

하천 수질의 계절적 변화에 미치는 유량과 토지이용의 영향

한미덕 · 박신정 · 최승석* · 김종찬* · 이창희 · 남궁은 · 정욱진†

명지대학교 환경생명공학과

*경기도보건환경연구원

The Effects of Flow and Land Use Types on Seasonal Variations of Water Quality in Streams

Mideok Han · Shinjuong Park · Seungseok Choi* · Jongchan Kim* · Changhee Lee · Eun Namkung · Wookjin Chung†

Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji University

*Gyeonggi-do Research Institute of Health & Environment

(Received 20 November 2008, Revised 2 April 2009, Accepted 5 June 2009)

Abstract

We examined the effects of land cover types on water quality based on data surveyed during April 2007-February 2008 from 178 sites of 111 streams in Paldang watershed. BOD, COD, DO, SS, T-N, and T-P concentrations of spring and summer were strongly and significantly associated with the first principal component of the proportions of eight land cover types, and differences between all parameter's concentration except SS and T-N of spring and summer were insignificantly related with them. SS and T-N concentration of summer were significantly correlated with increase and decrease of stream flow. T-P concentration of spring was the most significantly related with the second principal component which was positively correlated with the proportions of residential and forest land covers and was negatively correlated with the proportions of paddy and grass land covers. It is necessary to manage land use of the upper watershed and stream flow for improvement in water quality because seasonal variations of each water quality parameter are dependent upon land cover and flow variations.

keywords : Flow, Land use, Paldang, Seasonal variation, Water quality

1. 서론

하천내 수질농도는 공장, 폐수 처리장, 발전소, 폐광, 석유탱크, 유정 등과 같이 특정 위치에서 하수관이나 도랑을 통하여 배출되는 점오염원과 경작지, 목장, 삼림벌채지역, 도시지역, 공사장, 주차장, 도로 등의 지역으로부터의 지표 유출수나 지하수를 통해 배출되는 비점오염원에 의해서 결정된다(김성수 등, 2002; 이호준 등, 1999). 이러한 점오염원 및 비점오염원의 배출정도와 더불어 강우에 따른 유량변화는 하천내 이화학적 변화의 주요 변수로 알려져 있으며, 국내와 같이 강수량의 2/3이상이 하절기에 집중되어 있는 몬순강우지역의 경우, 수체내 수질 특성 변화폭은 유량변화에 매우 민감하게 반응하게 된다(강태호, 1998; 안광국 등, 2001; 양해근, 1995). 특히 하절기 집중강우 시의 수질 변화는 토지이용 및 피복 상태에 의해 크게 영향을 받게 되며, 이러한 비점오염원 유입특성에 대한 평가분석은 하천내 수질을 관리하는데 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다.

그러나 비점오염원이 수질에 미치는 영향에 관한 기존의 연구를 살펴보면, 대부분이 오염원이 밀집되어 있는 특정

지점의 호소나 하천을 대상으로 하고 있으며, 오염원과 수질의 관계를 밝히기 보다는 특정 지표의 변화에 초점을 맞추고 있다(김종민 등, 2002; 허우명 등, 2000). 이러한 이유는 수질에 영향을 미치는 주요 인자들을 추출하는 것은 용이하지만, 수질 및 유량 데이터의 경우 시·공간적으로 조밀하게 관측되고 있지 않기 때문에 주요 인자들의 수질에 미치는 영향을 종합적이고 정량적으로 파악하는 것이 쉽지 않기 때문이다(김상단 등, 2004).

본 연구에서는 수질 및 유량 데이터를 바탕으로 봄과 여름에 나타나는 수질항목과 유량의 변화패턴을 GIS를 이용하여 시각적으로 분석하고, 이러한 변화의 원인분석을 위해 토지이용 및 토지피복, 인구 등의 환경데이터를 이용한 회귀분석을 실시하였다. 수질 및 유량에 관한 데이터는 팔당수계의 178개 지점에서 측정된 것으로, 하절기를 포함하는 10개월 동안 8일 간격으로 측정함으로써 보다 체계적이고 세밀한 데이터를 얻을 수 있었다.

2. 연구 방법

2.1. 수질데이터의 수집

본 연구에서는 팔당호로 유입되는 경안천(42개 지점), 북한강(41개 지점), 남한강(95개 지점) 수계로의 총 178개 지

† To whom correspondence should be addressed.

