

송천유역의 수질환경특성 및 효율적 유역관리

허인량[†] · 신용건 · 이건호 · 최지용 · 김영진 · 정의호 · 정명선 *

강원도보건환경연구원
* 강원대학교 환경생물공학부

Water Environment Characteristics and Efficient Basin Management of Song Stream

In Ryang Huh[†], Yong Gun Sin, Gun Ho Lee, Ji Yong Choi, Yeong Jin Kim
Ui Ho Jeong and Myong Sun Jeong *

Kangwon-do Health and Environmental Institute

**Division of Environmental and Biological Engineering, Kangwoon National University
(Received 20 March 2001 ; Accepted 1 June 2001)*

ABSTRACT

Song stream is located in the upstream of the Namhan River. Normal times, the stream flows down to the east sea through the drainage pipe but at rainy season, it flows to the Namhan River. There are large stock farm, leisure town and cultivated land in this basin. The pollutants from these contamination source cause eutrophication at lake Doam and deterioration of water quality in Namdai stream. In this case, this study was carried out to evaluate water quality and environmental capacity as well as economical efficiency of each industry. The basin shape factor of subject stream was 0.315, slope is higher than usual basin. The BOD, T-N and T-P productive contamination loading from each contamination source was 2,690, 974 and 194 kg/day, respectively, and major contamination source was stock farm and cultivated land. Annual BOD, T-N, T-P distribution (median value) of Song stream showed 1.0~2.2 mg/L, 3.16~5.85 mg/L and 0.024~0.197 mg/L. Doam lake showed 1.1~1.9, 2.51~3.89 and 0.042~0.114 mg/L, respectively. Being compared of water quality at main stream between past and present, it showed that the water quality has improved since last five years. BOD improvement rate was 8~50%. Run off loading of BOD, T-N, T-P was 366, 1129, 17.2 kg/day, and run off rate was 13.6%, 86.2%, 11.3% respectively.

Finally, the result of productivity survey of each industry, leisure town, cultivated land and large stock farm was 118, 46, 50 billion won, per T-P 1 kg productive, and productivity portion was 100, 39, 42% respectively, and the highest economical efficiency industry was leisure facilities.

Keywords : Doam dam, Song stream, Water quality, Contamination loading, Basin management

I. 서 론

송천은 평창군 도암면 횡계리 소황병산에서 발원하여 도암면 수하리 도암호로 유입되어 체류한 후 평상시 발전용수는 강릉 남대천으로 유하하고 홍수시에는 댐수문을 통하여 남한강상류로 유입되는 하천이다. 발원지로부터 도암호까지의 유로연장은 23.8 km이고 총유역면적은 148.8 km²로서 강릉남대천 및 남한강 상류의 수질에 영향을 미치고 있는 하천이다.

특히 우기에 송천상류로부터 유출되는 부유물질은 댐수체에 저류된 후 강릉남대천으로 유하하여 하천 수질을 오염시키며 이에 대한 민원 및 분쟁이 끊이지 않고 있다. 또한 지방자치 단체에서는 지방재정을 확충하기 위해 앞다투어 산업시설 및 레저단지를 유치하고 있어 자연환경은 또 한번 위협받고 있다. 지방재정의 확충을 위해서 이러한 개발사업은 필요한 것이 사실이지만 무분별한 개발은 대대로 보전되어 왔던 자연환경을 순식간에 훼손하며 수질환경에 치명적인 결과를 가져오기도 한다. 일단 훼손된 자연을 원상태로 복구하는데는 상당기간의 세월이 필요하며 무분별한 개발에 의해 오염된 자연환경을 복구하는데 소요되는 비용은 개발을 통해 얻어지는 이익의 수십배

[†]Corresponding author : Kangwon-do Health and Environmental Institute.
Tel : 033-255-1123, Fax : 033-253-2718
E-mail : huhsys@provin.kangwon.kr

에 달한다고 알려져 있다. 환경파괴의 위기에 봉착한 중요한 수자원인 하천수에 대한 수질관리방안을 도출하기 위해서는 본류 및 지류하천에 대한 체계적이고 정밀한 수질조사가 수반되어야 한다. 이와 더불어 물의 양적인 개념으로 수량조사와 함께 유역내 오염원조사 등도 필요할 것이다.

최근의 개발논리는 환경적 측면에서 볼 때 무조건적인 개발의 불가보다는 환경에 미치는 영향을 최소화하면서 개발과 보전이 융화될 수 있는 방향으로 추진되어야 한다. 농축산등과 같은 1차 산업은 부가가치가 매우 낮아 축산시설 등에서 발생하는 폐수를 처리하기 위해 비용이 많이 드는 고도처리 기술의 도입이 불가능하기 때문에 오염물질 부하량을 효율적으로 저감시킬 수 없다. 이와 같은 지역환경 문제를 고려할 때 1차산업 보다는 환경친화적 산업, 즉 첨단산업이나 부가가치가 큰 관광산업 등으로의 전환이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 남한강 최상류에 위치한 송천에 대하여 수질환경용량과 과거로부터 현재까지의 시간 공간적 수질분포를 평가하였다. 또한 조사자료를 바탕으로 송천유역에 대하여 환경보전에 바탕을 둔 효과적인 개발을 위한 바람직한 산업구조의 전환과 효과적인 수질관리 방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

