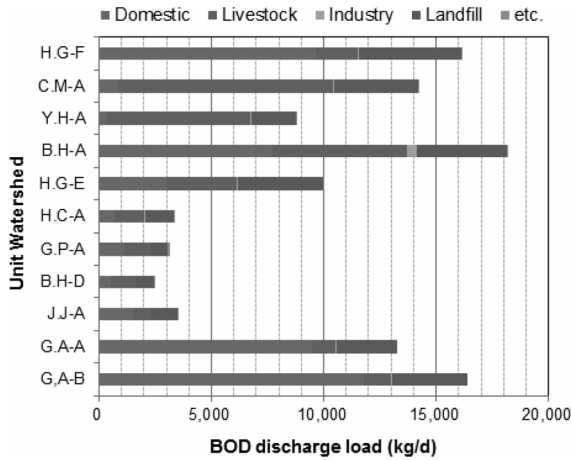


Fig. 7. BOD discharge load of the watershed.

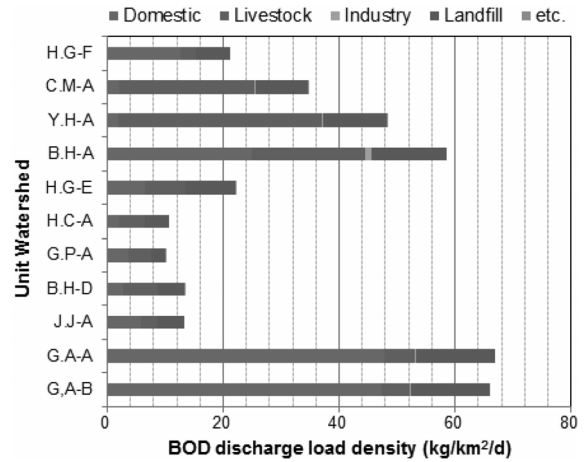


Fig. 8. BOD discharge load density of the watershed.

Table 6. BOD discharge load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	BOD discharged load (kg/d)					Total	BOD discharged density (kg/km ² /d)					Total
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	
Paldang lake	H,G-F	9,665	1,866	42	4,573	2	16,148	12.7	2.5	0.1	6.0	0.0	21.3
	C,M-A	832	9,568	50	3,730	21	14,201	2.0	23.4	0.1	9.1	0.1	34.7
	Y,H-A	340	6,389	42	2,002	14	8,787	1.9	35.2	0.2	11.0	0.1	48.4
Namhan river	B,H-A	7,724	6,000	412	3,996	1	18,133	25.0	19.4	1.3	12.9	0.0	58.6
	H,G-E	3,006	3,126	39	3,825	30	10,026	6.6	6.9	0.1	8.4	0.1	22.1
	H,C-A	695	1,330	14	1,304	10	3,353	2.2	4.2	0.0	4.2	0.0	10.6
	Total	12,597	26,413	557	14,857	76	54,500	37.7	89.1	1.7	45.6	0.3	174.4
Bukhan river	G,P-A	1,128	1,156	1	781	71	3,137	3.7	3.8	0.0	2.5	0.2	10.2
	B,H-D	508	1,090	11	842	12	2,463	2.7	5.9	0.1	4.5	0.1	13.3
	J,J-A	1,499	775	8	1,195	5	3,482	5.8	3.0	0.0	4.6	0.0	13.4
	Total	3,135	3,021	20	2,818	88	9,082	12.2	12.7	0.1	11.6	0.3	36.9
Gyeongan stream	G,A-A	9,496	1,019	36	2,731	0	13,282	47.9	5.1	0.2	13.8	0.0	67.0
	G,A-B	11,801	1,166	88	3,353	0	16,408	47.4	4.7	0.4	13.5	0.0	66.0
	Total	21,297	2,185	124	6,084	0	29,690	95.3	9.8	0.6	27.3	0.0	133.0
Total		46,694	33,485	743	28,332	166	109,420	157.9	114.1	2.5	90.5	0.6	365.6

높은 반면, BOD 발생부하 밀도가 가장 높은 양화A의 BOD 배출부하 밀도는 전체 유역 중 4순위로 나타났다.

