

ORIGINAL ARTICLE

청주지역의 도심하천인 미호천에서 시공간적 수질변이 특성 및 유입지천의 영향

김지일 · 최지웅 · 안광국*

충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과

Spatial and Temporal Variations of Water Quality in an Urban Miho Stream and Some Influences of the Tributaries on the Water Quality

Ji-Il Kim, Ji-Woong Choi, Kwang-Guk An*

*Department of Biological Sciences, College of Biosciences and Biotechnology, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea*

Abstract

The objective of study was to analyze seasonal and inter-annual patterns of water chemistry of Miho Stream watershed during 2004 - 2007 along with some influences of tributaries and summer monsoon on the stream water quality. For the study, eight physico-chemical parameters such as nitrogen, phosphorus, BOD, COD and chlorophyll-a (CHL) *etc.* were analyzed in relation to spatial and temporal variability of seven sampling sites of the mainstream and some tributaries in the watershed. In the upstream reach, Mean of BOD, COD and TP averaged 3.2 mg/L, 6.5 mg/L and 186 µg/L, respectively, indicating an eutrophic conditions as a III-rank in the stream water quality criteria from the Ministry of Environment, Korea(MEK). The eutrophic water was due to a combined effect of Chiljang tributary with high nutrients (TP=844 µg/L, TN=8.087 mg/L) and the point sources from some wastewater treatment plants. In the meantime, BOD, TN, and TP in the downstream reach were about > 1.2-1.5 folds than the values of the midstream reaches. This was mainly attributed to effluents of nutrient rich-water (mean TN: 11.980 mg/L) from two tributaries of Musim Stream and Suknam Stream, which is directly influenced by nearby wastewater disposal plants. Seasonal analysis of water chemistry showed that summer monsoon rainfall was one of the important factors influencing the water quality, and water quality had a large spatial heterogeneity during the rainfall period. In the premonsoon, BOD in the downstream averaged 6.0±2.47 mg/L, which was 1.4-fold greater than the mean of upstream reach. Mean of CHL-a as an indicator of primary productivity in the water body, was > 2.2 - 2.9 fold in the downstream than in the upstream, and this was a result of the high phosphorus loading from the watershed. Overall, our data suggest that some nutrient controls in point-source tributary streams are required for efficient water quality management of Miho Stream.

Key words : Water quality, Tributaries, Urban stream, Nutrients

Received 8 April, 2013; Revised 23 December, 2013;

Accepted 31 December, 2013

*Corresponding author : Kwang-Guk An, Department of Biological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
Phone: +82-42-821-6408
E-mail: kgan@cnu.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.

1. 서론

우리나라는 최근 인구의 도시 집중 현상 및 급격한 산업화로 인해 도심 하천의 오염이 심각한 수준에 이르러 하천 관리의 중요성이 크게 부각되고 있다(Jeon 등, 1998). 특히, 도심지역과 인근 산업단지에서 발생하는 각종 산업폐수 및 생활하수 등은 인구밀집지역에 위치하여 도심 하천으로 유입되어 하천의 오염을 가중시키고 있으며(An과 Yang, 2007; Kang과 An, 2006) 하천 하상에 퇴적되면서 이·화학적 수질오염 및 수생태계 교란을 야기시킬 수 있다(Jeon 등, 1998; Kang과 An, 2006).

본 연구 대상 하천인 미호천은 도시를 관통하는 전형적인 도심형 하천으로 충청북도 음성에서 발원하여 청주 시내를 관통하고 진천군, 청원군, 연기군 등을 거치면서 도심 가정 하수 및 축산 폐수 등의 다양한 오염물들이 유입되는 하천이다. 미호천 수계의 유역 면적은 금강 전체 유역면적의 약 1/5인 1,860 km², 유로 연장은 89.2 km이고, 백곡천, 보강천, 무심천, 조천 등의 여러 지류를 가지고 있으며 최 하류부의 합강점에는 금강과 합류된다(Kim 등, 2001; Kim, 2004). 또한, 미호천은 환경부에서 설정한 목표수질에 미달되는 것으로 평가되어 금강 본류의 수질 악화에 큰 영향을 주는 하천으로 알려져 있다(Noh와 Lee, 2007). 미호천에 대한 선행 연구는 주로 이·화학적 수질에 의해 수계를 평가하는 연구(Chae, 1992; Chung과 Chae, 2001; Jeon, 1994; Park, 1989; Shin, 2001)가 주류를 이루었고, 최근에는 생태건강성평가로써 미호천의 수질과 부착성 조류의 분포에 관한 연구(Park, 1989), 도심하천 생태계에서의 수질 및 생태건강성평가(Kim 등, 2008), 어류 군집을 이용한 미호천의 생태 건강성 평가 및 피라미의 수은(Hg) 오염도 평가(Lee와 An, 2010) 등에 대한 연구가 진행된 바 있다.

이런 다양한 연구들에서는 미호천 본류 주변의 집약 농경지와 도심 인구 밀집 지역 및 공업단지 지역에서 유출되는 유기물과 인(P), 질소(N)와 같은 영양염류의 증가가 이·화학적 수질오염을 가속화시키고 생태건강도를 악화시킨 것으로 보고하고 있다(Shin, 2001). 특히, 하류 지역에서는 청주시를 관류하여 청주 도심에서 배출된 생활하수와 산업폐수가 유입되는

지류인 무심천과 석남천이 미호천 수질악화에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Chae, 1992; Chung과 Chae, 2001; Jeon, 1994; Shin, 2001). 무심천과 석남천이 유입된 미호천 하류 지역은 생물학적 산소요구량(BOD)과 화학적 산소요구량(COD)이 3등급인 상류에 비하여 4-5등급으로 높게 나타났고(Shin, 2001), 하류 지역으로 갈수록 총인(TP)과 총질소(TN)가 증가하여 분뇨에 의한 오염과 생활하수, 산업 폐수 등의 유입이 지속적으로 이루어지고 있으며(Chung과 Chae, 2001; Shin, 2001) 이러한 미호천의 오염원들이 하류로 흘러 금강 본류와 합류하여 금강의 수질에 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Chung과 Chae, 2001; Kim 등, 2008; Shin, 2001). 또한, 금강 본류가 환경부에서 제시한 물환경정책(2006-2015)의 목표수질을 달성하기 위해서는 금강 수계의 주요 오염원인 미호천의 수질을 개선해야 한다고 제기된 바 있다(Kim 등, 2008). 그러나 이런 연구의 대부분은 하류 지역에 집중된 단기적인 조사로 그쳐, 미호천 지류가 본류에 미치는 영향 등의 미호천의 전반적인 특성과 장기적인 이·화학적 수질 영향에 대한 연구는 극히 미진한 상태이다.

