

농업소하천 유역의 기저유출에 의한 오염부하특성

신용철 · 류창원 · 최예환 · 임경재 · 최중대*

강원대학교 농업공학부 지역기반공학 전공

Pollutant Load Characteristics by Baseflow in a Small Agricultural Watershed

Yongchul Shin · Changwon Lyou · Ye Hwan Choi · Kyuong Jae Lim · Joongdae Choi*

Department of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701

(Received 6 October 2005, Accepted 22 November 2005)

Abstract

Natural environment of Weolgokri watershed has been well preserved as a traditional agricultural watershed. A year record of streamflow, NO₃-N, T-N and T-P concentrations data (April 2004 - Mar. 2005) were examined to estimate annual and seasonal patterns of pollutant loads in streamflow and baseflow from the agricultural watershed. To estimate pollutant loads from baseflow, baseflow component was separated from streamflow using the digital filter method in the Web-based Hydrograph Analysis Tool system and loads of NO₃-N, T-N and T-P from streamflow and baseflow were evaluated. The NO₃-N, T-N, and T-P loads from streamflow were 13.85 kg/ha, 45.92 kg/ha and 1.887 kg/ha, respectively, while corresponding loads from baseflow were 7.43 kg/ha, 24.70 kg/ha, 0.582 kg/ha, respectively. It was found that NO₃-N and T-N loads were contributed slightly more by the baseflow (53% and 53% of Total-loads) than by the direct runoff (47% and 47% of Total loads). However, only 30% of total T-P load was contributed by the baseflow. It is recommended that one needs to assess pollutant load contribution by the baseflow to identify appropriate pollution control strategies for an effective watershed management.

keywords : Baseflow, Hydrograph separation, Pollutant loads, Streamflow, Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT)

1. 서 론

최근에 이르기까지 급속한 산업발달로 인하여 발생하는 각종 오염물질은 하천 및 호소의 수질오염을 야기시키고 있다. 풍부한 수자원을 가지고 있는 북한강 수계는 서울 수도권 상수원 공급에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 한강을 비롯한 하천 대부분이 점원 및 비점원 오염물질의 지속적인 유입으로 인하여 수질이 계속 악화되고 있다(최 등, 1999). 비점원 오염물질은 하천의 부영양화의 주원인으로서 이를 막기 위한 관심이 점차 증가되고 있다. 비점원 오염물질중 질소의 오염부하는 하천의 부영양화에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 비점원 오염은 주로 농업활동에 의해 발생하며, 이는 농경지를 기반으로 한 오염원(land-based pollutants)과 영농관리방법을 기반으로 한 오염원(management-based pollutants)으로 구분할 수 있다. 농경지를 기반으로 하는 오염원은 토양입자에 의해 토양입자가 수계로 유입되면서 오염이 초래된다. 영농관리방법을 기반으로 하는 오염원은 생산성 향상과 병해충 방제를 위해 작물이나 토양에 투입된 비료와 농약 등 화학물질의 일부가 물에 녹아서 유출수와 함께 수체로 배출되거나 토양입자에 흡착되어 발생하게 된다(한강수계관

리위원회, 2003). Hallberg(1987)는 비강우시 하천으로 유입되는 질소는 중간유출 혹은 기저유출을 통해 하천에 유입된다고 하였으며, Schilling(2002)은 질소부하가 여름과 늦가을동안 기저유출을 통해 가장 크게 발생한다고 하였다. 특히 농업소유역 하천의 질산성 질소와 총질소의 농도는 주변 지하수의 질산성 질소와 총질소의 농도와 매우 유사한 것으로 조사되었다(최 등, 1999). 농업 유역에서 발생하는 질소오염부하를 저감시키기 위해서는 오염부하가 하천으로 유입되는 공간적인 변동특성과 이동경로에 대한 이해가 요구된다. 기저유출은 하천의 질소부하의 이동기작 메카니즘으로(Hallberg, 1987), 질소가 하천에 유입되기 전에 그것을 차단하고 줄이기 위해서는 기저유출에 의한 질소부하의 시간에 따른 변동과 양의 정량화가 필요하다(Schilling et al., 2004). 그러나, 지금까지 우리나라에서는 하천의 오염부하특성에 국한되어 연구가 수행되어 왔으며, 기저유출에 의한 하천의 오염부하특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 한강 상류 농업유역에서 측정된 하천유량에서 기저유출을 분리하여 기저유출에 의한 오염부하특성을 분석하였다. 이는 소유역의 오염배출특성을 이해하고 유역의 관리방법의 개발과 적용에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

