

유량변화와 지류유입에 따른 금강의 수질 변화

심무준[†] · 이수형

국립환경과학원 금강물환경연구소

Influence of River Discharge Fluctuation and Tributary Mixing on Water Quality of Geum River, Korea

Moo Joon Shim[†] · Soo Hyung Lee

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
(Received 14 January 2015, Revised 20 May 2015, Accepted 26 May 2015)

Abstract

To study the influence of changes in river discharge on water quality of the main stem of the Geum River, we investigated variation of inflow load from tributaries with river discharge. We also studied the mixing behavior of pollutants during mixing of waters of the main stem and Gap Stream. For this study, we collected water quality data such as suspended solids (SS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) representing pre-monsoon, monsoon, and post-monsoon events of 2013 from a website of Water Information System. Based on inflow load, the Gap and Miho streams may be ones of tributaries which may largely influence water quality of main stem in upper river region. The Suksung and Nonsan Streams seemed to further affect water quality downstream. Results of modified EMMA indicated SS and TP may have another source(besides Gap Stream) at pre-monsoon, monsoon, and post-monsoon period. In contrast, TN and organic matter (BOD, COD, TOC) were conservative at pre-monsoon and post-monsoon. However, when river discharge increased, these pollutants may also come from unspecified non-point sources. Therefore, we need to attempt to find non-point sources for the pollutants in the main channel of upper Geum River region.

Key words : Gap Stream, River discharge, Tributary mixing, Water quality

1. Introduction

하천 수질은 강수량 증가에 따른 유량 변화와 지류 혼합(tributary mixing) 그리고 두 변수의 동시작용에 의해 변화될 수 있다. 실제로 갑천에서 유량이 증가했을 때 희석효과로 인해 총인과 엽록소 a의 농도가 낮아졌음이 보고되었다(Choi et al., 2012). 또한 미호천과 유구천에서도 유량 증가로 총질소의 농도가 희석되거나 부유물 같이 강우에 의해 농지 및 토지로부터 토사 등이 유입되어 높아지는 경우도 보고되었다(Ahn and Shin, 2005; Kim et al., 2014). 토지이용도(land use)가 상이한 각각의 지류들은 하천의 수질이 다를 수 있다. 즉 도시를 관통하는 하천과 상대적으로 덜 개발된 지역을 관통하는 하천의 수질은 다르다(Bourgeios-Calvin, 2008). 이렇게 성격이 다른 지류들이 본류에 유입되어 혼합이 일어나면 본류의 수질이 변할 수 있다(Fortner, 2011; Shim, 2011).

전라북도 장수군에 위치한 신무산에서 발원하여 북류하면서 대청댐에 유입되는 금강은 대청댐 이하에서 많은 지류들이 합류한다. 즉, 대청댐 하류의 금강 본류는 갑천과 합류하게 되고 월산부근에서 백천과 미호천이 합류한다. 미호천과 합류 후 용수천, 대교천, 정안천, 유구천, 지천, 은산천, 금천, 석성천 및 논산천 등이 계속적으로 유입되며 결국 금강은 서해로 유입된다(Fig. 1). 갑천은 대청댐 하류 최대 인구밀집 지역인 대전을 관통하는 하천으로서 금강본류에 대하여 최대오염물질을 발생하는 하천이다(Yoo et al., 2007). 갑천 상류는 상대적으로 도시화가 약하게 진행되어 오염물의 농도가 낮지만 하류에는 대전광역시 하수종말처리장과 3·4공단폐수처리장 방류수가 유입되어 수층과 퇴적물에 중금속 및 유기물 오염이 관찰되었다(Kim and Lee, 1996; Yoo et al., 2007). 미호천 역시 중류구간에서 청주하수종말처리장 방류수가 유입되고 하류에서는 병천천과 조천의 영향으로 수질이 악화되어 금강 본류에 합류된다. 갑천과 미호천이 합류한 다음에 다른 토지이용도를 보이는 지류들이 합류한다. 예를 들면, 논산 지역에는 축산수육두수가 많고 평야지대이기 때문에 논산지역을 흐르는 논산천, 정안천과 석성천에는 유기물과 영양염의 농도가 높은 것으로 보고되었다(Lim et al., 2010; Park et al., 2011). 이런 하천들은

[†] To whom correspondence should be addressed.
moojoonshim@gmail.com

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.