최근 환경부의 전국 수질 평가 보고서(MOE, 2011)에 따르면, 4대강 중에서 한강은 물 환경 정책의 좋은 물 달성률이 90%를 보였으며, 그 외의 낙동강, 영산강 등에서는 목표 달성률 77% 이상을 상회하여 관리가 비교적 잘된 것으로 나타났다. 반면, 금강의 경우에는 70% 이하의 달성률로 4대강 중에서 최저치를 보여 이에 대한 금강 수계 하천 관리가 시급하다는 것을 보여 주었다. 또한 금강 수계에서는 특히 갑천과 미호천이 수질목표를 달성하지 못한 중권역으로 분류되어 수질연구에 대한 필요성이 크게 대두되었다. 특히, 우리나라에서 도심 하천의 수질 특성은 아시아의 문순강우 특성에 의해 크게 역동적으로 변하는 것으로 보고된 바 있다(Kang과 An, 2006). 따라서 계절적 강우는 도심 하천의 수질에 밀접한 관계가 있는 것으로 보여진다. 특히, 우리나라의 강우는 연강우량의 50% 이상이 하절기에 집중적으로 나타나는 특성을 보인다. 하절기 집중강우는 농경지나 축산농가 등에서 배출되는 수질오염물질과 도심지의 점오염원과 비점오염원으로부터 발생하는 오염원들을 수체로 유입시켜 해당

수체에 직접적인 영향을 주는 것으로 보고되었다 (Kang과 An, 2006; Park, 2009).

따라서 본 연구는 미호천 수계의 수질오염 특성을 알아보기 위하여 최상류 지점부터 하류까지 7개의 지점을 선정하여 각 수질 변수들의 변화 양상을 분석하였다. 또한 계절별 수질 인자의 역동성 평가 및 하절기 강우의 강도에 따른 미호천의 수질 환경 변화에 대한 역동성을 평가하고자 하였다. 본 연구에서 얻어진 자료는 향후에 미호천 수계의 오염상태를 파악하고 수질개선을 위한 대책 방안을 검토하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지역 개요 및 조사 지점

본 연구 대상 지점은 금강 합류 지점으로부터 약 73 km 떨어진 미호천 최상류 지역부터 56 km 떨어진 미호천 하류까지 총 7개 지점(Miho Stream, M)인 M1 - M7로 지정하였다(Fig. 1). 미호천 본류에는 많은 지류들이 합류하는데 본류를 따라 M1과 M2 사이에는 칠장천, 한천 외 세 하천이 본류로 합류되며 M2와 M3 사이에는 백곡천이 합류한다. M3과 M4 사이에는 초평천, M4와 M5 사이의 지류에는 보강천, 성암천 및 석화천이 있다. M5와 M6 사이에는 미호천 본류의 10.6%로 큰 제1지류인 무심천과 청주 산업 단지 하

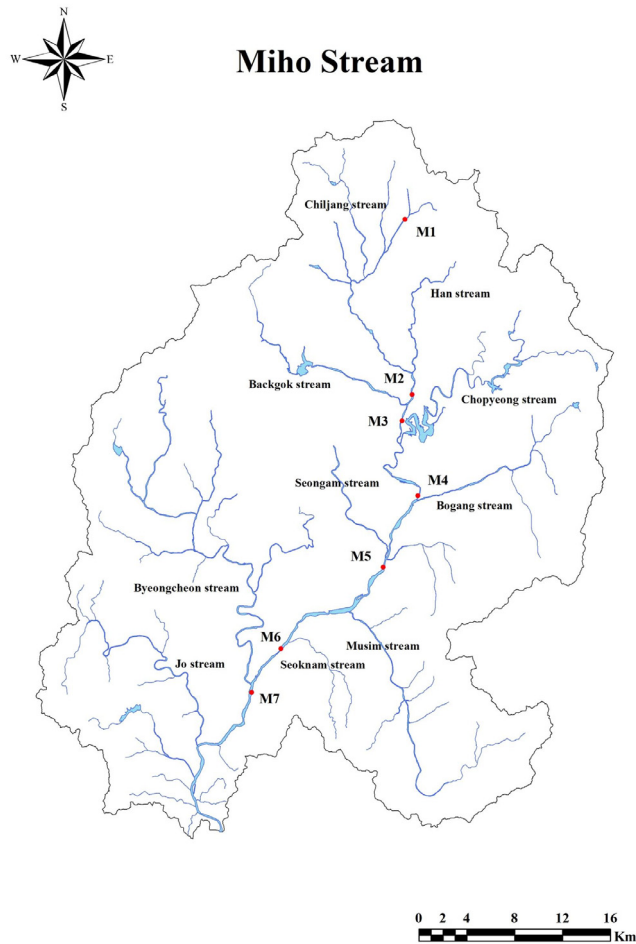


Fig. 1. The map showing the sampling site in Miho Stream.

수처리장이 주변에 위치한 석남천이 합류하며 M6에서 M7 사이에는 병천천이 합류하게 된다. M7 이후에는 조천과 월하천이 합류되어 미호천 본류는 금강으로 유입 된다. 또한 미호천 주변의 환경기초시설에는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 하수 처리장은 8지점, 축산 폐수 처리장은 2지점, 산업 폐수 처리장은 8지점으로

총 18지점이 본류와 지류 주변으로 위치하고 있다 (WAMIS, 2007). 조사 지점은 환경부 수질 측정망 지점인 미호천 수계의 7개 지점을 선정하였으며, 세부 지점은 다음과 같다.

