

순천만 유입수계의 시·공간적 수질환경 평가

박상진 · 정정조+

순천대학교 환경공학과

Evaluation of Temporal and Spatial Variations of Water Quality at the Streams Flowing into the Suncheon Bay

Sang-Jin Park · Cheong-Jo Cheong+

Department of Environmental Engineering, Suncheon National University, Suncheon City, Korea

요 약

2008년 10월부터 2009년 9월까지 유입수계 하천의 수질특성을 파악하고 통계적 처리를 통하여 수질자료를 해석하였다. 순천만 유입수계 중에서 순천서천, 순천동천, 옥천은 환경부고시 하천수질 평가항목 모두에서 1등급으로 비교적 양호한 수질상태를 보였으나, 하천에서 유기물 오염의 지표인 BOD 항목에 대해서 해룡천과 순천만 유입지점에서는 각각 “약간 나쁨”과 “보통”의 결과를 나타내었다. 한편 총질소과 총인인 경우는 하수종말처리장 방류지점과 해룡천에서 다른 하천에 비해서 상대적으로 높은 결과를 나타내었다. 요인분석 결과 수질특성을 설명하는 1요인으로는 인간기원의 오염물질로서 기여율은 53.7%, 2요인으로는 지형적인 인자로서 기여율은 25.0%로 나타났다. 그리고 3요인은 자연환경의해서 기인된 요인들로서 기여율은 14.2%이며, 누적기여율은 92.8%로 평가되었다. 요인분석 결과 해룡천과 하수종말처리장 방류수로부터 상대적으로 많은 오염물질이 배출되어 순천만으로 유입되고 있어, 순천만의 수질 보존을 위해서는 순천하수종말처리장과 해룡천의 수질오염물질 배출의 보다 철저한 관리와 정화노력이 필요하다고 판단된다.

핵심용어 : 순천만 유입수계, 수질, 통계분석, 요인분석

Abstract

This study was performed to evaluate the temporal and spatial variations of the water quality at stream flowing into the Suncheon bay in Suncheon city from October 2008 to August 2009 and to estimate the pollutant sources from the streams using multivariate analysis. Water qualities from Seo stream, Dong stream, Ok stream were evaluated as I grade(very good) that compared to the Water Quality Standard. But Haeryong stream and inlet site of Suncheon Bay in BOD were evaluated as a little bad and fair. Water quality at the stream flowing into the Suncheon Bay was could be explained up to 92.8% by three factors which were included in loading of nutrients, organic matter and total coliform group by the allochthonous matters(53.7%), Topographic Factors(25.0%), seasonal variation(14.2%). The concentrations of total nitrogen and phosphorus at sewage treatment plant and organic matters at Haeryong stream were higher than that of others, respectively. From principal component analysis and factor analysis, it could be suggested that it is very important to make an effort to reduce the nutrients and organic matters from sewage treatment plant and Haeryong stream to be in good conservation of the Suncheon bay.

Keywords : Suncheon bay stream basin, Water quality, Statistic analysis, Factor analysis

1. 서론

여수반도와 고흥반도로 둘러싸여 있는 순천만(27.0 km²)은 넓은 사니질 갯벌(21.6 km²)과 갈대밭(5.4 km²) 이 잘 보존된 대표적인 연안습지로서(Suncheon University Regional Development Research Center, 1999), 이곳 순천 만에는 다양한 저서생물과 염생식물이 서식하고 있고, 200여종의 하구조류, 11여종의 국제적 희귀조류와 흑두

루미(천연기념물 제228호)가 월동하는 중간기착지로서의 역할을 담당하고 있다.

순천만은 2006년 1월에 람사르협약(Ramsar convention)에 국내 최초로 등록되었으며, 2003년 12월에 국토해양 부로부터 습지보호구역으로 지정되었음은 물론 2008년 6월에는 국가지정문화재 명승 제41호로 지정된 생태계의 보고(寶庫)로서 매우 소중한 가치를 지니고 있다 (Suncheonbay Natural-Ecological Park Website).

+ To whom correspondence should be addressed.
ccj@suncheon.ac.kr

생태계의 보고라고 알려진 순천만의 지속적인 보존 및 관리를 위해서는 외부로부터 유입되는 오염물질의 철저한 관리와 저감노력이 필수적이라 할 수 있다. 연구자료에 따르면 오염물질의 80%이상은 하천이나 강을 통해서 해역으로 유입된다고 보고하고 있다. 또한 순천만의 수질을 평가한 저자의 선행연구에서도 순천만의 상류지점에서 유기물과 영양염류의 농도가 하류부분에 비해서 상대적으로 높은 값을 나타내었다(Cheong, 2009; Jang and Cheong, 2010). 따라서 순천만을 지속적으로 보존하기 위해서는 순천만 유입수계 하천의 수질현황 및 오염물질의 주요 배출원을 파악하고, 이에 대한 저감대책을 수립할 필요가 있다고 판단된다.

현재 순천만이 위치한 순천시의 지리적 환경을 살펴 보면, 순천시내를 가로질러 순천만으로 직접 유입되는 순천동천(32.9 km)을 중심으로 상류로부터 순천서천(30.3 km), 석현천(4.1 km), 옥천(10.0 km), 이사천(70.0 km), 해룡천이 합류하는 형태를 취하고 있다(Green Suncheon 21, 2008). 순천만 유입수계의 상류에는 30여 개의 업체가 입주해 있는 순천산단과 1일처리량이 약 13만톤에 달하는 하수종말처리장이 위치하고 있다. 생태학적으로 소중한 순천만을 육상기원의 오염물질들로부터 보호하기 위해서는 순천만 유입수계의 지속적인 모니터링을 수행하여 오염물질의 현황을 파악하고, 저감 노력을 통해 순천만으로 유입되는 오염물질 부하량을 감소시킬 필요가 있다.