wjc0828@gmail.com

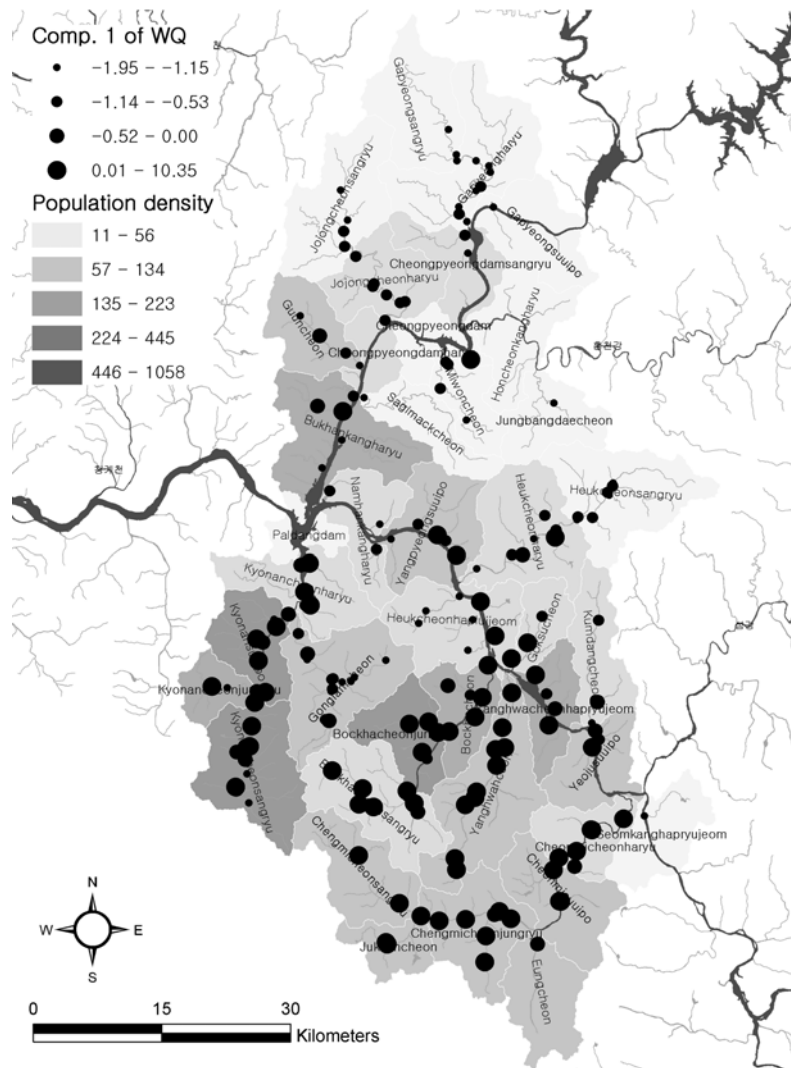


Fig. 1. The first principal component of the water quality and people population density in 40 unit watersheds.

점(Fig. 1)에서 측정된 유량(m^3/sec), 용존산소(DO : Dissolved Oxygen, mg/L), 생물학적산소요구량(BOD : Biological Oxygen Demand, mg/L), 화학적산소요구량(COD : Chemical Oxygen Demand, mg/L), 부유물질(SS : Suspended Solids, mg/L), 총질소(T-N : Total Nitrogen, mg/L), 총인(T-P : Total Phosphorus, mg/L) 등 7개 항목에 대한 데이터를 이용하였다. 조사기간은 2007년 4월부터 2008년 2월까지이며 8일 간격으로 지속적인 모니터링을 실시하였다.

2.2. 토지피복도에 대한 주성분 분석

봄(3, 4, 5월)과 여름(6, 7, 8월)사이의 각 수질항목별 증가에 미치는 토지피복도별 영향을 밝히기 위해 주성분분석(Principal Components Analysis)을 실시하였으며, 수질항목별 계절적 변화에 대해서 GIS를 이용하여 시간적으로 분석하였다. 주성분분석은 서로 상관관계가 높은 다수의 지표를 통합한 종합적인 지표를 제시하고 회귀분석에 이용될 종합적인 지표를 추출하기 위해서 이루어졌다. 주성분 분석에 이용된 변수로는 수역, 시가지지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭의 면적이 이용되었으며 각각의 변수의 측정단위가

같고, 각 변수의 산포도 차이를 반영하기 위해서 데이터를 표준화하지 않고 직접 원 데이터에 대해서 주성분분석을 적용하는 방법인 「분산공분산행렬로부터 출발하는 주성분분석」을 적용하였다. 분석은 S-plus 3.0을 이용하여 실시되었다.

2.3. 회귀분석

봄과 여름철의 평균농도와 봄에서 여름사이의 농도차에 미치는 토지피복도별 영향에 대해서 회귀분석을 실시하고 평가하였다. 회귀분석에 이용된 설명변수로는 토지피복도 5개의 주성분(Table 1, Comp.1-Comp.5), 표준유역별 인구밀도(Table 2, Pop.), 봄에서 여름까지의 유량 증가율(Table 2, flow)이다. 8개 토지피복 대상항목들로부터 주성분분석에 의하여 산출한 기여율과 각 대상항목들의 요인부하는 Table 1에 나타나 있다. Comp.1의 기여율은 75.9%로서 이는 전체 토지피복 변동의 분산 중에서 Comp.1이 75.9%를 설명하고 있음을 의미한다. Comp.1에서 Comp.5까지의 누적기여율은 98.7%로 5개의 주성분이 8개의 토지피복 대상항목의 대부분을 설명하는 것으로 나타났다. 따라서 회귀분석에는 Comp. 6에서 Comp. 8의 3개 주성분을 제외한

Table 1. Principal components analysis of the proportion of eight land cover types

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Water	-0.002	0.006	0.001	0.007	0.012	0.003	-0.935	0.354
Residential	-0.013	0.311	0.489	0.154	-0.627	-0.326	0.128	0.354
Bare	-0.053	-0.262	0.598	-0.517	0.296	0.270	0.134	0.354
Wetland	0.108	0.027	0.072	0.726	0.205	0.518	0.143	0.354
Grass	-0.743	-0.381	-0.344	0.026	-0.205	-0.009	0.130	0.354
Forest	0.036	0.082	-0.080	0.122	0.594	-0.688	0.140	0.354
Paddy	0.009	0.683	-0.404	-0.387	0.011	0.278	0.136	0.354
Crop	0.657	-0.464	-0.333	-0.131	-0.286	-0.046	0.124	0.354
Cumulative proportion	0.759	0.869	0.936	0.968	0.987	1.000	1.000	1.000

