

임고천상류 소규모 농업유역에서 하천으로의 질소, 인 및 유기물의 부하

정종배 · 김민경¹⁾ · 김복진¹⁾ · 박우철²⁾

대구대학교 자연자원대학 농화학과¹⁾ 영남대학교 자연자원대학 농학과²⁾ 경북대학교 농과대학 농화학과

Nitrogen, Phosphorus, and Organic Carbon Discharges in the Imgo Small Agricultural Watershed Catchment

Jong-Bae Chung, Min-Kyeong Kim¹⁾, Bok-Jin Kim¹⁾ and Woo-Churl Park²⁾ (Dept. of Agricultural Chemistry, Taegu University, Kyongsan 712-714, ¹⁾Dept. of Agronomy, Youngnam University, Kyongsan 712-749, ²⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Taegu 702-701

ABSTRACT : Since high concentrations of N, P, and organic C cause the excessive eutrophication in water systems, the control of nutrient export from agricultural nonpoint sources has become important. This study was conducted to estimate discharges of N, P, and organic C from a small agricultural watershed of the upper Imgo stream in Youngchun, Kyongbuk. Of the total area (1,420 ha), 25 % was agricultural land including paddy, upland and orchards and most of the remainder was forest. The resident population in the watershed was 194 in 80 households and relatively small numbers of livestock including cow were raised. Mean concentrations of nutrients in the stream water were 4.95, 0.80, 6.72, 0.07 and 2.52 mg/L for NO₃-N, NH₄-N, Total N, Total P and COD respectively. Annual discharges in 1997 were 28,991 kg of NO₃-N, 3,010 kg of NH₄-N, 37,006 kg of Total N, 590 kg of Total P, and 29,138 kg of COD. There was a strong positive relationship between stream flow and precipitation, and also most of the nutrient discharges occurred in the rainy season (May to August). Since there was no any other industries in the watershed, agricultural practices and sewage from the resident households, forest runoff, and livestock wastes were the major sources of NPS discharges. A combination of management options, including management of soil erosion and fertilizer application, could lead to reductions in nutrient exports.

Key words : Agricultural non-point source pollution, Nitrogen, Nutrient discharge, Organic matter, Phosphorus

서 론

농경지는 영양원소의 비점오염원이 되며 농업지대에서 지표수와 지하수 오염의 주요 원인이 되고 있으며, 따라서 농업 비점오염원에 의한 영양염류 유출의 제어에 대한 중요성이 증대되고 있다. 질소, 인 및 유기물 등으로 오염된 물은 상수원수로 이용될 때 처리과정에서 경제적으로나 기술적으로 부담이 되며, 특히 인의 경우 하천수 중의 농도가 높으면 수계의 과도한 부영양화를 초래하게 된다.¹⁾ 시설재배 등 여러 형태의 농업활동이 집약적이고 또한 집약적으로 이루어지고 있는 상황에서 비료의 과다 사용과 그에 따른 유실량의 증가와 적절한 폐수처리 시설의 확보가 미흡한 축산농가의 증가는 하천수 오염을 가중시키고 있

다.^{2,3,4)} 또한 영양염류들이 용탈되어 지하수의 오염을 유발하며 지하수는 한번 오염되면 정화하기가 매우 힘들며 오염 문제는 장기간 지속될 수 밖에 없다.

낙동강 유역은 우리 나라의 주요 농업 생산지로서 유역을 따라 논, 밭과 함께 시설재배나 과수단지 등 다양한 형태의 농업 활동이 집약적으로 이루어지고 있다. 낙동강 유역의 토양 및 수질 오염 현상에 대해서는 1980년대 이후 많은 연구들이 수행되었고, 그 결과 오염 정도가 지역에 따라 상당 수준에 이르고 있으며 오염의 정도는 빠른 속도로 증가하고 있다는 사실은 이미 잘 알려져 있다.^{2,3,5,6)} 환경부에서는 낙동강을 포함한 우리 나라 5대강 유역에서 수질과 토양 오염 측정망을 구성하여 감시하고 있는데, 이 측정망에서 주된 관심은 상수원수로서의 수질을 감시하고

보호하기 위한 것이다. 농업에서 필요한 용수의 수질은 농어촌진흥공사에서 전국적으로 50 개소를 대상으로 조사하고 있으며, 낙동강 유역에 대한 수질 및 토양 오염 조사 또한 농촌진흥원에서 별도로 수행하고 있다. 이들 조사에서는 농업용수의 수질 자체에 관심을 두어 오염 현황의 파악에 그치고 있는 실정으로 오염원의 규명이나 오염물질 부하량에 대한 조사와 연구는 미흡한 실정이다.