* To whom correspondence should be addressed.
jdchoi@kangwon.ac.kr

2. 연구방법

2.1. 연구유역

연구유역은 북한강 유역의 강원도 춘천시 동면 월곡리 소하천 유역이다(Fig. 1). 유역면적은 3.41 km²이고, 하천 총연장은 12.56 km로 2003년까지 그린벨트의 규제를 받아 자연환경이 매우 잘 보전되고 있는 농업소유역이다. 월곡리 유역은 2003년도에 그린벨트에서 해제되었으나 춘천시의 인구와 산업이 취약하여 개발보다는 농업유역으로 잘 보전되어 있다. 월곡리 소하천 유역은 유역경사가 급하고 농지 규모가 작으며, 집약적으로 이용되는 토지가 많지 않아 오염배출이 큰 토지규모는 많지 않은 것으로 조사되었다. 월곡리 소하천의 유량 및 수질 관측지점(S), 옥광산(S1) 및 양로원(무지개 마을, S2)의 위치는 Fig. 1과 같다.

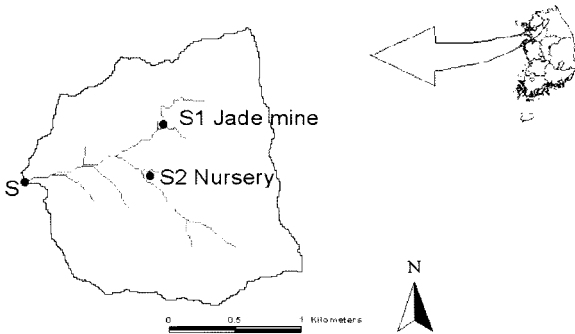


Fig. 1. Location of the Weolgokri watershed.

2.2. 유량 및 수질분석

월곡리 소하천의 유량 산정을 위하여 압력식 수위계를 설치하여 2004년 04월부터 2005년 3월까지 수위를 측정하였다. 수위는 강우시에는 5분 간격으로 그리고 비강우시에는 30분 간격으로 측정하여 유량을 산정하였다. 월곡리 소하천의 기저유출에 의한 오염부하특성을 규명하기 위해서는 하천유량에서 기저유출을 분리해야 한다. 기저유출을 분리하는 방법에는 1) 지하수 감수곡선법, 2) 직선 분리법, 3) N-day 법 등이 이용되고 있으나 장기간의 유량자료에 적용하기에는 시간이 많이 소요되며 주관적인 편이 강하기 때문에 최근에는 Digital filtering 방법이 많이 이용되고 있다(Lyne et al., 1979; Nathan et al., 1990; Arnold et al., 1999; Eckhardt, 2005; Lim et al., 2005). Digital filtering 방법은 고주파 신호에서 저주파신호를 분리하는 일련의 과정을 말한다(Lyne et al., 1979). 하천유량에서 직접유출을 분리하는 것은 저주파(기저유출) 신호에서 고주파(직접유출) 신호를 분리하는 일련의 과정과 유사하기 때문에, Digital filtering 방법이 기저유출을 분리하기 위해 사용되고 있다(Eckhardt, 2005). 기저유출은 유역의 지형학적 특성, 지질학적 특성, 토양성질, 토지이용도 및 기후학적 특성 등과 같은 많은 인자들에 영향을 받는다(Zecharias et al., 1988). 하지만 Lyne 등(1979)에 의해 개발된 Digital filtering 방법은 유역의 특성이 반영되지 않았기 때문에, Eckhardt(2005)는 Lyne 등(1979)에 의한 Digital filtering 방

법에 대수층의 특성을 반영할 수 있는 BFI_{max} 변수를 적용하여 기저유출을 산정하였다. 월곡리 유역의 경우 하천이 항시 흐르기 때문에 Eckhardt(2005)가 제시한 BFI_{max} 계수 0.80을 사용하여 기저유출을 분리하였다. 공식 (1)은 Eckhardt(2005)가 제시한 Digital filter를 나타낸다.

