

고현천 유입지류에 대한 오염부하량의 시·공간적 평가

김 성 재*⁺

Temporal and Spatial Evaluation of Water Pollution Loads of the Tributaries in Gohyeon Stream Watershed

Sung Jae Kim*⁺

요지 : 고현천 유역을 10개의 소유역으로 나누고 지류에 19개 조사지점을 정하고 풍수기(장마시기)와 갈수기로 나누어 지류의 수질오염과 오염부하량 변동 특성을 조사하였다. 수질분석결과로부터 고현천 유역은 상류지역(T1~T8)은 전원지대의 특성을 나타내었고, 하류지역(T9~T19)은 도심지대의 특성을 나타내었다. 고현천 지류의 비점오염부하량은 SS가 연간 총 2,063ton/yr, COD가 601ton/yr, DIN이 365ton/yr, DIP가 45ton/yr으로 산정되었고, DIP를 제외하고 약 60%가 풍수기 때 발생하여 비점오염원의 유출에는 강우의 영향이 매우 컸다. 한편 DIP 비점오염부하량은 평수기와 갈수기를 합쳐서 약 60%가 나타나 이 기간 동안 인 오염원의 관리가 중요함을 나타내었다. Pearson 상관관계 분석을 통하여 상류지역과 하류지역의 SS 발생원에 분명한 차이를 나타냈으며, 상류지역은 장마시 농경지와 임야지대로부터 부유토사의 유출에 의하여 주로 오염부하가 발생하고 하류지역은 생활하수와 도심유출수(municipal run-off)에 의하여 발생하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 지류, 생활하수, 비점오염부하량, 상·하류지역, Pearson 상관관계 분석

Abstract : The watershed of Gohyeon Stream was divided into the 10 sub-basins, and 19 sampling points were selected in their tributaries, which the characteristics of the water quality and pollution loads variance were investigated for during the rainy and dry seasons. The results of water quality analysis revealed that the upper watershed(T1~T8) of Gohyeon Stream had a feature of rural area, and its lower watershed(T9~T19) had a feature of the municipal area. The non-point pollution loads of the tributaries were estimated with 2,063, 601, 365, and 45 ton/yr of SS, COD, DIN, and DIP, respectively. The pollution loads of the parameters except DIP were generated about 60% during the rainy season, which suggested that a precipitation significantly influenced on the discharge of non-point source pollution. Meanwhile, the non-point pollution load of DIP was generated about 60% during the ordinary and dry seasons, which suggested that control of a phosphorus pollution source was significantly required during these seasons. Pearson's correlation analysis revealed that SS pollution source of the upper watershed was definitely different from that of the lower watershed, that is, the pollution load from the upper watershed was mainly caused by the discharge of SS due to soil erosion in the farmland and forest land during the rainy season, and that of the lower watershed by the discharge of sewage and municipal run-off.

keywords : Tributary, Sewage, Non-point pollution load, Upper and lower watershed, Pearson's correlation analysis

1. 서 론

도시지역 하천에 유입하는 오염부하량은 크게

점오염원(point pollution source)과 비점오염원(non-point pollution source)으로부터 비롯된다. 점오염원은 강우에 관련 없이 일정한 지점에서

⁺ Corresponding author : sngjikim@gnu.ac.kr

* 정회원 · 경상대학교 해양과학대학 해양환경공학과 · 해양산업연구소 · 교수

일정한 양이 지속적으로 배출되는 특징을 가지고 있다. 도시지역의 점오염원은 처리되지 않았거나 부분적으로 처리된 하수(대장균, 유기물질, 영양염류, 독성물질등을 함유)를 주로 배출한다. 비점오염원은 발생지점이 분산되어 있고, 농업지대, 교외지대, 삼림지대, 도심지역을 거쳐 흘러서 수계로 유입한다. 비점오염원은 지속적으로 유출하는 것이 아니고 주로 강우시 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(오영택 등, 2004). 도심지역의 유출수는 대부분 우수관거를 통하여 배출되지만 일부는 지하수의 유입, 건설 폐기물, 생활쓰레기 등이 쌓여있는 곳을 통하여 흐름으로써 많은 오염물질을 함유하고 있다(Thomann and Mueller, 1987). 이흥수 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. 장정익 등(2011)은 시화호로 유입하는 유역의 하천수질을 산업지역, 도시지역, 농업지역으로 구분하여 조사하고 상호 비교 하였으며, 총질소는 산업지역과 질소비료를 과다 사용하는 농업지역에서 높게 나타났다 보고하였다.

거제 고현천은 문동폭포 기슭에서 발원하여 문동저수지를 통하여 동북방향으로 흘러서 신현읍 시가지를 거쳐 고현항으로 유입되는 유로연장 7.1km, 유역면적 16.13km²인 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(거제시, 2004).

고현천 최상류 유역인 문동저수지 아래에 산재해 있는 가든식 식당, 중간지대 유역 주변의 논경작지, 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. 고현천은 이와 같은 외부오염부하량 뿐만 아니라 하천 유로에 설치되어 있는 약 28개의 유지용수로 말미암아 유속이 느려지고 오염물질이 보 주변에 퇴적함으로 인하여 내부오염부하량이 유발하여 수질을 악화시키는 한 요인이 되고 있다. 고현천은 연중 물이 흐르는 형태(perennial flow regime)를 유지하지만 장마기간을 제외하고는 하천유량이 급격히 줄어드는 지방2급 하천이다. 이러한 하천유량으로 형성된 하천의 자정능력은 날로 증가하는 오염부하량을 수용하지 못하고 과부하 상태에 이르고 있다.

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 고현만에 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 유입하는 지류의 점원 및 비점오염원을 조사 분석하고 오염부하량을 산정 평가하여 고현천의 수질 보전과 개선을 위한 각종 사업에 활용할 수 있는 기술적인 수질정보를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사개요

문동저수지로부터 고현항 유입 지점까지 고현천 유역을 10개의 소유역으로 나누고 소유역을 통하여 흐르는 소하천이 고현천 본류와 만나는 지점과 우수관을 통하여 고현천으로 유입하여 만나는 합류지점을 시료채취 지점(T0~T19)으로 선정하였다. 시료는 연중 강우량에 따라서 풍수기(장마시기)와 갈수기로 나누어 채취하였다.

풍수기 때 시료 채취와 유량측정은 최초 243mm 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(26.3mm)이 겨울철 강우량과 같을 때 실시하였다(2009년 9월 18, 19, 20일). 시료처리는 각 조사지점에서 일반항목 분석을 위한 수질시료는 1L 용량의 폴리에틸렌병에 채수하고, BOD 시료는 BOD 병에 채수한 후 현장에서 DO를 측정하였다. 미생물시료는 멸균시료병을 이용하여 채수한 후 4℃ 온도의 ice box에 보관하였고, 모든 시료는 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다. 용존산소와 수온은 YSI 5000 DO meter를, pH는 이스텍 P15 pH meter를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다.

유량은 고현천 3개 지점 소하천 및 점원오염원 18 지점에 대하여 유속, 하천 폭, 하천 깊이 및 유량을 측정하였다. 소하천의 유량은 표면유속을 이용한 하천유량 측정기법을 사용하여 측정하였고(김영성 등, 2002), 점오염원은 용기와 stop watch에 의한 방법으로 측정하였다(최의소와 조광명, 2001).

2.2 분석방법

고현천 지류의 오염원의 수질오염상태를 파악하기 위하여 pH, 수온, 염분도(salinity), 용존산소(DO), 탁도(turbidity), 부유물질(SS), 화학적산소요구량(COD), 생화학적산소요구량(BOD), 용존성

무기질소(DIN: NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N), 용해성 무기인(DIP: PO₄-P), 분변계대장균(fecal coliform, FC) 등을 Standard Methods(APHA, AWWA, WEF, 1995), 해양환경공정시험법(국토해양부, 2008)에 따라 분석하였다.

염분도는 이스텍 460CP ion meter를 이용하여 측정하였다. 탁도는 DRT 15CE turbidimeter를 이용하여 측정하였다. SS는 미리 항량이 구해진 유리섬유여과지를 이용하여 중량법으로 측정하였다. COD는 여과시료에 대하여 망간산화법으로 측정하였다. BOD는 YSI 5000 DO meter를 이용하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 시료를 알칼리성 구연산 매질 속에서 니트로시안화나트륨(sodium nitroferrocyanide 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(NED 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.

2.3 유량산정방법

하천의 수질과 유역의 환경관리를 위해서는 수자원량의 평가가 매우 중요하다. 우리나라의 경우 장기간의 수문관측자료와 유역내 우량관측자료를 이용할 수 있는 곳이 많지 않으며, 특히 지방 1급 및 2급 소형하천의 경우에는 더욱 이용 가능한 자료가 부족하다. 소유역이나 관측 장치가 설치되

지 않은 지역의 수자원량을 평가하기 위하여 가지야마(Kajiyama) 공식, 합리식(rational formula), 면적대비방법, 유역평균유출고방법, KRIHS 모델, US-SCS 방법 등 다양한 공식들이 개발되어 있다(거제시, 2004).