본 연구대상의 지점수는 총 24개로 황병산 하류의 본류 9개 지점과 지류로서 차항천의 9개 지점 그리고 도암호 6개 지점에 대하여 수심별로 수질조사를 실시하였다. 또한 송천의 하류인 도암댐 유입부 지점과 도암호 표층수에 대하여는 90년 초부터 월별 수질조사를 실시하였다. 수질조사 항목은 BOD 등의 유기물질과 형태별 질소 및 인등의 영양염류, 전기전도도 및 염소이온 등의 보전성 물질을 조사하였으며 부영양화 조사 항목으로 Chlorophyll-a를 조사하였다. 수질 분석 항목 중 현장측정이 가능한 항목인 수온, 용존산소, pH, 전기전도도 등은 현장에서 직접 측정하였으며, 현장 측정이 불가능한 항목은 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 수질오염 공정시험방법¹⁾ 및 Standard Method²⁾에 준하여 분석하였다. 특히 유기물 오염의 지표가 되는 BOD의 경우 YSI DO meter를 이용하여 5일간 부탄기에서 소모된 산소량으로 측정하였다. 총질소는 자외선 흡광광도법, 총인의 Ascorbic Acid 환원법을 이용하였으며 전기전도도는 YSI Model 33을 이용하여 측정 하였다. 전기전도도

와 더불어 보전성 물질로 선정된 염소이온과 질산성 질소는 Ion Chromatography를 이용하여 분석하였다. 지점별 유량의 측정은 유속계(Flo-mate Model 2000)를 이용하여 유속을 측정하고 하상 단면을 측량하여 유량을 계산하였다.

주요 조사내용으로서 유역내 수질환경요소의 년 변화추이 및 5개 세부유역별 정밀수질조사를 실시하였다. 또한 유역내 환경오염요소의 효율적인 관리를 위하여 주요 오염원별로 발생부하량 및 발생부하 밀도를 평가하였으며 각각의 지류하천으로부터 유출되는 유출부하량을 평가하였다. 조사된 자료로부터 유역내 주요 오염원인 대규모 축산단지 및 리조트가 송천의 수질에 미치는 영향을 파악하였다. 송천유역에서의 대표적인 경제활동은 축산단지로 부터의 육우 및 우유생산과 대규모 레저단지로 부터의 관광수입 그리고 고랭지 경작지로 나눌수 있으며 이러한 3가지의 산업은 송천유역의 수질오염에 직접적으로 기여

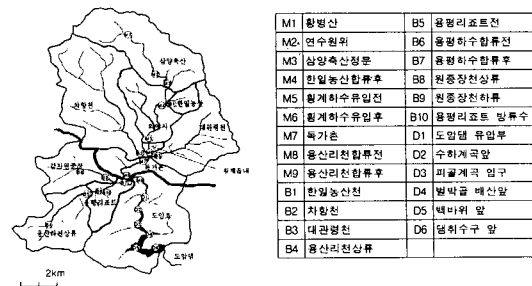


Fig. 1. Location of sampling of sampling point.

하고 있다. 본 연구에서는 각각의 산업에 송천의 수질에 미치는 영향과 오염량 대비 경제적 가치를 분석하였다. 최종적으로 조사된 자료를 배경으로 송천유역의 수환경 보전방안을 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유역의 자연환경특성

송천유역의 총 유역면적은 148.8 km²이며 유역의 행정구역으로는 평창군 도암면 횡계1~12리, 차항 1.2리 용산 1.2리 그리고 유천리와 병내리, 수하리를 포함하고 있다. 본 연구에 있어서 송천유역의 세부 유역 구분은 5개 대유역과 11개 소유역으로 구분하여 조사를 실시하였다. 유역의 구분에 있어서 송천 본류 유역은 발원지인 소황병산으로 부터 횡계읍 도심을 지난 후인 독가촌이며 유역면적은 36.2 km²이며 상류에 대규모 축산단지 2개소와 하류에 도암면 인구 밀집지역이 위치하고 있다. 송천 본류의 좌측에 위치

하고 있는 차항천 유역은 고랭지 경작지 및 소규모 축산단지가 산재해 있는 유역이며 유역면적은 31.0 km²이고 송천의 우측인 대관령천은 고랭지 경작지가 많이 분포하고 있으며 하류의 용산리천에는 대규모 고원관광단지 및 고랭지 경작지가 산재해 있는 유역으로 유역면적은 32.2 km²이다. 마지막으로 송천의 최하류인 도암호유역은 호수 유역으로서 산림을 제외하고는 오염원이 없는 유역이다. 하천유역의 형태를 나타내 주는 유역형상계수(f)는 그 값이 클수록 생김새가 원형에 가깝고, 강우시 집중적인 토사의 유출이 일어나기 쉬우며 f 값이 작으면 최대홍수량은 적고 지속적인 유출이 일어난다.³⁾ 송천 유역의 유역형상계수는 0.315로 형태가 유사한 북한강의 지류인 내린천(0.16)에 비해 약 2배 정도의 값을 보여주며 남북한강의 대표적인 하천에 비해서도 상당히 큰 값을 나타내고 있어서 본 유역은 강우시 하천의 양안으로 광범위하게 분포하고 있는 고랭지 경작지로부터의 토사유출이 매우 많은 유역으로 판단된다. 이는 하천의 경사도를 보아도 쉽게 알 수 있는데 평창강의 4.08 m/km, 홍천강의 3.28 m/km, 동강의 5.96 m/km에 비해 매우 큰 30.3 m/km의 급경사 하천으로 나타났다.

송천 수계의 하류에 위치하고 있는 도암호는 유역면적이 148.8 km²로서 총저수량은 5,100만톤이며 유효저수량은 3,970만 톤으로 평균수심은 26 m, 만수면적은 2.2 km²로서 호수 수체의 체류시간에 영향을 주는 유역면적 대비 호수면적 비는 68로 호수면적과 유역면적을 비교시 강원도 동해시에 위치한 달방댐과 비슷한 수준이며 유역면적의 비가 클수록 호수로 유입되는 오염물질량이 많아 부영양화의 가능성

이 높은 호수이다.

