

전북지역 농업용 하천유역의 수질과 부하량 특성

엄미정* · 문영훈¹⁾ · 안병구¹⁾ · 신용규

전라북도농업기술원 채소연구소, ¹⁾전라북도농업기술원 친환경농업연구과
(2008년 5월 30일 접수, 2008년 6월 19일 수리)

Assessment of Water Quality and Pollutant Loads on Agricultural Watershed in Jeonbuk Province

Mi-Jeong Uhm*, Young-Hun Moon¹⁾, Byung-Koo Ahn¹⁾, and Yong-Kyu Shin (Vegetables Research Institute, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Gochang 585-863, Korea, ¹⁾Division of Eco-Agricultural Research, Jeonbuk-do Agricultural Research and Extension Service, Iksan 570-140, Korea)

ABSTRACT: This study was conducted to evaluate water quality and pollutant loads on small agricultural watershed in Jeonbuk province. The EC level of investigated watershed ranged from 0.07 to 0.52 dS/m, BOD level ranged from 0.1 to 5.0 mg/L, and COD_{Cr} level ranged from 0.6 to 17.7 mg/L. As above, contents of water quality indicators covered wide range, but each indicator was alike in mean content every other year. The contents of EC, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ and Na⁺ were decreased in rainy season, but the contents of BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, T-N and T-P were not greatly different as compared to dry season. And high content of SS showed substantial sediments near the surface flow out and influence on water system in rainy season. The pollutant loads measured in terminal of watershed were 9.6~757.9 kg/day for BOD, 51.2~1418.5 kg/day for T-N and 0.3~44.7 kg/day for T-P. The pollutant loads of BOD, T-N and T-P in rainy season increased several times as compared to dry season. In rainy season, watershed with more than 30% in the proportion of paddy field to land showed relatively low discharge and pollutant loads in comparison to watershed with less than 30%. The discharge of watershed in rainy season increased 5.7times compared with the dry season in watershed with less than 30% in the proportion of paddy field to land, whereas was only 2.3times in watershed with more than 30%. The correlation coefficient (R²) of regression between discharge and pollutant loads of T-N were higher than those of BOD and T-P.

Key Words: Water quality, Pollutant loads, BOD, T-N, T-P

서론

산업화와 도시화에 따른 인구집중으로 인해 도시하수, 산업폐수 및 축산폐수의 발생량은 매년 증가되고 있으며, 하천의 수질을 오염시키는 그 경로와 점오염원의 형태는 다양해지고 부하량 또한 크게 증가하고 있다¹⁾. 이와 더불어 농촌유역에서 지표유출과 토양유실 등과 함께 광범위하게 배출되는 비점원오염도 넓은 지역에 걸쳐 존재하며 유출량이 많기 때문에 인위적인 관리가 현실적으로 불가능하고, 특히 강우에 의한 유출이 발생할 때 유역의 도처에서 집중적으로 배출되는 특징을 가지고 있다²⁾.

농업유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 구명하고, 수질오염저감의 최적관리방안을 마련하기 위해서는 대상유역에 대한 광범위한 수문, 수질 모니터링을 필요로 한다. 최근에는 농업유역을 대상으로 한 시험유역의 수문과 수질 모니터링 자료로부터 유역단위 오염부하량을 측정하고 그 특성을 분석하는 연구결과가 발표²⁻⁴⁾되고 있으며, 유역내의 수질오염 원인을 구명하고 농경지로부터의 비점원 오염부하량을 추정하기 위한 연구⁵⁻⁶⁾도 이루어지고 있다.

또한, 전북지역에서의 농업용수 수질과 관련된 조사로는 대수계인 만경강, 동진강 유역 하천에 대한 수질평가⁷⁻⁸⁾ 및 전북지역 농업용 저수지에 대한 수질조사⁹⁾ 등 자세한 연구가 실시되었지만 이에 비하여, 소규모의 하천은 수질 및 부하량을 비롯한 현황이 대하천이나 중규모 이상의 하천에 비하여 파악되지 않고 있으며 장기간동안 모니터링한 자료도 부족한

*연락처:

Tel: +82-63-561-2312 Fax: +82-63-561-3385
E-mail: mj-uhm@hanmail.net

실정이다. 이들 하천유역이 대부분 농촌지역에 위치하고 있는 점을 감안할 때, 중요 관리대상인 주요 하천과 농업환경에 부정적인 영향을 미쳐 잠재적인 하천 오염원으로 작용할 수 있기 때문에 이들 소규모 하천의 효율적인 수질관리를 위한 전반적인 실태파악이 중요하다 할 것이다.

이에 본 연구에서는 전라북도내에서 주요 농업용수원으로 사용되고 있는 소규모 하천들에 대한 수질오염 현황 및 하천 유역에서의 오염부하량을 장기간동안 조사하여, 이들의 효율적인 관리와 수질개선을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

전라북도 지역에서 농업용 관개수로 이용되는 하천의 수질 및 오염부하량 특성을 조사하기 위하여 이 지역의 대표적인 수계인 만경강, 동진강, 섬진강, 금강 및 기타 하천에 유입되는 소하천 24개소를 지역별로 고르게 분포하여 선정하였으며, 이들은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 대수계의 제 1, 2, 3지류들로 지방2급 하천에 해당된다.

조사는 2003년, 2005년 및 2007년 3개년 동안 4월, 7월 및 10월에 걸쳐 년 3회 실시하였으며, 시료는 각 하천의 최하류 지점에서 채수함을 원칙으로 하였고, 채수심도는 하천의 수심상황 등을 고려하여 10~30 cm 수심의 표층수를 대상으로 하였다.

하천의 pH(HI9025, HANNA, USA), DO(YSI550, YSI, USA)는 현장에서 바로 측정하였고, 지점당 3개소씩 폴리에틸렌 채수용기(2 L)에 채수하여 ice box에 넣고 실험실로 운반하여 각 항목을 환경부 수질오염공정시험법¹⁰⁾에 따라 즉시 분석하였으며, 필요에 따라 산을 첨가하여 4°C이하에서 냉장 보관하여 분석하였다. EC는 Conductivity Meter(455C, Istek, Korea)법, BOD는 DO Meter(YSI500, YSI, USA)법, COD_{Mn}은 KMnO₄ 산화법, COD_{Cr}는 K₂Cr₂O₇ 산화법에 따라 분석하였으며, T-N은 자외선흡광도법, T-P는 아스코르빈산환원법, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺은 AAS(SpectraAA 220FS, Varian,

USA)를 이용하였고, SO₄²⁻는 BaCl₂ 비탁법, Cl⁻은 AgNO₃ 적정법, SS는 유리섬유 여지법을 이용하여 측정하였다.

