

# 매일 관측을 통한 현행 수질 모니터링 시스템 주기에 관한 재고

배현균

## Reconsideration for Current Water Quality Monitoring System throughout Daily Observation

Hun-Kyun Bae

계명대학교 지구환경학과(Dept. of Global Environment, Keimyung University)

제 출 : 2012년 8월 20일 수 정 : 2013년 2월 12일 승 인 : 2013년 3월 6일

### 국 문 요 약

낙동강을 비롯한 각 수계의 적절한 수질관리방안을 모색하기 위해 현행 모니터링 시스템의 문제점을 고찰하였다. 현재의 모니터링 시스템은 일주일 또는 그 이상의 간격으로 수질시료를 채취하고 분석하여 수계의 수질수준을 판단하고 있으나 이러한 주간 단위의 수질분석은 급변하는 수질에 대한 정보제공에 한계가 있는 것으로 가정하고 강정고령보를 중심으로 보의 상류지역인 문산리, 금호강의 최말단부인 강창교, 보와 금호강 합류부보다 하류에 위치한 사문진교 등 세 개의 지점에 대하여 2011년 5월 1일부터 9월 30일에 걸쳐 매일 수질시료를 채취하여 9개 항목에 대하여 분석하였다. 그 결과 분석대상이 된 9개의 수질인자 모두의 농도가 일단위로 급변하는 추세를 보여 현재의 모니터링 시스템에서 확인하는 수질변화는 큰 의미가 없음을 알 수 있었다. 또한 각 인자에 있어 일변화의 폭이 매우 크게 나타남으로 낙동강의 수질관리를 위해서는 최소한 일단위의 수질시료채취 및 분석이 필요할 것으로 사료되어 현재의 모니터링 시스템에서 수행되고 있는 주간단위의 시료채취 및 분석에 대한 보완이 시급한 것으로 나타났다. 그러나 수계의 모든 지점을 매일 수질시료를 채취하고 분석하는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 사료되어 이에 대한 대안을 마련해야 할 것이다.

**주제어** 수질모니터링, 모니터링 주기, 일변화 관측, 낙동강 강정고령보

### Abstract

The weakness of current water quality monitoring system was reviewed to manage Nakdong river's water quality. The current monitoring system has sampling periods lasting for a week to 10 days, but these-SAMpling periods may not accurately measure the real level of water quality. Therefore, daily sampling and analysis of water samples for nine factors was performed from May 1st 2011 to Sep. 30st 2011 to check the water quality changes at three-SAMpling 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). As demonstrated by the results, concentrations of all nine factors dramatically changed on a daily basis, so daily sampling and analysis of water quality samples may be needed instead of weekly sampling and analysis of water quality samples to ensure the proper management of the Nakdong River's water quality. However, daily observations for all water sampling points are not possible because costs and labors are limited, so that new methods which could support the current monitoring system should be developed.

**Keywords** Water Quality Monitoring, Monitoring Period, Daily Observation, Nakdong River, Kangjung-Koryung Weir

---

## I. 서론

현재 각 수계의 수질관리를 위해 관계기관에서 실시하고 있는 모니터링 시스템은 현실적인 문제들로 인하여 실시간으로 수질에 대한 정보를 제공하기에는 한계가 있어 수질관리에 문제가 발생할 수 있는 여지가 있다. 수질관리를 위한 현행 모니터링 시스템은 관심지점을 선정하여 일주일 또는 그 이상의 시료채취 주기를 가지고 수질을 분석하며 이러한 수질분석 결과를 통하여 수계의 오염도를 가늠하고 있다. 모니터링의 주기를 일주일 또는 그 이상의 간격으로 실시하는 배경에는 현실적인 상황을 고려한 결과이다. 즉, 전국에 산재한 수백 군데가 넘는 관리대상 지점의 수질시료를 채취하고 이를 분석하기 위한 비용 및 연구인력 수급에 한계가 있으므로 현행 모니터링 시스템에서 규정하고 있는 수질분석 주기를 더 단축하기에는 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 수계의 수질은 여러 요인에 의해 급격하게 변할 수 있으며 이러한 수질의 변화는 현행 모니터링 시스템을 통해서도 파악이 어려운 것 또한 현실이다(Bae, 2007). 또한 수질을 판단하기 위해 분석하는 몇몇 인자의 경우 분석에 소요되는 시간이 길어 실시간으로 수질의 상태를 파악할 수 없도록 만드는 또 하나의 요인이다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 수계 중 강정고령보 지역을 대상으로 매일 수질분석을 시행하여 확보된 수질자료를 통하여 현재의 수질모니터링 시스템의 주기에 대한 점검을 시도하였다. 낙동강은 국내의 하천 중 규모면이나 인접한 유역에 대한 영향 등을 고려할 때 한강과 더불어 최대의 수자원으로 낙동강의 수질관리는 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다(김종원, 2009; 반응부, 1998). 특히 본 연구의 대상이 된 강정고령보 지역은