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{max}) \times \alpha \times b_{t-1} + BFI_{max} \times Q_t}{1 - \alpha \times BFI_{max}} \quad (1)$$

여기서 b_t는 시간 t일 때의 기저유출, b_{t-1}은 시간 t-1일 때의 기저유출, BFI_{max}는 장기간의 하천유량에 대한 최대기저유출률, α는 필터계수, Q_t는 시간 t일 때의 하천유량을 나타낸다.

본 연구에서는 Lim 등(2005)에 의해 개발된 Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) 시스템의 기저유출 분리 모듈 중에서 Eckhardt(2005)가 제시한 Digital filtering 방법을 이용하여 하천유량에서 기저유출을 분리하였다. 총 81개의 수질시료를 분석하여 하천유량의 오염부하량을 산정하였으며, 이 중 비강우시에 채취된 19개의 수질샘플을 이용하여 기저유출에 의한 오염부하를 산정하였다. 수질시료분석은 NO₃-N, T-N 및 T-P를 환경부 제정 수질공정시험법의 제반규정에 따라 분석하였다(환경부, 1996). 강우시와 비강우시의 오염농도특성을 분석하기 위해 유량가중평균농도를 산정하였으며, 하천유량과 기저유출에 의한 오염농도와 오염부하특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유출특성분석 및 기저유량 산정 결과

월곡리 유역의 2004년 4월부터 2005년 3월까지의 총강우량은 1,365.9 mm로 우리나라의 연평균 강우량보다 많았다. 비가 많지 않은 평시의 유출량은 연유출량의 30.2%인데 비하여 홍수기간인 7~9월의 유량이 69.8%이었다. 특히 7월의 강우량은 연강우량의 약 39% 정도이었으나 유출량은 연유출량의 44.4%로 높게 나타났다. 월곡리의 연유출률은 연강우량의 약 70.4%로 상당히 높은 유출특성을 보였다(Table 1). 5월과 6월의 유출비는 100 mm 이상의 강우가 발생했음에도 2.2%와 8.2%로 작았으나, 8월과 9월의 유출비는 약 200 mm 정도의 강우량에 15.4%와 10.0%로 나타나 5월과 6월에 비해 상대적으로 높은 유출비를 보였다. 5월과 6월에는 강우량에 비하여 비강우기간이 장기간 지속되어 토양내 함수비가 낮아 강우량의 상당수가 토양에 저류되었던 반면에, 8월과 9월에는 6월부터 7월 동안 장기간 지속된 강우로 인하여 토양의 함수비 증가로 침투율이 감소하여 많은 양의 강우가 지표로 유출된 것으로 판단되었다.

월곡리 수위 관측지점에서 측정된 실측유량의 약 63%가 기저유출로 측정되었다. 월별 기저유출률은 월유출량이 가장 높은 7월에 35%로 가장 낮게 나타났으며, 월유출비가 10% 미만일 때에 월별 기저유출률은 84-99%로 매우 높게

나타나 건기시의 하천유량은 기저유출로 형성되는 것으로 나타났다. 전반적으로, 비강우기간인 봄, 늦가을, 겨울철에 기저유출률이 80% 이상 높게 나타나 기저유출률은 비강우 기간에 증가하는 것으로 나타났으며, 7월을 제외한 전체 연구기간동안 기저유출률은 72~99%로 매우 높게 나타났다. 월곡리 수위 관측지점의 2004년 4월부터 2005년 3월까지 측정된 실측유량의 63%가 기저유출에 의한 것으로 나타나 월곡리 유역의 수문특성이 직접유출보다 기저유출에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 월곡리의 강우량, 월유출량, 월유출비, 기저유출과 기저유출률은 Table 1과 같다.