2. 수질환경오염요소 및 오염물질 발생량 평가
가. 수질환경오염요소

송천유역의 환경오염요소 중에서 상주인구수는 5,730명으로 인구밀도는 38.5명/km²이며 이는 강원도 전역(92.1) 인구밀도의 41%정도로 인구밀도가 낮은 유역이며 이중 경작지는 총 유역면적 148.8 km²의 8.8% 수준인 12.02 km²이다. 또한 유역내에는 대단위 한우 및 젓소 축산단지가 2개소 운영되고 있으며 삼양축산에서 722두, 한일농산에서 380두이고 이밖에 나머지 소규모 축산농가에서 2,168두를 사육하고 있다. 본 조사시 대단위 축산단지는 지속적인 관리 감독으로 수질에 미치는 영향은 그리 높지 않으나 소규모 영세 농가는 축산폐기물의 관리 소홀로 대규모 축산단지에 비해 상대적으로 하천수질에 미치는 영향은 높을 것으로 판단된다. 송천유역에는 시설면적 1백만평 규모의 고원관광단지인 용평리조트가 위치하고 있으며 연간 방문객수는 690,199명으로 62.5%가 스키시즌인 겨울에 집중되고 있다.

송천의 11개 세부유역별 오염원 현황 중에서 인구분포는 차항리천이 2,392명으로 가장 많았으며 다음으로 송천 본류 구간에 속해있는 횡계읍 내의 유역으로서 1,463명의 상주인구가 있다. 가축의 경우 삼양축산 및 한일농산의 대단위 목장을 제외하고는 차항리천에서 1,577마리로 가장 많은 사육두수를 나타내고 있다. 이를 단위면적 당 사육두수로 평가하면 51두/km²로 대단위 목장지인 한일농산을 제외하고는 가장 높은 유역으로 본 유역의 사육형태는 대부분 영세 사육시설이 산재하여 있는 상황으로서 목장으로

Table 1. The present condition of contamination source of Song stream basin

세부유역명	면적	인구	가축	관광객	전	목장	토지계
삼양축산	23.03	45	722		0.00	2.14	23.03
한일농산	2.78	15	380		0.00	1.13	2.78
의야지	11.37	202	333		1.49	0.99	11.37
횡계읍내	0.86	1463	11		0.48	0.03	0.86
대관령천	16.99	571	8		1.74	0.02	16.99
차항리천	30.67	2392	1577		3.76	4.67	30.67
독가촌	6.84	651	15		1.03	0.04	6.84
용산리천상류	13.55	41	10		1.76	0.03	13.55
용산리천하류	5.87	45	0	660,199	0.00	0.00	5.87
감자원중장천	9.90	172	25	30,000	0.79	0.07	9.90
용산리천	29.32	258	35	690,199	2.55	0.10	29.32
도암댐	26.91	133	189		0.97	0.56	26.91
Total	148.77	5730	3270	690,199	12.02	9.69	148.7

단위 : kg/일, 부하밀도 : kg/일.km²

부터 발생하는 오염물질의 효과적인 관리가 어려운 실정이므로 송천의 유역관리를 위해서는 소규모의 축산시설이나 고랭지 경작지로부터의 발생하는 오염물질의 효과적인 관리가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

유역내의 주요 오염원의 연도별 추이 중 유역인구는 90년 이후 점차적으로 감소하기 시작하여 99년 5,700명의 수준을 유지하고 있다. 가축사육두수는 84년 이후 지속적으로 감소하기 시작하여 '99년에는 84년의 54%수준을 유지하고 있으며 앞으로도 지속적으로 감소될 것으로 판단된다. 일례로 송천유역 등에서 가장 규모가 큰 삼양축산의 경우 80년대 3,000두에서 현재 722두로 급감했다. 유역내에서 오염원의 변화중에서 관광객의 경우는 대부분 용평 고원관광지의 방문객이며 95년까지 지속적으로 증가하다가 이후에는 일정한 수준을 유지하고 있으며 현재는 약 66만명/년을 유지하고 있다.

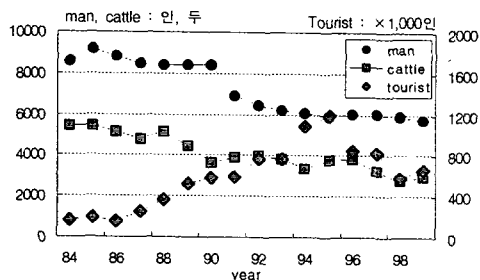


Fig. 2. Annual distribution of contamination source at Song stream basin.

나. 오염물질발생부하량
오염원별 발생부하량

오염물질 발생부하량은 인구, 가축, 토지등 유역 내 오염원에서 발생하는 오염의 크기인 단위 오염원과 오염원단위와의 곱으로 정량적으로 표현한 값으로 부하량 값은 오염물질 발생원단위에 따라서 상이하게 나타난다. 오염물질 발생원단위는 유역의 특성 및 지역마다 달라 발표자 및 나라마다 상이한 자료를 제

시하고 있다. 우리나라에서도 수질보전 장기 종합계획수립(1992. 12)을 비롯한 많은 연구 결과가 발표된 바 있으나 각기 다른 결과를 제시하고 있다. 본 연구에 적용한 오염물질 발생 원단위는 환경부 고시 제 1999-143호(1999.9.15)의 한강수계 상수원 수질 개선 및 주민지원에 관한 법률 제8조 등의 오염총량 관리계획수립지침서에서 발표된 원단위를 적용하였다. 위의 오염원단위를 기초로 해서 송천유역에서 발생하는 BOD 부하량은 총 2,691 kg/일이며 이중 가축에 의해 발생된 부하량이 1,766 kg/일로 전체의 65.6%를 차지하고 있다. 경작지로부터 발생하는 부하량은 536.6 kg/일로 전체의 19.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 송천유역에서 발생하는 부하량을 유역면적으로 나눈 부하밀도는 조사대상인 송천유역에서 18.1 kg/일.km²으로 강원도 전역의 16.4 kg/일.km²에 비해 약간 높은 것으로 조사되었다. 총질소 부하량의 경우는 가축과 토지에 의한 요인이 총부하량의 45% 수준이며 단위면적당 총질소 부하밀도는 6.5 kg/일.km²로 강원도 전역에 비해 9.2%정도 높게 나타났다. 총인부하량은 총 194.45 kg/일로 가축에 의한 요인이 총부하량의 74.9%로 가장 높으며 총인 부하밀도는 74.9%로 가장 높게 나타났다.

