

삽교천유역의 용존산소 추세

Dissolved Oxygen Trend in Sapgyo Stream Watershed

임 창 수*

Rim, Chang-Soo

Abstract

In this study, monthly and seasonal dissolved oxygen trends of 19 water quality measurement stations in Sapgyo stream watershed were analyzed using monthly dissolved oxygen (DO) data measured for 16 years (1995~2010). Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator were carried out for trend analysis. Furthermore, Sapgyo stream watershed was divided into four different sections (Sapgyo stream, Muhan stream, Gykgyo stream, and Sapgyo lake) and chi-square test of homogeneity for DO trend was carried out for four different sections. The study results indicated that most of water quality measurement stations showed increasing or non-significant trend of DO on a monthly and seasonal basis. The chi-square test of homogeneity for each water quality measurement station showed the statistical homogeneity in seasonal DO trend; however, the test results showed the statistical non-homogeneity in monthly DO trend for the stations located in the reservoir. Overall, the dissolved oxygen trend in each water quality measurement station showed different patterns depending on the location of each station and season.

Keywords : dissolved oxygen trend, watershed, water quality, homogeneity test

요 지

본 연구에서는 삽교천유역에 위치한 19개 수질관측지점의 16년간(1995~2010) 월별 용존산소(dissolved oxygen: DO) 자료를 이용하여 월별 및 계절별 용존산소 추세를 분석하였다. 추세분석을 위해 Mann-Kendall 추세분석과 Sen's slope 방법을 적용하였다. 또한 삽교천 유역을 4개 구역(삽교호, 삽교천본류, 무한천 및 곡교천)으로 구분하여 카이스퀘어 동질성 검정(chi-square homogeneity test)을 실시하여 각 구역의 월별, 그리고 계절별 용존산소추세의 동질성 유무를 분석하였다. 분석결과 대부분 수질관측지점의 월별, 계절별 용존산소는 증가추세를 보이거나 혹은 유의한 추세를 보이지 않았다. 또한 삽교천유역 수질관측지점들의 계절별 용존산소추세는 서로 동질성을 보인 반면에 월별 용존산소추세는 수질관측지점이 저수지에 위치한 지점의 경우 동질성을 보이지 않았다. 전반적으로 삽교천 유역 수질관측지점의 용존산소 추세는 각 수질관측지점의 위치와 계절에 따라서 다른 양상을 보였다.

핵심용어 : 용존산소 추세, 유역, 수질, 동질성분석

1. 서 론

하천 수질은 도시화에 따른 인구증가와 산업 발달로 인해 오염도가 증가하게 된다. 또한 최근 기후변화에 따른 연중 강수현상의 변화로 인해 하천유출 특성이 달라지고,

이는 하천 수질에 직접적인 영향을 미치고 있다. 따라서 하천유역의 수질변화 특성을 파악하고, 지점별 수질변화 추세의 동질성을 파악하는 것은 효율적 유역 수질관리를 위해 필요하다. 국외의 경우 과거 다수의 연구자들이 하천 수질 추세분석과 관련하여 비모수분석을 실시한 바 있다

* 경기대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (e-mail: csrim@kgu.ac.kr, Tel: 031-249-9740)

Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, San 94-6, Iui-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

(Lee, 1995; Robson and Neal, 1996; Hamill and McBride, 2003; Ravichandran, 2003; Kahya and Kalayci, 2004; Daugney and Reeves, 2006; Tabari et al., 2008; Chang, 2008; Chang et al., 2010; Cheng et al., 2011). 이와 관련된 과거 해외 연구사례로서 Smith et al. (1996)은 뉴질랜드와 South Island에 위치한 77개 하천에서 1989년부터 1993년까지 관측된 14개 항목의 월별 수온 및 수질자료를 이용해 하천의 전반적인 수질추세분석을 실시한 바 있다. 하천수질이 계절적 영향을 받는다는 점을 고려하여 Soulsby et al. (2001)은 1985년부터 1997년까지 스코트랜드 Cairngorms의 4개의 하천에서 관측된 수질자료들의 추세분석을 위해 seasonal Kendall 추세분석을 실시하였다. 하천뿐만 아니라 저수지물의 산성도 추세분석을 위해 선형회귀분석과 seasonal Kendall 추세분석이 실시된 바 있고(Monteith et al., 2001), 지역별 수질추세분석을 위해 군집분석이 수행된 바 있다(Vega et al., 1998; Simeonov et al., 2003).

국내의 경우 Lee (1995)는 한강 팔당에서 9년간 관측된 월별 COD자료를 이용해 비모수통계분석 방법들을 비교 검토한 바 있다. 또한 Yu et al. (2010)은 낙동강유역의 수질관리 계획에 따른 수질관리효과를 알아보기 위해 NTrend 1.0 program을 이용하여 고령과 물금취수장 BOD추세를 분석한 바 있다. Chang et al. (2010)은 남한강수계 수질추세를 평가하였으며, 유역별로 수질추세가 다르게 나타나 유역별로 수질관리가 필요하다고 발표하였다. 유역 내 토지이용조건이 하천수질에 미치는 영향연구에서 Yi and Park (2005)은 용담호 유역의 산림지역 오염부하량이 강우특성과 밀접한 상관이 있는 것으로 보고하였다. Yoon et al. (2007)은 금강수계 소유역별 수질특성 분석을 위해 요인분석과 회귀분석을 적용하였다. Chang (2008)은 한강유역에서 수질자료 추세와 유역 내 지리적 특성과의 상관성을 분석하기 위해 GIS자료를 활용하였다. 또한 비모수통계기법으로서 Sen's slope 분석을 이용한 수질변화량 분석도 과거 많은 연구자들(Darken, 1993; Daugney and Reeves, 2006; Tabari et al., 2008)에 의해서 적용된 바 있다.

과거 국내·외에서 수행된 연구를 검토한 결과 하천수질 추세분석을 위해 주로 주요 관측지점에서 단기간 관측된 수질자료를 이용하여 분석이 수행되었다. 본 연구에서는 삼교천유역의 본류 및 지류에 위치한 19곳의 수질관측지점의 월별 그리고 계절별 용존산소 추세를 분석을 위해 Mann-Kendall 추세분석과 Sen's slope 분석을 수행하였다. 또한 각 수질관측지점의 용존산소추세가 지점별 그리고 계절별로 동질성이 있는지를 분석하였다. 하지만 향후 연구에서는 수질관측지점 용존산소추세의 지점별 및 계절

별 동질성 유무에 따른 그 원인을 구체적으로 규명하기 위해, 월 및 계절별 삼교천유역 각 지류의 토지이용변화와 오염원분포를 동시에 고려하여 분석하는 것이 필요하다.

2. 연구방법

2.1 연구유역 및 자료

본 연구 대상유역인 삼교천 유역은 유역면적이 1,670 km² 이고 유로연장 65km이다. 삼교천유역은 크게 삼교천, 무한천, 곡교천수계로 구성되어 있으며, 유역 내에는 예당저수지와 그 외 다수의 농업용 저수지가 있다. 삼교천의 발원지는 충남 홍성군 장곡리 기러기재이며, 청양군 비봉면에서 발원한 무한천 그리고 차령에서 발원한 곡교천과 합류하여 삼교호를 이루고, 아산만을 통해 서해로 유출된다(Fig. 1).

연구에 사용된 용존산소(dissolved oxygen: DO)자료는 환경부에서 관리하는 물환경정보시스템에서 제공하는 자료로서 삼교천유역의 본류 및 지류에 위치한 19개 수질관측 지점의 월별자료이고, 자료기간은 1995년 1월부터 2010년 12월까지 16년간의 자료이다. 본 연구를 위해 19곳의 수질관측 지점들을 선정하였다(Table 1). 계절별 분석을 위해 12월, 1월, 2월은 겨울철, 3월, 4월, 5월은 봄철, 6월, 7월, 8월은 여름철 그리고 9월, 10월, 11월은 가을철로 구분하였다.

수질관측지점 S1, S2, S3가 위치한 삼교천 본류와 수질관측지점 M1, M2, M3, M4, M5가 위치한 무한천은 경제적으로 주로 농업, 축산에 의존하고 있다. M2, M3, M4가 위치한 예당저수지는 면적 약 9.9km², 둘레 40km, 너비 2km, 길이 8km이고 예산군과 당진시에 일원에 관개하기 위해 1963년에 준공되었다. 따라서 삼교천과 무한천 수계

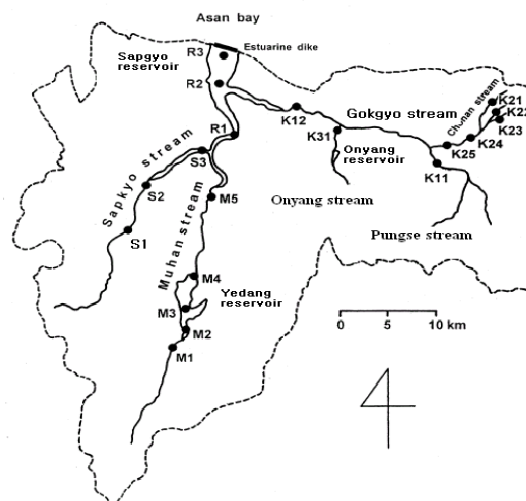


Fig. 1. Locations of Study Stations

는 축산폐수, 곡교천 수계는 생활오수가 주 수질오염원이다. K21이 위치한 천안천, K22가 위치한 천안천 지류인 원성천 그리고 K23이 위치한 또 다른 천안천 지류인 삼용천은 도시를 관류하는 전형적인 도시하천이다. K24는 천안하·폐수종말처리장 직후에 위치하고 있어 생활 및 공단 오·폐수 처리수의 영향을 직접적으로 받는다. K31이 위치한 온양천은 아산화수종말처리장이 수계 내에 위치하여 오염이 심한 도시하천에 해당한다. 따라서 곡교천 수질은 유입 하천인 천안천과 온천천의 영향을 직접적으로 받는다. K11은 곡교천 지류인 풍세천에 위치해 있으며 풍세천유역은 주로 경제적으로 농업에 의존하고 있어 도시와 공단에 인접한 천안천과 온천천과 대비된다. 수질관측지점 R1, R2, R3가 위치한 삼교호는 1979년 10월 준공되어 길이 3.36 km, 총저수량 8,400만톤의 국내 최대 규모의 담수호이다. Kim et al. (2004)에 의하면 호수면적에 비해 비교적 넓은 유역면적을 갖고 있는 삼교호는 넓은 유역면적으로부터 높은 영양염류 부하량이 발생하는 특성을 갖고 있다.