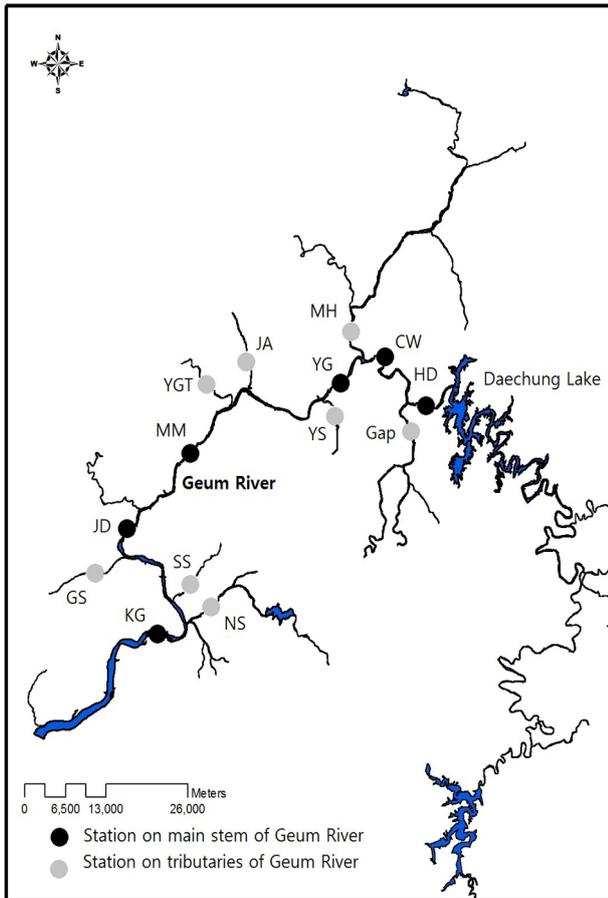


Fig. 1. Map showing main stem and tributaries of Geum River(HD: Hyundo, CW: Chungwon, YG: Yeongi, MM: Mokmyeon, JD: Jungdong, KG: Kanggyung, Gap: Gap Stream, MH: Miho Stream, YS: Youngsoo Stream, JA: Jungan Stream, YGT: Yoogoo Stream, GS: Geum Stream, SS: Suksung Stream, and NS: Nonsan Stream).

본류로 직접 유입되기 때문에 본류 수질에 영향을 미칠 수 있다.

따라서 금강 본류 수질을 이해하기 위해서는 유입되는 지류의 수질과 유량을 파악하고 그 영향을 조사하여야 한다. 이제까지 금강 지류의 수질에 대한 조사는 많이 진행되어 왔다(An and Shin, 2005; Choi et al., 2012; Lim et al., 2010; Park et al., 2011; Yoo et al., 2007). 그러나 지류의 유량변화가 금강 수질에 미칠 수 있는 영향과 지류가 유입된 다음 오염물질의 거동에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 지류의 유량변화에 따른 오염물질의 유입량과 지류혼합으로 인한 오염물질의 거동에 따른 비점오염원의 가능성을 조사함에 있다.

2. Materials and Methods

2.1. 수질 및 유량 자료

본 연구를 위해 선택된 본류와 지류의 지점은 대청댐에서 부터 104 km 떨어진 하류까지 환경부가 운영하는 수질측정

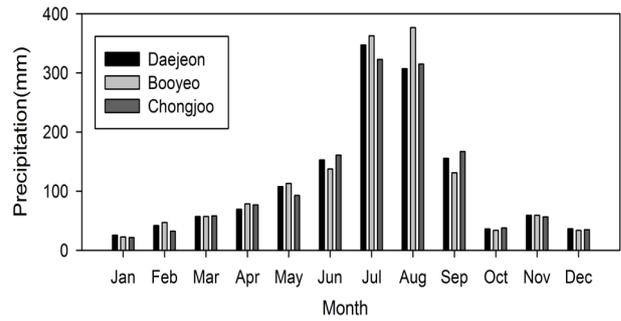


Fig. 2. Monthly precipitation in areas around Geum River watersheds.

