

ORIGINAL ARTICLE

4대강 사업과 금호강의 수질이 낙동강 본류에 미치는 영향에 대한 연구 - 강정고령보 공사현장을 중심으로

황삼진¹⁾ · 배현균^{1)*} · 김학윤¹⁾

(주)현대하드웨어, ¹⁾계명대학교 환경대학 지구환경학과

The Effect of for Major River Project and Kumho River on Nakdong River's Water Quality – Focused on Kangjung-Koryung Weir

Sam-Jin Hwang, Hun-Kyun Bae^{1)*}, Hak-Yoon Kim¹⁾

Hyundae Hardware Co., LTD., Daegu, 706-050, Korea

¹⁾Department of Global Environment, School of Environment, Keimyung University, Deagu, 704-701, Korea

Abstract

In this study, the effects of four major river project and Kumho River, second biggest branch of Nakdong River, were investigated to provide basic data for proper management of Nakdong River's water quality. Daily sampling processes at three different points, Munsanri (the upper side of Kangjung-Koryung weir), Kangchang (the outlet of the Kumho River) and Samunjin (the lower side of Kangjung-Koryung weir and junction of Kumho River and Nakdong River), were conducted from May 1st 2011 to Sep. 4th 2011. Water samples were analyzed for nine factors, DO, BOD, COD, T-N, T-P, pH, turbidity, SS, and coliform. As demonstrated by the results, concentrations of BOD, T-N, T-P and coliform at Nakdong River were affected by water quality of Kumho River while SS and turbidity were affected by constructions for Kangjung-Koryung weir. Further studies, for example, affects of wastewater treatment facilities, should be followed.

Key words : Nakdong river, Kumho river, Four major river project, Water quality

1. 서론

낙동강은 강원도 태백에서 발원하여 남해에 이르기까지 총 길이가 525 km로서 우리나라 전 국토의 24.1%를 차지할 정도로 넓은 유역면적(23,859 km²)을 가져 국내의 하천 중 규모면이나 인접한 유역에 대한 영향 등을 고려할 때 한강과 더불어 최대의 수자원이자 자연생태, 친수생활공간 및 문화유적을 포함하고 있는 하천이다(Kim, 2009). 이러한 낙동강의 수질 관리는 매우 중요한 문제가 아닐 수 없으며 이를 위해

다양한 방안이 모색되어야 함은 주지의 사실이다.

최근 정부는 급격한 기후변화에 대처하고 저탄소 녹색성장을 추진하기 위한 일환으로 낙동강을 비롯한 한강, 금강, 영산강에 대한 수자원확보, 수해예방, 수질개선, 생태복원 및 친수공간 조성을 목표로 '4대강 살리기 사업'을 수행하였다. 현재 낙동강에는 8개의 수중보가 조성되었고 이는 나머지 3개의 하천에 설치된 수중보의 총수를 합한 것과 같아 4대강 사업의 성공여부는 향후 낙동강의 수자원확보 및 수질개선 기 대효과를 얼마나 충족시키느냐에 따라 판가름 날 것

Received 4 August, 2012; Revised 7 February, 2012;

Accepted 19 March, 2013

*Corresponding author : Hun-Kyun Bae, Department of Global Environment, Keimyung University, Deagu, 704-701, Korea

Phone: +82-53-580-5939

E-mail: hunkyunbae@kmu.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.

으로 본다. 건설된 보를 통한 수자원확보와 수질개선은 결국 관리의 문제로 귀결될 것이다. 수계의 관리를 위해서는 수계의 오염원을 찾아 수질오염을 사전에 예방하고 지속적인 모니터링을 통해 수질의 변화를 관찰하는 한편 수질오염사고가 발생했을 때 즉각적으로 대처할 수 있는 시스템을 구축해야 할 것이다(Auer and Niehaus, 1993; Bae, 2007).

낙동강의 오염원으로는 여러 가지가 있겠지만 우선적으로 낙동강 본류로 유입되는 지천들의 수질상태를 고려할 수 있다. 지천들의 수질오염도가 높으면 지천들과 낙동강의 합류 후 낙동강 본류의 수질변화에도 많은 영향을 주어 수질을 저하시킨다. 특히 갈수기에는 낙동강 수계의 유하량 부족과 더불어 하구둑으로 인한 강의 흐름이 거의 정체되어 오염물질이 강의 저부에 퇴적됨으로서 오염저니층이 형성되고, 수역의 영양단계가 점점 증가하는 부영양화 현상이 발생되고 있다(Kang, 1995; Kang 등, 1996; Lee 등, 2005; Jung, 1994). 이러한 지천의 수질악화는 낙동강 본류의 수질저하에 직접적으로 영향을 미치고 있어 향후 낙동강의 적절한 수질관리를 위해서는 지천의 관리가 우선적으로 이루어져야 할 것이다(Kim, 2008; Beak, 2003). 또한 비록 수중보를 건설한 4대강 사업은 현시점에서 완공이 되었으나 하천에서 이러한 대규모의 준설작업이나 토목공사가 하천의 수질에 영향을 미칠 것은 추가적인 분석 없이도 누구나 예상할 수 있는 사안이다. 그러나 이러한 공사가 구체적으로 수질에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 조사는 현재까지 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 본류로 유입되는 주요지천 중 상대적으로 오염도가 높아 낙동강 오염의 주범으로 거론되는 금호강과 금호강과 낙동강의 합류점에 인접하여 공사가 진행된 강정고령보를 대상으로 지류와 하천의 준설 및 토목공사가 낙동강 본류의 수질에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역