2.2 용존산소 추세분석

삼교천 유역에 위치한 19개 수질관측지점의 월별 그리고 계절별 용존산소의 비모수 추세분석을 실시하였다. 이를 위해 16년간(1995~2010)의 용존산소 자료를 월별(1,

2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12월) 및 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울)로 분류하여 분석하였다. 추세분석을 위하여 Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) 추세분석을 실시하였다. Mann-Kendall 추세분석의 경우 국내외에서 수질 자료의 추세분석을 위해 여러 연구자들에 의해서 적용된 바 있다(Lee, 1995; Kahya and Kalayci, 2004; Daugney and Reeves, 2006; Tabari et al., 2008; Chang et al., 2010; Cheng et al., 2011).

2.3 용존산소 변화량 분석

본 연구에서는 전체 분석기간 동안 용존산소의 변화량을 판단하기 위해 Sen (1968)에 의해서 제안된 방법을 적용하였다. Sen (1968)은 자료의 오류나 또는 특이 값에 영향을 받지 않는 추세분석 방법을 제안하였다(Eq. 1). 따라서 연평균 용존산소 추세변화량(mg/L/year)에 전체 분석기간(16년)을 곱하면 전체 16년간의 용존산소 변화량을 파악할 수 있다. 이 방법은 수질자료의 추세분석을 위해 여러 연구자들에 의해서 적용된 바 있다(Darken, 1993; Daugney and Reeves, 2006; Tabari et al., 2008).

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right) \quad k < j \quad (1)$$

Table 1. Study Stations

지점	구분	채수지점	조사기관	
1. (S1)	삼교천분류	삼교천	충청남도 예산군 삼교읍 두리 (충의대교)	금강유역환경청
2. (S2)		삼교천	충청남도 예산군 고덕면 구만리 (구만교)	금강유역환경청
3. (S3)		삼교천	충청남도 당진군 합덕읍 옥금리 (구양교)	금강유역환경청
4. (M1)	무한천	무한천	충청남도 예산군 광시면 신대리 (신대교)	금강유역환경청
5. (M2)		예당지	충청남도 예산군 광시면 동산리 (동산교)	금강유역환경청
6. (M3)		예당지	충청남도 예산군 대흥면 송지리	금강유역환경청
7. (M4)		예당지	충청남도 예산군 대흥면 지곡리 (댐 앞)	금강유역환경청
8. (M5)		무한천	충청남도 예산군 예산읍 청소리 (신례원교)	금강유역환경청
9. (K21)	곡교천	천안천	충청남도 천안시 동남구 다가동 (다가교)	충청남도
10. (K22)		원성천	충청남도 천안시 동남구 원성동 (영성교)	충청남도
11. (K23)		삼용천	충청남도 천안시 동남구 청수동 (남부교)	충청남도
12. (K24)		천안천	충청남도 천안시 서북구 두정동 (천안공단)	충청남도
13. (K25)		천안천	충청남도 아산시 배방읍 휴대리 (휴대교)	충청남도
14. (K11)		곡교천	충청남도 천안시 동남구 풍세면 남관리 (남관교)	금강유역환경청
15. (K31)		온천천	충청남도 아산시 실옥동 (옥정교)	충청남도
16. (K12)		곡교천	충청남도 아산시 염치읍 강청리 (강청교)	금강유역환경청
17. (R1)		삼교호	삼교호	충청남도 아산시 선장면 군덕리
18. (R2)	삼교호		충청남도 아산시 인주면 대음리	금강유역환경청
19. (R3)	삼교호		충청남도 아산시 인주면 문방리 (방조제)	금강유역환경청

여기서, β =estimate of slope이고, x_j 와 x_k 는 수질관측지점 x 의 특정 월 혹은 계절의 j 번째와 k 번째 해의 수질 값이다.

2.4 용존산소의 계절적 동질성분석

각 수질관측지점의 용존산소 추세가 계절적(월별 및 계절별)으로 동질적인 추세를 보이는지를 판단하기 위해서 각 관측지점의 월별 및 계절별 용존산소추세의 동질성 분석(van Belle and Hughes, 1984)을 실시하였다. van Belle and Hughes의 동질성분석의 경우 국외에서 여러 연구자들에 의해서 적용된 바 있다(Kahya and Kalayci, 2004).

$$\chi_{\text{homog}}^2 = \chi_{\text{total}}^2 - \chi_{\text{trend}}^2 = \sum_{i=1}^M Z_i^2 - M\bar{Z}^2 \quad (2)$$

$$Z_i = \frac{S_i}{[\text{VAR}(S_i)]^{1/2}} \quad (3)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_i \quad (4)$$

여기서 S_i 는 i 번째 월 혹은 계절의 Mann-Kendall 추세 통계량이고, M 은 월별 자료의 경우 12(1월부터 12월까지)이고, 계절의 경우 4(봄, 여름, 가을, 겨울)이다. 만일 χ_{homog}^2 가 극한값 α 를 초과한다면 분석하고자 하는 대상 지점의 월별 혹은 계절별 용존산소 추세는 동질성이 없다고 할 수 있다.

2.5 용존산소의 지역적 동질성분석

만일 수질자료가 어느 특정 지역(혹은 유역)내 1개소 이상의 수질관측지점에서 측정된다면 지역(혹은 유역) 규모에서 전반적인 수질추세를 파악할 필요가 있다. 따라서 특정 지역(혹은 유역) 수질관측지점들의 수질추세의 동질성을 파악하는 것은 의미가 있다. 본 연구에서는 여러 수질관측지점에서 관측된 용존산소추세의 동질성을 파악하기 위해서 chi-square 통계량을 적용하였다.

$$\chi_{\text{homog}}^2 = \chi_{\text{total}}^2 - \chi_{\text{trend}}^2 = \sum_{j=1}^M Z_j^2 - M\bar{Z}^2 \quad (5)$$

$$Z_j = \frac{S_j}{[\text{VAR}(S_j)]^{1/2}} \quad (6)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Z_j \quad (7)$$

여기서 S_j 는 j 번째 수질관측지점의 Mann-Kendall 추세 통계량이고, M 은 분석하고자 하는 관측지점의 수이다. 만일 χ_{homog}^2 가 극한값 α 를 초과한다면 분석하고자 하는 대상 지

역(혹은 유역)의 수질 추세는 동질성이 없다고 할 수 있다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 용존산소 변화량

삼교천유역 내 각 수질관측지점의 월별 및 계절별 16년간(1995~2010)의 용존산소농도의 통계치를 비교하였다(Figs. 2 and 3). 그림에서 보는 바와 같이 월별 용존산소농도의 경우 19개 수질관측지점 중에서 곡교천 수계의 지류인 온천천에 위치한 Station K31이 5월을 제외한 대부분의 월에서 16년 동안 가장 낮은 용존산소 평균농도를 보였다. 5월의 경우 곡교천수계 천안천에 위치한 Station K24가 가장 낮은 용존산소 평균농도를 보였다. 계절별 용존산소농도의 경우도 역시 Station K31이 모든 계절에서 가장 낮은 용존산소농도를 보였으며, 다음으로 Station K24가 낮은 용존산소농도를 보였다. Station K24는 천안하·폐수종말처리장 직후에 위치하고 있어 생활 및 공단 오·폐수를 차집 처리하여 배출하는 처리수의 영향이 매우 큰 곳이다. Station K31이 위치한 온양천은 아산하수종말처리장을 수계에 두고 있어 오염이 심한 전형적인 도시하천에 해당한다. 따라서 곡교천 수질은 유입하천인 천안천과 온천천의 영향을 직접적으로 받는다.

월별 용존산소포화도(%)를 비교분석하였다(Table 2). 분석결과 특히 K24지점과 K31지점이 다른 월과 비교하여 5월과 6월에 용존산소 불포화가 매우 심각한 것으로 나타났다. K24지점의 5월 용존산소포화도는 49.0%이고 6월은 53.3%였다. K31지점의 경우 5월 용존산소포화도는 65.2%였고, 6월은 51.0%였다. 이들 지점은 도시하천으로 분류되는 천안공단과 온양천에 위치해 있어서 BOD 수치 또한 매우 높은 경향을 보였다. K24지점의 경우 5월 평균 BOD는 25.0 mg/L, 6월 평균 BOD는 23.4 mg/L였다. K31지점은 5월 평균 BOD는 24.9 mg/L, 6월 평균 BOD는 27.8 mg/L였다.