망 운영지점에서 선택되었으며 본류와 지류에서의 채수 지점을 Fig. 1에 나타냈다. 선택된 지류는 갑천, 미호천, 용수천, 정안천, 유구천, 금천, 석성천 및 논산천이다. 강수량 증가에 따른 유량증가가 본류 수질에 끼치는 영향을 알아보기 위하여 금강유역에 존재하는 대전, 청주와 부여의 2013년도를 포함한 이전 5년간(2009~2013) 월 평균 강수량을 조사하였다. Fig. 2에 도시된 대로 7월과 8월 강수량이 현저하게 높았으며 7월 강수량은 세 지역에서 연간 강수량의 23~25%를 차지함으로써 제일 높은 비증을 보였다. 따라서 장마철을 대표할 수 있는 자료로 2013년도 7월이 선택되었다. 4월과 10월은 세 지역에서 각각 5~6%와 2~3%를 차지하였기 때문에 장마철과 뚜렷이 구별되어 장마철 전과 후를 대표하는 시기로 선정되었다. 선택된 시기의 월 평균 수질 전기전도도, 부유물질, biochemical oxygen demand(BOD), chemical oxygen demand(COD), 총유기탄소(total organic carbon, TOC), 총인(total phosphorus), 총질소(total nitrogen) 자료는 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)에서 인용하였다. 본류와 지류에서는 Valeport 001유속계와 Price 유속계를 이용해 도섭법으로 유량을 측정하였다.

2.2. 지류혼합 후 예상농도 계산

상류에서 오염물을 크게 유입하는 것으로 알려진 갑천이 본류와 혼합 후 오염물질의 농도변화를 end-member mixing analysis(EMMA)(Frank et al., 2000; Kronholm and Capel, 2014; Mulholland and Hill, 1997; Neill et al., 2011)에 이용되는 계산식을 변형해 예측하였다. 먼저 갑천이 유입되기 전 본류 지점은 현도이므로 현도와 갑천의 유량 비율을 보존성인 전기전도도를 이용해 아래와 같이 계산하였다.

$$Q_m + Q_G = 1 \tag{1}$$

$$EC_m Q_m + EC_G Q_G = EC_{CW} \tag{2}$$

Q_m : 합류지점에서 본류(현도)유량 비중(percentage)

Q_G : 합류지점에서 지류(갑천) 유량 비중(percentage)

EC_m : 본류(현도)의 전기전도도

EC_G : 지류(갑천)의 전기전도도

EC_{CW} : 합류지점(청원)에서의 전기전도도

(1)식을 Q_m 혹은 Q_G 에 대해 정리하여 (2)식에 대입하여 본류와 갑천에서 흘러오는 각각의 유량비를 계산하였다. 계산된 유량비를 (3)식에 대입하고 현도와 갑천에서 분석된 오염물의 농도를 아래식에 대입하여 합류지점(청원)에서의 오염물의 예상농도를 구하였다.

$$C_m Q_m + C_G Q_G = C_{CW} \quad (3)$$

C_m : 본류(현도)의 오염물 농도
 C_G : 지류(갑천)의 오염물 농도
 C_{CW} : 합류지점(청원)에서의 오염물 예상농도

예상농도와 실제 분석된 값을 비교하여 오염물의 지류혼합 거동(mixing behavior)을 조사하였다. 먼저 예상값과 관측값이 비슷하거나 같으면 보존성(conservative)으로 간주하였고 관측값이 현저히 높거나 낮으면 비보존성(non-conservative)로 간주하였다. 만일 관측값이 현저히 높으면 지류이외에 다른 형태의 source가 존재한다는 뜻이며 현저히 낮으면 흡착(adsorption)이나 생물에 의한 흡취(uptake)와 같은 생지화학적 반응에 의해 제거됨을 뜻한다(Shim, 2011).

관측값과 예상값의 차이는 실제로는 각 오염물 항목 당 2개 이상의 시료를 분석하여 상대표준편차를 구한 후 관측값과 비교하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 시료를 직접 채집한 것이 아니기 때문에 현실적으로 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 관측값과 예상값(관측값/예상값) 비가 0.7~1.3 내에 있으면 보존성으로 간주하였다. 즉 0.7미만으로는 제거된 것으로 간주하였으며 1.3 이상으로는 기타 오염원이나 지화학적 과정에 의해 추가(addition)되는 것으로 간주하였다.

