

Research Article

Open Access

## 고현천 및 유입지류의 수질오염 특성의 시·공간적 평가

김성재\*

경상대학교 해양환경공학과 · 해양산업연구소

### Temporal and Spatial Evaluation of Water Pollution Characteristics in Gohyeon Stream and Its Tributaries

Sung Jae Kim\* (Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University · Institute of Marine Industry, Tongyeong, 650-160, Korea)

Received: 7 September 2012 / Accepted: 21 September 2012  
© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

#### Abstract

**BACKGROUND:** Gohyeon Stream is the municipal eco-stream of 7.1 km in total length which flows through the downtown area of Gohyeon in Geoje city, rising from the watershed of Mundong Water Fall. Gohyeon district in Geoje city has been a rapid growing area centering in Geoje city and then experienced an rapid increase in population. Large amounts of sewage pollutants have been spewed into Gohyeon Stream from its tributaries, due to the lack of sewer system. Gohyeon Stream is laced with unhealthy levels of fecal coliform (FC). Restoration of water quality in Gohyeon Stream is no less inevitable in behalf of its ecosystem and the citizen. In this study, the water quality of Gohyeon Stream and its tributaries was examined temporally and spatially, and their relationships were comparatively analyzed to give useful basic data applying to a restoration project of the water quality of Gohyeon Stream.

**METHODS AND RESULTS:** The samples were taken at 20 points in Gohyeon Stream and 19 points in its tributaries during the rainy and dry seasons, respectively, and examined on the parameters of pH, temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), suspended solid (SS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), dissolved inorganic nitrogen (DIN; NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N),

dissolved inorganic phosphorus (DIP; PO<sub>4</sub>-P) and FC. The data were analyzed using a comparative analysis and Pearson's correlation analysis among the parameters. During the rainy season, the concentration of SS was high in the upper region of Gohyeon Stream, and the concentrations of COD, DIN and DIP were low in the upper region and high in the middle and lower regions. During the dry season, the concentration of SS was low and the concentrations of COD, DIN, DIP and FC were high in all regions. The Pearson's correlation analyses showed that the relationships between DO and FC, COD and DIP, and DIN and FC during the rainy season as well as between DO and DIN, SS and FC, COD and DIP, and DIN and DIP during the dry season were significant.

**CONCLUSION:** During the rainy season, the upper region of Gohyeon Stream flowed the high level of SS, the middle region the high level of nutrients due to an agricultural run-off, and the lower region the high level of nutrients due to a sewage inflow. During the dry season, the water quality of Gohyeon Stream was directly and sensitively influenced on the inflow of sewage from the tributaries.

**Key Words:** Fecal coliform, Pearson's correlation analysis, Rainy and dry season, Tributary, Water quality

#### 서론

도시지역 하천에 유입하는 오염부하량은 크게 점오염원(point source)과 비점오염원(non-point source)으로부터 비롯된

\*교신저자(Corresponding author),  
Phone: +82-55-772-9131; Fax: +82-55-641-6644;  
E-mail: sngjkim@gnu.ac.kr

다. 점오염원은 강우에 관련 없이 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 배출되는 특징을 가지고 있다. 도시지역의 점오염원은 처리되지 않았거나 부분적으로 처리된 하수(대장균, 유기물질, 영양염류, 독성물질 등)를 주로 배출한다. 비점오염원은 발생지점이 분산되어 있고, 농업지대, 교외지대, 삼림지대, 도심지역을 거쳐 흘러서 수계로 유입한다. 비점오염원은 지속적으로 유출하는 것이 아니고 주로 강우 시 발생하는 특징을 가지므로 대기의 상태, 수리조건, 지리조건 및 토지이용 상황에 따라서 영향을 받으며, 하루 중 시간에 따른, 계절에 따른 변화가 커서 예측과 정량화가 매우 어렵다(Oh *et al.*, 2004). 도심지역의 유출수(municipal run-off)는 대부분 우수관거를 통하여 배출되지만 일부는 지하수의 유입, 건설 폐기물, 생활쓰레기 등이 쌓여있는 곳을 통하여 흐름으로써 많은 오염물질을 함유하고 있다(Thomann and Mueller, 1987). Lee 등(2006)은 도시하천인 갑천의 수질을 조사하고 하천의 수질 악화는 미처리된 하수와 하수처리장의 배출수가 주요 원인이 되며, 총질소와 무기질소의 농도는 하류로 갈수록 높아지는 경향이 있다고 보고하였다. Jang 등(2011)은 시화호로 유입하는 유역의 하천수질을 산업지역, 도시지역, 농업지역으로 구분하여 조사하고 상호 비교 하였으며, 총질소는 산업지역과 질소비료를 과다 사용하는 농업지역에서 높게 나타났다고 보고하였다.

거제 고현천은 문동폭포 기슭에서 발원하여 문동저수지를 통하여 동북방향으로 흘러서 신현읍 시가지를 거쳐 고현항으로 유입되는 유로연장 7.1 km, 유역면적 16.13 km<sup>2</sup>인 도심 생태하천이다. 고현천은 유역 동남쪽에 계룡산과 독봉산의 분수령에 의해 유역계를 이루고 있다. 고현천 유역은 10개의 소유역으로 구성되어 있고, 소유역마다 임야면적, 인구분포, 산업, 토지이용 등의 특징을 달리하고 있다(고현천 하천정비 기본계획 보고서, 거제시, 2004).

고현천 최상류 유역인 문동저수지 아래에 산재해 있는 가든식 식당, 중간지대 유역 주변의 논 경작지, 하류 유역의 신현읍 도심지에서 과도한 영양염류와 생활하수가 하천으로 유입되고 있다. 거제시는 조선산업의 활성화로 우리나라에서 유입 인구의 증가가 매우 높은 도시이다. 최근 급격히 증가하는 인구로 인하여 고현천 유역 주변에는 대단위 아파트형 주거단지가 들어서고 있으며, 이로 인하여 고현천으로 유입하는 오염부하량이 날로 가중되어 수질오염이 심화되고 있는 실정이다(거제시 통계연보, 거제시, 2008). 고현천은 이와 같은 외부오염부하량 뿐만 아니라 하천 유로에 설치되어 있는 약 28개의 유지용수부로 말미암아 유속이 느려지고 오염물질이 보 주변에 퇴적함으로 인하여 내부오염부하량이 유발하여 수질을 악화시키는 한 요인이 되고 있다(고현천 하천정비 기본계획 보고서, 거제시, 2004). 고현천은 연중 물이 흐르는 형태(perennial flow regime)를 유지하지만 장마기간을 제외하고는 하천유량이 급격히 줄어지는 지방2급 하천이다. 이러한 하천유량으로 형성된 하천의 자정능력은 날로 증가하는 오염부하량을 수용하지 못하고 과부하 상태에 이르고 있다(거제시 통계연보, 거제시, 2008).

고현천은 도시의 경관 조성, 홍수조절 및 시민의 휴식공간으로써 가치가 높은 하천이나 오염으로 인하여 그 가치가 반감된 상태에 있다. 오늘날 도시하천의 오염상태는 그 도시의 품격을 나타내는 지표가 되고 있다. 거제 고현지역은 급격한 인구 증가로 쾌적한 시민의 휴식공간을 더욱 필요하게 되었다. 그래서 시민을 위한 쾌적한 도시환경 조성이란 슬로건 하에 녹색도시와 수변공간 조성을 목적으로 고현천을 원시상태의 살아 숨쉬는 생명의 하천으로 재탄생시켜 시민의 품으로 돌려주는 것은 필수적인 사안이 아닐 수 없다. 또한 거제시는 고현천에 인공섬을 조성할 계획을 추진 중이고, 인공섬 주변으로 경관수역을 조성할 예정이다. 고현천은 이 경관수역으로 직접 유입하는 하천으로써 고현천의 오염부하가 경관수역의 수질에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 고현천의 수질 회복과 보전은 매우 중요하다고 생각된다.

이에 고현천으로 흘러 들어오는 점 및 비점오염원을 조사하고 소유역의 지류와 고현천 본류의 오염 특성과 합류지점에서 지류와 본류의 수질을 비교 분석하여 고현천의 수질 보전과 개선을 위한 각종 사업에 활용할 수 있는 기술적인 수질 정보를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 조사개요

문동저수지로부터 고현항 유입 지점까지 고현천 유역을 10개의 소유역으로 나누고 소유역을 통하여 흐르는 소하천이 고현천 본류와 만나는 지점과 우수관을 통하여 고현천으로 유입하여 만나는 합류지점을 지류의 시료채취 지점(T0~T19)으로 선정하였다. 고현천에는 약 28개의 유지용수부가 설치되어 있고 지류와 본류의 물이 완전 혼합되는 지류 유입지점 바로 아래의 보에 본류의 시료채취 지점(S1~S24)을 선정하였다. 시료는 연중 강우량에 따라서 풍수기(장마시기)와 갈수기로 나누어 채취하였다.