이러한 현상은 양화A에서 가축분뇨가 많이 발생하지만, 발생량 대부분 퇴비화나 가축분뇨 공공처리시설로 유입처

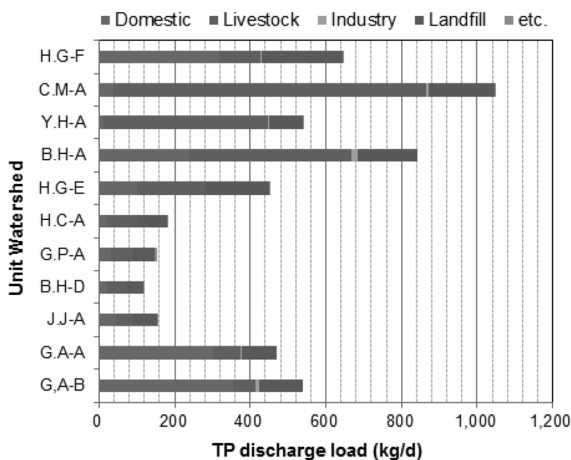


Fig. 9. TP discharge load of the watershed.

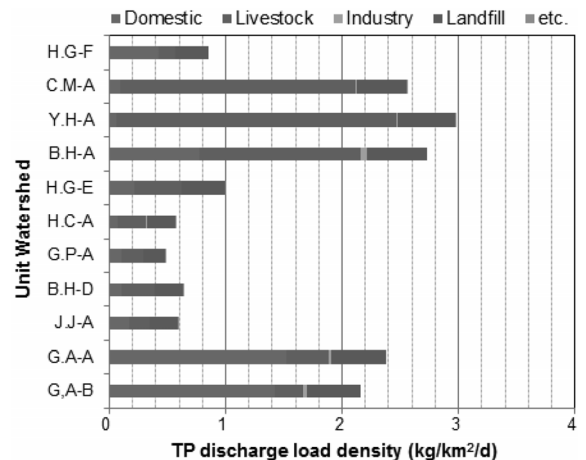


Fig. 10. TP discharge load density of the watershed.

Table 7. TP discharge load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	TP discharged load (kg/d)						TP discharged density (kg/km ² /d)					
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	Total	Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	Total
Paldang lake	H,G-F	318.8	109.7	2.7	212.0	0.1	643.3	0.420	0.145	0.004	0.279	0.000	0.848
	C,M-A	36.9	828.7	5.4	173.7	1.1	1,045.8	0.090	2.028	0.013	0.425	0.003	2.559
	Y,H-A	11.0	436.1	2.5	88.9	0.7	539.2	0.061	2.405	0.014	0.490	0.004	2.974
Namhan river	B,H-A	239.9	428.0	15.9	159.7	0.0	843.5	0.775	1.383	0.051	0.516	0.000	2.725
	H,G-E	100.0	181.3	2.3	167.7	1.6	452.9	0.220	0.399	0.005	0.369	0.004	0.997
	H,C-A	22.3	77.4	1.0	78.1	0.5	179.3	0.071	0.247	0.003	0.249	0.002	0.572
	Total	410.1	1,951.5	27.1	668.1	3.9	3,060.7	1.217	6.462	0.086	2.049	0.013	9.827
Bukhan river	G,P-A	32.2	58.3	0.1	57.7	3.7	152.0	0.105	0.190	0.000	0.188	0.012	0.495
	B,H-D	20.5	52.4	0.2	45.1	0.6	271.4	0.110	0.282	0.001	0.243	0.003	1.225
	J,J-A	44.7	44.8	0.9	61.9	0.3	152.6	0.172	0.172	0.003	0.238	0.001	0.586
	Total	97.4	155.5	1.2	164.7	4.6	576.0	0.387	0.644	0.004	0.669	0.016	1.720
Gyeongan stream	G,A-A	302.4	70.7	4.7	93.4	0.0	471.2	1.524	0.356	0.024	0.471	0.000	2.375
	G,A-B	353.5	61.6	8.3	114.6	0.0	538.0	1.420	0.247	0.033	0.460	0.000	2.160
	Total	655.9	132.3	13.0	208.0	0.0	1,009.2	2.944	0.603	0.057	0.931	0.000	4.535
Total	1,482.2	2,349.0	44.0	1,252.8	8.6	5,289.2	4.968	7.854	0.151	3.928	0.029	16.930	

리 하는 과정을 거치면서 오염 부하량이 급격히 감소되기 때문으로 판단된다. 반면 경안B, 경안A 단위유역은 도시화로 인구밀도가 크고, 상대적으로 대지면적이 넓으며, 가축사육두수는 적기 때문에 처리과정을 통해 급격히 오염물질이 감소하는 현상을 기대하기 어려운 여건을 갖고 있다.

