

## 섬진강 수계 추령천 유역의 총질소 및 총인의 유출부하 특성

### Characteristics of T-N and T-P Runoff Loadings of Churyeong-cheon Watershed in the Seomjin River Basin

최진규\*, 손재권\*, 구자웅\*,  
Choi, Jin-Kyu, Son, Jae-Gwon, Koo, Ja-Woong,  
윤광식\*\*, 김영주\*\*\*  
Yoon, Kwang-Sik, Kim, Young-Joo

#### Abstract

To provide the basic information for the water quality improvement of the Seomjin River Basin, the water qualities of the Churyeong-cheon watershed were investigated from May in 1999 to September in 2002. Annual total runoff at the Churyeong-cheon watershed was 585 mm in 1999, 828 mm in 2000, 342 mm in 2001, and 489 mm in 2002, respectively. Total-N concentrations ranged from 0.89 to 5.19 mg/L, which was generally higher than the quality standard of agricultural water (1.0 mg/L). Total-P concentrations ranged from 0.0004 to 0.0308 mg/L and the average was 0.0078 mg/L. Pollutant mass generation by unit generation of pollutant mass with respect to sources was calculated as 198 ton-N/yr and 24 ton-P/yr at the Churyeong-cheon watershed. Observed runoff pollutant loadings were measured as 236 ton-N/yr and 0.2 ton-P/yr in 1999 and 255 ton-N/yr and 0.5 ton-P/yr in 2000, 151 ton-N/yr and 0.2 ton-P/yr in 2001, and 276 ton-N/yr and 0.7 ton-P/yr in 2002, respectively.

#### I. 서론

섬진강은 전라남·북도와 경상남도를 유역으로 하여 남해안에 유입되는 유로연장 212 km, 유역면적 4,987 km<sup>2</sup> 의 하천으로 한강, 낙동강, 금강, 영산강과 함께 우리나라 5대 동맥중에 하나를 이루고 있다. 섬진강은 90년대 초반까지만 해도 한강 등 4대강과 비교하면 비교적 깨끗한 수질을 유지하고 있었으나, 최근에는 일부 지천이나 호소 등에서 수질이 2, 3급수로 나타나는 등 오염도가 점차 증가하고 있는 추세를 나타내고 있다. 이는 급속한 개발과 도시화, 산업화의

원인도 있지만 생활수준의 향상에 따른 오염물질의 양적, 질적인 발생량 증가와 수변지역 위락시설의 증가 등 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 판단된다 (신상철 등, 1999).

선진국에서는 수량관리, 부유물질, 용존산소, 질소와 인의 영양염류와 비점 오염원, 중금속과 유해물질 등의 종합적인 유역관리 등을 통하여 수질관리를 도모해 오고 있다. 그럼에도 불구하고 일반적으로 비점오염원과 영양염류인 질소와 인, 그리고 농약 및 합성물질 등에 의하여 수질 개선은 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, 유역에서의 농업비점원 오염물질은 강우-유

\* 전북대학교 농과대학 (농업과학기술연구소)

\*\* 전남대학교 농과대학 (농업과학기술연구소)

\*\*\* 전북대학교 대학원

키워드 : 추령천 유역, 총질소, 총인, 유출부하량

출과정중 지표수 유출, 농경지에서 관개 및 배수 과정의 잉여수 배출, 또는 유출토사에 부착되어 하천과 지하수로 유입된다. 이들 물질은 농경지 유역 전체로부터 배출되는 주요 수질오염원으로 하천과 호소 및 지하수의 수질을 악화시키고 부영양화를 일으키게 된다. 우리 나라에서 호소와 하천에 대한 수질의 악화는 그 동안 산업화와 도시화, 생활수준의 향상 등으로 인한 공장폐수, 생활하수, 축산폐수 등의 발생량 증가와 더불어 농업배수도 중요한 오염원으로 지적되고 있으며, 수질관리를 위해서는 유역내에서의 수문, 수질 및 생태환경에 관한 모니터링이 요구된다(김계현, 1998; 이길성과 이범희, 1998; 한건연, 1999; 조홍연, 1999). 농업유역에서의 수문·수질환경에 대한 연구로서 하천 및 호소수 수질관리를 위한 자동측정망의 설계(최지용 등, 1996), 농촌마을 하천의 수질관리 시스템 설계(정하우 등, 1996), 농업유역의 생태환경 모니터링(박승우 등, 1996, 1997) 등이 있다. 또한 발안유역의 유출특성과 수질특성의 분석(김상민 등, 1999), 하천수와 지하수의 수질변화 모니터링을 통한 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향(최중대 등, 1999), 도시유역에서의 유출 및 수질해석 모형 등을 이용한 강우시의 수질변화를 분석(이종태, 1998) 등이 있으며, 유역수질관리 기술개발과 생태환경에 미치는 영향 등을 최소화할 수 있는 다양한 연구의 지속성을 강조하고 있다.

