

# 영산강과 섬진강 유역의 수질환경 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristic of Water Quality Environment in  
Yongsan and Seumjin River Watershed

양해근(立正大, 일본학술진흥회 특별연구원),

최희철, 정해룡, 김정우, 김인수(광주과학기술원)

YANG, Heakun(Rissho Univ., JSPS Fellow),

Heechul CHOI, Hearyong JUNG, Jungwoo KIM, Insoo KIM(K-JIST)

## 1. 머리말

최근, 물 이용의 증대와 공공수역의 수질감시 또는 수질규제를 위해 수질관측망이 구축되고 있으며, 특히 공공수역의 수질환경에 대한 사회적 관심이 고조됨에 따라 관계부처 홈페이지를 통해 수질자료가 공개되고 있다. 그러나, 이들 수질정보는 수질환경을 단편적으로 나타내고 있을 뿐 종합적인 수질환경정보를 제공하고 있다고는 볼 수 없다.

하천수질 그 자체는 화학적·생물학적·물리적 성질을 나타내는 것으로서, 측정지점 또는 채수 지점에 관한 공간적 위치정보를 부여하기 이전에는 지리학적 의미와는 무관하다. 그러나, 수질농도의 공간적 분포는 유역의 인간활동과 자연지리적 조건에 의해 크게 좌우되어 지역성을 나타내고, 수질의 시계열적 변화에서도 토지이용 변화와 사회 구조적인 요인 등에 따라 좌우되므로 지역성을 지닌다고 볼 수 있다. 따라서 「지표공간에 대한 제반 현상을 지역차이라는 관점에서 규명하는 분야가 지리학이다.」라고 한다면, 하천수질의 특성과 오염원의 규명 역시, 지리학의 중요한 연구 대상일 것이다. 우리나라 지리학계에서의 하천 수질연구는, 박수진(1993)과 양해근(1995), 박종관(1997) 등의 연구가 있을 뿐이며, 유역 수질환경에 대한 지리학자의 활발한 연구가 있었다고는 말할 수 없다. 지구 규모적 환경문제와 지역환경문제의 개선이 21세기 인류의 당면 과제임을 감안할 때, 유역관리와 환경정보 분야에서의 지리학자의 역할이 중요하리라 생각한다.

본 연구에서는, 영산강과 섬진강의 유역을 대상으로 강우의 이벤트 영향이 없는 저수 위시에 유량과 수질 모니터링을 실시하였으며, 하천유역 환경관리에 가장 중요한 인자로 간주되고 있는 종합적 수질지표(WQI; Water Quality Indices)를 이용하여, 유역별 수질환경을 파악하였다. 한편, 하천수질 형성에 영향을 미치는 인위적인 요인을 규명함과 동시에 지리학적 관점에서 수질평가에 대한 재 조명을 도모하였다.

## 2. 연구지역의 개관

영산강과 섬진강은 우리나라 5대강의 하나로 한반도 서남부의 주요 수계를 형성하고 있다. 영산강은 노령산맥의 용추봉(EL.570m)에서 발원하여 동진강 수계와 분수계를 이루고,

섬진강 수계와는 무등산을 분수령으로 NW-SW방향으로 흐르면서 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천, 함평천과 합류하여 영산호에 유입한다. 영산강의 유역면적은 약 3,371.3km<sup>2</sup>, 본류의 유로 연장길이는 약136km이며, 상류부를 제외하고는 평지를 사행하면서 비옥한 충적지를 이루고 있다. 섬진강은 서북쪽으로 금강, 만경강, 동진강 수계와 분수계를 이루고, 내장산과 무등산을 연결하는 분수령에 의해 영산강 수계와 구분되어 N-S으로 흐르면서 오수천, 순창천, 옥과천, 곡성천, 보성강, 황전천, 그리고 지리산에서 발원하는 서시천, 화계천, 약양천, 횡전천과 합류하여 광양만에 유입하고 있다. 섬진강의 유역면적은 약4,896.5km<sup>2</sup>, 본류의 유로 연장길이는 약218km이며, 영산강 수계와는 달리 고산준령에 둘러 쌓인 섬진강 유역은 평야의 발달이 미약하고, 하상경계수가 가장 큰 하천으로 알려져 있다. 이들 하천수계는 서남지방의 주요 용수원으로서, 섬진강 상류에는 섬진강댐과 지류인 보성강 상류에는 보성강댐, 동북댐, 주암 다목적댐 등이 위치해 있으며, 영산강 상류에는 장성댐, 담양댐, 광주댐, 나주댐 등과 같은 농업 용수댐이 축조되어 있다.

