

農村流域에서의 水質汚染 特性에 관한 研究

金瀚泰 · 權純國

A Study on the Characteristics of Water Pollution in Rural Areas

Han-Tea Kim, Soon-Kuk Kwun

Abstract

The objective of this study is to understand the status of the water pollution in rural areas and to furnish a basic material for the management of the water pollution in rural areas. For this purpose, the Bokha river basin, Ichon-Gun, Kyungki-Do considering as a typical agricultural area was selected as a representative experimental watershed. The characteristics of water pollution in streams of the Bokha river basin was revealed by investigating and analyzing data collected for the source of pollution, water qualities in reaches of the stream, the degree of contribution to the river contamination by pollution mass produced from each source, and the status of the self-purification at the main stream.

The most important source of the water pollution in investigated watershed was livestock, and the next important one were in the order of population, land use, and industry. The water quality of the Bokha river was relatively favorable judging from the BOD and COD concentration, however since the concentration of T-N and T-P showed significantly large values, it was concluded that the river was seriously contaminated by the nutrient material.

The main cause of the river contamination was proved due to livestock waste. For the T-N, both land use and livestock were much more contributed to the pollution than any other source, which characterized the typical water pollution of rural areas.

Run-off ratios for the Bokha river tributaries to the main stream were changed according to the similar trend to the variation of discharges in the branch streams. For the value of the self-purification constant at the main stream, it showed smaller value in the downstream reach than the middle-stream and upstream reaches, where could possibly have smaller reoxidation action due to slower velocity and deeper water depth.

* 서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon, Korea.

緒 論

우리나라는 최근 20년간 급속한 산업화와 도시화를 거치면서 環境汚染이 날이 심화되고 있으며 이러한 현상은 생활환경의 질을 저하시키고 건강을 해칠 우려가 있을 뿐 아니라 산업생산은 물론 農業生産에도 직접, 간접으로 피해를 주고있다.

특히 농촌의 水質環境은 축산시설의 증가, 각종 위탁 시설 및 농공지구의 개발에 따라 汚染要因이 계속 증가하는 반면 하수처리 등 환경기초시설의 투자는 도시 지역에 편중되어 水質汚染에 대한 대책은 미흡한 상태에 있다. 농가의 자체정화시설의 설치에 경제적, 기술적 여건상 현실적으로는 어려운 실정에 있어 농촌 지역의 소하천 수질이 급격히 악화되고 있으며 각종 오수 등에 의한 營養物質의 유입으로 湖沼와 저수지는 富營養化가 되고 있다. 그 결과 農業用水 취수의 주 水源인 소하천과 저수지의 수질이 전반적으로 급속히 저하되어 가는 경향을 보이고 있어 이로 인한 농작물의 피해가 예상되고 있다. 이에 따라 用水量이 매우 큰 벼농사가 주산업인 농촌지역에서의 水質環境 管理가 시급한 실정이다.¹⁾

농촌을 대상으로 하는 수질환경의 관리계획을 세우는데 있어서는 수계의 유역 단위로 구분하여 그 유역의 자연조건, 사회경제적 조건, 수리상황, 오염 발생원, 수질 오염 상황에 대한 조사가 선행되어야 한다. 또한 發生 負荷, 排出負荷의 산정, 유달율의 산출, 배출부하의 畝 輿率 추정 등 오염원으로부터 하천에 도달하거나 하천에서의 오염물질의 양적, 질적 변화를 파악하는 오염기구의 해석이 필요하다.

본 연구의 목적은 첫째, 농촌의 소하천을 하나의 유역으로 하는 대상지구를 선정하여 소유역별로 오염원의 현황과 배출구조를 파악하고 둘째, 하천의 분류 및 지천의 수질을 측정하여 오염실태를 조사하고 각 오염원이 하천수질에 영향을 주는 기여도를 산정한다. 셋째, 오염 발생원으로부터 배출된 오염물질이 유입지천을 흐르면서 정화되는 정도를 나타내는 유달율을 구하고, 넷째, 탈산소계수와 재폭기계수를 구하여 하천분류의 자정능력을 평가하므로써 농촌의 수질환경 관리계획을 수립하는데 필요한 농촌유역에서의 수질오염 특성에 대한

자료를 제공하는 데 있다.

材料 및 方法

1. 대상유역

농촌하천의 오염특성을 밝히기 위한 대표시험유역은 위도상으로 동경 $127^{\circ} 15' \sim 127^{\circ} 27'$, 북위 $37^{\circ} 10' \sim 37^{\circ} 17'$ 에 위치해 있으며, 행정구역으로는 경기도 이천군 마장, 호법면의 29개 리, 용인군 내사면의 7개리, 광주군 도척면 1개리 총 3개군 4개면 37개 리를 포함하고 있다. 본 유역은 용인군 내사면 독조봉(EL. 440m)에서 발원하여 지류 7개를 포함하는 유로연장 17km의 북하천 상류유역으로 유역면적은 80km^2 이며 유역내의 지형은 경사가 완만하고 단조로운 편이어서 하천을 따라 농경지가 발달된 지역이다.^{2,3)}

대표시험유역의 주 하천인 북하천은 용인군 내사면 독조봉에서 발원하여 식곡천, 작촌천, 관리천, 해월천, 매곡천, 단천천, 동산천과 합류하여 대상유역의 말단인 호법면 주미리에서 원두천과 합류하여 북하천 직할하천에 유입되며 북하천은 남한강 본류에 유입된다.

대표시험유역은 지천의 유입지점 및 수질측정 지점 등을 고려하여 14개의 소유역으로 구분하였으며 소유역별로 인구, 가축사육두수, 토지이용, 산업체의 수와 규모, 수용시설 및 위탁시설의 수 및 규모에 대하여 조사하여 오염원, 오염배출 부하량 산정에 이용하였다.

대표시험유역내의 인구는 1990년에 10,455명으로 1980년 9,440에 비하여 10.8% 증가 하였으며 년평균 1.1%의 증가율을 보이고 있다. 유역전체의 인구밀도는 $130(\text{명}/\text{km}^2)$ 으로 전국의 인구밀도 $408(\text{명}/\text{km}^2)$ 와 많은 차이를 보이고 농촌의 인구밀도 $152(\text{명}/\text{km}^2)$ 보다 적은 수치를 나타내고 있다.^{4,5,6,7,8)} 대상유역에서 농업에 종사하는 인구의 수는 전체인구의 약 61%로 대상유역은 농업을 주 산업으로 하는 전형적인 농촌지역임을 알 수 있다.

축산농가는 감소하는 추세이며 육우의 사육두수는 감소하는 경향이나 유우 및 돼지의 사육두수는 계속 증가하고 있다.⁹⁾ 소는 육우와 유우를 합하여 2,790두, 돼지 13,267두, 닭은 채란용과 육용을 합하여 148,726마리이다.