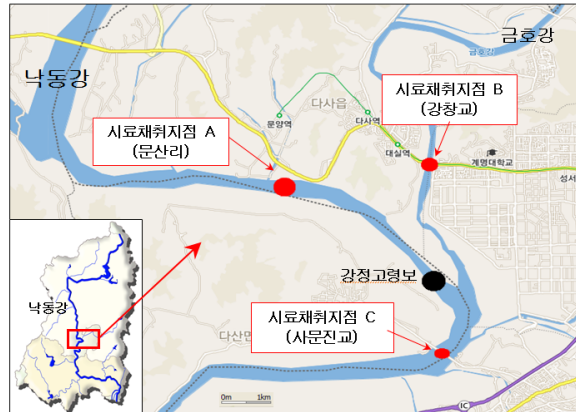
낙동강의 수질에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 평가되고 있는 금호강이 낙동강의 본류에 합류되는 지역이며 본 연구가 수행된 2011년 당시 4대강 사업의 일환으로 강정고령보가 건설 중에 있어 하천에 있어 준설이나 대규모 토목공사가 수질에 어떤 영향을 미치는지에 대해 종합적인 검토가 가능한 지역이었다. 낙동강 유역 중 이러한 여건을 가진 지역에서 매일 시료채취를 실시하여 분석한 수질의 변화에 대한 결과는 향후 각 수계의 수질을 적절하게 관리하기 위한 방안을 수립하거나 현행 수질관리방식에 대한 맹점을 보완할 수 있는 관리방안의 수립에 있어 기초적인 자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상지역

연구대상지역은 4대강 사업 23공구인 낙동강 강정고령보를 중심으로 설정되었으며 <그림 1>에서 전체 연구대상 지역과 각 수질시료 채취지점을 보여주고 있다. 이 지역은 2011년 당시 4대강 사업의 일환으로 강정고령보의 건설이 활발히 진행 중이었고 이 강정고령보의 하단부에 낙동강의 주요 지류인 금호강이 합류하고 있다. 따라서 이 지역은 4대강 사업과 지천의 영향을 동시에 고려할 수 있는 지역으로 그 중요성이 매우 높아 본 연구의 대상지역으로 선정하였다. 시료의 채취는 강정고령보를 중심으로 상류 지역인 문산리 지점, 강정고령보 하단에서 낙동강 본류에 합류하고 있는 금호강의 최하단부인 강창교 지점, 그리고 이 두 지점을 모두 지난 하류에 위치한 사문진교 지점에서 이루어졌다.

그림 1. The Study Area



## 2. 수질모니터링

현행 모니터링 시스템의 시료채취 주기에 대한 비교를 위해 하천 생활환경기준 항목인 7개 항목 - pH, DO (Dissolved Oxygen), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), T-P (Total Phosphorus), SS (Suspended Solid) 및 대장균군(E-coli) - 과 추가적으로 2개 항목 - T-N (Total Nitrogen), 탁도 (Turbidity) - 총 9개 수질항목에 대해 시료를 채취하여 분석하였다. 분석항목 중 DO, BOD, SS는 수질오염공정시험법에 준하여 분석이 수행되었으며 COD, T-N, T-P는 EPA 분석법에 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 31일까지 총 5개월에 걸쳐 진행되었다.

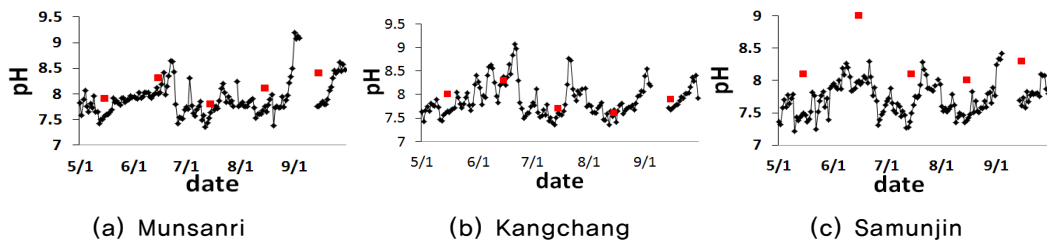
시료채취는 본 연구의 목적에 부합하기 위해 매일 실시하였으며 이는 현행 모니터링 시스템이 일주일 또는 그 이상의 시료채취 간격을 가지고 있어 간격 사이에 발생할 수 있는 수질의 급격한 변화를 파악할 수 없다는 추론에 따른 설정이었다. 시료채취시간은 지점에 따라 차이가 있지만 전체적으로 오전 7시에서 오전 8시 사이에 진행이 되었고 C지점(사문진교), B지점(강창교), A지점(문산리)의 순서대로 이루어졌다. 시료는 채취 즉시 계명대학교 환경대학으로 이송되었고 이송에 소요된 시간은 최종 시료

채취 지점인 문산리 지점에서 시료를 채취한 후 30분 이내에 이루어졌다. 수질분석이 수행된 대부분의 기간 동안 실험실에 도착한 시료는 도착 즉시 분석되었으며 즉시 분석이 불가능한 경우에는 4℃ 저온 냉장 후 5시간 이내에 분석을 수행하였다.