풍수기 때 시료 채취와 유량측정은 최초 243 mm 폭우가 내린 후 24시간이 지난 다음 날에 실시하였고, 이후 한 달 동안 같은 방식으로 폭우가 내린 후에 실시하였다(2009년 7월 8, 14, 21일), 갈수기 때는 1개월 강우량(26.3 mm)이 겨울철 강우량과 같을 때 실시하였다(2009년 9월 18, 19, 20일). 시료는 각 조사지점에서 고현천 본류와 유입 지류가 충분히 혼합된 유지용수부 근처에서 채취하였다. 시료처리는 각 조사지점에서 일반항목 분석을 위한 수질시료는 1 L 용량의 폴리에틸렌병에 채수하고, BOD 시료는 BOD 병에 채수한 후 현장에서 DO를 측정하였다. 미생물시료는 멸균시료병을 이용하여 채수한 후 4 °C 온도의 ice box에 보관하였고, 모든 시료는 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다. DO와 수온은 YSI 5000 DO meter를, pH는 이스텍 P15 pH meter를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다.

유량은 본류 3개소, 소하천 및 점오염원 19개소에 대하여 유속, 하천 폭, 하천 깊이 및 유량을 측정하였다. 고현천 및 소하천의 유량은 표면유속을 이용한 하천유량 측정기법을 사

용하여 측정하였고(한국수자원학회 학술발표회 논문집, 2002. pp.940-945), 점오염원은 용기와 stop watch에 의한 방법으로 측정하였다(Choi and Cho, 2001). Fig. 1은 고현천과 지류의 조사지점을 나타내는 지도이다. Table 1은 지류의 조사지점과 오염원의 종류를 나타내는 표이다.

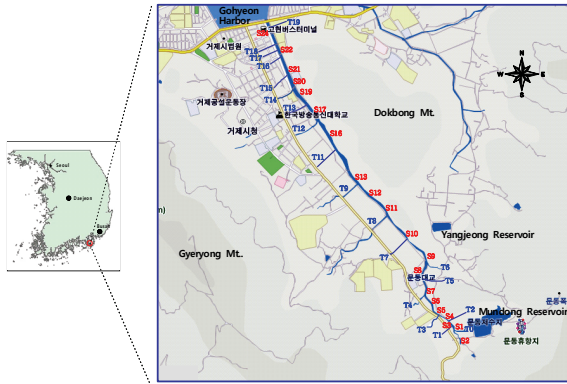


Fig. 1. Map of sampling sites in Gohyeon Stream and its tributaries.

Table 1. Sampling sites of the tributaries and the pollution source

Sampling sites	Pollution sources	Sampling sites	Pollution sources
T0	Non-point source	T11	Point source <sup>1)</sup>
T1	Non-point source	T12	Non-point source <sup>2)</sup>
T2	Non-point source	T13	Non-point source
T3	Point source	T14	Non-point source
T4	Non-point source	T15	Non-point source
T5	Point source	T16	Point source
T6	Non-point source	T17	Point source
T7	Point source	T18	Point source
T8	Non-point source	T19	Point source
T9	Non-point source		

1) Point source : a storm sewer and sewer outlet  
 2) Non-point source : a small stream flowing in the sub-basin

**분석방법**

고현천, 소하천, 점오염원의 수질오염상태를 파악하기 위하여 pH, 수온 등을 Standard Methods(APHA, AWWA, WEF, 1995), Standard Methods of Examination for Marine Pollution Control(MLTMA, 2008)에 따라 분석하였다.

염분도는 이스텍 460CP ion meter를 이용하여 측정하였다. 탁도는 DRT 15CE turbidimeter를 이용하여 측정하였다. SS는 미리 항량이 구해진 유리섬유과지를 이용하여 중량법으로 측정하였다. COD는 여과시료에 대하여 망간산화법으로 측정하였다. BOD는 YSI 5000 DO meter를 이용하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 시료를 알칼리성 구연산 매질 속에서 니트로시안화나트륨(sodium nitroferri cyanide dihydrate) 촉매의 존재 하에 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)과 페놀(phenol)로 처리하여 생성된 인도페놀(indophenol)을 분광광도계(Shimadzu UV-1200)를 이용하여 630 nm에서 비색 측정하였다. 아질산성 질소는 시료를 숄퍼닐아미드(sulphanilamide)와 염화나프틸에틸렌디아민(N-naphtylethylenediamine dihydrochloride) 용액과 반응하여 생성된 적색의 아조색소(azo pigment)를 543 nm에서 측정하였다. 질산성 질소는 시료를 카드뮴환원법으로 아질산성 질소를 환원하여 측정하였다. 용해성 무기인은 시료를 몰리브덴산암모늄(ammonium molybdate), 아스코르빈산(ascorbic acid) 및 3가 안티몬(antimonyl potassium tartrate)으로 구성된 혼합시약과 반응시켜 생성된 청색물질을 885 nm에서 측정하였다. 분변계대장균은 FC medium를 이용하여 membrane filter법으로 측정하였다.

**결과 및 고찰**

**고현천 및 주변유역의 개황**

고현천(지방2급하천) 유역은 동경 128°26'30"~128°40'30", 북위 35°29'24"~34°51'48"에 위치하며, 유역 동남쪽에 위치한 계룡산(EL.566 m), 독봉산(EL.350 m) 등의 분수령에 의해 유역경계를 이루고 있다. 고현천의 유역면적은 16.13 km<sup>2</sup>, 유로 연장은 7.10 km이고, 유역의 평균 폭은 1.13~2.26 km이고, 형상계수는 0.31~0.56이며, 하상경사는 1/375~1/15로 환경사로부터 약간의 급경사지대로 구성되어 있다(고현천 하천정비 기본계획 보고서, 2004). 수원은 유역의 최상류인 문동폭포 기슭에서 발원하여 동서쪽으로 흐르다가 문동저수지에서 체류한 후 하류로 흘러서 신현읍 시가지의 신현 1, 2교를 지나 고현항으로 유입된다. 고현천의 상류지역은 전원하천에 가까운 특성을 보이거나 하류지역은 신현읍 도심을 관통하는 도시하천의 특성을 보여주고 있다. 고현천변의 경작지(주로 논)는 상류지역에서 조사지점 T12(상동천 소유역)까지 계속되고, 이후 하류지역은 도로와 택지로 이루어져 있다. 해수는 조사지점 S22(신현교 아래)까지 침투하여 이 지점을 경계로 하여 상류는 담수 생태계, 하류는 기수해역의 하구생태계를 이루고 있다. 최근 들어 인구의 급격한 증가로 인하여 상류지역에 대규모 아파트형 주거단지가 들어서고 있고, 하수는 자체 처리시스템을 거친 후 소하천으로 방류되고 있다. 거제중앙하수처리장은 1일 15,000톤의 하수를 처리하고 있고, 주로 도심지역인 고현동과 상동동일부에 매설된 하수관을 통하여 운송되는 하수를 처리하고 있다. 고현천 유역은 유입하는 소하천의 위치에 따라서 9개의 소유역으로 나누어진다(고현천 하천정비 기본계획 보고서, 2004).

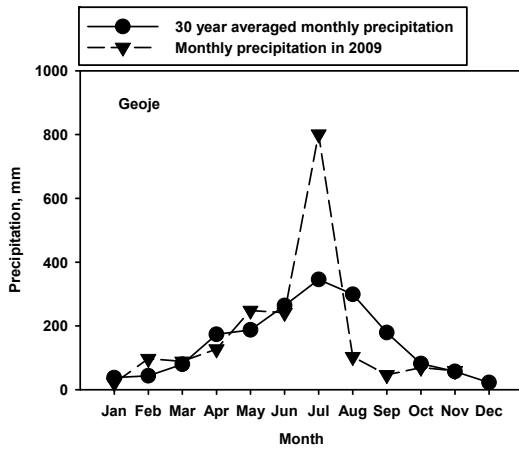
**강우특성 및 유량변동**

유역내 연평균 강우량은 약 1773 mm이고, 연평균 기온은 13.8 °C, 최고기온은 37.4 °C, 최저기온은 -10.1 °C, 연평균 습도는 69%, 연평균 증발량은 약 1,154 mm이다. Table 2는

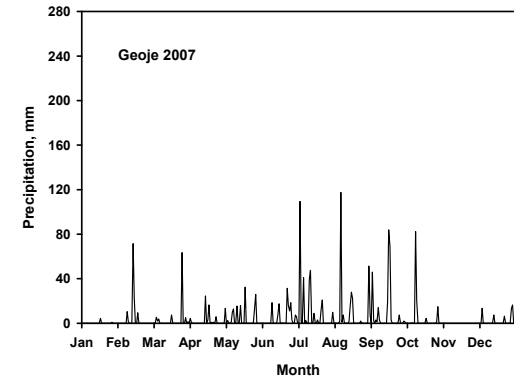
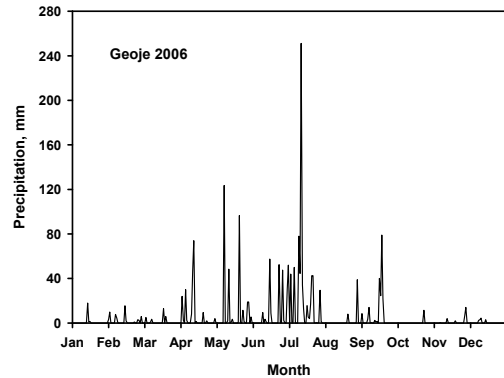
거제관측소의 30년간(1973~2002년)의 월평균강우량이고, Fig. 2는 이것과 2009년 거제지역의 월강우량의 변화를 비교한 결과이다. Fig. 3은 2006~2009년까지 월별 강우량의 변화를 비교한 것이다.