반면에 무한천 상류에 위치한 M1지점과 M1 직하류에 당저수지에 위치한 M2, M3지점의 경우 6, 7, 8월에 용존산소 농도가 과포화 상태를 보였다. 또한 삼교호 지점(R1, R2, R3)의 경우 다른 월과 비교하여 7월과 8월에 용존산소가 과포화상태인 것으로 나타났다. 이는 수심이 깊은 저수지에서 수온상승과 식물플랑크톤에 의한 광합성작용으로 인해 용존산소가 상승한 것으로 판단된다. 또한 삼교천 본류구간에 위치한 수질관측지점(S1, S2, S3)의 경우 여름철 수온상승과 부착조류에 의한 광합성작용으로 인해 용존산소 증가현상을 보인 것으로 판단된다.

삼교천유역 내 각 수질관측지점의 월별 및 계절별 16년

간의 용존산소 변화량을 파악하기 위해 Sen (1968)에 의해서 제안된 방법을 적용하였다. 이를 위해 각 월별, 계절별 용존산소의 연평균 변화량을 산정하고 이를 전체 분석기간(16년) 용존산소 변화량으로 환산하였다. 월별, 계절별 16년간의 평균 용존산소에 대한 용존산소 변화량의 비를 비교분석하였다(Table 3). 각 월별로 16년간의 용존산소변화량을 분석한 바에 의하면 삼교천 본류 전 구간에 걸쳐서 16년 동안 1월의 용존산소가 가장 크게 감소(-1.231 mg/L)하였으며, 12월의 용존산소가 가장 크게 증가(4.064 mg/L)한 것으로 나타나서, 12월과 1월이 같은 겨울철임에도 불구하고 상반된 DO추세 양상을 보였다. 삼교천 본류구간에 위치한 수질관측지점들(S1, S2, S3)의 용존산소변화량은 S1과 S2지점이 1월에 가장 큰 감소량을 보인 반면에 S3지점이 5월에 가장 큰 감소량을 보여서 삼

교천 본류 최하류에 위치한 S3지점이 S3지점의 직상류에 위치한 S1과 S2지점과 다른 DO추세 양상을 보였다.

무한천의 경우 평균적으로 2월의 용존산소가 가장 크게 증가하였으나(+4.294 mg/L), 반면에 1월의 용존산소가 가장 크게 감소하였고(-4.735 mg/L), 평균 용존산소량(11.550 mg/L) 대비 감소율은 -41.4%였다. 따라서 무한천 역시 같은 겨울철임에도 불구하고 1월과 2월이 상반된 DO추세 양상을 보였다. 곡교천의 경우 평균적으로 11월에 용존산소가 가장 크게 증가(+1.665 mg/L)하고, 반면에 4월에 용존산소가 가장 크게 감소(-0.738 mg/L)하여, 삼교천본류구간이나 무한천구간에 위치한 수질관측지점의 DO변화량과는 다른 양상을 보였다.

곡교천 구간에서 가장 큰 용존산소의 감소는 4월에 K31 지점(-4.923 mg/L)으로, 온양천 하류에 위치해 있으

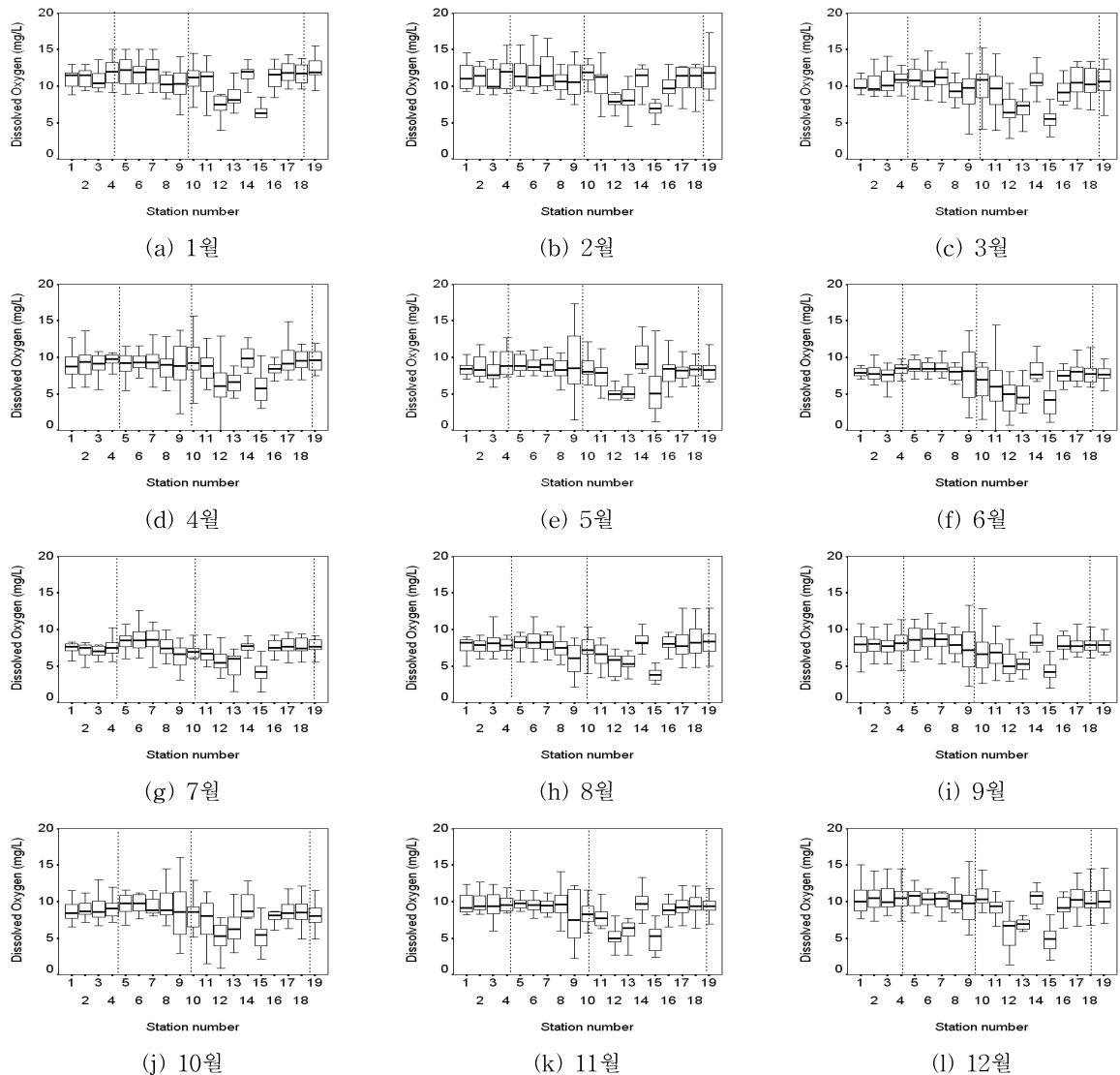


Fig. 2. Monthly DO Concentrations in 19 Study Stations

며, 온양천은 아산하수종말처리장을 수계에 두고 있어 오염이 심한 전형적인 도시하천에 해당한다. 삽교호의 경우 4월에 용존산소가 가장 크게 감소하였으며(-1.652 mg/L), 가장 큰 용존산소의 감소는 삽교천본류구간 직하류에 위치한 R1 지점(-2.133 mg/L)에서 나타났고, 곡교천 직하류에 위치한 R2지점이나 아산만방조제 인근에 위치한 R3지점 역시 용존산소가 감소하는 것으로 나타났다.

각 계절별로 16년간의 평균 용존산소변화량을 분석한

바에 의하면 삽교천 본류 및 무한천의 경우 평균적으로 전 계절에서 용존산소가 증가하였다. 삽교천 본류의 경우 특히 가을철에 용존산소가 가장 크게 증가하였으며(+2.975 mg/L), 평균 용존산소량(8.750 mg/L) 대비 증가는 34.0%였다. 반면에 봄철에 용존산소가 가장 적게 증가하였으며(1.531 mg/L), 평균 용존산소량(9.594 mg/L) 대비 증가는 16.0%였다(Table 3). 무한천의 경우도 역시 평균적으로 전 계절에서 용존산소가 증가하였다. 반면에

Table 2. The Monthly DO to DO Saturation (%) for 16 Years (1995~2010) in 19 Study Stations