TP는 전체 발생량의 약 17.7%인 5,289.2 kg/d이 하천으로 배출되는 것으로 나타났는데, 발생부하량 대비 배출부하량은 생활계 73.8%, 축산계 9.5%, 산업계 3.1%, 토지계 99.8%, 기타 침출수 등은 37.7%로 파악되었다. 정량적으로 TP 배출부하량을 살펴보면 축산계가 2,349.0 kg/d으로 가장 많았고 생활계 1,482.2 kg/d, 토지계 1,252.8 kg/d, 산업계 44.0 kg/d, 기타 침출수 등은 8.6 kg/d으로 나타났다(Fig. 9, Table 7).

단위 유역별 비교하면, TP 발생량이 가장 많았던 청미A 단위유역이 1,045.8 kg/d으로 배출부하량도 가장 많았고, TP 발생량이 가장 적은 단위유역은 가평A 단위유역으로 일평균 152.0 kg/d을 배출하는 것으로 나타났다. 하천별 TP 배출부하밀도는 양화A 단위유역이 2.974 kg/km²/d으로 가장 높았으며, 흑천A 단위유역은 0.572 kg/km²/d로 가장 낮은 것으로 나타났다(Fig. 10).

3.4. 유달률과 유달부하량

대상지역 내 주요 하천 74개 지점에서 8일 간격으로 측정된 수질과 유량자료를 이용하여 하천별 수체내 오염물질

양을 산정하고, 소유역이나 세유역에서 배출하는 오염물질을 정량적으로 산정한 배출부하량을 이용하여 각 지점의 월별 유달률을 산정하여 Table 8에 나타내었다.

11개 단위유역의 연평균 BOD 유달률은 16.4%로, 단위유역별 BOD 유달률에서는 양화A 단위유역이 37.1%로 가장 높았고, 북한A, 흑천A 순이었으며, 경안B 단위유역의 BOD 유달률이 가장 낮은 것으로 나타났다.

대상지역의 연평균 TP 유달률은 20.5%로 BOD 보다 유달률이 높게 나타났으며, 북한A 단위유역이 40.8%로 가장 큰 TP 유달률을 보였으며, 북한D의 TP 유달률은 7.2%로 가장 낮았다.

경안천 유역의 경우, 대부분의 오염물질이 공공하수처리 시설 등을 거쳐 처리되어 바로 하천으로 방류되기 때문에 BOD 유달률이 가장 높았고, 인구밀도가 낮고, 가축사육두수가 적은 북한D 유역의 TP 유달률이 가장 낮게 산정된 것으로 사료된다.

유달률을 바탕으로 단위유역별 BOD 유달부하량 산정결과를 Fig. 11과 Table 9에 정리하였다.

오염원에서 배출된 BOD 109,420 kg/d 중 21.1%인 23,043 kg/d이 하천으로 유입되는데, 이중 축산계가 가장 많은 8,381 kg/d, 생활계 7,898 kg/d, 토지계 6,532 kg/d, 산업계 198 kg/d, 기타 침출수 등이 34 kg/d을 차지하는 것으로 나타났다.

유역별로 살펴보면, 청미A 단위유역의 BOD 유달부하량은 전체 BOD 유달부하량의 18.6%인 4,295 kg/d을 차지하고 있

Table 8. BOD and TP delivery ratio of the watershed

Item	Paldang lake		Namhan River				Bukhan River				Gyeongan stream		Total Avg.		
	H,G-F	C,M-A	Y,H-A	B,H-A	H,G-E	H,C-A	Avg.	G,P-A	B,H-D	J,J-A	Avg.	G,A-A		G,A-B	Avg.
BOD delivery ratio (%)	19.1	19.1	37.1	35.1	20.7	15.1	22.6	24.9	15.5	15.5	14.4	14.7	19.9	13.6	16.4
TP delivery ratio (%)	21.6	21.6	24.4	40.8	24.6	17.8	12.2	25.3	7.2	18.7	15.1	13.4	27.6	14.2	20.5