유역별 발생부하량

본 절에서는 송천의 11개 세부유역에 대하여 BOD, 총질소, 총인의 발생부하량을 평가하였다. BOD 발생부하량은 송천전역에서 2,690 kg/일이며 이중에서 45%가 차항리천에서 발생하였으며 부하밀도는 39.3 kg/일.km²였으며 세부유역 중에서 가장 부하밀도가 높은 유역은 황계읍내의 도심유역으로서 108 kg/일.km²였다. 총질소의 경우는 총 발생부하량 974 kg/일 중에서 34.5%인 336 kg/일이 차항리천에서 발생되었으며 이때의 부하밀도는 11.0 kg/km²였고 유역전체의 부하밀도는 6.5 kg/일.km²였다. 총인 발생부하량의 세부유역별 부하량은 송천 전체에서 194.5 kg/일이었으며 부하밀도는 1.3 kg/km²였고 총인 역시 차항리천에서 76.7 kg/일, 부하밀도 2.5

Table 2. Production loading of each contamination source

	인 구	가축계	관광객	토지계	산업계	총 계	부하밀도
BOD(kg/일)	280.8	1766.0	44.3	536.6	62.9	2690.5	18.1
portion(%)	10.4	65.6	1.6	19.9	2.3	100	
T-N(kg/일)	75.6	442.7	9.3	437.8	8.1	973.5	6.5
portion(%)	7.8	45.5	0.7	45.0	0.8	100	
T-P(kg/일)	8.60	145.69	1.06	37.77	1.34	194.45	1.31
portion(%)							

단위 : kg/일, 부하밀도 : kg/일.km²

Table 3. Production and portion rate of each basin at Song stream

항목 유역구분	BOD			총 질소			총 인		
	부하량 (kg/일)	부하밀도 (kg/일.km ²)	점유율 (%)	부하량 (kg/일)	부하밀도 (kg/일.km ²)	점유율 (%)	부하량 (kg/일)	부하밀도 (kg/일.km ²)	점유율 (%)
삼양축산	500.0	21.7	18.6	173.5	7.5	17.8	47.5	2.1	24.4
한일농산	253.3	91.0	9.4	71.2	25.6	7.3	23.7	8.5	12.2
의야지	233.4	20.5	8.7	80.0	7.0	8.2	15.6	1.4	8.0
횡계읍내	92.9	107.9	3.5	27.6	32.1	2.8	3.1	3.6	1.6
대관평천	56.3	3.3	2.1	58.5	3.4	6.0	3.8	0.2	2.0
차항리천	1205.1	39.3	44.8	336.1	11.0	34.5	76.7	2.5	39.5
독가촌	54.5	8.0	2.0	33.4	4.9	3.4	2.8	0.4	1.4
리조트상류	23.4	1.7	0.9	43.8	3.2	4.5	2.5	0.2	1.3
리조트하류	78.2	13.3	2.9	27.5	4.7	2.8	2.7	0.5	1.4
감자원종장	36.1	3.6	1.3	31.9	3.2	3.3	2.7	0.3	1.4
도암호유역	157.4	5.8	5.8	90.0	3.3	9.2	13.2	0.5	6.8
송천 전역	2690.5	18.1	100.0	973.5	6.5	100.0	194.5	1.3	100.3

kg/km²로 송천 전역의 39.5%를 유지하고 있었다. 유역내 횡계읍 도심의 인구에 의한 발생부하를 제외한 축산단지인 삼양축산과 한일농산에서 각각 21 kg/일.km², 91 kg/일.km²이었으며 관광단지가 밀집해 있는 용평리조트에서의 BOD 부하밀도는 13.3 kg/일.km²로 횡계읍 도심에서 발생하는 부하밀도에 비해서 매우 낮은 수준을 유지하고 있었다. 소유역별 오염원 평가결과 차항리천에서 부하량이 가장 높게 나타났으며 BOD의 경우 이중 69.4%가 가축에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 특히 차항천 유역의 가축사육 형태는 소규모 사육시설이 산재해 있어서 오염원의 조절이 어려운 유역으로 송천 수질에 많은 영향을 주는 차항리천의 수질을 개선하기 위해서는 오염물 질배출량에 비해 경제성이 떨어지는 가축사육을 자체하거나 소규모 사육시설을 통합하여 대단위 단지를 조성하여 사육관리 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

3. 수질분포

가. 연도별 수질조사 결과

송천 수계의 본류 하천에 대한 연도별 수질분석은 도암댐 유입부인 송천 하류 및 도암댐 앞 표층수에 대하여 수질분석을 실시하였다. 송천 하류의 측정기간은 1986년부터 2000년 까지이며 도암댐 표층수는 1992년부터 2000년 자료에 대하여 최대, 최소, 25 percentile, 75 percentile, 중간값등을 평가하였다. 송천에 있어서 15년간의 BOD의 중간값 분포는 1.0 ~ 2.2 mg/L이며 94년에 최대치를 나타내었고 89년에 최소치로 조사되었다. Fig. 3으로 평가한 연도별 BOD 분포그림은 93~94년에 높은 경향을 보여주었