현재 우리나라 댐과 하천의 부영양화 현상은 심각한 수준으로 나타나고 있으며 그 원인으로 생활하수의 유입과 함께 유역의 영농활동이 주가 되며 특히 화학비료나 농약의 사용은 토양 및 하천수질 오염에 상당한 영향을 미칠 것으로 추정되고 있다.⁷⁾ 소규모 유역에서 영농활동이 생성하는 환경 오염 정도를 파악하는 일은 이들 영농활동으로부터 생성되는 오염 부하량을 최소화시키고 농업환경의 건전성을 확보하는데 필요한 대책을 강구하는데 있어 가장 기본적인 자료가 될 것이다.

이 연구는 농업 비점오염원에 의한 하천 수질 오염 현상을 규명하기 위하여 낙동강 수계의 농업지대 지천인 임고천 상류 소유역에서 하천으로 유입되는 질소, 인 및 유기물의 연중 부하량을 조사하였다.

재료 및 방법

조사 지역

경북 영천군 임고면에 위치한 임고천 상류 유역을 조사 대상으로 하였는데 행정구역상으로 임고면 수성 2리에 해당되며 유역 총면적은 1,422 ha였고 농업의 다른 산업활동은 없는 지역이었다. (그림 1) 토지 이용면으로 보면 과수원을 포함하여 밭으로 이용되는 면적이 16.4%로 가장 많았으며 논을 포함한 경작지 총면적은 전체 유역 면적의 25%를 차지하였고 나머지는 대부분 산림이었다. 자세한

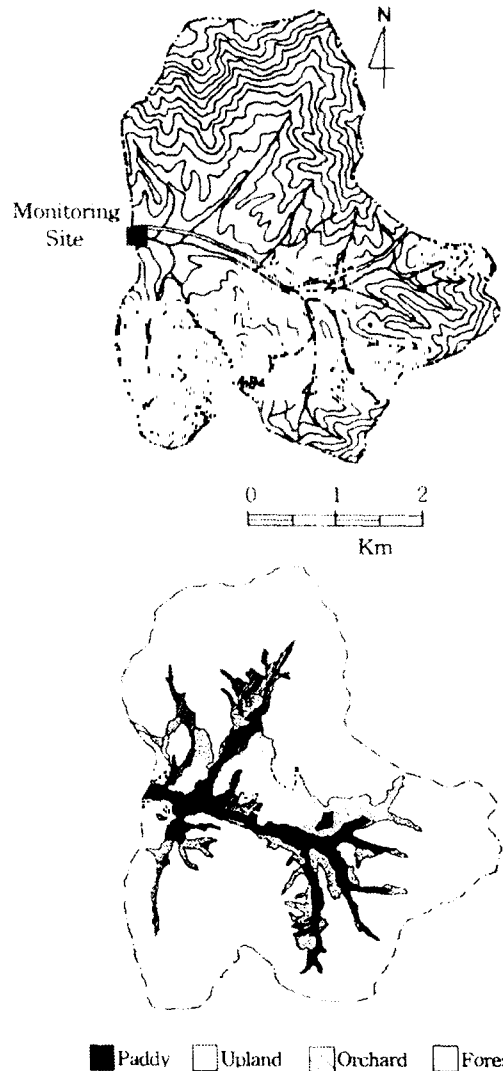


Fig. 1. Monitoring site and land use in the upper Imgo stream watershed in Youngchun, Kyongbuk.

Table-1 Land use in the Imgo watershed.

Land use	Total	Paddy	Upland	Orchard	Plastic film house	Forest	Others
Area, ha	1,421.7	122.2	166.3	59.6	7.2	1,063.4	2.84
%	100	8.6	11.7	4.2	0.5	74.8	0.2

Table-2 Monthly inputs of nitrogen and phosphorus to the Imgo watershed in the form of chemical fertilizers in 1997.

Nutrient	Land use	Feb	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Total
N, kg	Rice paddy		10,410		7,806	7,806		26,022
	Upland		778	390	390	390	390	2,338
	Orchard	1,407			882		704	2,993
	Total	1,407	11,188	390	9,078	8,196	1,094	31,535
P, kg	Rice paddy		1,604		1,203	1,203		4,010
	Upland		121	60	60	60	60	361
	Orchard	220			137		110	467
	Total	220	1,725	60	1,400	1,263	170	4,838

Table-3 Monthly precipitation in the Imgo watershed from Feb. 13 to Dec. 15 in 1997.

