

ORIGINAL ARTICLE

금호강 수계 난분해성 유기오염물질에 대한 시·공간적 특성 분석

정강영 · 안정민 · 이경락 · 이인정 · 유재정 · 천세억 · 김교식¹⁾ · 한건연^{1)*}

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾경북대학교 토목공학과

Temporal and Spatial Analysis of Non-biodegradable Organic Pollutants in the Geumho River System

Kang-Young Jung, Jung-Min Ahn, Kyung-Lak Lee, In-Jung Lee, Jae-Jeong Yu,
Se-Uk Cheon, Kyo-Sik Kim¹⁾, Kun-Yeun Han^{1)*}

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea

¹⁾*Department of Civil Engineering Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea*

Abstract

As a result of analysis based on the observed data for BOD, COD and TOC in order to manage non-biodegradable organics in the Geumho River, COD/BOD ratio was analyzed as the occupying predominance proportion. In this study, the classification(changes in water quality measurement : increase, equal, decrease) and measurement of BOD and COD were analyzed for trends over the past 10 years from 2005 to 2014 in the Geumho River. The Geumho River is expected to need non-biodegradable organics management because BOD was found to be reduced 61.1% and COD was found to be increased 50%. As a result of the analysis of land use, the Geumho-A is a unit watershed area of 921.13 km², which is the most common area that is occupied by forests. The Geumho-B is a unit watershed area of 436.8 km², which is the area that is highest occupied by agriculture and grass of 24.84%. The Geumho-C is a unit watershed area of 704.56 km² accounted for 40.29% of the entire watershed, which is the area that is occupied by urban of 15.12%. Load of non-biodegradable organics, which is not easy biodegradable according to the discharge, appeared to be increased because flow coefficient of COD and TOC at the Geumho-B were estimated larger than 1 value. The management of non-point sources of agricultural land is required because the Geumho-B watershed area occupied by the high proportion of agriculture and field. In this segment it showed to increase the organics that biodegradation is difficult because the ratio of BOD and TOC was decreased rapidly from GR7 to GR8. Thus, countermeasures will be required for this.

Key words : Geumho River, TMDL, BOD, COD, TOC, Water quality

1. 서 론

유기물질은 수중에 미생물들의 먹이로 이용되면서 수 중의 용존산소를 소비하여 고갈시키고 자정능력을 파괴

하여 수질오염과 같은 환경적인 문제를 유발한다. 따라서 유기물질은 수질 관리 정책에서도 수질 오염도를 평가하는 중요한 지표로 활용되고 있다(Han and Choi, 2011). 과거에는 유기물 오염의 대부분이 생물학적으로

Received 10 July, 2015; Revised 1 October, 2015;

Accepted 5 October, 2015

*Corresponding author : Kun-Yeun Han, Department of Civil Engineering Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea
Phone: +82-53-950-5612
E-mail: kshanj@knu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

분해가 가능한 생분해성 유기물질이었으므로 BOD를 통한 유기물질 관리가 가능하였다. 하지만 근대화 과정에서 산업이 발달되면서 화학물질 사용량이 증가하고 다양한 종류의 난분해성 유기화합물질의 수계 배출량이 증가되고 있다(Park et al., 2013). 이러한 유기물질에 의한 오염정도를 평가하기 위한 방법으로 하천에서 생분해성 유기물 관리지표인 생물학적 산소요구량(BOD)과 이를 포함한 난분해성 유기물질 관리지표인 화학적 산소요구량(COD)이 널리 이용되고 있다. 그 동안 산업이 급속도로 발전하면서 국민들이 경제적 풍요에 대한 욕구와 동시에 건전한 환경에 대한 욕구도 증대되어 BOD 중심의 수질관리 정책으로 환경기초시설을 확충하고, 수질오염 총량관리제도의 시행으로 생분해성 유기물질로 대변되는 BOD는 상당부분 감소(삭감)되었다. 반면 난분해성 유기물질의 관리 지표인 COD는 증가하는 추세인 것으로 연구 보고 되었다(Kim et al., 2013; Park et al., 2013a). 이는 대부분의 환경기초시설들이 BOD 중심의 규제에 따른 결과로 생분해성 유기물질은 어느 정도 관리되고 있으나, 난분해성 유기물질의 처리 및 관리는 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다. 최근 우리나라에서는 BOD와 COD의 산화력 한계를 극복하고 수중에서 정확한 유기물질의 농도를 측정할 수 있는 TOC가 대안으로 대두되어 도입되었고, 현재 난분해성 유기물질 오염 지표로 TOC기준을 설정하여 체계적인 난분해성 유기물질관리를 위해 노력하고 있다(MOE, 2011). 수계에서 난분해성 물질 증가는 상수처리 시 염소소독부산물인 THM(Trihalomethane)등과 같은 물질생성에 전구체 역할을 하며(Selcuk et al., 2007), 상수처리 비용을 증대시키고, 자연수내의 유기물질과 중금속이 결합하여 장기적으로 수계 내 오염물질의 증가 원인이 될 수 있다(Lalah and Wandiga, 2007; Lee, 2011). Hur et al.(2009)은 팔당호 내에 한강수계로부터 지속적으로 난분해성 유기물질이 유입되고 있고, 그 양 또한 증가하고 있음을 연구 보고한 바 있으며, Park et al.(2013)은 4대강수계 수질총량관리 단위유역에 COD/BOD ratio를 적용하여 분석한 결과, 난분해성 유기물질 증가추이가 절대적으로 우위를 차지하고 있음을 연구 보고 하였다. Kim(2007)은 수계 내로 유입하는 난분해성 유기물질의 기원은 수계 내 토지이용도(비점오염원)와 관련이 깊다고 하였으며, Park(2012)은 낙동강 수계 하수처리장 방류수 중 난분

해성 유기물질 성상을 분류한 결과, 생분해가 어려운 난분해성 물질이 잔류 또는 생성되어 점오염원에서의 기여도가 분명히 있음을 연구 보고하였다. 특히 금호강 수변에는 농작물 경작으로 화학비료와 농약이 하천으로 유입되고 있고(Lee and Park, 1996), 경산공단, 검단공단, 서대구공단, 염색공단 등에서 다양한 화학물질 사용으로 고난분해성 유기오염물질의 수계 배출로 금호강의 생태계를 교란시키고 있는 실정이며(An and Kwon, 2006), Kim et al.(2012)은 금호강을 대상으로 생물학적 건강도 평가인 내성도 길드분석을 한 결과 금호강 하류로 갈수록 수질오염의 영향을 적게 받는 내성종(Tolerant species, TS)이 절대적으로 우점하여 수질관리에 의한 오염물질의 뚜렷한 감소에도 불구하고 생물학적 건강도는 악화된 상태가 유지되고 있다고 연구 보고하였다. 한편 금호강 중·하류지역의 토지이용 현황을 살펴보면 농경작지와 시가지 및 공업단지의 면적 비율이 높아 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원으로부터 야기되는 난분해성 유기물질의 관리도 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 국기수질측정망과 수질오염총량관리 단위유역(이하 총량측정망)관측 자료를 기반으로 금호강 수계에서 유기물질 관리현황을 살펴보고, 국기수질측정망 자료를 이용해 COD/BOD ratio를 산정하여 난분해성 유기물질의 증감추이를 분석하였다. 아울러 TOC와 BOD, COD간의 유기물질 상관관계 및 회귀분석과 함께 LOWESS(Locally Weighted Scatter plot Smoother) 방법을 통해 금호강 수계에서 관측된 수질자료로 시·공간적 유기물질 분포 현황을 제시하였다. 또한 금호강 유역의 토지이용특성이 하천수질에 미치는 영향을 파악하고자 GIS를 이용하여 토지이용현황을 분석하였으며, 비점오염의 해석을 위해 오염부하량을 산정하고 강우 시 유출량 변화에 따른 수질과의 상관관계를 분석하였다. 이를 토대로 BOD/TOC ratio를 이용한 고찰을 통해 금호강 수계에서 난분해성 유기물질 관리에 대한 방안 마련 시 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상유역 및 자료분석

금호강 유역은 동·서로 걸친 장방형 형태로 동경 128°28' ~ 129°23', 북위 35°42' ~ 36°17' 사이에

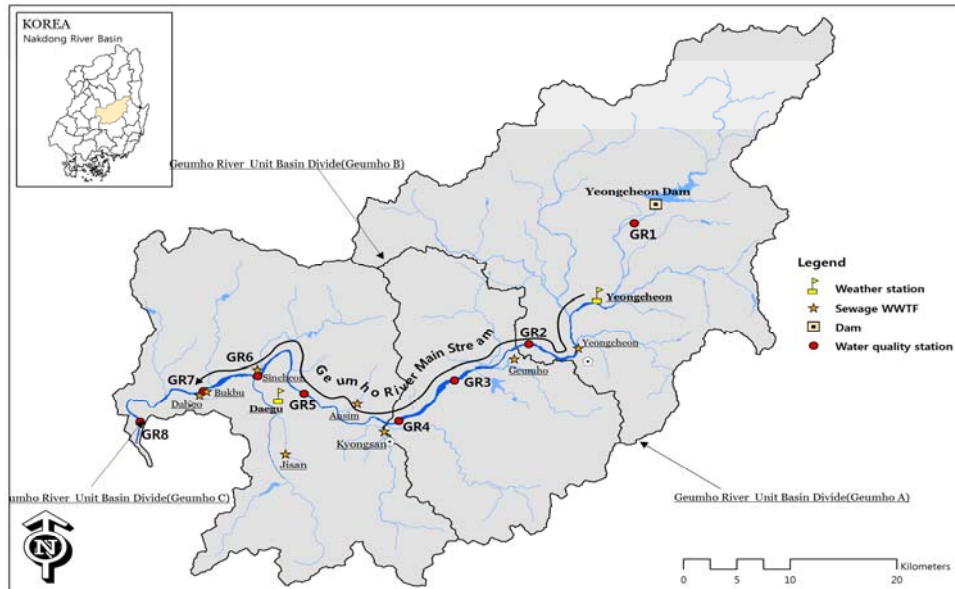


Fig. 1. Study area and monitoring site in Geumho River.