지금까지의 순천만 유입수계에 대한 수질조사 관련 연구는 1991년에 “순천만에 유입되는 동천과 이사천의 수질”(Kim et al., 1991), 1999년에 “순천만 생태계 조사 용역 최종보고서”(Hur et al., 1999)로 파악되었다. 그러나 10년 전과 지금은 인구의 증가와 도시화의 영향으로 오염물질 발생요소가 많이 변화되었으리라 판단되며, 수집된 자료를 보다 과학적이고 체계적인 통계적 기법을 이용하여 해석하는 것이 하천의 수질오염 현황을 파악하는데 효과적이라 판단된다(Lee and Kim, 2007; Kim and Lee, 2011).

따라서 본 연구에서는 순천만 유입수계의 수질현황을 파악하고, 수집된 결과를 통계적 기법인 요인분석과 주성분분석을 수행하여 오염물질 배출 요인을 분석하여 순천만의 과학적 관리를 및 보존을 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다.

2. 조사 및 실험방법

2.1. 대상유역

순천만으로 유입되는 주된 하천은 순천동천으로 상류에서는 순천서천이 합류하고, 하류로 가면서 석현천, 옥천, 이사천, 해룡천 순으로 순천동천에 합류하는 수

계 형태를 이루고 있다(Fig. 1). 그리고 순천동천의 하류 부근에는 처리용량이 130,000 m³/day인 하수종말처리장이 위치해있고 처리수는 순천만으로부터 약 3 km 상류 지점의 순천동천으로 방류된다.

본 연구에서는 순천도심을 흐르는 순천동천을 중심으로 순천서천, 석현천, 옥천, 해룡천, 하수종말처리장 방류구와 주암호의 조질지대인 상사담에서 유출되는 이사천과 최종합류지점인 순천만 상류지점을 포함해 8개 정점(Fig. 1, Table. 1)을 선정하여, 2008년 10월부터 2009년 9월까지 매월(12회)모니터링을 실시하였다.

한편 해룡천(st. 7)과 순천만유입지점(st. 8)은 만조시(flooding tide)에 해수의 유입으로 인한 영향을 직접적으로 받는 지역임을 감안하여 해수의 영향을 배제하고 하천수의 오염정도를 파악하기 위해 조위표를 참조하여 고조와 저조의 조차(tidal range)가 가장 큰 대조(사리, spring tide)시의 저조(간조, low tide)시에 현장측정 및 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 ice box에 냉장보관(약 4℃)하여 실험실로 운반 후 분석하였다.

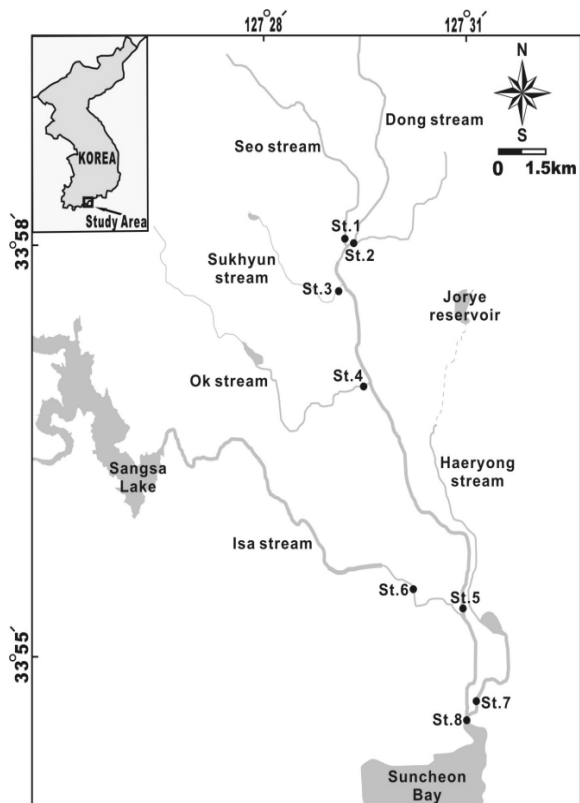


Fig. 1. Map showing the sampling points at the stream flowing into the Suncheon Bay in Suncheon city

2.2. 시험항목 및 방법

2.2.1. 현장측정 및 실험실 분석

현장측정 항목인 수온, 용존산소(DO), 전기전도도는 DO meter(YSI Model 85)로 측정하였고, pH의 측정에는

pH Meter(YSI Model 60)를 이용하였다. 실험실 분석항목 중에서 하천수질을 평가하는데 있어 중요한 기준으로 판단되는 생물화학적산소요구량(BOD, 부유물질(SS), 총대장균군(Total coliform group), 용존무기질소(DIN), 총질소(T-N), 용존무기인(DIP), 총인(T-P)을 선정하여 “수질오염공정시험방법”(Ministry of Environment, 2008)에 준하여 분석하였다. BOD는 초기용존산소량과 20℃에서 5일간 배양시킨 후의 용존산소량의 차를 이용하여 측정하였고, SS는 시료를 GF/C를 이용해 여과시킨 후 건조시켜 비여과성 잔류물질의 양을 측정하는 중량법을 이용하였다. T-N은 자외선 흡광광도법을 이용해

측정하였으며, DIN은 $\text{NH}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 의 합으로 계산하였다. T-P과 DIP(=PO₄-P)은 아스코로빈산환원법, DISi(SiO₂-Si)는 폴리브덴산환원법(해양오염공정시험법), Total coliform group은 막여과법을 이용하여 분석하였다.

유량은 하천의 단면과 유속의 곱으로 계산하였으며, 도섭(渡涉)이 가능한 정점에서의 유속은 Impeller Type Flow meter(VALEPORT Model 801)를 이용하여 측정하였으며, 도섭이 불가능한 순천만 유입 지점(st. 8)에서는 무전교위에서 유속계(UC-2)를 이용하여 유속을 측정하였다.