최근에는 산림과 농업이 혼재한 지역 등에 SWAT (soil and water assessment tool) 모델을 이용하여 장기적인 수자원량을 평가하고 있다. SWAT 모델은 미국 농무성의 농업연구소(agricultural research service)와 텍사스농업실험국(Texas agricultural experiment station)에서 다양한 토양, 토지이용 및 관리조건에 따른 대유역 및 복합 토지이용을 갖는 유역에서 수문, 유사량 및 농화학적 성분량에 관한 토지관리인자를 장기간 모의하기 위해 개발된 분포형 모델이다(Arnold et al., 1994). SWAT 모델을 사용하기 위해서는 기상자료, 토지이용도, 토양도 및 하천도 등의 복잡한 입력자료와 숙련된 GIS 지식 및 모델운용 능력을 필요로 한다. 그러나 가지야마공식(한국하천유출량공식)은 비교적 간단하게 월강우량 자료만으로 수자원량을 평가할 수 있다(신용철 등, 2007; 김기철 등, 2008).

가지야마공식은 우리나라에서 가장 많이 이용하는 월별 유출량 추정공식이다. 이 공식은 1929년에 당시 조선총독부 토목기사였던 가지야마가 우리나라의 강과 하천에 대한 10년간의 73개 지점의 강우량과 유출량 측정자료로부터 정확하다고 생각되는 25개 지점의 수문자료를 이용하여 만든 경험식이다. 가지야마공식과 SWAT 모델을 이용하여 소유역의 유출량을 산정하고 실측유량과 비교했을 때 둘 다 거의 유사한 유출특성을 나타내었다. 가지야마공식은 다음과 같다(신용철 등, 2007; 김기철 등, 2008).

$$C = \sqrt{R^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (1)$$

$$Q = \frac{C \times A \times 10^3}{MS} \quad (2)$$

여기서, Q : 유출량(m³/sec)

C : 유출고(mm)

R : 월강우량(mm)

f : 유역의 상황에 따라 변화하는 계수(0.6~1.4)

E : 월별보정치, mm (3, 7, 8, 11, 12월의 보정계수=0)

A : 유역면적(km²)

MS : 월의 초 환산(sec)

본 연구에서 2009년 7월(풍수기)과 9월(갈수기)의 강우량을 이용하여 유출량을 계산하고 실측치와 비교 검정하였다. 고현천의 월별 및 연간 유량은 거제관측소의 30년간(1973~2002년)의 월평균강우량과 소유역의 유역면적을 이용하여 계산한 유출량으로부터 산정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 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.566m), 독봉산(EL.350m) 등의 분수령에 의해 유역경계를 이루고 있다. 고현천의 유역면적은 16.13km², 유로연장은 7.10km이고, 유역의 평균 폭은 1.13~2.26km이고, 형상계수는 0.31~0.56이며, 하상경사는 1/375~1/15로 완경사로부터 약간의 급경사지대로 구성되어 있다(거제시, 2004). 수원은 유역의 최상류인 문동폭포 기슭에서 발원하여 동서쪽으로 흐르다가 문동저수지에서 체류한 후 하류로 흘러서 신현읍 시가지의 신현 1, 2교를 지나 고현항으로 유입된다. 고현천의 상류지역(대부분 임야)은 진원하천에 가까운 특성을 보이거나 하류지역(대부분 상업 및 주거)은 신현읍 도심을 관통하는 도시

하천의 특성을 보여주고 있다. 고현천변의 경작지(주로 논)는 상류에서 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 기수해역을 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 하수관거를 통하여 운송되는 하수를 처리하고 있다. 고현천 유역은 유입하는 소하천의 위치에 따라서 9개의 소유역으로 나누어진다(거제시, 2004). 그림 1은 고현천 지류의 조사지점을 나타내는 지도이다. 그림 2는 고현천 유역과 소하천 유역(소유역)의 경계 및 소하천 조사지점을 나타내는 지도이다. 표 1은 조사

지점 및 소유역(소하천)의 명칭, 소유역 면적을 나타내는 표이다.

표 1. 조사지점 및 소유역(소하천)의 명칭, 소유역 면적

조사지점	소유역(소하천)명	소유역면적(km ²)
T0	문동저수지	2.85
T1	용주사천	0.53
T4	정수목장천	1.00
T6	배합천	1.20
T8	동매골천	2.20
T9	용산천	1.10
T12	상동천	0.47
T13	남문소하천	1.21
T14	동문소하천	1.27
T15	서문소하천	0.79

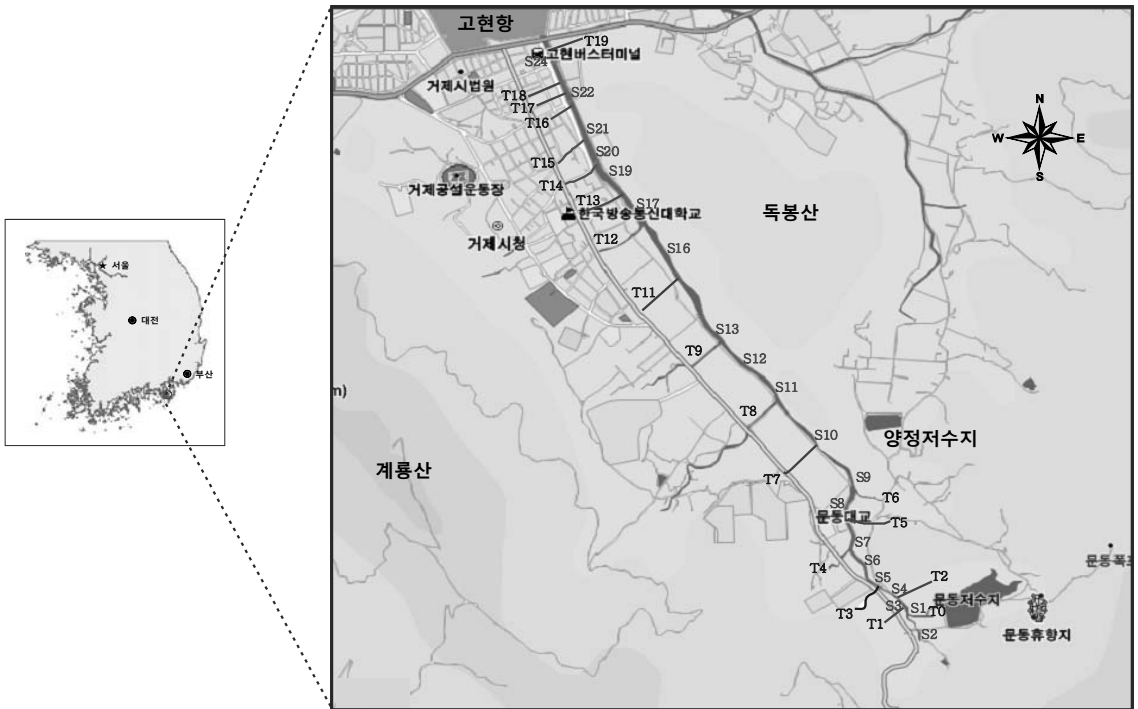


그림 1. 고현천 지류의 조사지점도

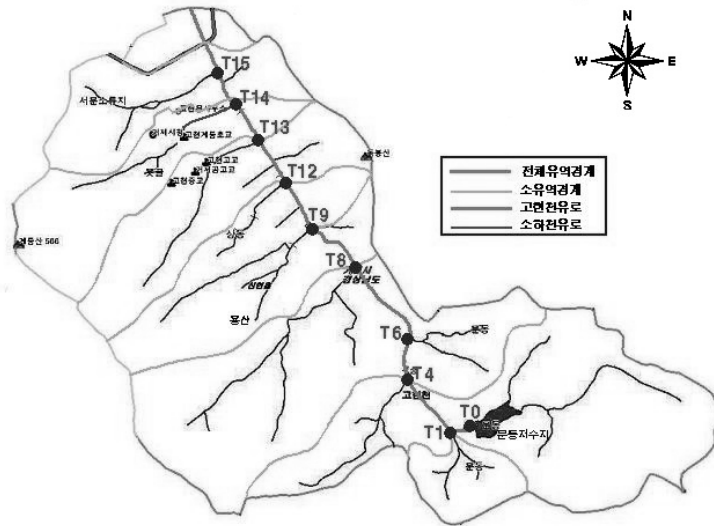


그림 2. 고현천 유역과 소하천 유역(소유역)의 경계 및 소하천의 조사지점도.

3.2 강우특성 및 유량변동

유역내 연평균 강우량은 약 1773mm이고, 연평균 기온은 13.8℃, 최고기온은 37.4℃, 최저기온은 -10.1℃, 연평균 습도는 69%, 연평균 증발량은 약 1,154mm이다. 표 2는 거제관측소의 30년간(1973~2002년)의 월평균강우량이고, 그림 3은 이것과 2009년 거제지역의 월강우량의 변화를 비교한 결과이다. 그림 4는 2006~2009년까지 월별 강우량의 변화를 비교한 것이다.