### III. 결과

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

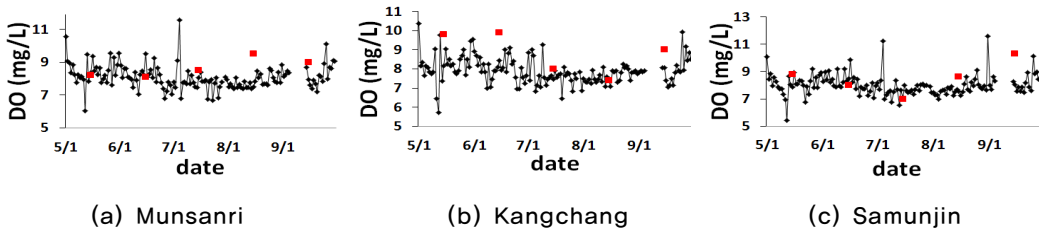
그림 2. pH changes for all sampling site



<그림 2>는 매일 샘플링을 통해 수질을 분석한 결과 중 수중의 산 또는 알칼리 상태를 가늠할 수 있는 지표로서 수소이온 농도를 나타내는 수치인 pH의 변화량을 나타내고 있으며 이러한 pH는 수질관리에 있어 매우 중요한 인자로 인식되고 있다(Meier et al., 1991). <그림 2(a)>는 본 연구의 시료채취지점 중 최상단지점이며 강정고령보의 상류지역에 해당하는 문산리 지점의 pH 변화를 보여주고 있다. 사각형의 빨간색 점은 환경부에서 관리하는 데이터로, 문산리보다 다소 상류에 위치한 성주대교지점의 월평균 pH를 나타내고 있다. 환경부에서는 주 단위 혹은 그 이상의 주기로 시료를 채취한 결과를 바탕으로 월평균 수치를 기준으로 수질관리를 하고 있다. <그림 2(a)>에서 나타난 것과 같이 이러한 현행 수질모니터링의 결과는 매일시료채취 및 분석의 결과와 비교했을 때 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 문산리 지점의 pH는 전체적으로 7.0~9.5 사이에 위치하고 있고 5월 중순에서 6월 중순 사이의 변화량은 크지 않으나 그 이외의 시기에서는 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 환경부의 월평균데이터

경우 이러한 변화를 전혀 반영하지 못하고 pH 7.5~8.5 사이의 수치를 유지하고 있어 변화하는 수질을 반영하지 못함을 알 수 있다. <그림 2(b)>의 경우 금호강의 최말단 부인 강창교 지점의 pH 변화를 보여 주고 있다. 이 지점의 경우 문산리 지점과 비슷한 수준의 pH 변화를 보이고 있으며 분석이 수행된 기간 동안 일정한 패턴을 보이지 않고 지속적으로 수치가 변화하였다. 그러나 환경부의 데이터는 pH 7.5~8.5 사이에 위치하고 있어 문산리 지점과 비슷한 수준을 유지하나 pH 변화를 전혀 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다. <그림 2(c)>는 본 연구의 최하단지점인 사문진교의 pH 변화를 나타내고 있으며 환경부의 데이터는 사문진교보다 다소 하류에 위치한 고령지점의 pH를 나타내고 있으며 사문진교의 pH 7.0~8.5 사이에서 지속적으로 변화하는 반면 월평균데이터는 6월의 데이터가 다소 높게 나타나 pH의 변화를 보여 주고 있으나 일변화 관측결과와 상당한 격차를 보이고 있으며 전체적으로 일 단위의 결과와는 큰 폭의 차이가 있음을 알 수 있다.

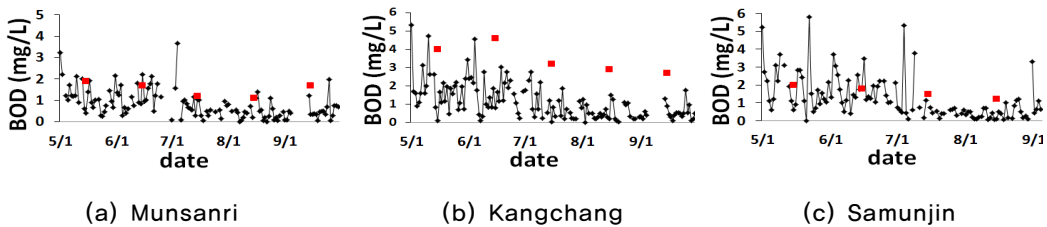
그림 3. DO changes for all sampling site



<그림 3(a)>는 문산리 지점의 DO 변화를 나타내고 있다. 문산리 지점에 있어 DO의 경우 5.5~11.5mg/L 사이에서 지속적으로 변화하고 있으나 월평균데이터의 경우 8mg/L 근처에 머무르고 있어 수중의 DO 변화를 거의 반영하지 못하고 있다. 특히 5월 12일과 7월 4일의 경우 DO 농도가 급격하게 하강 또는 상승하는 것을 관찰할 수 있으나 일주일 단위의 시료채취를 통한 월평균 농도로는 이러한 급격한 변화를 전혀 예측할 수 없으므로 현재의 모니터링 시스템의 취약점이 극명하게 나타나고 있다. <그림 3(b)>는 강창교 지점의 DO 변화를 보여 주고 있다. 강창교 지점의 경우 DO의 농도변화가 문산리와 비슷한 수준으로 5.5~11.0mg/L의 농도를 보이나 7월 중순 이후에는 7~9mg/L 사이에서 비교적 변화의 폭이 적었다. 월평균데이터의 경우 9mg/L 정도의 수준을 유지하고 있어 일변화보다 다소 상회하는 농도를 보였다. <그림 3(c)>는

