

## 영농기 농촌 소유역의 비점오염물질 유출 특성

김진호\* · 이종식 · 류종수 · 이경도 · 정구복 · 김원일 · 이정택 · 권순국<sup>1)</sup>

농업과학기술원 환경생태과, <sup>1)</sup>서울대학교 지역시스템공학과  
(2005년 4월 20일 접수, 2005년 6월 8일 수리)

### Characteristics of Non-point Pollutants Discharge in a Small Agricultural Watershed during Farming Season

Jin-Ho Kim\*, Jong-Sik Lee, Jong-Su Ryu, Kyung-Do Lee, Goo-Bok Jung, Won-Il Kim, Jeong-Taek Lee, and Soon-Kuk Kwun (Div. of Environment & Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

**ABSTRACT:** This study was conducted to identify the characteristics of non-point pollutants discharge in a small agricultural watershed during farming season. For this purpose, the Neoungchon watershed in Goesangun was selected as a typical agricultural area. Runoff and water quality data in the stream, the domestic sewage and the precipitation of the watershed were analyzed periodically from June 1 to November 6 in 2004 and pollutant loads were estimated. As a result, the mean concentrations of BOD, SS, TN and TP in the stream were 3.0, 76.7, 8.7, 0.16 mg/L in rainy season and 2.4, 10.0, 3.5, 0.11 mg/L in dry season respectively. Daily discharge of non-point pollutants occurred above of 95% in rainy period. Measured pollutant loads in the watershed were 26.63 kg/km<sup>2</sup>/day of T-N and 0.62 kg/km<sup>2</sup>/day of T-P, within the range of other research results. Effluent loads based on guideline of total pollutant to stream management of MOE (Ministry of Environment) were less than delivery loads since the guideline could not reflect the agricultural practices, geomorphic and meteorological characteristics in an agricultural watershed.

**Key Words:** non-point pollutants, agricultural watershed, pollutant loads

### 서 론

최근 우리나라의 농업 생산 방식은 비료와 농약 등의 농자재를 경작지에 과다하게 투입하여 농업생산성의 증대만을 추구하던 것에서 안정적인 식량 공급과 함께 자연과 공존할 수 있는 지속가능한 농업을 추구하는 것으로 그 경향이 바뀌어 가고 있다<sup>1,2)</sup>. 이로 인해 농촌 유역에 포함된 소하천의 수질 오염에 대한 관심이 증대되고 있으며, 소하천 수질의 악화 원인을 규명하고 오염 부하를 저감하기 위한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

일반적으로 농촌 유역에 분포해 있는 오염원은 하수종말처리장이나 분뇨처리장처럼 오염발생원이 점의 형태로 존재하면서 그 배출위치를 정확히 파악할 수 있는 점오염원과 달리 농경지, 산림, 습지 등의 넓은 지역에서 면적

(面的)으로 분포하여 오염 물질의 유출구가 제한되어 있지 않고 광범위한 지역에 걸쳐 있기 때문에 집중 처리에 의한 관리가 현실적으로 불가능한 비점오염원이 대부분을 차지하고 있다<sup>3)</sup>.

농촌 유역의 비점오염원으로부터 발생하는 비점오염 물질들은 주로 강우에 의해 하천으로 유입되는 특징을 가지며, 지표수에 용해되거나 토양과 함께 유실되어 하천과 호소의 주요 오염원으로 작용하고 있는 것으로 알려져 있으나 비점오염 저감대책 수립을 위한 비점오염 물질의 발생과 유출 및 하천 내 이동에 대한 조직적이고 정량적인 연구는 부족한 실정이다<sup>4,7)</sup>.

따라서 본 연구는 전형적인 소규모 농촌유역을 선정하여 유역 내 소하천의 수질과 유량 자료를 수집·분석하고, 오염부하를 산정하여 그 결과를 고찰함으로써 농촌유역에서 발생하는 비점오염물질의 유출 특성을 파악하기 위하여 수행 되었다.