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
S1	85.5 (18.0)	90.4 (19.1)	92.6 (19.0)	83.7 (13.8)	94.0 (15.1)	96.0 (18.4)	96.6 (30.9)	103.2 (23.2)	93.6 (22.5)	93.4 (15.0)	92.6 (21.7)	87.3 (18.0)
S2	83.8 (13.7)	88.6 (17.5)	89.9 (17.3)	84.5 (18.5)	97.9 (19.3)	92.1 (17.6)	95.6 (30.0)	100.7 (22.6)	93.1 (22.0)	96.0 (11.4)	93.6 (20.2)	87.9 (16.2)
S3	81.2 (15.9)	85.2 (16.8)	92.3 (21.2)	90.8 (30.1)	92.9 (24.6)	89.6 (15.3)	94.5 (27.5)	105.3 (21.8)	93.4 (18.1)	97.0 (20.4)	89.7 (16.0)	87.2 (13.6)
M1	88.7 (22.1)	92.0 (20.6)	94.6 (15.8)	88.3 (18.7)	101.9 (19.2)	101.8 (22.4)	99.5 (27.2)	106.5 (27.5)	98.1 (20.7)	96.9 (13.9)	93.0 (16.0)	88.6 (20.3)
M2	85.7 (18.1)	89.4 (17.5)	93.4 (16.4)	82.7 (15.9)	103.0 (18.9)	110.3 (25.0)	112.7 (34.3)	108.8 (22.0)	106.7 (21.7)	109.6 (25.3)	94.9 (13.8)	89.4 (15.8)
M3	84.4 (17.7)	89.5 (19.1)	92.7 (17.1)	84.6 (15.1)	101.9 (17.7)	108.0 (23.2)	112.5 (32.7)	111.8 (24.9)	109.6 (21.8)	111.0 (22.1)	93.3 (14.7)	87.4 (14.7)
M4	84.3 (18.8)	91.1 (19.9)	91.5 (15.4)	83.3 (14.8)	99.6 (15.7)	105.4 (19.8)	110.1 (28.4)	110.0 (23.1)	104.8 (17.0)	105.9 (22.3)	91.7 (18.0)	85.7 (14.2)
M5	80.7 (22.1)	85.9 (19.1)	90.0 (28.7)	84.6 (21.7)	96.7 (24.2)	90.6 (15.7)	103.5 (34.5)	98.6 (21.8)	95.2 (18.3)	102.9 (23.4)	94.6 (19.2)	85.1 (20.3)
K21	78.2 (17.8)	85.8 (20.8)	83.5 (27.1)	93.8 (32.0)	109.1 (51.7)	92.4 (45.6)	78.5 (21.6)	76.4 (28.1)	92.0 (45.3)	97.2 (44.1)	76.3 (31.9)	84.5 (28.5)
K22	82.2 (15.7)	89.5 (14.5)	87.2 (25.0)	94.8 (34.4)	89.2 (33.6)	76.7 (30.2)	77.2 (21.2)	91.8 (22.6)	82.5 (35.3)	88.6 (38.6)	77.6 (21.2)	87.8 (17.0)
K23	76.3 (15.6)	81.7 (19.2)	79.9 (24.4)	87.3 (24.8)	82.1 (31.1)	72.8 (44.2)	77.5 (15.9)	81.3 (20.5)	81.6 (28.1)	83.4 (30.7)	73.9 (18.9)	74.2 (9.7)
K24	60.9 (17.5)	59.9 (23.2)	58.1 (22.0)	57.7 (32.2)	49.0 (18.4)	53.3 (26.0)	68.4 (15.5)	63.7 (18.1)	64.2 (23.3)	57.6 (23.0)	51.0 (16.7)	52.8 (24.0)
K25	71.4 (12.7)	71.3 (14.5)	63.7 (15.3)	65.5 (13.8)	63.5 (18.8)	61.9 (29.5)	62.8 (21.5)	68.4 (12.8)	63.5 (13.2)	74.1 (23.9)	63.1 (16.0)	64.6 (16.5)
K11	89.3 (21.4)	88.4 (14.6)	92.2 (12.4)	90.8 (12.2)	105.4 (28.0)	99.1 (25.3)	89.1 (26.8)	105.5 (13.4)	102.6 (14.3)	103.1 (16.3)	96.7 (11.0)	91.9 (12.9)
K31	63.7 (21.0)	68.4 (25.3)	61.7 (21.3)	62.3 (18.8)	65.2 (38.8)	51.0 (28.2)	48.6 (20.7)	52.4 (25.8)	58.0 (22.8)	66.1 (22.4)	56.1 (17.2)	53.0 (23.1)
K12	86.6 (11.9)	79.9 (12.6)	81.9 (11.8)	79.8 (6.7)	91.2 (19.8)	86.9 (11.5)	98.6 (18.5)	106.8 (18.0)	97.4 (15.0)	90.8 (16.6)	88.8 (11.5)	82.5 (12.3)
R1	88.1 (18.9)	84.2 (20.5)	86.3 (14.4)	82.9 (21.8)	88.1 (13.4)	94.1 (17.5)	102.6 (35.6)	103.9 (22.8)	95.0 (15.1)	97.7 (26.1)	92.7 (18.3)	87.2 (14.4)
R2	86.8 (18.0)	84.0 (21.4)	86.2 (12.9)	85.0 (20.0)	96.3 (29.7)	90.8 (17.0)	101.7 (35.2)	110.5 (25.0)	96.2 (12.8)	99.9 (25.8)	93.2 (17.0)	87.2 (15.6)
R3	90.7 (21.1)	84.0 (21.4)	86.4 (14.5)	85.8 (20.0)	95.0 (25.0)	92.4 (16.0)	100.6 (30.7)	108.5 (21.7)	95.4 (12.9)	93.2 (21.2)	92.4 (13.4)	88.3 (14.4)

() indicate the standard deviation of monthly DO to DO saturation(%)

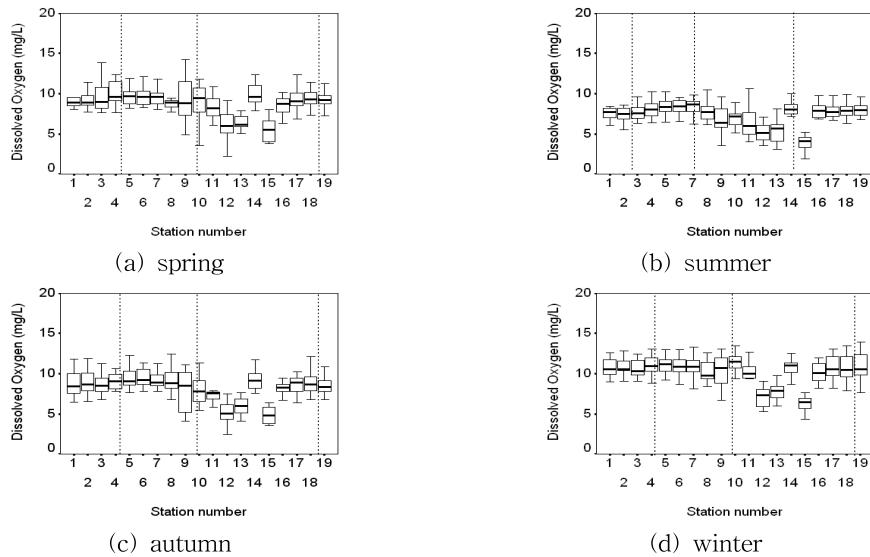


Fig. 3. Seasonal DO Concentrations in 19 Study Stations

Table 3. The Change in Concentration of Seasonal DO (mg/L) for 16 Years (1995–2010) in 19 Study Stations

Stations	Spring	Summer	Autumn	Winter
S1	<i>1.326 (14.1)</i>	2.038 (25.5)	3.379 (38.8)	2.133 (19.1)
S2	2.280 (23.7)	2.687 (34.4)	2.878 (32.5)	<i>1.600 (14.2)</i>
S3	<i>0.987 (10.1)</i>	1.293 (16.7)	2.667 (30.7)	2.987 (27.3)
Avg.	<i>1.531 (16.0)</i>	2.006 (25.5)	2.975 (34.0)	2.240 (20.1)
M1	2.427 (24.3)	2.154 (26.0)	2.479 (27.4)	<i>0.578 (5.0)</i>
M2	1.905 (19.1)	3.044 (34.6)	1.466 (15.5)	<i>0.451 (4.0)</i>
M3	1.410 (14.2)	2.966 (33.8)	1.986 (20.9)	<i>1.178 (10.6)</i>
M4	0.851 (8.7)	2.171 (24.9)	1.046 (11.4)	<i>-1.600 (-14.8)</i>
M5	2.080 (21.9)	2.693 (34.0)	3.365 (36.9)	3.200 (29.6)
Avg.	1.735 (17.6)	2.606 (30.7)	2.068 (22.3)	<i>0.761 (6.8)</i>
K21	2.228 (23.8)	2.841 (42.5)	3.423 (43.1)	<i>-1.644 (-16.2)</i>
K22	2.540 (26.9)	1.573 (23.2)	1.760 (22.8)	<i>0.844 (7.5)</i>
K23	-1.244 (-14.6)	<i>-1.435 (-22.5)</i>	0.509 (6.9)	-1.067 (-10.5)
K24	-1.432 (-25.0)	0.035 (0.7)	0.638 (12.4)	<i>-1.920 (-28.8)</i>
K25	-0.022 (-0.3)	1.425 (26.7)	1.511 (25.6)	<i>-2.000 (-25.6)</i>
K11	<i>-1.760 (-17.2)</i>	0.553 (6.7)	3.378 (36.2)	0.640 (5.7)
K31	<i>-2.167 (-39.0)</i>	-0.952 (-24.4)	-1.235 (-25.2)	<i>-0.630 (-10.3)</i>
K12	<i>-1.844 (-21.0)</i>	2.381 (30.0)	1.778 (21.4)	0.800 (7.8)
Avg.	-0.463 (-5.8)	0.803 (12.8)	1.470 (20.8)	<i>-0.622 (-6.8)</i>
R1	<i>-0.711 (-7.6)</i>	0.978 (12.0)	1.621 (18.6)	2.400 (21.5)
R2	<i>-0.107 (-1.1)</i>	1.796 (22.0)	2.667 (30.1)	2.773 (25.0)
R3	<i>-0.880 (-9.0)</i>	1.333 (16.3)	2.158 (25.1)	2.548 (22.8)
Avg.	<i>-0.566 (-5.9)</i>	1.369 (16.8)	2.149 (24.6)	2.574 (23.1)
Total Avg.	<i>0.414 (4.5)</i>	1.557 (20.2)	1.972 (23.3)	0.698 (6.6)