그림 3에서 2009년 7월의 강우량이 801.1mm로써 30년 월평균강우량보다 2배 이상 높은 값을 나타내었고, 반면에 2009년 8, 9월의 강우량은 월평균강우량에 크게 못 미치는 상태를 나타내었다. 그림 4에서 2009년 7월의 경우 강우강도와 강우빈도가 예년에 비하여 매우 크고 긴 특징을

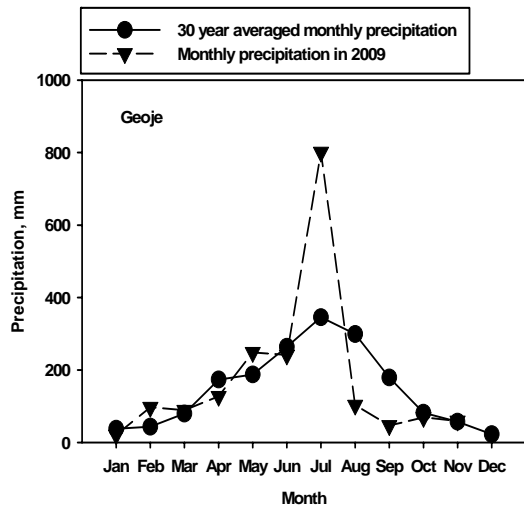


그림 3. 거제 고현천 유역의 30년간 월평균강우량과 2009년 월별 강우량의 비교

표 2. 거제관측소의 30년간(1973~2002년)의 월평균강우량

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균 강우량
거제 (m ³ /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

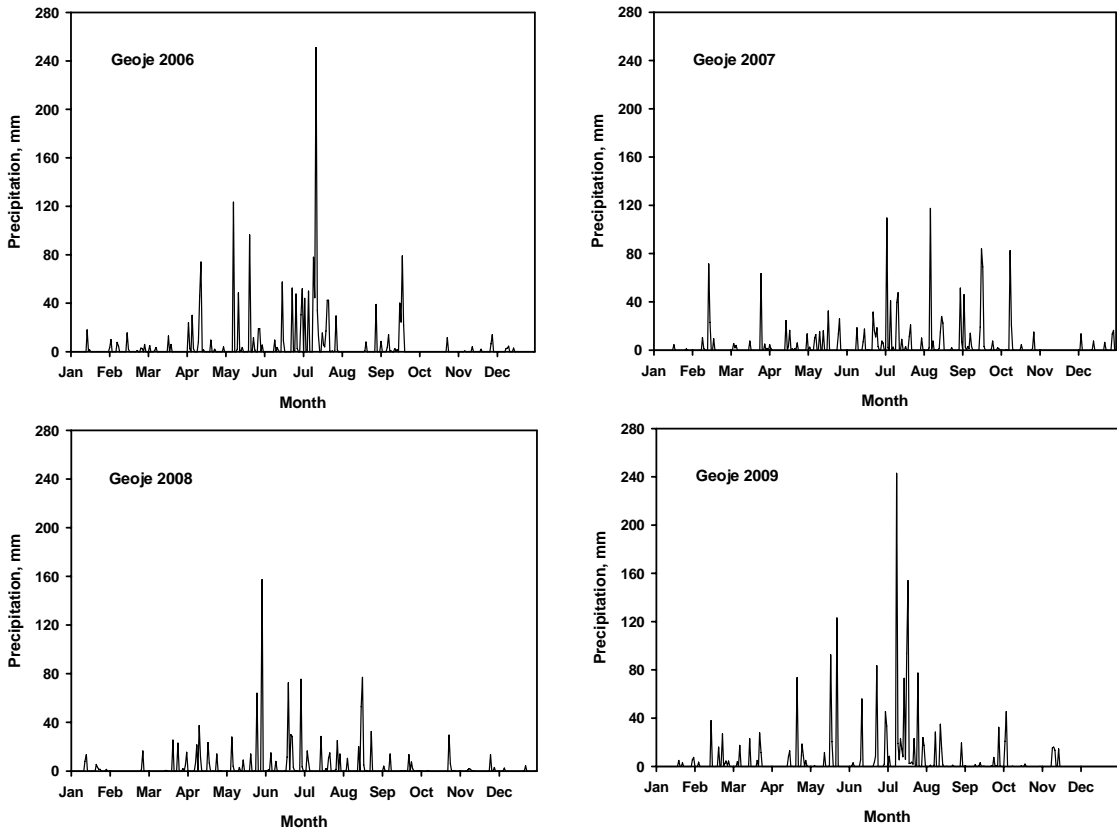


그림 4. 거제지역의 2006~2009년의 월별 강우량 변화의 비교.

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(243mm), 13일(73 mm), 24일(77.5mm)) 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. 엄미정 등(2008)은 하천유량과 강우량을 동시에 측정하고, 측정된 하천유량은 강우량과 비슷한 패턴(pattern)을 보인다고 하였다.

본 연구에서 유량측정은 고현천 3개소, 소하천 및 점원오염원 18개소에 대하여 유속, 하천 폭, 하천 깊이 및 유량을 측정하였다. 풍수기 때 유량측정은 폭우가 내린 다음 날에 실시하였고(2009년 7

월 21일), 갈수기 때는 1개월 강우량(26.3mm)이 겨울철 강우량과 같을 때 실시하였다(2009년 9월 20일). 지류의 유량측정 결과는 그림 5에 나타나있다.

그림 5는 풍수기와 갈수기 때 각 지류를 통하여 고현천으로 유입하는 유량을 나타내고 있다. 표 10, 11에서 유량은 풍수기 때 0.0003~0.998 m³/sec 범위에 평균 2.0m³/sec, 갈수기 때 0.0002~0.085m³/sec 범위에 평균 0.026m³/sec를 나타내었다. 그림 6에서 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 상태에 있음을 알 수 있다. 조사지점 S22(신현교 아래)에서 풍수기와 갈수기 때 고현천의 유량은 각각 1.72, 0.223m³/sec로써 같

수기 유량은 풍수기 유량의 13.0%를 차지하는 것으로 조사되었다. 전체 지류에서 고현천으로 유입하는 유량은 풍수기 때 3.754m³/sec, 갈수기 때 0.287m³/sec으로써 갈수기 유량은 풍수기 유량의 7.6%에 불과하였다.

가지야마 공식에 의한 고현천 유역의 유량 분

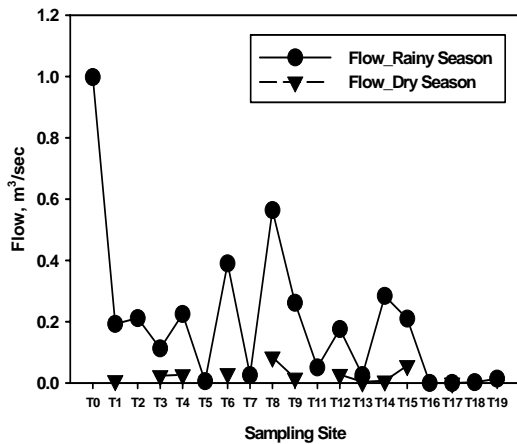


그림 5. 풍수기와 갈수기 때에 고현천으로 유입하는 각 지류의 유량 변동.

석은 거제관측소의 2009년 7월, 9월 강우자료(각각 846.1, 26.3mm)와 표 2의 소유역 면적을 이용하여 각 소하천(소유역)의 유량을 산정하고 실측치와 비교하였다. 그 결과는 표 3과 같다.

표 3에서 풍수기 때 가지야마공식으로 계산한 유량과 실측치 사이에는 전반적으로 약 19% 오차

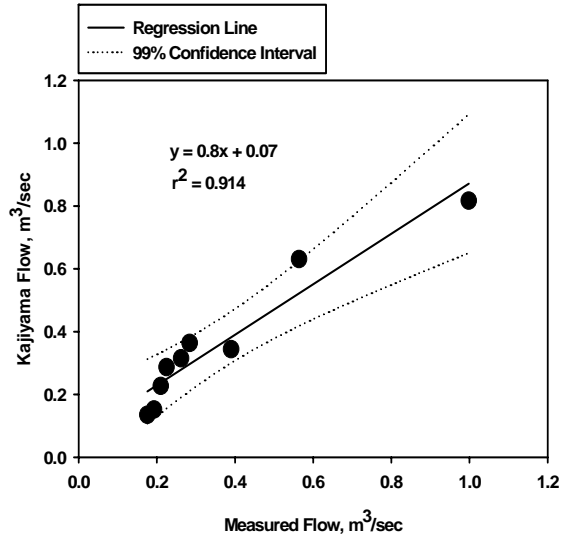


그림 6. 풍수기 때 실측유량과 가지야마공식으로 모의한 유량 사이의 회귀분석결과.

표 3. 가지야마 공식에 의한 고현천 유역의 유량과 실측 유량의 비교

조사지점	풍수기 유량 (m ³ /sec)			갈수기 유량 (m ³ /sec)			소유역명
	가지야마(A)	실측치(B)	오차(%)	가지야마(A)	실측치(B)	오차(%)	
T0	0.817	0.998	18.1	0.025	-	-	문동저수지
T1	0.152	0.193	21.2	0.005	0.008	37.5	용주사천
T4	0.287	0.225	27.5	0.009	0.024	62.5	정수목장천
T6	0.344	0.390	11.8	0.011	0.031	64.5	배합천
T8	0.631	0.564	11.9	0.019	0.085	77.6	동골매천
T9	0.315	0.262	20.2	0.010	0.016	37.5	용산천
T12	0.135	0.176	23.2	0.004	0.028	85.7	상동천
T13	(0.347)	(0.026)	-	(0.011)	(0.004)	-	남문소하천
T14	0.364	0.284	28.2	0.011	0.007	57.1	동문소하천
T15	0.227	0.210	8.1	0.007	0.057	87.7	서문소하천
Total	3.465	3.302	* 18.9	0.112	0.260	* 56.7	

()합계에서 배제함, * 평균오차

가 나는 것으로 모의되었다. 갈수기 때 모의에서는 약 57%의 매우 큰 오차가 유발되었는데 이는 실제로 하천은 대부분 건천의 상태이거나 지하수로의 흡수, 증발 등으로 인하여 감소된 유량이 흐르므로 인하여 발생된 오차 및 가지야마공식 자체의 오차 등으로 인하여 발생한 것이라고 생각된다. 그림 6은 풍수기 때 실측 유량과 가지야마공식으로 모의한 유량 사이의 회귀분석 결과이며, 모두 99% 신뢰구간에 포함되고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 가지야마공식(한국하천유출량공식)으로 풍수기 때 고현천 유역의 유량을 합리적으로 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

그림 7은 거제관측소의 30년간(1973~2002년)의 월평균강수량을 이용하여 가지야마공식으로 계산한 고현천의 월별 유량을 나타내고 있다. 고현천은 연중 물이 흐르는 형태를 유지하나 6, 7, 8월 달에 집중되는 강우로 인하여 연중 총 유량의 약 56%가 이 시기에 고현천을 통하여 고현항으로 유입된다.