3.2. 수질특성

월곡리 하천의 수질조사항목별 최대값, 최소값 및 유량가중평균농도는 Table 2와 같다. NO₃-N, T-N 및 T-P의 농도 변화는 0.15~4.97 mg/L, 1.35~16.56 mg/L, 0.002~1.280 mg/L로 나타나 농도변화가 매우 높은 것으로 나타났다. 일별 최대강우는 7월 12일에 142.5 mm가 발생하였으나 NO₃-N과 T-N의 최대 농도는 8월 17일에 발생하였다. 이는 7월 12일에 시간별 최대 21.5 mm/hr의 강우가 발생한 반면에, 8월 17일에는 60.5 mm의 강우가 발생하였으나, 시간별 최대 41.5 mm/hr의 최대강우가 발생하여 NO₃-N과 T-N의 농도가 연중 최고치를 보였다. T-P의 최대농도는 7월 12일 발생하였으며, 7~8월을 제외한 전체 연구기간동안 낮은 농도를 유지하였다. NO₃-N, T-N 및 T-P의 유량가중평균농도는 각각 1.41 mg/L, 4.70 mg/L, 0.187 mg/L로 매우 높은 특성을 보였으며, T-N의 유량가중평균농도는 NO₃-N 보다 3배 이상 높은 것으로 나타나 하천수내의 유기질소의 함량이 높은 것으로 나타났다. 홍수기에는 월곡리 유역의 논과 밭의 토양에 함유되어있던 유기물들이 많은 강우로 인해 직접유출과 함께 하천에 유입되며, 평시에는 지하수를 통한 NO₃-N의 유입이 높고 또한 홍수 후 3~4일 정도부터 하천에 갈조류가 번성하는 것으로 관측되어 조류의 일부가 T-N의 농도를 높이는데 기여 하는 것으로 생각되었다.

Table 2. Selected statistics of NO₃-N, T-N, and T-P concentrations at the Weolgokri watershed

<Unit: mg/L>				
Statistics	Pollutants			
	NO ₃ -N	T-N	T-P	
Maximum	4.97	16.56	1.280	
Minimum	0.15	1.35	0.002	
Flow weighted mean conc.	1.41	4.70	0.187	

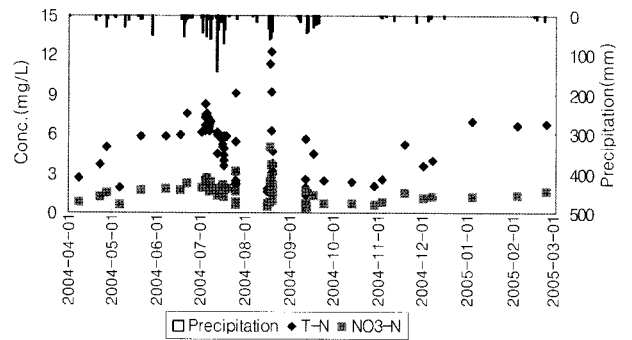


Fig. 2. Seasonal changes of precipitation, and NO₃-N and T-N concentration values at the Weolgokri watershed.

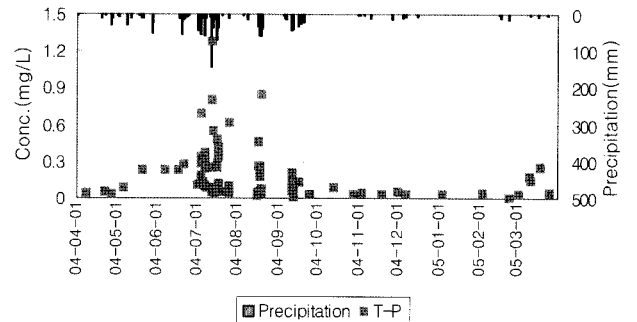


Fig. 3. Seasonal changes of precipitation, and T-P concentration values at the Weolgokri Watershed.