본 연구는 섬진강 수계 추령천 유역에서의 수질개선 및 양호한 수질의 지속적인 유지를 위하여 유역특성인자, 토지이용상태 등 지형적 특성과 오염원 현황을 조사하고, 유입 오염물질의 저감 및 관리에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 이를 위하여 추령천 유역 하류지점에 수문 관측시설을 설치하고 1999년 5월부터 2002년 9월까지 수문모니터링을 통한 수위측정과 수질 분석을 실시하였으며, 총질소와 총인에 대하여 원단위 방법에 의한 오염부하량과 수질분석을 통한 유출 오염부하량을 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지구

본 연구의 대상지구는 섬진강 수계 추령천 유역으로 하천 유역은 행정구역상 전라북도 순창군 쌍치면과 북흥면에 걸쳐 북위 35°23' 31" 35°33' 12", 동경 126°03' 26" 126°53' 28"에 위치하고 있다(Fig. 1). 총 유역면적은 149.60 km<sup>2</sup> 이고, 본류의 유로연장은 28.32 km 이며, 본 유역의 남동쪽에는 담양호, 남서쪽에는 장성호, 북동쪽에는 옥정호, 북서쪽에는 내장 저수지가 위치하고 있다.

### 2. 수문 및 수질조사

#### 가. 수위관측 및 유량측정

대상 하천유역의 수위 및 유량 측정을 위하여 추령천 유역의 하류부인 삼장교 지점에 수위표와 WL-14 수위데이터로거(Global Water Co., USA)를 각 1조씩 설치하여 30분 간격으로 수위를 측정하였다. 유량측정은 수위계 설치지점에서 유속계(BMF002, Valeport, UK)로 유속을 측정하고 평균 단면법을 이용하여 유량을 산정하였다. 수문 모니터링은 1999년 5월부터 2002년 9월까지 3년 5개월 동안 실시하였다.

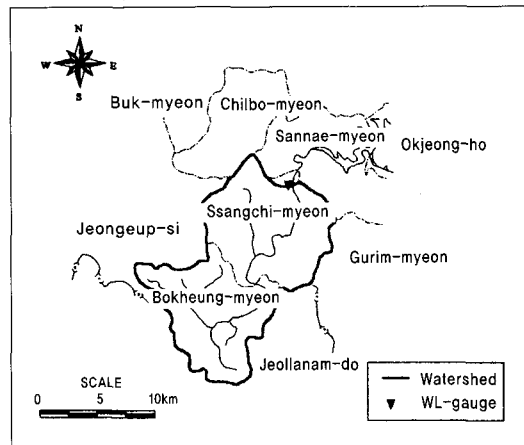


Fig. 1. Location map of study area

나. 수질시료 채취 및 분석방법

수질분석은 조사기간인 1999년 5월부터 2002년 9월까지 삼장교 하천지점에서 매월 12 회씩 주기적으로 수질시료를 채취하여 분석하였다. 수질시료는 하천수를 2L를 폴리에틸렌 용기에 채수하여 분석시료로 사용하였으며, 시료보관 및 분석방법은 환경처의 수질오염공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 주요 조사 및 분석항목은 현장 수질측정 항목인 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC)와 이화학적 수질항목인 T-N, T-P 등이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 강수량과 유출량

를 기록하였다.

