

금강수계의 실시간자동측정 자료를 이용한 수질환경인자 간의 상관관계 분석

김영숙^{1,†} · 문현생² · 홍지영² · 김미아² · 김섯별² · 신현주² · 김경현²

¹국립수산과학원 어장환경과, ²국립환경과학원 물환경평가연구과

Analysis of Correlation between Water Quality Parameters using Data from Real-time Automatic Measurement in the Geum River, South Korea

Young-Sug Kim^{1,†}, Hyeon-Saeng Moon², Ji-young Hong², Mi-A Kim²,
Saet-Byul Kim², Hyun-Joo Shin², and Gyung-Hyun Kim²

¹Marine Environment Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-705, Korea

²Water Environment Research Department Water Quality Assessment Research Division,
National Institute of Environmental Research, Incheon, 404-708, Korea

Received February 11, 2015/Revised March 1, 2015/Accepted March 5, 2015

In this study, correlations between seasons and parameters in the Geum River, South Korea, were examined using the hourly measurement data of water quality parameters by a real-time, automatic water-quality monitoring station. Correlations between measures of water quality provided by this station exhibited the same trends as those acquired by manual measurements; in both cases, water temperature showed high correlations with DO and pH. Inflow-pollution-source items (TOC, TP) showed positive correlations with, and were much influenced by, water temperature and precipitation. These two parameters had negative correlations with TN, which acts as a growth-limiting factor for algae. Linear regression analysis revealed that water temperature could be used to explain variations in DO (86.0%), pH (77.4%), TOC (51.7%), TN (39.6%), and TP (34.5%), at most. DO and TOC could explain variations in pH (90.8%) and TP (34.5%), respectively. The daily cycles of change in water temperature, DO, and pH showed trends similar to that of air temperature. Generally, they were highest from 13:00 to 16:00 hours, and lowest from 05:00 to 07:00 hours. The daily differences (largest in summer and smallest in winter) were most apparent in Bonghwangcheon, which is a tributary of the Geum River.

Key words: Water quality, Real-time automatic measurement, Accuracy assessment, Correlation analysis, Daily cycle

1. 서 론

국내외적으로 산업화에 따른 수질오염 사고의 증가로 안전한 물에 대한 요구가 날로 높아지고 있다. 수질 자동모니터링은 상수원과 관련된 공업단지 등에 의한 수질오염 사고에 대비한 시스템으로 기존의 주기별 수질측정 방식의 한계를 보완하여 불시에 발생할 수 있는

수질오염사고에 즉각적으로 대처할 수 있어 사회적·경제적으로 중요하게 대두되었다. 또한, 국내에서도 최근에는 실시간 수질측정장치 개발부분에 있어 활발히 연구가 진행되고 있다.^{1,2)}

국내에서는 전국 주요 상수원 및 오염사고 취약지역 등의 수질상태를 실시간으로 관측하기 위해 환경부에서 1995년부터 “국가수질자동측정망”을 운영하였으며,

[†]To whom correspondence should be addressed.

2014년 현재 전국 하천 및 호소 4대강 주요 지점에 측정소 69개소를 설치하여 운영하고 있다. 측정 자료는 실시간수질정보시스템 (<http://www.koreawqi.go.kr>)을 통해 2013년 1월부터 실시간으로 국민에게 공개되고 있다. 국외에서는 인간의 건강과 생활환경에 미치는 수역 내 수질오염물질을 연속적으로 감시하기 위해 국가 주요 하천을 중심으로 특정 발생원별, 특정 항목별, 또는 특정 기관별로 다양하게 수질 감시를 위한 노력을 추진하고 있다.³⁾ 대부분의 프로그램은 수질변화 경향을 파악하는 것으로 진행하고 있으며, 측정소는 하천의 유용한 자원의 보호와 수질오염 낮춤이라는 목적을 가지고 오염유출에 대한 위험성이 높은 지역에서 영양분의 유입과 전체적 수질영향을 파악할 수 있는 중요한 장소에 위치하고 있다.

수질자동측정망은 적은 비용과 노력으로도 이용할 수 있는 자료가 증가할 뿐 아니라 쉽게 실시간 자료를 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 하천의 수질은 시기별로 다양한 양상을 띠고 있으며, 수질을 결정하는 인자가 매우 다양하고 복잡하여 이들 환경인자들 간의 체계적이고 정량적인 분석결과는 많지 않기 때문에, 하천의 수질을 제대로 평가하거나 이용 관리하기에는 어려움이 있었다. 최근 들어 수질자동측정망 운영의 고도화로 매분 또는 매시간별로 축적된 다량의 자료를 확보할 수 있게 되어, 보다 체계적인 수질 관리 시스템을 기대할 수 있게 되었다. 반면에 무인으로 상시 운영되는 자동시스템의 측정 자료는 정확도 확보에 많은 어려움이 있어 자료의 유용성에서는 아직 한계를 나타내고 있다.

실시간수질측정 자료의 유용성은 자료의 불확실성(uncertainty)과도 관련된다. 이는 대표적인 측정값이 실제적인 특성과 얼마나 잘 합치하느냐에 대한 의심의 정도로서 나타낼 수 있으며, 이러한 불확실성을 최소화하기 위해 수질자동측정기기와 수동측정기기와의 상대정확도 평가 및 이상치 선별을 위한 통계적 방법 적용 등 관련 연구진들의 많은 노력이 수반되고 있다.^{4,5)} 또한 실시간측정 자료의 다양한 수질환경 인자간의 상호특성에 관한 파악은 이러한 실시간측정 자료의 불확실성을 최소화하기 위한 일환일 수도 있다.^{6,7)} 예를 들면 입자성 물질들의 변화특성은 입자성 물질 간에 유사한 상관성을 보이게 되며, 대표적인 예로 EC를 활용하여 유기물을 예측하는 것이다.⁸⁾ 이는 상시 모니터링 문제 발생시 사전적 대처 방안 수립에 중요한 정보를 줄 수 있으며, 수질인자의 정량적 분석이 어려운 경우

나타낼 수 있는 간략화된 모델의 시도 등에도 통상적으로 활용⁹⁾할 수 있어 자료의 활용성을 제고할 수 있는 일련의 방안이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 금강수계 수질자동측정소 4개소에서 얻어진 2013년 1~12월 시간별 자료를 이용하여¹⁰⁾ 물리·화학적 수질환경인자간의 상관성을 분석하여 자료의 정확도 평가와 시간별 및 계절별 변화하는 수질환경 특성에 대해 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상 측정소

금강수계는 우리나라의 6대하천의 하나로서 낙동강, 한강 다음으로 큰 강이며, 본류(244.2 km)와 미호천, 갑천, 논산천 등 지류 국가하천으로 구성되어 있다. 대부분의 지역이 강수량 1,000 mm 이상(대청댐 하류는 1,300 mm 이상)의 강우가 발생하며, 하천수 총 이용량의 65.3%가 생활 및 농업용수로 이용되고 있다.¹¹⁾

금강수계는 총 13개소(2014년 기준)의 수질자동측정소가 운영되고 있으며, 측정소는 시설용량 10,000톤 이상인 정수장의 취수장과 금강권역의 수질 대표성을 나타낼 수 있는 지역 또는 지류의 영향파악을 위한 지역을 중심으로 설치되었다.³⁾ 본 연구에서는 금강 본류를 중심으로 하여 용도지역이 호소인 현도(Hyundo)와 대청호(Daechungho), 그리고 금강 상류에 위치하고 있으며 용도지역이 하천인 이원(Iwon), 봉황천(Bonghwangcheon) 등 총 4개소 측정소 자료를 이용하였다(Fig. 1).

현도 수질자동측정소는 상수원 수질감시 및 수질관리 기능을 가진 대청댐 방류수질 감시를 위한 대표지점이며, 금강수계 내 최대 광역취수장인 현도취수장(98만톤/일)의 상류 및 대청댐 하류 조정지점 내에 위치하고 있다. 댐 하류지점에는 신탄진취수장과 산업용취수장 등이 있다. 대청호 수질자동 측정소는 상수원 수질보호 및 오염사고 대비 감시기능을 가지고 있으며, 금강본류의 대청호 내 회남대교 지점에 위치하고 있다. 하류지점에 금강 최대 상수원에 속하는 대청취수장(14만2천톤/일)이 있으며, 상류에 하수처리장(4곳: 옥천, 안내, 안남, 회북)이 있다.

이원 수질자동측정소는 금강본류인 대청댐 상류의 이원교에 위치하고 있으며, 상수원 수질감시 및 수질관리 기능을 가지고 있다. 하류 4 km에는 영동천이 있으며, 주변에는 옥천취수장(2만톤/일, 하류 4 km)과 영동 하수종말처리장(1만톤, 상류 13 km) 등이 있다. 봉황천



Fig. 1. The map of the four monitoring stations.

수질자동측정소는 금강 합류 약 2 km 지점인 봉황천 하류인 지류에 위치하고 있으며, 상수원 수질관리 및 오염원 관리 기능을 가지고 있다. 상류에는 금산하수처리시설(1만톤, 상류 5 Km)과 금산 일반산업단지 및 금산 산업폐수종말처리시설(15백톤, 상류 1 km) 등이 있다. 이들 4개 측정소는 모두 분류 또는 분류에 근접하고 있어 분류로의 오염물질 유입을 감시하고 있으며, 주요 기능은 상수원 수질 관리로서 주민들의 건강을 지키는 것과도 직결되는 중요한 곳으로 볼 수 있다.

2.2. 연구대상 항목 및 측정방법

수질자동측정망의 측정항목은 측정소의 설치목적과 입지여건 등을 고려하여 구성되어 있으며, 상수원 상류 혹은 측정소 설치 대상 배수구역 및 하천 특성에 따라 달리하고 있다. 기본항목으로 수온(T), 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 그리고 전기전도도(EC) 등 4항목과 생활환경 수질기준 항목인 총유기탄소(TOC), 총질소(TN)와 총인(TP)은 거의 모든 측정소에 설치되어 있으며, 그 외 휘발성유기화합물(VOCs), 중금속, 클로로필-a, 그리고 생물감시장치 등은 측정소 주변 상황에 맞추어 선택적으로 설치되어 있다. 금강수계의 경우 상

수원 수질보호와 오염사고 대비 및 수질관리를 목적으로 측정항목을 선정하였으며, 본 연구에서는 기본항목과 수질기준항목인 총 7개 항목에 대한 측정 자료를 이용하였다.