NO₃-N, T-N 및 T-P 농도의 계절별 변화는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. T-N 농도는 영농활동이 시작되는 4월 중순부터

Table 1. Summary of monthly precipitation, streamflow, streamflow ratio, baseflow and baseflow ratio in the Weogokri watershed

Month	Monthly precipitation (mm)	Monthly streamflow (m ³)	Monthly streamflow ratio(%)	Monthly baseflow (m ³)	Monthly baseflow ratio(%)
Apr. 2004	59.7	45,639	1.4	40,545	89
May 2004	135	73,044	2.2	61,704	84
Jun. 2004	105.7	267,663	8.2	237,614	89
Jul. 2004	532.3	1,457,272	44.4	508,670	35
Aug. 2004	215.6	503,953	15.4	362,511	72
Sep. 2004	193.6	326,817	10.0	256,122	78
Oct. 2004	1.8	307,170	9.4	291,989	95
Nov. 2004	43	66,342	2.0	66,255	97
Dec. 2004	27.2	58,983	1.8	56,772	96
Jan. 2005	3.7	45,533	1.4	44,969	99
Feb. 2005	30.8	65,318	1.8	62,189	95
Mar. 2005	17.5	104,458	2.0	95,466	91
Annual total	1,365.9	3,322,192	100	2,082,806	63

증가되어, 많은 강우가 발생하는 7~8월에 높게 나타났다. 이후 가을철인 9월부터 11월까지는 전반적으로 낮은 농도 특성을 보였으나 이후 겨울철인 11월 하순부터 2005년 2월 까지 다시 높게 나타났다. T-N 농도는 여름철 집중호우로 인해 발생하는 직접유출수와 함께 하천으로 유입되어 홍수 기간인 7~8월의 T-N 농도가 매우 높은 것으로 나타났으며, 겨울철인 11월 하순부터 2005년 2월까지는 10월~11월 이후 생장을 멈춘 하천 주변의 식물들과 낙엽들이 부식되어 하천으로 유입되기 때문에 겨울철 하천의 질소농도가 다시 증가하는 것으로 판단되었다. 또한 지하수를 통한 NO₃-N의 유입이 유량에 비해 상대적으로 높아져 T-N 농도가 높아지는 것으로 생각되었다. NO₃-N의 농도는 8월 17일에 가장 높게 나타났으나 8월을 제외한 전체 연구기간동안의 NO₃-N의 농도는 3 mg/L 미만으로 낮은 농도특성을 보였다. NO₃-N은 토양에 흡착되지 않기 때문에 토양침투수와 함께 지하수로 유입되어 대수층으로 이동하거나 혹은 기저유출로 배출되는 것으로 판단되었으며, 특히 비강우기간에도 일정량 이상의 NO₃-N이 하천으로 유입되는 것으로 나타났다. 따라서, 하천 수변구역에 뿌리가 발달한 교목림을 조성하여 기저유출로 하천에 유입되는 NO₃-N을 저감시킬 수 있는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

하천의 부영양화에 큰 영향을 미치는 T-P의 농도는 7월~8월에 높은 값을 보였으나, 7~8월을 제외한 전체연구기간동안 T-P의 농도는 0.3 mg/L 이하로 나타났다. 이는 호소수질환경기준 I 등급의 T-P 농도가 0.01 mg/L임을 감안하면 월곡리 하천수의 T-P농도는 매우 높은 것으로 나타났다. 비강우기간의 T-P 농도는 대부분이 토양에 흡착되어 있기 때문에 하천으로 유입이 거의 발생하지 않지만, 많은 양의 강우가 발생한 7~8월에는 직접유출에 의한 토양유실로 인하여 토양에 흡착되어 있는 T-P가 하천으로 유입되는 것으로 나타나 강우가 T-P의 하천유입에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