갑천에서 들어오는 오염물들의 유입부하량과 본류(청원과 현도)의 부하량(flux)을 계산하였다. 부하량(kg/day)은 농도에 유량을 곱하여 줌으로 계산하였다. 즉 갑천에서 유입되는 부하량과 현도의 부하량의 합을 청원에서의 부하량과 비교하였다. 갑천+현도의 부하량과 청원의 부하량의 비를 계산하여 EMMA방식에서의 관측값/예상값 비를 비교하였다.

3. Results and Discussion

3.1 유입부하량에 따른 지류의 영향

본류와 선택된 지류의 4월, 7월 및 10월의 평균 유량을 Fig. 3에 나타냈다. 본류와 지류 모두 7월 장마철에 유량이 단연 높았다. 유량이 측정되어진 지류중에서 미호천 유량이 제일 높았으며 갑천과 논산천이 그 다음으로 높게 나타났다. 특히 미호천 유량은 연기에서 측정되어진 유량의 26~57%로서 대청댐 이하 금강에서는 미호천이 금강 유량의 큰 비중을 차지하고 있다. 평균 유량을 이용하여 각 지류에서 유입되는 월 평균 오염물(BOD, COD, TOC, SS, 총인, 총질소) 유입량을 계산하였다. 오염물 모두 상류에서는 미호천이 뚜렷이 높은 유입부하량을 보였고 다음으로는 갑천이었다(Fig. 4). 따라서 미호천과 갑천이 가장 크게 대청댐 이하 금강 상류 유기물과 영양염 농도에 영향을 미칠 것으로 판단된다(Fig. 4). 반면 하류에서는 논산천과 석성천이 높은 유입량을 보여 하류 오염물 함량에 상대적으로 크게 영향을 미칠 것으로 생각된다(Fig. 4). 그러나 나머지 지천들의 부하량은 상대적으로 작아서 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다(Fig. 4). 또한 대체적으로 거의 모든 지천에서 장마철 부하량이 장마철 전·후에 비해 높았기 때문에 여름철 강우로 인한 유량 증가는 금강 본류 수질에 영향을 크게 미칠 것으로 판단된다. 부유물의 경우에는 장마철에 미호천에서의 유입량이 월등히 높았다(Fig. 4). 따라서 금강 본류의 부유물질의 함량 변화는 미호천의 영향이 가장 클 것으로 판단되며 미호천의 부유물질 농도를 줄이는 노력이 필요할 것이다.

3.2 갑천 유입이 본류 수질에 미치는 영향

수리학적 지류의 영향을 조사하기 위하여 위에서 언급한대로 EMMA의 계산식을 변형하여 이용하였다. 식 (1)과 (2)에 의해 계산된 본류와 갑천의 유량 비율을 계산한 결과 갑천 유량의 비중은 장마철 전(17%), 장마철(25%), 장마철 후(43%)로 갈수록 높아졌다. 이 결과를 토대로 갑천이 금강