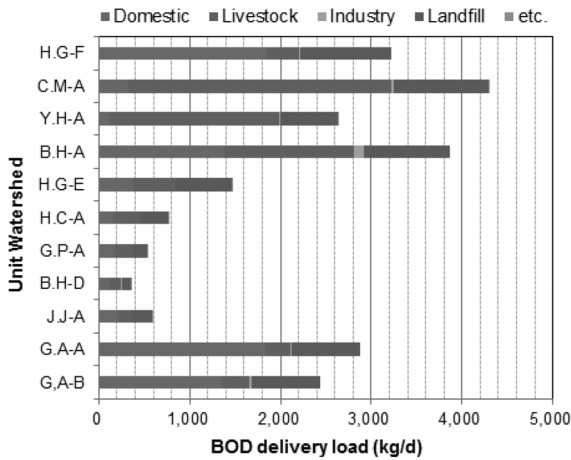


Fig. 11. BOD delivery load of the watershed.

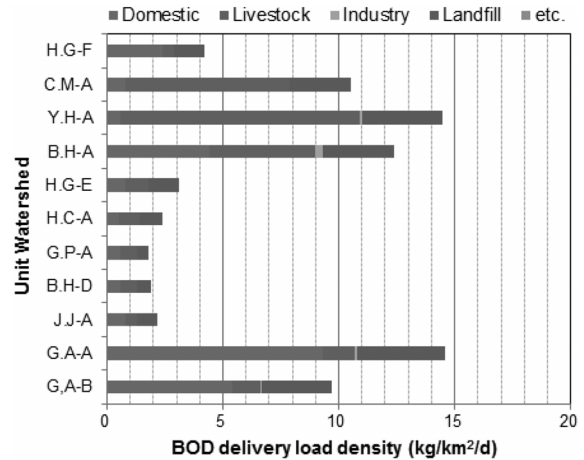


Fig. 12. BOD delivery load density of the watershed.

Table 9. BOD delivery load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	BOD delivery load (kg/d)					Total	BOD delivery density (kg/km ² /d)					Total
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.	
Paldang lake	H,G-F	1,849	362	10	994	0	3,215	2,4	0,5	0,0	1,3	0,0	4,2
	C,M-A	320	2,903	19	1,045	8	4,295	0,8	7,1	0,0	2,6	0,0	10,5
	Y,H-A	113	1,866	20	631	4	2,634	0,6	10,3	0,1	3,5	0,0	14,5
Namhan river	B,H-A	1,374	1,438	105	951	0	3,868	4,4	4,6	0,3	3,1	0,0	12,4
	H,G-E	379	460	7	613	5	1,464	0,8	1,0	0,0	1,3	0,0	3,1
	H,C-A	162	287	3	314	3	769	0,5	0,9	0,0	1,0	0,0	2,4
	Total	2,348	6,954	154	3,554	20	13,030	7,1	23,9	0,4	11,5	0,0	42,9
Bukhan river	G,P-A	178	205	1	142	12	538	0,6	0,7	0,0	0,5	0,0	1,8
	B,H-D	117	131	2	106	1	357	0,6	0,7	0,0	0,6	0,0	1,9
	J,J-A	219	142	1	228	1	591	0,8	0,5	0,0	0,9	0,0	2,2
	Total	514	478	4	476	14	1,486	2,0	1,9	0,0	2,0	0,0	5,9
Gyeongan stream	G,A-A	1,837	278	12	749	0	2,876	9,3	1,4	0,1	3,8	0,0	14,6
	G,A-B	1,350	309	18	759	0	2,436	5,4	1,2	0,1	3,0	0,0	9,7
	Total	3,187	587	30	1,508	0	5,312	14,7	2,6	0,2	6,8	0,0	24,3
Total		7,898	8,381	198	6,532	34	23,043	26,2	28,9	0,6	21,6	0,0	77,3

으며, 다음으로 북한A, 한강F 순이며, BOD 유달부하량이 가장 적은 단위유역은 북한D로, 청미A 유달부하량의 8.2% 수준인 351 kg/d로 분석되었다.