**Table 2. Monthly averages of precipitation at Geoje weather observation station for thirty years(1973~2002)**

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yearly Avg. Prec.
Station Geoje (m <sup>3</sup> /sec)	38.0	43.5	79.7	173.7	187.8	264.0	345.6	299.4	179.3	82.1	57.4	22.6	1,773.1



**Fig. 2. Comparison of the monthly average precipitation in Geoje and its monthly precipitation in 2009.**



**Fig. 3. Comparison of the monthly precipitations from 2006 to 2009 in Geoje.**

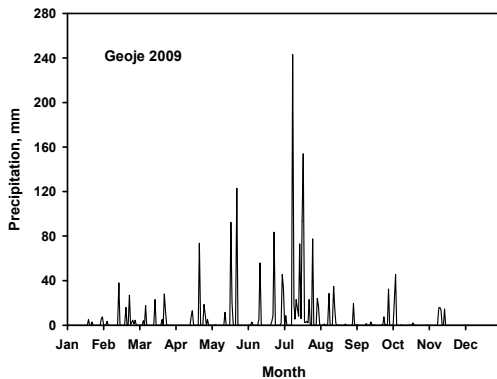
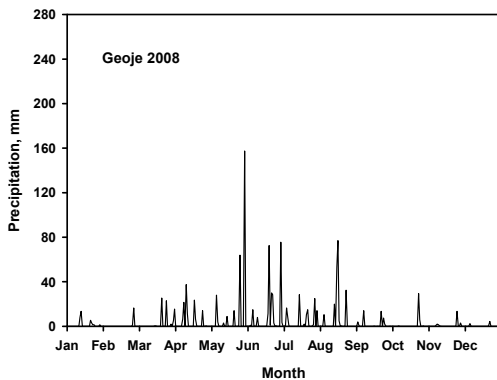


Fig. 2에서 2009년 7월의 강우량이 801.1 mm로써 30년 월 평균강우량보다 2배 이상 높은 값을 나타내었고, 반면에 2009년 8, 9월의 강우량은 월평균강우량에 크게 못 미치는 상태를 나타내었다. Fig. 3에서 2009년 7월의 경우 강우강도와 강우빈도가 예년에 비하여 매우 크고 긴 특징을 보여 집중 호우가 잦은 장마기간의 특징을 나타내었고, 8, 9월의 강우량은 예년의 강우량에 크게 못 미치는 양상을 나타내었다. 2009년 7월에 70 mm 이상의 일강우량이 3회(7일(243 mm), 13일(73 mm), 24일(77.5 mm)) 관측되었다. 이와 같이 2009년 7, 8, 9월의 강우량은 예년과는 매우 다른 특징을 보여 주었고, 7월에 내린 집중 호우는 고현천의 유입 부하량과 수질에 예년과 전혀 다른 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. Uhm 등(2008)은

하천유량과 강우량을 동시에 측정하고, 측정된 하천유량은 강우량과 비슷한 패턴을 보인다고 하였다.

본 연구에서 유량측정은 고현천 3개소, 소하천 및 점오염원 18개소에 대하여 유속, 하천 폭, 하천 깊이 및 유량을 측정하였다. 풍수기 때 유량측정은 폭우가 내린 다음 날에 실시하였고(2009년 7월 21일), 갈수기 때는 1개월 강우량(26.3 mm)이 겨울철 강우량과 같을 때 실시하였다(2009년 9월 20일). 지류의 유량측정 결과는 Fig. 4에 나타나 있다.

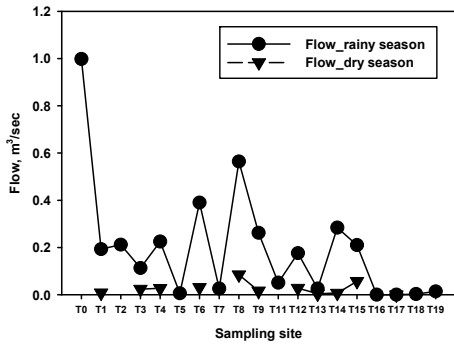


Fig. 4. Flow variation of the tributaries flowing into Gohyeon Stream during the rainy and dry seasons.

Fig. 4는 풍수기와 갈수기 때 각 지류를 통하여 고현천으로 유입하는 유량을 나타내고 있다. 유량은 풍수기 때 0.0003~0.998 m³/sec 범위에 평균 2.0 m³/sec, 갈수기 때 0.0002~0.085 m³/sec 범위에 평균 0.026 m³/sec를 나타내었다. Fig. 4에서 조사지점 T5, T7, T11, T16, T17, T18, T19는 풍수기 때 매우 적은 유량을 흘러 보냄으로써 점오염원의 특징을 나타내고 있다. 풍수기와 갈수기 때의 소하천 유량은 극심한 변동 상태를 보여주며, 갈수기 때 대부분의 소하천은 건천의 상태를 나타내었다. 조사지점 S22(신현교 아래)에서 풍수기와 갈수기 때 고현천의 유량은 각각 1.72, 0.223 m³/sec로써 갈수기 유량은 풍수기 유량의 13.0%를 차지하는 것으로 조사되었다. 전체 지류에서 고현천으로 유입하는 유량은 풍수기 때 3.754 m³/sec, 갈수기 때 0.287 m³/sec으로써 갈수기 유량은 풍수기 유량의 7.6%에 불과하였다.

고현천의 수질특성

고현천의 각 조사지점의 풍수기(장마시기)와 갈수기 때의 수질분석 결과는 Table 3, 4와 같다.

Table 3. Results of water quality analysis for Gohyeon Stream during the rainy season

Parameters	pH	Temp. (°C)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Fecal Coliform (No./100mL)	Flow (m³/sec)
S1	6.8	22.1	0.0	5.7	50.8	27.3	3.4	3.73	0.38	0.049	440	0.998
S2	6.7	20.5	0.0	8.1	9.0	8.0	3.0	3.33	0.32	0.025	2,904	0.116
S3	6.7	18.1	0.0	8.7	42.6	38.7	2.6	2.93	0.38	0.037	2,164	-
S4	6.4	18.4	0.0	8.1	38.0	24.3	3.0	3.33	0.34	0.039	736	-
S5	6.6	18.9	0.0	8.4	36.5	35.7	2.6	2.93	0.48	0.066	880	-
S6	6.1	19.3	0.0	7.5	35.2	36.7	1.9	2.13	1.06	0.063	680	-
S7	6.6	20.5	0.0	8.1	22.5	15.3	2.6	2.93	0.40	0.039	636	-
S8	6.4	18.5	0.0	8.3	30.6	27.3	4.5	4.93	0.39	0.054	632	-
S9	6.7	20.4	0.0	8.0	23.8	25.3	2.8	3.13	0.41	0.051	1,432	-
S10	7.1	-	0.0	8.4	7.3	5.3	1.4	2.67	0.44	0.035	140	-
S11	7.3	21.2	0.0	8.5	4.3	2.0	1.5	2.47	0.65	0.079	188	-
S12	7.1	23.0	0.0	8.2	5.7	0.7	1.2	2.27	0.51	0.034	120	-
S13	7.2	23.1	0.0	8.0	9.0	9.7	2.7	3.67	0.90	0.077	488	-
S16	7.4	24.1	0.0	8.2	13.7	12.7	1.8	2.07	0.60	0.082	76	-
S17	7.3	23.5	0.0	8.0	8.2	9.7	2.0	2.27	0.56	0.085	152	-
S19	7.3	22.2	0.0	8.1	12.6	3.7	1.7	1.87	0.63	0.077	640	-
S20	7.2	22.8	0.0	8.1	10.7	12.3	1.1	1.27	0.72	2.228	3,220	-
S21	7.2	22.4	0.0	7.9	10.1	5.0	2.6	2.87	0.70	0.073	11,200	-
S22	7.1	23.2	0.0	7.9	9.5	2.7	1.9	2.07	0.76	0.075	13,720	1.720
S24	7.3	22.9	5.3	5.7	8.2	7.3	3.0	3.27	0.87	0.071	23,600	-
Average	6.9	20.3	-	7.9	19.4	15.5	2.4	2.81	0.57	0.167	3,202	-

Table 4. Results of water quality analysis for Gohyeon Stream during the dry season