최(2001)는 전통농업지역인 강원도 춘천시 방동리와 수동리 하천의 경우 T-N의 농도범위는 2.056~14.563 mg/L(평

균 5.66~5.751 mg/L), T-P의 농도범위는 0.008~0.132 mg/L(평균 0.031~0.041 mg/L)의 농도특성을 보이는 것으로 조사하였다. 방동리와 수동리 유역은 월곡리 유역 인근에 위치하고 있으며 영농활동, 지역의 토질 및 토성, 주거형태, 강우형태, 하천의 이용 및 형상 등 하천오염에 영향을 미칠 수 있는 많은 인자들이 거의 유사한 것으로 조사되었다. 실제로, 월곡리 하천의 T-N 농도는 1.35~16.56 mg/L로 나타나 방동리와 수동리 하천과 비교하여 거의 유사한 농도특성을 보였다. 하지만 방동리와 수동리 하천의 T-P 농도는 평균적으로 호소수질환경기준 II 등급(0.03 mg/L 이하)정도로 나타났으나 월곡리 하천의 T-P의 평균농도는 0.197 mg/L로 등급의 수질로 나타났다. 이는 월곡리 상류에 위치하는 춘천 옥광산과 양로원(무지개 마을)에서 배출되는 영양염류가 T-P 농도를 높임으로써 하천의 조류발생을 촉진하였으며, 발생한 조류가 생장을 멈추면서 하상단면에서 떨어져 나와 하천의 질소농도를 높이는 것으로 판단되었다. 전통적인 농업지역인 방동리와 수동리 하천에서는 하천에서 많은 조류발생이 관측되지 않았다. 그러나 유사한 농업지역이지만 점오염원에서 영양염류가 배출되는 월곡리 하천에서는 심한 조류의 발생이 지속적으로 관측되었다. 따라서 영양염류가 유입되는 하천의 수질은 지하수와 지표수를 통해 유입되는 오염원 뿐만 아니라 하천 자체에서 발생하는 조류에도 많은 영향을 받는 것으로 판단되었다.

3.3. 오염부하산정

월곡리 소하천의 하천유량 및 기저유출에 따른 NO₃-N, T-N 및 T-P의 오염부하특성을 분석하였다(Table 3). NO₃-N, T-N 및 T-P의 월별 하천오염부하는 0.11~7.29 kg/ha, 0.5~23.07 kg/ha, 0.004~0.762 kg/ha로 나타났다. NO₃-N, T-N 및 T-P의 최대농도는 530 mm 이상의 강우가 발생한 7월에 각각 7.29 kg/ha, 23.07 kg/ha, 0.762 kg/ha로 가장 높게 나타났으며, 100 mm 이상의 강우가 발생한 5월부터 9월까지 4개월 동안 NO₃-N, T-N 및 T-P의 연부하량의

Table 3. Pollutant Loads driven by the streamflow and the Baseflow

<Unit: kg/ha>

DATE	Streamflow load			Baseflow load		
	NO ₃ -N	T-N	T-P	NO ₃ -N	T-N	T-P
Apr. 2004	0.16	0.50	0.074	0.12	0.38	0.060
May 2004	0.33	1.07	0.050	0.11	0.36	0.016
Jun. 2004	1.60	5.28	0.201	1.29	4.04	0.160
Jul. 2004	7.29	23.07	0.579	2.82	8.97	0.164
Aug. 2004	2.03	6.7	0.762	1.01	2.79	0.066
Sep. 2004	0.77	2.73	0.097	0.56	1.87	0.028
Oct. 2004	0.61	2.04	0.066	0.53	1.75	0.031
Nov. 2004	0.26	0.86	0.007	0.25	0.84	0.007
Dec. 2004	0.24	0.79	0.008	0.20	0.65	0.007
Jan. 2005	0.16	0.93	0.004	0.16	0.92	0.004
Feb. 2005	0.29	1.28	0.004	0.28	1.22	0.004
Mar. 2005	0.11	0.67	0.035	0.10	0.61	0.035
Total	13.85	45.92	1.887	7.43	24.70	0.582

84% 82%, 86%의 오염부하가 발생하여 오염부하특성이 강우와 유출량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 비강우기간동안 농업유역에 퇴적된 오염물질이 강우기간동안 직접유출수에 의해 하천에 유입된 것으로 판단되었다. 월별 오염부하는 2004년 4월부터 7월까지 증가하였으나 이후 감소하는 경향을 보였다.