Table 2. Coefficients estimated by multiple regression analysis

Parameter	Variable	Spring				Summer				Diff. in spring and summer			
		Coeff.	Std. Error	Std. Coeff.	F-value	Coeff.	Std. Error	Std. Coeff.	F-value	Coeff.	Std. Error	Std. Coeff.	F-value
BOD ^a	Comp.1	-1.18	0.248	-0.33	27.97 ^b	-0.45	0.100	-0.32	22.54 ^b	0.76	0.165	0.32	28.09 ^b
	Comp.2	1.07	0.358	0.21	13.20 ^b	0.28	0.145	0.14	5.95	-0.83	0.238	-0.25	17.04 ^b
	Comp.3	0.56	0.399	0.10	0.72	0.11	0.161	0.05	0.01	-0.44	0.265	-0.12	1.62
	Comp.4	0.23	0.463	0.04	0.29	0.28	0.187	0.11	2.38	0.09	0.308	0.02	0.07
	Comp.5	-1.14	0.644	-0.15	3.12	-0.39	0.260	-0.13	2.22	0.71	0.429	0.14	2.75
	Flow	0.02	0.023	0.05	3.48	0.01	0.009	0.10	5.47	0.02	0.015	0.09	0.02
	Pop.	0.00	0.002	0.15	15.23 ^b	0.00	0.001	0.18	17.42 ^b	0.00	0.001	-0.12	11.39 ^b
COD ^a	Comp.1	-1.22	0.162	-0.47	69.49 ^b	-0.70	0.102	-0.46	54.87 ^b	0.54	0.104	0.35	35.44 ^b
	Comp.2	0.86	0.234	0.23	20.71 ^b	0.23	0.148	0.11	4.66	-0.66	0.151	-0.30	26.20 ^b
	Comp.3	0.66	0.260	0.16	3.13	0.38	0.164	0.16	3.50	-0.28	0.168	-0.12	0.92
	Comp.4	0.31	0.302	0.06	1.13	0.01	0.191	0.00	0.01	-0.26	0.195	-0.09	1.91
	Comp.5	-1.04	0.421	-0.18	6.08	-0.48	0.265	-0.14	3.24	0.53	0.271	0.16	3.79
	Flow	0.00	0.015	0.02	3.50	0.01	0.009	0.04	3.80	0.02	0.010	0.13	0.70
	Pop.	0.00	0.001	0.11	18.85 ^b	0.00	0.001	0.15	14.26 ^b	0.00	0.001	-0.05	9.52 ^b
DO ^a	Comp.1	0.44	0.068	0.44	51.51 ^b	0.14	0.032	0.32	20.84 ^b	-0.29	0.061	-0.34	29.03 ^b
	Comp.2	-0.24	0.098	-0.17	7.65	-0.06	0.046	-0.10	4.60	0.16	0.088	0.13	3.29
	Comp.3	-0.11	0.110	-0.07	0.69	-0.12	0.051	-0.18	2.15	-0.01	0.098	-0.01	0.01
	Comp.4	0.00	0.127	0.00	0.00	-0.12	0.060	-0.15	4.35	-0.11	0.114	-0.07	0.90
	Comp.5	0.15	0.177	0.07	0.73	0.20	0.083	0.21	6.06	0.04	0.159	0.02	0.05
	Flow	-0.01	0.006	-0.10	7.78	0.00	0.003	-0.07	2.68	0.02	0.006	0.19	15.21 ^b
	Pop.	0.00	0.001	0.11	1.20	0.00	0.000	0.13	0.59	0.00	0.001	-0.07	2.78
SS ^a	Comp.1	-8.49	1.479	-0.40	37.41 ^b	-5.17	1.637	-0.23	14.05 ^b	3.35	2.170	0.12	1.84
	Comp.2	2.78	2.136	0.09	4.43	0.39	2.365	0.01	0.14	-2.43	3.134	-0.06	1.34
	Comp.3	7.68	2.377	0.23	6.16	8.88	2.632	0.25	12.81 ^b	1.20	3.488	0.03	1.01
	Comp.4	2.18	2.762	0.06	0.70	-7.10	3.057	-0.17	5.32	-9.24	4.051	-0.18	5.29
	Comp.5	-10.03	3.845	-0.22	6.80 ^b	-3.82	4.256	-0.08	0.81	6.17	5.641	0.10	1.20
	Flow	0.06	0.136	0.03	2.12	0.30	0.151	0.14	8.46 ^b	0.26	0.200	0.10	1.70
	Pop.	-0.01	0.011	-0.09	1.05	0.01	0.012	0.06	1.27	0.02	0.016	0.11	0.02
T-N ^a	Comp.1	-0.03	0.085	-0.03	0.09	-0.10	0.054	-0.13	2.85	-0.05	0.048	-0.09	1.01
	Comp.2	0.09	0.122	0.06	1.29	0.07	0.077	0.07	2.84	-0.04	0.069	-0.04	0.13
	Comp.3	0.10	0.136	0.06	0.05	0.10	0.086	0.09	0.16	0.01	0.076	0.01	0.00
	Comp.4	0.17	0.158	0.08	1.15	0.11	0.100	0.08	1.22	-0.04	0.089	-0.04	0.20
	Comp.5	-0.27	0.220	-0.11	1.50	-0.33	0.139	-0.21	5.53	-0.08	0.123	-0.06	0.37
	Flow	0.02	0.008	0.20	7.74 ^b	0.01	0.005	0.17	7.49 ^b	0.00	0.004	0.03	0.22
	Pop.	0.00	0.001	0.10	7.91 ^b	0.00	0.000	0.14	16.53 ^b	0.00	0.000	-0.04	0.25
T-P ^a	Comp.1	-0.01	0.025	-0.03	3.16	-0.02	0.005	-0.30	23.07 ^b	-0.01	0.025	-0.03	0.74
	Comp.2	0.16	0.037	0.33	14.71 ^b	0.02	0.007	0.18	8.20	-0.14	0.036	-0.31	11.20 ^b
	Comp.3	0.06	0.041	0.12	4.49	0.01	0.008	0.14	2.14	-0.05	0.040	-0.09	3.53
	Comp.4	0.06	0.047	0.09	1.36	0.01	0.009	0.08	1.28	-0.05	0.046	-0.08	1.00
	Comp.5	0.15	0.066	0.20	4.90	-0.01	0.012	-0.09	1.11	-0.16	0.065	-0.22	5.98
	Flow	0.00	0.002	-0.06	0.01	0.00	0.000	0.07	3.91	0.00	0.002	0.06	0.06
	Pop.	0.00	0.000	0.00	0.05	0.00	0.000	0.11	10.08 ^b	0.00	0.000	0.02	0.15