Table 1. Sampling sites and coordinates in the study area

Sampling site	Sampling points	Longitude	Latitude
1	Seo stream	127°29'26.9"	34°58'47.3"
2	Dong stream	127°29'37.1"	34°58'45.7"
3	Sukhyun stream	127°29'05.6"	34°58'25.3"
4	Ok stream	127°29'33.2"	34°56'57.7"
5	Sewage treatment plant	127°31'00.5"	34°54'07.9"
6	Isa stream	127°29'51.7"	34°54'37.6"
7	Haeryong stream	127°31'38.3"	34°53'09.9"
8	Inlet site of Suncheon Bay	127°30'51.1"	34°52'52.0"

2.2.2. 통계적 분석

상관분석(correlation analysis)은 두 변수 간에 상관관계가 존재하는지를 파악하고 상관관계의 정도를 측정하는 것으로 통계학적 측면에서 상관도는 선형적 상관도를 말하는 것으로, 두 변수의 변수값이 산점도 상의 직선을 중심으로 분포되어있는 정도를 나타내는 것이다. 본 연구에서는 분석된 수질결과의 항목간의 상관관계를 알아보기 위해 피어슨 상관분석(Pearson's correlation)을 수행하였다.

주성분분석(Principal component analysis)은 설명변수가 많은 다변량 자료인 경우 전체 변수 중에서 보다 간결하고 명확한 관계를 나타내는 요인(Factor)을 추출하기 위한 통계적 기법으로, 본 연구에서는 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않은 채로 공통 분산치 1.0을 추정값으로 하여 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 요인 추출법을 적용하였다. 따라서 요인들은 고유값이 '1'보다 작을 경우에 의미가 없는 것으로 간주하기 때문에 1이상인 값을 갖는 요인만을 추출하였다.

여러 요인으로부터 산출된 요인부하량(factor loading)이 비슷할 경우 변수들이 어떤 요인에 높에 작용하는지를 알아보기 위하여 요인축을 회전시키는데, 이는 요인의 회전을 통하여 변수와 요인사이의 보타 명확한

해석이 가능하다. 본 연구에서는 각 변수의 분산구조보다 각 요인의 특성을 알고자 할 때 보다 유용한 Varimax법(직교회전방법)을 적용하였다.

통계분석을 위한 자료의 통계처리는 윈도우용 통계 프로그램 SPSS(PASW Statistics 18.0)를 이용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질환경 및 상관분석

Fig. 2는 순천만 유입수계 각 하천의 말단부에서 2008년 10월부터 2009년 9월까지 매월 분석한 SS와 BOD를 계절별로 평균 및 범위(평균값(최소값~최대값))를 제시한 결과이다.

각 수질 항목들에 대한 그래프에서 농도 값의 높고 낮음은 그림의 좌측하단에 있는 바(bar)의 크기로 표기하며 바의 길이가 길수록 농도가 큰 것을 의미한다. 바의 상단에 표기된 숫자는 농도 값을 나타낸다.

봄은 111.3 mg/L(1.2~730.0 mg/L), 여름은 83.7 mg/L(1.7~384.0 mg/L), 가을은 59.1 mg/L(3.1~360.4 mg/L), 겨울은 86.7 mg/L(1.3~294.7 mg/L), 연평균 SS는 85.1 mg/L로 나타났다. 지점별로 순천서천, 동천, 석현천, 옥천, 하수종말처리장 방류수, 이사천의 연평균 SS

농도는 6.8 mg/L로 나타났는데, 해룡천의 경우 연평균 182.2 mg/L, SB은 439.9 mg/L로 매우 높게 나타났다. 이는 해룡천의 경우 수심이 매우 얇고 하상이 미세토립자로 구성되어 수체의 유동에 의해 미세토립자가 쉽게 부유되기 때문에 상대적으로 높은 분포를 보인 것으로 판단되며, 순천만지점의 경우도 마찬가지로 하상이 미세토립자로 구성되어있고, 선착장의 유람선 운행 등으로 인해 해룡천보다 더욱 높은 SS값을 나타낸 것으로 판단된다.

한편 생물화학적산소요구량(BOD)은 봄철에 3.4 mg/L (1.4~7.0 mg/L), 여름은 2.2 mg/L(1.0~5.2 mg/L), 가을은 1.8 mg/L(0.4~3.8 mg/L), 겨울은 4.0 mg/L(1.1~10.4 mg/L)로 나타났으며, 전체적인 순천만 유입하천들의 연평균 BOD는 2.8 mg/L로 나타났다. 강수량이 적은 겨울이 다른 계절에 비해 상대적으로 높게 나타난 것으로 조사되었는데, 적은 강수량으로 인해 하천 흐름의 정체와 지속적인 유기물질 증가로 인한 것으로 보인다.