측정지점의 수위-유량관계로부터 변환된 유량자료를 이용하여 각 지점의 연간 유출량을 산정하였으며 그 값은 Table 1과 같다. 1999년, 2000년, 2001년 및 2002년의 연간 유출량은 각각 585 mm, 828 mm, 342 mm, 및 475 mm로 나타났으며, 연간 유출율은 26.6~58.8%로 2000년을 제외하고는 우리나라의 주요 하천의 평균 유출율인 50~58% 보다 작은 수치를 나타내었다. 그 중에서 일반적으로 영농기간인 5월에서 9월까지의 유출량은 448 mm, 639 mm, 192 mm 및 366 mm 이었으며, 이는 연간 총 유출량의 66.1~77.2%가 강우가 많은 여름철에 유출된 것으로 나타났다. Fig. 2는 1999년에서 2002년까지의 일별 유출량과 강수량을 나타낸 것이다.

Table 1. Observed yearly runoff and runoff ratio (1999~2002)

Year	Rainfall (mm)	Yearly runoff		Irrigation period (May~Sept)		Non-irrigation period (Oct.~April)	
		Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)
1999	1,341	585	43.6	448	48.0	137	33.7
2000	1,408	828	58.8	639	56.6	189	67.6
2001	1,181	315	26.6	192	24.8	122	30.0
2002	1,228	489	39.8	366	42.6	124	51.7

조사기간중의 강수량 자료는 쌍치면의 측정자료를 이용하였다. 조사기간 동안 연강수량은 1999년 1,341 mm, 2000년 1,408 mm, 2001년 1,181 mm 및 2002년 9월까지 1,228 mm로서 2001년을 제외하고는 우리나라 년평균 강수량 1,274 mm 보다 약간 많은 편이었다. 월별로는 1999년 9월, 2000년 8월, 2001년 7월 및 2002년 8월에 각각 279 mm, 396 mm, 280 mm 및 582 mm로 월 최대값을 나타내었다. 또한, 일 최대 강우량은 1999년 9월 23일의 102 mm, 2000년 8월 25일 102 mm, 2001년 6월 24일 119 mm 및 2002년 8월 31일의 181 mm

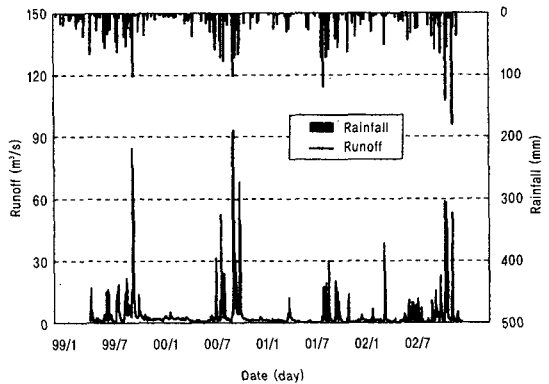


Fig. 2. Daily rainfall and runoff (1999~2002)

2. 총질소와 총인의 수질변화

추령천 삼장교 지점에서의 총질소 (T-N)의 함량은 1999년에 1.28~3.52 mg/L의 범위로 평균 2.75 mg/L 을 나타내었고, 2000년에는 0.89~3.43 mg/L의 범위로 평균 2.12 mg/L을 나타내었다. 2001년에는 1.26~4.51 mg/L의 범위로 평균 2.69 mg/L을 나타내었으며, 2002년에는 2.54~5.19 mg/L의 범위로 평균 4.01 mg/L을 나타내었다. Fig. 3은 시기별 총질소의 변화를 도시한 그림이다. 전체 조사기간인 1999년에서 2002년 동안에는 0.89~5.19 mg/L의 범위로 평균 2.92 mg/L을 나타내고 있어 저수지 수질에 영향을 미칠 것으로 보여진다. 전반적으로 시기별로는 5월 7월에 총질소의 함량이 다른 시기에 비해 조금 높게 나타났다가 점차 줄어드는 경향을 나타내고 있는데 이는 농경지에 시비된 화학비료가 잦은 강우-유출과정을 통하여 하천수질에 일부 영향을 미쳤기 때문인 것으로 추정된다. 2001년 9월부터 2002년에 걸쳐 총질소의 함량이 약간 증가하는 추세를 보이고 있는데, 이는 2001년 9월부터 시작하여 비영농기 동안 지속되고 있는 하천 정비사업과 이를 위한 준설 작업 등에서 야기되는 영향으로 추정된다.