으며 이후 감소되기 시작하여 97년 이후에는 수질의 대표적인 범위로 볼 수 있는 25~75 percentile이 1 ~ 2 mg/L의 분포를 보여주었다. 송천수계의 총질소의 연도별 중간값 분포는 3.16~5.61 mg/L를 보이고 있으며 1996년에 최대치를 보여주었으며 연도별 변화는, 1992년 이후 증가하기 시작하여 95년 이후 편차는 심하지만 유사한 수준을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 전기간에 걸쳐서 수질의 대표값을 판단해주는 25~75 percentile 값은 2.82~8.46 mg/L의 범위를 보여주었으며 최근 2000년에는 4.096~6.564 mg/L였다. 송천의 연도별 총인의 중간값 분포는 0.024~0.173 mg/L로 매우 편차가 크게 나타났으며 연도별 변화는 92년을 기점으로 증가하다가 96년 이후 감소되기 시작하여 2000년에 25~75 percentile

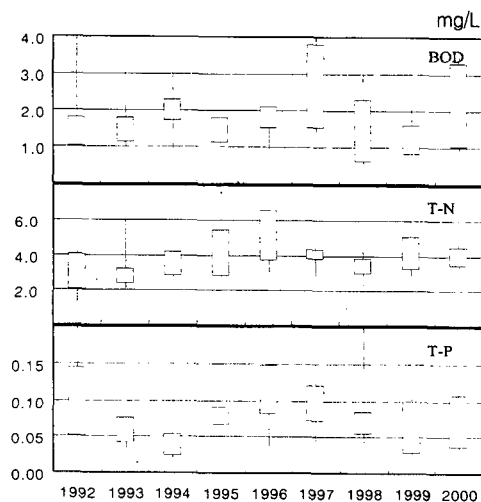


Fig. 3. Annual distribution of water quality at Song stream.

값은 0.042~0.087 mg/L의 범위를 보여주었다.

도암호의 연도별 BOD 중간값의 분포는 1.1~1.9 mg/L의 분포를 보여주었으며 1994년에 1.9 mg/L로 가장 높았으며 1999년과 2000년에 1.1 mg/L로 가장 낮은 분포를 보여주고 있다. 총인 및 총질소는 남, 북한강에 비해서 비교적 높게 나타났는데 이는 유역 내 산재해 있는 비점오염원으로 부터의 유출에 의한 것으로 판단된다. 연도별 분포는 92년부터 증가하기 시작하여 96년을 정점으로 최대치를 보여주었으며 이후 유사한 수준을 유지하고 있었다. 총질소의 중간값의 범위는 2.51~3.894 mg/L이고 총인은 0.038~0.114 mg/L로서 N/P 비율은 69.5로 나타났다. 김⁴⁾ 등에 의하면 국내의 주요 인공호의 N/P의 비율은 40~160이며 Forsberg and Ryding⁵⁾이 인을 부영양화의 제한인자로 판단하는 기준은 N/P 비율이 17이상 일 때라고 하였으며 조사결과 도암호 역시 인이 일차 제한요소인 것으로 평가되었다.

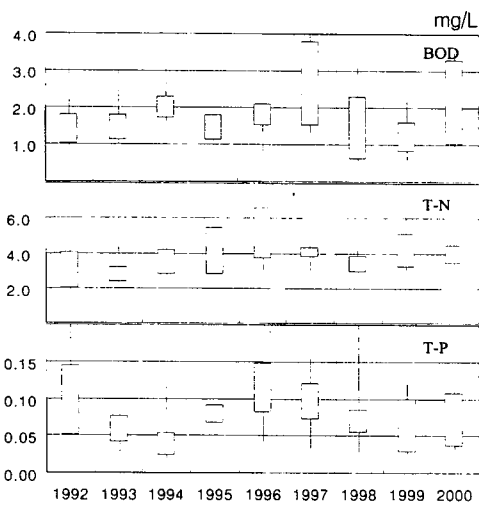


Fig. 4. Annual distribution of water quality at lake Doam.

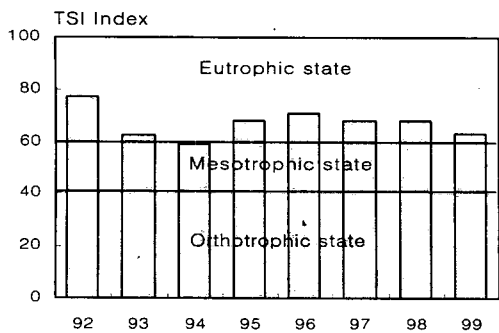


Fig. 5. Annual distribution of Eutrophication state at lake Doam.

일반적으로 호수이 부영양화를 판정하기 위한 기준으로는 USEPA⁶⁾, Carlson⁷⁾, Foreberg and Ryding⁵⁾, OECD⁸⁾ 등에 의한 기준이 있으며 이 기준들은 주로 단일항목을 기준으로한 영양염의 농도, 식물플랑크톤의 종구성 및 생체량, 일차생산력등으로부터 호수를 빈, 중, 부영양의 3단계로 분류하였으며 본연구에서의 부영양화 판정은 Carlson이 제시한 방법인 TSI(Trophic State Index)로 평가하였다. TSI는 총인과 Chl.a 그리고 투명도로 평가하고 있으며 본 연구에서는 이 중에서 총인의 농도를 이용하여 평가하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 92년부터 연도별 TSI 지수의 변이는 94년을 제외하고 모두 부영양상태를 나타냈으며 94년도 중영양상태와 부영양상태의 Limit line에 분포하고 있었다.