M1 충청북도 음성군 삼성면 천평리 (천평교, N36°

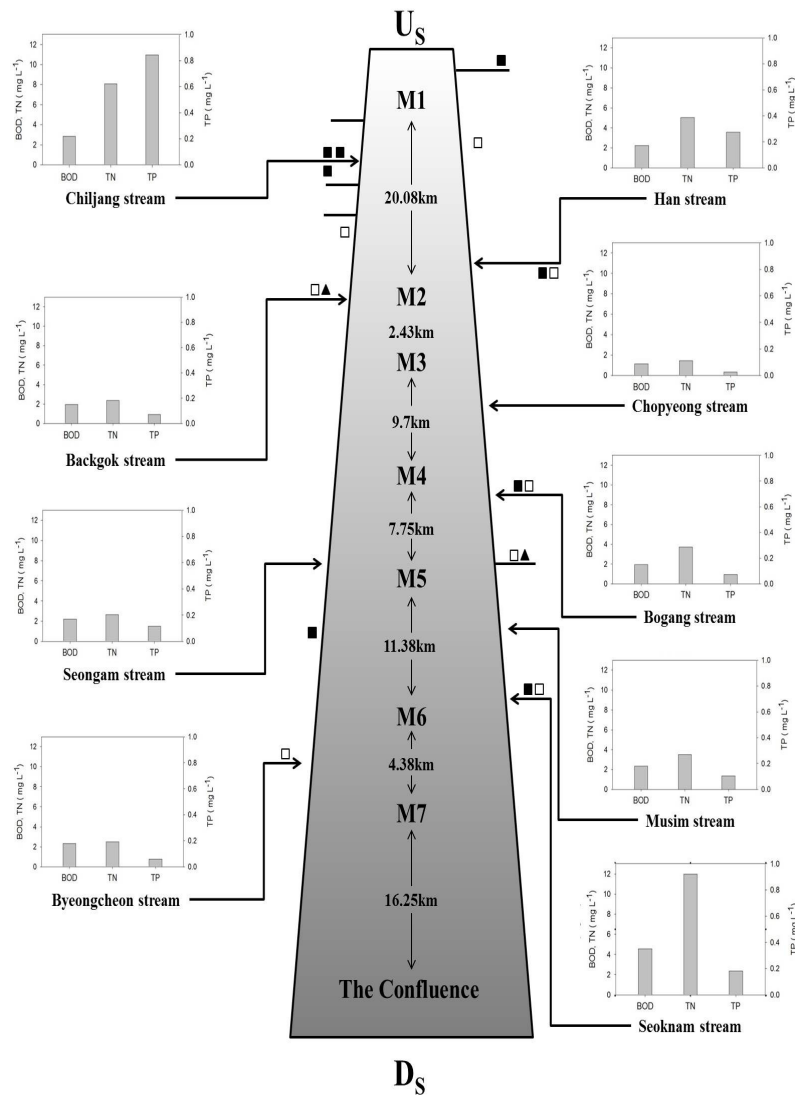


Fig. 2. Diagram of Miho stream and water quality of the tributaries influencing to the Miho Stream. Point sources were indicated by ■(industrial wastes), □(wastewater treatment plants) and ▲(livestock wastewater). The abbreviations of U_S and D_S indicate Upstream and Downstream.

- 58' 50", E127° 30' 01")
- M2 충청북도 진천군 초평면 오갑리 (오갑교, N36° 50' 44", E127° 30' 13")
- M3 충청북도 진천군 문백면 구곡리 (진천 농교, N36° 49' 35", E127° 29' 35")
- M4 충청북도 청원군 오창읍 여천리 (여암교, N36° 46' 08", E127° 30' 27")
- M5 충청북도 청주시 외하동 (팔결교, N36° 42' 52", E127° 28' 32")
- M6 충청북도 청원군 옥산면 신천리 (옥산교, N36° 39' 30", E127° 23' 00")
- M7 충청북도 청원군 강외면 궁평리 (미호천교, N36° 37' 23", E127° 21' 02")

2.2. 조사 기간 및 방법

미호천의 이·화학적 수질 자료를 분석하기 위하여 2004년 1월부터 2010년 12월까지 7개 지점(M1-M7)에서 측정된 환경부의 월별 자료를 이용하였다. 자료 분석을 위하여 이용된 수질 변수는 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총질소(TN), 총인(TP), 부유물(SS), 전기전도도(EC), 클로로필-a(CHL-a), 암모니아성 질소(NH₄-N)이며 각 수치의 시간별, 공간별 변화 양상을 분석하였다. 미호천의 강수량은 2004년에서 2010년까지 국토교통부의 진천 관측소 (충북 진천군 진천면 읍내리 진천여중, N36° 52' 09", E127° 27' 22")와 청주 관측소 (충북 청주시 흥덕구 운천동 흥덕교, N36° 38' 48", E127° 28' 53")에서 원격관측 (T/M) 시스템을 통하여 관측된 데이터를 획득하였고, 수질특성 분석을 위해 우리나라의 하절기 강우 특성을 감안하여 장마 전기(Premonsoon, P_R: 5 - 6월), 장마기(Monsoon, M_O: 7 - 8월), 장마 후기(Postmonsoon, P_O: 9 - 10월)로 구분하여 분석하였다. 본 연구에서 수질요인들의 상관관계를 알아보는 통계분석은 SPSS ver 20.0 프로그램을 사용하여 Pearson's correlation 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입 지천 및 본류의 공간적 수질 특성

미호천 수계 전 지역의 생물학적 산소요구량(BOD)

는 0.3 - 13.4 mg/L로 나타났으며, 전체 평균은 3.1±1.98 mg/L로 환경부가 제시한 하천의 생활환경기준, III등급에 해당하였고 화학적 산소요구량(COD) 역시 전체 평균 6.5±2.24 mg/L로 III등급에 해당하였다. 유기 영양물의 지표인 총질소(TN)의 경우, 전체 평균이 4.501±2.29 mg/L로 나타났고, 총인(TP) 역시 평균 182±109.10 µg/L로 III등급에 해당하였다. 이는 미호천 전 수계를 연구한 Shin(2001)의 결과와 유사하게 나타났으나 본 연구의 BOD와 COD의 최대값은 각각 13.4 mg/L, 20.7 mg/L로 기존 연구 보다 1.5-2.4배 높게 나타났다. 평균 TP의 경우 본 연구 지점 보다 하류를 기준으로 연구한 Kim 등(2008)에 비해 100 µg/L 낮게 나타났는데 이는 미호천이 하류 지점에서 오염도가 높게 나타나는 도심하천의 전형적인 특성을 가진 하천이라는 이전 연구(Kim 등, 2008; Noh와 Lee, 2007)와도 일치한다.

미호천의 공간적 분석 결과에 따르면, 상류 지점인 M1과 M2의 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD) 및 총인(TP)의 평균은 3.2 mg/L, 6.5 mg/L, 186 µg/L로 각각 나타나 환경부의 하천 생활환경기준 III등급에 해당하는 것으로 나타났다. 상류 지점인 M1과 M2 사이에서 유입되는 지류 중 하나인 칠장천의 TP는 844 µg/L로 미호천으로 유입되는 지천들 중 최대치로 나타났고, 본류의 4배 이상에 달했으며 TN 역시 8.087 mg/L로 높게 나타났다. 또한 상류 지점의 지류 중 하나인 한천의 TN 또한 5.041 mg/L로 높은 값을 보였다(Fig. 2). 상류가 청정한 일반적 수계와는 달리 미호천은 상류에서부터 오염부하가 시작되고 있는 것으로 판단되며, 이는 상류 지역에 위치한 전형적인 농업 배수지역인 금왕읍과 축산·농업배수가 혼재되어 있는 삼성면, 지류인 칠장천과 한천 주변의 산업단지에서 발생하는 산업 폐수의 유입(Son, 2010) 등의 수질 오염 영향에 따른 것으로 판단된다.