본 연구에서는 하천별로 유역 말단지점에서 하천의 폭과 구간별 수심을 측정하고, 각 구간의 유속을 부자법¹¹⁾에 의해 산출한 후 유량을 계산하였으며, 실측된 하천유량과 오염물질의 농도를 곱하여 산정한 유달부하량을 오염물질 부하량으로 표기하였다.

수질조사 자료는 영농이 주로 이루어지고 강우가 집중되었던 7월을 강우기(Rainy season)로 하였고, 4월과 10월은 각각 갈수기 I(Dry season I)와 갈수기 II(Dry season II)로 구분하여 정리하였다.

결과 및 고찰

농업지대 하천의 유역의 일반현황

국립지리원의 토지이용도와 행정조사결과¹²⁾를 바탕으로 하여 조사한 대상 하천유역의 하천명, 유로연장, 유역면적, 평균고도 및 평균경사 및 토지이용에 대한 일반현황은 Table 1과 같다. 하천은 평균 길이는 12.0 km, 평균 유역면적은 4,294 ha였으며, 유역별 토지이용은 산림이 13.5~87.6%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었고, 논과 밭이 각각 3.8~48.4% 및 0.2~29.4%를 차지하고 있어 토지이용 측면에서 다양한 비율의 분포를 나타내고 있었다.

하천의 수질특성

Table 2는 하천의 주요성분 함량을 지점별로 평균하여 연도별 변화를 나타낸 것으로 시기에 따라 수질성분별 범위는 다양하였으나 전체적인 평균값은 큰 차이를 보이지 않았다. pH는 6.5~9.3의 범위로서 농업용수 수질기준 6.0~8.5에 비해 일부 지점에서 높게 나타났으나 전체적으로 기준 범위 내에 있는 것으로 조사되었다. EC는 최소 0.07 dS/m에서 최고 0.52 dS/m의 범위를 나타냈으며 연도별 평균은 0.15~0.17 dS/m으로 큰 차이를 보이지 않았다. FAO는 EC농도가 0.7 dS/m 이하면 작물의 생산에 큰 영향이 없다고 하였고, 3 dS/m 이상이면 악영향이 크다고 보고¹³⁾한 바 있으며, 본 조사결과 농작물에 피해를 주는 1.0 dS/m에도 훨씬 미치지 못한 것으로 나타났다. 하천 유기물의 지표인 BOD는 0.1~5.0 mg/L의 범위를 보여 대부분의 기간 동안 농업용수 수질기준인 8.0 mg/L보다는 전체적으로 낮은 값을 나타냈으며, COD_{Cr}도 0.6~17.7 mg/L의 범위를 보여 농작물에 피해를 주는 50 mg/L보다 낮은 농도를 보였다. T-N 함량은 조사 기간 중 0.55~10.19 mg/L의 범위를 보이며 연도별로 다소의 차이는 있었으나 평균농도는 3.0 mg/L 내외로 비슷한 수준을 유지하고 있었다. 관개수중의 질소함량이 3.0 mg/L 수준일 때까지는 벼농사에서 시비대책과 그 외의 재배기술 개량 등에 의하여 대응이 가능하지만 이상의 농도에서는 대책마련이 곤란하여 5.0 mg/L이상에서는 수량감소를 피할

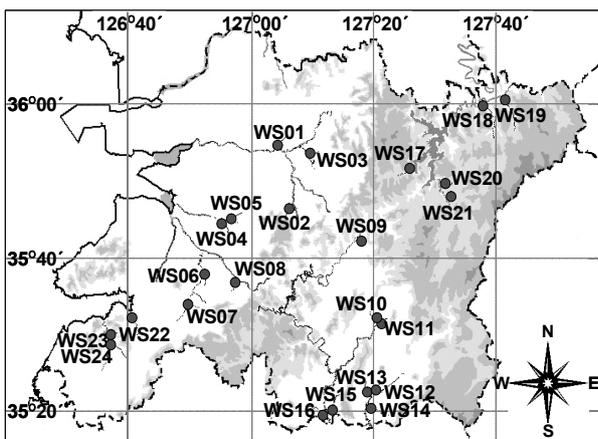


Fig. 1. Locations map of the sampling sites

Table 1. Traits and land use of the watershed investigated in the study

Code	Stream name	System of flowing stream				Length (km)	Area (ha)	Mean altitude (m)	Mean slope (%)	Land use(ha)				
		Main stream	1st branch stream	2nd branch stream	3rd branch stream					Forest	Paddy	Up land	Grass land	Others
WS01	Woosan	MKR	Woosan			12.0	4,817	46.3	7.37	648	2,307	32	428	1,401
WS02	Dokbae	MKR	Jonju	Samcheon	Dokbae	5.3	1,700	198.9	29.33	1,161	382	21	102	34
WS03	Bongseo	MKR	Soyang	Bongseo		8.0	1,187	139.9	25.04	632	478	2	65	10
WS04	Gamgok	DJR	Wonpyeong	Gamgok		1.2	1,374	44.0	9.75	363	295	404	121	192
WS05	Geumgu	DJR	Wonpyeong	Geumgu		10.2	1,333	97.6	18.38	623	262	254	88	106
WS06	Hangyo	DJR	Jongup	Hangyo		11.1	3,268	58.1	11.60	722	1,458	342	477	269
WS07	Yongsan	DJR	Jongup	Cheonwon	Yongsan	9.1	2,896	191.9	32.08	1,947	505	284	102	58
WS08	Chukhyeon	DJR	Chukhyeon			7.6	2,131	92.3	16.81	789	833	158	222	128
WS09	Imsil	SJR	Imsil			15.2	2,058	327.0	26.39	1,416	463	7	68	104
WS10	Dunnam	SJR	Osu	Dunnam		22.3	7,504	305.3	33.27	5,632	1,580	27	122	144
WS11	Yulcheon	SJR	Osu	Yulcheon		15.3	7,241	225.7	19.38	4,100	2,724	70	11	336
WS12	Gwangchi	SJR	Yo	Gwangchi		11.0	1,983	166.4	16.72	1,104	398	77	179	226
WS13	Ogyul	SJR	Yo	Ogyul		13.0	2,552	170.3	18.82	1,394	801	50	214	92
WS14	Songnae	SJR	Yo	Songnae		5.2	665	118.6	14.12	353	110	45	70	87
WS15	Songdae	SJR	Songdae			6.1	1,685	176.6	24.84	938	482	27	71	167
WS16	Gyeong	SJR	Gyeong			20.5	13,278	176.1	21.67	7,052	4,271	706	496	752
WS17	Jinan	GR	Jinan			12.1	3,209	476.1	38.78	2,677	209	220	66	38
WS18	Jeoksang	GR	Namdae	Jeoksang		14.3	5,923	426.2	42.49	4,746	615	463	69	30
WS19	Sanggok	GR	Namdae	Sanggok		14.2	5,424	547.3	48.60	4,754	206	302	34	127
WS20	Guryang	GR	Guryang			31.2	16,900	645.8	36.59	13,525	703	272	433	967
WS21	Gyebuk	GR	Gyebuk			9.8	3,928	557.3	34.89	3,193	177	341	93	124
WS22	Galgok	GGs	Galgok			14.2	4,031	118.1	18.92	1,429	1,950	109	172	370
WS23	Yongsan	JJS	Yongsan			6.3	952	100.1	31.14	571	281	75	0	25
WS24	Gochang	JJS	Gochang			12.7	7,026	143.5	20.63	3,344	2,567	264	234	617
Ave.						12.0	4,294	231.2	24.90	2,630	1,002	190	164	267