인은 수질악화의 원인이 되며 부영양화를 일으키고 식물성 플랑크톤의 과다발생을 일으켜 이취미와 수색변동을 일으키는 영양염류중의 하나이며, Fig. 4는 삼장교 지점의 총인의 변화를

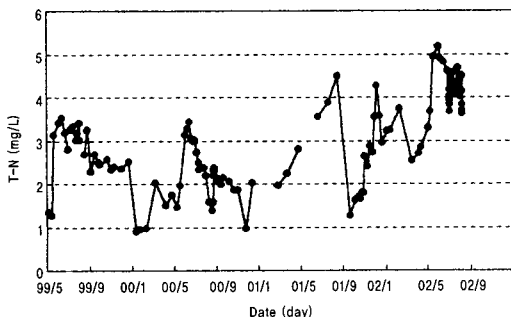


Fig. 3. Variation of T-N (1999~2002)

나타낸 것이다. 총인의 함량변화를 보면 1999년에 0.0012~0.0056 mg/L 의 범위로 평균 0.0029 mg/L 를 나타내었으며, 2000년에는 0.0011~0.0093 mg/L 의 범위로 평균 0.0043 mg/L 를 나타내었으며, 2001년에는 0.0004~0.0204 mg/L 의 범위로 평균 0.0082 mg/L 를 나타내었다. 또한, 2002년에는 0.0004~0.0308 mg/L 의 범위로 평균 0.0308 mg/L 를 나타내었다. 한편, 1999년에서 2002년 동안에는 0.0004~0.0308 mg/L 의 범위로 평균 0.0078 mg/L 를 나타내었다. 2001년 9월과 10월, 2002년 5월 이후에 총인의 함량이 불규칙하면서 증가하는 경향을 보여주고 있는데 이는 총질소와 마찬가지로 2001년 9월부터 시작하여 비영농기 동안 지속되고 있는 하천 정비사업과 이에 따른 하천 준설작업 등으로 하천에 침전되어 있었던 오염물질들이 유출되어 수질에 영향을 미친 것으로 추정되며 전체 조사 기간 동안에 0.04 mg/L 이하를 유지하였다.

3. 총질소 및 총인의 영양염류 부하량

가. 오염원 현황

유역내 오염원 현황은 2001년도의 순창군 통계연보 자료를 기본으로 이용하였다. 유역내 총인구는 5,913명으로 전형적인 농촌지역으로 대부분이 농업에 종사하고 있는 것으로 나타났다.

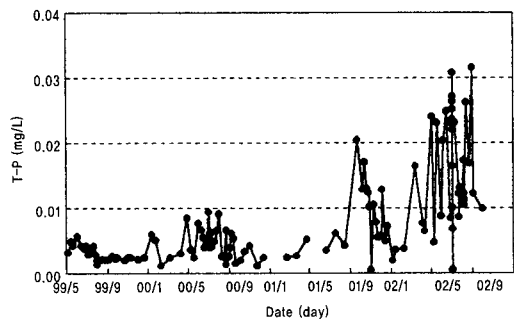


Fig. 4. Variation of T-P (1999~2002)

Table 2. Unit generation of pollutant mass with respect to sources

Class	Constituent	T-N	T-P
Population (g/person · day)	City	7.75	1.63
	Rural	7.75	1.63
Livestock (g/head · day)	Korean cow	108.2	12.1
	Milk cow	310.1	15.8
	Pig	30.7	13.6
	Poultry	4.8	0.2
Landuse (kg/km <sup>2</sup> · day)	Paddy	2.33	0.17
	Upland	2.33	0.17
	Forest	0.55	0.013
	Ground	0.759	0.027
	Others	0.759	0.027

Table 3. Generation of T-N and T-P by unit generation of pollutant mass

Calss	Pollutant loadings (kg/yr)	
	T-N	T-P
Population	16,726	3,518
Livestock	132,279	18,251
Landuse	49,251	2,357
Total	198,256	24,126

유역의 토지이용별 면적을 보면 총 면적 149.60 km<sup>2</sup> 중 논이 1,816 ha 로 12.1%, 밭이 774 ha 로 5.2%, 임야가 12,015 ha 로 80.3%, 기타가 약 2.4%를 차지하고 있다. 또한, 유역내의 축산 현황을 보면 한우 2,460 마리, 돼지 1,317 마리, 닭 11,626 마리의 가축이 사육되고 있는 것으로 조사되었다.