^a A multiple regression analysis was carried out using the S-plus, ^b $P < 0.01$

Comp.1에서 Comp.5까지의 5개의 주성분을 적용하였다. 토지피복의 공간적 단위는 오염원, 수질, 수문자료를 연계 분석할 수 있도록 하기 위하여, 2002년 4월 물관련 중앙부서(건교부, 농림부, 환경부)차원에서 표준화한 물관리공통유역도를 기초로 작성된 환경부의 한강수계 표준유역도로부터 동일분수계 단위의 배수구역을 설정하였다. 또한 토지피복도 자료는 2000년 기준의 데이터로 국가수자원정보시스템(WAMIS : <http://www.wamis.go.kr/>)에서 공개하고 있는 데이터를 이용하였으며 ArcGIS 9.2를 사용하여 표준유역별로 추출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인구밀도와 수질오염도의 관계

총 40개 표준유역의 인구밀도를 살펴보면 북한강 하류, 경안천수위표, 경안천 상류, 북한천 중류에서 500 명/km² 이상의 가장 높은 인구 밀집도를 보였다(Fig. 1). 인구밀도와 수질항목별 제1주성분의 관계를 분석한 결과, 경안천 수계는 0.99, 북한강 수계는 0.54, 남한강 수계는 0.34의 상관계수를 보였다. 수질항목별 제1주성분은 DO와는 역(逆)관

계를, BOD, COD, SS, T-N, T-P와는 정(正)관계를 보임에 따라 제1주성분의 값이 클수록 수질오염도가 심각하다는 것으로 해석할 수 있다. 즉 인구가 밀집되어 있는 지역일수록 수질오염도가 높아진다고 할 수 있다(Fig. 1). 이러한 결과는 일반적으로 알려져 있는 기존의 연구결과와 동일한 결과로 해석된다. 또한 경안천 수계에서 인구밀도와 수질항목별 제1주성분의 관계가 0.99로 가장 높게 나타남에 따라 다른 수계에 비해 인구밀집도와 수질간의 관계가 가장 밀접한 것으로 판단된다. 임양재 등(1995)의 경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질 변화에 대한 연구에서 역시 도시면적이 증가할수록 용존산소량이 감소하고 BOD는 증가하는 경향을 밝힌 바 있으며, 용인과 같은 도시지역을 유하하면서 DO는 매우 낮아지고 BOD는 높아지는 연구결과가 있다.

3.2. 유량 및 수질의 계절적 변화

봄철과 여름철사이의 유량변화를 살펴보면, Fig. 2와 같이 경안천 전체, 북한천 상류, 곡수천, 금당천에서 변동폭이 높은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 유량의 변동들은 토지피복별 주성분과는 유의하지 않은 관계를 보임에 따라

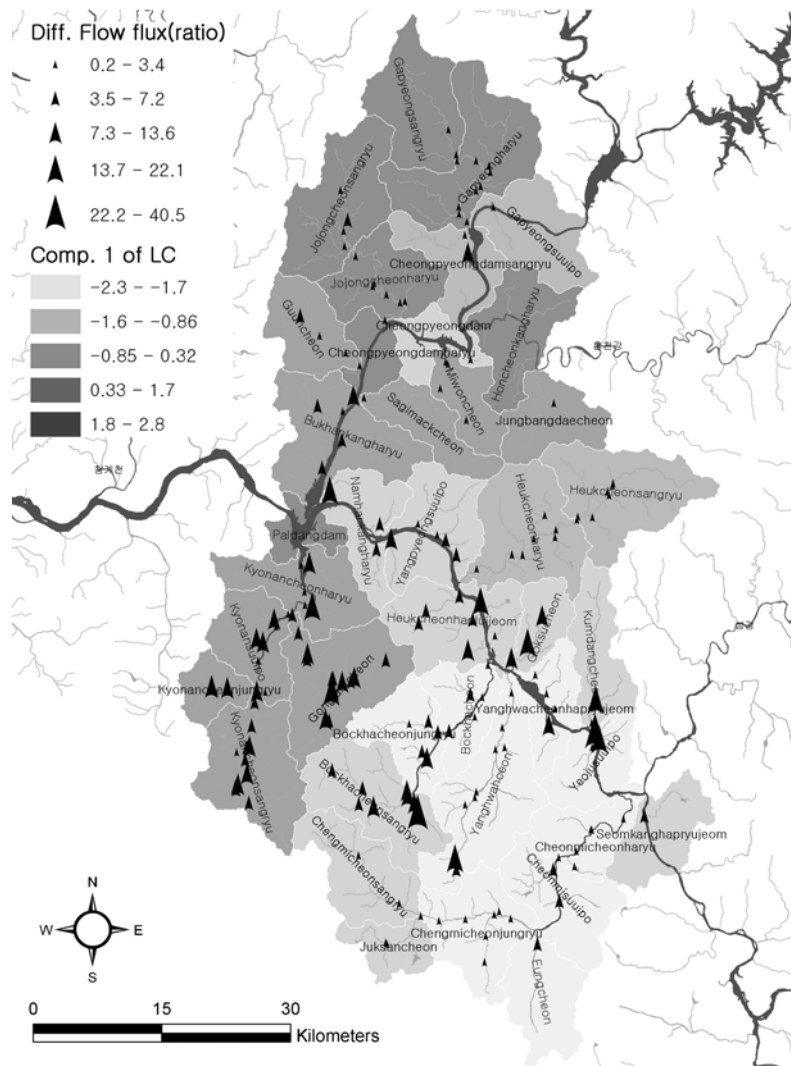


Fig. 2. Difference in flow flux and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

유량 변동률은 절대적으로 강우에 의해서 좌우된다고 판단된다. 물론 이러한 결론은 전체 유역면적 대비 불투수성을 보이는 피복분류와 저류기능이 큰 논이나 밭의 영향이 차지하는 비율이 낮은 유역에서는 유의할 수 있으나 불투수율이 큰 도시유역과 논이 많은 평야에서는 보다 신중한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 예를 들면 모내기, 씨뿌리기, 밭갈이 등의 농업활동이 활발히 진행되는 5, 6월의 경우 논이나 밭의 면적이 넓은 유역의 경우 하천의 유하하는 유량의 감소는 당연한 결과이기 때문이다.