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0221 Fax: +82-31-290-0206  
E-mail: water@rda.go.kr

### 재료 및 방법

#### 조사 지역

본 연구의 대상지역은 행정구역상으로 소규모 농촌 유역인 충청북도 괴산군 괴산읍 능촌리를 연구대상지로 선정하였다. 이 지역은 전형적인 우리나라 소규모 농촌지역으로서 능촌 1리와 능촌 2리의 2개 행정리로 구성되어 있으며, 산으로 둘러싸여 있는 폐쇄적인 지형으로 리의 경계와 유역의 경계가 거의 일치하고 있다. 능촌리 유역의 총 유역면적은 538.5 ha이었으며, 이중 산림은 63.8%인 343.5 ha, 논과 밭의 면적은 각각 78.3 ha와 81.1 ha로 유역 면적에서 14.5%와 15.1%를 차지하였다(Fig. 1). 인구는 능촌 1, 2리를 통틀어 238명이 거주하고 있었으며, 가축의 사육두수는 능촌 1리에서 소가 19두, 닭이 2000수, 사슴 8두, 염소 15두였고, 능촌 2리에서 소가 23두, 염소가 39두로 조사되었는데(Table 2) 가축에서 발생하는 분뇨의 경우 퇴비화 하여 처리하고 있었다.

수질 시료 채취 지점은 하천본류 유역의 유출이 시작되는 Site 1, 능촌 2리의 생활하수가 하천으로 유입하는 Site 2,

능촌 2리와 능촌 1리의 경계 지점인 Site 3, 능촌 1리의 본류와 여러 지천이 만나는 Site 4, 능촌 1리의 생활하수가 하천으로 유입하는 Site 5, 달천으로 유입되는 유역의 출구 지점인 Site 6으로 선정하였다. 하천본류와 생활하수 유입하천의 수질 변화를 동시에 파악하기 위하여 Site 1, 3, 4, 6 지점(하천본류)과 Site 2, 5 지점(능촌2리와 능촌1리의 생활하수 유입하천)을 나누어 측정된 수질 자료를 정리하였다.

#### 조사 시기 및 분석방법

본 연구의 수질 시료 채취는 영농활동이 활발하여 유역에 비점오염원의 배출이 많을 것으로 예상되는 2004년 6월 초순에서 영농활동이 종료된 11월 초순까지 2주 간격으로 채취하였다. 강우를 통해서 유역에 유입되는 강우의 구성성분을 파악하기 위하여 괴산군 농업기술센터에 설치된 강우채취기로 7월 4일부터 8월 14일까지 총 11회의 강우를 수집하여 분석하였다.

채취된 시료는 폴리에틸렌 2 L 용기에 담아 즉시 실험실로 옮겨 각 항목을 수질오염공정시험방법에 따라 분석을 수행하였다<sup>8)</sup>. 시료의 pH, DO(YSI-model 58)는 현장에서 바로 측정하였고, 시료 보존을 위해 공정시험방법에 따라 산으로 시료의 pH를 2로 조정하여 4°C 이하에서 냉장 보관하였다. EC는 전기전도도법, SS는 여과법, BOD는 DO meter(YSI-5000)법에 따라 분석하였으며, 총질소와 총인은 각각 자외선흡광광도법과 아스코르빈산환원법을 이용하여 분석하였다.

소하천의 유량을 산출하기 위하여 시료 채취시 하천의 폭과 수심을 측정 후 하상 단면에 대하여 유속계(Flow Tracker, SonTek)로 유속을 측정하여 유량을 계산하였으며, 강우량 자료는 괴산군 농업기술센터의 자동기상관측장비(AWS-2000)를 이용하여 측정하였다.

벼농사 및 밭작물의 재배가 주로 이루어지는 영농기에는 강우량의 차이로 인한 하천 유출량의 차이가 큼에 따라 강우가 집중되었던 기간을 강우기(Rainy season)로 정하고 그 이외 조사 기간을 평상시(Dry seasons)로 나누어 수질 측정 자료를 정리하였다. 강우기의 경우 조사 시작 후 SCS의 유출곡선지수법에서 AMC II 조건하에 유역의 평균 CN 값을 78로 볼 때 이론적으로 유출이 생기는 14.3 mm<sup>9,10)</sup> 이상의 강우가 처음으로 내렸

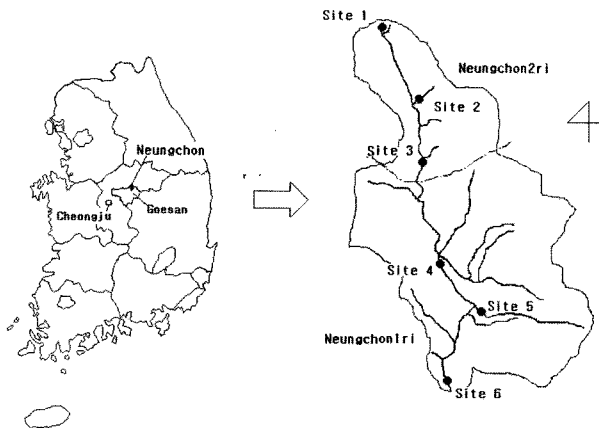


Fig. 1. Layout of the Neungchon watershed and the locations of the sampling sites.