위치하고 있으며 북쪽은 가시령, 보현산, 방가산, 팔공산, 가산을 연결하는 분수령을 경계로 하여 낙동강의 주요지류인 반변천 및 위천 유역과 접하여 있다. 금호강은 포항시 죽장면 북부에서 발원하여 영천시 자양면 성곡리에서 영천댐으로 유입 후, 영천시를 지나 경산시와 우리나라의 3대 도시 가운데 하나인 대구광역시를 관류하는 하천이다(Choi et al., 2004). 금호강의 주요 지천으로는 상류의 자호천, 고촌천을 비롯하여 중류의 신령천, 북안천, 남천, 울하천, 불로천 등을 거쳐 하류의 팔거천, 신천, 달서천, 이연천등 20여개의 지류가 상류에서 하류까지 합하여 낙동강 중류의 좌안측으로 합류한다(Hwang and Jung, 2002). 금호강 유역의 행정구역은 대구광역시와 경상북도 경산시, 영천시, 포항시, 칠곡군 등으로 이루어져 있다. 금호강 상류지역은 비교적 청정한 지역이며, 중류지역부터 경산시와 하양시의 영향을 받는 남천의 합류로 금호강의 수질은 저하되며, 대구광역시의 영향을 받는 신천, 달서천 등이 금호강의 수질에 가장 큰 영향을 주고 있다(Yang and Bae, 2012). 총 연장은 118.99 km이며, 형상계수는 1.32 정도로 본류 경사는 완만하지만, 지류의 경사는 비교적 급한 편에 속한다(Jung et al., 2012a). 수질과 유량자료는 환경부 물 환경정보시스템

에서 금호강 본류의 국가수질측정망 5개 지점과 낙동강 물환경연구소에서 관측한 단위유역 총량측정망 3개 지점 자료 등 총 8개 지점의 자료를 수집 이용하였다(Fig. 1). 낙동강물환경연구소에서는 2004년부터 유량 및 수질 조사를 낙동강 수계 각 단위유역 마다 8일 간격으로 연간 30회 이상 동시에 측정분석 해오고 있다.

2.2. 유기물분석방법

BOD는 수중에 존재하는 호기성 박테리아가 수중 유기물을 산화시키는데 소요되는 용존산소의 양을 측정하여 유기물의 농도를 산정하는 것으로 20℃ 항온기에서 5일간 배양하여 소비된 산소량으로 정량화하여 나타내는 분석법이고, COD는 보편적으로 산성KMnO₄(과망간산 칼륨)법이 많이 사용되고 있으며, 100℃ 수욕상에서 시료에 일정량의 KMnO₄(과망간산칼륨)을 첨가하여 30분간 가열반응 시킨 후에 소비된 산소의 양을 적정법으로 측정하는 분석법이다. TOC는 크게 가감방법(TC-TIC)과 고온산화방법으로 구분한다. 가감방법은 총탄소(TC)와 총무기탄소(TIC)를 측정하여 그 차이값을 총유기탄소(TOC)로 산출하는 방법이며, 고온산화방법은 2N HCl(염산)을 시료에 첨가하여 pH를 2~3으로 조정하여

전처리한 후 NPOC(Non Purgeable Organic Carbon) 법을 이용하여 O₂가스를 4~8분 purging 하여 무기탄소를 제거한 후 800℃의 고온에서 연소 산화시켜 발생된 CO₂를 비분산적외선검출기(NDIR: Non Dispersion Infrared Detector)로 총유기탄소(TOC)를 산출하는 분석방법이다.

2.3. 상관분석(Correlation analysis)

상관분석은 연구하고자 하는 변수들 간의 관련성을 분석하기 위하여 사용하는 통계방법으로 보편적으로 Pearson 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, r)가 가장 많이 사용되고 있다(Jung et al., 2012a). 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악해보는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 상관성이 있는지 여부와 상관성이 있다면 어느 정도의 상관성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 분석방법이다(Cho, 2011). 상관계수는 -1부터 +1 사이의 값을 가지며, 본 연구에서는 Pearson 상관계수를 이용하여 유기물 항목간의 상관분석을 실시하였다.

2.4. 회귀분석(Regression analysis)

회귀분석이란 변수들 중 한 개를 종속변수로 나머지를 독립변수로 하여 이들 변수들이 서로 상관관계를 가질 때 이러한 관계를 규명하고자 하는 방법으로 가장 많이 이용되는 통계기법이다(Cho, 2011). 회귀분석에는 종속변수와 독립변수의 관계가 선형의 관계를 가지며 회귀분석의 기본 1차식은 다음과 같이 표현된다.

$$Y = a_1X_1 + b_1 \quad (1)$$

$$Y = a_2X_2 + b_2 \quad (2)$$

여기서, 종속변수 Y는 TOC농도이며 a_1 , a_2 는 회귀계수, b_1 , b_2 는 각각의 상수항으로 독립변수 X_1 은 BOD와 X_2 는 COD의 농도이다. 회귀모형은 SPSS(Ver. 12.0) 프로그램을 이용하였으며, 회귀식의 적합성을 나타내는 결정계수(R^2)값이 1에 가까울수록 잔차가 없는 회귀식으로 설명되고, 반대로 0에 가까울수록 회귀식이 변동을 설명하지 못함을 뜻한다.

2.5. LOWESS(Locally Weighted Scatter plot Smoother) 경향분석

LOWESS는 실제 데이터에 대한 평활곡선들(Smoothing curves)을 적합 시키는데 단순하지만 매우 유용한 도구이다(Jacoby, 2000). LOWESS는 각 값에 대해 이동 직선을 구하고 이로부터 y의 평활점을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다. LOWESS는 적합점들을 연결하여 최종적인 회귀곡선을 산출한다. 이는 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정 없이 자료들을 회귀모형에 맞추므로 유용한 경향 분석법이다(Kim, 2014).

3. 결과 및 토의

3.1. 금호강 분류 수질 현황

금호강 분류 조사대상 8개 지점의 최근 2014년도 평균수질현황을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Summary of monitoring sites result in Geumho River basin

Station	Site name	BOD ¹⁾	Class	COD ¹⁾	Class	TOC ¹⁾	Class
GR1	Geumho River 1	0.8	I a ²⁾	3.9	I b	2.6	I b
GR2	Geumho River 1A	1.7	I b	6.5	III	4.2	III
GR3	Geumho River 2	2.1	II	5.6	III	3.2	II
GR4	Geumho River 2A	2.8	II	8.0	IV	5.1	IV
GR5	Geumho River 3	2.3	II	5.6	III	5.1	IV
GR6	Geumho River 4	2.6	II	5.7	III	5.4	IV
GR7	Geumho River 5	3.3	III	6.6	III	5.2	IV
GR8	Geumho River 6	3.6	III	9.0	IV	5.8	IV

1) River(Stream) environmental standard for water quality

2) In Score : Excellent(I a), Good(I b), Above average(II), Fair(III), Poor(IV), Very Poor(V)

Table 2. Sewage treatment plant BOD and COD concentration variation

(Unit : mg/L)

Year	Yeongcheon		Geumho		Kyongsan		Ansim		Sincheon		Jisan		Bukbu		Dalseo	
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD
2004	5.9	8.7	3.4	7.0	6.0	12.8	2.2	7.4	2.0	7.1	0.7	5.4	3.7	8.9	4.2	15.4
2005	6.0	8.8	2.4	6.5	5.0	9.9	2.1	7.5	3.0	7.6	1.0	6.0	4.0	7.7	4.2	16.1
2006	5.4	10.1	2.6	7.1	3.8	10.3	0.9	6.7	3.4	7.5	0.8	5.8	3.4	6.3	4.4	16.8
2007	4.9	12.9	2.3	9.4	3.5	9.6	0.7	6.7	1.3	6.7	0.6	5.6	2.3	6.8	3.8	16.0
2008	5.7	14.4	4.1	15.0	2.0	9.4	0.7	6.9	1.3	6.9	0.6	6.3	2.1	7.0	3.5	15.7
2009	4.2	8.6	4.0	8.2	2.6	11.1	0.5	6.8	1.5	7.1	0.4	6.2	2.0	7.0	3.4	15.5
2010	3.7	8.6	3.3	5.9	1.7	9.6	0.8	6.3	1.5	6.7	0.6	5.5	1.5	7.4	3.4	14.7
2011	3.5	6.7	3.0	6.1	1.8	8.4	1.0	6.5	1.8	6.7	1.0	5.9	1.7	7.1	3.0	12.8
2012	1.7	6.9	1.4	5.9	0.6	5.6	0.9	6.5	1.0	6.0	0.5	5.3	1.5	6.5	2.8	11.6
2013	1.7	5.8	1.4	5.0	0.8	6.8	0.4	6.2	0.7	5.5	0.5	4.8	1.3	6.4	2.7	11.5

전반적으로 상류에서 하류로 농도가 높아지고 있으며, 그 농도 범위가 BOD는 0.8 ~3.6 mg/L, COD는 3.9~9.0 mg/L, TOC 는 2.6~5.8 mg/L로 나타났다. 먼저 수질오염총량관리 항목인 BOD에 대해서 살펴보면 각 단위유역별로 설정된 목표수질이 금호A는 1.9 mg/L, 금호B는 3.8 mg/L, 금호C는 4.0 mg/L로 모두 기준을 초과하지 않고 목표수질기준 이하로 유지·관리되고 있으며, 전체적으로 수질환경기준 III(Fair)등급 이상의 아주 양호한 수질을 보이는 것으로 조사되었다. Table 2는 2004년~2013년까지 최근 10년간 금호강 유역의 하수종말처리장 방류수 농도를 조사한 것으로 대부분의 처리장 방류수 농도가 목표수질 달성을 위해 지속적으로 개선되었음을 알 수 있다. 한편 COD의 경우는 최상류 GR1지점을 제외하고 수질환경기준 III(Fair) 등급의 수질상태를 보이는 것으로 조사되었으며, 특히 GR4지점과 GR8지점의 연평균농도가 높게 나타나 수질환경기준 IV(Poor) 등급인 것으로 나타났다. TOC 또한 상류지점을 제외하고 GR4~GR8 지점들이 모두 수질환경기준 IV(Poor)등급에 해당하는 것으로 조사되었다. 이처럼 기간 지속적인 BOD 중심의 규제에 따른 생분해성 유기물은 상당부분 개선된 반면 난분해성 유기물 지표인 COD와 TOC 농도가 높다는 것은 미생물이 분해하기 어려운 난

분해성 유기물이 수중에 많다는 것을 의미하는 것으로 기준에 BOD 중심의 유기물관리는 한계가 있으며, 난분해성 유기물의 관리가 필요한 것으로 판단된다. 그리고 Table 2에서 COD 방류수 농도는 방류수 기준을 만족하지만 이 중에는 난분해성 유기물이 차지하는 비율이 높기 때문에 하천에 유기물 오염도를 증가시키는 원인이 될 수 있다. Imai et al.(2002)은 일본의 Kasu-migaura 호 내 난분해성 물질 증가요인으로 하수처리장 방류수를 지적한 바 있으며, Shin et al.(2000)은 팔당호 유입 지류 중 하나인 경안천 내 유기물 오염 부하의 원인으로 점오염원을 강조한 바 있다. Namour and Mouller (1998)은 하수처리장 방류수를 대상으로 배양실험을 통해 휴믹물질과 같은 난분해성 물질이 10~40% 이상 증가하는데 이는 생물학적 처리 공정 과정에서 생분해성 유기물이 제거되면서 상대적으로 분해가 어려운 난분해성 물질이 잔류 또는 생성되어 hydrophobic 성분이 높게 나타남을 연구 보고하였다.