MKR, Mankyong river; DJR, Dongjin river; SJR, Seomjin river; GR, Geum river; GGS, Glgok stream; JJS, Jujin stream

Table 2. Yearly variation of water quality in the agricultural watershed

Division	pH	EC (dS/m)	DO	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SS	
																(mg/L)
2003	Avg.	7.7	0.15	9.6	1.1	3.4	6.6	3.15	0.10	12.8	8.1	10.8	3.4	2.92	9.9	19.0
	Max.	9.3	0.52	15.9	3.7	8.3	17.7	6.67	0.43	24.5	28.2	22.6	7.9	6.52	39.4	94.7
	Min.	7.0	0.07	6.3	0.1	1.1	0.6	0.96	0.00	6.1	0.9	2.8	1.1	1.19	3.8	0.9
2005	Avg.	7.5	0.17	9.7	1.9	3.7	7.6	2.72	0.09	13.0	18.4	12.9	3.6	3.34	10.6	11.1
	Max.	8.8	0.48	13.8	5.0	7.8	15.7	10.19	0.43	52.7	57.5	51.2	14.6	9.66	48.9	62.0
	Min.	6.5	0.07	3.4	0.1	0.4	1.7	0.55	0.00	5.7	3.2	2.9	0.6	1.14	2.5	0.3
2007	Avg.	7.5	0.17	10.1	1.1	3.6	7.2	2.97	0.07	12.7	13.2	14.2	4.4	3.14	11.7	3.1
	Max.	8.3	0.31	14.2	2.6	6.4	11.6	5.64	0.36	30.9	33.9	20.3	7.5	4.86	34.0	7.0
	Min.	7.1	0.10	7.9	0.4	1.5	2.7	1.44	0.02	6.4	1.9	8.1	2.1	1.95	4.8	0.6

수 없다는 보고¹⁴⁾가 있는데 이와 같이 정상 논에서 계속 관개시 비의 옷자람과 그로 인한 도복 피해가 발생할 수 있는 정도의 질소를 함유하고 있는 경우가 있어 관개수질을 고려한 합리적인 시비가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. T-P 함량은 일부 높은 경우가 있었으나 대개가 0.10 mg/L 이하의 함량을 보였다.

SO₄²⁻ 함량은 5.7~52.7 mg/L, Cl⁻ 함량은 0.9~57.5 mg/L의 범위를 보여 SO₄²⁻의 관개수 중 감수농도 54.9 mg/L¹⁵⁾나 Cl⁻의 수도생육 피해기준인 250 mg/L 및 캘리포니아 수질 관리위원회 관개용수 수질기준인 350 mg/L에는 대부분이 미치지 못하는 양호한 상태였으며, Na⁺ 함량 또한 2.5~48.9 mg/L으로 수도생육 피해기준인 250 mg/L에 미치지 못하였다.

SS는 특히 강우에 의한 지표면 유출로 유역으로 배출되어 하천, 호소 등에 침전되면서 하천의 흐름을 방해할 뿐 아니라 유출시 토양에 흡착된 인 등을 함께 이동시켜 부영양화를 촉진시키는 비점오염물질로 알려져 있는데¹⁶⁾, 본 연구의 결과 상대적으로 강수량이 많았던 2003년에는 최고 94.7 mg/L을 보였으나 2007년에는 최고값도 7.0 mg/L에 불과하여 농업용수 수질기준인 100 mg/L보다는 훨씬 낮은 값을 보였다.

Table 3은 강우기 7월과 갈수기인 4월 및 10월의 시기별 변화를 각각 3회씩 조사한 결과이다. pH의 경우 갈수기는 6.6~9.6의 범위를 보이고 있는데 이는 6.5~8.5의 범위를 보였던 강우기에 비해 높은 수치였다. DO 역시 pH와 비슷한 경향으로 갈수기 중에 높게 나타났으며 수중 산소가 과포화된 경우가 있었다. 보통, 수온의 급격한 상승이나 조류의 번식이 심한 경우 특히 과잉 번식한 부착조류가 광합성을 하면서 낮 동안 용존산소 과포화가 될 수 있는데, 이 기간 중에 조류의 증식이 왕성하여 이들에 의한 광합성 작용이 활발해지면서 물속의 pH 역시 상승되었을 것¹⁷⁾으로 판단된다. Shin 등¹⁸⁾에 의하면 chl-a 생물량은 하천의 유속이 느리고 유량이 상대적으로 빈약할 때 많았고, 부착조류의 생물량도 유속이 적을 때 증가한 것으로 보고된 바 있는데, 본 연구에서도 갈

수기가 강우기에 비해 유속과 유량의 감소 등으로 조류의 번식이 증가하였을 것으로 보인다.