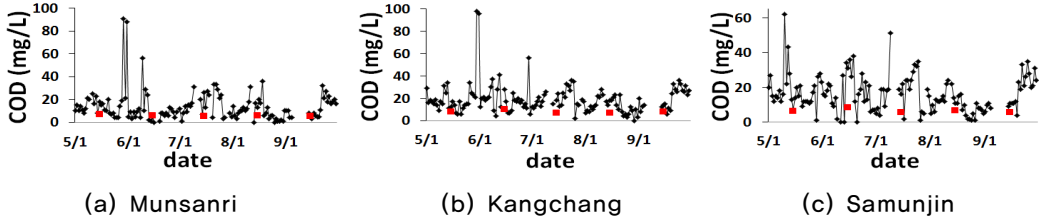
사문진교의 DO 농도변화를 보여주는 그래프로서 상류지역인 문산리와 비슷한 패턴을 보이고 있다. 따라서 사문진교의 경우에도 월평균데이터로는 DO를 통한 수질관리는 어려운 실정임을 알 수 있다. DO 농도의 경우 변화패턴이 다른 금호강의 합류에도 불구하고 상·하류의 DO 농도 수준이나 패턴에 큰 변화가 없어 금호강의 DO 농도변화는 낙동강 본류에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

그림 4. BOD changes for all sampling site



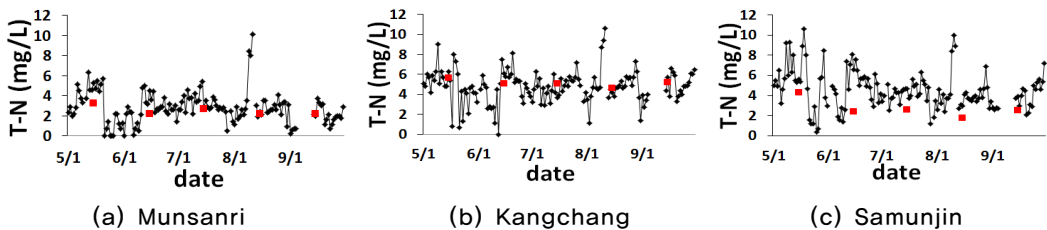
<그림 4>에서는 시료채취 지점의 BOD 변화를 나타내고 있다. <그림 4(a)>는 문산리 지점에서의 BOD 변화량을 나타낸 것으로 BOD 농도의 경우 변화폭이 0~5mg/L로서 매우 컸다. 특히 7월 초 데이터의 경우 변화폭이 상당히 큰 편으로 월평균데이터로는 수질을 전혀 파악할 수 없음을 알 수 있다. <그림 4(b)>는 강창교 지점에서의 BOD 변화량을 나타내는 그래프로, BOD 농도의 일변화가 극단적임을 알 수 있다. 그러나 월평균데이터는 BOD 농도 3~5mg/L 사이를 유지하여 이러한 극단적 변화는 전혀 예측할 수가 없음을 보여주고 있으며 평균 농도는 일 변화량에 비해 높은 수준임을 알 수 있다. <그림 4(c)>는 사문진교 지점의 BOD 변화량을 나타내는 그래프로, 강창교 지점과 마찬가지로 일변화의 폭이 매우 컸으나 월평균데이터는 이를 전혀 반영할 수 없어 현재의 모니터링시스템의 맹점을 잘 보여 주고 있다. 강정고령보 상류지점인 문산리의 변화폭에 비해 금호강이 합류된 이후인 강정고령보 하류지점인 사문진교의 BOD는 DO 농도변화와는 달리 낙동강의 상류보다는 금호강의 영향을 받는 것으로 보인다.

그림 5. COD changes for all sampling site



<그림 5>의 그래프는 각 시료채취지점의 COD 농도의 변화량을 보여주고 있다. COD는 화학적 산소요구량으로서 수중 유기물의 산화력을 측정하는 데 초점을 맞추고 있고 현행 모니터링 시스템은 COD 망간법을 이용하여 수질을 관리하고 있으나 본 연구에서는 COD 망간법보다 2~3배 이상의 산화력을 가진 방법으로 알려진 COD 크롬법을 사용함으로 수중의 유기물량에 대한 보다 정확한 분석을 시도하였다(윤철중, 강성원, 2004). <그림 5(a)>는 문산리 지점의 COD 농도변화를 보여 주는 그래프로, 5월 27일부터 5월 31일 사이와 6월 9일에서 6월 12일 사이 극단적인 변화가 생기는 것을 알 수 있다. <그림 5(b)>에서 강창교 지점의 COD 변화 역시 5월 29일에서 6월 1일 사이 극단적 변화가 나타났고 <그림 5(c)>의 사문진교 지점의 COD 일변화는 분석이 수행된 전 기간에 걸쳐 큰 변화를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 극단적 변화는 주 단위의 시료채취로써는 추적이 불가능하며 현 모니터링 시스템을 통한 수계의 COD 변화량을 가늠하는 것은 어려운 것으로 나타났을 뿐만 아니라 일변화가 극단적으로 이루어지는 몇몇 경우는 수질오염이 심화되는 상황을 전혀 파악할 수 없어 수질오염사고가 발생할 경우 현재의 모니터링 시스템으로는 이에 대한 즉각적인 대처가 불가능함을 알 수 있다.