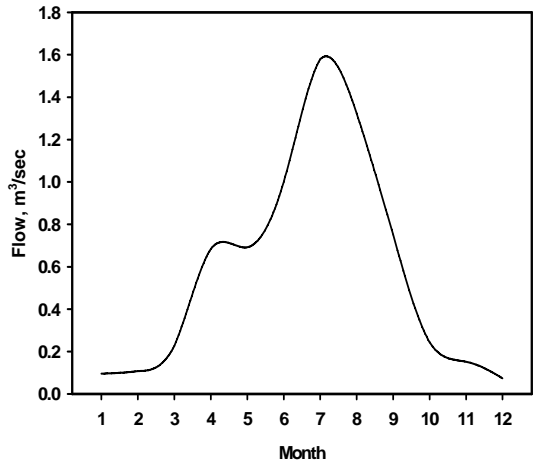


그림 7. 고현천의 연간 수문도 (annual hydrograph).

3.3 고현천 지류의 수질특성

고현천으로 유입하는 각 지류의 풍수기(장마시기)와 갈수기 때의 수질분석 결과는 표 4, 5와 같다.

표 4. 풍수기 때 고현천 지류의 수질분석결과

항목 조사지점	pH	수온 (°C)	염분도 (ppt)	DO (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	FC (No./100mL)	유량 (m³/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
평균	7.2	21.6	-	7.2	16.3	13.4	3.7	4.05	2.27	0.370	39,977	0.198

표 5. 갈수기 때 고현천 지류의 수질분석결과

항목 조사지점	pH	수온 (°C)	염분도 (ppt)	DO (mg/L)	탁도 (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	FC (No./100mL)	유량 (m ³ /sec)
T0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/F ¹⁾
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
평균	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

표 4, 5에서 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 2.5~9.1mg/L 범위에 평균 7.2 mg/L, 갈수기 때 1.4~7.9mg/L 범위에 평균 5.1mg/L을 나타내었다. DO 농도는 풍수기 때 상류지역(T1~T8)에서 DO 8.0mg/L 부근의 양호한 값들을 보이다가 하류지역(T13 이하)에서 큰 변동을 나타내었다. 갈수기 때는 전반적으로 풍수기 때보다

평균 2mg/L 적은 DO 농도를 나타내었으며, 전 구간에서 하수 등의 오염물질의 유입에 따라서 큰 변동을 나타낸 것을 알 수 있다.

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

BOD와 COD는 풍수기 때 각각 1.0~16.9mg/L, 1.27~18.67mg/L 범위에 평균 3.7mg/L, 4.05mg/L,

갈수기 때 각각 0.7~27.2mg/L, 0.73~15.73mg/L 범위에 평균 6.0mg/L, 4.82mg/L를 나타내었다. BOD와 COD 농도는 풍수기 때 거의 전체 구간에서 유사한 변동을 나타내었으나 갈수기 때는 서로 다른 변동을 나타내었다. 풍수기 때 상류지역(T6)과 하류지역(T11, T15, T17)에서 4.5~16.9mg/L의 높은 BOD 농도를 나타내었다. 특히 조사지점 T17에서 16.9mg/L의 가장 높은 농도를 나타내었다. 갈수기 때 하류지역(T9, T15, T17)에서 BOD와 COD 농도가 동시에 높게 나타났다. 특히 T17에서 27.2mg/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 0.27~14.11mg/L, 0~4.541mg/L 범위에 평균 2.28mg/L, 0.370mg/L, 갈수기 때 각각 0.57~5.14mg/L, 0.034~1.317mg/L 범위에 평균 2.63mg/L, 0.435mg/L를 나타내었다. DIN과 DIP 농도는 풍수기와 갈수기에 상류지역(T1~T8)의 각 지류에 대하여 낮은 값의 일정한 변동을 나타내었다. 그러나 풍수기 때 하류지역(T9, T13, T15, T17, T18)의 신현을 도심을 관통하는 지류들에서 각각 2.34~14.11mg/L, 0.181~4.541mg/L의 높은 농도의 DIN, DIP 값들이 나타났다. 특히 조사지점 T17에서 DIN, DIP가 각각 14.11mg/L, 4.541mg/L로 동시에 매우 높은 농도가 나타났다. 갈수기 때도 풍수기 때와 같이 하류지역(T9, T13~T15, T17)에서 각각 2.94~5.14mg/L, 0.171~1.317mg/L의 높은 농도의 DIN, DIP 값들이 나타났다. 갈수기 때는 조사지점 T9에서 1.286mg/L의 가장 높은 DIP 농도가 나타났고, 조사지점 T17에 5.14mg/L의 가장 높은 DIN 농도가 나타났다. 이러한 현상은 BOD, COD의 경우와 마찬가지로 풍수기 때 하류지대의 농경지 유출수, 갈수기 때 용산천 소유역(T9, T11) 상류에 형성된 아파트형 주거단지로부터 방류된 자체 정화조 유출수 및 생활하수 등에 다량 포함

된 영양염이 원인이라고 판단된다.

분변계대장균(FC)은 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.

결론적으로 고현천 유역은 지류의 수질분석 결과, 유역의 토지이용현황, 지리적조건 등을 고려해 볼 때 상류지역(T1~T8)은 전원지대의 특성을 나타내었고, 하류지역(T9~T19)은 도심지대의 특성을 나타내었다.

3.4 유역 오염부하량 평가

3.4.1 실측 유량에 의한 오염부하량

환경부에서 제시한 오염발생원 및 토지이용에 따른 오염부하발생 원단위를 이용하여 부하량을 산정하는 것은 원단위 값에 의한 오염부하 유출량이 연중 항상 일정하다는 가정 하에 가능한 것이므로 강우 시기별 오염부하량 변동을 파악하는 데는 어려움이 있다. 그래서 연중 강우 시기별로 합리적인 오염부하 발생량을 산정하기 위해서는 오염발생원 및 토지이용에 따른 원단위 오염부하량 산정뿐만 아니라 실측 수질자료를 이용하여 산정하는 방법이 필요하다(엄미정 등, 2008). 표 6, 7은 각각 풍수기와 갈수기 때 지류를 통하여 고현천으로 유입하는 SS, COD, DIN, DIP의 농도 값과 실측 유량으로부터 산정한 오염부하량이다.

표 6, 7에서 풍수기 때 고현천에 유입한 SS의 총부하량은 4,723kg/day이고 이 중에서 점오염부하량이 692kg/day(14.7%), 비점오염부하량이 4,031kg/day(85.3%)으로써 장마기간 동안 비점오염원의 영향이 큰 것으로 평가되었다. 갈수기 때 SS의 총부하량은 499kg/day이고 조사지점 T17(점오염원)을 제외하고 모두 비점오염부하량으로 나타났다.

표 6. 풍수기 때 지류를 통하여 고현천으로 유입하는 SS, COD, DIN, DIP의 오염부하량

조사지점 \ 항목	SS (kg/day)	COD (kg/day)	DIN (kg/day)	DIP (kg/day)	유량 (m ³ /sec)	소하천명(소유역)	오염원
T0	2,354.0	293.2	32.8	4.23	0.998	문동저수지	비점원 ¹⁾
T1	528.6	52.2	6.3	0.65	0.193	용주사천	비점원
T2	305.9	57.3	5.0	0.84	0.212	-	점 원 ²⁾
T3	39.1	40.3	2.8	0.38	0.113	-	비점원
T4	155.5	76.4	6.2	0.25	0.225	정수목장천	비점원
T5	7.3	1.0	0.3	0.08	0.006	-	점 원
T6	269.6	166.1	14.2	0.57	0.390	배합천	비점원
T7	18.0	9.6	0.6	0.19	0.026	-	점 원
T8	194.9	139.8	30.7	2.92	0.564	동매골천	비점원
T9	135.8	42.3	57.0	4.19	0.262	용산천	비점원
T11	354.3	10.0	3.5	0.33	0.051	-	점 원
T12	10.6	19.3	16.3	0.61	0.176	상동천	비점원
T13	15.1	6.9	26.2	2.54	0.026	남문소하천	비점원
T14	73.6	60.6	20.6	0.69	0.284	동문소하천	비점원
T15	254.0	128.3	89.6	6.01	0.210	서문소하천	비점원
T16	0.03	0.04	0.02	0.00	0.0003	-	점 원
T17	0.4	0.5	0.4	0.12	0.0003	-	점 원
T18	0.7	1.0	0.6	0.05	0.003	-	점 원
T19	5.2	3.5	0.7	0.02	0.014	-	점 원
Total	4,717.4	1,104.8	313.12	24.67	3.7536	-	-