기본항목은 측정값을 이용하여 물리적 수질상태를 개략적으로 신속하게 유추할 수 있는 이점이 있으며, 측정의 안정성이 높기 때문에 자료의 활용도가 높다. 영양염류의 경우 단기간의 농도 급변에 의한 수질오염 사고 위험성은 매우 낮은 것으로 판단되나, 상수원수의 경우 먹는 물 기준에 NH₃-N과 NO₃-N이 포함되어 있고 하천과 호소의 수질기준에는 TN과 TP가 설정되어 있어, 자료의 활용도 제고를 위해서는 TN과 TP를 측정하는 것이 효과적인 것으로 볼 수 있다. 본 연구대상 측정소에서는 기본항목은 센서형 기기(YSI 6600)를 이용하여 측정된 자료를 5분 단위로 평균하고 있으며, TOC(동일 시마즈 TOC-4110)와 TN(Bran-Luebbe DiaMon TN, Bran-Luebbe PowerMon TN), TP(Bran-Luebbe M90s TP, Bran-Luebbe PowerMon TP)는 분석형 측정 장비를 이용하여 시간별로 평균하고 있다.

측정소의 주요 시설은 채수관로를 포함한 채수시설과 여과장치, 측정 장비로 볼 수 있다(Fig. 2). 국내에서 사용하고 있는 채수방식은 크게 6가지 방식으로 맨홀, 캔틸레버, 가변형 캔틸레버, 바지선, 거치식, 교각부착형 등이 있으며, 수심 약 0.5 m 이내의 표층수를 채집한다. 본 연구대상 측정소에서는 캔틸레버(현도)와 바지선(대청호), 그리고 맨홀(이원, 봉황천)형으로 설치되어 있다(Fig. 2D~2F). 대부분의 채수시설은 집중 강우 시 가동중지가 잦은 문제점을 가지고 있는데, 이는 채수시설의 보호와 협잡물 부착, 여과장치의 막힘 등에 의한 것으로 보고되고 있다.¹²⁾ 그리고 채수시설을 통해 유입된 시료수중 일부는 저류수조에서 기본항목을 측정하고, 일부는 여과장치(pore size 100 μm)를 거쳐 TOC 및 TN, TP 항목을 측정하는 시료로서 이용된다.

기본항목의 측정방법은 4개 항목의 측정센서가 일체형인 다항목 수질측정기를 이용하고 있다. 온도는 Thermistor를 이용하고, EC는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 나타내며, 수중의 이온세기를 전기저항의 역수로 나타낸다. 이온성 오염물질이 함유된 물은 EC가 높게 나타난다. 그리고 pH는 유리전극 형태의 센서로 기본적으로 기전력의 차를 이용하여 수소이온농도를 측정하며, DO는 폴라로그래픽(polarographic) 방식을 이용한 격막전극법을 이용하고 있으며, 막을 통과한 산소분자의 산화환원반응을 측정하여 나타낸다. 분



Fig. 2. Monitoring system and sampling facilities (A: the monitoring station, B: inside the monitoring station, C: measurement system by using YSI 6600 in storage tank, D-F: barges, manhole, and bridge piers types sampling system).

석형 측정항목인 TOC와 TN, TP는 모두 국제·국내 규격(Standard Method, 일본 공해공정시험법, 수질오염 공정시험법)에 준하여 설계되어 있다. TOC의 경우는 기본적으로 총탄소(TC)를 측정하여 무기탄소(IC)를 빼 주는 방법으로 UV산화법(NDIR검출)으로 측정하며, TN과 TP의 측정방법은 흡광도법(카드뮴환원법, 아스코르빈산 환원법)과 자외선흡광도법이 있는데 이는 시료의 특정 파장의 흡광도를 측정함으로써 질소와 인의 양을 알 수 있는 방법이다.

2.3. 측정자료의 처리

측정 자료의 도표처리는 Microsoft Office Excel(ver. 2007 for Windows)를 이용하였으며, 모든 통계처리는 SPSS (ver. 17.0 for Windows)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질환경 현황 및 자료의 정확도 평가

3.1.1. 기본항목

금강수계 4개소 측정소(현도, 대청호, 이원, 봉황천)의 수온, DO, pH, 그리고 EC의 수질자동측정 자료를 이용하여 수질환경 항목의 시간별 분포현황을 조사하였으며, 동일지점 및 동일 날의 수질측정망 자료¹³⁾와 상호 비교하여 자료의 정확도를 평가하였다(Fig. 3, Table 1). 정확도는 실시간으로 자동측정(real-time auto measurement)한 수질자동측정망 자료와 수동분석(manual analysis)한 수질측정망 자료의 선형회귀분석을 통하여

상관성을 분석하고 상관계수 (R)를 이용하여 평가하였다. 수질측정망 자료는 월 1~4회 시료를 채취하여 수질오염공정시험기준에 준하여 실험실에서 분석한 결과이다.¹⁴⁾

실시간자동측정 자료에서 수온은 현도 3.5~23.3°C, 대청호 1.8~32.8°C, 이원 0.3~32.1°C, 그리고 봉황천

Table 1. Linear regression analysis between two kinds of data by T, DO, pH, and EC at the four monitoring stations in 2013 (Dependent variable: manual analysis data, independent variable: real-time automatic measurement data, N is samples number)

| Station | Variable | β | | R |
|--------------------------|----------|--------------|----------|-------|
| | | Coefficients | Constant | |
| Hyundo (N=46) | T | 1.012 | - | 0.987 |
| | DO | 0.793 | 3.787 | 0.889 |
| | pH | 0.600 | 3.429 | 0.539 |
| | EC | 1.574 | - | 0.509 |
| Daechungho (N=12) | T | 0.994 | - | 0.996 |
| | DO | 1.065 | - | 0.969 |
| | pH | 0.866 | - | 0.941 |
| Iwon (N=43) | EC | - | - | 0.414 |
| | T | 0.998 | - | 0.998 |
| | DO | 0.946 | - | 0.852 |
| Bonghwangcheon (N=12) | pH | 0.808 | - | 0.601 |
| | EC | 0.972 | - | 0.931 |
| | T | 1.048 | - | 0.989 |
| Bonghwangcheon (N=12) | DO | 0.623 | 6.701 | 0.918 |
| | pH | - | - | 0.197 |
| | EC | 0.718 | 84.044 | 0.817 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

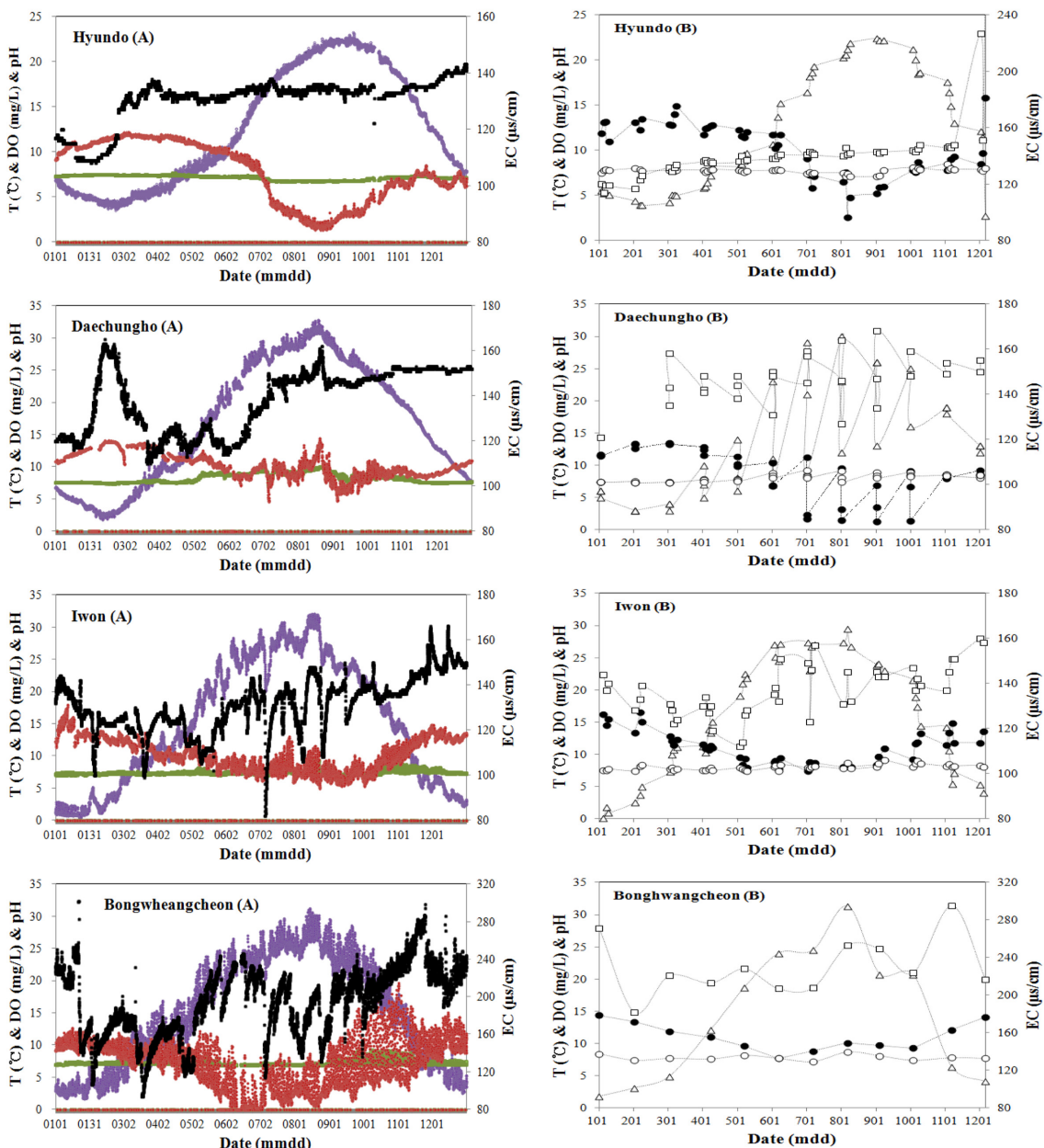


Fig. 3. Plot of two types data at the four monitoring station in 2013 (A: real-time automatic measurement, ●: T, ●: DO, ▲: pH, ■: EC, B: manual analysis, △: T, ●: DO, ○: pH, □: EC).