Fig. 12와 Table 9의 BOD 유달부하밀도 분석결과에서, 유달부하량이 가장 적은 가평A가 BOD 유달부하밀도 최저값을 나타냈다. 도시화가 진행된 경안A 지역의 BOD 유달부하량은 전체 단위유역 중 4순위로 많았고, 유달부하밀도는 14.6 kg/km²/d로 가장 높은 것으로 나타났다. 전체 BOD 유달부하량 중 생활계와 토지계가 전체 88.4%를 차지하는 것으로 볼 때, 경안A 유역에 대해 공공하수처리장 관리와 더불어 도로 등 불투수층의 비점오염원 관리가 중점적으로 요구된다.

TP 유달부하량은 TP 배출부하량 5,289.2 kg/d의 24.1%인 1,274.7 kg/d로 산정되었으며, 배출량의 75.9%는 침전되거나 수변공간에서 자라는 식물들의 영양물질로 이용되는 것으로 나타났다. 전체 TP 유달부하량 중 축산계가 595.5 kg/d

로 가장 많았으며, 생활계 353.9 kg/d으로 가축분뇨와 생활오수가 전체 TP 유달부하량의 74.5%를 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 13, Table 10).

단위유역별로, 남한강유역의 청미A 단위유역의 TP 유달부하량이 전체 TP 유달부하량의 21.4%인 272.9 kg/d를 차지하고, 북한A 236.1 kg/d, 양화A 223.4 kg/d 순으로 많았으며, 북한강 유역에 위치한 가평A는 전체 TP 유달부하량의 0.9%인 12.1 kg/d로 가장 적었다. Fig. 14에서 단위면적당 TP 유달부하밀도를 살펴보면, 양화A 유역의 TP 유달부하밀도가 1.232 kg/km²/d로 가장 높게 나타났다. 양화A의 오염원별 TP 유달부하밀도를 살펴보면, 축산계와 토지계가 각각 0.953 kg/km²/d, 0.234 kg/km²/d로 양화A TP 유달부하밀도의 96%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이를 통해 양화A의 TP 관리를 위해서는 가축분뇨와 농경지 비점오염원에 대한 중점관리가 최우선적으로 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

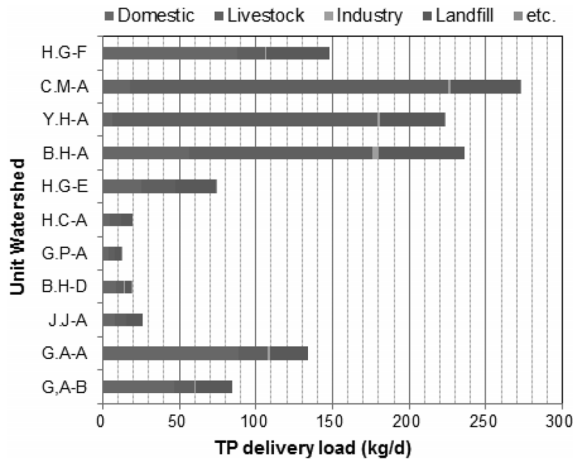


Fig. 13. TP delivery load of the watershed.

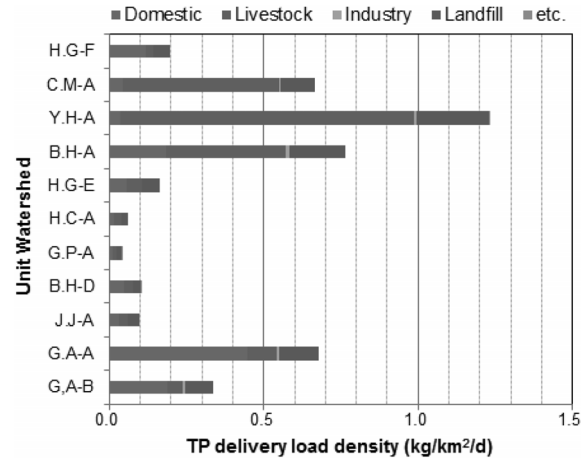


Fig. 14. TP delivery load density of the watershed.