연구대상지역은 4대강 사업 23공구인 낙동강 강정고령보를 중심으로 설정되었다. 즉, 강정고령보를 중

심으로 상류 지역인 문산리 지점, 강정고령보 아래에서 낙동강에 합류되는 금호강의 최하단부인 강창교지점 및 금호강 합류 직후 지점인 사문진교 지점에서 시료채취를 실시하였다. Fig. 1은 연구대상지역과 이들 지점을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 문산리 지점은 수중보 공사지점 및 금호강 합류 이전의 상류 지역이며 사문진교 지점은 수계가 이들 지점을 모두 통과한 하류 지점이다. 초기 연구계획에서는 강정고령보 건설의 영향을 보다 자세히 조사하기 위해 강정고령보 이후와 금호강 합류이전 지역에서 시료채취를 시도하였으나 공사 당시 이 지역에 대한 접근이 불가능하여 시료채취를 할 수 없었다.



Fig. 1. The Study Area.

2.2. 수질모니터링 방법

본 연구에서는 각 지점의 수질 비교를 위해 9개 수질항목인 DO (dissolved oxygen), BOD (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), T-N (total nitrogen), T-P (total phosphorus), SS

(suspended solid), 탁도 (turbidity), pH, 대장균군 (*E-coli*)에 대해 시료를 채취하여 분석하였다. 분석항목 중 DO, BOD, SS는 수질오염공정시험법에 준하여 분석이 수행되었으며 COD, T-N, T-P는 EPA에서 공인한 간이측정법에 준하여 분석을 하였다. pH는 pH meter (SAGA potable pH meter, PH-201), 탁도는 탁도계(HACH 2100P Turbidimeter)를 이용하여 측정하였으며 대장균군은 Nissui에서 제작한 Compact dry CF를 이용한 평판집락법으로 분석을 수행하였다. 시료채취 및 분석 기간은 2011년 5월 1일부터 2011년 9월 4일까지 진행이 되었고 이 기간 동안 강정고령보의 공사는 지속적으로 진행되고 있었다. 시료채취는 매일 실시하였고 시료채취시간은 지점에 따라 차이가 있지만 전체적으로 오전 7시에서 오전 8시 사이에 진행이 되었으며 C지점(사문진교), B지점(강창교), A지점(문산리)의 순서대로 시료채취가 이루어 졌다. 시료는 채취 즉시 계명대학교 환경대학으로 이송되었고 이송에 소요된 시간은 최종 시료채취 지점인 문산리 지점에서 시료를 채취한 후 30분 이내에 이루어 졌다. 수질분석이 수행된 대부분의 기간 동안 실험실에 도착한 시료는 도착 즉시 분석되었으며 즉시 분석이 불가능한 경우에는 4°C 저온 냉장 후 5시간 이내에 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 4대강 사업 23공구인 강정고령보를 중심으로 상·하류 지역 및 낙동강의 주요지류 중 하나인 금호강의 최말단부에서 매일 샘플링을 실시하여 수질분석을 하였고 그 결과를 아래에 나타내었다.

Fig. 2는 매일 샘플링을 통해 수질을 분석한 결과 중 pH의 변화량을 나타내고 있다. pH는 수중의 산 또는 알칼리 상태를 가늠할 수 있는 지표로서 수소이온 농도를 나타내는 수치로 수질관리에 있어 매우 중요한 인자 중 하나로 인식되고 있다(Kim과 Ryu, 1998). 문산리 지점의 pH는 전체적으로 7.0~9.5 사이에 위치하고 있고 5월 중순에서 6월 중순사이의 변화량은 크지 않으나 그 이외의 시기에서는 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 금호강의 최말단부인 강창교 지점의 pH 변화폭은 문산리 지점과 비슷한 수준의 pH

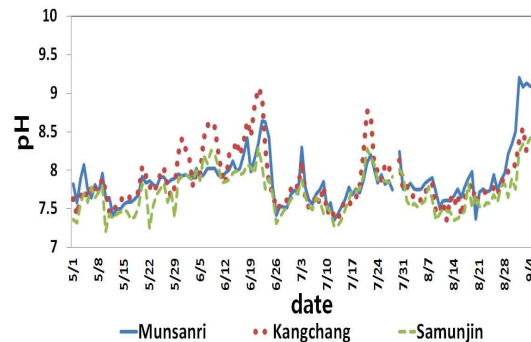


Fig. 2. pH changes for all sampling site.