3.2. 금호강 본류의 유기물질 오염도 현황

금호강 본류에서 난분해성 유기물의 증가추이를 분석하기 위해서 지난 1995년부터 최근 2014년까지 20년간의 수질자료를 수집하여 COD/BOD ratio를 산정한 결

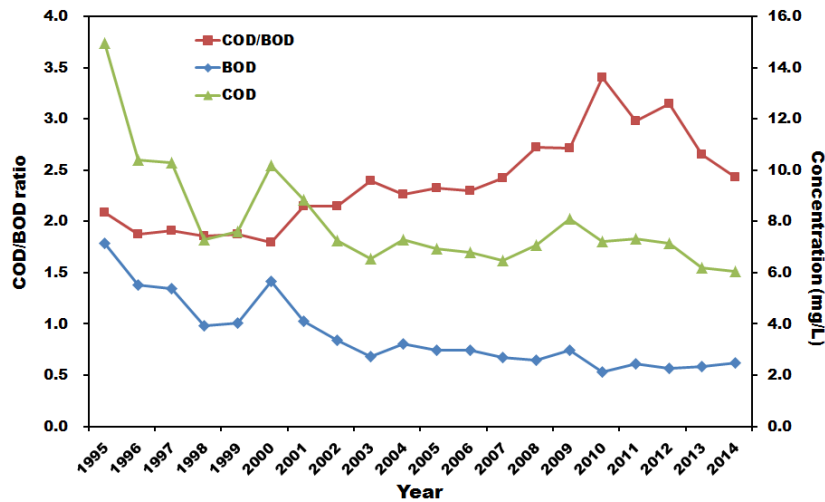


Fig. 2. Annual trends of BOD, COD and COD/BOD ratio from 1995 to 2014 in the Geumho River.

Table 3. COD/BOD trends in 8 monitoring sites

COD/BOD	Geumho River			
	Increase	Decrease	Sameness	Total
	39	26	7	72
	54.2%	36.1%	9.7%	100.0%

과를 Fig. 2.와 함께 Table 3에 나타내었다.

그림 Fig. 2.에 도시된 바와 같이 COD/BOD ratio는 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, Table 3과 같이 금호강 본류에서 COD/BOD ratio에 의한 난분해성 유기물의 증감추이는 연도별로 증감이 반복되나 증가추이가 54.2%로 우위적 비율을 차지하는 것으로 분석되었다. 하지만 COD/BOD ratio를 이용하는 경우 그간 BOD 중심의 수질관리 정책으로 BOD가 감소됨에 따라 상대적으로 COD/BOD ratio가 증가되는 것처럼 보여 질 수 있다. 따라서 이러한 오류를 방지하기 위해 정확한 난분해

성 유기물의 증가 추이를 파악하고자 2005년부터 2014년까지 최근 10년간 금호강 본류 BOD와 COD의 수질 현황을 함께 검토 분석하였다. 추이를 알아보기 위한 분석방법으로 BOD와 COD 수질측정값의 변화를 (BOD 증가, BOD 감소, BOD 같음 그리고 COD 증가, COD 감소, COD 같음) 분류하여 Table 4에 나타내었다.

연도별 수질측정값의 변화추이를 분석한 결과 BOD는 61.1% 정도가 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 환경기초시설의 고도처리 적용 등 삭감시설의 확대에 따른 것으로 생분해성 유기물 관리가 강화되었기 때문으

Table 4. BOD and COD trends in 8 monitoring sites of the Geumho River basin

Geumho River (monitoring sites : 8)			
BOD (↑)	31.9 %	COD (↑)	50.0 %
BOD (↓)	61.1 %	COD (↓)	38.9 %
BOD (→)	6.9 %	COD (→)	11.1 %

Table 5. Correlation comparison of BOD, COD and TOC in the Geumho River

	BOD	COD	TOC
BOD	1	0.742**	0.512**
COD		1	0.709**
TOC			1

** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

로 판단되고, COD는 50.0% 정도가 증가한 것으로 나타났는데 이는 금호강에서 난분해성 유기물이 증가하고 있음을 시사한다. 하천과 호수로 유입하는 유기물의 기원은 크게 환경기초시설 방류수로 대표되는 점오염원(Lee et al., 2011), 수계 내 토지 이용도와 관련이 깊은 외부 비점오염원(토양 및 식물쇄설물기원 등)(Aiken, 1993), 그리고 하천 및 호수 퇴적물과 조류 등 내부생산에 의한 난분해성 유기물질의 배출 등에 따른 원인(Jung et al., 2009)에 기원할 가능성이 크다. 따라서 수체에서 유기물이 분해되는 양 만큼 난분해성 유기물 또한 같은 비율로 줄어들지 않기 때문에 상대적으로 증가하고 있는 것으로 판단되는 바 난분해성 유기물 관리가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

3.3. TOC와 BOD, COD 유기물의 상관분석 및 회귀분석

금호강 본류 관측 자료를 SPSS(Ver. 12.0) 통계프로그램을 이용하여 유기물의 상관관계를 분석하여 Table 5에 나타내었다. 금호강 전체에서 TOC와 BOD의 상관계

수는 0.512(p<0.01)로 나타났으며, TOC와 COD의 상관계수는 0.709(p<0.01)로 나타나 BOD보다는 COD가 TOC와 상관성이 높은 것을 알 수 있다. Choi 등(2012)은 영농 기간 동안 논 유출수에 관한 연구에서 COD가 BOD보다 TOC와의 상관성이 높다고 보고한바 있으며, Kim et al.(2013a)은 낙동강 지류하천에 대해 TOC와 COD의 상관성 연구결과 상관계수는 0.796으로 본 연구와 유사하게 조사되었다.

Jung et al.(2013)은 하천수내 TOC 농도 추정을 위한 연구에서도 수질항목 중 COD가 TOC와 상관성이 가장 높게 나타나 이러한 TOC와 COD간의 관계를 규명하고, 과거에 축적된 BOD와 COD 자료를 이용하여 회귀모형을 개발하여 TOC를 추정하는 연구가 최근 수행되어지고 있다(Park et al., 2014b). 또한 Fig. 3.와 같이 산포도 상에서 회귀선은 회귀식으로 나타낼 수 있다. 두 변수사이에서 구한 회귀식은 $TOC = 0.4664 \cdot BOD + 3.1424$ 이며, $TOC = 0.416 \cdot COD + 1.3691$ 이다.

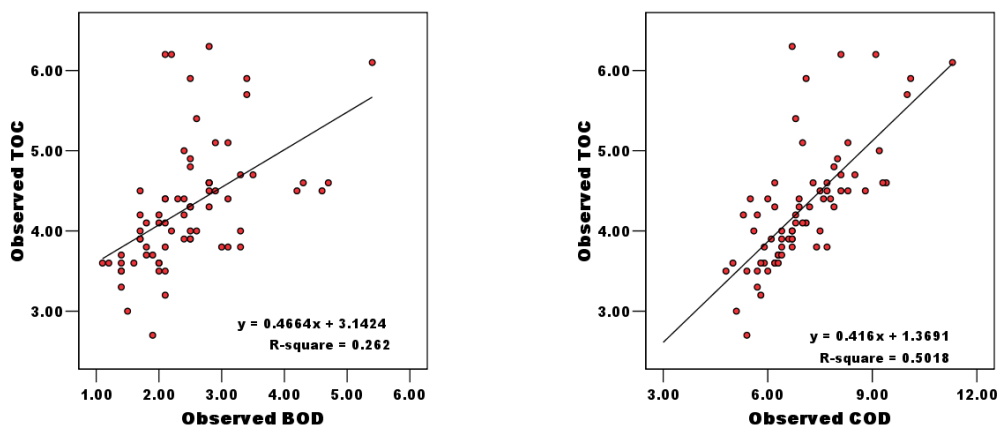


Fig. 3. Regression equation for BOD-TOC and COD-TOC.

회귀식의 기울기 0.4664, 0.416은 BOD, COD의 단위변화량에 대한 TOC의 변화량이며 BOD, COD가 1 mg/L 증가 할 때 TOC는 평균적으로 0.4664, 0.416 mg/L 증가함을 의미한다. 그리고 BOD보다는 COD를 이용해서 구한 회귀식의 R²값이 더 높게 나타났는데 이는 선행된 연구와도 같은 결과이다(Choi et al., 2012;

Jung et al., 2013). Lee et al.(2010)은 하수처리장 방류수 내 TOC와 COD의 상관계수가 0.93(p<0.01)로 매우 높았으며, R-TOC = 0.340*COD + 2.054의 난분해성 물질에 대한 회귀식을 제안한 바 있다. 이처럼 두 변수 간의 상관관계 규명으로 유기물의 정확한 측정이 가능하고 낮은 산화율로 인한 분석오차를 극복하는 대안으로