### 3. 조사방법 및 분석방법

먼저, 유역별 경년 수질변화는 환경부 수질측정지점 중 본류(영산강 10지점, 섬진강 7지점)의 관측자료를 이용하여 수질자료를 분석하였다. 그리고 이벤트의 영향을 배제할 수 있는 저수위시의 수질환경을 파악하기 위하여 1999년 4월, 5월, 9월 10월에 각각 1회씩 총 34(영산강17지점, 섬진강 17지점)지점에서 하천수질(수온, pH, DO, BOD, COD, SS, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Org-N, T-N, PO<sub>4</sub>-P, T-P, Org-P, 대장균 수, Phenol)과 유량을 측정하였다. 조사지점의 선정은 ①일정한 하천구간에서 하천유황을 대표할 수 있고, ②종래의 수문자료가 충분하고, ③상합하수 등에 의한 물질수지가 명확하게 구분할 수 있는 점을 고려하였다. 수질분석은 수질공정실험법(환경부)과 Standard Methods (APHA-AWWA-WEF, 1995)에 준하여 분석하였다. 그리고, 수질오염이 현저한 영산강 본류의 하상퇴적물에 대해서도 Pb, Cr, TOC, T-N, T-P의 분석을 5월과 9월에 각각1회씩 실시하였다.

오염원에 관한 조사는, 먼저 시군별 통계연보(1993-1998년)로부터 점 오염원과 비점 오염원을 조사하였으며, 향후 환경정책의 기본골격을 이룰 것으로 간주되는 환경정책평가연구원(1999)의 오염원 단위를 이용하여 오염물질의 발생 부하량을 산정하였다. 그리고 소 유역별 환경기초시설에 의한 오염물질 삭감량을 고려하고, 현지조사에 의한 실측 부하량 결과를 고려하여 유달율을 산정하였다. 그 결과를 바탕으로 유역의 비배출 부하량을 추정함과 동시에 인위적인 영향을 규명하였다. 그리고 종합적 수질지표를 도입하여 하천 수질환경을 평가하였다.

### 4. 고찰 및 결과

#### 1) 수질의 경년변화

1991년부터 1999년까지의 환경부 수질관측망의 조사결과에 근거한 영산강·섬진강 본류의 주요지점별 수질 경년변화는 다음과 같이 기술할 수 있다.

지난 9년간의 BOD농도변화에 의하면, 영산강 상류지점에서는 수질환경기준 I 급수를 초과하고 있으나, 주요 오염원인 광주천의 유입으로 악화되고, 하류지점으로 흘러감에 따라 자정작용과 희석작용으로 점진적으로 수질이 개선되는 경향을 나타내고 있다. 이는 DO의 농도변화로부터도 반증된다. 섬진강의 경우에는 전반적으로 2mg/L이하의 양호한 수질을 나타내고 있다. 그리고 수질의 경년 변화를 통해 두드러진 수질개선을 볼 수 없으나, 소우년이었던 1995년과 1996년에 수질오염이 심하게 나타나고 있는 점은 하천유지수량의 확보가 수질개선의 주요 대안 점 하나로 사료된다.

## 2) 수질특성

### (1) 영산강 수계

수서생물의 서식환경 지표이자 유기물 오염지표로 이용되고 있는 DO의 평균농도는 본류 전 지점에서 6mg/L 이상을 나타내고 있으나, 광주천 하류지점에서는 4.7mg/L을 나타내, 다른 지점에 비해 상대적으로 유기물에 의한 오염도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. DO농도와 상관관계가 높은 BOD와 COD농도는 경년 변화와 마찬가지로 용산교에서 각각 1.6mg/L, 7.2mg/L이었던 것이 광주천의 합류 후 각각 5.4mg/L, 11.8mg/L으로 급격히 악화된 후 차츰 개선되는 경향을 보이고 있다. 그러나, 죽산교 부근의 COD농도가 서창교 부근에 근접한 11.5mg/L까지 리바운드하는 것은 나주대교와 죽산교 사이에 입지한 공단의 영향으로 간주된다.