나. 유하거리별 수질분포

송천 본류의 최상류인 소황병산으로부터 도암댐 유입부까지 25 km 구간에 대하여 BOD 및 총인과 총질소의 유하거리별 각 지점의 수질분포 중에서 과거와 현재의 수질 변동을 알아보기 위하여 본류 10개 지점에 대하여 수질상태를 평가하였다. 분석에 사용된 자료는 93년부터 96년까지의 3년간의 과거자료와 최근 2000년 조사 자료를 이용하였다. 2000년의 수질은 과거에 비하여 상당부분 개선된 것으로 나타났는데 삼양축산 정문의 경우 BOD, 총질소, 총인의 농도 감소율은 각각 50.4%, 58.8%, 83.3%로 두드러지게 수질이 개선된 것으로 나타났다. 조사자료⁹⁾에 따르면 대단위 가축사육단지인 삼양축산과 한일농산의 가축사육두수는 93~96년에 비해 43% 정도 감소하였으며 목장에서 발생되는 축산폐기물의 철저한 관리가 그 원인인 것으로 판단된다. 조사결과 과거에는 목장내에서 발생되는 생축분을 목장내 초지에 투기하였으나 현재에는 톱밥을 이용한 완전 퇴비화 후 볏가늘에 초지에 살포하고 있으며 이러한 환경보전의 노력의 결과 상류의 수질은 눈에 띄게 개선된 것으로 판단된다. 도암댐으로 유입되기 바로 전 지점인 용산리천 후 지점의 수질 변동은 과거에 비하여 총인이 57.6%로 상당히 개선되었으며 그에 비해서 총질소는 3.7%로 개선율이 매우 미미하였는데 이는 질소 유출의 커다란 비중을 차지하고 있는 고랭지 경작지 및 비료사용량은 과거의 수준을 유지하고 있는 것이 그 원인인 것으로 판단된다. 전체적으로는 송천 본류 수계의 수질은 93~96년도에 비해 2000년도의 수질이 현저히 개선된 것으로 나타났으며 전체 지점의 감소율은 BOD 8~50%, 총질소 0.7~70.1%, 총인 33.7~85.1%이었다. 각 지점의 유하거리별 수질의

변동과는 달리 2000년의 구간별 수질의 증감을 평가하면 BOD는 송천의 최상류인 소항병산에서 0.5 mg/L이었으며 황계리 도심부 생활하수 유입 전까지 0.5~0.9 mg/L로 BOD 수질기준 I 등급을 유지하였으며 황계리의 생활하수가 유입된 후 1.6 mg/L로 1.8 배 정도 증가하였다. 이후 송천의 최종점인 도암댐 유입부까지 1.4~1.8 mg/L로 II등급의 수질기준을 유지하며 유하 하는 것으로 조사되었다. 총질소의 경우 최상류에서 0.61 mg/L로 유하거리에 따라서 지속적으로 증가하다가 도암댐 유입부에서 4.933 mg/L로 댐으로 유입되었으며 총인은 최상류로부터 약 5 km 유하한 삼양축산정문 까지 0.008 mg/L로 호소수 수질기준 I 등급인 청정한 상태를 유지하고 있었으며 황계리 도심을 경유하면서 0.018 mg/L에서 0.043 mg/L로 급격히 증가하였으며 용산리천 유입 후 0.050 mg/L에서 0.075 mg/L로 증가하였는데 이는 황계리 도심으로부터 유출되는 생활하수 및 용평리조트 오수처리장으로부터 유출되는 방류수가 그 원인인 것으로 판단된다. 용평천의 부영양화에 기여하는 용평리조트로 부터 방류되는 오수를 처리하는 SYSTEM은 SBR PROCESS로서 이는 영양염류 제거에 탁월한 효과가 있는 것으로 많은 연구 결과^{10,11)}가 발표된바 있다. 특히 SBR PROCESS는 생물학적 탈인 탈질소 공정으로서 영양염류 중에서 인보다는 질소에 더욱 탁월한 효과가 있는 것으로 보고¹²⁾된바 있다. 이는 본 연구의 자료에서도 같은 결과를 나타내 주었는데 조사 결과 용평리조트 오수처리장의 BOD, 총질소, 총인의 처리 효율은 각각 96.7%, 85.7%, 54.3%로 나타나 용평리조트의 오수처리장으로부터 방류되는 처리수는 제1지류인 용평천에 BOD와 질소는 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 조사되었으나 총인의 경우는 리조트 처리수 유입전 0.052 mg/L에

서 유입 후 0.069 mg/L로 증가하였으며 33%의 증가율을 나타내 주었다. 용평천은 송천의 최 하류에서 도암호 유입부의 위치에서 송천으로 유입되는 지류하천이며 총인은 그 특성상 호소의 부영양화의 제한인자¹³⁾로 작용하고 있으며 용평천의 총인 농도의 상승은 도암호의 부영양화에 상당부분 기여할 것으로 판단된다.

4. 유출부하량

수중의 오염물질의 농도를 유량과의 곱으로 표현한 유출부하량은 실제 대상유역으로 유입된 오염물질량을 평가할 때 사용된다. 본 연구에 있어서 송천의 유출부하량은 본류 및 지류의 주요 지점에 대하여 평가하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 오염물질 유출량을 평가하기 위한 유량은 평수기의 수준을 유지하는 9월의 유량자료를 이용하였다. 송천의 최종점인 도암댐 유입부의 유량은 2.65 m³/sec이며 유역내 주요 지류하천인 대관령천, 차항천, 그리고 용평리조트가 위치하고 있는 용평천의 유량은 각각 0.46, 0.58, 0.77 m³/sec로 조사되었다. 유하거리별 BOD 유출부하량은 송천의 최상류인 소항병산에서 5.5 kg/일이었으며 황계리 도심을 유하하기 전에 44.4 kg/일이고 도심통과 후 80.2 kg/일로 약 2배가량 증가하였다. 이후 오염의 정도가 심한 대관령천과 차항리천이 유입되면서 233 kg/일로 급증하였으며 송천 최 하류인 도암댐 유입부에서 366.3 kg/일로 도암호로 유입되고 있었다. 또한 송천의 주요 지류 하천인 대관령천, 차항천, 용산리천의 유출부하량은 각각 60.0, 60.2,