Table 1. The land use of the Neungchon watershed

Site	Paddy	Upland	Forest	Others	Total
Neungchon1ri	46.5 (14.5%)	44.6 (13.9%)	204.9 (64.2%)	23.8 (7.4%)	319.8 (100%)
Neungchon2ri	31.7 (14.5%)	36.5 (16.7%)	138.6 (63.4%)	11.9 (5.4%)	218.7 (100%)
Total	78.2 (14.5%)	81.1 (15.1%)	343.5 (63.8%)	35.7 (6.6%)	538.5 (100%)

(unit : ha)

Table 2. Status of the population and the livestock in the Neungchon watershed

Site	Population	Korean Cattle	Poultry	Deer	Goat
Neungchon1ri	156	19	2,000	8	15
Neungchon2ri	82	23	-	-	39
Total	238	42	2,000	8	54

던 6월 17일부터 7일 연속 누계 155.7 mm의 강우가 내린 이후 연속적인 큰 강우가 없었던 8월 20일까지 65일간으로 하여 이 기간 동안에 측정된 자료를 강우기의 자료로 정리하였다.

오염물질의 부하량은 해당 오염원으로부터 발생하는 총 오염물질의 양인 발생부하량(Raw loads), 발생된 오염 물질 중에서 강우 등의 영향으로 실제 유역 내 하천으로 유입되는 배출부하량(Effluent loads)과 유역의 특성 및 하천의 자정 작용 등의 영향을 거친 후 유역의 말단까지 도달하는 유달부하량(Delivery loads)으로 나눌 수 있다<sup>11)</sup>. 유역 내 오염부하의 분포 및 기여도를 추정하기 위하여 환경부 고시 제 1999-143 호의 오염총량 관리 계획 수립지침에<sup>12)</sup> 준하여 발생부하량과 배출부하량을 계산하였으며, 본 연구 결과와 비교하여 유달부하량과 배출부하량의 비인 유달율을 구하였다.

### 결과 및 고찰

#### 소하천의 수질 변화

농촌리 유역 소하천의 시기별 수질 변화는 Table 3에 나타내었다. 조사기간 동안 하천본류에서 pH는 5.5~7.8의 범위로서 강우기 평균 7.1, 평상시 평균 7.5의 값을 보였으며,

생활하수 유입하천의 경우 6.7~10.2의 범위로서 강우기 평균 7.9, 평상시 평균 8.1의 값을 보여 하천보다 조금 높은 값을 보였다. 이는 생활하수 유입하천의 경우 하천 본류에 비해 유량이 적어 수위는 낮은 반면, TN과 TP의 농도가 높아 식물플랑크톤의 성장이 왕성하여 이들에 의한 광합성 작용이 활발해지면서 물속의 pH가 상승되었기 때문이라 판단된다<sup>13)</sup>. 강우의 pH범위는 4.2~7.1이었으며, 평균 5.8의 값을 보여 평형상태의 pH 5.6과 유사한 것으로 나타나 빗물의 산도로 인한 피해 가능성은 낮은 것으로 보인다.

하천본류에서 EC는 유량이 적었던 평상시가 강우기에 비해 좀 더 높은 농도를 보였으나 농작물에 피해를 줄 수 있는 1.0 dS/m<sup>14)</sup>에는 미치지 못한 것으로 나타났다. 생활하수 유입하천의 EC는 하천의 EC에 비해 0.2~0.6 dS/m 정도 높았으며, 평상시의 경우 1.0 dS/m를 넘는 값을 보이기도 했으나 하천 본류의 EC에는 큰 영향을 주지 못한 것으로 나타났다.