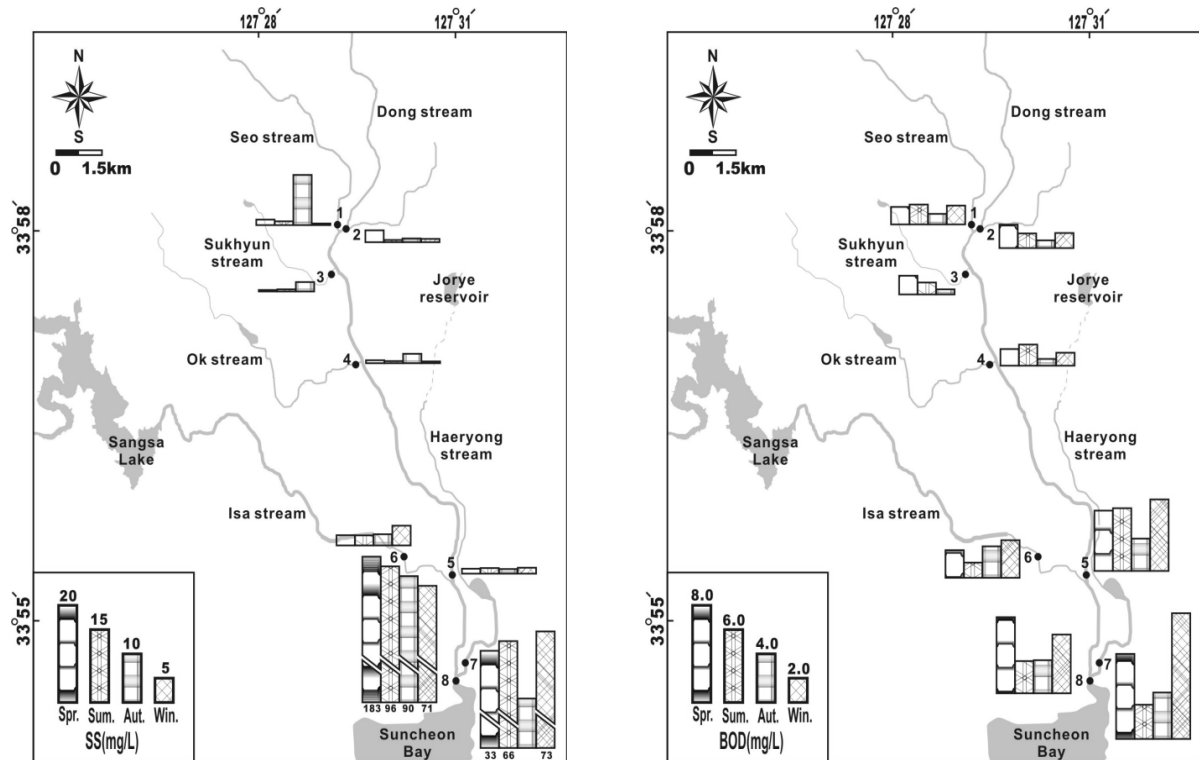


Fig. 2. Temporal-spatial variations of SS(left) and BOD(right) at the streams in Suncheon city.

지점별로 순천서천, 동천, 석현천, 옥천, 이사천의 연평균 BOD는 1.4 mg/L로 나타났으며, 하수종말처리장 방류지점은 연평균 4.7 mg/L, 해룡천의 경우 6.0 mg/L로 상대적으로 높게 나타났다. 이로 인해 해룡천과 하수종말처리장 방류수의 영향을 직접적으로 받는 순천만 지점에서는 4.1 mg/L로 높게 나타났다.

해룡천은 조례저수지부터 순천동천합류지점까지 총 연장이 10.18 km의 하천으로서 1990년 연향-금당지구 택지개발사업으로 조례저수지 하류 구암교부터 신월교까지 복개를 하였고, 공사당시 분류식 하수관거의 오접으로 인해 생활하수가 직접 하천으로 유입되고 있으며 하상구배가 완만하여 유수가 정체되고 자정능력이 결여되어 수질이 악화되어있는 실정이다. 이로 인해 해룡천의 조사지점에서 BOD농도가 높게 나타난 것으로 판단

해 볼 수 있다.

Fig. 3은 T-N의 분포를 나타낸 결과로, 계절별로 봄은 5.710 mg/L(1.629~13.166 mg/L), 여름은 3.999 mg/L(1.598~10.215 mg/L), 가을은 5.312 mg/L(1.378~11.607 mg/L), 겨울은 6.255 mg/L(0.955~13.161 mg/L)로 나타났다. 지점별로 순천서천, 동천, 석현천, 옥천, 이사천의 연평균 농도는 3.278 mg/L로 나타났으며, 하수종말처리장 방류지점은 12.037 mg/L, 해룡천은 5.801 mg/L, 순천만 유입부지점은 7.123 mg/L로 나타났다. 조사당시 순천하수종말처리장은 고도처리가 시행되지 못하고 생물학적 2차처리 후 방류하는 상태였기 때문에 방류수 중의 질소농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