7월의 기저유출에 의한 NO₃-N, T-N 및 T-P의 오염부하는 2.82 kg/ha, 8.97 kg/ha, 0.164 kg/ha로 높게 나타났으며, 5월부터 9월까지 4개월동안 NO₃-N, T-N 및 T-P의 연부하량의 72%, 76% 72%가 발생하는 것으로 나타났다. 하천의 NO₃-N, T-N 및 T-P 오염부하는 13.85 kg/ha, 45.92 kg/ha, 1.887 kg/ha로 나타났으며, 기저유출에 의한 오염부하는 7.43 kg/ha, 24.70 kg/ha, 0.582 kg/ha로 나타났다.

NO₃-N과 T-N의 기저유출에 의한 오염부하는 각각 총오염부하의 약 53%로써 직접유출에 의한 오염부하 47%보다 다소 높게 나타났다. 기저유출에 의한 T-P의 오염부하는 총오염부하의 30%로 기저유출보다는 직접유출에 의해 더 큰 영향(70%)을 받는 것으로 나타났다(Table 4). 비강우시의 T-P는 토양입자에 흡착되어 있기 때문에 하천으로 유입이 거의 발생하지 않는 반면에 여름철 홍수기간에는 토양에 흡착되어 있던 T-P가 직접유출수에 의해 하천으로 유입되기 때문에 T-P의 오염부하는 직접유출(70%)에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다. T-N의 오염부하는 홍수기간인 7~8월에 특히 많이 발생하였으나 NO₃-N의 오염부하는 비강우기간동안에도 일정량 이상의 오염부하가 꾸준히 발생하기 때문에 하천의 수질개선을 위해서는 홍수기간 뿐만 아니라 비강우기간에 기저유출 형태로 하천에 유입되는 NO₃-N 오염부하를 저감시키기 위한 노력이 필요할 것으로 판단되었다. 하천의 부영양화에 큰 영향을 미치는 T-P의 경우에는 7~8월의 홍수기간에 집중되어 발생한다. 따라서 여름철 집중호우기간동안의 토양유실과 같은 T-P가 발생할 수 있는 원인을 분석하여 T-P의 하천유입을 최소화 할 수 있는 최적관리방안의 수립이 필요한 것으로 판단되었다.

Table 4. Comparison of Pollutant Loads by the direct runoff and the baseflow

Pollutants	Load %	% of Direct Runoff Loads	% of Baseflow Loads
NO ₃ -N		47	53
T-N		47	53
T-P		70	30

4. 결론

본 연구에서는 한강 상류 농업유역 소하천에 수위 관측 지점을 선정하여 2004년 4월부터 2005년 3월까지의 하천 유량에서 기저유출을 분리하여 오염부하특성을 분석하였다.

1) 월곡리 하천의 기저유출률은 연 63%로 직접유출보다 높은 것으로 나타났다. 기저유출률은 7월에 35%로 가장 낮게 나타났으며, 월유출이 연유출의 10% 미만일

때에 기저유출률이 84~99%로 매우 높게 나타나 월곡리 유역의 수문특성이 직접유출보다 기저유출에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