하천본류에서 하천 유기물의 지표인 BOD는 0.4~5.0 mg/L의 범위로서 강우기 평균 2.2 mg/L, 평상시 평균 2.3 mg/L의 값을 보여 대부분의 조사기간 동안 하천 수질환경기준 II등급에 적합한 것으로 나타났으며, 강우기와 평상시 사이의 뚜렷한 차이를 볼 수 없었다. 지점별로는 평상시의

Table 3. Variations of water quality at the Neungchon watershed

Sites	Item	Rainy season <sup>*</sup>						Dry season <sup>**</sup>						
		pH	EC (dS/m)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	pH	EC (dS/m)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	
Main Stream	Site 1	Ave.	6.7	0.16	1.6	31.7	6.3	0.12	7.3	0.23	2.1	7.7	2.4	0.06
		Min.	5.5	0.15	0.7	8.0	3.5	0.07	7.1	0.17	0.5	5.5	1.1	0.02
		Max.	7.4	0.19	2.7	76.0	13.4	0.19	7.4	0.31	3.9	10.0	3.6	0.11
	Site 3	Ave.	7.2	0.26	2.1	61.6	7.9	0.22	7.4	0.38	2.7	12.3	3.8	0.12
		Min.	6.7	0.16	0.4	7.5	2.4	0.14	7.2	0.30	0.4	5.0	3.4	0.08
		Max.	7.4	0.39	5.0	170.0	21.0	0.31	7.6	0.44	4.7	15.3	4.3	0.16
	Site 4	Ave.	7.2	0.28	2.2	71.5	7.1	0.18	7.8	0.39	2.0	12.3	3.1	0.09
		Min.	6.7	0.16	1.0	12.5	2.9	0.11	7.3	0.33	0.5	5.0	2.2	0.05
		Max.	7.6	0.45	4.8	200.0	16.5	0.28	8.2	0.46	4.3	16.5	4.0	0.16
Site 6	Ave.	7.2	0.29	3.0	76.6	8.7	0.16	7.5	0.44	2.4	10.9	3.5	0.11	
	Min.	6.8	0.15	1.8	14.0	2.9	0.09	7.3	0.35	0.5	2.5	3.3	0.10	
	Max.	7.8	0.53	4.8	250.0	20.9	0.25	7.6	0.53	4.0	15.3	3.7	0.12	
Tributary <sup>***</sup>	Site 2	Ave.	8.0	0.39	5.0	30.9	12.4	0.46	9.5	0.64	11.1	12.7	8.0	0.40
		Min.	6.7	0.22	2.4	7.5	5.6	0.32	8.8	0.50	7.7	5.0	3.5	0.14
		Max.	10.2	0.68	8.3	65.0	28.7	0.69	10.3	0.82	13.7	19.0	11.5	0.69
	Site 5	Ave.	7.8	0.49	8.7	30.1	10.7	0.73	8.1	0.87	10.4	15.1	8.5	0.85
		Min.	7.3	0.24	2.2	10.0	4.8	0.45	8.0	0.62	5.1	5.0	3.5	0.73
		Max.	8.7	0.95	20.3	100.0	27.2	1.03	8.2	1.35	15.5	23.5	13.6	0.96

\* Rainy season : 2004/6/15~8/15

\*\* Dry season : 2004/6/1~6/14, 2004/8/16~11/6

\*\*\* Polluted from domestic sewage

경우 능촌 2리의 생활하수가 유입하는 지점과 가까운 Site 3 지점이 여러 지천이 유입하는 Site 4 지점 보다 더 높은 농도를 보였다. Site 4 지점에서 BOD의 농도가 Site 3 지점에 비해 낮은 것은 능촌 2리의 생활하수에 의한 영향보다는 Fig. 1에서 보는 것처럼 Site 4 지점에 이르는 동안 여러 지천에서 하천의 유량의 증가가 본류의 수질에 상대적으로 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 강우기의 경우에도 Site 1에서 Site 6 지점으로 갈수록 농도가 점차 증가하는 경향을 보였으나 Site 3 지점과 Site 4 사이에는 큰 차이를 보이지 않은 것도 이와 같은 이유인 것으로 생각된다. 생활하수 유입하천의 경우 Site 2 지점에서 강우기 5.0 mg/L, 평상시 11.1 mg/L를 보였으며, Site 5 지점에서 강우기 8.7 mg/L, 평상시 10.4 mg/L의 값을 보여 유량이 적었던 평상시가 강우기에 비해 높은 BOD 농도를 보였다.