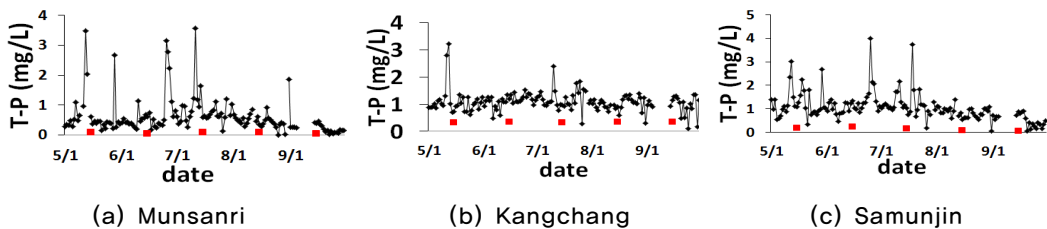
그림 6. T-N changes for all sampling site





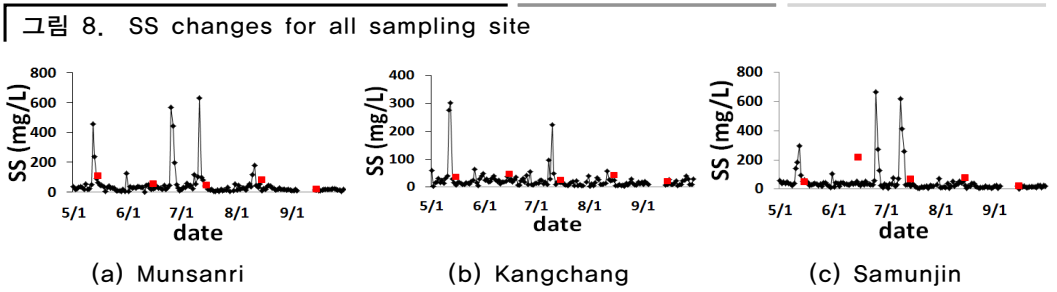
<그림 6>은 각 시료채취지점의 T-N 변화량을 나타낸 그림이다. 질소는 단백질 합성의 필수원소이며 미생물과 식물의 성장에 필수적인 영양물질 또는 생물촉진제로 알려져 있어 하수의 생물학적 처리 가능성을 평가하고자 할 때 중요한 자료로 이용된다(박재홍 외, 2006). <그림 6(a)>는 문산리 지점의 T-N 변화량을 나타낸 그래프로, 문산리 지점의 경우 8월 9일에서 8월 11일 사이를 제외한 전체 기간 동안 0.0~7.0mg/L 사이의 농도를 보였다. 월평균데이터의 경우 2.0~3.5mg/L 사이에서 큰 변화가 없는 것으로 나타나 T-N 역시 현재의 모니터링 시스템으로는 급변하는 일변화를 대체할 수 없음을 알 수 있었다. <그림 6(b)>는 강창교 지점의 T-N 변화량을 나타낸 그래프이다. 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 높았으나 월평균데이터는 이러한 변화를 전혀 반영하고 있지 않았다. <그림 6(c)>에 나타난 사문진교 지점의 T-N 변화량을 살펴보면 금호강과 같이 일변화가 심했으며 농도 역시 금호강 합류 이전 지점인 문산리 지점에 비해 높은 것을 알 수 있었고 월평균 수치는 상기 두 지점의 경우와 달리 전체적으로 낮게 나타났으며 월별 변화 역시 미비하여 일변화를 전혀 예측할 수 없었다.

그림 7. T-P changes for all sampling site



<그림 7>은 각 시료채취지점의 T-P 변화량을 보여주는 그래프들이다. 인은 주로 인산염의 형태로 물에 녹아 있기 때문에 수계에는 상당량의 인이 항상 존재하고 있으며 과량의 인이 존재할 경우 조류나 기타 식물의 성장을 촉진시켜 부영양화를 일으키고 이에 따라 수중의 산소량을 감소시켜 수중 생태계를 위협하는 요인이 된다(박재홍 외, 2006; Snoeyink and Jenkins, 1980). <그림 7(a)>에 나타난 문산리 지점의 T-P 변화를 보면 5월 12일, 5월 28일, 6월 25일~6월 27일 사이, 7월 11일 및 9월 1일에 T-P 농도가 매우 높았고 나머지 기간의 T-P 농도는 1mg/L 이하를 유지한 반면 월

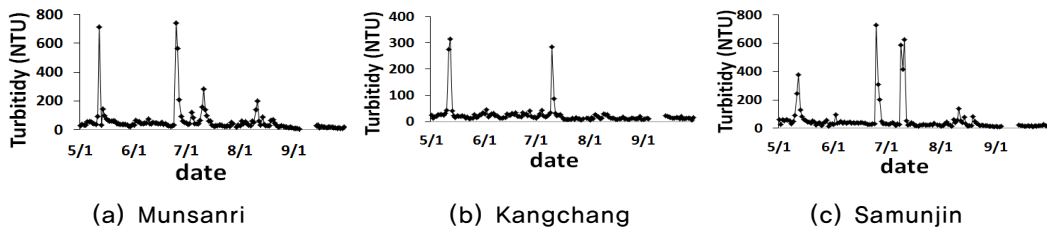
평균데이터의 경우 T-P 농도가 모두 1mg/L 이하로 나타나 수질오염을 우려하지 않아도 되는 수준이었다. 그러나 상기 언급한 것과 같이 일변화에서는 T-P의 농도가 3mg/L 이상의 수치를 나타낸 경우가 상당수 있어 수질의 매일 분석에 대한 필요성을 확인시켜 주었다. <그림 7(b)>는 강창교 지점의 T-P 농도변화를 보여주는 그래프로, 강창교의 경우 고농도의 T-P는 5월 11일~12일 및 7월 10일, 3일 정도이나 전체적으로 1mg/L가 넘는 날이 상당히 많아 금호강의 오염도를 잘 알 수 있었다. 그러나 이 지점 역시 월평균데이터는 모두 1mg/L 이하를 나타내 인성분에 의한 오염은 문제가 되지 않는 것으로 오인할 여지가 있었다. <그림 7(c)>는 사문진교 지점의 T-P 농도변화를 나타내고 있다. 이 지점의 경우 강창교 지점과 마찬가지로 T-P의 농도가 1mg/L가 넘는 날이 상당히 많았을 뿐만 아니라 문산리 지점처럼 3mg/L 이상의 고농도를 나타낸 날도 상대적으로 많아 인에 의한 오염수준이 상당히 높게 나타났으며, 이는 인의 오염도가 심한 금호강의 합류에 의한 영향으로 보인다. 월평균데이터는 역시 이러한 변화를 파악할 수 없었다.