1.6~31.2°C의 범위로 나타났으며, DO는 현도 1.3~12.1 mg/L, 대청호 4.5~14.4 mg/L, 이원 4.9~17.9 mg/L, 그리고 봉황천 0.2~19.7 mg/L의 범위로 각각 나타났다. 그리고 pH는 현도 6.7~7.6, 대청호 7.0~10.0, 이원 6.8~9.5, 그리고 봉황천 6.8~9.2의 범위로 각각 나타났으며, EC는 현도 108~143 $\mu\text{s/cm}$, 대청호 110

~165 $\mu\text{s/cm}$, 이원 82~166 $\mu\text{s/cm}$, 그리고 봉황천 94~302 $\mu\text{s/cm}$ 의 범위로 각각 나타났다.

수온은 실시간자동측정 및 수동분석 자료 모두 전형적인 온대성 계절분포를 나타내었다. DO는 현도와 봉황천에서 수온과 상반되는 양상을 나타내었으며, 하계인 7~9월에는 수동분석 자료의 경우와 달리 DO가 2.0

mg/L 이하인 빈산소(hypoxia) 상태를 나타내었다.¹⁴⁻¹⁵⁾ EC는 대청댐 내에 위치하는 대청호에서 동계(2월)에 일시적으로 크게 높아진 현상을 보였으나, 두 자료 모두 갈수기인 동계와 춘계에 낮게, 강우기인 하계와 추계로 갈수록 점차 높아지는 양상으로 나타났다(Fig. 3).

실시간자동측정과 수동분석 자료의 상관관계 계수(R)는 수온이 평균 0.99 (0.99~1.00)로 가장 높은 상관도를 보였으며, 그리고 DO 평균 0.91 (0.85~0.97), EC 평균 0.67 (0.41~0.93), pH 평균 0.57 (0.20~0.94) 순으로 나타났다. 일부분을 제외하고, 대체적으로 0.6 이상으로 상관성이 높게 나타났는데, 이는 두 자료 모두 동일한 센서형 측정기기를 이용하여 현장에서 측정하는 항목이기 때문으로 볼 수 있다. 회귀선(β)의 계수(coefficient)는 봉황천의 DO가 0.6으로 완만한 기울기를 보였으며, 수동측정값이 실시간 자동측정값에 비해 낮

은 경향으로 나타났으나 ($R > 0.6$ 기준), 그 외는 1 ± 0.22 로서 상호 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 1).

3.1.2. 수질기준항목

본 연구대상 측정소의 TOC, TN 그리고 TP의 수질 환경 인자의 일별 분포현황을 조사하였으며, 동일지점 및 동일 날의 수질측정망 자료¹³⁾와 상호 비교하여 자료의 정확도를 평가하였다(Fig. 4, Table 2). TOC와 TN, TP는 일주기변동을 보이지 않았기 때문에, 본 연구에서는 시간별 자료를 일별로 평균하여 이용하였다.

TOC는 현도 1.5~2.3 mg/L (평균 1.9 mg/L), 대청호 1.6~3.1 mg/L (평균 2.2 mg/L), 이원 1.0~4.2 mg/L (평균 1.6 mg/L), 그리고 봉황천 1.0~5.8 mg/L (평균 1.6 mg/L)의 범위로 각각 나타났으며, TN은 현도 0.89~2.00 mg/L (평균 1.51 mg/L), 대청호 0.96~2.32 mg/L

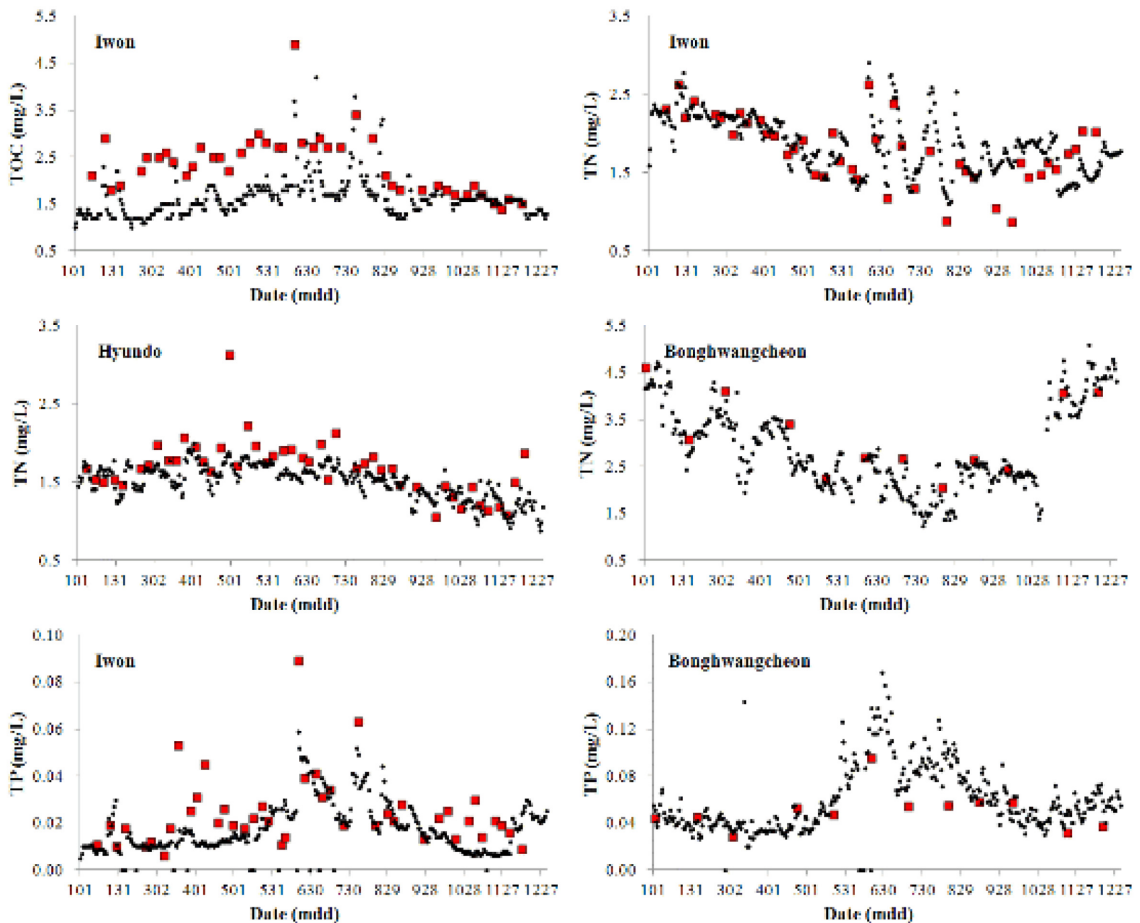


Fig. 4. Plot of two types data at the four monitoring station in 2013 (●: real-time automatic measurement, ■: manual analysis).

Table 2. Linear regression analysis between two kinds of data by TOC, TN, and TP at the four monitoring stations in 2013 (Dependent variable: manual analysis data, independent variable: real-time automatic measurement data, N is samples number)

| Station | Variable | β | | R |
|-----------------------|----------|--------------|----------|-------|
| | | Coefficients | Constant | |
| Hyundo (N=41) | TOC | - | - | - |
| | TN | 1.101 | 0.019 | 0.629 |
| | TP | - | - | - |
| Daechungho (N=11) | TOC | - | - | - |
| | TN | - | - | - |
| | TP | - | - | - |
| Iwon (N=39) | TOC | 1.275 | - | 0.759 |
| | TN | 0.827 | - | 0.772 |
| | TP | 0.834 | 0.009 | 0.661 |
| Bonghwangcheon (N=11) | TOC | - | - | - |
| | TN | 1.083 | - | 0.891 |
| | TP | 0.466 | 0.020 | 0.816 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

(평균 1.59 mg/L), 이원 1.11~2.91 mg/L (평균 1.86 mg/L), 그리고 봉황천 1.23~5.09 mg/L (평균 2.88 mg/L)의 범위로 각각 나타났다. 그리고 TP는 현도 0.00~0.01 mg/L (평균 0.01 mg/L), 대청호 0.01~0.07 mg/L (평균 0.02 mg/L), 이원 0.01~0.06 mg/L (평균 0.02 mg/L), 그리고 봉황천 0.02~0.21 mg/L (평균 0.06 mg/L)의 범위로 각각 나타났다. TOC의 연평균 생활환경 수질등급은 모두 3 mg/L 이하로 “좋은 상태” 이상으로 양호하게 나타났다. 계절별로는 TOC는 하계 강우기(7~8월)에 일시적으로 2 mg/L 초과하는 경우가 있었으나, 그 외는 1~2 mg/L의 범위로 나타났다. TN의 경우 현도에서는 계절적 변동은 보이지 않았으나, 하천지역인 이원과 봉황천에서는 하계에 낮아지는 양상으로 나타났다. 반면에 TP는 하계에 높아지는 상반되는 결과로 나타났다 (Fig. 4).

TOC와 TN, TP 실시간자동측정 값의 범위는 수동분석 값의 경우와 대체적으로 유사하게 나타났으나, 자료 간의 상관성은 기본항목의 경우에 비해 낮게 나타났다. 이는 측정소 시료의 막 여과 처리 등 상호 다른 측정방법에 의한 차이가 클 것으로 생각할 수 있다. TOC는 이원에서 유의성($p \leq 0.05$) 있는 상관관계를 보였으며, 그 외는 유의성이 없는 것으로 나타났다. TN과 TP는 일부 측정소에서 유의성 있는 상관관계를 보였다.