그리고 부유물질(SS)의 경우에는, 상류보다 하류에서 농도가 높아지며, 영산호 상류부에 해당하는 동강교에서 25mg/L로 피크를 나타내고, 몽탄대교에서 18.7mg/L로 개선되었다. 이러한 현상은 하천 유속과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. 조사기간 중 하상공사의 영향을 받았던 함평천을 제외한다면, 지류 중 광주천과 고막원천의 부유물질농도가 각각 16.1mg/L, 19.4mg/L로서 상대적으로 높았다.

질소는 수중에서 질소가스 또는  $\text{NH}_3^{+-}\text{N}$ ,  $\text{NO}_2^{--}\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^{--}\text{N}$ , Org-N 등의 형태로 존재, 인은 용존성 또는 수용성의 유기합무기형태로 수중에 존재하면서 조류의 증식과 수중생태계를 결정하는 요인이 되기도 한다. 여기서는  $\text{NH}_3^{+-}\text{N}$ ,  $\text{NO}_2^{--}\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^{--}\text{N}$ , Org-N의 총 함으로 나타낼 수 있는 T-N과 무기인과 유기인의 총 함인 T-P에 관하여 기술하고자 한다. 본류의 T-N와 T-P의 공간적 분포는 BOD와 COD농도분포와 유사한 형태를 나타낸다. 즉, 서창교에서의 T-N와 T-P의 농도는 각각 4.36mg/L, 0.05 mg/L이었으나, 광주천 합류 후 각각 13.74 mg/L, 0.95 mg/L로 증가하여, 점진적으로 저하되어 하류의 관측 지점인 몽탄대교에서 각각 7.82 mg/L, 0.19로 감소하였다. 대장균수의 경우, 광주천(429.5MPM/100mL)의 영향을 직접 받는 서창교(264.0MPM/100mL)를 제외한다면, 하류인 영산호 주변(232.3-267.5 MPM/100mL)이 상류보다 높으며, Phenol의 경우에는 전 지점에서 0.01이하 또는 불 검출되었다.

하천 수 중에는 인, 질소 등의 영양염류와 중금속 등의 물질이 용존상태에서 입자상태로 변하거나 입자상의 물질에 흡착하여 유속이 느린 하상에 침전하게 된다. 이러한 하상퇴적물은 수심이 비교적 얇고, 유속이 느린 정체역에서 물리적·화학적 조건에 따라 용출 되어 부영양화를 일으키는 요인이 되기도 한다. 특히 인의 경우에는 수중생태

계의 일차 생산량을 결정하는 중요한 물질로서 수리적 조건과 입자의 크기나 밀도, 영양 공급원, pH, 산화환원원작용 등에 의해 영향을 받는다. 영산강 본류의 퇴적물 T-P농도는 용산교에서 251.8mg/kg, 서창교 하류에서 257.0mg/kg, 나주교 하류에서 363.8mg/kg, 죽산교에서 241.0mg/kg, 동강교에서 489.5mg/kg, 영산강 하구언부근에서 238mg/kg로 나타났다. 이들 대부분 유속이 느린 곳에서 비교적 농도가 높았으며, 특히 영산호 상류에 해당하는 동강교에서 가장 높은 것은 여름철 빈번하게 발생하는 동강교 부근의 부영양화와 깊은 관계를 시사한다고 볼 수 있다. 퇴적물이 T-N농도 또한 수질의 T-P농도와 (-)의 상관( $r=-0.4$ )을 보이지만, 동강교에서 가장 높은 9.79mg/kg을 나타낸다. 그리고 퇴적물속에 존재하는 유기탄소(TOC)농도 변화는 BOD와 COD의 농도변화와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그리고, 하상퇴적물의 중금속 성분(Pb, Cr)은 중 상류에 비해 하류부에서 높은 경향을 나타냈으며, Pb의 경우에는 중 상류부에서 6.3-6.7mg/kg, 하류부에서 15.7-42.0mg/kg였으며, Cr의 경우에는 상류부에서 0.001mg/kg이하, 하류부에서 0.001 이하-0.005mg/kg로 나타났다.