나. 발생 오염부하량

인구, 가축 및 토지이용에 대한 원단위는 기상, 지형 등과 조사자에 따라 약간씩 차이가 있으며 본 연구에서는 일반적으로 많이 적용되고 있는 원단위 자료를 사용하여 발생부하량을 산정하였으며 적용한 원단위는 Table 2와 같다. 여기서, 인구에 의한 원단위는 수질보전 장기종합계획보고서(환경처, 1994)를, 토지이용에 대한 오염원단위는 한국환경과학연구협의회(1991)의 영

양염류 원단위를, 가축사육에 대한 오염원단위는 장정렬(1994)이 제시한 자료를 적용하였다.

추령천 유역에서 원단위법으로 계산된 T-N과 T-P의 발생 부하량은 각각 198,256 kg/yr과 24,126 kg/yr로 나타났다 <Table 3>. T-N의 경우 총부하량 중에서 축산계가 66.7%, 토지이용이 24.8%, 생활계가 8.4%를 차지하였으며, T-P의 경우에는 총 부하량 중 축산계가 75.6%, 생활계가 14.6%, 토지이용이 9.8%를 차지하였다.

다. 유출 오염부하량

추령천 유역에서의 유출 오염부하량은 수질측정 지점의 수질분석에서 얻어진 T-N 및 T-P의 수질농도에 일별 유량을 곱하여 계산하였고, 이를 연별로 합하여 추령천 유역에서의 유출 오염부하량으로 산정하였다. Table 4는 산정된 유출 오염부하량을 1999년에서 2002년까지 영농기간과 비영농기간으로 구분하여 정리한 것이다. 조사기간인 1999년에서 2002년까지 유출 오염부하량은 T-N의 경우에 1999년에는 236,343 kg/yr, 2000년 255,324 kg/yr, 2001년 151,089 kg/yr, 및 2002년 275,801 kg/yr으로 나타났으며, T-P의 경우에 1999년 225 kg/yr, 2000년 465 kg/yr, 2001년에는 224 kg/yr, 및 2002년에 666 kg/yr로 나타났다. 따라서 추령천 유역의 단위면적당 연평균 유출

Table 4. Yearly discharge of T-N and T-P (unit : kg/yr)

Year	Yearly runoff		Irrigation period (May~Sept)		Non-irrigation period (Oct.~April)	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
1999	236,343	225	186,587	179	49,756	47
2000	255,324	465	212,993	381	42,330	85
2001	151,089	224	108,016	130	43,073	93
2002	275,801	666	219,471	556	56,330	110
Mean	229,639	395	181,767	312	47,872	84