또한 각 수질항목별 봄철에서 여름철 사이의 변화를 분석한 결과, COD와 BOD는 모든 하천의 상류지역에서 유량의 증가에 의해서 농도가 낮아지는 경향을 보였으나 일부 하천의 하류지역에서는 상류로부터 유입된 유기물의 영향에 의해 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3,4). DO는 북한천, 양화천, 청미천, 흑천의 일부지점을 제외하고 봄철에서 여름철로 접어들면서 수온이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). SS는 경안천과 남한강 유역의 모든 하천에서 여름철 강우에 의한 부유물이나 토사유출로 인해 증가하는 패턴을 보였다(Fig. 6). 그러나 유역내 산림면적비가 높은 조종천과 가평천에서는 오히려 여름철이 봄철보다 SS 농도가 낮은 것으로 나타났다.

봄철과 여름철 사이의 T-N은 북한강수계의 대부분의 지점과 남한강수계의 흑천에서 전체적으로 감소하였으나 청

미천, 북한천, 양화천, 경안천의 다수의 지점에서는 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 이러한 이유의 한가지로 생각할 수 있는 것은 북한강수계의 경우 대부분의 유역경사가 급한 이유로 다른 수계에 비해 강우에 의한 영양염류인 T-N의 하천 유입이 용이할 것으로 판단되며 50 mm이상의 집중강우가 있었던 봄철인 5월에 3~4월에 농경지 등에 살포되었던 비료 등의 대부분의 유기물 성분이 하천으로 유입되어 봄철 T-N 농도를 높인 반면 여름철의 폭우 등에 의한 유기물의 하천유입을 저감시킨 결과로 판단된다.

앞서 언급된 수질항목들이 수계별로 다른 특징을 보였다면 T-P는 표준유역별로 다른 특징을 보였다고 할 수 있다(Fig. 8). 예를 들면 경안천 수계의 경우 경안천 상·중·하류에서는 전체적으로 감소한 반면 곤지암천에서는 증가하였고, 조종천이나 가평천에서는 상류에서는 감소하는 반면 하류에서는 증가하였다. 이러한 영양염류는 토사유출, 농경지로부터의 지표배출, 지하수 배출, 하수처리장으로부터의 배출 등 여러 가지 원인에 의해서 하천으로 유입되게 되며(박재홍 등, 2006), 유입된 영양염류는 상수원 부영양화의 요인물질이 된다. 따라서 이와 같은 영양염류의 이동경로를 파악하고 관리하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

3.3. 수질, 유량, 토지이용의 관계

토지피복도별 주성분분석을 통한 제1주성분은 논, 산림,

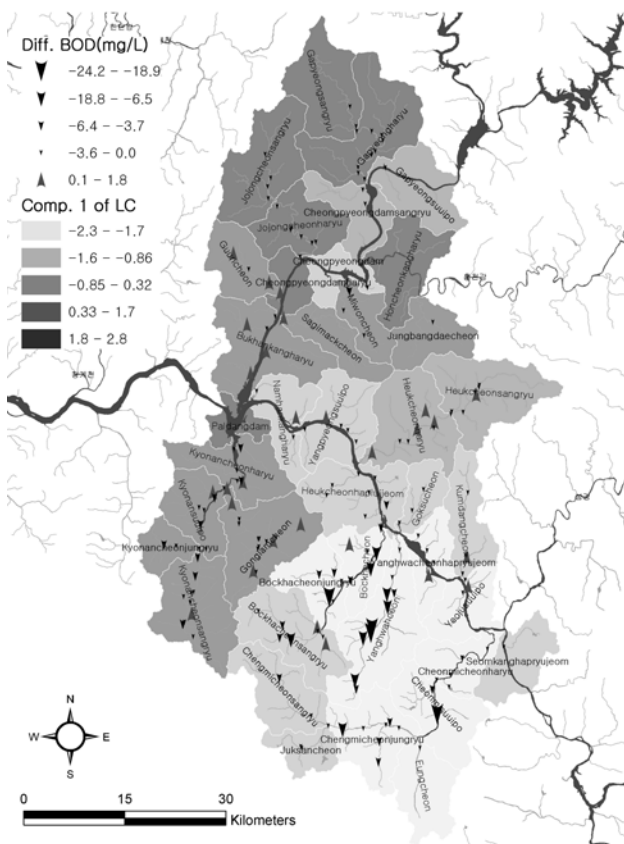


Fig. 3. Difference in BOD concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