Sampling Sites	Parameters	pH	Temp. (°C)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Fecal Coliform (No./100mL)	Flow (m <sup>3</sup> /sec)
S1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F <sup>1)</sup>
S2		7.2	23.2	0.0	6.2	1.1	1.8	1.1	1.27	1.12	0.035	600	-
S3		7.2	22.6	0.0	6.4	10.0	12.6	1.0	3.47	1.13	0.017	100	-
S4		7.1	21.0	0.0	6.4	3.2	5.1	0.9	1.87	1.53	0.014	140	-
S5		7.1	24.6	0.0	3.8	2.4	10.2	10.4	5.07	4.28	0.889	24,500	-
S6		7.2	24.4	0.0	2.7	5.3	8.0	9.2	5.47	3.89	1.270	12,100	-
S7		6.9	23.4	0.0	3.4	6.8	10.0	6.5	1.87	2.61	0.434	4,540	-
S8		6.7	23.3	0.0	5.7	1.7	4.1	3.6	1.27	0.92	0.348	2,280	-
S9		7.1	22.9	0.0	7.8	2.9	6.2	1.6	1.87	1.05	0.157	2,000	-
S10		7.0	22.9	0.0	7.9	1.2	3.5	1.0	4.27	0.74	0.164	2,000	-
S11		7.1	23.4	0.0	8.1	1.4	3.8	3.3	2.27	1.46	0.264	3,040	-
S12		7.2	23.5	0.0	8.6	1.5	3.0	1.5	2.67	0.94	0.237	2,600	-
S13		7.3	23.9	0.0	6.9	4.6	9.1	6.1	2.27	4.57	0.585	1,360	-
S16		7.0	23.7	0.0	4.7	2.1	3.5	1.8	4.67	0.82	0.434	2,300	-
S17		7.2	23.9	0.0	12.0	1.8	5.7	1.7	4.27	0.84	1.280	360	-
S19		8.2	24.0	0.0	11.3	6.1	10.9	1.8	4.07	1.18	0.191	1,270	-
S20		7.3	23.5	0.0	9.4	2.3	4.6	1.9	1.93	0.94	0.224	2,000	-
S21		7.2	23.6	0.7	2.1	8.3	15.3	12.2	5.13	3.17	0.561	1,440,000	-
S22		7.2	23.8	1.6	4.1	6.4	10.0	10.1	4.53	1.67	0.485	240,000	0.223
S24		7.6	24.7	21.3	4.0	3.4	16.1	2.3	1.73	0.77	0.094	7,000	-
Average		7.2	23.5	-	6.4	3.8	7.6	4.1	3.16	1.77	0.404	92,010	-

1) N/F=No Flow

Table 3, 4에서 pH는 풍수기 때 6.1~7.4 범위에 평균 6.9, 갈수기 때 6.7~8.2 범위에 평균 7.2를 나타내었다. pH는 조사지점 S1(문동저수지)부터 S9(배합천 합류지점)까지 상류지역에서는 갈수기 때가 풍수기 때보다 약간 높은 pH 값을 보여주었고, 유역에 대규모 아파트형 주거단지가 형성되고 있는 조사지점 S10(중간지역) 이하 하류에서는 풍수기, 갈수기 모두 비슷한 값을 보여주었다. 갈수기 때 조사지점 S19(금곡교)에서 다소 높은 pH가 나타났는데 이는 하수와 해수의 유입으로 인한 것이라고 생각된다.

수온은 풍수기 때 18.1~24.1 °C 범위에 평균 20.3 °C, 갈수기 때 21.0~24.7 °C 범위에 평균 23.5 °C를 나타내었다. 풍수기 때 조사지점 S1(문동저수지)부터 S9(배합천 합류지점)까지 고현천의 상류지역에서 약간 낮은 수온을 나타내고 하류로 내려오면서 상승하는 경향을 보여주었다. 갈수기는 상·하류 모두 비슷한 수온을 보여주었다.

염분도는 풍수기 때 조사지점 S24(신현제1교)에서 5.3 ppt가 검출되어 기수역을 나타내었고, 갈수기 때 조사지점 S21(금곡교 아래), S22(신현교), S24(신현제1교)에서 각각 0.7, 1.6, 21.3 ppt를 나타내었다. 해수는 대체적으로 만조시 S22(신현교)까지 침투하여 이 지점을 경계로 하여 담수 생태계와

기수역의 하구생태계로 나누어져 있다.

DO는 풍수기 때 5.7~8.7 mg/L 범위에 평균 7.9 mg/L, 갈수기 때 2.1~12.0 범위에 평균 6.4를 나타내었다. DO 농도는 풍수기 때 조사지점 S1, S24를 제외한 고현천 전체 조사지점에서 8.0 mg/L 부근의 거의 일정한 값을 나타낸 반면 갈수기 때는 조사지점별로 큰 변동을 보여주었다. 갈수기 때는 상류지역(S5~S7, 문동중판교 부근), 중간지역(S16)과 하류지역(S21, S22, S24)에서 2.1~4.7 mg/L의 낮은 농도를 나타내었다. 상류지역 조사지점에서 DO 농도가 낮은 것은 문동저수지 아래 위치한 가든식 식당에서 배출하는 하수의 유입으로 인한 결과라고 생각된다.

탁도와 SS는 풍수기 때 각각 4.3~50.8 NTU, 0.7~38.7 mg/L 범위에 평균 19.4 NTU, 15.5 mg/L, 갈수기 때 각각 1.1~10.0 NTU, 1.8~16.1 mg/L 범위에 평균 3.8 NTU, 7.6 mg/L를 나타내었다. 갈수기 때는 고현천의 전체 구간에서 변동이 작고 낮은 탁도와 SS 값을 보여준 반면에 풍수기 때는 S1(문동저수지)부터 S9(배합천 합류지점)까지 상류지역에서 변동이 큰 높은 탁도와 SS 값을 보여주었다. 조사지점 S10(중간지역) 이하 하류지역에서는 풍수기와 갈수기 모두 작은 값과 유사한 변동의 탁도와 SS의 농도를 나타내었다.

SS는 풍수기 때 조사지점 S1, S3~S6, S8 및 S9(고현천 상류)에서 25.3~38.7 mg/L의 높은 농도를 나타내었고, 이는 폭우로 인한 토사유입에 의한 것으로 판단된다.

BOD와 COD는 풍수기 때 각각 1.1~4.5 mg/L, 1.27~4.93 mg/L 범위에 평균 2.4 mg/L, 2.81 mg/L, 갈수기 때 0.9~12.2 mg/L, 1.27~5.47 mg/L 범위에 평균 4.1 mg/L, 3.16 mg/L를 나타내었다. BOD와 COD는 풍수기 때 거의 일치하는 변동을 보여 주었으나 갈수기 때는 조사지점별로 서로 다른 큰 변동을 나타내었다. 갈수기 때 상류지역(S5~S7, 문동중관교 부근), 중간지역(S13)과 하류지역(S21~S22)에서 BOD 6.1~12.2 mg/L의 매우 악화된 수질을 나타내었고, 특히 S5~S6와 S21~S22에서 BOD와 COD가 동시에 큰 값을 나타내어 하수유입으로 인한 오염이 매우 심화되고 있음을 나타내었다.

DIN과 DIP는 풍수기 때 각각 0.32~1.06 mg/L, 0.025~2.228 mg/L 범위에 평균 0.57 mg/L, 0.167 mg/L, 갈수기 때 각각 0.74~4.57 mg/L, 0.014~1.280 mg/L 범위에 평균 1.77 mg/L, 0.404 mg/L를 나타내었다. 풍수기 때 고현천 전체 조사지점에서 DIN과 DIP는 낮은 값의 거의 일정한 변동을 나타내었으나 조사지점 S20(점오염원, 우수관거)에서는 2.228 mg/L의 높은 DIP 농도가 나타났다. 갈수기 때 하수 등의 오염물질의 유입으로 인하여 상류지역(S5~S7, 문동중관교 부근), 중간지역(S13)과 하류지역(S17, S21)에서 DIN, DIP가 각각 3.17~4.57 mg/L, 0.561~1.270 mg/L로 동시에 높은 값을 나타내었고, 동일한 조사지점에서 DIN, DIP, DO, BOD의 변화가 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 Yang과 Hwang(2004) 및 Yun 등(2002)이 조사한 것과 같은 결과를 나타내었다.

분변계대장균은 풍수기 때 76~23,600 No./100mL 범위에 평균 3,202 No./100mL, 갈수기 때 100~1,440,000 No./100mL 범위에 평균 92,010 No./100mL를 나타내었다. 풍수기와 갈수기 모두 고현천은 전체 구간에 걸쳐서 분변계대장균으로 대체로 심하게 오염되어 있었고, 특히 하류지역(S20~S24, 금곡교 하류)부터 3,220~1,440,000 No./100mL의 매우 높은 개체수를 나타내었다. 수계에 대한 대장균과 분변계대장균의 기준은 물의 용도에 따라서 달라질 수 있다. 패류에 대한 엄격한 허용기준치는 대장균군이 70 No./100mL 이하이고, 분변계대장균이 14 No./100mL 이하이다(Thomann and Mueller, 1987). 수산생물 양식, 수영, 관광, 여가선용 등에 대한 허용기준치는 대장균군이 1,000 No./100mL 이하이고, 분변계대장균이 200 No./100mL 이하이다(McCabe, 1978). 분변계대장균의 수 200 No./100mL는 수계의 여러 가지 환경적 변화 즉 바람의 방향, 유량 및 유속, 조수 등을 고려하여 설정한 기준치이며, 이 이상이 되면 병원성 세균에 대한 노출 위험이 증대한다는 것을 의미한다(USEPA, 1983).