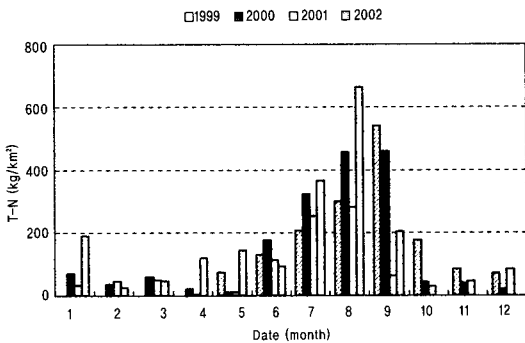


Fig. 5. Monthly discharge of T-N

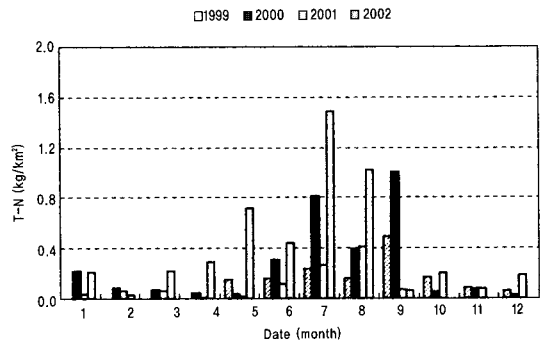


Fig. 6. Monthly discharge of T-P

부하량은 총질소의 경우 16.4 kg/ha, 총인의 경우에는 0.028 kg/ha 로 산정되었다. 연도별 총 유출부하량에 대한 영농기간의 유출부하량의 비율을 살펴보면 Table 4에서 보는 바와 같이 T-N이 71.5%~81.3%, T-P가 58.4%~83.3%로 대부분의 부하량은 영농기와 강우가 집중되는 시기인 5월에서 9월 사이에 유출되는 것으로 나타났다으며, Fig. 5와 Fig. 6은 단위 면적당 월별 유출 부하량을 나타낸 것이다.

한편, 추령천 유역의 원단위 오염부하량과 하천에서의 수질분석 자료에 따른 유출 오염부하량을 비교한 결과 T-N이 전체 원단위 오염부하량의 76.2~134.9%가, T-P의 경우에는 0.9~2.8%가 발생된 것으로 나타났다. T-N의 경우 하천에서의 유출 오염부하량이 원단위법에 의한 발생부하량보다 크게 나타났는데, 이는 유역에서의 유출 부하량이 강수량과 유출량에 따라 크게 달라지는 반면 원단위법에 적용된 비점오염

원의 평가가 광범위하게 이루어지지 않았기 때문이라고 사료된다. 예를 들면, 논외의 경우 적용된 발생부하 원단위는 T-N 8.5 kg/ha/yr 와 T-P 0.62 kg/ha/yr 인데 비해 오승영 등(2002)은 관개기 대구획 광역논에서의 원단위 평균값을 T-N 18.2 kg/ha 와 T-P 0.31 kg/ha로 산정하였으며, 최진규 등(2001)은 양수장 지구 광역논으로부터 영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질 유출량은 T-N 54.7~57.8 kg/ha, T-P 1.96~2.33 kg/ha로 나타내었으며, 또한 조재영(1999)은 필지논에서 영농기간 동안에 T-N 149.44 kg/ha, T-P 4.98 kg/ha로 나타났다고 보고하였다. 따라서 Table 3에서 나타난 바와 같이 본 유역의 토지이용에서 차지하는 논외의 면적에 본 연구에 적용된 한국환경과학연구협의회(KORCES)의 원단위와 다른 오승영 등(2002)의 값을 적용하여 발생부하량을 산정하면 T-N 33,048 kg/ha, T-P 581

kg/ha 이었으며, 최진규 등(2001)의 평균값을 적용하면 T-N 102,230 kg/ha, T-P 2,361 kg/ha를 나타내었다. 이와 같이 적용하는 원단위가 다를 경우 적용하는 원단위에 따라서 토지이용에 따른 발생부하량이 많은 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 원단위의 적용은 국가 정책상 개략적인 오염물질량의 산정 등 제한적으로 사용되어야 하며 유역의 특성이 반영되는 모니터링 연구에서는 적용하는 데 세심한 주의가 필요하다.

#### IV. 요약 및 결론

섬진강 수계 추령천 유역에서 1999년 5월부터 2002년 9월까지 3년 5개월 동안 수문 모니터링을 실시하여 유출량을 산정하였으며, 유량측정과 수질분석을 실시하여 하천 유출 오염부하량을 계산하였으며, 원단위법에 의한 발생 부하량과 비교하였다.

1. 섬진강 수계 추령천 유역에서 1999년에서 2002년까지 3년 5개월 동안 수문모니터링을 실시하였으며, 측정지점에서의 유출률은 26.6~58.8%를 나타내었다.