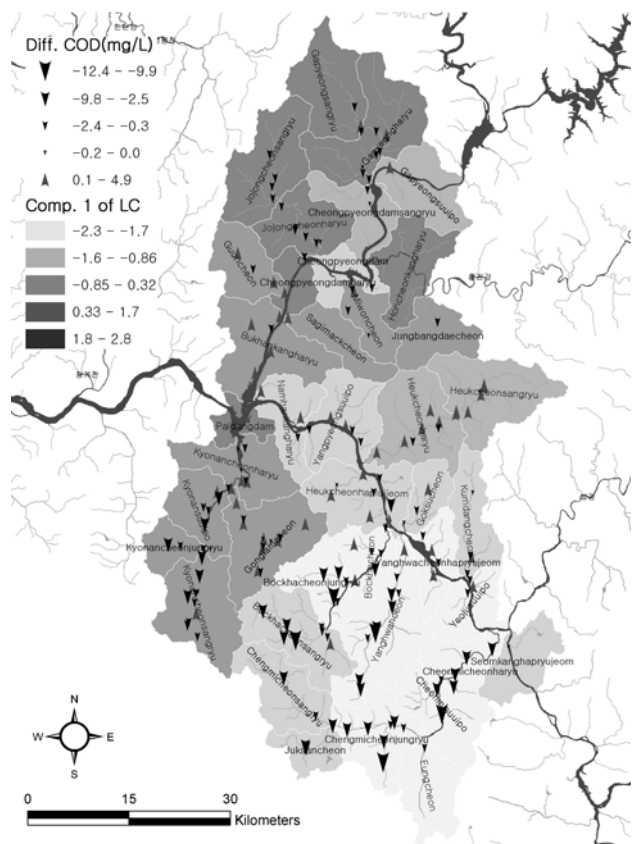


Fig. 4. Difference in COD concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

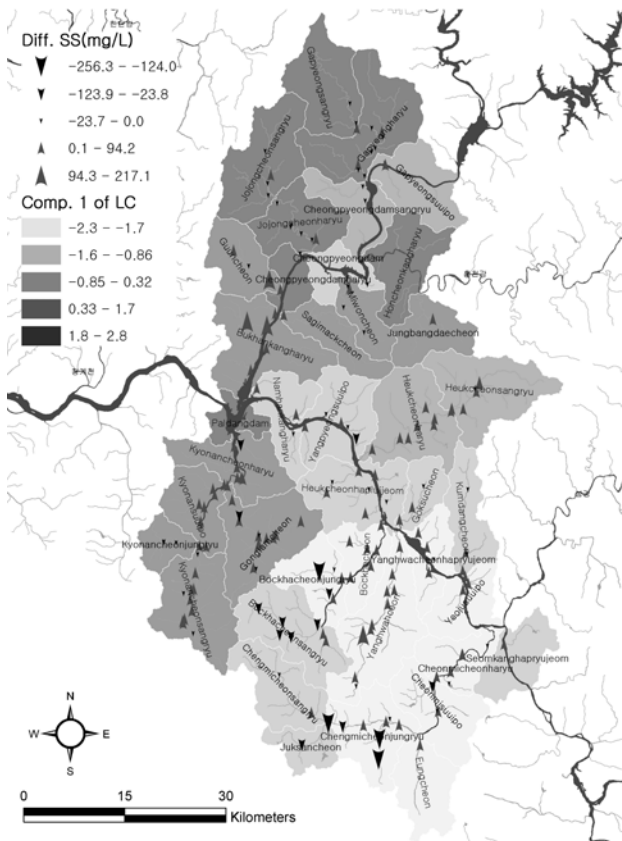


Fig. 5. Difference in DO concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

습지, 밭의 비율과는 정(正)관계를 보였고 초지, 나지, 시가화지역, 수역과는 역(逆)관계를 보였다(Table 1). 각 토지피복과 각 주성분간의 계수값이 클수록 해당 주성분에 기여하는 비율이 높은 것을 나타낸다. 즉 제1주성분값이 커질수록 밭이나 논,의 비율이 높은 유역에 해당하며 작아질수록 초지나 나지 등의 비율이 높은 것을 의미한다. 제1주성분의 기여율은 75.9%로서 이는 전체 토지피복 변동의 분산 중에서 제1주성분이 75.9%를 설명하고 있음을 의미한다. 제5주성분까지 누적된 기여율은 98.7%로 나타나 5개의 주성분을 회귀분석에 이용할 경우 전체 8개 토지피복 변동의 분산 대부분을 설명하는 것으로 나타났다. 제1주성분값이 높은 지역은 조종천 상류, 조종천 하류, 청평댐 하류 등의 중권역 순으로 나타났으며, 작은 순서대로는 청미천 중류, 북하천 중류, 여주수위표 등의 순으로 나타났다(Fig. 2).

각 수질항목의 농도를 봄, 여름, 봄과 여름사이의 농도차로 구분하여 토지피복별 주성분, 인구밀도, 유량변화를 변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과, Table 2와 같은 결과를 얻었다. 봄과 여름철 BOD농도와 농도차는 공통적으로 제1주성분과 인구밀도에 의해 유의하게($P < 0.01$, F -test) 영향을 받는 것으로 나타났으며, 제1주성분과는 역(逆)관계를 보이고 인구밀도와는 정(正)관계를 보였다. 따라서 BOD는 인구밀도가 높고 시가화나 나지의 토지피복을 가진 유역에서 높게 나타난다고 할 수 있으며, 이러한 경향은 봄철과 여름철

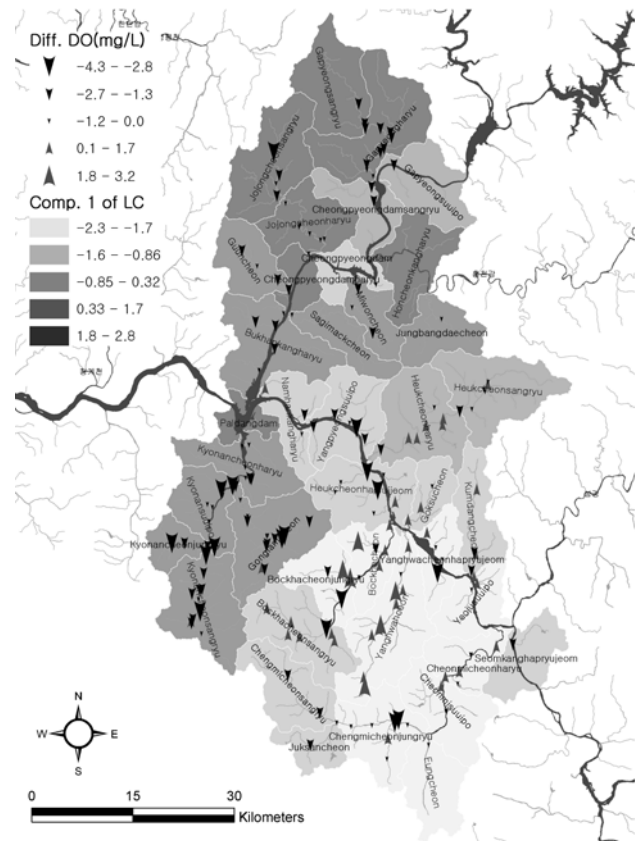


Fig. 6. Difference in SS concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