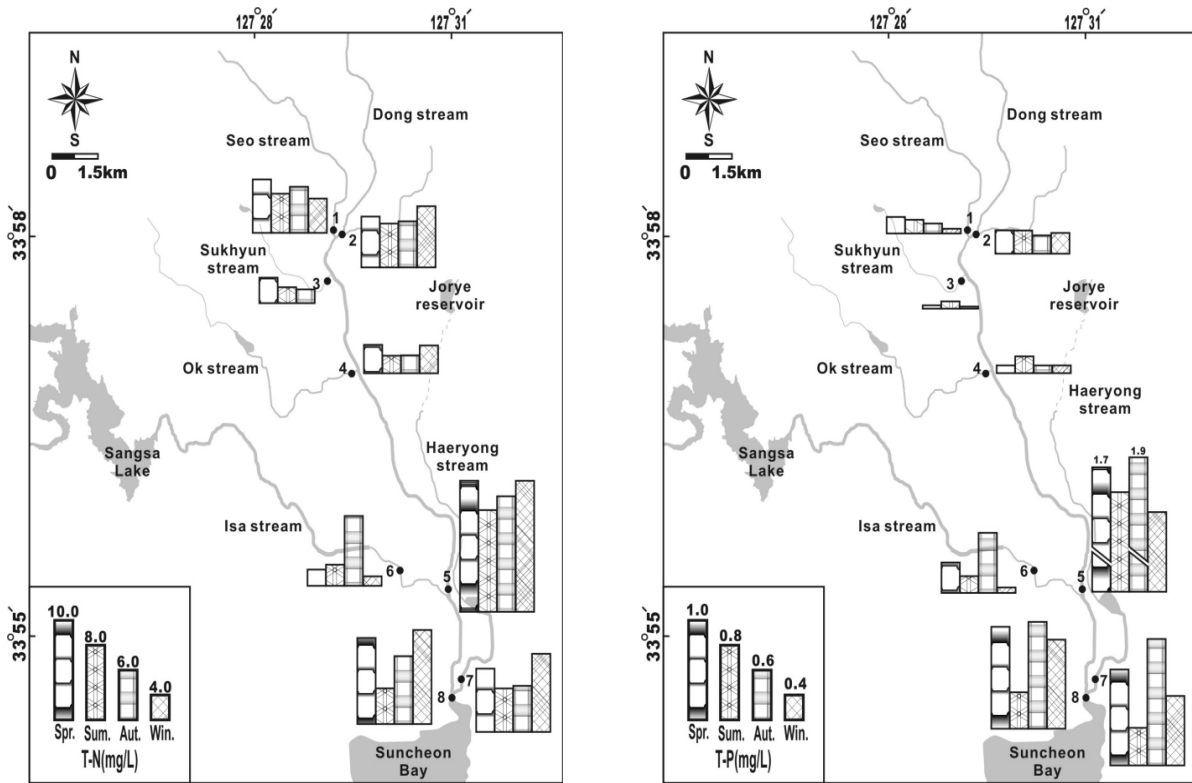


Fig. 3. Temporal-spatial variations of T-N(left) and T-P(right) at the streams in Suncheon city.

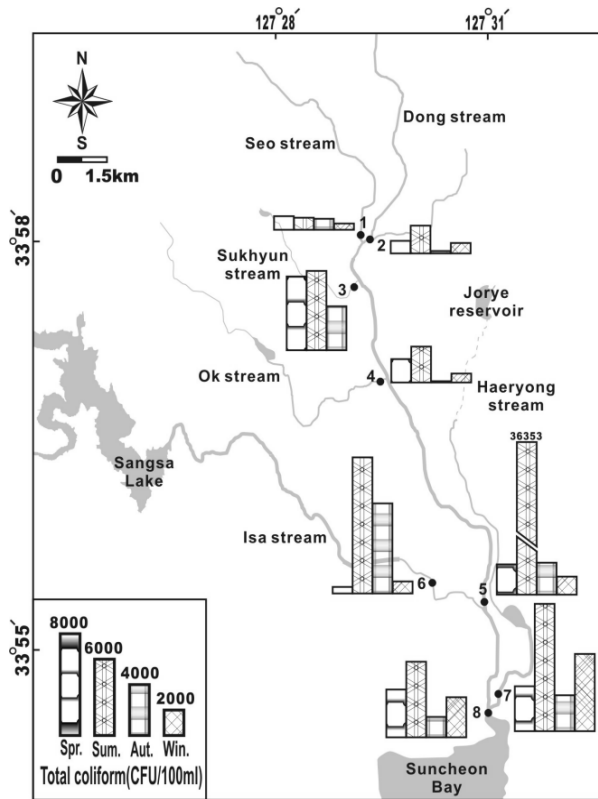


Fig. 4. Temporal-spatial variations of total coliform group at the streams in Suncheon city.

한편 봄의 T-P농도는 0.568 mg/L(0.034~1.743 mg/L), 여름은 0.322 mg/L(0.073~1.049 mg/L), 가을은 0.656 mg/L(0.021~1.920 mg/L), 겨울은 0.402 mg/L(0.047~0.895 mg/L)로 연평균 0.487 mg/L로 나타났다. 지점별로는 순천서천, 동천, 석현천, 옥천, 이사천의 연평균 T-P농도는 0.153 mg/L, 하수종말처리장 방류구 1.386 mg/L, 해룡천 0.827 mg/L, 순천만 유입부는 0.839 mg/L로 나타났다. 하수종말처리장 방류지점에서 T-P의 농도가 높은 것은 T-N과 마찬가지로 고도처리 시설이 설치되지 않은 하수종말처리시설의 영향으로 판단된다.

Fig. 4는 총대장균군(total coliform group)의 결과를 나타낸 것으로, 연평균 4,106 CFU/100ml로 분포를 보였으며,

계절별로 봄은 2,484 CFU/100ml CFU/100ml(510~5,800), 여름은 9,399 CFU/100ml (947~36,353 CFU/100ml), 가을은 2,328 CFU/100ml(100~7,080 CFU/100ml), 겨울은 1,942 CFU/100ml(493~6,072 CFU/100ml)의 분포를 보였다. 수온이 높고 강수량이 많은 여름이 가장 많은 총대장균군수를 나타냈으며, 수온이 낮은 겨울에 상대적으로 적게 나타났다. 지점별로 하수종말처리장 방류지점에서 연평균 10,666 CFU/100mL로 다른 지점들에 비해 매우 높게 나타났으며, 석현천과 이사천, 해룡천, 순천만의 연평균 총대장균군은 4,906 CFU/100mL로 나타났다. 순천서천과 순천동천, 옥천은 평균 1,057 CFU/100mL로 나타났다.