Table 1. The characteristics of stream in watershed

Stream	Drainage area A (Km ³)	Stream length L (Km)	Watershed mean width A/L (Km)	Shape factor A/L ²	Stream density L/A	Stream width (m)	Bed slope
Bokhachun	79.98	17.0	4.70	0.28	0.21	20-121	1/142-1/530
Sikgumchun	5.16	2.2	2.35	1.07	0.42	12- 25	1/23 -1/155
Jakchonchun	5.08	2.2	2.31	1.05	0.43	7- 25	1/34 -1/162
Kaunrichun	11.81	5.4	2.18	0.41	0.46	7- 30	1/63 -1/218
Haewaulchun	9.71	4.9	1.98	0.40	0.50	8- 40	1/50 -1/149
Maegokchun	9.84	4.3	2.29	0.53	0.44	10- 30	1/67 -1/182
Danchunchun	5.14	3.1	1.65	0.53	0.60	12- 30	1/103-1/167
Dongsanchun	6.68	3.6	1.86	0.52	0.54	9- 31	1/104-1/286

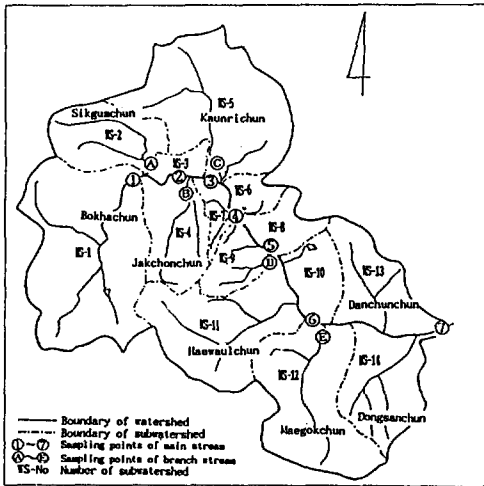


Fig. 1. Division of subwatershed for the experimental watershed

대표시범유역의 총면적에 대한 토지이용별 구성비율은 임야 64%, 논 17.5%, 밭 9.8%, 대지 1.9%, 기타 6.8%로 임야는 우리나라 전국토 중 임야가 차지하는 면적비율인 64.4%와 비슷한 수준이며 농경지의 비율은 27.3%로 우리나라의 농경지 비율인 21.8%에 비하여 높은 것으로 조사되었다.

산업은 1차, 2차, 3차로 구분되나, 본 연구에서는 수질환경에 영향을 미치는 폐수배출산업을 중심으로 섬유제조업, 식품제조업, 기계제조업, 기타산업으로 분류하여 공장수와 종업원수에 대하여 조사하였다.

대상유역중 덕평유역에 규모가 큰 공장 5개소가 위치하고 있으며 상류부인 평창유역에 소규모의 공장이 10개소가 있고 전체적으로 30개 공장에 1,680명의 종업원이 근무하는 것으로 조사되었다.

Table 2. List of water sampling point

Name of sampling point	Location in stream	Administrative region			Sampling point
		Gun	Myon	Ri	
1	Main stream	Yongin	Neesa	Chewgae	5km from watershed boundary
2	Main stream	Ichon	Majang	Yanchon	Before conflux point of B
3	Main stream	Ichon	Majang	Ochun	After coflux point of C
4	Main stream	Ichon	Majang	Duckpyoung 1	After coflux point of WS-6
5	Main stream	Ichon	Majang	Duckpyoung 2	Before conflux point of WS-8
6	Main stream	Ichon	Hobop	Magok	Before conflux point of E
7	Main stream	Ichon	Hobop	Jumi	Under the Jumi bridge
A	Sikgumchun	Yongin	Neesa	Sikgum	End of Sikbunchun
B	Jakchonchun	Ichon	Majang	Yangchon	End of Jakchonchun
C	Kaunrichun	Ichon	Majang	Hoeuk	End of Kaunrichun
D	Dukpyoung	Ichon	Majang	Duckpyoung 1	End of WS-9
E	Maegokchun	Ichon	Hobop	Maegok	End of Maegokchun

Note : main stream is Bokhachun

대표시험유역내의 수용시설은 기업체의 사원교육시설 2개소, 수양원 3개소이고, 위락시설은 골프장 1개소가 있으며 총 수용인원은 1,280명이다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 시험유역의 수계를 총 14개 소유역으로 구분하고 유역의 수질특성, 유역특성 및 수질오염의 영향 등을 고려하여 분류구간 7지점 유입지천 5지점 등 총 12개의 조사지점을 선정하였다.

본 연구에서는 유속계에 의한 방법으로 유속을 측정하였으며, 유수단면을 3~10개의 소단면으로 구분하여 유속을 측정하였다. 유속 측정시 수심이 30cm 이상인 경우에는 수심을 2등분하여 수심별로 측정하였으며 30cm 이하인 경우에는 수면으로부터 1/3지점의 수심을 측정하였다.

측정지점에서의 유수단면적은 횡축방향으로 3~10개의 소구간으로 나누어 수심을 측정하여 구하였으며, 단면의 변화가 심한 곳은 구간을 조밀하게 나누어 조사하였다. 유량은 소구간의 단면적에 소구간의 중심에서 측정된 유속을 곱하여 산출하였다.

수질측정 지점은 분류의 측정지점(1~7)과 소유역내에서 유출되는 오염물질을 조사하기 위한 지천 말단에서의 측정지점(A~E), 2가지로 구분하여 선정하였다.

수질측정은 1992년 6월 13일, 8월 22일, 10월 10일 3차에 걸쳐 측정하였으며, 수질조사 항목은 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, TKN, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, T-N, PO₄-P, T-P, 전기전도도 등 14가지로 수질지표의 중요항목은 대개 포함되었다.

結果 및 考察

1. 오염원 현황

농촌지역의 수질오염원은 크게 인간활동에 의한 생활하수, 가축사육으로 인한 축산폐수, 산업활동으로 인한 공장폐수 등의 점오염원과 토지이용에 따른 비점오염원으로 구분할 수 있다.

14개 소유역에 대한 점오염 및 비점오염원의 현황을 파악하기 위하여 통계자료 및 분뇨수거 실적자료, 정화조

정소대장, 폐수배출업소 현황 등을 참고하였고, 자료구득이 어려운 분야는 직접 방문하여 생활하수처리, 축산폐수 및 분뇨처리시설, 공장폐수처리 현황에 대하여 리벨 행정단위로 조사하였다.

인구에 의한 오염원은 생활잡배수와 분뇨로 구분하여 조사하였다. 생활잡배수의 경우 직접 하천으로 배출되고 있으며, 분뇨는 처리방법에 따라 배출경로가 분류된다. 정화조를 사용하는 경우 정화조 상등수가 하천으로 유입되며, 정화조 폐슬러지는 수거된 분뇨와 함께 대상유역의 밖에 위치한 분뇨처리장에서 처리된 후 하천으로 방류된다. 미수거 분뇨는 하천으로 직접 유입되지 않고 수확을 마친 가을철에 농경지로 환원되는 것으로 조사되었다.