수질의 상·하류간의 구배 특성 분석에 따르면, M2에서 M5로 갈수록 전반적으로 오염도가 감소하는 추세를 보였으며, 특히 M5의 생물학적 산소요구량(BOD), 총질소(TN)의 평균값은 각각 2.5±1.53 mg/L (n=84) 및 3.921±2.03 mg/L(n=84)로 나타나 전체 지점들 중에서 가장 낮게 나타났다. 본 연구 기간인 7년 동안 M5의 BOD, COD, TP 및 SS는 다른 지점들에

비해 16 - 32%정도 낮게 나타나 생활환경기준 Ib-II등급(BOD 기준)에 해당하였으며, 이는 오염부하가 적은 지류인 백곡천, 초평천, 보강천 및 성암천의 합류로 인하여 본류의 오염 물질이 희석된 것으로 사료되며, 또한 주변 산간지형으로 인한 사력퇴의 발달로 인하여(Cho, 2009) 정화된 것으로 사료 된다. 이는 오염된 지천이 모래사장 및 사력퇴 습지를 끼고 일정 정도만

흘러가면 오염 정도가 완화된다는 이전 낙동강과 한강의 연구 결과와도 유사하게 나타났다(Oh 등, 2011). 한편, 중·하류부의 수질 오염 특성 분석에 따르면, 수질 오염도는 M5에서 M7로 내려 갈수록 증가하여 M7의 평균 BOD, TN 및 TP의 농도가 각각 M5의 약 1.7배인 4.3 mg/L, 1.3배인 5.044 mg/L 및 1.6배인 236 μ g/L로 나타났으며, 하류부(M6-M7)의 BOD, TN 및

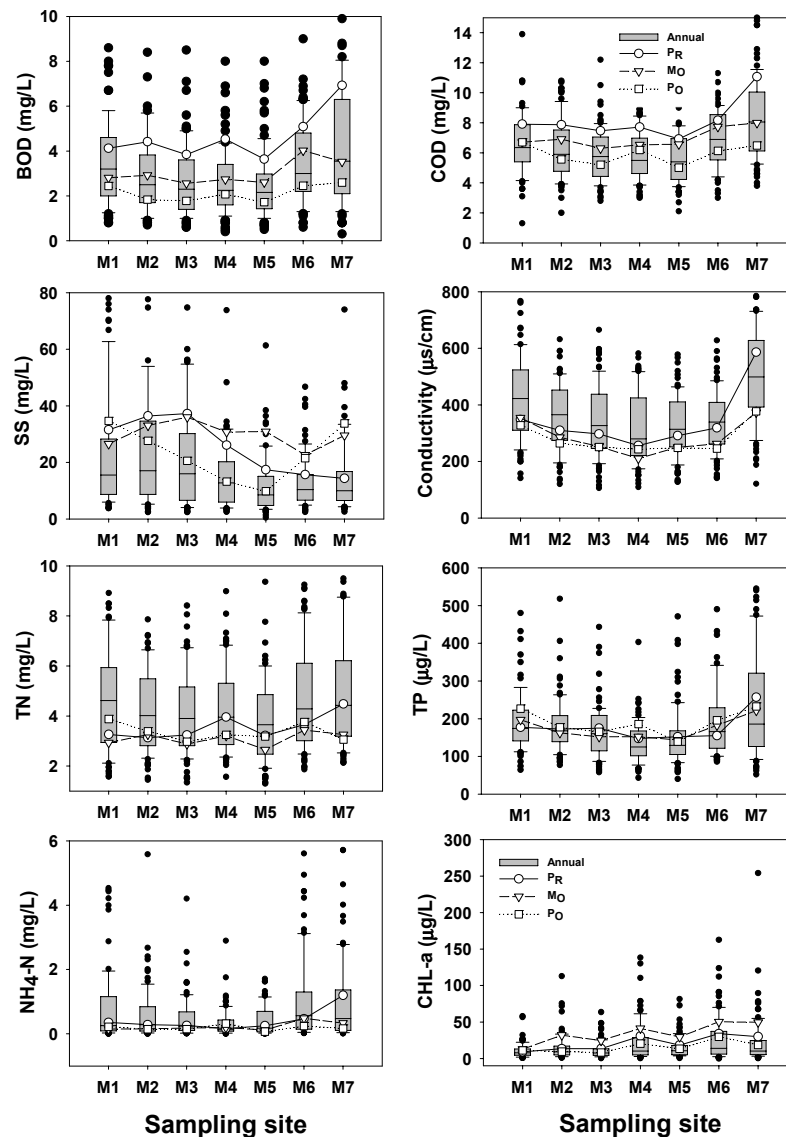


Fig. 3. Spatial variations of water quality parameters based on the average value of 2004-2010. The abbreviations of PR, MO and PO indicate premonsoon, monsoon and postmonsoon, respectively.

TP 평균이 중류부(M3-M5)의 평균보다 1.2-1.5배 높게 나타났다. 중류부와 하류부 사이에는 무심천, 병천천 및 석남천이 본류로 합류하는데(Fig. 2), 이들 중 무심천은 미호천의 가장 큰 지류로서 상류지역에서 농업용수와 생활하수가 다량 유입된 후 청주 도심을 관류하여 미호천으로 합류한다. 또한 석남천은 청주공단에서 방류되는 산업폐수와 청주 하수 중말 처리장의 하수(280,000 m³/day)가 유입된 후 미호천으로 합류한다(Shin, 2001). 본 연구에서 특히 석남천의 TN은 11.980 mg/L로써 M7의 TN값의 2배 이상에 달하며 전 지류 중에서 최고치를 나타냈다(Fig. 2). 본 연구의 하류 지점은 무심천과 석남천이 유입되면서 오염도가 증가한다는 기존의 연구들(Chae, 1992; Chung과 Chae, 2001; Jeon, 1994; Park, 1989; Shin, 2001)과도 일치하는 것으로 나타났다.

각 지점의 시기별 수질특성 분석에 따르면, 장마 전기에는 상류 및 중류 수계의 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총질소(TN) 및 총인(TP) 농도가 큰 변이를 보이지 않았지만, 하류 수계에 이르러 M6 - M7 구간에서 BOD, COD, TN 및 TP의 지점별 평균 농도가 급격히 증가하였다. 유기물 오염 지표 분석에서 BOD는 3.6 mg/L에서 6.9 mg/L로 약 1.9배 증가하고 있으며, COD도 6.9 mg/L에서 11.1 mg/L로 BOD와 유사하게 증가하였다. 또한 영양염류 결과에서도 유사하게 나타났는데, TN은 3.222 mg/L에서 4.480 mg/L로 약 1.4배 증가하고 있으며, TP는 152 µg/L에서 약 1.7배인 257 µg/L로 급격히 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 이는 하류 수계가 상류 및 중류 수계에 비해 많은 오염물질이 유입되며 장마 전기의 적은 하천 수량으로 인하여 오염물질이 농축되어 나타난 결과로 사료된다. CHL-a 역시 장마 전기에서 장마기로 접어들면서 전 지점이 증가하는 경향을 보이나 특히 하류 지역에서 뚜렷이 나타났다. 이는 장마 전기의 하류 지역의 영양염류 증가로 인한 것으로 사료된다. 반면, 장마기에는 BOD, COD, TN 및 TP값이 전반적으로 감소하게 되는데 특히 하류 지점인 M6과 M7이 상류 및 중류 수계에 비해 감소하는 경향이 뚜렷이 나타났으며 이는 집중강우에 의한 하류 수계의 수체가 증가하면서 발생하는 희석 효과로 사료된다. 수체에서 양이온 및 음이온의 이온 농도의 지표인 EC