Parameters	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Rainy days	3	4	8	10	8	10	11	5	1	8	4
Maximum, mm	9.0	8.5	31.5	16.5	75.0	97.5	101.5	34.0	-	39.5	28.5
Minimum, mm	0.1	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-	1.0	0.1
Monthly precipitation, mm	13.1	21.5	57.5	103.5	183.0	385.0	232.5	55.5	0.5	135.0	38.3

토지 이용 현황은 표 1과 그림 1의 토지이용도에 나타내었으며, 농경지는 대부분 하천 주변에 분포하였다. 유역 내에는 80세대의 농가가 있었으며 인구는 194명이었다. 축산은 167두의 한우를 비롯하여 돼지, 닭 등이 농가별로 소규모로 사육되고 있었으며 대부분 폐기물 또는 폐수의 처리 과정이 없는 실정이었다.

유역 내 농경지에 연중 비료로 투입되는 질소와 인의량은 표 2와 같이 조사되었으며 표에 나타나지 않은 기타 시기에도 농가에서 소규모로 사용되는 것으로 파악되었다.

임고천 유역에 대한 강우량은 경북 영천시에 위치한 측후소에서 수집한 자료를 적용하도록 하였으며, 표 3에 조사 기간중 월별 강우 자료를 요약하였다. 97년도 연 강우량은 1,225 mm 였으며 5월과 8월 사이에 전체의 강우량의 70 % 이상이 집중되어 있었으며 11월에는 평년에 비하여 강우량이 많았다.

조사 및 분석 방법

1997년 2월 13일부터 12월 15일까지 조사 유역의 최하류에 위치한 수성교에서 수위와 유속을 측정하였고 하상 단면을 구하여 유량을 계산하였다. 수질 분석용 시료는 5~7일 간격으로 채취하였으며 강우시에는 매일 채취하였다. 시료는 1 L 플라스틱 용기에 채취한 후 실험실로 운반하여 즉시 분석하였으며, 필요에 따라 산을 첨가하여 pH 2 이하로 한 후 냉장 보관하며 분석하였다. 총질소는 Kjeldahl법으로, 총인은 질산으로 분해한 후 molybdate blue법으로 발색시켜 spectrophotometer (HP8452A, Hewlett Packard)로 정량하였고,⁹⁾ COD는 dichromate reflux법으로 분석하였다. NH₄-N과 NO₃-N은 Millipore 0.45 μm nylon membrane filter로 여과한 시료를 이용하여 indophenol blue법¹⁰⁾ 및 ion chromatography (Dx-100 ion chromatograph, Dionex Corp.)로 각각 분석하였다. 오염물질 부하량은 하천의 총유량과 수질 조사에서 구한 오염물질의 농도의 곱으로 계산하였다. 유량과 수질조사가 실시되지 않은 시기의 오염물질 부하량은 해당 시기 전후 조사 자료의 평균치를 이용하여 추정하였다.

결과 및 고찰

오염부하량 계측 지점에서 조사된 하천수 중의 질소와

인 등 오염 물질의 함량은 월별 최고 및 최저치와 평균치로 조사하여 표 4에 나타내었다. 조사 기간중 하천 수질을 보면 질산태 질소는 0.40~17.57 mg/L의 범위로 나타났고 월별 평균값으로 비교하면 5월과 4월에 가장 높아 비료 사용 시기와 일치하며 10월에 가장 낮았는데 이는 10월의 강우량이 제일 적었고 따라서 농경지나 산림으로부터의 유실이 적었기 때문일 것이다. 이러한 경향은 암모니아태 질소와 총질소의 경우에도 동일하게 적용되었다. 암모니아태 질소와 총질소는 각각 0.07~2.37 mg/L와 1.19~22.32 mg/L의 범위로 조사되었다. 하천수중의 총질소 함량은 반월 저수지 상류 유역에서 조사 지점별로 연 평균 1.7~4.0 mg/L로 조사되었고,⁸⁾ 북한강 울문천 유역에서는 8.4~27.3 mg/L,⁷⁾ 그리고 농업지대 유역에서 5~49 mg/L로 보고된 바 있는데¹¹⁾ 본 연구의 결과도 이러한 연구 결과와 비슷한 수준이다. 하천수 중의 질소를 형태별로 보면, 질산태 질소가 총질소의 대부분을 차지하였는데 이는 NO₃-의 토양중의 큰 이동성과 질산화작용에 의한 NH₄+의 산화 등에 기인될 것이다.