Bold italics indicates the lowest increment of seasonal dissolved oxygen in each station; Bold indicates the highest increment of seasonal dissolved oxygen in each station; () indicates increment of DO (%) to average DO concentration

곡교천의 경우 평균적으로 봄과 겨울철에서 용존산소가 -0.463 mg/L와 -0.622 mg/L로 감소하였고, 여름과 가을철에 0.803 mg/L와 1.470 mg/L로 증가하였다. 삽교호의 경우 봄철에는 용존산소 감소추세를 보였으나, 다른 계절에는 용존산소의 증가추세를 보였으며, 삽교천 유역 전체를 대상으로 하는 경우 전반적으로 용존산소 증가를 보였다. 곡교천의 경우 삽교천분류 구간이나 무한천과는 다른 계절적 용존산소 추세양상을 보이는 것은 각 지류의 토지이용 변화특성과 밀접한 상관이 있을 것으로 사료되고, 계절적으로 4월 및 5월이 모내기철이고 삽교천유역이 농업지역이라는 점을 고려할 때 이와 상관이 있을 것으로 판단된다. 하지만 이에 대한 판단은 향후 연구에서 구체적인 토지이용 변화특성자료를 이용한 상관분석을 바탕으로 이루어져야 할 것이다.

3.2 용존산소 추세

삽교천유역 분류 및 지류에 위치한 수질관측지점의 월별, 계절별 용존산소추세를 분석하였다. 분석결과 전반적으로 삽교천 분류구간에 위치한 수질관측지점(S1, S2, S3)들의 용존산소는 증가하는 추세인 것으로 나타났다.

하지만 4월의 용존산소의 경우 모든 지점에서 유의한 추세를 보이지 않았다. 또한 1월의 용존산소추세의 경우 S2 지점에서 90% 신뢰수준에서 감소하는 추세를 보여서 다른 달의 용존산소 추세와 상이한 현상을 보였다(Table 4, Fig. 4). 삽교천분류에 위치한 수질관측지점들의 지점간 용존산소추세를 분석한 결과 대부분의 월에서 상류에 위치한 지점이 상승 추세를 보이는 경우 하류지점도 동일한 추세를 보여서 상하류지점 간에 일관성이 있는 용존산소 추세를 보였다. 무한천에 위치한 수질관측지점들 역시 상하류지점 간에 일관성이 있는 용존산소추세를 보였다. 무한천에 위치한 수질관측지점들의 용존산소도 전반적으로 대부분의 월에서 증가하는 추세를 보이나, 1월과 4월의 경우 감소하는 추세를 보여서 다른 월과 비교하여 상이한 추세를 보였다. 6월과 7월의 용존산소가 모든 수질관측지점에서 95% 신뢰수준에서 16년 동안 증가추세를 보였고, 2월과 3월의 용존산소는 90% 및 95% 신뢰수준에서 모든 수질관측지점에서 16년 동안 용존산소 증가추세를 보였다. 반면에 무한천 예당지에 위치한 수질관측지점들(M2, M3, M4)의 경우 1월 용존산소가 95% 신뢰수준에서 16년 동안 감소를 보였다.

Table 4. The Trend of Monthly DO Concentration and Statistical Homogeneity in 19 Study Stations

Stations	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	$\chi^2_{90\%}$
S1	*	*	↑	*	*	*	↑	↑	*	↑	↑	↑	H
S2	↓	↑	↑	*	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H
S3	*	↑	↑	*	*	*	↑	*	*	↑	↑	↑	H
M1	↓	↑	↑	*	*	↑	↑	↑	*	↑	↑	*	H
M2	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	*	*	↑	*	NH
M3	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	*	↑	*	NH
M4	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	*	*	*	*	*	NH
M5	*	↑	↑	*	↑	↑	↑	↑	*	↑	↑	↑	H
K21	*	*	*	↑	*	↑	*	*	*	↑	*	*	H
K22	*	*	*	*	*	↑	*	*	*	*	*	*	H
K23	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	↑	*	H
K24	↓	↓	*	*	*	*	↑	*	*	*	*	*	H
K25	*	*	*	*	↑	↑	*	*	*	*	↑	*	H
K11	*	*	*	*	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	NH
K31	*	*	*	↓	*	*	*	*	*	*	*	*	H
K12	↑	*	*	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	*	↑	NH
R1	↑	*	*	*	*	*	*	*	*	*	↑	↑	H
R2	↑	*	*	*	*	*	*	↑	*	*	↑	↑	NH
R3	↑	*	*	*	*	↑	*	*	*	*	↑	↑	NH

↑, ↓: upward or downward trend at 95% confidence level; ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level; *: no significant trend, H: homogeneous trends at 90% confidence level; NH: nonhomogeneous trends at 90% confidence level

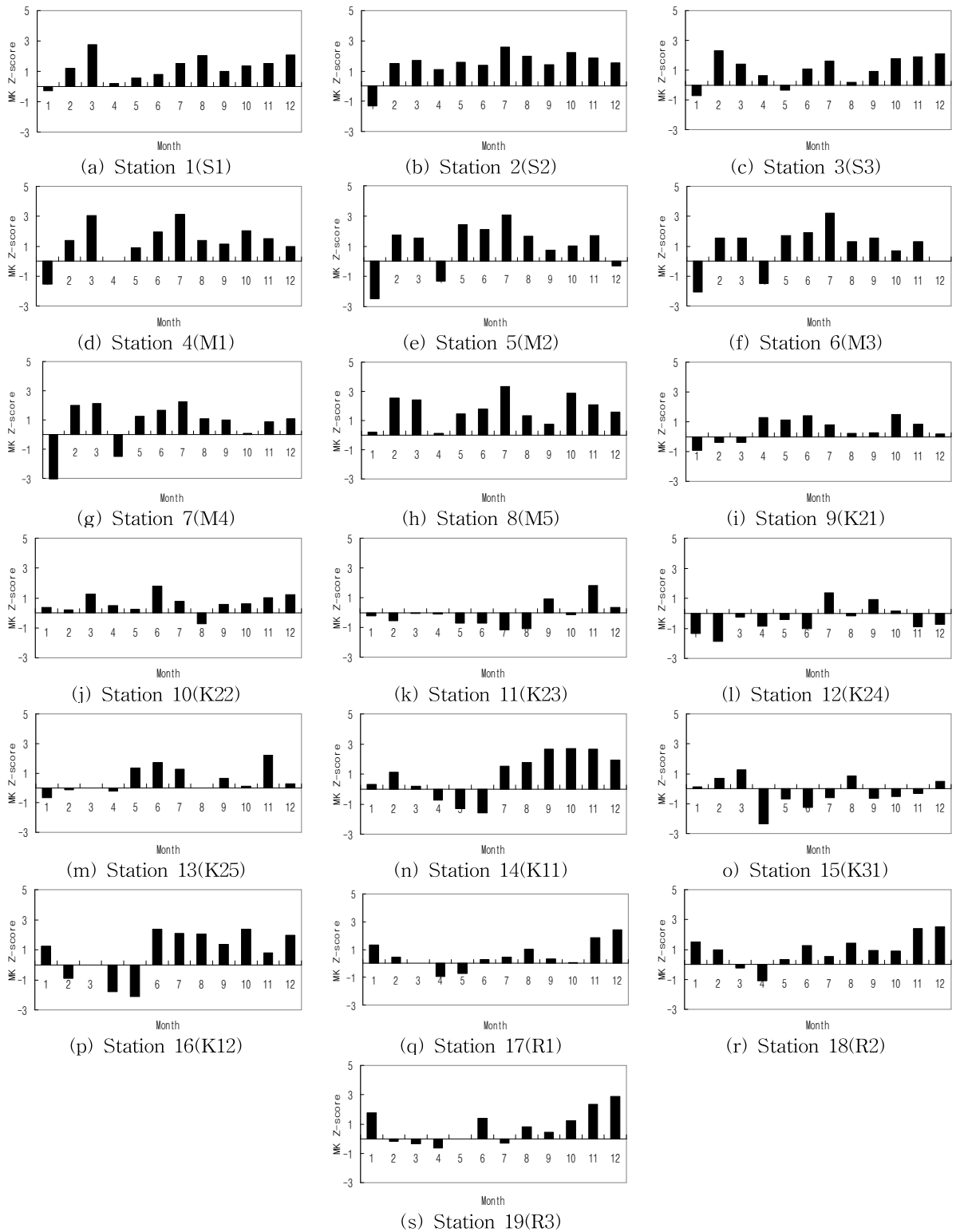


Fig. 4. The Trends of Monthly DO Concentrations in 19 Study Stations

곡교천의 경우 삼교천 분류구간이나 무한천에 위치한 수질관측지점과 달리 많은 수질관측지점에서 유의하지 않은 용존산소 추세를 보였으며, 상하류 간에도 유사한

추세를 보이지 않았다. 단지 K12, K25, K22지점의 경우 상하류에 위치한 지점 간에 일관성이 있는 유의한 용존산소 추세를 보였다. 이는 곡교천의 경우 여러 지류가 도심

지를 관류하여 흐름으로 인해서 각 지류에서 유입되는 오 폐수의 영향을 받는 것으로 판단된다. 그리고 단지 곡교 천수계에서 비교적 수질이 양호한 풍세천에 위치한 K11 지점과 곡교천 최하류에 위치한 K12지점만이 다른 지점 과 달리 대부분의 월에서 유의한 추세를 보였다. 특히 곡 교천 최하류에 위치한 K12지점의 경우 봄철에 해당하는 4, 5월의 용존산소가 95% 신뢰수준에서 뚜렷한 16년 동안 감소추세를 보였고, 여름철에 해당하는 6, 7, 8월의 용존 산소는 뚜렷한 증가추세를 보였다.