1) 비점원 : 소유역을 흐르는 소하천

2) 점 원 : 우수관(storm sewer)과 하수관(sewer)의 출구

표 7. 갈수기 때 지류를 통하여 고현천으로 유입하는 SS, COD, DIN, DIP의 오염부하량

조사지점 \ 항목	SS (kg/day)	COD (kg/day)	DIN (kg/day)	DIP (kg/day)	유량 (m ³ /sec)	소하천명(소유역)	오염원
T0	-	-	-	-	N/F ³⁾	문동저수지	비점원 ¹⁾
T1	2.9	0.8	1.2	0.03	0.008	용주사천	비점원
T2	-	-	-	-	N/F	-	점 원 ²⁾
T3	21.9	4.0	1.6	0.07	0.024	-	비점원
T4	33.0	1.7	2.6	0.33	0.027	정수목장천	비점원
T5	-	-	-	-	N/F	-	점 원
T6	10.5	4.7	2.0	0.23	0.031	배합천	비점원
T7	-	-	-	-	N/F	-	점 원
T8	31.6	15.9	12.6	2.38	0.085	동매골천	비점원
T9	15.9	8.4	6.6	1.79	0.016	용산천	비점원
T11	-	-	-	-	N/F	-	점 원
T12	7.2	1.4	1.4	0.41	0.028	상동천	비점원
T13	5.3	2.4	1.5	0.44	0.004	남문소하천	비점원
T14	3.0	1.2	1.7	0.46	0.007	동문소하천	비점원
T15	366.8	76.9	24.7	2.03	0.057	서문소하천	비점원
T16	-	-	-	-	N/F	-	점 원
T17	0.5	0.2	0.1	0.00	0.0002	-	점 원
T18	-	-	-	-	N/F	-	점 원
T19	-	-	-	-	N/F	-	점 원
Total	498.6	117.6	55.9	8.2	3.2872	-	-

1) 비점원 : 소유역을 흐르는 소하천

2) 점 원 : 우수관(storm sewer)과 하수관(sewer)의 출구

3) N/F : No Flow

갈수기의 SS 비점오염부하량은 풍수기의 비점오염부하량의 12.4%에 불과하여 비점오염원의 유출에는 강우의 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다.

풍수기 때 고현천에 유입한 COD의 총부하량은 1,108kg/day이고 이 중에서 점오염부하량이 83kg/day(7.5%), 비점오염부하량이 1,025kg/day(92.5%)으로써 장마기간 동안 비점오염원의 영향이 큰 것으로 평가되었다. 갈수기 때 COD의 총부하량은 118kg/day이고 조사지점 T17을 제외하고 모두 비점오염부하량으로 나타났다. 갈수기 때 유출된 COD 비점오염부하량은 풍수기의 비점오염부하량의 11.4%에 불과하였다.

풍수기 때 고현천에 유입한 DIN의 총부하량은 314kg/day이고 이 중에서 점오염부하량이 11kg/day(3.5%), 비점오염부하량이 303kg/day(96.5%)으로써 장마기간 동안 비점오염원의 영향이 큰 것으로 평가되었다. 갈수기 때 DIN의 총부하량은 56kg/day이고 조사지점 T17을 제외하고 모두 비점오염부하량으로 나타났다. 갈수기의 DIN 비점오염부하량은 풍수기의 18.5%로 나타났다.

풍수기 때 고현천에 유입한 DIP의 총부하량은 24.7kg/day이고 이 중에서 점오염부하량이 1.6kg/day(6.5%), 비점오염부하량이 23.1kg/day(93.5%)

으로써 장마기간 동안 비점오염원의 영향이 매우 큰 것으로 평가되었다. 갈수기 때 DIP의 총부하량은 8.2kg/day이고 모두 비점오염부하량으로 나타났다. 갈수기 때 유출된 DIP 비점오염부하량은 풍수기의 비점오염부하량의 35.5%로 나타나 갈수기 때 소하천을 통한 총인 오염원(하수, 정화조 방류수 등)의 유입 비율이 높은 것을 알 수 있다.

3.4.2 모의 유량에 의한 오염부하량

거제관측소의 30년간 월평균강우량(1973~2002년)과 고현천으로 유입하는 소하천의 유역면적으로부터 가지야마공식을 이용하여 각 소하천(소유역)의 월별강우량을 모의하고, 6, 7, 8월은 풍수기 때 조사된 농도 값을, 1, 2, 3, 10, 11, 12월은 갈수기 때 조사된 농도 값을, 4, 5, 9월은 풍수기와 갈수기 때 조사된 농도의 평균값을 원단위로 적용하여 부하량을 산정하였다. 고현천의 각 소유역에 대하여 모의된(simulated) 연간 비점오염부하량은 표 8과 같다. 표 9는 연간 비점오염부하량에 대하여 풍수기, 평수기, 갈수기의 비점오염부하량이 차지하는 비율을 나타낸 것이다. 표 10은 풍수기의 오염부하량에 대하여 평수기와 갈수기의 오염부하량이 차지하는 비율을 나타낸 것이다.

표 8. 고현천의 각 소유역에 대하여 모의된 연간 비점오염부하량

조사지점	항목	SS (kg/day)	COD (kg/day)	DIN (kg/day)	DIP (kg/day)	유량 (m ³ /sec)	소하천명(소유역)
T0		2,170.0	296.5	30.2	3.9	1.284	문동저수지
T1		495.8	53.2	15.6	0.8	0.240	용주사천
T4		378.1	117.9	21.3	1.9	0.451	정수목장천
T6		319.0	187.7	24.0	1.7	0.540	배합천
T8		350.5	228.9	80.4	11.6	0.993	동메골천
T9		323.2	130.8	135.0	21.3	0.497	용산천
T12		24.6	19.7	16.9	1.4	0.211	상동천
T13		437.0	199.4	453.1	55.9	0.546	남문소하천
T14		179.2	117.3	71.0	12.3	0.572	동문소하천
T15		975.9	295.8	153.8	11.0	0.358	서문소하천
Total		5,653.3	1,647.2	1,001.3	121.8	5.692	-

표 9. 연간 비점오염부하량에 대하여 풍수기, 평수기, 갈수기의 비점오염부하량이 차지하는 비율

강우시기 \ 항목	SS (%)	COD (%)	DIN (%)	DIP (%)
풍수기	58.5	57.9	56.5	40.2
평수기	29.7	29.9	30.6	36.9
갈수기	11.8	12.2	12.9	22.9

표 10. 풍수기의 비점오염부하량에 대하여 평수기와 갈수기의 비점오염부하량이 차지하는 비율

강우시기 \ 항목	SS (%)	COD (%)	DIN (%)	DIP (%)
평수기	50.8	51.6	54.2	91.8
갈수기	20.2	21.1	22.8	57.0

표 8, 9에서 고현천의 소유역(소하천)에 대하여 각 수질항목(water quality parameter)에 대하여 모의된 비점오염부하량은 SS가 연간 총 5,653kg/day(2,063ton/yr)이고, 이 중에서 풍수기 때 3,309kg/day(58.5%), 평수기 때 1,677kg/day(29.7%), 갈수기 때 667kg/day(11.8%)으로 산정되었다. COD의 연간 총 비점오염부하량은 1,647kg/day(601ton/yr)이고 이 중에서 풍수기 때 954kg/day(57.9%), 평수기 때 493kg/day(29.9%), 갈수기 때 200kg/day(12.2%)으로 산정되었다. DIN의 연간 총 비점오염부하량은 1,001kg/day(365ton/yr)이고 이 중에서 풍수기 때 566kg/day(56.5%), 평수기 때 306kg/day(30.6%), 갈수기 때 129kg/day(12.9%)으로 산정되었다. DIP의 연간 총 비점오염부하량은 122kg/day(45ton/yr)이고, 이 중에서 풍수기 때 49kg/day(40.2%), 평수기 때 45kg/day(36.9%), 갈

수기 때 28kg/day(22.9%)으로 산정되었다.

SS, COD, DIN의 비점오염부하량은 풍수기 때 약 60%가 발생하였으나 반대로 DIP 비점오염부하량은 평수기와 갈수기를 합쳐서 약 60%를 차지하는 것으로 산정되었다. 또 표 10에서 평수기와 갈수기의 인 부하율이 풍수기에 대하여 각각 91.8, 57.0%를 차지함으로써 평수기, 갈수기 동안 생활하수와 같은 인 발생원의 관리가 중요한 것으로 판단되었다.

3.4.3 실측 오염부하량 사이의 상관관계 분석

풍수기와 갈수기 때 고현천 상류지역(전원지대)와 하류지역(도심지대)을 통하여 흐르는 지류(소하천)의 수질오염 부하량들 사이의 Pearson의 상관관계를 분석하고 상관관계 인수(correlation factor)를 표 11~14에 나타내었다.