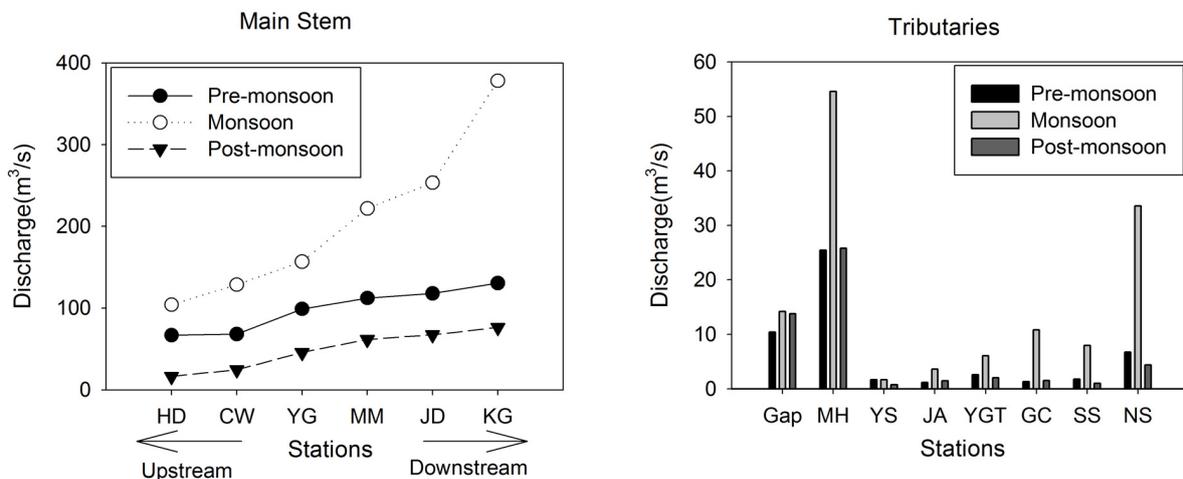


Fig. 3. River discharge in main stem of Geum River and its tributaries.

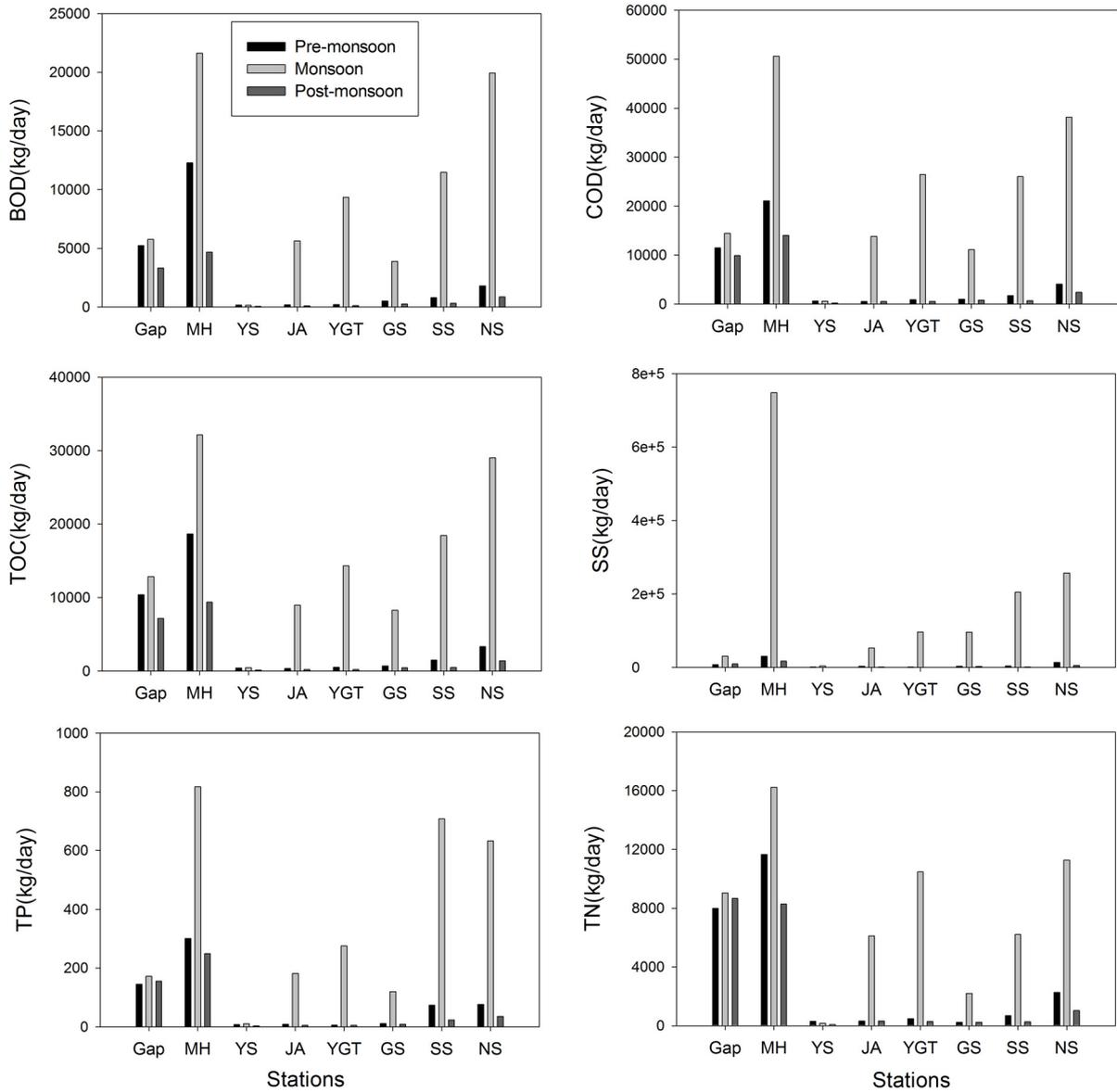


Fig. 4. Inflow load of pollutants from tributaries of Geum River.