변화를 보이고 있으며 분석이 수행된 기간 동안 일정한 패턴을 보이지 않고 지속적으로 수치가 변화하였다. 본 연구의 최하단지점인 사문진교의 pH 변화를 보면 pH 7.0~8.5 사이에서 지속적으로 변화하고 있었다. 상하류 또는 지류와 본류 사이의 상관성에 있어 pH의 경우 상류인 문산리 지점과 하류인 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.75$ 를 보였으나 지류인 금호강 하단부 강창교 지점과 지류가 본류에 합류된 이후 지점인 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.85$ 를 보여 사문진교 지점의 pH는 상류보다는 지류인 금호강에 더 많은 영향을 받는 것으로 사료된다. 또한 분석이 수행된 세 지점 모두 pH의 변화에 있어 일정한 패턴을 찾기는 어려웠으나 전체적으로 약 알칼리성을 띠고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 분석이 수행된 기간이 늦봄 또는 초여름의 단계에서 시작되어 늦여름까지 진행된 점을 고려하면 온도의 상승과 함께 조류의 증식이 가속된 영향으로 사료되나 이 부분은 본 연구의 범위를 벗어나 정확하게 규명할 수 없고 향후 이에 대한 추가적인 조사가 필요할 것이다.

Fig. 3은 각 지점의 DO 변화를 나타내고 있다. 문산리 지점의 DO의 경우 5.5~11.5 mg/L 사이에서 지속적으로 변화하고 있다. 특히 5월 12일과 7월 4일의 경우 DO 농도가 급격하게 하강 또는 상승하는 것을 관찰할 수 있었다. 강창교 지점의 경우 DO 농도변화의 폭은 문산리와 비슷한 수준으로 5.5~11.0 mg/L의 농도를 보이고 있으나 7월 중순 이후에는 7~9 mg/L 사이에서 비교적 변화의 폭이 적었다. 사문진교의 DO도 11 mg/L 이상의 고농도를 보이는 등 DO의 변화량

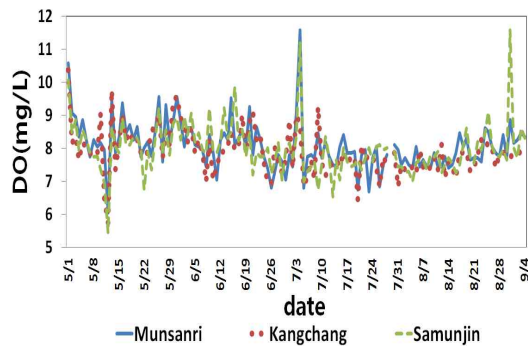


Fig. 3. DO changes for all sampling site.

이나 폭이 매우 유사함을 알 수 있었다. 따라서 DO 농도의 경우 낙동강의 두 지점 사이 다소 다른 패턴의 농도변화를 가지는 금호강이 합류되지만 상·하류의 DO 농도 수준이나 패턴에 큰 변화가 없어 금호강의 DO 농도 변화는 낙동강 본류에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었고 실제 상관성분석 결과 문산리와 사문진교 사이 $R^2 = 0.70$ 으로 강창교와 사문진교 사이 $R^2 = 0.51$ 보다 훨씬 높았다.

Fig. 4는 시료채취 지점의 BOD 변화를 나타내고 있다. BOD는 수중의 유기물량을 나타내는 지표로서 수중의 미생물이 유기물을 분해하고 안정화시키는 데 소모되는 산소량을 나타내는 것으로 수질의 상태를 나타내는 가장 대표적인 인자이다. 문산리 지점에서 BOD 농도의 경우 변화폭이 0~5 mg/L로서 매우 컸다. 특히 7월 초 데이터의 경우 변화폭이 상당히 큰 편으로 나타났다. 강창교 지점에서의 BOD 농도는 일변화가 극단적임을 알 수 있다. 사문진교 지점의 BOD 변화량은 강창교 지점과 마찬가지로 일변화의 폭이 매우 크게 나타났으며 강정고령보 상류지점인 문산리의 변화폭에 비해 금호강이 합류된 이후인 강정고령보 하류지점인 사문진교의 변화폭이 훨씬 크게 나타났고 일변화의 폭 역시 훨씬 크게 나타나 상관성분석 결과 문산리와 사문진교 사이 $R^2 = 0.60$, 강창교와 사문진교 사이 $R^2 = 0.63$ 으로 큰 차이를 보이진 않았으나 사문진교 지점의 BOD는 DO 농도변화와는 달리 낙동강의 상류보다는 금호강의 영향을 받는 것으로 사료된다.