표 11. 풍수기 때 고현천 상류지역 지류의 수질오염 부하량들 사이의 상관관계 분석결과

오염부하량 (kg/day)	SS	COD	DIN	DIP
SS	1.000			
COD	0.838	1.000		
DIN	0.682	0.894	1.000	
DIP	0.815	0.858	0.945	1.000

표 12. 풍수기 때 고현천 하류지역 지류의 수질오염 부하량들 사이의 상관관계 분석결과

오염부하량 (kg/day)	SS	COD	DIN	DIP
SS	1.000			
COD	0.954	1.000		
DIN	0.964	0.893	1.000	
DIP	0.915	0.804	0.981	1.000

표 13. 갈수기 때 고현천 상류지역 지류의 수질오염 부하량들 사이의 상관관계 분석결과

오염부하량 (kg/day)	SS	COD	DIN	DIP
SS	1.000			
COD	0.492	1.000		
DIN	0.568	0.963	1.000	
DIP	0.559	0.962	0.999	1.000

표 14. 갈수기 때 고현천 하류지역 지류의 수질오염 부하량들 사이의 상관관계 분석결과

오염부하량 (kg/day)	SS	COD	DIN	DIP
SS	1.000			
COD	0.998	1.000		
DIN	0.982	0.991	1.000	
DIP	0.712	0.752	0.833	1.000

표 11에서 풍수기 때 상류지역에서 SS와 COD 부하량($p < 0.01$), DIN 부하량($p < 0.05$), DIP 부하량($p < 0.01$) 사이, COD와 DIN 부하량($p < 0.01$), DIP 부하량($p < 0.01$) 사이, DIN과 DIP 부하량($p < 0.01$) 사이의 모든 상관관계는 통계적으로 유의한 양의 상관성을 나타내었고(그림 8), 표 12에서 풍수기 때 하류지역에서도 SS, COD, DIN, DIP 부하량들 사이의 모든 상관관계가 유의한 양의 상관성($p < 0.01$)을 나타내었다(그림 8).

표 13에서 갈수기 때 상류지역에서 SS와 COD, DIN, DIP 부하량 사이에는 풍수기 때와는 반대로 유의한 상관관계가 나타나지 않았고, COD, DIN, DIP 부하량들 사이에는 통계적으로 유의한 양의 상관관계($p < 0.01$)가 나타났다(그림 9). 표 14에서 갈수기 때 하류지역에서 SS, COD, DIN 부하량들

사이에는 유의한 양의 상관관계($p < 0.01$)가 나타났으나 DIP 부하량과는 어떤 유의한 상관관계도 나타내지 않았다(그림 9).

결론적으로 풍수기와 갈수기 때 상류지역과 갈수기 때 하류지역의 SS와 COD, DIN, DIP 부하량 사이의 상관관계로부터 상류 전원지대와 하류 도심지대의 SS 발생원에 분명한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 상류지역의 오염부하량은 부유토사의 유입과 관련성이 높고, 하류지역은 생활하수와 도심유출수의 유입과 관련성이 높은 것으로 판단된다. 풍수기와 갈수기 때 상류지역의 COD, DIN, DIP 부하량들 사이의 높은 상관관계는 이들의 오염발생원이 매우 높은 상호 유사성을 가진다는 것을 나타내었고, 특히 갈수기 때 DIN과 DIP의 발생원은 거의 일치하는 것으로 나타났다(장정의 등,

2011). 반면에 갈수기 때 하류지역에서 DIP 부하량과 SS, COD, DIN 부하량 사이의 상관관계는

생활하수와 같은 DIP 오염부하의 유입이 불안정하게 이루어지고 있다는 것을 나타내었다.

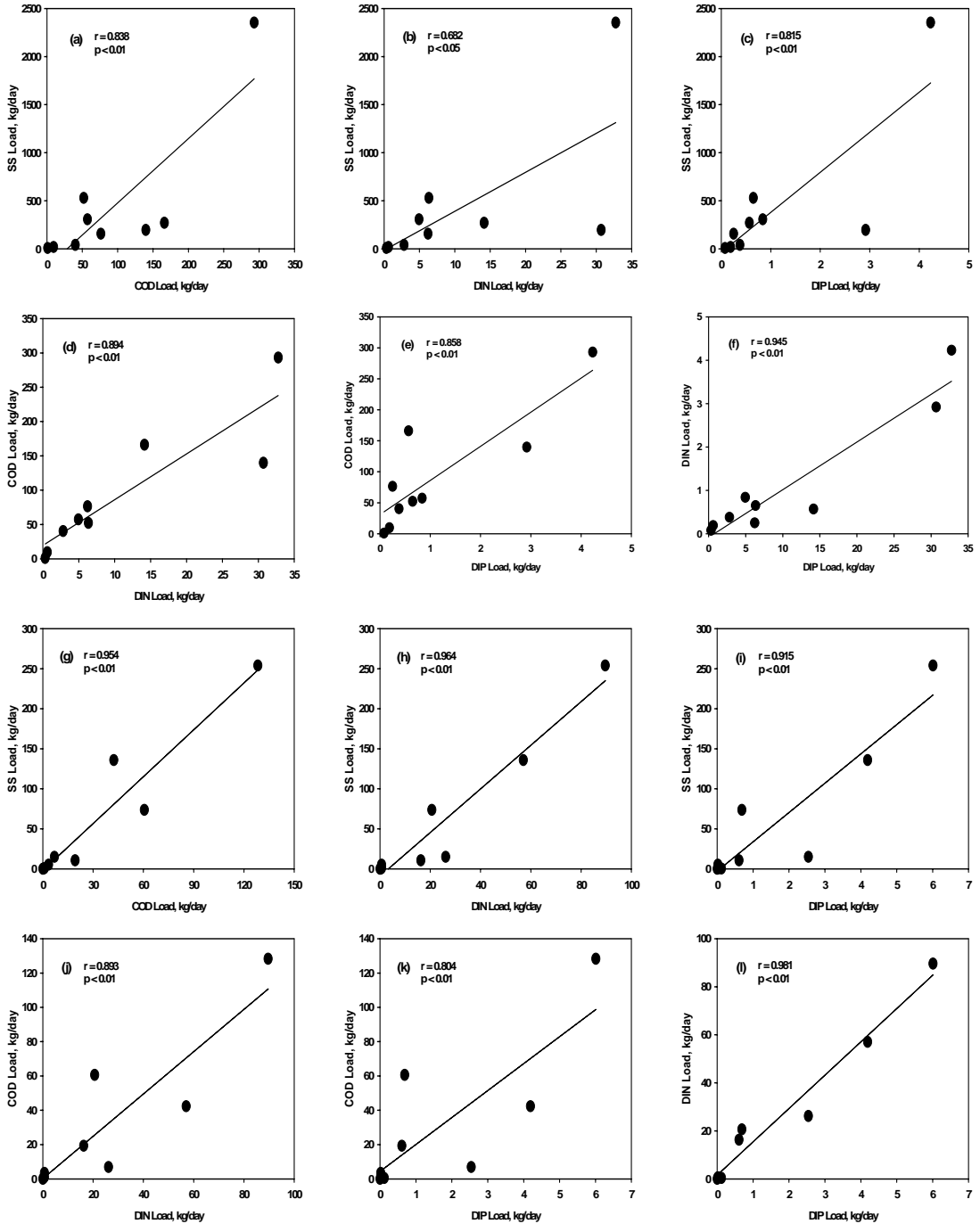


그림 8. 풍수기 때 고현천 상류지역((a)~(f))과 하류지역((g)~(l)) 지류에서 오염부하량들 사이의 상관관계.