분류 수질에 끼치는 영향과 지류혼합 뒤 오염물의 거동을 알아보기 위하여 혼합 후 예상농도를 계산하였고 그 결과를 Table 1에 나타냈다. 청원에서 관측된(observed) 값이 갑천 유입 전 지점(현도)보다 높으면 갑천이 현도와 청원사이 유일한 유입지류이기 때문에 갑천의 영향을 받는 것으로 간주할 수 있다.

앞서 언급하였듯이 부유물질, 총인, 총질소 및 유기물 모두 갑천이 유입된 다음 청원에서 급격히 농도가 증가하였다(Table 1). 그러나 지류혼합이 일어난 다음 혼합거동(mixing behavior)은 오염물별로 다르게 나타났다. 먼저 부유물질과 총인의 경우에는 모든 조사시기에서 청원에서 관측농도가 예상농도보다 높은 것으로 나타나 비보존성 경향을 나타냈다(Table 1). 특히 유량이 증가하는 장마철에 그 현상이 뚜렷이 나타났다. 예를 들어, 부유물질은 여름에 관측농도가 예상농도보다 각 2배 이상씩 높았다(Table 1). 즉 갑천이 유

입된 다음 희석에 의해서만 농도가 조절되는 것이 아니라 갑천 이외의 소스가 있다는 것을 의미한다. 다른 가능한 source로는 조사되어지지 않은 점·비점 오염원이 있을 수 있으며 지하수의 유입(hyporheic input)과 탈착(desorption)과 같은 과정도 가능한 기작들이다(Shim, 2011). 따라서 갑천이 유입된 직후부터 청원 지점까지 미지의 오염원에 관한 조사가 필요하다. 또한 실험실에서의 믹싱실험을 통하여 지화학적 과정으로 농도가 증가하는지에 대한 연구 역시 필요하다.

반면, 유기물과 총질소는 장마철 전·후에는 대체적으로 관측농도와 예상농도가 비슷하여 보존성 경향을 나타냈다(Table 1). 즉 현도에서 흘러오는 유기물과 질소는 농도가 높은 갑천을 만나 농도가 증가하였지만 갑천 이외의 숨겨진 source는 없는 것으로 간주되었다. 그러나 장마철에는 관측농도가 예상농도보다 뚜렷이 높아지는 경향을 보임

Table 1. Observed and predicted concentrations and load in the confluence of Gap Stream and main stem(CW) of Geum River(C_o and C_p represents observed and predicted concentrations, respectively)

Pre-monsoon	Modified EMMA(mg/L)				Load(kg/day)		
	HD	CW			CW	GAP+HD	CW/(GAP+HD)
		C_o	C_p	C_o/C_p			
TP	0.014	0.052	0.039	1.34	306	226	1.36
SS	2.80	4.70	3.76	1.25	27698	23881	1.16
TN	1.71	3.19	2.92	1.09	18793	17885	1.05
BOD	0.60	2.30	1.48	1.55	13554	8711	1.56
COD	2.90	5.50	4.56	1.21	32412	28253	1.15
TOC	2.50	4.30	4.02	1.07	25341	24855	1.02
Monsoon	Modified EMMA(mg/L)				Load(kg/day)		
	HD	CW			CW	GAP+HD	CW/(GAP+HD)
		C_o	C_p	C_o/C_p			
TP	0.01	0.047	0.02	2.19	522	305	1.71
SS	2.4	31.8	5.29	6.01	353495	75505	4.68
TN	1.56	2.48	1.98	1.25	27535	23847	1.15
BOD	0.6	2.30	1.16	1.99	25567	15989	1.60
COD	3.1	6.00	4.06	1.48	66697	49399	1.35
TOC	2.2	4.20	3.01	1.40	46688	37288	1.25
Post-monsoon	Modified EMMA(mg/L)				Load(kg/day)		
	HD	CW			CW	GAP+HD	CW/(GAP+HD)
		C_o	C_p	C_o/C_p			
TP	0.012	0.100	0.063	1.59	214	172	1.24
SS	2.90	7.60	5.18	1.47	16226	13908	1.17
TN	1.35	3.84	3.89	0.99	8205	10585	0.78
BOD	0.90	1.60	1.72	0.93	3416	4621	0.74
COD	3.60	6.30	5.62	1.12	13451	15025	0.90
TOC	2.20	4.10	3.83	1.07	8754	10288	0.85