본 연구에서는 강우의 화학적 조성을 조사하지 않았으나 조사 유역 인근 지방인 대구, 구미, 의성 지역에서 1992년 5월부터 10월까지 조사된 자료를 보면 NH₄-N이 평균 1.15 mg/L, NO₃-N이 평균 0.72 mg/L 였다.¹²⁾ 이는 북한강의 울문천 유역에서 조사된 1.1 mg/L와 0.7 mg/L 와 매우 근접한 값이다. 하천수 중의 이들 형태의 질소 중에서 NO₃-N의 함량은 강우 중의 함량에 비하여 전체적으로 훨씬 높으며 이러한 강우 농도 이상의 NO₃-N은 결국 농업활동과 생활오수 등에 의한 오염으로 볼 수 있을 것이며, 북한강의 울문천 유역에서도 하천 유출수중의 질산태 질소의 농도가 강우중의 농도에 비하여 평균 13.2배 높은 것으로 조사되었다⁷⁾

인은 총인의 함량으로 조사되었으며 불검출~0.21 mg/L의 범위였는데, 월별 평균값으로 비교하면 화학비료의 사용 시기와 강우량이 많아 토사의 유출이 심한 시기인 5~7월에 높은 것으로 나타났다. 북한강 울문천 유역에서는 불검출~2.2 mg/L,⁷⁾ 초지와 옥수수 경작지대에서 평균 0.35~0.40 mg/L의 총인이 검출되는 것으로 보고되어 있다.^{13,14)} 일반적으로 인이 수생식물의 성장을 제한하는 주 영양원소로 알려져 있는데, 수중의 생물이 이용할 수 있는 인의 양은 총인의 함량으로 측정하여 평가할 수 있으며 총

Table-4 Monthly mean concentrations of nutrients in the Imgo stream water sampled at the monitoring site in 1997. Values in (Parentthesis) are minimum and maximum concentrations.

Month	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Total N	Total P	COD
	-----mg/L-----				
2	3.67 (3.15-4.15)	1.25 (1.03-1.38)	6.86 (6.08-7.73)	0.03 (0.02-0.03)	1.13 (0.84-1.69)
3	3.31 (2.69-4.09)	1.55 (0.83-2.31)	7.04 (5.80-7.89)	0.01 (0.00-0.03)	1.67 (1.54-2.00)
4	13.7 (2.69-17.57)	2.19 (2.05-2.37)	18.07 (6.99-22.32)	0.04 (0.00-0.12)	1.70 (1.36-2.66)
5	9.6 (3.70-17.42)	0.77 (0.30-2.19)	11.23 (4.79-21.72)	0.09 (0.01-0.12)	3.20 (1.82-9.27)
6	6.27 (4.10-7.20)	0.33 (0.26-0.58)	7.09 (5.149-7.75)	0.10 (0.08-0.21)	3.14 (2.06-10.06)
7	4.85 (2.80-6.45)	0.46 (0.30-0.62)	6.03 (4.55-8.09)	0.10 (0.05-0.17)	3.82 (1.02-6.45)
8	3.3 (2.40-5.10)	2.14 (0.07-0.42)	4.10 (2.72-6.30)	0.04 (0.02-0.17)	2.96 (2.29-5.38)
9	2.16 (0.90-3.50)	0.11 (0.08-0.19)	2.63 (1.19-4.58)	0.03 (0.02-0.03)	2.77 (2.24-4.54)
10	0.71 (0.40-0.90)	0.27 (0.16-0.40)	1.48 (1.32-1.89)	0.08 (0.03-0.11)	1.85 (0.98-2.62)
11	2.89 (1.08-6.90)	0.76 (0.23-1.41)	4.08 (1.33-7.99)	0.09 (0.01-0.16)	2.95 (1.68-4.02)
12	3.94 (3.03-6.00)	1.01 (0.87-1.17)	5.35 (4.51-7.51)	0.16 (0.15-0.18)	2.38 (1.964-3.73)

인의 함량과 조류 발생량 사이에는 매우 밀접한 관계가 있다.¹⁵⁾ 하천이나 호수의 부영양화 문제를 유발할 수 있는 총인의 한계 농도는 0.035~0.08 mg/kg 정도에서 인정되고 있는데,¹⁶⁾ 이런 기준에 따르면 본 연구의 조사 대상 유역과 같이 비교적 오염이 덜된 하천 최상류에서도 거의 연중 부영양화의 문제가 유발될 수 있는 수준의 인이 부하되고 있는 것으로 판단할 수 있다.

COD는 1~10 mg/L의 범위로 조사되었으며 역시 강우

량이 많은 시기에 높았다. 하천으로 유입되는 유기물은 토양입자, 식물잔재, 토양에 처리된 퇴비나 축산부산물 등에 주로 기인할 것이며 하천의 부영양화와 상수원수로 이용될 경우 용집을 방해하거나 소독 과정에서 유해 물질 생성 등의 문제를 유발시킨다. 조사 유역의 수질은 우리나라 하천 수질 기준(COD)으로 보면 평균적으로 2급수에 해당한다.