TOC는 이원에서 상관계수(R)가 0.759 ($Y_{\text{manual}} = 1.275X_{\text{auto}} + b$)로서 높은 상관성을 나타내었으며, 수동분석 자료가 실시간자동측정 자료와 일정비로 변동하는 경향으로 나타났다. TN은 봉황천에서 상관계수가

최고 0.891 ($Y_{\text{manual}} = 1.083X_{\text{real-time}} + b$)로서 수동분석과 실시간자동분석 값이 거의 동일한 비(1.083)로 변동하는 것으로 나타났다. TP는 봉황천에서 최고 높은 상관관계($Y_{\text{manual}} = 0.466X_{\text{real-time}} + 0.020$, $R = 0.816$)을 나타내었으며, 수동분석 자료가 실시간자동측정 자료에 비해 0.466배 낮은 것으로 나타났다(Table 2).

3.2. 수질환경인자간의 상관관계 분석

3.2.1. 기본항목

자동측정 자료의 수질환경 기본항목인 수온, DO, pH, 그리고 EC의 인자간 상관성을 분석하기 위해 본 연구에서는 Pearson 상관관계 분석과 수온 및 DO에 대한 각 인자간의 선형 회귀분석을 하였다(Table 3~4).

수온과 DO간 Pearson 상관계수(R)는 0.624~0.927의 범위로 음(-)의 상관관계를 보였으며, 다른 항목에 비해 가장 높은 상관성을 나타내었다. 수온과 pH간은 현도와 봉황천에서 각각 0.880, 0.082로 DO의 경우와 동일하게 음(-)의 상관성을 보였으며, 대청호와 이원에서는 각각 0.874와 0.254로 양(+)의 상관성으로 지역별 상이하게 나타났다. 이는 수동측정 자료에서도 동일한 양상으로 나타났다. 대청호와 같이 하계에 조류가 대량 증식하는 지역은 식물플랑크톤의 광합성 작용에 의해 pH가 증가하기 때문¹⁷⁻¹⁸⁾에, 수온이 증가하면 pH도 증가하는 것으로 생각할 수 있다.

수온과 EC간은 상관계수가 0.030~0.507의 범위로 전체적으로 낮은 상관성을 나타내었다. 그 외 DO와 pH간은 봉황천을 제외하고 상관성($R > 0.7$)이 높게 나타났

Table 3. Correlation matrix between environmental factors as T, DO, pH, and EC by two kinds of data at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number)

| | | | DO | pH | T | EC |
|---------------------------------|---------------------------------|----|-------|--------|--------|--------|
| Real-time automatic measurement | Hyundo (N=8062-8078) | DO | 1.000 | 0.953 | -0.927 | -0.467 |
| | | pH | | 1.000 | -0.880 | -0.524 |
| | | T | | | 1.000 | 0.507 |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Daechungho (N=8128-8351) | DO | 1.000 | -0.322 | -0.686 | -0.302 |
| | | pH | | 1.000 | 0.874 | 0.090 |
| | | T | | | 1.000 | 0.275 |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Iwon (N=8297) | DO | 1.000 | 0.096 | -0.870 | 0.121 |
| | | pH | | 1.000 | 0.254 | 0.281 |
| | | T | | | 1.000 | -0.076 |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Bonghwangcheon (N=8104-8142) | DO | 1.000 | 0.708 | -0.624 | -0.038 |
| | | pH | | 1.000 | -0.082 | 0.054 |
| | | T | | | 1.000 | 0.030 |
| | | EC | | | | 1.000 |
| Manual analysis | Hyundo (N=46) | DO | 1.000 | 0.438 | -0.928 | - |
| | | pH | | 1.000 | -0.368 | - |
| | | T | | | 1.000 | - |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Daechungho (N=36) | DO | 1.000 | -0.368 | -0.458 | -0.496 |
| | | pH | | 1.000 | 0.900 | - |
| | | T | | | 1.000 | - |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Iwon (N=43) | DO | 1.000 | - | -0.913 | - |
| | | pH | | 1.000 | - | 0.506 |
| | | T | | | 1.000 | - |
| | | EC | | | | 1.000 |
| | Bonghwangcheon (N=12) | DO | 1.000 | - | -0.879 | - |
| | | pH | | 1.000 | - | 0.610 |
| | | T | | | 1.000 | - |
| | | EC | | | | 1.000 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

Table 4. Linear regression analysis of the various parameter as T, DO, pH, and EC at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number)

| Station | Variable | | β | | R ² |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|----------|----------------|
| | Independent | Dependent | Coefficient | Constant | |
| Hyundo (N=8062-8078) | T | DO | -0.483 | 13.927 | 0.860 |
| | | pH | -0.034 | 7.590 | 0.774 |
| | | EC | 0.647 | 122.366 | 0.257 |
| | DO | pH | 0.071 | 6.604 | 0.908 |
| | | EC | -1.144 | 139.367 | 0.218 |
| | | DO | -0.144 | 12.721 | 0.470 |
| Daechungho (N=8104-8142) | T | pH | 0.069 | 7.056 | 0.764 |
| | | EC | 0.416 | 131.207 | 0.075 |
| | | pH | -0.123 | 9.496 | 0.104 |
| | DO | EC | -2.246 | 161.261 | 0.091 |

Table 4. Linear regression analysis of the various parameter as T, DO, pH, and EC at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number) (Continued)

| Station | Variable | | β | | R^2 |
|---------------------------------|-------------|-----------|-------------|----------|-------|
| | Independent | Dependent | Coefficient | Constant | |
| Iwon (N=8277-8297) | T | DO | -0.230 | 13.705 | 0.757 |
| | | pH | 0.011 | 7.260 | 0.065 |
| | | EC | -0.095 | 132.601 | 0.006 |
| | DO | pH | 0.015 | 7.265 | 0.009 |
| | | EC | 0.573 | 125.329 | 0.015 |
| | | DO | -0.264 | 11.247 | 0.389 |
| Bonghwangcheon (N=8128-8351) | T | pH | -0.003 | 7.203 | 0.007 |
| | | EC | 0.133 | 192.780 | 0.001 |
| | | pH | 0.066 | 6.673 | 0.502 |
| | DO | EC | -0.401 | 197.693 | 0.001 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

으며, 봉황천의 경우는 DO가 10 mg/L을 초과하는 고농도의 경우에는 DO에 대한 pH의 증가폭이 10 mg/L 이하에 비해 크게 나타났다(Fig. 5). 이는 하계와 추계에 걸쳐 발생하는 조류의 대증식으로 인한 현상으로 볼 수 있다. DO와 EC간은 모든 지역에서 상관성이 낮게 ($R < 0.5$) 나타났다. pH의 경우에도 EC와 상관성($R \leq 0.5$)이 낮게 나타났으나, 수동분석 결과에서는 하천지역인 이원과 봉황천에서 양(+)의 관계로 높은 상관성($R > 0.5$)을 나타내었다(Table 3).

Table 4에서는 각 측정지역에서 선형회귀 분석을 통해 얻어진 회귀분석식(β)과 상관계수(R^2)를 나타내고 있으며, 각 인자간 상관관계 그래프는 Fig. 5에서 나타내었다. 유의수준(p)은 0.01 이하 또는 0.05 이하로 정의하였다. 각 환경인자 간의 회귀분석식은 모두 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 수온에 따라 변화하는 DO는 39.8~86.0%까지 선형회귀선에 적합하고 수온에 의해 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 가장 높은 상관성을 보인 회귀분석식은 현도에서 $Y_{DO} = -0.483X_T + 13.927$ ($R^2 = 0.860$)로 나타났으며, 수온에 따라 DO가 0.483배로 증가하는 양상으로 나타났다. pH의 경우는 현도와 대청호에서 각각 77.4% ($Y_{pH} = -0.034X_T + 7.590$, $R^2 = 0.774$)와 76.4% ($Y_{pH} = 0.069X_T + 7.056$, $R^2 = 0.764$)를 수온(T)으로 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 이원과 봉황천에서는 각각 6.5% ($R^2 = 0.065$)와 1.0% ($R^2 = 0.001$)로 낮게 나타났다.

DO에 따라 변화하는 pH는 최고 90.8% ($R^2 = 0.908$)까지 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 지역별로는 현도 > 대청호 > 이원 > 봉황천의 순으로 나타났다. 호소형이며 조정지땀 내에 위치하는 현도에서 안정적이고

가장 높은 상관성을 나타내었으나, 기상에 의한 영향이 클 수 있는 지류에 위치하는 봉황천은 가장 낮은 상관성을 나타내었다. 일반적으로 지역의 구조적 형태, 조류발생 등 특성에 따라 동일 환경인자간이라도 상관관계가 상이하게 나타날 수 있다. 예를 들면 DO는 유속이 증가하면 용해되는 산소의 확산이 가속되며, 녹조는 pH의 증가를 가속화시킬 수 있다. 본 연구에서는 대청댐의 조정지땀 내부인 현도와 금강본류인 이원에서는 수온에 따라 변화하는 DO의 선형회귀선 계수가 각각 0.483 ($R^2 = 0.86$)과 0.230 ($R^2 = 0.76$)으로 이원에서 현도에 비해 DO의 감소폭이 약 2배 낮은 경향으로 나타났다.

수온에 따라 변화하는 pH의 경우는 현도에서는 7.59 ($T = 0^\circ\text{C}$)로 시작하여 선형회귀선 계수가 0.034 ($R^2 = 0.77$)로 점차 감소하였으나, 대청호에서는 pH 7.06 ($T = 0^\circ\text{C}$)으로 시작하여 0.069 ($R^2 = 0.76$)로 증가하는 양상으로 상반되는 결과로 나타났다. 녹조의 발생이 우려되는 대청호는 수온이 증가할수록 pH도 0.069배로 증가하는 것으로 볼 수 있다.