**수질오염지표 사이의 상관관계 분석**

풍수기와 갈수기 때 고현천의 수질오염지표 사이의 상관관계를 분석하고 그 결과를 Table 5, 6에 나타내었다.

**Table 5. Correlation coefficients(r) between the major water quality parameters in Gohyeon Stream during the rainy season by Pearson's correlation analysis**

Parameters	DO	SS	COD	DIN	DIP	FC <sup>1)</sup>
DO	1.000					
SS	-0.024	1.000				
COD	-0.214	0.341	1.000			
DIN	-0.256	-0.204	-0.384	1.000		
DIP	0.057	-0.069	-0.457	0.188	1.000	
FC	-0.531	-0.292	0.002	0.413	0.010	1.000

1) FC : Fecal Coliform

**Table 6. Correlation coefficients(r) between the major water quality parameters in Gohyeon Stream during the dry season by Pearson's correlation analysis**

Parameters	DO	SS	COD	DIN	DIP	FC <sup>1)</sup>
DO	1.000					
SS	-0.430	1.000				
COD	-0.205	0.283	1.000			
DIN	-0.504	0.373	0.349	1.000		
DIP	-0.132	0.096	0.612	0.549	1.000	
FC	-0.414	0.468	0.373	0.273	0.116	1.000

1) FC : Fecal Coliform

Table 5, 6에서 DO는 풍수기와 갈수기 모두 SS, COD, DIP와 상관성을 나타내지 않았다. DO와 FC(분변계대장균)는 풍수기 때 통계적으로 유의한 음의 상관관계( $r = -0.531, p < 0.05$ )를 나타낸 반면(Fig. 5), 갈수기 때는 유의한 상관성을 나타내지 않았다. DO와 DIN은 풍수기 때 유의한 상관관계를 나타내지 않았으나, 갈수기 때는 통계적으로 유의한 음의 상관관계( $r = -0.504, p < 0.05$ )를 나타내었다(Fig. 5).

SS와 FC는 갈수기 때 유의한 양의 상관관계( $r = 0.468, p < 0.05$ )를 나타낸 것(Fig. 5)을 제외하고, 풍수기, 갈수기 모두 다른 지표들과는 상관성을 나타내지 않았다.

COD와 DIP는 풍수기 때 유의한 음의 상관관계( $r = -0.457, p < 0.05$ )를 나타내었고(Fig. 5), 갈수기 때 유의한 양의 상관관계( $r = 0.612, p < 0.05$ )를 나타내었다(Fig. 5). 그리고 DIN, FC와는 풍수기, 갈수기 모두 유의한 상관성을 나타내지 않았다.

DIN과 FC는 풍수기 때 유의한 양의 상관관계( $r = 0.413, p < 0.05$ )를 나타내었고(Fig. 5), 갈수기 때는 DIP와 유의한 양의 상관관계( $r = 0.549, p < 0.05$ )를 나타내었다(Fig. 5). 한편 DIP와 FC는 풍수기, 갈수기 모두 상관성을 나타내지 않았다.

결론적으로 풍수기 때 DO와 FC, COD와 DIP, DIN과 FC 사이의 유의한 상관관계로부터 장마시기에 유역으로부터 공통의 오염원으로서 분변오염물질이 고현천으로 유입하여 수질에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 갈수기 때 DO와 DIN, SS와 FC, COD와 DIP, DIN과 DIP 사이의 유의한 상관관계는 고현천의 내부오염부하와 공통된 오염원으로서

생활하수 등 분변오염물질을 함유하는 외부오염부하에 의하여 하천의 수질이 직접적이고 민감하게 변하는 것을 의미하

는 것이다(Jang *et al.*, 2011).

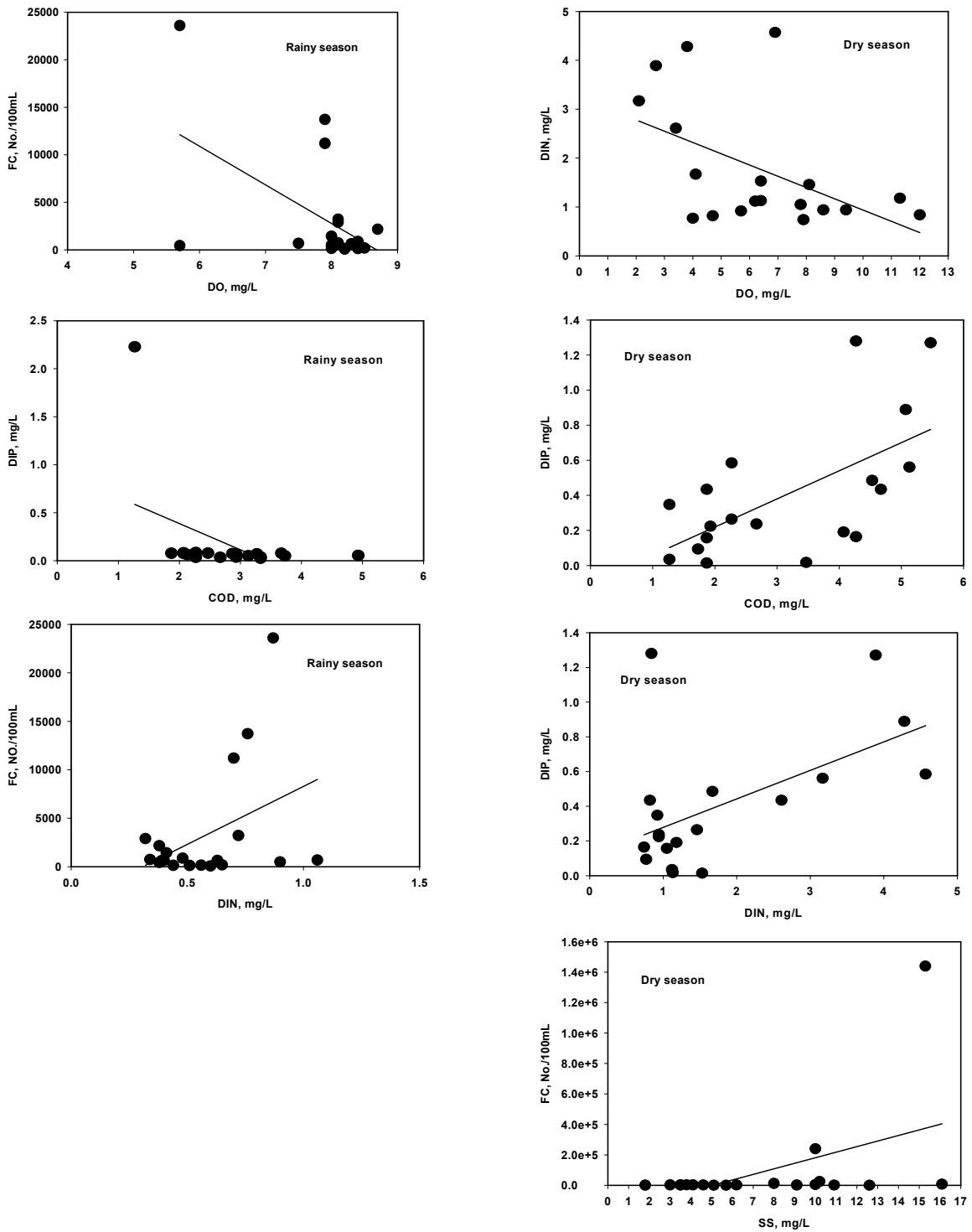


Fig. 5. Relationships between DO, COD, DIN, DIP and FC in Gohyeon Stream during the rainy and dry seasons.

고현천 지류의 수질특성

고현천으로 유입하는 각 지류의 풍수기(장마시기)와 갈수

기 때의 수질분석 결과는 Table 7, 8과 같다.