Fig. 5의 그래프는 각 시료채취지점의 COD 농도의

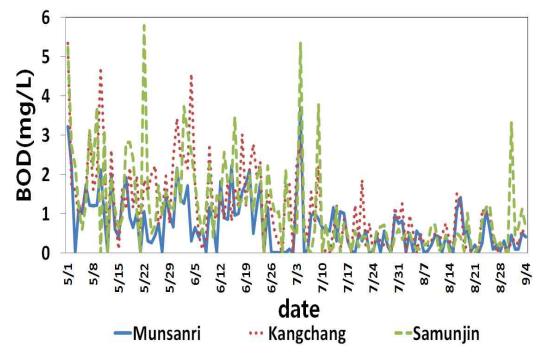


Fig. 4. BOD changes for all sampling site.

변화량을 보여주고 있다. COD는 화학적 산소요구량으로서 BOD와 더불어 수질을 나타내는 대표적인 인자이다. 현행 모니터링 시스템은 COD 망간법을 이용하여 수질을 관리하고 있으나 본 연구에서는 산화력이 더욱 큰 COD 크롬법을 사용함으로써 수중의 유기물량에 대한 보다 정확한 분석을 시도하였다. 일반적으로 COD_{Cr} 은 COD_{Mn} 보다 3배 이상 높은 농도를 보여주는데 본 연구의 결과 역시 월평균 COD_{Mn} 농도와 비교했을 때 3배 혹은 그 이상의 차이가 남을 알 수 있었다(Yun과 Kang, 2004). 문산리 지점의 COD 농도변화를 보면 5월 27일부터 5월 31일 사이와 6월 9일에서 6월 12일 사이 극단적인 변화가 보이는 것을 알 수 있다. 강창교 지점의 COD 변화 역시 5월 29일에서 6월 1일 사이 극단적 변화가 나타났으나 이 기간 사문진교 지점에서는 COD의 농도변화가 크게 나타나지 않았다. 사문진교 지점의 COD 일변화에 따른 농도 증감은 전체적으로 다른 두 지점과 비슷한 패턴을 보이고 있으나 5월 초와 6월 중순에 있어 다른 두 지점과 많은 차이를 보이고 있고 상관성 분석 결과 역시 문산리와 사문진교 사이 $R^2 = 0.30$ 및 강창교와 사문진교 사이 $R^2 = 0.42$ 를 보여 상관성이 매우 낮은 것으로 나타나 COD의 경우 보공사나 금호강의 영향보다는 다른 인자에 의해 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 금호강 합류 이후 사문진교 지점 사이 서서공단의 폐수와 서대구 지역의 하수를 처리하는 서부하폐수처리장의 방류수가 배출되는 진천천이 낙동강으로 합류하고 있고 사문진교 지점의 COD는 이 영향을 받고 있을 것으로 사료되나 이에 대한 검증은 이루어지지 않아 향

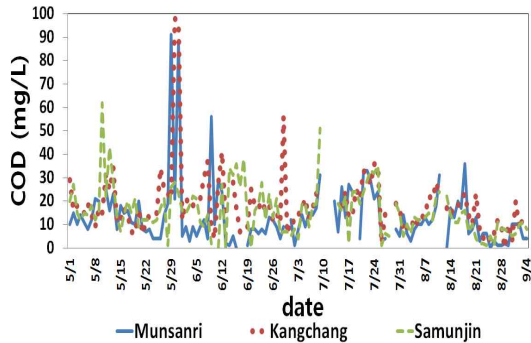


Fig. 5. COD changes for all sampling site.

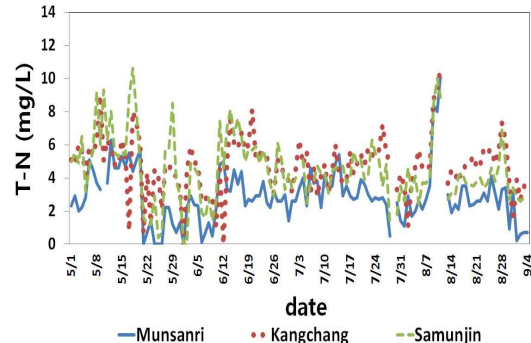


Fig. 6. T-N changes for all sampling site.