의 경우에는 전 기간 내내 M1에서 M4로 낮아지는 경향을 보이다가 M7로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. 계절에 관계없이 하류부로 갈수록 EC가 증가하는 양상은 하류로 갈수록 이온성 부유물질이 증가하여 수질 저하가 일어난 것으로 사료된다(Lee 등, 2009). 전 기간 내내 M4의 EC가 낮게 나타났는데 이는 본류로 유입되는 지천 중 가장 오염부하가 적은 초평천에 의한 것으로 사료되며 초평천의 BOD는 1.1 mg/L, TP는 26 µg/L로 생활환경기준 Ib에 속하여 오염물질이 거의 없는 청정상태로 나타났다.

3.2. 수계내의 강우 특성 및 계절별 수질 변이

미호천 수계의 2004년부터 2010년까지 측정된 7년 동안의 자료 분석에 따르면, 연 평균 강수량은 1,209 mm로 장마기인 7 - 8월 동안 588 mm의 강우량을 보여, 장마기의 강우량이 전체 강수량의 48% 이상을 차지하는 것으로 나타나 강우량은 장마기에 집중 분포하며, 장마 전기 및 후기와 뚜렷한 차이를 보였다(An과 Yang, 2007; Park, 2009). 연별 총 강수량은 2007년에 1,500 mm 이상으로 다른 해에 비해 높은 강우(Intense monsoon year)를 보인 반면, 2008년에는 800 mm 이하의 비가 내린 것으로 볼 때 기쁨의 해(Weak monsoon year)로 판단되었다. 갈수기인 2008년에 가장 강우량이 많은 달은 7월이며 이때 270 mm 이하의 비가 내려 그해 강수량의 36% 이상을 차지하였다. 풍수기인 2007년에는 7월부터 9월까지 집중적으로 강우가 내렸으며 특히 8월과 9월이 가장 큰 강우를 나타내 전체 강우의 52% 이상을 차지하였다(Fig. 4).

연도별 강수량 변화와 수질 특성과의 관계를 살펴보면, TN ($r = -0.412, p < 0.001$)과 EC ($r = -0.410, p < 0.001$)는 상대적으로 높은 상관성을 보였으나 BOD, COD 및 CHL-a는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 강우에 대한 영향을 분석하기 위해 갈수기와 풍수기의 수질 특성을 비교·분석하면, 갈수기의 SS는 13.2±8.88 mg/L로 월별 큰 차이를 보이지 않았으나 풍수기의 경우 18.8±20.16 mg/L로 큰 차이를 보였으며 강우가 집중된 시기의 8월에는 감소하는 경향을 보이고 9월에는 80.6 mg/L로 최고치를 나타냈다(Fig. 4). SS는 물의 탁도 유발 원인으로써 강우 시 유기물 유입과 함께 무기성 부유물이 유입되어

탁도를 증가시키는데(Kang과 An, 2006; Shin, 2001), 미호천의 경우, 8월에 강우로 인하여 수체내의 부유물이 쓸려 내려가 일시적으로 감소했다가 9월의 계속적인 강우로 인한 부유물과 영양염류의 유입에 의해 다시 증가된 것으로 사료된다. 또한 TN의 양상과도 이와 유사하게 나타났으며 갈수기의 TN의 경우에는 동절기에 대부분 높은 값을 나타내 1월에 최고치인 8.4 mg/L을 보였고 장마기에는 전반적으로 약 2 mg/L 정도로 낮게 유지 되었다. 이는 강우가 적은 동절기에 유량의 감소로 인해 TN 농도가 높아진 것으로 보이며 장마기에는 강우에 의해 희석된 것으로 사료되나, 이런 양상은 풍수기보다 갈수기에 더 뚜렷하게 나타났다.

계절별 자료 분석에 따르면 유기물 오염 지표인 생물학적 산소요구량(BOD)과 화학적 산소요구량(COD)의 2004년부터 2010년의 월별 평균값을 상관 분석한 결과 $r=0.843$ ($p < 0.05$, $n=12$)로 정 상관관계를 보였고, 통계학적 유의한 것으로 나타났다. BOD와 COD는 겨울을 거쳐 장마 전기까지 그 값이 증가하여 장마 전기인 5월과 6월에 각각 5.3 mg/L, 8.3 mg/L로 최고치를 나타냈고 장마기부터 다시 감소하여 10월에 각각 1.6 mg/L, 4.7 mg/L 최저치를 나타냈다. TN은 장마기에 2.694 mg/L로 최저치를 보였으며 3월에 6.910 mg/L로 최고치를 나타냈다. TP의 경우 강우량이 적은 2월에 219 $\mu\text{g/L}$ 로 최대값을 나타냈으며 TN과 TP