Table 2. Evaluation of water quality comparing to Water Quality Standard for Stream at the streams in Suncheon city

Items	Average (Range)	SeS	DS	OS	IS	HS	SB	Evaluation
pH	8.0 (7.7~8.2)	Ia	Ia	Ia	Ia	Ia	Ia	very good
DO (mg/L)	9.9 (8.1~10.9)	Ia	Ia	Ia	Ia	Ia	Ia	very good
SS (mg/L)	100.5 (3.2~432.7)	Ia	Ia	Ia	Ia	IV↑	IV↑	St.7, St.8: bad Others: very good
BOD (mg/L)	2.7 (1.2~6.0)	Ib	Ib	Ib	Ib	IV	III	St.8: fair St.7: a little bad Others: good
Total coliform group (cfu/100mL)	2,867 (843~5,610)	II	II	III	III	III↑	III	St.1, St.2: a little good St.4, St.6, St.8: fair

Table 2는 순천만 유입수계의 각 하천에서 수질환경 기준에 의해 수질평가를 수행한 내용을 제시한 결과이다. pH와 DO의 항목은 순천시의 하천 모든 지점에서 “매우 좋음”에 해당하는 Ia등급으로 평가되었다. 그리고 SS 항목으로 평가해보면 해룡천과 순천만 유입지점의 경우는 “나쁨”으로 평가되었으며, 그 이외의 하천은 “매우 좋음”으로 평가되었다. 해룡천과 순천만 유입지점에서 SS가 높게 나타난 이유는 하상이 미세토립자로 형성되어 있기 때문에 수체의 유동에 쉽게 부상되기 때문으로 판단된다.

한편 BOD의 경우는 해룡천이 “약간 나쁨”, 순천만 유입지점이 “보통”, 그 이외의 지점에서는 “좋음”으로 평가되었다. 또한 총대장균군 항목의 경우는 순천서천과 순천동천이 “약간 좋음”, 옥천, 이사천, 순천만 유입지점은 “보통”으로 평가되었다.

Table 3은 순천만 유입수계의 하천과 순천하수종말처리장에 배출되는 방류수의 수질인자간의 관련성을 평가하기 위해서 17개 항목의 수질항목에 대한 단순상관분석을 실시한 결과이다.

수온은 DO와 뚜렷한 음(-)의 상관관계($r=-0.530$), NO₃-N과는 강한 양(+)의 상관관계($r=0.751$)를 나타내었다. 수온과 NO₃-N과의 상관관계가 높은 이유는 하수종말처리장 방류수의 수온이 하천의 수온보다 상대적으로 높고 하수종말처리장에서 2차처리 후 방류되는 수질에서 NO₃-N의 농도가 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다. 그리고 염분농도는 전기전도도, 유량, 부유물질과 강한 양의 상관관계를 나타내었으며, 상관계수는 각각 0.990, 0.940, 0.994이었다. 일반적으로 하천에서는 유량의 증가에 따라서 염분농도가 감소하는 경향을 보이나, 본 연구에서 해수의 영향을 배제하기 위해서 대조(사리, spring tide)의 저조(간조, low tide)시에 현장측정을 수행했음에도 불구하고 염분농도와 유량의 상관관계가 높은 이유는 순천만 유입지점에서 창조시에 해수가 유입되어 저조시에 해당 지점으로부터 해수가 후퇴하였으나 소량의 해수가 남아 해수의 영향을 간접적으로 받았기 때문으로 판단된다. BOD의 경우는 T-N, T-P와 각각 0.686, 0.872의 상관계수를 보여 강한 양의 상관관계를 나타내었다.

Table 3. Correlation coefficient among 17 variables

	Temp.	Sal.	DO	pH	Cond.	FR	TCG	SS	BOD	NH3-N	NO2-N	NO3-N	DIN	T-N	DIP	T-P	DISi
Temp.	1.000																
Salinity	-.297	1.000															
DO	-.530	-.381	1.000														
pH	-.665	-.029	.725	1.000													
Cond.	-.281	.990	-.403	-.089	1.000												
FR	-.300	.940	-.506	-.212	.961	1.000											
TCG	.264	.010	-.685	-.388	-.019	.181	1.000										
SS	-.300	.994	-.342	.025	.971	.905	-.004	1.000									
BOD	-.308	.522	-.337	.117	.425	.499	.614	.554	1.000								
NH3-N	-.187	.511	-.577	-.197	.458	.601	.746	.501	.912	1.000							
NO2-N	-.016	.203	-.645	-.468	.202	.417	.792	.154	.612	.870	1.000						
NO3-N	.751	-.137	-.721	-.946	-.091	.026	.433	-.175	-.152	.116	.389	1.000					
DIN	-.096	.473	-.650	-.310	.428	.586	.785	.457	.868	.992	.908	.236	1.000				
T-N	-.216	.299	-.452	-.361	.282	.479	.643	.260	.686	.888	.944	.225	.904	1.000			
DIP	-.042	.198	-.602	-.466	.204	.423	.756	.143	.575	.846	.993	.358	.882	.954	1.000		
T-P	-.213	.425	-.532	-.206	.381	.551	.767	.407	.872	.988	.911	.110	.983	.932	.899	1.000	
DISi	.420	.032	-.762	-.792	.048	.222	.676	-.018	.306	.621	.861	.746	.706	.756	.847	.646	1.000

* TCG: Total coliform group, FR: Flow rate

3.2. 주성분분석

Table 4는 통계분석프로그램인 SPSS PASW Statistics 18.0을 이용하여 주성분분석을 수행한 결과이다. 본 연구에서는 추출된 17개의 요인 중에서 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 분석법을 사용하였고, 요인수를 결정하는 하는 여러 방법 중에서 고유값(eigen value)을 기준으로 판단하였다. 고유값이라 함은 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명할 수 있다. 따라서 “1.0” 이하의 고유값은 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없다

Table 4. Eigenvalues and cumulative percentage of factors using principal component analysis

Component	Initial eigenvalues		
	Eigenvalues	% of variance	Cumulative %
1	9.113	53.607	53.607
2	4.253	25.018	78.625
3	2.407	14.161	92.786
4	0.766	4.508	97.294
5	0.236	1.385	98.679
6	0.148	0.868	99.547
7	0.077	0.453	100.000
8	0.000	0.000	100.000
9	0.000	0.000	100.000
10	0.000	0.000	100.000
11	0.000	0.000	100.000
12	0.000	0.000	100.000
13	0.000	0.000	100.000
14	0.000	0.000	100.000
15	0.000	0.000	100.000
16	0.000	0.000	100.000
17	0.000	0.000	100.000

는 의미이므로 의미가 없다고 간주하여 제외하고 고유값이 “1.0” 이상인 3개의 요인을 추출하였다.