## (2)섬진강 수계

섬진강 본류에서의 DO평균농도는 상류인 섬진강댐 입구에서 하류인 신방나루터까지의 큰 변화 없이 6.5-7.2mg/L로서 II급수를 나타내고, 각 지류에서도 6.6-6.8mg/L의 평균농도를 나타냈다. 그러나 본류의 경우, 상류보다 중 하류에서 용존산소 농도가 약간 저하되는 경향을 보인다. 이와 함께 BOD와 COD의 평균농도에서도 상류보다 하류로 갈 수록 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있지만, 기수호 역에 해당하는 신방나루터를 제외한 전 지점에서 II급수를 유지하고 있다.

본류의 부유물질의 농도는 2.3-4.3mg/L이며, 다소 하류에서 높게 나타나지만, 영산강과 같은 현저한 경향은 볼 수가 없다. 그리고 영산강처럼 하천 상류부에 현저한 오염원이 입지하고 있지 않는 관계로 T-N의 농도분포는 상 하류간의 큰 차가 없으며, T-P의 농도분포는 상류에서 하류로 흘러감에 따라 0.1mg/L정도씩 감소하는 경향을 나타낸다. 대장균수의 경우에는 본류의 전 조사지점에서 30MPM /100mL로서 I급수를 나타내고, 환경기초시설이 미비한 옥과천과 곡성천에서도 각각 73.8MPM/100mL, 63.8MPM/100mL로서 비교적 양호한 II급수를 나타냈다.

## 3) 종합적 수질지표에 의한 수질환경 평가

현재, 우리나라에서 하천 수질지표로 사용하고 있는 하천합호소 수질환경기준은 BOD, COD, DO 등과 같은 단편적인 수질항목을 표본지표로 사용하고 있어, 종합적인 수질환경을 나타내기가 어렵다. 특히 수계단위의 수질환경을 논하는데 있어서, 수질형성은 유역전체가 관여하고 있음을 볼 때, 「운송거리 와의 관계」와 같은 1차원적으로 다루는 것보다는 「유역면적과의 관계」와 같은 2차원적으로 취급하는 것이 적절하다고 판단된다(原, 1984). 그리고, 岡외(1983)에 의해서 제시된 종합수질지표를 사용하여 수질환경을 평가하였다. 즉, 岡외(1983)는 일본 카나가와켄(神奈川縣)의 27개 하천을 대상으로 높은 상관을 가지고 있는 DO, BOD, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P에 대해 주성분 분석법에 의해

다음과 같은 관계식을 제시했다.

岡외 (1983)의 방법은 기후적 조건이 비슷하고, 수문지형적 조건이 비슷한 우리나라에서도 유용할 것으로 사료된다.

오염원 및 오염 부하량 먼저, 오염원 및 오염 발생량을 산정하기 위한 소 유역구분은, 섬진강수계는 본류를 중심으로 5개 소 유역과 3개의 지류유역으로 구분하였으며, 영산강수계는 본류를 7개 유역, 그리고 5개의 지류유역으로 구분하였다. 오염원은 시 군별 통계연보로부터 인구, 산업, 축산, 양식, 토지이용 등으로 분류하였다.