EC는 이온성 물질등과 같은 전도성에 대한 상관성은 좋으나, 비전도성 물질과의 상관성은 매우 낮다. 비전도성 오염물질이 혼재되어 있는 수체에서는 용존성 물질이라도 EC의 예측 인자로는 부적합하다.⁸⁾ 본 연구에서도 EC와 환경인자간 상관성은 낮게($R^2 < 0.3$) 나타났다. 그리고 기본항목은 측정 자료의 수(N=8062~8351)가 많아 상관성도 높게 나타났으며, 상호 인자를 효과적으로 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2.2. 수질기준항목

자동측정 자료의 수질환경의 TOC, TN, TP의 인자

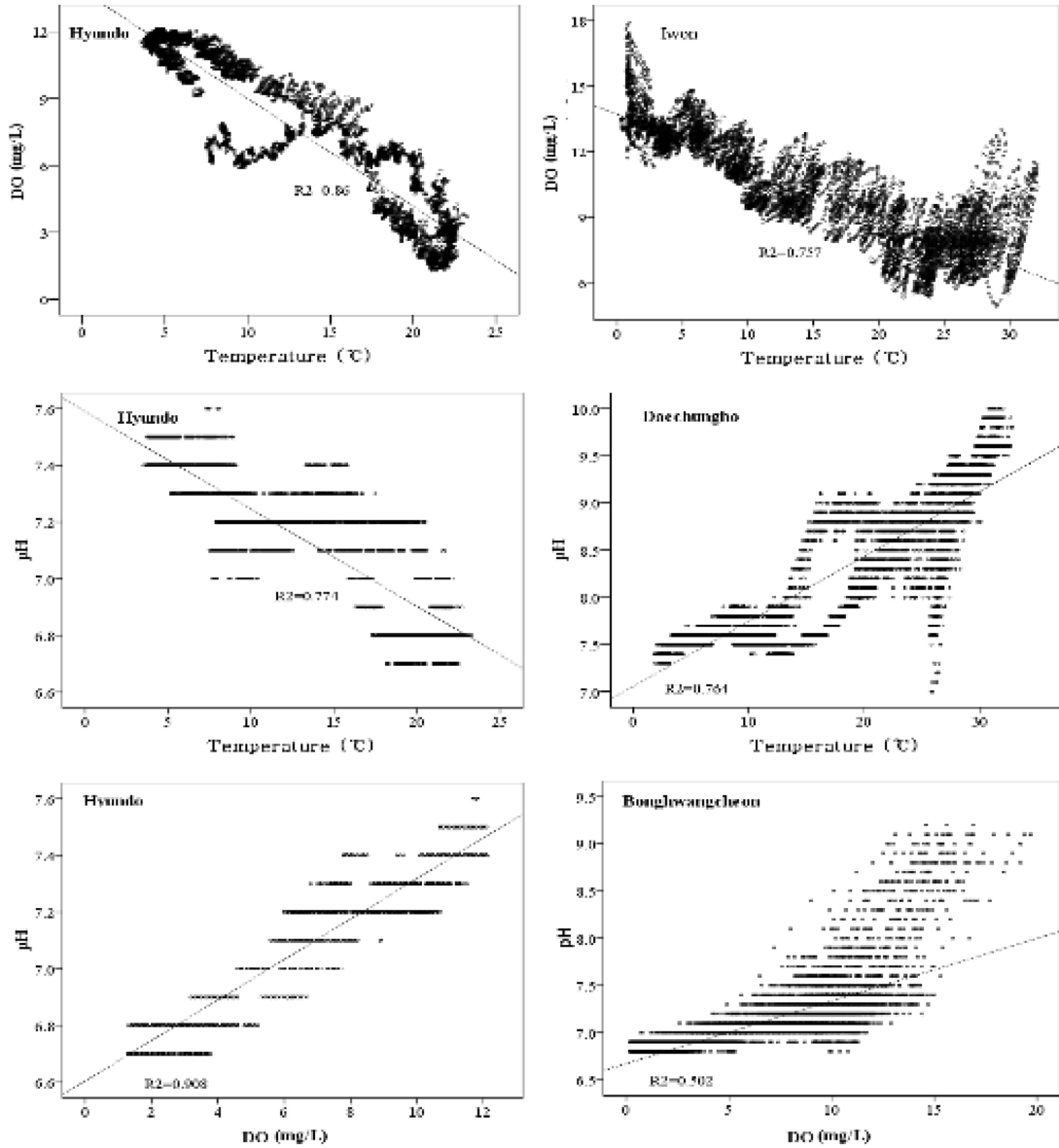


Fig. 5. Correlation between the various parameter as the T, DO, and pH at the four monitoring station in 2013.

간 상관관계와 수온에 따른 상관성을 분석하기 위해 기본항목의 경우와 동일하게 Pearson 상관관계 분석과 수온 및 TOC에 대한 각 인자간의 선형 회귀분석을 하였다(Table 5~6).

TOC, TN, TP는 일반적으로 분석과정이 센서형 측정 방법에 비해 과정이 복잡하여 안정성 있는 자료의 생산이 어려울 수 있으며, 그리고 수온과 TOC, TN, TP의 인자간 상관관계는 계절성을 고려한 강우와 연계

하여 평가 할 수 있을 것으로 생각할 수 있다.

Pearson 상관계수는 기본항목의 경우에 비해 낮게 나타났다. 수온은 대청호에서 TOC와 높은 상관성(R=0.719)을 보였으며, 그 외 지역에서는 낮게 나타났다. 수온과 TP의 경우에는 전 지역에서 양(+의 상관성(R=0.458~0.629), 수온과 TN은 음(-)의 상관성(R=0.214~0.806)을 보였으며, TOC와 TP는 양(+의 상관성(R=0.088~0.608)으로 나타났다. 수동측정 자료는

Table 5. Correlation matrix between environmental factors as T, TOC, TN, and TP by two kinds of data at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number)

| | | | T | TOC | TN | TP |
|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Real-time automatic measurement | Hyundo (N=8062-8078) | T | 1.000 | -0.177 | -0.234 | 0.458 |
| | | TOC | | 1.000 | -0.194 | 0.088 |
| | | TN | | | 1.000 | -0.090 |
| | | TP | | | | 1.000 |
| | Daechungho (N=8012-8351) | T | 1.000 | 0.719 | -0.214 | 0.629 |
| | | TOC | | 1.000 | -0.253 | 0.608 |
| | | TN | | | 1.000 | 0.161 |
| | | TP | | | | 1.000 |
| | Iwon (N=4073-8297) | T | 1.000 | 0.474 | -0.660 | 0.583 |
| | | TOC | | 1.000 | -0.081 | 0.587 |
| | | TN | | | 1.000 | -0.095 |
| | | TP | | | | 1.000 |
| Bonghwangcheon (N=8104-8142) | T | 1.000 | 0.193 | -0.806 | 0.594 | |
| | TOC | | 1.000 | -0.097 | 0.405 | |
| | TN | | | 1.000 | -0.279 | |
| | TP | | | | 1.000 | |
| Manual analysis | Hyundo (N=46) | T | 1.000 | -0.358 | -0.303 | - |
| | | TOC | | 1.000 | 0.423 | - |
| | | TN | | | 1.000 | - |
| | | TP | | | | 1.000 |
| | Daechungho (N=36) | T | 1.000 | - | - | 0.575 |
| | | TOC | | 1.000 | - | 0.347 |
| | | TN | | | 1.000 | - |
| | | TP | | | | 1.000 |
| | Iwon (N=43) | T | 1.000 | 0.442 | -0.592 | 0.374 |
| | | TOC | | 1.000 | - | 0.662 |
| | | TN | | | 1.000 | - |
| | | TP | | | | 1.000 |
| Bonghwangcheon (N=12) | T | 1.000 | - | -0.876 | 0.655 | |
| | TOC | | 1.000 | - | 0.859 | |
| | TN | | | 1.000 | - | |
| | TP | | | | 1.000 | |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

Table 6. Linear regression analysis of the various parameter as T, TOC, TN, and TP at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number)

| Station | Variable | | β | | R ² |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|----------|----------------|
| | Independent | Dependent | Coefficient | Constant | |
| Hyundo (N=8062-8078) | T | TOC | -0.005 | 1.933 | 0.031 |
| | | TN | -0.009 | 1.622 | 0.055 |
| | | TP | 0.000 | 0.004 | 0.210 |
| | TOC | TN | -0.209 | 1.937 | 0.037 |
| | | TP | 0.001 | 0.004 | 0.008 |
| Daechungho (N=7794-7940) | T | TOC | 0.023 | 1.772 | 0.517 |
| | | TN | -0.008 | 1.727 | 0.046 |
| | | TP | 0.001 | 0.003 | 0.396 |
| | TOC | TN | -0.273 | 2.192 | 0.064 |
| | | TP | 0.023 | -0.032 | 0.370 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

Table 6. Linear regression analysis of the various parameter as T, TOC, TN, and TP at the four monitoring stations in 2013 (N is samples number) (Continued)

| Station | Variable | | β | | R ² |
|---------------------------------|-------------|-----------|-------------|----------|----------------|
| | Independent | Dependent | Coefficient | Constant | |
| Iwon (N=3987-7958) | T | TOC | 0.021 | 1.305 | 0.225 |
| | | TN | -0.026 | 2.310 | 0.436 |
| | | TP | 0.001 | 0.008 | 0.339 |
| | TOC | TN | -0.070 | 2.123 | 0.007 |
| | | TP | 0.016 | -0.007 | 0.345 |
| | | TOC | 0.014 | 1.346 | 0.037 |
| Bonghwangcheon (N=7824-7976) | T | TN | -0.087 | 4.180 | 0.649 |
| | | TP | 0.002 | 0.029 | 0.353 |
| | | TN | -0.148 | 3.111 | 0.009 |
| | TOC | TP | 0.019 | 0.029 | 0.164 |

*correlation is significant at the 0.01 or 0.05 level.

수가 적어(N=12~46개) 유의성 있는(p≤0.05) 값은 일부에 불과하지만, 자동과 수동 측정자료 모두 동일한 양상으로 나타났다. 수질환경인자간의 상호거동은 오염도의 정도에 따라 지역별 상이한 양상을 나타내며, 오염도가 높을수록 상관정도 높게 나타난다.¹⁹⁾ 다른 3개 소 지역에 비해 오염도가 낮은 현도의 경우 인자간 상

관성은 낮은 경향을 보였으며, 상관정도 상이하게 나타났다. 대청호와 이원, 봉황천에서는 하계 강우기에 나타나는 비점오염원 유입에 따라 TOC와 TP는 증가하는 경향이었으나, TN은 식물플랑크톤의 증식 제한인자로 작용하여 오히려 감소한 것으로 생각된다(Table 5).