후 이 부분에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 6은 각 시료채취지점의 T-N 변화량을 나타낸 그림이다. 질소는 미생물과 식물의 성장에 필수적이며 영양물질 또는 생물촉진제로 알려져 있다. 질소는 단백질 합성의 필수원소이므로 하수의 생물학적 처리 가능성을 평가하고자 할 때 중요한 자료로 이용된다 (Park 등, 2006). 또한 T-N의 경우 향후 총량규제에 직접적으로 제한을 받을 항목이므로 이 인자에 대한 모니터링은 총량규제가 실시된 이후에는 더욱 강화되어야 할 것이다. 문산리 지점의 T-N 변화량을 보면 8월 9일에서 8월 11일 사이를 제외한 전체 기간 동안 0.0 ~ 7.0 mg/L 사이의 농도를 보였다. 강창교 지점에서 T-N은 문산리 지점의 T-N에 비해 일변화가 훨씬 더 컸으며 T-N의 농도 역시 낙동강과 금호강의 합류 지점 상부에 위치한 문산리 지점보다 더 높았다. 사문진교 지점의 T-N 변화량을 살펴보면 금호강과 같이 일변화가 심했으며 농도 역시 금호강 합류 이전 지점인 문산리 지점에 비해 전체적으로 높은 것을 알 수 있다. 비록 상관성 분석 결과 문산리와 사문진교 사이 $R^2 = 0.68$ 및 강창교와 사문진교 사이 $R^2 = 0.62$ 를 보여 수치적으로는 큰 차이가 없는 것으로 사료되나 강창교 지점과 사문진교 지점의 T-N 농도가 비슷한 수준을 보이고 있으며 증감패턴이 두 지점간 매우 유사하여 금호강의 T-N 농도가 낙동강의 T-N 농도에 많은 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 그리고 세 지점 모두 8월 9일에서 8월 11일 사이 T-N 농도가 높게 나타나는데 이는 강우의 영향으로 판단되나 6월말과 7월

초에 있었던 강우에는 이러한 반응을 보이지 않아 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 7은 각 시료채취지점의 T-P 변화량을 보여주는 그래프들이다. 인은 주로 인산염의 형태로 물에 녹아 있기 때문에 강, 호수, 바다와 같은 수계에는 상당량의 인이 존재한다. 너무 많은 양의 인이 녹아 있으면 조류나 기타식물의 성장을 촉진시켜 부영양화를 일으키며 생물들이 필요한 산소량을 감소시킴으로써 수중 생태계를 위협하는 요인이 된다 (Park 등, 2006). T-P 역시 총량규제에 직접적으로 규제를 받는 항목으로 이에 대한 관리의 매우 중요한 사안이라는 점은 주지의 사실이다. 문산리 지점의 경우 5월 12일, 5월 28일, 6월 25일~6월 27일 사이, 7월 11일 및 9월 1일에 T-P 농도가 매우 높았다. 나머지 기간의 T-P 농도는 1 mg/L 이하를 유지하였다. 강창교의 경우 고농도의 T-P는 5월 11일~12일 및 7월 10일, 3일 정도이나 전체적으로 1 mg/L가 넘는 날이 상당히 많아 금호강의 오염도를 잘 알 수 있었다. 사문진교 지점의 T-P 농도 변화를 보면 강창교 지점과 마찬가지로 T-P의 농도가 1 mg/L가 넘는 날이 상당히 많았을 뿐만 아니라 문산리 지점처럼 3 mg/L 이상의 고농도를 나타낸 날도 상대적으로 많아 인에 의한 오염수준이 상당히 높게 나타났다. 상관성 분석 결과 문산리 지점과 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.51$ 및 강창교 지점과 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.44$ 로 두 경우 모두 다소 낮은 상관관계를 보이고 있어 사문진교 지점의 T-P의 경우에도 COD와 마찬가지로 서부하폐수처리장의 방류수가 배출되는 진천천의 합류에 의한 영향으로 보이니 이 역시 본

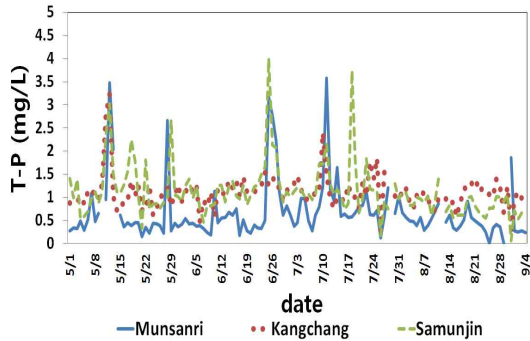


Fig. 7. T-P changes for all sampling site.

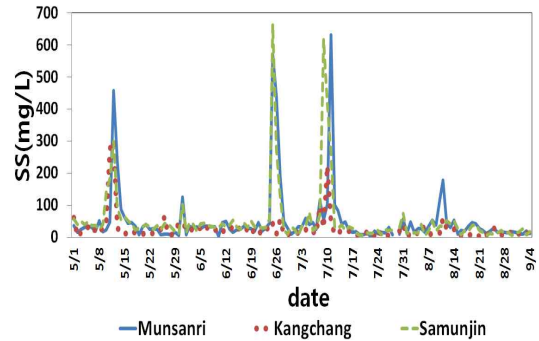


Fig. 8. SS changes for all sampling site.