Table 10. TP delivery load and density of the watershed

River basin	Unit watershed	TP delivery load (kg/d)					Total	TP delivery density (kg/km ² /d)					Total	
		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		Domestic	Livestock	Industry	Landfill	etc.		
Paldang lake	H,G-F	87,7	18,6	0,6	40,8	0,0	147,7	0,116	0,025	0,001	0,054	0,000	0,196	
	C,M-A	17,9	207,4	1,3	46,1	0,2	272,9	0,044	0,507	0,003	0,113	0,000	0,667	
	Y,H-A	6,3	172,8	1,4	42,5	0,4	223,4	0,035	0,953	0,008	0,234	0,002	1,232	
	Namhan river	B,H-A	56,5	119,4	4,2	56,0	0,0	236,1	0,183	0,386	0,014	0,181	0,000	0,764
		H,G-E	24,8	22,3	0,3	26,3	0,2	73,9	0,055	0,049	0,001	0,058	0,000	0,163
		H,C-A	4,7	7,1	0,1	7,5	0,0	19,4	0,015	0,023	0,000	0,024	0,000	0,062
Total	110,2	529,0	7,3	178,4	0,8	825,7	0,332	1,918	0,026	0,610	0,002	2,888		
Bukhan river	G,P-A	3,6	4,1	0,1	4,1	0,2	12,1	0,012	0,013	0,000	0,013	0,001	0,039	
	B,H-D	9,0	5,0	0,1	4,6	0,1	44,8	0,048	0,027	0,001	0,025	0,001	0,201	
	J,J-A	8,2	7,3	0,1	10,4	0,0	26,0	0,031	0,028	0,000	0,040	0,000	0,099	
	Total	20,8	16,4	0,3	19,1	0,3	82,9	0,091	0,068	0,001	0,078	0,002	0,240	
Gyeongan stream	G,A-A	88,8	18,5	1,5	25,4	0,0	134,2	0,448	0,093	0,008	0,128	0,000	0,677	
	G,A-B	46,4	13,0	1,4	23,4	0,0	84,2	0,186	0,052	0,006	0,094	0,000	0,338	
	Total	135,2	31,5	2,9	48,8	0,0	218,4	0,634	0,145	0,014	0,222	0,000	1,015	
Total		353,9	595,5	11,1	287,1	1,1	1,274,7	1,173	2,156	0,042	0,964	0,004	4,339	

4. 결론

연구대상 유역의 BOD와 TP에 대한 발생부하량과 배출부하량을 분석한 결과, BOD는 발생부하량 중 73.3%가 발생원이나 공공처리시설에서 처리된 후 26.7%가 배출되고, 하천으로 유입되는 양은 발생부하량의 5.6%이었다. TP의 경우에는 발생부하량의 17.7%가 배출되고 실제 하천으로 유입되는 양은 4.3%로 나타났다.

팔당호 및 주요지천의 수질변화는 수체로 유입되는 유달부하량의 변화에 영향을 받게 되는데, 연구대상 유역의 BOD 유달부하량은 일평균 23,043 kg으로 이중 남한강 유역이 57%로 가장 많고 경안천 23%, 팔당호 14%, 북한강 6% 순으로 나타났다. 따라서 팔당호 BOD 유입부하량을 저감하기 위해서는 남한강과 경안천 유역을 중심으로 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

유달부하량 저감을 위해서는 유역별로 중점관리 오염원

선정이 필요한데, 남한강과 경안천 유역에 속하는 단위유역의 오염원별 BOD 유달부하량을 분석한 결과, 남한강 유역은 청미A, 양화A, 복하A 단위유역의 축산계 오염원이 전체 유달부하량의 12.6%, 8.1%, 6.2%를 차지하고 경안천 유역은 경안A와 경안B 단위유역의 생활계 오염원이 각각 8.0%, 5.9%를 차지하고 있어 남한강은 가축분뇨, 경안천은 생활오수 중심의 관리대책 마련이 필요한 것으로 판단되었다.