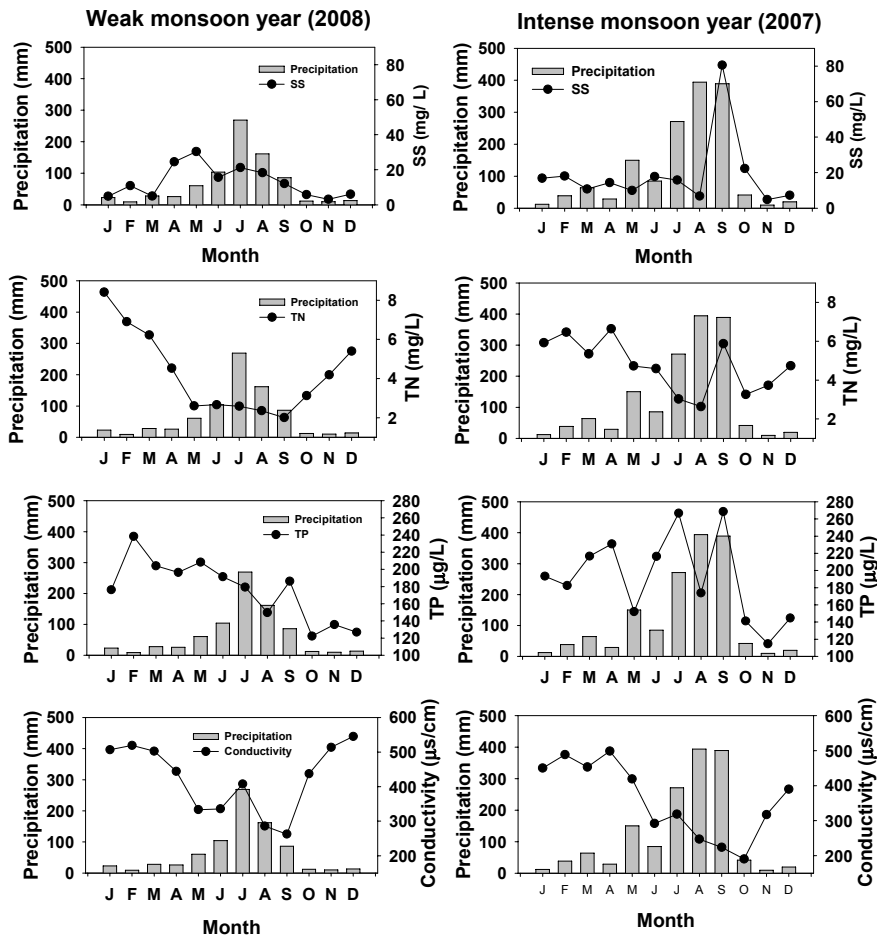


Fig. 4. Monthly precipitation and seasonal comparisons between weak monsoon and intense monsoon in Miho Stream.

는 $r=0.684$ ($p < 0.01$, $n=12$)로 정 상관관계를 보여 통계학적 유의한 것으로 나타났다. 월평균 SS의 경우에는 5월과 장마기에 30 mg/L 이상으로 높게 나타났는데 월평균 CHL-a 수치와 비교해 보았을 때 5월의 경우에는 조류 증가로 인한 것으로 사료되고, 장마기의 경우 역시 조류 증가와 강우에 의해 주변 농지 및 토지

로부터 토사나 부유물이 유입되어 최고치를 나타내는 것으로 사료 된다. 또한, 미호천의 SS는 금강의 유입 지천 중에서 가장 높게 나타났으며 금강의 지류인 길산천, 갑천 및 석성천에 비하여 1.5-1.8배 높게 나타났다(Rim 등, 2000). 월평균 EC의 경우 강수량이 적은 2월에 최대치(511.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$)를 나타냈고 장마기인 8월

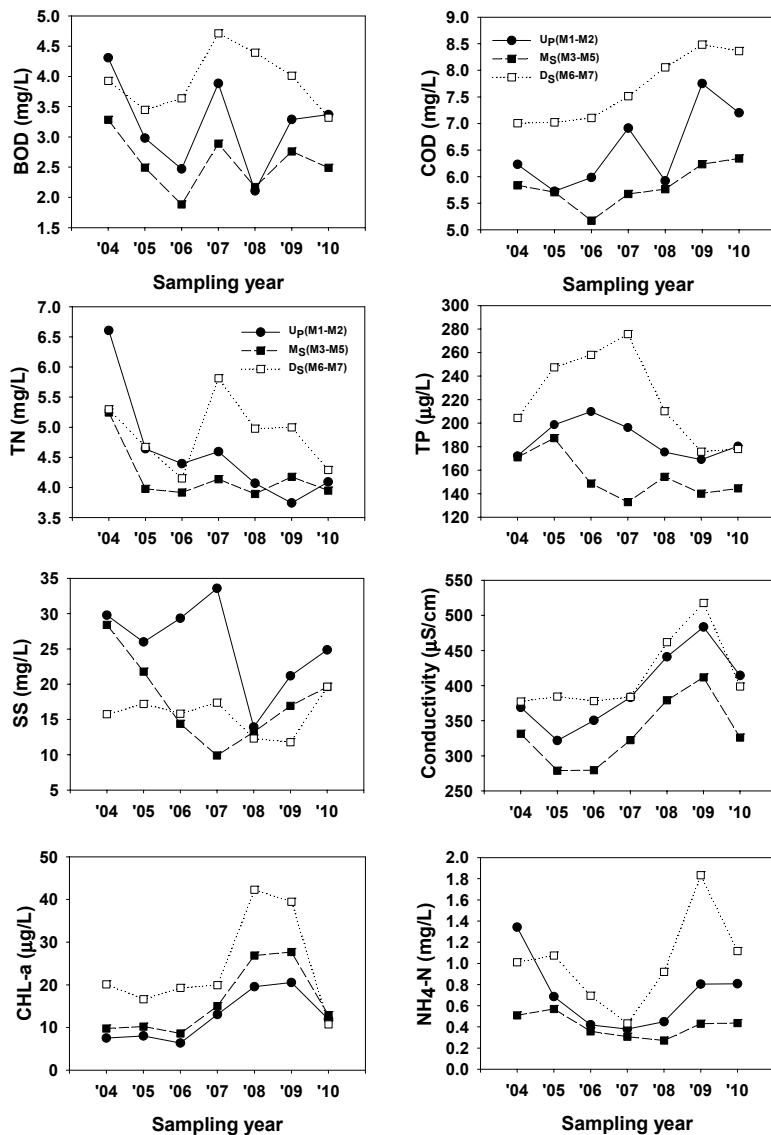


Fig. 5. Inter-annual fluctuation of water quality of Miho Stream based on longitudinal variations along with upstream to downstream reaches. The abbreviations of U_s , M_s and D_s indicate Upstream, Mid-stream and Downstream, respectively.

에 최소치(237.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$)를 나타나 강우와 역 상관관계 ($r=-0.666$, $p < 0.01$, $n=12$)를 보였다. 월 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우에는 TN과 상관계수 0.947($p < 0.05$, $n=12$)로 나타나 유사한 경향을 보여주며, 강수량이 적은 2월에 최고치인 1.8 mg/L를 나타내며 장마기에 감소하는 경향을 나타냈다.