대표시험유역의 분뇨수거 인구의 비율은 29%, 정화조 인구의 비율은 6.7%로 농촌지역(읍)의 분뇨 수거율 43%, 수세화율 15%에 비하여 매우 낮은 수준이며 이천군의 분뇨 수거율 61%, 수세화율 32%로 대상유역과 많은 차이를 보이고 있어 분뇨의 위생적 처리가 매우 미흡함을 알 수 있다.^{5, 8)}

본 연구에서는 축산폐수의 배출형태를 A형은 수질환경보전법과 오수분뇨 및 축산폐수 처리에 관한 법률의 규제를 받아 축산폐수정화시설을 거쳐 방류하는 배출형, B형은 수질관리법에 규제를 받지 않으나 간이정화조를 설치하여 축산폐수를 1차 침전시킨후 방류하는 배출형, C형은 소 1~5마리, 돼지 1~20마리의 소규모 축산농가로 정화시설을 거치지 않고 직접 방류하는 배출형, D형은 1차로 호별 간이정화조를 거쳐 2차로 축산폐수처리장에서 정화된 후 방류되는 배출형 등 4가지로 구분하였다.

축산폐수의 배출형태별 비율은 소의 경우 A형은 13.4%, B형은 60%, C형은 20%, D형은 6.6%이고 돼지의 경우 A형은 59%, B형은 34.8%, C형은 1.9%, D형은 4.3%로 조사되었다.

비점오염부하는 주로 강우에 의한 토양 침식과 함께 발생하며, 그 배출량은 강우 특성이나 지형, 토양의 성질, 식생 등의 영향을 받는다.⁹⁾

대상유역의 토지이용 현황은 임야가 차지하는 면적은 대상유역 총면적의 64%로 5,119.1ha 이고 논과 밭은

Table 3. Treatment of nightsoil for each subwatershed

(unit : capita)				
Subwatershed	Septic tank	Collection	Others	Total
WS-1	115	1656	529	2300
WS-2	0	97	65	162
WS-3	33	39	122	194
WS-4	16	55	476	547
WS-5	57	57	1033	1147
WS-6	20	68	310	398
WS-7	197	455	863	1515
WS-8	0	11	218	229
WS-9	30	202	1184	1012
WS-10	0	23	210	233
WS-11	50	123	771	944
WS-12	34	84	720	838
WS-13	116	87	376	579
WS-14	28	39	484	551
Total	696	2996	6763	10455

Table 4. Pattern of livestock waste treatment

(unit: head)

Subwatershed	Cow					Pig				
	Total	A	B	C	D	Total	A	B	C	D
WS-1	190	0	126	64	0	1666	1358	295	13	0
WS-2	48	0	43	5	0	26	0	26	0	0
WS-3	80	80	0	0	0	48	0	48	0	0
WS-4	41	0	9	32	0	1170	674	450	46	0
WS-5	397	0	335	62	0	2912	1750	1144	18	0
WS-6	17	0	0	17	0	300	0	300	0	0
WS-7	102	0	102	0	0	1905	1750	155	0	0
WS-8	25	0	12	13	0	350	0	328	22	0
WS-9	42	0	40	1	0	15	0	0	15	0
WS-10	44	0	30	14	0	103	0	103	0	0
WS-11	643	100	221	146	176	1159	258	335	40	526
WS-12	544	52	402	90	0	221	0	185	36	0
WS-13	264	0	205	59	0	2731	2069	611	51	0
WS-14	353	142	141	70	0	661	0	647	14	0
Total	2790	374	1667	573	176	13267	7859	4627	255	526

Note : Type of A is cattleshed → wastewater treatment plant → discharge

Type of B is cattleshed → septic tank → discharge

Type of C is cattleshed → discharge

Type of D is cattleshed → septic tank → wastewater treatment plant → discharge

Table 5. Wastewater discharge from industries in each subwatershed

Sub-Watershed	Textile		Beverage		Machine		Others	
	No.of factory (unit)	Discharge (m ³ /day)	No.of factory (unit)	Discharge (m ³ /day)	No.of factory (unit)	Discharge (m ³ /day)	No.of factory (unit)	Discharge (m ³ /day)
WS-1	3	11	0	0	3	30	4	7
WS-5	0	0	1	10	0	0	0	0
WS-7	0	0	0	0	0	0	2	2
WS-8	2	13	0	0	1	20	0	0
WS-9	0	0	4	1150	0	0	1	156
WS-11	0	0	0	0	1	1	4	5.5
WS-12	0	0	1	160	1	20	2	10.5
Total	5	24	6	1320	6	71	13	181

17.5%, 9.8%로 1400.9ha, 783.7ha이다. 대지와 기타는 148.8ha, 546.1ha로 대상유역 총면적의 1.9%와 6.8%이다.

북하천 상류유역의 폐수배출업소의 폐수배출량은 행정기관의 자료를 기초로하여 산정하였으며 총 50개 업체로 대부분이 1일 폐수배출량이 1~20m³미만인 소규모 업소이고 1일 폐수배출량이 100m³ 이상인 업소는 덕평유역에 4개소, 매곡천유역에 1개소가 있다.

총 폐수배출량의 대부분인 81%를 덕평유역에서 배출하고 있으며 매곡천유역이 12%이고 타 유역의 배출량은 매우 적은 것으로 조사 되었다.

2. 오염물질 배출부하량

1) 오염물질 배출원단위

본 연구에서는 BOD, T-N, T-P에 대하여 각 오염원별로 산정하였다. 대표 시험유역내에 발생하는 오염물질 배출부하량을 추정하기 위하여 국내외에서 조사·연구한 발생부하량 및 배출부하량 원단위를 비교·분석하여 연구대상유역에 적합한 원단위를 산정하였다.

생활하수의 배출원단위는 여러 문헌상의 자료^{9, 10, 11, 12, 13}를 기초로 하여 생활잡배수와 분뇨로 구분하여 산정하였다. 생활잡배수는 발생된 잡배수 전부가 하천으로 유입된다고 볼 수 있다. 따라서 생활잡배수 배출원단위는 조사한 문헌의 발생원단위(Table 6)를 그대로 적용하여

BOD 23.2gr/인/일, T-N 2.6gr/인/일, T-P 0.82gr/인/일로 산정하였다. 분뇨 중 정화조 유출수는 국립환경연구원이 실측조사한⁹ 정화조의 유출수 농도와 日本의 水質汚濁研究協會에서 조사한¹⁴ 가정용 단독분뇨정화조의 부하제거율을 평균하여 산정한 값 BOD 9.55gr/인/일, T-N 5.83gr/인/일, T-P 1.45gr/인/일을 적용하였으며, 분뇨수거인구는 분뇨처리장이 유역밖에 위치하므로 오염배출부하량에서 제외시켰다.