조사 소유역에서 2월 중순부터 12월 중순까지 측정된 하

Table-5 Monthly discharges of stream water and nutrients from the Imgo watershed.

Month	Stream water	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Total N	Total P	COD
	m ³	kg	kg	kg	kg	kg
2	49,205	181	63	3,42	1	52
3	68,602	230	103	483	1	114
4	134,093	1,689	290	2,259	5	252
5	18,959	2,201	219	2,657	16	1,797
6	755,482	3,586	286	4,346	132	6,081
7	2,922,912	12,613	1,046	15,852	271	12,115
8	1,296,410	3,881	154	4,842	36	5,428
9	243,383	543	25	646	7	820
10	62,986	43	17	94	5	124
11	364,798	1,864	309	2,402	54	1,287
12	304,694	1,510	278	1,933	51	868
12	6,521,524	28,341	2,790	35,856	579	28,938
Estimated annual discharge	6,681,500	28,991	3,010	37,006	590	29,138

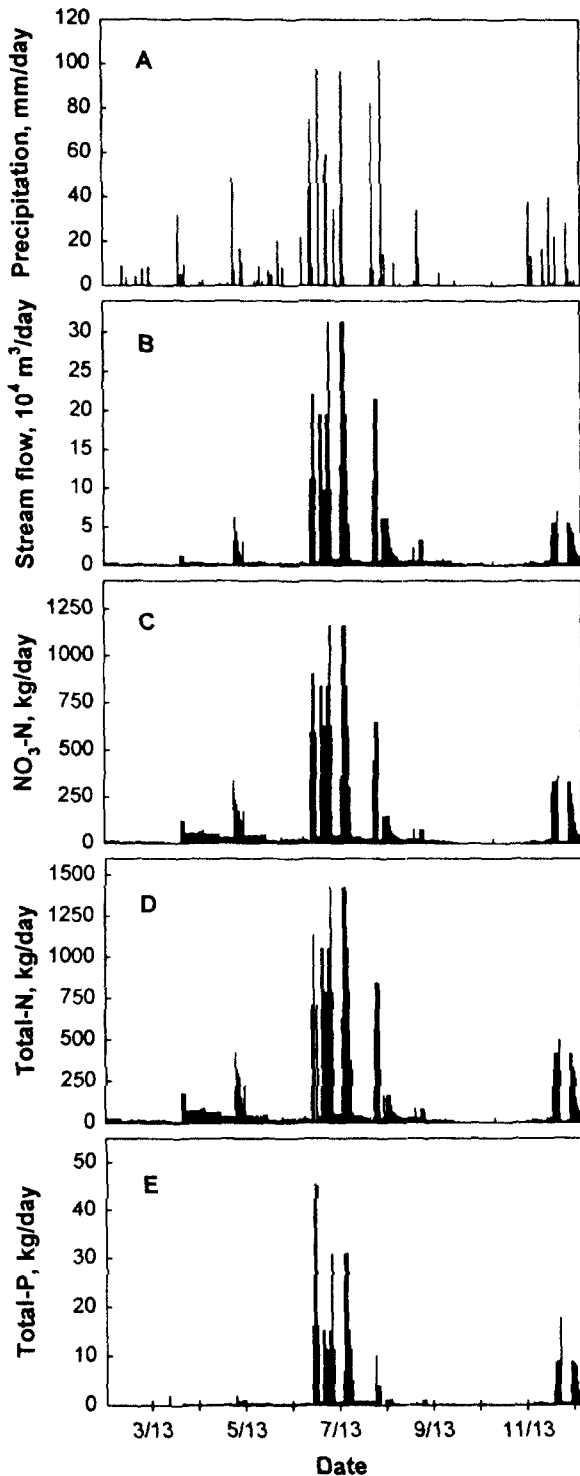


Fig. 2. Daily precipitation(A), stream flow(B), and discharges of NO₃-N(C), total-N(D),and total-P(E) in the upper Imgo stream in Youngchun during Feb. 13~Dec. 15 in 1997.