Table 7. Results of water quality analysis for the tributaries of Gohyeon Stream during the rainy season

Parameters Sampling Sites	pH	Temp. (°C)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Fecal Coliform (No./100mL)	Flow (m <sup>3</sup> /sec)
T0	6.8	22.1	0.0	5.7	50.8	27.3	3.4	3.73	0.38	0.049	440	0.998
T1	6.8	18.4	0.0	8.5	31.7	31.7	2.8	3.13	0.38	0.039	2,016	0.193
T2	6.8	20.1	0.0	8.0	23.7	16.7	2.8	3.13	0.27	0.046	560	0.212
T3	7.3	21.1	0.0	7.8	7.3	4.0	3.7	4.13	0.29	0.039	432	0.113
T4	6.7	20.2	0.0	7.3	4.3	8.0	3.6	3.93	0.32	0.013	560	0.225
T5	7.0	20.2	0.0	8.0	12.5	14.0	1.7	1.93	0.64	0.147	4,512	0.006
T6	7.1	20.4	0.0	7.9	8.8	8.0	4.5	4.93	0.42	0.017	2,448	0.390
T7	7.5	-	0.0	7.5	4.6	8.0	1.0	4.27	0.28	0.085	72	0.026
T8	7.4	-	0.0	8.5	3.1	4.0	1.4	2.87	0.63	0.060	308	0.564
T9	7.4	23.1	0.0	7.9	15.9	6.0	3.3	1.87	2.52	0.185	148	0.262
T11	7.5	24.0	0.0	9.1	81.7	80.4	5.2	2.27	0.80	0.074	624	0.051
T12	7.3	21.8	0.0	8.8	3.1	0.7	1.3	1.27	1.07	0.040	44	0.176
T13	7.4	23.0	0.0	2.9	9.0	6.7	2.8	3.07	11.65	1.131	22,000	0.026
T14	7.2	20.5	0.0	8.7	2.8	3.0	2.2	2.47	0.84	0.028	6,740	0.284
T15	7.2	21.6	0.9	6.0	10.8	14.0	6.4	7.07	4.94	0.331	302,400	0.210
T16	7.2	22.3	0.0	8.6	0.6	1.0	1.3	1.47	0.70	0.000	0	0.0003
T17	7.1	25.7	0.0	2.5	34.7	14.0	16.9	18.67	14.11	4.541	393,600	0.0003
T18	7.6	20.8	3.2	4.9	0.9	2.7	3.5	3.87	2.34	0.181	21,600	0.003
T19	7.2	21.6	0.9	7.5	3.8	4.3	2.6	2.87	0.55	0.018	1,060	0.014
Average	7.2	21.6	-	7.2	16.3	13.4	3.7	4.05	2.27	0.370	39,977	0.198

Table 8. Results of water quality analysis for the tributaries of Gohyeon Stream during the dry season

Parameters Sampling Sites	pH	Temp. (°C)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Fecal Coliform (No./100mL)	Flow (m <sup>3</sup> /sec)
T0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F <sup>1)</sup>
T1	7.2	22.3	0.0	7.3	4.6	4.2	1.5	1.13	1.70	0.037	890	0.008
T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T3	7.3	22.7	0.0	7.9	7.5	10.5	1.2	1.93	0.77	0.034	120	0.024
T4	6.8	24.1	0.0	4.8	9.1	14.0	5.5	0.73	1.12	0.140	6,340	0.027
T5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T6	7.2	22.4	0.0	7.6	2.1	3.9	0.7	1.73	0.75	0.087	1,270	0.031
T7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T8	7.0	23.1	0.0	6.6	1.2	4.3	4.0	2.16	1.71	0.324	1,600	0.085
T9	7.4	24.4	0.0	3.8	3.6	11.4	12.1	6.03	4.73	1.286	21,300	0.016
T11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T12	6.3	22.6	0.0	2.7	0.9	3.0	0.7	0.59	0.57	0.171	0	0.028
T13	7.5	22.8	0.0	1.4	13.7	15.7	2.2	7.13	4.47	1.317	1,300	0.004
T14	7.6	22.7	0.0	5.6	3.1	5.2	5.5	2.13	2.94	0.805	50,800	0.007
T15	7.1	24.2	2.0	5.3	22.2	75.0	5.2	15.73	5.05	0.416	2,550,000	0.057
T16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T17	7.2	25.6	0.0	2.8	35.8	32.1	27.2	13.73	5.14	0.171	1,240,000	0.0002
T18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
T19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F
Average	7.1	23.4	-	5.1	9.4	16.3	6.0	4.82	2.63	0.435	352,147	0.026

1) N/F=No Flow

Table 7, 8에서 pH는 풍수기 때 6.7~7.6 범위에 평균 7.2, 갈수기 때 6.3~7.6 범위에 평균 7.1를 나타내었다. 풍수기와 갈수기의 pH 값이 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 조사지점 T12(하류지역)에서 갈수기 때 pH 6.3을 나타내었다.

각 지류의 수온은 풍수기 때 18.4~25.7 °C 범위에 평균 21.6 °C, 갈수기 때 22.3~25.6 °C 범위에 평균 23.4 °C를 나타내었다. 수온의 변동 양상은 풍수기 때가 갈수기 때보다 약 2 °C 정도 낮은 경향을 나타내었다. 조사지점 T17(점오염원)에서 풍수기, 갈수기 모두 가장 높은 수온을 나타내었다.

DO는 풍수기 때 2.5~9.1 mg/L 범위에 평균 7.2 mg/L, 갈수기 때 1.4~7.9 mg/L 범위에 평균 5.1 mg/L을 나타내었다. DO 농도는 풍수기 때 상류지역(T1~T6)과 중간지역(T7~T12)에서 DO 8.0 mg/L 부근의 양호한 값들을 보이다가 하류지역(T13 이하)에서 큰 변동을 나타내었다. 갈수기 때는 전반적으로 풍수기 때보다 평균 2 mg/L 적은 DO 농도를 나타내었으며, 전 구간에서 하수 등의 오염물질의 유입에 따라서 큰 변동을 나타낸 것을 알 수 있다.

탁도와 SS는 풍수기 때 각각 0.6~81.7 NTU, 0.7~80.4 mg/L 범위에 평균 16.3 NTU, 13.4 mg/L, 갈수기 때 각각 0.9~35.8 NTU, 3.0~75.0 mg/L 범위에 평균 9.4 NTU, 16.3 mg/L를 나타내었다. 탁도와 SS 농도는 풍수기와 갈수기 모두 유사한 변동 양상을 나타내었다. SS는 풍수기 때 상류지역(T0, T1)과 중간지역(T11, 우수관거)에서 27.3~80.4 mg/L의 높은 농도를 나타내었고, 특히 T11에서 80.4 mg/L의 매우 높은 농도를 나타내었다. 그 외 조사지점들은 16.7 mg/L 이하의 농도를 나타내었다. 갈수기 때는 하류지역(T15, T17)에서 각각 32.1 mg/L, 75.0 mg/L의 나타내었고, 그 밖의 조사지점들은 15.7 mg/L 이하의 농도를 나타내었다.

BOD와 COD는 풍수기 때 각각 1.0~16.9 mg/L, 1.27~18.67 mg/L 범위에 평균 3.7 mg/L, 4.05 mg/L, 갈수기 때 각각 0.7~27.2 mg/L, 0.73~15.73 mg/L 범위에 평균 6.0 mg/L, 4.82 mg/L를 나타내었다. BOD와 COD 농도는 풍수기 때 거의 전체 구간에서 유사한 변동을 나타내었으나 갈수기 때는 서로 다른 변동을 나타내었다. 풍수기 때 상류지역(T6), 중간지역(T11)과 하류지역(T15, T17)에서 4.5~16.9 mg/L의 높은 BOD 농도를 나타내었다. 특히 조사지점 T17(점오염원)에서 16.9 mg/L의 가장 높은 농도를 나타내었다. 갈수기 때 중간지역(T9)과 하류지역(T15, T17)에서 BOD와 COD 농도가 동시에 높게 나타났다. 특히 T17에서 27.2 mg/L의 매우 높은 값의 BOD 농도가 나타났다. 이러한 현상은 풍수기 때 중간지대의 농경지 유출수, 갈수기 때 용산천 소유역(T9, T11) 상류에 형성된 아파트형 주거단지로부터 방류된 자체 정화조 유출수 및 생활하수 등이 유입된 결과라고 판단된다.

DIN과 DIP는 풍수기 때 각각 0.27~14.11 mg/L, 0~4.541 mg/L 범위에 평균 2.28 mg/L, 0.370 mg/L, 갈수기 때 각각 0.57~5.14 mg/L, 0.034~1.317 mg/L 범위에 평균 2.63 mg/L, 0.435 mg/L를 나타내었다. DIN과 DIP 농도는 풍수기와 갈수기에 상류지역(T1~T6)과 중간지역(T7~T8)의 각 지류에 대하여 낮은 값의 일정한 변동을 나타내었다.

그러나 풍수기 때 중간지역(T9)과 하류지역(T13, T15, T17, T18)의 신현읍 도심을 관통하는 지류들에서 각각 2.34~14.11 mg/L, 0.181~4.541 mg/L의 높은 농도의 DIN, DIP 값들이 나타났다. 특히 조사지점 T17에서 DIN, DIP가 각각 14.11 mg/L, 4.541 mg/L로 동시에 매우 높은 농도가 나타났다. 갈수기 때 풍수기 때와 같이 중간지역(T9)과 하류지역(T13~T15, T17)에서 각각 2.94~5.14 mg/L, 0.171~1.317 mg/L의 높은 농도의 DIN, DIP 값들이 나타났다. 갈수기 때는 조사지점 T9에서 1.286 mg/L의 가장 높은 DIP 농도가 나타났고, 조사지점 T17에 5.14 mg/L의 가장 높은 DIN 농도가 나타났다. 이러한 현상은 BOD, COD의 경우와 마찬가지로 풍수기 때 중간지대의 농경지 유출수, 갈수기 때 용산천 소유역(T9, T11) 상류에 형성된 아파트형 주거단지로부터 방류된 자체 정화조 유출수 및 생활하수 등에 다량 포함된 영양염이 원인이라고 판단된다.