가축에 의한 오염물질 배출원단위는 주로 분뇨에 의한 것으로 발생량이 많은 소, 돼지, 닭으로 구분하여 문헌상^{9, 10, 11, 13, 14}의 축산폐수 발생원단위 자료(Table 7)와 축산폐수 정화시설의 제거율을 이용하여 Table 11과 같이 산정하였다.

정화시설을 거치지 않는 C형은 발생원단위를 배출원단위로 사용하였고 B형은 발생원단위에서 분뇨정화조의 제거율을 곱하여 배출원단위로 사용하였다. A형은 오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 규제대상의 축산농가를 조사한 국립환경연구원의 배출원단위를 사용하였고 D형은 BOD의 경우 B형의 배출원단위에 축산폐수 처리장의 제거효율 60%를 적용하였으며, T-N, T-P는 국립 환경연구원에서 조사한 수질환경보전법 규제대상 축산농가의 제거율 0.33, 0.51을 적용하여 배출원단위를 산정하였다.

Table 6. Pollutant mass unit produced from population

(unit: gr/capita/day)

Reference	BOD	T-N	T-P
Survey report on the agricultural irrigation water pollution(1991) ¹⁰⁾	39.5	10.8	1.9
Enviromental pollution in estuary reservoir and establishment a prevent measure of eutrophication.(I)(1987) ¹¹⁾	44.0	10.8	1.9
Model analysis of water pollution (1986): Japan ¹²⁾	43.0(16.0)	8.6(7.15)	1.22(0.68)
Survey report on the water quality and pollution source in Daechang dam watershed (1986) ¹³⁾	43.0	9.75	1.68
Development on the technique of enviromental management in Han river basin, (I) (1991) ⁹⁾	46.6(24.0)	8.11(6.78)	1.15(0.89)
Value applicated	43.2(20.0)	9.60(7.0)	1.60(0.78)

Table 7. Pollutant mass unit produced from livestock

(unit: gr/head/day)

Reference	BOD			T-N			T-P		
	Cow	Pig	Poultry	Cow	Pig	Poultry	Cow	Pig	Poultry
Survey index of enviromental reservoirs(1982): Japan ¹⁴⁾	600	200	-	290	40	-	48	25	-
Survey report on the agricultural irrigation water pollution(1991) ¹⁰⁾	640	125	-	128	20	-	72	16	-
Enviromental pollution in estuary reservoir and establisment a prevent measure of eutrophication, (I)(1987) ¹¹⁾	640	125	12.5	128	20	2.5	72	16	1.4
Survey report on the water quality and pollution source in Deachang dam watershed(1986) ¹³⁾	640	125	4.5	125	21	0.96	72	16.8	0.78
Development on the technique of enviromental management in Han river basin(1991) ⁹⁾	638	167	4.1	219	38	1.36	40	13	0.48
Value applicated	632	148	7.0	178	28	1.60	61	17.4	0.89

Table 8. Pollutant mass unit discharged from livestock waste

(unit: gr/head/day)

Livestock	Item	A	B	C	D
Cow	B O D	54.75	303	632	121
	T - N	26.70	148	178	99
	T - P	6.44	55	61	30
Pig	B O D	18.75	71	148	28.4
	T - N	5.35	23	28	15.4
	T - P	2.40	15.6	17.4	7.7

토지로부터 하천으로 배출되는 오염물질은 점오염원과 같이 일정한 처리시설을 거치지 않고 배출되므로 오염물질 배출원단위는 오염물질 발생원단위 값을 그대로 사용하였다. 토지로부터 발생하는 오염물질의 배출원단위는 여러 문헌을 조사하여 평균값을 사용한 국립환경연구원의 발생원단위를 본 연구에 적용하였으며 토지이용별로 나타내면 BOD는 논이 5.18kg/km²/일이며, 밭은 4.56kg/km²/일, 임야는 1.0kg/km²/일, 기타 0.96kg/km²/일. T-N은 논 8.95kg/km²/일, 밭 9.24kg/km²/일, 임야 4.64kg/km²/일, 기타 4.64kg/km²/일, T-P는 논 0.39kg/km²/일, 밭 0.28kg/km²/일, 임야 0.021kg/km²/일, 기타 0.027kg/km²/일 이다.

본 연구의 대표시험유역에 위치한 공장들은 자체정화시설을 갖추고 있으며 공장폐수의 BOD농도는 평균 20mg/ℓ 로 조사되었다. BOD의 배출원단위는 조사된 농도에 배출량을 곱하여 산정하였고 T-N의 경우 섬유 제조시설 35.69 g/일/m³, 음료품 제조시설 15.86g/일/m³, 기타 35.74g/일/m³, T-P는 섬유 제조시설 3.45g/일/m³, 음료품 제조시설 7.34g/일/m³, 기타 11.47g/일/m³로 국립환경연구원의 연구 결과⁹⁾를 이용하여 산정하였다.

2) 유역별 오염물질 배출부하량

오염원별 배출원단위를 14개 소유역의 생활잡배수, 축산폐수, 토지이용, 공장폐수, 수용시설에 대하여 BOD, T-N, T-P로 구분하여 산정하였다.

Table 9는 각 유역별 BOD, T-N, T-P의 배출부하량을

나타낸 것으로 BOD의 경우 전체 배출량 2074.8kg/day 중 축산폐수에 의한 배출량은 1430kg/day로 가장 높은 비율인 69%를 차지하고 있으며, 생활하수에 의한 배출량은 254.6kg/day로 전체 배출량에 12.3%, 토지이용 9.2%, 공장폐수 7.4%, 수용시설 2.1%의 순으로 배출되고 있다. T-N의 경우 전체 배출량 1048kg/day 중 축산 폐수에 의한 배출량과 토지이용에 의한 배출량이 510.3kg/day, 468.1 kg/day로 전체 배출량의 대부분인 48.7%, 44.6% 차지하고 생활하수 3%, 공장폐수 2.9%, 수용시설 0.8%의 비율을 나타내고 있다. T-N의 경우는 전체 배출량 266.3kg/day중 축산폐수의 비율이 86.7%로 거의 전부를 차지하고 있으며 공장폐수 6%, 생활하수 3.6%, 토지이용 3%의 순으로 나타났다.

소유역별 BOD의 배출부하량은 매곡천유역이 가장 높았으며 관리천유역, 해월천유역, 평창유역이 타 유역에 비하여 많은 배출부하량을 보이고 있는데 이는 가축의 사육두수가 다른 유역에 비하여 많은 이유라고 판단된다. T-N의 배출부하량은 관리천, 해월천, 매곡천, 평창유역의 순으로 인구가 가축이 많은 유역에서 높은 수치를 보이고 있다. T-P의 배출부하량은 T-N의 경우와 같은 양상으로 인구가 가축의 수가 많은 유역에서 많은 양이 배출됨을 알 수 있다.