- 2) NO₃-N, T-N, 및 T-P의 유량가중평균농도는 각각 1.41 mg/L, 4.70 mg/L, 0.187 mg/L로 매우 높게 나타났으며, 특히 T-N의 유량가중평균농도는 NO₃-N 보다 3배 이상 높은 것으로 나타나 하천수내의 유기질소의 함량이 높은 것으로 나타났다.
- 3) T-N과 NO₃-N의 농도특성은 강우와 유출량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. T-N과 NO₃-N의 농도는 여름철에 가장 높게 나타났으며, 이후 가을철에 감소하는 경향을 보였으나 겨울철인 11월 중순부터 다시 증가하였다.
- 4) 월곡리 하천의 T-N의 농도는 인근유역의 방동리 및 수동리와 유사한 것으로 나타났으나, T-P의 농도는 월곡리 하천에서 매우 높게 나타났다. 이는 관측지점 상류의 점오염원에서 배출되는 영양염류가 하천의 조류발생을 촉진함으로써 조류의 일부가 T-N 농도를 높이는 데 기여하는 것으로 생각되었다.
- 5) 하천유량과 기저유출의 NO₃-N, T-N 및 T-P의 오염부하는 각각 13.85 kg/ha, 45.92 kg/ha, 1.887 kg/ha와 7.43 kg/ha, 24.70 kg/ha, 0.582 kg/ha로 나타났다. NO₃-N과 T-N의 기저유출에 의한 오염부하는 전체오염부하의 각각 53%로 직접유출에 의한 오염부하(각각 47%)보다 다소 높게 나타났으며, T-P의 경우 기저유출에 의한 오염부하가 30%로 T-P의 오염부하는 직접유출에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구에서 산정된 오염부하특성은 1년간의 짧은 연구기간동안 수행되었기 때문에 농업유역에서 발생하는 기저유출에 의한 오염부하특성을 명확히 평가하기에는 미흡한 것으로 사료된다. 따라서 농업유역의 발생하는 오염부하특성을 정량적으로 평가하기 위해서는 장기간의 모니터링이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2004년도 한강수계관리위원회(한강유역환경청)에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과와 일부로 연구지원에 감사한다.

참고문헌

최중대, 이찬만, 최예환, 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, *한국수자원학회논문집*, 32(4), pp. 501-510 (1999).

최중대, 농업소유역의 지하수 수질과 하천수질 평가, 강원대학교 환경연구소 중점연구소 지원 연구결과 및 연례 학술발표회 논문집, pp. 5-9 (2001).

환경부, 수질오염공정시험법 (1996).

한강수계관리위원회, 친환경적 농업관리에 의한 오염부하의 저감효과 분석 (2003).

Arnold, J. G. and Allen, P. M., Validation of Automated

- Methods for Estimating Baseflow and Groundwater Recharge from Stream Flow Records, *J. Am. Water Resour. Asso.*, **35**(2), pp. 411-424 (1999).
- Eckhardt, K., How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation, *Hydrol. Process.*, **19**(2), pp. 507-515 (2005).
- Hallberg, G. R., Nitrates in Ground Water in Iowa. In: D'Itri, F.M., Wolfson, L. G. (Eds.), *Rural Ground Water Contamination*, Lewis, Chelsea Michigan (1987).
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S. and Tripathy, D., Automated Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool, WHAT. *J. Am. Water Resour. Asso.*, **41**(6), pp. 1407-1416 (2005).
- Lyne, V. D. and Hollick, M., Stochastic Time-variable Rainfall-runoff Modeling, *Proceedings of Hydro. and Water Resour. Symp.*, Institution of Engineers Australia, Perth. pp. 89-92 (1979).
- Nahatan, R. J. and McMahon, T. A., Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis, *Water Resour. Res.*, **26**(7), pp. 1465-1473 (1990).
- Schilling, K. E., Chemical Transport from Paired Agricultural and Restored Prairie Watersheds, *J. Environ. Qual.*, **31**, pp. 1846-1851 (2002).
- Schilling, K. and Zhang, Y., Baseflow Contribution to Nitrate-nitrogen Export from a Large, agricultural watershed, USA., *J. of Hydrol.*, **295**, pp. 305-316 (2004).
- Zecharias, Y. B. and Brutsaert, W., Recession Characteristics of Groundwater Outflow and Baseflow from Mountainous watersheds, *Water Resour. Res.*, **24**(10), pp. 1651-1658 (1988).