삼교호의 경우도 역시 많은 수질관측지점에서 유의하 지 않은 용존산소 추세를 보였으며, 상하류 간에도 1월, 11월, 12월 용존산소를 제외하고 상하류 수질관측지점간 에 유사한 추세를 보이지 않았다. 삼교호에 위치한 수질 관측지점들(R1, R2, R3)의 경우 11월과 12월의 용존산소 는 95% 신뢰수준에서 증가추세를 보였다.

계절별 용존산소추세의 경우 삼교천 본류 모든 수질관 측지점에서 유의한 용존산소추세를 보였으며, 상하류 간 에도 봄과 여름철의 용존산소를 제외하고 상하류 수질관 측지점 간에 유사한 추세를 보였다. 특히 가을철 용존산

소는 95% 신뢰수준에서 모든 지점에서 증가추세를 보였 다(Table 5, Fig. 5). 무한천의 경우 여름철에 모든 수질관 측지점에서 유의한 용존산소추세를 보였으며, 상하류 수 질관측지점간에도 95%신뢰수준에서 매우 유사한 추세를 보였다. 반면에 겨울철 용존산소는 단지 M5지점만이 90% 신뢰수준에서 증가추세를 보여서 여름철 용존산소 와 겨울철 용존산소가 다른 추세특성을 보였다.

곡교천의 경우 삼교천 본류구간이나 무한천에 위치한 수질관측지점과 달리 많은 수질관측지점에서 유의하지 않은 용존산소 추세를 보였으며, 상하류 간에도 유사한 추세를 보이지 않았다. 대부분의 관측지점에서 90% 신뢰 수준에서 용존산소추세 변화가 없는 것으로 나타났다. 단 지 곡교천 최하류지점에 위치한 K12지점만이 겨울을 제 외한 모든 계절에서 90% 이상의 신뢰수준에서 증가추세 를 보이는 것으로 나타났다. 삼교호의 경우 가을철 용존 산소 추세가 상하류 간에 유사한 추세를 보인반면에 다른 계절에는 유사한 추세를 보이지 않았다. 또한 가을철만이 90% 이상 신뢰수준에서 유의한 용존산소 증가추세를 보 였다.

Table 5. The Trends of Seasonal DO Concentration and Statistical Homogeneity in 19 Study Stations

Station	Spring	Summer	Autumn	Winter	χ^2 90%
S1	*	↑	↑	↑	H
S2	↑	↑	↑	↑	H
S3	*	*	↑	↑	H
M1	↑	↑	↑	*	H
M2	↑	↑	*	*	H
M3	*	↑	↑	*	H
M4	*	↑	*	*	H
M5	↑	↑	↑	↑	H
K21	*	↑	*	*	H
K22	*	↑	*	*	H
K23	*	*	*	*	H
K24	*	*	*	↑	H
K25	*	*	*	*	H
K11	↓	*	↑	*	NH
K31	*	*	↓	*	H
K12	↓	↑	↑	*	NH
R1	*	*	↑	*	H
R2	*	↑	↑	*	H
R3	*	*	↑	*	H

↑, ↓ upward or downward trend at 95% confidence level; ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level; *: no significant trend, H: homogeneous trends at 90% confidence level; NH: nonhomogeneous trends at 90% confidence level.

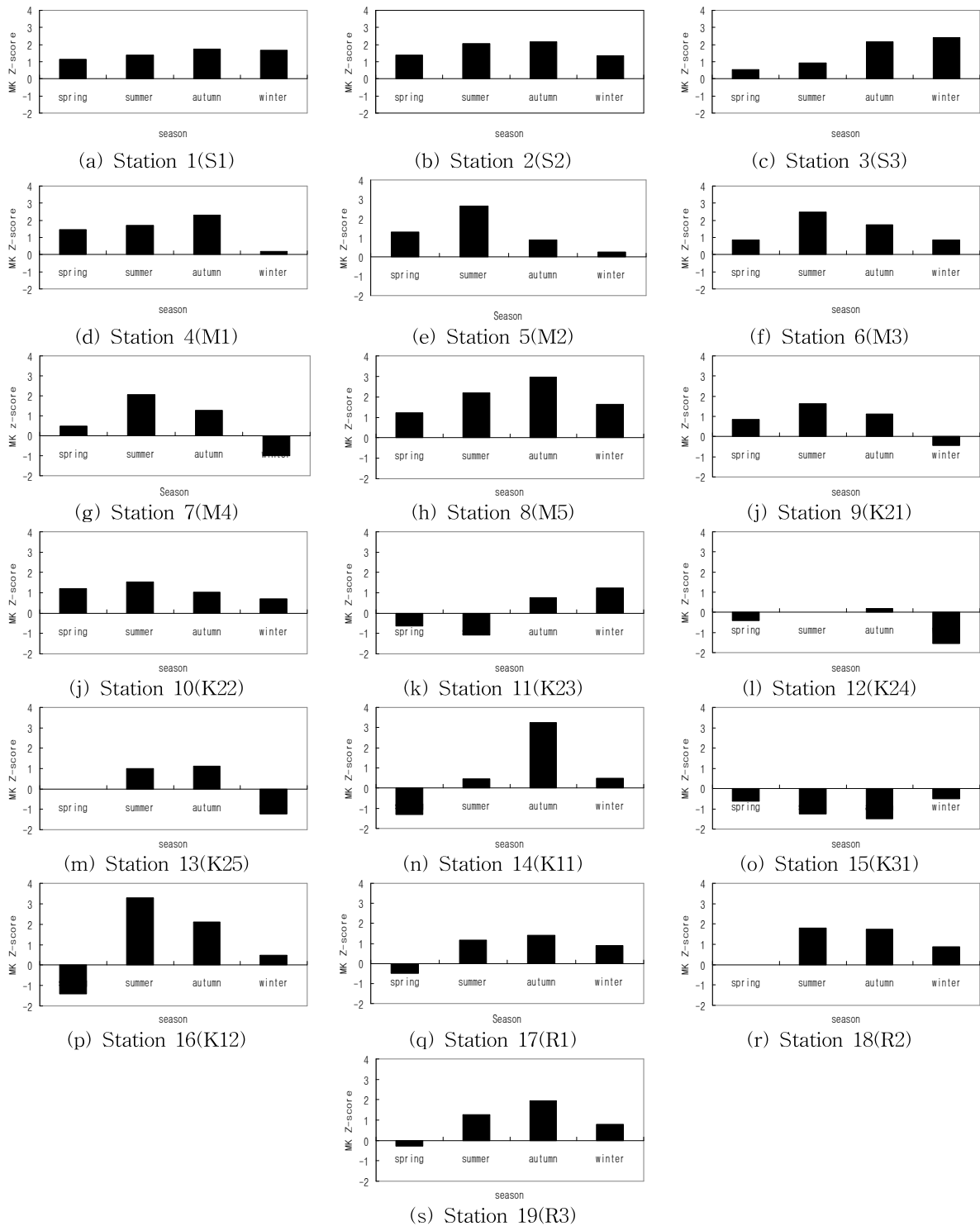


Fig. 5. The Trends of Seasonal DO Concentrations in 19 Study Stations

3.3 용존산소추세의 계절적 동질성분석

삼교천 유역에 위치한 각 수질관측지점의 용존산소 추세에 계절적 동질성이 있는지를 판단하기 위한 분석(van

Belle and Hughes, 1984)을 실시하였다(Tables 4 and 5). 월별 용존산소추세를 분석한 바에 의하면 삼교천 본류 구간에 해당하는 S1, S2, S3지점의 경우 수질관측지점 모두에서 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세의 동질성을

보이는 것으로 나타났다(Table 4). 무한천의 경우 M1과 M5 지점만이 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세의 동질성을 보였고, 반면에 무한천에 위치한 예당저수지 수질 관측지점(M2, M3, M4)에서는 90% 신뢰수준에서 동질성을 보이지 않았다. 따라서 무한천에 위치한 예당저수지 수질관측지점의 용존산소추세가 저수지 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 곡교천의 경우 K11과 K12 지점에서 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세에 동질성이 없는 것으로 나타난 반면에 다른 지점들(K21, K22, K23, K24, K25, K31)에서는 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. K21, K22, K23, K24 그리고 K25 지점은 곡교천 지류인 천안천에 위치해 있고, 천안천의 경우 다른 삼교천유역 지류와는 달리 도시화가 진행되었다. 반면에 K12는 곡교천 최하류지점에 위치해 있고, K11은 곡교천 상류지류인 풍세천에 위치해 있다. 따라서 곡교천에 위치한 수질관측지점과 곡교천 지류인 천안천에 위치한 수질관측지점사이에는 월별 용존산소 추세에 차이가 있는 것으로 판단된다. 삼교천의 경우 R1 지점만이 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. R1 지점은 삼교천본류와 무한천 합류지점의 직하류에 위치해 있어 다른 지점(R2, R3)에 비해 상류에 위치한 두 지류의 수질에 직접적 영향을 받는다.