3. 수질현황

1) 본류의 수질

수온의 경우는 전체적으로 볼때 18℃ ~ 22.9℃ 범위에

Table 9. Pollutant mass discharged for each subwatershed

(unit: kg/day)

Watershed		Item			Watershed		Item		
number	source	BOD	T-N	T-P	number	Source	BOD	T-N	T-P
WS 1	Pop	54.5	6.5	2.1	WS 8	Pop	5.3	0.5	0.2
	Liv	126.9	44.5	19.0		Liv	38.4	12.1	6.9
	Land	28.2	83.0	1.4		Land	6.9	15.3	0.4
	Industry	21.8	1.8	0.5		Industry	0.0	0.0	0.0
	AF	1.7	0.3	0.0		AF	0.0	0.0	0.0
	Total	233.1	136.1	23.0		Total	50.6	27.9	7.5
WS 2	Pop	3.7	0.4	0.3	WS 9	Pop	23.7	2.7	0.8
	Liv	18.0	7.8	3.1		Liv	15.0	6.5	2.6
	Land	7.5	26.7	0.3		Land	4.8	14.9	0.2
	Industry	0.0	0.0	0.0		Industry	65.3	24.7	12.8
	AF	0.0	0.0	0.0		AF	0.0	0.0	0.0
	Total	29.2	34.9	3.7		Total	108.8	48.8	16.4
WS 3	Pop	4.8	0.7	0.2	WS 10	Pop	5.4	0.5	0.2
	Liv	7.8	3.2	1.3		Liv	25.2	9.3	4.1
	Land	1.8	6.6	0.1		Land	6.0	11.8	0.2
	Industry	0.0	0.0	0.0		Industry	0.0	0.0	0.0
	AF	0.0	0.0	0.0		AF	0.0	0.0	0.0
	Total	14.4	10.5	1.6		Total	30.6	21.6	4.5
WS 4	Pop	13.1	1.5	0.4	WS 11	Pop	22.3	2.7	0.8
	Liv	74.3	22.0	11.6		Liv	228.6	84.9	37.6
	Land	15.6	29.6	0.4		Land	19.7	55.8	0.9
	Industry	0.0	0.0	0.0		Industry	0.3	0.1	0.1
	AF	0.0	0.0	0.0		AF	15.0	2.9	0.5
	Total	103.7	52.5	12.4		Total	285.9	146.4	39.9
WS 5	Pop	27.2	3.3	0.9	WS 12	Pop	19.7	2.3	0.7
	Liv	257.3	90.8	41.2		Liv	200.0	71.6	31.4
	Land	26.5	72.3	1.5		Land	29.3	57.6	0.9
	Industry	0.5	0.2	0.2		Industry	79.8	3.2	2.1
	AF	3.5	0.6	0.1		AF	24.1	4.4	0.8
	Total	315.0	166.5	43.9		Total	352.9	139.1	35.9
WS 6	Pop	9.8	1.1	0.3	WS 13	Pop	14.8	2.5	0.7
	Liv	32.0	9.9	4.9		Liv	189.1	67.4	30.8
	Land	3.7	9.4	0.2		Land	17.8	30.5	0.5
	Industry	1.6	1.2	0.3		Industry	0.0	0.0	0.0
	AF	0.0	0.0	0.0		AF	0.0	0.0	0.0
	Total	47.1	21.6	5.7		Total	221.7	100.4	32.0
WS 7	Pop	37.3	5.4	1.6	WS 14	Pop	13.0	1.6	0.5
	Liv	74.7	28.0	13.2		Liv	142.7	52.4	23.3
	Land	4.2	10.2	0.3		Land	19.0	44.4	0.9
	Industry	0.1	0.1	0.0		Industry	0.0	0.0	0.0
	AF	0.0	0.0	0.0		AF	0.0	0.0	0.0
	Total	116.3	43.7	15.1		Total	164.7	98.4	24.7
Total		2074.8	1048.4	266.3					

Note: Pop is Sewage + Nightsoil
 Liv is Livestock waste
 AF is Accommodation facilities

Table 10. Results of investigated water qualities from the main stream

Item	Site	1	2	3	4	5	6	7
Water Temperature (°C)		18.1	19.6	21.5	21.6	21.2	22.5	22.9
pH		6.1	6.5	6.3	6.4	6.3	6.8	6.8
DO (mg/L)		9.0	9.3	9.1	8.2	9.5	8.8	10.5
BOD (mg/L)		1.2	1.05	0.8	1.5	1.65	1.0	1.0
COD (mg/L)		3.7	3.4	2.8	4.0	5.0	2.8	3.5
SS (mg/L)		3.5	0.8	1.4	4.0	51.1	6.3	4.4
TKN (mg/L)		0.541	0.444	0.467	0.630	0.420	0.327	0.467
NO ₂ -N (mg/L)		0.054	0.037	0.028	0.033	0.024	0.019	0.026
NO ₃ -N (mg/L)		3.494	2.754	2.365	1.492	2.092	1.593	1.625
T-N (mg/L)		4.088	3.235	2.860	2.156	2.536	1.939	2.078
NH ₄ -N (mg/L)		0.117	0.031	0.065	0.054	0.085	0.131	0.038
PO ₄ -P (mg/L)		0.267	0.227	0.267	0.280	0.175	0.188	0.280
T-P (mg/L)		0.563	0.531	0.569	0.692	0.471	0.581	0.555
Electrical Conductivity (dS/m)		0.129	0.115	0.124	0.132	0.138	0.144	0.134

Note : Average value from the measurements of three times.

있으며 하류로 갈수록 차츰높아지는 경향을 보이고 있다. pH(수소이온농도)는 전 조사지점에서 고른 값을 보이고 있으며 그 분포는 6.1~6.8이다. DO의 경우는 전체적으로 볼때 8.5~10.5mg/L으로 양호한 편이나 4번지점이 타 지점보다 낮는데 이는 오천구역의 생활하수와 축산폐수가 유입되어 수중의 용존산소가 많이 소모된 것으로 판단된다. 각 지점별 BOD 및 COD의 범위는 전체적으로 각각 1.2~1.65mg/L, 2.8~5.0mg/L로 하천 수질환경기준 II 등급을 만족하는 양호한 수준이다. 또한 4, 5번지점에서 BOD 및 COD의 농도가 다른지점보다 높은 것은 관리천구역과 오천구역의 생활하수의 영향을 받은 것으로 생각된다.

전기전도도의 범위는 0.115~0.144 dS/m로 5,6번에서

가장높은 수치를 나타내고 있는데 이는 덕평구역의 공장폐수가 본류로 유입되기 때문에 다른 지점보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

T-N과 T-P의 농도는 전체적으로 1.9~4.0mg/L, 0.47~0.69mg/L,로서 호소수질기준의 가장 하위 급수인 V급수에 비하여 T-N의 농도는 1.3~2.7배, T-P의 농도는 3.1~4.6배로 영양물질에 의한 오염이 심각한 것으로 나타났다.