Table 6과 Fig. 6은 환경인자간의 선형 회귀분석을

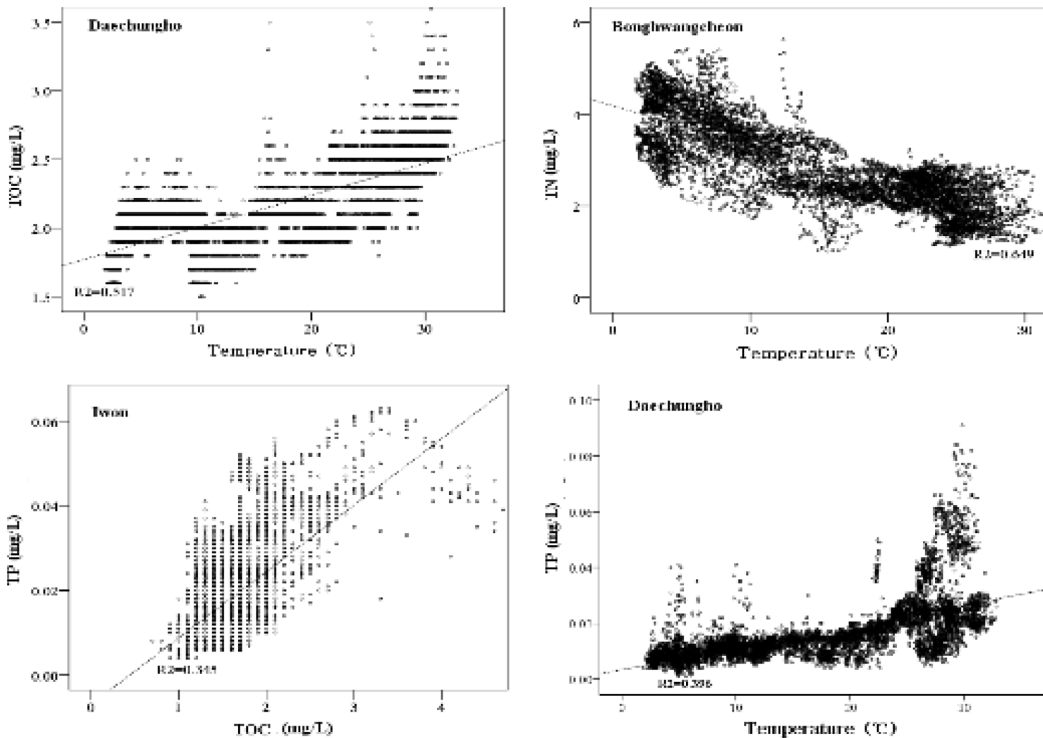


Fig. 6. Correlation between the various parameter as TN, TP, and TOC at the four monitoring station in 2013.

통해 얻어진 결과를 나타내고 있으며, 모두 유의성 있는 수준($p \leq 0.05$)으로 나타났다. 수온에 따른 TOC는 대청호에서 선형회귀선($Y_{TOC} = 0.023X_T + 1.772$)에 51.7% ($R^2 = 0.517$) 적합하고 수온에 의해 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, TN과 TP의 경우는 봉황천과 대청호에서 가장 높은 상관성을 보였으며, 선형회귀선($Y_{TN} = -0.087X_T + 4.180$, $Y_{TP} = 0.001X_T + 0.003$)에 각각 64.9% ($R^2 = 0.649$), 39.6% ($R^2 = 0.396$)를 수온에 의해 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 대청호의 TP는 수온이 25°C 이상인 하계에서는 회귀선을 벗어나는 자료가 많으나, 그 외는 회귀선에 적합한 경향으로 나타났다. TOC에 따른 TP의 변동은 이원에서 가장 높은 상관성을 보였으며, 회귀분석식($Y_{TP} = 0.016X_{TOC} - 0.007$, $R^2 = 0.345$)에 34.5% 적합한 것으로 나타났다. TOC에 따른 TN과의 관계는 모두 낮게 ($R^2 < 0.1$) 나타났으며, 두 인자간은 상호 독립적임을 알 수 있었다.

3.3. 수질환경인자의 일주기 변동

3.3.1. 현도 및 대청호

호소형 지역인 현도 및 대청호의 수질 기본환경 인자인 수온, pH, DO, 그리고 EC의 일주기 변동을 월별로 Fig. 7에서 나타내고 있다. 시간별 값은 매일 동일 시간의 값을 평균하여 월별로 구분하였다. 부영양화 수체의 환경인자 일주기(daily cycle)는 광합성과 호흡의 변동에 의해 나타난다고 보고되고 있으며,²⁰⁻²¹⁾ 그 외는 기온, 유속, 풍속, 강우 등 기상 조건 등이 요인이 될 수도 있다.²²⁾ 일반적으로 수온은 일중 태양 복사 에너지에 의해 밤중에 감소하여 이른 아침에 최저가 되고, 늦은 오후에는 최고 수온을 보이는 일주기변동이 일어난다고 볼 수 있다.

현도와 대청호의 월별 일주기 차(최고수온에서 최저수온을 뺀 값)는 0.29~0.90°C, 0.25~1.77°C의 범위로 각각 나타났으며, 현도는 4월(0.9°C), 대청호는 6월(1.77°C)에 가장 크게, 12월에 가장 낮게 나타났다. 일주기는 두 지역 모두 월별 약간의 차이는 있으나, 태양광의 강도가 가장 센 13:00-16:00에 가장 높게, 06:00-08:00에 가장 낮은 분포를 나타내었다. 이러한 일주기와 일주기 차는 봄과 가을에 크고, 여름과 겨울에 작아 쌍봉형(bi-modal) 형태의 계절변동 경향을 보이는 기온의 일주기와 거의 동일한 양상으로 나타났다.²³⁻²⁴⁾

DO는 정상수체에서는 일출이후 06:00 이후부터 수체내의 식물 및 조류의 광합성 작용에 의해 점차 증가되기 시작한다. 그리고 13:00-15:00에 최고 농도를 나

타낸 후, 서서히 감소하여 밤에는 호흡에 의한 산소 소비로 인해 낮은 농도를 유지한다.²⁵⁾ DO의 일주기차는 현도의 경우 0.12~0.72 mg/L, 대청호는 0.11~1.35 mg/L의 범위로 각각 나타났으며, 계절별 차는 다소 있으나 대체적으로 08:00부터 점차 증가하여 16:00-17:00 경에 가장 높았으며, 점차 감소하여 이른 아침인 05:00-07:00에 가장 낮게 나타났다. 그리고 현도는 6월, 대청호에서는 9월에 일주기 차가 가장 크게 나타났으며, 12월에 가장 낮게 나타났다. 특히 현도의 8~9월의 빈산소 상태($DO \leq 2$ mg/L)는 이른 아침에 가장 심화되는 것으로 나타났으며, 이는 밤사이 발생하는 어류 폐사와도 연관이 높을 것으로 생각할 수 있다.²⁶⁻²⁷⁾

수체에 녹아있는 중탄산이온(HCO_3^-)을 식물성 플랑크톤의 광합성에 필요한 이산화탄소(CO_2)를 소비하면서, 생성되는 수산화 이온(OH^-)은 pH를 상승시키는 요인이 될 수 있다. 특히 호소와 같이 정체된 수계에서는 광합성이 최고조에 달하는 정오경에는 pH의 수치도 최고를 나타내며,²⁸⁻²⁹⁾ 하계에 나타나는 수온성층은 이러한 변화를 더욱 크게 하는 요인이 되고 있다. 대청호는 하계(6~8월)에 평균 9 이상으로 높은 분포를 보였으며, 일주기 차도 가장 크게 나타났다. 식물플랑크톤의 밀도가 낮은 동계(12~2월)에 가장 낮게 나타났다. 현도는 대청호와 반대로 하계(6~8월)에 평균 7 이하로 낮은 분포를 보였으며, 2~4월에 높게 나타났다. 일주기차는 6월에 가장 크게, 그 외는 0.1 미만으로 낮게 나타났다. pH의 일주기는 대체적으로 DO의 경우와 유사하게 나타났으며, 16:00-17:00에 가장 높았다. 그리고 점차 감소하여 이른 아침인 05:00-07:00에 가장 낮게 나타났다. 대청담 방류수의 영향을 직접적으로 받는 현도는 0.02~0.11의 범위로 일중 거의 유사한 양상으로 나타났으며, 대청호는 0.02~0.47의 범위로 현도에 비해 높게 나타났다.

EC는 현도의 경우는 평균 138.1 μ s/cm, 대청호는 130.4 μ s/cm로 각각 나타났으며, 일주기차는 모두 1% 내외로 일중 유사한 경향으로 나타났다.

3.3.2. 이원 및 봉황천

하천형 지역인 이원 및 봉황천의 수질 기본환경 인자인 수온, pH, DO, 그리고 EC의 일주기 변동을 월별로 Fig. 8에서 나타내고 있다. 이원과 봉황천의 일중 수온의 차는 0.71~1.86°C, 1.53~4.73°C로 각각 나타났으며, 이원은 6월(1.86°C)에 가장 크게, 동계인 1월과 12월에 0.71°C로 가장 적게 나타났다. 봉황천에서는 3월 (4.73