연구의 조사범위를 넘어서는 사안으로 이에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 그러나 원인 관계를 떠나서 앞서 언급한 것처럼 총인의 경우 현재 총량규제에 직접적으로 규제를 받고 있고 강창교와 사문진교의 높은 총인 농도는 향후 많은 문제를 발생시킬 수 있는 만큼 이에 대한 관리가 시급할 것으로 판단된다. 금호강의 총인 농도는 금호강이 경산과 대구시를 관통하며 생활하수를 처리하는 하수처리장들의 방류수가 금호강으로 배출되는 영향을 받고 있는 것으로 사료되어 이들 시설에 대한 관리가 필요할 것으로 사료된다. 현재 금호강으로 직간접적으로 방류수를 배출하는 하폐수처리장들과 낙동강으로 직접 유입되는 진천천으로 방류수를 배출하는 서부하폐수처리 시설 등에서 고도처리시설을 도입한 총인제거시설을 건설 또는 일부 완공한 곳이 있는 만큼 향후 이들 시설이 정상적으로 가동될 경우 총인 관리가 용이해 질 것으로 기대된다.

Fig. 8은 각 지점의 SS의 양을 나타내는 그래프로서 SS는 수중의 부유물질량을 나타내는 지표이다. 즉, 수중에 크기가 $0.1 \mu\text{m}$ 이상 2mm 이하의 물에 용해되지 않고 부유하는 물질의 양을 나타내는 지표이다. SS의 농도가 높으면 수계의 탁도가 심해지고 이러한 부유물질 중 유기물질은 수중의 용존산소를 고갈시키는 역할을 한다. 문산리 지점의 SS는 5월 12일~13일, 6월 25일~27일, 7월 8일~13일 사이 매우 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 강창교 지점의 SS 농도는 5월 11일~12일 및 7월 10일~11일에 나타난 높은 농도의 패턴은 문산리 지점과 유사하나 절대적

인 수치는 문산리 지점보다 낮았다. 사문진교 지점에서의 SS 농도변화를 보면 고농도를 나타낸 일변화는 최상단 지점인 문산리 지점과 비슷한 패턴을 보여주고 있으며 농도 역시 금호강하구인 강창교 지점보다 높으며 문산리 지점과 비슷한 수준이었으며 상관분석 결과 역시 문산리 지점과 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.67$ 로 강창교 지점과 사문진교 지점 사이 $R^2 = 0.46$ 에 비해 높게 나타나 부유물질의 경우 상류의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 낙동강의 부유물질 농도가 금호강에 비해 높은 것은 4대강 사업과 강우의 영향으로 보여진다. 즉, 강정고령보를 기준으로 상류지역인 문산리 지점은 보다 상류에서 진행되고 있는 철곡보와 성주대교 인근에서 진행되고 있는 준설작업의 영향으로 발생한 부유물질이 사문진교의 경우 강정고령보의 공사의 영향으로 발생한 부유물질이 강우의 영향으로 수계 내에서 급격하게 부유물질의 농도를 높이고 동시에 하류지역으로 이들 부유물질을 이동시킴으로 낙동강 본류에 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 금호강의 경우 이러한 준설작업이나 토목공사가 없어 상대적으로 적은 영향을 받은 것으로 사료된다.

Fig. 9는 각 지점의 탁도 변화량을 나타낸 그래프이다. 탁도는 수중의 부유물질 등에 의해 물이 혼탁한 정도를 나타내는 지표로서 SS와 매우 밀접한 관계에 있다. 그러나 SS는 크기가 $0.1 \mu\text{m}$ 이상 2mm 이하의 입자성 물질에 제한되어 있으나 탁도의 경우 수중의 모든 비용해성 부유물질에 영향을 받으므로 SS와 다른 양상을 보이는 경우도 있다. 본 연구에서 측정된 탁도 변화량의 경우 동일지점에서의 SS 변화량과 매우 유

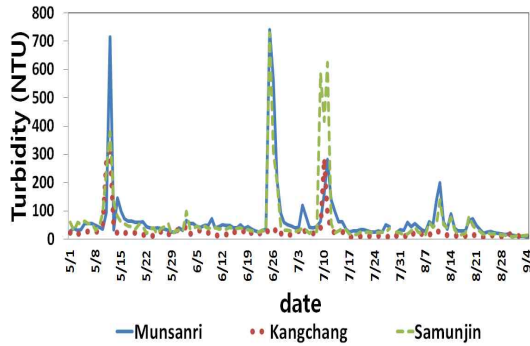


Fig. 9. Turbidity changes for all sampling site.

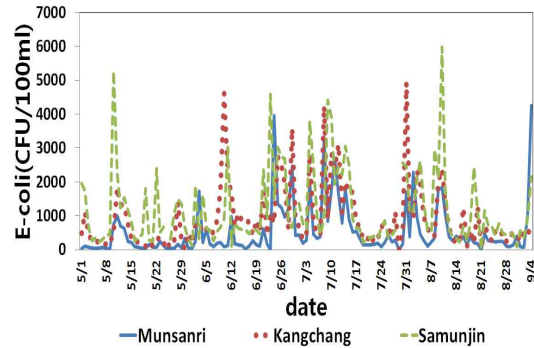


Fig. 10. E-coli changes for all sampling site.