천 유수량과 오염물질 유출량을 표 5 에 월별로 나타내었다. 하천 유수량은 강우량과 밀접한 상관 관계($r^2=0.910$)를 보였으며 연간 유수량의 80 %가 강우량이 많은 5월부터 8월 사이에 집중되었다. 오염물질의 유출량은 전체적으로

하천 유수량과 높은 정의 상관 관계($r^2>0.769$)를 보였으며, 비료 사용 시기의 영향을 또한 크게 받는 것으로 나타났다. 강우량이나 하천의 유수량이 비슷한 3월과 10월 또는 5월과 12월을 비교할 때 화학비료 사용 시기인 3월과 5월에 오염물질의 유출량이 더 많았다. 강우량이 많으면 토양 표면의 유거수가 많아지게 되고 따라서 영양염류의 유실 또한 많아질 수 밖에 없다. 이러한 영향은 인에 비하여 질소에서 더 뚜렷이 나타났다. 이는 인의 경우 토양에 의한 고정 등으로 이동성이 약하며 주로 토양의 유실에 따라 유출되며 상대적으로 질소의 경우는 가용태로 쉽게 유실될 수 있기 때문일 것이다. 조사 지역의 총 강우량 중에서 하천으로 유출되는 양은 약 37 %로 비교적 낮은 편이었다.

조사 기간중의 일별 강우량, 하천 유수량 및 오염물질 배출량을 그림 2에 나타내었다. 강우량과 하천 유수량 사이에는 밀접한 상관관계가 있으며, 오염물질의 배출량 또한 이들 요인과 밀접한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 강우량이 많은 경우 지표로 다량의 물이 흐르게 되면서 농경지의 영양염류들을 하천으로 유입시키는 것으로 생각된다.

본 연구에 포함되지 않은 시기인 97년 1월, 2월 초반, 및 12월 하반기에 대하여 하천 유수량과 하천수 중의 오염물질의 농도를 조사 구역에서의 강우량과 하천 유수량과의 관계, 하천 유량과 월별 하천 수질을 고려하여 평가하였을 때, 97년의 연 총 하천 유수량은 6,681,500 m³로 추정되었으며, NO₃-N, NH₄-N, Total N, Total P 및 COD 부하량은 각각 28,991 kg, 3,010 kg, 37,006 kg, 590 kg, 29,138 kg으로 추정되었다. 하천의 유수가 대부분 강우에 의해 발생한다고 볼 때, 하천 유수량에 강우 성분 중의 질소 및 인의 농도를 곱하면 자연 강우에 의한 질소와 인의 하천 부하량을 계산할 수 있다. 자연 강우에 의한 NO₃-N의 연간 부하량은 4,810 kg 정도이며 NH₄-N의 부하량은 7,603 kg 정도인 것으로 추정되었다. 강우 성분으로 유역에 유입되는 NH₄-N의 양 (7,603 kg) 은 실제 하천에서 측정된 NH₄-N 유출량 (3,010 kg) 보다 많은 것으로 나타났는데, 이렇게 실제 유출량이 적은 것은 강우 성분 중 NH₄-N 함량이 구미, 의성, 대구 지역에서 조사된 값으로 실제 조사 지역의 강우 성분과 차이가 있을 수 있으나, 주로 강우가 토양에 유입된 후 하천에 이르러 최종적으로 관측 지점을 통과하기까지 NH₄-N은 토양에 흡착되거나 질산태 질소로 대부분 변환되기 때문일 것이다. 두 가지 형태의 질소의 합으로 비교하여 보면 강우를 통하여 유역에 투입되는 양은 12,413 kg 정도이며 하천으로 유출되는 양은 32,000 kg 정도였다. 하천으로 유출되는 양에서 강우 성분 양을 제외하면 19,588 kg 정도가 유역의 농업 비점오염원에 의해 배출되는 것으로 평가 되었으며 총 질소량으로는 약 25,000 kg

정도가 연간 하천으로 배출되는 것으로 추정되었다. 또한 총 인의 경우 강우에 포함된 인의 함량을 무시할 때, 조사된 유역에서 연간 총 590 kg이 하천으로 부하 되는 것으로 추정되었다. 이들 농업 비점오염원에 의한 유실량을 유역 내 농경지에 투입되는 비료량과 비교하면 질소와 인의 경우 각각 투입 비료량의 80 %와 12%에 해당된다.