SS의 농도는 0.8~6.3mg/L으로 양호한 상태이나 측정지점 5번에서 51.1mg/L로 높게 나타난 것은 1, 2차 측정기간 중 하천 제방공사로 인한 일시적인 현상으로 보인다.

본류에서 유량이 증가함에 따라 BOD의 농도가 증가

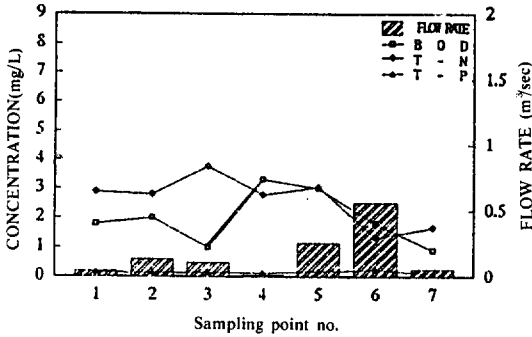


Fig. 2.(a) The concentration of BOD, T-N and T-P and flow rate in first measurement

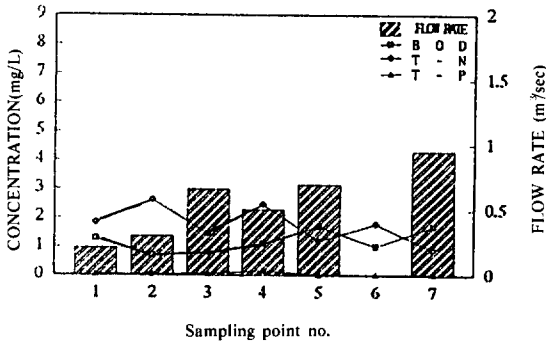


Fig. 2.(b) The concentration of BOD, T-N and T-P and flow rate in second measurement

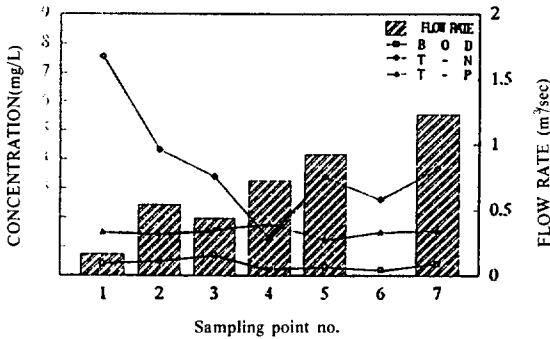


Fig. 2.(c) The concentration of BOD, T-N and T-P and flow rate in third measurement

하는 경향을 보이고 있으며 T-N, T-P의 농도는 유량이 적을때 높게 나타나고 있다.

2) 지천의 수질

지천에서의 항목별 수질현황(평균값)은 전체적으로 본류와 비슷한 양상을 보이고 있으나, D지점에서 거의 모든 측정항목에서 높은 값을 보이고 있는데 이는 공장폐수가 원인이라고 생각된다.

DO농도는 전체적으로 볼때 9.0mg/L 수준이나 D, E 지점이 타지점보다 낮은 원인은 지천의 하류에 위치한 공장폐수와 부락의 생활하수에 의한 것으로 생각된다.

각 지천의 BOD 및 COD의 농도는 특히 C와 D에서 다른지점 보다 월등히 높은 것으로 조사되었다. D지점의 경우 유량이 적어 용수용써 가치가 없으나 C지점의 지천(관리천)이 농업용수로 쓰일경우 권(1992) 등에 의하여 조사된 COD 허용농도 8.0mg/L을 초과하고 있어 비 생육에 지장을 초래 할 것으로 판단된다.¹⁾ D지점이 다른지점에 비하여 오염이 심한 이유는 상류측에 오염물질 배출량이 많은 공장이 있으며, 하천주변에 가축분을 무단방치하여 침출수가 하천으로 유입되고 지천의 길이가 다른 유역에 비하여 짧고 유량이 적어 하천의 자정능력이 제기능을 하지 못하기 때문이라고 생각된다.

4. 수질오염 기여도

하천의 수질에 영향을 끼치는 소유역별 오염원의 영향을 파악하기 위하여 소유역별 오염원의 배출부하량을 소유역전체의 오염배출량으로 나누어 기여율을 산정하였다.

소유역별 BOD에 대한 기여율은 가축에 의한 비율이 54.4%~85.3%로 가장 높게 나타났으며 단천천, 동산천, 매크천, 관리천유역은 가축에 의한 BOD 기여율이 80% 이상으로 하류부의 수질오염에 큰 기여를 하는 것으로 나타났다. 그 다음으로 BOD에 대한 기여율이 높은 오염원은 인구, 토지 순으로 나타났다.

T-N에 대한 기여율은 전반적으로 토지와 가축에 의한 비율이 90% 정도를 차지하고 있으며, 가축사육수가 적고 농경지가 많은 유역인 각평, 이치유역에서는 토지에 의한

Table 11. Results of investigated water qualities from branch streams

Item	site	A	B	C	D	E
Water Temperature (°C)		18.3	19.8	21.8	24.5	21.3
pH		6.5	6.3	6.5	8.0	6.8
DO (mg/L)		9.4	1.0	9.5	4.4	7.7
BOD (mg/L)		1.6	1.0	6.5	10.3	0.9
COD (mg/L)		5.7	2.3	13.6	34.5	2.6
TKN (mg/L)		0.187	2.250	0.280	4.062	0.700
NO ₂ -N (mg/L)		0.037	0.037	0.093	0.403	0.027
NO ₃ -N (mg/L)		1.130	2.630	1.295	1.212	2.775
T-N (mg/L)		1.533	2.710	1.668	8.164	3.502
NH ₃ -N (mg/L)		0.074	0.170	0.031	3.561	0.031
PO ₄ -P (mg/L)		0.241	0.670	0.161	8.888	0.148
T-P (mg/L)		0.489	1.050	0.623	6.359	0.522
Electrical Conductivity (dS/m)		0.115	0.103	0.145	0.710	0.130

Note : Average value from the measurements three times.

T-N의 기여율이 높게 나타났다. T-P에 대한 기여율은 전유역에서 80% 이상이 가축에 의한 것으로 하천수질의 T-P를 감소 하기 위해서는 축산폐수에 의한 기여율을 줄이는 것이 가장 큰 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

5. 유달율

유달율은 유역내에서 배출되는 오염물질부하량과 지천을 유하하는 동안 물리적, 화학적, 생물학적 작용에 의해 정화되어 어느 기준점에 도달되는 유입부하량과의 비로 정의된다.