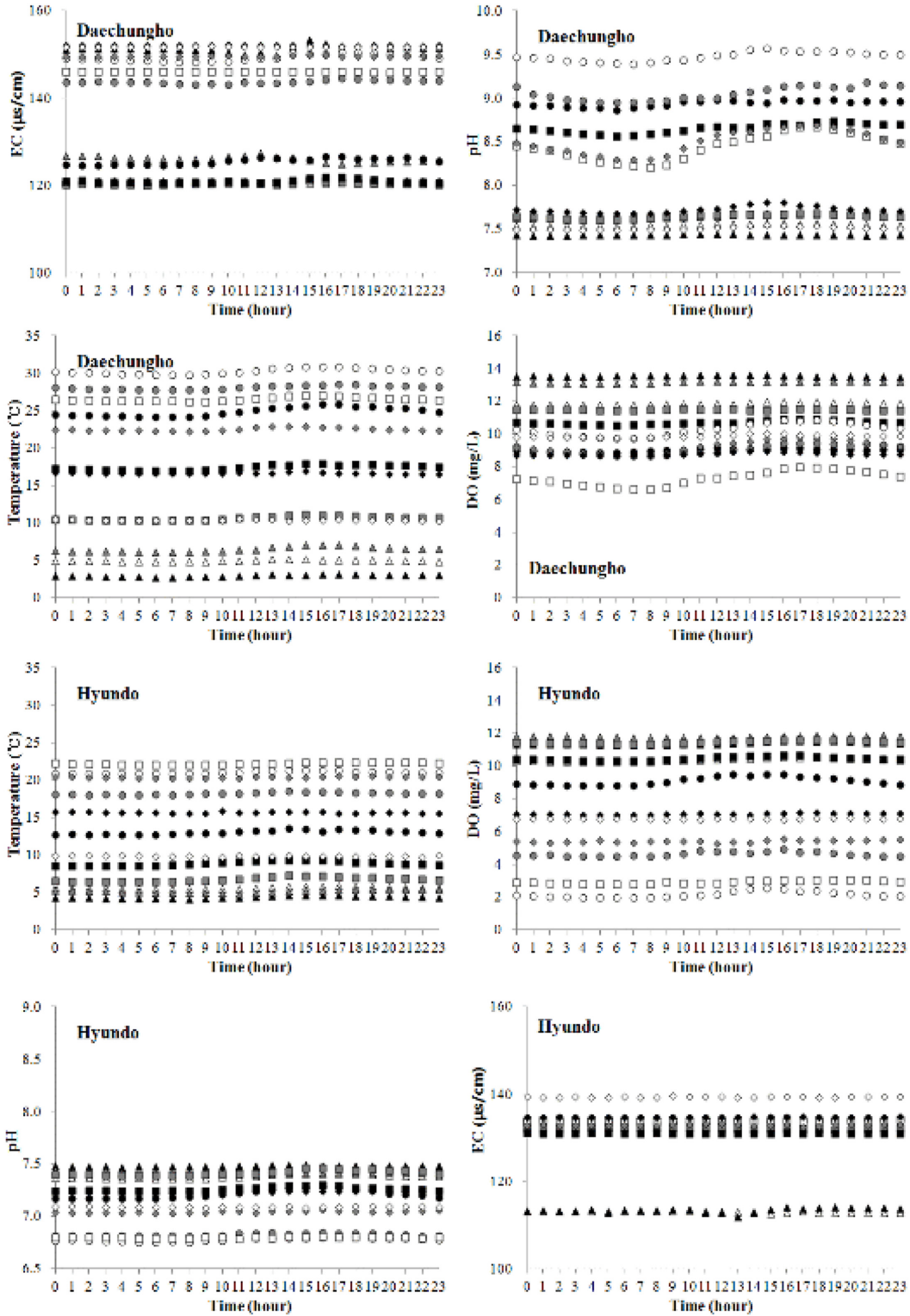


Fig. 7. Hourly and monthly distributions of the various parameter as T, DO, pH, and EC at the Hyundo and Daechungho in 2013 (△: Jan, ▲: Feb, ▲: Mar, ■: Apr, ■: May, ●: Jun, ●: Jul, ○: Aug, □: Sep, ◆: Oct, ◆: Nov, ◇: Dec).

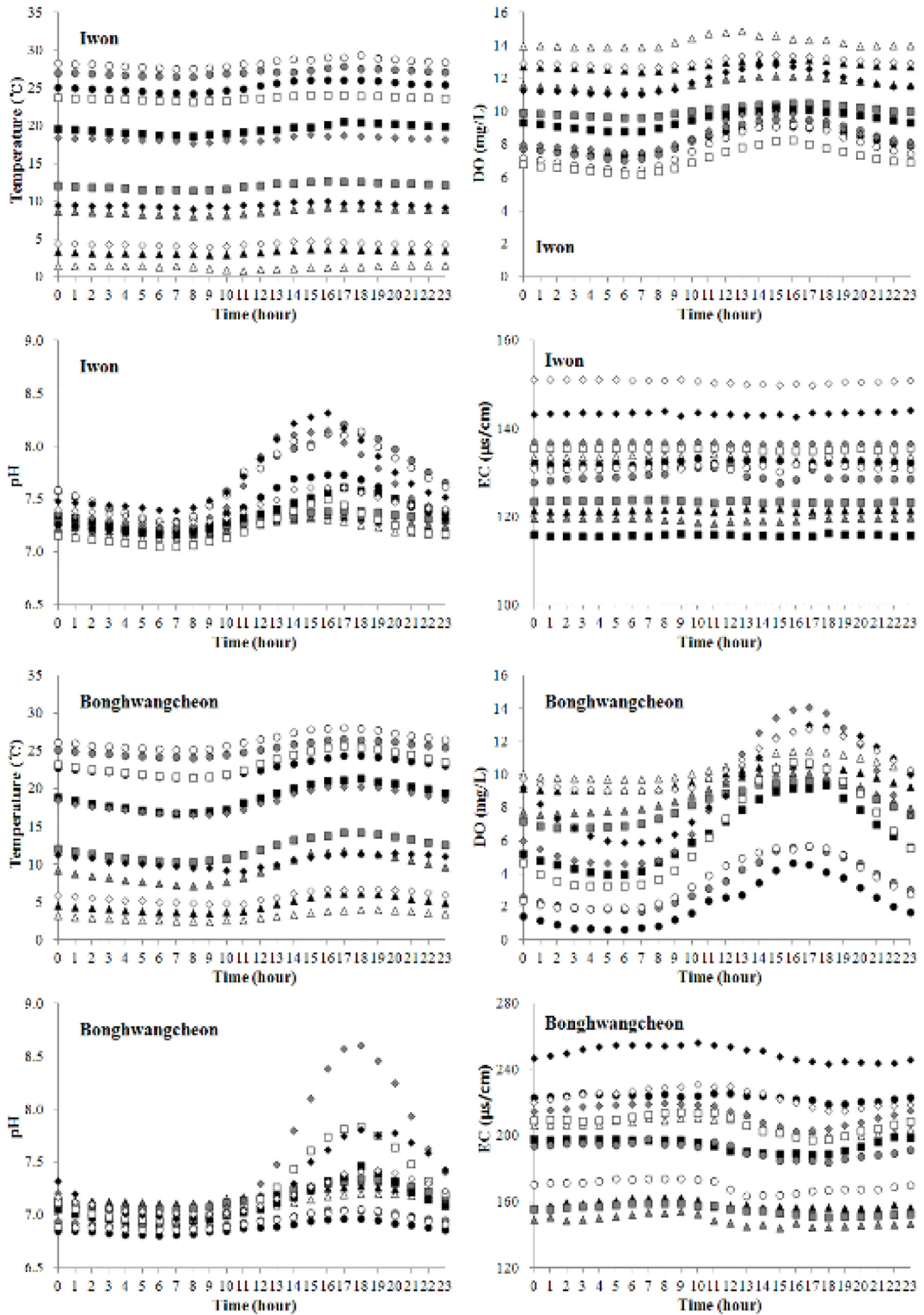


Fig. 8. Hourly and monthly distributions of the various parameter as T, DO, pH, and EC at the Iwon and Bonghwangcheon in 2013 (△: Jan, ▲: Feb, ▲: Mar, ■: Apr, ■: May, ●: Jun, ●: Jul, ○: Aug, □: Sep, ◆: Oct, ◆: Nov, ◇: Dec).

°C)과 5월 (4.61°C)에 크게 나타났으며, 동계인 1월 (1.53°C)과 12월(1.95°C)에 낮은 차를 나타내었다. 이원과 봉황천은 하천형 지역으로 호소형인 현도와 대청호보다 수심이 낮아(1~2 m)³⁰⁾ 일주기 변동이 크게 나타났으며, 일주기는 두 지역 모두 계절별 약간의 차이는 있으나 15:00-16:00에 높게, 08:00-09:00에 가장 낮게 나타났다. 현도와 대청호에 비해 주기가 약 1시간 늦은 경향으로 나타났다.

DO의 일주기차는 0.75~2.77 mg/L (이원), 1.58~9.48 mg/L (봉황천)의 범위로 각각 나타났으며, 대체적으로 08:00부터 점차 증가하여 14:00-16:00에 가장 높았으며, 점차 감소하여 06:00-07:00에 가장 낮게 나타났다. 그리고 이원은 8월(2.77 mg/L), 봉황천은 9월(7.49 mg/L), 10월(9.48 mg/L), 그리고 11월(7.13 mg/L)에 일주기 차가 크게 나타났으며, 그리고 두 지역 모두 2월에 가장 적게 나타났다. 봉황천은 하계 6~8월 빈산소 상태(DO ≤2 mg/L)를 보였으며, 이는 현도의 경우와 동일하게 새벽에 가장 심화 되는 것으로 나타났다. 6월의 경우에는 1 mg/L 이하의 무산소 상태에 가까운 낮은 농도를 나타내었다.

pH는 이원에서는 하계인 7월(7.70)과 8월(7.69), 그리고 추계인 11월(7.71)에 가장 높게 나타났으며, 일주기차는 0.18~0.93의 범위로 하계(7월 0.92, 8월 0.86)와 추계(10월 0.93, 11월 0.92)에 차가 크게 나타났으며, 동계와 춘계(1~4월)에 0.2 이하로 적게 나타났다. 봉황천의 일주기차는 0.15~1.60의 범위로 10월(1.60)에 가장 크게 나타났으며, 동계인 1월(0.15)과 2월(0.17)로 가장 적은 차를 보였다. 평균 pH는 하계(6~8월)에 7 이하로 낮은 분포를 보였으며, 10월에 7.53으로 가장 높게 나타났다. 일주기는 호소 지역과는 상이하게 18:00-19:00 경에 가장 높았으며, 점차 감소하여 이른 아침인 05:00-07:00에 가장 낮게 나타났다. 봉황천은 하계 강우기 영향을 직접적으로 받을 수 있는 지류형 하천으로 오염도가 가장 높으며, 수온이 증가하면 식물플랑크톤의 대량 증식이 발생하는 등 환경요인이 상호 복잡하게 작용하여 일주기의 변동도 가장 크게 나타난 것으로 볼 수 있다.