계절별(봄, 여름, 가을, 겨울) 용존산소추세를 분석한 바에 의하면 삼교천본류에 위치한 모든 수질관측지점(S1, S2, S3)에서 90% 신뢰수준에서 계절별 용존산소 추세의 동질성을 보였고, 무한천 역시 모든 수질관측지점에서 계절별 용존산소 추세의 동질성을 보였다(Table 5). 곡교천의 경우 K11과 K12지점을 제외하고 다른 모든 수질관측지점(K21, K22, K23, K24, K25, K31)에서 계절별 용존산소 추세의 동질성을 보였고, 삼교천의 경우 모든 수질관측지점(R1, R2, R3)에서 계절별 용존산소 추세의 동질성을 보였다.

따라서 전반적으로 삼교천유역 수질관측지점들의 계절별 용존산소추세는 서로 동질성을 보였다. 하지만 본 연구에서는 구체적인 삼교천유역의 계절별 토지이용변화와 오염원분포를 분석에 고려하지 않음으로 인해서 수질관측지점 DO추세의 계절적 동질성 원인을 분석하는 데는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 수질관측 DO추세의 계절적 동질성 원인을 판단하기 위해서는 계절에 따른 삼교천유역의 토지이용 변화와 오염원분포를 동시에 고려하여 분석하는 것이 필요하다.

3.4 용존산소추세의 지점별 동질성분석

삼교천유역에 위치한 수질관측지점간에 용존산소추세

의 동질성이 있는지를 판단하기 위해 각 수질관측지점을 21개 case로 구분하여 분석을 실시하였다 (Table 6). Cases 1~5의 경우 삼교천본류 최상류에 위치한 S1지점과 각 소지류에 위치한 지점(M1, K21, K22, K23, K11)의 DO추세의 동질성을 분석하였다. Cases 6~10의 경우 삼교천으로 유입되기 전인 삼교천본류 최하류지점 S3와 무한천 하류지점(M5), 온양천(K31) 그리고 풍세천(K11)의 DO추세 동질성을 분석하였다. Cases 11~14의 경우 삼교천으로 유입되기 전인 무한천본류 최하류지점 M5와 곡교천 최하류(K12), 천안천 최하류(K25), 풍세천(K11) 그리고 온양천(K31)의 DO추세 동질성을 분석하였다. Case 17의 경우 삼교천으로 유입되기 전인 삼교천본류 최하류지점(S1), 무한천 최하류지점(M5) 그리고 곡교천 최하류지점(K12)의 DO추세 동질성을 분석하였다. Case 18의 경우 천안천 상류에 위치한 소지류들(K, 21, K22, K23) 사이의 DO추세 동질성을 분석하였다. Case 19의 경우 삼교천으로 유입되기 전인 삼교천본류 최하류지점(S3), 삼교천으로 유입되기 전인 무한천본류 최하류지점(M5), 천안천 최하류(K25), 풍세천(K11) 그리고 온양천(K31) 사이의 DO추세 동질성을 분석하였다. Case 20의 경우 곡교천 각 소지류에 위치한 수질관측지점들(K21, K22, K23, K11, K31)들의 DO추세 동질성을 분석하였다. Case 21의 경우 삼교천본류 최상류지점(S1), 무한천 최상류지점(M1), 곡교천 각 소지류에 위치한 수질관측지점들(K21, K22, K23, K11, K31)들의 DO추세 동질성을 분석하였다.

분석결과에 의하면 21가지 case 중에서 삼교천본류에 위치한 S1지점과 무한천에 위치한 M1지점을 포함한 case 1의 경우 90% 신뢰수준에서 모든 월, 계절, 년에서 용존산소추세의 동질성을 보였다. 이는 S1(삼교천 1)과 M1(삼교천 2)지점 모두 삼교천본류 최상류와 무한천의 최상류에 위치해 있으면서 유사한 토지이용특성(농업 및 축산)을 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다.

90% 신뢰수준에서 용존산소 추세의 계절별 동질성을 분석한 결과 봄철의 경우 case 5(S1, K11), case 11(M5, K12) 그리고 case 13(M5, K11)에서 용존산소 추세가 동질성을 보이지 않았다. 이는 비교대상인 두 지점 간에 DO농도의 추세가 다르고, 삼교천이나 무한천에 위치한 수질관측지점(S1, M5)과 비교하여 곡교천수계에 위치한 수질관측지점(K12, K11)의 DO농도가 점차 감소하는 데 기인한다. Case 5의 경우 S1지점은 삼교천 본류 수질관측지점 중 최상류부에 위치한 지점으로서 봄철에 Mann-Kendall Z-score가 1.126을 보여서 DO농도의 증가추세를 보인 반면에 곡교천 지류인 풍세천에 위치한 K11지점의 경우 -1.306을 보여서 DO농도가 감소하는 추세를 보였다(Fig. 5).

Table 6. Homogeneity Test Result of DO Concentrations in Tributaries of Sapgyo Stream Watershed

Case	Stations		Month												S P	S U	A U	W I
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	S1	M1																
2	S1	K21			●													
3	S1	K22									●							
4	S1	K23			●					●	●						●	
5	S1	K11			●				●							●		
6	S3	M5																
7	S3	K12		●			●										●	
8	S3	K31					●		●								●	●
9	S3	K11							●									
10	S3	K25		●														●
11	M5	K12		●	●			●								●		
12	M5	K25		●	●									●				●
13	M5	K11						●	●							●		
14	M5	K31					●		●	●				●	●		●	
15	K25	K11						●	●					●				
16	K25	K31							●						●		●	
17	S3, M5, K12			●				●										
18	K21, K22, K23																●	
19	S3, M5, K25, K11, K31								●					●			●	●
20	K21, K22, K23, K11, K31								●									●
21	S1, M1, K21, K22, K23, K11, K31				●				●	●							●	

●: nonhomogeneous trends at 90% confidence level; SP: spring; SU: summer; AU: august; WI: winter.

Case 11과 case 13의 경우 무한천 하류에 위치한 M5지점은 DO농도가 증가추세를 보인 반면에 곡교천 하류에 위치한 K12와 K11지점의 경우 DO농도의 감소추세를 보였다.

여름철의 경우 case 4 (S1, K23), case 7 (S3, K12), case 14 (M5, K31) 그리고 case 18 (K21, K22, K23)에서 용존산소의 추세의 동질성을 보이지 않았다. Case 4, case 7 그리고 case 14에서 DO농도추세의 동질성을 보이지 않는 이유는 삼교천 본류에 위치한 S1, S3 그리고 무한천에 위치한 M5지점의 경우 DO농도추세가 상승하는데 반해서 곡교천에 위치한 수질관측지점(K23, K12, K31)의 경우 모두 DO농도추세가 감소하고 있다. 곡교천수계에 위치한 수질관측지점들(K21, K22, K23)사이 DO농도추세의 동질성을 비교한 case 18의 경우 K21지점과 K22지점의 DO농도가 증가추세를 보인 반면에 곡교천 지류인 삼용천에 위치한 K23지점만이 감소추세를 보여서 이들 수질관측지점들 사이에 DO추세의 동질성이 없는 것으로 나타났다.

가을철의 경우 case 8 (S3, K31), case 14 (M5, K31), case 16 (K25, K31), case 19 (S3, M5, K25, K11, K31) 그리고 Case 21 (S1, M1, K21, K22, K23, K11, K31)에서 용존산소 추세의 동질성을 보이지 않았다. Case 8과 case 14는 삼교천본류 및 무한천 하류부에 위치한 S3지점과 M5

지점이 곡교천 지류인 온양천에 위치한 K31지점과 DO농도추세에서 동질성이 있는지를 판단하는 것으로 가을철에 S3 및 M5지점과는 달리 K31지점의 DO농도가 감소추세를 보임으로 인해서 동질성이 없는 것으로 나타났다. Case 19는 곡교천수계의 지류인 천안천, 온양천, 풍세천에 위치한 수질관측지점들(K25, K31, K11)사이 DO농도추세의 동질성을 파악하고자 하는 것으로 천안천에 위치한 K25지점과 풍세천에 위치한 K11지점은 DO증가추세를 보이나 반면에 온양천에 위치한 K31지점은 DO감소추세를 보여서 DO농도추세의 동질성이 없는 것으로 나타났다. Case 21의 경우 삼교천본류 최상류지점(S1), 무한천 최상류지점(M1), 곡교천 각 소지류에 위치한 수질관측지점(K21, K22, K23, K11, K31)들의 DO추세 동질성을 분석한 것으로 K31지점을 제외한 다른 지점들의 가을철 DO농도는 증가추세를 보이나 증가추세의 차이로 인해 DO농도추세에 동질성이 없는 것으로 나타났다.