에 공통적으로 나타났고, COD 역시 BOD와 같은 패턴을 보였다. 봄과 여름철의 DO농도, 그리고 봄과 여름사이의 농도차는 공통적으로 제1주성분과 가장 유의한 관계를 보였으며, BOD나 COD와는 다르게 산림, 논, 밭의 토지피복 비율이 높은 유역에서 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

봄철과 여름철의 DO 농도차는 봄과 여름철의 유량비와도 유의한 관계를 보였으며, 유량비의 차이가 클수록 DO의 농도차도 큰 것으로 분석되었다. 봄철과 여름철의 SS가 제1주성분 및 유량 등과 유의한 관계를 보인 것과는 다르게 농도차는 어떠한 변수와도 유의한 관계를 보이지 않았다. 봄철과 여름철 모두 나지와 같이 토사유출의 가능성이 높은 지역일수록 SS가 높은 것으로 나타났다. 특히, 여름철 SS는 유량비와 정의 관계를 보임에 따라 봄철에서 여름철로 접어들면서 유량이 급격하게 증가하는 지역일수록 SS가 급격하게 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 모내기, 쪼레질, 밭갈이 등이 본격적으로 이루어지는 봄철의 경우 SS는 Comp.1과 함께 Comp.5가 유의한 변수로 분석됨. Comp. 5와 밭이 -0.286계수를 가지고 SS와 Comp.5가 -10.03의 계수를 나타냄에 따라 밭의 면적이 넓을수록 SS농도가 높은 결과를 보였다.

T-N의 경우 봄철과 여름철 공통적으로 유량비와 인구밀도와 유의한 관계를 보였으며 모두 정(正)관계를 보임에 따라, 계절에 상관없이 T-N은 유량의 변동폭이 크고 인구

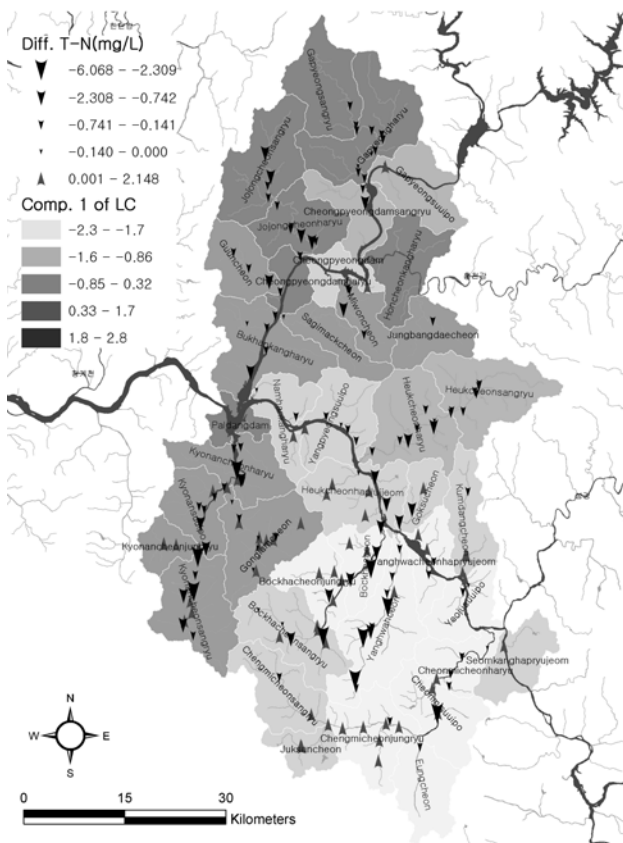


Fig. 7. Difference in T-N concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

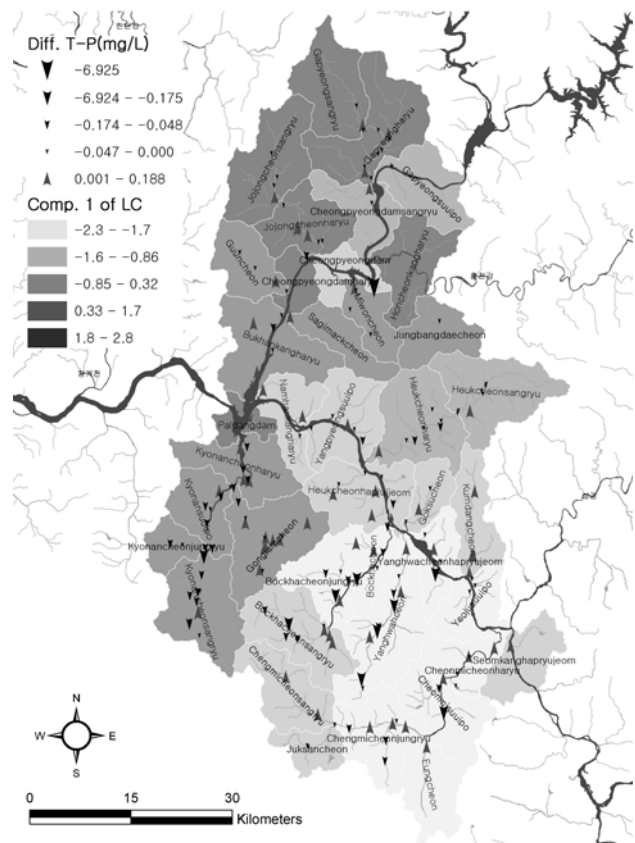


Fig. 8. Difference in T-P concentration and the first principal component of the proportions of 8 land use types in 40 unit watersheds.