요인 1의 고유값은 9.11으로 기여율은 53.7%, 요인 2는 고유값이 4.25으로 기여율은 25.0%, 요인 3은 고유값이 2.41로 기여율은 14.2%를 나타내었다. 고유값이 1 이상인 3개의 요인 누적기여율은 92.8%로 전체 수질의 변화를 92.8%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 5와 Fig. 5는 요인분석을 통해 얻어진 인자부하량을 분석한 결과를 요인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되었는지를 판단하기 위하여 Varimax법(적교회전방법)으로 분석한 결과이다.

Table 5. Rotated factor matrix extracted using varimax rotation by factor analysis

Variable	Factor		
	1	2	3
T-P	0.959	0.275	-0.001
NO2-N	0.937	0.078	0.274
T-N	0.931	0.160	0.087
DIN	0.925	0.336	0.129
DIP	0.925	0.074	0.254
NH3-N	0.920	0.367	0.014
Total coliform group	0.814	-0.095	0.332
BOD	0.785	0.376	-0.259
DISi	0.694	-0.041	0.672
Conductivity	0.116	0.989	-0.003
Salinity	0.159	0.984	-0.063
SS	0.138	0.976	-0.106
Flow rate	0.317	0.919	0.062
NO3-N	0.151	-0.097	0.954
pH	-0.202	-0.060	-0.935
Temperature	-0.176	-0.238	0.849
DO	-0.451	-0.364	-0.749

요인 1은 영양염류와 총대장균군 그리고 BOD와 높은 양의 인자부하량을 보였다. 요인 1은 유기오염물의 지표인 BOD와 관련성이 있는 것으로 유기물은 기원에 따라 분류하면 외래성 유기물과 자생성 유기물로 구분된다. 외래성 유기물은 생활하수와 같은 인위적인 오염원에 의한 것이고, 자생유기물은 오염원으로부터 유입된 영양물질을 이용하여 증식한 조류에 의해서 나타나는 것을 의미한다(Kim, 2002). 요인 1에 해당하는 수질항목들은 외래기원의 항목들로 생활하수의 유입이나 하수종말처리장으로부터 미처리 후 방류되는 오염물질로부터 기인된 것으로, 해룡천(St. 7)과 하수종말처리장(St. 5)으로부터 방류되는 오염물질에 기인된 것으로 설명할 수 있다.

요인점수에 의해 판단해 본 결과, 요인점수가 가장 높은 요인 1에 해당하는 영양염류와 유기물은 Fig. 2와 3에 제시한 바와 같이 해룡천과 하수종말처리장 방류수를 통해서 상대적으로 많은 양이 배출되어 순천만으로 유입되는 것으로 판단된다.

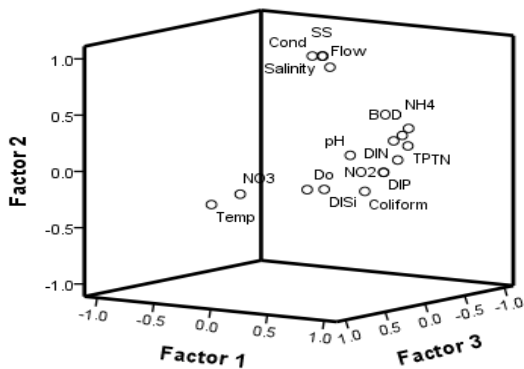


Fig. 5. Factor loading of factor 1,2,3 using varimax rotation for items of water quality.

요인 2는 전기전도도, 부유물질, 염분, 유량과 강한 양의 부하량 관계를 갖고 있었으며, 이들 항목들은 지형적인 환경과 관련성이 많은 항목들이다. 해수의 영향을 받는 순천만이나 해룡천의 지점들은 염분과 전기전도도 값이 상대적으로 다소 높고, 지반이 미세토립자로 형성되어 있어 쉽게 부상되어 부유물질의 농도가 높은 특징으로 인해 상관성이 크게 나타난 것으로 해석된다.

요인 3은 수온과 강한 양의 인자부하량을, DO와 pH와는 강한 음의 인자부하량을 갖고 있음을 알 수 있었다. pH나 수온 DO는 자연환경에 기인된 항목들로 기온의 변화는 수온의 변화에 직접적인 영향을 미치고 수온의 수온의 증가에 따른 용존산소의 감소 변동을 설명할 수 있다. pH의 경우는 강수에의해서 영향을 받으며 또한 수온의 증가에 따른 조류의 증식에 의한 CO2의 증가에 영향을 받기 때문에 상관성도 높은 것으로 해석할 수 있다.

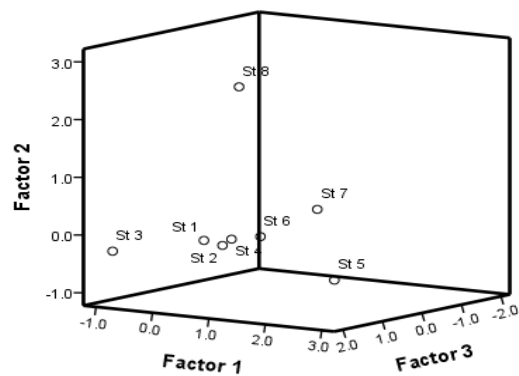


Fig. 6. Factor score of factor 1, 2, 3 for spatial variation at streams flowing into Suncheon Bay.