겨울철의 경우 case 8 (S3, K31), case 10 (S3, K25), case 12 (M5, K25), case 19(S3, M5, K25, K11, K31) 그리고 case 20 (K21, K22, K23, K11, K31)에서 용존산소 추세의 동질성을 보이지 않았다. Case 8과 10은 겨울철 삼교천 하류지점(S3)의 DO농도가 증가추세이나, 온양천

(K31)과 천안천(K25)의 DO농도는 감소추세인 것에 기인하여 DO농도추세가 두 지점에서 비동질적인 것으로 나타났다. Cases 12의 경우 무한천 하류지점(M5)의 겨울철 DO농도가 증가추세이나 반면에 천안천(K25)의 DO농도는 감소추세인 것으로 나타났다.

세 다른 지류(삼교천본류, 무한천, 곡교천) 사이에 용존산소추세 차이를 알아보기 위해 삼교천본류 최하류에 위치한 S1지점, 무한천 최하류에 위치한 M5지점 그리고 곡교천 최하류에 위치한 K12지점을 선정하여 분석을 실시하였다(Case 17). 수질관측지점간 월별 용존산소추세의 동질성분석에서 90% 신뢰수준에서 2월과 5월만이 동질성이 없는 것으로 나타났고, 그 이외 다른 월에서는 동질성이 있는 것으로 나타났다. 이는 S1지점과 M5지점과는 달리 K12지점의 5월 Mann-Kendall Z-score가 -2.126으로서 매우 유의한 DO추세를 보였기 때문이다. 반면에 계절별 용존산소추세의 경우 모두 각 지류 수질관측지점간에 동질성이 있는 것으로 나타났다.

곡교천 5개 지류에 위치한 수질관측지점사이에 용존산소추세의 동질성분석을 위해 K21, K22, K23, K11 그리고 K31지점 등 7개 수질관측지점을 대상으로 분석을 실시하였다(Case 20). 월별 용존산소추세의 동질성분석에서 6월만이 90% 신뢰수준에서 동질성을 보이지 않았다. 이는 다른 월과는 달리 6월의 경우 K21지점과 K22지점에서 DO농도의 증가추세가 크게 나타난 반면에 K11지점의 DO농도가 크게 감소추세를 보인 것에 기인한 것으로 판단된다. 계절별 용존산소추세의 경우 다른 계절과 달리 각 지점별로 Mann-Kendall Z-score는 크지 않으나 서로 다른 추세를 보임으로 인해서 90% 신뢰수준에서 겨울에 동질성을 보이지 않는 것으로 나타났다.

전반적으로 삼교천 유역 수질관측지점의 용존산소 추세는 각 수질관측 지점에 따라서 다르게 나타났다. 하지만 본 연구에서는 구체적인 삼교천유역의 토지이용변화와 오염원분포를 분석에 고려하지 않음으로 인해서 수질관측지점별 DO추세의 동질성 원인을 분석하는 데는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 수질관측지점별 DO추세의 동질성 원인을 판단하기 위해서는 삼교천유역 각 지류의 토지이용 변화와 오염원분포를 동시에 고려하여 분석하는 것이 필요하다.

4. 결 론

삼교천유역 각 수질관측지점의 용존산소추세를 분석한 결과 전반적으로 대부분의 수질관측지점의 월별, 계절별

용존산소는 증가추세를 보이거나 혹은 유의한 추세를 보이지 않는 것으로 나타났다. 하지만 유의한 감소추세를 보이는 지점은 많지 않았다. 삼교천유역 전 구간에 걸쳐서 월별 용존산소농도의 경우 4월에 가장 크게 악화되었으며, 7월에 가장 크게 개선된 것으로 나타났다. 계절별 용존산소농도는 전 계절에 걸쳐서 개선되었으나 특히 가을에 가장 크게 개선된 것으로 나타났다.

삼교천 본류 구간의 경우 90% 신뢰수준에서 월별 용존산소 추세의 동질성을 보이는 것으로 나타났다. 무한천의 경우 무한천과 무한천에 위치한 예당저수지 수질관측지점의 용존산소 추세가 다른 특성을 보여서 용존산소추세가 저수지 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 곡교천의 경우 곡교천에 위치한 수질관측지점과 곡교천 지류인 천안천에 위치한 수질관측지점사이에는 월별 용존산소 추세에 차이가 있는 것으로 판단된다. 분석결과 전반적으로 삼교천유역 수질관측지점들의 계절별 용존산소추세는 서로 동질성을 보인 반면에 월별 용존산소추세는 저수지가 위치한 지점의 경우 동질성을 보이지 않았다.

또한 삼교천 유역 수질관측지점의 용존산소 추세는 삼교천본류구간과 무한천구간에 위치한 수질관측지점의 경우 농업 및 축산업 경제활동 요인이 DO농도에 영향을 미친 곳으로 판단되고, 곡교천의 경우 곡교천 지류인 풍세천을 제외하고 천안천과 온양천에 위치한 수질관측지점의 경우 생활 및 공단 오·폐수의 영향을 받는 것으로 판단된다.

전반적으로 삼교천 유역 수질관측지점의 용존산소 추세는 각 수질관측지점의 위치와 계절에 따라서 다른 양상을 보였다. 하지만 향후 연구에서는 지역과 계절특성이 DO추세에 미치는 영향을 판단하기 위해서는 월 및 계절별 삼교천유역 각 지류의 토지이용변화와 오염원분포를 동시에 고려하여 분석하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2012학년도 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었음.

REFERENCES

- Chang, H.J. (2008). "Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea." *Water Research*, Vol. 42, pp. 3285-3304.
- Chang, S.H., Park, J.W., Kim, K.S., Lee, H.J., Kim, H.G., and Rhew, D.H. (2010). "The assesment of water

- quality in Nam-Hangang basin using long-term trend statistic analysis of comprehensive water quality index." *Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment, Fall Joint Conference*, pp. 543-544.
- Cheng, B.Y., Liu, T.C., Shyu, G.S., Chang, T.K., and Fang, W.T. (2011). "Analysis of trends in water quality: constructed wetlands in metropolitan Taipei." *Water Sci. Technol.*, Vol. 64, No. 11, pp. 2143-2150.
- Darken, P.F. (1993). *Testing for changes in trend in water quality data*. Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, U.S.A.
- Daughney, C.J., and Reeves, R.R. (2006). "Analysis of temporal trends in New Zealand's groundwater quality based on data from the national groundwater monitoring programme." *Journal of Hydrology (New Zealand)*, Vol. 45, No. 1, pp. 41-62.
- Hamill, K.D., and McBride, G.B. (2003). "River water quality trends and increased dairying in Southland, New Zealand." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 37, pp. 323-332.
- Kahya, E., and Kalayci, S. (2004). "Trend analysis of streamflow in Turkey." *Journal of Hydrology*, Vol. 289, pp. 128-144.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. Griffin, London.
- Kim, H.-J., Yoon, K.-S., An, Y., and Lee, K.-S. (2004). "Study on the characteristics of the water quality in lake Sapkyo." *KCID J.*, Vol. 11, No. 2, pp. 32-46.
- Lee, S.-H. (1995). "A study of non-parametric statistical tests to analyze trend in water quality data." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 4, No. 2, pp. 93-103.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, Vol. 13, pp. 46-59.
- Monteith, D.T., Evans, C.D., and Patrick, S. (2001). "Monitoring acid waters in the UK: 1988-1998 trends." *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 130, pp. 1307-1312.
- Ravichandran, S. (2003). "Hydrological influences on the water quality trends in Tamiraparani basin, South India." *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 87, pp. 293-309.
- Robson, A.J., and Neal, C. (1996). "Water quality trends at an upward site in Wales, UK, 1983-1993." *Hydrological Processes*, Vol. 10, pp. 183-203.
- Sen, P.K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau." *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.
- Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, Sofoniou, M., and Kouimtzi, Th. (2003). "Assessment of the surface water quality in Northern Greece." *Water Research*, Vol. 37, pp. 4119-4124.
- Smith, D.G., McBride, G.B., Bryers, G.G., Wisse, J., and Mink, D.F. (1996). "Trends in New Zealand's national river water quality network." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 30, pp. 485-500.
- Soulsby, C., Malcolm, R., Gibbins, C., and Dilks, C. (2001). "Seasonality, water quality trends and biological responses in four streams in the Cairngorm Mountains." *Scotland, Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 5, No. 3, pp. 443-450.
- Tabari, H., Marofi, S., and Ahmadi, M. (2008). "Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran." *Environ. Monit. Assess.*, Vol. 177, No. 1-4, pp. 273-287.
- van Belle, G., and Hughes, J.P. (1984). "Nonparametric tests for trend in water quality." *Water Resources Research*, Vol. 20, pp. 127-136.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., and Debán, L. (1998). "Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis." *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 12, pp. 3581-3592.
- Yi, H.-S., and Park, S.-Y. (2005). "Analysis of discharge characteristics of NPS pollutant loads from forest in Yongdam watershed." *Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment, Fall Joint Conference*, pp. 506-509.
- Yoon, J.H., Yoo, Y.B., and Lee, J.W. (2007). "Statistical analysis about water quality characteristic of lakes and rivers in the Geum River basin." *Korean Society of Water and Wastewater, Korean Society on Water Environment, Fall Joint Conference*, pp. 673-681.
- Yu, J.-J., Shin, S.-H., Yoon, Y.-S., and Song, J.-K. (2010). "Long-term water quality trend analysis with NTrend 1.0 program in Nakdong River." *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 26, No. 6, pp. 895-902.

논문번호: 13-011	접수: 2013.01.28
수정일자: 2013.03.19/04.01	심사완료: 2013.04.01