2. 조사기간 동안 추령천 유역에서 원단위법으로 계산된 발생 부하량은 T-N 과 T-P 의 총 부하량이 각각 198,256 kg/yr 과 T-P 24,126 kg/yr로 나타났다. T-N 총 부하량 중에서 축산계가 66.7%, 비점오염원이 24.8%, 생활계가 8.4%를 차지하였으며, T-P 총 부하량 중에서 축산계가 75.6%, 생활계가 14.6%, 비점오염원이 9.8%를 차지하였다. 또한, 추령천 유역에서의 유출 오염부하량은 1999년부터 2002년 9월까지 연도별로 T-N은 236,343 kg/yr, 255,324 kg/yr, 151,089 kg/yr, 및 275,801 kg/yr으로 나타났으며, T-P의 경우에는 225 kg/yr, 465 kg/yr, 224 kg/yr, 및 666 kg/yr로 나타났다.

3. 추령천 유역의 원단위 오염부하량과 하천에서의 수질분석자료에 따른 유출 오염부하량을

비교하면 T-N이 전체 원단위 오염부하량의 76.2~134.9%가, T-P의 경우에는 0.9~2.8%가 발생된 것으로 나타났다. T-N의 경우 유출 오염부하량이 원단위법에 의한 발생부하량보다 크게 나타났는데, 이는 원단위법에서 토지이용에 적용하는 원단위에 따라 많은 차이가 있기 때문이며 모니터링 유역의 적용에는 세심한 주의가 요구된다.

#### 참고문헌

1. 김계현, 1998, GIS를 활용한 수질오염관리, 한국수자원학회지, 31(1), pp. 49-57.
2. 김상민, 박승우, 강문성, 1999, 농업유역의 수문/수질 특성 조사분석, '99 한국농촌계획학회 추계학술발표회 논문집.
3. 박승우, 류순호, 강문성, 1997, 소유역의 토지이용에 따른 비점원오염 부하량, 한국농공학회지, 39(3), pp. 115-127.
4. 박승우, 윤광식, 임상준, 강문성, 1996, 농업유역의 생태환경 모니터링 연구, 한국농촌계획학회지, 2(2), pp. 91-102.
5. 신상철 외 14인, 1999, 섬진강 본류 및 주요하천의 오염실태와 관리방안에 관한 연구, 국립환경연구원보, 21, pp. 403-418
6. 오승영, 김진수, 김규성, 김선중, 윤춘경, 2002, 관개기 대구회 광역논에서의 오염부하 원단위, 한국농공학회지, 44(2), pp. 136-147
7. 이길성, 이범희, 1998, 환경관리를 위한 전문가 시스템의 개발, 한국수자원학회지, 31(5), pp. 73-86.
8. 이종태, 1998, 도시유역에서의 유출 및 수질해석 모형, 한국수자원학회논문집, 31(6), pp. 709-725.
9. 장정렬, 1994, 농촌유역 수질관리모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
10. 정하우, 최진용, 김대식, 박기욱, 배승중, 1996, 농촌마을 하천의 수질관리 시스템, 한국농촌계획학회지, 2(2), pp. 109-117.
11. 조재영, 1999, 논에서 영양물질의 수지와 유출 부하량, 전북대학교 대학원 박사학위논문.
12. 조홍연, 1999, 수질예측모형의 입력자료 산정

- 방법, 한국수자원학회지, 32(1), pp. 84-91.
13. 최중대, 이찬만, 최예환, 1999, 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, 한국수자원학회논문집, 32(4), pp. 501-510.
  14. 최지용, 박원규, 이상일, 1996, 하천 및 호소수 수질관리를 위한 자동측정망의 설계, 한국수자원학회지, 29(2), pp. 167-178.
  15. 최진규, 구자용, 손재권, 조재영, 윤광식, 한국헌, 2001, 양수장지구 구획논 물수지와 영양염류 유출부하, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 394-398.
  16. 한건연, 1999, 하천수질 모델링의 이론과 적용, 한국수자원학회지, 32(1), pp. 22-31.
  17. 한국환경과학연구협의회, 1991, 영양염류 원단위 산정에 관한 연구.
  18. 환경처, 1993, 수질오염공정시험법.
  19. 환경처, 1994, 수질보전 장기 종합계획 보고서.