강우기의 EC, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 함량은 다른 시기에 비해 감소하고 있어 유량 증가에 의해 주요 무기성분들은 희석효과를 보이고 있었지만, 하천 유기물의 지표인 BOD와 COD, 영양염류인 T-N, T-P의 농도는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. Lee 등¹⁹⁾의 연구에서는 만경강의 경우 늘어난 하천수량에 의한 희석효과로 BOD가 낮아진 반면 동진강의 경우 시기별 큰 차이가 없었으며, 또한 강우시 오염물질 유출특성에 대한 Yu 등²⁰⁾의 조사에서는 COD농도는 강우초기 유량상승기에 농도가 상승되고 유량 감소기에 농도가 낮아진 것으로 나타났다. 소규모의 하천이 대상인 본 연구에서는 시기별 농도의 차이는 크지 않았는데, 이와 같이 강우기 하천의 유량증가는 많은 반면 시기별로 농도의 차이가 적게 나타난 것은 이 시기에 유기물이나 영양염류 등이 상당량 유출되고 있음을 짐작할 수 있게 하는 결과이다. 이는 주변 유역 산림이나 경작지에서의 지표면 유출, 가축에 의한 오염물질 방류량 증가 등 여러 경로에서 하천으로 유입되었기 때문으로 생각된다.

SS의 시기별 변화에서도 강우기는 평균 14.1 mg/L로 다른 시기에 비해 높은 농도의 SS가 하천 유량의 증가와 함께 유출되어 수계에 영향을 주는 것으로 나타났다.

하천의 오염물질 부하량

Fig. 2는 조사시기별로 24개 하천에서 실측한 유량의 평균치를 강수량과 비교하여 나타낸 그래프이다. 측정된 하천의 유량은 강수량과 비슷한 패턴을 보여 조사연도 모두 7월 강우기의 유량이 가장 많았으며 년도별로는 2007년의 강수량 및 유량이 상대적으로 적은 결과를 보였다. Fig. 3은 유역 발달의 오염물질 부하량의 변화를 나타낸 것으로 Fig. 2의 유량과 유사한 추이를 보여 주고 있다. 강우기에 높은 농도 SS를 보인 Table 3의 결과에서도 토사의 유출 증가를 추측

Table 3. Seasonal variation of water quality in the agricultural watershed

Division	pH	EC (dS/m)	DO	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	T-P	(mg/L)							
									SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SS	
Dry season I ^{a)}	Avg.	7.8	0.18	10.9	1.8	3.8	7.5	2.95	0.08	14.1	14.3	13.5	4.1	3.11	11.7	11.2
	Max.	9.6	0.48	16.9	6.6	8.7	19.1	6.63	0.38	52.7	46.3	30.0	14.6	7.12	48.9	63.0
	Min.	7.0	0.08	7.6	0.2	0.4	0.6	0.69	0.00	5.7	1.7	4.8	1.5	1.58	3.6	0.3
Rainy season ^{b)}	Avg.	7.4	0.15	8.4	1.2	3.7	7.4	2.98	0.10	12.2	13.7	11.2	3.2	2.80	8.2	14.1
	Max.	8.5	0.52	11.1	5.0	7.8	15.7	10.19	0.43	32.5	45.1	51.2	8.2	9.66	38.4	62.0
	Min.	6.5	0.07	3.4	0.1	1.1	1.9	1.36	0.02	5.4	0.9	2.8	0.6	1.14	2.5	0.5
Dry season II ^{c)}	Avg.	7.6	0.17	10.2	1.1	3.1	6.6	2.91	0.08	12.3	11.7	13.1	4.2	3.48	12.2	7.9
	Max.	9.3	0.34	15.9	3.5	10.2	19.7	8.63	0.55	41.4	57.5	27.6	11.2	6.52	41.4	94.7
	Min.	6.6	0.08	4.9	0.2	1.1	1.6	0.55	0.00	5.8	0.8	4.4	1.1	1.52	3.8	0.2

^{a)}Dry season I, April 2003, 2005 and 2007; ^{b)}Rainy season, July 2003, 2005 and 2007; ^{c)}Dry season II, October 2003, 2005 and 2007.

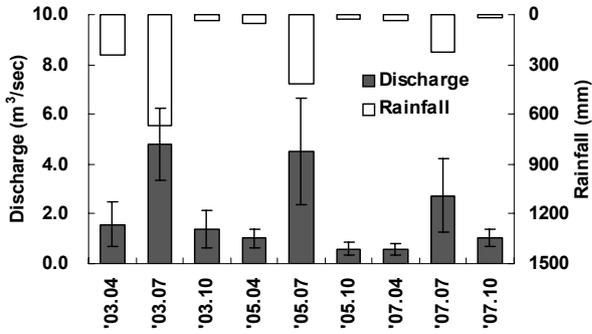


Fig. 2. Changes of discharge and rainfall during survey period.

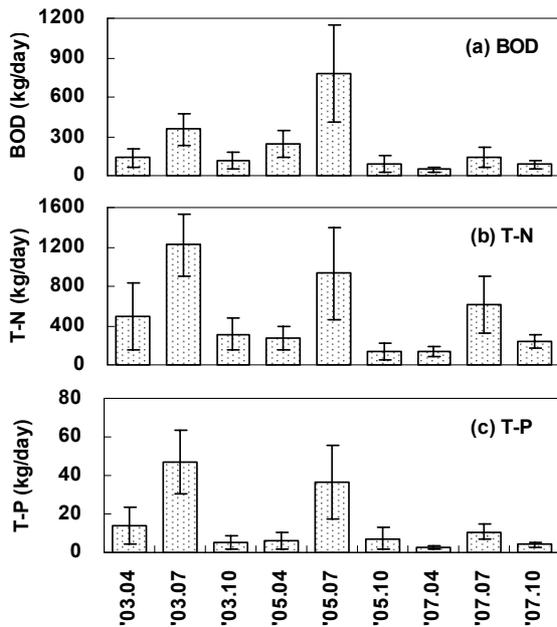


Fig. 3. Yearly variation of pollutant loads in the agricultural watershed.