3.3. 요인분석을 이용한 지점별 수질특성

Fig. 6은 순천만 유입수계 각 하천의 말단부에서 2008년 10월부터 2009년 9월까지 매월 분석한 자료를 바탕으로 지점별 수질변동 특성을 평가하기 위하여 요인분석을 통해 얻어진 요인점수를 지점별로 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성한 결과이다. 지점 5(하수종말처리장 방류구), 7(해룡천)은 요인 1에서 각각 2.174, 0.630으로 다른 지점보다 높은 요인점수를 나타내고 있다. 순천만 유입하천의 최종 합류 지점인 순천만 유입지점(st. 8)에서는 0.203으로 나타났으며, 요인 1의 결과로 판단하였을 경우 유입하천에 가장 많은 영향을 끼치고 있는 지점은 하수종말처리장(St. 5)과 해룡천(St. 7)으로 지속적으로 유기물과 영양염류를 배출하는 것으로 나타나 이에 대한 대책이 필요할 것으로 보인다.

요인 2에서는 지점 8에 해당하는 순천만 유입지점(St. 8)에서 2.407로 나타났다. 요인 2는 전기전도도와 염분,

유량, 부유물질로 순천만 유입지점은 해수의 영향을 많이 받고, 또한 유입하천들의 최종 합류지점이며, 하상이 미세토립자로 구성되어 높은 요인점수를 받은 것으로 판단된다. 계절적인 변화에 영향을 받는 요인 3에서는 지점 3(석현천)과 5(하수종말처리장 방류구)에서 각각 1.965와 0.722의 요인점수를 나타내었다. 지점 3인 석현천의 경우 10월부터 4월까지의 건천인 관계로 5월부터 9월까지만 측정하였기 때문에 계절적인 변화에 영향을 많이 받아 높은 요인점수를 나타낸 것으로 보이며, 지점 5인 하수종말처리장 방류구의 경우 가정으로부터 배출되는 하수의 자체 온도가 일반 하천에 비해 상대적으로 높기 때문에 처리공정을 통과해 배출되는 수온이 높아 높은 요인점수를 획득한 것으로 판단된다.

4. 결론

생태계의 보고인 순천만의 과학적이고 효율적 관리를

위해서 순천만 유입수계의 오염물질 배출경로를 파악하고 저감방안 수립을 위한 기초자료의 제공을 위해, 2008년 10월부터 2009년 9월까지 유입수계 하천의 수질특성을 파악하고 통계적 처리를 통하여 수질자료를 해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

순천만 유입수계 중에서 순천서천, 순천동천, 옥천은 모든 항목에서 1등급으로 비교적 양호한 수질상태를 보였으나, 하천에서 유기물 오염의 지표인 BOD 항목에 대해서 해룡천과 순천만 유입지점에서는 각각 “약간나쁨”과 “보통”의 결과를 나타내었다. 한편 총질소의 경우에는 하수종말처리장 방류수에서 12.04 mg/L, 해룡천에서 5.87 mg/L로 나타났으며, 총인의 경우에는 하수종말처리장 방류수에서 1.39 mg/L, 해룡천에서 0.83 mg/L로 다른 하천에 비해서 상대적으로 높은 결과를 나타내었다.

주성분분석과 요인분석의 결과 수질특성 중에서 53.6%를 점유하는 요인 1에 해당하는 항목은 영양염류, 유기물, 총대장균군으로 해룡천의 유기물 부하와 하수종말처리장 방류수로부터의 영양염류에 기인한 것으로 판단된다. 그리고 요인 2는 염분, 전기전도도, 유량, 부유물질로 25.0%, 요인 3은 수온과 용존산소로 14.2%로 나타나, 이들 요인에 의해서 92.8%를 설명할 수 있었다. 요인점수의 결과에서 해룡천과 하수종말처리장 방류수로부터 상대적으로 많은 오염물질이 배출되어 순천만으로 유입되는 것으로 판단된다.

따라서 순천만의 수질 보존을 위해서는 순천하수종말처리장과 해룡천의 수질오염물질 배출의 보다 철저한 관리와 정화노력이 필요하다고 판단된다.

References

- Cheong, CJ (2009). Research on basic environment for effective management and conservation in Suncheon Bay, Suncheon City, pp. 63-80.
- Hur, JS, Shim, HJ and Jeoun HS (1999). Survey on the water quality of the branch streams of Suncheon Bay, *Suncheon National University Bulletin*, 18, pp. 243-255.
- Jang, SG and Cheong, CJ (2010). Seasonal characteristics of seawater quality in the Suncheon Bay, *Korean Wetlands Society*, 12(2), pp. 47-57.
- Kim, JH, Seong, CN, Jung, JS and Han SK (1991). Water quality of Dongcheon and Isacheon inflowed into Suncheon Bay, *Suncheon National University Bulletin*, 10, pp. 125-136.
- Kim, JG (2002). Evaluation of water quality in the Keum River using statistic analysis, *Journal of Environmental Sciences*, 11(12), pp. 1286-1289.
- Kim, YY and Lee, SJ (2011). Evaluation of water quality for the Han Rver tributaries using multivariate analysis, *Korean Society of Environmental Engineers*, 33(7), pp. 501-510.
- Lee, ND and Kim JG (2007). The evaluation of water quality in coastal sea of Kunsan using statistic analysis, *Journal of Environmental Sciences*, 16(3), pp. 369-376.
- Ministry of Environment. (2008). *Water Pollution Official Test Method*.
- Green Suncheon 21 (2008). *Suncheon Bay White Paper*.
- Suncheonbay Natural-Ecological Park (2013). <http://www.suncheonbay.go.kr>.
- Suncheon University Regional Development Research Center. (1999). *Research Report for Ecosystem in Suncheon Bay*, Suncheon City.
- 논문접수일 : 2013년 03월 26일
- 심사의뢰일 : 2013년 03월 27일
- 심사완료일 : 2013년 06월 05일