TP 유달부하량도 BOD와 유사한 형태를 나타냈는데, 전체 유달부하량 1,274.7 kg/d 중 남한강 유역이 차지하는 비율은 65%로 가장 컸고 경안천, 팔당호, 북한강 유역은 각각 17%, 12%, 6%를 차지하고 있어 BOD와 같이 남한강 유역과 경안천 유역에 대한 중점관리가 필요한 것으로 분석되었다. 남한강과 경안천 유역에 있는 단위유역의 오염원별 TP 유달부하량을 비교한 결과, 청미A, 양화A, 복하A 단위유역의 축산계 오염원이 전체 유달부하량의 16.3%, 13.6%, 9.4%를 차지하고 있고 경안천 유역의 경안A, 경안B 생활계 오염원

이 각각 7.0%, 3.6%를 차지하는 것으로 파악되어 BOD와 같이 TP도 남한강은 가축분뇨, 경안천은 생활오수에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

따라서 팔당호 수질개선을 위해서는 남한강 유역의 축산 분뇨에 대한 처리수준을 강화하거나 공공처리시설의 설치와 운영이 필요하고, 경안천 유역의 생활오수 관리를 위해서 정화조나 오수처리시설에 대한 철저한 관리와 우기시 발생하는 하수관거 월류수에 대한 관리대책 및 공공하수처리 시설 방류수 수질 강화 등의 개선대책이 추진되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 연구결과는 연구대상 유역에 있는 모든 단위유역의 유달부하량이 팔당호에 동일한 영향을 미치는 것을 가정으로 산정된 결과이므로 유하하는 과정에서 일어나는 분해작용이나 침전, 재부상 현상은 반영되지 않은 한계가 있다. 하지만 팔당호 수질이 상류 단위유역의 수질변화에 영향을 받고 각 단위유역의 말단 수질은 유역 내 소하천 수질 변화에 직접적인 영향을 받기 때문에 소하천별 유량과 수질 측정 결과를 기반으로 산정된 유달부하량을 이용하여 중점관리 오염원을 선정하는 방법은 효과적인 수질개선을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

KSEE

Reference

1. Park, H. K., Lee, U. H. and Jung, D. I., "Organic Carbon Budget during Rainy and Dry Period in Paldang Reservoir," *J. Kor. Soc. Limnol.*, **37**(3), 272~281(2004).
2. Wetzel, R. G., Reservoir ecosystems: conclusions and speculations. In : Reservoir Lommology : Ecological perspectives K. W. Thornton, B. L. Kimmel, and F. E. Payme(des.), Wiley interscience, New York(1990).
3. Kim, L. H. and Lee, S. H., "Characteristics of Washed-off Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storms," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **21**(3), 248~255 (2005).
4. Lee, B. S. and Gil, K. I., "Effect of Plant Coverage on the Treatment Efficiency of Nitrogen and Phosphorus in Vegetative Filter Strips," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **24**(4), 499~503 (2008).
5. Park, J. H., Kong, D. S. and Min, K. S., "Delivered Pollutant Loads of Point and Nonpoint Source on the Upper Watershed of Lake Paldang-Case Study of the Watershed of Namhan River and Gyeongan Stream," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **24**(6), 750~757(2008).
6. Lee, H. D., Ahn, J. H., Bae, C. H. and Kim, W. J., "Estimation of the Unit Loading and Total Loading of Nonpoint Source in Paldang Watershed by Runoff Loading during the Rainfall," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **17**(3), 313~326(2001).
7. Gil, K. I., Shin, J. W. and Hur, J., "Loading of Organic Matter according to Seasonal Changes into Lake Paldang during Non-storm Period," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **27**(4), 433~437 (2011).
8. Chung, E. S., Lee, K. S. and Shin, M. J., "Characteristics of Water Quantity and Quality of the Anyangcheon using SWAT Model and Calculation Result of EMC," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **22**(4), 648~657(2006).
9. Woo, Y. G., Pakr, E. Y., Jeon, Y. K., Jeong, M. S. and Rim, J. M., "Optimal Management Scheme for Phosphorus Discharged from Public Sewage Treatment Plant Located in Upstream Basin of Paldang Lake," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **27**(2), 200~209(2011).
10. Han river basin commission and National institute of environmental research, The operation and evaluation of water quality and stream flow monitoring network in han river basin, pp. 419~421(2006).
11. Park, J. H., Kong, D. S. and Min, K. S., "Development of the Empirical Model for Estimating the Delivered Pollutant Loads Considering Geomorphic and Hydraulic Characteristics" *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **23**(6), 913~919(2007).