1999년도 영산강 전유역의 총 오염발생량(BOD, T-N, T-P의 총합을 의미)은 818,643m<sup>3</sup>/day으로 추정되고, 점 오염원으로부터 오염발생량이 전체의 96.5%를 차지하고 있다. 특히, 점 오염원 중에서 생활하수가 차지하는 비율이 63.9%, 산업폐수가 29.3%로 그 대부분을 차지하고 있으며, 비점 오염원 중에서는 택지가 38.6%, 논이 24.3%, 산림이 20.5%, 밭이 12.6% 등으로 나타났다. 소 유역별 오염발생량은 담양댐 하류부터 광주천 합류이전까지의 본류유역, 극락강 유역에서 171,532m<sup>3</sup>/day으로 가장 많았으며, 고막원천(147,136m<sup>3</sup>/day), 함평천(140,362m<sup>3</sup>/day), 광주천(128,412 m<sup>3</sup>/day)의 순으로 나타났다. 한편, 섬진강 유역의 총 오염발생량은 영산강의 20%에도 못 미치는 141,785m<sup>3</sup>/day이었으며, 점 오염원과 비점 오염원으로부터 오염발생량은 각각, 약 71.5%, 18.5%의 비율을 보이고 있다. 점 오염원의 오염발생량 중에서 생활하수가 전체의 76.9%, 축산폐수가 11.4%, 산업폐수가 7.7%를 차지하고 있으며, 비점 오염원의 경우에는 산림이 전체의 약 41.7%, 택지가 22.9%, 논이 20.4, 밭이 11.3%를 차지하고 있다. 소 유역별로는 보성강 합류이후의 본류 하류부에서 35,578 m<sup>3</sup>/day으로 가장 많았으며, 보성강 유역에서 30,169m<sup>3</sup>/day, 섬진강댐 유역에서 20,544m<sup>3</sup>/day 등으로 나타났다.

점 오염원으로부터 생산된 오염물질은 하수종말처리장 또는 분뇨종말처리장, 산업폐수처리장, 축산폐수처리장과 같은 환경기초시설 등에 의해서 상당량의 오염물질이 제거 또는 처리되므로, 환경기초시설에 의한 오염물질의 삼감 양을 고려하여 오염원으로부터 실제로 하천으로 유출되는 오염 부하량, 즉 배출 부하량을 산정할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 유역별 환경기초시설의 처리용량과 현행 관련법에 의해 규정된 배출허용기준을 적용하였다. 단, T-N과 T-P의 경우에는 2001년부터 적용되는 방류수 수질 기준인 20.mg/L, 2.0mg/L을 적용하였다. 또한 배출 부하량은 유역에 유입되는 동안 유역의 특성에 따라 확산, 흡착, 탈착, 용해, 침투 및 생물 섭취 등의 과정을 통해 유역의 하류부에 도달하는 동안 오염물질의 양이 변화하게 되므로, 배출 부하량과 유달 부하량의 비인 유달율은 실측 자료를 통해 산정하였다.

영산강 유역의 총 배출 부하량은 156,573.4m<sup>3</sup>/day이며, 오염물질의 삭감율은 약 81%로 나타난 반면, 상대적으로 점 오염원의 비중이 작은 섬진강유역의 총 배출 부하량은 62,881.5m<sup>3</sup>/day로서 삭감율은 55.6%로 나타났다. 그리고 광주천 유역이 92.2%로서 전 유역 중 가장 큰 삭감율을 나타냈고, 보성강 유역은 38.2%로 가장 낮은 삭감율을 나타냈다. BOD, T-N, T-P의 유달율은 각각 2~33%, 3~50%, 4~55%로 산정되었다.

수질환경 평가 하천 수질환경을 지리학적 관점으로부터 평가하기 위해서는 구체적인

특정 공간과의 관계에 대한 고찰이 필요하고, 수질 자체에 대한 평가는 수질 항목간의 상호관계를 보완할 수 있는 종합적인 수질지표(WQI)의 도입이 필요하다. 특히, 유역면적을 독립변수로 하고, 용존 물질량을 종속변수로 할 때, 등질 지역에서 하천수의 용존 물질량은 면적에 정비례하는 직선으로 나타낼 수 있다. 따라서, 특정 지점간의 용존 물질량 차이는 지질조건과 인위적인 오염 등의 존재를 의미하는 것으로서, 그 유역으로부터 수질형성에 미치는 기여도로 볼 수 있으며, 비배출 부하량은 유역별 적정 오염물질 배출량을 산정하는 가장 효율적인 방법으로 간주할 수 있다. 여기서, 단위면적 당 단위 시간에 부하되는 오염물질량(kg/day/km<sup>2</sup>)을 비배출 부하량으로 정의하고, 이를 하천 본류에 대한 오염 기여량으로 간주하였다.