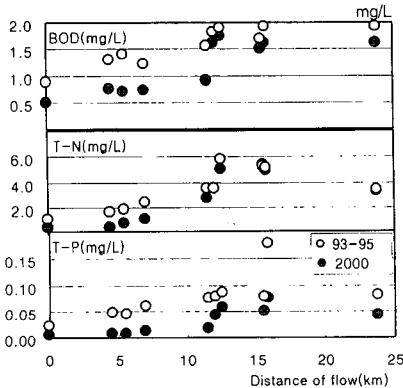


Fig. 6. Water quality distribution by each distance of flow.

Table 4. Runoff loading by distance of flow

지점명	distance of flow(km)	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)
황병산	0	1.8	2.0	0.02
삼양축산 정문	6	26.2	30.3	0.30
한일농산	7	33.1	57.4	0.57
황계읍전	11.98	44.4	135.9	0.89
황계읍후	12.1	80.2	175.7	2.15
독가촌	13	232.8	671.3	7.58
용평합류전	16	246.2	1213.6	8.54
용평합류후	16	366.3	1129.5	17.17
용평천상류		8.3	44.4	0.40
리조트전		29.7	120.9	1.07
감자원종장		24.3	167.2	1.48
오수처리장		1.6	2.1	0.91
용평천하류		95.3	335.8	4.59
재진교		59.9	244.1	4.39
차항천		60.2	299.7	3.26
한일농산		2.0	3.5	0.03

95.3 kg/일로 용평천에서 가장 높게 나타났다. BOD에 비해 질소의 유출량은 약 3배정도 높게 나타났다. 그 원인으로서는 유역의 양안에 넓게 산재하고 있는 고랭지 경작지에서 유출되는 질소계 비료성분이 가장 큰 원인인 것으로 판단된다. 현지조사 결과 송천 유역 내 고랭지 경작지는 일반 경작지와는 틀리게 재배지의 고랑을 경계로 하여 약 20 cm 정도 마사와 비료를 혼합한 토양으로 피복하게 되는데 피복된 토양은 강우 시 아무런 여과 없이 송천수계로 유입되며 송천수계의 영양염류의 증가에 상당부분 기여하는 것으로 판단된다. 총인의 경우도 질소와 유사한 경향을 보여주었으며 송천의 최종점에서 17.2 kg/일로 조사되었다.

5. 수질보전 및 지역개발과제

최근의 수질보전에 관한 정책은 무조건적의 개발의 반대보다는 개발로 인하여 얻게되는 경제적 이익과 환경의 영향을 고려하여 환경에 미치는 영향을 최소화하면서 개발로 인한 이익의 극대화의 측면에 초점을 맞추어야 할 것이다. 본 연구에서 조사 대상 지점으로 선정한 송천유역은 각각의 산업이 유역의 수질환경에 미치는 영향을 평가하기에 매우 좋은 하천이다. 그 이유로서 송천 유역에는 대규모 레저단지과 축산단지, 그리고 비점오염원인 고랭지 경작지가 넓게 분포 되어 있으며 유역의 크기에 알맞는 인구 밀집지역이 위치하고 있어 오염원별로 유출부하량을 산출하고 오염원별 경제성 즉 재화 생산액을 산출한다면 본 연구의 최종 목적인 수환경보전을 위한 효율적인 산업구조 재편에 기여할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 오염원별로 생산성을 비교하기 위하여 송천유역에 주요한 산업시설인 관광단지와 축산시설 그리고 고랭지 경작지에 대하여 경제성을 평가하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

유역내 산업별 연간 총 생산액 및 실질소득의 산출방법에 있어서 고랭지 경작지 및 가축사육에 의한 재화 생산액은 농촌진흥청에서 발간한 농축산물 소득자료집¹⁴⁾을 인용하여 산출하였으며 관광단지에서의 생산액은 유역내 해당업체에 직접 문의하여 산출하였다. 조사대상 유역의 경작지에는 배추와 감자, 당근의 재배율이 20.4%, 34.7%, 24%로 대표적인 작물

이며 이밖에 무, 양배추, 양상치, 양파를 포함한 작물에 대하여 연간 총 생산액인 조수입과 경작자의 인건비를 포함한 실질소득을 조사하였다. 유역내 경작지 면적인 12.14 km²에 대하여 작물별로 소득을 조사한 결과 경작에 의한 조수입과 순소득은 각각 187억과 155억원으로 나타났다. 가축사육에 의한 생산액은 한우와 젓소를 대상으로 조사하였으며 그 결과 조수입과 순소득은 95억원과 46억원이었다. 고원관광지의 경우는 회사측에 직접문의 한 결과 지난해 연간 총 생산액은 268억원이었으며 이중에서 40%가 인건비를 포함한 생산액이라고 밝혀졌다.

배출부하량의 산출은 축산단지와 관광지는 해당 산업시설을 경유하며 증가한 오염물질의 양으로 산출하였으며 경작지로 부터의 배출부하량 산출은 기존에 발표된 연구 자료¹⁵⁾의 유출율을 인용하여 평가하였다. 그리고 경제성 평가에 사용된 오염 항목은 호수의 부영양화에 제한인자이며 직접적인 원인이 되는 총인에 대하여 평가를 하였다.