해 볼 수 있었는데, 오염원이 일반적으로 토사에 흡착되어 이동하거나 물에 용해되어 이동²¹⁾하는 것으로 볼 때, 강우기에 하천 유량과 함께 증가하는 토사가 하천의 오염부하량에 영향을 끼쳤을 것으로 판단되었다. 좀 더 정확한 오염부하량 산정을 위해서는 강우에 의한 토사발생량의 산정 뿐 아니라 이에 따른 T-N 및 T-P의 현황에 대한 자세한 연구가 수반되어야 할 것으로 보인다. 또한 오염물질 유출특성은 대부분의 경우 강우시 발생하는 총 부하량이 개개의 농도 또는 부하량보다 더욱 중요하며²¹⁾, 측정시기에 따른 변동이 크기 때문에 지속적인 측정이 이루어져야 하는데, 본 연구는 연속적으로 이루어지지 않고 연간 수차례만 이루어져 년차적인 수질개선 여부나 오염물질 총량의 증감을 알아내기에는 부족하였으나 수질개선을 위해서는 강우시 오염배출원의 관리 및 농경지로부터의 토사 유출을 방지하는 등의 적절한 수질관리 대책이 필

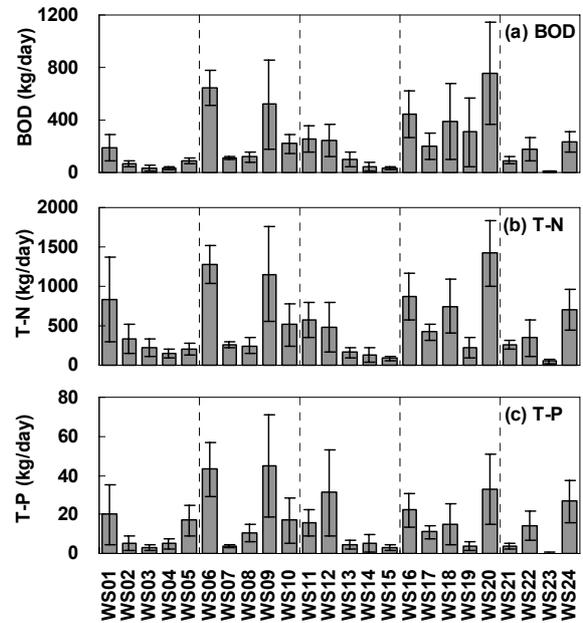


Fig. 4. Comparison of pollutant loads in the agricultural watershed.

요함을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 총 조사시기에 걸쳐 조사된 BOD, T-N, T-P 오염부하량을 하천 유역별로 나타낸 그래프이다. BOD의 오염부하량은 9.6~757.9 kg/day, T-N의 오염부하량은 51.2~1418.5 kg/day, T-P의 오염부하량은 0.3~44.7 kg/day으로 유역 및 성분에 따라 27.7배에서 149배까지 많은 차이를 보이고 있었다. 3성분 모두에서 높은 부하량을 보인 WS06, WS09, WS20 유역은 강우기의 부하량 증가가 가장 컸던 유역들로서 이들이 평균 오염부하량에 영향을 끼쳤는데 특히, WS20은 다른 지점에 비해 하폭과 하장이 크고 길었고 유역 면적 또한 가장 넓었던 지역으로 강우기에 주변 비점오염원으로부터 집중적인 오염물질의 유입이 있었던 것으로 보인다. 또한, WS12유역의 T-P 부하량이 다른 성분의 부하량보다 높았던 것은 인근에 있는 축산시장의 영향으로 수질 중 T-P의 농도가 다른 지역에 비해 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다.

24개 하천유역에 대해 조사된 BOD, T-N 및 T-P의 오염부하량을 시기별로 3개년 평균하여 Fig. 5에 나타내었다. 갈수기에 비하여 강우기에 BOD는 3.0~4.4배, T-N는 3.0~4.0배, T-P는 4.1~5.6배가 증가함을 보여 강우기에 주변 유역에서의 유기물을 비롯한 각종 영양염류의 유출이 많아지고 있음을 보이는 다른 연구결과²²⁾와 같은 경향이었다. 또한 강우기의 오염부하량 증가율은 만경강 유역⁷⁾보다는 적고 동진강 유역⁸⁾보다는 크게 나타났는데 이는 조사시기의 강수량 차이 뿐만 아니라 도심지, 농경지, 임야지 및 인구나 축산 등에 의한 유달부하량의 강우유출 특성 차이가 대상유역에 따라 다양하게 나타났기 때문일 것이다.

하천 유역의 토지면적에 대한 논 면적비율 차이에 따른 유량과 부하량의 시기별 변화를 Table 4에 나타내었다. 논 면적비율이 30%이상인 하천유역(A그룹)과 30%이하인 하천(B그룹)유역으로 구분하여 살펴본 결과, 비영농기였던 갈수기 I과 갈수기 II 시기에는 하천유역면적이 상대적으로 넓었던 A그룹이 B그룹보다 유량과 오염물질의 부하량에서 많았던 반면, 영농기였던 7월의 강우기에는 A그룹이 B그룹에 비해 적게 나타났다. 그 증가비율 또한 갈수기 I에 비해 강우기에 B그룹에서 유량이 5.7배 증가한 것에 비교하여 A그룹의 유량 증가는 2.3배로 절반 수준에 그쳤으며 BOD, T-N, T-P의 부하량 역시 B그룹의 증가에 비해 A그룹의 증가율이 훨씬 적게 나타나 오염물질의 유출이 논 면적비율이 많았던 A그룹의 하천들에서 적었음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 농촌유역에서의 비점오염 물질의 배출이 여름철의 짧은 장마기간 동안 일시에 일어난다는 기존의 연구결과²³⁾와 비교할 때 각종 양분의 유출이 급증한다는 점은 유사하나, 그 증가정도

는 논 면적비율이 적었던 다른 지역의 유량에 비해서는 적게 나타난 것으로, 이는 논이 공익적 기능 중 홍수방지의 기능을 일부 시사해 준 것으로 보인다. 즉, 논농사기간이면서 강우기인 7월 중에 농업활동이 활발한 유역에서 논이 담수기능이 컸음을 알 수 있었는데, Eom 등²⁴⁾에 의하면 홍수기간 중 우리나라 논둑은 홍수조절기능을 갖고 있는 거대한 댐의 일부라고 하였으며 홍수기간 3일 적용시 ha당 2,378톤으로 환산한 바 있다. 또한 국내의 경우 오염부하량 산정에 있어서 환경부에서 제시한 오염발생 원단위를 적용하는 방법을 일반적으로 활용하고 있으나, 이 방법은 원단위 값이 연간 일정하다는 가정 하에 오염부하량을 산정하기 때문에 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 위한 어려운 단점이 있다²⁵⁾. 위의 결과를 볼 때, 수질자료를 이용한 오염부하량의 상세한 추정을 위해서는 오염발생원 및 토지이용에 따른 원단위 오염부하량 산정뿐만 아니라, 영농시기와 강우시기와 같은 연간 변동요인을 함께 고려한 자세한 연구가 수반되어야 할 것으로 보인다.