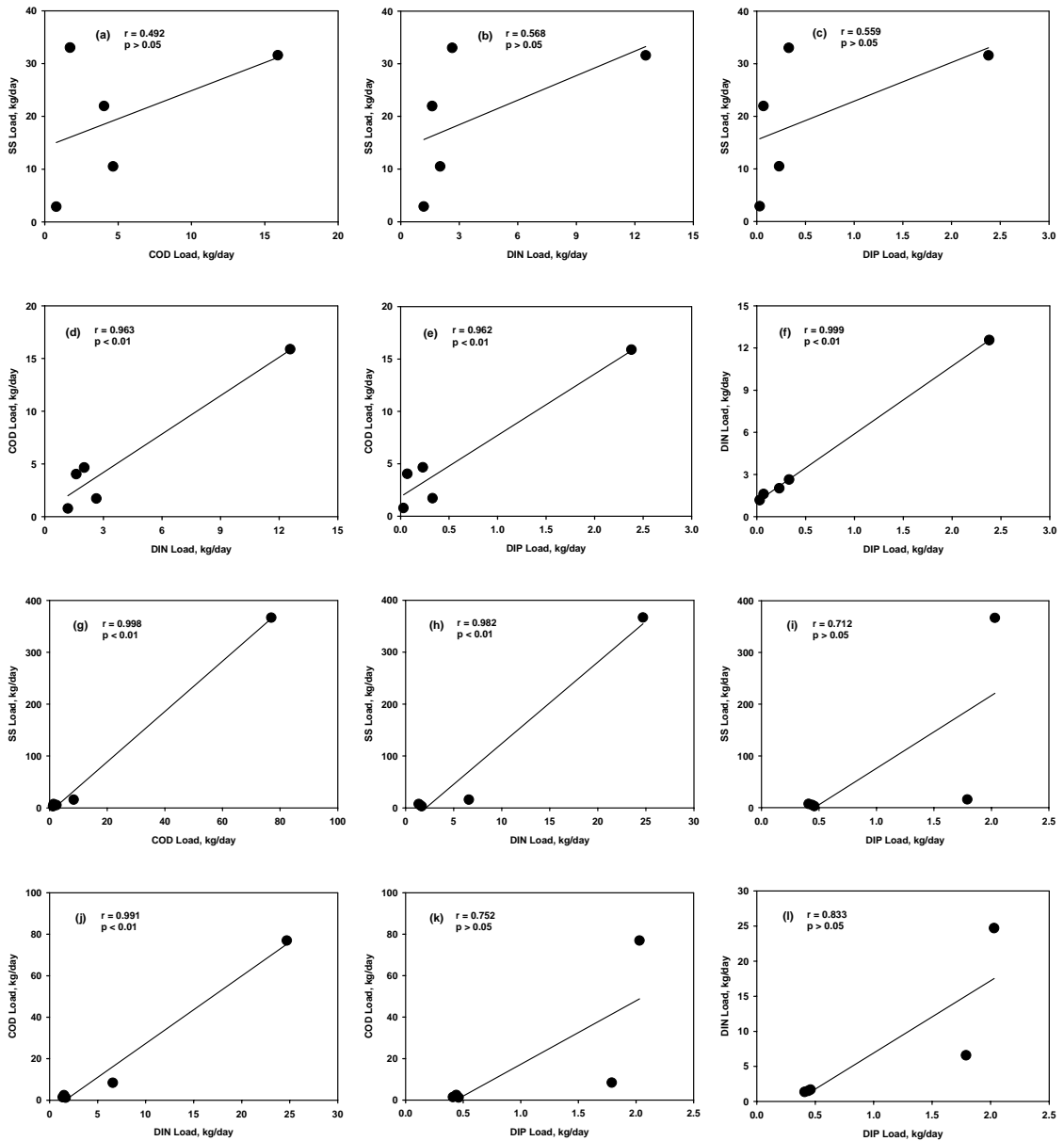


그림 9. 갈수기 때 고현천 상류지역((a)~(f))과 하류지역((g)~(l)) 지류에서 오염부하량들 사이의 상관관계.

3.4.4 실측 유량과 오염부하량 사이의 상관관계 분석

유역의 오염부하 발생특성을 보다 정확히 해석

하고 수질관리를 위한 자료로 활용하기 위하여 풍수기와 갈수기 때 유역의 유량과 오염부하량 사이의 Pearson의 상관관계를 분석하고 표 15에 상관관계 인수를 나타내었다.

표 15. 고현천 지류의 유량과 수질오염 부하량들 사이의 상관관계 분석결과

장우시기	지역	항목	SS (kg/day)	COD (kg/day)	DIN (kg/day)	DIP (kg/day)
풍수기	상류지역		0.861	0.975	0.947	0.946
	하류지역		0.682	0.736	0.668	0.554
갈수기	상류지역		0.622	0.979	0.973	0.973
	하류지역		0.903	0.898	0.887	0.661

표 15에서 풍수기 때 상류지역 지류의 SS, COD, DIN, DIP 부하량과 유량 사이에 양호한 양의 상관관계($p < 0.01$)를 나타내었다. 반면에 하류지역에서 SS, COD, DIN 부하량과 유량 사이에는 유의한 양의 상관관계($p < 0.05$)가 나타났으나 DIP 부하량과 유량 사이에는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(그림 10).

갈수기 때 상류지역 지류의 COD, DIN, DIP 부하량과 유량 사이에는 양호한 양의 상관관계($p < 0.01$)가 나타났으나 SS 부하량과 유량 사이에는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 한편 하류지역에서 SS, COD, DIN 부하량과 유량 사이에는 유의한 양의 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었으나 DIP 부하량과 유량 사이에는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다(그림 11).

본 연구의 상류지역(대부분 임야로 구성)의 DIN과 DIP의 결정계수(각각 $r^2 = 0.896 \sim 0.947$, $0.895 \sim 0.947$)는 전북지역 농업지대 소하천의 총질소(TN)의 결정계수(r^2) 0.923과 유사하고, 총인(TP)의 결정계수(r^2) 0.761보다 약간 큰 값을 나타내었다(엄미정 등, 2008). 또한 농업지대 소유역의 유량과 TN, TP 부하량 사이의 결정계수(r^2)는 각각 0.864~0.930, 0.896~0.923으로써 본 연구의 결과와 거의 일치하는 범위를 나타내었다(Kim, *et al.* 2003). 곡간지대 유역의 유량과 TN, TP 부하량 사이의 결정계수(r^2)의 범위는 각각 0.934~0.979, 0.794~0.858로써 본 연구의 DIN과는 유사하나 DIP보다는 약간 작은 값을 나타내었다(엄미정 등, 2008).

결론적으로 풍수기와 갈수기 때 상류지역과 갈수기 때 하류지역의 SS 부하량과 유량 사이의 상관관계로부터 상류지역과 하류지역의 SS 발생원에 분명한 차이가 있음을 알 수 있고, 상류지역의 오염부하는 장마시 농경지와 임야지대로부터 부유토사의 유출에 의하여 주로 발생하고 하류지역은 생활하수와 도심유출수에 의하여 발생하는 것으로 판단된다. 풍수기와 갈수기 때 상류지역에서 COD, DIN, DIP 부하량과 유량 사이에 매우 높은 상관관계가 나타났고, 이는 이들 항목(parameter)의 오염원이 상호 높은 유사성을 가지는 것을 의미하는 것이다. 반면에 풍수기와 갈수기 때 하류지역에서 DIP 부하량과 유량 사이의 상관관계로부터 생활하수 등의 인 유출원이 불안정하게 산재하고 유출이 불규칙적으로 이루어진 것을 알 수 있다.

4. 결 론

고현천 유역을 10개의 소유역으로 나누고 지류에 19개 조사지점을 정하고 풍수기(장마시기)와 갈수기로 나누어 조사한 지류의 수질오염과 오염 부하량 변동 특성은 다음과 같다.

고현천 유역은 지류의 수질분석결과, 유역의 토지이용현황, 지리적조건 등을 고려해 볼 때 상류지역(T1~T8)은 전원지대의 특성을 나타내었고, 하류지역(T9~T19)은 도심지대의 특성을 나타내었다.

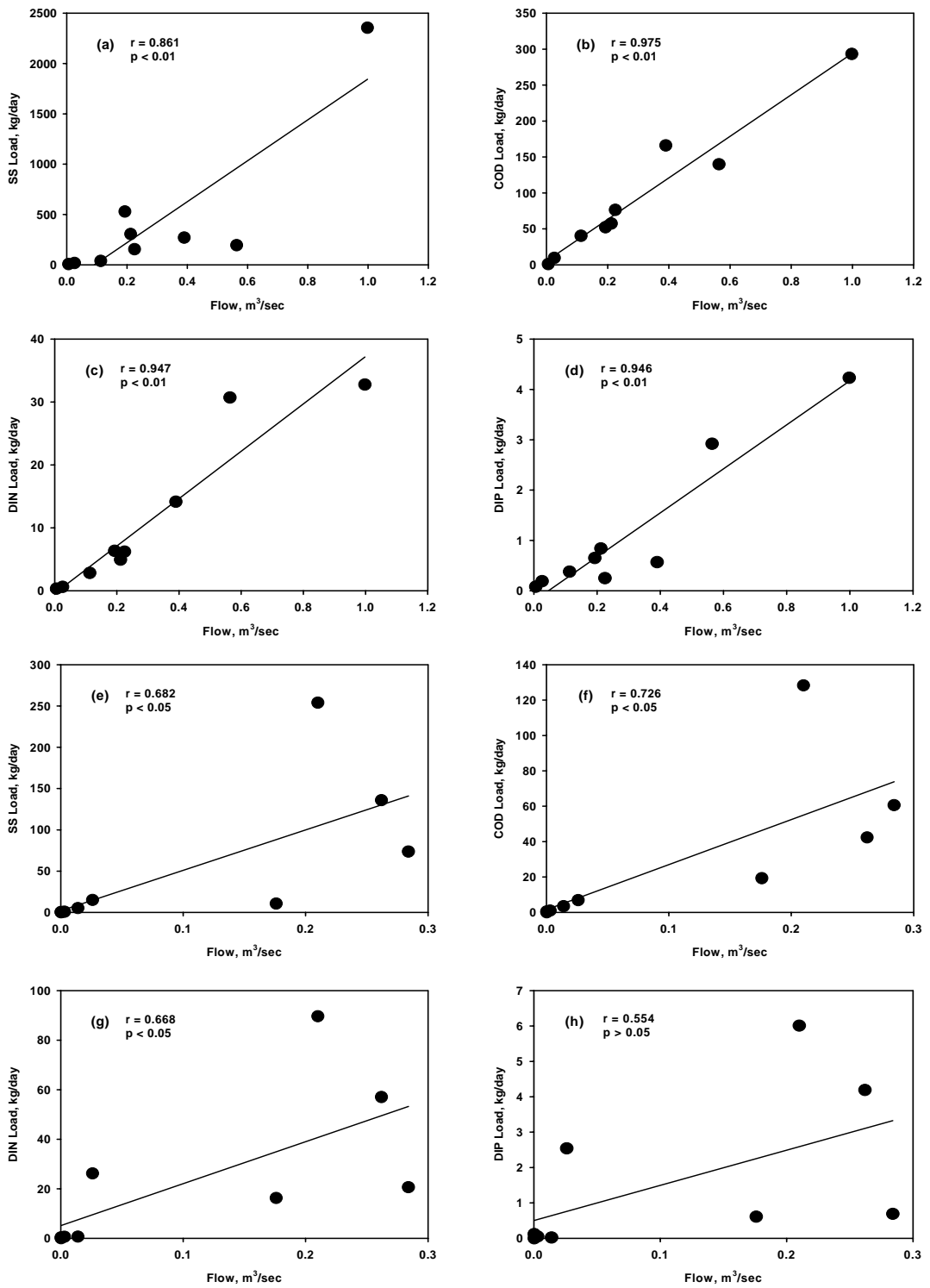


그림 10. 풍수기 때 고현천 상류지역((a)~(d))과 하류지역((e)~(h)) 지류에서 유량과 오염부하량 사이의 상관관계.