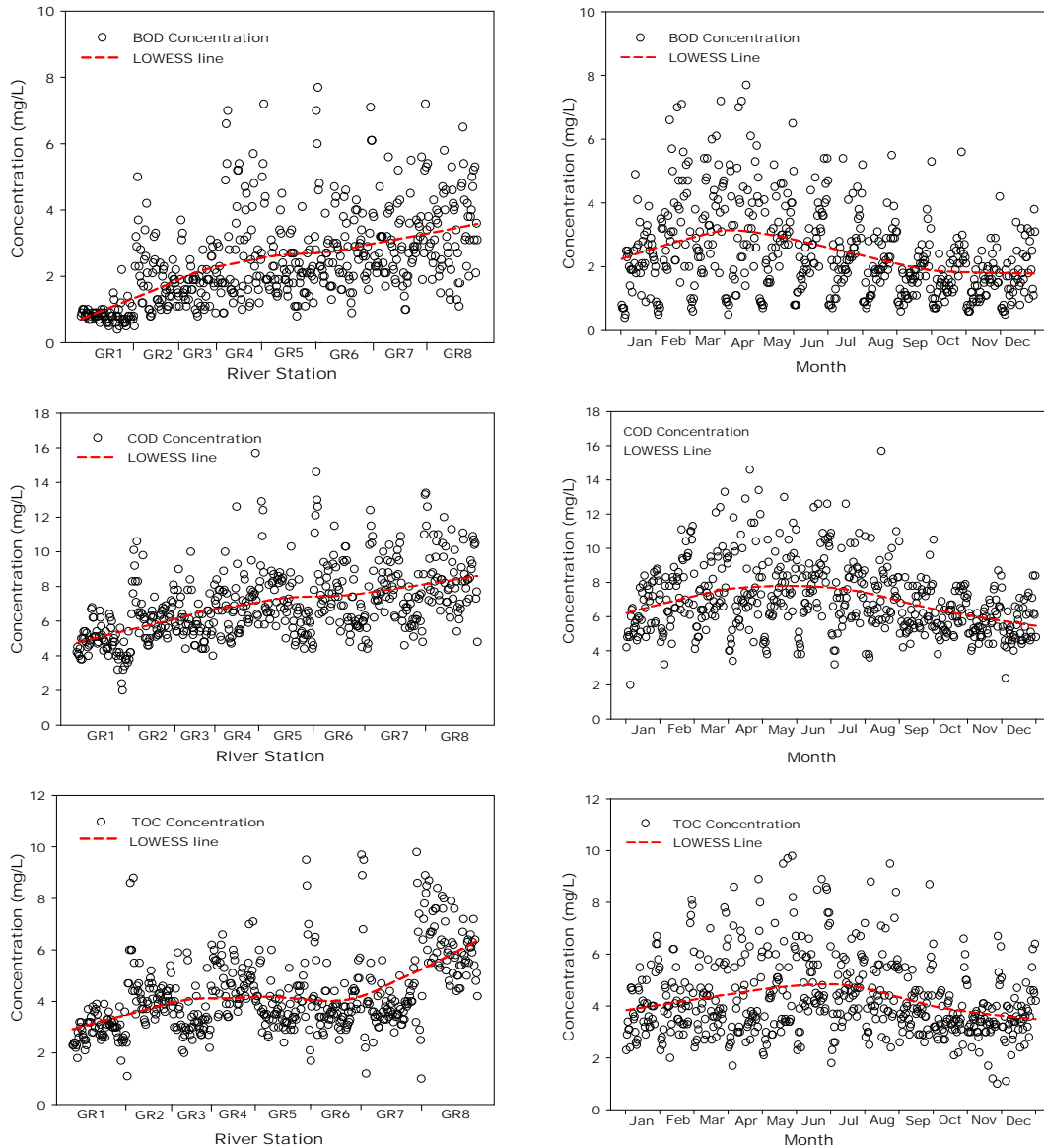


Fig. 4. LOWESS analysis on BOD, COD_{Mn}, TOC in the Geumho River.

TOC가 향후 유기물 관리 대상물질로 선정되어 총량관리가 가능하게 되면 BOD도 동시에 관리가 될 수 있을 것이다(Park et al., 2013).

3.4. 금호강 본류의 유기물 농도 분포

Fig. 4.은 금호강 본류의 유기물 농도 분포를 시·공간적으로 LOWESS 방법을 통해 경향을 표현한 것이다. LOWESS는 Cleveland(1979)에 의해 처음 소개되었으며, 장기수질경향과 수질분포를 분석하는데 유용한 도구이자 계산 및 사용이 쉬운 매우 매력적인 통계 방법이다(Kim, 2014). 금호강 본류에서 유기물의 공간적인 분포는 앞서 금호강 수질 현황에서 살펴본 바와 같은 결과

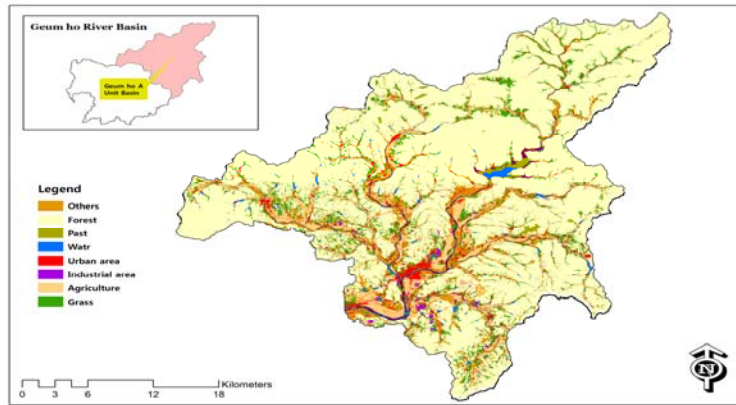
로 Fig. 4.에서도 이와 같은 결과를 잘 설명하고 있다. 특히 TOC는 GH7지점(금호강 4지점, 팔달교)을 기점으로 급격히 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 하류에서 금호강과 합류하는 달서천의 영향으로 볼 수 있다. 달서천에는 달서천 하수처리장과 북부 하수처리장이 위치하고 있으며, 달서천은 이들 처리장 방류수의 영향을 크게 받고 있다. 특히 달서천하수처리장은 염색공단 폐수처리장 방류수와 생활하수를 함께 연계를 하고 있으며, GH7지점 부터의 TOC 증가는 생활하수보다는 염색공단 폐수처리장 방류수의 영향일 가능성이 크다.

Table 6. Summary of water quality in the Geumho River during January, 2009 to December 2014

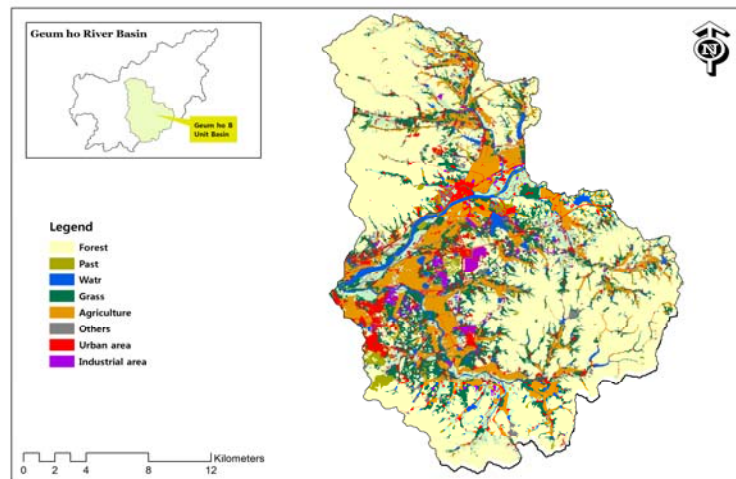
(a) BOD												(Unit : mg/L)
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009	2.5	5.0	5.1	5.5	3.4	3.8	2.3	2.1	2.2	2.0	1.9	1.7
2010	2.0	3.1	2.4	2.6	2.7	2.4	2.1	2.0	1.7	1.3	1.4	2.0
2011	2.8	4.2	3.5	4.3	2.5	2.5	2.1	1.8	1.7	1.8	1.4	1.5
2012	1.9	3.1	3.3	3.0	3.3	2.9	2.4	2.5	1.4	2.0	1.2	1.1
2013	1.4	2.0	2.6	2.5	2.8	2.9	3.1	2.5	1.7	1.7	2.2	2.4
2014	2.3	2.8	3.1	2.1	2.8	2.5	2.6	2.2	2.5	2.1	1.9	2.1
Mean	2.1	3.4	3.3	3.3	2.9	2.8	2.4	2.2	1.8	1.8	1.7	1.8

(b) COD												(Unit : mg/L)
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009	7.3	9.1	10.2	11.3	10.1	10.5	7.9	5.9	7.4	7.0	7.0	6.5
2010	6.6	8.3	6.5	7.1	7.9	8.0	7.5	8.8	7.6	6.1	6.1	6.7
2011	7.2	8.3	8.1	9.3	6.7	7.9	7.1	7.0	6.4	6.3	5.7	5.1
2012	6.4	7.4	7.7	6.7	7.5	8.3	9.2	7.9	5.7	5.9	5.8	5.0
2013	5.4	6.3	6.7	6.6	7.7	7.5	6.0	6.2	5.7	6.1	5.6	5.3
2014	5.5	6.2	7.0	5.9	6.7	7.1	6.8	8.1	6.7	5.8	5.4	4.8
Mean	6.4	7.6	7.7	7.8	7.7	8.2	7.4	7.3	6.6	6.2	5.9	5.6

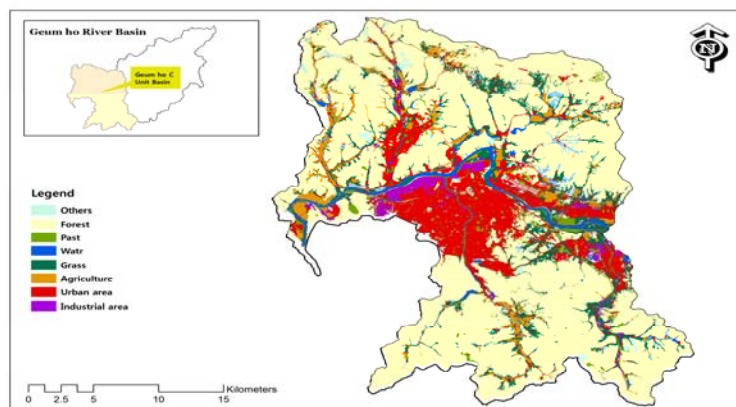
(c) TOC												(Unit : mg/L)
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009	4.2	4.4	4.4	5.7	5.6	5.4	3.8	3.2	4.5	4.0	4.0	3.6
2010	4.2	4.7	3.9	4.6	4.5	4.9	4.4	6.2	4.5	3.7	3.6	4.1
2011	4.5	4.5	4.7	4.9	4.1	4.6	4.1	4.1	4.0	3.7	3.3	3.0
2012	3.7	3.8	3.8	3.8	4.0	5.1	5.0	4.3	3.5	3.6	3.6	3.6
2013	3.5	3.6	4.0	3.9	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	3.9	4.0	4.2
2014	4.4	4.6	5.1	3.8	6.3	5.9	5.4	6.2	3.9	3.2	2.7	3.5
Mean	4.1	4.3	4.3	4.4	4.8	5.1	4.5	4.7	4.1	3.7	3.5	3.7



(a) Geumho A



(b) Geumho B



(c) Geumho C

Fig. 5. Land use pattern of the study area (2010).