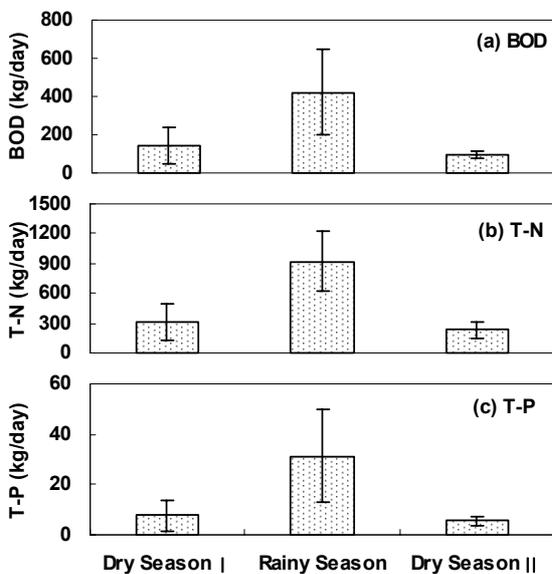


Fig. 5. Seasonal variation of pollutant loads in the agricultural watershed (Dry season I, April 2003, 2005 and 2007; Rainy season, July 2003, 2005 and 2007; Dry season II, October 2003, 2005 and 2007).

하천의 유량-오염부하량의 상관관계

조사하천 유역 전체를 대상으로 유량과 오염부하량간의 상관분석을 실시하여 회귀분석곡선식을 Fig. 6과 같이 도출하였다. BOD, T-N 및 T-P의 부하량은 유량과 높은 상관관계를 보이고 있었는데, 회귀식 결정계수(R²)는 BOD가 0.8024, T-N이 0.9229, T-P가 0.7612으로 나타나 유량과 T-N의 상관성이 가장 컸고 T-P와의 상관은 상대적으로 작게 나타났다. 농업소유역의 오염부하량 추정연구²⁾에서는 유량과 T-N 및 T-P의 오염부하량간의 결정계수는 각각 0.8639~0.9299과 0.8964~0.9232의 범위를 보인다고 하였고, 곡간지 유역에서 관계식을 도출한 연구²⁶⁾에서는 T-N 0.9344~0.9795, T-P 0.7943~0.8579, BOD 0.7284~0.9102의 범위를 보인다고 하였는데, 이들과 비교할 때 T-N과 BOD의 경우는 거의 유사하며 T-P의 경우는 약간 작았다. 이는 일정지역의 유사한 특징을 가진 유역에 한정되었던 연구들과는 달리 본 결과에서는 산재되어 있는 다양한 유역을 대상으로 함으로써 각 유역별 특징이 고려되지 못한 부분이 있었기 때문으로 보인다.

Table 5는 각 하천유역별 유량과 오염부하량간의 관계를 회귀분석으로 산정한 결과이다. 유량과 BOD, T-N 및 T-P의 부하량 사이의 R²는 각각 0.5374~0.9676, 0.7933~0.9934 및

Table 4. Comparison of discharge and pollutant loads according to the proportion of paddy field to land

Division	Area (ha)		Discharge (m ³ /sec)		BOD (kg/day)		T-N (kg/day)		T-P (kg/day)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Dry season I ^{a)}			1.42	0.77	196	99	436	201	12.5	3.9
Rainy season ^{b)}	21,530	12,940	3.33	4.40	321	485	836	957	25.5	34.8
Dry season II ^{c)}			1.19	0.88	137	67	300	181	9.8	2.6

A : Watershed with more than 30% in the proportion of paddy field to land (10 watersheds), B : Watershed with less than 30% in the proportion of paddy field to land (14 watersheds), ^{a)}Dry season I, April 2003, 2005 and 2007; ^{b)}Rainy season, July 2003, 2005 and 2007; ^{c)}Dry season II, October 2003, 2005 and 2007

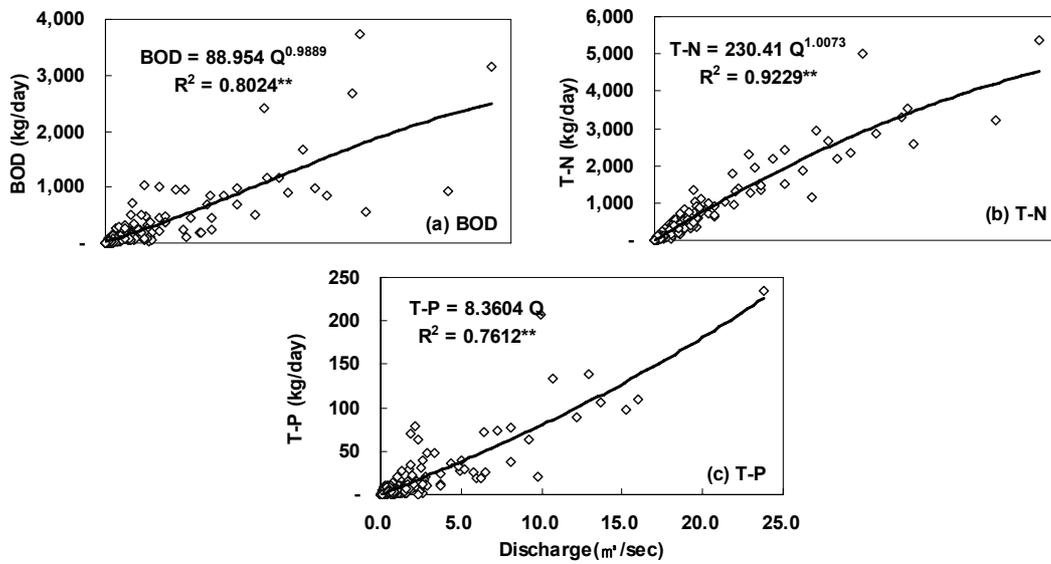


Fig. 6. Relationships between discharge (Q) and pollution loads of BOD, T-N, and T-P (**: significant at 1%).