SS는 강우기에 7.5~250 mg/L 범위를 나타내었으며 하천 본류에 위치한 Site 1, Site 3, Site 4, Site 6 지점별로 각각 평균 31.7, 61.6, 71.5, 76.6 mg/L로 나타나 2.5~16.5 mg/L의 농도를 보인 평상시에 비해 높은 농도를 보였다. SS는 산림 및 경작지에서 강우에 의한 지표면 유출로 유역으로 배출되어 하천, 호소 등에 침전되면서 하천의 흐름을 방해할 뿐 아니라 유출시 토양에 흡착된 인 등을 함께 이동시켜 부영양화를 촉진시키는 비점오염물질의 하나로써<sup>3)</sup>, 본 연구의 결과 유역 말단인 Site 6의 경우 평균 76.6 mg/L로 고농도의 SS가 하천 유량의 증가와 함께 유출되고 있어, 한강수계에 큰 영향을 미칠 것으로 보이며, 이를 저감할 수 있는 최적관리기법의 적용이 필요할 것으로 생각된다.

하천본류에서의 T-N 농도는 강우기에 2.4~21.0 mg/L의 범위로 평균 7.1 mg/L이며, 평상시에 1.1~4.3 mg/L의 범위로 평균 3.2 mg/L로 강우기에 더 높았는데, 이는 영농활동에 따라 경작지에 사용된 비료 성분이 강우로 인한 지표 유출로 소하천에 유입되었기 때문이라 생각된다. 강수 중 T-N의 농도는 0.47~1.19 mg/L의 범위로 평균 0.82 mg/L의 값을 보였으며, 생활하수 유입하천에 포함된 T-N의 농도는 하천수에 비해 높은 경향을 보였으나, 능촌 1리와 능촌 2리 사이의 생활하수 유입하천에서는 T-N 농도가 강우시 평균 12.4 mg/L와 10.7 mg/L로 나타나 차이가 크지 않았던 것으로 조사되었다. 지점별로는 하류로 갈수록 T-N의 농도가 점차 증가하는 경향을 보였으나, BOD의 경우처럼 Site 3 지

점의 농도가 하류에 위치한 Site 4 지점보다 높은 것으로 나타났다. 호소에서 농업용수로 적합한 T-N의 수질기준농도가 1 mg/L 이하임을 감안하면 강우기의 높은 T-N의 농도는 호소 등의 수질에 영향을 줄 수 있을 것이라 판단된다.

T-P 농도는 하천본류의 경우 강우기에 0.07~0.31 mg/L의 범위에서 평균 0.22 mg/L, 평상시에 0.02~0.16 mg/L의 범위에서 평균 0.1 mg/L로 나타나 강우기의 농도가 더 높았는데 이 또한 T-N의 경우처럼 사용된 비료 성분이 강우기에 집중적으로 유출되어 발생한 결과로 판단된다. 강수의 T-P의 농도는 0.005~0.14 mg/L의 범위에서 평균 0.05 mg/L의 값을 보였으며, 생활하수 유입하천의 경우 강우기 0.32~1.03 mg/L의 범위에서 평균 0.7 mg/L, 평상시 0.14~0.96 mg/L의 범위에서 평균 0.63 mg/L의 값을 보여 시기별 농도상의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 지점별로는 인구가 더 많은 능촌 1리에서 배출되는 생활하수 유입하천의 T-P 농도가 능촌 2리에서 배출되는 농도보다 큰 것으로 나타났다. 능촌 유역의 T-P 농도에 대한 기존의 연구 결과 반월저수지 유역의 농업지대에서 T-P 농도는 0.02~1.82 mg/L의 범위를 나타내었고<sup>4)</sup>, 북한강 울문천 소유역의 경우 불검출~2.2 mg/L의 범위를 보였으며<sup>5)</sup>, 임고천 상류 소규모 농업유역의 경우 불검출~0.21 mg/L의 보였는데<sup>6)</sup>, 본 연구의 결과도 기존 조사된 타 지역 연구 결과와 유사한 값을 보였다.