유달율은 청천시의 유달율과 강우시의 유달율로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 4개의 지천과 분류의 상류유역 발달에서 측정된 BOD, T-N, T-P의 농도를 유입부하량으로 하여 청천시의 유달율을 식(1)에 의하여 구하였다.²⁾

$$\text{유달율} = \frac{\text{유입부하량} \times \text{유량}}{\text{배출부하량}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서, 유입부하량(kg/day) : 지점측정농도(mg/L) × 유량(m³/sec)
 배출부하량(kg/day): 각 소유역의 배출부하량

각 지천의 BOD 유달율은 0.5~45.9% 범위로 나타났으며 T-N의 유달율은 25~78.6% 범위로 유량이 적은 1차 측정시의 유달율이 유량이 많았던 2, 3차 측정시보다 대체적으로 낮은 경향을 나타내고 있다. 유량과 BOD, T-N 유달율과의 상관관계는 R=0.67~0.99, R=0.89~0.96으로 각 유역별로 차이는 있으나 비교적 높은 상관관계를 가지고 있다. 유로연장이 가장 짧은 식금천이 다른 지천에 비하여 비교적 높은 유달율을 나타내고 있으며 유량과 유달율 사이의 상관관계도 높았다.

T-P의 유달율은 유역에 따라 많은 차이를 보이고 있으며 1, 2차 측정시기에는 10%를 넘지않는 수준이었다. 그러나 3차 측정시는 식금천 유역과 작촌천 유역의 유달율이 100% 이상으로 높게 나타났다. 이는 강우강도에 따라 차이는 있으나 강우 후의 T-P의 농도는 강우 전에 비하여 3~10배

증가한다는 鈴木, 田淵(1984)¹⁵⁾ 연구의 결과로 미루어 측정 전의 강우에 의한 영향으로 생각된다.

한국 수자원공사에서 조사한¹⁶⁾ 북하천하류의 BOD 유달율은 0.7%로 본 대상 유역의 유달율을 비교하면 많은 차이를 보이고 있는데 이는 측정지점이 본 연구의 대상유역보다 하류유역으로 수리·수문 조건이 본 대상 유역의 하천과 크게 다르고, 유역의 배출부하량 산정시 생기는 오차 때문이라고 생각 된다. 국립환경연구원⁷⁾에서 조사한 경안천유역의 소유역별 배출량과 유달량으로 산정한 유달율은 각 유역별로 많은 차이를 보이고 있다. 전유역의 유달율은 BOD의 경우 32.8%이고 T-N은 68%, T-P는 22%로 본 연구대상유역의 5개 유역에서 조사된 유달율의 평균값과 비교하면 BOD와 T-N은 11%, 24%로 낮게 조사 되었고 T-P는 47%로 높게 나타났다. 이는 3차 측정시기의 유달율이 강우의 영향을 받아 높게 산정된 결과라고 생각된다.

6. 하천의 자정능력

본 연구에서는 본류에서의 탈산소계수 k_1 과 재폭기 계수 k_2 의 비로 구해지는 자정계수를 산정하여 상류,

중류, 하류에서의 자정능력을 평가 하였다.

탈산소계수 k_1 값은 BOD 측정실험을 통하여 구해지는데 그 방법에는 모멘트법, 최소제곱법, 일간차분법(daily-difference method), 급속비법(rapid ratio method), Thomas법 등이 있다.¹⁷⁾ 본 연구에서는 위의 방법들 중 최소제곱법을 이용하여 k_1 값을 구했다. 실험을 할때는 질산화에 의한 간섭을 배제하기 위해 측정자료는 10일 이내의 것을 사용하여야 하는데 본 실험에서는 7일까지의 자료를 사용하여 구했다. 대상유역의 k_1 값을 Table 14와 같다.

재폭기계수 k_2 값은 동일한 구간에서도 산출공식에 따라 그 차가 큰데 그 이유는 재폭기 계수가 하천의 유량과 수심, 수온 등의 물리적 요인 뿐만 아니라 수질의 오염정도와 오염물의 종류에 따라서도 큰 영향을 받기 때문이다. 그러므로 k_2 의 특정한 산출공식의 적용은 하천 또는 하천구간의 특성에 따라야 한다. 본 연구에서는 하천구간 마다 하천의 경사가 큰 차이를 보이고 있어 수면경사를 고려한 O'Connor & Dobbins 式에 의하여 구해진 k_2 값을 사용하였다.

Table 12. Runoff ratio for branch streams

Watershed (Site N0)	Item	Discharge loading (kg/day)	1st Measurement			2nd Measurement			3rd Measurement		
			Flow rate (m ³ /s)	Inflow loading (kg/day)	Runoff ratio (%)	Flow rate (m ³ /s)	Inflow loading (kg/day)	Runoff ratio (%)	Flow rate (m ³ /s)	Inflow loading (kg/day)	Runoff ratio (%)
Pyoungchang (1)	BOD	233.1	0.043	6.7	2.9	0.214	24.0	10.3	0.164	5.7	2.5
	T-N	136.1	0.043	10.7	7.9	0.214	34.1	25.1	0.164	106.9	78.6
	T-P	23.0	0.043	0.6	2.6	0.214	0.7	3.0	0.164	21.2	91.7
Sikgumchun (A)	BOD	29.2	0.020	2.8	9.4	0.142	13.4	45.9	0.094	9.7	33.2
	T-N	34.9	0.020	3.1	8.9	0.142	20.7	54.3	0.084	8.9	25.5
	T-P	3.7	0.020	0.4	10.8	0.142	0.036	1.0	0.084	11.0	297
Jakchonchun (B)	BOD	103.7	-	-	-	0.087	4.5	4.3	0.098	1.2	1.2
	T-N	52.5	-	-	-	0.087	13.9	26.5	0.098	32.7	62.3
	T-P	12.4	-	-	-	0.087	0.5	4.3	0.098	17.3	139.5
Kaunrichun (C)	BOD	315.0	0.018	20.0	6.4	0.197	88.4	28.1	0.154	18.6	5.9
	T-N	166.5	0.018	4.8	2.9	0.197	19.1	11.5	0.154	10.7	6.4
	T-P	43.9	0.018	0.3	0.7	0.197	1.7	3.9	0.154	21.2	48.3
Maegokchun (E)	BOD	352.9	0.011	1.7	0.5	0.124	5.4	1.5	0.180	4.7	1.3
	T-N	139.1	0.011	3.5	2.5	0.124	21.4	15.4	0.180	75.6	54.4
	T-P	35.9	0.011	0.2	0.6	0.124	0.04	0.1	0.180	20.5	57.1

O'Connor & Dobbins 式

$$K_2 = \frac{241300 \times D_L^{1/2} \times S^{1/2} \times 10^4}{H^{5/4}}$$

$H \leq 1.5 \text{ m}$

$$K_2 = \frac{86100 \times (D_L V)^{1/2} \times 10^4}{H^{3/2}}$$

$H \geq 1.5 \text{ m}$

여기서, $D_L = 2.037 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$ (분자확산계수)
 $S =$ 수면경사
 $V =$ 유속(m/sec)
 $H =$ 수심(m)

대표시험유역의 각 구간에서의 k_2 값을 Table 13에 나타내었다.