Table 5. Comparison of relationships between discharge(Q) and pollution loads of BOD, T-N, and T-P in the agricultural watershed.

Code	BOD		T-N		T-P	
	Relationship	R ²	Relationship	R ²	Relationship	R ²
WS01	BOD= 83.42Q ^{0.8519}	0.9500	TN=210.24Q ^{1.0679}	0.9464	TP= 2.897Q ^{1.2666}	0.8588
WS02	BOD= 84.09Q ^{0.8872}	0.7893	TN=418.77Q ^{1.0279}	0.9632	TP= 5.516Q ^{1.1235}	0.9143
WS03	BOD= 47.09Q ^{0.8866}	0.6280	TN=413.40Q ^{0.9866}	0.9711	TP= 4.580Q ^{1.0725}	0.8951
WS04	BOD= 74.55Q ^{0.8754}	0.9121	TN=423.21Q ^{1.2482}	0.9733	TP= 9.976Q ^{1.0630}	0.9202
WS05	BOD=116.26Q ^{0.7429}	0.8719	TN=299.88Q ^{1.1643}	0.9726	TP=20.420Q ^{0.9988}	0.8693
WS06	BOD=192.51Q ^{0.7076}	0.6653	TN=440.06Q ^{0.6996}	0.7933	TP= 7.205Q ^{1.0231}	0.7491
WS07	BOD= 85.84Q ^{1.2491}	0.7075	TN=335.31Q ^{1.0210}	0.9473	TP= 3.977Q ^{1.4429}	0.8415
WS08	BOD=150.04Q ^{0.9149}	0.8033	TN=291.25Q ^{1.1338}	0.9685	TP=12.514Q ^{1.2184}	0.9040
WS09	BOD= 92.43Q ^{0.8891}	0.8233	TN=189.15Q ^{1.0783}	0.9934	TP= 5.830Q ^{1.1041}	0.9505
WS10	BOD= 73.24Q ^{0.9705}	0.8220	TN=123.15Q ^{1.1182}	0.9294	TP= 2.280Q ^{1.1585}	0.7175
WS11	BOD= 66.50Q ^{1.0180}	0.6553	TN=139.10Q ^{1.1769}	0.9677	TP= 3.423Q ^{1.1360}	0.8116
WS12	BOD=160.40Q ^{0.9242}	0.7289	TN=265.19Q ^{1.1195}	0.9806	TP=15.226Q ^{1.0839}	0.9801
WS13	BOD= 65.26Q ^{0.7076}	0.6328	TN=149.96Q ^{1.3968}	0.9596	TP= 2.683Q ^{1.4110}	0.6728
WS14	BOD= 87.23Q ^{0.9590}	0.8799	TN=275.61Q ^{1.2761}	0.9736	TP= 9.194Q ^{1.2613}	0.8240
WS15	BOD= 64.58Q ^{0.8031}	0.8101	TN=191.54Q ^{1.1535}	0.9714	TP= 5.7418Q ^{0.7416}	0.7416
WS16	BOD=107.94Q ^{0.9233}	0.6052	TN=164.33Q ^{1.1916}	0.9301	TP= 4.949Q ^{1.0442}	0.8600
WS17	BOD= 87.86Q ^{1.0352}	0.5374	TN=247.27Q ^{1.1063}	0.9569	TP= 5.439Q ^{1.1845}	0.7923
WS18	BOD= 46.33Q ^{1.2947}	0.8491	TN=194.22Q ^{1.0479}	0.9521	TP= 5.717Q ^{1.0230}	0.9208
WS19	BOD= 77.04Q ^{1.4117}	0.9676	TN=138.87Q ^{1.0418}	0.9732	TP= 2.148Q ^{0.9914}	0.9924
WS20	BOD= 56.21Q ^{1.1456}	0.8371	TN=205.15Q ^{0.9952}	0.9803	TP= 4.569Q ^{0.9847}	0.6787
WS21	BOD= 80.70Q ^{0.6553}	0.7834	TN=249.59Q ^{1.0088}	0.8162	TP= 3.257Q ^{1.012}	0.6357
WS22	BOD=192.35Q ^{0.9333}	0.8715	TN=308.47Q ^{0.8334}	0.8343	TP=15.517Q ^{0.7387}	0.8480
WS23	BOD= 52.33Q ^{1.1251}	0.7533	TN=304.07Q ^{1.1277}	0.9744	TP= 1.701Q ^{1.0100}	0.8099
WS24	BOD=136.87Q ^{0.6012}	0.8075	TN=351.70Q ^{1.0057}	0.9670	TP=10.555Q ^{0.8630}	0.6724

0.6357~0.9924로 나타나 하천유역과 성분별로 다양하였는데, 이러한 결과는 지형, 지질, 토지이용 및 인구나 가축사육 현황 등 하천유역별로 특성이 서로 상이하였기 때문으로 보이며, 하천별로 더욱 자세한 연구와 자료가 수반되어 이들의 특성을 비교 분석한다면 수질관리를 위한 자료로도 활용할 수 있을 것으로 여겨진다.

요 약

전북도내에서 농업용수원으로 사용되고 있는 소규모 하천들의 수질 및 오염부하량 조사를 통해 효율적인 수질개선을 위한 기초자료를 얻고자 본 시험을 수행하였다.

24개 하천의 수질은 EC가 0.07~0.52 dS/m, BOD가 0.1~5.0 mg/L, COD_{Cr}이 0.6~17.7 mg/L 등 이었으며, 범위는 다양하였으나 연도에 따른 평균값은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 SO₄²⁻은 5.7~52.7 mg/L, Cl⁻함량은 0.9~57.5 mg/L, Na⁺함량은 2.5~48.9 mg/L의 범위를 보여 관개용수 수질로는 양호한 상태였다. 조사하천 대부분의 T-N 함량은 5.0 mg/L 이하, T-P함량은 0.10 mg/L이하였으나 일부 하천에서 5.0 mg/L 이상의 질소를 함유하고 있는 경우가 있어 관개수질을 고려한 합리적인 시비가 필요한 것으로 나타났다.