분변계대장균은 풍수기 때 0~393,600 No./100mL 범위에 평균 39,977 No./100mL, 갈수기 때 0~2,550,000 No./100mL 범위에 평균 352,147 No./100mL를 나타내어 전체 지류들이 분변계대장균으로 오염이 되어 있었고, 각 지류마다 극단적 차이를 나타내었다. 특히 하류지역 조사지점 T15, T17에서 풍수기, 갈수기 모두 극단적으로 높은 개체수(각각 302,400~2,550,000, 393,600~1,240,000 No./100mL)가 검출되었다.

### 고현천과 지류의 수질오염 비교 분석

지류(소하천)의 오염도가 본류의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지류와 본류의 동일 지표 값(SS, COD, DIN, DIP, FC)을 풍수기와 갈수기로 나누어 상호 비교하고 그 결과를 Figs. 6~10에 나타내었다.

수질모델(QUAL2E)에서 지류와 본류가 만나는 지점(합류지점, mixing point)의 부하량은 완전혼합이 이루어져야함으로 다음과 같은 물질수지식(mass balance equation)이 성립한다(Chapra, 1997).

$$Q_t L_t + Q_s L_s - (Q_t + Q_s) L_0 - K_r V Z = 0 \quad (1)$$

여기서,  $Q_t$  : 합류지점에서 지류의 유량( $m^3/sec$ )

$Q_s$  : 합류지점에서 하천의 유량( $m^3/sec$ )

$L_t$  : 합류지점에서 지류의 오염물질 농도 (mg/L)

$L_s$  : 합류지점에서 하천의 오염물질 농도 (mg/L)

$L_0$  : 합류지점에서 생성된 오염물질의 농도 (mg/L)

$K_r$  : 반응속도정수(per day)

$V$  : 구간의 하천수 부피( $m^3$ )

$L$  : 구간의 오염물질의 농도(mg/L)

고현천에서 지류의 유량은 본류 하천의 유량에 비하여 매

우 적으므로( $Q_t \ll Q_s$ ) 무시할 수 있고, 하천의 구간 내에서 반응에 의한 유입(sources)과 유출원(sinks)이 발생되지 않는다고 가정하면 (3)식은 다음과 같이 간단히 정리된다.

$$L_0 = \frac{Q_t L_t + Q_s L_s}{Q_t + Q_s}; \quad Q_t \ll Q_s, \quad Q_t \approx 0 \quad (2)$$

$$L_0 = \frac{Q_t}{Q_s} L_t + L_s \quad (3)$$

(3) 식에서  $L_s \geq L_t$ 일 경우  $L_0 > L_t$ 이고,  $L_s \ll L_t$ 일 경우  $L_0 < L_t$ 가 된다.

풍수기와 갈수기 때에 고현천의 지류와 본류의 합류지점에서 지류와 고현천의 COD, SS, DIN, DIP, FC (fecal coliform) 농도 값을 상호 비교하여 Fig. 6~10에 나타내었다.

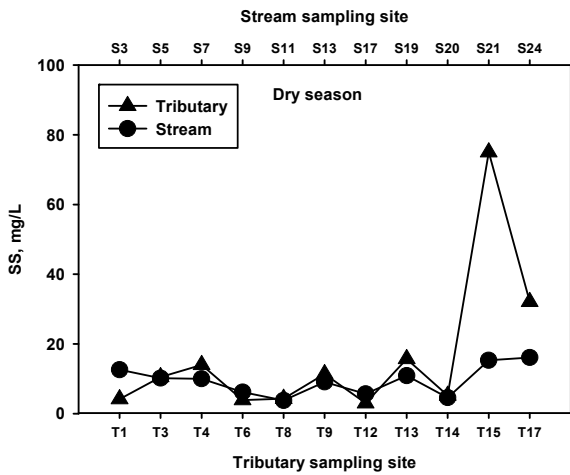


Fig. 6. Comparison of the SS concentration at the mixing point between Gohyeon Stream and its tributaries during the rainy and dry seasons.

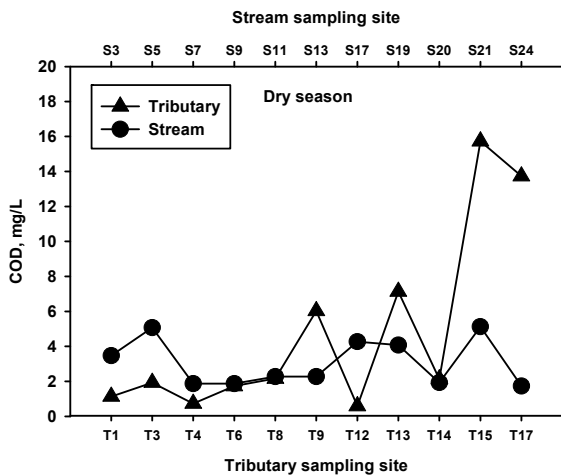


Fig. 7. Comparison of the COD concentration at the mixing point between Gohyeon Stream and its tributaries during the rainy and dry seasons.

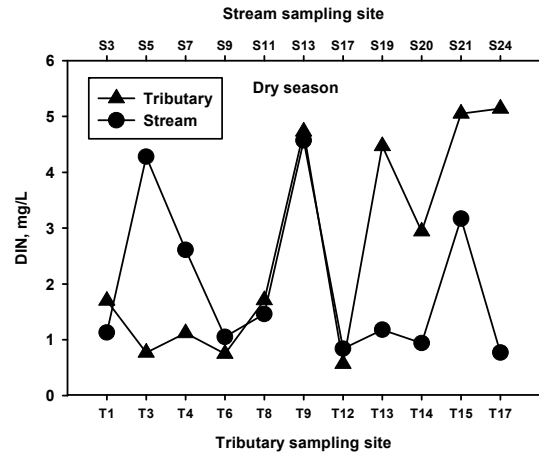


Fig. 8. Comparison of the DIN concentration at the mixing point between Gohyeon Stream and its tributaries during the rainy and dry seasons.

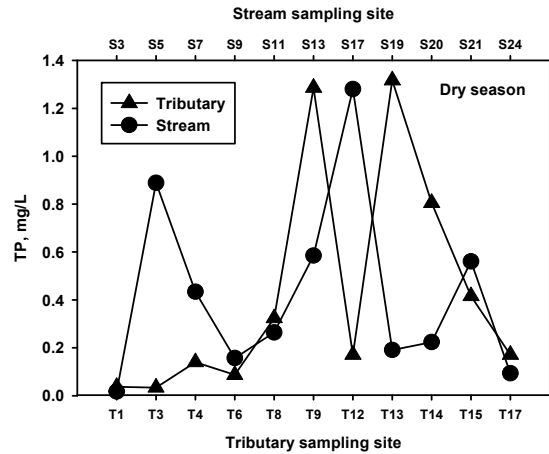


Fig. 9. Comparison of the DIP concentration at the mixing point between Gohyeon Stream and its tributaries during the rainy and dry seasons.

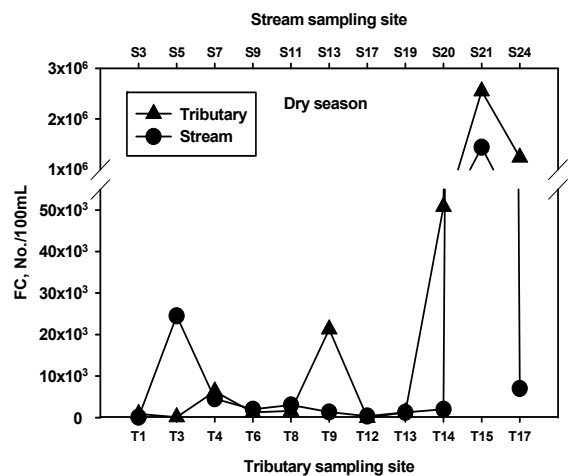


Fig. 10. Comparison of the FC (fecal coliform) concentration at the mixing point between Gohyeon Stream and its tributaries during the rainy and dry seasons.

Fig. 6에서 풍수기 때 T0~T5와 T6~T8 조사지점까지 상류 및 중간지역에서 본류의 SS 농도가 지류의 SS 농도보다 크고 연동하는 특징을 나타냄으로써 지류의 SS가 고현천의 수질에 영향을 미치는 것을 알 수 있고, 그 이하 지류들에서는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 갈수기 때는 고현천 전 유로에 걸쳐서 지류와 본류의 SS 농도가 거의 유사한 값으로 연동함으로써 지류의 영향이 거의 직접적임을 알 수 있다.