Table 2의 조사 자료에서도 달서천하수처리장 COD 방류수 농도가 다른 하수처리장의 방류수 농도보다 2배 정도 높은 농도로 나타나 이와 같은 사실을 뒷받침 하고 있다. Yang and Bae(2012)는 달서천하수처리장으로 유입되는 염색공단 폐수처리장 방류수의 난분해성 염색물질이 COD를 극단적으로 상승시키고 있음을 연구보고 하였다. Park(2012)은 달서천 하수처리장 공단계에서 생활계와 최종방류수에 비하여 난분해물질인 hydrophobic 성분이 많았으며, BDOC율은 10% 미만으로 낮은 생분해율을 보인다고 연구보고 하였다. Kim(2003)은 염색 폐수 내에는 박테리아에 의한 생물학적 분해등의 자연적 정화가 되지 않는 난분해성 물질이 다량 포함되어 있음을 연구 보고한 바 있다. 금호강 본류에서 유기물의 시간적인 분포는 생분해성 관리 지표인 BOD와 난분해성 관리 지표인 TOC, COD의 경향이 조금은 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 먼저 BOD는 대체로 하천에 유량이 적은 저·갈수기에 농도가 높게 나타났으며, 특히 2월~4월에 가장 높게 나타났다. 이는 여러 선행 연구와도 일치하는 결과로(Kim et al., 2013b; Lyu et al., 2007) 점오염원에서 배출되는 양은 일정한 반면 dry season(겨울, 봄)동안 하천에 흐르는 유량은 줄어들기 때문이다. 6월~12월까지 BOD농도는 감소하는데 이는 우리나라가 전형적인 몬순기후의 영향으로 6월 중·후반부터 시작되는 장마 이후로 하천에 수량이 풍부해지고

수체가 안정화되면서 농도가 감소하는데 따른 것이다. COD와 TOC는 장마가 시작되는 6월에 가장 높게 나타나고, 장마 기간인 7월에도 농도가 높게 나타났다(Table 6). 이는 선행 무 강우 일수가 길어 그동안 토양표면에 축적되어 있던 오염물질이 토사와 함께 강우 초기 쓸림 현상으로 장마가 시작되는 6월에 높은 농도를 나타내는 것으로 판단된다. 이 때 각종 유기 부산물(축산폐수, 퇴비)과 산업 폐수 배출 그리고 NOM(Natural organic matter)와 같은 난분해성 유기물 함량이 높은 비점오염물질이 수계로 유입될 가능성이 높다.(Park et al., 2011; Kim et al., 2007a) 이러한 시기에 금호강에서의 COD와 TOC 농도는 낙동강 본류에도 영향을 미칠 수가 있는데, 최근 낙동강의 인공보 설치에 따른 보 내 수질특성에 관한 연구에서 금호강 합류 후 달성보의 COD와 TOC의 농도가 여름철에 강우에 의해 다소 높게 조사되었음을 연구 보고한바 있다(Lee et al., 2014).

3.5. GIS를 이용한 토지 이용 분석

Kim et al.(2013a)은 유역의 토지이용형태에 따라 유기물농도가 영향을 받는다고 하였고, Worrall and Burt(2007)은 유기물의 농도가 유역의 특성을 반영하는 것을 확인한 바 있다. 이처럼 유역의 수질관리를 위해서 토지 이용특성을 살펴볼 필요가 있다. 따라서 금호강의 토지 이용현황을 파악하기 위해 환경부에서 제공하는 중분류 토지이용자료로 토지이용현황을 분석하였다. 토지이용

Table 7. Land use from 2010 in the Geumho River watershed

Land use	Geumho A		Geumho B		Geumho C	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Forest	646.99	70.24	218.87	50.11	440.16	62.47
Agriculture	81.14	8.81	56.00	12.82	30.18	4.28
Field	65.64	7.13	52.52	12.02	52.41	7.44
Urban	28.87	3.13	28.11	6.43	106.53	15.12
Industrial	3.41	0.36	7.04	1.61	10.45	1.49
Watr	24.86	2.70	16.60	3.80	17.65	2.51
Past	13.99	1.52	10.42	2.39	20.24	2.87
Others	56.24	6.11	47.25	10.82	26.94	3.82
Sum	921.13	100.00	436.80	100.00	704.56	100.00

분류는 산림(Forest), 논(Agriculture), 밭(Field), 시가지(Urban), 공업지(Industrial), 수역(Water), 초지(Pasture), 기타(Others) 까지 8개 유형으로 분류 추출하여 Arc GIS 9.3의 버퍼링(Buffering) 기능으로 작성하였다(Fig. 5).

주거지역, 상업지역, 교통지역, 공공시설지역은 시가지(Urban)로 시설재배지, 과수원, 기타 재배지 등은 밭(Field)으로 통합하였다. Barringer et al.(1990)은 지역의 공간 분석을 위해 Buffer를 사용하는 것은 토지이용과 수질과의 상관성을 설명하는데 간단하면서도 효과적인 방법이라고 제시한 바 있다. 금호강 전체유역을 각 단위유역으로 구분하고 그에 대한 면적과 면적비율을 산정하였다(Table 7). 금호강 유역의 면적은 총 2062.49 km²이며 금호A 단위유역은 금호강 상류유역으로 면적은 921.13 km²으로 산림(Forest)이 차지하는 면적이 가장 많다. 이 지역은 영천시가 위치해 있으며, 영천시에는 신녕공업단지, 화산농공단지, 복안농공단지 등 7개 공단이 밀집해 있다. 금호B 단위유역은 금호강 중류유역으로 면적은 436.80 km²으로 산림(Forest)을 제외하고 논(Agriculture), 밭(Field)이 차지하는 비율이 24.84%로 가장 높게 나타났다. 시가지(Urban)가 차지하는 면적은 금호A와 비슷하지만 산업단지 면적은 금호B 유역이 2배 정도 많으며 이곳에 입주한 업체수도 영천시보다 경산시가 2배 정도 많다. 또한 유역 전체 농경지의 70% 이상은 금호강 중류지역에 위치하고 있으며, 금호강 중류지역은

농업이 발달해 있다(Daegu regional environmental agency, 2005). 금호C 단위유역은 금호강 하류유역으로 면적은 704.56 km²이며 금호C 단위유역의 경우 시가지(Urban)가 차지하는 비율이 15.12%로 산림을 제외하면 전체의 40.29%나 차지하는 것으로 분석되었다. 대구광역시에는 3공단, 검단공단, 염색공단, 서대구 공단 등 4개의 공단이 위치해 있으며, 총 면적이 10.45 km²으로 금호A,B 공단을 합한 면적과 같다. Kim et al.(2007b)은 금호강 하류 유역의 도시적 토지이용면적은 최근 15년 동안 두 배가량 증가하였으며, 초지와 논, 밭의 면적은 약 100 km²정도 감소하여 하류에서 도시화는 주로 농경지의 시가지화 전환이 주를 이루며 진행되었음을 연구 보고 하였다.

3.6. 경험식을 이용한 오염물질 유출특성 분석

강우량은 하천유량에 영향을 미치는 주요한 인자이다. 대구 기상청에서 금호강 유역의 최근 6년간 강우량 자료를 수집 조사하여 Table 8에 나타내었다. Table 8에 요약한 금호강 유역의 강우량을 살펴보면 6월부터 여름철 장마기와 9월에 강우가 집중되어 연강우량(1,078.1 mm)의 약 64.7%(697.1 mm)가 이 기간 동안 내렸다. 7월과 8월에 최고치인 253.9 mm, 243.9 mm로 나타났고, 이때 하천의 유량도 가장 많았다. 12월~1월에 강우량은 매우 적어 가뭄현상을 보였으며, 봄철에는 강우가 산발적

Table 8. Rainfall in Geumho River watershed from 2009 to 2014

(a) Rainfall : Geumho River watershed												(Unit : mm)	
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean
Rainfall	8.1	31.3	55.7	72.0	90.6	80.9	253.9	243.9	118.5	64.2	36.5	22.4	1078.1

Table 9. Discharge in Geumho River watershed from 2009 to 2014

(b) Discharge : Geumho River unit watershed												(Unit : m ³ /s)
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Geumho A	2.503	3.061	5.574	11.189	15.891	5.617	14.790	62.549	27.042	11.969	4.086	4.190
Geumho B	3.970	4.791	11.320	25.087	30.564	11.534	37.057	206.922	40.927	13.336	7.804	7.542
Geumho C	13.796	17.226	28.878	29.106	35.551	34.871	73.537	154.754	49.244	24.225	23.019	20.805
Mean	6.76	8.36	15.26	21.79	27.34	17.34	41.79	141.41	39.07	16.51	11.64	10.85