강우기의 EC, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ 및 Na⁺ 등의 함량은 감소하였지만, BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, T-N 및 T-P의 농도는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 높은 농도의 SS가 하천 유량의 증가와 함께 유출되고 있어 강우기의 지표면 유출이 수계에 영향을 주는 것으로 나타났다.

조사하천의 오염부하량은 BOD가 9.6~757.9 kg/day, T-N이 51.2~1418.5 kg/day, T-P가 0.3~44.7 kg/day로 유역 및 성분에 따라 많은 차이를 보이고 있었다. 갈수기에 비하여 강우기에 BOD는 3.0~4.4배, T-N는 3.0~4.0배, T-P는 4.1~5.6배의 부하량 증가를 보여 강우기에 주변 유역에서의 유기물을 비롯한 각종 영양염류의 유출이 많아지고 있었다. 면적비율이 30%이상인 하천유역(A그룹)이 30%이하인 하천(B그룹)유역이 비하여 영농기였던 7월의 강우기에 유량과 영양물질의 유달부하량이 상대적으로 적게 나타났으며, 갈수기 대비 강우기의 부하량 증가도 B그룹에서 유량이 5.7배 증가한 것에 비교하여 A그룹의 유량 증가는 2.3배로 적게 나타났다. BOD, T-N, T-P의 부하량과 유량과의 회귀식 결정계수(R²)는 BOD가 0.8025**, T-N이 0.9229**, T-P가 0.7612**으로 유량과 T-N 부하량과의 상관성이 가장 높게 나타났다.

참고문헌

1. Ministry of Agriculture and Forestry, Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corp. (2000) Water quality pollution source investigation of agricultural water, p. 19-85.
2. Kim, S. M., Kang, M. S. and Park, S. W. (2003) Estimation of pollutant loadings from agricultural small watershed using the loading factor and water quality monitoring, *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 45(3), 94-102.
3. Cho, T. W., Hwang, D. J., Yoon, Y. S., Yu, J. J., Oh, S. T., Jung, J. H., Lim, T. H., Park, J. M. and Seo, J. K. (2002) Generation and distribution of water pollutants for the streams in the Nakdong River basin(I), Report of National Institute of Environmental Research Republic of Korea, 23, 651-667.
4. Jeong, S. M., Lim, K. H. and Choi, J. H. (2000) An analysis on the relationship between discharge and pollution load on the tributary of Kum River, *J. KWRA* 33(5), 527-536.
5. Choi, J. K., Koo, J. W., Son, J. G. Yoon, K. S. and Cho, J. Y. (2001) Nutrient balance and runoff loading during cropping period from a paddy plot in Maryeong irrigation district, *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 43(5), 153-162.
6. Oh, S. Y., Kim, J. S., Kim, K. S., Kim, S. J. and Yoon, C. G., (2002) Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled plots during irrigation seasons, *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 44(2), 136-147.
7. Lee K. B., Kim J. C., Kim, J. G., Lee, D. B., Park, C. W. and Kim, J. D. (2005) Assessment of pollutant loads for water enhancement in the Mankyong River. *Kor. J. Environ. Agric.* 24(2), 83-90.
8. Lee, K. B., Kim J. C., Kim, J. G., Lee, D. B., Park, C. W. and Kim, J. D. (2005) Assessment of pollutant loads in the Dongjin River. *Kor. J. Environ. Agric.* 24(2), 91-97.
9. Choi, J. K., Son, J. G. and Koo, J. W. (1996) Studies on water quality of agricultural reservoirs in Chonbuk Province. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 38(2), 65-74.
10. Ministry of Environ. (2000) The standard method of water analysis.
11. Park, J. K. (2001) Field method in environmental hydrology, Cheong Moon Gak Pub., Seoul, Korea.
12. Stream list of Korea 2000 (2000) Ministry of Construction & Transportation.
13. FAO (1977) Water quality for agriculture, FAO/UN 29 Rev. 1, p.174.

14. 日高仲 (1993) 水の 多重利用と灌漑水質, 日土肥誌, 64(4), 465-473.
15. Kim, B. Y. (1988) Water pollution in relation to agriculture, *Kor. J. Environ. Agric.* 7(2), 153-169.
16. Kwun, S. K., (1998) Management improvement and perspective on nonpoint source of water pollution in Korea, *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 40(11), 1497-1510.
17. Korea Society of Environment Engineers (1999) Water quality management for lakes and reservoirs. Poongnam publishers, Seoul, Korea.
18. Shin, J. K. and Cho, K. J. (2000) Periphyton survey for the evaluation of water quality in a small stream before the construction of an artificial lake, *J. of KSEIA* 9(2), 109-117.
19. Lee, J. S., Jung, G. B., Kim, J. H., Yun, S. K., Kim, W. I. and Shin, J. D. (2004) Evaluation of water quality with BOD at Mankyeong and Dongjin River basins, *Kor. J. Environ. Agric.* 23(2), 81-84.
20. Yu, M. J., Hong, D. B., Cho, Y. K. Gwon, E. M. and Koo, Y. H. (2000) Characteristics of pollutant runoff into Saemangeum watershed area. *J. of KSEE* 22(9), 1609-1616.
21. Kim, M. S., Lee, D. R. and Kim, Y. C. (2006) Analysis of occurred flow change on dry section in Anyangcheon. Available at <http://www.drought.re.kr>. Development of Integrated Water Resources Evaluation and Planning System, Anyang, Korea.
22. Kim, J. H., Lee J. S., Ryu, J. S., Lee, K. D., Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. T. and Kwun, S. K. (2005) Characteristics of non-point pollutants discharge in a small agricultural watershed during farming season. *Kor. J. Environ. Agric.* 24(2), 77-82.
23. Yang, J. E. and Lee, K. S. (2001) Agricultural environment. The Korea Society of Agriculture and Environment.
24. Eom, K. C. and Seong, K. S. (2001) Prospect of development on environmental-friendly rural agriculture for improvement of multi-functional roles. National Institute of Highland agriculture. p. 99-147.
25. Yang, H. M., Kim, H. (2001) Calculation of pollutant loadings from stream watershed using digital elevation model and pollutant load unit factors. *Landscape Journal* 29(1), 23-31.
26. Kim, J. H. (2007) Statistical analysis of the effluent characteristics of non-point source pollution in rural watersheds. Ph.D. University of Seoul.