사한 패턴을 보이고 있으나 완전히 동일하지는 않다. 문산리 지점의 탁도 변화를 보면 동일지점의 SS 변화와 비교를 했을 때 고농도를 보인 세 개의 피크 중 앞의 두 피크는 매우 유사한 패턴을 가지나 마지막 피크의 경우 변화량이 SS에 비해 소폭으로 상승함을 볼 수 있다. 강창교 지점의 탁도 변화량의 경우 같은 지점의 SS와 비교했을 때 변화의 패턴과 폭이 동일함을 알 수 있다. 사문진교 지점의 탁도 변화 역시 같은 지점의 SS 변화와 비교했을 때 문산리의 경우와 마찬가지로 마지막 피크에서 다른 양상을 보였다. 또한 사문진교 지점의 경우 변화폭은 SS와 비슷한 수준을 보였으나 SS가 7월 9일을 기점으로 지속적으로 감소하여 평상 수준의 농도를 보인 반면 탁도의 경우 7월 11일 농도가 다시 증가하였다가 감소하는 패턴을 보여 SS의 변화와 구별되었다. 상관성 분석 결과 문산리 지점에서 탁도와 SS 사이 $R^2 = 0.87$, 강창교 지점 $R^2 = 0.95$ 및 사문진교 지점 $R^2 = 0.94$ 로서 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 상기의 결과들을 고려해 볼 때 탁도와 SS의 변화에 다소 차이가 있음에도 불구하고 탁도는 SS를 가늠할 수 있는 인자로 고려할 수 있을 것으로 사료된다. 탁도의 경우 계측기를 이용하여 간단하게 측정할 수 있는 반면 SS의 경우 실험실에서 여지의 탈수, 여과, 여지의 건조 등의 과정을 거치며 분석에 4~5시간이 소요됨을 감안할 때 탁도를 이용하여 SS를 예측하는 방안을 강구한다거나 수계의 부유물질 관리 자체를 SS가 아닌 탁도를 기준으로 하는 방안 등을 검토해야 할 것이다.

Fig. 10은 각 지점의 대장균군의 변화를 보여주고

있다. 대장균군의 경우 분변성 오염의 지표로 사용되고 있는 세균으로 다른 세균에 비해 외부의 저항에 상대적으로 강하므로 지표세균으로 이용되고 있다. 대장균군의 수치가 높은 경우 수인성전염병 등의 우려가 있는 것으로 간주한다(Noble 등, 2003; Steets과 Holden. 2003; Reeves 등, 2004). 문산리 지점의 대장균군 변화를 보면 6월 중순까지는 변화의 폭이나 주기가 낮은 반면 6월 23일 이후에는 대장균군의 수가 극단적으로 변하고 있음을 알 수 있다. 강창교 지점의 대장균군 수는 변화의 폭이나 주기가 매우역동적임을 알 수 있었다. 사문진교 지점의 대장균군수는 상류지역인 문산리 지점의 변화와는 다른 패턴을 보이고 있다. 즉, 일변화의 폭과 주기가 매우 커서 강창교 지점의 패턴과 유사함을 알 수 있다. 따라서 이 지점의 대장균군의 변화는 상류지역이나 보공사 또는 준설에 영향을 받기보다는 금호강의 수량변화에 영향을 받는 것으로 추측되나 상관성 분석 결과 문산리와 사문진교 사이 $R^2 = 0.38$ 및 강창교와 사문진교 사이 $R^2 = 0.46$ 으로 상관성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 금호강 강창교 지점의 경우 수자원이 상수 또는 위탁시설의 일부로 이용될 가능성이 낮아 수인성 질병의 지표인 대장균군에 대한 분석이 필요 없는 것처럼 보여 질 수 있으나 이 지점을 통과한 금호강은 즉시 낙동강에 합류되고, 합류된 이후에는 멀지않은 거리에 달성취수보가 있어 금호강의 대장균군 오염은 낙동강 상수원에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 이 지점에서의 대장균군 조사는 필수적으로 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서 낙동강의 적절한 수질관리방안을 모색하기 위해 강정고령보와 금호강의 합류지점을 중심으로 매일 수질시료를 채취하여 분석한 결과를 고찰하였다. 그 결과 본 연구의 분석대상이 된 9개 인자 모두의 농도가 일단위로 급변하는 추세를 보여 주었다. 본 연구의 대상 지점 중 최하류 지점인 사문진교 지점의 농도변화로 유추해 보았을 때 이 지점에 있어 낙동강 본류의 BOD, T-N, T-P 및 대장균군 농도는 금호강에 의해 영향을 받은 것으로 사료되고 SS나 탁도와 같은 부유물질의 경우 보공사에 직접적으로 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 그러나, COD를 비롯한 나머지 인자들은 금호강이나 보공사에 영향을 받은 것이 아니라 다른 원인에 의해 본류의 농도가 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 따라서 금호강이 낙동강 본류의 수질에 절대적인 영향을 미치고 있다는 통념은 재고되어야 할 것으로 보인다. 그러나 금호강이 낙동강의 수질에 기여하는 부분이 있으며 낙동강 본류의 수질관리를 위해서는 지천의 관리가 우선되어야 함은 명백한 사실이다. 따라서 본 연구에서 수행한 일변화 관측은 향후 지류관리에 필요한 사업 및 연구에 기초 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구의 대상지역에서 금호강 합류지점에서 사문진교 지점 사이 서부하폐수처리장의 방류수가 직접적으로 유입되는 진천천이 합류되고 있으며 본 연구에서 분석한 몇몇 수질인자는 이 환경기초시설의 방류수에 영향을 받고 있는 것으로 보이나 시간적, 경제적 제약으로 인하여 환경기초시설에 대한 심층적 고찰은 수행하지 못하였다. 그러나 지류의 영향과 더불어 환경기초시설 역시 낙동강의 수질에 많은 영향을 미치고 있는 인자로 고려될 수 있어 이에 대한 추가적인 조사가 뒤따라야 할 것이다. 또한 본 연구가 수행된 기간은 강우가 집중되는 우기로서 본 연구의 결과가 비가 오지 않는 건기 동안에도 동일한 결과를 보일지는 현 시점에서 판단할 수 없으며 이에 대한 조사 역시 추가적으로 뒤따라야 할 것이다. 마지막으로 4대강 사업의 경우 수행 당시 수질오염에 대한 우려의 목소리가 많았으나 본 연구대상지역의 경우 강우발생 시 증가한 부유물질만이 낙동강의 수질에 직접적으로 영향을 준 것