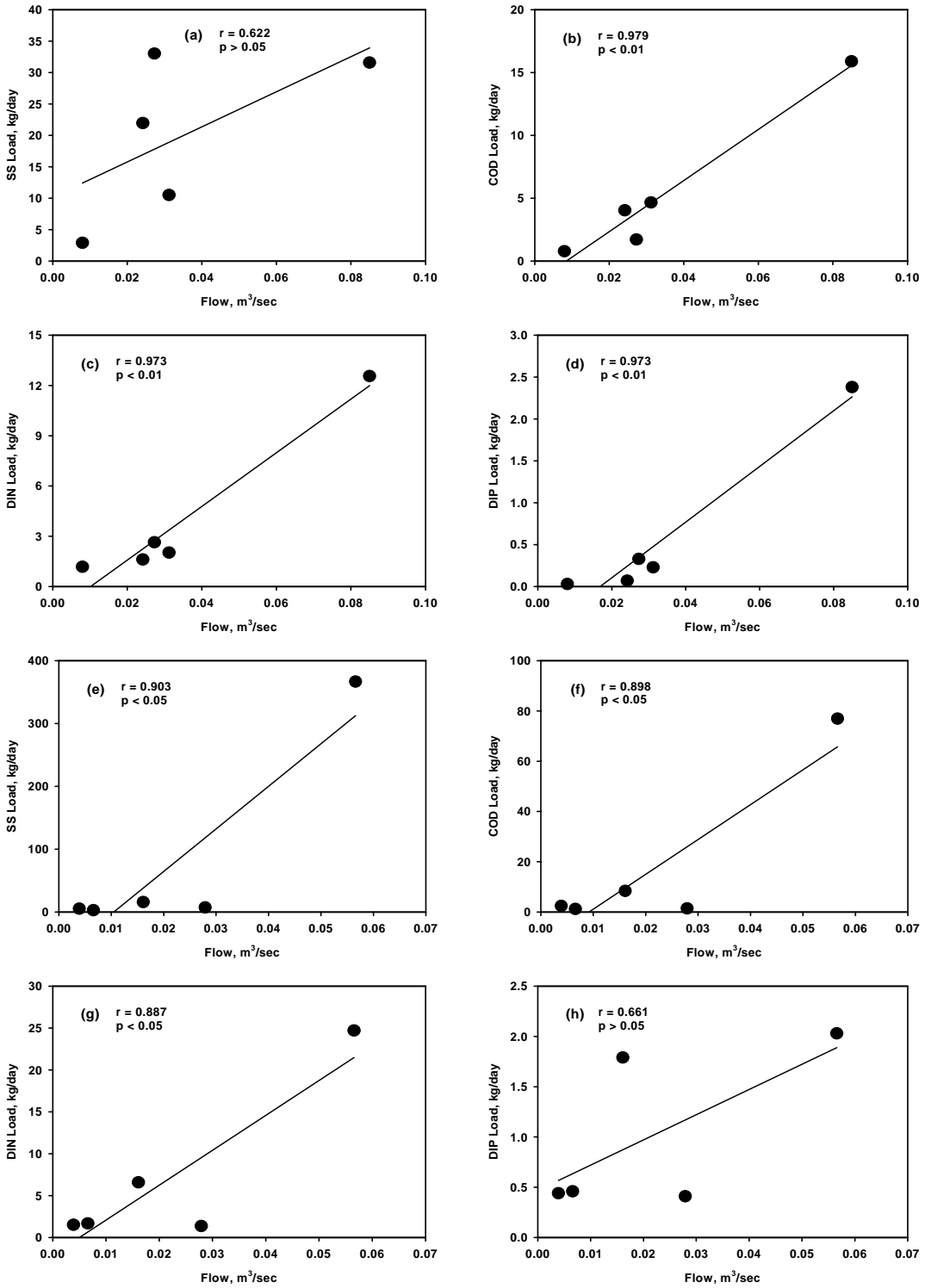


그림 11. 갈수기 때 고현천 상류지역((a)~(d))과 하류지역((e)~(h)) 지류에서 유량과 오염부하량 사이의 상관관계.

고현천 유역의 지류로부터 분류로 유입하는 비점오염부하량은 SS가 연간 총 2,063ton/yr, COD가 601ton/yr, DIN이 365ton/yr, DIP가 45ton/yr으로 산정되었다. 이 중에서 SS, COD, DIN의 비점오염부하량은 풍수기 때 약 60%가 발생하여 이들 비점오염원의 유출에는 강우의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 한편 DIP 비점오염부하량은 평수기와 갈수기를 합쳐서 약 60%를 나타내었고. 또 평수기와 갈수기의 DIP 부하율이 풍수기에 대하여 각각 91.8, 57.0%를 차지하여 평수기, 갈수기 동안 생활하수와 같은 인 발생원의 관리가 중요한 것으로 나타났다.

풍수기와 갈수기 때 SS와 COD, DIN, DIP 부하량 사이의 상관관계와 SS 부하량과 유량 사이의 상관관계로부터 상류지역과 하류지역의 SS 발생원에 분명한 차이를 나타냈으며, 상류지역은 장마시 임야지대로부터 부유토사의 유출에 의하여 주로 오염부하가 발생하고 하류지역은 생활하수와 도심유출수에 의하여 발생하는 것으로 나타났다. 풍수기와 갈수기 때 상류지역의 COD, DIN, DIP 부하량들 사이의 상관관계와 COD, DIN, DIP 부하량과 유량 사이의 상관관계로부터 이들의 오염발생원이 매우 높은 상호 유사성을 가진다는 것을 나타내었다. 반면에 갈수기 때 하류지역은 DIP 부하량과 SS, COD, DIN 부하량 사이의 상관관계와 DIP 부하량과 유량 사이의 상관관계로부터 생활하수 등의 인 유출원이 불안정하게 산재하고 유출이 불규칙적으로 이루어진 것을 나타내었다.

고현천의 수질을 회복하고 보전하기 위해서는 고현천 유역의 발생부하량의 정비, 주변오염물질 유입의 차단, 하상 정비, 고현천 주변의 하수관거 설치 등의 사업을 조속히 수행해야한다. 본 연구의 결과는 이러한 사업을 계획하고 수행하는데 필요한 유용한 기술적 정보로 활용될 수 있다.

5. 감사의 글

이 연구는 경남녹색환경기술지원센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고 문헌

- 거제시. 2004. 고현천 하천정비 기본계획 보고서. pp. 21-33.
- 국토해양부. 2008. 해양환경공정시험방법. pp. 15-63.
- 김기철, 신민환, 최용훈, 서지연, 최종대. 2008. 미계측 소유역의 수자원량 산정을 위한 가지야마 공식과 SWAT모형의 비교 분석. 한국물환경학회 2008년도 학술발표회 논문집. pp. 2244-2248.
- 김상민, 강문성, 박승우. 2003. 수질 모니터링과 원단위법을 이용한 농업소유역의 오염부하량 추정. 한국농공학회지 45(3): 94-102.
- 김영성, 양재란, 추태호, 고익환. 2002. 표면유출을 이용한 하천유량 측정기법 개선. 한국수자원학회 2002년도 학술발표회 논문집. pp. 940-945.
- 신용철, 신민환, 김웅기, 허성구, 임경재, 김기성, 최종대. 2007. 가지야마공식과 SWAT 모델을 이용한 유출량산정. 한국물환경학회 2007년도 학술발표회 논문집. pp. 871-875.
- 엄미정, 문영훈, 안병구, 신용규. 2008. 전북지역 농업용 하천유역의 수질과 부하량 특성. 한국환경농학회지 27(2): 111-119.
- 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근. 2002. 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출특성. 한국물환경학회지 21(6): 657-663.
- 이홍수, 허진, 정선아, 황순진, 신재기. 2006. 도시하천(갑천) 유역에서 수질오염의 공간적 특성. 한국물환경학회지 22(5): 943-951.
- 장정익, 한인섭, 김경태, 나공태. 2011. 시화호 유입하천의 수질오염물질 농도에 관한 연구. 대한환경공학회지 33(4): 289-299.
- 최의소, 조광명. 2001. 환경공학, 청문각. pp. 48-49.
- Arnold JG, Srinivasan R. 1994. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. Water Resources Bulletin. pp. 453-

562.

APHA:AWWA:WEF. 1995. Standard Methods.
American Public Health Association.
Washington, DC. pp. (5-2)-(5-12)

Thomann RV, Mueller JA. 1987, Principles of
Surface Water Quality Modeling and
Control, Harper & Row, Publishers, New

York. pp. 9-10.

- 논문접수일 : 2012년 07월 25일
- 심사의뢰일 : 2012년 07월 27일
- 심사완료일 : 2012년 10월 19일