연별 수질특성의 변이 평가를 위해 2004년에서 2010년의 7년간 수질자료 분석에 따르면, BOD는 강수량이 적은 2008년에 상류와 중류의 구분이 잘 나타나지 않고, 상류 및 중류 지점과 하류 지점 간의 변화 폭이 2 mg/L 이상으로 높게 나타났다(Fig. 5). 연별 상·중·하류의 BOD는 하류 지점이 평균 3.920 ± 0.50 mg/L로 중·상류 지점보다 약 1 mg/L 높게 나타났지만 연별 변동 폭은 상류보다 크게 나타나지 않았다. 상류의 연별 BOD 편차는 ± 0.76 mg/L로 중·하류에 비해 연별 변동이 큰 것으로 나타났다(Fig. 5). 연별 상·중·하류의 COD 경우, BOD와 유사하게 나타났으며 하류 지점의 평균이 7.6 ± 0.64 mg/L로 중·상 지점보다 약 1 mg/L 높게 나타났고 해마다 증가하는 경향을 나타냈으나 상류의 경우에는 갈수기인 2008년에 5.9 mg/L로 최저치를 나타내었다(Fig. 5). 연별 TN의 경우, BOD와 COD와 유사하게 상류가 중·하류 지점에 비하여 변화의 폭이 크게 나타났는데 상류의 TN은 2004년에 6.604 mg/L로 최고치를 나타냈고 2009년에 3.741 mg/L로 최저치를 나타내 약 3 mg/L정도 차이를 나타냈다. 연별 TP는 강수량이 많던 2007년에 상·중·하류 지점 간의 변화 폭이 140 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상으로 높게 나타났다(Fig. 5). 2004년의 연평균 SS는 25.2 mg/L로 최고치를 보이고 2008년까지 약 12 mg/L정도 감소였다가 다시 2010년까지 21.0 mg/L로 증가하는 양상을 보이는데 풍수기인 2007년에 상·중·하류 지점 간의 변화 폭이 20 mg/L 이상으로 높게 나타났으며 갈수기인 2008년에는 전 지점 차이를 보이지 않았으나 상류의 경우 2007년에 33.6 mg/L로 전 해를 통틀어 가장 높게 나타났고 2008년에 13.9 mg/L로 급격히 감소하여 강우에 대한 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 상·중·하류 지점의 EC의 변화 양상은 유사하였으며 특히 하류의 경우 연평균 강우량과 역 상관관계 $r=0.811$ ($p < 0.01$, $n=12$)로 나타났다. CHL-a의 경우 하류 지역의 연별 평균 24.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 으로 상류 평

균 12.4 ± 5.74 $\mu\text{g}/\text{L}$ 보다 약 2배정도 높게 나타났으며 편차가 ± 11.94 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 연별 차이가 크게 나타났다(Fig. 5). 연별 상·중·하류의 전체 양상을 보면 하류, 상류, 중류의 순으로 BOD, COD, TN, TP 및 EC가 높게 나타나 미호천 수계가 상류에서부터 이미 오염부하를 받기 시작하는 것으로 사료된다.

3.3. 몬순 강우 전중후의 상하류간 수질특성 비교

상류의 BOD는 장마 전기에서 후기로 갈수록 값이 감소하며 장마 전기의 경우 1.1 - 11.9 mg/L로 변화의 폭이 넓게 나타났다. 이는 다른 시기에 비해 상대적으로 수량이 부족하여 오염물의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 하류의 BOD도 이와 유사하게 장마 전기에서 후기로 갈수록 감소하는 경향을 보이며 장마 전기에 6.0 ± 2.47 mg/L로 상류보다 오염부하가 1.4배로 크게 나타났다(Fig. 6). TN의 경우에는 상·하류 모두 장마기에 감소하지만 하류가 4.1 mg/L에서 3.3 mg/L로 상류에 비해 감소하는 경향이 크게 나타났다.

상류의 TP는 장마 전기에서 후기까지 증가하는 양상을 보여 장마 후기에 201 ± 114.94 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났고, 하류의 경우, 장마 후기에 214 ± 183.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 다른 기간에 비해 다소 높게 나타나(Fig. 6), 상·하류 모두 장마 후기에 높은 값과 넓은 변화의 폭을 보였다. 이는 장마 후기에 최저치를 보인 형산강 수계(Kim과 An, 2010)와는 다르게 나타났으며, 하류의 TN과 TP는 장마기에 영양염류의 농도가 집중호우로 인하여 희석되는 영산강 수계(Kang과 An, 2006)와 금강 수계(An과 Yang, 2007)의 결과와 일치하여 강우에 의한 수체의 증가로 인한 유기물의 희석과 유량에 따른 하류의 희석 현상에 인한 것으로 사료된다.

장마 후기의 CHL-a는 상류의 경우 10.2 ± 11.6 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 하류의 경우에는 24.1 ± 22.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났고, 장마기의 CHL-a는 상류의 경우 22.2 ± 26.9 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 하류의 경우에는 49.9 ± 59.8 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 상·하류 모두 장마기에 높고 넓은 변화의 폭을 보였으며 하류가 상류보다 2.2 - 2.9배 높게 나타났다(Fig. 6). CHL-a는 식물 플랑크톤의 현존량뿐만 아니라 부영양 상태를 평가하는 지표가 되는데 연평균 농도가 >25 $\mu\text{g}/\text{L}$ 을 부영양(eutrophic), >75 $\mu\text{g}/\text{L}$ 을 과영양(hypertrophic)으로 평가하는 Vollenweider와 Kerekes(OECD, 1982)의 기

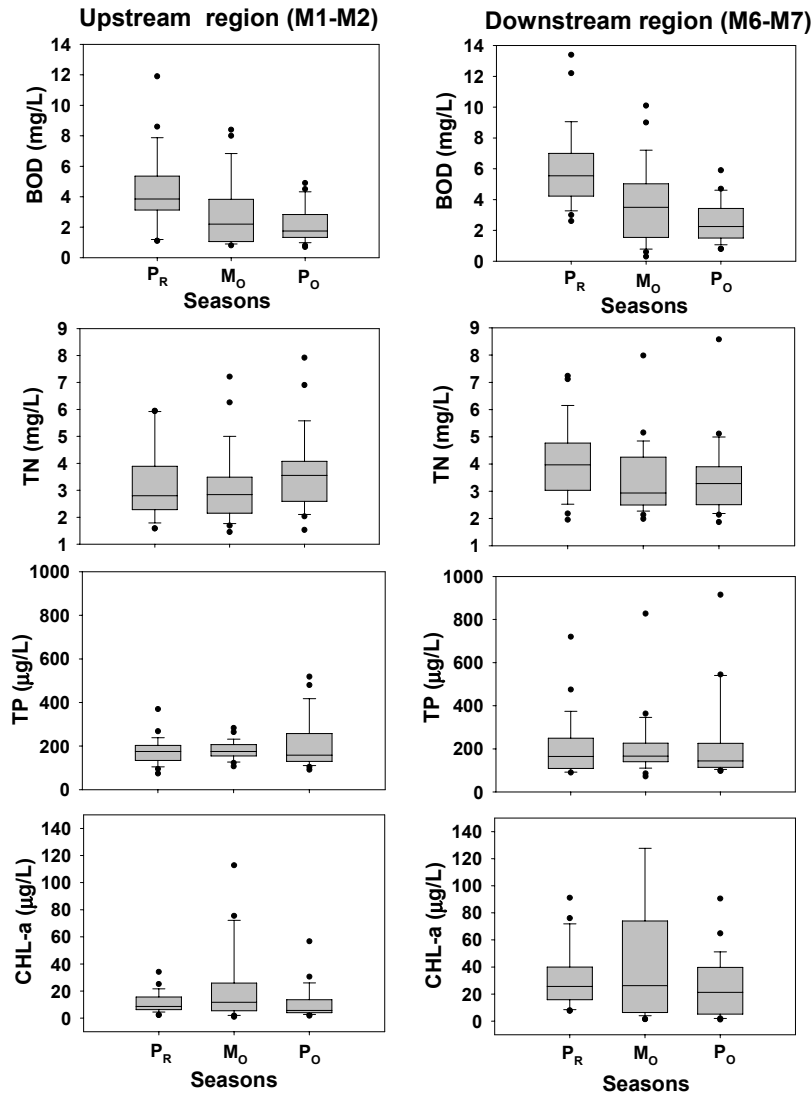


Fig. 6. Seasonal variations of water quality based on Korean monsoon between upstream and downstream regions in Miho Stream. The abbreviations of P_R, M_O and P_O indicate premonsoon, monsoon and postmonsoon, respectively.