로서 유기물과 총질소 역시 장마철에는 갑천 이외에 비점 오염원의 소스를 가지는 것으로 판단된다. 장마철에 관측농도가 예상농도보다 뚜렷이 높은 현상이 관찰되었기 때문에 지화학적 과정보다는 비점오염원에 대한 영향이 더 클 것으로 판단된다.

하류에서 주 지류인 논산천과 석성천이 유입된 다음 예상농도를 계산하기 위하여 갑천에서 적용된 방식을 이용하려고 하였으나 유량 비율이 1보다 크거나 음의 값이 나옴으로서 예상농도를 산정할 수 없었다. 본류와 지류가 섞일 때 각각의 유량 비중을 계산하기 위해 이용되는 보존성 원소로는 전기전도도 이외에도 Na, Ca, K, Mg, Cl, SO₄ 등이 있다(Frank et al., 2000; Kronholm and Capel, 2014; Mulholland and Hill, 1997; Neill et al., 2011; Shim, 2011). 따라서 금강에서도 전기전도도가 적용되지 않는 지류들을 위해 Na, Ca, K, Mg, Cl, SO₄ 등을 분석하여 예상농도를 계산할 필요가 있다.

갑천+현도의 부하량과 청원에서의 부하량을 비교한 결과 역시 EMMA 방식과 유사하게 나타났다(Table 1). 즉 관측농도와 예상농도의 비(C_o/C_p)와 현도에서의 부하량/갑천+

현도 부하량의 비가 유사하였다. 갑천과 현도에서 흘러오는 총인의 부하량을 합친 것보다 훨씬 많은 부하량이 청원에서 측정되었다. 이는 갑천이 합류하는 지점과 청원 사이에 알려지지 않은 소스가 있다는 것을 의미한다. 유기물과 총질소는 장마철 전·후에는 갑천+현도의 부하량과 청원에서의 부하량이 유사함에 따라 갑천이 유입된 후 미지의 source는 없는 것으로 간주되었다. 그렇지만 장마철에는 청원에서의 부하량이 높은 것으로 나타나 조사되지 않는 비점오염원이 있을 것으로 나타났다. 이와 같이 두 가지 방식이 유사한 결과를 보여줌에 따라 유량 측정을 하지 않아도 EMMA방식을 이용해 오염물들의 농도를 예상하여 미지의 오염원의 가능성을 추정할 수 있었다.

4. Conclusion

유량변화에 따른 지류의 영향을 알아보기 위하여 장마철과 장마철 전·후 지류에서 유입되는 부하량을 계산하였다. 또한 갑천이 유입된 다음 오염물들의 거동을 예측하였다. 유입부하량으로 고려했을 때 부유물, 유기물, 총질소와 총

인 모두 금강 상류에서는 갑천과 미호천의 영향이 가장 클 것으로 판단된다. 반면 하류에서는 주로 논산 지역에 위치한 석성천과 논산천이 오염물 농도에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 갑천이 유입된 이후 총질소와 유기물은 장마철 전과 후에는 대체적으로 보존성 거동을 보임으로 갑천의 영향에 의해서만 농도가 결정되는 것으로 사료된다. 그러나 장마철에는 갑천 이외에도 다른 비점오염원이 존재할 것으로 판단된다. 반면 부유물질과 총인은 장마철과 장마철 전·후에도 갑천 이외에 농도 증가의 원인이 되는 다른 오염원이 있을 것으로 나타났다. 특히 유량이 증가하는 장마철에 비점오염원 유입이 가장 증대하는 것으로 나타났다. 따라서 대청댐 이하 상류에서 오염물들에 대한 비점오염원에 대한 조사를 시행해야 할 것이다. 본 연구에서 적용된 EMMA의 변형된 계산식은 계절에 따른 지류혼합 뒤 오염물들의 거동을 이해하는데 도움이 되었으며 유량에 따라 비점오염원의 존재 가능성을 추정하는 데 유용하였다.