<그림 8>은 각 지점 SS의 농도를 나타내는 그래프로서 SS는 수중에 크기가 0.1 $\mu$ 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. <그림 8(a)>는 문산리 지점의 SS를 나타내는 그래프로서 5월 12일~13일, 6월 25일~27일, 7월 8일~13일 사이 매우 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있고 월평균데이터는 이러한 극단적 일변화를 전혀 보여주지 못하고 있다. <그림 8(b)>는 강창교의 SS 농도를 나타내는 그래프로 5월 11일~12일 및 7월 10일~11일에 나타난 높은 농도의 패턴은 문산리 지점과 유사하나 절대적인 수치는 문산리 지점보다 조금 낮았으며 월평균데이터는 변화가 없이 비슷한 수준을

유지하고 있어 일변화에 대처하기에는 무리가 있었다. <그림 8(c)>는 사문진교 지점에서의 SS 농도변화를 보여주고 있는데 사문진교의 SS 변화는 문산리 지점과 매우 유사한 경향을 보이고 있었다. 같은 날짜에 비슷한 수준의 고농도를 나타내고 있어 금호강 하구인 강창교 지점보단 문산리 지점, 즉 낙동강 상류의 영향을 받고 있는 것으로 사료되었다. 낙동강의 부유물질 농도가 금호강에 비해 높은 것은 4대강 사업의 영향으로 보이는데 이는 강정고령보를 기준으로 상류지역인 문산리 지점은 보다 상류에서 진행되고 있는 칠곡보와 성주대교 인근에서 진행되고 있는 준설작업의 영향, 사문진교의 경우 강정고령보의 공사에 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 그러나 월평균데이터로는 역시 이러한 변화를 확인할 수 없었고 다만 6월의 평균데이터가 다른 달에 비해 높은 수치를 보이고 있으나 이 역시 극단적 일변화를 예측하기에는 무리가 있어 월평균데이터로는 수계의 부유물질 관리에 한계가 있음을 알 수 있었다.

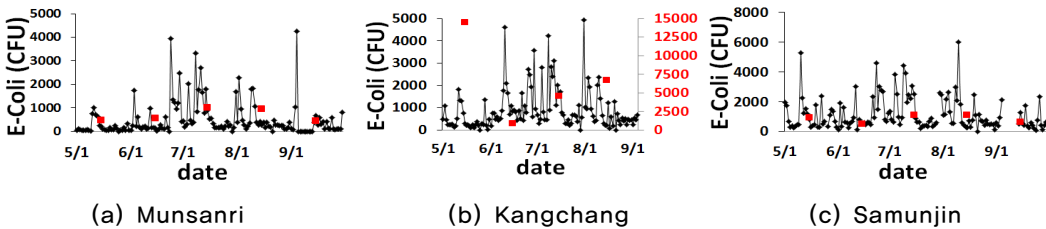
그림 9. Turbidity changes for all sampling site



<그림 9>는 각 지점의 탁도변화를 보여 주는 그래프로, <그림 9(a)>는 문산리 지점, <그림 9(b)>는 강창교 지점, <그림 9(c)>는 사문진교 지점에서의 탁도 변화를 나타내고 있다. 탁도의 경우 환경부에서 따로 관리를 하고 있지 않아 본 연구에서 실시한 매일 수질분석결과만을 나타냈다. 탁도는 수중의 부유물질 등에 의해 물이 혼탁한 정도를 나타내는 지표로, SS의 경우 크기가 0.1 $\mu$ m 이상 2mm 이하의 입자성 물질로 제한되어 있는 반면 탁도는 수중의 모든 비용해성 부유물질을 대상으로 하는 지표이므로 같은 부유물질의 지표이나 탁도는 SS와 다른 경향을 보이는 경우도 종종 있다. 본 연구의 결과 역시 탁도의 변화량이 동일지점에서의 SS 변화량과 유사한 패턴을 보이고 있으나 완전히 일치하지는 않았다. 문산리 지점의 경우를 보면 동일지점의 SS 변화와 비교를 했을 때 동일한 날짜에 고농도의 피크를 보이고 있으나 마지막 피크의 경우 변화량이 SS에 비해 소폭으로 상승함을 볼 수 있다. 그러나 강창교 지점의 경우 SS와

비교했을 때 패턴과 변화의 폭이 동일함을 알 수 있다. 사문진교 지점의 경우 마지막 피크에서 다른 양상을 보인 점은 문산리 지점과 유사하였으나 SS가 7월 9일을 기점으로 지속적으로 감소하여 평상수준의 농도를 보인 반면 탁도의 경우 7월 11일 농도가 다시 증가하였다가 감소하였다. 탁도와 SS의 변화에 다소 차이가 있음에도 불구하고 탁도는 SS를 가늠할 수 있는 인자로 고려될 수 있는데 이는 SS의 경우 분석과정이 복잡하며 많은 시간이 요구되어 비효율적인 반면 탁도의 경우 계측기를 이용하여 간단하게 측정할 수 있어 탁도를 이용하여 SS를 예측한다면 수중의 부유물질에 대한 관리를 더욱 효율적으로 할 수 있을 것으로 사료된다.