준에 따르면 미호천 하류는 부영양화 상태에 해당하며, 금강의 지류들 중에 높은 수준에 해당했다(Rim 등, 2000).

4. 결론

본 연구는 2004 - 2010년 동안 미호천의 7개의 지점을 선정하여 미호천 지류들의 오염 영향 특성과 계

절별 수질 인자 변이 및 하절기 강우에 따른 수질 환경 변화에 대한 역동성을 평가하고자 하였다. 이용된 수질 변수는 질소(N), 인(P), 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 엽록소-a(CHL-a)등 과 같은 8개 수질 항목을 지류 및 본류에서 시간별, 공간별 변화 양상을 분석하였다. 미호천의 공간적 조사 결과에 따르면, 상류역의 BOD, COD 및 TP는 평균 3.2 mg/L, 6.5 mg/L, 186 µg/L로 환경부의 하천수질 기준

Ⅲ등급에 해당하며 이는 주변의 하수종말처리장과 같은 점오염원 및 영양염류농도가 높은 지류인 칠장천(TP = 844 µg/L, TN = 8.087 mg/L)의 복합적 영향으로 평가되었다. 한편, 하류부에서 BOD, TN 및 TP의 평균농도는 중류역의 평균보다 1.2 - 1.5배 높게 나타났으며, 더 심각한 부영양화 특성을 보였는데, 이는 청주 도심을 관류하는 무심천, 석남천(TN: 11.980 mg/L)에 의한 지천 영향 및 인근 하수종말 처리장의 영향으로 나타났다. 본 수계에서 이화학적 수질 분석에 따르면, 하절기 강우는 수질에 크게 영향을 주는 인자로 나타났으며, 조사지점 별로 큰 공간적 이질성을 보였다. 장마 전기에 하류역에서의 BOD는 6.0±2.47 mg/L로써 동일기간 상류보다 오염부하가 1.4배로 크게 나타났다. 금강의 중류역에 위치하며 환경부 수질 목표 미달 지역인 미호천의 수질 개선을 위해서는 본 류와 지류에 대한 효율적 수질관리가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지역대학 우수과학자 지원사업 “분자/생리학적 바이오마커(Biomarker) 및 바이오 인디케이터(Bioindicator)를 이용한 생태평가 모델링(No. 2013 R1A1A4A01012939)”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- An, K. G., Yang, W. M., 2007, Water quality characteristics in Keum river watershed, Korean J. Limnol., 40(1), 110-120.
- Chae, S. J., 1992, A study on water quality at Miho stream, M. Sc. Dissertation, Chongju University, Cheongju, 3-19.
- Cho, H. 2009, Sand-gravel bars of mountainous rivers and their genetic association with geomorphological traits of drainage basin, Ph.D. Dissertation, Korea National University of Education, Chungbuk, 116-121.
- Chung, S. J., Chae, S. J., 2001, Water quality analysis of Miho stream, J. Industrial science researches, 18(2), 37-42.
- Jeon, H. G., 1994, A survey on the water quality and heavy metal contents of the water and plant in Mihochun, M. Sc. Dissertation, Kongju National University, Gongju, 33-35.
- Jeon, H. T., Moon, H. S., Kim, K. H., 1998, Environmental Geography, Seoul National University Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea, 145-171.
- Kang, S. A., An, K. G., 2006, Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan river watershed, Korean J. Limnol., 39(1), 73-84.
- Kim, H. M., Lee, J. H., An, K. G., 2008, Water quality and ecosystem health assessments in urban stream ecosystems, Korean J. Environ. Biol., 26(4), 311-322.
- Kim, J. S., Yang, T. U., Yun, S. J., 2001, Survey of water pollution in Geum river watershed. In: Research report of the environmental status in Chungnam province, Chungnam Institute of Health and Environment, 55-60.
- Kim, T. K., 2004, Assessment of propriety for the river water quality standard of Miho Stream, J. Industrial science researches, 21(2), 189-196.
- Kim, Y. P., An, K. G., 2010, Characteristics of water quality in Hyeongsan river watershed, Korean J. Limnol., 43(1), 150-160.
- Lee, J. H., An, K. G., 2010, Ecological health assessment based on fish assemblages along with total Mercury concentration of *Zacco platypus* in Miho stream, Korean J. Limnol., 43(2), 288-297.
- Lee, M. J., Choi, J. W., Kim, H. M., An, K. G., 2009, Analysis of physical, chemical and biological parameters, based on long term monitoring(2004-2007), in Daejeon stream, Korean J. Limnol., 42(3), 364-373.
- MOE(Ministry of Environment), 2011, Report of the national water quality assessment, 5-66.
- Noh, J. W., Lee, S. U., 2007, Water quality projection of Miho stream considering TMDL, J. Korean Soc. Water Environ., 404-412.
- OECD, 1982, Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 1544.
- Oh, K. S., Yang, J. H., Cho, H., 2011, Geomorphological significance and role of the sand bars of major river valleys in the South Korea -case study on the Nakdong river valleys-, J. Korean Geomorphological Association, 18(2), 10-12.
- Park, S. M., 2009, The impact of monsoon rainfall on

- the changes of water quality in the upstream watershed of Southern Han River, M. Sc. Dissertation, Sangji University, Wonju, 49-50.
- Park, Y. T., 1989, A study on water quality and distribution of benthic algae in the Miho stream, M. Sc. Dissertation, Chongju University, Cheongju, 30.
- Rim, C. S., Shin, J. K., Cho, K. J., 2000, The trend and assessment of water pollution from midstream to downstream of the Kum river, Korean J. Limnol., 33(1), 51-60.
- Shin, S. M., 2001, The research on the water quality of the Miho stream, M. Sc. Dissertation, Korea National University of Education, Cheongwongun, 3-4.
- Son, J. S., 2010, Application of a watershed model for evaluating efficiencies of non-point pollutants reduction facility, M. Sc. Dissertation, Chongju University, Cheongju, 125-128.
- Water management information system(WAMIS), 2007, <http://www.wamis.go.kr>.