Table 13. Reaeration coefficient of main stream

k_2 (1/day)	Equation applied	Upstream*	Middle stream**	Down- stream***
	O'Connor Isaacs	2.77 3.99	1.27 2.73	0.58 0.67

- * Upstream : Sampling point ①~③
- ** Middle stream : Sampling poing ③~⑤
- *** Downstream : Sampling poing ⑤~⑦

탈산소계수 k_2 과 재폭기계수 k_2 의 비로서 구해지는 자정계수값은 하천의 자정능력을 간단히 평가하기 위하여 사용된다. 대상유역의 자정계수 f 값을 구하면 Table 14와 같다.

대표시험유역의 자정계수 값을 살펴보면 상류구간은 17.31로 **李 등¹³⁾** (1986)이 금강 상류에서 조사한 자정계수 값 11~17보다 약간 높은 수치이며, **靑川** 상류에서 조사한 28.4보다는 낮은 수치를 보이고 있다. 대상유역의 하류구간의 자정 계수 값은 5.13으로 **靑川** 하류에서 조사한 값 6.9보다 다소 작으며 **李 등¹³⁾** (1986)이 금강 분류에서 조사한 값 0.9~2.2 보다 크게 조사되었다.

Table 14. Self-purification constant of main stream

Reach	Deoxygenation coefficient (k_1)	Reaeration coefficient (k_2)	Self-purification constant (f)
Upstream*	0.160	2.77	17.31
Middle stream**	0.134	1.27	9.47
Down stream***	0.113	0.58	5.13

- * Upstream : Sampling point ①~③
- ** Middle stream : Sampling point ③~⑤
- *** Downstream : Sampling point ⑤~⑦

대표시험유역의 자정계수 값은 하류구간이 상류구간에 비하여 적은 것으로 나타났다. 이는 하류구간이 상류구간에 비하여 오염이 심하고 하천의 경사가 완만하여 유속이 감소되며 또한, 갈수시 하류부에 위치한 湫를 이용하여 농업용수를 취수하기 때문에 湫의 낙차공으로 물이 흐르지 않아 낙차에 의한 재폭기 효과는 없는 반면 수심이 깊어져 재폭기 계수가 적어지는데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

要 約

본 연구에서는 북하천의 상류유역을 농촌유역에서의 수질오염 특성을 밝히기 위한 대표시험유역으로 선정하여 오염원 및 하천수질, 기여율, 자정계수를 조사·분석하므로써 농촌지역의 수질환경 관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다. 조사·분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하천수질오염에 기여하는 오염배출부하는 축산폐수가 전체 BOD 배출부하량의 69%로 가장 높았고 그 다음은 생활하수로 12%, 토지이용은 9%, 공장폐수는 8%로 나타났으며 T-N, T-P도 같은 경향으로 본 유역에서는 축산폐수가 수질오염에 가장 큰 기여를 하는 것으로 판단되었다.
2. 하천의 수질은 BOD가 1mg/L 수준이었고, COD가 3.0~5.0mg/L, T-P는 0.5~0.7mg/L 범위로 조사되었으며 T-N의 농도가 1.0~7.0mg/L으로 높은 수치를 나타내고 있어 영양물질에 의한 오염이 심각한 상

태임을 알수 있다. DO의 농도는 전구간에서 평균 8.2~10.5mg/L로 매우 높게 조사되었는데 이는 하천의 수심이 얇고 유속이 빨라 재폭기 작용이 활발하기 때문이라고 판단된다.

3. 하천의 수질에 영향을 끼치는 소유역별 오염원의 기여율은 BOD와 T-P의 경우 가축에 의한 기여율이 가장 높았으며 상류유역에 비하여 하류유역이 높은 기여율을 보이고 있다. T-N의 기여율은 토지와 가축이 비슷한 수준으로 이 두가지의 오염원을 합하면 90%이상의 기여율을 나타내고 있어 전형적인 농촌 유역의 오염부하 특성을 보이고 있다.
4. 지천에서의 BOD 유달율은 유량과의 상관관계($R=0.67\sim0.99$)로 알 수 있듯이 유량의 증감에 따라 같은 양상으로 변화하는 경향을 보이고 있으며 유로연장이 짧은 지천의 유달율이 크고, 유량과의 상관관계도 $R=0.90$ 이상으로 높게 나타났다. T-N, T-P의 유달율은 유역면적이 적은 지천에서 높게 나타났으며 T-N의 유달율은 BOD와 마찬가지로 유량과의 상관관계가 높게 나타났다.
5. 자정계수의 값은 17.31~5.31로 하류구간이 상류, 중류구간에 비하여 적게 나타났는데 이는 하류에서는 하천의 경사가 완만하여 유속이 느리고 갈수시 하류부에 위치한 浚를 이용하여 농업용수를 취수하기 때문에 수심이 깊어져 재폭기작용이 상류에 비하여 활발하지 못하고, 하류부 수질오염의 증가는 상류측에 비하여 많아지므로 자정능력이 떨어지는 것으로 판단된다.

參考文獻

1. 권순국, 유명진, 고덕구, (1992) : 농어촌 용수 환경 관리에 관한 연구 (I), 농림수산부, 농어촌진흥공사, 265.

2. 건설부, (1984) : 복하천 하천정비 기본계획, 경기도, 362.
3. 이천군, (1990) : 복하천 하천정화사업 기본계획 및 실시설계보고서, 이천군, 249.
4. 건설부, (1991) : 경안천 하천환경관리 기본계획 (사례연구), 131.
5. 정 용, 정연규, 이상은, 김진석 (1989) : 농촌소규모 취락지역 오수처리시스템, 연세대학교 환경공해연구소, 348.
6. 이천군, (1981) : 통계연보 1981, 이천군, 225.
7. 이천군, (1985) : 통계연보 1985, 이천군, 359.
8. 이천군, (1991) : 통계연보 1991, 이천군, 362.
9. 국립환경연구원, (1991) : 한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술개발 (I), 58.
10. 농림수산부, 농어촌진흥공사, (1991) : '91 농업용수 수질오염 조사보고서, 319.
11. 권순국, 유명진, (1987) : 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (I), 농림수산부, 농어촌진흥공사, 387.
12. 國松孝男, (1989) : 河川汚濁 モデル解析, 技報堂出版, 266.
13. 산업기지개발공사, (1986) : 대청다목적댐 유역내 수질 및 오염원 조사연구 보고서, 232.
14. 日本水質汚濁研究協會, (1982) : 湖沼環境調査指針, 公害對策技術同友會, 257.
15. 鈴木誠治, 田淵俊雄, (1984) : 農業地域の小河川における降雨時の水質と流出負荷に関する研究, 農業土木學會誌論文集 144, 21~31.
16. 한국수자원공사, (1990) : 한강하천유지유량 조사연구 보고서, 한국수자원공사, 289.
17. Thomann, R. V., J. A. Mueller, (1987) : Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper Row, Publishers, New York, 644.