#### 오염물질 부하량

유역 말단 지점에서(Site 6) 실측한 오염물질의 농도에 하천 유량을 곱하여 산정한 유달 부하량은 Table 4와 같았다. 강우기에 유역 말단의 오염물질 부하량은 평상시 보다 BOD의 경우 28배, SS는 160배, TN는 57배, TP는 33배 높은 것으로 나타났다. 또한 영농기 오염물질의 대부분은 강우가 집중되는 2개월 이내에 유역에서 95% 이상 배출되는 것으로 나타났다. 이는 능촌유역에서의 비점오염 물질의 배출이 여름철의 짧은 장마기간 동안 일시에 일어난다는 기존의 연구결과와<sup>2)</sup> 일치한다. 그러므로 능촌 소유역에서 발생하는 오염물질의 부하를 줄이기 위해서는 영농환경의 변화에 따라 다양한 저감 대책이 수립되어야 하겠지만, 영농활동에 있어서 시비 등으로 인한 오염물질의 유입이 많으며, 유역 내 유량의 유출이 큰 강우기 동안 오염 부하를 줄일 수 있는 합리적인 관리

Table 4. Measured pollutant loads of the Neungchon watershed

Item	Rainy season			Dry season		
	Mean conc. (mg/L)	Discharge (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day)	Pollutant mass (kg/day)	Mean conc. (mg/L)	Discharge (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day)	Pollutant mass (kg/day)
BOD	3.0		176.85	2.4		6.22
SS	76.6		4,515.57	10.9		28.23
T-N	8.7	58.95	512.87	3.5	2.59	9.07
T-P	0.16		9.43	0.11		0.28

대책이 집중적으로 시행되어야 할 것으로 판단된다.

강우기와 평상시를 아울러 전 연구기간 동안 유역 말단의 오염물질 부하량을 구하기 위하여 강우기와 평상시의 농도와 유량을 평균한 후 계산한 결과 BOD는 66.64 kg/day, SS는 968.81 kg/day, T-N는 143.53 kg/day, T-P는 3.33 kg/day의 값을 보였다.

본 연구의 결과를 호소 및 하천의 부영영화 현상의 원인이 되고 있는 영양염류 T-N, T-P의 농도를 기초로 다른 연구 결과들과 비교하여 Table 5에 정리하였다. 박 등<sup>4)</sup>은 경기도 안산시에 위치한 반월저수지의 상류 유역의 소유역을 대상으로 토지이용에 따른 비점원오염 부하량을 조사한 바 있는데, 본 연구에서는 농업 소유역으로 분류할 수 있는 WS #1과 WS #3 지역의 결과를 인용하였다. 정 등<sup>12)</sup>은 강원도 춘천시 인근의 북한강 율문천 소유역을 대상으로 농업활동에 따른 N, P 부하량을 산정하였기에 본 연구결과의 비교 자료로 함께 제시하였다. 그 결과 영농기 동안의 본 연구대상 유역의 말단에서 유출되는 오염 부하는 T-N 26.63 kg/km<sup>2</sup>/day와 0.62 kg/km<sup>2</sup>/day로 나타나 T-N 2.44~32.96 kg/km<sup>2</sup>/day, T-P의 경우 0.32~3.92 kg/km<sup>2</sup>/day의 범위를 보인 기존 연구 결과의 범위 안에 있었다. 농촌 유역의 특성과 가축 및 인구 현황 등이 유역별로 각기 달라서 직접 비교하기에는 어려운 점이 있으나 생활하수 및 가축분뇨의 경우 각 유역별로 처리 및 유출 방식이 각기 달라서 인구와 가축 사육두수에 따라 오염부하가 증가하는 경향은 찾아볼 수 없었다. 또한, 본 연구 대상 지역의 경우 대부분의 축산 농가에서 퇴비화를 통한

농지환원으로 축산분뇨를 처리하였기 때문에 축산농가에 의한 수질 오염의 영향은 크지 않았던 것으로 판단된다<sup>7)</sup>.

그러나 유역에서 경작지가 차지하는 면적 비율이 증가할 수록 T-N의 유출이 커지는 경향을 보였는데, 이는 영농기의 투여된 시비의 질소 성분과 관련이 있을 것으로 생각된다.