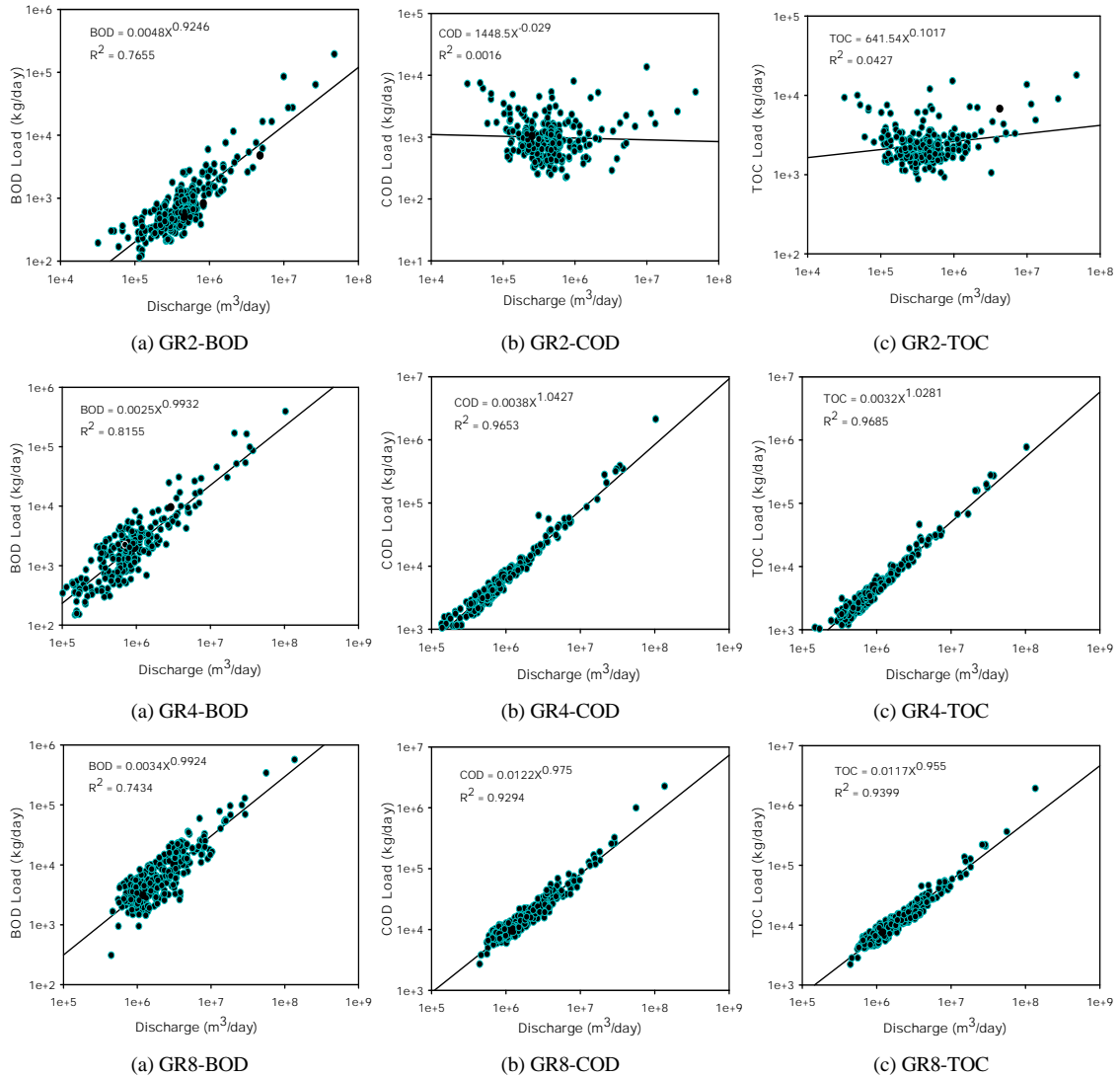


Fig. 6. Correlation between discharge rate and pollutants load at the Geumho A (GR2), Geumho B (GR4), Geumho C (GR8).

으로 있었지만 그 양은 많지 않아 이 시기에는 적은 유량이 흐르고 실측 되었다 (Table 9). 금호강 본류로 유입되는 오염물의 양이 변동이 없다고 가정 할 경우 상대적으로 강우량이 적은 시기에는 오염물질의 농도가 증가할 가능성이 있다.

금호강 수계 단위유역별로 유량(Q)과 오염부하량(L) 인자간의 상관 관계식을 구하여 유출량 변화에 따른 오염물질 유출특성을 분석하였다 (Fig. 6. 과 Table 10). 오

염부하량(L)은 해당 단위유역 말단지점에서 유출되는 유량과 농도를 곱하여 산출되는 값이다. 강우 시 오염부하량은 기저유출에 의한 자연부하와 가정과 상·공업지역에서 배출되는 오수, 토양표면의 세척에 의한 오염부하량의 합이다 (Choi et al., 2011). 또한 강우 시 유출량의 증가로 인하여 오염부하량은 증가하므로 비점오염원 해석에 있어서 중요한 인자이다 (Wanielista, 1978).

하천유량(Q)과 오염부하량(L)은 경험식은 식(3)과

Table 10. Relation equation between discharge and the pollutants load at the Geumho A(GR2), Geumho B(GR4), Geumho C(GR8)

Unit watershed		BOD	COD	TOC
Geumho A	Relation equation	$L=0.0048Q^{0.9246}$	$L=1448.5Q^{0.029}$	$L=641.54Q^{0.1017}$
	R ²	0.7655	0.0016	0.0427
	a	0.0048	1448.5	641.54
	b	0.9246	-0.029	0.1017
Geumho B	Relation equation	$L=0.0025Q^{0.9932}$	$L=0.0038Q^{1.0427}$	$L=0.0032Q^{1.0281}$
	R ²	0.8155	0.9653	0.9685
	a	0.0025	0.0038	0.0032
	b	0.9932	1.0427	1.0281
Geumho C	Relation equation	$L=0.0034Q^{0.9924}$	$L=0.0122Q^{0.975}$	$L=0.0117Q^{0.955}$
	R ²	0.7434	0.9294	0.9399
	a	0.0034	0.0122	0.0117
	b	0.9924	0.975	0.955

Q: m³/day, L: Kg/day

같다.

$$L = a \cdot Q^b \quad (3)$$

이를 변환하면 $L/Q = C = a \cdot Q^{(b-1)}$ 식이 된다. 식 (3)으로부터 a, b계수를 구할 수 있으며, a값은 기저 유출 부하량과 관련한 계수이며, b값은 회귀식의 기울기로 b값이 1보다 크면 유출량 증가에 따라 오염부하량이 증가하는 특성을 나타내며, 1보다 작으면 수질농도가 유출량에 민감하지 않은 것으로 해석한다(ILWQVND(Ⅱ), 2006; Kim et al., 2000; Park et al., 2011).

금호A지점은 BOD부하에 대한 유량계수가 1 미만 값을 보여 유량이 증가할수록 BOD 농도는 감소하는 것으로 나타났으며, COD와 TOC부하는 유출량에 의한 명확한 관계가 나타나지 않았다. 금호A 유역은 산림이 많은 부분을 차지하고 있고, 주변의 인위적인 오염원이 비교적 적게 내재되어 있어 수질농도가 낮게 나타나는 곳이기도 하다. 이러한 지역은 하천에서 오염물질 유입 증가율보다 하천유량 증가율이 훨씬 크기 때문에 수질농도가 극히 낮아지면서 유출량에 의한 명확한 관계가 나타나지

않을 수 있으며, 오히려 수질관리에 긍정적 효과로 나타날 수도 있다. Park(2003)은 금호강 상류 유역이 산림 면적률과 식생 활력도가 상당히 높아 수질지표와 음의 상관성을 가지는 것을 연구 보고한 바 있으며, Kim et al. (2009)은 금호A 유역이 산림이 많은 부분을 차지하고 있어 유출량에 대한 오염부하량이 단위면적당 3.74 kg/ha로 가장 적게 나타났음을 연구 보고 하였다. 또한 Jung et al.(2012c)은 영산강 소하천 유역의 토지이용이 하천 수질에 미치는 영향에 관한 연구에서 임야의 경우 수질항목간의 상관성이 모두 음의 상관성을 보여 임야가 수질개선에 긍정적 영향을 준다고 평가 하였으며, Choi et al.(2009)은 산림지역의 비점오염물질 유출특성에 관한 연구에서 SS를 제외한 나머지 수질농도에 대한 차이는 미미한 것으로 분석되었음을 보고한 바 있어, 선행 연구들의 결과들과 유사한 결과를 보였다. 금호B지점은 BOD부하에 대한 유량계수가 1 미만 값을 보여 유량이 증가할수록 BOD 농도는 감소하는 것으로 나타났으며, COD와 TOC부하는 유량계수가 모두 1 이상 값을 보여 유출량에 따른 오염부하가 큰 것으로 나타났다. 이는 강우에 의한 유량증가 시 생분해성 유기물 부하는 감소하

Table 11. Pearson correlation coefficient among the water quality and Rainfall parameters

Unit watershed	Geumho A			Geumho B			Geumho C		
	BOD	COD	TOC	BOD	COD	TOC	BOD	COD	TOC
Rainfall	-0.190	0.210	0.261	-0.066	0.497**	0.366**	0.046	0.007	-0.090

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

는 대신 생분해가 쉽지 않은 난분해성 비점유기물 부하가 증가하는 것으로 해석 할 수 있다. 이와 같은 결과는 금호B 유역이 논(Agriculture), 밭(Field)이 차지하는 비율이 높은 지역으로 경작을 위해 경작지에 퇴비(액비), 화학비료 및 농약 살포 등으로 난분해성 유기물 함량이 높은 비점 오염원이 강우 시 토사와 함께 아무런 여과 없이 인근하천에 유입되기 때문인 것으로 판단된다. Table 11의 강우량과 수질과의 상관관계 분석에서도 금호B 지점의 COD, TOC 상관계수가 0.497($p<0.01$), 0.366($p<0.01$)로 유의하게 나타나 이와 같은 사실을 뒷받침하고 있다.

Jung et al.(2012b)은 농지면적이 증가할수록 COD 연평균 부하량 (EMP : Event Mean Concentration)이 증가한다고 보고하였으며, Jung et al.(2012c)과 Park et al.(2014a)은 영산강 수계 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 연구에서 논 과 밭에서의 COD, TOC 상관계수가 0.716($p<0.01$), 0.698($p<0.01$)로 매우 높으며, 건기보다 우기 때 양의 상관성을 보임을 보고하였다. 이처럼 금호B 유역에서의 COD와 TOC는 유량증가에 따른 비점오염원의 영향을 좀 더 받는 것으로 판단된다. 한편 금호C 유역은 시가지 즉, 불투수층 면적이 차지하는 비율이 커서 상대적으로 BOD와 COD, TOC의 비점부하가 높을 것으로 예상하였다. 그러나 금호C지점은 BOD, COD와 TOC부하에 대한 유량계수가 1 미만 값을 보여 유량이 증가할수록 농도는 감소하는 것으로 나타났다. 금호C지점은 점오염원의 영향을 크게 받는 지점으로 Park et al.(2011)은 점오염원의 영향을 크게 받는 하천은 유량증가에 따른 희석효과로 유량계수가 1 미만 값을 보인다고 연구 보고한바 있다. 일반적으로 도시지역은 불 투수 면적비율이 높아 강우에 대한 유출이 빠르게 나타나 빠른 속도로 유량이 증가하면서 강우초기에 고농도의 오염물질도 빠르게 유출되어 이후 지속적인 강우로 유량이 증가하더라도 농도는 감소한다. 이러한 결과는

저·갈수기시 고밀도의 점오염원에 의해 높은 농도를 보이다, 강우 시 비점오염원으로부터 추가 영향보다는 희석에 의한 효과가 현저하게 크기 때문인 것으로 해석 할 수 있다. Bang et al.(1997)은 불투수층 면적비율이 클수록 침투농도 발생이 침투유출유량 발생이전에 나타났고, Kim et al.(2011)은 강우 시 시·공간적 오염물질 유출 특성 분석 결과, 도심지역 하천의 경우 초기세척효과가 강하게 나타나 강우초기 단백질 및 휴믹계열의 고농도 오염물질이 빠르게 유출된 후 다시 유량증가에 따른 희석효과로 인해 오염물질 유출 농도가 급격하게 감소하는 유출특성을 나타내었다고 연구 보고하였다. 또한 Jang et al.(2005)은 합류식 하수관거에서 강우 시 비점오염원의 특성을 조사한 결과 BOD는 강우시보다 비강우시기에 높은 농도를 나타냄을 보고하였는데 이는 도심지역 하천에서 비점오염원 보다는 점오염원으로부터의 영향이 더 큼을 시사한다.