조사결과 축산단지와 고원관광지 그리고 고랭지 경작지에서 배출되는 총인의 배출부하량은 각각 0.92, 0.91, 3.39 kg/일이었다. 그리고 총인 1kg을 배출에 기여하는 순 소득은 관광산업이 118억원, 고랭지 경작지는 46억원, 그리고 가축(소)사육에 의한 생산액이 50억원으로 고원관광지를 100%로 볼 때 가축사육이 50%, 경작지가 46억원으로 관광산업이 오염물질(총인)대비 소득이 가장 큰 것으로 나타나 조사대상 유역의 향후 산업구조의 편성시 소득에 비해서 오염물질의 관리가 어려운 1차산업보다는 관광산업으로의 전환이 바람직 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

송천은 남한강 최상류에 위치한 하천으로서 상류에 대규모 축산단지와 레저단지 그리고 고랭지 경작지가 위치하고 있으며 환경보전에 바탕을 둔 효과적인 개발을 위한 바람직한 산업구조의 전환과 효과적인 수질관리 방안을 제시하고자 한 연구 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구대상 수계인 송천은 유역형상계수가

Table 5. Comparison of economic efficiency by each industry

	입지현황	경제적효과(억원)		총인발생량 (kg/일)	총인배출량 (kg/일)	배출량 대비 순소득(억원/P.kg)
		총생산액	순소득			
가축사육	3,270두	95	46	117.70	0.92	50(42%)
고원관광지	668,199명/년	268	107	1.09	0.94	118(100%)
고랭지경작	12.14 km ²	187	155	7.35	3.39	46(39%)

0.315로 도내 일반 하천에 비하여 매우 높은 경사도를 유지하고 있어 강우시 상당량의 토사가 유출될 것으로 판단되며 유역내에서 발생하는 오염부하량은 BOD, 총질소, 총인 각각 2,690 kg/일, 974 kg/일, 194 kg/일로 주 오염요인은 가축 및 경작지로부터 유출되는 오염물질인 것으로 조사되었다.

2) 송천수계에는 송천 최하류부와 도암호 표층수에 대하여 86년과 92년부터 매월 수질조사를 실시하고 있으며 연도별 중간값으로 평가한 송천의 BOD, 총질소, 총인의 분포는 각각 1.0~2.2 mg/L, 3.16~5.85 mg/L, 0.024~0.179 mg/L이었으며 도암호의 경우는 각각 1.1~1.9 mg/L, 2.51~3.89 mg/L, 0.042~0.114 mg/L로 나타났다.

3) 송천의 본류구간에 대하여 유하거리에 따른 수질을 93~96년 수질과 최근의 수질을 평가한 결과 본류의 BOD는 지점별로 8~50%정도 개선된 것으로 나타났으며 삼양축산 정문에서 가장 큰 감소율을 보여주었는데 이는 축산시설로부터 발생하는 폐기물의 적절한 관리가 그 원인인 것으로 조사되었다.

4) 유하거리별 수질분포는 최상류로부터 11.5 km 유하한 횡계읍 전 지점까지 BOD 0.5~0.9 mg/L를 유지하고 있으며 횡계리 도심지의 생활오수 유입후 1.4~1.8 mg/L로 조사되었다. 총인의 경우 횡계읍 도심 전 지점의 0.018 mg/L에서 도심경유 후 0.043 mg/L로 45.5% 증가하였다.

5) 송천 전역에서의 유출부하량은 BOD, 총질소, 총인 각각 366 kg/일, 1129 kg/일, 17.2 kg/일이며 발생부하량 대비 유출율은 13.6%, 86.2%, 11.3%로 조사되었다.

6) 총인 1 kg 배출당 산업구조별 생산성을 비교한 결과 고원관광지, 축산단지, 고랭지경작지, 로부터의 순소득은 118, 50, 46억원이며 각각의 생산성 비율은 고원관광지를 100%로 볼 때 경작지 및 축산단지는 각각 39%, 42%로 조사되어 경제성을 바탕으로 유역특성에 맞는 산업구조 재편시 고원관광단지가 가장 적합한 것으로 조사되었다.

참고문헌

1. 수질오염공정시험법 : 환경부, 1990.
2. APHA : Standard methods and for the examination of water and wastewater. 18th Ed., American Public Health Association, Washington. DC, 1992.
3. 호수환경조사법 : 조규송외 10인, 동화기술, pp 59-63, 1995.
4. Kim, B., J.H. Park, G. Hwang and K. Choi : Eutrophication of Large Freshwater Ecosystem in Korea. Kor. J. Limnol. 30 : 512-517, 1997.
5. Foreberg, C. and S.O : Ryding. Arch fur Hydrobiol. 89 : 189-207, 1980.
6. U.S. EPA : Water Quality Criteria Research of the U.S EPA, Proceeding of an EPA Sponsored Symposium, EPA-600(3-76-079) : 185.
7. Carlson, R.E. : A trophic state index for lakes, Limnol. Oceanogr, 22 : 361-369, 1987.
8. OECD : Eutrophication of waters : Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris, 1982.
9. 삼양축산 대관령목장 : 현지조사자료, 2000.
10. Irvine, R. L. : Municipal application of sequencing batch treatment. J.WPCF, 55(5), pp 484-488.
11. Shin, H. S., et al. : Simultaneous removal of phosphorus and nitrogen in sequencing batch reactor. Biodegradation 3 : 105-111, 1992.
12. Melcer, H. et al. : Conversion of small municipal wastewater treatment plants to sequencing batch reactors, J.WPCF, 59(2), pp 79-85, 1987.
13. 김범철외 3인 : 소양호 부영양화 연변화 추이, 한국육수학회지, 22(3), pp 155-158, 1989.
14. 농업경영개선을 위한 '99 농축산물 소득자료집 : 농촌진흥청, 2000.
15. 우리나라의 비료와 사료에 기인하는 비점오염원의 질소, 인 배출량 : 심수용, 강원대학교 석사학위논문, 1998.