가 밀집되어 있는 지역일수록 고농도를 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 농도차의 경우는 토지피복, 유량비, 인구 밀도 모두 유의하지 않은 관계를 보였다. 봄철 T-P는 7개의 변수 중 토지피복도의 제2주성분에 의해서만 유의하게 설명되었으며, 서로 정(正)관계를 보임에 따라 논, 밭의 면적비가 높고 초지의 면적비가 작은 지역일수록 봄철 T-P가 높은 것으로 나타났다.

그러나 여름철의 경우는 이와는 다르게 제1주성분과만 유의한 역(逆)관계를 보임에 따라 초지, 나지, 시가지지역의 비율이 높고 밭이나 논 등의 면적비가 작은 지역일수록 여름철 T-P가 높다고 할 수 있다. 이러한 경향은 봄철의 논과 같은 농지의 비료나 인산물질의 투입이 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. T-P는 BOD와 함께 2011년부터 시행되는 제2단계 수질 오염총량관리 대상물질로서 철저한 관리가 필요한 항목이다(박재홍 등, 2006). 따라서 T-P의 목표수질농도를 설정할 때에는 각 유역의 토지피복도 중 논이나 밭의 면적 등을 충분히 고려하여 비점오염원으로 부터의 T-P 배출량을 과소평가하지 않도록 하는 것이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 경안천, 남한강, 북한강 수계의 총 178개 지점에서의 봄철과 여름철의 수질 및 유량 패턴을 바탕

로 토지피복도가 각 수질항목에 미치는 영향에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 봄철과 여름철의 BOD, COD, DO, SS, T-P는 유역내 토지피복의 영향을 유의하게($P < 0.01$)받고 있는 것으로 나타났다. 봄철과 여름철의 BOD, COD는 밭이나 논, 논, 밭의 비율이 높은 지역에서 낮게 나타났고 봄철의 SS는 밭의 면적이 넓을수록 높게 나타나는 특징을 보였다. T-N은 유일하게 토지피복의 영향보다는 유량(봄; $F = 7.74$, 여름; $F = 7.49$)이나 인구밀도(봄; $F = 7.91$, 여름; $F = 16.53$)와 밀접한 관련을 보였다. 마지막으로 봄철의 T-P는 밭의 면적이 넓을수록 높은 농도를 유지했다. 봄과 여름철사이의 농도차는 SS와 T-N을 제외한 나머지 4개의 수질항목만이 토지피복과 유의한 관계를 보였다.
- 2) 총 40개 표준유역에 대한 계절에 따른 수질 농도의 변화를 GIS를 이용하여 공간적으로 제시함에 따라 표준유역의 수질변화 특성을 효과적으로 제시한 결과 북한강 수계에 비해 경안천이나 남한강수계의 경우 봄철과 여름철 사이의 수질항목별 농도변화가 큰 것으로 나타났으며 인구밀도가 높은 유역일수록 BOD나 COD가 높고 DO가 낮은 결과가 확연하게 드러났다.
- 3) 유량과 토지이용을 동시에 고려하여 수질의 계절적 패턴을 분석함에 따라 토지이용에 민감한 항목과 유량의 증감과 밀접하게 관련이 있는 수질항목의 구분이 가능

하도록 하였다. 또한 토지이용 및 유량이 수질항목별로 미치는 영향을 정성적으로 평가함에 따라 유역별로 필요한 관리정책의 기초자료를 제공하였다.

사 사

본 연구는 경기도보건환경연구원의 「팔당수계 하천 모니터링」 사업의 지원으로 수행되었습니다. 지원에 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 강태호(1998). 도시하천에서의 강우의 유출 및 수질 예측기법 개발에 관한 연구. 박사학위논문, 경기대학교 토목대학원.
- 국가수자원정보시스템(2000). WAMIS : <http://www.wamis.go.kr/>.
- 김상단, 송미영, 이기영, 이성룡(2004). 단순회귀모형을 이용한 인구와 도시적 토지이용이 팔당호 수질에 미치는 영향 분석. 수질보전 한국물환경학회지, **20**(6), pp. 703-707.
- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정육진(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. 대한환경공학회지, **24**(11), pp. 2019-2027.
- 김종민, 박준대, 노혜란, 한명수(2002). 소양호와 팔당호 수질의 수직 및 계절적 변화. 한국육수학회지, **35**(1), pp. 10-20.
- 박재홍, 오승영, 박배경, 공동수, 류덕희, 정동일(2006). 수질 오염총량관리를 위한 관리대상물질. 수질보전 한국물환경학회지, **22**(6), pp. 1004-1013.
- 안광국, 정승현, 최신석(2001). 생물보전지수(Index of Biological Integrity)를 이용한 평창강의 수환경 평가. 한국육수학회지, **34**(1), pp. 153-165.
- 양해근(1995). 인위적인 요인이 하천의 유량과 수질변화에 미치는 영향. 대한지리학회지, **30**(3), pp. 242-254.
- 이호준, 방제용, 김용옥(1999). 토지이용이 이월천 유역의 하천 수질에 미치는 영향. 한국생태학회지, **22**(5), pp. 235-240.
- 임양재, 김광동, 방제용(1995). 경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질의 변화. 한국생태학회지, **18**(3), pp. 341-352.
- 허우명, 권상용, 김범철, 박주현(2000). 안동호 수질의 장기적인 변화. 한국육수학회지, **33**(3), pp. 260-266.