영산강 수계의 소유역별 오염 기여량은 8.34~97.25kg/day/km<sup>2</sup>으로 나타났으며, 고막원천에서 97.25kg/day/km<sup>2</sup>, 광주천에서 86.06kg/day/km<sup>2</sup>으로 높았으며, 담양댐 유역에서 8.34kg/day/km<sup>2</sup>로 가장 낮았다. 섬진강의 경우에는 10.98~19.51kg/day/km<sup>2</sup>로서, 오염 기여도가 높은 유역이 없는 것을 볼 수 있다. DO와 BOD, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P의 관계로부터 얻은 WQI는 영산강 유역에서 1.36~3.45인 반면에 섬진강 유역에서는 0.5~1.47로 비교적 낮은 수질 오염도를 나타냈다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 영산강과 섬진강 유역의 수질 및 유량 모니터링 결과와 오염원에 관한 자료를 통해 지리학적 관점에서 수질환경을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

영산강 본류의 WQI는 2.2 이상을 나타내고 있으며, 광주천과 고막원천 합류 후 침투를 나타낸다. 섬진강의 경우에는 0.79~1.2의 WQI를 나타내고, 지류 중에는 곡성천과 서시천이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 비배출 부하량은 WQI의 결과를 그대로 반영한 것으로 보아 유역별 적정 오염물질 배출량을 산정하는 방법으로서 그 가치가 있다고 판단된다.

그 동안 주요 유역관리의 방법은 점 오염인자에 대한 획일적인 규제였으며, 유역의 수문지형학적 환경과 공간적 오염원에 대한 요소가 배제되어 있었다. 최근 유역별 수질 관리의 필요성이 부각되면서 「수질오염 총량 관리 제도」가 논의 되고 있다. 유역의 효율적인 수질을 위해서는 유역별 오염 발생량과 하천 자정능력을 고려한 하천의 오염물질 수용한계에 대한 분석이 전제되어야 하며, 본 연구에서 제시한 비배출 부하량은 오염물질 수용한계에 대한 기초자료로서 그 가치가 있다고 볼 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 국립환경연구원 영산강수질검사소, 1996, 영산강수계 수질오염 현황과 대책, p.221  
환경부(<http://www.me.go.kr/www/index.html>)
- 박수진, 1993, 수문학적 자료를 통한 화강암질 유역의 화학적 특성에 관한 연구, 대한지리학회지, 28, 1-15.
- 박성천·황진·황문·병석, 1998, 하천수의 수질보존을 위한 오염부하량삭감을 산정에 관한 연구, 대한환경공학회, 20, 327-338.
- 박종관, 1997, 왕숙천 수질의 수공간적 특성과 유역의 물환경 관리, 대한지리학회지, 32, 445-462.
- 송재준·황이영·호, 1994, 영산강의 수질오염 전망과 환경정책, 목포대 연안환경연구, 11, 41-52.
- 신성의, 1991, 영산강 수질보존에 관한 연구, 조선대 환경공해연구, 8, 1-39.
- 양해근, 1995, 인위적인 요인이 하천 수질과 유량에 미치는 영향 ?일본, 하다노 분지를 사례로-, 대한지리 학회지, 30, 242-254.
- 조웅현, 1990, 영산강분류 수질의 계절적 변화에 관한 조사연구, 군산대 해양개발연구, 2, 83-102.
- 전라남도, 1996, 그린전남21 환경종합계획, p.1071
- 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구, p.668
- 岡敬一·황吉見·洋·황井口·潔·황小森·谷廣子, 1983, 総合水質指標による神奈川縣内河川水質の解析, 水質汚濁研究, 6, 325-337.
- 原昭宏, 1984, 河川水質による長良川流域の地域區分, 地域研究, 25, 1-6.
- 日本地理學研究所編, 1973, 地理學辭典, 二宮書店, p.503