Acknowledgement

유량 데이터를 제공해주신 국립환경과학원 금강물환경연구소 유량수질측정망팀 연구원들에게 깊은 감사를 드립니다.

References

- An, K. G. and Shin, I. C. (2005). Influence of the Asian Monsoon on Seasonal Fluctuations of Water Quality in a Mountainous Stream, *Korean Journal of Limnology*, 38(1), pp. 54-62. [Korean Literature]
- Bourgeois-Calvin, A. (2008). *Relationship Between Land Use and Surface Water Quality in a Rapidly Developing Watershed in Southeast Louisiana*, PD dissertation, University of New Orleans, New Orleans, USA.
- Choi, H. G., Shin, C., Lee, E. J., and Kang, M. R. (2012). Analysis of Water Quality Improvement by Agricultural Reservoir Operation in Gapcheon Watershed, *Proceedings of the 2012 spring co-conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 748-749. [Korean Literature]
- Fortner, S. K., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J., Trierweiler, A., Baraer, M., Burns, P., and Munk, L. (2011). Elevated Stream Trace and Minor Element Concentrations in the Foreland of Receding Tropical Glaciers, *Applied Geochemistry*, 26, pp. 1792-1801.
- Frank, H., Patrick, S., Peter, W., and Hannes, F. (2000). Export Dissolved Organic Carbon and Nitrogen from Gleysol Dominated Catchments-the Significance of Water Flow Paths, *Biogeochemistry*, 50, pp. 137-161.
- Kim, J. I., Choi, J. W., and An, K. G. (2014). Spatial and Temporal Variations of Water Quality in an Urban Miho Stream and Some Influences of the Tributaries on the Water Quality, *Journal of Environmental Science International*, 23, pp. 433-445. [Korean Literature]
- Kim, K. Y. and Lee, H. K. (1996). Heavy Metal Contamination of Stream Water and Sediment in the Taejon Area, *Journal of Korean Society of Mineral and Energy Resource Engineers*, 33, pp. 266-273.
- Kronholm, S. C., and Capel, P. D. (2014). A Comparison of High-Resolution Specific Conductance-Based End-Member Mixing Analysis and a Graphical Method for Baseflow Separation of Four Streams in Hydrologically Challenging Agricultural Watersheds, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10378.
- Lim, B., Cho, B., Kim, Y., and Kim, D. (2010). Application of Priority Order Selection Technique for Water Quality Improvement in Stream Watershed by Relationship of Flow and Water Quality, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(8), pp. 802-808.
- Mulholland, P. J. and Hill, W. R. (1997). Seasonal Patterns in Streamwater Nutrient and Dissolved Organic Carbon Concentrations: Separating Catchment Flow Path and In-Stream Effects, *Water Resources Research*, 33, pp. 1297-1306.
- Neill, C., Chaves, J. E., Biggs, T., Deegan, L. A., Elsenbeer, H., Figueiredo, R. O., Germer, S., Johnson, M. S., Lehmann, J., Markewitz, D., and Piccolo, M. C. (2011). Runoff Sources and Land Cover Change in the Amazon: an End-Member Mixing Analysis from Small Watersheds, *Biogeochemistry*, 105, pp. 7-18.
- Park, S., Moon, E., Choi, J., Cho, B., Kim, H., Jeong, W., Yi, S., and Kim, Y. (2011). Analysis of Distribution Characteristics of Fow rate and Water Quality in Tributary at Chungcheongnam-do, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 33(10), pp. 739-747. [Korean Literature]
- Shim, M. J. (2011). *Dissolved and Colloidal Elements Transport through Coastal Transition Zone*, PhD dissertation, University of Southern Mississippi, Hattiesburg, USA, pp. 80-125.
- Yoo, Y. B., Ji, J. Y., Kim, K. H., Lee, J. A., Lee, H., Lee, G. C., and Bang, S. U. (2007). A Study on the Water Quality Dynamics in the Main Branch Streams of Geum River, *Proceedings of the 2007 spring co-conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 996-997. [Korean Literature]