기존에 보고되어 있는 산림이나 농경지로부터 유출되는 질소와 인의 양은 조사 대상 지역의 특성이나 유역의 토지 이용 등에 따라 차이가 많은 것으로 나타나고 있다. 일부 조사의 결과를 인용하면 산지에서 총질소는 0.09~0.21 kg/ha/year, 총인은 0.7~3.0 kg/ha/year, 농경지에서 총질소는 5.0~14.3 kg/ha/year, 총인은 0.55~2.0 kg/ha/year 정도로 유출되는 것으로 나타나고 있다.¹⁷⁾ 본 연구의 결과를 보면 토지 이용 면을 무시하고 전체 유역 면적으로 추정하였을 때, 총질소의 유역 단위 면적당 연간 부하량은 17.58 kg/ha/year 였고 총인의 경우에는 0.41 kg/ha/year 로 추정되었다. 질소의 경우 비교적 유출량이 많았으며 인은 상대적으로 적은 편이었다. 조사 유역의 산업이 농업에 국한되어 있는 것을 감안할 때 이들 오염물질의 부하는 주로 농경지, 농가의 생활하수, 산지로부터의 유실, 축산활동 등을 포함하는 농업 비점오염원에 의한 것으로 볼 수 있으며 각 비점오염원별 부하량 정도는 더 자세한 조사와 연구를 통하여 이루어져야 할 것이다.

질소와 인등의 영양염류에 의한 지표 및 지하수의 오염은 농업 유역에서 가장 흔히 발생하는 문제이며 이는 기존의 다수확을 목표로 하는 영농관행에서 비료나 퇴비의 시용 권장 량이 일부 과도하게 책정되어 있고 더욱이 실제 농가의 시용량은 이를 초과하는 경우도 흔히 발생하기 때문이다. 작물이 요구하는 이들 영양원소를 충분히 공급 하면서 한편으로 유실에 따른 오염 문제를 최소화하기란 매우 어려운 과제이며 또한 화학비료의 시비와 함께 토양 유기물의 무기화 과정에서 더해지는 질소나 인의 과잉 공급을 조절하기란 더욱 어려운 문제이다.¹⁸⁾ 농업 비점오염원에 의한 수질 오염 문제를 해결하기 위해서는 작물별로 수량과 오염 문제를 동시에 만족시킬 수 있는 적절한 시비 기준이 우선적으로 설정되어야 하고 농가에서 기준 시비량을 준수할 수 있도록 지속적인 지도가 이루어져야 할 것이다. 또한 작물의 흡수 이용율을 최대한 높이고 동시에 유실량을 최소화시키기 위해 화학비료의 시용 시기, 비료의 제형, 살포 방법 등도 고려되어야 할 사항이다. 지속 가능한 농업을 위한 수단으로 농경지에 대한 경운 문제는 많은 연구의 대상이 되고 있는데, 점토의 유실과 토양 다짐현상의 방지, 그리고 토양 유기물의 급속한 분해를 억제하여 지력을 유지하는데 있어 가능한 한 경운을 적게 하는 것이 유리하다. 여러 연구의 결과에서 토양 입자의 유실과 영양염류 및 유기물의 유실간에는 정의 상관관계가

있는 것으로 밝혀져 있다.¹⁹⁻²¹⁾ 특히 토양에 흡착이 잘되는 인의 경우 전통적인 방법으로 경운을 하는 농경지에서 표토의 유실과 함께 많은 양이 유실된다. Sharpley 등²²⁾에 따르면 인의 경우 무경운 밀밭에서 2.3 kg/ha의 유실량 중 49%가 표토의 유실과 함께 일어났으며, 전통적인 경운을 한 경우에는 전체 표면 유실량 중에서 94%가 표토 유실과 함께 일어나는 것으로 밝혀졌는데, 과도한 경운은 영양염류의 유실을 촉진하는 것이다. 그 외에도 농경지로부터의 영양염류 유실에 따른 지표 및 지하수의 오염을 줄이기 위한 노력이 여러 부문에서 고려되고 연구되어야 할 것이다.

요 약

영양염류는 하천이나 저수지의 부영양화를 유발하며 농경지는 영양원소의 주된 오염원으로 지적되고 있다. 본 연구에서는 농업 비점오염원에 의한 영양염류 유출 현상을 구명하기 위하여 경북 영천군 임고천 상류의 소유역에서 질소, 인, 유기물의 연간 부하량을 조사하였다. 유역 총면적은 1,420 ha 였고 그 중에서 논과 밭을 포함한 경작지 면적은 약 25 % 였으며 나머지는 대부분 산림이었고, 한우와 돼지 등의 가축 사육이 농가별로 소규모로 이루어지고 있었다. 조사 기간 동안 하천수중의 NO₃-N, NH₄-N, Total N, Total P 및 COD의 농도는 각각 4.95, 0.80, 6.72, 0.07 및 2.51 mg/L 였다. 97년도 연간 총 하천 유수량은 6,681,500 m³로 평가되었으며, NO₃-N, NH₄-N, Total N, Total P 및 COD의 연간 부하량은 각각 28,991, 3,010, 37,006, 590, 29,138 kg으로 추정되었다. 강우량과 하천 유수량 사이에는 밀접한 정의 상관관계가 있었으며, 오염물질의 배출량 또한 유수량이 증가함에 따라 증가하였고 화학비료의 시용 시기와도 일치하여 강우량이 많았던 5월부터 8월 사이에 대부분의 영양염류의 부하가 발생하였다. 조사유역의 산업이 농업활동에 국한되어 있는 것을 감안할 때 이들 오염물질의 부하는 농경지로부터의 유실과 축산활동 등을 포함한 농업 비점오염원에 의한 것으로 볼 수 있으며 각 비점오염원별 부하량 정도를 구명하고 이를 제어할 수 있는 다양한 대책이 강구되어야 할 것이다.