환경부의 오염총량 관리 계획 수립지침에<sup>12)</sup> 준하여 발생부하량 및 배출부하량을 구하고, 배출부하량과 본 연구에서 실측한 유달부하량과 비교한 결과 유달율이 BOD의 경우 113%, T-N은 357%, T-P는 116%로 높게 나타나 오염총량 관리 계획 수립지침에 준하여 계산한 배출부하량에서 본 연구 결과의 유달율을 계산하기는 곤란한 것으로 나타났다(Table 6). 이러한 결과는 동진강 정읍천 유역에서 위 지침에 준하여 배출부하량을 산정한 후 실제 유달부하량과 비교한 결과 6개 유역 중 5개 유역에서의 유달율이 BOD 경우 79~142%, TN의 경우 88~213%의 범위를 보인 것과<sup>11)</sup> 유사한 것으로 오염총량 관리 계획 수립지침에 준하여 산정한 배출부하량이 실제 농촌 소유역에서 오염발생에 중요한 영향을 주는 영농활동을 제대로 반영하기에는 어려울 것으로 판단된다.

이처럼 환경부의 오염총량 관리 계획 수립지침에 따른 배출부하량이 실측한 유달부하량과 차이를 보이는 것은 농촌 소유역에서 발생하는 대부분의 비점오염 물질이 산림 및 경작지 등의 비점오염원에서 유출되는 특성상 관개기 및 강우시 오염물질의 이동 기작을 제대로 고려하지 않고 발생부하량에 천편일률적으로 0.25를 곱하여 계산함으로써 농촌 소유역의 지역적, 기상적 특성과 영농활동을 제대로 반영하지 못

Table 5. Comparison of the measured pollutant mass in the agricultural watershed catchment

Site	Area (km <sup>2</sup> )	Population	Land use area (km <sup>2</sup> )				Livestocks							Item	Measured pollutant mass (kg/km <sup>2</sup> /day)
			Paddy	Upland	Forest	Others	Korean Cattle	Dairy Cattle	Beef Cattle	Pig	Deer	Poultry	Goat		
Banweol watershed WS #1 <sup>4)</sup>	2.75	1,137	0.83	0.61	1.10	0.22	23	20	70	1,340	14	115	0	T-N	32.96
			(30%)	(22%)	(40%)	(8%)								T-P	3.92
Banweol watershed WS #3 <sup>4)</sup>	4.80	150	0.34	0.24	4.18	0.04	1	0	0	0	137	15	0	T-N	2.44
			(7%)	(5%)	(87%)	(1%)								T-P	0.42
Watershed of the Yulmunchon tributary <sup>15)</sup>	32.10	2,662	6.52	5.57	19.06	0.95	1,297	0	0	105	0	3,900	0	T-N	5.95
			(20%)	(17%)	(60%)	(3%)								T-P	0.32
This study	5.39	238	0.78	0.81	3.44	0.36	42	0	0	0	8	2,000	54	T-N	26.63
			(15%)	(15%)	(64%)	(6%)								T-P	0.62

Table 6. The raw, effluent and delivery loads of the Neungchon watershed

(unit : kg/ day)

Item	Raw				Effluent				Delivery	Ratio (%)
	Population	Livestock	Land using	Total	Population	Livestock	Land using	Total		
BOD	11.66	33.23	204.12	249.02	7.58	0.38	51.03	58.99	66.34	113
T-N	3.14	7.69	158.51	169.35	0.57	0.07	39.62	40.26	143.53	357
T-P	0.36	2.40	10.82	13.58	0.14	0.03	2.71	2.88	3.33	116

하기 때문에 판단된다. 오염원 별로 정확한 원단위를 산정하여 발생할 수 있는 오염물질의 총량인 발생부하량을 비교적 정확히 평가한다고 하여도 실제 배출부하량이 낮거나 유달부하량이 낮을 경우 유역의 수질 오염에 미칠 수 있는 영향은 적을 수 있으므로 단순히 발생부하량만을 가지고 농촌 소유역의 오염부하를 분석하고 비교하기에는 어려움이 따르며, 비점오염 물질의 저감을 위한 관리대책의 수립 및 적용에도 난항을 겪을 것으로 판단되므로 농촌 소유역에서 발생하는 비점오염의 규명과 저감을 위해서는 오염원별 정확한 발생 원단위의 산정과 함께 농촌 유역의 특성과 영농활동을 고려한 시기별 비점오염 물질의 유출 기작에 대한 연구가 앞으로 더욱 진행되어야 할 것이다.