EC는 이원과 봉황천에서 연 평균 131.08 μs/cm, 195.16 μs/cm로 각각 나타났다. 일주기차는 이원은 0.56~3.95 μs/cm의 범위로 7월에 3.95 μs/cm (3.1%)로 가장 높게 나타났으나, 대체적으로 1% 내외로 일중 유사한 경향으로 나타났다. 봉황천은 6.41~17.17 μs/cm의 범위로 다른 3개소 지역에 비해 가장 큰 차를 보였

으며, 9월에 11.95 μs/cm (8.3%)로 가장 크게, 2월에 6.63 μs/cm (2.9%)로 가장 적게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 “국가수질자동측정망”의 시간별 측정 자료(2013년)를 이용하여 계절별 수질환경 변동특성에 대해 알아보려고 하였다. 그리고 자료의 통계분석으로 정확도를 평가하였으며, 수질환경인자간 상관성을 분석하였다. 자료의 정확도는 수질측정망 자료와의 선형회귀선의 상관계수(R)로 평가하였다.

기본항목은 수온이 평균 0.99로 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 그리고 DO(0.91) > EC(0.67) > pH(0.57) 순으로 나타났으며, 대체적으로 ±22% 이내로 정확도가 높게 평가되었다. TOC와 TN, TP는 수동분석 자료의 범위와 유사하나 자료간의 정확도는 기본항목에 비해 낮게 나타났으며, TOC는 수동분석 자료가 1.275배 높게, TN은 상호유사하게, TP는 수동분석 자료가 0.466배 낮게 나타났다.

Pearson 상관관계 분석에서 얻어진 수질환경인자간의 상관성은 수동분석 자료의 경우와 동일한 양상을 나타내었다. 수온은 DO와 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 수온과 pH 간은 현도(-), 대청호(+),에서 높은 상관성을 나타내었으나, 방향성은 상이하게 나타났다. 그 외 DO와 pH간은 봉황천을 제외하고 높은 상관성을 보였으며, EC는 다른 인자와 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 수온과 TOC, TN, TP의 인자간 상관계수는 기본항목의 경우에 비해 낮게 나타났으며, 대체적으로 수온은 TOC와 TP는 양(+),의 상관성, TN과는 음(-)의 상관성으로 나타났다. 그리고 TOC는 TP와 양(+),의 상관성으로 나타났다.

각 환경인자 간의 선형회귀분석은 모두 유의성이 있는 것으로 나타났다. 수온에 따라 변화하는 DO는 최고 86.0% (R²=0.860), pH는 최고 77.4% (R²=0.774)가 선형회귀선에 적합하고 수온에 의해 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 DO는 pH를 최고 90.8% (R²=0.908)까지 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 회귀분석식(β)의 계수와 상수는 지역별 환경특성에 따라 차이가 크게 나타났다. 수질기준항목의 경우에는 수온에 따른 TOC는 대청호에서 선형회귀선에 51.7% (R²=0.517), TN과 TP의 경우는 봉황천과 대청호에서 각각 64.9%, 39.6%를 수온에 의해 가장 잘 설명할 수 있는 것으로 나타났다. TOC에 따른 TP의 변동은 이원에서

가장 높은 상관성을 보였으며, 선형회귀선에 34.5% 적합한 것으로 나타났다. TOC에 따른 TN과의 관계는 모두 낮게($R^2 < 0.1$) 나타났으며, 두 인자간은 상호 독립적인 관계로 나타났다.

수온의 일주기 차는 전 지역에서 춘계인 3~6월에 가장 크게, 동계인 1월과 12월에 가장 낮게 나타났다. 일주기 변동은 기온의 경우와 거의 동일한 양상으로 태양광의 강도가 가장 센 13:00-16:00에 가장 높게, 06:00-08:00에 가장 낮게 나타났다. DO의 일주기차 및 일주기는 지역별, 계절별로 약간의 차이는 있으나 대체적으로 하계와 추계에 걸친 6~10월에 가장 높게, 동계인 2월과 12월과 가장 낮게 나타났으며, 08:00부터 점차 증가하여 16:00-17:00 경에 가장 높았으며, 점차 감소하여 이른 아침인 05:00-07:00에 가장 낮게 나타났다. 특히 하계의 빈산소 상태($DO \leq 2$ mg/L)는 이른 아침에 가장 심화 되는 것으로 나타났다. pH의 일주기차는 DO의 경우와 유사한 양상으로 나타났다. EC의 일주기차는 1% 내외로 일중 유사한 양상을 보였으며, 봉황천은 다른 3개소 지역에 비해 가장 뚜렷한 일주기 변동을 나타내었다. 봉황천에서 9월에 8.3%로 가장 높게 나타났다.

감사의 글

자료를 제공해주신 국립환경과학원 관계자 여러분께 감사를 드립니다. 많은 조언을 해주신 심사위원님께 감사를 드립니다. 본 연구는 국립수산과학원 어장환경모니터링(RP-2015-ME-010) 과제에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 방재현, 박선구, 박성호, 홍금용, "ASV에 의한 중금속 측정시 유기물 방해를 효과적으로 처리 가능한 전처리 장치 개발 및 적용", *한국환경분석학회지*, **2014**, 17, 236-243.
- 이미나, 김윤석, "전자코를 이용한 한국 수계별 원수 패턴 특성 분석", *한국도시환경학회지*, **2014**, 14, 187-194.
- 국립환경과학원, "수질자동측정망 측정항목 및 경보기준의 합리적 조정방안 연구", **2006**, 136-147.
- 임병진, 홍은영, 김현욱, "수질자동측정망 자료의 신뢰성 제고를 위한 정도관리", *한국하천호수학회지*, **2010**, 43, 338-344.
- 임병진, 홍은영, 연인성, "수질자동측정망 자료의 항목별 이상치 비교 분석", *한국물환경학회지*, **2010**, 26, 700-706.
- 박현진, 차연화, "합천호 상류수계의 수질인자간 상관관계에 관한 고찰", *대한환경공학회지*, **2013**, 35, 94-100.
- 장인수, 정진경, 박기범, "수계 상하류의 유량 및 수질 상관관계 분석", *한국환경과학회지*, **2010**, 19, 771-778.
- 서인석, 김연권, 김홍석, 김지연, "하수처리장 실시간 유입수COD 추정을 위한 부유물질(SS), 전기전도도(EC) 및 OUR의 활용성에 관한 연구", *한국수처리학회지*, **2013**, 21, 27-36.
- 최양호, 노영재, 성기탁, 장대수, "연속관측 자료를 활용한 용존산소 수지모델 연구", *한국자연보호학회지*, **2013**, 7, 109-119.
- 국립환경과학원, <http://www.koreawqi.go.kr>, **2014**, 10월.
- 국토해양부, "4대강 종합정비 기본계획 수립을 위한 연구", **2009**, 320-337.
- 한국환경공단, "2013년 국가수질자동측정망 설치운영 사업결과보고서", **2014**, 25-74.
- 국립환경과학원, <http://water.nier.go.kr>, **2014**, 11월
- 환경부, "2013 수질측정망 운영계획", **2013**, 3-11.
- A. Ram, J. R. M. Jaiswar, M. A. Rokade, S. Bharti, C. Vishwasrao, and D. Majithiya, "Nutrients, hypoxia and mass fishkill events in Tapi Estuary, India", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **2014**, 148, 48-58.
- C. Rabouille, D. J. Conley, M. H. Dai, W. J. Cai, C. T. A. Chen, B. Lansard, R. Green, K. Yin, P. J. Harrison, M. Dagg, and B. McKee, "Comparison of hypoxia among four river-dominated ocean margins: The Changjiang (Yangtze), Mississippi, Pearl, and Rhne rivers", *Continental Shelf Research*, **2008**, 28, 1527-1537.
- 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭, "낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석", *Algae*, **2002**, 17, 105-115.
- 김종민, 한명수, 정원화, 박준대, "팔당호에서 식물플랑크톤 군집 동태와 수질과의 상관성", *Korean Journal of Limnology*, **2005**, 38, 217-224.
- 한아원, 홍선화, 황순홍, 김동호, 이준배, 이영준, "금강수계 소유역내 수질 변화 분석-소하천을 대상으로-", *한국환경농학회지*, **2012**, 31, 328-343.
- J. D. Lundquist and D. R. Cayan, "Seasonal and spatial patterns in diurnal cycles in stream flow in the western United States", *American Meteorological Society*, **2002**, 3, 591-603.
- J. Talling and J. Lemoalle, "Ecological dynamics of tropical inland waters", *Cambridge University Press*, **2006**, 10-438.
- I. Tadesse, F. B. Green, and J. A. Puhakka, "Seasonal and diurnal variations of temperature, pH and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater

- pond system treating tannery effluent”, *Water Research*, **2004**, 38, 645-654.
23. 이정용, “한반도 지역의 환경시험 온도 일주기 연구”, *한국군사기술학회지*, **2007**, 10, 62-70.
 24. 조아라, 서명석, “남한에서 일 최고최저기온 및 일교차의 주에서 월내 변동성 및 변화 경향”, *기후연구*, **2010**, 5, 189-201.
 25. M. B. Pescod and D. D. Mara, “Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds”, *Treatment and use of sewage effluent for irrigation*, UK, **1988**, 93-115.
 26. 이은형, 서동일, 황현동, 윤진혁, 최재훈, “도시 하천에서의 어류 폐사 원인 분석 II - 자동수질장치 및 수질 모델의 사용”, *상하수도학회지*, **2006**, 20, 585-594.
 27. 이재용, 이광열, 이새로미, 최재석, 이석중, 정성민, 정명숙, 김범철, “어류폐사의 발생 이후 하천에서 수질의 변화 및 어류상 회복”, *한국하천호수학회*, **2013**, 46, 154-165.
 28. A. S. Bhuiyan, S. Akther, and M. M. A. Quddus, “Diurnal vertical migration of some cladocerans in relation to the physico-chemical factors in a fish pond”, *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, **2011**, 20, 147-154.
 29. P. Ojha and A. K. Mandloi, “Diurnal variation of pH in fresh water fish culture pond”, *Ecology, Environment and Conservation*, **2004**, 10(1), 35-36.
 30. 국토교통부, <http://www.wamis.go.kr>, **2014**, 11월.