찾는 말 : 농업비점오염, 질소, 인, 유기물, 오염물질 부하

사 사

이 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(농업과학분야)의 지원으로 수행되었음 (농업과학기센터 대학간 공동연구 지원사업, 과제번호:97-NICEM-2).

참고문헌

1. Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C., and Reddy, K.R. (1994) Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23:437-451.
2. Chung, J.B., Kim, B.J., and Kim, J.K. (1997) Water pollution in some agricultural areas along Nakdong river. *Kor. J. Environ. Agri.* 16:187-192.
3. Chung, J.B., Kim, B.J., Kim, J.K., and Kim, M.K. (1998) Water quality of streams in some agricultural areas of different agricultural practices along Nakdong river basin. *Kor. J. Environ. Agri.* 17:140-144.
4. Jung, Y.S., Yang, J.E., Joo, Y.K., Lee, J.Y., Park, Y.S., Choi, M.H., and Choi, S.C. (1997) Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han river basin. *Kor. J. Environ. Agri.* 16:199-205.
5. Choi, E.H., and Lee, S.R. (1982) Studies on the water quality along the midstream of Nakdong river in 1978-80. *Kor. J. Environ. Agri.* 1:31-38.
6. Heo, W.M., and Kim, B.C. (1995) Phosphorus and nitrogen loading from the main tributaries into the Nakdong river. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.* 4:187-195.
7. 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. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 31:170-176.
8. 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.* 39:115-127.
9. Olson, S.R., and Sommers, L.E. (1982) Phosphorus. pp. 403-430. In A.L. Page et al., (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
10. Keeney, D.R., and Nelson, D.W. (1982) Nitrogen-Inorganic Forms. pp. 643-698. In A.L. Page et al., (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
11. David, M.B., Gentry, L.E., Kovacic, D.A., and Smith, K.M. (1997) Nitrogen balance in and export from an agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* 26:1038-1048.
12. Kim, B.J. (1995) Effects of acid rain on soils and crops and countermeasures to the acid rain damages. Final report submitted to the Rural Development Ministration, Korea.
13. Gaynor, J.D., and Findlay, W.I. (1995) Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *J. Environ. Qual.* 24:734-741.
14. Nelson, P.N., Coatsaris, E., and Oades, M. (1996) Nitrogen, phosphorus and organic carbon in streams draining two grazed catchments. *J. Environ. Qual.* 25:1221-1229.
15. Sharpley, A.N., and Menzel, R.G. (1987) The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Adv. Agron.* 41:297-324.
16. Organization for Economic Co-operation and Development. (1982) Eutrophication of waters. Monitoring, assessment, control. OECD, Paris, France.
17. Lebo, M.E., and Herrmann, R.B. (1998) Harvest impacts on forest outflow in coastal North Carolina. *J. Environ. Qual.* 27:1382-1395.
18. Keeney, D.R., and DeLuca, T.H. (1993) Des Moines River nitrate in relation to watershed agricultural practices: 1945 versus 1980s. *J. Environ. Qual.* 22:267-272.
19. Bolton, S.M., and Ward, T.J. (1993) Scale effects of sediment-related transport of phosphorus. *Water Sci. Technol.* 28:473-481.
20. Douglas, C.L., Jr., King, K.A., and Zuzel, J.F. (1998) Nitrogen and phosphorus in surface runoff and sediment from a wheat-pea rotation in Northeastern Oregon. *J. Environ. Qual.* 27:1170-1177.
21. Langdale, G.W., Leonard, R.A., Fleming, W.G., and Jackson, W.A. (1979) Nitrogen and chloride movement in small upland piedmont watersheds: II. Nitrogen and chloride transport in runoff. *J. Environ. Qual.* 8:57-63.
22. Sharpley, A.N., Smith, S.J., Jones, O.R., Berg, W.A., and Coleman, G.A. (1992) The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.* 21:30-35.