로 사료된다. 현시점에서 4대강 사업은 완료되었으나 향후 통상적인 하천 준설작업과 수많은 지천들의 정비 사업이 실시될 경우 본 연구결과를 참고하여 강우가 집중되는 장마기간에는 공사 진행을 가급적 피할 수 있도록 계획하는 것이 바람직하며, 토사의 발생을 최소화시킬 수 있는 첨단 공법들을 연구하고 마련하여 공사를 진행해야 할 것이다.

참고 문헌

- Auer, M. T., Niehaus, S. L., 1993, Modeling fecal coliform bacteria - I. Field and laboratory determination of loss kinetics, *Water Research* 27(4), 693-701.
- Bae, H. K., 2007, Modeling approaches to predict conditions of water quality using physical, chemical, and hydrological data focused on biological contaminations, Ph.D. dissertation, University of California, Irvine, U.S.A
- Beak, K. H., 2003, Improving Water Quality for Drinking Water Resources through out increasing Nakdong River Water Quality, Busan Development Institute.
- Jung, I. D., 1996, Current and Future of Nakdong River Water Quality, Master Thesis, Hanyang University.
- Kang, Y. T., 1995, Development of Advanced Wastewater Treatment System for River Nakdong Regeneration, *J. of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 3(4), 27-35.
- Kang, Y. T., Hyun, K. S., Yang, H. C., 1996, Water Quality Modeling and Management Measures for the Nakdong River. *J. of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 4(3), 3-15.
- Kim, C. W., 2008, Watershed Characteristics Affecting Water Quality in Urban Streams, Ph.D. Dissertation, University of Seoul.
- Kim, D. C., Ryu, M. J., 1998, Environmental Chemistry, Donghwa Technology.
- Kim, J. W., 2009, River Ecology and Nakdong River, Keimyung University Press.
- Lee, J. M., Park, C. K., Kim, C., 2005, A Study for Source and Distribution of Boron in Nakdong River, *Korean Society on Water Quality*, 21(3), 236-241.
- Noble, R. T., Moore, D. F., Leecaster, M. K., McGee, C.

- D., Weisberg, S. B., 2003, Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for recreational water quality testing, *Water Research* 37(7), 1637-1643.
- Park, J. H., Oh, S. Y., Park, B. K., Kong, D. S., Rhew, D. H., Jung, D. I., 2006, Applicable Water Quality Indicators for Watershed Management, *Korean Society on Water Quality*, 22(6), 1004-1013.
- Reeves, R. L., Grant, S. B., Mrse, R. D., Copil Oancea, C. M., Sanders, B. F., Boehmm, A. B., 2004, Scaling and management of fecal indicator bacteria in runoff from a coastal urban watershed in southern California, *Environmental Science & Technology* 38(9), 2637-2648.
- Steets, B. M., Holden, P. A., 2003, A mechanistic model of runoff-associated fecal coliform fate and transport through a coastal lagoon, *Water Research* 37(3), 589-608.
- Yun, C. J., Kang, S. W., 2004, A Study on the Relation between COD_{Mn} and COD_{Cr} of each Industrial Wastewater, *J. of Public Institute of Health & Environment*, 14(2), 135-149