Fig. 7에서 풍수기 때 지류와 본류의 COD 농도의 변화가 상호 연동하지 않으므로 지류의 오염부하량이 고현천의 수질에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 갈수기 때는 유량이 적으므로 고현천 자체의 내부오염부하량과 지류에 하수 등 외부오염부하량의 유입으로 인하여 조사지점별로 큰 농도 변화를 나타내었다. 그리고 대체적으로 조사지점 T8까지 상류 및 중간지역에서 본류의 COD 농도가 지류의 농도보다 크고 상호 연동하는 특징을 나타낸 반면, 그 이하 지류들(T9, T13, T15, T17)은 도심지역을 통과하면서 하수 등 외부오염부하량에 노출됨에 따라 큰 농도 변화를 나타내었고, 고현천의 수질에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 8에서 풍수기 때 T0~T5와 T6~T8 조사지점까지 상류 및 중간지역에서 지류와 본류의 DIN 농도의 변화가 상호 연동하지 않고 지류의 DIN 농도가 본류의 수질에 크게 영향을 미치지 않은 반면, 그 이하 지류들은 농경지와 도심지역을 통과하면서 농경지유출수와 하수 등 외부오염부하량에 노출되어 고현천으로 유입함으로써 인하여 고현천의 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 갈수기 때 T3~T4 조사지점까지 고현천 구간(S5~S7)에는 지류에서 유래하지 않는 다른 강력한 질소 오염원이 존재함을 알 수 있다. 갈수기 때 T6 조사지점 이하부터 지류의 DIN 농도와 본류의 DIN 농도가 대체로 연동하는 현상을 나타내며 동시에 T8 조사지점 아래부터는 지류들이 농경지(주로 논)와 도심지역을 통과하면서 농경지유출수와 하수 등 외부오염부하량에 노출됨으로 인하여 고현천의 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 9에서 DIP는 풍수기와 갈수기 모두 전체 고현천 구간에서 지류와 본류의 농도 변화가 상호 연동하지 않은 것을 알 수 있다. 풍수기 때 고현천 전체 구간은 지류의 DIP 부하량에 영향을 받지 않고 거의 일정한 농도 변화를 나타내었다. 갈수기 때 T3~T4 조사지점까지 고현천 구간(S5~S7)에는 DIN의 경우와 동일하게 지류에서 유래하지 않는 다른 DIP 오염원이 존재함을 알 수 있다. 갈수기 때 T9 조사지점부터 지류의 DIP 농도에 큰 변화가 있으나 본류의 DIP 농도와 연동하는 관계는 보여주지 않았다. 이는 갈수기 때 적은 유량으로 인하여 고현천으로 유입하는 DIP의 부하량이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 10에서 풍수기 때 T12 조사지점까지 지류와 본류의 분변계대장균 수는 거의 유사한 값의 변화와 연동을 나타내어 지류의 분변계대장균수가 고현천의 분변계대장균수의 원인인 것으로 판단되고, 하류지역 T13 조사지점부터 지류에 하수 등의 외부오염부하량이 다량 유입함으로써 인하여 큰 폭

의 분변계대장균수의 변화와 증가(22,000~393,600 No./100mL)가 나타남과 동시에 고현천의 분변계대장균수의 증가에 크게 영향을 미친 것을 알 수 있다. 이로써 고현천의 분변계대장균의 오염은 지류로부터 유발되었고, 특히 하류지역이 하수 등 분변오염물질에 의하여 그 영향이 심각함을 알 수 있다. 갈수기 때 고현천 S5 조사지점에는 지류(T3)에서 유래하지 않는 분변오염물질이 존재함을 알 수 있다. 그리고 T13 조사지점 이하부터 지류의 분변계대장균 수는 하수 등의 외부오염부하량의 유입으로 큰 변화를 나타내어 시료 100 mL당 50,800~2,550,000 개체의 초유의 높은 값을 나타내었다.

## 결론

고현천 유역을 10개의 소유역으로 나누고 고현천에 20개 조사지점, 지류에 19개 조사지점을 정하고 풍수기(장마시기)와 갈수기로 나누어 조사 분석한 고현천 및 주변 지류의 수질 오염 특성은 다음과 같다.

본 연구의 수질자료를 종합 분석해 볼 때 고현천 구간은 상류지역 S1~S9(T0~T6)까지, 중간지역 S10~S16(T7~T11)까지, 하류지역 S17~S24(T12~T19)까지로 3등분으로 나눌 수 있다. 문동저수지(S1)부터 배합천 합류지점(S9)까지 상류지역은 풍수기 때 토사유입으로 인한 높은 SS 농도, pH 7.2, DO 8.0 mg/L 부근, 낮은 COD, DIN, DIP 농도를 나타내어 전원하천에 가까운 특징을 보여주었고, 갈수기 때는 생활하수 등 오염물질의 유입으로 오염이 심화되는 현상을 나타내었다. 고현천의 중간지역 주변은 농경지(주로 논)가 형성되어 있고, 풍수기 때 지류를 통하여 유입되는 다량의 농경지 유출수로 인하여 높은 COD, DIN, DIP 농도가 나타났고, 갈수기 때는 용산천 소유역(T9, T11) 상류에 형성된 아파트형 주거단지로부터 방류된 자체 정화조 유출수와 생활하수 등 오염물질의 유입으로 인하여 COD, DIN, DIP 농도가 높게 나타났다. 조사지점 S17(T12) 아래 하류지역은 풍수기, 갈수기 모두 분변오염물질이 포함된 생활하수가 지속적으로 유입함으로써 인하여 모든 지표의 농도가 매우 높게 나타나는 오염된 도시하천의 특징을 나타내었고, 만조시 S22(신현교)까지 해수가 침투하여 이 지점을 경계로 하여 상류의 담수 생태계와 기수역의 하구생태계로 나누어졌다.

상관관계 분석을 통하여 본 고현천 수질은 풍수기와 갈수기 모두 유역으로부터 공통의 오염원으로써 분변오염물질 등이 고현천으로 유입하여 수질에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 특히 갈수기 때 고현천의 높아진 내부오염부하와 유역에서 유입하는 생활하수 등 분변오염물질을 함유하는 외부오염부하에 의하여 하천의 수질이 직접적이고 민감하게 변하는 것으로 나타났다.

고현천의 도심 생태하천의 기능을 회복하기 위해서는 기존의 설치된 하수관거의 오점 등 불량 개선과 새로운 하수관거의 확장을 통하여 생활하수의 유입을 근본적으로 차단하는 조치가 시급히 요구되고 있다. 본 연구의 결과는 고현천 수질 개선사업과 유지관리에 기술적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

This work has been performed with the financial assistance of GyeongNam Green Environment Center (GNDEC), Korea

## 참고문헌

- Chapra, S. C., 1997. *Surface Water-Quality Modeling*, p. 392, The McGraw-Hill Co., Inc., New York.
- Choi, Y.S., Cho, G.M., 2001. *Environmental Engineering*, pp. 48-49, Cheongmoongag, Seoul, Korea.
- Jang, J.K., Han, I.H., Kim, K.T., Ra, K.T., 2011. Spatial characteristics of pollutant concentrations in the streams of Shihwa Lake, *Journal of KSEE*. 33(4), 289-299.
- Lee, H.S., Hur, J., Jeong, S.A., Hwang, S.J., Shin, J.K., 2006. Spatial characterization of water pollution in the urban stream watershed(Gap Stream), Korea, *Journal of Korean Society on Water Quality* 22(5), 943-951.
- McCabe, L.J., 1978. Chlorine residual substitution-rationale, In: Hendricks, C.W. (Ed.), *Evaluation of the Microbiology Standards for Drinking Water*, EPA-570/9-78-00C, USEPA, Washington, D.C. Office of Drinking Water, pp. 57-63.
- Oh, Y.T., Park, J.C., Kim, D.S., Rhyu, J.K., 2004. Pollutant characteristics of non-point source runoff in Okcheon Stream, *Journal of Korean Society on Water Quality* 20(6), 657-663.
- Standard Methods, 1995. *APHA · AWWA · WEF*, pp.5-12, American Public Health Association, Washington, DC.
- Standard Methods of Examination for Marine Pollution Control, 2008. *Mistry of Land, Transport, Maritime Affairs*, pp.15-63, Seoul, Korea,
- Thomann, R. V., Mueller, J. A., 1987, *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, p. 9, Harper & Row, Publishers, New York,
- Uhm, M.J., Moon, Y.H., Ahn, B.K., Shin, Y.K., 2008. Assessment of water quality and pollutant loads on agricultural watershed in Jeonbuk Province, *Korean J. Environ. Agri.* 27(2), 111-119.
- USEPA, 1983. *Quality Criteria for Water*, pp. 42-50, Washington, D.C.,
- Yang, W.J., Hwang, S.O., 2004. A characterization of Changwon and Nam Stream water quality for the low water season, *Environmental Research Institute, Kyungnam Univ.* 27, 83-92.
- Yun, S.G., Kim, W.I., Kim, J.H., Kim, S.J., Koh, M.H., Eom, K.C., 2002. Evaluation of water quality characteristics on tributaries of Dongjin River watershed, *Korean J. Environ. Agri.* 21(4), 243-247.