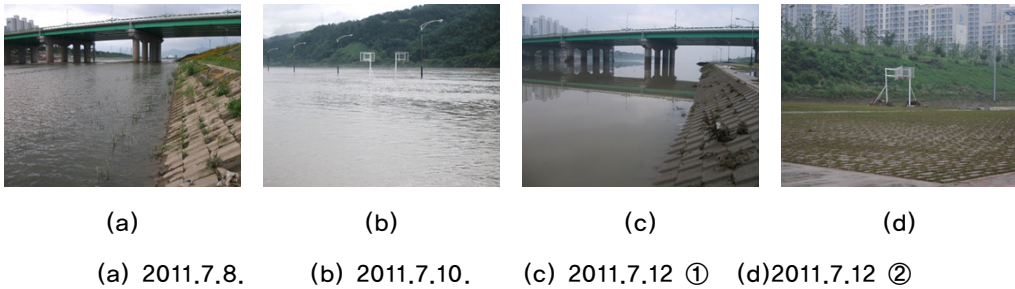
그림 10. E-coil changes for all sampling site



<그림 10>에서 나타내고 있는 대장균군의 경우 분변성오염의 지표로 사용되고 있고 수치가 높은 경우 수인성전염병 등의 우려가 있는 것으로 간주한다(Noble et al., 2003; Reeves et al., 2004; Steets and Holden, 2003). <그림 10(a)>는 문산리 지점의 대장균군 변화를 보여주는 그래프로, 6월 23일을 기점으로 극단적으로 변하고 있음을 알 수 있다. <그림 10(b)>는 강창교 지점의 대장균군 수를 나타내는 그래프로, 변화의 폭이나 주기가 매우 크게 나타남을 알 수 있고 이는 금호강의 경우 대장균군의 관리를 위해서는 매일 수질검사를 해야 함을 반증하는 결과이다. 또한 강창교의 경우 5월의 월평균데이터가 본 연구에서 측정한 일변화량보다 10배 이상 크게 나타나(그래프의 왼쪽 y축) 다른 인자들 혹은 같은 대장균군 중 다른 지점과 매우 다른 경향을 보여주었다. 현행 모니터링 시스템은 MPN법에 준하여 대장균군의 개체 수를 파악하고 있고 본 연구에서는 compact dry를 이용한 평판집락법을 사용하여 이에 따른 차이로 볼 수도 있으나 다른 두 지점에서는 월평균 수치가 일변화량의 변동범위 내에 있어 실험에 의한 차이로 단정지을 수는 없었기에 이에 대한 추후의 조사가 뒤따라야 할 것이다. <그림 10(c)>는 사문진교 지점의 대장균군 수를 나타내는 그래프로서

상류지역인 문산리 지점보다는 강창교 지점의 패턴과 유사함을 알 수 있다. 따라서 대장균군의 변화는 상류지역이나 보공사 또는 준설에 영향을 받기보다는 금호강의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

그림 11 Streamflow changes on Kangchang sampling point before and after rainfall events



이상에서 살펴본 것과 같이 하천에 있어서 수질의 일변화는 수질인자에 상관없이 매우 크게 나타남을 알 수 있었다. <그림 11>은 기록적인 폭우가 내린 2011년 7월 9일을 전후하여 강창교 지점에서의 유량변화를 보여주는 사진들로 상기 일변화에 대한 간접적인 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다. <그림 11(a)>는 비가 오기 전인 7월 8일, <그림 11(b)>는 기록적인 폭우(168mm) - 7월 9일 - 가 내린 다음 날인 7월 10일 - 강우량 122mm - <그림 11(c)>와 <그림 11(d)>는 비가 그치고 하루가 지난 후인 7월 12일의 모습을 보여주고 있다. 사진에서 보는 바와 같이 4일 사이 고수부지 아래쪽을 흐르던 금호강의 수위는 이들의 강우로 인하여 강둑의 고수부지에 설치된 농구대가 상층부만을 남긴 채 잠길 정도로 상승했다가 비가 그친 이틀 뒤에 다시 고수부지 아래쪽까지 수위가 낮아지는 급격한 변화를 보여주었다. 유량측정이 이루어지지 않아 정확한 데이터는 제공할 수 없으나 시각적으로도 이미 유량이 두 배 이상 증가했다가 줄어들었음을 확인할 수 있었고 이러한 4일 사이의 급격한 유량 변화는 수질의 변화에도 당연히 영향을 미쳤음을 예상할 수 있다. 그리고 이러한 단기간 내의 유량 변화 및 수질 변화는 현행 수질 모니터링의 주기로는 간과할 수밖에 없는 문제가 발생함을 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 이러한 문제점들이 항상 상존하는 현행 모니터링 시스템은 보완이 시급한 것으로 판단된다.