3.7. BOD/TOC ratio를 이용한 고찰

BOD/TOC ratio를 이용한 총유기물 중 생분해 가능한 유기물 비율로 오염특성을 해석하기위한 자료는 금호강 본류에서 2009년~2014년까지 금호강 본류 국기수 질측정망 과 총량측정망 등 8개 지점에서 관측된 TOC값을 이용하였으며, 각 지점과 월별로 산술평균한 값은 Fig. 7.과 같다.

BOD/TOC ratio는 총 유기물에 포함된 탄소농도 (mgC/L)에 대해서 생물학적으로 분해 가능한 유기물 (mgO₂/L)의 비를 의미하는 것으로, TOC는 총 유기물의 정확한 정량이 가능하기에 총 유기물 중 생분해성 유기물의 비를 더 정확히 나타내는 지표가 된다(Lyu and Lee, 2007). Kim et al.(2007)은 호수와 하천에서 유기물 분해율 산정 비교 연구에서 BOD-C/TOC ratio를 논술한바 있으며, Lyu and Lee(2007)는 미호천에서 BOD/TOC ratio를 이용하여 수중 난분해성 유기물 비율을 해

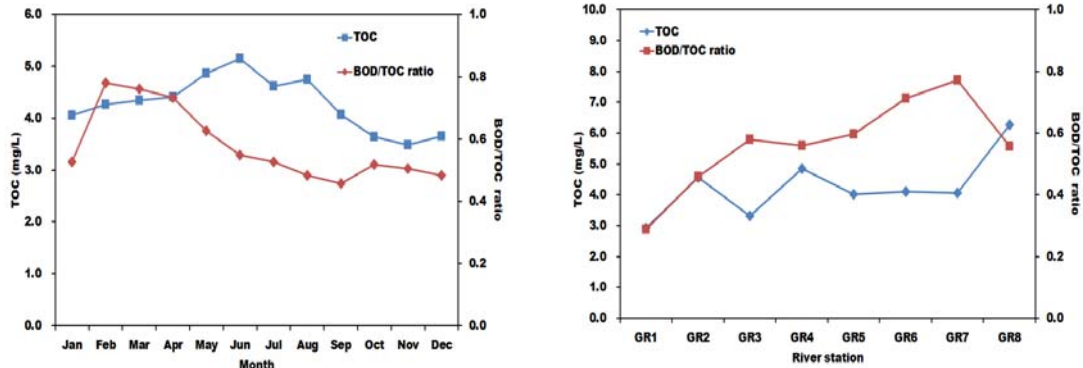


Fig. 7. 6 year mean of TOC concentration and BOD/TOC ratio with monitoring site.

석한 바 있다. 먼저 월별로 TOC농도는 저·갈수기인 1월~4월에 서서히 증가하다 5월부터 장마가 시작되는 6월에 최고농도로 나타났고, 강우량이 많은 7월과 8월에도 높게 나타났으며 이후 농도는 감소하였고, 반대로 BOD/TOC ratio는 5월부터 장마가 시작되는 6월에 급격히 감소하고 있으며 유량이 많아지는 7월~9월까지 감소하는 경향을 보였다. 이는 건기보다 우기에 난분해성 유기물이 증가함을 시사한다. 지점별로 TOC농도는 상류인 GR1에서 GR4를 지나면서 증가와 감소를 반복하는데 GR2지점의 경우 인근에 위치한 영천시와 금호읍의 영향으로 농도가 다소 상승할 수 있고, GR4지점의 경우는 경산시와 일부 대구시의 영향으로 판단되며, 이러한 양상으로 보았을 때 하천의 자체 정화는 기대하기 어려운 실정이기 때문에 적극적인 수질개선을 위한 노력이 요구된다. GR4지점 이후 감소하고 GR7까지 일정하게 유지되어 오다가 GR7에서 GR8에 이르는 동안 급격히 증가하는 양상을 보이고 있는 반면 BOD/TOC ratio는 GR7에서 GR8에 이르는 동안 급격히 감소하고 있다. 이는 GR7에서 GR8지점 사이에서 총유기물 중 생분해 가능한 유기물 보다 난분해성 유기물이 증가함을 의미하는 것으로, 앞서 논술한 바와 같이 GH7지점부터의 난분해성 유기물 증가는 달서천의 염색공단 폐수처리장 방류수의 영향일 가능성이 크다. Yang and Bae(2012)는 달서천의 높은 COD 농도는 향후 금호강 본류에 언제라도 악영향을 끼칠 수 있을 가능성이 있으며, 염색공단 폐수처리장에서 보다 적극적으로 COD 농도 저감에 노력해야 한다고 지적한 바 있다. 그리고 Lee et al.(2003), Lyu

and Lee(2007)의 연구에서도 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다.

4. 결론

본 연구는 금호강의 난분해성 유기물 관리를 위한 일환으로 금호강 본류의 BOD, COD, TOC 관측 자료를 기반으로 금호강 수계에서 유기물질 관리현황과 유기물의 증가추이를 분석하였으며, LOWESS 분석법을 적용하여 시·공간적 유기물 분포 현황을 알아보았다. 아울러 GIS를 통해 토지이용현황과 오염부하량을 산정하여 유출량과의 관계식에서 비점오염원으로부터 난분해성 유기물질의 영향을 파악하고자 하였으며, BOD/TOC ratio를 이용한 고찰 등 이상의 논의를 토대로 한 주요 결과는 다음과 같다.

1) 금호강에서 BOD는 수질환경기준 III(Fair)등급 이상의 아주 양호한 수질을 보이는 것으로 조사되었다. COD는 GR4지점과 GR8지점의 연평균농도가 높게 나타나 수질환경기준 IV(Poor) 등급인 것으로 나타났다. TOC는 또한 상류지점을 제외하고 GR4~GR8 지점들 모두가 수질환경기준 IV(Poor)등급에 해당하는 것으로 조사되었다. COD/BOD ratio를 산정한 결과 난분해성 유기물질 증가추이가 54.2%로 우위적 비율을 차지하는 것으로 분석되었으며, BOD와 COD의 수질측정값의 변화를 분류하여 변화추이를 분석한 결과에서도 COD는 50.0% 정도가 증가한 것으로 나타나 금호강에서 난분해성 유기물의 관리가 필요한 것으로 판단된다.

2) COD와 TOC의 시·공간적인 분포 경향은 장마가 시작되는 6월에 가장 높게 나타났고 장마 기간인 7월에도 농도가 높게 나타났다. 특히 TOC는 GH7지점을 지나면서 급격히 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 달서천의 염색공단 폐수처리장 방류수의 영향일 가능성이 크며, 처리장에서 COD 농도 저감을 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3) 유량계수를 통해 유출량에 의한 난분해성 오염부하량의 거동은 논(Agriculture), 밭(Grass)의 비율이 24.84%로 가장 높게 나타난 금호B지점이 COD와 TOC 유량계수가 모두 1 이상 값을 보여 유출량에 따른 난분해성 오염부하가 큰 것으로 나타났다. 금호B지점은 강우에 의한 유량증가 시 난분해성 비점유기물 부하가 증가하는 지역으로 농경지에 대한 중점적인 관리가 필요할 것이다. 금호C지점은 점오염원의 영향을 크게 받고 있는 지점인 반면 불 투수 면적비율이 높아 비점오염원과 점오염원의 관리가 함께 필요 할 것으로 판단이다.

4) 월별 TOC농도는 장마가 시작되는 6월에 최고농도로 나타났고, 강우량이 많은 7월과 8월에도 높게 나타났으며, 반대로 BOD/TOC ratio는 6월에 급격히 감소하고 유량이 많아지는 7월~9월까지 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 건기보다 우기에 난분해성 유기물이 증가함을 시사하는 것으로 이에 대한 관리 대책이 필요하다. 그리고 GR7지점에서 GR8지점에 이르는 동안 TOC농도는 급격히 증가하고 있으며, 반면 BOD/TOC ratio는 GR7지점에서 GR8지점에 이르는 동안 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 이 곳에 대한 세밀한 조사와 함께 중점적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

5) 이와 같은 결과를 토대로 금호강 수계에서 전반적으로 난분해성 유기물 저감을 위해서는 환경기초시설의 관리가 필수적이며, 특히 염색폐수는 성상이 매우 복잡하고 난분해성이므로 기존의 처리방법보다는 역삼투막과 나노분리막 같은 분리막공정(Separation membrane system)을 통한 처리로 염색폐수처리에 있어서 COD와 TOC 및 난분해성 색도 등을 줄이는 방법을 강구해야 할 것으로 판단된다. 또한 비점에서 난분해성 유기물 관리는 강우 시 비점오염물질 배출밀도가 높은 지역을 우선 선정하여 작은 유역(소유역)부터 저감시설을 설치하여 운영하고 그 결과를 토대로 저감시설의 용량확대나 저감

효율을 높이기 위한 방법(BMP : Best management practice)을 마련하는 식의 비점오염물저감을 위한 관리 전략이 필요할 것으로 판단된다. 한편 다양한 변수가 존재하는 자연수계에서 지표가 되는 항목들은 각각 다른 경향을 나타낼 수 있으므로 지속적인 수질 관측을 통한 자료축적이 선행되어야 할 것이다. 그리고 유기물 지표로서 BOD/TOC ratio를 이용하여 금호강에서 총유기물 중 생물학적으로 분해 가능한 유기물 비율과 함께 생물학적으로 분해가 불가능한 유기물 비율을 고찰한 점에서 본 연구는 의미가 있으며, 이 연구결과들은 향후 수계에서 효율적인 수질관리를 위한 좋은 정보를 제공해 줄 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의해서 연구되었습니다.