## 요 약

괴산지역 내 소규모 농업유역을 대상으로 영농기 농촌 소유역에서 발생하는 비점오염 물질의 유출 특성을 조사하고자 소하천의 분류, 생활하수 유입하천 및 강수의 오염물질 농도와 하천 유량을 측정하여 오염부하를 계산하였다. 그 결과 영농기 동안 농촌유역 소하천 말단에서의 수질은 BOD의 경우 강우기 평균 3.0 mg/L, 평상시 평균 2.4 mg/L의 값을 보였으며, SS의 경우 강우기 평균 76.6 mg/L, 평상시 평균 10.9 mg/L을 나타냈으며, T-N과 T-P는 각각 강우기 평균 8.7, 0.16 mg/L, 평상시 3.5, 0.11 mg/L의 값을 나타내었다. 연구 기간 동안 측정된 수질 농도와 유량을 곱하여 부하로 계산한 결과 영농기에 유출되는 오염부하의 경우 95% 이상이 강우기에 유출되는 것으로 나타났으며, 연구기간 동안 유역 말단에서 측정된 오염물질의 부하량은 T-N의 경우 26.63 kg/km<sup>2</sup>/day, T-P의 경우 0.62 kg/km<sup>2</sup>/day의 값을 나타내어 기존 연구 결과의 범위 안에 있었다. 대상유역의 발생 및 배출 오염부하를 산정하기 위하여 환경부의 오염총량관리계획수립지침에 의거 계산한 배출부하량을 본 연구에서 실측한 유달부하량과 비교한 결과 유달율이 모든 수질 항목에서 100%를 넘는 것으로 나타나 영농기 농촌 소유역에 적용하여 오염부하를 평가하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 향후 농촌 유역의 특성과 영농활동을 고려한 시기별 비점오염 물질의 유출 기작에 대한 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Kwun, S. K., Kim, B. Y., Kim, J. S., Kim, T. C., Yoon, C. G., Jung, J. C. and Hong, S. G. (1998) Regional environmental engineering. Hyangmun publishers, Seoul, Korea.
2. Yang, J. E. and Lee, K. S. (2001) Agricultural environment. The Korean Society of Agriculture and Environment.
3. Kwun, S. K. (1998) Management improvement and perspective on nonpoint source of water pollution in Korea. *J. Kor. Environ. Eng.* 20(11), 1497-1510.
4. Park, S. W., Yoo, S. H. and Kang, M. S. (1997) Nonpoint source pollution loading from land uses on small watersheds. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 39(3), 115-127.
5. Shin, D. S. and Kwun, S. K. (1990) The concentration and input/output of nitrogen and phosphorus in paddy fields. *Kor. J. Environ. Agri.* 9(2), 133-141.
6. Kim, H. T. and Kwun, S. K. (1993) A study on the characteristics of water pollution in rural areas. *Kor. J. Environ. Agri.* 12(2), 129-143.
7. Hong, S. G. and Kwun, S. K. (2001) Relationship between rural watershed characteristics and stream water quality. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 43(3), 56-65.
8. Ministry of Environment (2000) The standard method of water analysis.
9. United States Soil Conservation Service (1971) Hydrology, SCS national engineering handbook section 4, USDA.
10. Jun, J. A. (2001) Pollutant loads estimation by direct runoff at a small watershed with GIS-AGNPS linked model, Master Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
11. Lee, K. B., Kim J. C., Park J. H., Lee D. B. and Kim J. G. (2004) Assessment of Pollutant loads for water enhancement in the Jeongeupcheon of Dongjin River. *Kor. J. Environ. Agri.* 23(1), 41-46.
12. Ministry of Environment (1999) Guideline of total pollutant to stream management.
13. Korea Society of Environmental Engineers (1999) Water quality management for lakes and reservoirs. Poongnam publishers, Seoul, Korea.
14. FAO. (1977) Water quality for Agriculture. FAO /UN 29 Rev. 1:174.
15. Jung, Y. S., Yang, J. E., Park, C. S., Kwon, Y. G. and Joo, Y. K. (1998) Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han river basin. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert* 31(2), 170-176.
16. Chung, J. B., Kim, M. K. and Park W. C. (1999) Nitrogen, phosphorus, and organic carbon discharge in the Imgo small agriculture watershed catchment. *Kor. J. Environ. Agri.* 18(1), 70-76.