## V. 결 론

현행 모니터링 시스템의 문제점을 파악하기 위해 낙동강 강정고령보를 중심으로 세 개의 지점에 대하여 2011년 5월 1일~9월 30일에 걸쳐 매일 수질시료를 채취하여 분석한 결과를 통하여 고찰하였다. 분석 결과, 본 연구의 분석대상이 된 9개 인자 모두의 농도가 일단위로 급변하는 추세를 보여 현재의 모니터링 시스템에서 확인하는 수질변화는 큰 의미가 없음을 알 수 있었다. 수질 변화에 대한 오관은 수계관리에 심각한 영향을 줄 수 있으며 더 나아가 수계 및 수자원 관리정책에 많은 영향을 끼칠 수 있을 것이다. 그러나 현실적으로 수계의 수질관리를 담당하는 기관이 관리대상 수계의 수많은 검사지점에서 수질 시료를 매일 채취하여 분석하는 것은 인력과 경제적인 문제 때문에 불가능할 것으로 판단되며 결국 현행 일주일 간격 이하로 수질 모니터링의 주기를 단축하는 것은 어려울 것으로 사료된다. 또한 BOD와 같은 일부 수질항목은 분석자체에 소요되는 시간이 5일이라는 점을 감안할 때 일부 수질항목의 경우 매일 수질 시료를 분석하더라도 실시간의 수질파악은 불가능할 것으로 사료되며 이러한 시차를 가진 결과는 수계관리의 효율성을 저하시킬 것으로 사료된다. 따라서 현행 모니터링 시스템의 보완은 현실적 상황들을 고려하였을 때 단순히 수질 모니터링 주기를 줄이는 것으로는 문제를 해결할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 현행 모니터링 시스템의 주기에 대한 문제는 다른 관점에서 해결해야 할 것이다. 현실적인 대안 중 하나로 현행 모니터링 시스템에 모델링을 이용한 예측기능을 강화하는 것을 고려할 수 있다. 즉, 경비와 인력의 제한으로 인하여 모니터링 주기를 단축하기 어려운 부분은 모델링을 통하여 예측함으로 보완을 함과 동시에 분석에 많은 시간이 소요되는 일부 인자 역시 모델링을 통하여 실시간 예측을 함으로 현행 모니터링 시스템의 시차적인 문제는 해결될 것으로 사료된다. 또한 모델링을 통한 수질관리시스템은 일 단위 이하의 주기에 대한 수질정보제공도 가능하게 함으로 수계의 수질관리효율을 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다. 실제 수질을 파악할 수 있는 주기는 짧을수록 수질변화에 대해 더 많은 정보를 제공할 수 있어 수계관리에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 현재 실시간으로 수질을 파악하기 위해 주요 수계의 일부 지점에서 자동측정망을 운영 중에 있고 이들 데이터를 모델링의 정확도를 높이기 위한 기본 자료로 사용한다면 현재 주 단위의 수질모니터링 시스템에서 정보제공에 한계를 가지는 기간 동안 수질을 예측할 수 있는 양질의 모델개발이 가능할 것으로 사료된다. 이러한 모델을 통한 예측시스템과 현행 모니

터링 시스템의 결합은 방대한 수계의 경우에도 손쉽게 적용할 수 있어 각 수계의 수질 감시 지점의 수질을 모델을 통해 예측함으로써 현장에 직접 인력이 투입되거나 시료분석을 위해 필요한 경비의 지출 없이도 컴퓨터를 통해 얻어지는 수치를 수계관리에 직접 사용함으로써 보다 양질의 수계관리가 가능해질 것으로 예상된다. 다만 새로운 수계 모니터링 시스템의 관건은 모델을 통한 예측의 정확도다. 이를 위해 앞서 언급한 자동측정망 자료 이용 및 장기간의 모니터링을 통해 충분한 실측자료를 구축하고 이렇게 구축된 데이터를 모델 성능 향상에 적극 이용하는 노력이 수행되어야 할 것이다. 본 연구의 결과는 현실적인 모니터링의 문제점에 대한 인식의 전환뿐만 아니라 모델개발에 필요한 기본적인 데이터로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대되며 더 나아가 추후 연구를 통해 본 연구에서 제시한 새로운 모니터링 시스템의 개발은 향후 수계와 수자원관리 정책에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- 김종원. 2009. 「하천생태학 그리고 낙동강」. 계명대학교 출판부, p.25.
- 박재홍, 오승영, 박배경, 공동수, 류덕희, 정동일. 2006. “수질오염물질관리를 위한 관리대상물질”. 「한국물환경학회지」 22(6): 1006.
- 반용부. 1998. “낙동강 유역의 지질과 지형”. 「낙동강연구논총」 1(12): 1-31.
- 윤철중, 강성원. 2004. “폐수배출업종별 COD 검사시 망간법과 크롬법의 상관성 연구”. 「보건환경연구원보」 14(2): 135-149.
- Meier, P., A. Lohrum, J. Gareiss. 장일선 역. 1991. 「pH 측정의 실제와 이론」. 한국수자원환경신문사, p.10-11.
- 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.
- Noble, R. T., D. F. Moore, M. K. Leecaster, C. D. McGee, and S. B. Weisberg. 2003. Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for recreational water quality testing, *Water Research* 37(7): 1637-1643.
- Reeves, R. L., S. B. Grant, R. D. Mrse, C. M. Copil Oancea, B. F. Sanders, and A. B. Boehm. 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.
- Snoeyink, V. L. and Jenkins, D. 1980. *Water Chemistry*. John Wiley & Sons, p.298.
- Steets, B. M., and P. A. Holden. 2003. A mechanistic model of runoff-associated fecal coliform fate and transport through a coastal lagoon, *Water Research* 37(3): 589-608.