REFERENCE

- Aiken, G., 1993, Proceeding of the workshop on NOM in drinking water, Chamonix, 37, 19-22.
- An, K. G., Kwon, Y. S., 2006, Biological Stream Health and Physico-chemical Characteristics in the Keum -Ho River Watershed, Korea Journal of limnology, 39(2), 145-156.
- Barringer, T. H., Dunn, D., Battaglin, W. A., Vowinkel, E. F., 1990, Problem and methods involved in relating land use to ground-water quality, Water Res., 26, 1-9.
- Bang, K. W., Lee, J. H., Yu, M. J., 1997, A study on the runoff characteristics of nonpoint sources in small urban watersheds, J. Korean Soc. Water Environ., 13(1), 79-99.
- Cleveland, W. S., 1979, Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, Journal of American Statistician Association, 74, 829-836.
- Choi, B. D., 2004, The Function of urban river and sustainable regional development: The case of Kumho river, Journal of Korean association of regional geographers, 10(4), 757-774.
- Choi, J. Y., Lee, S. Y., Kim, L. H., 2009, Wash-off characteristics of NPS pollutants from forest landuse, J-KOSHAM, 9(4), 129-134.

- Cho, H. K., 2011, A study on the related characteristics of discharge-water quality in nakdong river, *J. Environ. Sci.*, 20(3), 373-384.
- Choi, H. G., Han, K. Y., Choi, S. Y., 2011, A stochastic analysis of the water quality with discharge variation in upper Nakdong river basin, *J. Environ. Impact Assess.*, 20(6), 833-843.
- Choi, D. H., Jung, J. W., Yoon, K. S., Lee, K. S., Choi, W. J., Lim, S. S., Park, H. N., Yim, B. J., Hwang, T. H., 2012, Estimation of TOC concentration using BOD, COD in runoff from paddy fields, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(6), 813-818.
- Daegu regional environmental agency, 2005, Living, breathing Geumho : water quality and ecological survey in 2005 Geumho tributary, Daegu regional environmental agency, Daegu, Korea.
- Han, D. H., Choi, J. Y., 2011, Selection of the Optimum Organic Matter Index for Surface Water Quality Management, *Korea Environment Institute*, 10(4), 61-80.
- Hwang, B. G., Jeong, H. J., 2002, The management planning of pollutant loading allocation in the Kumho river basin, *J. Environ. Sci.*, 11(10), 1125-1131.
- Hur, J., Lee, T. H., Park, M. H., Lee, B. M., Park, S. Y., Park, B. S., 2009, Influence of upstream point sources on refractory organic matters in the lake Paldang, *Korea Society of Water and Wastewater*, 217-218.
- Imai, A., Fukushima, T., Matsushige, K., Kim, Y. H., Choi, K., 2002, Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants. *Water Res.*, 36(4), 859-870.
- ILWQVNDDB(Ⅱ), Investigation on loading and water quality variation in Namhangang drainage basin(Ⅱ), 2006, Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gyeonggi-do, Korea.
- Jacoby, W. G., 2000, Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variable, *Electoral studies*, 19, 577-613.
- Jang, J. Y., Ryu, D. K., Bae, S. D., Park, J. H., Park, J. C., 2005, A study on runoff characteristics of nonpoint sources during rain event in urban area, *The Korea Society of Water and Wastewater*, 32-36.
- Jung, K. Y., Park, M. H., Hur, J., Lee, S. Y., Shin, J. K., 2009, Comparison of spectroscopic characteristics and chemical oxygen demand efficiencies for dissolved organic matters from diverse sources, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(4), 589-596.
- Jung, S. M., Eum, J. S., Jang, C. W., Choi, Y. S., Kim, B. C., 2012, Characteristics of nonpoint source pollution and relationship between land use and nutrient concentrations in the Han river watershed, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(2), 255-268.(b)
- Jung, K. Y., Im, T. H., Kim, G. H., Lee, I. J., Yoon, J. S., Heo, S. N., 2012, Development and application of coliform load duration curve for the Geumho river, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(6), 890-895.(a)
- Jung, J. W., Lim, B. J., Cho, S. H., Choi, J. H., Song, K. D., Ha, D. W., Kim, H. S., Park, S. H., Hwang, T. H., Jung, S. J., Lee, D. J., 2012, The influence of land use on water quality in the tributary of the Yeongsan river basin, *Korean J. Limnol.*, 45(4), 412-419.(c)
- Jung, J. W., Cho, S. H., Choi, J. H., Kim, K. S., Jung, S. J., Lim, B. J., 2013, Development and evaluation of simple regression model and multiple regression model for TOC contentation estimation in stream flow, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(5), 625-629.
- Kim, O. S., Kim, H. C., Kim, J. O., 2000, A study on the relation between pollutant loading and outflow in Chinyang reservoir, *Journal of Institute of Environmental Protection*, 8, 45-53.
- Kim, J. S., 2003, Study on biological treatment of xenobiotics and nitrate in dye wastewater, Master's Thesis, Kyonggi University, 1-74.
- Kim, B. C., Jung, S. M., Jang, C. W., Kim, J. K., 2007, Comparison of BOD, COD and TOC as the Indicator of Organic Matter Pollution in Streams and Reservoirs of Korea, *Korean. Soc. Environ. Eng.*, 29(6), 640-643.(a)
- Kim, J. C., Lee, J. H., Yoo, C. S., Kim, S. D., 2007, Impact of urbanization on hydrology of Geumho river watershed : a model study, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(4), 535-542.(b)
- Kim, S. W., 2007, NBD accumulation in source water : Its cause and characteristics, Doctorate Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University, 1-117.
- Kim, J. J., Kim, T. D., Choi, D. H., Lim, K. J., Bernard, Engel., Jeon J. H., 2009, L-THIA modification and SCE-UA application for spatial analysis of nonpoint

- source pollution at Gumho river basin, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(2), 311-322.
- Kim, S. W., Oh, J. M., Lee, B. M., Choi, K. S., 2011, Change in fluorescence characteristics of dissolved organic matter at inflow stream per catchment of different land use, *Korean J. Limnol.*, 44(3), 292-302.
- Kim, Y. H., Han, J. H., An, K. G., 2012, Physico-chemical Water Quality Gradients Along the Main Axis of the Headwater-to-Downstream of Geumho River and Their Influences on Fish Guilds, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(4), 561-573.
- Kim, H. S., Hong, J. J., Seong, J. U., Choi, K. S., Park, J. C., 2013, Comparison of Organic Matter Distribution in Major Tributaries of the Nakdong River, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(5), 618-624.(a)
- Kim, G. H., Jung, K. Y., Yoon, J. S., Cheon, S. U., 2013, Temporal and Spatial Analysis of Water Quality Data Observed in Lower Watershed of Nam River Dam, *J-KOSHAM*, 13(6), 429-437.(b)
- Kim, J. T., 2014, Lowess and Outlier Analysis of Biological Oxygen Demand on Nakdong main stream River, *JKDISS*, 25(1), 119-130.
- Lee, T. G., Park, T. G., 1996, Management and Seasonal Change of Water Environment of the Kumho River, *Journal of Nakdong Environmental Research Institute*, 1(1), 155-170.
- Lee, S. H., Kim, Y. H., Shin, D. R., 2003, Characteristics of dissolved organic matters in Nakdong river, *Korean Soc. Environ. Eng.*, 25(6), 701-708.
- Lalah, J. O., Wandiga, S. O., 2007, Copper binding by dissolved organic matter in freshwaters in Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 79, 633-638.
- Lyu, J. H., Lee, D. G., 2007, Inquiry of water environment in mihocheon (stream) -water quality monitoring focused on TOC-, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(5), 731-739.
- Lee, T. H., Lee, B. M., Hur, J., Jung, M. S., Kang, T. G., 2010, Conversion of CODMn into TOC and Refractory Organic Matter Concentrations for Treated Sewage using Regression Equations, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 27(6), 969-975.
- Lee, B. M., Lee, T. J., Hur, J., 2011, Development of Han-River Basin Using Organic Matter Parameters and Spectroscopic Characteristics, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 27(5), 625-633.
- Lee, S. H., Kim, B. R., Lee, H. W., 2014, A study on water quality after construction of the weirs in the middle area in nakdong river, *Korean. Soc. Environ. Eng.*, 36(4), 285-264.
- MOE. 2011, Ministry of Environment Standard, Methods for Water Quality.
- Namour, ph., Mouler, M. C., 1998, Fractionation of organic matter from wastewater treatment plant before and after a 21-dqy biodegradability test: A physical-chemical method for measurement of refractory part of effulents, *Wat. Res.*, 32(7), 2224-2231.
- Park, K. H., 2003, The impact of environmental characteristics in the Geumho river watershed on stream water quality, *Journal of the korea association of geographic information studies*, 6(4), 85-98.
- Park, J. H., Sohn, S. M., Rhew, D. H., 2011, A study on the discharged characteristic of the pollutabts using the empirical equation and factor analysis - case study of the upper and lower watershed of south Han river, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 27(6), 905-913.
- Park, J. H., 2012, Characteristics and fate of Rehractory Organic Matter in the Nakdong River, Master's Thesis, Department of Environmental Engineering, Graduate school, Pukyong National University, 4-80.
- Park, J. H., Park, B. K., Lee, J. K., Rhew, D. H., 2013, Necessity of Refractory Organic Matter Management in Total Maximum Daily Loads (TMDLs), *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(3), 393-399.
- Park, J. H., Moon, M. J., Kim, K. S., 2014, Analysis of relationship between water quality parameters with land use in Yeongsan river basin, *J. Environ Impact Assess.*, 23(1), 19-27.(a)
- Park, J. W., Moon, M. J., Han, S. W., Lee, H. J., Jung, S. J., Hwang, K. S., Kim, K. S., 2014, Application of regression analysis model to TOC concentration estimation -Osu stream watershed-, *J. Environ Impact Assess.*, 23(3), 187-196.(b)
- Shin, J. K., Cho, J. L., Hwang, S. J., Cho, K. J., 2000, Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan stream to Paltang reservoir, *Korean J. Limnol.*, 33(4), 387-394.
- Selcuk, H., Rizzo, L., Nikolaou, A. N., Meric, S., Belgiomo, V., Bekbolet, M., 2007, DBPs formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation.

- Desalination, 210(1-3), 31-43.
- Wanielista, M. P., 1978, Stormwater management quantity and quality, Ann Arbor Science, Mich, 187-220.
- Worrall, F., Burt, T. P., 2007, Trends in DOC concentration in great britain, *Journal of Hydrology*, 346, 81-92.
- Yang, D. S., Bae, H. K., 2012, The effect of branches on Kumho river's water quality, *J. Environ. Sci.*, 21(10), 1245-1253.